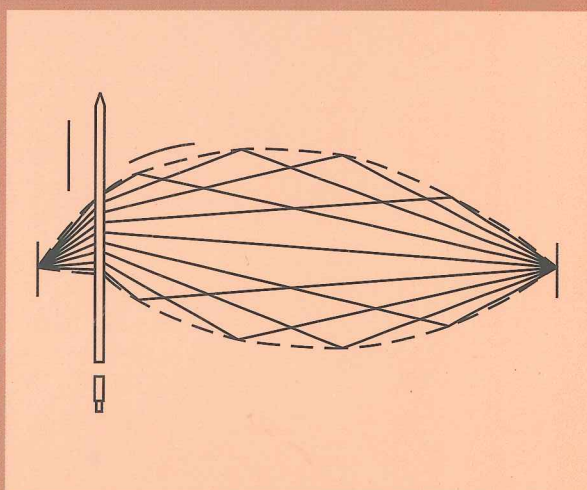
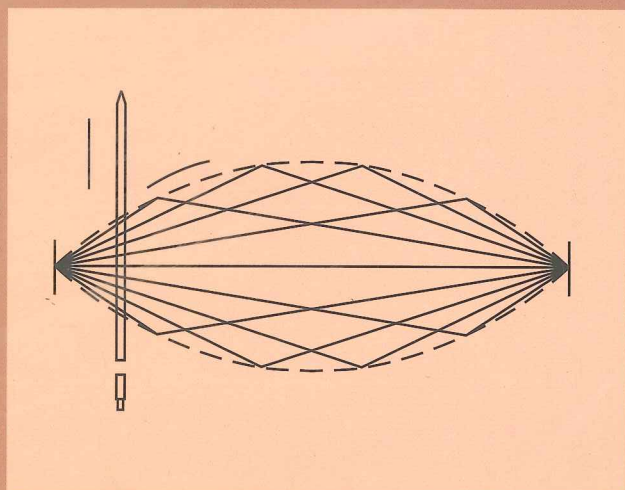


TS. KTS. NGUYỄN ANH TUẤN (Chủ biên)  
ThS. KTS. PHAN ÁNH NGUYỄN

# GIÁO TRÌNH ÂM HỌC KIẾN TRÚC

LỊCH SỬ, PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN  
THIẾT KẾ, ỨNG DỤNG



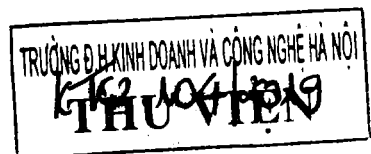
NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG



TS. KTS. NGUYỄN ANH TUẤN (Chủ biên)  
ThS. KTS. PHAN ÁNH NGUYỄN

# GIÁO TRÌNH ÂM HỌC KIẾN TRÚC

LỊCH SỬ, PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN  
THIẾT KẾ, ỨNG DỤNG



NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG  
HÀ NỘI - 2018

010.150.0000



**THƯ VIỆN  
HUBT**

TÀI LIỆU PHỤC VỤ THAM KHẢO NỘI BỘ

010.150.0000

# LỜI NÓI ĐẦU

Âm học kiến trúc (còn gọi là âm học phòng kín hay âm học công trình) là ngành khoa học và kỹ thuật nhằm mục đích tạo ra môi trường âm thanh như mong muốn bên trong công trình. Âm học kiến trúc là một nhánh của Bộ môn Âm học nói chung. Môn học Âm học kiến trúc cung cấp những hiểu biết cơ bản về âm thanh, sự vận động của sóng âm trong công trình, các kiến thức cơ bản nhằm đạt hiệu quả âm thanh tối ưu trong thính phòng và đảm bảo tiện nghi về tiếng ồn cho người sử dụng trong công trình.

Sau nhiều năm giảng dạy môn Âm học Kiến trúc tại trường Đại học Bách khoa thuộc Đại học Đà Nẵng, bài giảng chi tiết Âm học kiến trúc phát hành lần đầu năm 2013 được bổ sung, chỉnh lý, hoàn thiện để trở thành cuốn sách này. Tài liệu được chúng tôi bổ sung nhiều kiến thức hàn lâm khi làm luận văn khoa học và kinh nghiệm thực tế khi thiết kế và cải tạo âm học các công trình. Trong quá trình biên soạn tài liệu này, tác giả đã cố gắng loại bỏ những kiến thức lỗi thời trong các tài liệu âm học đã có trước đây và đưa thêm vào nhiều lý thuyết mới nhất, đặc biệt là các ứng dụng công nghệ số trong thiết kế âm học. Quyển sách này dựa trên nhiều tài liệu tham khảo quốc tế, các tài liệu tham khảo được trích dẫn chi tiết, giúp cho người đọc dễ dàng kiểm tra tính xác thực của thông tin khoa học cũng như tìm hiểu cặn kẽ thêm thông tin từ tài liệu gốc (nếu cần).

Cuốn sách được đóng góp bởi ThS. KTS. Phan Ánh Nguyên (phần 1.2, 2.3, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, một phần mục 1.5, 1.6, 1.8.2, và 4.2) và TS. KTS. Nguyễn Anh Tuấn (toàn bộ những phần còn lại).

Cuốn sách này được tác giả biên soạn nhắm đến đối tượng là Kiến trúc sư, Kỹ sư âm thanh, học viên cao học, sinh viên các ngành kỹ thuật xây dựng, kiến trúc, môi trường đang theo học các cấp tại các trường Đại học và Cao đẳng.

Trong một khoảng thời gian hạn hẹp, với những kinh nghiệm còn khiêm tốn trong lĩnh vực này, nội dung của cuốn sách này khó tránh khỏi thiếu sót. Tác giả xin trân trọng ghi nhận và chân thành biết ơn các góp ý để lần tái bản sau sách sẽ hoàn thiện hơn!

**Tác giả**



**THƯ VIỆN  
HUBT**

**TÀI LIỆU PHỤC VỤ THAM KHẢO NỘI BỘ**

# DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

---

ASA	Acoustical Society of America - Hội Âm học Hoa Kỳ
BR	Bass ratio - độ trầm
CAD	Computer-aided design - Thiết kế được sự hỗ trợ của máy tính
DI	Hộp DI - Hộp nối trung gian giữa các nhạc cụ và bàn trộn
ĐRAT	Độ rõ âm tiết
DRC	Digital room correction - Sửa lỗi phòng Kỹ thuật số
EDT	Early decay time - Thời gian giảm âm sớm
EQ	Equalizer - Bộ cân bằng âm sắc
ERES	Electronic reflected energy system - Hệ thống tạo năng lượng phản xạ điện tử
ITGD	Độ trễ ban đầu
KTS	Kiến trúc sư
LEDE	Live end - dead end- Đầu sống - đầu câm
LEF	Lateral energy fraction - Phần năng lượng bên
MIT	Massachusetts Institute of Technology - Viện công nghệ Massachusetts
MRC	Multi-channel reverberation - Hệ thống tạo vang đa kênh
NC	Noise criterion curve - Đường cong tiêu chuẩn tiếng ồn
NR	Noise rating curve - Đường cong đánh giá tiếng ồn
NRC	Noise reduction coefficient - Hệ số giảm ồn
PEQ	Parametric equalizer - Bộ cân bằng tham số
PNC	Preffered noise criterion - Tiêu chuẩn tiếng ồn ưu tiên
RASTI	Room acoustics STI - Chỉ số STI trong âm học phòng
SPL	Sound pressure level - Mức áp suất âm
STI	Speech transmission index - Chỉ số truyền dẫn tiếng nói
THD	Total harmonic distortion - Độ méo hài tổng
TR	Treble ratio - Độ thanh
WHO	World health organization - Tổ chức Y tế thế giới



**THƯ VIỆN  
HUBT**

**TÀI LIỆU PHỤC VỤ THAM KHẢO NỘI BỘ**

## CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA ÂM HỌC

---

### TÓM TẮT NỘI DUNG CHÍNH

Đầu chương, chúng tôi tóm lược những nét chính của lịch sử âm học và những nhân vật có ảnh hưởng đến lĩnh vực nghiên cứu này. Tuy nhiên nội dung chính của chương 1 giới thiệu chủ yếu về các khái niệm và các đại lượng cơ bản của âm thanh. Bạn đọc cần tìm hiểu và nắm được các khái niệm sau:

Tần số (và bước sóng) của âm, phổ tần số của âm và đặc trưng tần số của âm thanh có trong tự nhiên. Lưu ý rằng tần số âm thanh sẽ gắn liền với tất cả các tính toán liên quan đến âm thanh về sau.

Nắm được khái niệm octave (quãng tần số) và ý nghĩa của nó trong các tính toán âm học.

Các đại lượng cơ bản nhất gồm: cường độ âm  $I$ , áp suất âm  $P$ .

Thang đo mức âm gồm: Decibel, Decibel A, Decibel B và Decibel C.

Các đặc điểm về sự cảm thụ âm thanh của con người, bao gồm dải âm thanh nghe được và độ nhạy của tai theo tần số âm.

Các đặc điểm về sự lan truyền của âm thanh và sự suy giảm năng lượng âm theo khoảng cách: nguồn âm điểm và nguồn âm đường.

Phần bài tập cuối chương có những ví dụ giúp bạn đọc hiểu rõ hơn các khái niệm chính của chương.

#### 1.1. GIỚI THIỆU

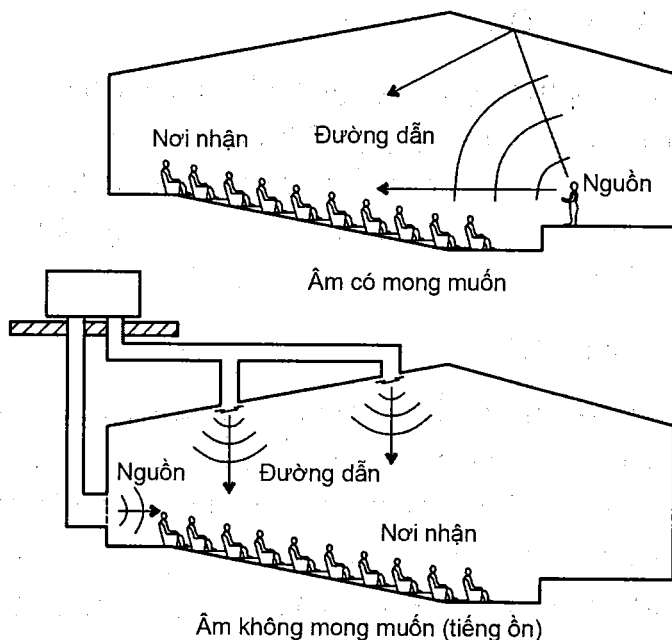
Môi trường âm thanh bên trong và xung quanh các công trình chịu sự chi phối của một loạt các yếu tố độc lập hoặc có liên quan mật thiết đến quá trình quy hoạch - thiết kế và xây dựng công trình. Từ giai đoạn khởi đầu của bất kỳ dự án

xây dựng nào, sự lựa chọn địa điểm, sự sắp đặt công trình trong khu đất, và cả sự bố trí các không gian trong công trình có thể ảnh hưởng đến trường âm và các vấn đề liên quan đến âm thanh và tiếng ồn. Các vật liệu và các cấu kiện công trình hình thành nên bề mặt hoàn thiện của công trình quyết định âm thanh sẽ lan truyền như thế nào giữa các không gian kế cận nhau. Các KTS, kỹ sư, các nhà kỹ thuật công trình, các nhà thầu đều có vai trò trong việc kiểm soát môi trường âm thanh của công trình. Với một vài kiến thức cơ bản về các nguyên lý âm học (đó là, các vật liệu và cấu trúc ảnh hưởng đến âm thanh như thế nào), nhiều vấn đề âm thanh có thể tránh được hoặc ít nhất được giải quyết trong các bước đầu tiên của dự án với chi phí thấp. Những biện pháp chữa cháy (khi “chuyện đã rồi” - công trình đã hoàn thành và đưa vào sử dụng) thường là rất tốn kém và mang lại hiệu quả thấp.

Hiện nay, các cơ quan quản lý, các luật và tiêu chuẩn xây dựng ngày một quan tâm hơn và đưa ra các yêu cầu về âm học trong thiết kế công trình. Yêu cầu quan tâm đặc biệt về âm học là hiển nhiên trong các công trình có yêu cầu cao như phòng hòa nhạc hay trong các phòng thu... Tuy nhiên, hầu hết các vấn đề rắc rối lại liên quan đến các không gian sống và làm việc thường xuyên của con người.

Khi mà con người ngày càng có những yêu cầu cao hơn về những gì họ cần liên quan đến việc cải thiện chất lượng môi trường sống và làm việc, những nhu cầu đó phản ánh một cách mật thiết trong các tiêu chuẩn thiết kế kỹ thuật thiết kế công trình. Âm học hiện nay đã trở thành một tiêu chí trong hệ thống đánh giá chất lượng công trình trường học, cơ sở y tế, văn phòng làm việc, và dự kiến sẽ còn mở rộng ra tất cả các dạng công trình trong tương lai rất gần.

Mọi vấn đề về âm thanh trong công trình có thể xem như một hệ thống nguồn âm, đường truyền âm, và bộ phận thu nhận âm. Ngay cả trong các vấn đề phức tạp, chúng ta có thể đơn giản hoá vấn đề bằng cách xem xét thành nhiều nguồn âm riêng rẽ và các đường lan truyền âm thanh tương ứng đến bộ phận tiếp nhận âm. Dù là một nguồn âm mong muốn hay không mong muốn (ví dụ tiếng ồn), việc kiểm soát chúng có thể thực hiện thông qua các thành phần của hệ thống như đã nói ở trên. Hình 1.1 cho thấy ngay cả trong trường hợp của một giảng đường đơn giản, cả âm thanh mong muốn (tiếng giảng viên và sự trao đổi của học viên) và không mong muốn (tiếng ồn của hệ thống điều hòa không khí) đều có thể cùng tồn tại.



**Hình 1.1.** Trong bất kỳ trường hợp nào (âm mong muốn hay tiếng ồn), ta có thể xem đó là một hệ thống nguồn phát, đường lan truyền và tiếp nhận âm (Cavanaugh, et al., 2009)

Thông thường, thiết kế và công nghệ của công trình có ảnh hưởng lớn nhất đến sự lan truyền âm. Tuy nhiên, hiểu biết về nguồn âm và sự thu nhận âm là rất cần thiết để có thể đưa ra giải pháp phù hợp cho từng tình huống. Ví dụ, việc chúng ta chọn và chỉ định các thiết bị cơ khí/điện có độ ồn thấp nhất có thể sẽ giảm nhẹ gánh nặng cho việc thiết kế chống ồn và rung động sau này, cũng như chi phí phụ trội cho các công việc đó.

Về cơ bản, việc kiểm soát hiệu quả môi trường âm thanh trong công trình cần ít nhất là các kiến thức cơ bản về âm thanh và sự lan truyền âm thanh trong các không gian của công trình, và về việc âm thanh bị ảnh hưởng như thế nào bởi các vật liệu xây dựng và các hệ thống của công trình. Cũng như hàng loạt các ngành học khác có liên quan đến môi trường tổng thể của công trình (tiện nghi nhiệt, chiếu sáng, tiết kiệm năng lượng, vv...), giải pháp âm học đòi hỏi không ít công sức đầu tư của người thiết kế. Cuối cùng, con người không chỉ có cảm nhận và phản ứng đối với một yếu tố của môi trường. Âm học, do đó, thường không phải là yếu tố quan trọng nhất, nhưng nó là một phần quan trọng của môi trường xây dựng và việc kiểm soát tốt âm thanh giúp tạo ra những công trình có chất lượng hoàn mỹ.

## 1.2. LỊCH SỬ CỦA ÂM HỌC

Phần này tóm lược về lịch sử âm học gồm những thí nghiệm, khám phá về âm học, và các nhà nghiên cứu có đóng góp vĩ đại cho lĩnh vực này trong thế kỷ 19. Trong thế kỷ 20, phần âm học kiến trúc được chia làm sáu lĩnh vực nhỏ bao gồm âm học kiến trúc, vật lý âm học, kỹ thuật âm học, sinh lý và tâm lý âm học, lời nói, và âm nhạc.

### 1.2.1. Âm học thời cổ đại

Những nghiên cứu khoa học về âm thanh được xem là có nguồn gốc ở Hy Lạp cổ đại. Từ “acoustics” có nguồn gốc từ tiếng Hy Lạp “akouein”, có nghĩa là nghe, nhưng mãi đến năm 1701, Sauveur được xem là người đầu tiên áp dụng thuật ngữ âm học để nói đến khoa học của âm thanh (Lindsay, 1973).

Pythagoras, người đã sáng lập ra nền toán học trong văn hoá Hy Lạp vào thế kỷ thứ 6 trước Công nguyên, đã nghiên cứu các dây rung và âm nhạc. Ông đã phát hiện ra rằng việc chia chiều dài của một dây rung thành các tỷ lệ đơn giản để tạo ra các họa âm. Ông cũng quan sát thấy mức độ cao thấp của âm thay đổi với độ căng của dây và âm điệu được tạo ra khi đánh vào cốc thủy tinh (Hunt, 1992). Mặc dù người Hy Lạp biết về tầm quan trọng của một thiết kế âm học tốt trong rạp hát, nhưng kiến trúc sư La Mã - Vitruvius - lần đầu tiên viết về thiết kế âm học trong sách De Architectura của ông, bao gồm sự hiểu biết và phân tích âm thanh sâu sắc: "Chúng ta phải chọn một địa điểm sao cho tiếng nói có thể truyền đi trôi chảy, và không bị quay trở lại bởi sự phản xạ và chuyển tải một ý nghĩa rõ ràng đến tai".

### 1.2.2. Âm học trong thế kỷ 19

Âm học thực sự nở rộ vào thế kỷ 19. Đặc biệt đáng chú ý là nghiên cứu của Tyndall, von Helmholtz, Rayleigh và nhiều nhà khoa học khác.

#### Tyndal

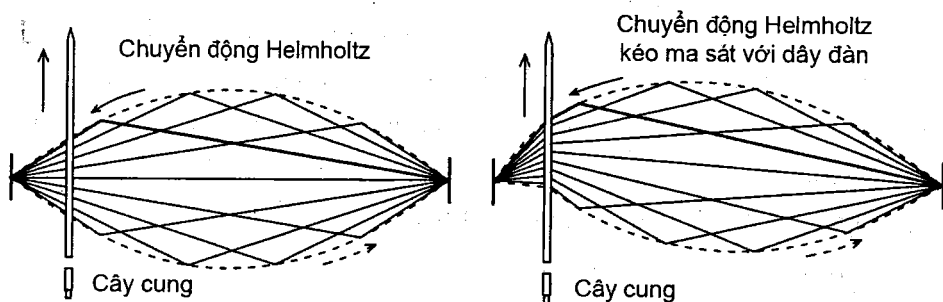
Năm 1867, John Tyndall (Ireland, 1820) xuất bản cuốn sách “Âm thanh” với bảy chương. Sau đó, ông bổ sung các chương về việc truyền âm thanh qua bầu khí quyển và sự kết hợp của âm nhạc.

Tyndall được nhớ đến vì nghiên cứu của ông về ảnh hưởng của sương mù với việc truyền âm thanh trong khí quyển. Khi sương mù che phủ những ngọn đèn biển, các tàu thuyền phụ thuộc vào tiếng còi, chuông, còi báo động, và thậm chí

là tiếng súng để cảnh báo. Năm 1873 Tyndall bắt đầu một nghiên cứu về sự lan truyền âm thanh trên mặt nước trong điều kiện thời tiết khác nhau tại eo biển Dover. Ông thấy việc lan truyền âm thanh thường không nhất quán.

## Helmholtz

Hermann von Helmholtz, là giáo sư Sinh lý học tại Königsberg. Ông nghiên cứu về sinh lý học, nhận thức màu sắc, và điện. Nghiên cứu âm học quan trọng nhất của ông là cuốn “Sự kết hợp của âm thanh”, xuất bản năm 1856 (Helmholtz, 1856). Cuốn sách “Cảm giác âm thanh” (1862) kết hợp kiến thức về sinh lý, vật lý và âm nhạc. Ông đã làm nhạc cụ dây, âm thoa, còi báo động, và các bộ cộng hưởng để cho thấy rằng độ cao là do tần số cơ bản, nhưng chất lượng của âm nhạc là do sự hiện diện của âm thành phần. Ông đã chỉ ra cách tai có thể tách ra các thành phần khác nhau của một âm thanh phức tạp. Ông kết luận rằng chất lượng của âm thanh phụ thuộc duy nhất vào số lượng và sức mạnh của âm thành phần. Để nghiên cứu độ rung động của tiếng đàn violin và tiếng nói, Helmholtz đã phát minh ra một kính hiển vi rung động giúp mô phỏng rung động. Một ống kính của kính hiển vi được gắn vào ngạnh của một âm thoa, và một điểm cố định di chuyển lên xuống. Một điểm sơn sáng được chấm lên sợi dây đàn, và một cây cung được kéo vuông góc với sợi dây đàn. Điểm trên dây violin rung động. Bằng cách quan sát các mẫu cho một dây violon, Helmholtz đã có thể xác định chuyển động thực tế của chuỗi, và chuyển động như vậy còn được gọi là chuyển động Helmholtz (Hình 1.2).



Hình 1.2. Chuyển động Helmholtz với dây cung kéo lên dây đàn (trái) và dây cung kéo ma sát với dây đàn (phải) - phỏng theo Helmholtz (1954)

## Rayleigh

Rayleigh đã có những đóng góp vĩ đại cho lĩnh vực vật lý, và âm học. Cuốn sách “Lý thuyết của âm thanh” có một vị trí danh dự trên bàn làm việc của nhiều nhà thiết kế âm học (có thể cùng với cuốn sách của Von Helmholtz). Ngoài ra

ông đã xuất bản 128 bài báo về âm học. Ông đã tiên đoán rất nhiều điều thú vị và đặt nó vào cuốn sách của mình. Ông dùng toán học để đặt ra tiêu chuẩn cho các bài viết tiếp theo về âm học. Cuốn sách đầu tiên của ông phát triển lý thuyết rung động và các ứng dụng của nó cho dây, thanh, màng và tấm, trong khi quyển thứ hai bắt đầu với sự rung động trong không khí và sự truyền lên của sóng trong chất lỏng (Beyer, 1999).

### **George Gabriel Stokes**

Stokes sinh ra ở hạt Sligo, Ireland vào năm 1819, thực hiện nghiên cứu về thủy động lực học. Năm 1845, ông xuất bản bài báo kinh điển về các lý thuyết liên quan ma sát nội bộ của chất lỏng chuyển động, trong đó trình bày một phương trình ba chiều của chuyển động của một chất lỏng nhớt được gọi là phương trình Stokes-Navier. Các phương trình Stokes-Navier về chuyển động của một chất lỏng nhớt, nén được vẫn là điểm khởi đầu cho phần lớn các lý thuyết về lan truyền âm thanh trong chất lỏng.

### **Alexander Graham Bell**

Bell sinh ra tại Edinburgh, Scotland năm 1847. Ông đã dạy âm nhạc và thuyết trình tại Scotland trước khi chuyển đến Canada năm 1868, và năm 1871 ông chuyển đến Boston làm giáo viên của người khiếm thính. Trong thời gian rảnh rỗi ông đã làm việc trên máy điện tín, một thiết bị cho phép truyền hai hoặc nhiều tín hiệu điện trên cùng một dây. Trong suốt cuộc đời của mình, Bell đã quan tâm đến việc dạy học cho những người khiếm thính, điều này đã khiến ông sáng tạo ra micrô, và năm 1876, chiếc máy điện thoại được phát minh. Ông đã được khuyến khích làm việc liên tục với sáng kiến này. Điện thoại là một thành công về tài chính, cũng như kỹ thuật của Bell. Ông thành lập phòng thí nghiệm của mình gần Braddock, Nova Scotia và tiếp tục cải tiến điện thoại cũng như làm việc với những phát minh khác (Beyer, 1999).

### **Thomas Edison**

Cùng năm Bell sinh ra ở Scotland (1847), Thomas A. Edison, nhà phát minh vĩ đại, được sinh ra ở Milan, Ohio. Năm 14 tuổi, ông xuất bản tờ báo nhỏ của mình, có lẽ là tờ báo đầu tiên được bán trên tàu hỏa. Cũng trong độ tuổi 14, ông mắc bệnh sốt phát ban và nó đã khiến ông gần như điếc. Phát minh đầu tiên của ông là cải tiến một máy điện báo và ông đã được trả 40'000 US \$. Ngay sau khi thành lập phòng thí nghiệm ở Menlo Park, New Jersey, ông đã phát minh ra máy quay đĩa đầu tiên (năm 1877). Nhiều người đã cải tiến chiếc máy quay đĩa của

Edison, nhưng Edison là người đầu tiên chứng minh rằng tiếng nói của con người có thể được ghi lại cho hậu thế. Phát minh tiếp theo vào năm (1879) là bóng đèn điện. Các phát minh khác bao gồm máy ghi âm, máy in và pin dự trữ. Trong năm thành lập (1929), Hiệp hội Âm học Hoa Kỳ (ASA) đã vinh danh Thomas Edison là một thành viên danh dự, và trong suốt 20 năm tiếp theo không có ai được nhận danh hiệu này.

### **Rudolph Koenig**

Rudolph Koenig sinh ra ở Königsberg, Đức vào năm 1832, đã cống hiến hơn 40 năm để tạo ra những thiết bị âm thanh tốt nhất trong thời của ông, nhiều mặt hàng vẫn đang hoạt động trong các viện bảo tàng và phòng thí nghiệm âm thanh. Koenig đã chế tạo những chiếc âm thoa mọi kích cỡ để tạo ra âm thanh có tần số từ 16 đến 21845 Hz. Rất nhiều âm thoa được treo trên các bộ cộng hưởng rộng bằng gỗ. Ông đã tạo ra cả thiết bị cộng hưởng hình trụ và hình cầu theo nguyên lý Helmholtz với tất cả các kích cỡ (Greensladejr, 1992).

### **1.2.3. Âm học trong thế kỷ 20**

Cột mốc quan trọng là vào năm 1929, Hiệp hội Âm học Hoa Kỳ được thành lập. Một trong những sự kiện liên quan đến kỷ niệm 75 năm của Hội này là việc xuất bản Lịch sử của Hiệp hội được viết bởi các đại diện từ 15 Ủy ban kỹ thuật, do Henry Bass và William Cavanaugh biên soạn (Bass & Cavanaugh, 2004). Không thể đề cập đến tất cả các báo cáo, tất cả sự phát triển âm học trong thế kỷ 20, chúng tôi sẽ chỉ chọn một vài lĩnh vực âm học quan trọng và cố gắng thảo luận ngắn gọn một số phát triển quan trọng trong lĩnh vực này.

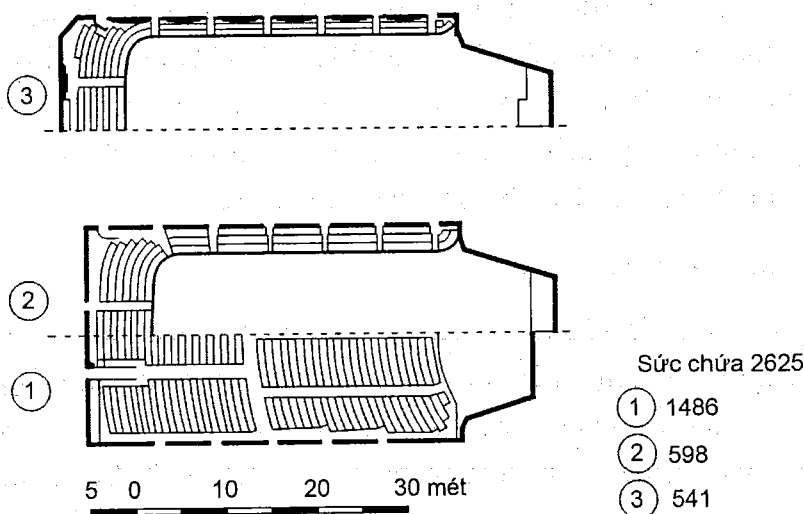
#### **1.2.3.1. Âm học kiến trúc**

Wallace Clement Sabine (1868 - 1919) được coi là cha đẻ của lĩnh vực âm học kiến trúc. Ông là người đầu tiên thực hiện các phép đo định lượng âm học trong phòng. Ông phát hiện tổng lượng hấp thụ âm trong phòng và thời gian âm vang là cơ sở kiểm soát âm thanh trong phòng. Khi là một giáo sư 27 tuổi của Đại học Harvard, ông được Hiệu trưởng chỉ định tìm các biện pháp khắc phục chất lượng âm thanh trong các giảng đường ở Bảo tàng Nghệ thuật Fogg của Harvard, nơi ông bắt đầu nghiên cứu bài báo nổi tiếng về âm vang (Sabine, 1964).

Sabine xác định thời gian âm vang trong giảng đường Fogg bằng đàn ống organ và thiết bị đo thời gian. Ông nhận thấy, thời gian âm vang trong phòng trống là 5.62 giây. Sau đó, ông bắt đầu thêm các tấm nệm từ rạp hát Sanders và

đo đạc lại kết quả thời gian âm vang. Ông đã phát triển một công thức thực nghiệm  $T = 0.161V/A$ , công thức sau này vẫn được gọi là công thức âm vang Sabine.

Sau thành công của giảng đường Fogg, Sabine được yêu cầu đưa ra các yêu cầu kỹ thuật âm thanh cho khán phòng hòa nhạc Boston mới, đảm bảo nghe nhạc hay từ mọi chỗ ngồi. Khán phòng hình hộp được sử dụng (Hình 1.3). Sau đó, bằng cách sử dụng công thức toán học thời gian âm vang, Sabine cẩn thận điều chỉnh khoảng cách giữa các hàng ghế, độ nghiêng của các bức tường, hình dạng của sân khấu và các vật liệu được sử dụng trong các bức tường để tạo ra âm thanh tinh tế được nghe ngày hôm nay tại Boston Symphony Hall.



*Hình 1.3. Mặt bằng khán phòng Boston - phỏng theo Beranek (1962)*

Vern Knudsen (1893 - 1974), nhà vật lý tại Đại học California Los Angeles và là chủ tịch thứ ba của Hiệp hội Âm học Hoa Kỳ. Năm 1932, ông xuất bản cuốn sách về “Âm học kiến trúc” (Knudsen, 1932), và năm 1950, một cuốn sách “Thiết kế kiến trúc trong âm học” cùng với Cyril Harris (Knudsen & Harris, 1950), đã tóm tắt hầu hết những gì đã biết về chủ đề này vào giữa thế kỷ 20.

Vào giữa những năm 1940, Richard Bolt, một nhà vật lý tại Học viện Công nghệ Massachusetts (MIT), đã được Liên Hiệp Quốc yêu cầu thiết kế âm thanh cho một trong những tòa nhà mới của Liên Hiệp Quốc. Ông đã yêu cầu Leo Beranek cùng làm tham gia dự án. Đồng thời, họ đã thuê một giáo sư của Học viện MIT, Robert Newman, cùng làm việc với Liên Hiệp Quốc. Họ đã cùng nhau thành lập công ty của Bolt, Beranek, và Newman (BBN), trở thành một trong những công ty tư vấn kiến trúc hàng đầu trên thế giới. Công ty này đã tư vấn âm

thanh cho một số phòng hòa nhạc nổi tiếng, bao gồm Avery Fisher Hall ở New York, Koussevitzky Music Shed tại Tanglewood, Nhà hát Symphony Davies ở San Francisco, Roy Thompson Hall ở Toronto và Trung tâm Biểu diễn Nghệ thuật ở Tokyo (Beranek, 1996).

Từ năm 1975, những yêu cầu về âm thanh trên sân khấu bắt đầu được quan tâm và điều tra 1 cách có hệ thống. Marshall đã mô tả các kết quả từ buổi biểu diễn của 3 nhạc công thuộc bộ dây trong một môi trường âm thanh mô phỏng trong phòng thí nghiệm, trong khi Barron đã tiến hành các thí nghiệm với một nhóm lớn hơn (từ 8 đến 13 người chơi) trong một hội trường với một sân khấu có khả năng điều chỉnh về kích thước và thể tích. Marshall tập trung vào các yếu tố ảnh hưởng đến "sự dễ dàng đồng diễn của nhóm nhạc", trong khi Barron hỏi về chủ đề: "ấn tượng chung", "khả năng nghe bản thân và người khác" và "điều kiện chơi nhạc". Cả hai nghiên cứu này đều cho thấy hiệu quả tích cực của các nhạc công khi nhận được những âm phản xạ sớm - phù hợp với thực tế, đã có rất nhiều hội trường (ví dụ Herkules Saal ở Munich và Concert Hall Radio Đan Mạch) đã được trang bị các mảng phản xạ trên sân khấu từ những năm 1950, ví dụ: của Keidel (Gade, 2010). Năm 1989 Gade thực hiện một loạt các nghiên cứu tiên phong trong phòng thí nghiệm và trong nhiều khán phòng nổi tiếng ở châu Âu (Gade, 1989). Sự tương quan giữa kết quả khảo sát của dàn nhạc và các kết quả đo đạc đã khẳng định hỗ trợ sớm (ST1), tỉ số giữa năng lượng âm phản xạ sớm và năng lượng âm tới, là một tham số để đánh giá điều kiện đồng diễn trên khu vực sân khấu.

Tiêu chuẩn ISO 3382 đưa ra tiêu chuẩn đo đạc các tham số đánh giá âm học. Quyển đầu tiên được xuất bản vào năm 1975 nói về cách đo đạc thời gian âm vang trong phòng khán giả. Các tham số đánh giá âm học tiếp tục được cập nhật và đưa vào tiêu chuẩn này.

Giải thưởng Wallace Clement Sabine của Hiệp hội Âm học Hoa Kỳ trao cho những các nhân vật cống hiến trong cho lĩnh vực âm kiến trúc bao gồm Vern Knudsen (1957), Floyd Watson, Leo Beranek, Erwin Meyer, Hale Sabine, Lothar Cremer, Cyril Harris, Thomas Northwood, Richard Waterhouse, Harold Marshall, Russell Johnson, Alfred Warnock, William Cavanaugh, John S. Bradley, Christopher Jaffe, và Ning Xiang (2014). Giải thưởng được trao 3 năm 1 lần bắt đầu từ năm 1957 đến nay. Công việc của từng nhà tư vấn âm học nổi bật này có thể là một chương trong lịch sử âm học.

### **1.2.3.2. Kỹ thuật âm học**

Kỹ thuật âm thanh trong thế kỷ 20 ghi nhận sự phát triển vượt bậc của kỹ thuật điện thanh và các thiết bị điện tử khuếch đại âm thanh. Micro đầu tiên là máy phát từ tính của Bell và micro carbon của Edison và Berliner. Một bước tiến lớn trong năm 1917 là việc phát minh ra micro ngưng tụ của Edward Wente (1889 - 1972). Năm 1962, James West và Gerhard Sessler đã phát minh ra micro tụ điện electret, đã trở thành loại micro phổ biến nhất đang được sử dụng với gần 90% trong số khoảng một tỷ micro được sản xuất hàng năm là thiết kế electret.

Ernst W. Siemens là người đầu tiên mô tả loa cuộn cảm với một cuộn dây tròn trong một từ trường và được hỗ trợ sao cho nó có thể di chuyển dọc trục. Vào năm 1925, Chester W. Rice và Edward W. Kellogg tại General Electric đã thành lập nguyên tắc cơ bản của loa phóng thanh trực tiếp. Năm 1926, Radio Corporation of America (RCA) đã sử dụng loa phóng thanh trực tiếp với dòng điện xoay chiều (AC). Năm 1943, James Lansing giới thiệu bộ tản nhiệt đôi Altec-Lansing 604 kết hợp một loa 15 inch với bộ điều khiển và ăng ten nén tần số cao (Augspurger, 1985).

Hiệp hội Kỹ thuật Âm thanh được thành lập vào năm 1948, cùng năm đó, hãng Columbia Records đã giới thiệu đĩa ghi âm thanh với tốc độ quay 33 1/3 vòng trên phút. Sự ra đời của đĩa ghi âm thanh có tác động to lớn đến cộng đồng kỹ thuật âm học.

### **1.2.3.3. Âm học sinh lý và tâm lý**

*Âm học sinh lý* nghiên cứu hệ thống thính giác ngoại vi, bao gồm cơ chế ốc tai, kích thích mã hoá trong dây thần kinh thính giác, và các mô hình phân biệt âm thanh.

Georg von Békésy (1899 - 1972) sinh tại Budapest, ông làm việc cho Hungarian Telephone Co., Đại học Budapest, Viện Karolinska ở Stockholm, Đại học Harvard và Đại học Hawaii. Năm 1962 ông được trao giải Nobel về sinh lý học và y khoa cho nghiên cứu của ông về tai. Ông đã xác định tính tĩnh và động của màng ốc tai, và ông đã xây dựng một mô hình cơ học của ốc tai. Ông có lẽ là người đầu tiên quan sát dòng xoáy của chất lỏng trong ốc tai. Josef Zwislocki (1922-) đã lý luận rằng sự tồn tại của các chuyển động chất lỏng như vậy chắc chắn sẽ dẫn đến sự phi tuyến, mặc dù Helmholtz đã giả định khá nhiều rằng tai trong là một hệ tuyến tính (Helmholtz, 1862). Năm 1971 William Rhode đã thành công trong việc thực hiện các phép đo trên một ốc tai sống cho lần đầu

tiên. Peter Dallos, Bill Brownell, và những cộng sự đã xác định được các tế bào lông bên ngoài như các bộ khuếch đại ốc tai (Sachs, 2004).

*Âm học Tâm lý* có liên quan đến các thuộc tính chủ quan của âm thanh, chẳng hạn như độ ồn, độ cao, âm sắc và mức độ liên quan đến các số liệu thể chất có thể đo lường như mức âm thanh, tần số và phổ của kích thích.

Tại phòng thí nghiệm Bell Telephone, Harvey Fletcher, chủ tịch đầu tiên của Hiệp hội Âm học Hoa Kỳ, và W. A. Munson đã xác định các đường đồng mức Fon bằng cách cho người nghe so sánh một lượng lớn các âm với đơn âm ở tần số 1000 Hz. Năm 1951, J. C. R. Licklider (1915-1990), người nổi tiếng về công việc phát triển Internet, tập hợp kết quả của một số cuộc điều tra thính giác lại với nhau (Licklider, 1951). Che lấp âm thanh bởi âm thanh khác đã được thảo luận trong một bài báo cổ điển của Wegel và Lane, cho thấy rằng các âm tần số thấp có thể che lấp các tần số cao hơn tốt hơn và ngược lại (Wegel & Lane, 1924).

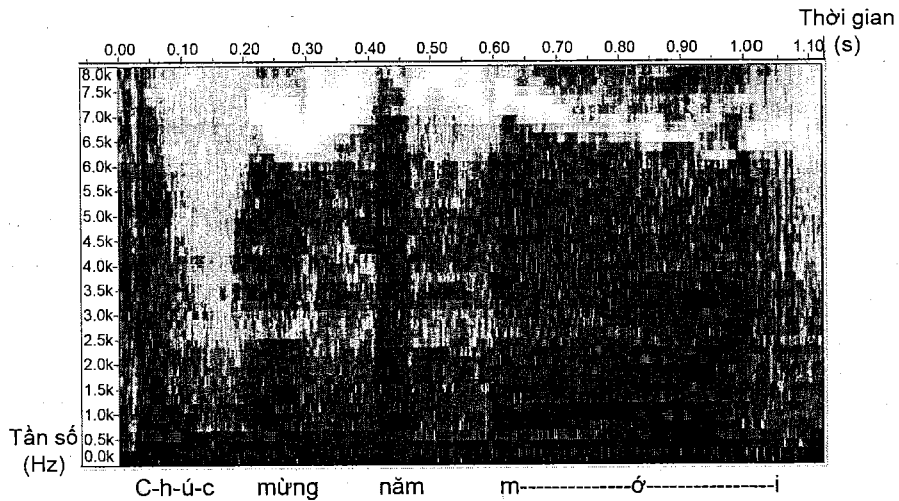
Hai lý thuyết chính về nhận thức cao độ dần phát triển trên các thí nghiệm cơ sở ở nhiều phòng thí nghiệm. Chúng thường được gọi là lý thuyết vị trí (tần số) và lý thuyết tuần hoàn (thời gian). Bằng cách quan sát những chuyển động như làn sóng của màng ốc tai do kích thích âm thanh, Békésy cung cấp sự hỗ trợ cho lý thuyết vị trí. Tuy nhiên cuối những năm 1930, J. F. Schouten và các đồng nghiệp của ông đã thực hiện những thí nghiệm thay đổi độ cao hỗ trợ cho lý thuyết tuần hoàn về độ cao. Các lý thuyết hiện đại về nhận thức độ cao âm thường kết hợp cả hai yếu tố trên (Moore, 1993).

#### **1.2.3.4. Nghiên cứu về sự diễn thuyết (Speech)**

Việc sản xuất, truyền tải, và nhận thức của lời nói luôn đóng một vai trò quan trọng trong âm học. Harvey Fletcher đã xuất bản cuốn "Speech and Hearing" năm 1929. Số đầu tiên của Tạp chí Hiệp hội âm thanh Hoa Kỳ bao gồm các bài báo về lời nói của G. Oscar Russell, Vern Knudsen, Norman French và Walter Koenig, Jr. Vào năm 1939, Homer Dudley phát minh ra bộ vocoder, một hệ thống trong đó lời nói được phân tích thành các bộ phận cấu thành bao gồm tần số cơ bản của lời nói, tiếng ồn, và cường độ của lời nói trong một loạt các bộ lọc băng thông.

Một công cụ đặc biệt hữu ích cho việc phân tích lời nói là phổ âm, được phát triển ban đầu tại phòng thí nghiệm Bell Telephone vào khoảng năm 1945. Bản ghi này ghi lại âm thanh tần số theo thời gian cho một đoạn ngắn bài phát biểu mà ở đó mức âm thể hiện bởi độ đậm trong một đồ thị tần số hai chiều, như thể

hiện trong Hình 1.4, phiên bản kỹ thuật số của phổ âm được sử dụng hiện nay, nhưng định dạng hiển thị tương tự như máy ban đầu.



**Hình 1.4.** Một câu đơn giản (Chúc mừng năm mới) được ghi âm lại biểu diễn dưới dạng phổ âm

Nguồn: Phan Ánh Nguyễn

Nghiên cứu lời nói về khía cạnh ngữ âm đã nở rộ ở các phòng thí nghiệm Bell Telephone và những nơi khác trong những năm 1950. Gordon Peterson và các đồng nghiệp của ông đã thực hiện một số nghiên cứu về các nguyên âm. Gunnar Fant đã xuất bản một cuộc khảo sát đầy đủ về lĩnh vực này trong “Lý thuyết âm học của lời nói” (Fant, 1960). James Flanagan (1925-) đã chứng minh tầm quan trọng của việc sử dụng hiểu biết của chúng ta về động lực học chất lỏng trong việc phân tích hành vi của cửa hầu (Phần thanh quản bao gồm các dây thanh âm và khe mở giữa chúng. Nó ảnh hưởng đến điều chế tiếng nói thông qua việc mở rộng hoặc co lại). Kenneth Stevens và Arthur House lưu ý rằng không khí nở từ cửa hầu có dạng sóng tam giác đã dẫn đến một dãy sóng hài hòa phong phú. Tổng hợp lời nói và tự động nhận dạng lời nói là những chủ đề quan trọng trong nghiên cứu nói. Dennis Klatt (1938-1988) đã phát triển một hệ thống để tổng hợp lời nói, và ngay trước khi qua đời, ông đã đưa ra bài phát biểu tổng hợp đầu tiên về nghe rõ, trình bày cho ASA (Ladefoged, 2004).

#### 1.2.3.5. Âm học âm nhạc

Âm học âm nhạc liên quan đến việc sản xuất âm nhạc, sự truyền tải đến người nghe và nhận thức của nó. Nhạc cụ vào các bộ được phân loại theo cách mà âm nhạc được sản xuất: bộ dây, bộ khí, bộ gõ, và điện tử.

Bộ dây thu hút sự quan tâm nghiên cứu của các nhà khoa học đầu tiên. Violin hiện đại được Gaspara da Salo và gia đình Amati phát triển chủ yếu ở Ý vào thế kỷ 16. Trong thế kỷ 18, Antonio Stradivari, học trò của Nicolo Amati, và Guiseppi Guarneri đã tạo ra các nhạc cụ violin có âm thanh cao sáng, đặt ra tiêu chuẩn cho các nhà sản xuất violin từ thời điểm đó. Những đóng góp nổi bật cho sự hiểu biết về âm thanh của violin đã được thực hiện bởi Felix Savart, Hermann von Helmholtz, Lord Rayleigh, C. V. Raman, Frederick Saunders và Lothar Cremer.

Piano, được phát minh bởi Bartolomeo Cristofori vào năm 1709, là một trong những nhạc cụ linh hoạt nhất của tất cả các nhạc cụ. Một trong những nhà nghiên cứu piano vĩ đại nhất mọi thời đại là Harold Conklin. Ông xuất bản một loạt ba bài báo trong Journal Acoustical Society of America có thể dùng làm sách giáo khoa cho các nhà nghiên cứu piano (Conklin Jr, 1996).

Những người tiên phong trong nghiên cứu nhạc cụ thuộc bộ khí bao gồm Arthur Benade (1925 - 1987), John Backus (1911 - 1988), và John Coltman (1915 - 2010). Backus, nhà vật lý nghiên cứu, đã nghiên cứu cả nhạc cụ bằng đồng và bằng gỗ, đặc biệt là các đặc tính kiểm soát dòng phi tuyến của cây sáo bằng gỗ. Hai cuốn sách của ông viết “Bộ khí, bộ dây và sự hòa hợp” và “Các nguyên tắc cơ bản về âm thanh âm nhạc” đã được Dover Books in lại. Coltman, nhà vật lý và giám đốc điều hành của Tập đoàn Điện lực Westinghouse, đã dành rất nhiều thời gian rảnh rỗi cho nghiên cứu về các khía cạnh âm nhạc, lịch sử và âm thanh của ống sáo và đàn Organ (loại đàn gồm rất nhiều ống được sử dụng trong dàn nhạc giao hưởng và dàn đồng ca trong nhà thờ). Ông thu thập được hơn 200 nhạc cụ của bộ sáo mà ông đã sử dụng trong các nghiên cứu của mình. Gần đây, Neville Fletcher và các đồng nghiệp của ông tại Úc đã nghiên cứu sáo, đàn Organ, và các nhạc khí khác.

Giọng nói của con người là nhạc cụ cổ nhất, và âm thanh của nó đã được nghiên cứu rộng rãi bởi Johan Sundberg và các đồng nghiệp ở Stockholm.

Âm thanh của các nhạc cụ thuộc bộ gỗ từ nhiều quốc gia khác nhau đã được Thomas Rossing và các sinh viên của ông nghiên cứu, và rất nhiều trong số đó được mô tả trong cuốn sách “Khoa học các nhạc cụ gỗ” (Rossing, 2000) cũng như trong các bài báo đã công bố của ông.

Công nghệ âm nhạc điện tử đã được thực hiện với việc phát minh ra ống chân không vào đầu thế kỷ 20. Bộ tổng hợp nhạc Analog đã trở nên phổ biến vào khoảng giữa thế kỷ 20. Giữa những năm 1960, Robert Moog và Donald Buchla đã chế tạo các bộ tổng hợp âm nhạc điều khiển điện áp thành công đã tạo ra một

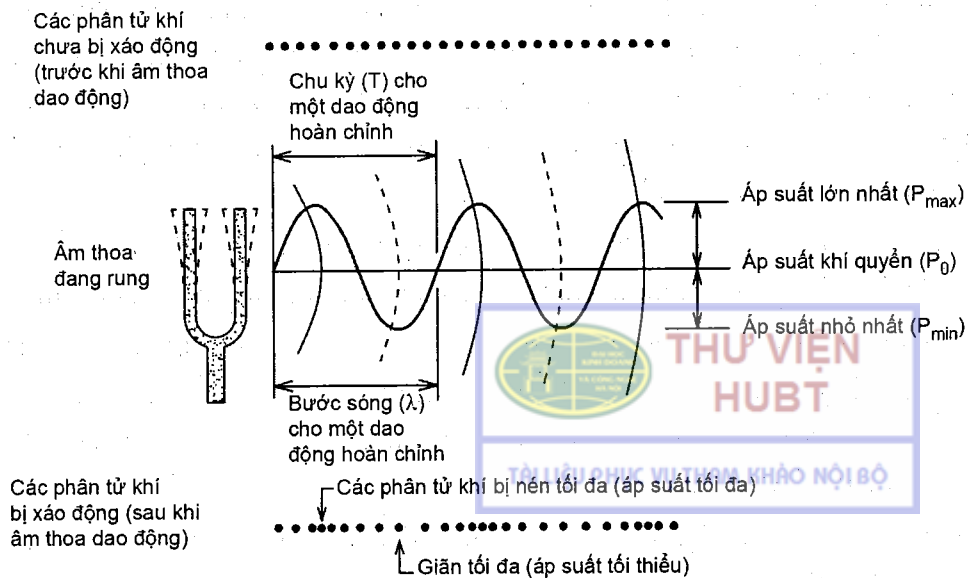
cuộc cách mạng trong cách thức các nhà soạn nhạc có thể dễ dàng tổng hợp âm thanh mới. Mặc dù nhiều người đã đóng góp cho sự phát triển của âm nhạc máy tính, Max Mathews thường được gọi là cha đẻ của âm nhạc máy tính, vì ông đã phát triển chương trình MUSIC I bắt đầu nhiều chương trình tổng hợp âm nhạc thành công và nổi bật, trở thành một nguồn tài nguyên phong phú cho âm nhạc (Rossing, et al., 2002).

### 1.3. CÁC NGUYÊN LÝ CƠ BẢN CỦA ÂM THANH VÀ SỰ KIỂM SOÁT ÂM THANH

#### 1.3.1. Sự hình thành sóng âm

Về mặt vật lý, âm thanh là những *sóng dao động* xuất hiện trong các môi trường đàn hồi khi có một nguồn tạo ra các lực kích thích. Môi trường đàn hồi có thể là không khí, chất lỏng, vật rắn... Nguồn tạo xung lực kích thích các sóng dao động gọi là *nguồn âm*. Sóng dao động được gọi là *sóng âm*. Môi trường mà sóng âm lan truyền gọi là *trường âm*.

Hình 1.5 giải thích sự hình thành sóng âm tạo ra bởi một âm thoa và sự lan truyền sóng trong không khí. Dao động của nguồn âm tạo ra áp lực nén - giãn liên tục có chu kỳ lên môi trường đàn hồi tạo ra sóng âm. Sóng âm lan truyền trong môi trường đàn hồi, khi đến tai người thì tạo ra các áp lực lên cơ quan thính giác và tạo ra cảm giác về âm thanh.



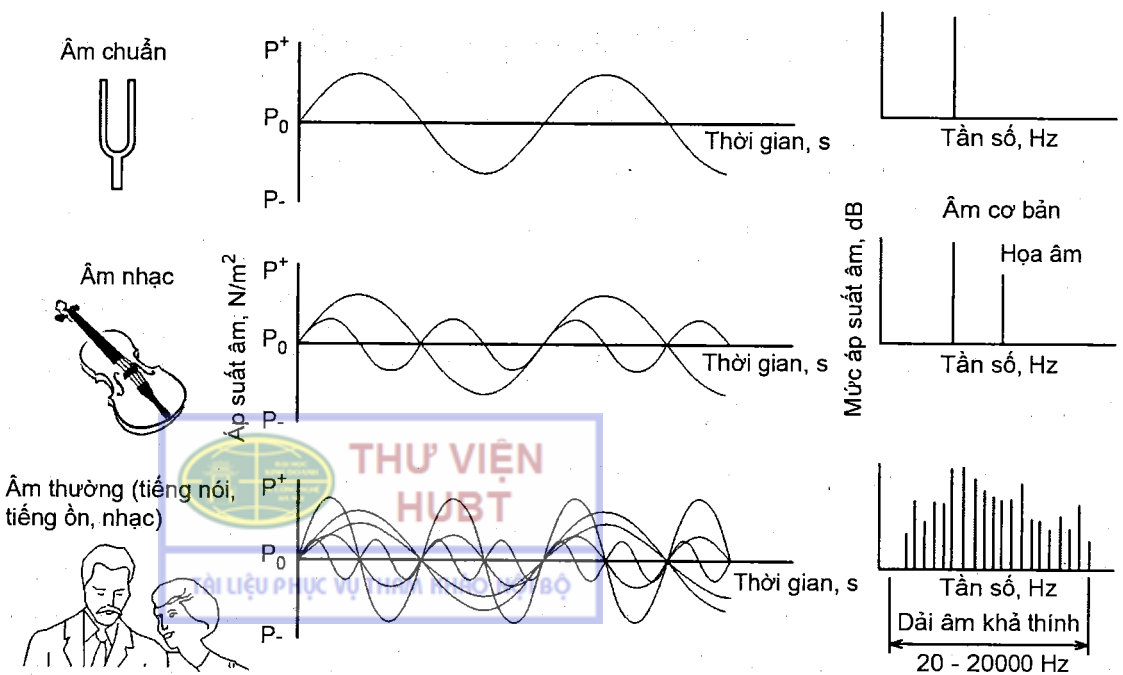
**Hình 1.5.** Sự tạo thành sóng âm đơn từ nguồn âm là một âm thoa - phỏng theo Cavanaugh et al. (2009)

Sóng âm thực chất là sóng áp suất lan truyền trong môi trường đàn hồi, do đó sóng âm mang theo năng lượng và được gọi là *năng lượng âm*. Trong quá trình lan truyền sóng, năng lượng âm mang theo bị giảm dần theo khoảng cách lan truyền cho đến khi tắt hẳn. Chúng ta sẽ nghiên cứu vấn đề này ở các phần sau.

Với một âm đơn tạo ra bởi một âm thoa (cũng như đối với các âm thanh phức hợp khác), có 2 đại lượng vật lý quan trọng là tần số của sóng âm và độ lớn của nó.

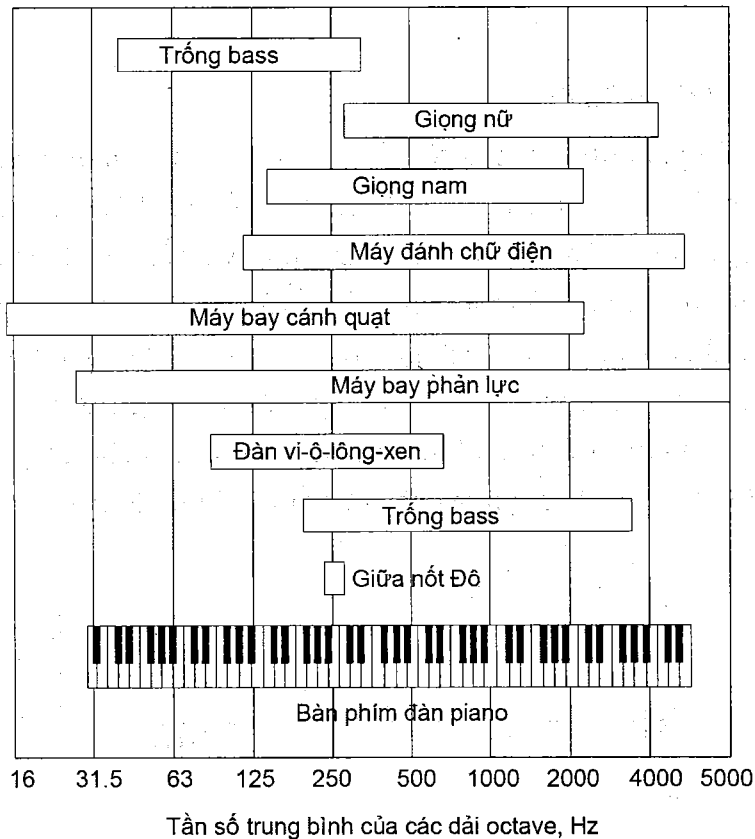
### 1.3.2. Tần số của sóng âm

Tần số của sóng âm đơn giản là số lần dao động hoàn chỉnh diễn ra trong một đơn vị thời gian. Đơn vị của tần số âm là Hertz, viết tắt là Hz. Cái âm thoa nói ở phần trên chỉ tạo ra một âm đơn (có một tần số duy nhất). Một âm thanh phát ra từ một nhạc cụ thì thường có một âm cơ bản và các hòa âm kèm theo. Các âm thanh phổ biến khác - âm nhạc, tiếng nói, tiếng ồn - thì phức tạp hơn vì chúng có mang năng lượng âm trên một dải tần số nghe được rộng (từ khoảng 20Hz đến 20000 Hz đối với người trẻ có tai bình thường). Hình 1.6 cho thấy sự khác nhau giữa một âm đơn (do âm thoa tạo ra chẳng hạn) và những âm phức tạp gồm nhiều tần số.



**Hình 1.6.** So sánh giữa âm đơn và các âm gồm nhiều tần số kết hợp

Thực tế tai người không có khả năng nghe những âm có tần số thấp hơn 16 Hz (gọi là hạ âm) và những âm có tần số lớn hơn 20000 Hz (gọi là siêu âm). Hình 1.7 so sánh và giới thiệu dải tần số của các loại âm thanh thường gặp trong thực tế. Để dễ so sánh, dải tần số của âm thanh của 1 đàn piano cũng được giới thiệu. Như vậy, hầu hết các loại âm thanh quanh ta có mang năng lượng trên một dải tần số rất rộng và phủ toàn bộ dải tần khả thính.

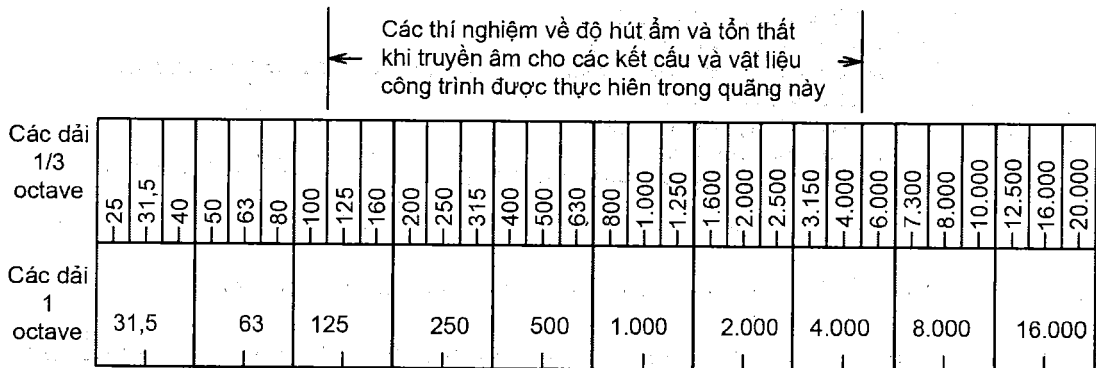


Hình 1.7. So sánh dải tần số của một số âm thanh thường gặp với âm đàn piano

### 1.3.3. Dải tần số và sự phân bố áp suất âm của các tần số trong một hòa âm (phổ âm thanh, phổ tiếng ồn)

Trên thực tế chúng ta rất ít khi gặp âm đơn. Âm thoa là một trong số rất ít dụng cụ tạo âm đơn. Phần lớn các nguồn âm trong thực tế đều phát ra âm thanh là âm phức hợp, là âm tổng hòa của nhiều tần số âm khác nhau. Vì vậy khi giải quyết một vấn đề âm thanh, ta cần phân tích đặc tính của các tần số có mặt trong âm thanh đó, ví dụ như sự phân bố của áp suất âm đối với từng tần số hoặc dải tần số.

Để phục vụ cho mục đích đo đạc và phân tích, dải tần số âm khả thính thường được chia thành nhiều dải tần số nhỏ hơn như trình bày trong Hình 1.8. Đo đạc có thể được thực hiện trên toàn bộ dải hoặc dùng các bộ lọc điện tử trong các thiết bị đo, dải tần số đo có thể được chia nhỏ thành từng dải octave (đọc là ốc-ta) hoặc các dải 1/2, 1/3, 1/10 octave. Giá trị tần số đại diện cho các dải octave thường cung cấp các thông tin về tần số cần thiết của một nguồn âm. Những nguồn âm thường gặp trong công trình, cũng như đặc trưng âm học của các sản phẩm và vật liệu xử lý âm thường phụ thuộc vào tần số. Thí nghiệm tiêu chuẩn về hiệu năng âm học của các vật liệu và kết cấu hút âm trong công trình thường thực hiện trên dải octave từ 125 Hz đến 4000 Hz. Cần lưu ý rằng trong thực tế một dải tần số rộng có liên quan đã được rút gọn thành một giá trị trung bình hay một giá trị đơn, thường được dùng để mô tả mức âm hay chỉ định đặc tính âm học của các sản phẩm, vật liệu.



**Hình 1.8.** Dải tần số khả thính được chia thành các octave chuẩn và các dải tần số 1/3 octave nhằm giảm khối lượng đo đạc tính toán

### 1.3.4. Bước sóng âm thanh

Bước sóng âm thanh là khoảng cách gần nhất của 2 phần tử sóng có cùng pha dao động (hay độ dài của một chu kỳ dao động hoàn chỉnh). Có một mối quan hệ cơ bản giữa tốc độ truyền âm trong một môi trường (ví dụ: không khí, bê tông) và tần số, chiều dài bước sóng, mối quan hệ này thể hiện qua công thức sau:

$$c = f\lambda \quad (1.1)$$

trong đó:

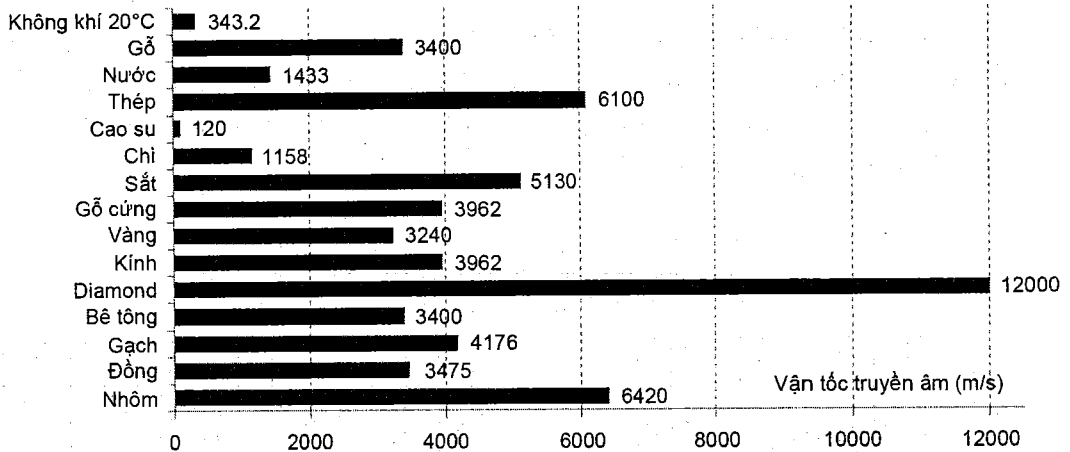
$c$  - vận tốc truyền âm;

$f$  - tần số của âm;

$\lambda$  - chiều dài bước sóng.

Vận tốc truyền âm trong không khí khô ở 20°C vào khoảng 343.2 m/s. Theo công thức trên, trong phạm vi tần số khả thính (20Hz đến 20000 Hz), bước sóng âm thanh trong không khí sẽ có độ dài từ 17.16 m đến 1.7 cm. Âm có tần số thấp thì bước sóng sẽ dài. Đây là dải bước sóng âm có liên quan đến hầu hết các vấn đề âm học kiến trúc.

Hình 1.9 giới thiệu vận tốc truyền âm trung bình trong một số môi trường. Có thể nhận thấy âm truyền trong môi trường chất rắn tốt hơn nhiều so với âm trong môi trường chất lỏng và khí.



Hình 1.9. Vận tốc truyền âm trong một số môi trường

Nói chung, người ta thường dùng các bộ phận công trình nặng, to lớn để kiểm soát các âm trầm (có tần số thấp) có bước sóng dài. Ngược lại, các bộ phận công trình mỏng hơn, nhỏ hơn có thể giúp chúng ta kiểm soát âm tốt đối với các âm có tần số cao (chẳng hạn, bằng cách hút âm).

#### 1.4. CÁC ĐẠI LƯỢNG VẬT LÝ ĐO ĐỘ LỚN CỦA ÂM

Ngoài đặc trưng tần số của âm thanh, cường độ hay độ lớn của năng lượng âm chứa trong sóng âm cũng là những đặc trưng vật lý quan trọng của âm thanh. Do đó, người ta đưa ra các đại lượng vật lý sau đây để thể hiện năng lượng của âm:

Cường độ âm: là lượng năng lượng truyền qua một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian, thường được ký hiệu là  $I$ , đơn vị theo hệ SI là  $W/m^2$ . Ở tần số 1000 Hz, âm nhỏ nhất lan truyền trong không khí ở điều kiện 20°C áp suất bình thường mà tai người có thể nghe được có cường độ  $I_0 = 10^{-12} W/m^2$ . Ở dưới môi trường nước biển, mức cường độ âm khoảng  $I_0 = 6.51 \times 10^{-7} W/m^2$  mới là mức áp suất ngưỡng nghe (Filippi, et al., 1998).

- Áp suất âm: là áp suất riêng phần của âm thanh gây ra trong trường âm. Vì sóng âm là sóng dao động, do đó áp suất âm là một đại lượng dao động có tính chu kỳ theo chu kỳ của sóng âm. Để đặc trưng cho áp suất âm nghe được bởi tai người và các thiết bị đo, người ta thường lấy giá trị áp suất âm hiệu quả:

$$\bar{p} = P_{max} / \sqrt{2} \quad (1.2)$$

trong đó:  $P_{max}$  - áp suất âm cực đại tương ứng với biên độ cực đại của sóng âm.

Đơn vị của áp suất âm là  $N/m^2$  hay Pa (pascal). Ở tần số 1000 Hz, âm nhỏ nhất lan truyền trong không khí ở điều kiện  $20^\circ C$  áp suất bình thường mà tai người có thể nghe được có áp suất âm  $P_o = 2.10^{-5} N/m^2$ . Mức áp suất này được gọi là áp suất ngưỡng. Ở dưới môi trường nước biển, mức áp suất khoảng  $P_o = 1 N/m^2$  mới là mức áp suất ngưỡng nghe.

Đối với sóng phẳng, quan hệ giữa cường độ âm và áp suất âm được diễn đạt bằng công thức:

$$I = \frac{p^2}{\rho c} \quad (1.3)$$

trong đó:

$\rho$  - khối lượng riêng của không khí ( $kg/m^3$ );

$c$  - vận tốc truyền âm trong không khí ở điều kiện đang xét (m/s).

Trong điều kiện áp suất khí quyển ở  $20^\circ C$  ta có  $\rho c = 415 kg/m^2s$ .

Mối quan hệ giữa cường độ và áp suất âm phụ thuộc vào môi trường truyền âm. Trong điều kiện tiêu chuẩn ( $\rho = 1.18 kg/m^3$ , vận tốc truyền âm trong không khí bằng 340 m/s), người ta thường lấy:

$$\bar{p} = 20\sqrt{I} \quad (1.4)$$

- Công suất của nguồn âm: là lượng năng lượng của âm phát ra bởi nguồn âm trong một đơn vị thời gian, thường có đơn vị là W (watt)

- Mật độ năng lượng âm: là lượng năng lượng của âm thanh tức thời có trong một đơn vị thể tích trường âm đang xét. Mật độ năng lượng âm thường được ký hiệu là  $E$ , có đơn vị là  $J/m^3$ . Mật độ năng lượng âm là một đại lượng vô hướng và là một đặc trưng quan trọng để xét một trường âm khi âm thanh đến từ nhiều hướng hoặc không rõ hướng đến của âm.

## 1.5. THANG DECIBEL

Đối với âm thanh khả thính, dải áp suất âm thay đổi từ  $2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$  đến  $20 \text{ N/m}^2$ . Đó là một khoảng lớn, chênh nhau đến 1 triệu lần. Khoảng chênh quá lớn này không thuận lợi cho việc tính toán, đánh giá và đo đạc âm thanh. Mặt khác, độ nhạy hay cảm nhận của tai người với âm thanh là một hàm logarit của cường độ (hay áp suất) của âm thanh. Do đó, một đơn vị đo âm thanh mới dựa trên cơ sở thang logarit được đưa ra gọi là mức âm (sound level), có đơn vị đo là Decibel (dB).

Mức âm là đơn vị đánh giá âm thanh theo thang logarit (cơ số 10) của tỷ số cường độ (áp suất) âm đang xét với cường độ (áp suất) âm ở ngưỡng nghe. Theo quy ước quốc tế, cường độ và áp suất âm tại ngưỡng nghe của âm chuẩn (âm đơn có tần số 1000 Hz) lần lượt là:

$$I_o = 10^{-12} \text{ W/m}^2;$$

$$P_o = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2.$$

Vậy mức cường độ âm là:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_o} \quad (1.5)$$

Mức áp suất âm là:

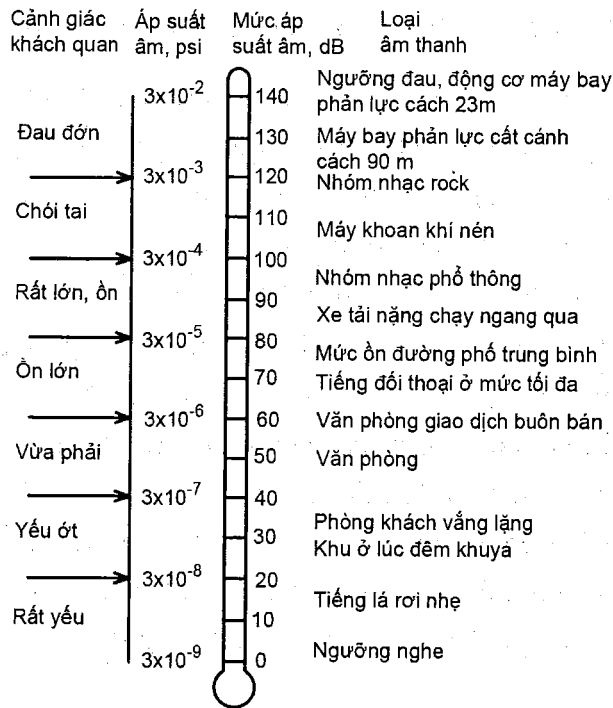
$$L_P = 20 \log \frac{P}{P_o} \quad (1.6)$$

trong đó:  $I, P$  lần lượt là cường độ và áp suất âm của âm đang xét.

Đối với âm chuẩn, ngưỡng chói tai (120 dB) và ngưỡng nghe (0 dB) chênh nhau 120 đơn vị.

Mức mật độ năng lượng âm và mức công suất âm cũng được định nghĩa tương tự như mức cường độ âm (với công suất và mật độ âm ở ngưỡng nghe là  $P_o = 10^{-12} \text{ W}$ ,  $E_o = 3 \cdot 10^{-5} \text{ J/m}^3$ ).

Sự thay đổi nhỏ nhất của mức âm mà tai người có thể cảm nhận được là 1 dB. Nhưng thực tế thì sự thay đổi 3 dB trở lên mới coi là thay đổi có tác dụng về âm (Phạm, 2011). Hình 1.10 giới thiệu mức áp suất âm của một số trường âm thường gặp.



**Hình 1.10.** Áp suất âm và mức áp suất âm của một số âm thanh thường gặp và các tác dụng sinh lý của chúng đối với tai người

**Ví dụ tính toán mức âm:**

i) Cường độ âm  $I$  của một nhóm nhạc rock là  $8.93 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$ . Tìm mức cường độ âm tương đương  $L_I$ .

Biết  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{8.93 \times 10^{-2}}{10^{-12}} = 10 \log 8.93 \times 10^{10} = 110 \text{ dB}$$

ii) Giọng nói lớn, đo đạc cách 0.9m, có mức cường độ âm  $L_I$  là 73 dB. Tìm cường độ âm tương đương  $I$ .

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} = 73 \text{ dB}$$

Suy ra  $\log \frac{I}{10^{-12}} = 7.3$

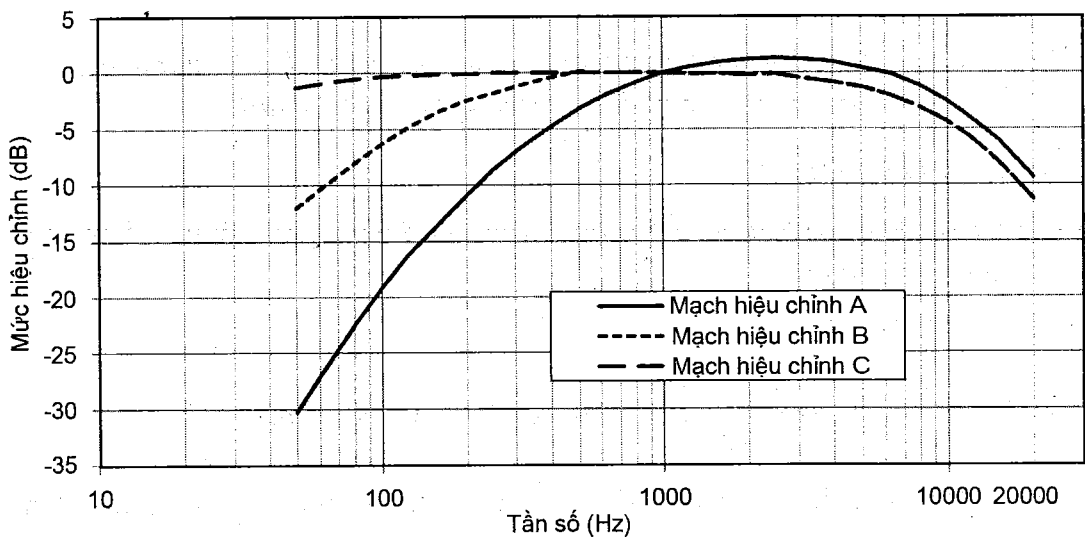
$$\frac{I}{10^{-12}} = 10^{7.3} = 20 \times 10^6$$

Vậy  $I = 2 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2$ .

## 1.6. CÁC MỨC ÂM HIỆU CHỈNH THEO TRỌNG SỐ CỦA TẦN SỐ ÂM

Trên thực tế, hầu hết âm thanh đều là âm phức hợp được tạo thành từ tổ hợp vô số đơn âm có tần số khác nhau, nhưng chúng ta lại cần một mức âm duy nhất có thể đại diện toàn bộ dải tần số của âm phức hợp đó. Mức âm duy nhất đó phải phản ánh được bản chất cảm thụ âm thanh của tai người (tai người kém nhạy đối với âm tần số thấp và nhạy hơn với âm ở tần số cao).

Để đo được một mức âm duy nhất cho âm phức (có nhiều mức âm ứng với nhiều tần số khác nhau), người ta tích hợp vào các thiết bị đo mức âm điện tử các mạch hiệu chỉnh (hiệu chỉnh độ mạnh yếu của từng dải tần số octave theo khả năng cảm nhận của tai người) để thiết bị đo có thể đưa ra được một giá trị ước lượng mức âm của âm phức hợp, qua đó ta biết được độ mạnh yếu thực sự của một âm phức. Các mạch hiệu chỉnh phổ biến nhất trên thực tế là theo thứ tự là A, C, B (Cavanaugh, et al., 2009) và có đơn vị đo tương ứng là dBA, dBC, dBB.



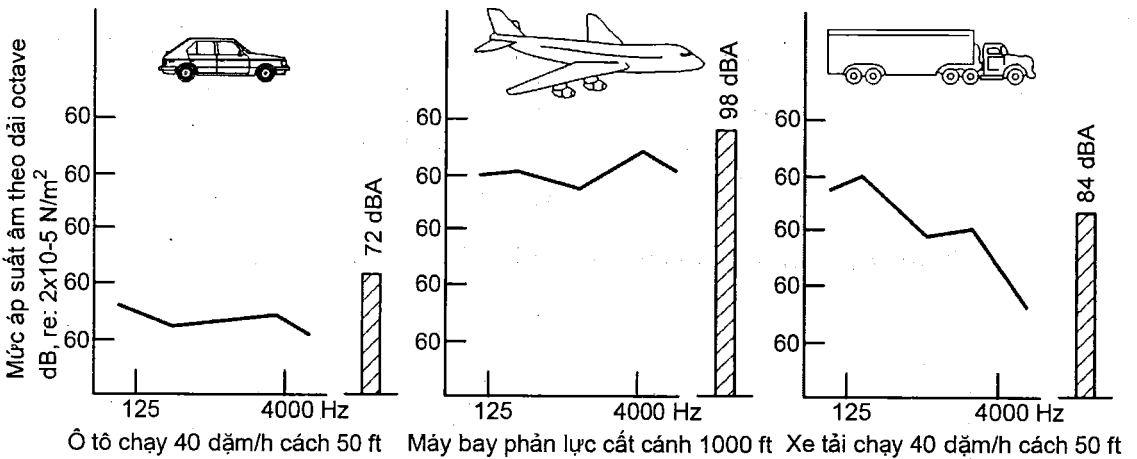
*Hình 1.11. Các mức âm hiệu chỉnh theo mạch hiệu chỉnh A, B, C*

Hình 1.11 chỉ rõ mức hiệu chỉnh theo mạch hiệu chỉnh A, B và C. Có thể thấy rõ theo mức hiệu chỉnh A, các âm tần số thấp bị hiệu chỉnh giảm đi nhiều, các âm tần số cao được giữ nguyên hoặc điều chỉnh tăng thêm một ít (phù hợp với tính chất cảm thụ âm của tai người - xem Hình 1.16). Giá trị mức âm theo mức hiệu chỉnh A (dBA) được dùng phổ biến để thay thế một âm có dải tần rộng (âm phức) bằng một giá trị đo duy nhất. Mức hiệu chỉnh C có sự điều chỉnh rất ít đối với các dải tần số do đó thích hợp để đo các âm có tần số cao và mức âm lớn

(thông thường dùng để đo mức âm cực đại của một âm phức). Mức hiệu chỉnh B là trung gian giữa A và C, rất ít khi được dùng. Ngoài ra, ta còn có thể bắt gặp một số kiểu hiệu chỉnh như kiểu D, kiểu Z, dùng cho một số mục đích đặc biệt.

Như vậy, trên các thiết bị đo mức âm thường có một nút điều chỉnh cho phép người dùng chọn mạch hiệu chỉnh A hay C. Nếu chọn mạch hiệu chỉnh A, giá trị đo xuất hiện trên đồng hồ sẽ là giá trị theo đơn vị dBA. Tương tự như vậy đối với mạch hiệu chỉnh C.

Tuy nhiên, sự kết hợp của nhiều mức âm và các dải tần khác nhau cũng có thể cho ra cùng giá trị dBA. Do đó, cách đánh giá chính xác một âm có dải tần rộng (âm phức) chỉ có thể bằng cách xét phổ âm (phổ tần số của âm đó) (Szokolay, 2008). Hình 1.12 giới thiệu phổ tần số và mức âm của một số tiếng ồn phức hợp gây ra bởi các phương tiện giao thông, đo bằng thiết bị đo sử dụng mạch hiệu chỉnh A (thang đo dBA).



**Hình 1.12.** Phổ âm và mức âm hiệu chỉnh theo mức hiệu chỉnh A của một số tiếng ồn phức hợp - phỏng theo Cavanaugh et al. (2009)

Mặc dù có những hạn chế, dBA có thể được sử dụng để dự đoán phản ứng của cộng đồng (con người) đối với các loại tiếng ồn môi trường khác nhau, bao gồm cả tiếng ồn của các phương tiện giao thông. Vì vậy, quy định về tiếng ồn sử dụng đơn vị dBA khi đo đạc. Dựa vào Hình 1.11 ta lập được bảng sau:

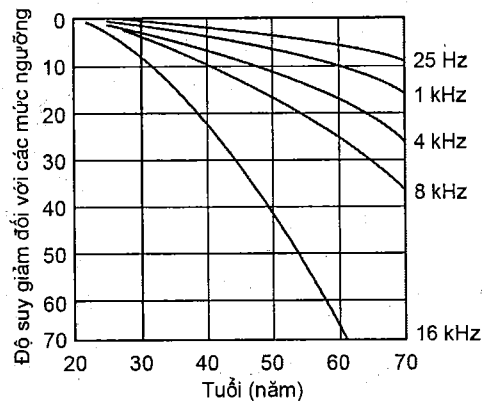
Hiệu chỉnh A (dB)							
63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
-25	-15	-8	-3	0	+1	+1	-1

## 1.7. CÁC ĐẶC ĐIỂM CẢM THỤ ÂM THANH CỦA TAI NGƯỜI

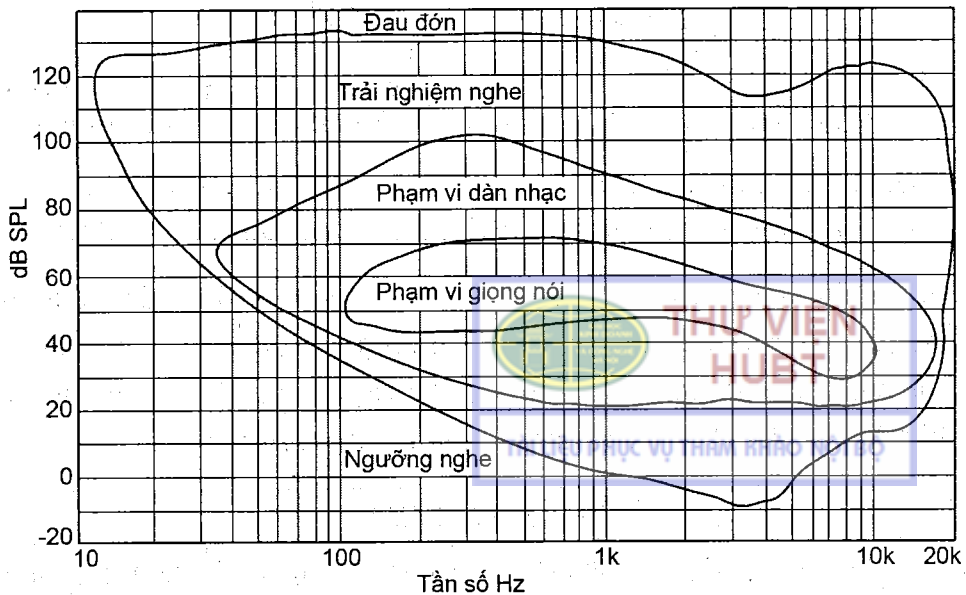
### 1.7.1. Dải âm thanh khả thính

Tai người khỏe mạnh bình thường có khả năng nghe được các âm có tần số từ 20 Hz đến 15'000 Hz. Riêng lứa tuổi thanh niên - khoảng 18 tuổi - có thể nghe được âm có tần số lên đến 20'000 Hz (Phạm, 2011). Tuổi càng cao, độ nhạy âm thanh giảm xuống, đặc biệt đối với các âm ở tần số cao (Szokolay, 2008, p. 212).

Trong dải tần số khả thính nói trên, độ nhạy của tai người cũng không đồng nhất. Tai người có xu hướng rất nhạy với các âm có tần số trong khoảng 3000 - 5000 Hz và kém nhạy với các âm có tần số thấp.



Hình 1.13. Ảnh hưởng của tuổi tác đến sự cảm thụ âm thanh



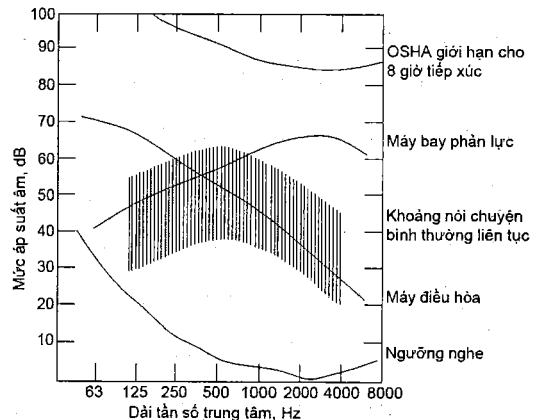
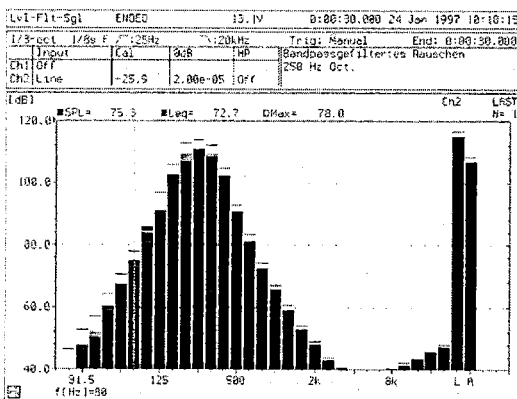
Hình 1.14. Phạm vi âm thanh nghe được đối với cơ quan thính giác

Mức áp suất (hay cường độ âm) nhỏ nhất mà tai người có thể nghe được gọi là ngưỡng nghe. Các trị số mức âm lớn nhất mà tai người có thể tiếp thu mà không bị tổn thương gọi là ngưỡng chói tai. Đối với âm chuẩn (âm đơn có tần số 1000 Hz), ngưỡng nghe và ngưỡng chói tai lần lượt vào khoảng 4 dB và 120 dB. Hình 1.14 biểu thị phạm vi âm nghe được, về cả cường độ và tần số.

### 1.7.2. Cao độ của âm thanh

Tần số âm thanh cao hay thấp sẽ quyết định việc âm nghe cao hay thấp, thanh hay trầm, trong hay rè. Tần số càng cao, âm nghe càng thanh và trong. Ngược lại tần số càng thấp âm nghe càng trầm đục. Cũng do đặc tính của tai người, âm có tần số cao thường nghe rõ hơn và tai nhạy hơn so với âm tần số thấp. Âm thanh chúng ta gặp trong cuộc sống có thể nằm trên những dải tần số khác nhau (xem Hình 1.7). Theo Phạm (2011), âm 16 - 20 Hz chỉ có thể tạo ra bởi những đại phong cầm. Nốt trầm đầu tiên của đàn Piano tạo ra âm tần số 28 Hz. Giọng nam trầm kỷ lục có thể tạo ra âm tần số 40 - 44 Hz; giọng nữ cao kỷ lục có thể lên tới 2300 Hz. Nốt cao nhất của đàn Piano là âm 8372 Hz.

### 1.7.3. Âm điệu và âm sắc



**Hình 1.15.** (Trái) Phổ âm ghi được trong một máy đo (Müller & Möser, 2013) - (Phải) Phổ âm thanh của các âm thường gặp - so với phổ âm ở ngưỡng nghe và ở ngưỡng gây nguy hại cho tai (Cavanaugh, et al., 2009)

Âm thanh có một tần số duy nhất được gọi là âm đơn. Trên thực tế chúng ta rất ít khi gặp âm đơn. Âm thoa là một trong số rất ít dụng cụ tạo âm đơn. Hầu hết các âm thanh tạo ra trong tự nhiên cũng như từ các hoạt động của con người đều là âm phức hợp (hay còn gọi là đa âm); đó là âm thanh được tạo thành từ tổ hợp vô số đơn âm có tần số khác nhau. Hình 1.15 cho ta thấy phổ tần số và mức âm

của một số âm thanh ghi được trong thực tế. Chính vì sự phối hợp của các tần số và mức âm của từng tần số mà chúng ta có thể phân biệt được các âm khác nhau, ngay cả khi chúng cùng loại (ví dụ: cùng là tiếng xe máy, tiếng người). Đó chính là sắc thái của âm thanh (hay âm sắc). Âm sắc có quan hệ chặt chẽ với cường độ, tần số, thời gian âm vang, sự hình thành và tắt dần của trường âm.

Trong một âm phức hợp, sẽ có một âm có cường độ mạnh nhất gọi là *âm cơ bản*, có tần số  $f_0$  và nhiều âm có tần số khác  $f_1, f_2, \dots$  gọi là *họa âm*. Âm cơ bản mạnh nhất, quyết định cường độ và tần số của âm, còn họa âm cho ta âm sắc của âm cơ bản. Lấy ví dụ, tiếng đàn guitar và tiếng sáo cùng chơi một nốt nhạc, như ta có cảm giác âm khác nhau do số lượng và cấu trúc của họa âm quanh âm cơ bản của chúng không giống nhau (Nguyễn, 2011). Họa âm càng nhiều, âm nghe càng “dày” và càng hay.

#### 1.7.4. Mức cảm giác to nhỏ của tai người

Mức cường độ âm, mức áp suất âm là những đại lượng vật lý khách quan, chưa hoàn toàn phản ánh đúng bản chất của sự cảm nhận âm của cơ quan thính giác người. Trên thực tế, cảm giác to nhỏ, mạnh yếu của một âm không chỉ phụ thuộc vào mức áp suất âm (hay mức cường độ âm) mà còn phụ thuộc vào phổ tần số của âm đó. Như đã biết, tai người kém nhạy hơn với những âm có tần số thấp, và rất nhạy đối với âm có tần số quanh 4000 Hz.

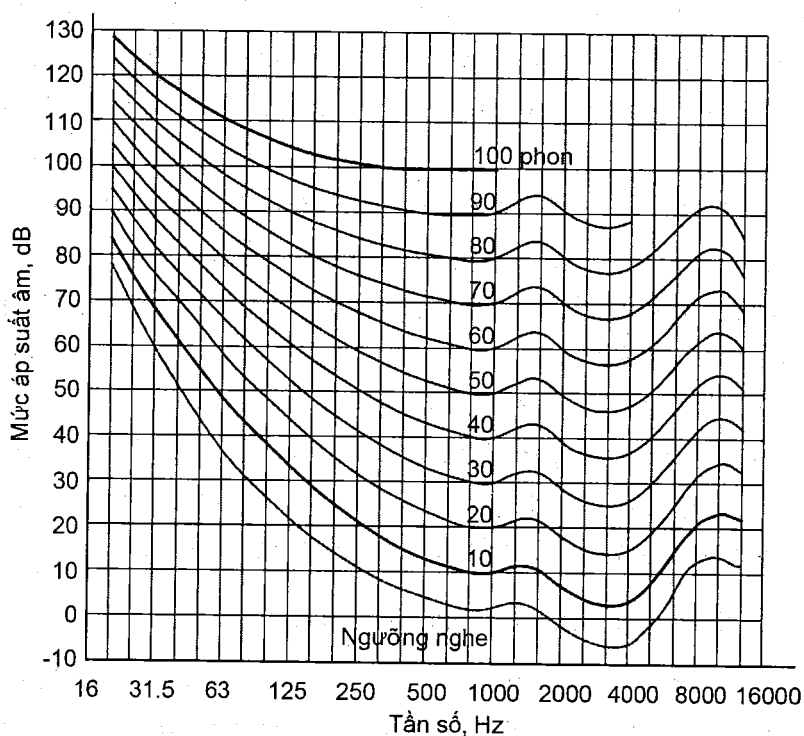
Để đặc trưng cho mức cảm giác âm to nhỏ của tai người, một đại lượng âm sinh lý được đưa ra qua 2 sự điều chỉnh như sau:

- Điều chỉnh khả năng kích thích tai người của âm thanh theo thang logarit, cho ra mức âm (thang Decibel)
- Điều chỉnh để phản ánh sự phụ thuộc của cảm giác âm của tai người với tần số, cho ra mức cảm giác âm (thang Phon)

Theo quy ước, thang đo mức cảm giác âm Phon và thang mức âm Decibel của âm chuẩn (âm đơn tần số 1000 Hz) là bằng nhau. Vậy 1 Phon chính bằng mức to của âm chuẩn, có mức áp suất âm là 1 Decibel.

Để xây dựng thang đo Phon cho các tần số khác, Fletcher và Munson (1933) đã tiến hành thực nghiệm trên một số lượng lớn thanh niên và xây dựng được các đường đồng mức Phon, sau đó được điều chỉnh nhiều lần và đưa vào tiêu chuẩn ISO 226. Độ lớn của thang Phon so với thang Decibel được thể hiện qua

Hình 1.16. Đại lượng Phon của một âm thanh cho ta biết chính xác cảm giác to nhỏ của tai người đối với âm đó như thế nào. Các đường đồng mức Phon cho ta thấy tai người kém nhạy đối với âm tần số thấp và nhạy nhất với âm ở tần số quanh 4000 Hz.



**Hình 1.16.** Các đường đồng mức độ to theo thang Phon trong tiêu chuẩn ISO 226:2003 - đề xuất đầu tiên bởi Fletcher & Munson

### 1.7.5. Khả năng định vị nguồn âm

Cơ quan thính giác của con người có khả năng định hướng vị trí nguồn phát âm dù mắt không nhìn thấy nguồn âm. Khả năng này có được là nhờ hiệu ứng của việc nghe bằng hai tai. Nếu nghe chỉ bằng một tai, khả năng này vẫn còn do tai người có cấu tạo định hướng (vành tai), nhưng hiệu quả giảm đi rất nhiều. Khả năng định vị nguồn âm của tai người có được là nhờ:

- Cấu tạo đặc biệt của vành tai;
- Với cùng một âm, âm đến hai tai tại 2 thời điểm không giống nhau do quãng đường truyền âm khác nhau;
- Với cùng một âm, cường độ, áp suất âm và âm sắc đến hai tai không giống nhau do sự nhiễu xạ khi âm vượt qua đầu.

Đối với các sóng âm có bước sóng dài (tần số thấp), sự chênh lệch cường độ do nhiễu xạ khi gặp vật cản đầu người rất bé, nhưng với âm có tần số cao, sự nhiễu xạ là đáng kể dẫn đến chênh lệch cường độ âm ở hai tai có thể lên đến 20 - 30 dB (Nguyễn, 2011).

Với khả năng định hướng nguồn âm, cơ quan thính giác con người có khả năng tập trung vào âm cần nghe và “lờ đi” các tạp âm và tiếng ồn không cần nghe. Do đó, vai trò của tiếng ồn bị giảm thiểu một cách rõ rệt. Cũng nhờ khả năng nghe có chọn lọc, con người vẫn cảm thấy tiện nghi về âm thanh ngay cả trong môi trường có mức ồn lớn nhưng đều đặn như trên tàu, xe, máy bay.

Sự quen thuộc với loại âm thanh ảnh hưởng rất lớn đến khả năng định vị nguồn âm. Với các lời nói thông thường, tai người ước chừng khoảng cách khá chính xác với khoảng cách thật tới nguồn âm. Tuy nhiên, với những âm lạ hơn (tiếng xì xào chẳng hạn), khả năng định hướng giảm đi rõ rệt. Nếu hai sóng âm cùng hòa vào một không gian, sự định vị nguồn âm sẽ phụ thuộc vào âm nào đến tai trước. Nếu không có khả năng này của hệ thính giác, con người không thể định hướng âm thanh trong phòng (Maschke & Widmann, 2013).

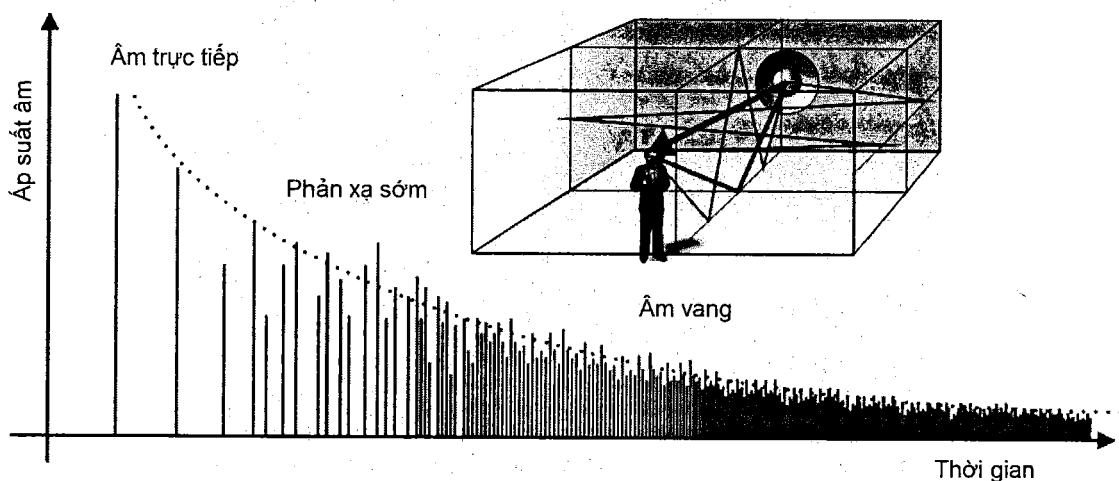
#### **1.7.6. Tính chất lưu âm của cơ quan thính giác**

Các thí nghiệm với cơ quan thính giác của con người đã cho thấy hai âm độc lập nhưng giống nhau truyền đến tai người trong khoảng 50 ms thì tai người không thể phân biệt được có âm đến trước, có âm đến sau và do đó nghe như một âm duy nhất. Đặc điểm này có được là do tính chất lưu âm của tai.

Tính chất lưu âm của tai có thể được khai thác trong thiết kế âm học phòng thính giả. Muốn âm nghe rõ nét, ví dụ âm trong giảng đường, âm trực tiếp đến từ người thuyết giảng và âm phản xạ khi đến tai người có độ trễ không quá 50 ms. Trong phòng hòa nhạc, yêu cầu chất lượng âm thường đòi hỏi thời gian âm vang lớn hơn 1 s, khi đó âm trực tiếp cần được bổ sung liên tục bằng âm phản xạ bậc 1 và âm phản xạ bậc cao nhằm kéo dài thời gian tác dụng của âm, âm nghe sẽ du dương và phong phú hơn.

Trong không khí ở nhiệt độ và áp suất bình thường, âm lan truyền với vận tốc khoảng 343 m/s. Vậy trong vòng 50 ms, âm truyền đi một quãng đường dài khoảng 17 m. Vì vậy, nếu 2 nguồn âm đồng bộ (ví dụ 2 loa chẳng hạn) được bố trí mà khoảng cách đến tai người nghe chênh lệch nhiều hơn 17 m, khả năng xảy ra hiện tượng nghe một âm mà như nghe 2 âm riêng rẽ. Tương tự, nếu quãng đường

đi của âm phản xạ lớn hơn quãng đường truyền của âm trực tiếp 17 m trở lên, hiện tượng âm lặp lại (âm sau lặp lại âm trước) sẽ có thể xảy ra (xem Hình 1.17).



*Hình 1.17. Âm trực tiếp và âm phản xạ và hiệu ứng thời gian của nó*

### 1.7.7. Hiện tượng âm thanh bị che lấp (sound masking)

Hiện tượng âm thanh bị che lấp xảy ra khi một âm cần nghe đến tai người cùng lúc với nhiều âm thanh không mong muốn khác như tiếng ồn, tiếng máy... Khi đó việc cảm thụ âm cần nghe sẽ khó khăn hơn nhiều do bị các âm không mong muốn che lấp. Hiện tượng âm thanh bị che lấp luôn có hai mặt:

- Một mặt, tiếng ồn che lấp âm cần nghe, khiến việc cảm thụ âm khó khăn. Trong các môi trường như thính phòng cần có biện pháp giảm thiểu sự che lấp âm thanh bằng các biện pháp phù hợp. Đó là các biện pháp kiểm soát tiếng ồn chủ động.

- Trong các không gian văn phòng mở, nhà ở, trong không gian công cộng, tiếng ồn tạo ra trong quá trình hoạt động của con người có thể gây khó chịu và gây mất tập trung. Lợi dụng hiện tượng che lấp âm thanh, người ta tạo ra tiếng ồn có nền ồn xấp xỉ các tạp âm cần che lấp. Khi đó môi trường âm trở nên đồng nhất hơn, tiện nghi hơn, tăng mức độ riêng tư khi nói chuyện, tăng khả năng tập trung làm việc và do đó tăng hiệu suất (xem Hình 1.18). Hiện tượng che lấp âm thanh còn được dùng trong các văn phòng quá yên tĩnh (một cây bút rơi cũng gây mất tập trung) hoặc quá ồn (có quá nhiều trao đổi miệng khiến người làm việc mất tập trung), nơi có nhiều tiếng động của thang máy, quạt, mô tơ điện..., trong các khu vực lễ tân, một số nơi công cộng.



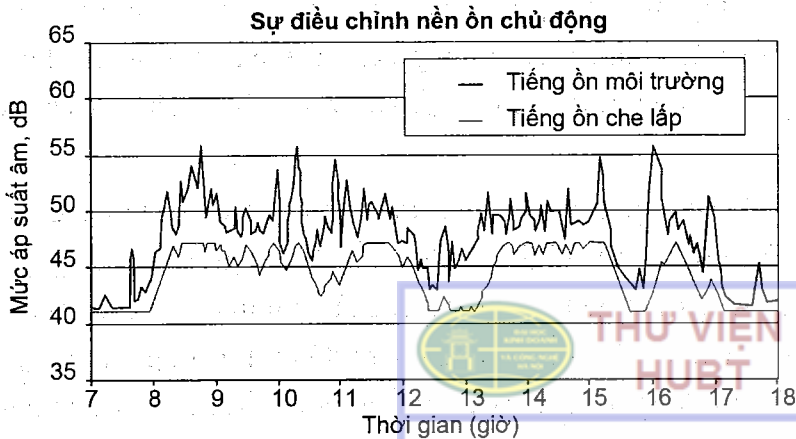
Gần 8 trên 10 nhân viên làm việc hiệu quả hơn nếu họ được cách ly khỏi tiếng ồn quá nhiều (tiếng chuyện trò, tiếng máy móc...)

Cần đảm bảo rằng người nghe được cuộc nói chuyện là những người đang nói chuyện

Bảo vệ thông tin, tăng năng suất lao động, giảm stress, cải thiện tinh thần người lao động

**Hình 1.18.** Ứng dụng của hiện tượng che lấp tiếp ồn

Hệ thống che lấp tiếng ồn (sound masking system) hoạt động một cách tự động thông qua việc tự động dò mức ồn và phát ra âm thanh che lấp với mức âm hợp lý. Hình 1.19 giới thiệu kết quả của sự vận hành một hệ thống che lấp tiếng ồn.



**Hình 1.19.** Hiệu quả của một hệ thống che lấp tiếng ồn - phỏng theo Soft dB (2016)

Kỹ thuật dùng tiếng ồn chủ động để che lấp các tiếng ồn không mong muốn là một kỹ thuật khá phổ biến. Các chi tiết về hiệu quả thực tế của kỹ thuật che lấp tiếng ồn có thể tham khảo thêm tại (Hongisto & Haapakangas, 2008).

## 1.8. SỰ LAN TRUYỀN ÂM THANH NGOÀI TRỜI

### 1.8.1. Sự suy giảm năng lượng âm theo khoảng cách

Âm thanh khi lan truyền trong không khí sẽ bị mất dần năng lượng. Sự suy giảm năng lượng này tỷ lệ thuận với khoảng cách âm lan truyền. Lý do, dao động của sóng âm bị suy giảm do bị cản trở bởi lực ma sát của các phân tử không khí (hay gọi là sự hút âm của không khí). Sự hút âm của không khí thường rất nhỏ đối với âm có tần số thấp (thấp hơn 1000 Hz), nhưng rất đáng kể với âm có tần số cao. Ví dụ, với âm tần số 8 kHz, với khoảng cách truyền âm 300 m, cường độ âm giảm  $10^{-4}$  W/m<sup>2</sup> (Szokolay, 2008).

Nếu sóng âm truyền theo mọi hướng trong không gian từ một nguồn điểm, năng lượng âm phải dàn trải trên một mặt cầu có tâm là nguồn âm. Càng xa nguồn âm, mặt cầu càng lớn, năng lượng âm càng bị dàn trải và giảm dần về giá trị không. Trong trường hợp đơn giản nhất với nguồn âm điểm có công suất âm  $P$  phát ra sóng cầu thì tại điểm cách nguồn âm  $r$  (m), cường độ sóng âm  $I_r$  (W/m<sup>2</sup>) sẽ là:

$$I_r = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (1.7)$$

Từ công thức trên, ta logarit hóa hai vế và được mối quan hệ giữa mức âm của nguồn phát  $L_p$  (dB) và mức âm  $L_r$  (dB) tại điểm cách nguồn  $r$  (m) như sau:

$$L_r = L_p - 20 \lg r - 11 \quad (1.8)$$

Nếu có 2 điểm A và B trong không gian cách nguồn âm lần lượt là  $r_1$  và  $r_2$  thỏa mãn  $r_2 = 2 r_1$ . Theo công thức (1.8), độ chênh lệch mức âm tại A và B sẽ là:

$$\Delta L = 20 \lg r_2 - 20 \lg r_1 = 20 \lg \frac{r_2}{r_1} = 20 \lg 2; 6 \text{ dB}$$

Như vậy, nếu khoảng cách đến nguồn âm điểm tăng lên 2 lần, mức âm sẽ giảm 6 dB. Đây là mức giảm có thể cảm nhận được bằng tai người. Với mọi nguồn âm, nếu khoảng cách đủ lớn thì có thể coi nguồn âm là nguồn điểm. Tuy nhiên trong một số trường hợp, nguồn âm có thể coi là nguồn đường. Ví dụ, tiếng ồn phát ra từ một đường cao tốc tập nập xe chạy, hay tiếng ồn của một đoàn tàu hỏa dài có thể coi là những nguồn đường. Trong trường hợp nguồn đường, sóng âm sẽ là những mặt sóng trụ có trục là nguồn âm. Với nguồn âm là nguồn đường, mức suy giảm cường độ âm theo khoảng cách có quan hệ:

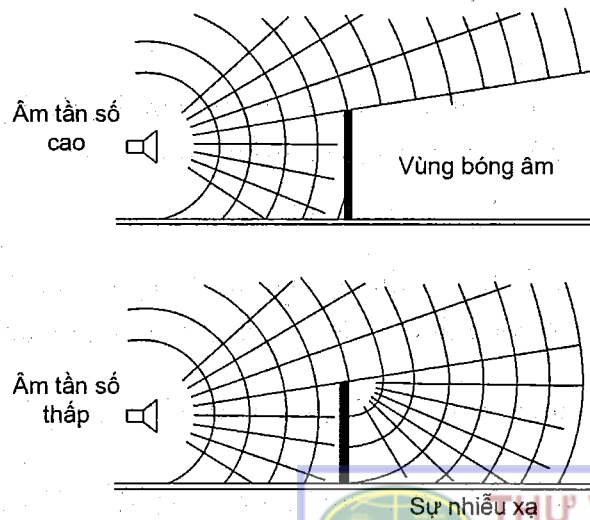
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad (1.9)$$

Do đó, chênh lệch mức âm tại 2 khoảng cách  $r_1$  và  $r_2$  là:

$$\Delta L = 10 \lg \frac{r_2}{r_1} \quad (1.10)$$

Theo công thức này, mức âm sẽ giảm đi 3 dB nếu khoảng cách truyền âm tăng lên 2 lần, tức  $r_2/r_1 = 2$ . Công thức về sự giảm năng lượng khi truyền âm trong không khí cho những trường hợp phức tạp hơn và tổng quát hơn có thể xem trong tài liệu (Rossing, 2007; Müller & Möser, 2013).

Trong khi truyền âm, nếu mặt sóng âm gặp vật cản (chẳng hạn một bức tường hay màn chắn), sóng âm vẫn tiếp tục lan truyền qua đầu của vật cản, nhưng phần không gian sau lưng vật cản sẽ có *bóng âm*. Hiện tượng này rất rõ khi âm có tần số cao (tương tự như sóng ánh sáng). Nhưng với sóng âm tần số thấp, hiện tượng nhiễu xạ xảy ra theo nguyên lý Huyghen và biến vật cản trở thành nguồn phát âm thứ cấp (Koenigsberger, et al., 1973). Hiện tượng này được mô tả trong Hình 1.20.



**Hình 1.20.** Sự truyền âm ngoài trời khi gặp vật cản - phỏng theo Koenigsberger et al. (1973)

### 1.8.2. Mức âm tổng hợp của nhiều nguồn âm tác dụng đồng thời

Nếu 2 hay nhiều nguồn âm cùng hòa lẫn trong một trường âm, tại một điểm bất kỳ trong trường âm đó, cường độ âm và áp suất âm sẽ tăng lên, nhưng ở các mức độ khác nhau:

$$I = I_1 + I_2 \text{ và } P = \sqrt{P_1^2 + P_2^2} \quad (1.11)$$

Do đó, mức âm tổng hợp sẽ là:

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \frac{I_1 + I_2}{I_0} \quad (1.12)$$

Vậy nếu có  $n$  nguồn âm đồng bộ có mức âm  $L$  cùng truyền tới 1 điểm, theo công thức (1.12) mức âm tổng hợp sẽ là  $L_{\Sigma} = L + 10 \lg n$ . Nếu  $n = 2$ , mức âm tổng cộng tăng thêm 3 dB.

Nếu 2 nguồn âm có mức âm khác nhau  $L_1$  và  $L_2$ , mức âm tổng hợp sẽ là:

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \left( 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} \right) \quad (1.13)$$

Trong trường hợp có nhiều nguồn âm khác nhau cùng tác dụng, mức âm tổng hợp sẽ được tính bằng cách cộng từng cặp nguồn âm với nhau theo công thức (1.13). Đơn giản hơn, nếu biết áp suất âm của từng nguồn âm, ta có thể cộng trực tiếp các nguồn âm theo công thức sau:

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \left( \frac{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}{p_0^2} \right) \quad (1.14)$$

Bởi vì decibel là giá trị logarit, chúng không thể cộng các giá trị theo kiểu cộng đại số thông thường. Ví dụ: khi giá trị decibel của 2 nguồn âm khác nhau từ 0 đến 1 dB, 3dB sẽ được cộng vào giá trị cao hơn để xác định mức âm kết hợp. Vì vậy, mức âm kết hợp của 2 violin chơi ở mức cường độ âm 60 dB sẽ là 63 dB. Bảng 1.1 được sử dụng để tính nhanh mức cường độ âm kết hợp.

**Bảng 1.1. Cộng trừ nhanh mức âm của 2 nguồn âm**

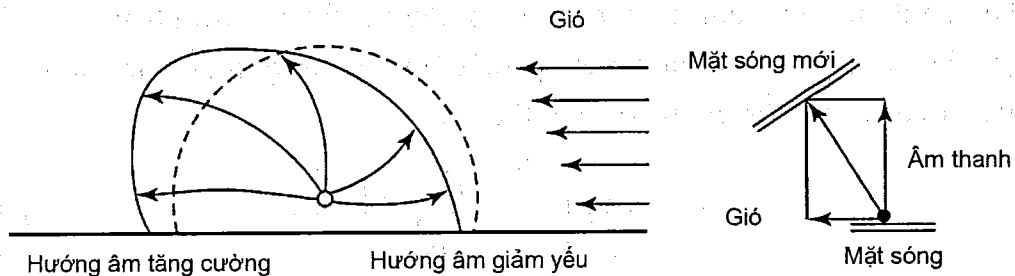
<i>dB khác nhau giữa 2 nguồn âm</i>	<i>dB cộng thêm vào nguồn âm mạnh hơn</i>
0 hay 1	3
2 hay 3	2
4 đến 8	1
> = 9	0

Khi nhiều giá trị decibel được cộng, sử dụng bảng trên để tìm giá trị kết hợp của từng 2 giá trị decibel với nhau lần lượt.

### 1.8.3. Ảnh hưởng của gió và nhiệt độ đến sự lan truyền âm thanh

Bản thân gió là sự chuyển dịch của các khối không khí, do đó gió tạo nên sự chuyển động của các phần tử trong không khí, làm thay đổi cấu trúc sóng âm và hướng lan truyền của sóng âm. Gió mạnh và chuyển động rối có thể làm biến dạng âm thanh.

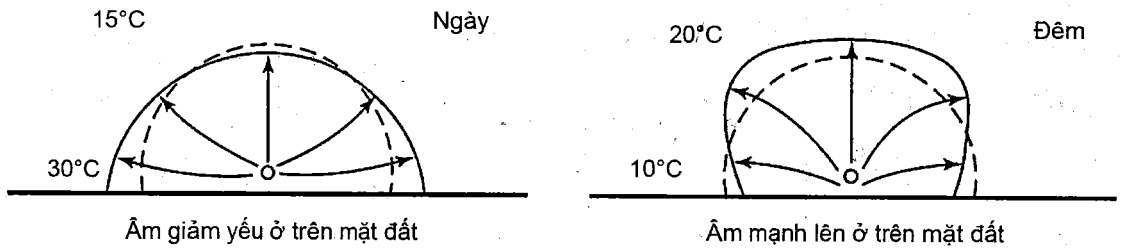
Gió thường được đặc trưng bởi vận tốc và cấu trúc rối (turbulence). Ở gần mặt đất, vận tốc của gió tăng dần theo chiều cao theo quy luật hàm số logarit (ASHRAE, 2009). Do đó, nếu sóng âm thanh xuôi theo chiều gió, nó có xu hướng đi nhanh hơn và hướng xuống đất. Ngược lại, sóng âm sẽ hướng lên trên và sự lan truyền bị chậm lại khi đi ngược gió (Hình 1.21).



**Hình 1.21.** Ảnh hưởng của gió đến sự lan truyền âm thanh trong không khí - phỏng theo Koenigsberger et al. (1973)

Gió còn làm thay đổi mức âm tùy theo hướng của âm thanh và hướng gió. Mức âm thuận theo chiều gió có thể lớn gấp 2 đến 3 lần mức âm ngược chiều gió (Phạm, 2011).

Sự biến thiên nhiệt độ theo chiều cao cũng có ảnh hưởng đến sự truyền âm do âm thanh truyền nhanh hơn trong điều kiện nhiệt độ cao. Sự phân bố nhiệt độ không khí ở gần mặt đất thường có sự thay đổi do bức xạ nhiệt. Ban ngày, gần mặt đất không khí có nhiệt độ cao hơn do mặt đất bị đốt nóng bởi bức xạ mặt trời. Ban đêm mặt đất bức xạ nhiệt ra không trung khiến nhiệt độ không khí gần mặt đất hạ thấp hơn không khí trên cao. Sự biến thiên nhiệt độ không khí khiến sự truyền âm cũng khác nhau giữa ngày và đêm. Hình 1.22 chỉ rõ những ảnh hưởng này.



**Hình 1.22.** Ảnh hưởng của nhiệt độ không khí đến sự truyền âm  
- phỏng theo Koenigsberger et al. (1973)

## 1.9. CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG 1

### Câu hỏi trọng tâm:

1. Âm thanh là gì? Âm đơn là gì? Đối với âm đơn, nêu các đại lượng vật lý quan trọng đặc trưng của nó?
2. Tần số của sóng âm là gì? Dải âm thanh mà tai người nghe được là gì? Siêu âm là gì? Hạ âm là gì? Dải octave là gì? Có những dải octave phổ biến nào?
3. Giải thích vì sao phải sử dụng thang Decibel. Định nghĩa thang đo Decibel. Ngưỡng nghe và ngưỡng chói tai bằng bao nhiêu?
4. Thang đo dBA, dBB, dBC là gì? Hai âm có cùng giá trị đo theo thang dBA thì nghe có giống nhau hay không? Tại sao?
5. Đặc tính về cao độ âm và âm sắc được quyết định bởi những yếu tố chủ đạo nào? Thế nào là âm cơ bản và họa âm?
6. Nhờ đâu mà cơ quan thính giác của con người có thể định hướng và định vị được nguồn âm. Khả năng định vị đó phụ thuộc vào yếu tố nào của âm thanh?
7. Hiện tượng âm thanh bị che lấp là gì? Nêu những mặt có lợi và mặt không có lợi của hiện tượng này. Ứng dụng?

### Bài tập ôn:

**Bài tập 1:** Quy đổi mức âm sang dBA từ mức âm dB trong dải tần số từ 125 Hz đến 4000 Hz.

Gợi ý:

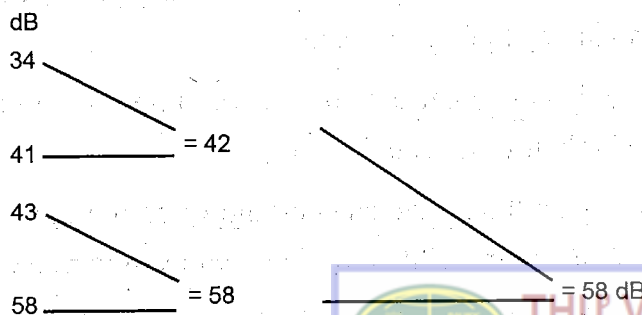
Tần số (Hz)	Mức âm (dB)	Hiệu chỉnh A (dB)	Hiệu chỉnh (dB)	Cộng dB	Cộng dB	Mức âm (dBA)
125	74	-15	59			
250	68	-8	60	63		
500	64	-3	61			
1000	65	+0	65	66	68	
2000	57	+1	58			71
4000	67	+1	68	68		

**Bài tập 2:** Ứng dụng thang đo Phon, hãy so sánh cảm giác về độ lớn của hai âm: một âm tần số 250 Hz và một âm tần số 1000 Hz có cùng mức áp suất âm là 50 dB

*Gợi ý:* theo Hình 1.16, âm tần số 1000 Hz nghe to hơn do có mức cảm giác âm là 50 Phon, so với 40 Phon của âm 250 Hz. Muốn âm 250 Hz nghe to như âm 1000 Hz cần tăng mức áp suất âm lên 59 dB.

**Bài tập 3:** Tìm mức âm kết hợp của các âm 34 dB, 41 dB, 43 dB và 58 dB.

*Gợi ý:* Cộng từng cặp âm để được giá trị mức âm tổng hợp



**Bài tập 4:** Tìm mức âm kết hợp của 82 dB, 101 dB, 106 dB và 102 dB, 90 dB và 78 dB.

*Gợi ý:* Sử dụng các thứ tự khác nhau để tìm mức âm kết hợp có thể cho kết quả khác nhau khoảng 1 dB, nằm trong khoảng không phân biệt được của tai người. Tuy nhiên, để đạt được kết quả chính xác hơn, ta có thể kết hợp bằng công thức hàm số logarit như trình bày ở mục 1.8.2.

**Bài tập 5:** Có 76 kèn trombone chơi với mức cường độ âm  $L_I$  là 80 dB cho mỗi kèn. Tính mức cường độ âm tổng hợp.

*Gợi ý:*

$$L_I = 80 + 10 \log 76 = 80 + 10 \times 1.88 = 99 \text{ dB cho 76 kèn trombone.}$$

**Bài tập 6:** Ta cần phải trừ giá trị decibel để tìm tiếng ồn từ máy in nếu mức ồn đo đạc trong phòng máy tính là 80 dB và mức ồn nền khi máy in tắt là 73 dB.

*Gợi ý:* Bảng 1.1 cũng có thể sử dụng để trừ giá trị decibel. Theo bảng, vì hai mức ồn chênh lệch nhau là 7 dB, như vậy mức ồn của máy in sẽ trừ 1 dB từ giá trị cao hơn. Vì vậy, tiếng ồn của một mình máy in sẽ là  $80 - 1 = 79$  dB.

**Bài tập 7:** Cho vận tốc truyền âm trong không khí là 343 m/s. Hỏi với 2 âm riêng rẽ (phát cùng một lúc) có đường độ dài truyền âm đến tai khác nhau là  $l_1 = 120$  m và  $l_2 = 145$  m, tai nghe như một âm hay hai âm, vì sao?

*Gợi ý:* tính thời gian truyền âm từ nguồn đến tai nghe. So sánh chênh lệch của 2 thời gian tìm được với mức 50 ms và đưa ra kết luận.

**Bài tập 8:** Cho một nguồn âm điểm phát âm đơn. Cách nguồn âm 100 m đo được mức âm là 45 dB. Hỏi tại một điểm cách nguồn âm 400 m, mức âm đo được là bao nhiêu? Coi năng lượng âm chỉ giảm do khoảng cách.

*Gợi ý:* Áp dụng nguyên lý suy giảm năng lượng âm theo khoảng cách: đối với nguồn điểm, khi khoảng cách tăng lên hai lần, mức âm giảm xuống 6 dB, từ đó tính được mức âm tại khoảng cách 200 m và 400 m.

**Bài tập 9:** Cho một nguồn âm là nguồn đường phát ra âm đơn. Cách trục nguồn âm 50 m mức âm là 45 dB. Hỏi tại một điểm cách trục nguồn âm 200 m, mức âm đo được là bao nhiêu? Coi năng lượng âm chỉ giảm do khoảng cách.

*Gợi ý:* Áp dụng nguyên lý suy giảm năng lượng âm theo khoảng cách: đối với nguồn đường, khi khoảng cách tăng lên hai lần, mức âm giảm xuống 3 dB, từ đó tính được mức âm tại khoảng cách 100 m và 200 m.

**Bài tập 10:** Cho 2 nguồn âm lần lượt phát âm đơn có mức âm đo được tại điểm A đều là 40 dB, hỏi nếu 2 nguồn đó phát âm đồng thời thì mức âm tổng hợp tại A là bao nhiêu? Nếu có 4 nguồn như vậy thì mức âm tổng hợp là bao nhiêu?

*Gợi ý:* Hai âm có mức âm bằng nhau sẽ có mức âm tổng hợp tăng lên 3 dB.

# TÀI LIỆU THAM KHẢO CHƯƠNG 1

1. ASHRAE, 2009. ASHRAE handbook of Fundamentals. Atlanta GA: ASHRAE, Inc..
2. Augspurger G., 1985. Theory, ingenuity, and wishful wizardry in loudspeaker design-A half-century of progress?. Acoustical Society of America, p. 1303-1308.
3. Baśs H. & Cavanaugh W., 2004. ASA at 75. Acoustical Society of America.
4. Beranek L., 1996. Concert and Opera Halls, How They Sound. Acoustical Society of America.
5. Beranek L. L., 1962. Music, Acoustics and Architecture. New York: Wiley.
6. Beyer R., 1999. Sounds of Our Times. New York: Springer.
7. Cavanaugh W. J., Tocci G. C. & Wilkes J. A., 2009. Architectural acoustics: principles and practice. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons Incorporated, pp. 1-54.
8. Conklin Jr H., 1996. Design and tone in the mechanoacoustic piano. Acoustical Society of America, pp. 1286-1298.
9. Fant G., 1960. Acoustical Thoery of Speech Production. Hague: Mouton.
10. Filippi P., Bergassoli A., Habault D. & Lefebvre J. P., 1998. Acoustics: basic physics, theory, and methods. Elsevier: Academic Press.
11. Fletcher H. & Munson W. A., 1933. Loudness, its definition, measurement and calculation. The journal of the acoustical society of America, 5(2), pp. 82-108.
12. Gade A., 1989. Acoustical survey of eleven European concert halls - a basic for discussion of halls in Denmark, The acoustics laboratory, Technical University of Denmark.
13. Gade A. C., 2010. Acoustics for Symphony Orchestras; status after three decades of experimental research. Kỷ yếu Hội nghị ISRA 2010, Melbourne.
14. Greensladejr T., 1992. The Acoustical Apparatus of Rudolph Koenig. The Phys. Teacher, p. 518-524.

15. Helmholtz H. V., 1856. On sensations of tone. Courier Corporation.
16. Helmholtz H. V., 1862. Die Lehre von den Tonempfindungen. New York: Longmans.
17. Helmholtz H. V., 1954. On the sensation of tone. New York: Vieweg.
18. Hongisto V. O. & Haapakangas, A., 2008. Effect of sound masking on workers in an open office. Paris, Société Française d'Acoustique, pp: 537-542.
19. Hunt F., 1992. Origins in Acoustics. Acoustical Society of America.
20. Knudsen V. O., 1932. Architectural Acoustics. New York: Wiley.
21. Knudsen V. O. & Harris, C. M., 1950. Acoustical Designing in Architecture. New York: John Wiley and Sons.
22. Koenigsberger O. H., Ingersoll T. G., Mayhew A. & Szokolay S. V., 1973. Manual of tropical housing and building. 1st ed. New York: Longman publisher.
23. Ladefoged P., 2004. The study of speech communication. Acoustical Society of America.
24. Licklider J., 1951. Basic correlates of the auditory stimulus. New York: Willey.
25. Lindsay R., 1973. Acoustics: Historical and Philosophical Development. Translation of Sauveur, p. 88.
26. Maschke C. & Widmann U., 2013. The Effects of Sound on Humans. Berlin, Springer, pp. 69-86.
27. Moore B., 1993. Frequency analysis and pitch perception. New York: Springer.
28. Müller G. & Möser M., 2013. Handbook of Engineering Acoustics. Berlin: Springer.
29. Nguyễn Ngọc Giả, 2011. Cơ sở âm học kiến trúc - Thiết kế chất lượng âm. Hà Nội: Nhà xuất bản Xây dựng.
30. Phạm Đức Nguyên, 2011. Âm học kiến trúc, âm học đô thị. Hà Nội: Nhà xuất bản Xây dựng.
31. Rossing T., 2000. The Science of Percussion Instruments. Singapore: World Scientific.
32. Rossing T. D., 2007. Springer handbook of acoustics. Berlin: Springer.

33. Rossing T., Moore F. & Wheeler P., 2002. Science of Sound, 3rd ed. San Francisco: Addison-Wesley.
34. Sabine W., 1964. Reverberation. The American Architect. Collected Papers on Acoustics, pp.3-68.
35. Sachs M., 2004. The History of Physiological Acoustics. Acoustical Society of America.
36. Soft dB, 2016. Soft dB - Sound masking [Online]. Available at: <https://www.softdb.com/sound-masking/documents/>, [Accessed 03 10 2013]
37. Szokolay S. V., 2008. Introduction to architectural science. Oxford: Elsevier Science.
38. Wegel R. & Lane C., 1924. The auditory masking of one pure tone by another and its probable relation to the dynamics of the inner ear. Phys. Rev. 23, p. 266-285.



## VẬT LIỆU VÀ KẾT CẤU DÙNG TRONG THIẾT KẾ TRANG ÂM

---

### TÓM TẮT NỘI DUNG CHÍNH

Chương 2 xoay quanh chủ đề vật liệu và kết cấu âm học sử dụng trong phòng thu, vốn gồm 2 nhóm chủ yếu:

- Nhóm vật liệu và kết cấu hút âm;
- Nhóm vật liệu và kết cấu tán xạ âm.

Đối với nhóm thứ nhất, bạn đọc cần nắm được khái niệm hệ số hút âm (tương ứng với từng tần số) và cách tính tổng lượng hút âm (xem bài tập 1 - chương 2) của vật liệu trong phòng. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của ba nhóm vật liệu và kết cấu hút âm cơ bản cũng cần được hiểu rõ.

Đối với nhóm thứ hai, bạn đọc cần phân biệt được khái niệm hệ số khuếch tán âm và hệ số tán xạ âm (xem kỹ Phụ lục A). Ngoài ra các hình thức tạo ra các bề mặt tán xạ âm và ứng dụng của chúng cũng cần được quan tâm.

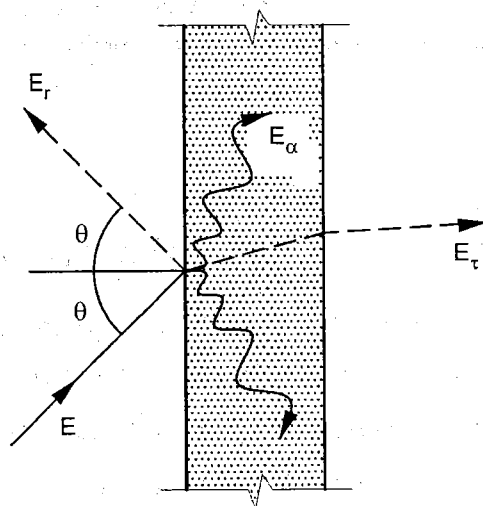
Cuối cùng bạn đọc cần nắm rõ nguyên tắc: vật liệu hút âm sẽ làm suy giảm năng lượng âm, còn vật liệu khuếch tán âm duy trì năng lượng âm và phân tán chúng đều trong phòng. Do đó ứng dụng của chúng sẽ gắn liền với đặc điểm này. Những phòng nghe âm trực tiếp thường hạn chế sử dụng vật liệu hút âm và thay vào đó là vật liệu phản xạ âm và khuếch tán âm.

Nhìn chung vật liệu hút âm và tán xạ âm (nếu có) cần được bố trí phân tán đồng đều và được kết hợp một cách hài hòa sẽ mang lại chất lượng âm tốt.

Khoa học về vật liệu và kết cấu hút âm rất rộng và phức tạp và có nhiều ứng dụng trong thực tiễn. Nội dung của chương này chủ yếu gói gọn trong việc giới thiệu về các tính chất và nguyên lý cơ bản của vật liệu và kết cấu dùng trong xử lý âm thanh trong các phòng thính giả và phòng thu âm.

## 2.1. ĐẶC TRƯNG HÚT ÂM CỦA VẬT LIỆU

Khi sóng âm lan truyền trong môi trường, nếu gặp một vật cản, một phần sóng âm phản xạ tại bề mặt vật cản trở lại môi trường, một phần xuyên qua vật để tiếp tục lan truyền và phần còn lại bị tiêu hao trong bản thân vật cản. Để đặc trưng cho 3 khả năng phản xạ âm thanh, hút âm và để cho âm xuyên qua của vật liệu, người ta dùng các hệ số phản xạ  $r$ , hệ số hấp thu  $\alpha$  và hệ số xuyên qua  $\tau$  ( $r + \alpha + \tau = 1$ ).



*Hình 2.1. Sự tương tác của sóng âm với một bức tường ngăn - phỏng theo Rossing (2007)*

Trong âm học phòng kín, phần năng lượng âm bị hấp thu trong vật liệu, kết cấu và phần năng lượng âm bị thất thoát ra ngoài sau khi xuyên qua vật liệu, kết cấu gọi là âm bị hút (hay là phần năng lượng âm không phản xạ trở lại vào trong phòng). Năng lượng âm bị tiêu tán trong bản thân vật liệu và kết cấu mà không hồi phục trở lại là do những nguyên nhân sau đây:

- Đối với vật liệu và kết cấu có độ rỗng: sóng âm ma sát với các khe hở và lỗ trống sinh ra nhiệt trong kết cấu, năng lượng âm bị tiêu hao. Đồng thời không khí bị nén giãn liên tục trong các lỗ rỗng, nên cũng nóng lên.

- Sóng âm tạo áp suất thay đổi trên bề mặt vật liệu, kết cấu, cưỡng bức chúng dao động theo sóng âm. Năng lượng âm phải tiêu hao để thắng lực đàn hồi của vật liệu và kết cấu. Khi kết cấu dao động, năng lượng cơ chuyển dần thành năng lượng nhiệt. Năng lượng âm khi biến thành nhiệt năng thì được coi là phần năng lượng âm bị “bị mất đi”.

- Bản thân vật liệu và kết cấu dao động có thể sẽ lan truyền dao động sang các thành phần khác của công trình mà không trở thành năng lượng âm quay lại phòng.

Hệ số hút âm  $\alpha$  của vật liệu có giá trị từ 0 đến 1. Trên lý thuyết, hệ số hút âm bằng 0 nghĩa là vật liệu hoàn toàn phản xạ sóng âm; và bằng 1 nghĩa là vật liệu hấp thu toàn bộ sóng âm tới. Trên thực tế  $0 < \alpha < 1$ . Hệ số hút âm thay đổi theo tần số âm thanh và theo cả góc tới của tia sóng âm thanh. Vật liệu hút âm thông thường xốp rỗng, có hệ số hút âm tăng dần theo tần số. Thông thường khả năng hút âm với tần số thấp là rất hạn chế, đặc biệt là âm có tần số thấp hơn 250 Hz. Do đó có những loại vật liệu và kết cấu được đặc chế để hút âm cho tần số thấp (sẽ được giới thiệu trong phần sau). Bảng 2.1 giới thiệu hệ số hút âm và hệ số giảm tiếng ồn của một số loại vật liệu thường gặp trong thực tế, tương ứng với từng dải octave tần số âm.

Trong hầu hết các trường hợp, để tiện cho việc tính toán, hệ số hút âm của vật liệu được đặc trưng bởi 1 giá trị duy nhất (trung bình đại số của hệ số hút âm đối với các tần số âm 250, 500, 1000, và 2000 Hz). Giá trị hút âm này được định nghĩa trong tiêu chuẩn C423 của Hiệp hội thí nghiệm và vật liệu Hoa Kỳ là *hệ số giảm tiếng ồn* (Noise reduction coefficient - NRC) - xem cột ngoài cùng bên phải của Bảng 2.1. Hệ số giảm tiếng ồn được tính như sau:

$$NRC = \frac{\alpha + \tau}{r + \alpha + \tau} \quad (2.1)$$

Trong tính toán thiết kế âm học phòng, hệ số hút âm  $\alpha$  của vật liệu hay kết cấu hút âm thường được coi như đồng nhất với *NRC*.

**Bảng 2.1. Hệ số hút âm và hệ số giảm ồn của một số chất liệu (Rossing, 2007)**

Vật liệu	125 Hz	250	500	1000	2000	4000	Hệ số giảm ồn
Tường sơn - khô	0.10	0.08	0.05	0.03	0.03	0.03	0.05
Vữa trát	0.02	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03	0.05
Bê tông nhẵn	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08	0.05
Bê tông xù xì	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25	0.35
Gạch nung - nhẵn	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.05
Kính	0.05	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.05
Gỗ ván ép	0.58	0.22	0.07	0.04	0.03	0.07	0.10
Các tấm chóp kim loại	0.06	0.05	0.07	0.15	0.13	0.17	0.10
Bản dày	0.25	0.47	0.71	0.79	0.81	0.78	0.70

**Bảng 2.1 (tiếp theo)**

<i>Vật liệu</i>	<i>125 Hz</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>	<i>2000</i>	<i>4000</i>	<i>Hệ số giảm ồn</i>
Vải mỏng	0.03	0.04	0.11	0.17	0.24	0.35	0.15
Vải dày	0.14	0.35	0.55	0.72	0.70	0.65	0.60
Ống cộng hưởng Helmholtz	0.2	0.95	0.85	0.49	0.53	0.50	0.70
Gạch men	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00
Linoleum (vật liệu trải sàn)	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.05
Thảm	0.02	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.15
Thảm trên mặt Bê tông	0.05	0.10	0.15	0.30	0.50	0.55	0.25
Thảm trên mặt cao su	0.05	0.15	0.13	0.40	0.50	0.60	0.30
Ghế bọc nệm mút	0.19	0.37	0.56	0.67	0.61	0.59	0.55
Ghế có người ngồi	0.39	0.57	0.80	0.94	0.92	0.87	0.80
Mặt nước	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.00
Mặt đất	0.15	0.25	0.40	0.55	0.60	0.60	0.45
Cỏ	0.11	0.26	0.60	0.69	0.92	0.99	0.60
Sợi gỗ phun (dày 1 inch)	0.08	0.29	0.75	0.98	0.93	0.76	0.75

Giá trị trung bình trong Bảng 2.1 được sử dụng khi âm thanh có tần số trong khoảng 200 - 2000 Hz. Ngoài dải tần số này - nhất là đối với tần số thấp, chúng ta cần xác định những hệ số hút âm cụ thể đối với từng tần số. Vật liệu có hệ số hút âm nhỏ hơn 0.2 được coi là vật liệu phản xạ âm, trong khi hệ số hút âm lớn hơn 0.4 được coi là vật liệu hút âm. Trong các trường hợp cần hút âm mạnh, những vật liệu và kết cấu có độ hút âm mạnh hơn sẽ được dùng.

Trong âm học kiến trúc, hút âm và phản xạ âm là 2 khả năng quan trọng của vật liệu cần được nghiên cứu kỹ. Sự phân bố các vật liệu, kết cấu hút âm và phản xạ âm trong phòng có ảnh hưởng trực tiếp đến trường âm, thời gian âm vang, cấu trúc âm thanh và tần số, độ ồn của phòng... hay nói khác đi là chất lượng âm trong phòng.

Khi thiết kế âm học, chúng ta thường quan tâm đến việc duy trì năng lượng âm trong phòng và đưa âm đến tai người nghe một cách hợp lý. Trong thiết kế chống ồn, người ta lại quan tâm đến việc triệt tiêu năng lượng âm một cách tối đa. Cả hai việc đều đòi hỏi có những kiến thức về vật liệu và kết cấu hút âm.

## 2.2. CÁC LOẠI VẬT LIỆU VÀ KẾT CẤU HÚT ÂM

Vật liệu và kết cấu hút âm rất đa dạng, ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khoa học và thực tiễn khác nhau. Trên quan điểm âm học nói chung, theo Müller và Möser (2013), vật liệu và kết cấu hút âm có thể được chia ra một số nhóm chính như sau:

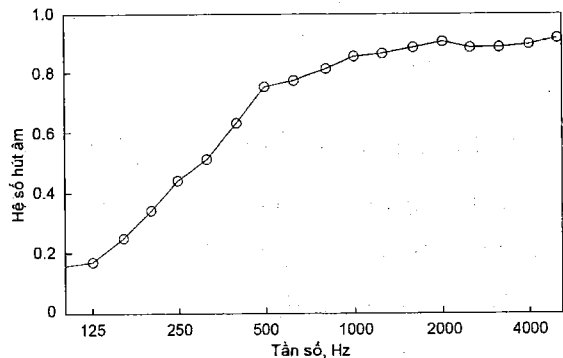
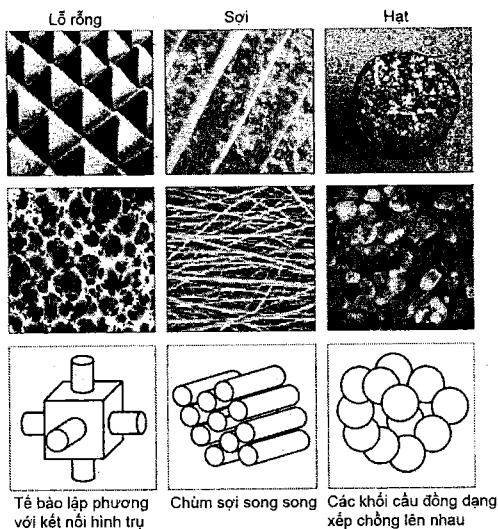
- Vật liệu hút âm thụ động (vật liệu xốp, rỗng, sợi...);
- Vật liệu hút âm có tính tương tác với trường âm trong phòng kín (reactive absorbers in closed spaces);
- Kết cấu hút âm dạng tấm;
- Kết cấu hút âm dạng tấm có đục lỗ;
- Tiêu âm bằng cách gây nhiễu (Interference Silencers) - nguyên lý hoạt động tương tự như cấu trúc tiêu âm ống xả động cơ đốt trong;
- Ống hút âm chủ động (sử dụng con lắc cơ-điện tử);
- Tấm hút âm đục lỗ nhỏ (Micro-Perforated Absorbers);
- Các loại vật liệu và kết cấu hút âm phức hợp (Highly Integrated Absorbers).

Đứng ở góc độ âm học kiến trúc, người thiết kế quan tâm đến việc kiểm soát trường âm trong phòng là chủ yếu, do đó, nhiều trong số các phương pháp kể trên không hoặc ít phù hợp cho ứng dụng âm học kiến trúc. Các phần tiếp theo của chương này sẽ giới thiệu những vật liệu và kết cấu hút âm cơ bản hay dùng trong thiết kế trang âm kiến trúc.

### 2.2.1. Vật liệu hút âm xốp

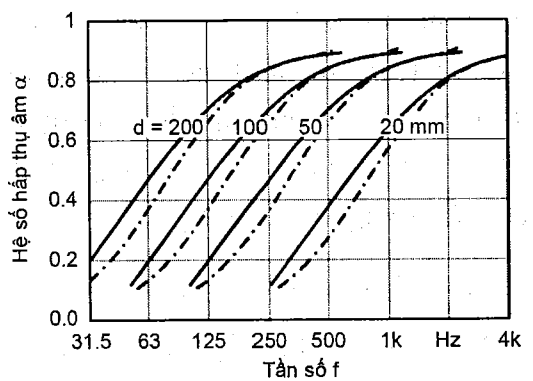
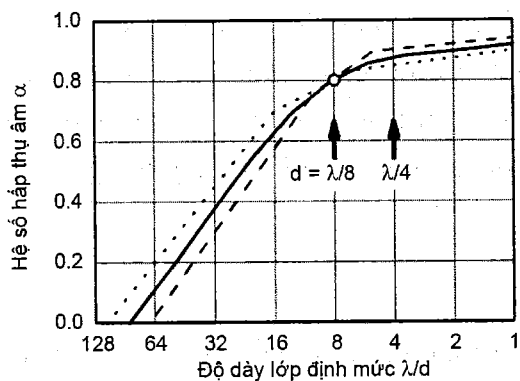
Vật liệu hút âm xốp rỗng thường là những loại vật liệu dạng sợi, có cấu trúc có nhiều khoảng hở mà không khí có thể len lỏi vào trong khối vật liệu. Khi sóng âm tới gây áp suất không khí trên bề mặt vật liệu bị thay đổi liên tục cường độ không khí chuyển động trong các khoảng rỗng của vật liệu. Quá trình này gây tiêu hao năng lượng dao động (âm thanh) thành nhiệt năng do ma sát là chính.

Các loại bông khoáng, sợi thủy tinh, các sản phẩm dệt, các sản phẩm gốc thực vật (xơ dừa, dăm bào ép, mùn cưa, rơm rạ...) là những vật liệu có khả năng hút âm tốt, nhất là các âm có tần số cao và trung. Hình 2.2 giới thiệu các nhóm vật liệu hút âm chính và đặc tính hút âm của chúng.



**Hình 2.2.** Ba loại vật liệu hút âm xốp rỗng (trái) và đường đặc tính hút âm của vật liệu làm từ sợi gai dầu (phải) - phỏng theo Arenas & Crocker (2010)

Khả năng hút âm thường đạt giá trị cao nhất khi chiều dày lớp vật liệu xốp tiệm cận bước sóng âm. Khi chiều dày vật liệu tăng lên, khả năng hút âm cũng tăng lên nhưng chủ yếu đối với các âm có tần số thấp (Phạm, 2011) (xem Hình 2.3).



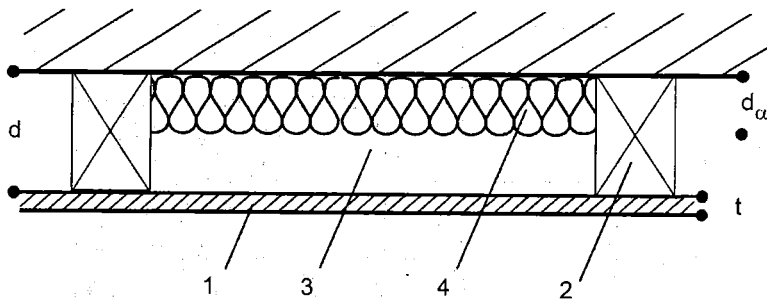
**Hình 2.3.** Mối quan hệ giữa khả năng hút âm của vật liệu với bước sóng âm  $\lambda$  và chiều dày bản vật liệu  $d$  - phỏng theo Müller & Möser (2013)

Thông thường, để sử dụng các vật liệu rỗng xốp hút âm, người ta thường chế tạo chúng thành các tấm panel có quy cách đa dạng (30 cm × 30 cm, 50 cm × 50 cm...), bề mặt được phủ sơn, vải hay nhựa tổng hợp có đục lỗ và dùng chúng để hoàn thiện nội thất thính phòng. Các vật liệu phủ ngoài vật liệu xốp rỗng vừa có chức năng thẩm mỹ, vừa để chống cháy, chống tác động vật lý gây hư hỏng vật liệu hút âm.

Vị trí đặt vật liệu rỗng ảnh hưởng lớn tới khả năng hút âm. Chẳng hạn, một tấm vải thưa bố trí cách mặt tường cứng, khả năng hút âm của tấm vải sẽ phụ thuộc vào khoảng cách giữa vải và tường. Thí nghiệm với âm có tần số 1800 Hz cho thấy khả năng hút âm đạt cực đại khi khoảng cách là 9 cm, bằng 1/2 bước sóng âm  $\lambda$  (Nguyễn, 2011). Trong phòng lớn, ví dụ phòng ăn của nhà hàng, nếu căng một tấm vải mỏng cách trần hoặc tường một khoảng phù hợp sẽ cho hiệu quả hút âm cao. Các loại màn, rèm cửa kính cũng là những giải pháp hút âm, giảm ồn trong phòng hiệu quả.

### 2.2.2. Bản mỏng cộng hưởng hút âm

Bản mỏng hút âm có cấu tạo khá đơn giản, gồm một bản mỏng đàn hồi được cố định trên hệ khung cách mặt tường một khoảng không khí. Bản mỏng đàn hồi có thể là tấm bằng ván ép, tấm a-mi-ăng, tấm kim loại... cố định trên hệ khung gỗ. Khoảng trống giữa bản và tường có thể để trống hoặc nhồi vật liệu xốp rỗng để tăng khả năng hút âm của bản (Müller & Möser, 2013).



**Hình 2.4.** Cấu tạo bản mỏng hút âm: 1 bản mỏng, 2 khung cố định, 3 lớp không khí dày  $d$  và 4 lớp vật liệu xốp dày  $d_\alpha$  phỏng theo Müller & Möser (2013)

Với cấu tạo như vậy, hệ trở thành một hệ dao động đơn giản kiểu lò xo, với bản mỏng đóng vai trò vật nặng có khối lượng  $m$ , và lớp không khí sau bản mỏng là một lò xo có độ cứng  $k$ . Khi sóng âm tới tác động lên mặt bản, mặt bản sẽ dao động theo khiến năng lượng âm chuyển thành năng lượng nhiệt. Nếu tần số dao động riêng của bản bằng hoặc xấp xỉ tần số sóng âm tới, hiện tượng cộng hưởng sẽ xảy ra, bản dao động mạnh nhất và khả năng hút âm đạt giá trị cao nhất.

Do tần số dao động riêng của hệ bản mỏng kiểu như trên thường tương đối thấp, do đó hệ thường được dùng để hút âm tần số thấp. Tần số dao động riêng của hệ (tần số cộng hưởng) phụ thuộc vào khá nhiều yếu tố: độ cứng của bản,

liên kết bản vào khung và vào tường, sự hiện diện của vật liệu xốp, bề dày lớp không khí... Thông thường, nếu bỏ qua tính đàn hồi của bản mỏng, tần số dao động riêng  $f_0$  của hệ được tính như sau (Nguyễn, 2011):

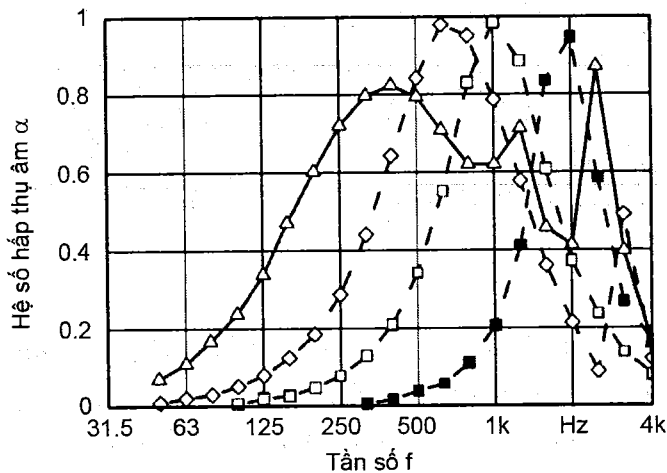
$$f_0 = \frac{600}{\sqrt{m\delta}} \quad (2.2)$$

trong đó:

$m$  - khối lượng mặt bản ( $\text{kg/m}^2$ );

$\delta$  - chiều dày lớp không khí sau bản (cm).

Bằng cách chọn vật liệu bản khác nhau (có  $m$  khác nhau) và chiều dày lớp không khí (hay lớp bông khoáng) thay đổi, người ta có thể tạo ra các loại bản mỏng cộng hưởng hút âm có tần số dao động riêng  $f_0$  khác nhau, có thể hút âm hiệu quả ở những dải tần số khác nhau. Kết hợp nhiều hệ bản mỏng sẽ có được kết cấu hút âm trong phạm vi tần số đủ rộng mong muốn (Nguyễn, 2011). Hình 2.5 giới thiệu kết quả đo  $\alpha$  của một bản mỏng dao động với các cách cấu tạo khác nhau.

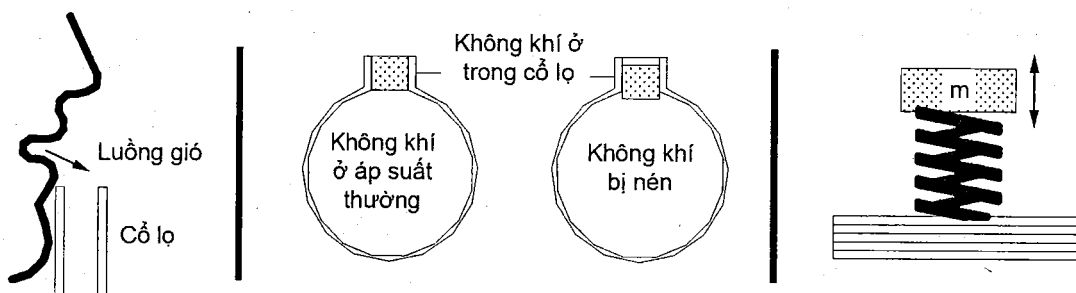


**Hình 2.5.** Phạm vi hút âm đo được của bản mỏng dao động trên hệ khung - sóng âm tới vuông góc với mặt bản - vị trí bản cách tường khác nhau (đường liền: kết cấu 3 lớp có lớp không khí; đường đứt: bản mỏng và không khí dày 10, 30 và 60 mm) - phỏng theo Zhou et al. (1998)

### 2.2.3. Bản đục lỗ hút âm

Bản đục lỗ hút âm có cấu tạo tương tự như hệ bản mỏng cộng hưởng hút âm, nhưng bề mặt bản được đục lỗ với kích thước và mật độ khác nhau. Bản đục lỗ hút âm làm việc dựa trên nguyên lý của ống cộng hưởng không khí Helmholtz

(Helmholtz resonator - xem nguyên lý làm việc trong Hình 2.6). Hình 2.6 cho thấy ống Helmholtz là một hệ dao động đơn giản mà khối không khí ở miệng ống là vật nặng  $m$ , khối không khí trong lọ là lò xo. Khi hệ dao động, khối không khí miệng lọ cọ xát vào thành lọ, làm tiêu hao năng lượng âm.



**Hình 2.6. Ống cộng hưởng Helmholtz**

Tần số dao động riêng của ống Helmholtz được xác định qua công thức:

$$f_o = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{lV}} \quad (2.3)$$

trong đó:

$c$  - vận tốc truyền âm trong không khí (cm/s);

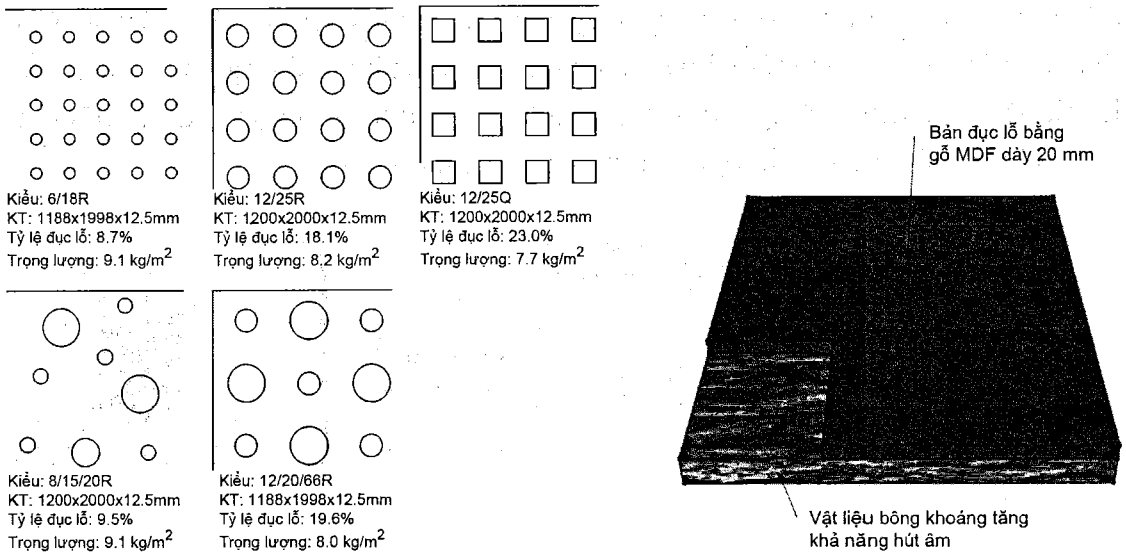
$S$  - diện tích ngang cổ lọ (cm<sup>2</sup>);

$V$  - thể tích bụng lọ (cm<sup>3</sup>);

$l$  - chiều dài có ích cổ lọ (cm).

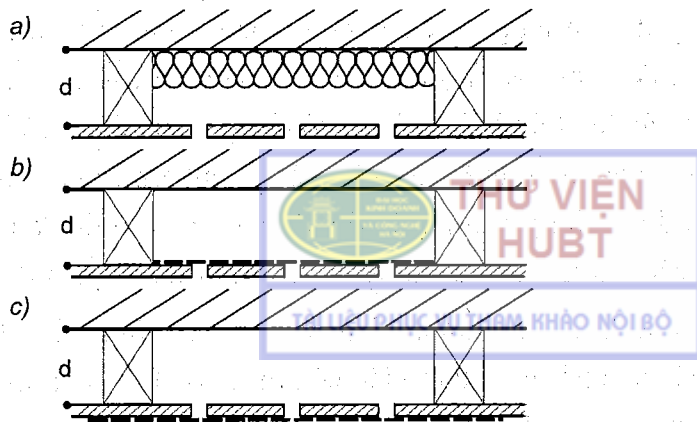
Nếu tần số của sóng âm tới xấp xỉ hoặc bằng tần số dao động riêng của lọ, khối không khí ở miệng lọ sẽ dao động mạnh nhất, ma sát sẽ lớn nhất dẫn đến hút âm mạnh nhất. Bằng cách thay đổi các tham số cấu tạo của lọ như  $S$ ,  $l$ ,  $V$ , ta sẽ nhận được các lọ Helmholtz có tần số riêng khác nhau, có khả năng hút âm ở các tần số khác nhau. Mỗi lọ Helmholtz có thể hút âm trong một tần số rất hẹp quanh tần số dao động riêng của lọ, do đó khi sử dụng có thể kết hợp nhiều loại lọ cho dải tần số rộng hơn, hoặc để dùng hút âm đơn (có 1 tần số).

Lọ Helmholtz có thể được bố trí trên trần, tường với khoảng cách hợp lý để tận dụng tối đa khả năng làm việc của từng lọ. Tiết diện miệng lọ không nên lớn quá sẽ giảm ma sát (không nên quá 6 - 8 cm (Nguyễn, 2011)). Lọ Helmholtz đã từng được sử dụng trong các nhà thờ cổ ở Châu Âu (Phạm, 2011) và trong nhà hát ngoài trời ở La Mã.



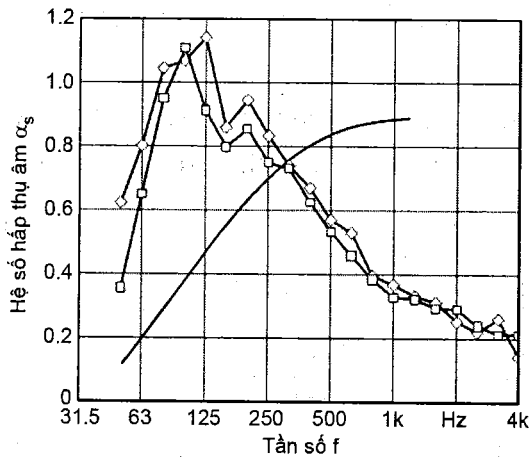
**Hình 2.7.** Một số kiểu bản đục lỗ hút âm của hãng Au.diBoard

Hình 2.7 giới thiệu một vài dạng bản đục lỗ hút âm thường gặp. Dạng cấu tạo đơn giản nhất của bản đục lỗ hút âm là đặt bản lên trên hệ khung và cố định vào tường, trần. Lỗ có bán kính từ khoảng 2 đến 25 mm (Müller & Möser, 2013). Để tăng khả năng hút âm, mặt trong hoặc mặt ngoài bản có thể được dán thêm một lớp vải mỏng hoặc lớp bông xốp mỏng để tăng ma sát, phía trong bản sát tường có thể ốp thêm vật liệu hút âm (xem Hình 2.8). Khi điều chỉnh các thông số cấu tạo của hệ: mật độ đục lỗ, tiết diện lỗ, bề dày lớp không khí, vật liệu làm bản, cách liên kết khung vào tường, vật liệu xốp chèn khe rỗng, vật liệu vải phủ mặt bản... ta có thể điều chỉnh được hệ số hút âm của hệ.

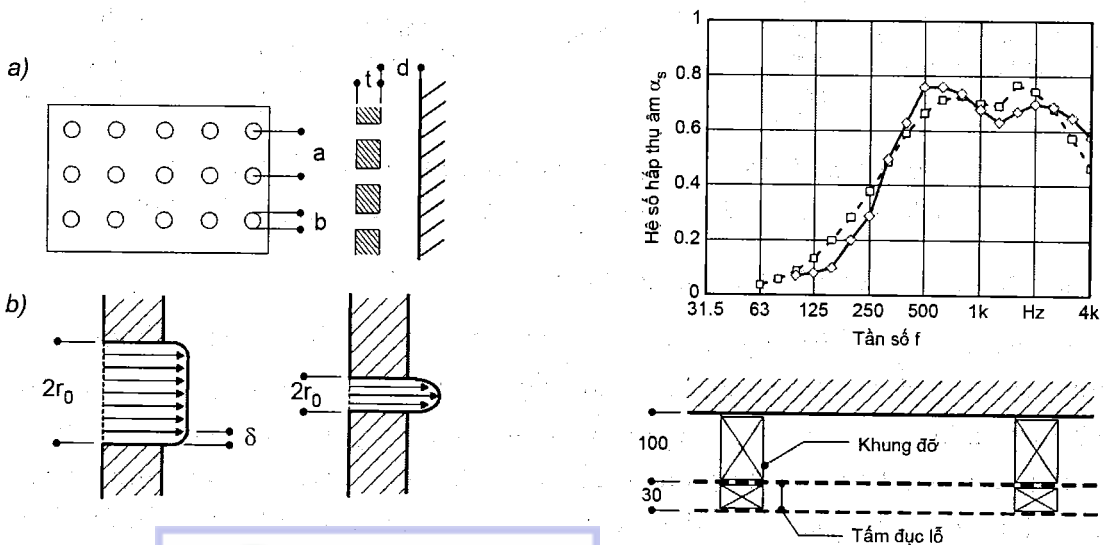


**Hình 2.8.** Một số cách cấu tạo bản mỏng đục lỗ hút âm  
- phỏng theo Müller & Möser (2013)

Có thể thấy bản đục lỗ có khả năng hút âm tần số thấp rất tốt, khi sử dụng nên kết hợp với các dạng vật liệu và kết cấu hút âm khác để đạt hiệu quả hút âm mong muốn (xem Hình 2.9).



**Hình 2.9.** Hệ số hút âm của bản phức hợp ( $1.5 \times 1 \times 0.1 \text{ m} + \text{tấm thép } 1 \text{ mm}$ ) đo trong phòng vang - So sánh với hệ số hút âm của vật liệu xốp trong Hình 2.2 - phỏng theo Müller & Möser (2013)

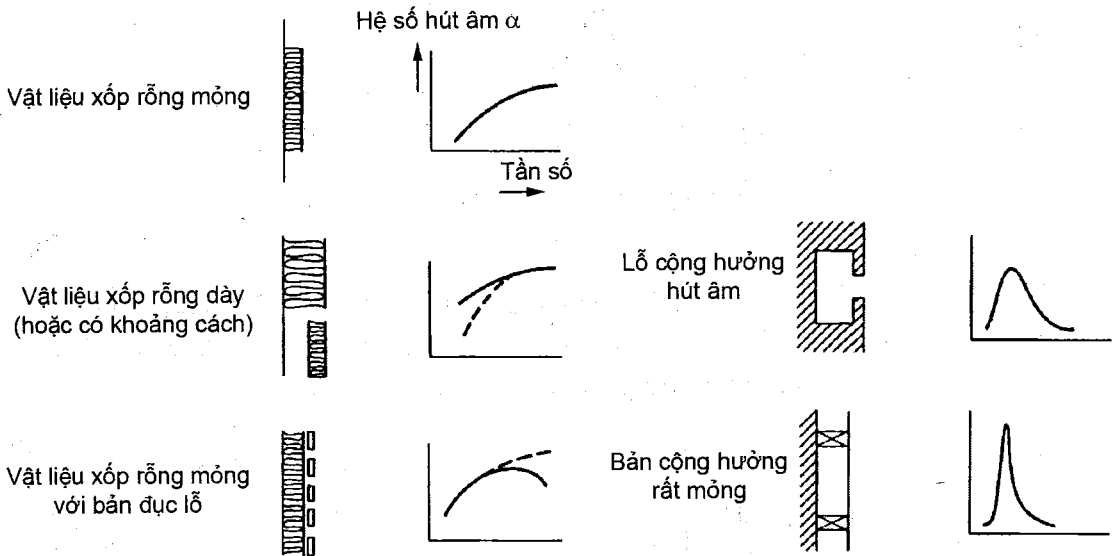


**Hình 2.10.** Nguyên lý hút âm của bản đục lỗ nhỏ (trái) và đặc tính hút âm của một cấu trúc trần 2 lớp sử dụng bản đục lỗ nhỏ (phải) - phỏng theo Müller & Möser (2013)

Hiệu quả hút âm của bản đục lỗ có thể duy trì mà không cần các lớp vật liệu hút âm bên trong bằng cách đục lỗ có bán kính  $r_0$  nhỏ (tương đương chiều dày lớp biên âm học  $\delta$  của không khí - xem Hình 2.10 bên trái - vào khoảng  $0.05 < r_0 < 5 \text{ mm}$ )

và mật độ thưa (khoảng 1% diện tích bản). Năng lượng âm bị tiêu hao chủ yếu do ma sát với thành lỗ nhỏ. Do không cần vật liệu hút âm, các bản đục lỗ nhỏ này có thể làm bằng vật liệu trong suốt để tăng tính thẩm mỹ. Hình 2.10 giới thiệu nguyên lý hút âm của bản đục lỗ nhỏ và đặc tính hút âm của một kết cấu hút âm đục lỗ nhỏ 2 lớp.

Có thể tóm tắt đặc trưng hút âm của các loại vật liệu và kết cấu hút âm đơn giản qua đường đặc tính hút âm theo tần số như giới thiệu trong Hình 2.11.

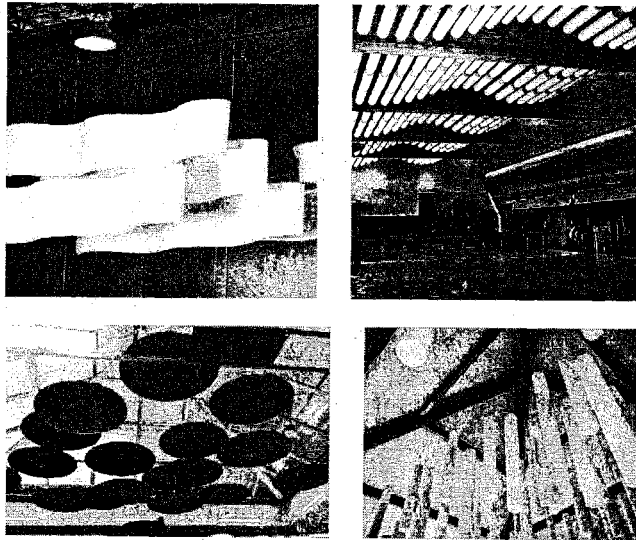


**Hình 2.11.** Đặc trưng hút âm theo tần số của các vật liệu và kết cấu hút âm đơn giản - phỏng theo Cavanaugh et al. (2009)

#### 2.2.4. Các kết cấu hút âm phức hợp

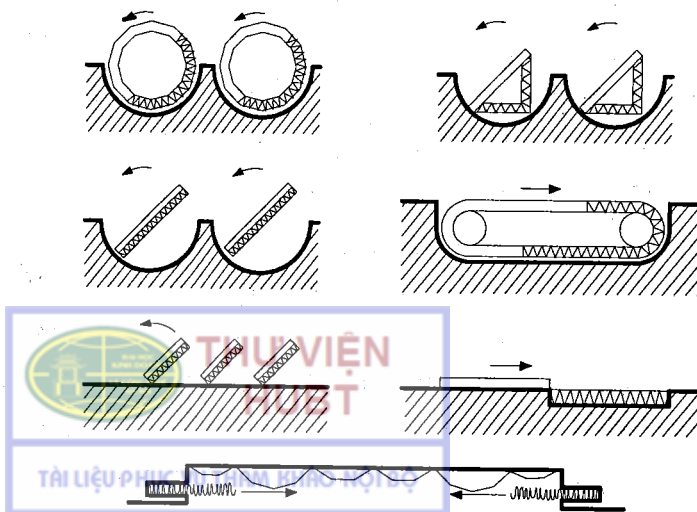
Hiện nay trên thị trường đã có rất nhiều các loại kết cấu vừa làm nhiệm vụ hút âm, vừa làm nhiệm vụ trang trí, hoàn thiện bề mặt nội thất công trình. Các loại vật liệu và kết cấu như vậy có màu sắc, mẫu mã phong phú, có khả năng chịu lửa hoặc không và được tích hợp nhiều giải pháp hút âm truyền thống cũng như tiên tiến. Trong số các giải pháp đáng chú ý được sử dụng phổ biến, có một số giải pháp nổi bật sau đây:

- Kết cấu hút âm treo trên trần (suspended sound absorbing baffles) (xem Hình 2.12). Kết cấu thường được làm bởi các tấm, khối hình học có bọc vật liệu hút âm. Kích thước hình khối có thể được thiết kế phục vụ cả mục đích thẩm mỹ. Loại này rất đa dạng từ chủng loại đến mẫu mã, rất phù hợp cho việc trang trí kiến trúc. Các tấm và khối hút âm có hiệu quả khá lớn do tổng diện tích hút âm được tăng lên đáng kể.



**Hình 2.12.** Một số kết cấu hút âm treo trần nhà (sưu tầm)

- Kết cấu hút âm di động: thường được dùng trong phòng có yêu cầu cao về chất lượng âm. Trong phòng đa năng, thời gian âm vang yêu cầu cho từng loại hình hoạt động là khác nhau. Mặt khác, số lượng khán giả tham dự cũng không ổn định ảnh hưởng đến tổng lượng hút âm của phòng. Do đó, lượng hút âm cần được điều chỉnh linh hoạt cho phù hợp. Giải pháp đơn giản nhất hay gặp là dùng một lớp rèm di động che phủ những mặt tường phản xạ âm để tăng lượng hút âm của phòng (Szokolay, 2008). Hình 2.13 giới thiệu các giải pháp khác nhằm điều chỉnh lượng hút âm của một bề mặt.



**Hình 2.13.** Một số giải pháp cơ học nhằm điều chỉnh lượng hút âm của bề mặt  
- phỏng theo Szokolay (2008) và Everest & Pohlmann (2001)

## 2.3. ỨNG DỤNG VẬT LIỆU HÚT ÂM

### 2.3.1. Kiểm soát thời gian âm vang

Những không gian vang dội quá mức, có thể là một nhà hàng hoặc là một trạm xe lửa, với các tiếng dội làm cho không gian ồn ào và khó giao tiếp. Trong những không gian như vậy, mọi người có xu hướng phát biểu chậm lại, nói to hơn và cố gắng phát âm chính xác từng chữ để người nghe có thể hiểu được. Đó là vấn đề của âm vang.

Âm vang là sự suy giảm âm thanh sau khi nguồn âm dừng và đó là một đặc điểm quan trọng của âm học phòng khán giả. Âm vang hầu hết nghe được trong không gian lớn với các bề mặt cứng như trong nhà thờ, nơi mà tiếng dội đi đoạn đường dài sau khi âm thanh phát ra từ nguồn âm. Trong các không gian nhỏ với các vật liệu hút âm, như trong phòng khách, vật liệu hút âm hấp thụ nhanh năng lượng âm. Khi mọi người nói về các phòng “sống động” hay “câm điếc”, là thường nói về cảm nhận của họ đối với âm vang.

Lượng âm vang trong phòng phụ thuộc vào thể tích, hình dáng của phòng và lượng hút âm trong phòng. Giải pháp cho phòng gặp vấn đề về âm vang là đưa thêm các vật liệu hút âm vào. Điều đó sẽ làm giảm các năng lượng âm phản xạ trong phòng và vì vậy sẽ giảm âm vang và cường độ âm. Các vấn đề xuất hiện trong phòng ăn khi mà các bề mặt gần khu vực ăn và khu vực chuẩn bị cần phải cứng, phẳng, chùi rửa được mà các vật liệu hút âm thì lại mềm nên không phù hợp. Vì vậy, nơi tốt nhất cho vật liệu hút âm là ở trần hoặc là phần trên cao của tường.

Nắm được chính xác tính chất âm vang trong không gian là điều quan trọng trong thiết kế, dù mục đích cuối cùng của thiết kế là tạo ra âm thanh, âm nhạc hay; không gian diễn thuyết có thể nghe rõ, giảm độ ồn hay đơn giản chỉ là một không gian thoải mái để ở trong đó.

Một ví dụ điển hình của việc sử dụng vật liệu hút âm là các phòng câm (phòng bố trí dày đặc vật liệu hút âm). Loại phòng này không có phản xạ từ tường, sàn và trần. Phòng câm hoàn toàn yên tĩnh. Nó được sử dụng để thực hiện các thí nghiệm trong điều kiện không có tín hiệu âm phản xạ. Nó lý tưởng cho việc kiểm tra xung đáp ứng (impulse response) của các thiết bị tán xạ âm bởi vì phòng không ảnh hưởng đến đo đạc. Nó còn dùng để kiểm tra các thiết bị âm thanh như loa, tai nghe, thu âm gốc để dùng trong mô phỏng. Để loại bỏ phản xạ, các bề mặt được bao phủ bởi các tấm hút âm hình nêm làm từ mút bọt có lỗ hoặc từ sợi thủy tinh.

### 2.3.2. Kiểm soát tiếng ồn trong nhà máy và phòng lớn

Mức độ tiếng ồn trong môi trường làm việc phải được kiểm soát để làm việc an toàn, vì mức độ ồn quá mức có thể gây ra tổn thương thính giác. Do đó, có những quy định nhằm hạn chế sự phơi nhiễm tiếng ồn đối với người lao động. Có một số phương pháp để kiểm soát tiếp xúc với tiếng ồn. Các phương pháp hiệu quả nhất trong số đó thường kiểm soát tiếng ồn ở nguồn, nhưng điều này không phải lúc nào cũng thực hiện được. Một kỹ thuật khác là làm giảm mức âm vang trong không gian. Điều này chỉ có hiệu quả nếu âm vang đóng góp phần đáng kể cho mức độ ồn. Ví dụ, cách tiếp cận này sẽ không có hiệu quả nếu người lao động đang ở gần một máy đang vận hành và phát ra tiếng ồn lớn, bởi vì lúc này âm thanh trực tiếp đang chiếm ưu thế. Âm phản xạ sẽ giảm bằng cách bổ sung các vật liệu hút âm và do đó mức độ tiếp xúc với tiếng ồn được giảm xuống thường là 3 - 4 dBA. Thông thường, vật liệu hút âm xốp, như bông khoáng, được sử dụng vì nó rẻ tiền, nhẹ nhàng và hiệu quả.

Vật liệu hấp thụ xốp thường phải được bảo vệ khỏi bụi bẩn, và thường được bọc trong bao nhựa, vì vậy mà khả năng hấp thụ âm tần số cao bị giảm đi. Có những tình huống mà vật liệu hấp thụ cần phải rửa được, và có một vài loại vật liệu hút âm xốp đáp ứng được điều này. Cũng có những tình huống mà vật liệu hút âm cần phải không có xơ để ngăn ngừa ô nhiễm. Vật liệu hút âm xốp chỉ có hiệu quả ở tần số từ trung bình đến cao, đây là tần số mà tai là nhạy cảm nhất và do đó điều khiển tiếng ồn tần số cao là cần thiết nhất trong môi trường làm việc.

Các nhà máy thường có kích thước không cân xứng; thông thường, chiều cao trần khá thấp so với chiều rộng và chiều dài của nhà máy. Từ các khảo sát âm học, những không gian này cần phải khuếch tán âm thanh. Trường âm khuếch tán là nơi mà mật độ năng lượng âm phản xạ đồng đều trên toàn bộ căn phòng và trên tất cả các hướng lan truyền âm. Có nhiều lý do tại sao mà nhiều phòng trong thực tế không có mật độ năng lượng âm và các hướng lan truyền âm đồng đều:

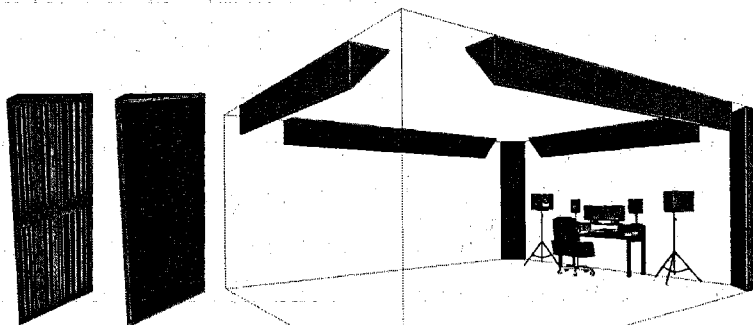
- Với âm tần số thấp, hiện tượng sóng dừng xảy ra giống như trong các ống sáo.
- Với phòng có các kích thước rất khác biệt, thời gian âm vang sẽ rất khác biệt theo các hướng khác nhau như trong nhà máy. Ví dụ, âm thanh sẽ suy giảm nhanh hơn theo hướng phản xạ vuông góc thay vì theo hướng song song với sàn, bởi vì theo hướng vuông góc, âm thanh sẽ phản xạ nhiều lần hơn, và với mỗi lần phản xạ, hiện tượng hút âm lại xảy ra.

- Vật liệu hút âm trong phòng không phải lúc nào cũng được phân bố đều trên tất cả các bề mặt. Ví dụ, vật liệu hút âm trong nhà máy hầu hết tập trung trên trần nhà...

- Nếu căn phòng có hình dạng đặc biệt, ví dụ: hình trụ, các bề mặt cong có thể tập trung âm thanh đến một điểm. Kết quả là sẽ tạo ra một trường âm thanh không đồng đều.

### 2.3.3. Kiểm soát âm tần số thấp trong các thính phòng quan trọng

Các phòng nhỏ, như phòng thu/phát sóng, nhà hát và phòng hội nghị, thường gặp vấn đề do âm tần số thấp. Ở tần số thấp, hiện tượng sóng đứng của căn phòng xảy ra theo tần số. Kết quả là một số tần số được nhân mạnh, trong khi đó, một số tần số thì lại yếu đi làm ảnh hưởng đến âm sắc khi nghe. Điều này đặc biệt quan trọng khi áp dụng trong âm nhạc, đặc biệt là với việc sử dụng công nghệ loa siêu trầm ngày càng phổ biến để sản xuất âm nhạc hiện đại với âm trầm. Các giải pháp chung bao gồm lựa chọn kích thước phòng, bố trí loa và vị trí nghe chính xác để làm phẳng tối đa đáp ứng xung tần số của căn phòng. Ngay cả khi kích thước phòng được chọn cẩn thận nhưng đáp ứng xung theo tần số của phòng sẽ vẫn không đều và âm thanh trầm vẫn cần được xử lý.



*Hình 2.14. Bẫy âm tần số thấp và cách bố trí trong phòng nghe quan trọng*

Vật liệu hút âm trầm thường được sử dụng là bẫy âm trầm (bass traps). Vật liệu hút âm xốp rỗng ít khi được sử dụng bởi vì chúng phải rất dày để hấp thụ được âm tần số thấp. Vật liệu hấp thụ xốp có hiệu quả nhất khi nó được đặt cách tường, trần một khoảng một phần tư bước sóng, nơi mà vận tốc dao động của các phân tử không khí là tối đa. Đối với một âm đơn tần số 100 Hz, vật liệu

hút âm xốp sẽ được đặt khoảng 1 m từ chu vi phòng. Đặt các vật liệu hấp thụ âm xốp trực tiếp vào chu vi phòng, trong thực tế, sẽ không hiệu quả, bởi vì vận tốc không khí tại chu vi phòng là bằng không. Trong khi đó, tại các góc, áp suất âm lại lớn, vận tốc phần tử không khí lại rất thấp và do đó sự hấp thụ cũng không hiệu quả. Vì những lý do này, vật liệu hấp thụ cộng hưởng được ưu tiên để xử lý âm tần số thấp.

Vấn đề với vật liệu hấp thụ cộng hưởng là chúng thường chỉ sự hấp thụ âm trong một khoảng tần số hẹp. Để bao phủ một khoảng tần số rộng hơn, yêu cầu phải có một loạt các vật liệu hút âm tạo thành các kênh hút âm, mỗi kênh được điều chỉnh theo một dải tần khác nhau. Ngoài ra, có thể sử dụng các vật liệu hút âm hai lớp, nhưng lại tốn kém để xây dựng. Trong những năm gần đây, một vật liệu hút âm cộng hưởng mới đã được xây dựng, nơi khối rung là một tấm kim loại và lò xo được tạo thành từ bọt hoặc polyester, và điều này mang lại sự hấp thụ trên một quãng tần số rộng hơn.

Ở tần số thấp, trường âm thanh không bị khuếch tán, và hậu quả là vật liệu hút âm không thể tính được thông qua các quy luật thống kê đơn giản. Một cách tiếp cận phức tạp hơn, nhưng chính xác hơn, là sử dụng một phương pháp mô phỏng sóng âm như phương pháp phần tử hữu hạn hoặc phần tử biên.

#### **2.3.4. Kiểm soát tiếng dội trong khán phòng**

Các phản xạ đến trễ xuất hiện như một tiếng dội nếu cường độ của nó lớn hơn nhiều so với mức âm vang chung. Trong các hội trường lớn, các âm phản xạ từ tường sau thường gây ra vấn đề tiếng dội cho khán giả ngồi ở phần phía trước khu ghế chính hoặc người biểu diễn trên sân khấu. Các tiếng dội rất mạnh có thể xảy ra nếu bức tường phía sau cong lõm, và tập trung các phản xạ về phía trước của hội trường. Một kỹ thuật để loại bỏ tiếng dội là áp dụng vật liệu hút âm vào tường hậu. Tuy nhiên, việc sử dụng vật liệu hút âm trong khán phòng sẽ loại bỏ năng lượng âm thanh, khi mà trong không gian hòa nhạc lớn, năng lượng âm thanh rất là quý giá và vì vậy sự khuếch tán là giải pháp được ưu tiên hiện nay.

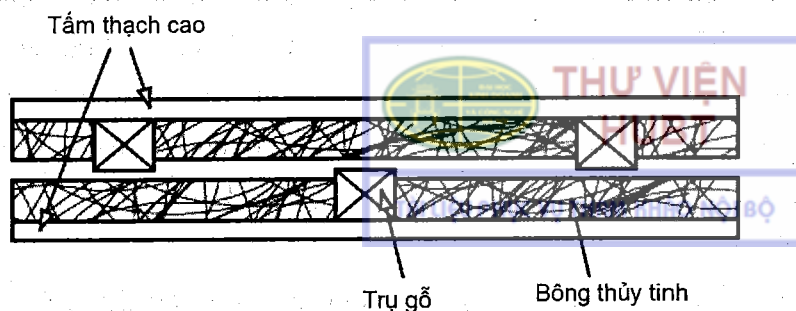
Đối với các không gian nhỏ hơn, vật liệu hút âm vẫn được sử dụng để kiểm soát thời gian âm vang, và xử lý vấn đề tiếng dội. Sự hấp thụ cần phải hoạt động ở tần số từ trung bình đến cao, bởi vì tiếng dội đáng chú ý nhất là với các nhạc cụ

với kiểu nguồn âm định hướng. Do đó, một lớp hút âm xốp có thể được sử dụng. Ngoài ra, cần có các bề mặt kết hợp (hyber) kiểm soát âm vang ở tần số thấp đến trung bình, nhưng có thể khuếch tán ở âm tần số cao hơn.

Tiếng vang rung động (flutter echoes) có thể xảy ra trong không gian với hai bức tường song song lớn. Âm phản xạ thường xuyên gây ra bởi âm thanh nảy qua lại giữa các bức tường song song làm cho tần số của âm thanh bị thay đổi một theo cách bất lợi. Nếu bạn đi vào lồng cầu thang với những bức tường song song và vỗ tay, âm thanh tần số cao sẽ được nghe; đó là tiếng vang rung động. Tiếng vang rung động phổ biến ở các rạp hát. Một biện pháp khắc phục là áp dụng vật liệu hút âm vào ít nhất một trong hai bức tường song song để hấp thụ các phản xạ. Một lần nữa, một lớp vật liệu hấp thụ xốp tương đối mỏng có thể đạt được điều này, và nó xử lý âm tần số trung bình đến cao. Ngoài ra, vật liệu tán xạ âm đôi khi được ưu tiên, bởi vì chúng kiểm soát tiếng vang rung động, tạo trường âm đồng đều và dễ chấp nhận.

### 2.3.5. Cách âm

Vật liệu hút âm xốp rộng được sử dụng rộng rãi trong cách âm. Các cấu trúc nhẹ như vách ngăn thường có khe không khí ở giữa, như thể hiện trong Hình 2.15. Vật liệu hút âm xốp được sử dụng chèn vào sát tấm thạch cao để ngăn ngừa sự cộng hưởng của không khí. Nếu cộng hưởng của không khí không được loại bỏ bằng cách giảm chấn, ở tần số âm thanh cộng hưởng sẽ dễ dàng vượt qua tấm vách ngăn, và do đó khả năng cách âm sẽ ít hơn. Điều quan trọng là vật liệu hút âm phải được phân cách bằng khe không khí, và không được bắc cầu với nhau; nếu không nó có thể giảm đáng kể hiệu suất của hệ thống.

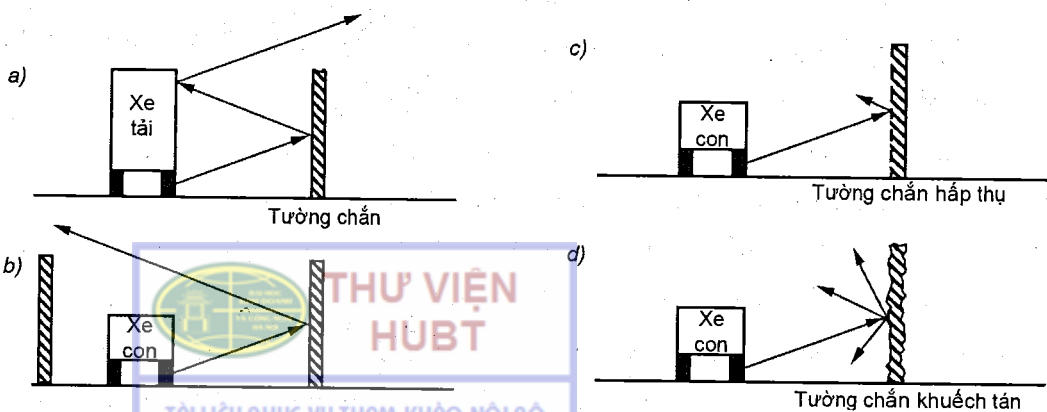


*Hình 2.15. Cấu tạo vách ngăn cách âm bằng bông thủy tinh - phỏng theo Trevor and Peter (2009)*

### 2.3.6. Tường chắn ồn và đường

Tường chắn ồn có thể được sử dụng xung quanh máy móc để giảm tiếng ồn, hoặc chúng có thể là rào cản bao vây con người, một phòng kín mà nhân viên đi vào để tránh xa tiếng ồn. Các vấn đề như tiếp cận và thông gió phải được xem xét, và đó là sự thỏa hiệp cần thiết đối với hiệu suất cách âm. Rào chắn phải được lót bằng vật liệu hút âm xốp để giảm âm phản xạ, đồng thời làm suy giảm năng lượng âm thanh.

Giao thông là nguyên nhân chính gây ra tiếng ồn, và mặc dù phương tiện giao thông hiện đại thì im lặng hơn so với các phương tiện thế hệ trước, nhưng sự gia tăng về mức lưu thông đã làm cho mức độ ồn trung bình không thay đổi nhiều trong những thập kỷ gần đây. Sử dụng các tường chắn tiếng ồn giao thông để giảm sự lan truyền tiếng ồn từ đường xá tới các nhà lân cận là một giải pháp. Tuy nhiên, những phản xạ trở lại từ các phương tiện cao cho làm cho một số tiếng ồn vượt qua các rào cản, như trong Hình 2.16a. Ngoài ra, phản xạ từ các rào chắn ở một bên đường có thể vượt qua các rào cản ở phía bên kia, như thể hiện trong Hình 2.16b. Những phản xạ bổ sung này thường thay đổi mức âm thanh từ 2 đến 6 dBA. Một giải pháp là áp dụng vật liệu hút âm như thể hiện trong Hình 2.16c. Vấn đề với vật liệu hút âm là nó có khuynh hướng xấu đi trong điều kiện khắc nghiệt của gió mạnh, bụi bẩn, muối và nước, thường gặp ở những con đường đông đúc. Do đó, hiệu suất tiêu âm có thể sẽ giảm theo thời gian trừ khi được sử dụng các vật liệu tiêu âm chuyên dụng.



**Hình 2.16.** Sơ đồ minh họa các vật liệu hấp thụ và vật liệu khuếch tán để giảm các vấn đề phản xạ với các tường chắn tiếng ồn - phỏng theo Trevor & Peter (2009)

### 2.3.7. Kiểm soát tiếng ồn tự nhiên

Thông thường, cỏ hoặc cây che phủ xung quanh các nguồn ồn là giải pháp bền vững để kiểm soát tiếng ồn. Nếu không gian cho phép, việc sử dụng các hàng rào tự nhiên (cây cối, cây bụi và mặt đất) thay cho các hàng rào nhân tạo có lợi thế là còn góp phần giải quyết các vấn đề khác mang tính bền vững hơn như: giảm ô nhiễm không khí; tạo hành lang để khuyến khích đi bộ và đi xe đạp; tạo ra sự tiếp cận đến các khu vực cây xanh địa phương, và làm đảo ngược sự suy thoái lâu dài của môi trường sống và quần thể động vật hoang dã.

## 2.4. CÁC NGUYÊN TẮC BỐ TRÍ VẬT LIỆU HÚT ÂM

Trong các phòng thính giả, việc bố trí vật liệu và kết cấu hút âm có ảnh hưởng quan trọng đến chất lượng âm trong phòng, bên cạnh việc chọn hình dáng và thể tích phòng. Căn cứ vào chức năng của công trình, tiêu chuẩn về chất lượng âm trong phòng, yêu cầu về trang trí thẩm mỹ nội thất, yêu cầu phòng hòa, vệ sinh... mà người thiết kế tính toán cân nhắc để đưa ra các giải pháp trang âm phù hợp. Về cơ bản, việc bố trí nên tuân theo những nguyên tắc cơ bản sau (Nguyễn, 2011):

- Bố trí vật liệu và kết cấu hút âm phân tán đồng đều trên những bề mặt nội thất. Không nên bố trí vật liệu hút âm tập trung trong một phạm vi hẹp, dễ gây hiện tượng méo âm và trường âm không đồng đều. Lượng hút âm được bố trí đồng đều khiến sự tắt dần của năng lượng âm của từng tần số là tương đương nhau.

- Phần tường đối diện nguồn âm (tường hậu) của phòng, mép ban công đối diện sân khấu là những khu vực có khả năng gây ra tiếng dội do âm phản xạ ngược, do đó thường được bố trí vật liệu hút âm mạnh ( $\alpha > 0.7$ ).

- Ở gần nguồn phát âm cần bố trí các diện phản xạ âm mạnh để tăng cường âm phản xạ bổ sung cho âm trực tiếp đến cho người nghe. Thông thường, trong phòng hòa nhạc, phòng biểu diễn, các tấm phản xạ âm (reflector) được treo phía trên đầu diễn viên, diễn giả để đưa âm phản xạ đi xa.

- Khi tính toán và bố trí vật liệu hút âm cần chú ý lượng hút âm của ghế và khán giả. Để giảm thiểu ảnh hưởng của số lượng khán giả đến lượng hút âm của bề mặt sàn, nên chọn vật liệu ghế phù hợp để có lượng hút âm của ghế trống tương đương của ghế có khán giả. Theo nghiên cứu của Beranek và Hidaka (1998), hệ số hút âm của ghế có người thường cao hơn ghế trống, do đó khi chọn

ghế nên thiết kế ghế có độ hút âm cao, trung bình khoảng 0.85 là đạt yêu cầu. Bảng 2.2 giới thiệu lượng hút âm trung bình của các loại ghế khác nhau.

**Bảng 2.2. Lượng hút âm trung bình của các loại ghế khi có và không có người - theo (Nguyễn, 2011)**

Loại ghế	Hệ số hút âm $\alpha$ hoặc lượng hút âm tương đương đối với các dải tần octave ( $m^2$ )					
	125	250	500	1000	2000	4000
Ghế mềm khung gỗ hoặc kim loại	0.014	0.018	0.020	0.036	0.035	0.028
Ghế đệm xốp	0.21	0.18	0.30	0.28	0.15	0.10
Thính giả bao gồm cả ghế (chỗ ngồi hẹp $\leq 0.45m^2$ /chỗ thì lấy giá trị nhỏ)	0.15-0.22	0.33-0.36	0.37-0.42	0.40-0.45	0.42-0.50	0.45-0.51
Ghế ngồi gỗ ván, đệm xốp (ghế mềm lấy giá trị lớn)	0.02-0.09	0.03-0.13	0.03-0.15	0.04-0.15	0.04-0.11	0.04-0.07
Thính giả ngồi trên ghế đệm xốp	0.23	0.34	0.37	0.33	0.34	0.31

Các nguyên tắc bố trí vật liệu và kết cấu hút âm có vai trò quan trọng trong thiết kế trang âm phòng thính giả trong giai đoạn ban đầu của quá trình thiết kế. Việc bố trí không hợp lý sẽ dẫn đến sự lãng phí vật liệu mà lại dẫn đến những hiện tượng âm học không mong muốn.

## 2.5. CÁC VẤN ĐỀ KHÁC LIÊN QUAN ĐẾN LỰA CHỌN GIẢI PHÁP XỬ LÝ ÂM HỌC

### 2.5.1. Xử lý âm học bằng thiết bị điện tử

Các giải pháp sử dụng vật liệu hút âm thường làm tăng độ ẩm cho phòng. Do đó, mục tiêu đặt ra là giảm bớt tác hại của việc này. Trước đây, việc sử dụng thiết bị điện tử thay cho phương pháp sử dụng vật liệu hấp thụ âm gần như là một điều trong chuyện cổ tích. Không có thiết bị điện tử có thể được chèn vào đường dẫn tín hiệu mà sẽ ngăn không cho âm thanh từ một loa phóng thanh phản xạ trên bề mặt phòng. Tuy nhiên, kể từ khi bắt đầu thời đại điện tử, các thiết bị như bộ hấp thụ điện tử và bộ cân bằng tần số phòng điện tử đã được đề xuất. Không phải tất

cả các đề xuất đó đều không có giá trị. Đầu năm 1953, hai nhà khoa học là Olson và May (Olson & May, 1953) đã đề xuất một bộ hấp thụ âm thanh điện tử bao gồm micrô, bộ khuếch đại và loa.

Trong một khoảng cách ngắn từ micrô, thiết bị này có thể được điều chỉnh để đạt được độ suy giảm thực tế từ 10 đến 20 dB của mức âm trên 1 hoặc 2 dãy octave có tần số thấp. Olson và May đã đề xuất rằng giải pháp hấp thụ âm thanh điện tử của họ có thể được sử dụng để giảm tiếng ồn ở tai của hành khách đi máy bay hay công nhân trong nhà máy. Tuy nhiên, hiệu quả thấp của loại thiết bị hấp thụ âm này ở khoảng cách lớn hơn đã làm cho nó không thực tế để sử dụng trong các ứng dụng kiến trúc. Tuy nhiên, ý tưởng này đã mở đường cho sự phát triển trong tương lai.

Việc phát minh ra bộ cân bằng tham số (parametric equalizer - PEQ) mang lại một làn sóng hy vọng mới cho các phương pháp xử lý âm học điện tử. Thật không may, việc đưa một PEQ vào can thiệp trong một chuỗi tín hiệu, thậm chí để giảm các vấn đề băng hẹp trong phòng nhỏ, thường gây ra nhiều cái bất lợi hơn là cái tốt. Do sự thay đổi của sự phân bố áp lực âm thanh trong một căn phòng nhỏ, nên hiệu quả mong muốn của PEQ thường chỉ giới hạn ở một khu vực nhỏ trong phòng. Ngoài ra, PEQ tạo ra những dị thường pha của tín hiệu, thường làm cho âm thanh đã xử lý nghe không tự nhiên. PEQ thường dùng trong các studio âm thanh nhỏ là vì vậy.

Kỷ nguyên xử lý tín hiệu kỹ thuật số, cộng với sự sẵn sàng của các thiết bị âm thanh chất lượng cao cho tất cả mọi người, chẳng hạn như những người sở hữu rạp hát tại gia, mở ra một hy vọng cho các giải pháp xử lý âm học điện tử. Một thiết bị được nhắc đến gần đây, thỉnh thoảng được nhắc đến như là bộ cân bằng âm sắc (equalizer) phòng, đó là thiết bị sửa lỗi phòng kỹ thuật số (digital room correction - DRC). Thiết bị này có một đặc tính khá ưu việt so với các thiết bị analog trước đây, đó là khả năng giải quyết các vấn đề về âm thanh của phòng trên phương diện thời gian và pha. Những thiết bị DRC mới nhất có thể khắc phục được vấn đề sóng dừng trong phòng. Các hệ thống DRC hiện đại hơn, như những gì được phát triển bởi Wilson và cộng sự, kết hợp chặt chẽ với kỹ thuật xử lý tín hiệu số mới nhất, giờ đây có thể giảm nhiễu, vốn cần thiết để giải quyết các vấn đề âm ở tần số thấp (Wilson, et al., 2003). Ngoài ra, nhiều hệ thống DRC cần quan tâm các đặc tính trường âm trong phòng tại nhiều vị trí nghe để các thuật toán có thể được sử dụng để xác định những điều chỉnh có thể có lợi cho cả một phòng rộng lớn.

Những tiến bộ tương tự trong quá trình xử lý tín hiệu cũng đã mang lại những ứng dụng rộng rãi hơn của thiết bị hút âm điện tử (vốn được đề xuất đầu tiên bởi Olson và May). Công ty Bag End đã phát triển một thiết bị có tên là E-Trap, một cái bẫy âm trầm điện tử cung cấp khả năng làm giảm đáng kể và có thể đo được các mức âm trầm ở hai tần số thấp khác nhau.

Trong khi các thiết bị DRC và bẫy âm điện tử cung cấp nhiều cách để có thể thực sự giải quyết được các vấn đề tương tác giữa phòng với loa, chúng ta không thể trông đợi nhiều hơn ở những giải pháp tinh chỉnh điện tử này. Các thiết bị xử lý âm điện tử này không thể thay thế một thiết kế âm học phòng tốt kết hợp với các giải pháp xử lý vật liệu âm học không dựa trên điện tử. Tuy nhiên, các giải pháp điện tử nói trên có thể cung cấp một cách tiết giảm âm, đặc biệt là ở một hoặc hai octave âm trầm do trong nhiều phòng việc xử lý hút âm trầm là rất khó khăn với vật liệu xốp rỗng hay các tấm cộng hưởng.

### **2.5.2. Xử lý âm học và vấn đề an toàn cho con người**

Điều cần lưu ý quan trọng nhất khi lựa chọn giải pháp xử lý âm học là sự an toàn. Thông thường nhất, những hiểu biết chung chung về vật liệu sẽ quyết định. Ví dụ, phương pháp xử lý âm học bằng amiăng - vốn khá phổ biến cách đây vài thập niên - cần phải tránh vì những nguy cơ về sức khỏe liên quan đến việc xử lý vật liệu amiăng và hít thở các sợi của nó. Các biện pháp xử lý âm học phải đáp ứng tất cả các quy tắc xây dựng và tiêu chuẩn an toàn nào được áp dụng trong một công trình cụ thể. Một số loại vật liệu cụ thể cũng có thể nên tránh vì gây dị ứng hoặc công năng sử dụng đặc biệt của công trình đó - ví dụ các cơ sở chăm sóc sức khỏe. Vì nhiều phương pháp xử lý âm học sẽ sử dụng tấm ốp tường và treo lên trần, chỉ nên sử dụng các phương pháp gắn kết do nhà sản xuất chỉ định để ngăn ngừa thương tích do vật liệu rơi xuống. Hai mối quan tâm về sức khỏe và an toàn quan trọng nhất đối với các vật liệu xử lý âm thanh là khả năng bắt cháy và vấn đề hô hấp.

Vật liệu xử lý âm học cần tuân thủ các tiêu chuẩn - quy chuẩn về an toàn phòng cháy, nhưng tốt nhất là không cháy hoặc khó cháy. Khả năng gây cháy và gây hại của một vật liệu âm học thông thường được thí nghiệm xem có tương thích tiêu chuẩn ASTM E84 hay không. Kết quả thí nghiệm với ASTM E84 là hai chỉ số Lan cháy và chỉ số Sản sinh khói. Các tiêu chuẩn thiết kế công trình thường cụ thể hóa và phân hạng vật liệu theo 2 chỉ số này. Tiêu chuẩn xây dựng quốc tế (IBC) phân loại vật liệu như sau:

<b>Loại A</b>	Chỉ số lan cháy	0 - 25
	Chỉ số sản sinh khói	0 - 450
<b>Loại B</b>	Chỉ số lan cháy	26 - 75
	Chỉ số sản sinh khói	0 - 450
<b>Loại C</b>	Chỉ số lan cháy	76 - 200
	Chỉ số sản sinh khói	0 - 450

Kết quả test một số loại vật liệu âm học theo tiêu chuẩn ASTM E84 được trình bày trong Bảng 2.3.

**Bảng 2.3. Chỉ số lan cháy và chỉ số sinh khói của một số vật liệu xử lý âm học (Ballou, 2013)**

<b>Vật liệu âm học</b>	<b>Chỉ số lan cháy</b>	<b>Chỉ số sản sinh khói</b>	<b>Hạng theo tiêu chuẩn IBC</b>	<b>Ghi chú</b>
Tấm sợi thủy tinh	15	0	A	Vật liệu chưa hoàn thiện bề mặt
Tấm bông khoáng	5	10	A	Vật liệu chưa hoàn thiện bề mặt
Tấm sợi gỗ	0	0	A	Vật liệu chưa hoàn thiện bề mặt, đã xử lý
Tấm sợi vải	10	20	A	Vật liệu chưa hoàn thiện bề mặt, đã xử lý
Tấm bọt hút âm Polyurethane	35	350	B	Vật liệu chưa hoàn thiện bề mặt, đã xử lý, có thể cần thêm thí nghiệm NFPA 286
Tấm bọt hút âm melamine	5	50	A	Vật liệu chưa hoàn thiện bề mặt, có thể cần thêm thí nghiệm NFPA 286
Lớp trát âm học	0	0	A	Vật liệu chưa hoàn thiện bề mặt
Tấm tán âm Polystyrene	15	145	A	Vật liệu đã xử lý, có thể cần thêm thí nghiệm NFPA 286
Tấm tán âm bằng gỗ	25	450	A	Vật liệu chưa hoàn thiện bề mặt

Hầu hết các vật liệu âm học là vật liệu thuộc nhóm A. Tuy nhiên, một số vật liệu như bọt Polyurethane hay một số vật liệu bằng gỗ thì được xếp nhóm B. Đối với nhóm B, các nhà sản xuất cần cung cấp các bằng chứng thí nghiệm về khả năng bắt cháy và sinh khói.

Liên quan đến vấn đề hô hấp, một số vật liệu có cấu trúc sợi có thể gây kích ứng da hoặc hệ hô hấp. Cấu trúc sợi rất phổ biến đối với các vật liệu hút âm, như sợi thủy tinh và sợi khoáng. Nhưng chúng sẽ an toàn nếu được bao bọc cẩn thận bằng vật liệu hoàn thiện. Nhưng cũng cần đeo găng tay và khẩu trang khi xử lý vật liệu thô cũng như lắp đặt các vật liệu này. Các tấm vật liệu bị hư hỏng cần được thay thế ngay tránh phát tán vào không khí các sợi bụi.

Một số loại hình công trình có thể có những yêu cầu bổ sung. Ví dụ các cơ sở y tế có thể cấm lắp đặt các vật liệu bông xốp để tránh sự sản sinh nấm mốc và vi khuẩn. Một số công trình khác có thể cấm vật liệu âm học dễ cháy, sinh bụi, tương tác với hóa chất... Do đó, khi lựa chọn vật liệu âm học cũng cần quan tâm đến những quy định của người sử dụng công trình.

### **2.5.3. Vật liệu xử lý âm học và vấn đề môi trường**

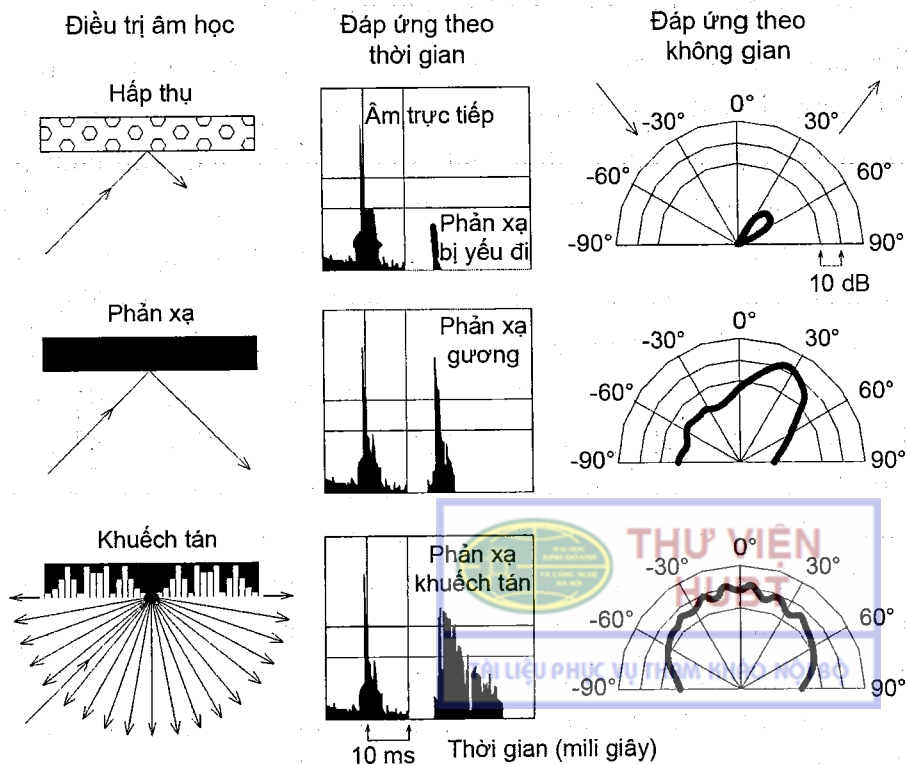
Vật liệu âm học cũng cần được lựa chọn với một sự quan tâm thích đáng về mặt môi trường. Tùy theo mục đích sử dụng, vật liệu cần được xem xét là chúng được làm từ vật liệu gì, chúng được sản xuất như thế nào, vận chuyển như thế nào, chúng bị thải loại hay thay thế như thế nào trong tương lai. Nhiều loại vật liệu âm học như gỗ tự nhiên hay sợi vải cotton có thể đóng góp điểm cho các chứng chỉ công trình xanh như LEED (Hoa Kỳ), LOTUS (Việt Nam)... Không giống như các thiết bị điện tử, thường được nhập từ nước ngoài, nhiều loại vật liệu âm học có thể được khai thác và sản xuất tại địa phương, do đó giảm chi phí tài chính và tác động môi trường của vật liệu. Ngay cả những vật liệu như tấm mút polyurethane vốn dĩ là một phụ phẩm của quá trình chưng cất dầu mỏ và có thể liên quan đến phát thải CO<sub>2</sub> (khí nhà kính) nhưng cũng có thể trở nên thân thiện môi trường hơn. Lấy ví dụ: nhà sản xuất Auralex Acoustics, Inc. bắt đầu sản xuất các tấm polyurethane bằng cách sử dụng thêm thành phần đậu nành và nhờ đó làm giảm thành phần dầu mỏ giàu CO<sub>2</sub> tới 60%. Giải pháp xử lý âm học thân thiện môi trường nhất là hạn chế sử dụng vật liệu âm học. Thính phòng được thiết kế tốt ngay từ đầu sẽ giúp hạn chế xử lý vật liệu âm học. Tuy nhiên vật liệu âm học dùng để xử lý trang âm rất khó để tránh hoàn toàn. Hầu như mọi không gian nơi quá trình sản xuất hoặc tái sản xuất âm thanh diễn ra sẽ yêu cầu một số

xử lý âm học. Tuy nhiên, cách tiếp cận bảo toàn nhất là thiết kế công trình phải đảm bảo rằng chỉ có những phương án xử lý âm học hoàn toàn cần thiết mới được thực hiện trong giai đoạn cuối của quá trình xây dựng.

## 2.6. VẬT LIỆU KHUẾCH TÁN ÂM

### 2.6.1. Nguyên lý cơ bản

Âm thanh đến bề mặt được truyền qua, hấp thụ hoặc phản xạ; lượng năng lượng truyền qua, hấp thụ hoặc phản xạ phụ thuộc vào tính chất âm học của bề mặt đó. Âm thanh phản xạ có thể bị đổi hướng bởi các bề mặt phẳng, lớn, đặc chắc (phản xạ hình học) hoặc bị tán xạ bởi bề mặt khuếch tán, thường gồ ghề, không đều đặn. Khi một phần đáng kể của âm thanh phản xạ được khuếch tán theo không gian và thời gian, đây là một sự phản xạ khuếch tán, và bề mặt liên quan thường được gọi là bộ khuếch tán. Hình 2.17 mô tả các đặc tính thời gian và không gian của các bề mặt hấp thụ, phản xạ hình học và khuếch tán. Ngoài các loại bề mặt thể hiện trong hình này, còn có các bề mặt lai, có thể hấp thụ và khuếch tán với các mức độ khác nhau.



**Hình 2.17.** Các đặc tính về thời gian và không gian của bề mặt hấp thụ, phản xạ hình học và khuếch tán - phỏng theo Trevor & Peter (2009)

Sự phản xạ từ bề mặt có thể được mô tả bằng hệ số tán xạ (scattering coefficient), và hệ số khuếch tán (diffusion coefficient).

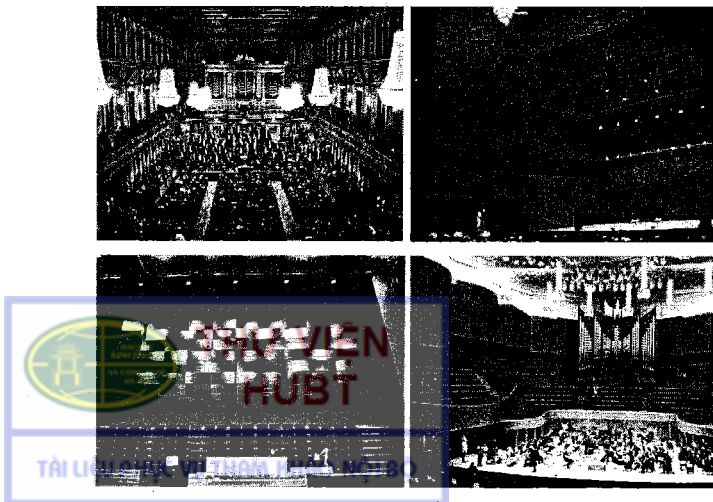
Hệ số tán xạ là một phép đo lượng âm thanh bị tán ra các hướng khác so với hướng phản xạ gương trên một bề mặt phản xạ. Hệ số tán xạ được định nghĩa là tỷ số giữa *năng lượng âm thanh phản xạ không theo phương của phản xạ gương* với *toàn bộ năng lượng âm phản xạ*. Hệ số tán xạ có thể được đo trong phòng âm vang hoặc phòng câm theo ISO 17497.

Hệ số khuếch tán đo lường chất lượng (về độ đồng đều theo không gian và thời gian) của các phản xạ được tạo ra bởi một bề mặt. Nếu năng lượng âm phản xạ nằm rải rác đồng đều trên mọi hướng thì hệ số khuếch tán bằng 1; điều này được gọi là sự khuếch tán hoàn toàn. Nếu toàn bộ năng lượng âm phản xạ nằm trên một hướng duy nhất thì hệ số khuếch tán bằng 0. Mục đích của hệ số này là để thiết kế bộ khuếch tán và cho phép các chuyên gia âm học so sánh hiệu suất của các bề mặt.

### 2.6.2. Các bề mặt khuếch tán âm

Có nhiều loại bề mặt khuếch tán âm được sử dụng rộng rãi trong thiết kế âm học như:

- Các trang trí cổ điển gồm các gờ chỉ, phào, điêu khắc trang trí... đã làm các bề mặt tường cột trở thành các bề mặt khuếch tán âm hiệu quả và đã mang lại chất lượng âm học tuyệt vời cho các khán phòng hòa nhạc cổ điển như Grosser Musikvereinssaal ở Viên (Áo), Concertgebouw ở Amsterdam (Hà Lan)... (xem Hình 2.18).



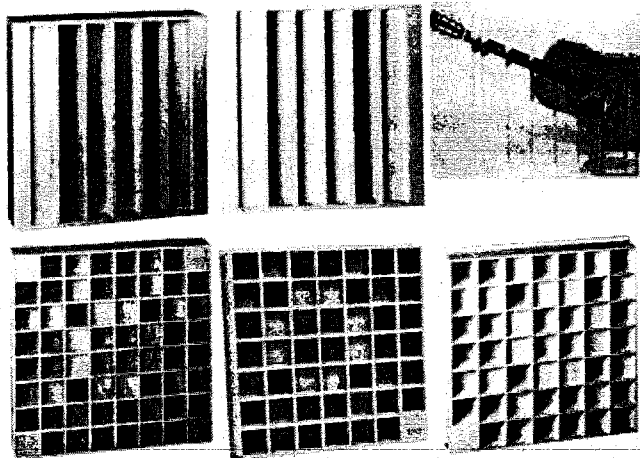
Hình 2.18. Các bề mặt khuếch tán âm

Nguồn: Chiang Wei Hwa

- Bố trí ngẫu nhiên các vật liệu hút âm làm tăng khả năng khuếch tán âm của bề mặt;
- Các tấm có bề mặt zig-zag hay kim tự tháp;
- Các khối hình trụ hay hình cầu đặt liên tiếp và gần nhau;
- Các bộ khuếch tán âm theo lý thuyết số được phát minh đầu tiên bởi Manfred Schroeder như chiều dài tối đa liên tục, bộ khuếch tán MLS và bộ khuếch tán lấy số dư của bình phương liên tục;
- Nhiều thiết kế với các bề mặt tùy chỉnh, không đều.

### 2.6.3. Bộ khuếch tán Schroeder

Một trong những sự xuất hiện đáng chú ý nhất trong thiết kế bộ khuếch tán, là sự phát minh ra bộ khuếch tán rãnh của Schroeder. Bộ khuếch tán do Schroeder đưa ra có khả năng tạo ra sự khuếch tán "tối ưu", và cũng chỉ đòi hỏi một phương trình thiết kế đơn giản. D'Antonio và Konnert thực nghiệm đo hiệu suất và ứng dụng các bộ khuếch tán Schroeder trong môi trường nghe quan trọng, và họ đã thương mại hóa và làm cho chúng phổ biến rộng rãi (Trevor & Peter, 2009).



**Hình 2.19.** Các bộ khuếch tán Schroeder.  
 Hàng trên cùng: bộ khuếch tán 1D được làm từ gỗ, nhựa và mê ca (từ trái sang phải). Hàng dưới: Bộ khuếch tán 2D được làm từ gỗ, nhựa, và mê ca (từ trái sang phải) - phỏng theo Trevor & Peter (2009)

Bộ khuếch tán mặt phẳng 1D Schroeder bao gồm một loạt các rãnh có cùng độ rộng và độ sâu khác nhau. Các rãnh được ngăn cách bởi các tấm mỏng có độ cao bằng nhau. Độ sâu của rãnh được xác định bởi một dãy số toán học, chẳng hạn như lấy số dư của bình phương liên tục (quadratic residue sequence). Bộ khuếch

tán mặt phẳng 1D đơn giản gây ra tán xạ trong một mặt phẳng, ở một hướng khác, các độ sâu khác nhau của bề mặt làm cho nó hoạt động giống như mặt phẳng. Vì lý do này, bình thường chỉ cần xem xét một mặt cắt ngang qua bộ khuếch tán có chứa mặt phẳng phân tán tối đa (xem Hình 2.19).

Phương pháp thiết kế bằng cách lấy số dư của bình phương liên tiếp của bộ khuếch tán Schroeder phẳng 1D được áp dụng. Độ rộng rãnh của bộ khuếch tán:

$$w = \lambda_{min} / 2 \quad (2.4)$$

trong đó:

$w$  - độ rộng của của rãnh;

$\lambda_{min}$  - bước sóng nhỏ nhất xuất hiện.

Phương pháp lấy số dư từ các bình phương liên tiếp là phương pháp toán học phổ biến đã được sử dụng để hình thành độ sâu của rãnh. Độ sâu rãnh cho giếng thứ  $n$  được tính như sau:

$$S_n = \text{mod}(n^2 / N) \quad (2.5)$$

trong đó:

$n$  - số thứ tự của giếng;

$S_n$  - độ sâu giếng thứ  $n$ ;

$\text{mod}$  - phép toán lấy phần dư;

$N$  - số bị chia và trong trường hợp này còn là (số nguyên tố) tổng số giếng trên 1 chu kỳ. Ví dụ với  $N = 7$  thì bộ khuếch tán có  $S_n = \{0, 1, 4, 2, 2, 4, 1\}$  (xem Hình 2.20).

$n$	0	1	2	3	4	5	6	7
$n^2$	0	1	4	9	16	25	36	49
$S_n$	0	1	4	2	2	4	1	

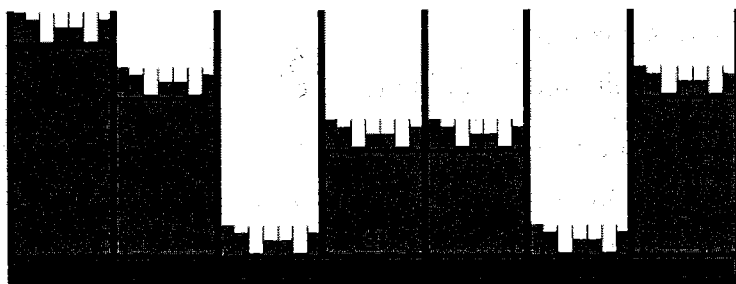


Hình 2.20. Bảng tính  $S_n$  và mặt cắt ngang qua một bộ khuếch tán - phỏng theo Trevor & Peter (2009)

Bộ khuếch tán Schroeder làm việc tại một tần số thiết kế,  $f_0$ . Tuy nhiên, các công thức tính toán bộ khuếch tán Schroeder thường sử dụng bước sóng âm  $\lambda_0$  tương ứng thay vì tần số  $f_0$ . Độ sâu  $d_n$  của giếng thứ  $n$  được xác định từ trình tự thông qua phương trình sau:

$$d_n = S_n \lambda_0 / 2N \quad (2.6)$$

Những bộ khuếch tán fractal (dùng thuật toán để tạo hình bề mặt) có thể được sử dụng để mở rộng khoảng tần số khuếch tán âm như một mẫu trong Hình 2.21.



*Hình 2.21. Các bộ khuếch tán cho tần số thiết kế cao hơn được đưa vào để khuếch tán âm tần số cao hiệu quả - phỏng theo Trevor & Peter (2009)*

## 2.7. ỨNG DỤNG CỦA VẬT LIỆU KHUẾCH TÁN ÂM

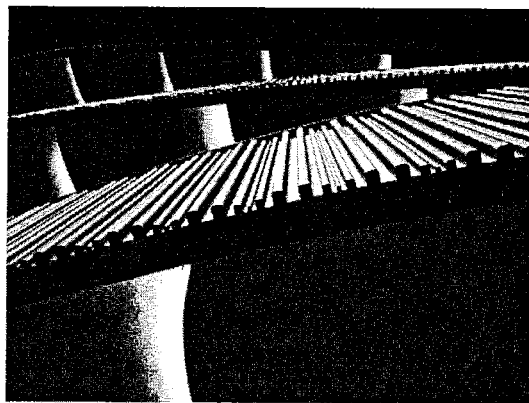
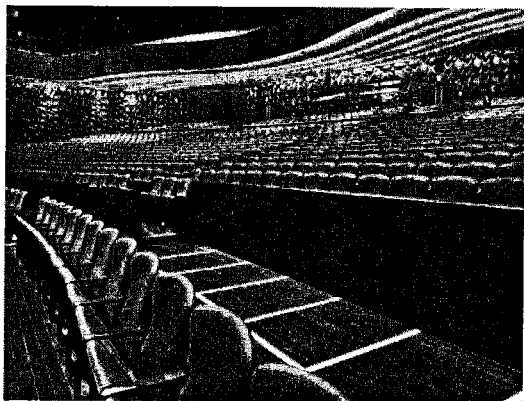
### 2.7.1. Kiểm soát tiếng dội và thúc đẩy trường âm khuếch tán trong khán phòng

Vật liệu hút âm là một giải pháp xử lý tiếng vọng trong phòng, nhưng bộ khuếch tán nên được sử dụng khi năng lượng âm thanh cần phải được bảo tồn, điển hình như thính phòng hòa nhạc lớn, bởi vì mọi phần năng lượng âm thanh được tạo ra bởi các nhạc công phải được bảo tồn và không bị mất đi bởi vật liệu hút âm. Trong các trường hợp khác, sự lựa chọn giữa các khuếch tán và vật liệu hút âm sẽ phụ thuộc vào việc liệu năng lượng bị mất đi bởi sự hấp thụ sẽ làm giảm hoặc cải thiện các khía cạnh khác của âm học, như thời gian âm vang, tính khối của âm và độ rõ.

Xu hướng sử dụng bộ khuếch tán âm cho tường phía sau hội trường đang ngày càng phát triển thay cho sử dụng vật liệu hút âm. Ví dụ, bộ khuếch tán Schroeder 1D (lấy số dư liên tiếp của bình phương liên tục) được sử dụng cho tường hậu của khán phòng Carnegie ở New York. Các bộ khuếch tán được lắp đặt tại Carnegie Hall bởi vì các âm phản xạ trễ từ bức tường hậu đã gây ra tiếng dội lên

khu vực sân khấu, làm cho các nhạc công gặp khó khăn. Bộ khuếch tán đã tán xạ các âm phản xạ, làm giảm mức độ phản xạ đến sân khấu và do đó làm cho tiếng dội không còn nữa. Bộ khuếch tán còn cải thiện tính khối của âm tại khu vực khán giả chính trước sân khấu bằng cách khuếch tán đều các phản xạ từ tường phía sau.

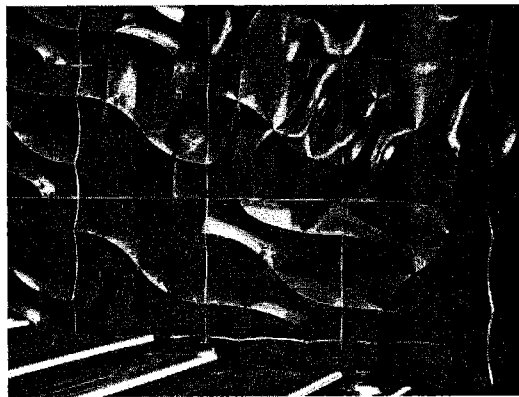
Trong kiến trúc cổ điển, các bề mặt tán xạ là một phần không thể tách rời của hình thức, với các cấu kiện như cột, trang trí, tượng và trần nhà. Những bề mặt này cung cấp các chức năng kết cấu, thẩm mỹ và âm thanh. Khi kiến trúc phát triển thành theo xu hướng hiện đại, ít trang trí công phu và có hình khối hộp đơn giản và các motif này ít được xây dựng, không phù hợp với hình thức kiến trúc và đã làm thay đổi âm học. Những bề mặt khuếch tán kết hợp với vật liệu phản xạ được sử dụng. Chúng có thể là bê tông, gỗ, thủy tinh hoặc các vật liệu khác. Những vật liệu được thiết kế theo ý thích này làm việc như các chi tiết trang trí cổ và chúng bổ sung cho thiết kế hiện đại.



*Hình 2.22. Nội thất khán phòng Taichung Opera House (trái) và bộ khuếch tán Schroeder (QRD) được áp dụng tại các tấm tường phía trước ban công*

*Nguồn: Phan Ánh Nguyên*

Trong nhà hát Taichung Opera House (Đài Loan), bộ khuếch tán Schroeder (QRD) làm bằng gỗ được áp tại mặt trước ban công để khuếch tán đồng đều các phản xạ đến khu vực khán giả chính trước sân khấu (Hình 2.22). Tường hai bên và tường xung quanh được ốp các tấm gạch có bề mặt gợn sóng vừa có tác dụng trang trí và vừa dùng để khuếch tán âm phản xạ đồng đều trong hội trường (Hình 2.23).



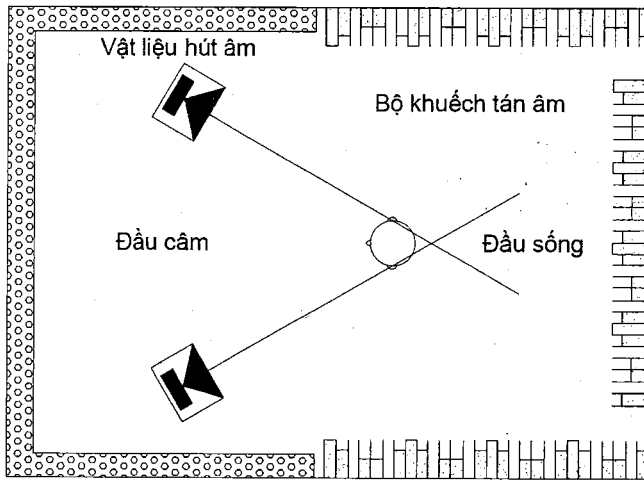
*Hình 2.23. Gạch có bề mặt gợn sóng được ốp tại tường bên và tường hậu của khán phòng Taichung Opera House*

*Nguồn: Phan Ánh Nguyễn*

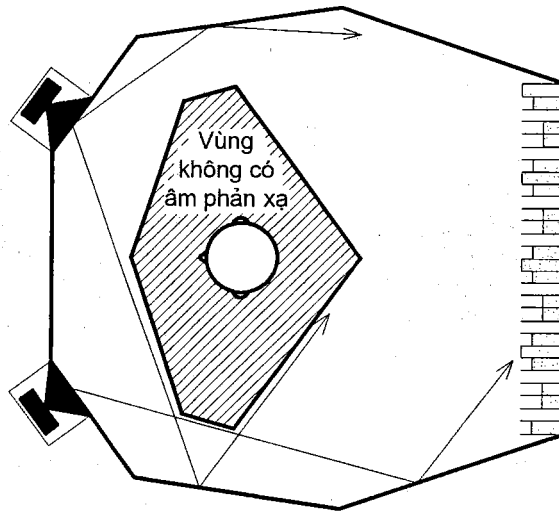
### **2.7.2. Giảm tác động của âm phản xạ sớm trong studio âm thanh**

Studio âm thanh là các phòng nhỏ, nơi âm thanh được sản xuất thông qua một hệ thống điện thanh; ví dụ các phòng nghe giải trí, thu âm hoặc phát thanh kèm phòng điều khiển, các phòng hội thảo hoặc các phòng học từ xa. Trong nhiều thập kỷ, nhiều ý kiến cho rằng thời gian âm vang trong các phòng này phải nhỏ, vào khoảng 0.3 đến 0.4 giây. Nói chung, trong các phòng thu âm hoặc phát thanh này, việc nghe giải trí là không cần thiết mà chỉ cần những âm thanh rõ ràng để cảm nhận chính xác phổ âm và hướng phát của âm. Tuy nhiên, những quan niệm về vai trò của âm phản xạ mạnh xuất hiện sớm đã thay đổi trong thời gian gần đây.

Các âm phản xạ quá sớm với độ trễ từ từ 5 đến 25 mili giây so với âm trực tiếp sẽ có ảnh hưởng tiêu cực làm cho âm bị gắt (coloration). Các âm phản xạ quá sớm thường đến từ các bề mặt phản xạ nằm gần người điều khiển. Điều này dẫn đến sự ra đời của phòng điều khiển âm thanh Live End Dead End (LEDE) được phát triển bởi Don và Carolyn Davis. Họ đề xuất phần phía trước của phòng lắp đặt vật liệu hút âm (đầu “câm”) và phần phía sau thì ít tiêu âm (đầu “sống”) (Hình 2.24). Ngoài ra các nhà thiết kế lúc này đã biết rõ tầm quan trọng của những phản xạ bên đầu tiên trong việc tạo ra tính không gian của âm thanh, theo các nghiên cứu của Schroeder. Điều này đã dẫn việc Peter D'Antonio sử dụng bộ khuếch tán Schroeder bố trí ở tường phía sau của các phòng LEDE để cung cấp âm thanh vòm thụ động và âm thanh được khuếch tán đáng kể. Ông cũng đề nghị kiểm soát dải tần số của các phản xạ mặt trước, bằng cách tạo ra vùng không gian không có âm phản xạ xung quanh vị trí bàn trộn (mixer) (Hình 2.25) (Trevor & Peter, 2009).



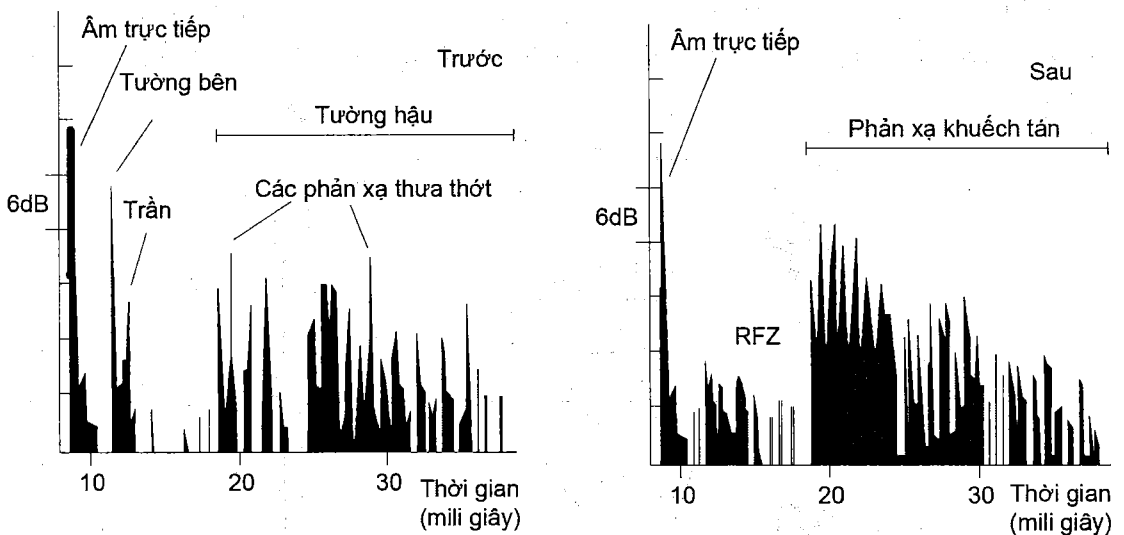
**Hình 2.24.** Sơ đồ bố trí vật liệu hút âm và bộ khuếch tán âm trên mặt bằng phòng điều khiển Live End Dead End (LEDE) - phỏng theo Trevor & Peter (2009)



**Hình 2.25.** Mặt bằng của thiết kế vùng không gian không có âm phản xạ - phỏng theo Trevor & Peter (2009)

Ngoài ra, một số quan niệm khác đã được điều chỉnh và áp dụng cho các studio âm thanh. Tom Hidley và Philip Newell đưa ra ý tưởng sử dụng vật liệu hút âm ở dải tần số nghe được để loại bỏ các âm phản xạ sớm. Khi công nghệ điện thanh chuyển từ hệ thống loa 2 kênh sang đa kênh, những phản xạ âm ban đầu đã bắt đầu được xem là hiệu quả, thay vì bị coi là phá hoại như trước đây với thiết kế 2 kênh và cần phải loại bỏ. Khái niệm này được củng cố bởi một nghiên cứu tổng quan về tâm lý âm học của Floyd Toole (Toole, 2008).

Hình 2.26 chỉ ra các đường suy giảm năng lượng theo thời gian đo trước và sau khi xử lý âm học trong một phòng nghe quan trọng. Ở phía trên của hình, âm thanh trực tiếp và các phản xạ từ bức tường bên cạnh, sàn nhà, trần và phản xạ thừa thớt trong phòng được xác định. Các phản xạ hình học ban đầu bị cô lập và có cường độ mạnh làm ảnh hưởng đến âm sắc. Các phản xạ âm hình học bởi tường sau cũng gây trở ngại cho âm trực tiếp và quá trình sản xuất âm thanh. Những vấn đề này có thể được giải quyết bằng cách kiểm soát những phản xạ sớm từ tường, sàn và trần bằng cách sử dụng các vật liệu hút âm và khuếch tán. Điều này tạo ra độ trễ thời gian ban đầu với những phản xạ từ tường phía sau đến 18 ms như thể hiện trong đồ thị bên phải trong hình.



**Hình 2.26.** Đáp ứng xung trong phòng nghe quan trọng trước (hình trên) và sau xử lý âm học (hình dưới) (RFZ: khu vực không có âm phản xạ) - phỏng theo Trevor & Peter (2009)

### 2.7.3. Cải thiện khả năng nghe rõ trong các trạm tàu điện ngầm hoặc ga tàu điện ngầm

Nhiều trạm tàu điện ngầm là không gian khuếch tán kém. Hình dạng dài và hẹp dẫn đến các đường dẫn tự do dọc theo chiều dài của trạm dài hơn nhiều so với đường truyền ngang. Do đó, âm thanh lan truyền theo phương ngang suy giảm nhanh hơn nhiều so với âm thanh phản xạ đi lên và xuống theo chiều dài của ga. Điều này dẫn đến sự suy giảm năng lượng và 2 thời gian âm vang trong không gian. Thời gian âm vang dài gây ra vấn đề về nghe rõ, vì âm vang làm

cho các từ chồng lấp vào nhau và trở nên khó phân biệt. Bằng cách áp dụng các bộ khuếch tán vào các bức tường bên của trạm, sự truyền lan ngang được tăng cường để giảm âm vang trong không gian và cải thiện sự nghe rõ giọng nói (Jian, 1995).

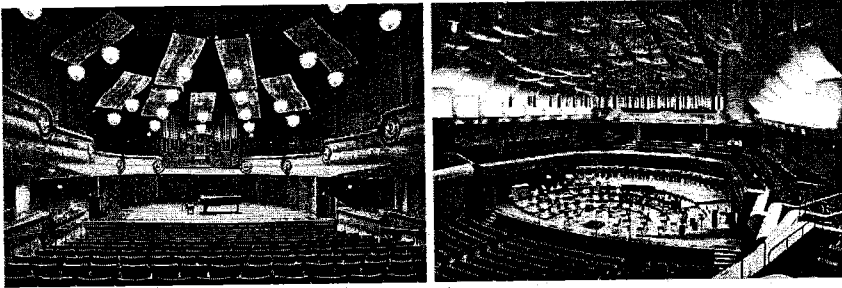
#### 2.7.4. Các bề mặt sân khấu

Thiết kế sân khấu là để hỗ trợ cho nhạc công, người sản xuất ra âm nhạc. Đối với người nhạc công, đạt được sự cân bằng giữa nghe âm thanh do bản thân tạo ra và nghe âm thanh do người khác tạo ra là cực kỳ quan trọng. Trên sân khấu mà có nhiều bề mặt hấp thụ âm, thì sức mạnh âm sẽ nhỏ và người nhạc công khó nghe được âm thanh mà họ tạo ra, và họ dường như sẽ cố gắng chơi to hơn. Trên sân khấu và có thể tích lớn, âm phản xạ thừa thốt và yếu ớt dẫn đến khó nghe âm thanh của những người khác. Trong biểu diễn, các âm phản xạ sớm trong 35 mili giây là rất quan trọng trong nhịp điệu biểu diễn (Rasch, 1979). Thiết kế âm học sân khấu không chỉ ảnh đến dàn nhạc giao hưởng mà còn ảnh hưởng đến cả khu vực khán giả. Ví dụ, các bề mặt trên sân khấu hướng các âm phản xạ đến cả dàn nhạc và khu vực khán giả.

Bề mặt sân khấu bao gồm tường xung quanh, trần và sàn sân khấu (có hoặc không có bục sân khấu). Tường bao sân khấu (kiểu băng dài hoặc kiểu vòng cung) ngày càng phổ biến hiện nay và thường được sử dụng để cung cấp âm phản xạ rõ từ nguồn âm đến người nghe, và đặc biệt là cho các nguồn âm có cường độ âm thanh yếu như bộ dây. Tấm phản xạ treo thường được trang bị trong các khán phòng với trần cao hoặc có thiên kiều đối với khán phòng đa chức năng.

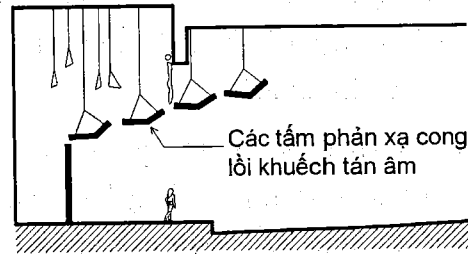
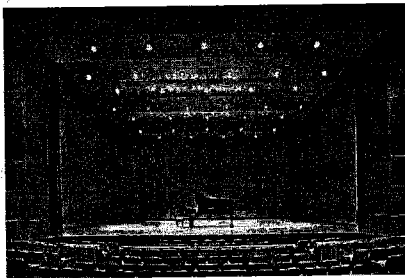
Đối với các sân khấu lớn, các tấm phản xạ treo từ 6 - 8 m trên sàn sân khấu được đề xuất (Barron, 1978) trong khi treo ở độ cao 12 m vẫn được cân nhắc là hữu dụng (Meyer, 2009). Các tấm phản xạ hướng âm phản xạ quay trở lại khu vực sân khấu, và các âm phản xạ này cần thiết cho các nhạc công để nghe âm thanh do chính bản thân họ tạo ra và âm thanh của bạn diễn. Nếu không có phản xạ sớm từ các bề mặt sân khấu, người biểu diễn sẽ thấy khó khăn để tạo sự cân bằng tốt giữa mình và giữ đúng nhịp điệu thời gian. Các tấm phản xạ treo có hai loại chính là loại tán gồm nhiều tấm nhỏ tạo thành với các khoảng hở giữa chúng và loại thứ hai là dạng vỏ hay là dạng tấm lớn. Tuy nhiên, các bề mặt này có thể làm ảnh hưởng đến âm sắc của âm thanh gây ra bởi các âm phản xạ sớm mạnh quá mức. Giải pháp cho vấn đề này với tấm phản xạ loại tán là các tấm cấu kiện

có kiểu gợn sóng hoặc các bề mặt cong lồi để khuếch tán âm (Hình 2.27). Đối với tấm phản xạ dạng tấm, các bề mặt được thiết kế không đều đặn hoặc sử dụng các bề mặt cong lồi dạng vò để khuếch tán âm thanh (Hình 2.28).



**Hình 2.27.** Tấm phản xạ tán với thiết kế hình chữ nhật gợn sóng tại trung tâm trình diễn nghệ thuật Columbus, Mỹ (phải) và thiết kế hình vuông cong lồi tại khán phòng hòa nhạc Davies San Francisco, Mỹ (trái)

Nguồn: SmugMug (2017)

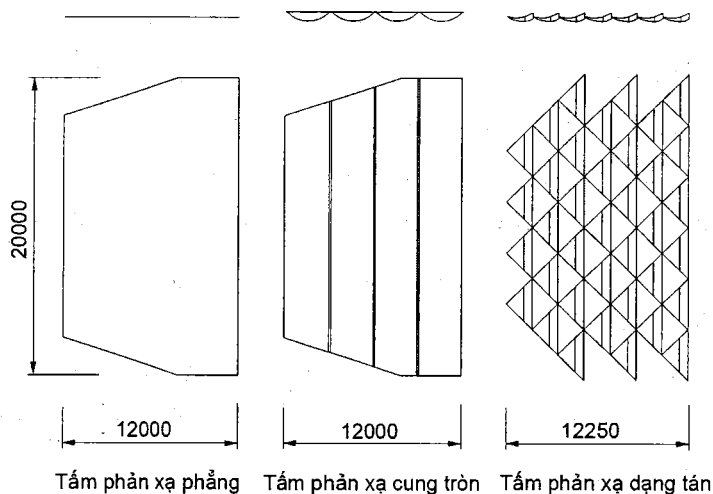


**Hình 2.28.** Trần sân khấu gồm các bề mặt cong lồi khuếch tán âm thanh tại khán phòng hòa nhạc Opus II ở thành phố Cork, Ireland

Nguồn: StageRight (2017)

Trong nghiên cứu về thiết kế âm học sân khấu, chúng tôi đã nghiên cứu ảnh hưởng của các loại tấm phản xạ treo cùng với độ treo cao đến chất lượng âm học sân khấu. Ba loại tấm phản xạ treo với 3 loại bề mặt có độ khuếch tán khác nhau (Hình 2.29). Với cùng một độ treo cao là 12.6 m so với sàn sân khấu, tấm phản xạ dạng tấm với các cung tròn 1/4 và dạng tán cho thời gian âm vang (EDT) tại khu vực sân khấu là 1.90 giây và ngắn hơn so với tấm phản xạ treo dạng phẳng là 2.00 giây. Các tấm phản xạ có bề mặt cong lồi khuếch tán phản xạ âm đồng đều trong không gian và đồng thời làm cho thời gian âm vang tại khu vực sân khấu giảm xuống. Tuy nhiên, khi hạ xuống độ cao 9.2 m so với sàn sân khấu, thì tấm phản xạ phẳng và tấm phản xạ dạng tấm với các cung tròn 1/4 lại có thời gian âm vang (EDT) là 1.75 giây ngắn hơn so với tấm phản xạ dạng tán là 1.85 giây.

Nguyên nhân là do tấm phản xạ dạng tán có những khoảng hở giữa chúng làm không gian sân khấu có thể tích lớn hơn so với việc sử dụng tấm phản xạ dạng tấm (Phan, 2017).



**Hình 2.29.** Mặt bên và mặt bằng các tấm phản xạ treo trong nghiên cứu thiết kế âm học sân khấu - phỏng theo Phan Ánh Nguyên (2017)

Cùng với trần, các tấm phản xạ treo định hướng thì các bề mặt xung quanh sân khấu như tường bên và tường hậu cũng có vai trò hết sức quan trọng chất lượng âm học của khán phòng. Đối với các sân khấu có độ rộng lớn hơn 16 m, phần trên của tường bên thường nghiêng xuống để cung cấp âm phản xạ sớm cho người biểu diễn (Hình 2.30). Các bề mặt này có tính phản xạ, khuếch tán âm thanh là thường không hấp thụ âm.



**Hình 2.30.** Tường xung quanh sân khấu với bề mặt khếch tán và phần trên của tường sân khấu được nghiêng xuống tại khán phòng trường Đại học Nghệ thuật quốc gia Đà Bắc

Nguồn: Phan Ánh Nguyên

### 2.7.5. Làm giảm hiện tượng âm tập trung của bề mặt lõm

Các bề mặt lõm có thể gây ra hội tụ âm. Điều này dẫn đến năng lượng âm thanh phân bố không đồng đều trong phòng. Hơn nữa, vì bề mặt lõm tập trung năng lượng tại các vị trí cụ thể, có nguy cơ những phản xạ này sẽ có mức âm cao hơn đáng kể so với sự phản xạ chung của không gian và do đó gây ra các vấn đề tiếng dội hoặc ảnh hưởng đến âm sắc. Một ví dụ nổi tiếng về điều này là khán phòng Royal Albert (Hình 2.31), nơi mái vòm lớn gây ra vấn đề với về độ trễ so với âm trực tiếp và hội tụ âm. Giải pháp là đưa những tán phản xạ âm hình 'nấm', phân tán âm thanh và cung cấp những phản xạ sớm cho khán giả. Giả sử bề mặt lõm không thể tháo ra, giải pháp thường dùng là sử dụng vật liệu hút âm hoặc khuếch tán. Cả hai phương pháp xử lý đều hiệu quả; sự lựa chọn phụ thuộc vào các yếu tố âm học, chẳng hạn như thời gian âm vang hay năng lượng âm trong phòng.



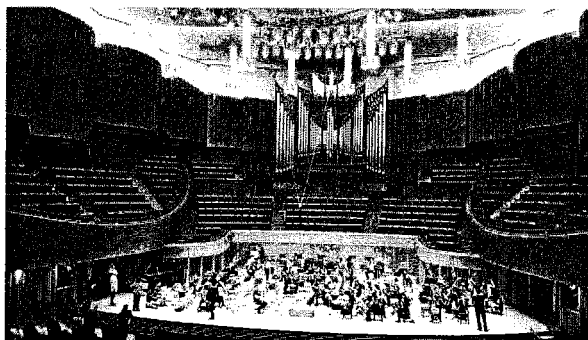
*Hình 2.31. Khán phòng Royal Albert với tán phản xạ hình “nấm” phân tán âm thanh và cung cấp những phản xạ sớm cho khán giả*

*Nguồn: Royal Albert Hall Co.Ltd*

### 2.7.6. Trong khu vực khán giả - trường âm khuếch tán

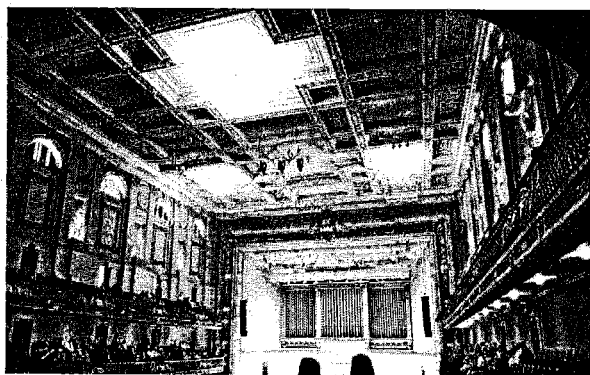
Các bề mặt khuếch tán được ứng dụng rộng rãi trong thiết kế khán phòng để giảm sự ảnh hưởng của âm phản xạ sớm, tạo sự phân bố năng lượng đồng đều trong khán phòng, rút ngắn thời gian âm vang và thúc đẩy trường âm khuếch tán. Các bề mặt thường được thiết kế khuếch tán âm gồm có trần, tường bên. Bề mặt tường bên cong lồi thường được sử dụng trong các khán phòng có hình dáng hữu cơ (Hình 2.32). Trong khi đó, các bề mặt khuếch tán được thiết kế gồ ghề không

đều đặn lại thường được sử dụng trong các khán phòng có các bề mặt phẳng lớn ví dụ như tường bên và trần của các khán phòng hình hộp và hình quạt (Hình 2.33). Đặt bộ khuếch tán lên tường phía sau của một khán phòng hòa nhạc có thể cải thiện trường âm khuếch tán mà không ảnh hưởng đến sự phân bố âm phản xạ sớm.



*Hình 2.32. Khán phòng hòa nhạc Sapporo, Nhật Bản với thiết kế tường bên và trần là các bề mặt cong lồi tán xạ âm tạo trường âm khuếch tán trong phòng*

*Nguồn: Chiang Wei Hwa*



*Hình 2.33. Khán phòng hòa nhạc Boston, Mỹ với hệ trần mạng lưới ô vuông trang trí còn có chức năng khuếch tán âm trong khu vực khán giả*

*Nguồn: Chiang Wei Hwa*

## 2.8. CÁC NGUYÊN TẮC BỐ TRÍ VẬT LIỆU KHUẾCH TÁN ÂM

Trong những thập kỷ gần đây, sự hiểu biết về vị trí và lý do tại sao sử dụng bộ khuếch tán đã được thiết lập. Mặc dù kiến thức này vẫn còn chưa đầy đủ, trong nhiều ứng dụng phổ biến hiện nay đã thiết lập cách sử dụng bộ khuếch tán trong xử lý âm học. Các nguyên tắc thiết kế được trình bày trong sách của Knudsen và Harris (Knudsen & Harris, 1950) liên quan đến khuếch tán âm thanh vẫn đang được sử dụng như chỉ dẫn thiết kế cho đến ngày hôm nay.

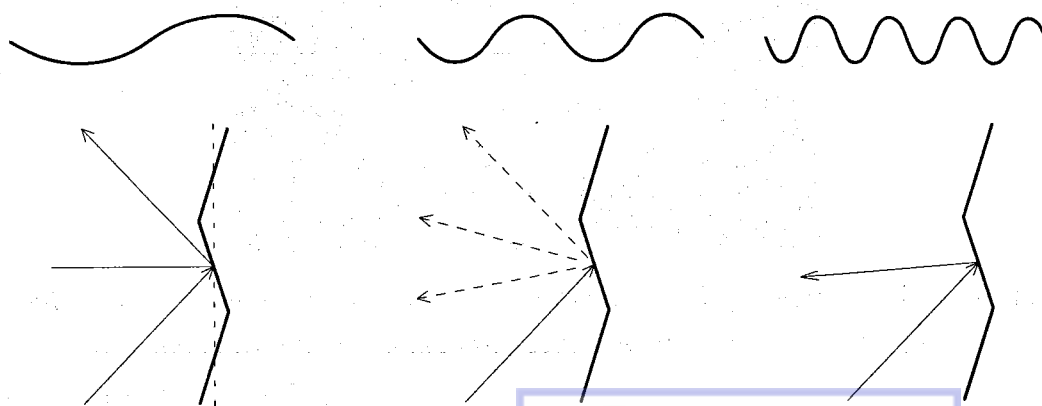
- Khuếch tán không chỉ tăng sự đồng nhất trong sự phân bố áp suất âm mà còn tăng sự đồng nhất trong việc tăng cường hay làm suy yếu âm thanh trong khán phòng;

- Bề mặt khuếch tán hiệu quả nhất khi kích thước của bằng với bước sóng của âm thanh. Đối với các bề mặt gợn sóng chu kỳ, độ sâu và độ rộng của gợn sóng là hai yếu tố quan trọng nhất để xác định sự tương tác với tần số âm;

- Sự khuếch tán tăng khi lắp đặt các tấm vật liệu hút âm ngẫu nhiên;

- Các tấm tường cong lồi, bề mặt kim tự tháp, bề mặt zig-zag và trang trí thạch cao trong các công trình cổ là những bề mặt khuếch tán âm điển hình. Bề mặt nội thất có hiệu quả ở âm thanh với tần số trung bình và cao trong khi các cột, dầm và ban công khuếch tán âm thanh tần số thấp.

Hình 2.34 minh họa cách thức phản xạ của sóng âm từ một tấm tường zig-zag phụ thuộc vào sự liên quan giữa bước sóng và kích thước của tấm panel của tường. Sự phụ thuộc được mô tả bởi Cremer rằng “Tấm tường phản xạ sóng âm tần số thấp giống như một tấm gương lớn, với sóng âm tần số trung bình, tấm tường tạo ra các phản xạ khuếch tán, và với âm tần số cao, tấm tường là những tấm gương phẳng nhỏ nghiêng” (Meyer, 2009).



*Hình 2.34. Sự phản xạ từ tấm tường zig-zag phụ thuộc vào sự tương quan giữa bước sóng và kích thước của tấm panel tường - phỏng theo Meyer (2009)*

## 2.9. CÁCH LỰA CHỌN VẬT LIỆU (HÚT ÂM HAY KHUẾCH TÁN ÂM)

Cả hai vật liệu hút âm và khuếch tán âm thanh đều có thể được sử dụng để tránh sự biến dạng âm thanh. Ví dụ, cả hai đều có hiệu quả trong kiểm soát tiếng vang, âm sắc và thay đổi hình ảnh âm thanh, được gây ra bởi phản xạ mạnh mẽ.

Vật liệu hút âm hay bộ khuếch tán tốt hơn phụ thuộc chủ yếu vào việc giảm âm vang và / hoặc việc duy trì mức âm thanh mong muốn. Nếu bức tường gây ra vấn đề với âm sắc, và người thiết kế muốn duy trì thời gian âm vang và năng lượng âm thanh trong không gian, thì bộ khuếch tán là giải pháp tốt nhất. Bộ khuếch tán được đặt trên tường để phân tán sự phản xạ và để giảm sự biến dạng mà không loại bỏ năng lượng âm thanh khỏi không gian. Vì lý do này, ở các phòng hòa nhạc, nơi mà năng lượng âm thanh cần ở mức cao, những bộ khuếch tán sẽ được ưu tiên hơn. Trong các phòng nhỏ hơn, ví dụ như giảng đường, nơi mà sự nghe rõ là quan trọng, cần phải đạt được sự cân bằng, trong đó sự hấp thụ được sử dụng để điều chỉnh thời gian âm vang và mức âm, và các bộ khuếch tán được sử dụng để đảm bảo phản xạ sớm, có thể hỗ trợ có chủ ý trong lời nói, không làm biến dạng âm. Khi các âm phản xạ không thể được sử dụng một cách có chủ ý cho sự nghe rõ, thì những phản xạ này có thể được hấp thụ, hoặc khuếch tán.

Trong các thính phòng quan trọng, vật liệu hút âm và bộ khuếch tán được sử dụng cùng lúc để kiểm soát âm thanh trong không gian. Để kiểm soát âm phản xạ bậc nhất, cả hai đều hiệu quả. Khi vật liệu hút âm được sử dụng, trường âm thanh dễ bị méo hay phân tầng. Khi bộ khuếch tán được sử dụng, trường âm thanh này có chiều rộng và chiều sâu tự nhiên hơn. Vật liệu nào là đúng, hút âm hoặc khuếch tán là còn tùy thuộc vào “gu” của cá nhân. Nếu tất cả các giải pháp là hút âm, phòng trở nên khá “chết”/ câm. Trong khi một số người ủng hộ điều này cho phòng nghe hỗn hợp, những người khác thì không, và họ cho rằng một phòng nghe với nhiều vật liệu hút âm không phải là tốt nhất. Do đó, để duy trì sự sống động của phòng, sự kết hợp của hút âm và khuếch tán phải được sử dụng. Các nghiên cứu tâm lý hiện đại trong các phòng nghe âm thanh vòng đa kênh chỉ ra tầm quan trọng của việc tạo ra các phản xạ bên để tăng cường tính khối, bằng cách sử dụng các khuếch tán mặt phẳng trên tường phía sau, tường bên và trần nhà. Vật liệu hút âm đối với quãng tần số rộng có hiệu quả nhất nên bố trí trên tường phía trước và ở các vị trí góc.

Để cung cấp phương thức điều khiển âm tần số thấp, cả bộ hấp thụ và khuếch tán đòi hỏi một độ sâu đáng kể để làm việc, và độ sâu của các phương pháp xử lý âm tần số thấp có những hạn chế về không gian và chi phí. Do đó, các vật liệu hút âm cộng hưởng với chiều sâu giới hạn thường được sử dụng để đối phó với các vấn đề không gian hạn chế. Trong thính phòng, vật liệu hút âm cộng hưởng cung cấp khả năng điều khiển tần số thấp hiệu quả khi đặt ở vị trí góc với áp suất

âm cao. Tốc độ âm thanh trong vật liệu hút âm xấp xỉ thấp hơn trong không khí, và do đó một độ dày nhất định của vật liệu hút âm có thể hoạt động ở tần số thấp tốt hơn độ dày của bộ khuếch tán tương tự. Vì lý do này, một bộ khuếch tán hấp thụ một phần, chẳng hạn như cấu trúc phức hợp, hoặc vật liệu hút âm cộng hưởng thường được ưa thích để xử lý tần số thấp cho không gian có yêu cầu chất lượng âm cao.

Bộ khuếch tán có lợi thế nhìn chung là lớn hơn vật liệu hút âm. Hầu hết các công nghệ hút âm liên quan đến vật liệu dạng xơ, không chịu được ảnh hưởng của gió, mưa và các môi trường độc hại. Ví dụ, ở các ga đường sắt hoặc trên đường phố với một lượng lớn ô nhiễm hạt như bụi bẩn, theo thời gian có thể làm tắc nghẽn các lỗ của các chất hút âm lỗ rỗng. Các thiết bị ngoài trời với các vật liệu hút âm lỗ rỗng có nguy cơ sẽ bị thấm nước, rửa trôi theo thời gian rất cao. Gần đây, vật liệu hút âm thủy tinh ngưng kết tái chế có thể được dùng cả trong và ngoài trời. Ngoài ra, vật liệu hút âm không chứa chất xơ, như các vật liệu hút âm đục lỗ siêu nhỏ, có thể là một giải pháp.

Cả vật liệu hút âm và bộ khuếch tán đều có một vai trò trong việc thiết kế âm học. Chúng có chức năng bổ sung, có nghĩa là khi chúng được kết hợp phù hợp, có thể đạt được âm thanh chất lượng hơn.

## 2.10. CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG 2

### Câu hỏi trọng tâm:

1. Nêu tên và vẽ đường đặc tính hút âm của 3 trong số các loại vật liệu và kết cấu hút âm cơ bản.
2. Giải thích nguyên lý hút âm của bản đục lỗ hút âm. Làm thế nào để tăng khả năng hút âm của bản đục lỗ?
3. Giải thích nguyên lý hút âm của bản mỏng cộng hưởng hút âm. Đặc tính hút âm của nó? Làm sao để điều chỉnh đặc tính hút âm của bản mỏng cộng hưởng?
4. Vẽ hình và nêu nguyên lý hút âm của lọ Helmholtz. Nêu một ứng dụng của lọ Helmholtz trong công trình xây dựng.
5. Giải thích nguyên lý hút âm của vật liệu hút âm xốp rỗng. Làm thế nào để tăng khả năng hút âm tần số thấp của vật liệu này?
6. Nêu các ứng dụng cơ bản của vật liệu hút âm.
7. Nêu các nguyên tắc cơ bản của việc bố trí vật liệu hút âm trong thính phòng.

8. Nêu và mô tả vắn tắt các vật liệu khuếch tán âm phổ biến sử dụng trong âm học kiến trúc.

9. Nêu các ứng dụng cơ bản của vật liệu khuếch tán âm.

10. Nêu các nguyên tắc cơ bản của việc bố trí vật liệu khuếch tán âm trong thính phòng.

### **Bài tập ôn:**

**Bài tập 1:** Cho một thính phòng hình hộp chữ nhật có kích thước dài rộng cao lần lượt là  $20 \times 15 \times 4$  m. Bên trong phòng phủ toàn bộ bằng vật liệu thảm. Tính tổng lượng hút âm  $A$  ( $m^2$ ) trong phòng đối với từng octave, biết lượng hút âm là tích của diện tích bề mặt  $S$  ( $m^2$ ) và hệ số hút âm  $\alpha$  của vật liệu tương ứng.

$$A = S \times \alpha$$

*Gợi ý:* Dựa vào Bảng 2.1, có thể tra được hệ số hút âm ở từng octave của thảm. Tính diện tích các bề mặt trong phòng và tính lượng hút âm tương ứng. Kết quả cuối cùng là tổng các lượng hút âm vừa tính.

**Bài tập 2:** Cho một thính phòng hình hộp chữ nhật có kích thước dài rộng cao lần lượt là  $20 \times 15 \times 4$  m. Phòng có nền gạch men, trần bê tông và tường bọc thảm.

Tính tổng lượng hút âm trong phòng đối với từng octave.

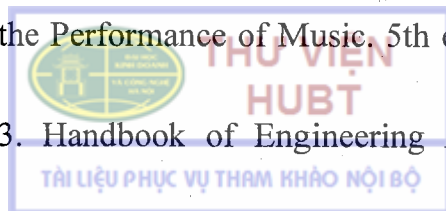
*Gợi ý:*

- Tính diện tích tường, trần, và sàn.
- Tính lượng hút âm của tường, trần và sàn một cách riêng rẽ bằng cách tra bảng hệ số hút âm ở Bảng 2.1.
- Tính tổng lượng hút âm của tất cả các bề mặt bằng phép cộng.



## TÀI LIỆU THAM KHẢO CHƯƠNG 2

1. Arenas J. P. & Crocker, M. J., 2010. Recent trends in porous sound-absorbing materials. *Sound & vibration*, 44(7), pp. 12-18.
2. Ballou G., 2013. *Handbook for sound engineers*. Oxfordshire: Taylor & Francis.
3. Barron M., 1978. The Gulbenkian Great Hall, Lisbon, II: an acoustic study of a concert hall. *J. Sound Vib.* 59, pp. 481-502.
4. Beranek L. L. & Hidaka T., 1998. Sound absorption in concert halls by seats, occupied and unoccupied, and the hall's interior surfaces. *Journal of the Acoustical Society of America*, 104(6), p. 3169-3177.
5. Cavanaugh W. J., Tocci G. C. & Wilkes J. A., 2009. *Architectural acoustics: principles and practice*. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons Incorporated, pp. 1-54.
6. Everest F. A. & Pohlmann K. C., 2001. *The master handbook of acoustics*. 4th ed. New York: McGraw-Hill.
7. Jian K., 1995. Experimental approach to the effect of diffusers on the sound attenuation in long enclosures. *Building Acoustics*, Volume 1, pp. 391-402.
8. Knudsen V. O. & Harris, C. M., 1950. *Acoustical Designing in Architecture*. New York: John Wiley and Sons .
9. Meyer J., 2009. *Acoustics and the performance of music*. New York: Springer.
10. Meyer J., 2009. *Acoustics and the Performance of Music*, 5th ed. Berlin: Springer.
11. Müller G. & Möser M., 2013. *Handbook of Engineering Acoustics*. Berlin: Springer.
12. Nguyễn Ngọc Giả, 2011. *Cơ sở âm học kiến trúc - Thiết kế chất lượng âm*. Hà Nội: Nhà xuất bản Xây dựng.
13. Olson H. F. & May E. G., 1953. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Electronic sound absorber, 25(6), pp. 1130-1136.



14. Phạm Đức Nguyên, 2011. Âm học kiến trúc, âm học đô thị. Hà Nội: Nhà xuất bản Xây dựng.
15. Phan Ánh Nguyên, 2017. Stage Acoustics Design and Scale Model of a large vineyard hall, Taipei: Taiwan Tech.
16. Rasch R. A., 1979. Synchronization in performed ensemble music. *Acustica* 43, p. 121.
17. Rossing T. D., 2007. Springer handbook of acoustics. Berlin: Springer.
18. Royal Albert Hall Co.Ltd, n.d. ROYAL ALBERT HALL. [Online]
19. Available at: <https://www.royalalberthall.com>, [Accessed 09 12 2017].
20. SmugMug, 2017. Hole in the donut. [Online], Available at: <https://holeinthedonut.smugmug.com> và <https://media.timeout.com>, [Accessed 12 19 2017].
21. StageRight, 2017. StageRight. [Online], Available at: <http://performance.stageright.com>, [Accessed 9 12 2017].
22. Szokolay S. V., 2008. Introduction to architectural science. Oxford: Elsevier Science.
23. Toole F.E., 2008. Sound reproduction: Loudspeakers and rooms. Taylor & Francis.
24. Trevor J. & Peter D., 2009. Acoustic Absorbers and Diffusers - Theory, design and application. New York: Taylor & Francis.
25. Wilson R., Capp M. & Stuart J. R., 2003. The loudspeaker-room interface-controlling excitation of room modes. Allerod, Audio Engineering Society.
26. Zhou X., Heinz R. & Fuchs H. V., 1998. Zur Berechnung geschichteter Platten- und Lochplatten-Resonatoren. *Bauphysik*, 20(3), p. 87-95.



## ÂM HỌC PHÒNG KÍN (ROOM ACOUSTICS)

---

### TÓM TẮT NỘI DUNG CHÍNH

- Chương 3 có ba nội dung cơ bản:
- Đặc điểm của môi trường âm thanh trong một phòng kín;
- Các thông số liên quan đến chất lượng âm trong phòng;
- Các hiện tượng âm học tốt và xấu có thể xảy ra trong phòng kín.

Do đó, để nắm bắt được nội dung của chương, bạn đọc cần quan tâm và nắm vững các điểm sau đây:

- Nắm được quá trình hình thành và tắt dần của trường âm trong phòng kín. Từ đó biết được công thức tính toán thời gian âm vang là đại lượng quan trọng nhất để biết chất lượng âm. Công thức tính thời gian âm vang đơn giản nhất, nhưng quan trọng của Sabine cũng cần phải nhớ:  $T = 0.16V / A$

- Nắm được nguyên lý âm hình học để ứng dụng vẽ đường đi của tia âm và vẽ các bề mặt phản xạ trên mặt bằng và mặt cắt.

- Nắm được các đại lượng phản ánh chất lượng âm chủ yếu: thời gian âm vang, độ mạnh yếu, ấn tượng không gian của âm. Các đại lượng chất lượng âm còn lại mang tính hỗ trợ thêm để đánh giá chất lượng âm.

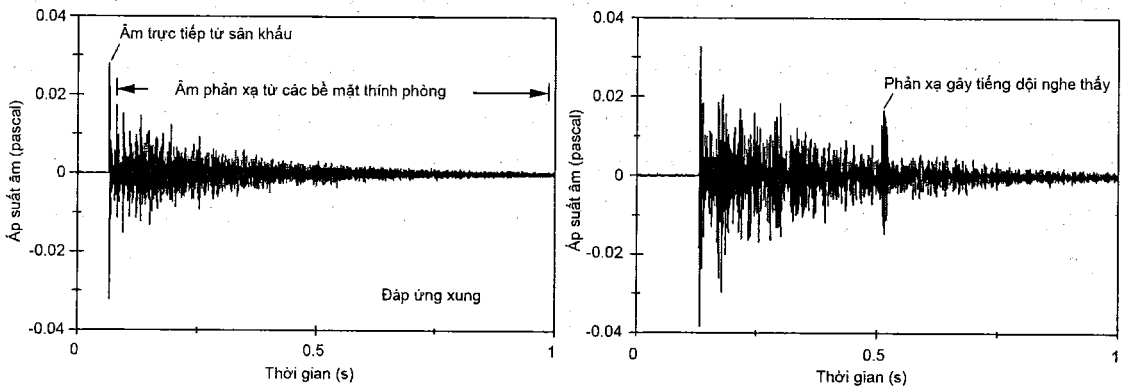
- Nắm được hiện tượng âm tốt - trường âm khuếch tán - và cách thức để tạo ra trường âm gần với trạng thái khuếch tán.

- Nắm được nguyên nhân gây ra các hiện tượng âm xấu: bóng âm, tiếng dội, hội tụ âm, méo âm....

### 3.1. TRƯỜNG ÂM TRONG PHÒNG KÍN

#### 3.1.1. Xung đáp ứng

Trong âm học, **xung đáp ứng** (Impulse response) của một căn phòng là tín hiệu âm thanh (áp suất âm) nhận được bởi microphone trong phòng và ghi lại trong máy thu khi có một **xung kích thích** ban đầu (ví dụ: một quả bóng nổ, một tiếng súng...). Xung đáp ứng chứa đựng toàn bộ các thông tin về sự lan truyền của âm thanh từ nguồn tới tai người nghe, bao gồm cả các âm phản xạ từ các bề mặt phòng và quá trình tắt dần của âm. Do đó biểu đồ xung đáp ứng được dùng để phân tích cấu trúc âm phản xạ và chất lượng âm của phòng. Hình 3.1 giới thiệu một ví dụ về biểu đồ xung đáp ứng và các thông tin mà nó cung cấp. Những âm thanh đầu tiên đến là âm trực tiếp từ sân khấu. Sau đó phản xạ đến từ tất cả các bề mặt trong phòng: tường, trần, sàn...



**Hình 3.1.** Biểu đồ xung đáp ứng cho thấy âm thanh nhận được tại một micro trong một phòng hòa nhạc ở Anh khi có một âm thanh kích thích, chẳng hạn như một tiếng súng, được tạo ra trên sân khấu

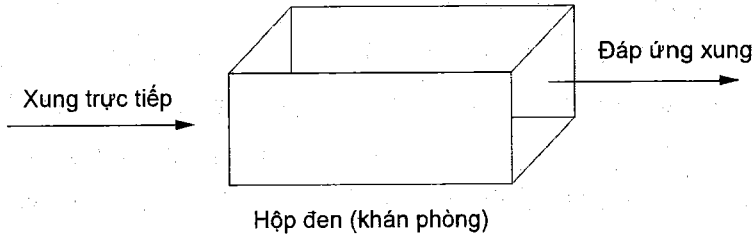
Trên biểu đồ xung đáp ứng, độ lớn tương đối của âm phản xạ cũng được thể hiện, cho thấy những thời điểm xuất hiện tiếng dội (xem Hình 3.1 bên phải) vốn ảnh hưởng đến độ rõ của âm trong phòng. Bởi vì âm lan truyền trong không khí với tốc độ gần như cố định, khoảng 343 m/s, thời điểm xuất hiện tiếng dội sẽ tương ứng với một quãng đường truyền âm nhất định. Căn cứ độ dài quãng đường truyền âm, ta dễ dàng xác định được vị trí bề mặt phản xạ gây tiếng dội, từ đó điều chỉnh kích thước, độ nghiêng, độ hút âm để loại bỏ tiếng dội.

Tương tự như trên, những khoảng trống trong biểu đồ xung đáp ứng cho biết sự thiếu hụt năng lượng âm phản xạ tại thời điểm tương ứng. Bằng cách thêm

hoặc điều chỉnh vị trí các bề mặt phản xạ (ví dụ giảm độ cao trần), âm phản xạ được bổ sung vào các khoảng trống, tạo ra sự đều đặn của trường âm.

**Mối quan hệ giữa xung đáp ứng và chất lượng âm của phòng:**

Theo các định luật của lý thuyết hệ thống, về mặt âm học một phòng kín có thể xem như là một hệ thống truyền dẫn tuyến tính mà có thể được đặc tả một cách đầy đủ bởi xung đáp ứng  $h(t)$  của nó theo thời gian (Hình 3.2).



**Hình 3.2.** Giải pháp cơ bản của lý thuyết tín hiệu cho một căn phòng chưa biết rõ

Nếu có một đơn vị xung kích thích  $\delta(t)$  được sử dụng như một tín hiệu đầu vào, xung đáp ứng  $h(t)$  có quan hệ với hàm truyền dẫn  $\underline{G}(\omega)$  theo tần số thông qua phép biến đổi Fourier. (Trong xử lý tín hiệu âm thanh, phép biến đổi Fourier thường được sử dụng trong chuyển đổi tín hiệu thành các thành phần biên độ và tần số).

$$\underline{G}(\omega) = F\{h(t)\} \tag{3.1}$$

trong đó:

$$h(t) = F^{-1}\{\underline{G}(\omega)\} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \underline{G}(\omega) e^{j\omega t} d\omega.$$

Thông thường, theo các kỹ thuật thí nghiệm, căn phòng thường được kích thích bởi một xung kích thích rất ngắn; và xung đáp ứng  $h(t)$  được ghi nhận ở các vị trí xác định trong phòng (Hình 3.2). Ở đây, xung đáp ứng cũng chứa đựng các thông tin tương tự như hàm truyền dẫn theo tần số ghi nhận được. Do đó, biểu đồ âm phản xạ trong phòng có thể xác định từ hàm xung đáp ứng  $h(t)$  có được đo đạc hay tính toán. Do đó:

Áp suất âm:

$$P(t) \approx h(t) \tag{3.2}$$

Mật độ năng lượng âm:

$$w(t) \approx h^2(t) \tag{3.3}$$

Cường độ âm trung bình:

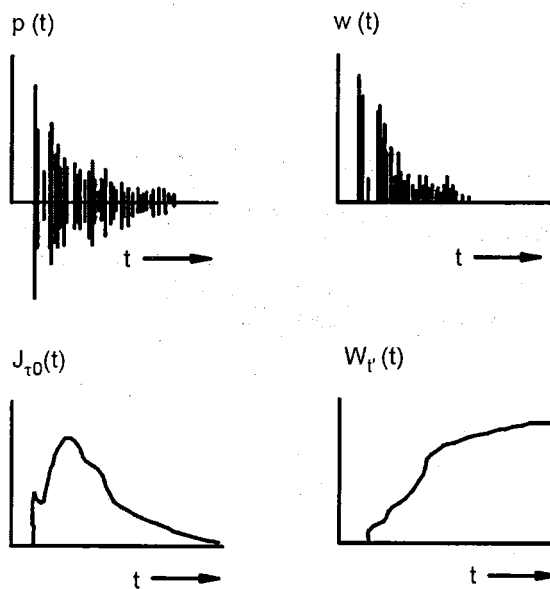
$$J_{\tau_0} \approx \int_0^{\tau} h^2(t') \left( \frac{T-t}{\tau_0} \right) dt' \quad (3.4)$$

trong đó:  $\tau_0 = 35$  ms.

Năng lượng âm:

$$W(t) \approx \int_0^{\tau} h^2(t') dt' \quad (3.5)$$

Các biểu đồ âm phản xạ và năng lượng âm cơ bản được trình bày như sau:



**Hình 3.3.** Ứng xử của các đại lượng trường âm theo thời gian (reflectogram): áp suất âm  $P(t)$ , mật độ năng lượng âm  $W(t)$ , cường độ âm trung bình  $J_{\tau_0}(t)$ , và năng lượng âm  $W_{\tau}(t)$

Đường suy giảm năng lượng âm EDC (cho biết năng lượng âm còn lại của xung đáp ứng sau một thời gian  $t$ ):

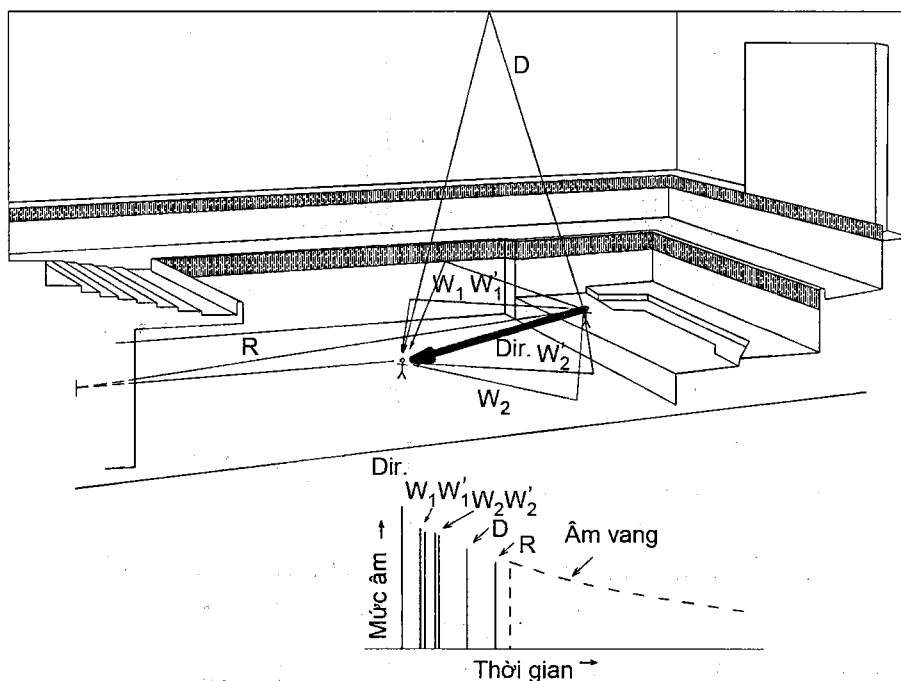
$$EDC(t) = \int_t^{\infty} h^2(\tau) d\tau \quad (3.6)$$

Các kỹ thuật xung đáp ứng (impulse response techniques) thường được dùng để lọc và phân tích tín hiệu âm thành các dải octave chuẩn và cho phép vẽ ra các

đường suy giảm âm theo thời gian thực, trên cơ sở đó chúng ta có thể tính được hầu hết các chỉ số chất lượng âm, trong đó có thời gian âm vang  $T$ . Do vậy, xung đáp ứng mang đến nhiều thông tin về chất lượng âm trong phòng.

### 3.1.2. Quá trình phát triển và tắt dần của trường âm trong phòng kín

Sự hình thành và tắt dần của trường âm trong phòng kín là sự tổng hợp của âm phát ra trực tiếp từ nguồn và các âm phản xạ bậc nhất (phản xạ một lần) và bậc cao hơn (âm phản xạ nhiều lần) từ các bề mặt của phòng. Âm phản xạ đến từ rất nhiều hướng, có bậc phản xạ lớn dần theo thời gian. Mỗi lần phản xạ, năng lượng âm bị suy giảm do bị tường hút âm (xem Hình 3.4).



**Hình 3.4.** Âm trực tiếp và âm phản xạ trong phòng kín - phỏng theo Meyer (2009)

Nếu nguồn âm trong phòng ngừng phát, năng lượng âm trong phòng bị suy giảm dần về zero sau một khoảng thời gian. Đó là sự tắt dần của trường âm. Sự tắt dần của trường âm được thể hiện trong Hình 3.4. Hình 3.4 cho thấy các phản xạ đầu tiên (bậc thấp) khá thưa thớt, càng về sau càng dày đặc hơn, nhưng năng lượng âm giảm dần.

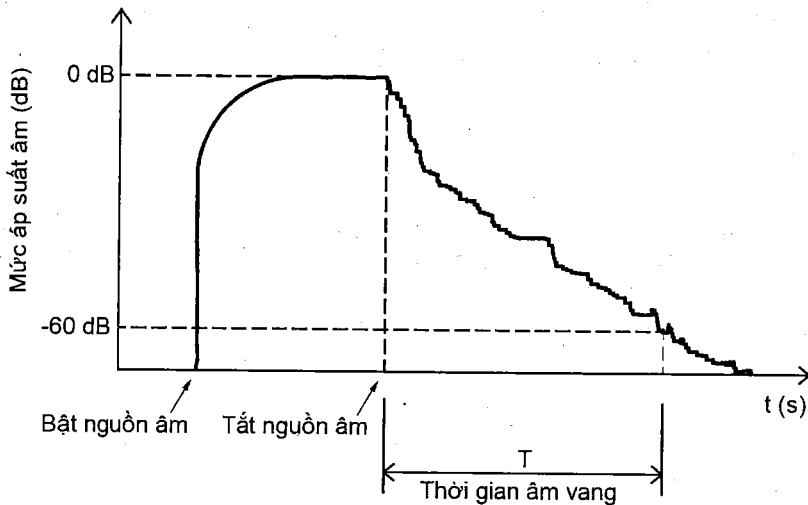
Khi nguồn âm ngừng phát, năng lượng âm trong phòng suy giảm dần, âm nghe nhỏ dần. Quá trình này có thể kéo dài tính bằng giây, có ảnh hưởng đến chất lượng âm của phòng. Sự kéo dài âm sau khi nguồn âm ngừng phát được gọi là

âm vang (reverberation). Do tầm quan trọng của âm vang đến chất lượng âm, người ta phải đưa ra một đại lượng mới gọi là *thời gian âm vang - reverberation time* (ký hiệu là  $T$  - đơn vị đo là giây; trong các tài liệu nước ngoài thường ghi là  $RT$  hoặc  $RT60$ ), được định nghĩa là:

*Thời gian âm vang là thời gian cần thiết để năng lượng âm trong quá trình tắt dần giảm đi  $10^6$  lần so với năng lượng ban đầu* (năng lượng âm ở trạng thái ổn định). Theo định nghĩa mức âm thì:

$$L_T = 10 \lg \frac{E_0}{E_T} = 10 \lg 10^6 = 60 \text{ (dB)} \quad (3.7)$$

Vậy thời gian âm vang cũng chính là thời gian cần thiết để mức âm giảm 60 dB so với trạng thái ổn định ban đầu. Định nghĩa và quá trình âm vang được mô tả trong Hình 3.5.



**Hình 3.5.** Định nghĩa của thời gian âm vang

### 3.1.3. Đo thời gian âm vang - Phương pháp ngắt âm (Interrupted Method)

Có các phương pháp đo Thời gian âm vang  $T$  như sau:

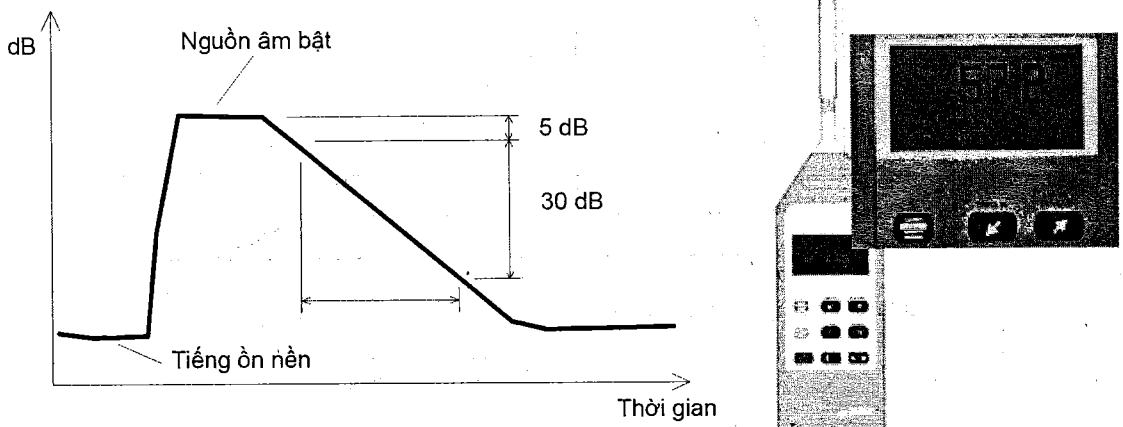
- Phương pháp tích hợp xung đáp ứng (intergrated impulse response method) (ví dụ: sử dụng phần mềm ARTA);
- Phương pháp Tiếng ồn ngắt quãng (dùng loa phát nguồn ồn hồng là nguồn kích thích, sau đó ngắt nguồn âm);
- Thu âm tiếng vọng trong phòng khi có nguồn kích thích (dùng súng hoặc bong bóng nổ làm nguồn kích thích);

- Phương pháp sử dụng bộ lọc tiếng nổ (filtered burst method) (Ví dụ: tích hợp trong máy đo 2231 của Bruel & Kjaer).

Trước khi đo thời gian âm vang phải chuẩn bị một nguồn ồn, sau đó ngắt nguồn. Thông thường bong bóng, tiếng ồn hồng được dùng cho việc này.

Như định nghĩa, thời gian âm vang  $RT60$  tính bằng quãng thời gian mức âm giảm 60 dB. Trong môi trường thực, điều này rất khó thực hiện được. Cho nên người ta thường đo thời gian âm vang  $RT20$  hoặc  $RT30$ ; chúng được tính bằng thời gian để mức âm giảm 20 hoặc 30 dB, sau đó nội suy ra giá trị  $RT60$ .

Khi đo  $RT20$  hoặc  $RT30$ , máy đo mức ồn nên bỏ qua 5 dB suy giảm đầu tiên (để loại bỏ nhiễu). Chúng ta cũng không nên đo đạc gì khi mức âm trong phòng chỉ còn cao hơn mức ồn nền 10 đến 15 dB; điều này có nghĩa là nguồn ồn kích thích phải cao hơn mức ồn nền tối thiểu là 45 dB (nếu đo  $RT30$ ) và 35 dB (nếu đo  $RT20$ ). Đó cũng là lý do tại sao  $RT60$  khó đo đạc trực tiếp do cần ồn rất nhỏ và nguồn kích thích rất lớn (xem Hình 3.6).



**Hình 3.6.** Đo thời gian âm vang  $RT30$  với máy đo P33 Real-Time Analyzer

Một ví dụ đo  $RT$  bằng máy đo P33 Real-Time Analyzer, với khả năng đo cả  $RT20$  và  $RT30$  cho từng octave 1/3 và cho ra kết quả tức thì. Máy đo này ban đầu sẽ đo mức ồn nền, sau đó đo nguồn kích thích với mức ồn tối thiểu cao hơn mức ồn nền 45 dB. Sau đó máy sẽ hiển thị kết quả đo, gồm có:

- Mức ồn nền, dB: mức ồn trước khi có nguồn kích thích;
- $\Delta$  dB: chênh lệch giữa nguồn kích thích và mức ồn nền;
- $RT20$  và  $RT30$ .

### 3.1.4. Tính toán thời gian âm vang

Việc mô tả sự lan truyền âm trong phòng có thể được đơn giản hóa bằng giả thiết coi trường âm đang xét là *trường âm khuếch tán*, xét một cách trung bình, mọi điểm trong không gian của phòng đều nhận được một lượng năng lượng âm bằng nhau truyền đến từ tất cả các hướng. Như vậy, cường độ âm giảm dần cũng đồng đều tại mọi điểm. Đồng thời, mật độ năng lượng âm  $w$  trong phòng là không đổi, và năng lượng đến mỗi bề mặt tường trong một giây trên  $m^2$  là:

$$B = \frac{c}{4} w \quad (3.8)$$

Với quan hệ này, số lần phản xạ trung bình trong 1 giây có thể được tính bằng công thức:

$$\bar{n} = \frac{cS}{4V} \quad (3.9)$$

Vì năng lượng của mỗi tia âm bị suy giảm một phần tương đương  $(1 - \alpha)$  do đó tổng năng lượng âm trong phòng sau thời gian  $t$  sẽ là:

$$E(t) = E_0 (1 - \alpha)^{\bar{n}t} = E_0 \exp\left[\frac{cSt}{4V} \ln(1 - \alpha)\right], \quad t > 0 \quad (3.10)$$

Công thức này thể hiện sự tương quan giữa năng lượng của âm vang theo thời gian, tức sự suy giảm năng lượng âm tính từ thời điểm  $t = 0$  (thời điểm nguồn âm ngừng phát).

Trong công thức (3.10), lượng hút âm của không khí tạm được bỏ qua. Nếu muốn tính cả sự suy giảm năng lượng âm do sự hút âm của không khí, công thức (3.10) phải giảm thêm một lượng  $e^{-mct}$ , trong đó  $m$  là hằng số hút âm của  $1 m^3$  không khí (xem Bảng 3.1)

**Bảng 3.1. Hằng số hút âm  $m$  (đơn vị đo là  $m^{-1}$ ) của  $1 m^3$  không khí ở  $20^\circ C$  và áp suất khí quyển (Bass, et al., 1995)**

Độ ẩm không khí (%)	Tần số (Hz)					
	500	1000	2000	4000	6000	8000
40	0.00060	0.00107	0.00258	0.00840	0.01771	0.03000
50	0.00063	0.00108	0.00228	0.00684	0.01426	0.02429
60	0.00064	0.00111	0.00214	0.00591	0.01208	0.02052
70	0.00064	0.00115	0.00208	0.00532	0.01062	0.01791

Để rút ra công thức (3.10), hệ số hút âm  $\alpha$  được giả thiết là đồng nhất. Trên thực tế  $\alpha$  của vật liệu và kết cấu hút âm còn phụ thuộc vào hướng tia âm tới. Sự phụ thuộc của  $\alpha$  vào góc tới của tia âm  $\theta$  có thể được tính tới qua biểu thức sau:

$$\alpha' = 2 \int_0^{\pi/2} \alpha(\theta) \sin\theta \cos\theta d\theta \quad (3.11)$$

Với nhiều mặt tường trần  $S_i$  với các hệ số hút âm  $\alpha_i$  khác nhau, hệ số hút âm trung bình sẽ là:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{S} \sum_i S_i \alpha_i \quad (3.12)$$

Qua đó, “tổng diện tích hút âm tương đương của phòng” được định nghĩa như sau:

$$A = \sum_i S_i \alpha_i \quad (3.13)$$

Để thiết lập công thức tính thời gian âm vang, người ta dựa vào định nghĩa của thời gian âm vang và công thức (3.10); từ đó ta có được:

$$T = \frac{0.161V}{S[-\ln(1-\bar{\alpha})]} \text{ hay } T = \frac{0.161V}{S[-2.30 \log_{10}(1-\bar{\alpha})]} \quad (3.14)$$

Công thức (3.14) được nhà vật lý học người Mỹ là Carl Ferdinand Eyring (1889-1951) phát kiến vào năm 1930 (Eyring, 1930), dựa hoàn toàn trên lý thuyết của vật lý. Nhưng thực ra công thức tính thời gian âm vang đã được nhà vật lý học người Mỹ khác là Wallace Clement Sabine (1868-1919) xác định hoàn toàn bằng thực nghiệm trong các thính phòng của Đại học Harvard vào năm 1896. Công thức của Sabine có dạng (Sabine, 1922):

$$T = \frac{0.161V}{A} = \frac{0.161V}{\bar{\alpha}S} \quad (3.15)$$

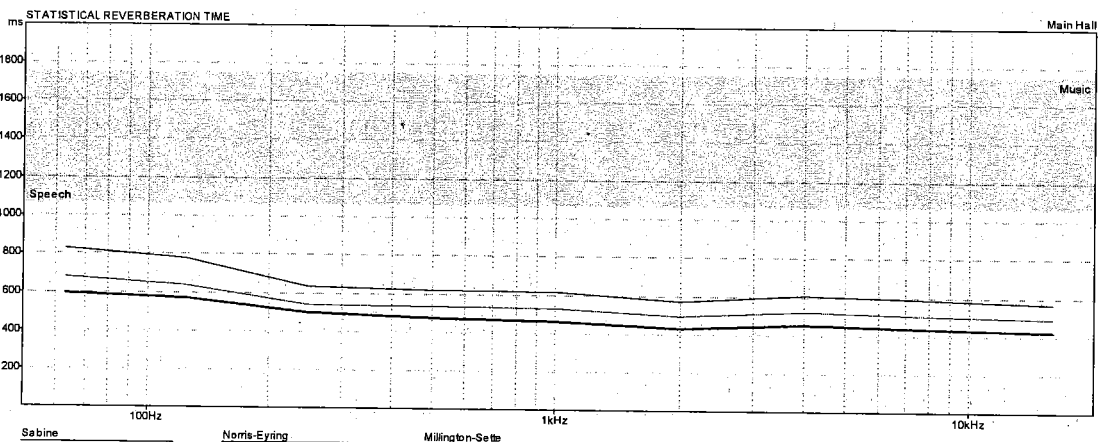
trong đó:  $A$  ( $m^2$ ) - tổng lượng hút âm tương đương của cửa phòng, tính bằng công thức (3.13) và  $S$  ( $m^2$ ) là tổng diện tích các bề mặt trong phòng.

Về sau, nhiều nhà vật lý (R.F. Norris, G. Millington, W.J. Sette, M. R. Schroeder, D. Fitzroy, R. O. Neubauer, v.v.), dựa trên các phát kiến của Sabine và Eyring để đưa ra các công thức tính toán thời gian âm vang chính xác và phức tạp hơn hoặc phù hợp với các giả thiết khác. Ví dụ, D. Fitzroy đề xuất công thức

tính thời gian âm vang của phòng hình hộp chữ nhật có vật liệu hút âm bố trí không đều trên các mặt (xem (Eargle, 1999)). Hiện tác giả ước tính có đến vài chục công thức tính thời gian âm vang. Tuy nhiên, về cơ bản trong điều kiện các tham số đầu vào của các công thức tính toán đều có sai số hoặc không chắc chắn, công thức của Sabine và Eyring có thể coi thỏa mãn các yêu cầu về thiết kế âm học phòng thính giả.

Công thức của Sabine cho kết quả tương đối chính xác và tương đồng với công thức của Eyring khi hệ số hút âm của các bề mặt đều nhỏ ( $\alpha \leq 0.2$ ). Tuy nhiên khi  $\alpha$  lớn hơn 0.3, công thức Eyring cho kết quả đáng tin cậy hơn, nên dù Sabine là người phát kiến khái niệm thời gian âm vang, công thức Eyring vẫn được dùng rộng rãi hơn trong tính toán thực tế.

Công thức của Sabine và của Eyring thông thường cho kết quả không hoàn toàn giống nhau. Hình 3.7 giới thiệu sự sai khác của thời gian âm vang tính toán cho các tần số trong một thính phòng bằng nhiều công thức tính thời gian âm vang khác nhau.



**Hình 3.7.** Thời gian âm vang  $T$  tính theo các công thức của Sabine (đường nằm phía trên), Millington-Sette (đường nằm ở giữa) và Eyring (đường nằm ở dưới), tính toán bằng phần mềm Autodesk Ecotect cho một thính phòng

Hình 3.7 cũng cho thấy thời gian âm vang đối với các âm có tần số cao thấp hơn của các âm có tần số thấp. Điều này thường xảy ra một phần là do không khí có khả năng hút âm, đặc biệt ảnh hưởng với các âm có tần số cao. Do đó, khi tính toán chính xác thường phải bổ sung khả năng hút âm của không khí đối với từng

dải tần số. Khi đó công thức tính thời gian âm vang  $T$  có thay đổi nhỏ. Đối với công thức của Sabine:

$$T = \frac{0.161V}{\bar{\alpha}S + 4mV} \quad (3.16)$$

Và công thức của Eyring sẽ trở thành:

$$T = \frac{0.161V}{S[-\ln(1-\bar{\alpha})] + 4mV} \text{ hay } T = \frac{0.161V}{S[-2.30\log_{10}(1-\bar{\alpha})] + 4mV} \quad (3.17)$$

trong đó:  $m$  - hằng số hút âm của 1 m<sup>3</sup> không khí (đơn vị là 1/m) (xem Bảng 3.1).

Đối với phòng có thể tích nhỏ, lượng hút âm của không khí trong các công thức (3.16) và (3.17) có thể bỏ qua.

Hệ số 0.161 trong công thức của Sabine và Eyring là một giá trị có thể thay đổi theo hình dáng phòng (theo thực nghiệm của một số nhà nghiên cứu âm học) (Nguyễn, 2011):

- Phòng có mặt bằng hình trụ tròn và chiều cao tương đương đường kính, hệ số lấy giá trị 0.1604;
- Phòng hình hộp chữ nhật hoặc vuông, hệ số lấy giá trị 0.164;
- Phòng hình lập phương, hệ số lấy giá trị 0.1625.

Một cách khác là giá trị  $4m$  trong các điều kiện khác có thể tra trực tiếp trong Bảng 3.2.

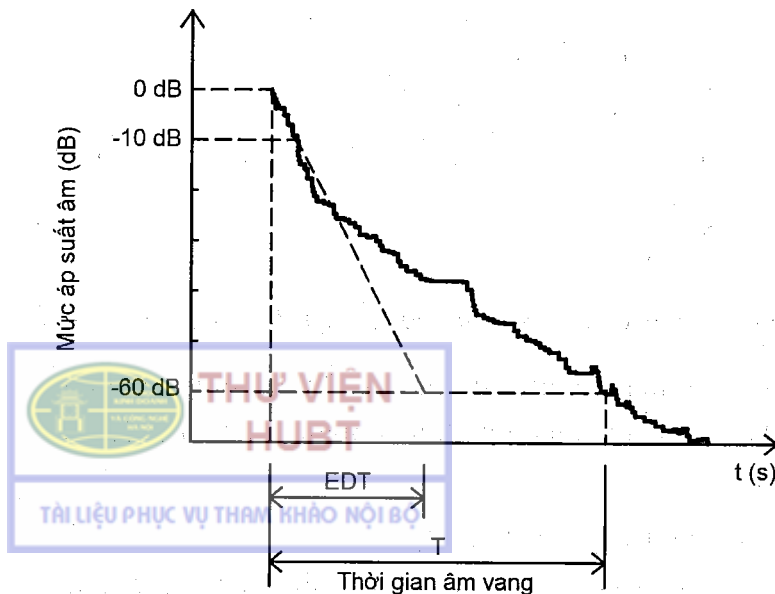
**Bảng 3.2. Giá trị đo đạc của hằng số hút âm của không khí  $4m$  (đã nhân với 4), đơn vị là m<sup>-1</sup>, trong mối quan hệ với tần số, nhiệt độ và độ ẩm không khí (nguồn (Beranek & Mellow, 2012))**

Độ ẩm %	Nhiệt độ °C	2 kHz	4kHz	6.3 kHz	8 kHz
30	15	0.0147	0.0519	0.1144	0.1671
	20	0.0122	0.0411	0.0937	0.1431
	25	0.0111	0.0335	0.0759	0.1178
	30	0.0114	0.0292	0.0633	0.0975
50	15	0.0096	0.0309	0.0712	0.1102
	20	0.0092	0.0258	0.0577	0.0896
	25	0.0101	0.0234	0.0489	0.0748
	30	0.0119	0.0234	0.0443	0.0655

Bảng 3.2 (tiếp theo)

Độ ẩm %	Nhiệt độ °C	2 kHz	4kHz	6.3 kHz	8 kHz
70	15	0.0081	0.0231	0.0519	0.0808
	20	0.0088	0.0208	0.0437	0.0671
	25	0.0105	0.0208	0.0396	0.0586
	30	0.0131	0.0231	0.0391	0.0548

Do hiện tượng chồng âm (âm sau lấp lên âm vang của âm trước), nên toàn bộ quá trình âm vang chỉ có thể nghe được vào cuối đoạn diễn văn hay đoạn nhạc. Trong bản nhạc hay bài nói chuyện, phần sau của âm vang thường bị che lấp bởi âm tiếp theo hoặc nốt nhạc tiếp theo. Bản thân phần âm vang bị che lấp, ngược lại, cũng làm giảm độ rõ của âm tiếp theo. Do đó, người ta đưa ra một đại lượng mới có quan hệ mật thiết hơn với sự cảm nhận âm vang của một bài diễn văn hay âm nhạc, gọi là *Thời gian giảm âm sớm* (early decay time - EDT - đề xuất bởi Jordan (1970)). EDT được định nghĩa là 6 lần thời gian cần thiết để năng lượng âm trong phòng giảm đi 10 dB sau khi tắt nguồn âm. Đại lượng EDT, cũng giống như thời gian âm vang  $T$ , cũng diễn tả quá trình suy giảm năng lượng âm, nhưng chỉ cho thấy đặc trưng phần đầu của quá trình này, khi mức âm bị suy giảm trong khoảng 0 đến 10 dB (xem Hình 3.8).

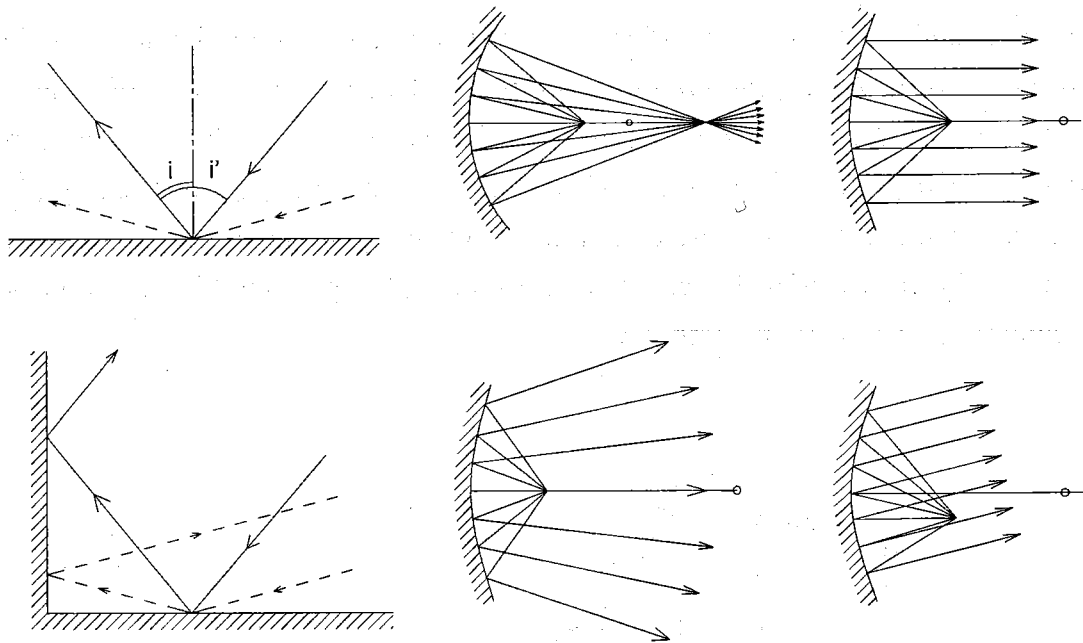


Hình 3.8. Định nghĩa của EDT

Những đặc trưng của phần đầu của đường cong âm vang chịu ảnh hưởng của mức âm phản xạ và sự phân bố của chúng, mà theo đó lại phụ thuộc vào vị trí nguồn âm và người nghe trong phòng. Do đó giá trị *EDT* thường không đồng nhất trong phòng, điều ít khi xảy ra với thời gian âm vang *T*.

### 3.1.5. Sự lan truyền âm thanh theo nguyên lý âm hình học

Âm hình học nghiên cứu sự lan truyền của âm thanh trong phòng dựa trên các nguyên lý hình học. Bản chất âm thanh là sóng dao động, nhưng trong âm hình học, người ta coi sự lan truyền của âm thanh trong môi trường đồng nhất là những tia âm (tương tự như tia ánh sáng). Khi tia âm gặp vật cản, tùy theo tương quan kích thước giữa vật cản và bước sóng âm thanh, âm sẽ bị phản xạ, tán xạ, nhiễu xạ (không kể hiện tượng âm bị hấp thụ hay xuyên qua vật cản).



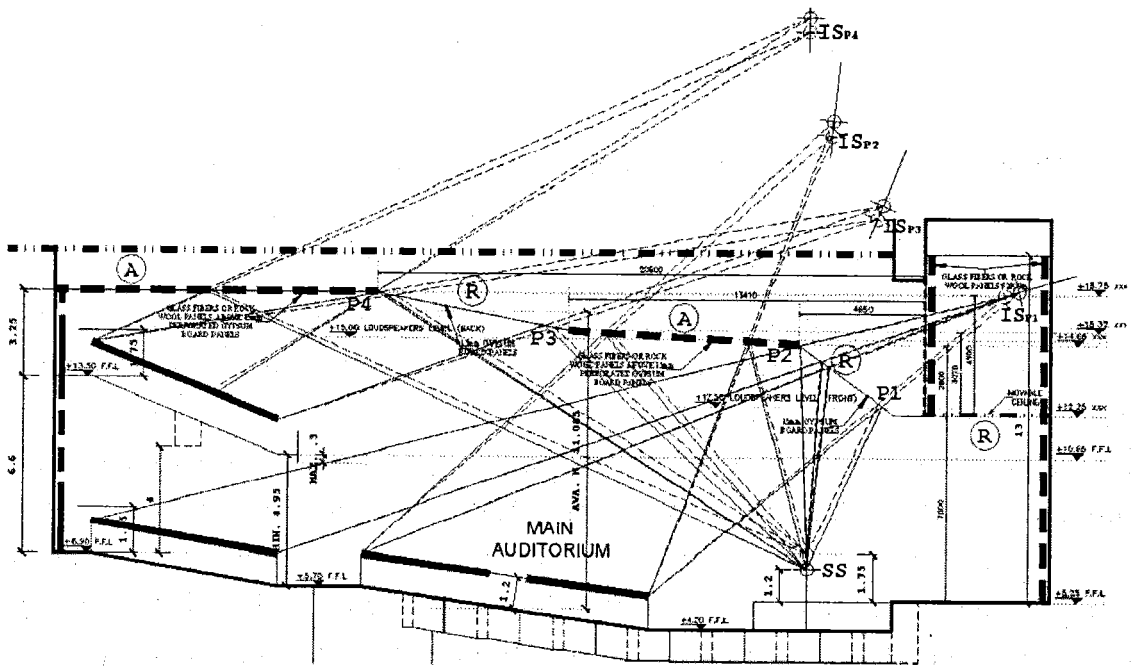
**Hình 3.9.** Sự phản xạ âm trên một số bề mặt theo nguyên lý âm hình học

Nếu kích thước bề mặt vật cản lớn hơn nhiều lần so với bước sóng âm, tia âm tới và tia âm phản xạ sẽ tuân theo định luật quang hình học (Nguyễn, 2011), theo đó (xem Hình 3.9):

- Góc tới của tia âm bằng góc phản xạ,
- Tia tới, tia phản xạ và pháp tuyến của mặt phản xạ tại điểm tới nằm trên cùng một mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng phản xạ.

**Bảng 3.3. Hiện tượng xảy ra khi âm thanh gặp một vật cản có kích thước khác nhau**

<i>Tương quan kích thước</i>	<i>Hiện tượng</i>	<i>Mô tả</i>
Kích thước vật cản nhỏ bước sóng âm $\lambda$	Nhiều xạ	Âm thanh sẽ đi vòng qua vật cản như thể không có sự hiện diện của vật cản. Vật cản có thể coi như không nhìn thấy bởi sóng âm.
$\lambda <$ kích thước vật cản $< 5\lambda$	Tán (xạ) âm	Âm thanh một phần phản xạ trở lại theo nhiều hướng khác nhau một cách phức tạp. Hiện tượng tán âm này còn gọi là khuếch tán âm.
Kích thước vật cản $> 5\lambda$	Phản xạ gương	Âm bị vật cản hắt ngược trở lại theo 1 hướng mà có thể dự đoán bởi quy luật quang hình học cơ bản.

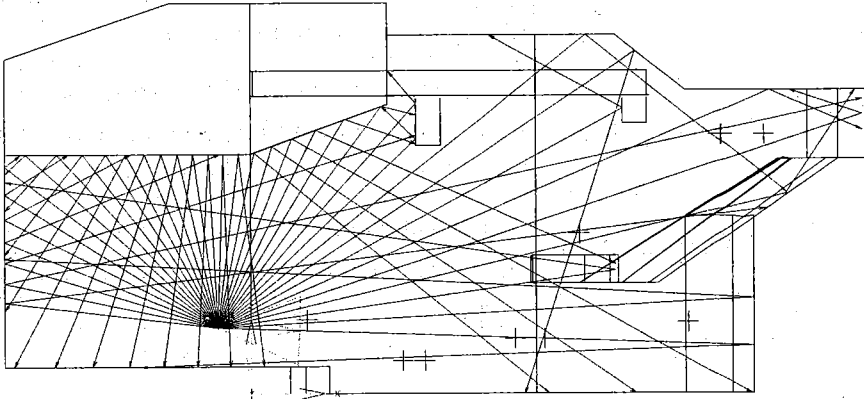


**Hình 3.10. Nguyên lý âm hình học thiết kế giảng đường Đại học Ain Shams (Cairo, Ai Cập), các ảnh bậc 1 của nguồn âm**

Nguồn: Elkhateeb (2012)

Ứng dụng thực tiễn của âm hình học có thể thấy trong nhiều chuyên ngành hẹp của âm học. Trong âm học kiến trúc, sự truyền thẳng của tia âm cho phép chúng ta xác định thời gian âm vang theo một cách đơn giản nhất (tính thời gian sóng âm đi - gặp vật cản - phản hồi trở lại). Âm hình học giúp nhà thiết kế kiến trúc tổ

chức các hệ thống điều hướng âm, đưa âm thanh cần nghe đến với khán giả. Âm hình học cũng giúp người thiết kế tránh được các hình dáng phòng, các hình thức bề mặt phòng gây các hiện tượng âm xấu. Hình 3.11 giới thiệu một ví dụ về áp dụng âm hình học để thiết kế các bề mặt trên mặt cắt dọc của một thính phòng.



*Hình 3.11. Áp dụng nguyên lý âm hình học để nghiên cứu bố trí các bề mặt phản xạ âm trong một khán phòng - nguồn âm điểm (kết quả mô phỏng của phần mềm Autodesk Ecotect)*

Phương pháp âm hình học có những hạn chế nhất định do khái niệm “tia âm” chỉ đúng trong những trường hợp mà cường độ và hướng của sóng âm thay đổi rất ít trên hướng lan truyền. Đặc biệt, khi sử dụng nguyên lý âm hình học, kích thước của phòng và các vật cản, bề mặt phản xạ phải lớn hơn bước sóng âm nhiều lần (tối thiểu khoảng 4 lần (Phạm, 2011) - điều này thường đúng với âm có tần số cao - tức bước sóng ngắn). Với đa số các phòng, âm hình học chỉ thích hợp khi sóng âm có tần số lớn hơn 250 Hz (Nguyễn, 2011). Nếu kích thước vật cản ở trong tầm bước sóng âm, một bộ phận đáng kể của sóng âm sẽ bị nhiễu xạ, và âm hình học không còn chính xác nữa. Vì những lý do trên, trong thiết kế kiến trúc âm hình học chủ yếu dùng để dựng tia âm, các bề mặt phản xạ trong phòng. Các tính toán chi tiết về các đại lượng âm học của phòng cần dùng đến âm học thống kê.

Trên thực tế, tần số âm cần nghe trong phòng có thể thay đổi trong khoảng 100 Hz đến 12000 Hz. Do đó bước sóng âm thường nằm trong khoảng  $\lambda = 3.4$  m đến 2.85 cm. Khi thiết kế kích thước các bề mặt phản xạ âm cần quan tâm đến dải tần số của âm và các bước sóng giới hạn như trên.

### 3.1.6. Tần số dao động riêng của phòng kín theo lý thuyết sóng

#### 3.1.6.1. Hiện tượng sóng dừng

Bản chất của âm thanh là sóng cơ trong môi trường đàn hồi (không khí, nước, vật rắn...), do đó sóng âm cũng có những đặc trưng cơ bản của sóng cơ học, trong đó có hiện tượng giao thoa của hai hay nhiều sóng.

Khi sóng âm lan truyền trong không khí gặp vật cản cứng thì phản xạ ngược trở lại. Nếu bỏ qua sự hút âm tại bề mặt vật cản thì sóng phản xạ có cùng biên độ và tần số, nhưng ngược pha với sóng tới.

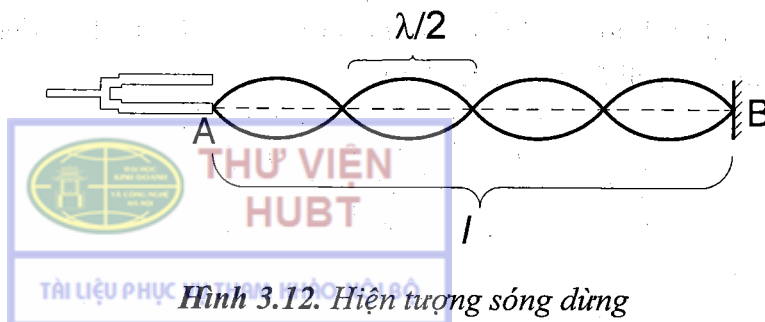
Sóng dừng là một trường hợp đặc biệt của sự giao thoa hai sóng. Nếu sóng tới và sóng phản xạ cùng phương, nhưng ngược hướng, có cùng biên độ và tần số, nhưng ngược pha nhau, hiện tượng sóng dừng sẽ xảy ra như sau:

- Sóng dừng có các bụng và nút sóng cố định;
- Bụng sóng là những điểm có biên độ dao động cực đại do cộng hưởng biên độ;
- Nút sóng là những điểm có biên độ dao động cực tiểu.

Hiện tượng sóng dừng được mô tả bằng một ví dụ trong Hình 3.12. Hiện tượng sóng dừng xảy ra khi:

- Khi hai đầu đều là nút sóng thì chiều dài truyền sóng  $l$  phải thỏa mãn  $l = n \frac{\lambda}{2}$ , với  $n$  là một số nguyên, cho biết số bụng sóng có trên chiều dài  $l$ .

- Khi một đầu là nút sóng, một đầu là bụng sóng thì chiều dài truyền sóng  $l$  phải thỏa mãn  $l = n \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4}$ , với  $n$  là số bụng sóng có trên chiều dài  $l$  (hiện tượng này chỉ xảy ra khi vật cản tại B có suất đàn hồi thấp hơn môi trường truyền sóng).



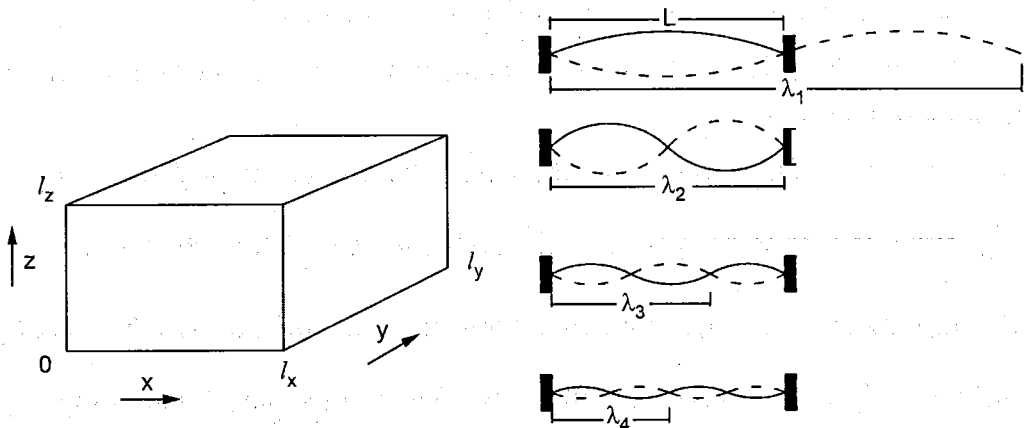
Hình 3.12. Hiện tượng sóng dừng

Hiện tượng sóng dừng xảy ra trong phòng kín là cơ sở giải thích của khái niệm “tần số dao động riêng của phòng” và “hiện tượng cộng hưởng âm” trong phòng.

### 3.1.6.2. Tần số dao động riêng của phòng

Trở lại vấn đề truyền âm trong phòng, xét một phòng hình hộp có quy cách như trong Hình 3.13. Sóng âm có thể lan truyền tới và lui giữa 2 bề mặt bất kỳ. Sóng âm cũng có thể lan truyền quanh phòng với các góc tới của tia âm khác nhau. Nếu khoảng cách giữa 2 bề mặt đối diện thỏa mãn điều kiện sóng dừng  $l = n \frac{\lambda}{2}$  hay góc tới của tia âm được điều chỉnh phù hợp, tia tới và tia phản xạ giao thoa hình thành sóng dừng trong phòng. Khi đó áp suất âm tại các bụng sóng được cộng hưởng, nên tăng lên nhiều lần. Khi đó ta nói âm trong phòng cộng hưởng và tần số âm gây cộng hưởng được gọi là tần số dao động riêng của phòng (normal frequency) - thực ra là của phòng và khối không khí bên trong.

Có thể thấy sóng âm có rất nhiều tần số (hay bước sóng khác nhau), do đó có vô số tần số thỏa mãn  $l = n\lambda/2$  (xem Hình 3.13), do đó phòng sẽ có rất nhiều tần số dao động riêng.



Hình 3.13. Hiện tượng sóng dừng xảy ra trong phòng kín

Với phòng có kích thước 3 chiều lần lượt là  $l_x, l_y, l_z$ , tần số dao động riêng của phòng có thể được xác định qua công thức:

$$f_n = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{l_z}\right)^2} \quad (3.18)$$

trong đó:

$f_n$  - tần số dao động riêng thứ n của phòng (Hz);

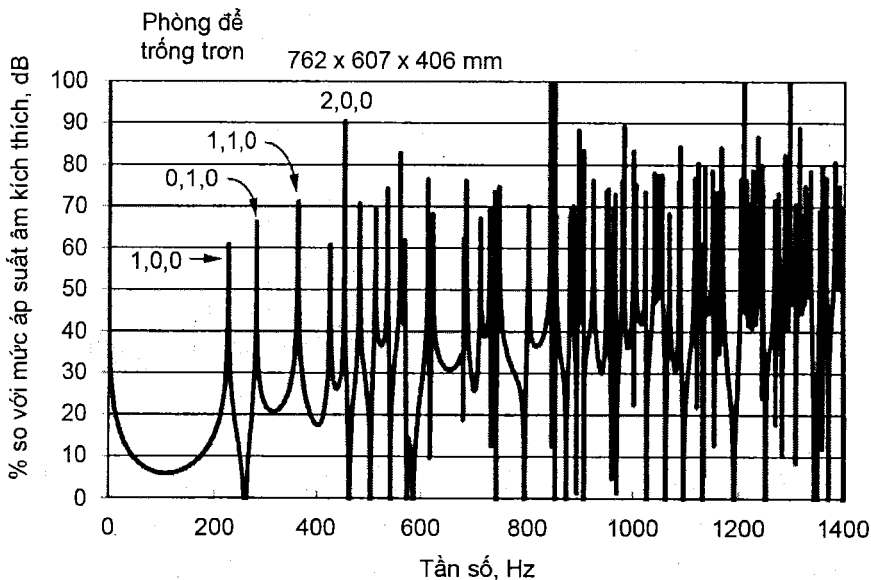
$c$  - vận tốc truyền âm (m/s);

$n_x, n_y, n_z$  - những số nguyên dương chọn bất kỳ trong khoảng  $[0, +\infty)$ .

Qua công thức (3.18), có thể thấy một phòng bất kỳ luôn có rất nhiều tần số dao động riêng ứng với các bộ 3 số nguyên  $n_x, n_y, n_z$ . Số lượng tần số riêng của phòng phụ thuộc vào việc lựa chọn kích thước  $l_x, l_y, l_z$  của phòng.

Nếu các kích thước của phòng bằng nhau, hoặc là bội số của nhau thì điều kiện  $l = n\lambda/2$  ít khi được thỏa mãn hơn (do  $l_x, l_y, l_z$  bị trùng lặp), do đó hiện tượng cộng hưởng ít xảy ra hơn, số lượng tần số riêng của phòng giảm xuống rõ rệt. Điều này cần tránh khi người thiết kế lựa chọn kích thước của phòng.

Hình 3.14 cho thấy đối với phòng có kích thước  $0.76 \times 0.61 \times 0.41$  m, có rất nhiều tần số riêng. Áp suất âm của âm có tần số trùng với tần số riêng của phòng sẽ tăng lên rõ rệt. Tần số riêng thấp nhất của phòng là khoảng 220 Hz (do phòng nhỏ), sau tăng lên 270 Hz rồi 360 Hz. Các tần số cao hơn thì cộng hưởng dày đặc hơn, hình thành trường dao động riêng cộng hưởng phân bố đều trong phòng.



**Hình 3.14.** Áp suất âm của các tần số dao động riêng của phòng trống (không có vật liệu hút âm) khi xảy ra cộng hưởng, mỗi bộ 3 số nguyên cho ra một tần số dao động riêng - phòng theo Beranek & Mellow (2012)

Trên cơ sở lý thuyết sóng dừng, chúng ta thấy rằng các phòng nhỏ thường có tần số riêng ít, đặc biệt là đối với âm có tần số thấp (bước sóng dài), do đó dải tần số của âm nghe không đều, âm nghe không hay. Ngược lại, phòng có kích thước lớn thì trường âm phong phú hơn, âm tắt dần chậm hơn do phòng lớn có nhiều tần số dao động riêng, kể cả ở tần số thấp.

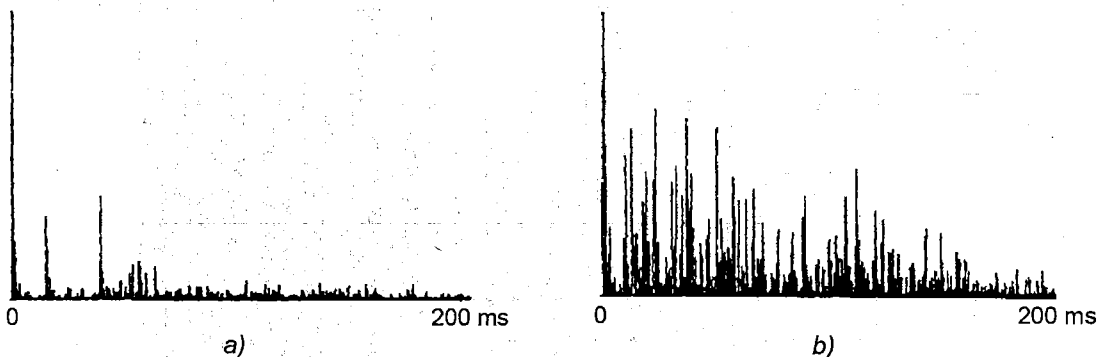
Theo lý thuyết sóng, số lượng tần số riêng của phòng hình hộp có kích thước  $l_x, l_y, l_z$ , kể từ tần số riêng nhỏ nhất đến tần số  $f_r$  nào đó có thể tính gần đúng bằng công thức (Nguyễn, 2011):

$$N = \frac{4f_r(l_x + l_y + l_z)}{8c} \quad (3.19)$$

Đối với phòng thể tích  $V$  ( $m^3$ ) nói chung, có thể tính gần đúng giá trị  $N$  như sau:

$$N = 4V \left( \frac{f_r}{c} \right)^3 \quad (3.20)$$

Có thể thấy, phòng càng lớn, số lượng tần số riêng càng nhiều. Tần số riêng càng cao, số lượng tần số riêng càng nhiều (tăng theo cấp  $10^3$ ), mật độ tần số riêng càng dày đặc. Hình 3.15 cho thấy trường âm rất tốt trong 1 phòng hòa nhạc ở Anh, trong đó có nhiều âm dư như được cộng hưởng khiến áp suất âm tăng lên nhiều lần.



**Hình 3.15.** Biểu đồ áp suất âm theo thời gian khi có một kích thích ban đầu trong phòng hòa nhạc Royal Festival Hall ở London:

a) Cách nguồn 18m; b) Cách nguồn 35m - phỏng theo Barron (1993).

## 3.2. CÁC THÔNG SỐ LIÊN QUAN ĐẾN CHẤT LƯỢNG ÂM TRONG PHÒNG THÍNH GIẢ

### 3.2.1. Thời gian âm vang tối ưu

Mặc dù EDT là một đại lượng đánh giá âm vang tốt hơn thời gian âm vang, đặc điểm âm học cơ bản và quan trọng nhất của một thính phòng vẫn là thời gian âm vang, tức quá trình suy giảm năng lượng âm sau khi nguồn âm đột ngột ngừng phát (Müller & Möser, 2013). Điều này xuất phát từ mối quan hệ giữa thời gian âm vang và nhiều đại lượng âm học khác và vì rất nhiều lý thuyết âm học có liên

quan đến nó, trong đó có lý thuyết về trường âm khuếch tán. Thời gian âm vang còn liên quan đến rất nhiều luật định về điều kiện âm thanh trong các công trình.

Sabine là người đầu tiên đưa ra khái niệm thời gian âm vang, đồng thời cũng phát hiện rằng cảm nhận của thính giả về chất lượng âm trong thính phòng có liên hệ mật thiết với thời gian âm vang. Sabine cho rằng tùy theo chức năng sử dụng và thể tích của phòng thính giả, tồn tại một *thời gian âm vang tối ưu* cho việc cảm nhận âm thanh của thính giả.

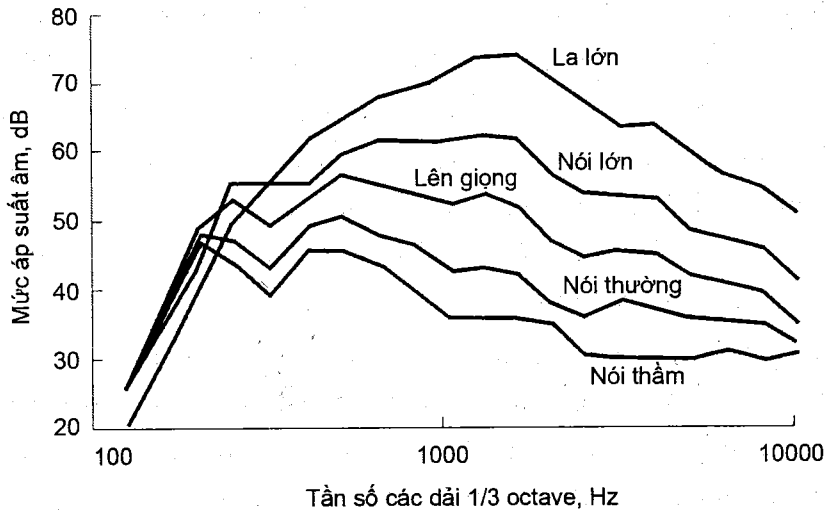
Thời gian âm vang tối ưu cho các loại hình biểu diễn và các kích cỡ phòng chỉ có thể xác định bằng kinh nghiệm, ví dụ bằng cách tiến hành điều tra cảm nhận âm thanh của thính giả (gồm các thính giả thông thường, các nhà âm học, nhạc sĩ, nhà phê bình âm nhạc...) trong các thính phòng đã xây dựng. Ngay cả trong các thí nghiệm như vậy, kết quả cảm nhận âm của nhiều người là không hoàn toàn đồng nhất do thị hiếu, gu thẩm mỹ, trình độ âm nhạc... khác nhau. Do đó, người ta chỉ xác định được *dải thời gian âm vang tối ưu* chứ không xác định một giá trị tối ưu cụ thể nào. Hơn nữa, khả năng cảm nhận sự khác biệt về thời gian âm vang chỉ chiếm khoảng 5% trong tổng số thính giả (Seraphim, 1958), nên không cần thiết phải xác định thời gian âm vang tối ưu chính xác hơn mức 0.05 đến 0.1 s. Thời gian âm vang tối ưu chịu sự chi phối của các yếu tố khách quan sau đây:

- Thể tích phòng thính giả: nhiều nghiên cứu cho thấy thể tích phòng tăng lên 10 đến 30 lần thì thời gian âm vang tối ưu nên được tăng lên tương ứng khoảng 30 - 50% (xem Hình 3.19).

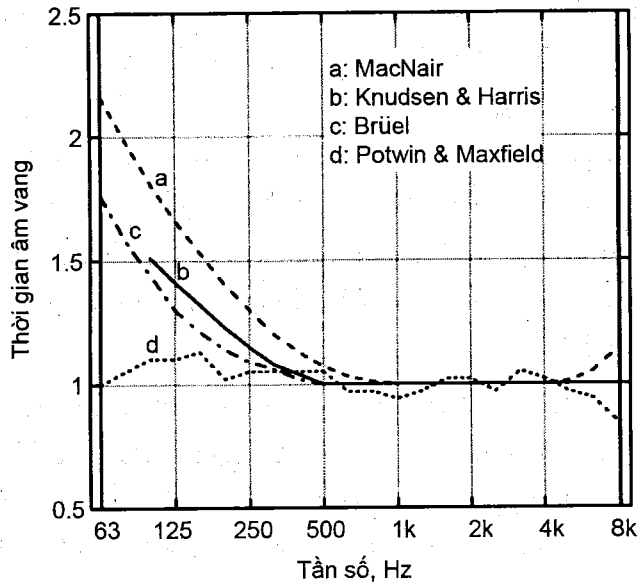
- Loại hình biểu diễn, trình bày quyết định chủ yếu việc xác định thời gian âm vang tối ưu. Ví dụ: khi nghe thuyết giảng, thời gian âm vang không được quá dài nhằm tránh âm vang chồng âm, làm giảm độ rõ. Ngược lại khi nghe trình diễn âm nhạc, thời gian âm vang ngắn khiến âm nghe cộc lốc, khô khan và không thể du dương. Hơn nữa, cùng là loại hình âm nhạc thì nhạc dân tộc và nhạc hiện đại cần thời gian âm vang tối ưu khác nhau.

- Dải tần số (phổ âm) của âm cần nghe: Khả năng cảm thụ âm của tai người thường kém nhạy với âm có tần số thấp. Mặt khác, phổ âm tiếng nói của người thường có mức âm thấp đối với âm có tần số thấp. Do đó để cảm thụ âm tần số thấp tốt hơn, thời gian âm vang cho dải tần số thấp (100 - 500 Hz) thường nên dài hơn âm tần số trung và cao từ 1.1 đến 1.5 lần (Phạm, 2011).

- Một số yếu tố phụ khác như công suất nguồn âm, âm sắc, tiết tấu, nhịp điệu, loại nhạc cụ, thậm chí tâm sinh lý người cảm thụ âm.

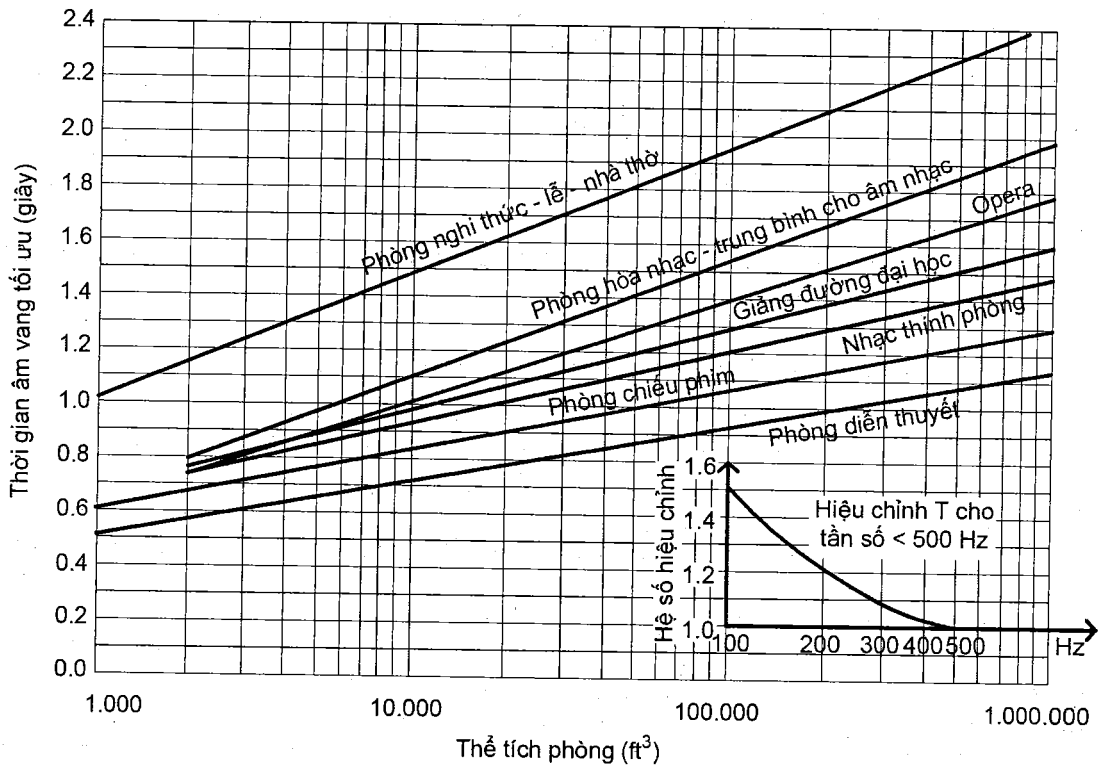


**Hình 3.16.** Phổ tần số thường gặp của tiếng nói của con người

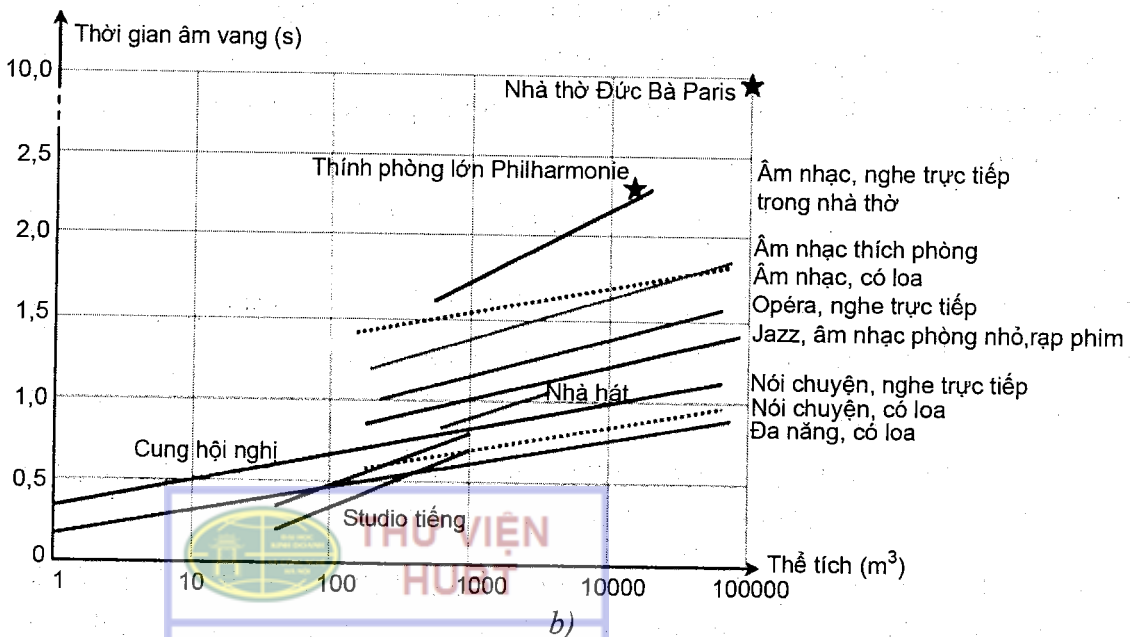


**Hình 3.17.** Hiệu chỉnh thời gian âm vang dành cho âm nhạc với các tần số khác nhau - đề xuất của 4 nhóm tác giả - phỏng theo Tahara & Miyajima (1998)

Hình 3.18 giới thiệu một số đề xuất về thời gian âm vang tối ưu đối với âm tần số trung dành cho các loại hình biểu diễn khác nhau, tương ứng với các thể tích phòng cùng với hệ số hiệu chỉnh thời gian âm vang tối ưu cho các âm ở tần số thấp. Do đặc điểm tai người thường kém nhạy hơn đối với âm tần số thấp, do đó các âm tần số thấp cần thời gian âm vang tối ưu lớn hơn các âm tần số cao, và cần được hiệu chỉnh thời gian âm vang như trong Hình 3.17 hoặc Hình 3.18.



a)



b)

Hình 3.18. Thời gian âm vang tối ưu kiến nghị

cho các âm tần số trung bình (500 - 800 Hz) và hệ số hiệu chỉnh:

a) Phòng theo (Knudsen & Harris, 1950); b) Phòng theo (Lamoral, 1975).

Theo một số tài liệu trong nước, thời gian âm vang tối ưu cho các âm có tần số dưới và trên 500 Hz có thể được xác định theo thời gian âm vang tối ưu tần số 500 Hz bằng công thức kinh nghiệm như sau:

$$T_f^{opt} = k.T_{500}^{opt} \quad (3.21)$$

trong đó:  $k$  - hệ số có xét đến sự phụ thuộc của thời gian âm vang tối ưu theo tần số (xem Bảng 3-4).

**Bảng 3.4. Hệ số  $k$  trong tính toán thời gian âm vang của các tần số trên và dưới 500 Hz**

Loại phòng	Hệ số $k$ theo tần số					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Hòa nhạc, ca vũ kịch	1.4	1.15	1.0	0.9	0.9	0.9
Nhà hát kịch, phòng họp, giảng đường	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Thời gian âm vang tối ưu thường được xác định bằng biểu đồ trong Hình 3.18. Tuy nhiên, trên thực tế còn có một số phương pháp kinh nghiệm khác xác định thời gian âm vang tối ưu cho tần số 500 Hz. Stephens và Bate (Stephens & Bate, 1966) nghiên cứu mối quan hệ giữa khối tích thính phòng, các loại hình biểu diễn và thời gian âm vang tối ưu và đề xuất biểu thức sau:

$$T_{500}^{opt} = k[0.0118\sqrt[3]{V} + 0.107] \quad (3.22)$$

trong đó:

$T_{500}^{opt}$  - thời gian âm vang tối ưu cho âm tần số 500 Hz;

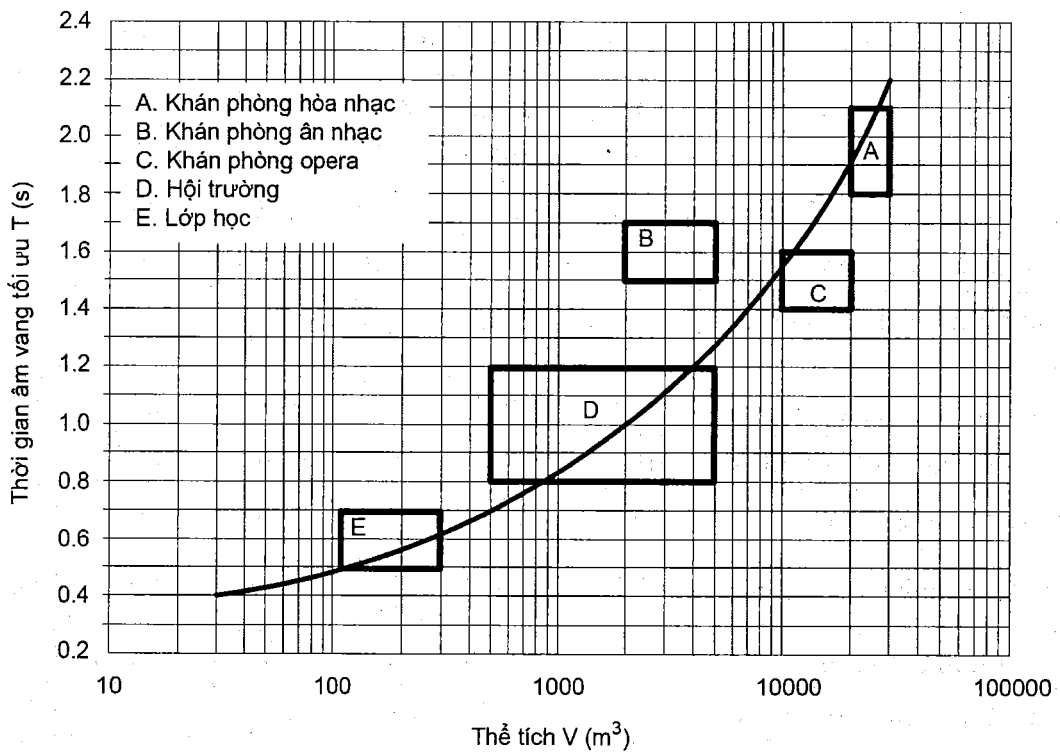
$V$  - thể tích phòng;

$k$  - hệ số chức năng phòng (phòng diễn thuyết  $k = 4$ ;  $k = 5$  cho dàn nhạc;  $k = 6$  cho ca hợp xướng, thánh ca).

Beranek và Mellow (Beranek & Mellow, 2012) nghiên cứu tổng hợp các kết quả của nhiều học giả và đưa ra công thức thể hiện mối liên hệ giữa thể tích phòng và thời gian âm vang tối ưu như sau:

$$\lg V = 5.72 + \lg T - \frac{2.43}{\sqrt{T}} \quad (3.23)$$

Mối quan hệ trên được thể hiện qua biểu đồ Hình 3.19, trong đó có chỉ rõ khung thời gian âm vang tối ưu cho các loại hình chức năng thính phòng khác nhau.



**Hình 3.19.** Thời gian âm vang tối ưu và thể tích thính phòng - phỏng theo Beranek & Mellow (2012)

Theo Meyer và Neumann (1972), thời gian âm vang tối ưu cho các loại hình biểu diễn khác nhau có thể lấy từ Bảng 3.5.

**Bảng 3.5.** Thời gian âm vang tối ưu cho dải tần số từ 500 - 1000 Hz

<i>Chức năng</i>	<i>Thời gian âm vang (s)</i>
Diễn thuyết	
- Phòng trà, quán rượu	0.8
- Giảng đường, nhà hát kịch nói	1.0
Phòng nhạc	1.4
Diễn Opera	1.3 - 1.6
Phòng hòa nhạc, nhạc thính phòng	1.7 - 2.0
Nhạc dương cầm, Organ	2.5

Kuttruff và Mommertz (2013) tổng hợp từ rất nhiều nguồn tài liệu và thống kê thời gian âm vang của nhiều thính phòng nổi tiếng trên thế giới (xem Bảng 3.6, Bảng 3.7).

**Bảng 3.6. Thời gian âm vang của một số phòng hòa nhạc lớn trên thế giới**

Tên - địa điểm	Thể tích - $m^3$	Số chỗ ngồi	Khánh thành	Thời gian âm vang (s)		
				125 Hz	500 Hz	2000 Hz
Musikvereinssaal, Viên	14600	2000	1870	2.10	1.90	1.50
Liederhalle, Stuttgart	16000	2000	1956	-	1.60	1.70
Chaing Kai Shek Memorial, Đài Bắc	16700	2077	1987	1.95	2.00	1.90
Phòng hòa nhạc, Boston	18800	2630	1900	1.95	1.85	1.65
Concertgebouw, Amsterdam	19000	2200	1887	2.20	2.05	1.80
Phòng hòa nhạc Athens	19000	2000	1992	1.90	1.90	1.70
New Gewandhaus, Leipzig	21000	1900	1884 (1981)	1.95	2.00	1.90
Philharmonie, Berlin	24500	2230	1963	2.40	1.95	1.90
Phòng Carnegie, New York	24250	2800	1891	2.30	1.80	1.60
Phòng hòa nhạc "De Doelen", Rotterdam	27000	2220	1979	2.30	2.10	2.20

**Bảng 3.7. Thời gian âm vang của một số nhà hát Opera trên thế giới**

Tên - địa điểm	Thể tích - $m^3$	Số chỗ ngồi	Khánh thành	Thời gian âm vang (s)		
				125 Hz	500 Hz	2000 Hz
Staatsoper unter den Linden, Berlin	7000	1490	1956	1.2	1.0	1.0
La Scala, Mailand	10000	2290/400	1778 (1946)	1.5	1.2	0.9
Festspielhaus, Bayreuth	11000	1800	1876	1.9	1.5	1.3
Deutsche Oper, Berlin	11000	1900	1962	1.7	1.5	1.2
Nhà hát quốc gia, Đài Bắc	11200	1522	1987	1.5	1.4	1.3
Staatsoper, Viên	11600	1658/560	1869 (1955)	1.7	1.5	1.2

Bảng 3.7 (tiếp theo)

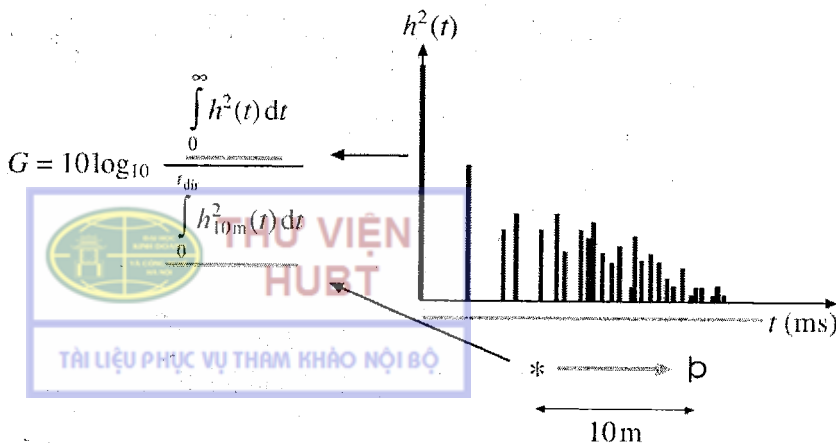
Tên - địa điểm	Thể tích - m <sup>3</sup>	Số chỗ ngồi	Khánh thành	Thời gian âm vang (s)		
				125 Hz	500 Hz	2000 Hz
Semperoper, Dresden	12500	1290	1878 (1985)	1.9	1.7	1.5
Neues Festspielhaus, Salzburg	1400		1960	1.7	1.5	1.5
Festspielhaus Baden, Baden	19600	2300	1998	2.2	1.8	1.7
Metropolitan Opera, New York	30500	3800	1966	2.2	1.7	1.7
TT Hội nghị quốc gia, Hà Nội*	60000	3770	2006	-	1.4	1.4

\*Sưu tầm bởi tác giả

Có thể thấy từ thực tế trong các bảng trên, thời gian âm vang của âm tần số thấp thường nhỉnh hơn tần số trung và cao. Đồng thời, thể tích thính phòng càng lớn, thời gian âm vang càng dài và thông thường cho hiệu quả âm nhạc tốt hơn. Thời gian âm vang cho phòng hòa nhạc lớn hơn cho nhà hát Opera.

### 3.2.2. Độ mạnh yếu của âm (sound strength hoặc là strength factor)

Ảnh hưởng của phòng đến sự cảm nhận độ mạnh yếu của âm là một chỉ số quan trọng của âm học phòng kín. Độ mạnh yếu của âm được đo bằng tỷ số giữa năng lượng của một âm trong phòng trong suốt quá trình tắt dần với năng lượng của âm tương tự, nhưng đo cách 10 m trong môi trường không có tiếng dội (xem Hình 3.20).



Hình 3.20. Định nghĩa sức mạnh của âm - phỏng theo Gade (2007)

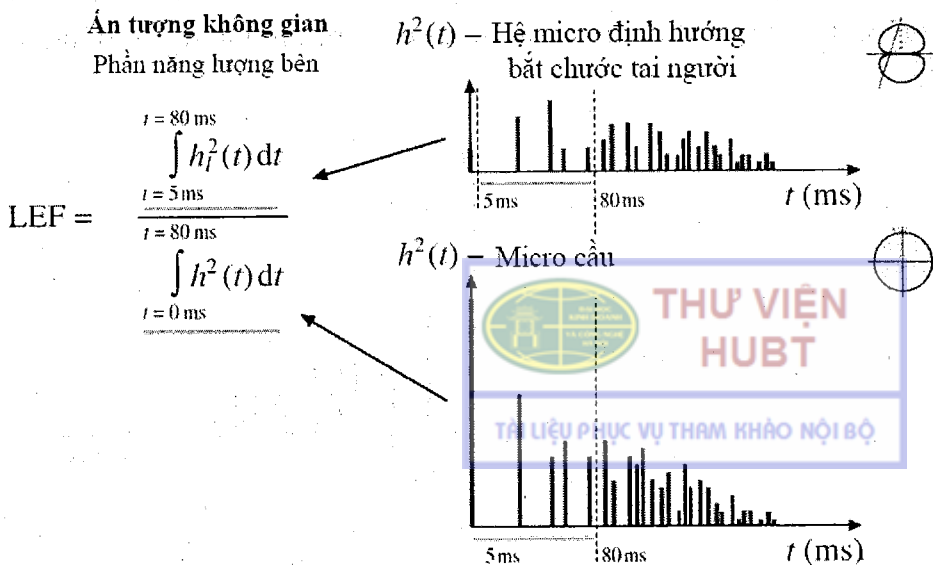
Trong trường âm hoàn toàn khuếch tán, độ mạnh yếu của âm mong muốn  $G_{exp}$  có thể tính bằng biểu thức sau:

$$G_{exp} = 10 \lg \left( \frac{T}{V} \right) + 45 \text{ dB} \quad (3.24)$$

Đơn vị của độ mạnh yếu của âm là Decibel (dB). Sự khác biệt nhỏ nhất của độ mạnh yếu của âm mà người ta có thể phân biệt được là 1 dB.

### 3.2.3. Âm tượng không gian (spaciousness)

Âm tượng không gian của âm là cảm giác nghe âm đến từ nhiều hướng khác nhau, trái ngược với cảm giác đơn điệu của âm đến từ một hướng hẹp nào đó. Âm tượng không gian của âm phần nào cho biết mức độ khuếch tán của trường âm và khả năng nghe được âm bằng cả 2 tai. Âm tượng không gian của âm được đo đặc bằng các đại lượng khá phức tạp, ví dụ như chỉ số “phần năng lượng bên” -  $LEF$  (lateral energy fraction) đo bằng ‘hệ micro định hướng bất chước tai người’ (trong tiếng Anh gọi là “figure-of-eight microphone”). Đại lượng  $LEF$  được định nghĩa bằng tỷ số lượng năng lượng âm đến hai tai (đo bằng microphone figure-of-eight) với tổng năng lượng âm đến từ tất cả các hướng (phần năng lượng âm đo bằng microphone cầu) - xem Hình 3.21.  $LEF$  có giá trị từ 0 đến 1 và là đại lượng không có đơn vị.  $LEF$  có giá trị càng lớn, âm thanh nghe càng hay. Những thính phòng tốt có thể cho giá trị  $LEF$  lên đến 0.3- 0.35.



Hình 3.21. Định nghĩa của “phần năng lượng bên” -  $LEF$  - phỏng theo Gade (2007)

### 3.2.4. Thông số liên quan đến âm sắc hay âm điệu

Âm sắc thể hiện mức độ ảnh hưởng của phòng đến sự cân bằng giữa các dải tần số thấp, trung và cao của âm, nghĩa là âm nghe gắt, ấm, sáng, rỗng, chắc... hoặc bất kỳ tính từ nào khác dùng để mô tả âm điệu. Beranek (Beranek, 1962) đề xuất dùng một đại lượng để đo “độ ấm” của âm trong phòng, gọi là *độ trầm* (bass ratio) như sau:

$$BR = \frac{T_{125Hz} + T_{250Hz}}{T_{500Hz} + T_{1000Hz}} \quad (3.25)$$

Tương tự như vậy, *độ thanh* (treble ratio) được định nghĩa như sau:

$$TR = \frac{T_{2000Hz} + T_{4000Hz}}{T_{500Hz} + T_{1000Hz}} \quad (3.26)$$

Lưu ý rằng trong một số phòng, mặc dù âm trầm có thời gian âm vang  $T$  khá lớn, nhưng âm trong phòng vẫn nghe không đủ độ ấm, đó là do âm trầm có độ mạnh yếu  $G$  không đủ. Do đó,  $BR$  hay  $TR$  cũng có thể được tính toán dựa trên sức mạnh của âm  $G$  theo từng dải tần số, thay vì tính với  $T$  như trên.

### 3.2.5. Các chỉ số về điều kiện biểu diễn

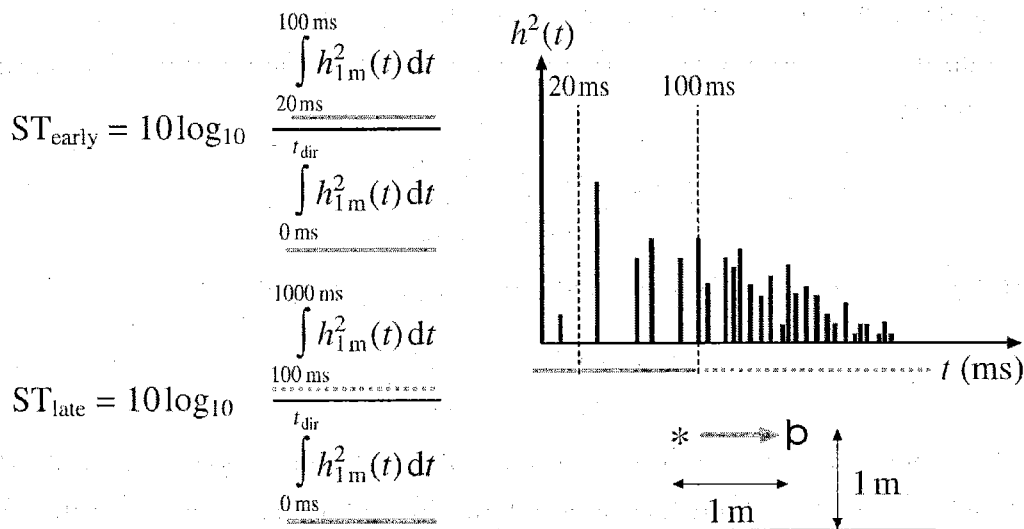
Trên các sân khấu âm nhạc, ca nhạc, điều kiện về trường âm đến tai người biểu diễn cũng rất quan trọng, ảnh hưởng đến khả năng trình diễn của nghệ sĩ và chất lượng âm nhạc chuyển đến người nghe. Người nhạc công, ca sĩ bị ảnh hưởng bởi tiếng dội, âm sắc, ngoài ra còn có hai đại lượng ảnh hưởng đặc trưng nữa, gồm có:

- *Sự hòa nhập (ease of ensemble)*: cho biết người biểu diễn cảm thấy hòa nhập như thế nào với ban đồng diễn (cảm giác về nhịp, âm điệu của dàn nhạc, mức âm của từng nhạc cụ...), có liên quan đến lượng năng lượng âm phản xạ sớm đến sân khấu.

- *Sự hỗ trợ (support)*: cho biết mức độ hỗ trợ của phòng (cụ thể là sân khấu) đối với nhạc công, cụ thể là nhạc công liệu có phải gắng sức khi chơi nhạc cụ của mình hay không để đạt được mức âm mong muốn.

Do đó, thiết kế sân khấu tốt sẽ giúp nâng cao giá trị 2 đại lượng này. Cả hai chỉ số trên đều có thể đo đạc khách quan ngay trên sân khấu, cách nguồn âm 1 m, lần lượt thông qua các chỉ số là  $ST_{early}$  (có tài liệu gọi là  $ST1$ ) và  $ST_{late}$ . Chúng là những

tỷ số của phần năng lượng âm (quay lại tai người biểu diễn) đến sớm (hay đến muộn) so với phần năng lượng âm đo được trong môi trường không có tiếng dội đo ở khoảng cách 1 m và độ cao 1 m. Đơn vị đo của  $ST_{early}$  và  $ST_{late}$  là Decibel (dB).



**Hình 3.22.** Định nghĩa  $ST_{early}$  và  $ST_{late}$  - phỏng theo Gade (2007)

Như vậy:

-  $ST_{early}$  (hay ST1) là mức năng lượng âm phản hồi sớm (âm thanh đến trong khoảng từ 20 - 100 ms so với âm trực tiếp) so với năng lượng âm thanh trực tiếp ban đầu (tức âm thanh đến trong 0-10 ms so với âm trực tiếp) đo được ở 1.0 m từ nguồn đa hướng.  $ST_{early}$  hiện nay được sử dụng để mô tả mức độ nghe lẫn nhau hoặc nghe người khác của nghệ sĩ. Điều này rất quan trọng, vì trên hầu hết các sân khấu, năng lượng âm phản xạ sớm dự kiến sẽ chứa âm thanh từ toàn bộ dàn cũng như nhạc cụ của nghệ sĩ đó. Có nghiên cứu cho rằng tham số liên quan mật thiết nhất đến ấn tượng của người nghệ sĩ trên sân khấu là  $ST_{early}$ .

- Còn  $ST_{late}$  là mức năng lượng âm phản hồi muộn (âm thanh đến trong khoảng từ 100 - 1000 ms so với âm trực tiếp) so với năng lượng âm thanh trực tiếp ban đầu (tức âm thanh đến trong 0-10 ms so với âm trực tiếp) đo được ở 1.0 m từ nguồn đa hướng.  $ST_{late}$  mô tả mức độ mà người nghệ sĩ nghe thấy âm thanh phản xạ muộn. Các ca sĩ thường rất thích khi nghe giọng của họ trong trường thính phòng như thế nào và mong muốn các giá trị  $ST_{late}$  cao hơn.

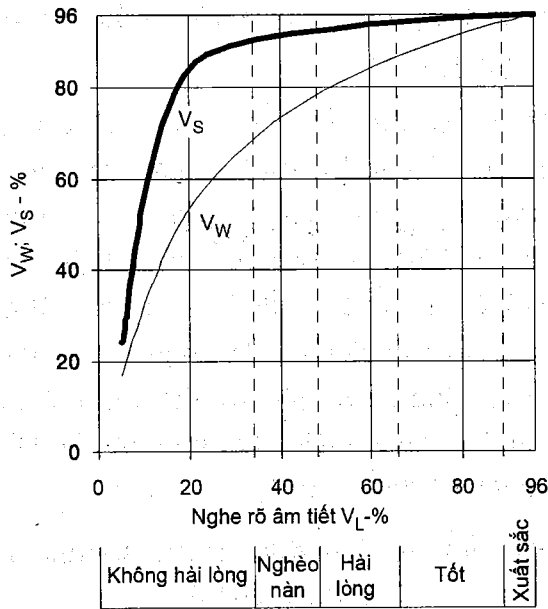
$ST_{early}$  và  $ST_{late}$  thường được tính toán bằng phần mềm mô phỏng âm học hay đo đạc bằng máy đo.

### 3.2.6. Độ rõ (definition), độ rõ câu (speech intelligibility) trong diễn thuyết và độ rõ trong âm nhạc (clarity)

Trong các phòng dùng cho diễn thuyết, ví dụ như giảng đường, phòng kịch nói... *độ rõ câu* đóng vai trò cực kỳ quan trọng, bên cạnh thời gian âm vang. Mức độ nghe rõ câu được lượng hóa qua mức độ nghe rõ từng từ, gọi là độ rõ âm tiết (ĐRAT) được Phạm Đức Nguyên trích dẫn từ nghiên cứu của V. O. Knudsen (xem (Phạm, 2011)). Độ rõ âm tiết được đo bằng cách phát âm trong thính phòng và yêu cầu người nghe ghi lại âm đã phát. Tỷ số giữa số âm được nghe rõ (ghi lại đúng với âm đã phát) trên tổng số âm phát ra được gọi là ĐRAT. ĐRAT = 75% được lấy làm tiêu chuẩn thiết kế âm học phòng thính giả. ĐRAT 75% tương ứng với mức độ nghe rõ câu 97% (Phạm, 2011).

**Bảng 3.8. Ví dụ về các từ tiếng Anh dùng trong thí nghiệm đo độ rõ âm tiết (Ballou, 2013)**

aisle	done	jam	ram	tame
barb	dub	law	ring	toil
barge	feed	lawn	rip	ton
bark	feet	lisle	rub	trill
baste	file	live	run	tub
bead	five	loon	same	vow
boil	fume	mess	shod	whack
choke	fuse	met	shop	wham
chore	get	neat	should	woe
cod	good	need	shrill	woke
coil	guess	oil	sip	would
coon	hews	ouch	skill	yew
coop	hive	paw	soil	yawn
cop	hod	pawn	soon	yes
couch	hood	pews	soot	yet
could	hop	poke	soup	zing
cow	how	pour	spill	zip
dale	huge	pure	still	
dame	jack	rack	tale	



Đánh giá chất lượng nghe rõ bằng nghe rõ âm tiết  $V_L$ , nghe rõ từ  $V_W$  và nghe rõ câu  $V_S$

**Hình 3.23.** Mối quan hệ giữa độ rõ âm tiết và độ rõ câu - phỏng theo Ballou (2013)

Tuy nhiên, phương pháp đo độ rõ âm tiết là phương pháp thực nghiệm trong phòng đã xây dựng, nên không phù hợp cho công trình đang trong giai đoạn thiết kế. Để khắc phục điều này, người ta đưa ra các khái niệm  $D_{50}$  và  $C_{80}$  như trình bày dưới đây.

Trong âm nhạc, độ rõ cho biết mức độ chi tiết của âm thanh có thể nghe rõ mà không bị che lấp bởi các âm liên tiếp hoặc các âm vang. Do đó, độ rõ gần như là một thuộc tính bổ sung cho âm vang.

Khi âm phản xạ đến tai người có độ trễ so với âm trực tiếp không quá 50 - 80 ms, tai người nghe như một âm duy nhất và như là âm trực tiếp được tăng cường. Do đó, độ rõ thường được xác định bằng tỷ lệ giữa phần năng lượng âm trước và sau 50 ms (hay 80 ms - tùy thuộc vào âm cần nghe là tiếng nói hay âm nhạc).

Thông thường, phần năng lượng âm phản xạ đến trước và sau một mốc thời gian  $t_0$  nào đó (ví dụ mốc 50 ms sau âm trực tiếp) lần lượt được coi là có ích và không có ích. Như vậy, phần năng lượng âm có ích và phần không có lợi trong một âm phản xạ sẽ là:

$$E_N = \int_0^{t_0} h^2(t) dt \quad (3.27)$$

và

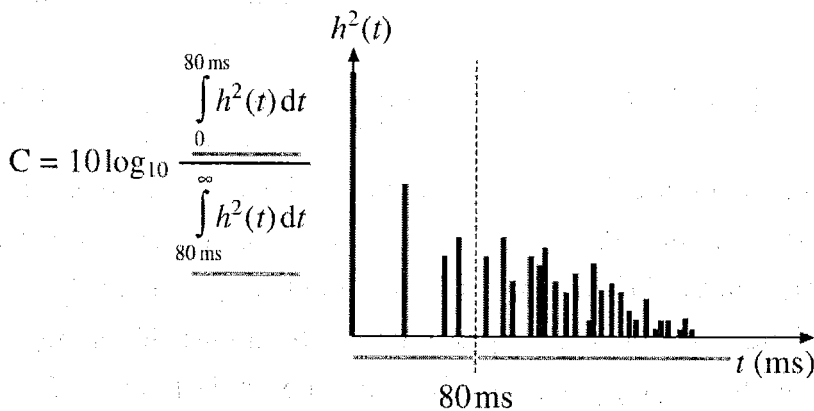
$$E_S = \int_{t_0}^{+\infty} h^2(t) dt \quad (3.28)$$

Trong các công thức trên,  $h(t)$  là là xung đáp ứng của phòng bắt đầu từ thời điểm  $t = 0$ , tức là áp suất âm tại điểm khảo sát sau khi phòng được kích thích bởi một xung kích thích ngắn. Trên cơ sở đó, Thiele (1953) đưa ra định nghĩa độ rõ (từ gốc trong tiếng Anh là **definition**)  $D_{50}$  với  $t_0 = 50$  ms như sau:

$$D_{50} = \frac{E_N}{E_N + E_S} \quad (3.29)$$

Nếu  $D_{50}$  lớn hơn 0.5, độ rõ âm tiết sẽ có khả năng lớn hơn 90%. Độ rõ câu hay âm tiết này được các tác giả khác nhau định nghĩa khác nhau, tuy có phần tương đồng. Gade (2007) định nghĩa độ rõ lấy mốc thời gian  $t_0 = 80$  ms, và do đó độ rõ  $C_{80}$  của Gade là (xem Hình 3.24):

$$C_{80} = 10 \lg \frac{E_N}{E_S} \quad (8.30)$$



**Hình 8.24.** Định nghĩa độ rõ - phòng theo Gade (2007)

$C_{80}$  đặc trưng cho độ rõ của trình diễn âm nhạc (thay vì tiếng nói), giá trị  $C_{80}$  từ -3 dB đến 0 dB có thể coi là phù hợp cho nhạc hòa tấu (Kuttruff & Mommertz, 2013).

Với trường âm tắt dần theo quy luật hàm số mũ, giá trị độ rõ cần đạt được  $C_{exp}$  chỉ còn phụ thuộc vào thời gian âm vang:

$$C_{exp} = 10 \lg \left[ \exp \left( \frac{1.104}{T} \right) - 1 \right] \quad (3.31)$$

Độ rõ  $C_{80}$  càng lớn, âm đến sớm càng đóng vai trò chủ đạo, cảm giác về độ rõ càng tăng lên. Đơn vị của độ rõ là Decibel (dB).

Các giá trị của các đại lượng chất lượng âm bàn ở trên được khuyến nghị như nêu trong Bảng 3.9.

**Bảng 3.9. Các chỉ số chất lượng âm khuyến nghị được nêu trong tiêu chuẩn ISO 3382-1 (2009) trong phòng hòa nhạc hoặc phòng đa chức năng không khán giả đến 25000 m<sup>3</sup>**

<i>Các khía cạnh chủ quan của người nghe</i>	<i>Đại lượng âm học</i>	<i>Tần số đại diện</i>	<i>Mức khác biệt có thể cảm nhận được (JND)</i>	<i>Giá trị đại diện đề xuất (Gade)</i>	<i>Dải thường gặp</i>
Cảm giác chủ quan mức âm	Độ mạnh yếu của âm G (dB)	500 - 1000	1 dB	3 dB	-2 đến +10 dB
Cảm giác về độ vang	EDT (s)	500 - 1000	Tương ứng 0.5%	2.2s	1s đến 3s
Cảm giác độ rõ của âm	Độ rõ $C_{80}$ (dB)	500 - 1000	1 dB	-1 dB	-5 đến +5 dB
Ấn tượng không gian	Early LEF	125 - 1000	0.05	0.2 - 0.25	0.05 đến 0.35

Một thông số âm học thường hay được dùng khác có liên quan đến độ rõ của tiếng nói trong thính phòng là Chỉ số truyền dẫn tiếng nói STI (Speech Transmission Index). STI là một đại lượng đo khách quan, vật lý về chất lượng truyền dẫn tiếng nói. STI có giá trị từ 0 đến 1, chỉ ra mức độ mà một kênh truyền dẫn làm giảm chất lượng giọng nói. Điều này có nghĩa là bài phát biểu nghe rõ một cách hoàn hảo, khi nó được truyền qua kênh (trong âm học kiến trúc thì kênh chính là trong thính phòng) có STI là 1. Giá trị STI càng gần với 0 thì càng mất nhiều thông tin của tiếng nói. Có một hệ thống tiêu chuẩn cho biết một giá trị STI sẽ tương ứng với một mức độ hiểu biết chủ quan cụ thể. Quan hệ giữa STI và các bài kiểm tra mức nghe rõ chủ quan khác nhau (như CVC wordscore hay phonetically balanced word lists) cũng đã được thiết lập. Các mối quan hệ này được thể hiện trong Bảng 3.10.

Giá trị STI trong một thính phòng phụ thuộc vào nhiều yếu tố:

- Mức âm của bài phát biểu;

- Đáp tuyến tần số của kênh truyền dẫn (nếu âm được truyền qua hệ thống điện thanh);
- Sự biến dạng phi tuyến;
- Mức ồn nền;
- Chất lượng của thiết bị phát âm thanh (ví dụ: loa);
- Tiếng dội (là âm phản xạ có độ trễ  $> 100$  ms);
- Thời gian âm vang;
- Hiệu ứng tâm lý âm thanh (hiệu ứng âm che lấp).

**Bảng 3.10. Quan hệ giữa STI, các phép đo mức nghe rõ chủ quan và thang xếp hạng mức nghe rõ**

<i>Mức đánh giá độ nghe rõ</i>	<i>Mức nghe rõ câu %</i>	<i>Kết quả của bài test phonetically balanced word lists (các từ có nghĩa) %</i>	<i>Kết quả của bài test CVC (các từ vô nghĩa) %</i>	<i>Giá trị STI</i>
Xuất sắc	100	$> 98$	$> 81$	$> 0.75$
Tốt	100	93 - 98	70 - 81	0.6 - 0.75
Được	100	80 - 93	53 - 70	0.45 - 0.60
Nghèo nàn	70 - 100	60 - 80	31 - 53	0.30 - 0.45
Xấu	$< 70$	$< 60$	$< 31$	$< 0.30$

STI khá quan trọng là vì phạm vi ứng dụng rộng rãi. STI được sử dụng rộng rãi trong âm học kiến trúc, ví dụ như để đánh giá khả năng nghe rõ câu nói trong thính phòng, nhà thờ và phòng hội nghị... Tuy nhiên, STI cũng được áp dụng cho các kênh viễn thông, các đường dây điện thoại (điện thoại di động) và truyền sóng vô tuyến. Trong âm học kiến trúc, việc tính toán giá trị STI cho một vị trí trong thính phòng có liên quan đến xung đáp ứng (tính chất của đường suy giảm năng lượng âm) nhận được tại vị trí đó và tỷ số SNR (tỷ số mức tín hiệu có ích so với mức ồn nền). Việc tính toán STI là phức tạp và dài dòng, vượt quá khuôn khổ của âm học kiến trúc, nên không mô tả chi tiết ở đây.

Về sau người ta cải tiến STI và đưa ra chỉ số RASTI (Room Acoustics STI) có tính chất tương tự như STI và làm cho ứng dụng của STI ngày càng rộng rãi hơn. Hiện nay STI là một chỉ số chất lượng âm tiêu chuẩn trong số các kết quả mô

phông cho ra bởi các phần mềm mô phỏng âm học thính phòng. STI cũng có thể đo được bằng máy đo dùng trong thính phòng, nhà ga, sân bay... đã xây dựng.

### 3.2.7. Thời điểm trọng tâm (Center time)

Để đánh giá hiệu quả của âm nhạc và diễn thuyết, thời điểm trọng tâm  $T_s$  là một thông số tham khảo cho biết cả cảm giác không gian và độ rõ và các kết quả tại một vị trí khảo sát trong phòng. Nó được tính bằng tỷ số giữa sigma ( $\Sigma$ ) tích của năng lượng âm phản xạ đến vị trí khảo sát với thời gian trễ tương ứng và tổng năng lượng âm đến. Đơn vị của  $T_s$  là ms.

$$T_s = \frac{\sum_i t_i E_i}{E_{tong}} \quad (3.32)$$

hoặc

$$T_s = \frac{\int_0^{\infty} t |p^2(t)| dt}{\int_0^{\infty} |p^2(t)| dt} \quad (3.33)$$

Theo Hoffmeier (Hoffmeier, 1996), có một mối tương quan rõ rệt giữa  $T_s$  và độ rõ câu ở những octave 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz và 4000 Hz. Thời điểm trọng tâm  $T_s$  có giá trị lớn là một chỉ báo cho biết độ rõ kém, nhưng lại đem lại cảm giác không gian của âm tốt tại vị trí khảo sát. Giá trị tối ưu của  $T_s$  thường phụ thuộc vào thời gian âm vang tối ưu.

Đối với âm nhạc, giá trị  $T_s$  mong muốn thường rơi vào 70 ms đến 150 ms ở octave 1000 Hz. Còn đối với tiếng nói,  $T_s$  nên từ 60 ms đến 80 ms ở các octave 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz và 4000 Hz.

### 3.2.8. Tiếng dội (Echoes)

Tiếng dội là một âm hay một loạt các âm gây ra bởi sự phản xạ của sóng âm từ một bề mặt nào đó quay trở lại tai người nghe. Trong âm nhạc và nói chuyện, tiếng dội không có lợi, thậm chí gây khó chịu làm giảm chất lượng âm nhạc. Tiếng dội gây khó chịu hoàn toàn có thể tính toán hoặc đo được bằng cách dùng tiêu chuẩn tiếng dội đề nghị bởi Dietsch và Kraak (Dietsch & Kraak, 1986). Tiếng dội được tính toán từ năng lượng của xung đáp ứng, theo công thức ban đầu của thời điểm trọng tâm  $T_s$ .

$$T_s(\tau) = \frac{\int_0^\tau |p(t)|^n t dt}{\int_0^\tau |p(t)|^n dt} \quad (3.34)$$

Trong công thức trên, nếu  $n = 2$  và  $\tau = \infty$  thì công thức trở thành công thức (3.33) tính  $T_s$ .

Để tính toán tiếng dội, Dietsch và Kraak gán  $n = 0.67$  cho tiếng nói và  $n = 1$  cho âm nhạc. Từ công thức trên, độ lớn của tiếng dội được tính như sau:

$$EK(\tau) = \frac{\Delta T_s(\tau)}{\Delta T_E} \quad (3.35)$$

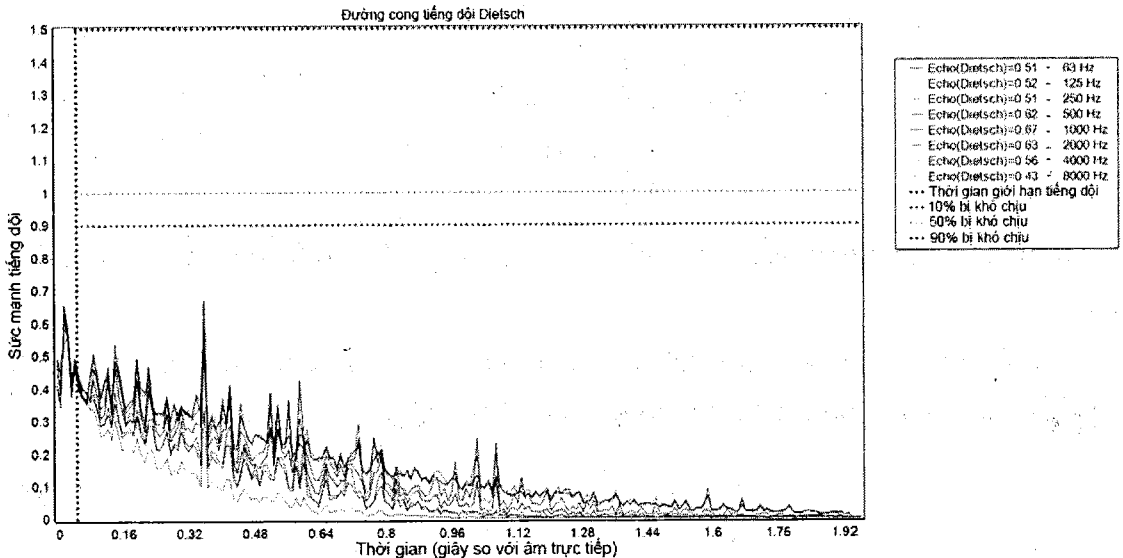
trong đó, giá trị  $\Delta T_E = 9$  ms cho tiếng nói và  $\Delta T_E = 14$  ms cho âm nhạc được áp dụng để tính  $EK(\tau)$ . Những giá trị này được ước tính từ kết quả thực nghiệm. Giá trị  $EK(\tau)$  gây tiếng dội khó chịu phụ thuộc vào loại hình âm nhạc. Đối với nhạc dồn dập hay diễn thuyết nhanh, giá trị giới hạn của  $EK(\tau)$  nhỏ hơn so với bình thường.

Để có không quá 50% ( $EK_{50\%}$ ) và 10% ( $EK_{10\%}$ ) số khán giả cảm nhận được tiếng dội, các giá trị của  $EK$  không nên vượt quá các giới hạn sau:

- Đối với âm nhạc,  $EK_{50\%} \leq 1.8$  và  $EK_{10\%} \leq 1.5$  ở các dải octave 1 kHz và 2 kHz và các tần số trung bình;
- Đối với diễn thuyết, tiếng nói,  $EK_{50\%} \leq 1.0$  và  $EK_{10\%} \leq 0.9$  ở duy nhất một dải octave 1 kHz.

Hình 3.25 cho thấy một ví dụ phân tích tiếng dội trong một thính phòng, là kết quả của mô phỏng trên phần mềm âm học ODEON. Phân tích cho thấy tại thời điểm 0.36 s có một tiếng dội khá lớn, nhưng chưa chạm đến ngưỡng  $EK_{10\%}$ , nên không gây khó chịu cho khán giả.

Với sự phát triển không ngừng của âm học, ngày càng có nhiều thông số chất lượng âm ra đời, với sự phức tạp càng lúc càng tăng lên. Bạn đọc sẽ không nên ngạc nhiên khi thấy trong một tài liệu nào đó những thông số chất lượng âm mới. Tuy nhiên, những thông số mà chúng tôi trình bày từ mục 3.2.1 đến mục 3.2.8 là những thông số chất lượng âm rất cơ bản, đủ để bạn đọc hiểu và nắm bắt được những kỹ thuật đảm bảo chất lượng âm trong phòng.



**Hình 3.25.** Phân tích tiếng dội  $EK(\tau)$  ở các dải octave khác nhau khi diễn thuyết trong một phòng họp, trong đó cho thấy các ngưỡng  $EK_{90\%} \leq 1.5$ ,  $EK_{50\%} \leq 1.0$  và  $EK_{10\%} \leq 0.9$ . Phân tích cho thấy không có tín hiệu tiếng dội (có  $EK$  vượt mức ngưỡng)

### 3.3. CÁC HIỆN TƯỢNG ÂM HỌC TRONG PHÒNG KÍN

#### 3.3.1. Trường âm khuếch tán

Trường âm khuếch tán được coi là lý tưởng nếu có sự phân bố năng lượng âm đồng đều tại mọi điểm trong không gian phòng. Như vậy, tại một điểm bất kỳ trong trường âm khuếch tán hoàn toàn, sóng âm phản xạ đến từ nhiều hướng một cách đồng đều, năng lượng âm phân bố đồng đều trong không gian, sự tắt dần của năng lượng âm phản xạ cũng đồng nhất.

Để đánh giá mức độ khuếch tán của trường âm, người ta thường dùng phương pháp thực nghiệm như sau:

- Đo mức áp suất âm tại nhiều điểm trong phòng bằng cách cho nguồn âm phát ra tiếng ồn liên tục, nếu sự chênh lệch mức áp suất âm tại nhiều điểm đo là nhỏ, trường âm càng phân bố đồng đều.

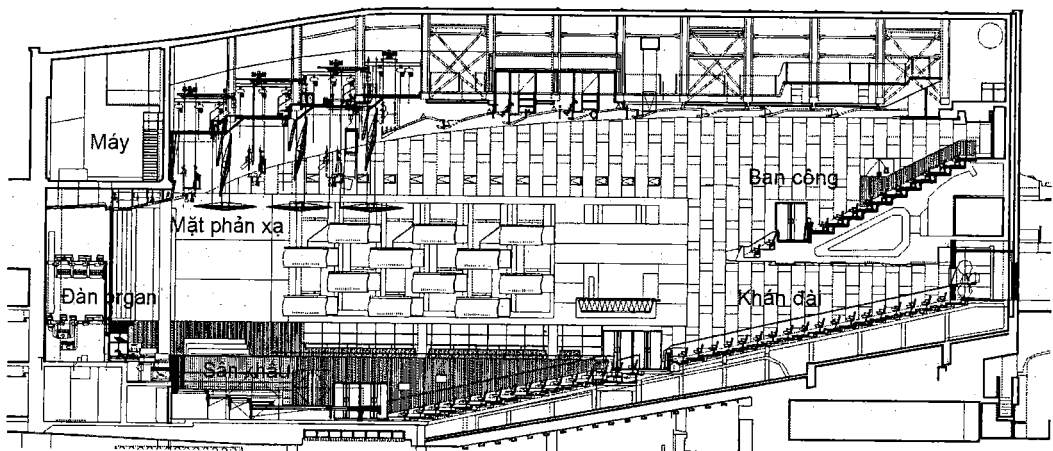
- Đo tốc độ và đặc trưng tắt dần của năng lượng âm tại nhiều điểm, nếu sự tắt dần đều đặn, ít thăng giáng tức trường âm khuếch tán tốt.

- Đo thời gian âm vang tại nhiều điểm để biết sự phân bố vật liệu hút âm, phản xạ âm đã hợp lý hay chưa.

Ngoài ra, việc sử dụng nguồn âm công suất lớn, có tính định hướng mạnh như loa hoặc cột loa thường gây bất lợi cho trường âm. Gần loa thì quá ồn, âm thanh nghe chát chúa, âm không có tính khối. Lệnh khỏi trực loa thì nghe âm nhỏ, nghèo nàn. Do đó, đối với biểu diễn hòa nhạc thường đòi hỏi chất lượng âm cao, người ta thường nghe âm trực tiếp chứ không sử dụng các hệ thống điện thanh.

Trên thực tế trường âm khuếch tán hoàn toàn là rất khó xảy ra, tuy nhiên bằng các giải pháp thiết kế trang âm hợp lý có thể tạo ra trường âm khuếch tán tốt, tạo môi trường cảm thụ âm thanh thuận lợi cho thính giả, đặc biệt trong các phòng hòa nhạc. Các nguyên tắc và giải pháp thường được áp dụng là:

- Tránh các bề mặt phản xạ âm có diện tích quá lớn do chúng thường tạo nên âm phản xạ quá gắt và không đều.
- Trong những thính phòng cổ điển có chất lượng âm tốt, âm được khuếch tán đều trong phòng nhờ rất nhiều các chi tiết trang trí, gờ bậu cửa, phào chỉ trần, các chi tiết trang trí trên trần, lan can, ban công nhô ra... (xem Hình 3.26).

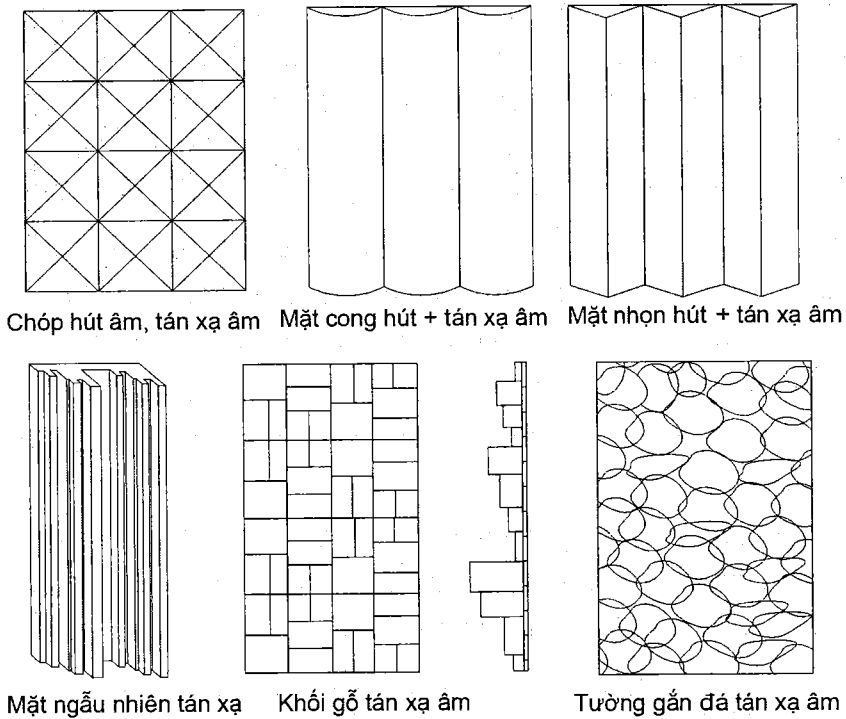


Mặt cắt 1:600

**Hình 3.26.** Mặt cắt dọc nhà hát hoàng gia Luân Đôn (Royal Festival Hall) với nhiều chi tiết kết cấu nhô vào phòng giúp khuếch tán âm

- Hiện nay, hầu hết các KTS chịu ảnh hưởng của trào lưu kiến trúc hiện đại và không hào hứng với việc dùng nhiều chi tiết trang trí. Do đó, KTS cần kết hợp chặt chẽ với các nhà âm học để đưa ra các giải pháp bề mặt khuếch tán âm hiệu quả (xem Hình 3.27).

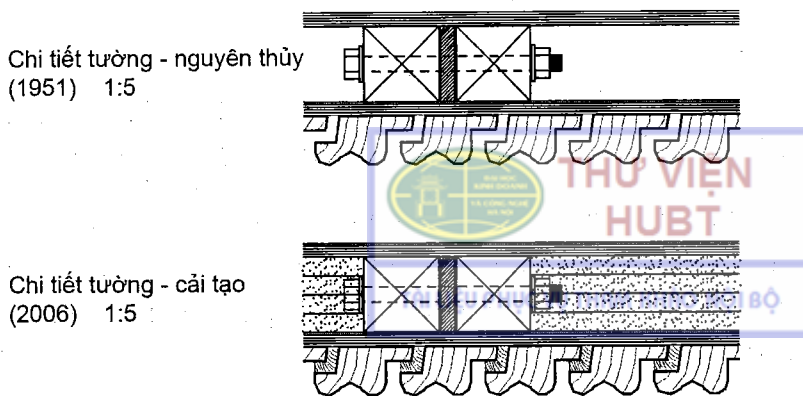
- Các chi tiết tán xạ âm cần có kích thước hợp lý. Theo Gade (2007), các gờ chỉ cần có độ sâu ít nhất bằng  $\frac{1}{4}$  bước sóng và chiều dài gờ chỉ cần ít nhất tương đương bước sóng của âm tần số thấp nhất cần giải quyết.



**Hình 3.27.** Một số dạng bề mặt có tính năng khuếch tán âm tốt đã được sử dụng trong các sảnh phòng

- Các kết cấu công trình có hình khối hộp sắc cạnh bố trí đều đặn trên các bề mặt đều không có lợi về mặt âm học. Thay vào đó, nên áp dụng các hình khối có tính hữu cơ, bố trí không theo quy luật sẽ cho hiệu quả âm thanh tốt hơn.

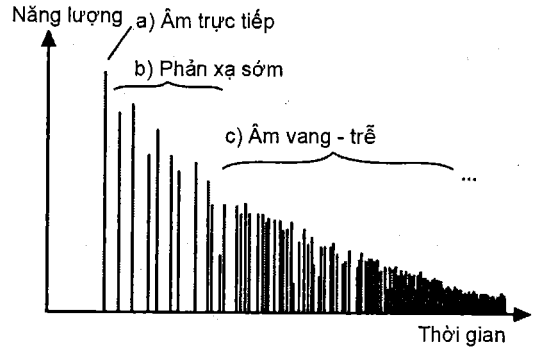
Sự bố trí vật liệu hút âm phân tán và đều đặn cũng có tác dụng tốt đối với trường âm khuếch tán (xem Hình 3.28).



**Hình 3.28.** Mặt cắt ngang tường Royal Festival hall - London cho thấy các chi tiết tán xạ âm và hút âm tần số trung và cao

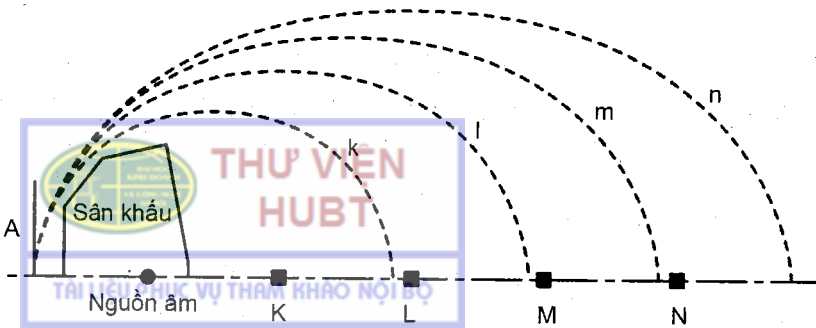
### 3.3.2. Tiếng dội

Nhằm nâng cao độ rõ âm tiết, độ rõ câu trong khi nghe thuyết giảng (hoặc nâng cao độ rõ  $C$  trong âm nhạc), những âm phản xạ đầu tiên phải đến tai người nghe sớm, trong khoảng 50 ms (hoặc 80 ms đối với âm nhạc) so với âm trực tiếp - gọi là âm phản xạ sớm (Hình 3.29). Nếu âm phản xạ đầu tiên đến sau 50 ms (tương đương với quãng đường truyền âm lớn hơn 17 m), âm phản xạ nghe như tiếng dội (echo) làm giảm độ rõ.



**Hình 3.29.** Sự suy giảm xung năng lượng âm theo thời gian  
- phỏng theo Vorländer (2008)

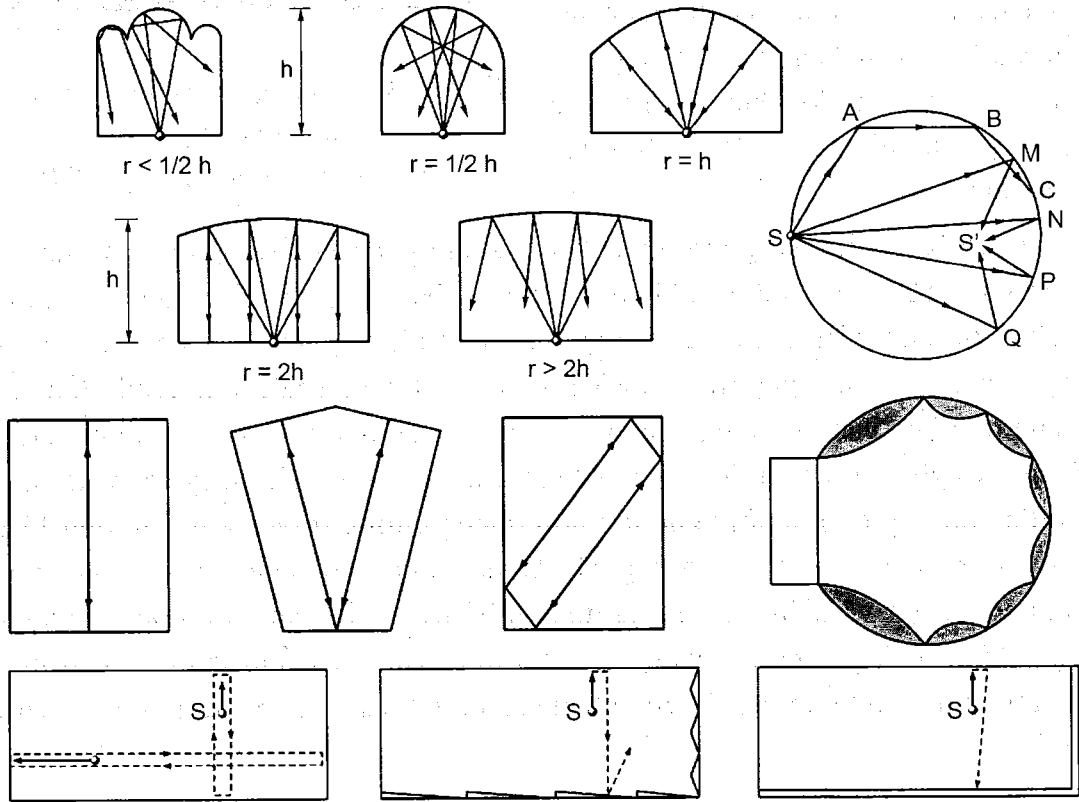
Trong các thính phòng lớn, việc đảm bảo âm phản xạ đầu đến tất cả thính giả trong vòng 50 ms là một việc không đơn giản. Nhưng bằng cách dựa vào nguyên lý âm hình học trên mặt bằng và mặt cắt thính phòng, chúng ta có thể xác định được các mặt có thể gây tiếng dội và tránh khi thiết kế nội thất. Hình 3.30 giới thiệu một ví dụ của phương pháp này. Các đường elip được vẽ sao cho nguồn âm và người nghe nằm trên tiêu cự của hình elip và sao cho khoảng cách từ nguồn âm dội vào elip đến người nghe lớn hơn quãng đường truyền âm trực tiếp 17 m. Ví dụ, điểm K có elip k tương ứng. Do đó nếu có một bề phản xạ nằm ngoài elip k nhưng hướng về điểm K, bề mặt đó nên bố trí vật liệu hút âm hoặc tán xạ âm hoặc chỉnh hướng đưa âm phản xạ ra xa hơn. Đặc biệt, khi thiết kế cần lưu ý kiểm tra nguy cơ tiếng dội từ tường hậu sau lưng khán giả và từ trần nhà có chiều cao lớn.



**Hình 3.30.** Những đường giới hạn tiếng dội hình elip vẽ trên mặt bằng một thính phòng - phỏng theo Barron (1993)

### 3.3.3. Hội tụ âm - âm đi vòng (whispering-gallery effect)

Những bề mặt trần cong lõm có thể gây ra bất lợi về âm vì nó có thể hội tụ âm tại một vị trí nào đó, đồng thời để lại những vùng âm yếu. Do đó các loại trần vòm nên có bán kính cong bé hơn một nửa chiều cao phòng (hay khoảng cách từ đầu người đến trần) để hội tụ âm chỉ xảy ra trên cao. Trường hợp trần cong lõm rất ít ( $r \geq 2h$ ) cũng có thể chấp nhận được nếu phần nền và ghé bố trí vật liệu hút âm để tránh phản xạ âm nhiều lần giữa trần và sàn (Gade, 2007).



**Hình 3.31.** Các hình dáng mặt bằng phòng có thể gây hiện tượng âm xấu và một số cách khắc phục - phỏng theo Gade (2007)

Phòng có mặt bằng hình tròn có nguy cơ hội tụ âm và âm phản xạ liên tục theo chu vi phòng (whispering-gallery effect). Bằng cách bổ sung các bề mặt tán xạ âm trên chu vi tường, hiện tượng xấu trên có thể tránh được, ít nhất đối với các âm có tần số trung và cao. Trong các phòng có mặt bằng hình chữ nhật có bề mặt phẳng nhẵn, hiện tượng tiếng dội lặp đi lặp lại (flutter echo) có thể xảy ra. Trong phòng nhỏ, hiện tượng này khiến âm nghe không thật (chẳng hạn, một tần số nào

đó bị hấp thụ). Trong phòng lớn hơn, hiện tượng này gây tiếng vang ngắt quãng đều đặn. Trong những trường hợp như vậy, bố trí vật liệu hút âm trên ít nhất 1 trong các bề mặt hoặc làm lệch bề mặt đối diện một góc nhỏ (khoảng  $3^\circ$  đến  $5^\circ$ ), hiện tượng sẽ biến mất.

#### 3.3.4. Hiện tượng méo âm sắc

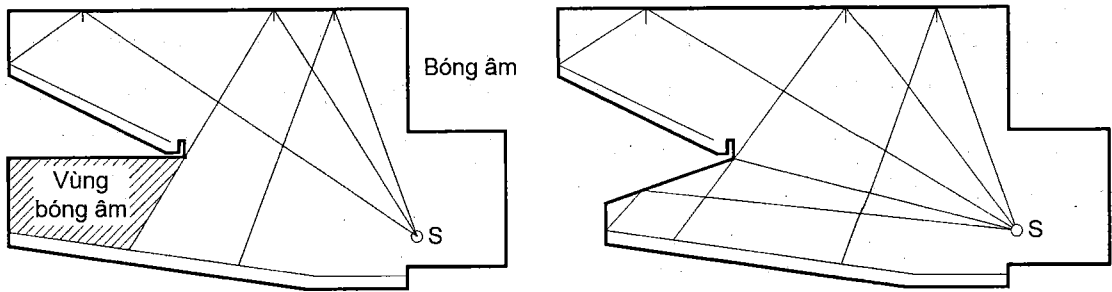
Các giả thuyết của âm học thống kê đều cho rằng trường âm trong phòng là khuếch tán hoàn toàn. Điều này thường hợp lý nếu trong phòng các bề mặt hút âm, phản xạ âm được chia nhỏ, bố trí phân tán và có sự hài hòa giữa phản xạ và hút âm.

Nếu có bề mặt sử dụng vật liệu hút âm mạnh, hoặc có diện tích lớn bố trí tập trung, hiện tượng méo âm có thể xảy ra. Đó là hiện tượng gây ra bởi phổ tần số âm thanh đến tai người nghe không giống như phổ của nguồn phát. Nguyên nhân là do vật liệu hoặc kết cấu hút âm thường hấp thụ âm có tính chọn lọc (theo tần số), một số tần số chủ đạo bị hút đi, khiến âm phản xạ nghe không thật. Ví dụ, âm tần số cao bị hút mạnh bởi vật liệu xốp rỗng, âm tần số thấp thì không. Bố trí quá nhiều vật liệu dạng như vậy khiến âm mất độ thanh ( $TR$ ), nghe không rõ, không trong trẻo.

Trong một số trường hợp, do lựa chọn kích thước kết cấu phản xạ âm không hợp lý (thông thường có kích thước quá nhỏ) dẫn đến việc âm phản xạ thiếu các âm tần số thấp. Khi đó âm đến tai người nghe không có “độ ấm” do chỉ số  $BR$  (bass ratio) thấp. Hiện tượng này có thể xảy ra với các phòng không gian dưới ban công, nơi không nhận được nhiều âm trực tiếp, lại gần tường hậu nơi có nhiều vật liệu hút âm.

#### 3.3.5. Hiện tượng bóng âm

Phần không gian dưới ban công trong các thính phòng thường ở rất xa nguồn âm và không nhận được âm phản xạ do bị che khuất bởi ban công, do đó âm nghe nhỏ, chất lượng âm rất thấp. Nguyên nhân là do âm trực tiếp giảm yếu khi lan đi xa và bị khán giả các hàng ghế trước hút âm; âm phản xạ từ trần không có; âm phản xạ từ tường biên cũng không có do bị tường hậu hút âm. Điều này cần được cải thiện, chẳng hạn bằng cách tạo các âm phản xạ từ trần ban công (xem Hình 3.32) hoặc lắp đặt thêm các loa phụ trên trần khu vực ban công.



Hình 3.32. Hiện tượng bóng âm

### 3.4. ĐO ĐẠC TRƯỜNG ÂM TRONG PHÒNG

Khi thực hiện quan trắc trường âm và các chỉ số âm học trong phòng, người ta khuyến nghị nên tuân thủ theo hướng dẫn chi tiết đã được quy định trong tiêu chuẩn ISO 3382 - 1997 (International Standard Organization, 1997). Nhiệm vụ chính của đo đạc trường âm là xác định được các đường cong biểu diễn quá trình suy giảm âm trong phòng.

#### *Nguồn âm kích thích (đầu phát âm)*

Nguồn âm kích thích nên cố gắng càng tương đương nguồn âm điểm là càng tốt. Mức áp suất âm trên các hướng phát ra từ nguồn chênh lệch nhau không quá 1dB đối với các dải octave 125, 250 và 500 Hz và không quá 3, 5, 6 dB lần lượt đối với octave 1000, 2000 và 4000 Hz. Tiếng ồn kích thích là tiếng ồn hồng (loại tiếng ồn có mức năng lượng âm ở từng octave tỷ lệ nghịch với tần số). Nguồn âm kích thích và vị trí quan trắc đo đạc không được gần hơn 1.5 m. Nguồn âm và các thiết bị phát thường có khả năng phát đủ năng lượng âm với đủ các dải tần số octave từ 125 Hz đến 4000 Hz để có thể quan trắc sự suy giảm năng lượng âm đối với từng octave.

#### *Microphone (đầu thu tín hiệu)*

Loại đầu thu âm dạng đẳng hướng (có khả năng nhận âm từ tất cả các hướng) nên được dùng để thu nhận xung phản hồi của tất cả các đại lượng đo.

Khi đo độ mạnh yếu của âm  $G$ , các đầu thu phải được cân chỉnh (calibration). Riêng đối với đại lượng đo “phần năng lượng bên” -  $LEF$  (lateral energy fraction) đo bằng “hệ micro định hướng bắt chước tai người” (figure-of-eight microphone system). Hệ micro này cũng phải được cân chỉnh trong trường âm không có âm phản xạ.

Đối với một số đại lượng âm học, ví dụ như tính khối và tính không gian của âm, người ta phải đo đạc năng lượng âm bằng cách đặt các đầu thu vào trong hốc tai của các mannequin hoặc của người thật.

### ***Vị trí quan trắc***

Đối với nguồn âm trên sân khấu biểu diễn, cần tối thiểu 3 điểm phát âm đồng thời. Đối với thính phòng lớn, số điểm phát âm cần phải tăng lên. Trong phòng học, giảng đường thông thường nguồn phát âm chỉ có một người, do đó trong khi đo đạc chỉ cần đặt một nguồn phát giả định là đạt yêu cầu. Nguồn phát nên đặt cao 1.5 m để tránh ảnh hưởng các âm tần số thấp phát ra từ nguồn.

Đối với trường âm trong thính phòng, từ 6 đến 10 microphone để quan trắc trường âm là tối thiểu. Bảng 3.11 giới thiệu các giá trị tối thiểu. Các đầu thu thường được bố trí đồng đều trong các khu vực của thính phòng. Nếu phòng còn được chia thành các không gian khác nhau như ban công, dưới ban công... thì cần thêm micro thu. Đầu thu nên đặt tại vị trí người nghe, cao hơn sàn nhà 1.2 m, giả lập tai người nghe.

**Bảng 3.11. Số lượng đầu thu tối thiểu tương ứng với sức chứa của phòng (International Standard Organization, 1997)**

Số chỗ trong thính phòng	Số đầu thu tối thiểu
500	6
1000	8
2000	10

Theo một số tác giả (Nguyễn, 2011), việc đo đạc nói trên nên thực hiện tại 15 điểm đại diện của phòng thính giả gồm 9 điểm dưới trệt và 6 điểm trên ban công - gác lửng (nếu có). Hầu hết các thính phòng thường có cấu trúc đối xứng, do đó các đầu thu chỉ cần bố trí một bên của trục đối xứng là đủ. Nguồn phát phải di động đến các vị trí mà người biểu diễn hay loa có thể được bố trí.

Vị trí và độ cao của đầu phát, đầu thu đề phải được ghi chép cẩn thận. Điều kiện của sân khấu (sự hiện diện của ghế ngồi, giá đỡ nhạc cụ) và thính phòng cũng phải được ghi lại vì nó có ảnh hưởng đến giá trị đo.

### 3.5. CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG 3

#### Câu hỏi trọng tâm:

1. Vẽ hình và biểu đồ minh họa quá trình hình thành và tắt dần của trường âm trong phòng kín.
2. Xung đáp ứng là gì? Ứng dụng của xung đáp ứng trong âm học kiến trúc?
3. Vẽ hình và nêu định nghĩa của khái niệm thời gian âm vang. Nêu công thức tính thời gian âm vang của Sabine hoặc Eyring.
4. Nêu nguyên lý của âm hình học. Ứng dụng của âm hình học trong âm học kiến trúc?
5. Thời gian âm vang tối ưu trong thính phòng chịu sự chi phối của các yếu tố nào? Cùng một thể tích phòng, hãy sắp xếp trật tự từ bé tới lớn của thời gian âm vang tối ưu cho các loại hình công trình sau: nhà thờ Thiên chúa giáo, phòng chiếu phim, phòng hòa nhạc, phòng diễn thuyết, Opera.
6. Nêu khái niệm về các chỉ tiêu chất lượng âm học chính trong phòng thính giả: độ mạnh yếu, ấn tượng không gian, thông số về điều kiện biểu diễn, thông số về âm sắc, độ rõ, tiếng dội, thời điểm trọng tâm.
7. Mô tả các hiện tượng âm tốt và xấu trong thính phòng.

#### Bài tập ôn:

**Bài tập 1:** Tính thời gian âm vang tối ưu ứng với từng dải tần số 1 octave từ 125 Hz đến 4 kHz cho một phòng hòa nhạc có thể tích 50000 ft<sup>3</sup>?

*Gợi ý:* Căn cứ biểu đồ đã cho trong Hình 3.18, ta tra được thời gian âm vang tối ưu ứng với octave 500 Hz cho phòng hòa nhạc có thể tích 50000 ft<sup>3</sup> là: 1,4 s.

Thời gian âm vang tối ưu cho các octave khác được tính bằng cách điều chỉnh thời gian âm vang tối ưu ứng với octave 500 Hz với các hệ số điều chỉnh  $k$  từ bảng tính đã cho.

Như vậy, thời gian âm vang tối ưu của octave 125 Hz là:

$$T_{125}^{tu} = T_{500}^{tu} \times k_{125} = 1,4 \times 1,4 = 1,96s$$

Như vậy, thời gian âm vang tối ưu của octave 250 Hz là:

$$T_{250}^{tu} = T_{500}^{tu} \times k_{250} = 1,4 \times 1,15 = 1,61s$$

Như vậy, thời gian âm vang tối ưu của octave 1000 Hz là:

$$T_{1000}^{tu} = T_{500}^{tu} \times k_{1000} = 1,4 \times 0,9 = 1,26s$$

Thời gian âm vang tối ưu của octave 2000 Hz, 4000 Hz cũng giống như của tần số 1000 Hz do có cùng hệ số điều chỉnh  $k$ .

**Bài tập 2:** Căn cứ nguyên lý âm hình học, hãy vẽ mặt cắt dọc và mặt bằng của một phòng hòa nhạc sao cho tối ưu năng lượng âm đến khu vực khán giả ngồi phía xa sân khấu và năng lượng âm phản xạ từ tường biên đến khán giả.

**Gợi ý:** Vẽ mặt cắt chú trọng đến trần phản xạ âm đến khu vực khán giả. Có thể bố trí thêm các tấm phản xạ tăng cường treo phía trên nguồn âm và các bề mặt sân khấu phản xạ âm (không bố trí vật liệu hút âm trong trường hợp này). Vẽ mặt bằng chú ý tường biên với các tấm phản xạ hướng tia phản xạ vào khu vực khán giả.



## TÀI LIỆU THAM KHẢO CHƯƠNG 3

1. Ballou G., 2013. Handbook for sound engineers. Oxfordshire: Taylor & Francis.
2. Barron M., 1993. Auditorium acoustics and architectural design. London: E & FN Spon.
3. Bass H. E. et al., 1995. Atmospheric absorption of sound: Further developments. The Journal of the Acoustical Society of America, 97(1), pp. 680-683.
4. Beranek L. L., 1962. Music, Acoustics and Architecture. New York: Wiley.
5. Beranek L. L. & Mellow T., 2012. Acoustics: Sound Fields and Transducers. Waltham, Massachusetts: Academic Press.
6. Dietsch L. & Kraak W., 1986. (1986) An objective criterion for the measurement of echo disturbances during presentation of music and speech. Acustica, Volume 60, p. 205-216 (in German).
7. Eargle J., 1999. Sound System Design Reference Manual. Northridge, CA: Electronic version: JBL Professional.
8. Elkhateeb A. A., 2012. The acoustical design of the new lecture auditorium, Faculty of Law, Ain Shams University. Ain Shams Engineering Journal, Volume 3, p. 219-235.
9. Eyring C. F., 1930. Reverberation time in "dead" rooms. The Journal of the Acoustical Society of America, 1 (2A), pp. 217-241.
10. Gade A. C., 2007. Acoustics in Halls for Speech and Music. Berlin, Springer, pp. 301-350.
11. Hoffmeier J., 1996. Untersuchungen zum Einfluß von Raumklangfärbungen auf die Deutlichkeit von Sprache (Investigations on the Impact of Surround Sound Coloration on Speech Definition). Dresden: Diploma thesis, Technical University.
12. International Standard Organization, 1997. ISO 3382 -1997: Measurement of reverberation time of room with reference to other acoustics parameters. Geneva: ISO.

13. Jordan V. L., 1970. Acoustical criteria for auditoriums and their relation to model techniques. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Volume 47, p. 408.
14. Knudsen V. O. & Harris, C. M., 1950. *Acoustical Designing in Architecture*. New York: John Wiley and Sons.
15. Kuttruff H. & Mommertz E., 2013. *Room acoustics*. Berlin, Springer, pp. 239-267.
16. Lamoral R., 1975. *Acoustique et architecture*. Paris: Masson.
17. Meyer E. & Neumann E. G., 1972. *Physical and applied acoustics: An introduction*. New York: Academic Press.
18. Meyer J., 2009. *Acoustics and the Performance of Music*. 5th ed. Berlin: Springer.
19. Müller G. & Möser M., 2013. *Handbook of Engineering Acoustics*. Berlin: Springer.
20. Nguyễn Ngọc Giả, 2011. *Cơ sở âm học kiến trúc - Thiết kế chất lượng âm*. Hà Nội: Nhà xuất bản Xây dựng.
21. Phạm Đức Nguyên, 2011. *Âm học kiến trúc, âm học đô thị*. Hà Nội: Nhà xuất bản Xây dựng.
22. Sabine W. C., 1922. *Collected papers on acoustics*. Cambridge, MA: Harvard university press.
23. Seraphim H. P., 1958. Untersuchungen uber die Unterschiedsschwelle exponentiellen Abklingens von Rauschbandimpulsen. *Acustica*, Volume 8, p. 280-284.
24. Stephens R. W. B. & Bate A. E., 1966. *Acoustics and vibrational physics*. London: Edward Arnold.
25. Tahara Y. & Miyajima T., 1998. A new approach to optimum reverberation time characteristics. *Applied Acoustics*, 54(2), pp. 113-129.
26. Thiele R., 1953. Richtungsverteilung und Zeitfolge der Schallruckwurfe in Raumen. *Acustica*, Volume 3, p. 291-302.
27. Vorländer M., 2008. *Auralization: fundamentals of acoustics, modelling, simulation, algorithms and acoustic virtual reality*. Berlin: Springer.

## THIẾT KẾ TRANG ÂM CÁC PHÒNG THÍNH GIẢ

---

### TÓM TẮT NỘI DUNG CHÍNH

Trong chương này bạn đọc cần hiểu rõ rằng có rất nhiều chỉ tiêu chất lượng âm, nhưng chỉ tiêu chất lượng âm quan trọng hàng đầu là thời gian âm vang. Đối với những thính phòng có yêu cầu cao về chất lượng âm, chúng ta sẽ cần quan tâm tới những chỉ tiêu khác như độ rõ, tính không gian, độ mạnh yếu...

Chương 4 dành khá nhiều nội dung để hướng dẫn việc thiết kế các bộ phận trong thính phòng theo các nguyên tắc kinh nghiệm của âm học kiến trúc. Các hướng dẫn này có thể giúp chất lượng âm trong phòng tốt hơn dù không được tính toán kỹ. Các hướng dẫn được trình bày kèm minh họa dễ hiểu, phù hợp với nhiều đối tượng bạn đọc.

Trong chương này, nội dung quan trọng nhất là phương pháp tính toán và lựa chọn vật liệu âm học dựa trên chỉ tiêu thời gian âm vang. Bạn đọc cần nắm được cách tính toán tổng lượng hút âm và lượng hút âm cố định, thay đổi. Từ đó bạn đọc có thể chọn được các vật liệu phù hợp cho thính phòng.

Đây là phương pháp cổ điển, đơn giản nhất và thường hay sử dụng nhất khi thiết kế thính phòng, tuy nhiên độ tin cậy không cao. Bạn đọc cần kiểm chứng kỹ kết quả và có thể so sánh với kết quả của các phương pháp khác trước khi đi đến kết luận.

Phần cuối chương có các ví dụ minh họa từ thực tiễn cũng như giả định, giúp bạn đọc nắm bắt và hình dung phương pháp thiết kế này rõ ràng hơn.

Mục đích của thiết kế trang âm trong các phòng nội thất là nắm bắt được các đặc trưng âm học của phòng (sự phân bố âm thanh, thời gian âm vang...). Ngoài ra, các thiếu sót về âm học cũng có thể nhận biết và tránh được trong giai đoạn thiết kế bằng các giải pháp thích hợp. Vậy những công việc cụ thể của thiết kế trang âm phòng thính giả là:

- Lựa chọn và thiết kế hình dáng mặt bằng, bố trí ghế ngồi;
- Thiết kế các mặt cắt thính phòng để đảm bảo năng lượng âm được phân bố hợp lý;
- Thiết kế chi tiết của phòng và bố trí các vật liệu hút âm, phản xạ âm nhằm đảm bảo trường âm phản xạ mạnh hay khuếch tán, đồng đều;
- Tính toán thời gian âm vang và các chỉ tiêu âm học khác của phòng và điều chỉnh thiết kế cho đến khi thỏa mãn.

Khi công trình đang và sau khi hoàn thiện, nhà thiết kế cần thường xuyên kiểm tra các chỉ tiêu âm học (thời gian âm vang, độ đồng đều, cấu trúc âm phản xạ, các chỉ tiêu khác) và khắc phục các hiện tượng âm xấu như tiếng dội, hội tụ âm, méo âm... Nếu là công trình có tầm quan trọng cao, việc đánh giá chất lượng âm thanh qua ý kiến chủ quan của thính giả, các nhà âm học, nhạc sĩ, các nhà chuyên môn, người biểu diễn... là việc nên làm. Với những mục tiêu và nhiệm vụ đó, có rất nhiều các giải pháp đã được đưa ra và các phần sau của tài liệu này sẽ mô tả chi tiết.

#### 4.1. YÊU CẦU CHUNG VỀ CHẤT LƯỢNG ÂM

Âm học phòng thính giả đã có những bước tiến vượt bậc kể từ khi Sabine (Sabine, 1922) khám phá ra rằng thời gian âm vang là chỉ tiêu âm học quan trọng hàng đầu. Những thập kỷ sau này, nhiều thông số âm học được phát triển, áp dụng trong giai đoạn thiết kế lẫn thi công công trình.

Theo Beranek (Beranek, 2004), có 24 chỉ tiêu âm học cần xem xét trong quá trình thiết kế âm học phòng là: 1. Thời gian âm vang và tính hoàn chỉnh của âm; 2. Âm trực tiếp, âm đầu tiên, âm vang; 3. Thời gian giảm âm sớm EDT; 4. Tốc độ của âm kế tiếp; 5. Độ rõ; 6. Sự cộng hưởng; 7. Âm riêng rẽ; 8. Độ sống động hay tần số trung; 9. Ấn tượng không gian; 10. Độ ấm; 11. Cảm giác âm bao quanh; 12. Độ mạnh yếu và mức âm; 13. Âm điệu và âm sắc; 14. Chói âm; 15. Độ hoành tráng (brilliance); 16. Độ cân bằng; 17. Sự pha trộn; 18. Ấn tượng chung; 19. Sự

*gần gũi; 20. Chất liệu âm; 21. Tiếng dội; 22. Dài âm + nền ồn; 23. Tổn thất chất giọng; 24. Sự đồng đều của trường âm.* Về lý thuyết, các đại lượng của Beranek đều có liên qua đến chất lượng âm, tuy nhiên người thiết kế không thể quán xuyên tất cả đại lượng. Do đó, những cách tiếp cận ít phức tạp hơn là rất cần thiết.

Trong bài giảng về âm học của mình tại trường Đại học Stanford, Scavone (2013) đưa ra các yêu cầu cần đáp ứng cho cái gọi là “Âm chất lượng tốt” sau:

- Thời gian âm vang tối ưu là một sự dung hòa giữa độ rõ (yêu cầu thời gian âm vang ngắn), cường độ âm (đòi hỏi phản xạ phải mạnh) và độ sống động của âm (đòi hỏi thời gian âm vang dài). Thời gian âm vang tối ưu của thính phòng phụ thuộc vào chức năng chính của nó.

- Âm phản xạ từ tường biên có thể quan trọng với tổng thể âm vang của phòng.

- Những đặc trưng quan trọng của âm học thính phòng là: sự thân quen, độ sống động, độ âm, mức âm trực tiếp, mức âm phản xạ, độ rõ, độ khuếch tán (hay độ đồng đều), cân bằng và sự pha trộn, cảm giác tổng thể, và sự cách ly khỏi tiếng ồn.

- Phụ vào các đặc trưng trên, ấn tượng không gian của âm và thời gian giảm âm sớm cũng quan trọng. Ấn tượng không gian của âm phụ thuộc vào các âm phản xạ đầu tiên đến từ phía trên và đặc biệt từ hai tường bên. Về mặt cảm nhận, tốc độ suy giảm âm giai đoạn đầu EDT rõ ràng quan trọng hơn cả thời gian âm vang.

- Tiếng dội, tiếng dội nhại, hội tụ âm, bóng âm và nền ồn là những điểm nên tránh trong thiết kế thính phòng.

- Thời gian giảm âm sớm EDT càng lớn (đến mức 2 giây) thì càng phù hợp cho thể loại biểu diễn hòa nhạc hoặc tương tự. Nếu EDT quá 2 giây, xu hướng này lại đảo ngược.

- Phòng hẹp thì tốt hơn phòng rộng (xét về chiều ngang): điều này rất đúng với những thính phòng có vấn đề về sự tương đồng âm đến hai tai.

- Phần năng lượng âm phản xạ đến sớm (trước 50 ms) và tổng năng lượng âm phản xạ nên càng ít khác biệt càng tốt (có lẽ để đảm bảo độ rõ cũng như thời gian âm vang đủ lớn - tác giả).

Thời gian âm vang  $T$  luôn là thông số quan trọng vào bậc nhất đối với các thính phòng lớn. Thời gian âm vang tối ưu cho các loại hình biểu diễn và quy mô thính phòng đã nêu rõ trong phần 3.2.1.

Tổng hợp từ các nghiên cứu công phu của mình, Gade (Gade, 2007) phân tích và đưa ra một loạt các giá trị tham khảo cho việc thiết kế thính phòng âm nhạc nhỏ và lớn như trong Bảng 4.1. Đây đều là chỉ số khách quan, có ảnh hưởng lớn đến chất lượng âm trong phòng khán giả. Thời gian âm vang  $T = 2.0$  s phù hợp với phòng hòa nhạc có mặt bằng hình móng ngựa hoặc hình chữ nhật, trong khi  $T = 2.4$  s phù hợp với các phòng hòa nhạc có quy mô lớn kiểu “sân vận động”. Các giá trị trong bảng này ứng với phòng không có khán giả, nếu có khán giả thì thời gian âm vang có giảm một ít nhưng không quá 2 giây. Các giá trị  $EDT$ ,  $C$ ,  $G$  cũng giảm tương ứng nhưng không nhiều. Kinh nghiệm cho thấy lượng hút âm của ghế có khán giả thường lớn hơn ghế trống, do đó nên chọn ghế có lượng hút âm tối đa để tránh khác biệt về tổng lượng hút âm khi số lượng khán giả thay đổi.

**Bảng 4.1. Các giá trị đề xuất cho phòng biểu diễn âm nhạc giao hưởng không có khán giả. Hệ số hút âm của ghế giả định là đủ lớn để dù có đầy khán giả thì thời gian âm vang  $T$  giảm không quá 0.2 s**

<i>Chỉ số</i>	<i>Ký hiệu</i>	<i>Thính phòng nhỏ</i>	<i>Phòng hòa nhạc</i>
Quy mô phòng	$V/N$	2500 m <sup>3</sup> / 300 chỗ	25000 m <sup>3</sup> / 2000 chỗ
Thời gian âm vang	$T$	1.5 s	2.0 s - 2.4 s
Thời gian giảm âm sớm	$EDT$	1.4 s	2.2 s
Độ mạnh yếu $G$	$G$	10 dB	3 dB
Độ rõ $C$	$C$	3 dB	-1 dB
Phần năng lượng bên	$LEF$	0.15 - 0.20	0.20 - 0.25
Sự hỗ trợ ban đầu	$ST_{early}$	-10 dB	-14 dB

Các giá trị trong Bảng 4.1 đều bắt nguồn từ việc chọn lựa  $T$  một cách hợp lý, sau đó suy ra các giá trị  $EDT$ ,  $G$ ,  $C$  mong muốn theo  $T$  (xem công thức tính trong mục 3.2). Giá trị thực của  $EDT$ ,  $G$ ,  $C$  lấy thấp hơn hay cao hơn giá trị mong muốn là tùy vào thể tích và chức năng của thính phòng cũng như loại hình biểu diễn.

Đối với nhạc Opera, mục đích thiết kế vẫn là tạo trường âm khuếch tán, tuy nhiên thời gian âm vang có thể phải giảm xuống một ít, vào khoảng 1.4 đến 1.8 giây, để tăng cường độ rõ câu của bài hát opera và làm cho các quãng dừng của nhạc phần nhạc nền thêm phần kịch tính.

Đối với âm nhạc có nhịp mạnh (rock, pop, disco...) thời gian âm vang nên trong khoảng 0.8 đến 1.5 giây, tùy thuộc vào độ lớn phòng. Lưu ý là thời gian âm vang này không nên tăng lên đối với tần số thấp như các loại hình âm nhạc khác.

Trong các nhà thi đấu lớn dùng cho biểu diễn, việc duy trì thời gian âm vang  $T$  nhỏ hơn 3 - 5 giây đã là rất khó, tuy nhiên nếu dùng hệ thống điện thanh hợp lý vẫn có thể khắc phục được âm vang dài. Thời gian âm vang có thể kiểm soát được nếu dùng các loa có tính định hướng mạnh, hướng âm về các bề mặt hút âm mạnh (như khán giả chẳng hạn) và điều tiết giảm echo tối đa trong hệ thống phát thanh. Đối với âm nhạc qua hệ thống điện thanh, chỉ có thời gian âm vang là quan trọng vì các thông số âm học khác chủ yếu điều chỉnh qua hệ thống âm-ly (Gade, 2007).

Có thể nói, nỗ lực tạo chất lượng âm trong thính phòng và mục đích sử dụng có quan hệ mật thiết với nhau. Ví dụ, các thính phòng như phòng hòa nhạc hay hát Opera cần chất lượng âm rất cao, do đó đòi hỏi phải được thiết kế kỹ lưỡng. Bảng 4.2 giới thiệu yêu cầu chất lượng thiết kế trong môi trường quan với chức năng sử dụng của phòng.

**Bảng 4.2. Môi quan hệ chất lượng âm yêu cầu và mục đích sử dụng của thính phòng (Ballou, 2013)**

<i>Mục đích sử dụng</i>	<i>Yêu cầu chất lượng của giải pháp thiết kế âm học</i>				
	<i>Rất cao</i>	<i>Cao</i>	<i>Vừa phải</i>	<i>Thấp</i>	<i>Rất thấp</i>
Phòng chỉ hòa nhạc	x				
Phòng chỉ opera	x				
Nhà hát đa năng		x			
Phòng đa chức năng, có thể dùng cho nhạc hiện đại		x			
Nhà hát ngoài trời				x	
CLB và bar, CLB jazz				x	
Thính phòng cho diễn thuyết			x		
Phòng học, giảng đường					x

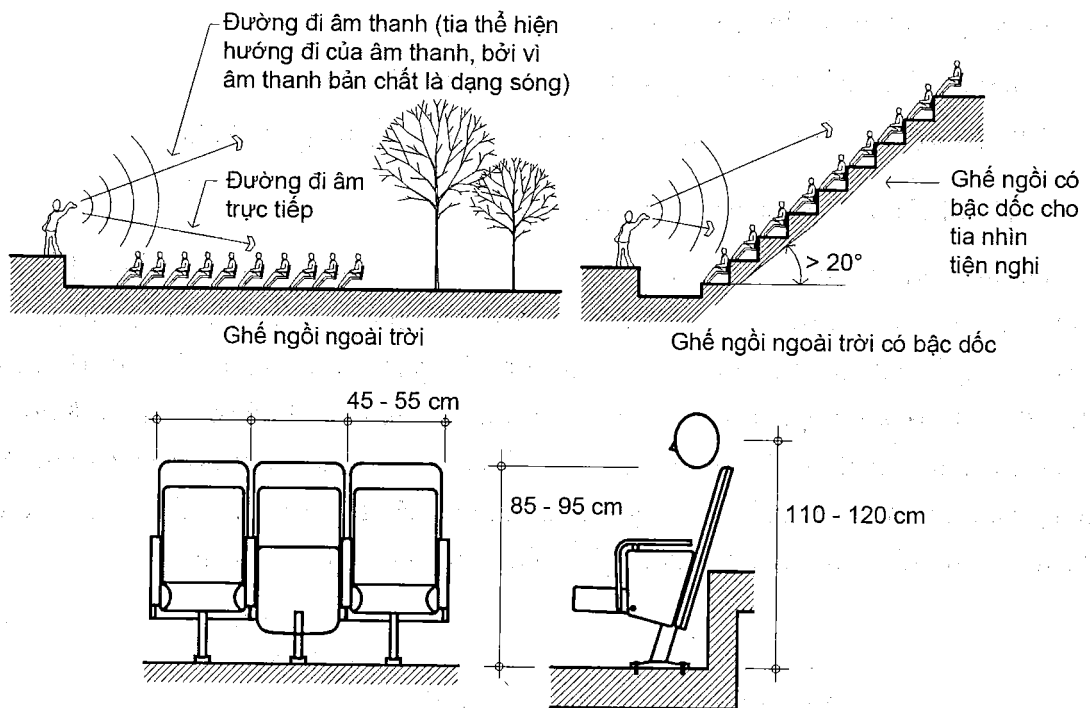
### **Mức ồn nền trong thính phòng**

Các mức ồn nền / môi trường trong thính phòng, phòng hòa nhạc - ví dụ tiếng ồn từ hệ thống thông gió hoặc tiếng ồn giao thông bên ngoài lọt vào trong.... phải được kiểm soát để không làm ảnh hưởng đến sự thưởng thức âm của các màn trình diễn. Các hệ thống thông gió được thiết kế kém thường tạo ra tiếng ồn tần số thấp trong đường ống và tại miệng thổi gió. Các hành lang xung quanh ồn ào, các cánh cửa không kín hoặc kê cốt kết cũng có thể góp thêm vào tiếng ồn khó chịu.

Tiêu chuẩn tiếng ồn cho phép trong thính phòng nói chung thường dựa trên các họ đường cong NR (ở Châu Âu, Việt Nam) hay họ đường cong NC (ở Hoa Kỳ). Các họ đường cong NR và NC có hình dạng gần giống với họ đường cong của thang đo Phon của Fletcher-Munson và được chúng tôi giới thiệu kỹ ở Chương 7. Một phòng hòa nhạc tối thiểu phải có mức ồn bé hơn mức NC-20, tốt nhất là bé hơn NC-15. Đối với giảng đường hay lớp học, mức ồn bé hơn mức NC-30, tốt nhất là bé hơn NC-25. Giảng viên với mức giảng bài bình thường sẽ tạo ra mức âm khoảng 46 dB tại vị trí ngồi cách khoảng 9 m. Mức ồn nền giới hạn NC-30 tương ứng với mức âm khoảng 36 dB, do đó mức chênh 10 dB giữa bài giảng và tiếng ồn sẽ đạt được, thỏa mãn yêu cầu nghe rõ câu.

## 4.2. THIẾT KẾ CÁC BỘ PHẬN CƠ BẢN CỦA PHÒNG KHÁN GIẢ

### 4.2.1. Thiết kế ghế ngồi khán giả



Hình 4.1. Chỉ dẫn thiết kế ghế ngồi khán giả

Mức âm ngoài trời giảm theo khoảng cách (khi âm thanh lan ra bên ngoài, năng lượng của nó giảm theo quy luật nghịch đảo) và bởi khán giả (khi âm thanh lướt qua chỗ ngồi khán giả, nó bị hấp thụ và tán xạ). Khi ghế ngồi với độ dốc lớn ( $> 20^\circ$ ) được sử dụng, mức âm ngoài trời giảm về cơ bản chỉ theo khoảng cách (Hình 4.1). Tấm phản xạ âm trên đầu hoặc trần có thể cung cấp âm phản xạ để

củng cố năng lượng âm đến khán giả. Bằng cách lắp đặt các bề mặt bao che cứng phản xạ âm ở ngoài trời gần nguồn âm có thể cải thiện điều kiện nghe đáng kể bằng cách phản xạ năng lượng âm đến khán giả và che chắn khán giả khỏi các nguồn ồn đặt sau các tấm bao che.

Kích thước ghế ngồi cho khán giả lấy như sau: (TCXDVN, 2005)

- Chiều rộng (khoảng cách thông thủy giữa hai tay ghế): 45 - 55 cm.
- Chiều sâu (khoảng cách giữa mép ghế với mặt tựa): 45 - 55 cm.
- Chiều cao mặt ghế so với sàn: 40 - 45 cm.

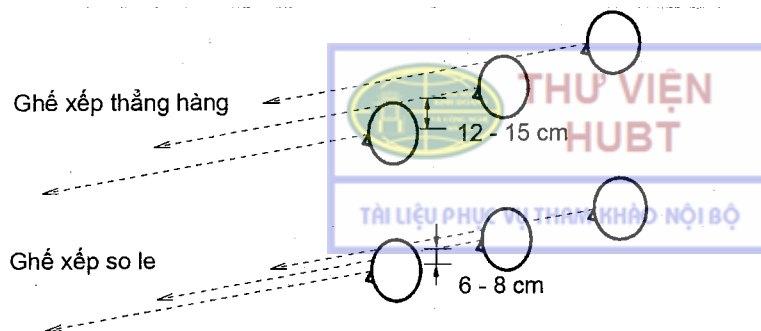
Ghế ngồi phải được gắn chặt vào mặt sàn, trừ các ghế ở lô có sàn phẳng nhưng cũng không được quá 8 ghế tự do, xô dịch được (Cho phép ngoại lệ đối với phòng khán giả đa năng của nhà văn hoá, câu lạc bộ). Đối với ghế lật: phải đảm bảo không gây tiếng động khi sử dụng.

Khoảng cách để đi lại giữa hai hàng ghế:

- Phải  $\geq 45$ cm đối với phòng khán giả lớn hơn 800 chỗ;
- Phải  $\geq 40$ cm đối với phòng khán giả bé hơn hoặc bằng 800 chỗ.

#### 4.2.2. Thiết kế tia nhìn và trường nhìn

Tia nhìn không bị cản trở là đường thẳng kẻ từ mắt người ngồi trên ghế ngồi đến điểm quan sát thiết kế cho phép nhìn toàn cảnh người biểu diễn và không cản trở sự truyền âm thanh trực tiếp. Khán giả cần phải được nghe và nhìn rõ, thoải mái để cảm nhận được trọn vẹn các hiệu ứng dự tính của buổi biểu diễn. Khoảng cách từ mắt đến đỉnh đầu bình quân là 12 cm và nếu đội mũ nón là 15 cm. Độ nâng cao tia nhìn đối với hai hàng ghế liên tiếp thẳng hàng là từ 12 - 15 cm và độ nâng cao tia nhìn đối với hai hàng ghế liên tiếp so le là từ 6 - 8 cm.



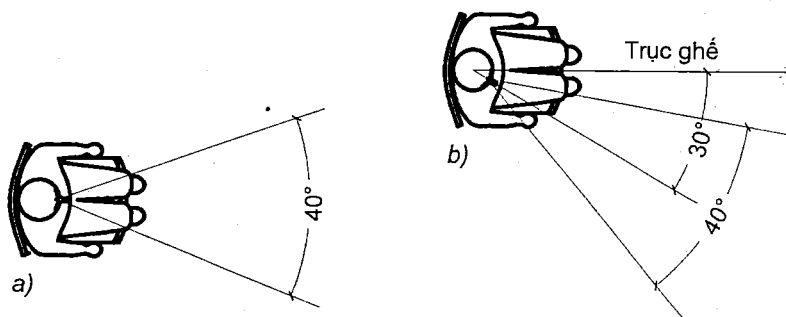
Hình 4.2. Độ nâng cao tia nhìn giữa ghế xếp thẳng hàng và ghế xếp so le

Mắt người chỉ có thể thấy được trong một phạm vi nhất định theo một hướng. Ranh giới của nó không hoàn toàn là ranh giới cứng vì vậy ta có thể gọi phạm vi nhìn thấy của mắt người là trường nhìn. Trường nhìn là phạm vi nhìn thấy của mắt người theo một hướng nhất định (Nguyễn, 2017).

Trường nhìn tập trung: là phạm vi nhìn trong một hình nón, có góc ở đỉnh là  $30^\circ$ , thẳng với hướng nhìn.

Trường nhìn theo phương ngang: Mắt người nhìn sang 2 bên được một góc là  $130^\circ$  (mỗi bên là một góc  $65^\circ$ ), không kể việc quay đầu. Góc từ  $10^\circ$  theo hướng nhìn thẳng là góc nhìn để mắt đọc chữ, góc  $30^\circ$  theo hướng nhìn thẳng là góc để mắt quan sát, phân biệt màu sắc, và góc  $60^\circ$  theo hướng nhìn thẳng là góc mắt có thể quan sát được hình khối của sự vật. Thị trường tiện nghi của mắt khi quan sát biểu diễn trên phương ngang là góc  $40^\circ$  để có thể cảm nhận đầy đủ chi tiết, màu sắc, cử chỉ hình dáng của người biểu diễn trên sân khấu. Góc quay đầu tiện nghi của người là khoảng  $30^\circ$ .

Trường nhìn theo phương đứng: So với đường nằm ngang, mắt người nhìn lên được một góc  $30^\circ$  và nhìn xuống được một góc  $45^\circ$ .



**Hình 4.3.** Trường nhìn theo phương ngang thoải mái và góc quay đầu thoải mái

Ngưỡng nhìn xa, khả năng phân biệt của mắt: Mắt người có khả năng nhận biết, phân biệt các vật thể ở các khoảng cách khác nhau, tùy thuộc kích thước, độ chi tiết của các vật thể.

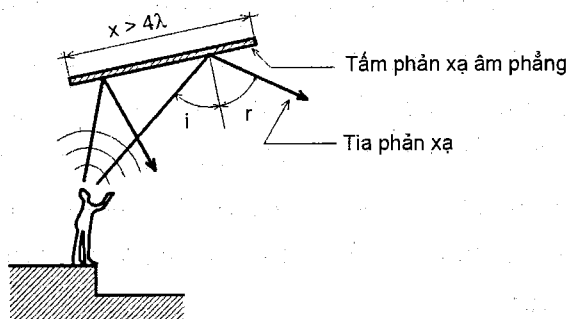
Trong khoảng cách từ 20 - 25 m, khán giả có thể nhận thấy biểu cảm trên khuôn mặt được trang điểm và kết hợp với điều kiện chiếu sáng tốt.

Với khoảng cách 35 m, khán giả cảm nhận phảng phất đầu, di chuyển của tay cùng các cử chỉ và chỉ nhận thấy biểu cảm khuôn mặt khi được trang điểm đậm và được chiếu sáng tốt với đèn chiếu đối theo (follow spot).

### 4.2.3. Tấm phản xạ âm

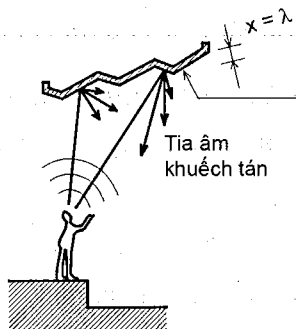
Khi thiết kế các tấm phản xạ âm cần lưu ý đến các hiện tượng âm học sau:

- Phản xạ âm ( $x > 4\lambda$ ): Phản xạ âm là sự quay lại của âm thanh khi va chạm vào một bề mặt. Nếu bề mặt có kích thước là  $x$  và lớn hơn từ 2 đến 4 lần bước sóng  $\lambda$  của sóng âm tới, và góc tới  $i$  bằng góc phản xạ  $r$ . Ví dụ: tần số 1000 Hz thì có bước sóng 0.343 m; vì vậy, kích thước bề mặt phản xạ vào khoảng  $4\lambda = 4 \times 0.343 = 1.37$  m sẽ phản xạ những sóng âm có bước sóng lớn hơn 1000 Hz.



**Hình 4.4.** Minh họa phản xạ âm từ bề mặt tấm phản xạ treo  
- phỏng theo Egan (1988)

- Khuếch tán âm ( $x = \lambda$ ): Khuếch tán là sự tán xạ hoặc phân bố ngẫu nhiên các sóng âm từ một bề mặt. Nó xuất hiện khi độ sâu của các rãnh trên bề mặt vật liệu cứng tương đương với bước sóng âm. Khuếch tán không phá vỡ cũng không hấp thụ âm. Tuy nhiên hướng của sóng âm tới bị thay đổi. Khuếch tán là một thuộc tính cực kỳ quan trọng trong các phòng trình diễn âm nhạc. Khi trường âm khuếch tán, người nghe sẽ có cảm giác âm thanh đến từ mọi hướng với mức độ bằng nhau.



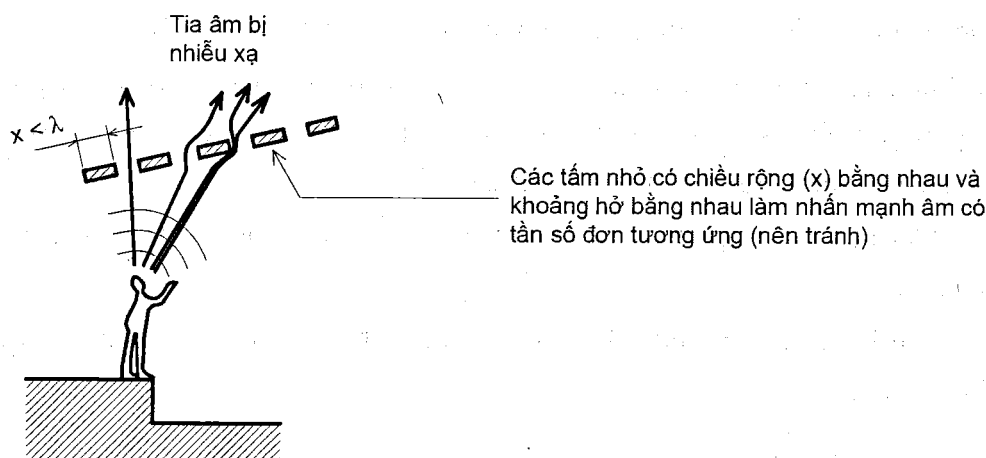
Tấm khuếch tán (chiều dài và rộng điển hình của bề mặt từ 0,9 - 1,8 m và chiều dày ( $x$ ) của tấm thay đổi từ 0,15 m - 0,60 m)

TÀI LIỆU PHỤC VỤ THAM KHẢO NỘI BỘ

**Hình 4.5.** Minh họa khuếch tán âm từ bề mặt tấm phản xạ treo  
- phỏng theo Egan (1988)

- Nhiễu xạ ( $x < \lambda$ ): Nhiễu xạ là sự bẻ cong hoặc sự chày qua của sóng âm xung quanh một đối tượng hoặc một khoảng mở. Ví dụ, một chiếc xe tải đặt sau tòa nhà vẫn có thể nghe được bởi vì sóng âm bị bẻ cong xung quanh khối nhà. Trong khán phòng, bởi vì sóng âm tới nhiễu xạ xung quanh các tấm có kích thước nhỏ hơn bước sóng của chúng, vì vậy, các tấm phản xạ treo phải có được thiết kế cẩn thận để có kích thước đủ lớn để phản xạ hiệu quả các bước sóng âm được ưa thích.

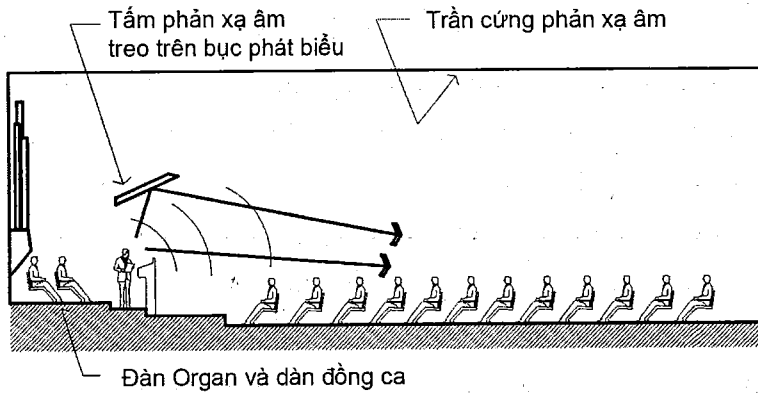
Một tần số đơn cá thể bị nhấn mạnh khi các tấm phản xạ treo nhỏ có chiều dài bằng nhau và chiều rộng bằng nhau hoặc các tấm phản xạ treo nhỏ có độ dày bằng nhau và khoảng hở bằng nhau. Hiện tượng này cần phải tránh bởi vì nó có bóp méo âm thanh (Leonard, et al., 1964).



**Hình 4.6.** Minh họa nhiễu xạ âm từ tấm phản xạ âm dạng tán có các khoảng mở - phòng theo Egan (1988)

Các tấm phản xạ âm hiệu quả có bề mặt cứng như nhựa dày, tấm thạch cao 2 lớp, gỗ ép công nghiệp, mê ca trong và có kích thước lớn hơn nhiều so với bước sóng của âm thiết kế để phản xạ. Ví dụ, với tần số 500 Hz, bước sóng là 0.686 m. Tấm phản xạ nên có kích thước 2.8 m để phản xạ tất cả các âm có tần số lớn hơn 500 Hz. Tuy nhiên các âm có tần số bé hơn 500 Hz có thể bị bẻ cong qua tấm phản xạ, và nâng cao âm vang của âm tần số thấp.

Tấm phản xạ âm trên bục phát biểu như trong Hình 4.7 hướng những phản xạ âm thứ nhất đến khu vực khán giả cũng ngăn chặn những phản xạ âm với độ trễ lớn và tiếng dội tiềm ẩn từ trần cao.

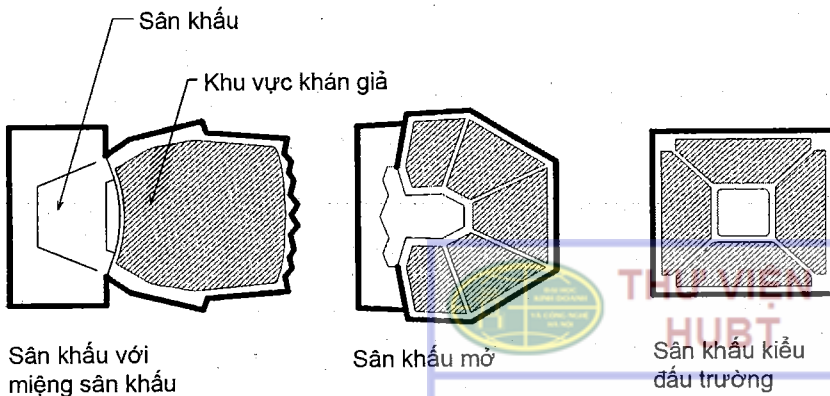


**Hình 4.7.** Mặt cắt dọc nhà thờ cho thấy tấm phản xạ hạ thấp  
- phỏng theo Egan (1988)

#### 4.2.4. Sân khấu

Có một vài kiểu tổ chức sân khấu cơ bản như sau (xem Hình 4.8):

- Sân khấu với miệng sân khấu: Khu vực biểu diễn kết nối với khán phòng thông qua một miệng sân khấu (những gì nhìn thấy trên sân khấu được giới hạn bởi miệng sân khấu - giống như một khung tranh);
- Sân khấu mở: khu vực biểu diễn của sân khấu mở rộng và ăn sâu vào khu vực khán giả;
- Sân khấu kiểu đấu trường: khu vực sân khấu biểu diễn được bao bọc xung quanh bởi khán giả.



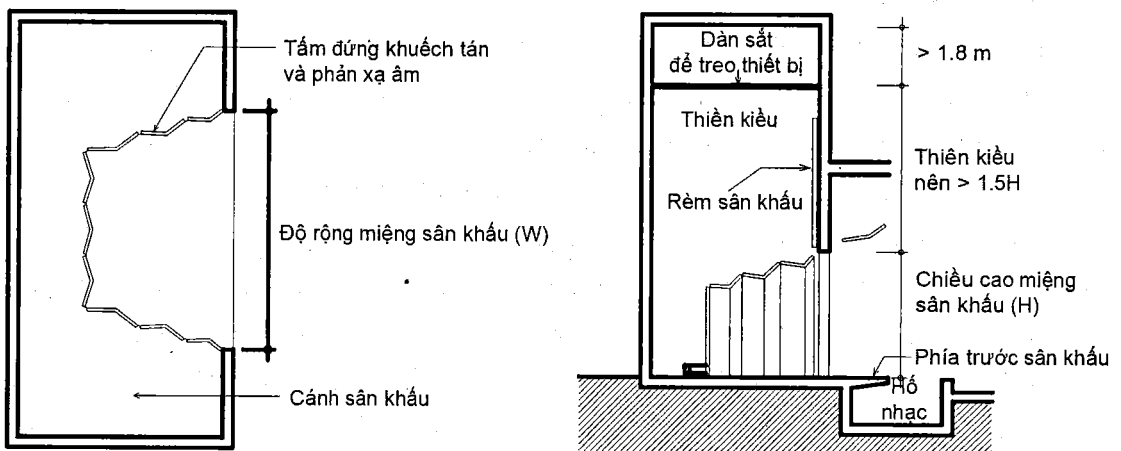
**Hình 4.8.** Các dạng tổ chức sân khấu - phỏng theo Egan (1988)

Âm tần số cao đóng vai trò quan trọng trong việc nghe rõ. Do đó, đối với kiểu sân khấu mở và kiểu đấu trường, các tường và trần (hoặc các tấm phản xạ treo lơ lửng) phản xạ âm có vai trò rất quan trọng để định hướng âm tần số cao, đặc biệt

là âm tần số cao mà mức âm nhỏ như 10 - 20 dB. Ví dụ: một người biểu diễn nói nhỏ, âm tần số cao phát chủ yếu về phía trước người đó, phía sau không nghe thấy, điều này cần được lưu ý với sân khấu mở và sân khấu kiểu đấu trường.

Sân khấu biểu diễn âm nhạc nghe trực tiếp thường có đòi hỏi cao về khả năng bảo tồn và phản xạ năng lượng âm từ các dàn nhạc.

Những tấm bằng gỗ ván dày, bằng kim loại cứng, hoặc những tấm thạch cao nặng có thể được sử dụng để bố trí trên sân khấu, với mục đích bao quanh nguồn âm trên sân khấu. Những tấm phản xạ hay khuếch tán âm này (thường gọi là *vỏ bao sân khấu* - stage enclosure) sẽ góp phần làm phân phối âm thanh được cân bằng và hòa quyện tốt về phía khu vực khán giả bằng cách kết nối hay cộng hưởng không gian khán phòng với không gian của sân khấu (xem Hình 4.9).



**Hình 4.9.** Mặt bằng và mặt cắt sân khấu dành cho hòa nhạc nghe âm trực tiếp - phỏng theo Egan (1988)

Vỏ bao sân khấu (thường có khoảng hở nhỏ hơn 2% tổng diện tích) làm tăng độ lớn của âm phát ra từ sân khấu do nó làm giảm năng lượng âm tiêu tán trong các phòng màn trên thiên kiêu sân khấu và 2 bên cánh gà. Khu vực thiên kiêu sân khấu là nơi có nhiều các tấm màn rèm sân khấu được cuộn lên khi không sử dụng, do đó chúng có độ hút âm rất lớn. Khi không cần dùng cho biểu diễn âm nhạc, vỏ bao sân khấu nên thiết kế để tháo dỡ dễ dàng và cất gọn trong một khu vực mà không ảnh hưởng đến các hoạt động của sân khấu.

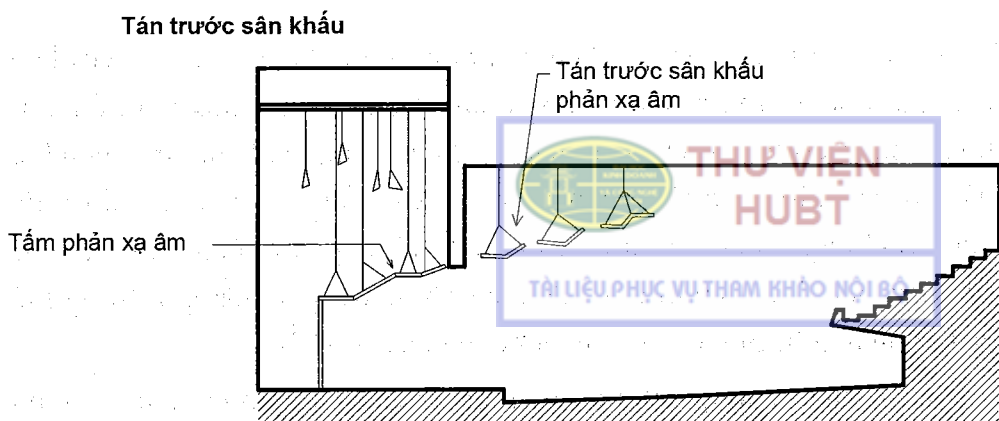
Vỏ bao sân khấu bao quanh một dàn nhạc nên bao gồm cả những bề mặt tán xạ âm bất quy tắc với kích thước nhỏ để trộn và trộn đều năng lượng âm tần số cao của các nhạc cụ khác nhau. Vỏ bao sân khấu cung cấp điều kiện nghe tốt

trên sân khấu, đồng đều giữa các khu vực trong dàn nhạc, giúp các nhạc công nghe rõ âm của họ và các người xung quanh. Điều này giúp cải thiện độ hòa nhịp của ban nhạc (trong âm học gọi là *sự hòa nhập* - ease of ensemble và được đo bằng chỉ số ST1).

Đáng lưu ý rằng sự bố trí nhạc công và các nhạc cụ trong một dàn nhạc phụ thuộc vào số người và loại hình biểu diễn. Do đó, nếu vỏ bao sân khấu có thể điều chỉnh được sẽ tạo điều kiện cho việc tinh chỉnh các tấm vỏ bao khi dàn nhạc biểu diễn, nâng cao chất lượng âm thanh.

Lưu ý rằng: theo kinh nghiệm chiều cao cố định của miệng sân khấu H thường thay đổi từ 6 m đến 10.5 m (đối với biểu diễn opera, H còn lớn hơn nữa). Độ rộng của miệng sân khấu W thay đổi từ khoảng 9 m đến 24 m, tùy thuộc loại hình biểu diễn.

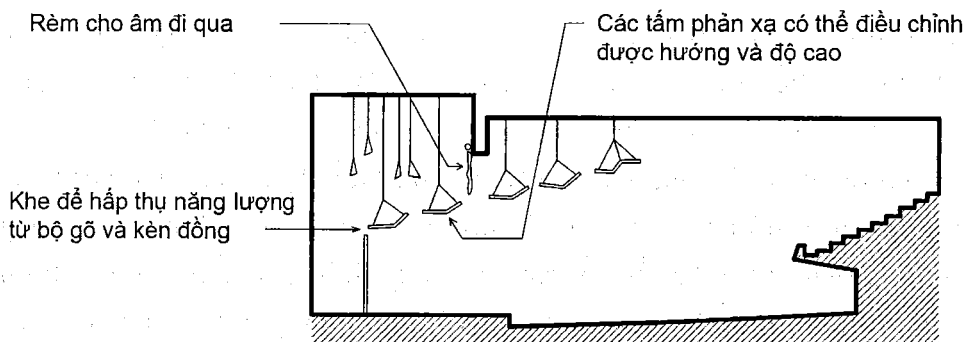
Những tấm phản xạ âm, treo trong thính phòng ngay phía trước sân khấu phản xạ năng lượng âm từ sân khấu đến khu vực khác giả và giảm bớt thời gian trễ giữa âm phản xạ với âm trực tiếp. Những tấm này (thường gọi là *tán trước sân khấu* - forestage canopy) có vai trò mở rộng vỏ bao sân khấu vào tận trong khu vực thính phòng, có vai trò làm cải thiện chất lượng âm trực tiếp, tạo cảm giác gần gũi và phản xạ năng lượng âm phát ra từ hồ nhạc quay trở lại hồ. Giữa các tán trước sân khấu này thường có các khoảng hở, giúp cho năng lượng âm xuyên qua, đi vào không gian phía trên tán làm tăng độ ngân vang của âm trầm (độ trầm) cho thính phòng bên dưới (xem Hình 4.10). Thời gian âm vang của khu vực được bao bọc bởi vỏ bao sân khấu thường tương đương hoặc nhỏ hơn trong khán phòng chính.



**Hình 4.10.** Bố trí các tấm phản xạ (tán trước sân khấu) - phỏng theo Egan (1988)

Trong trường hợp sân khấu và khán phòng được kết hợp cộng hưởng để nâng cao thời gian âm vang, thể tích sân khấu phải càng lớn càng tốt, đo đó, các tấm vỏ sân khấu ở phía trên và hai bên cần có những khoảng hở lớn hơn, thông thường chọn 5 - 10% đối với tấm vỏ 2 bên và 15 - 50% đối với tấm vỏ ở trên đầu (xem Hình 4.11) (Egan, 1988). Để đảm bảo âm vang rền trong khu vực sân khấu, không nên chỉ định các vật liệu hút âm như gạch trần không sơn để làm tường sân khấu, và cố gắng giữ khu vực thiên kiều càng ít vật liệu hút âm càng tốt.

Sân khấu cộng hưởng với các khoảng hở



Hình 4.11. Sân khấu và khán phòng trong trường hợp cộng hưởng âm vang - phỏng theo Egan (1988)

#### 4.2.5. Thiết kế hố nhạc

Về nguyên tắc, việc sử dụng giải pháp đặt dàn nhạc bên dưới hố nhạc (orchestra pit) nằm ở rìa sân khấu, giữa khu vực khác giả và sân khấu là không có lợi về mặt âm học nếu so với việc dàn nhạc trực tiếp biểu diễn trên sân khấu, nhưng nó lại có một quá trình lịch sử phát triển lâu đời từ thế kỷ thứ 19. Trong những nhà hát cổ điển kiểu baroque, người nhạc công thường ngồi ở cao độ bằng với những khán giả ở hàng đầu tiên hay chỉ thấp hơn vài ba bậc và thường được phân cách với khán giả bằng một dây lan can cao khoảng 1 m (Meyer, 1995). Với sự xuất hiện của dàn nhạc như vậy, tầm nhìn giữa khán giả và sân khấu bị ảnh hưởng, đặc biệt là khi dàn nhạc có quy mô lớn. Vấn đề nảy sinh từ đây, khi mà có sự mâu thuẫn giữa việc nghe rõ, nhìn rõ màn biểu diễn trên sân khấu và vị trí của dàn nhạc. Nếu dàn nhạc có nền ngồi quá cao so với khán giả, hoặc khi diễn viên xuống thấp giọng thì vấn đề này càng trở nên xấu hơn.

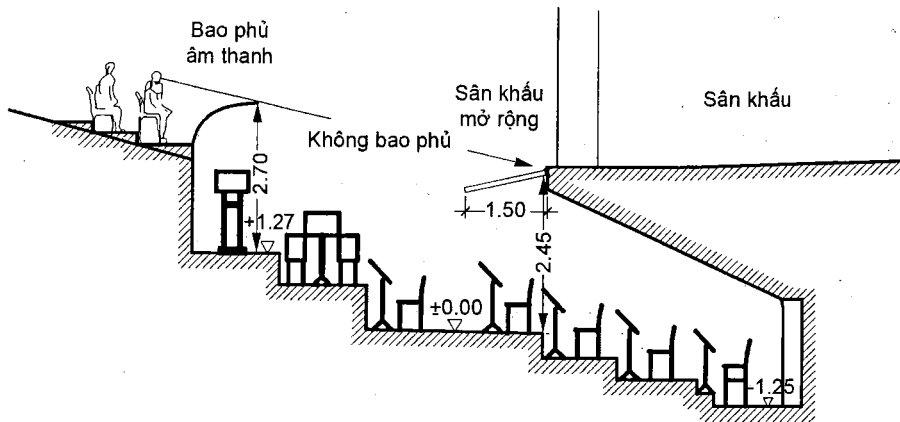
Một khía cạnh khác là sự tương hợp về thời gian giữa sân khấu và hố nhạc, vốn là cơ sở cho màn trình diễn có âm điệu và hòa hợp.

Sự phân cách về mặt hình học giữa khu vực sân khấu và hố nhạc trong các nhà hát opera hiện đại phải càng nhỏ càng tốt, không chỉ do những lý luận của nghệ thuật kịch nói, mà còn vì những lý do chức năng và thị giác. Chính vì thế, hố nhạc thường được bố trí nằm một phần dưới gầm sân khấu, giúp cho khoảng cách giữa khán giả đầu tiên và sân khấu được thu hẹp. Đối với kịch nói, cự ly này rất quan trọng để nghe rõ, do đó hố nhạc càng cần thu gọn dưới gầm sân khấu, khiến cho độ rộng không gian kết nối giữa hố nhạc và thính phòng bị thu hẹp (Hình 4.12). Hố nhạc như vậy trở thành một phòng độc lập, bị điền đầy bởi nhạc công, có thể tích nhỏ và cá diện tích bề mặt nhỏ, với khoảng trần không phản xạ (khoảng trống) nơi âm nhạc phát ra thính phòng. Do vậy mức âm thanh trong hố nhạc có thể tăng lên đến 4 dB so với điều kiện thông thường. Điều này khiến cho các nhạc công chơi nhạc cụ với mức âm nhỏ (ví dụ như đàn violin) sẽ rất khó nghe âm thanh của các đồng nghiệp đang chơi cùng nhạc cụ (khiến họ khó chơi đồng đều với nhau). Sự tăng mức âm dưới hố nhạc nói trên chỉ có lợi đôi chút cho nhóm nhạc công chơi nhạc cụ âm lượng lớn ở dải tần số thấp và trung bình. Các tấm trần hay tường hút âm, hoặc các tấm tường hút âm di động với định hướng hút âm tần số thấp hoặc trung bình, đặt cạnh các nhạc cụ âm lượng lớn giúp giảm âm lượng của chúng đáng kể, nhưng không làm giảm mức âm trực tiếp thoát ra hố nhạc. Điều này giúp làm tăng độ rõ của âm (Meyer, 1995).

Nếu nền của hố nhạc rất thấp, khoảng âm 2.5 m, thì phần âm trực tiếp đến với khu vực khán giả chỉ nhờ hiện tượng nhiễu xạ, khiến cho âm nghe như chỉ có âm bass trầm. Âm nghe sáng và đảm bảo độ rõ chỉ có được ở những vị trí có thể nhìn thấy nhóm nhạc cụ đang chơi. Để khắc phục tình huống này, cách thường gặp là mở rộng miệng hố nhạc để tạo điều kiện cho các âm phản xạ đầu tiên từ các tấm phản xạ trước sân khấu (trần hay tường bên hố nhạc) đến với khán giả. Một cách khác là độ sâu hố nhạc cần được giữ ở một giới hạn nhất định. Thường thì miệng hố có lan cao cao khoảng 0.8 m, hàng ghế đầu tiên dưới hố sâu 1.4 m bố trí các nhạc cụ có tần số cao, các hàng ghế tiếp theo thì xếp bậc thang thấp dần như trong Hình 4.12.

Độ rộng miệng hố nhạc là một vấn đề quan trọng. Thông thường, nếu miệng hố nhạc có diện tích không nhỏ hơn khoảng 80% so với diện tích đáy hố thì không gian hố nhạc và không gian thính phòng là một, cho phép âm nhạc có độ thống nhất cao và “màu sắc” của âm được bảo tồn (ví dụ: thính phòng Semperoper Dresden). Nếu trường hợp miệng hố nhạc nhỏ, khi đó thể tích hố nhạc phải lớn và

chiều cao tối thiểu phải đạt tối thiểu 3.0 m (ví dụ: thính phòng Festspielhaus Bayreuth). Hầu hết các thính phòng đều có diện tích miệng hố nằm giữa hai thái cực này.

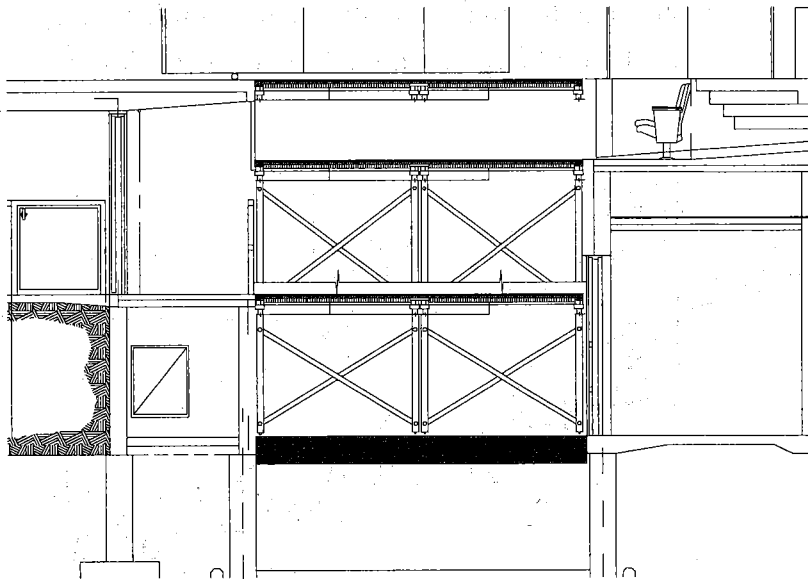


**Hình 4.12.** Cách bố trí hố nhạc nằm dưới gầm sân khấu

Trong trường hợp có một dàn nhạc lớn dưới hố nhạc, giọng hát của những ca sĩ có chất giọng yếu trên sân khấu dễ bị át hoàn toàn bởi tiếng nhạc. Khi đó, để khắc phục có thể sử dụng các tấm che hố nhạc, miễn sao đảm bảo thể tích hố nhạc, hay bố trí các nhạc công ở những cao độ thấp nhất của hố.

Ngoài những tấm phản xạ âm và những tấm hút âm bố trí trong hố nhạc để hỗ trợ cho việc nghe lẫn nhau giữa các nhạc công và nhạc điệu, mặt trong của các thanh lan can nên quay mặt thẳng về phía sân khấu, hơi ngửa lên một chút. Làm như vậy các âm thanh từ hố nhạc dễ dàng phản xạ lên sân khấu đến với người diễn, người dưới hố nhạc cũng nghe rõ màn trình diễn trên sân khấu. Các bề mặt cong lồi theo phương đứng kết hợp với một ít vật liệu hút âm tần số thấp đặc biệt có lợi trong trường hợp này, hỗ trợ cho độ cao của âm nhạc phát ra từ hố. Phần biên của sân khấu trên miệng hố nhạc nên cấu tạo để phản xạ âm nhạc về phía khu vực khán giả. Các khu vực miệng còn lại của hố nhạc nên cấu tạo để đưa tối đa âm phản xạ từ hố nhạc đến khán giả và sân khấu.

Miệng hố nhạc ở phía sân khấu có thể căng lưới tránh diễn viên rơi xuống hố khi đang diễn, nhưng vẫn không che chắn miệng hố, giúp âm nhạc thoát ra dễ dàng. Sàn hố nhạc có thể được nâng đỡ bởi một hệ thống sàn có thể nâng hạ được ở 3 cao độ khác nhau: cao độ hố nhạc, cao độ sàn khán phòng (để mở rộng khán phòng mà không có hố nhạc) và cao độ sân khấu (để mở rộng sân khấu) (Hình 4.13).



**Hình 4.13.** Mặt cắt ngang hồ nhạc trong thính phòng đại học Seton Hill, Hoa Kỳ  
- cho thấy hệ thống nâng đỡ sàn có thể thay đổi cao độ

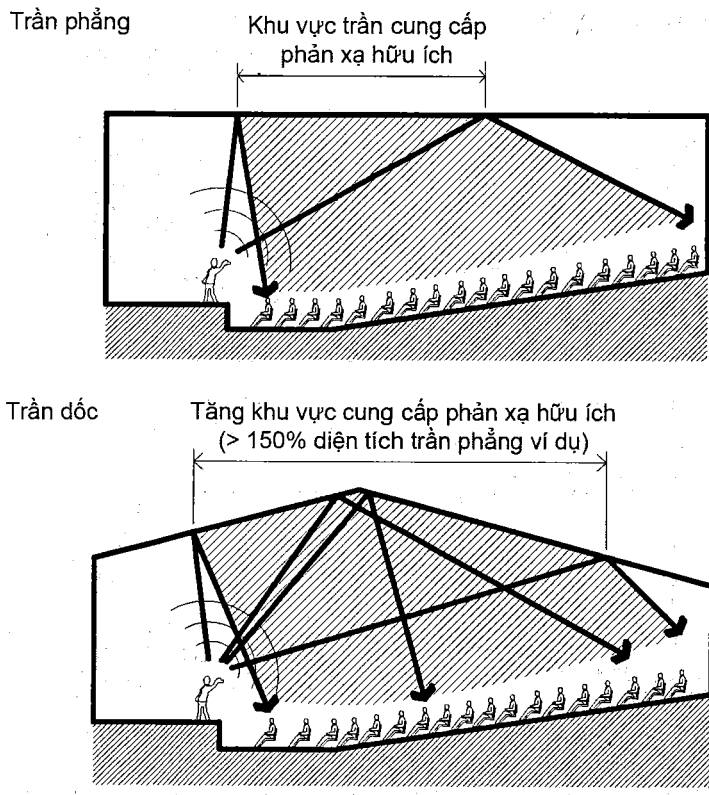
Trên mặt bằng, bề rộng của hồ nhạc lấy từ 4 đến 6 m, tương ứng với 2 đến 3 hàng nhạc công ngồi. Diện tích hồ nhạc lấy theo chỉ tiêu 0.8 - 1 m<sup>2</sup>/người nếu là đội nhạc thông thường; 0.25 - 0.35 m<sup>2</sup>/người nếu là dàn đồng ca đứng.

#### 4.2.6. Trần

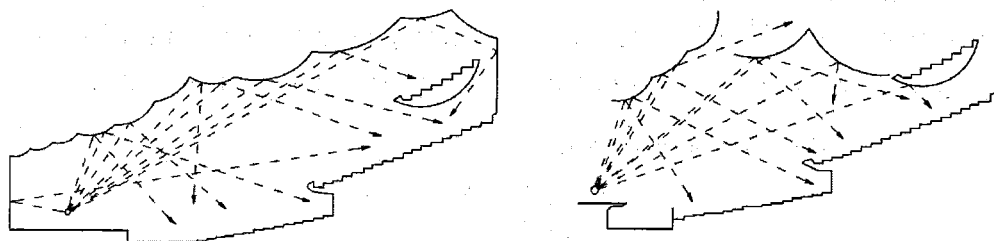
Hình dáng và chiều cao trần phụ thuộc vào mục đích sử dụng của phòng. Phương pháp phân tích âm hình học chỉ ra trần phản xạ cứng và phẳng cung cấp các âm phản xạ hữu ích bao phủ toàn bộ ghế ngồi trong khán phòng. Các âm phản xạ hữu ích cho thuyết trình đến sau âm trực tiếp của nguồn âm với độ trễ ít hơn 30 mili giây. Tuy nhiên, bằng cách định hướng lại phần trần một cách cẩn thận, các âm phản xạ hữu ích được tăng cường cho phần giữa và phần sau của khán phòng từ cả hai mảng tường.

Trong khán phòng hòa nhạc, khi thời gian âm vang dài là mục tiêu thiết kế, trần cao được ưa thích và hầu hết các tấm tường nên phản xạ âm. Thêm vào đó, trần khuếch tán có thể cải thiện độ nghe rõ của âm bên bằng cách làm giảm sức mạnh của các phản xạ âm từ trần.

Đối với các khán phòng đa chức năng, để có thời gian âm vang phù hợp với từng loại hình biểu diễn, yêu cầu thay đổi thể tích khán phòng được đưa vào. Trong trường hợp này, phần trần thường được thiết kế linh hoạt, có thể di chuyển được để thay đổi thể tích phòng.



**Hình 4.14.** Nghiên cứu phân bố phản xạ âm từ trần của khán phòng - phòng theo Egan (1988)



**Hình 4.15.** Khán phòng Edwin Thomas, Ohio. Trần phía bên trái cho biểu diễn hòa nhạc. Trần phía bên phải cho biểu diễn opera - phòng theo Ballou (2013)

#### 4.2.7. Tường hậu và tường bên

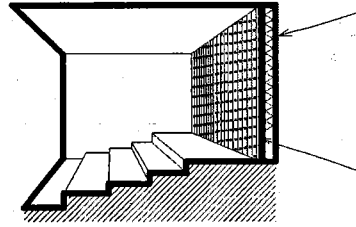
Tường hậu phẳng và phản xạ âm có thể tạo ra các tiếng dội hoặc các phản xạ trễ không mong muốn trong các khán phòng trung bình hoặc lớn. Ba giải pháp để kiểm soát các tiếng dội chòng chẹo nhau từ tường hậu được minh họa bên dưới. Bề mặt đục lỗ, khá là trống trải, trong suốt với sóng âm, có thể được sử dụng để che vật liệu hút âm hoặc chất khuếch tán âm ở phía phía sau.

Tiếng dội gây ra bởi tường hậu



Xử lý bằng chất hấp thụ âm

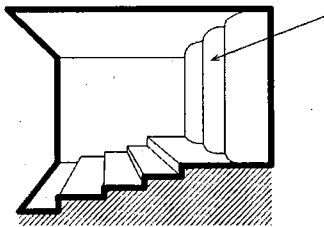
Chất hấp thụ âm dày như bông thủy tinh chèn vào bên trong



Bề mặt bảo vệ cho âm xuyên qua

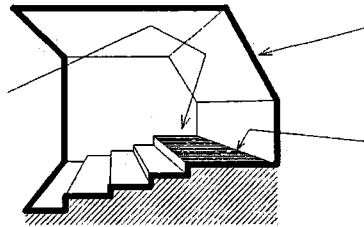
Các bề mặt khuếch tán

Các bề mặt hình trụ có đường kính > 1/2 bước sóng để khuếch tán



Tường nghiêng

Bề mặt nghiêng hướng âm thanh đi xuống

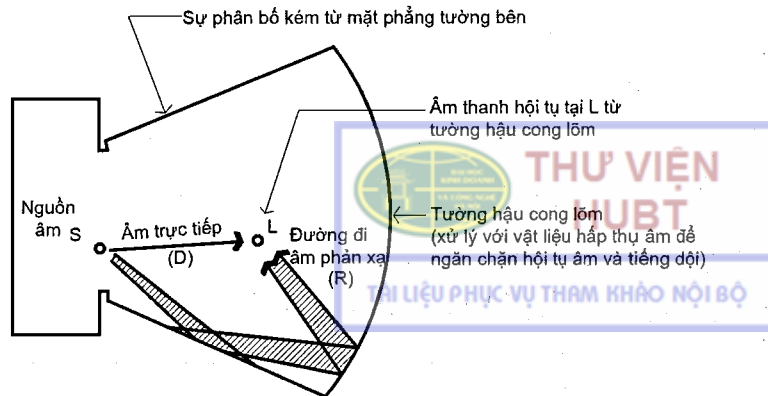


Thảm dày

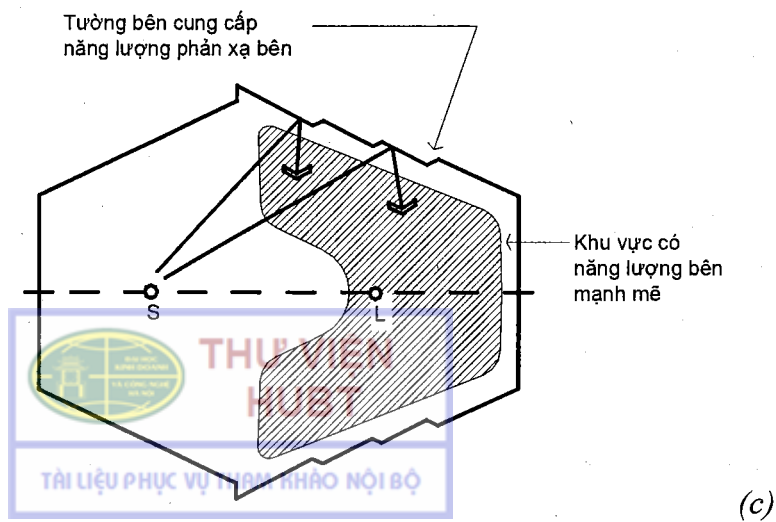
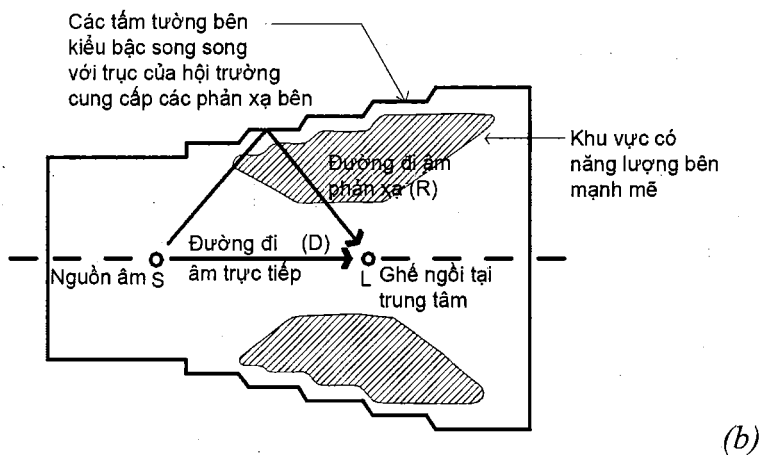
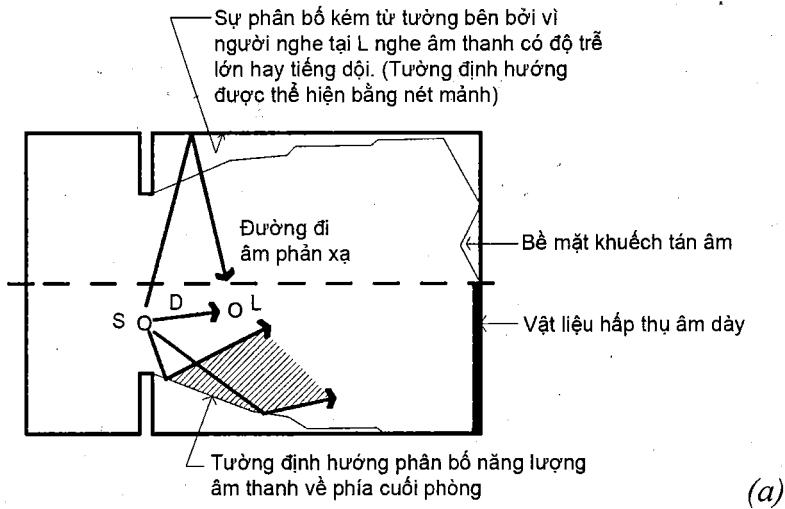
**Hình 4.16.** Các giải pháp thiết kế kiểm soát âm phản xạ trễ cho tường hậu - phỏng theo Egan (1988)

Phương pháp phân tích âm hình học trên mặt bằng để nghiên cứu năng lượng âm phản xạ từ tường bên. Các phản xạ bên (lateral reflections) giúp tạo ra ấn tượng không gian và cần thiết để thỏa mãn cảm nhận của khán giả trong trình diễn âm nhạc. Các phản xạ sớm từ tường bên tăng cường sức mạnh của âm trực tiếp.

Mặt bằng hình quạt (giáng đường)



**Hình 4.17.** Bất lợi cho âm phản xạ từ tường bên - Mặt bằng hình quạt - phỏng theo Egan (1988)



**Hình 4.18.** Âm phản xạ: a) Mặt bằng hình chữ nhật; b, c) Mặt bằng kiểu bậc cấp - phỏng theo Egan (1988).

Độ trễ ban đầu (ITDG) được xác định bằng hiệu thời gian của đường đi âm phản xạ R và thời gian của đường đi âm trực tiếp D. Cả hai quãng đường đi được đo đạc cho các ghế ngồi khán giả gần trục trung tâm của khán phòng. Cho khán phòng hòa nhạc độ trễ ban đầu nên ngắn hơn 20 ms.

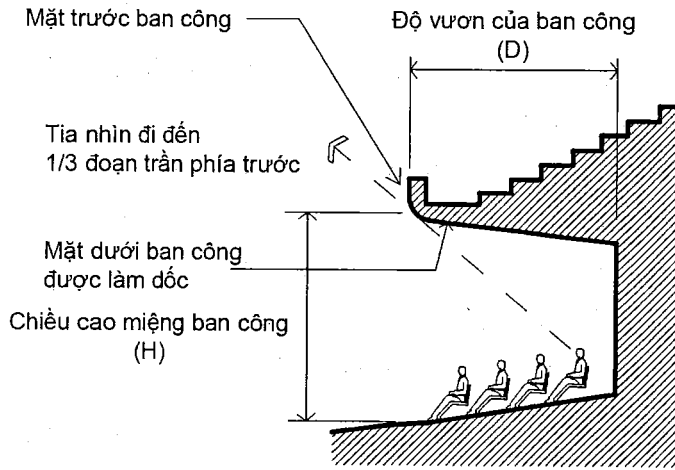
<i>Khác về đường đi (m)</i>	<i>ITDG (mili giây)</i>	<i>Điều kiện nghe</i>
< 7	< 20	Xuất sắc cho phát biểu và âm nhạc
7 - 10,3	20 - 30	Tốt cho phát biểu và tạm được cho âm nhạc
10,3 - 15,4	30 - 45	Không rõ
15,4 - 20,6	45 - 60	Không hài lòng
> 20,6	> 60	Nghèo nàn

Trong khán phòng kiểu hình quạt và mặt bằng kiểu cung tròn thường không cung cấp đủ các phản xạ bên mạnh mẽ bởi vì phần tường bên có phần cuối ở quá xa. Trừ khi các âm phản xạ qua đầu được sử dụng để khắc phục sự thiếu hụt của các phản xạ bên từ tường, nếu không, âm nhạc sẽ dường như xa xôi và không tròn trịa. Khán phòng có độ rộng giảm dần về phía cuối có thể cung cấp các phản xạ bên mạnh mẽ và ấn tượng không gian trong âm nhạc.

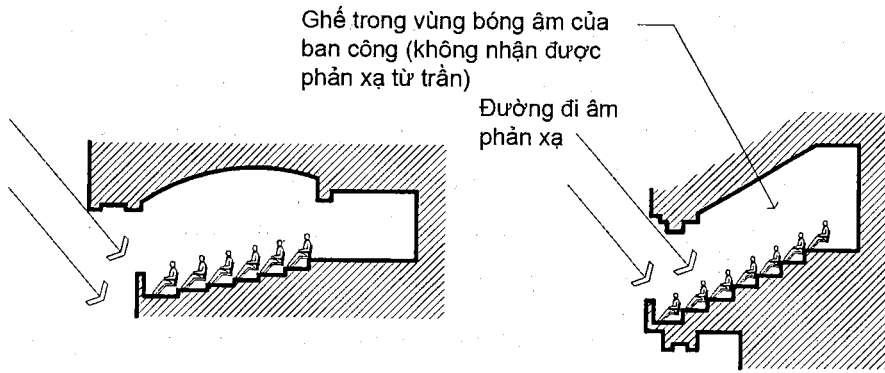
#### 4.2.8. Ban công

Ban công được sử dụng trong các khán phòng lớn để giảm khoảng cách đến các hàng ghế phía sau và tăng sức chứa (ví dụ các khán phòng hẹp với các ban công ngắn có thể đạt được sự ấm cúng, thân mật). Các thành phần cơ bản của ban công được minh họa trong hình bên dưới. Để ngăn chặn tiếng dội và các phản xạ với độ trễ lớn khỏi khu vực ban công, sử dụng các vật liệu hấp thụ âm, sử dụng các bề mặt nghiêng hoặc dốc đối diện với bề mặt sân khấu, âm thanh sẽ được phản xạ đến khu vực khán giả ở gần đó, hoặc sử dụng các hình dáng khuếch tán âm như là các bề mặt cong hoặc tán xạ âm thanh. Để có tia nhìn tốt, ghế ngồi cao nhất trên ban công có góc hợp với sàn sân khấu không vượt quá  $26^\circ$ .

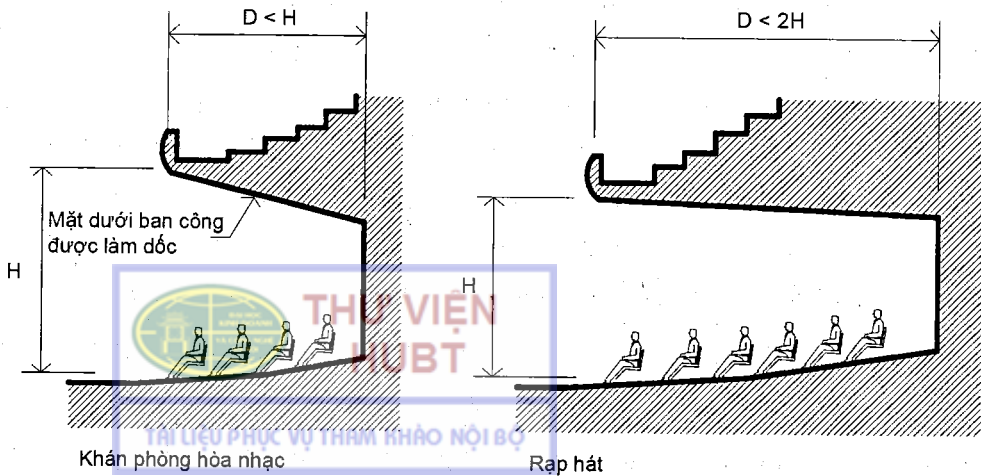
Các ghế ngồi ở sâu trong ban công không thể nhận được các âm phản xạ hữu ích từ trần và không nhận được những âm thanh có độ âm vang. Điều kiện nghe khá thấp bởi vì âm thanh yếu ớt và dờ. Hình bên dưới đưa ra những hình thức ban công cần phải tránh bởi vì chúng làm cho các ghế ở sâu trong ban công không nhận được âm thanh phản xạ.



**Hình 4.19.** Các thành phần cơ bản của ban công - phỏng theo Egan (1988)



**Hình 4.20.** Những ban công có thiết kế kém - phỏng theo Egan (1988)



**Hình 4.21.** Thiết kế ban công trong khán phòng hòa nhạc (trái) và rạp hát (phải) - phỏng theo Egan (1988)

Trong các khán phòng hòa nhạc, độ vưon D của ban công không nên vượt quá chiều cao H của miệng ban công. Những hạn chế về độ vưon ban công giúp cho các âm phản xạ, âm vang đến được khán giả ngồi ở các hàng ghế sau. Trong các khán phòng biểu diễn opera, D không nên vượt quá 1.5 H. Mặt dưới ban công nên thiết kế dốc để hướng âm phản xạ đến những khán giả ở bên dưới và kết nối thể tích ban công và thể tích của khán phòng chính. Trong các rạp chiếu phim, hệ thống loa củng cố âm thanh đặt bên dưới ban công. Vì vậy, D không nên vượt quá 3H, mặt dù 2H vẫn là giới hạn ưa thích trong rạp hát.

### 4.3. THIẾT KẾ TRANG ÂM PHÒNG THÍNH GIẢ DỰA TRÊN THỜI GIAN ÂM VANG

Hiện nay, có khá nhiều phương pháp thiết kế trang âm phòng thính giả đã được sử dụng. Có nhiều phương pháp còn rất mới đối với nghiên cứu trong nước (xem (Kleiner, et al., 1993)), do đó cần thêm thời gian để tìm hiểu trước khi đưa vào áp dụng. Các kỹ thuật này sẽ được giới thiệu ở phần sau của tài liệu này. Ở nước ta hiện nay, hầu hết các tài liệu về âm học kiến trúc đều đề xuất việc thiết kế âm học phòng thính giả theo phương pháp dựa vào thời gian âm vang tối ưu với nền tảng là các giả thuyết thống kê.

Trên thực tế, mục đích chính trong gian đoạn thiết kế âm học phòng thính giả là dự đoán trường âm thông qua các chỉ số âm học. Thời gian âm vang (bàn trong phần 3.1.4) vẫn luôn là thông số khách quan quan trọng nhất để đánh giá chất lượng âm. Vì lý do đó, thiết kế âm học dựa trên thời gian âm vang vẫn là phương pháp cơ bản nhất và đã được áp dụng từ rất lâu. Phương pháp này chủ yếu dựa vào *thời gian âm vang tối ưu* cho loại hình biểu diễn đang xét để *tính toán lượng hút âm trong phòng* và sau đó bố trí chúng một cách hợp lý. Công thức tính hay dùng là công thức của Sabine và Eyring như đã đề cập trong phần 3.1.4. Cần lưu ý rằng cả công thức của Sabine và Eyring đều dựa trên những giả thuyết có những hạn chế lớn so với điều kiện thực tế trong phòng, ít nhất là những thiếu sót sau:

- Không xét đến đường đi của các tia âm, vốn dĩ phụ thuộc nhiều vào hình dáng phòng và sự bố trí các bề mặt phản xạ,
- Coi vật liệu hút âm bố trí đồng đều trong phòng. Điều này không đúng trong đa số trường hợp thực tế, khiến cho tần suất xuất hiện của tia âm trên các hướng không đồng đều.

Do những hạn chế trên, độ chính xác của phương pháp thiết kế dựa trên thời gian âm vang phụ thuộc vào việc trường âm thực tế trong phòng có gần đúng với giả thuyết “trường âm hoàn toàn khuếch tán” của Sabine và Eyring hay không. Do đó, việc lấy ý kiến chủ quan của thính giả sau khi công trình hoàn thành để hiệu chỉnh thiết kế là rất cần thiết cho việc hoàn thiện chất lượng âm của thính phòng.

Trình tự thiết kế âm học phòng theo thời gian âm vang được tiến hành qua 6 bước chính sau:

*Bước 1:* Tính toán thể tích và lựa chọn hình dáng mặt bằng, mặt cắt;

*Bước 2:* Xác định chi tiết mặt bằng và mặt cắt phòng;

*Bước 3:* Xác định thời gian âm vang tối ưu cho phòng;

*Bước 4:* Tính toán tổng lượng hút âm cần thiết (gồm cả lượng hút âm cố định và thay đổi);

*Bước 5:* Chọn và bố trí vật liệu và kết cấu hút âm, phản xạ âm;

*Bước 6:* Kiểm tra các điều kiện âm học theo phương án đã chọn.

Các phần tiếp theo sẽ lần lượt hướng dẫn chi tiết cách thức tiến hành từng bước.

#### 4.3.1. Tính toán thể tích và lựa chọn hình dáng mặt bằng

Thể tích cần thiết của phòng được quyết định dựa trên thời gian âm vang và sức chứa của thính phòng. Sức chứa của phòng thường đã được xác định trước trong nhiệm vụ thiết kế của chủ đầu tư. Vì thế thể tích yêu cầu cho một thính giả thường phụ thuộc chức năng sử dụng của phòng. Theo kinh nghiệm, chỉ tiêu thể tích riêng cho mỗi thính giả đối với một số loại hình biểu diễn có thể được lấy theo Bảng 4.3.

**Bảng 4.3. Chỉ tiêu thể tích riêng đối với các loại hình biểu diễn**  
- theo (Kuttruff & Mommertz, 2013)

<i>Loại phòng và chức năng</i>	<i>Chỉ tiêu thể tích riêng (m<sup>3</sup>/chỗ ngồi)</i>
Giảng đường, cung hội nghị, nhà hát ca nhạc trữ tình	4 - 6
Phòng đa chức năng cho cả diễn thuyết và âm nhạc	4 - 7
Nhà hát Opera	6 - 8
Phòng hòa nhạc cho nhạc thính phòng	6 - 10
Phòng hòa nhạc cho nhạc giao hưởng	8 - 12
Nhà thờ	10 - 15
Phòng tập của dàn nhạc	30 - 50

Theo Ballou (Ballou, 2013), một số chỉ tiêu thể tích riêng có thể tham khảo như trong Bảng 4.4.

**Bảng 4.4. Chỉ tiêu thể tích riêng theo tài liệu (Ballou, 2013)**

<i>Chức năng chính</i>	<i>Chỉ tiêu thể tích riêng (m<sup>3</sup>/chỗ ngồi)</i>	<i>Thể tích hiệu dụng tối đa nếu không có hệ thống điện thanh</i>
Nói chuyện, diễn thuyết, giảng đường, rạp phim	3 - 6	5000
Cả âm nhạc và nói chuyện	5 - 8	15000
Biểu diễn âm nhạc (ví dụ: hòa nhạc)	7 - 12	25000
Nhạc kịch hoặc nhạc organ, nhà thờ, tôn giáo	10 - 14	30000
Phòng tập của dàn nhạc	25 - 30	-

Diện tích phòng khán giả được tính gồm cả diện tích sân khấu và khán phòng nếu chiều sâu sân khấu bé hơn 3 m. Nếu chiều sâu sân khấu lớn hơn 3.6 m và có cửa sân khấu, diện tích phòng khán giả chỉ tính đến bục hay miệng sân khấu, còn phần sân khấu có chỉ tiêu diện tích riêng. Thông thường theo tiêu chuẩn Việt Nam cho phòng biểu diễn, diện tích khán phòng thường được lấy theo chỉ tiêu như sau (Nguyễn, 2007):

- 0.75 - 0.85 m<sup>2</sup>/người cho phòng có sức chứa nhỏ hơn 600 chỗ,
- 0.70 - 0.75 m<sup>2</sup>/người cho phòng 600 - 1200 chỗ,
- 0.65 - 0.70 m<sup>2</sup>/người cho phòng lớn hơn 1200 chỗ.

Do đó, nếu xác định được chỉ tiêu thể tích riêng, ta có thể ước lượng chiều cao trung bình của phần khán phòng bằng cách lấy chỉ tiêu thể tích riêng chia cho chỉ tiêu diện tích riêng.

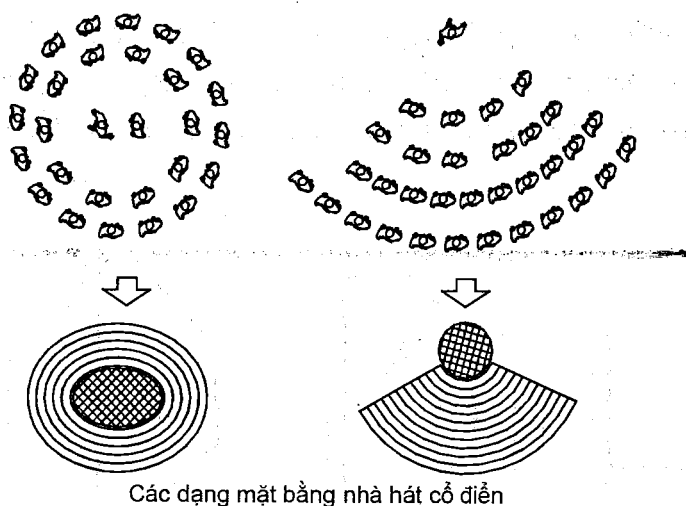
Để đảm bảo cho thời gian âm vang không bị phụ thuộc nhiều vào lượng thính giả có mặt trong phòng, đặc biệt là trong phòng hòa nhạc, nhà hát và phòng đa chức năng, hệ số hút âm của ghế ngồi chỉ nên thay đổi rất ít dù có hay không có khán giả. Thực tế cho thấy ghế có khán giả luôn hút âm mạnh hơn ghế trống, do đó cần cố gắng tăng lượng hút âm của ghế tối đa.

Về hình dáng mặt bằng phòng, khi chọn lựa cần lưu ý sức chứa hợp lý của loại hình phòng, độ xa tối đa đảm bảo nhìn rõ và nghe rõ, góc lệch cho phép trên mặt bằng (ở rìa phòng) và trên mặt cắt (trên ban công). Chỉ yêu cầu nhìn rõ đã yêu

cầu khoảng cách xa nhất đến người biểu diễn không quá 35 m và góc lệch xéo phải nhỏ hơn  $22.5^\circ$ , quy định đối với hai tường bên phòng có mặt bằng rẽ quạt hoặc hình chuông (Nguyễn, 2007).

Có những hình dáng đã được kiểm chứng cho các chức năng khác nhau, nhưng không có một hình dáng tối ưu về mặt âm học (Kuttruff & Mommertz, 2013, p. 257). Điều này có nghĩa là người thiết kế không bị gò ép vào một hình dáng mặt bằng nào đó khi sáng tác chỉ vì lý do âm học. Đồng thời, việc thiết kế các bề mặt nội thất thính phòng và trang trí, bố trí vật liệu có tính quyết định đối với chất lượng âm thanh. Ít nhất những bề mặt phản xạ âm có ích cần được quan tâm và các bề mặt gây tiếng dội khó chịu phải tránh.

Tuy nhiên, vì sự hợp lý khoa học của bố trí ghế và góc quan sát, hướng của tia âm mà có một số hình dáng có ưu thế, ví dụ mặt bằng hình rẽ quạt (hay hình quả chuông) hoặc hình bầu dục. Đây là những hình dáng mặt bằng hợp lý một cách tự nhiên cho các loại hình biểu diễn khác nhau (xem Hình 4.22).



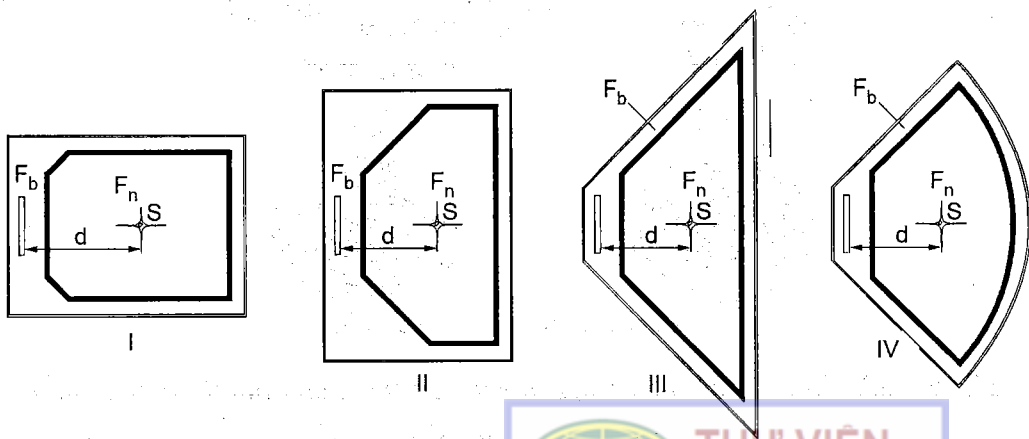
**Hình 4.22.** Hiện tượng đám đông tự sắp xếp tùy theo hình thức biểu diễn và các hình thức mặt bằng cổ điển

Bên trái là biểu diễn dạng hành động hoặc đối thoại, khi đó cả âm và hình đều không có tính định hướng mạnh. Bên phải là độc thoại, hát hoặc biểu diễn hòa nhạc với nhạc cụ có tính định hướng mạnh. Các mặt bằng nhà hát Hy Lạp hay La Mã cổ thường có dạng hình rẽ quạt hay oval, và vẫn được duy trì cho đến ngày hôm nay. Dạng mặt bằng hình chữ nhật và hình móng ngựa là những dạng mặt bằng xuất hiện sau này, hình thành từ yêu cầu khẩu độ nhỏ để có thể lợp mái bằng kết cấu gỗ.

Khi lựa chọn mặt bằng thính phòng, diện tích có ích của phòng và khoảng cách trung bình giữa khán giả và diễn viên là rất quan trọng. Hình 4.23 cho thấy các chỉ tiêu này ứng với một số dạng mặt bằng thường gặp. Khoảng cách khán giả - diễn viên trung bình ngắn và hệ số sử dụng cao khiến cho mặt bằng loại III và IV được dùng rộng rãi dù có bất lợi về tia nhìn ở hai rìa phòng và kết cấu lợp mái. Điều kiện nghe rõ (mức âm đảm bảo) ràng buộc vị trí thính giả ở xa nhất như sau (Nguyễn, 2007):

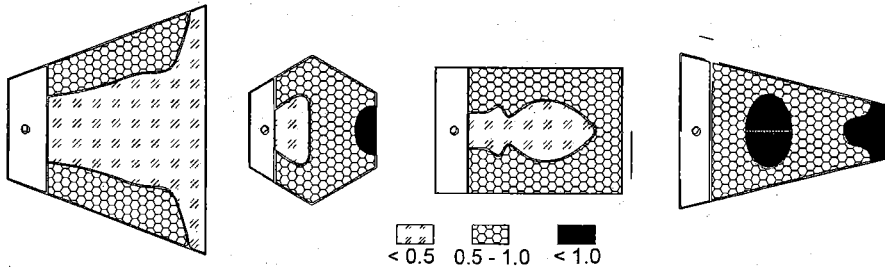
- Đối với giảng đường, hội trường không có hệ thống điện thanh: 25 m,
- Nhà hát vũ kịch (Opera), nhạc thính phòng: 35 m,
- Các rạp chiếu bóng, phòng hòa nhạc giao hưởng: 50 m.

Ở trên một khía cạnh khác, mặt bằng hình rẻ quạt thường thiếu âm phản xạ đến từ hai tường bên đến tai thính giả nên thường có mức năng lượng bên (đặc trưng cho tính khối 3 chiều của âm) khá thấp so với các dạng mặt bằng khác (xem Hình 4.24). Hiện tượng này đã được phản ánh qua công thức thực nghiệm ở phần 5.1. Phần ghế ngồi ở phía trước thường không có âm phản xạ nên nghe khô khan và yếu. Do vậy, nếu mặt bằng hình rẻ quạt được sử dụng, tường bên phải được thiết kế đặc biệt để tăng cường âm phản xạ từ hai bên đến tai người nghe.



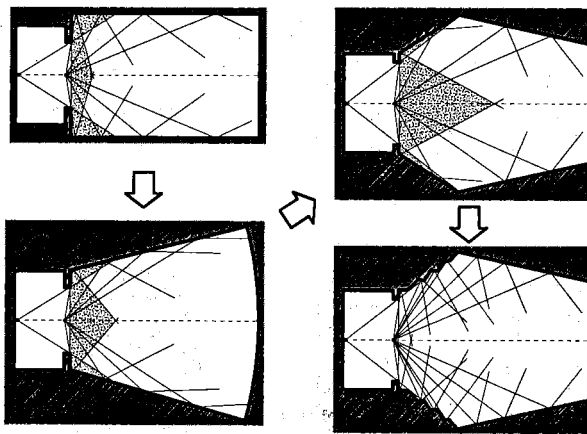
	I	II	III	IV
$F_n/F_b$ (tỷ số tổng diện tích có ích trên tổng diện tích)	0.63	0.55	0.64	0.67
$d_i/d_1$ (tỷ số khoảng cách $d$ so với $d_1$ của trường hợp I)	1.00	0.83	0.78	0.79

**Hình 4.23.** Các chỉ số diện tích hữu ích và khoảng nhìn xa trung bình của một số dạng mặt bằng -  $F_n$  là diện tích có ích,  $F_b$  là tổng diện tích - phỏng theo Fasold & Winkler (1976)



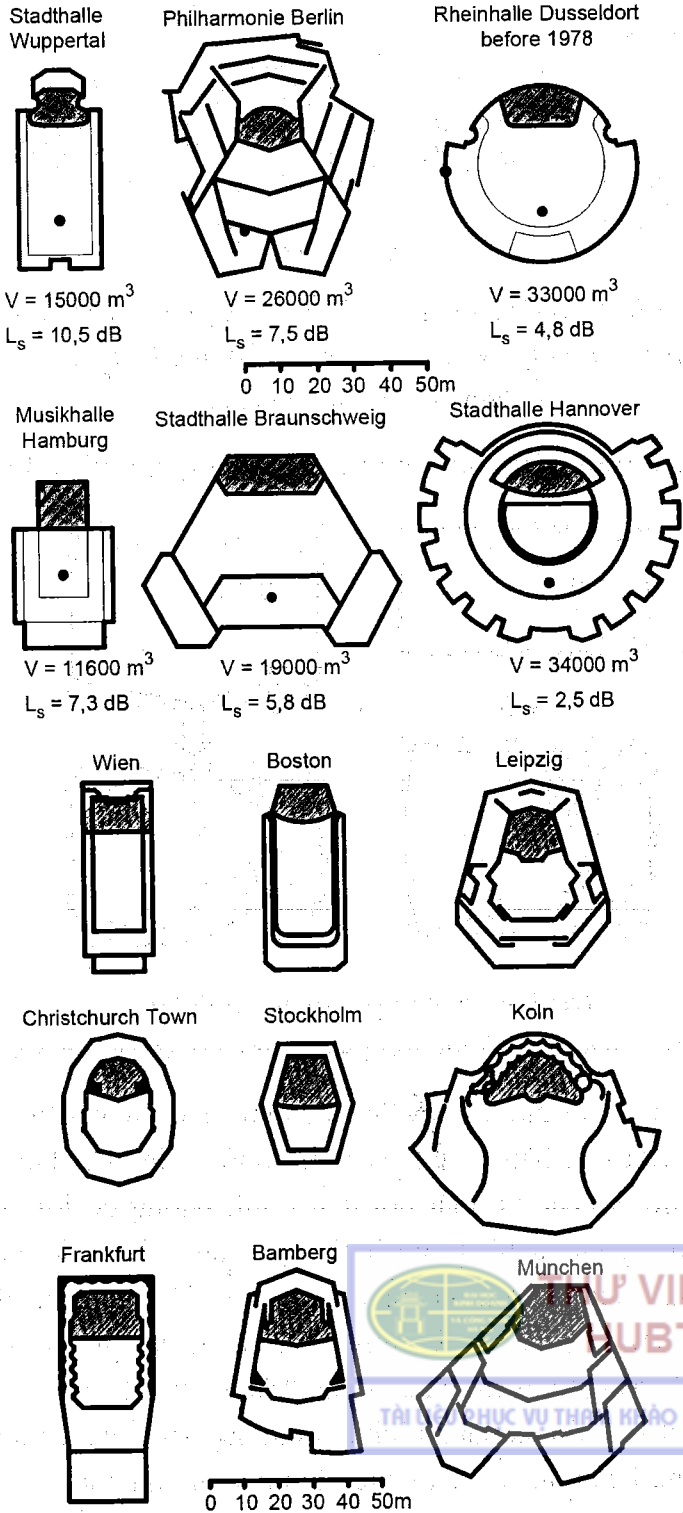
**Hình 4.24.** Phân bố của phần năng lượng bên (LEF) tính toán cho một số dạng mặt bằng. Những màu sậm cho biết LEF có giá trị cao hơn - phỏng theo Kuttruff (1976)

### 4.3.2. Định hình hình dáng phòng theo nguyên lý âm hình học



**Hình 4.25.** Nguyên lý âm hình học để phát triển các hình dạng mặt bằng có lợi về âm học

Sau khi sơ bộ xác định được khối tích và hình dáng mặt bằng, việc xác định hình dáng chi tiết của mặt bằng, mặt cắt thính phòng thường dựa trên nguyên lý âm hình học để thiết kế các bề mặt nội thất thính phòng có lợi về mặt âm học. Hình 4.25 giới thiệu phương pháp âm hình học trong việc thiết kế cải tiến hình thức mặt bằng nhằm tạo trường âm phản xạ đồng đều và giảm thiểu các vùng “trắng âm” (không có âm phản xạ từ trường biên) hoặc các hiện tượng âm xấu. Có thể thấy đối với mặt bằng hình chữ nhật vùng “trắng âm” khá nhỏ, âm phản xạ từ 2 tường bên là khá tốt so với mặt bằng hình rẻ quạt hay hình quả chuông. Tuy nhiên, nếu ta thiết kế tường bên hợp lý, mặt bằng hình chuông lại cho trường âm phản xạ đồng đều từ hai phía. Cần chú ý là góc lệch cho phép đối với những tia nhìn bên rìa phòng (so với trục sân khấu) không được vượt quá  $22.5^\circ$  trong biểu diễn âm nhạc. Đối với phòng hình rẻ quạt hay quả chuông, tiêu chí này dễ thỏa mãn hơn.

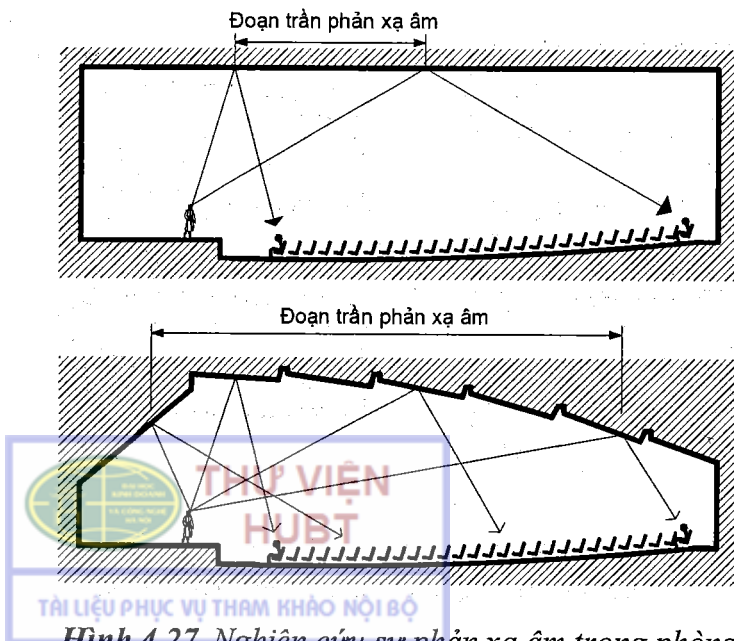


**Hình 4.26.** Hình dáng mặt bằng một số phòng hòa nhạc nổi tiếng, với thể tích và mức âm trường biên - phỏng theo Meyer (2009)

Hình 4.26 giới thiệu hình thức mặt bằng của các thính phòng âm nhạc nổi tiếng trên thế giới, trong đó có phòng hòa nhạc ở Boston và phòng hòa nhạc Philharmonie Berlin (phần tô đậm là phần sân khấu). Mức âm từ tường biên ( $L_s$ ) cũng được cho kèm bên cạnh một số mặt bằng. Lợi thế của mặt bằng hình chữ nhật so với các dạng còn lại có thể thấy được rất rõ. Sự xử lý khéo léo của phòng hòa nhạc Berlin giúp nó duy trì tốt âm vang từ tường biên. Do đó, đã có những nhà hát khi cải tạo, người ta đưa nó về mặt bằng hình chữ nhật (ví dụ nhà hát trong Trung tâm Lincoln ở New York).

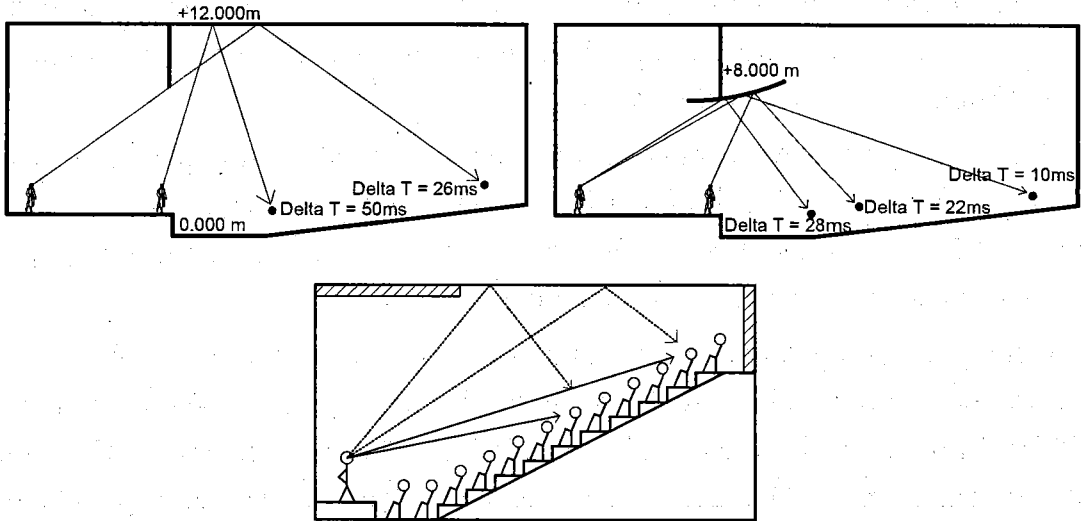
Đối với hình dáng mặt cắt phòng, các diện trần sân khấu, trần phòng khán giả, nền khán phòng đều có ảnh hưởng lớn đến chất lượng âm. Đối với phòng nghe âm trực tiếp, trần có tác dụng tạo âm phản xạ, tăng cường cho âm trực tiếp, phân bố âm đến các vị trí khác nhau trong phòng.

Trong phòng diễn thuyết, chiều cao trần nên chọn vừa phải để làm phản xạ các âm sớm đến tai thính giả, tăng độ rõ âm. Những khu vực gây tiếng dội nên xử lý hút âm. Hình 4.27 giới thiệu 2 biện pháp xử lý trần khác nhau, dẫn đến 2 hiệu quả âm thanh với độ đồng đều, độ rõ khác nhau. Dạng trần có nếp gấp và hạ dần về cuối phòng rất có lợi cho âm phản xạ và giảm thời gian âm vang (do hướng âm phản xạ về phía thính giả - vốn là bề mặt hút âm).

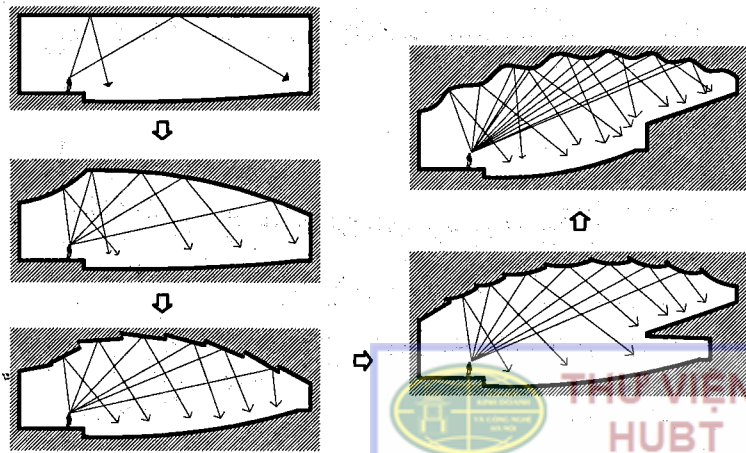


**Hình 4.27.** Nghiên cứu sự phản xạ âm trong phòng với các dạng trần nhà khác nhau. Dạng trần cong và gãy khúc cho lượng âm phản xạ nhiều hơn - phỏng theo Phạm (2011)

Để đảm bảo âm phản xạ đến tai người nghe sau âm trực tiếp không quá 50 ms, cần đảm bảo quãng đường tia phản xạ không quá dài. Hình 4.28 giới thiệu một trong số rất nhiều biện pháp nhằm giảm quãng đường đi của tia phản xạ. Đầu tiên là cách sử dụng tấm phản xạ treo trên nguồn âm. Một biện pháp phổ biến khác là nâng cao độ dốc nền ngồi và xử lý hút âm phù hợp.



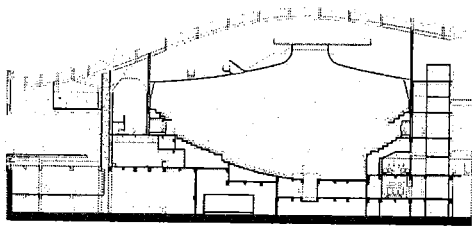
Hình 4.28. Biện pháp xử lý trần để giảm quãng đường tia phản xạ, tăng độ rõ - phỏng theo Gade (2007)



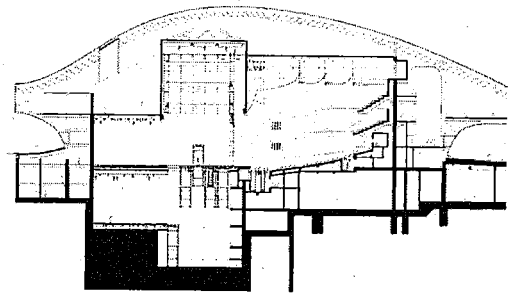
Hình 4.29. Sử dụng nguyên lý âm hình học để phát triển các dạng mặt cắt dọc có lợi về âm học - có khả năng tạo trường âm khuếch tán và âm phản xạ phân bố đều

Hình 4.29 miêu tả quá trình cải thiện hình dáng mặt cắt dọc thính phòng bằng cách tổ chức các dạng trần nhà khác nhau, từ diện lớn đến nhỏ, từ thẳng đến cong và lượn sóng. Dạng trần phẳng thường rất cao ở phía trước để đảm bảo chiều cao

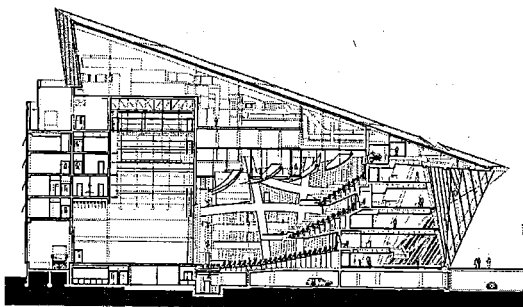
phía sau khán phòng, do đó dễ sinh tiếng dội ở phần trước. Ngoài ra, nếu nguồn âm di động thì khó đảm bảo giữ cho trường âm phân bố đều.



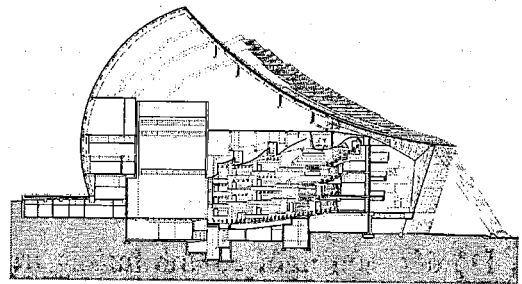
Phòng hòa nhạc - Trung tâm nghệ thuật  
Wei Wu Ying Kaohsiung, Taiwan



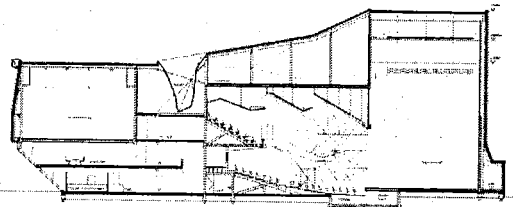
Phòng ca nhạc - Trung tâm nghệ thuật  
Wei Wu Ying Kaohsiung, Taiwan



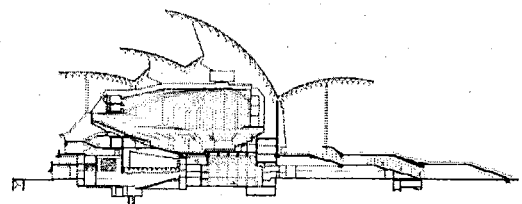
Nhà hát Grand Canal Square, Dublin



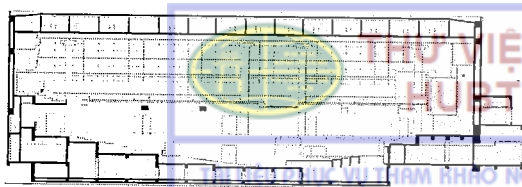
Trung tâm trình diễn nghệ thuật  
Kauffman Kansas, Missouri



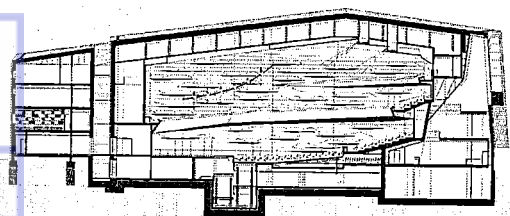
Nhà hát Agora, Cleveland, Ohio



Phòng hòa nhạc, Opera Sydney



Phòng hòa nhạc Kyoto



Trung tâm Kodaly - Phòng hòa nhạc, Pécs

**Hình 4.30.** Mặt cắt dọc một số thính phòng trên thế giới (suu tâm)

Dạng mặt trần lượn sóng có chiều cao và độ nghiêng linh hoạt, cho trường âm phản xạ đồng đều trên mọi vị trí, có khả năng khuếch tán cao do đó cho chất lượng âm tốt nhất. Nếu loại trần cong gập bậc có lỗ đèn chiếu sân khấu cần chú ý tránh để năng lượng âm tổn thất trong lỗ đèn.

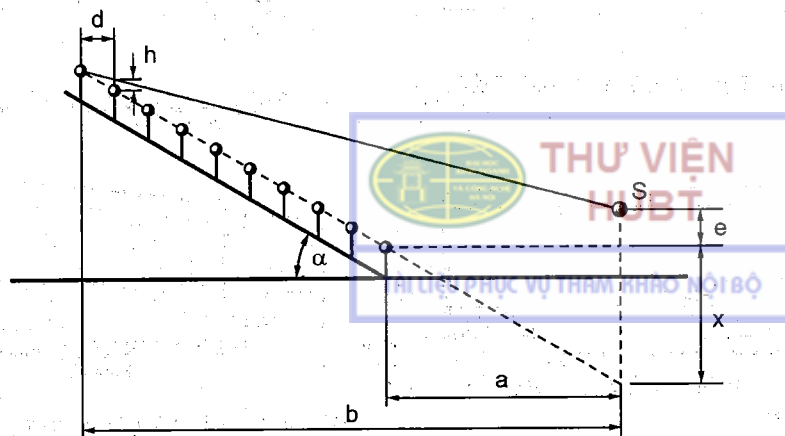
Các loại trần cong lõm dễ gây hội tụ âm, tiêu điểm âm trong phòng do đó nên tránh. Nếu phải làm trần cong lõm thì bán kính cong không nên nhỏ hơn  $2h$  (chiều cao trần nhà).

Hình 4.30 giới thiệu dạng mặt cắt ngang của một số phòng hòa nhạc và phòng ca nhạc - Opera trên thế giới. Có một điểm dễ nhận thấy là đối với các phòng hòa nhạc, do âm nghe trực tiếp nên khoảng cách xa nhất đến sân khấu bị giới hạn trong phạm vi khoảng 35 m, do đó sân khấu thường được bố trí ở giữa thính phòng.

Các nhà hát, kịch, Opera do có thể sử dụng hệ thống điện thanh, nên khoảng cách cho phép xa hơn, sân khấu bố trí hẳn về một phía thính phòng, trên sân khấu có thiên kiều để thay đổi phông màn hậu cảnh.

#### \* Xác định độ dốc nền

Độ dốc nền ngồi có ảnh hưởng trực tiếp đến tiện nghi nhìn rõ và chất lượng âm đến tai thính giả. Thông thường, độ dốc nền được lựa chọn dựa trên yêu cầu nhìn rõ là yêu cầu tối thiểu. Độ nhìn rõ đã được quy định trong nguyên lý thiết kế kiến trúc công trình công cộng với những điểm chính như sau: khoảng cách hàng ghế trước và sau là  $d = 0.75$  m đến 0.85 m; chiều cao tia nhìn người ngồi sau so với mắt người ngồi trước là  $h = 12$  cm; chiều cao tầm mắt người ngồi trên ghế vào khoảng 1.1 đến 1.2 m (Hình 4.31).



Hình 4.31. Các thông số chính trong thiết kế độ dốc nền ngồi

Xét về chất lượng âm, độ dốc nền càng cao, âm nghe càng rõ do âm trực tiếp đến nhiều hơn, cường độ âm không bị giảm nhiều khi sóng âm lướt trên đầu khán giả. Do đó nâng cao độ dốc nền là giải pháp có lợi về mặt âm học, tuy nhiên đi kèm theo đó là sự bất tiện cho việc di chuyển của khán giả. Thay vì nâng cao tia nhìn, người ta thường nâng cao nguồn âm bằng cách nâng cao bục sân khấu kết hợp với bố trí các tấm phản xạ âm mạnh ngay trên đầu nguồn âm (xem Hình 4.28). Điểm đáng lưu ý là độ dốc nền sẽ giảm khối tích phòng và theo đó giảm cả thời gian âm vang T. Nâng cao độ dốc nền cũng làm tăng độ hút âm của nền nhà, làm giảm thời gian âm vang. Một số tác giả đề nghị giới hạn độ dốc sàn ngồi / độ nâng cao tia nhìn trong phòng biểu diễn âm nhạc ở mức  $\alpha/h = 6^\circ / 8 \text{ cm}$ . Trong phòng thuyết giảng hay nhà hát kịch nói, giá trị này có thể là  $8 - 10^\circ / 12 - 15 \text{ cm}$  (Gade, 2007).

#### 4.3.3. Xác định thời gian âm vang tốt nhất cho phòng

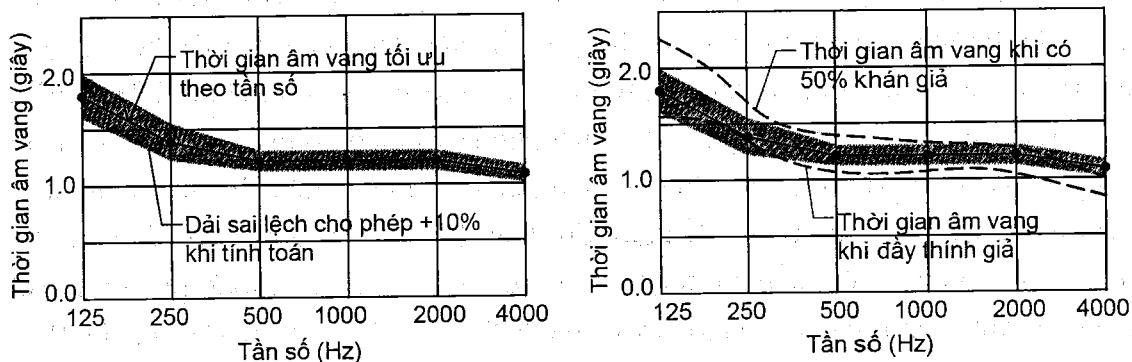
Thời gian âm vang có vai trò quan trọng đối với chất lượng âm, do đó thiết kế thính phòng nhằm đạt được thời gian âm vang tối ưu là yêu cầu quan trọng nhất về mặt âm học.

Thời gian âm vang tối ưu cho các loại hình biểu diễn khác nhau, ở các tần số khác nhau đã được giới thiệu kỹ ở phần 3.2.1. Căn cứ các biểu đồ trong Hình 3.18 hoặc công thức (3.22), người thiết kế lựa chọn **thời gian âm vang tối ưu (cho các tần số trung từ 500 - 800 Hz) tương ứng với loại hình biểu diễn và thể tích phòng** (đã xác định ở phần 4.3.1).

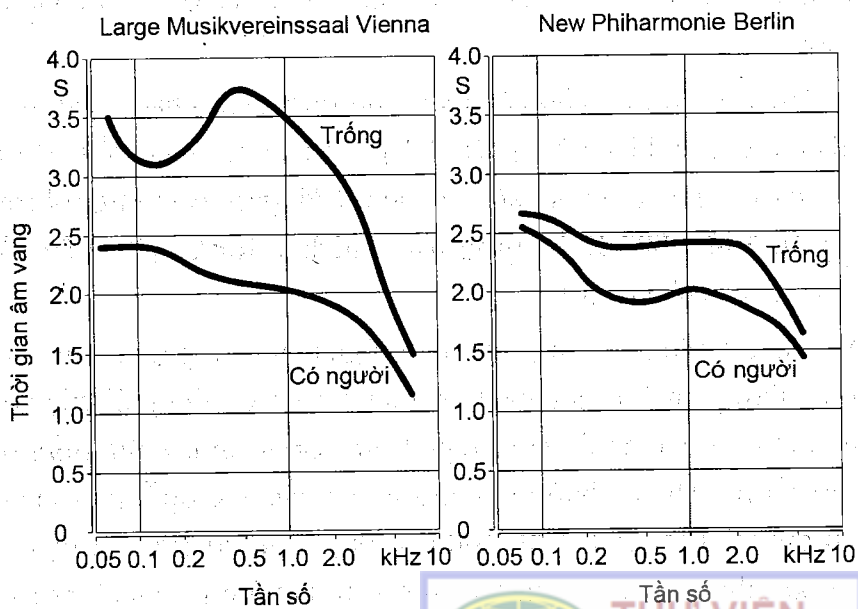
Tiếp theo, căn cứ trên hệ số hiệu chỉnh thời gian âm vang tối ưu theo tần số (âm tần số thấp cần thời gian âm vang dài hơn âm tần số cao) như giới thiệu trong Hình 3.18, người thiết kế xác định được **thời gian âm vang tối ưu cho toàn bộ dải tần số từ thấp đến cao**. Thông thường, người ta chỉ cần xác định thời gian âm vang tối ưu cho 6 tần số 125, 250, 500, 1000, 2000, và 4000 Hz, đại diện cho 6 dải octave tần số âm thanh. Lưu ý, âm tần số cao bị hút âm rất mạnh bởi không khí, khán giả và các bề mặt so với âm tần số thấp, thời gian âm vang bị giảm đi đáng kể. Do đó thời gian âm vang tối ưu của âm tần số cao trên 2000 Hz nên lấy thấp hơn so với âm chuẩn từ khoảng 1.2 đến 1.4 lần (theo kinh nghiệm của tác giả) thì thiết kế mới thỏa mãn được.

Yêu cầu đối với thiết kế âm học phòng thính giả là phải đảm bảo **thời gian âm vang thiết kế sai khác không quá  $\pm 10\%$  so với thời gian âm vang tối ưu**. Yêu cầu này thường phải được đáp ứng khi lượng thính giả trong phòng thay đổi từ

75% đến 100%. Hình 4.32 biểu diễn thời gian âm vang tối ưu và độ sai lệch  $\pm 10\%$  cho phép khi thiết kế. Trên thực tế, thời gian âm vang thực của công trình thường khó đạt hoàn toàn theo thiết kế.



**Hình 4.32.** Đường đặc tính thời gian âm vang tối ưu theo tần số (trái) và sự thay đổi thời gian âm vang tính toán ứng với các lượng thính giả khác nhau (phải)



**Hình 4.33.** Thời gian âm vang đối với các tần số trong 2 thính phòng nổi tiếng ở Vienna và Berlin khi có và không có thính giả - phỏng theo Beranek (1962) và Cremer (1964)

Do lượng thính giả có mặt trong phòng ảnh hưởng lớn tới tổng lượng hút âm của phòng, (càng nhiều thính giả, lượng hút âm càng tăng, thời gian âm vang sẽ giảm xuống) nên thời gian âm vang của thính phòng khi lượng thính giả thay đổi là không giống nhau. Thực tế đã cho thấy rất rõ điều này qua Hình 4.33. Có thể

thấy phòng hòa nhạc Berlin có chất lượng thiết kế tốt hơn rất nhiều so với phòng hòa nhạc lớn ở Vienna nhờ hệ thống ghế ngồi hút âm rất mạnh, gần tương đương ghế có thính giả (Meyer, 2009).

Khi thiết kế các thính phòng không có yêu cầu cao về chất lượng âm mà chỉ yêu cầu chủ yếu về độ rõ (ví dụ: giảng đường, phòng làm việc), việc tính toán chủ yếu có thể thực hiện với 3 dải octave 125, 500, và 2000 Hz (lần lượt đại diện cho âm tần số thấp, tần số trung và tần số cao) là đạt yêu cầu.

#### 4.3.4. Tính toán tổng lượng hút âm cần thiết

##### *Phương pháp tính toán*

Tổng lượng hút âm cần thiết trong phòng để tạo ra thời gian âm vang theo yêu cầu được tính toán dựa vào công thức (3.14) của Eyring như sau:

$$T = \frac{0.161V}{-S \ln(1 - \bar{\alpha}) + 4mV}$$

Trong công thức trên, tổng diện tích bề mặt phòng  $S$ , thể tích phòng  $V$ , thời gian âm vang  $T$  và hệ số hút âm của không khí  $m$  đều đã có. Do đó ta sẽ dễ dàng tính được lượng hút âm trung bình  $\bar{\alpha}$ . Khi có  $\bar{\alpha}$ , tổng lượng hút âm  $A$  cần thiết sẽ là:

$$A = \bar{\alpha}S \quad (4.1)$$

Với giá trị  $A$  được xác định, việc lựa chọn và bố trí vật liệu hút âm lên các bề mặt nội thất đã có thể thực hiện được.

##### *Lưu ý:*

Việc tính toán tổng lượng hút âm cần thiết  $A$  nói trên được thực hiện giống nhau, lần lượt đối với từng dải tần số 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz vì thời gian âm vang cần thiết kể của các tần số này không giống nhau.

Tổng lượng hút âm  $A$  không chỉ phụ thuộc vào các bề mặt kiến trúc mà còn liên quan đến số lượng khán giả có mặt trong phòng. Do đó:

$$A = A_{cd} + A_{td} \quad (4.2)$$

trong đó:

$A_{cd}$  - lượng hút âm cố định;

$A_{td}$  - lượng hút âm thay đổi do sự dao động của lượng khán giả.

**Hướng dẫn tính  $A_{cd}, A_{td}$  sau khi đã biết tổng lượng hút âm  $A$ :**

*Bước 1:*  $A_{td}$  là lượng hút âm thay đổi của khán giả + ghế ngồi. Lượng hút âm này thay đổi theo số lượng khán giả. Lượng hút âm này, theo thông lệ chung, được tính cho trường hợp 70% và 100% khán giả có mặt bằng cách lập bảng như sau:

Đối tượng hút âm	Lượng hút âm ( $m^2$ )	Số lượng	$A_{td}$ của các tần số khi 70% khán giả có mặt					
			125 Hz	250	500	1000	2000	4000
Người + ghế	Xem Bảng 2.2							
Ghế trống	Xem Bảng 2.2							
Nhạc công + nhạc cụ	Xem Bảng 2.2							
<b>Tổng cộng</b>								

Làm tương tự với trường hợp 100% khán giả có mặt như bảng trên, nhưng bỏ bớt phần tính hút âm của ghế trống vì đã được khán giả ngồi kín.

*Bước 2:*  $A_{cd}$  là tổng lượng hút âm của các bề mặt, cấu kiện, đồ đạc, vật trang trí trong thính phòng và được tính như sau:

$$A_{cd} = A - A_{td}$$

$A_{cd}$  cũng phải được tính lần lượt cho từng 6 dải octave nói trên.

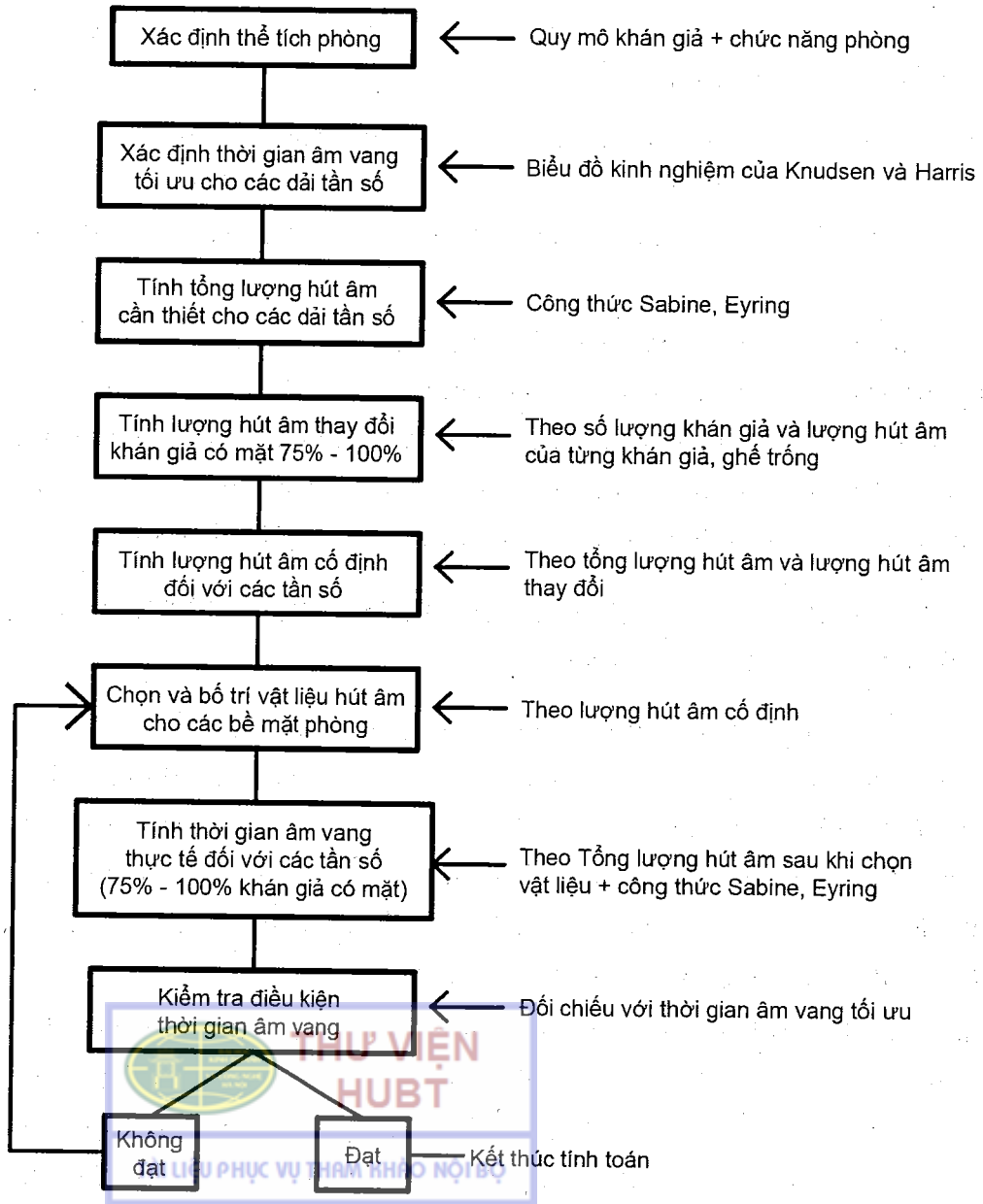
**4.3.5. Chọn và bố trí vật liệu và kết cấu hút âm, phản xạ âm**

Sau khi tính được  $A_{cd}$  cho từng tần số, người thiết kế căn cứ vào diện tích của bề mặt thính phòng để lựa chọn và bố trí vật liệu hoặc kết cấu hút âm sao cho tổng lượng hút âm cố định trong phòng xấp xỉ  $A_{cd}$  bằng cách lập bảng như mẫu sau:

Tên cấu kiện + vật liệu	Diện tích ( $m^2$ )	$(\text{Hệ số hút âm}) + \text{lượng hút âm của từng bề mặt}$					
		125	250	500	1000	2000	4000
Tường xây gạch trát vữa, sơn	570	(0.2) 114	(0.25) 142.5	(0.3) 171	(0.27) 154	(0.18) 102.6	(0.14) 79.8
...							
...							
Lõi đi trải thảm dày 4 mm	124	(0.3) 37.2	(0.35) 43.4	(0.4) 49.6	(0.45) 55.8	(0.45) 55.8	(0.41) 50.8
<b>Tổng cộng lượng hút âm cố định</b>							

Lưu ý việc bố trí vật liệu hay kết cấu hút âm phải đồng đều, phân tán trên các bề mặt phòng để tạo trường âm khuếch tán đồng đều. Sau khi đã có được bảng tính toán vật liệu và kết cấu hút âm như trên cần kiểm tra và đối chiếu với lượng hút âm yêu cầu.

#### 4.3.6. Kiểm tra các điều kiện âm học theo phương án đã chọn



Hình 4.34. Các bước tính toán và phương pháp tính trong thiết kế âm học phòng thính giả theo thời gian âm vang

Theo phương án thiết kế, người thiết kế tính toán thời gian âm vang của phòng đối với 6 dải tần số 1 octave dựa vào lượng hút âm thực tế và thể tích phòng (thông qua công thức 3.17 của Eyring); sau đó kiểm tra và so sánh với dải thời gian âm vang cho phép đã thiết lập ở phần 4.3.3 (xem Hình 4.32).

Nếu thời gian âm vang các dải tần số của phương án chọn nằm trong phạm vi cho phép ( $\pm 10\%$  so với thời gian âm vang tối ưu), giải pháp thiết kế đưa ra là đạt yêu cầu và việc tính toán âm học kết thúc. Trên cơ sở kết quả đó, việc triển khai các bước thiết kế tiếp theo có thể tiến hành.

Nếu thời gian âm vang của các dải tần số không thỏa mãn điều kiện thời gian âm vang tối ưu, việc tính toán và bố trí vật liệu hút âm phải được tiến hành lại từ bước chọn và bố trí vật liệu hút âm (phần 4.3.5) và tiến hành cho đến khi đạt yêu cầu.

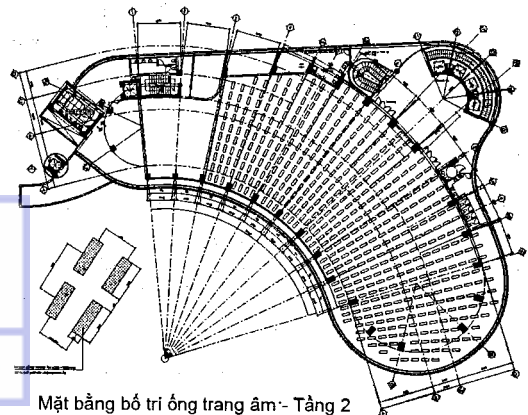
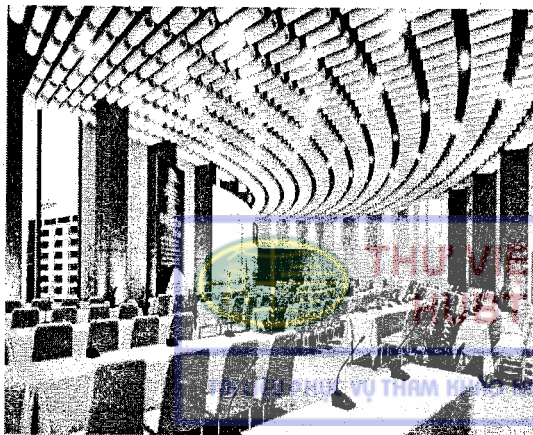
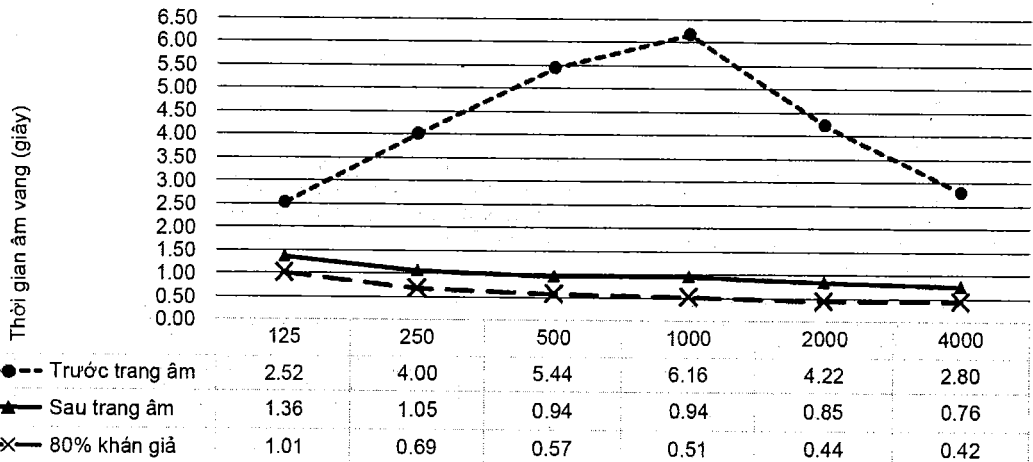
Tóm lại, qua các bước tiến hành như trình bày ở trên, việc thiết kế trang âm phòng thính giả theo điều kiện thời gian âm vang tối ưu là khá rõ ràng và không khó, tuy nhiên lại hết sức chi tiết và mất thời gian do khối lượng tính toán tương đối nhiều. Để dễ hình dung, toàn bộ các bước và cách thức của quá trình tính toán thiết kế nói trên có thể được tóm tắt qua sơ đồ trong Hình 4.34.

#### 4.4. MỘT VÍ DỤ TÍNH TOÁN ÂM HỌC THÍNH PHÒNG THEO PHƯƠNG PHÁP THỜI GIAN ÂM VANG

Trong ví dụ này, chúng tôi giới thiệu một giải pháp thiết kế thực tế cho một thính phòng Studio gameshow truyền hình 850 chỗ, diện tích 1000 m<sup>2</sup>, khối tích khoảng 6400 m<sup>3</sup>. Thính phòng này nằm trên tầng 3 của một công trình thương mại, do đó các bề mặt trong thính phòng có yêu cầu hút âm và còn phải cách âm tốt, do đó, bề mặt trong phòng của các kết cấu là vật liệu hút âm, tiếp đến là các lớp chống lan truyền âm, rồi mới đến kết cấu cứng của công trình.

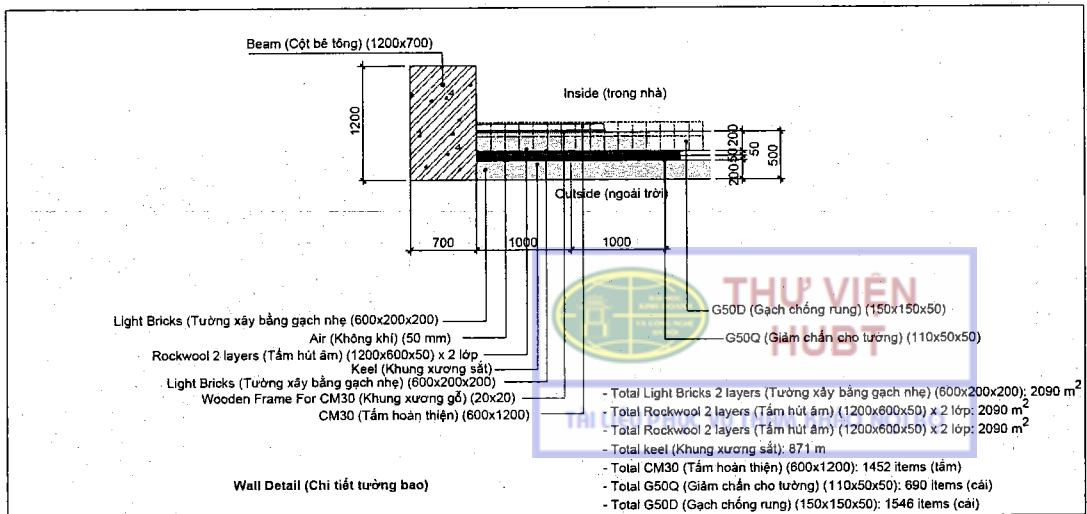
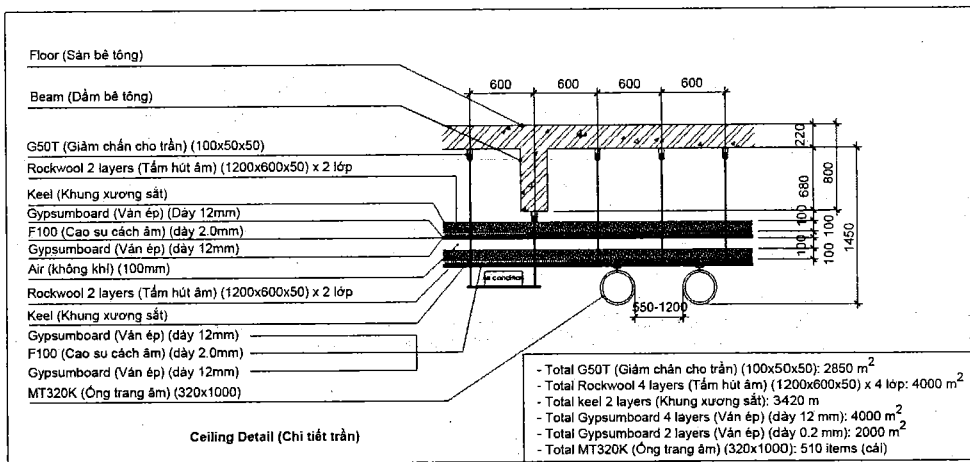
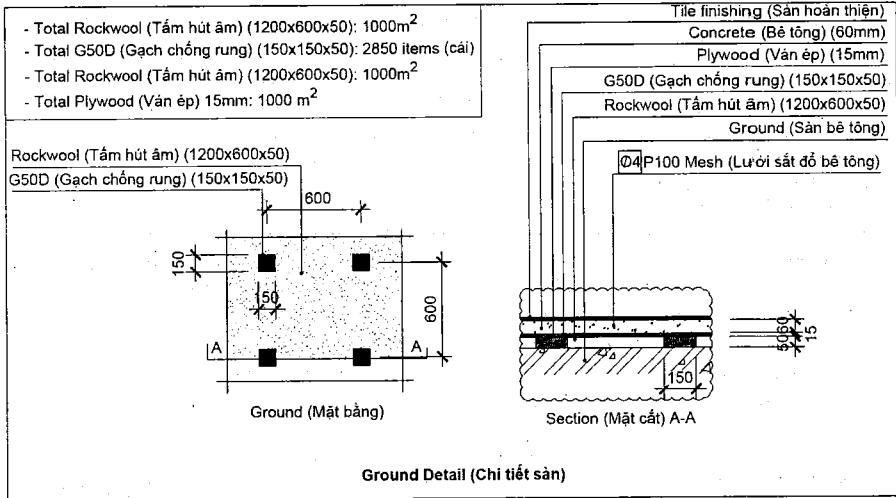
Việc thiết kế âm học vẫn dựa trên phương pháp thời gian âm vang. Việc tính toán trong các bước 1, 2, 3, và 4 đã được thực hiện và trong ví dụ này chỉ trình bày các kết quả ở bước 5 và giải pháp thiết kế cụ thể. Giải pháp vật liệu được trình bày trong Hình 4.35. Kết quả cho thấy thời gian âm vang thiết kế đạt được khá tốt so với thời gian âm vang tối ưu (ở tần số 500 Hz là 0.6 s), đồng thời thời gian âm vang ở tần số 125 Hz được nâng lên và ở 4000 Hz được giảm bớt.

TT	Bộ phận	Chủng loại Vật liệu	m <sup>2</sup>	Hệ số hút âm và lượng hút âm tương đương m <sup>2</sup>											
				125Hz		250Hz		500Hz		1000Hz		2000Hz		4000Hz	
				$\alpha$	S $\alpha$	$\alpha$	S $\alpha$	$\alpha$	S $\alpha$	$\alpha$	S $\alpha$	$\alpha$	S $\alpha$	$\alpha$	S $\alpha$
1	Trần	Tấm trần thạch cao thường	1000	0.21	210.0	0.10	100.0	0.06	60.0	0.04	40.0	0.07	70.0	0.09	90.0
2		Ống hút âm MT320K - Soundbox	509	0.46	234.1	0.64	325.8	0.75	381.8	0.82	417.4	0.83	422.5	0.86	437.7
3		Các bề mặt trát vữa, sơn	518	0.02	10.4	0.02	10.4	0.03	15.5	0.03	15.5	0.03	15.5	0.04	20.7
4	Tường	Tấm tường hút âm bông sợi thủy tinh bọc vải bố CM30- Soundbox	489	0.25	122.4	0.70	342.6	0.89	435.6	0.85	416.1	0.86	421.0	0.85	416.1
5		Vách kính, cửa sổ kính	171	0.35	59.9	0.25	42.8	0.15	25.7	0.12	20.5	0.07	12.0	0.04	6.8
6		Cửa đi gỗ tấm	22	0.15	3.3	0.10	2.2	0.06	1.3	0.08	1.8	0.10	2.2	0.05	1.1
7	Sàn	Thảm trải sàn	932	0.13	121.2	0.22	205.0	0.33	307.6	0.46	428.7	0.59	549.9	0.53	494.0
8		Hút âm của khán giả và ghế trống	672	0.22	147.8	0.36	241.9	0.37	248.6	0.40	268.8	0.42	282.2	0.45	302.4
9		Ghế trống	168	0.02	3.4	0.02	3.4	0.03	5.0	0.04	6.7	0.05	8.4	0.06	10.1
10		Lượng hút âm đo không khí (4mv)		/	/	/	/	/	/	/	/	59.52	/	167.68	
11		$\Sigma S\alpha$		912.370	1274.016	1481.123	1615.484	1783.638	1778.879						
12		Hệ số hút âm trung bình $\alpha$		0.204	0.284	0.331	0.361	0.398	0.397						
13		$-1n(1-\alpha)$		0.228	0.335	0.401	0.447	0.508	0.506						
14		Thời gian âm vang T (với 80% thính giả)		1.01	0.69	0.57	0.51	0.44	0.42						



Hình 4.35. Giải pháp vật liệu và bảng tính lượng hút âm, thời gian âm vang

Nguồn: AND Co. Ltd



Hình 4.36. Các chi tiết gia công âm học phòng

Nguồn: AND Co. Ltd

## 4.5. CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG 4

### Câu hỏi trọng tâm:

1. Nêu trình tự các bước thiết kế âm học phòng thính giả theo điều kiện thời gian âm vang.
2. Các chỉ tiêu âm học cần xem xét trong quá trình thiết kế âm học phòng là gì?
3. Nêu và mô tả vắn tắt 4 phương pháp cơ bản dùng để thiết kế âm học phòng thính giả.
4. Phân biệt sự khác nhau giữa cấu tạo sân khấu cho ca hát dùng hệ thống điện thanh và sân khấu dùng cho hòa nhạc nghe trực tiếp.
5. Nêu những điểm lưu ý khi thiết kế hồ nhạc dưới sân khấu.
6. Các giải pháp thiết kế tường hậu và chống hiện tượng dội âm cũng như nâng cao chất lượng âm tại khu vực khán giả.

### Bài tập ôn:

**Nhiệm vụ:** Thiết kế âm học một giảng đường hình hộp chữ nhật có sức chứa 120 người, giả thiết rằng chiều cao phòng bị giới hạn ở mức 2.7 m.

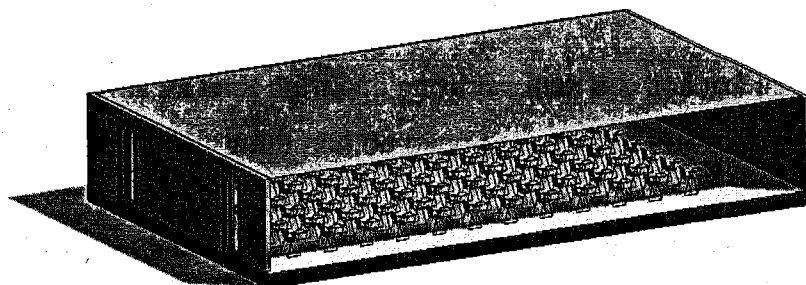
**Gợi ý:** Trong ví dụ này, chúng tôi giới thiệu một trường hợp tính toán đơn giản cho một thính phòng nói chuyện, không có yêu cầu cao về chất lượng âm. Do đó chúng tôi chỉ thực hiện tính toán trên 3 dải octave chính là 125 Hz, 500 Hz, và 2000 Hz. Trong trường hợp yêu cầu cao về chất lượng âm (liên quan đến âm nhạc), các octave 250 Hz, 1000 Hz, và 4000 Hz cũng phải được tính đầy đủ. Chúng tôi cũng giả định một trường hợp tính khi 2/3 số lượng thính giả có mặt để giảm bớt khối lượng tính toán và làm ví dụ dễ hiểu hơn.

**Giải quyết** (Szokolay, 2008): Tra Bảng 4.3, chúng ta chọn chỉ tiêu thể tích riêng cho giảng đường là  $4.5 \text{ m}^3/\text{người}$ . Như vậy tổng thể tích của giảng đường phải là:  $4.5 \times 120 = 540 \text{ m}^3$ . Với chiều cao giới hạn là 2.7 m, diện tích phòng sẽ là:  $540/2.7 = 200 \text{ m}^2$ . Để tiện ra vào, diện tích phòng được chọn tăng lên một chút là  $240 \text{ m}^2$ .

Chọn kích thước phòng là  $20 \text{ m} \times 12 \text{ m}$ , như vậy thể tích thực của phòng là  $240 \times 2.7 = 648 \text{ m}^3$ .

Bằng cách tra biểu đồ trong Hình 3.18, chúng ta có thể nhận thấy thời gian âm vang tối ưu tần số 500 Hz cho thính phòng không có loa điện là 0.8 s. Do

đây là thính phòng dùng cho nói chuyện, do đó không cần điều chỉnh thời gian âm vang tối ưu với các tần số thấp. Do đó, thời gian âm vang cần thiết cho mọi tần số là 0.8 s.



*Hình 4.37. Mô hình giảng đường với 2 cửa ra vào ở phía sau*

Tính tổng lượng hút âm A cần thiết cho các tần số bằng công thức Sabine:

$$A = \frac{0.16V}{T} = \frac{0.16 * 648}{0.8} = 129.6 \text{ m}^2 \quad (4.3)$$

Để tính toán lượng hút âm thay đổi và lượng hút âm cố định, chúng tôi giả định rằng giảng đường này sẽ có khoảng 2/3 số thính giả có mặt (80 người). Chọn sơ bộ tường gạch trát vữa và sơn, trần vữa xi măng, sàn vinyl, cửa bọc ván mỏng. Căn cứ dữ liệu hệ số hút âm ở Bảng 2.2 và Phụ lục A, một bảng tính tổng lượng hút âm được lập ra như sau:

Thành phần	Số lượng	125 Hz		500 Hz		2000 Hz	
		Hệ số $\alpha$	Lượng hút âm A	Hệ số $\alpha$	Lượng hút âm A	Hệ số $\alpha$	Lượng hút âm A
Người + ghế	80	0.158	12.64	0.4	32	0.436	34.88
Ghế trống	40	0.075	3	0.149	5.96	0.177	7.8
Không khí	648 m <sup>3</sup>	-	-	-	0.007	-	4.54
Tường trát, sơn	168 m <sup>2</sup>	0.02	3.36	0.02	3.36	0.04	6.72
Cửa	4.8 m <sup>2</sup>	0.3	1.44	0.1	0.48	0.1	0.48
Trần vữa xi măng	240 m <sup>2</sup>	0.2	48	0.1	24	0.04	9.6
Sàn vinyl	240 m <sup>2</sup>	0.05	12	0.05	12	0.1	24
Trừ phần ghế che lấp		-20%	-2.4	-40%	-4.8	-60%	-14.4
<b>Tổng cộng</b>			<b>78.04</b>		<b>73.00</b>		<b>72.90</b>

Bởi vì tổng lượng hút âm cần thiết là 129.6 m<sup>2</sup>, do đó phương án vật liệu nói trên không thỏa mãn và cần cải tiến theo hướng nâng cao lượng hút âm; và việc cải thiện này là khá giống nhau ở cả 3 tần số. Các cải tiến thực hiện như sau:

- Tường hậu của giảng đường nên là tường hút âm để tránh tiếng dội, do đó có thể thay tường gạch bằng một vật liệu hút âm là các tấm dăm gỗ ép. Diện tích tường hậu là 32.4 m<sup>2</sup>, trừ bớt hai cửa đi 4.8 m<sup>2</sup>;

- Cải thiện tiếp theo có thể là trải thảm trên nền bê tông để tăng lượng hút âm của nền.

		<i>Hệ số <math>\alpha</math></i> <i>125 Hz</i>	<i>A</i>	<i>Hệ số <math>\alpha</math></i> <i>500 Hz</i>	<i>A</i>	<i>Hệ số <math>\alpha</math></i> <i>2000 Hz</i>	<i>A</i>
<b>Tấm dăm gỗ ép</b>	27.6 m <sup>2</sup>	0.15		0.6		0.6	
Trừ tường gạch		-0.02		-0.02		-0.04	
		0.13	3.59	0.58	16.01	0.56	15.46
<b>Thảm trải sàn</b>	240 m <sup>2</sup>	0.1	24	0.25	60	0.33	
Trừ phần ghé		20%	-4.8	40%	-24	60%	-48
Trừ A của sàn Vinyl			-9.6		-7.2		-9.6
<b>Tổng cộng cũ</b>			<b>78.04</b>		<b>73.00</b>		<b>72.90</b>
<b>Tổng cộng mới</b>			<b>91.23</b>		<b>117.81</b>		<b>110.76</b>

Những điều chỉnh nói trên có hiệu quả nhiều ở các octave 500 Hz và 2000 Hz, nên tổng lượng hút âm hiện có hơi thiếu cân bằng. Một vài cải tiến về giải pháp vật liệu cần được thực hiện nhằm cân bằng lượng hút âm giữa các tần số và nâng cao lượng hút âm hơn nữa. Các cải tiến lần thứ hai thực hiện như sau:

- Một phần trần nhà được thay thế bởi các tấm hút âm bằng giấy bìa cứng có hệ số hút âm ở tần số 125 Hz khá lớn, giúp cân bằng tổng lượng hút âm giữa các tần số;

- Giải pháp cuối cùng là treo một số rèm vải trên các bức tường, giúp nâng cao lượng hút âm ở tần số 2000 Hz.

		Hệ số $\alpha$ 125 Hz	A	Hệ số $\alpha$ 500 Hz	A	Hệ số $\alpha$ 2000 Hz	A
Tấm trần cứng	50 m <sup>2</sup>	0.9		0.25		0.1	
Trừ trần trát vữa		-0.2		-0.1		-0.04	
Cộng		0.7	35	0.15	7.5	0.06	3
Rèm tường, thưa	32 m <sup>2</sup>	0.05		0.15		0.5	
Trừ tường ban đầu		-0.02		-0.02		-0.04	
Cộng		0.03	0.96	0.13	4.16	0.46	17.72
<b>Tổng cộng cũ</b>			<b>91.23</b>		<b>117.81</b>		<b>110.76</b>
<b>Tổng cộng mới</b>			<b>127.19</b>		<b>129.47</b>		<b>127.48</b>
Kiểm tra thời gian âm vang $T = 0.16V / A = 103.68 / A$			0.81 s		0.80 s		0.81 s

Như vậy sau 2 lần cải tiến vật liệu, thời gian âm vang thiết kế đã xấp xỉ thời gian âm vang tối ưu, giải pháp thiết kế âm học như vậy đã đạt yêu cầu.



## TÀI LIỆU THAM KHẢO CHƯƠNG 4

1. Ballou G., 2013. Handbook for sound engineers. Oxfordshire: Taylor & Francis.
2. Beranek L. L., 1962. Music, Acoustics and Architecture. New York: Wiley.
3. Beranek L. L., 2004. Concert halls and opera houses: music, acoustics, and architecture. 2nd ed. Berlin: Springer.
4. Cremer L., 1964. Die raum- und bauakustischen Maßnahmen beim Wiederaufbau der Berliner Philharmonie. Die Schalltechnik, 24(57), p. 1.
5. Egan M. D., 1988. Architectural Acoustics. New York: McGraw - Hill.
6. Fasold W. & Winkler H., 1976. Lý thuyết vật lý xây dựng trong thiết kế - Chương 5: Âm học phòng kín (Bản tiếng Đức). Berlin: Nhà xuất bản Xây dựng.
7. Gade A. C., 2007. Acoustics in Halls for Speech and Music. Berlin, Springer, pp. 301-350.
8. Kleiner M., Dalenbäck B. I. & Svensson P., 1993. Auralization-an overview. Journal of the Audio Engineering Society, 41(11), pp. 861-875.
9. Kuttruff H., 1976. Room Acoustics. London: Applied Science.
10. Kuttruff H. & Mommertz E., 2013. Room acoustics. Berlin, Springer, pp. 239-267.
11. Leonard R., Delsasso L. O. & Knudsen V. O., 1964. Diffraction of sound by an Array of Rectangular Reflective Pannels. Acoustical Society of America.
12. Meyer J., 1995. Akustik und musikalische Aufführungspraxis: Leitfaden für Akustiker, Tonmeister, Musiker, Instrumentenbauer und Architekten (Vol. 24).. Frankfurt Am Main: Bochinsky..
13. Meyer J., 2009. Acoustics and the Performance of Music. 5th ed. Berlin: Springer.
14. Nguyễn Đức Thiềm, 2007. Nguyên lý thiết kế Kiến trúc nhà dân dụng. Hà Nội: Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.

15. Nguyễn Hồng Hưng, 2017. Nguyên lý Design thị giác. TPHCM: ĐHQG TP Hồ Chí Minh.
16. Phạm Đức Nguyên, 2011. Âm học kiến trúc, âm học đô thị. Hà Nội: Nhà xuất bản Xây dựng.
17. Sabine W. C., 1922. Collected papers on acoustics. Cambridge, MA: Harvard university press.
18. Scavone G. P., 2013. Textbook: Musical Acoustics. Stanford, CA: Stanford University.
19. Szokolay S. V., 2008. Introduction to architectural science. Oxford: Elsevier Science.
20. TCXDVN, 2005. TCXDVN 335:2005 Tiêu chuẩn thiết kế nhà hát - Phòng khán giả - Yêu cầu kỹ thuật. Hà Nội: Bộ Xây Dựng.



## CÁC PHƯƠNG PHÁP MÔ HÌNH HÓA ÂM HỌC THÍNH PHÒNG

---

### TÓM TẮT NỘI DUNG CHÍNH

Phần lớn nội dung của chương được chúng tôi tập trung mô tả phương pháp mô phỏng âm học trên máy tính và hướng dẫn thực hiện phương pháp này. Đây là phương pháp đáng tin cậy, ít tốn thời gian và dễ thực hiện, nên được áp dụng rộng rãi nhất hiện nay. Một phần chúng tôi giới thiệu nguyên lý lập trình của các phần mềm âm học phòng kín với mục đích để bạn đọc tham khảo sâu. Quan trọng hơn bạn đọc cần nắm kỹ và thực hành được trình tự thực hiện một mô phỏng âm học trên máy tính. Trình tự này về cơ bản không có nhiều khác biệt giữa các phần mềm. Chúng tôi khuyến nghị đây là phương pháp chính sử dụng khi thiết kế âm học phòng.

Bạn đọc cần biết thêm kỹ thuật tạo âm thanh giả lập bằng phần mềm mô phỏng. Kỹ thuật này giúp trình diễn kết quả tính toán và mô hình hóa dưới dạng tín hiệu âm thanh 2 kênh (trái - phải) nghe được bằng loa hoặc headphone. Các chủ đầu tư không có chuyên môn về âm học rất ưa thích những kết quả cụ thể sinh động như vậy.

Cuối cùng, phương pháp dựng mô hình là phương pháp tốn kém, phức tạp và rất khó để “bắt chước” đặc điểm âm học công trình thật. Phương pháp này chỉ nên áp dụng đối với các thính phòng đặc biệt quan trọng.

Dù áp dụng phương pháp mô hình hóa nào, kiến thức cơ bản và kinh nghiệm của người thực hiện là yếu tố quyết định đến sự thành công của kết quả mô hình hóa. Nếu kết quả này được kiểm tra chéo với kết quả của các phương pháp khác thì sẽ tốt hơn.

## 5.1. TÍNH TOÁN CÁC CHỈ SỐ CHẤT LƯỢNG ÂM BẰNG CÁC MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM

Đến những năm 1980, các chỉ số chất lượng âm hầu hết đã được định nghĩa. Trong số đó, gần như chỉ có thời gian âm vang  $T$  là có thể dự đoán được trước khi công trình được xây nên. Do đó, các nhà vật lý đã cố gắng xây dựng các phương pháp dự đoán chúng. Người ta nhận ra rằng nếu kết hợp các dữ liệu âm học với các thông số kỹ thuật của thính phòng thì có thể đưa ra những nguyên tắc kinh nghiệm để ước chừng các chỉ số chất lượng âm.

Qua khảo sát hơn 50 thính phòng, Gade (1996) dùng phân tích hồi quy nhiều biến để đưa ra các mối quan hệ như trong Bảng 5.1.

**Bảng 5.1. Mối quan hệ hình dáng, kích thước phòng đến các chỉ số chất lượng âm - rút ra từ hồi quy đa biến của hơn 50 thính phòng (Gade, 1996)**

Chỉ số chất lượng âm	Mô hình hồi quy đa biến	Hệ số tương quan R	% sai khác	Sai số chuẩn
C (dB)	$-0.1 + C_{exp}$	0.76	58	1.0 dB
	$-1.4 + 0.95C_{exp} + 0.47W/H + 0.031[\text{độ dốc sàn}]$	0.83	68	0.9 dB
	$-1.2 + 1.03C_{exp} + 0.43W/H + 0.013[\text{góc cửa tường}]^*$	0.84	70	0.9 dB
	$-1.77 + 1.10C_{exp} + 0.055W + 0.027[\text{góc s.khẩu-trần}]$	0.86	74	0.8 dB
G (dB)	$-2.0 + 0.94G_{exp}$	0.91	83	0.9 dB
	$-5.61 + 1.06G_{exp} + 0.17V/n + 0.04d$	0.94	89	0.9 dB
$\Delta G$ (10m) (dB)	$-1.85 + 0.42k$	0.50	25	0.7 dB
	$-1.41 + 0.35k - 3.93 d/(HW)$	0.55	31	0.6 dB
LEF	$0.39 - 0.0061[\text{độ rộng}]^{**}$	0.70	49	0.05
	$0.37 - 0.0051[\text{độ rộng}] - 0.00069[\text{góc cửa tường}]$	0.72	53	0.05

\* Góc của tường = góc giữa 2 tường biên

\*\* Độ rộng ngay tại điểm khảo sát (khác với độ rộng trung bình  $W$ )

trong đó:

$H$  - độ cao phòng trung bình;

$W$  - độ rộng trung bình;

$V$  - thể tích phòng;

$n$  - số ghế;

$k$  - số tầng balcony;

$d$  - khoảng cách,  $C_{exp}$  và  $G_{exp}$  tính theo công thức (3.31) và (3.24).

Khi sử dụng phương pháp này, công trình có thể chưa được xây dựng, thời gian âm vang do đó có thể tính bằng công thức của Sabine hay Eyring. Ba cột bên phải của Bảng 5.1 cung cấp các thông tin cho biết mức độ chính xác của các công thức so với dữ liệu đo đạc thực tế. Khi so sánh % sai khác của các mô hình trên, người ta thấy rằng giả thuyết trường âm khuếch tán là nguyên nhân cơ bản của sự sai khác. Điều này đồng nghĩa với việc thể tích phòng và tổng lượng hút âm trong phòng là những yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng đến  $C$  và  $G$ . Tuy nhiên, các tham số khác của phòng như đề cập ở trên có thể tăng độ chính xác của các mô hình đáng kể.

## 5.2. Thiết kế trang âm phòng thính giả bằng mô phỏng trên máy tính

Phương pháp thiết kế âm học phòng dựa trên thời gian âm vang có nhiều hạn chế do dựa trên giả thuyết trường âm khuếch tán hoàn toàn. Trên thực tế trường âm trong phòng không thể đạt được mức độ khuếch tán như vậy, do đó phương pháp “thời gian âm vang” thường cho kết quả không chính xác. Mặt khác trên thực tế, thời gian âm vang tại các vị trí khác nhau trong phòng là không giống nhau, nhưng phương pháp tính thời gian âm vang cổ điển chỉ cho một giá trị  $T$  duy nhất tại mọi vị trí. Do đó các phương pháp tiếp cận mới đã được phát triển, trong đó có phương pháp thiết kế âm học dựa trên mô hình hóa trên máy tính.

Mô hình máy tính cho âm thanh trong phòng đã được đề xuất lần đầu tiên vào năm 1962 Schroeder và cộng sự và sau đó được hiện thực hóa bởi Krokstad et al. (Krokstad, et al., 1968) năm 1968 và Schroeder (Schroeder, 1973) vào năm 1973. Mặc dù các thí nghiệm mô hình âm học thu nhỏ vẫn còn là một công cụ mạnh mẽ cho đến ngày nay nhưng mô phỏng máy tính đang ngày càng chiếm một vị trí quan trọng trong thực tiễn thiết kế. Phần mềm thương mại trở nên thân thiện hơn, chính xác hơn và không kém phần quan trọng là chi phí rẻ hơn các mô hình âm

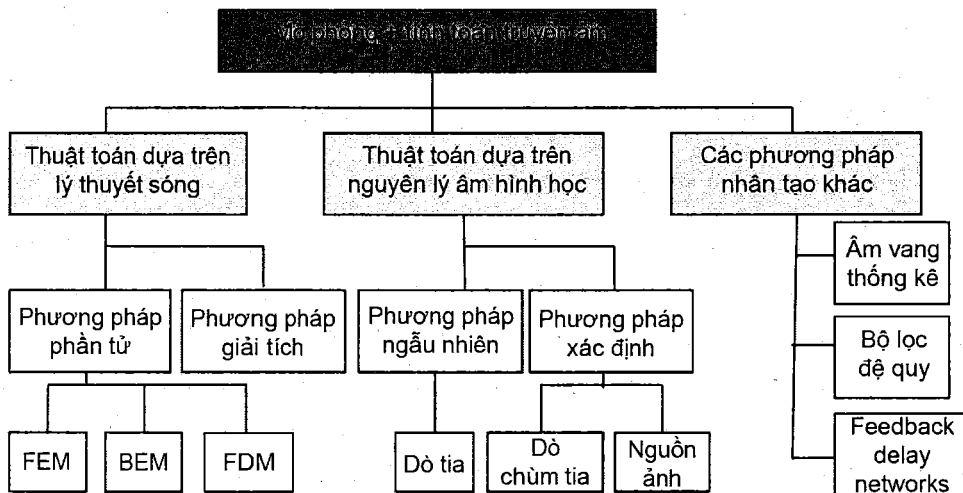
học thu nhỏ. Ngay khi không gian kiến trúc được chuyển thành một mô hình 3D trên máy tính và dữ liệu về tường, vị trí nguồn và vị trí máy thu được xác định, việc truyền âm thanh trong phòng có thể được mô phỏng khá nhanh và sửa đổi có thể được thực hiện dễ dàng mà không cần nỗ lực nhiều. Ngày nay một số gói phần mềm thương mại đang được sử dụng thường xuyên bởi các chuyên gia âm thanh cũng như các nhà nghiên cứu trên toàn thế giới như ODEON, CATT, Autodesk Ecotect, AcouSTO, QPBT, EASE...

Các mô hình âm học trên máy tính có khả năng nhận biết và xử lý các hình khối hình học 3 chiều và sự phân bố thực tế của vật liệu hút âm, tán âm trong phòng cũng như vị trí thực của nguồn âm và vị trí người nghe. Kết quả mô phỏng tính toán của máy tính cho ra nhiều thông số chất lượng âm cần thiết cũng như tạo ra các file âm thanh ‘mô phỏng’ (auralization) dùng cho đánh giá chủ quan.

So với phương pháp thiết kế “dựa trên thời gian âm vang”, phương pháp mô phỏng âm học trên máy tính thường đơn giản hơn, thân thiện, trực quan và dễ sử dụng hơn và đặc biệt giảm thiểu khối lượng tính toán, giúp người thiết kế tiết kiệm nhiều thời gian. Nhìn chung các phần mềm âm học phải có độ chính xác chấp nhận được và gần sát với thực tế, với sai số không quá 30%. Đặc biệt, các phần mềm mô phỏng âm phòng phải dự đoán được các thông số âm học quan trọng cho việc thiết kế âm thanh.

Mô phỏng âm học trên máy tính rất hữu ích không chỉ cho việc thiết kế các phòng hòa nhạc, nhà hát, mà còn cho các không gian lớn như nhà máy, văn phòng dạng mở, sân trong, các nhà ga đầu mối giao thông, nơi mà cả dự đoán âm vang, độ rõ câu và sự phân bố tiếng ồn đều cần quan tâm. Bên cạnh đó, chúng có thể được sử dụng trong âm học khảo cổ để tái tạo môi trường âm thanh ảo của các công trình cổ như nhà hát La Mã (Rindel, et al., 2006).

Trong việc mô phỏng tính toán sự lan truyền âm trong phòng, nhiều phương pháp đã được phát triển và có những ứng dụng trong những điều kiện khác nhau. Hình 5.1 giới thiệu hệ thống phân loại các phương pháp tính toán và mô phỏng quá trình truyền âm trong phòng, trong đó có nhóm phương pháp dựa vào lý thuyết sóng, lý thuyết âm hình học và các phương pháp nhân tạo khác. Phần tiếp theo sẽ giới thiệu sơ bộ các phương pháp thường được sử dụng trong mô phỏng truyền âm trên máy tính. Chi tiết về các phương pháp này có thể tìm thấy trong tài liệu (Vorländer, 2008).



**Hình 5.1.** Phân loại các phương pháp thường dùng trong tính toán truyền âm trong phòng - phỏng theo Vorländer (2008) - FEM: phương pháp phân tử hữu hạn; BEM: phương pháp phân tử biên

Các phần mềm âm học đơn giản nhất sử dụng *âm vang thống kê* để tính toán các thông số chất lượng âm. Các chương trình mô phỏng âm học truyền thống cao cấp hơn được dựa trên nguyên lý âm hình học (xem 4.3.2). Trong âm hình học, những đặc tính của trường âm thanh được đơn giản hóa thành năng lượng âm, thời gian lan truyền và hướng của tia âm. Cách tiếp cận này sẽ chính xác chừng nào kích thước của căn phòng lớn hơn nhiều lần so với bước sóng âm và dải tần số rộng được xem xét. Cách mô phỏng này có độ chính xác chấp nhận được trong các thính phòng lớn và tần số âm lớn hơn một ngưỡng nhất định.

Hai kỹ thuật chính dựa trên nguyên lý âm học hình học phải được phân biệt: "dò tia" và "ảnh nguồn". Hai kỹ thuật này thể hiện các cách tiếp cận vật lý khác nhau. Để hiểu rõ hơn cần phải nhấn mạnh điều này, vì thuật toán dò tìm tia sáng có thể được sử dụng để tính toán và xử lý các nguồn ảnh. Sự khác biệt chính giữa kỹ thuật dò tia và ảnh nguồn âm là cách thuật toán của phần mềm nhận biết năng lượng âm và cách mô phỏng năng lượng âm lan truyền (xem Bảng 5.2).

**Bảng 5.2.** Sự khác nhau giữa thuật toán dò tia và ảnh nguồn

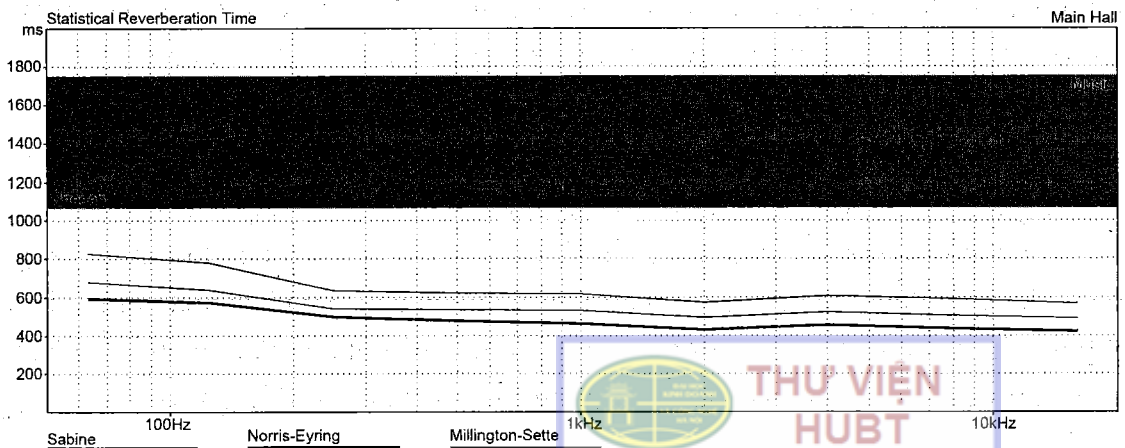
<b>Thuật toán</b>	<b>Loại</b>	<b>Năng lượng lan truyền theo khoảng cách</b>	<b>Bộ phận nhận biết năng lượng</b>
Dò tia	Ngẫu nhiên	Ngẫu nhiên bằng cách đếm	Các thể tích
Ảnh nguồn	Xác định	Xác định bởi khoảng cách	Các điểm

Gần đây, các nhà nghiên cứu đang tập trung vào việc phát triển các công cụ mô phỏng dựa trên lý thuyết sóng, có tính phức tạp cao hơn và đòi hỏi tài nguyên mạnh hơn rất nhiều, nhưng mô phỏng đúng bản chất của các hiện tượng âm học.

### 5.2.1. Phương pháp âm vang thống kê

Cách tiếp cận này không quan tâm đến hình dáng phòng, sự phân bố vật liệu âm học trong phòng, vị trí nguồn âm, đầu thu... Theo nguyên lý âm vang thống kê, giả thuyết cho rằng trường âm trong phòng là trường âm khuếch tán đều, sự phân bố vật liệu âm học là đồng đều. Do đó, các thông số chất lượng âm tính toán bởi phương pháp này không phụ thuộc vào vị trí đo trong phòng. Dựa trên các thông số đơn giản của thính phòng (thể tích, chiều cao, diện tích) và các hệ số hút âm của các bề mặt, một chương trình máy tính dễ dàng tính được thời gian âm vang - chỉ số âm học quan trọng nhất - của thính phòng theo công thức của Sabine, Eyring hay các công thức về sau. Việc tính toán thời gian giảm âm sớm EDT cũng có thể thực hiện được với cách tiếp cận này.

Hình 5.2 giới thiệu thời gian âm vang tính toán cho các tần số trong một thính phòng bằng phương pháp âm vang thống kê trên phần mềm Autodesk Ecotect<sup>®</sup>. Nhìn chung, kết quả sơ bộ này thường không chính xác, nhưng cũng giúp người thiết kế hình dung được phần nào giải pháp trang âm đã hợp lý hay chưa trước khi mô phỏng sâu hơn.

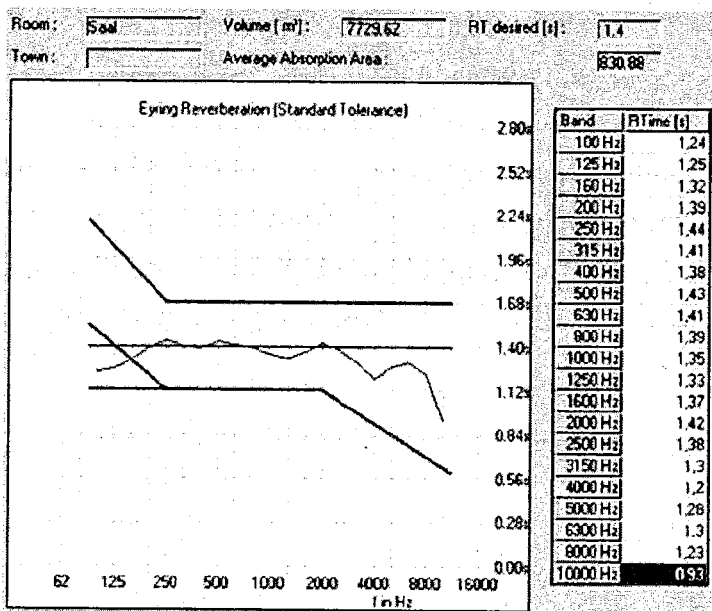


**Hình 5.2.** Thời gian âm vang  $T$  tính theo các công thức của Sabine, Eyring và Millington, tính toán bằng phần mềm Ecotect cho một thính phòng

Thông thường, một kho dữ liệu các loại vật liệu tường trần, nền cùng với các thông số kỹ thuật về âm thanh của chúng được tích hợp sẵn trong phần mềm, giúp người dùng tự lựa chọn vật liệu dễ dàng. Người dùng phải còn được phép

nhập dữ liệu trực tiếp từ sách hay kết quả đo đạc. Bởi vì hầu hết các hệ số tán xạ cần thiết không có sẵn trong sách giáo khoa một chương trình máy tính nên phần mềm cần cho phép các giá trị trên được gán theo quy tắc của kinh nghiệm.

Một tập hợp các dải thời gian âm vang tối ưu theo tần số phải có sẵn để nhập vào chương trình mô phỏng để các mô hình âm học phòng, thời gian âm vang RT60 tính toán (hoặc thực tế đo được) có thể được so sánh với các giá trị tối ưu. Chương trình sau đó sẽ chỉ ra (cho mỗi dải tần số đã chọn) thời gian đã tính toán (hoặc đã đo) so với thời gian RT60 tối ưu và liệt kê số lượng vượt quá hoặc thiếu RT60 lần cho mỗi tần số so với các giá trị mục tiêu có nằm trong phạm vi dung sai hay không.



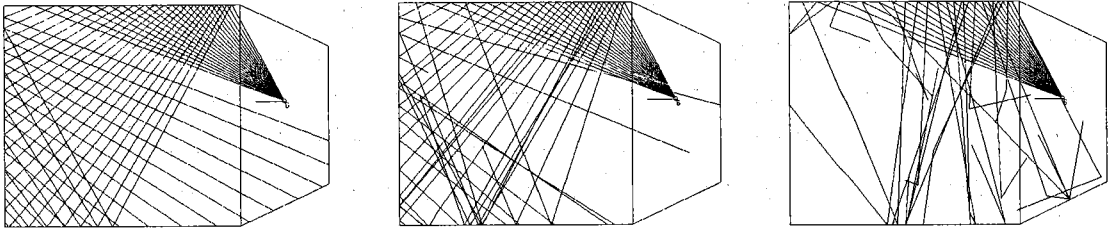
*Hình 5.3. Thời gian âm vang tính toán so với dung sai cho phép và thời gian âm vang tối ưu - phỏng theo Ballou (2013)*

### 5.2.2. Phương pháp dò tia (ray tracing method)

#### *Mô hình hóa tia âm và năng lượng âm:*

Trong phương pháp này, đặc trưng và pha dao động của sóng âm thường được bỏ qua và năng lượng âm được tính gần đúng. Phương pháp dò tia coi sóng âm là các hạt (particle) được phát ra từ nguồn âm theo các hướng. Các “hạt âm” này di chuyển trong phòng và mất năng lượng tại mỗi lần phản xạ tương ứng với hệ số hút âm của bề mặt phản xạ. Sự phản xạ tại các bề mặt một phần tuân theo quy luật âm hình học và được gọi là phản xạ gương (specular reflection) (Rindel, 2000). Đối với

các bề mặt tán xạ âm, hướng của tia phản xạ phụ thuộc vào hệ số tán xạ (scatter coefficient) của bề mặt (do người thiết kế gán cho bề mặt đó) - xem Hình 5.4. Hệ số tán xạ âm của các bề mặt khác nhau có thể tìm thấy trong tiêu chuẩn ISO-17497-1.



Hệ số tán xạ = 0

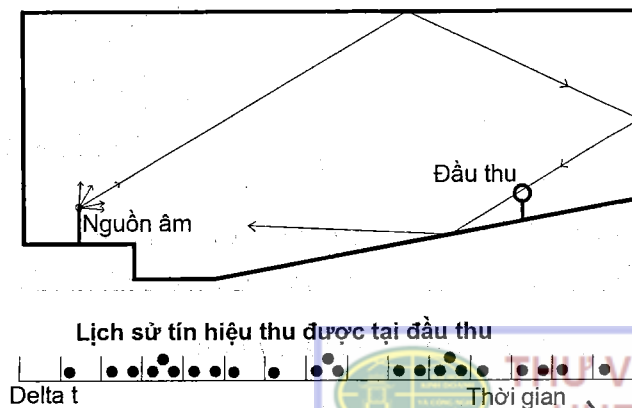
Hệ số tán xạ = 0.2

Hệ số tán xạ = 1

**Hình 5.4.** Mô hình hóa sự tán xạ âm của các bề mặt thông qua hệ số tán xạ

Số lượng tia âm theo phương pháp này có thể lên đến hàng triệu (phụ thuộc vào độ phức tạp của phòng). Tia âm được coi là tắt nếu năng lượng của nó giảm xuống thấp hơn một mức nhất định (thường được xác định bởi thời gian âm vang).

Bằng các đầu thu âm (detectors), năng lượng của hạt âm (particle) và thời gian trôi qua kể từ khi âm phát ra từ nguồn được ghi lại trong phần mềm. Số tín hiệu được ghi lại bởi đầu thu âm cho biết năng lượng âm nhận được tại vị trí đặt đầu thu (xem Hình 5.5).



**Hình 5.5.** Nguyên lý của kỹ thuật dò tia và cách thu tín hiệu âm thanh tại vị trí đầu thu - phòng theo Vorländer (2008)

### Mô hình hóa nguồn âm:

Các nguồn âm được đặc trưng bởi năng lượng âm và hướng của nguồn âm. Cả hai đều phụ thuộc vào tần số. Trong kỹ thuật dò tia, chúng ta chỉ cần cung cấp vị

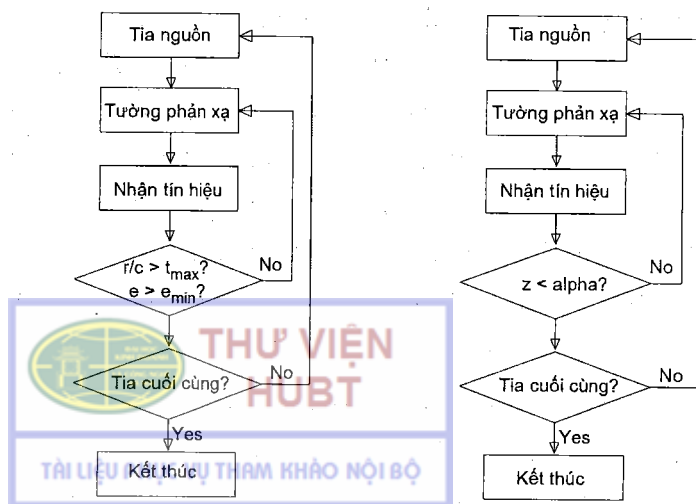
trị nguồn âm và hướng tham chiếu. Hướng của nguồn âm có thể được mô hình hóa bằng cách gán năng lượng khởi điểm trên một hướng của các hạt âm (particle) hoặc bởi sự thay đổi mật độ của các hạt.

Do sự phụ thuộc tần số vào quá trình hút âm nên việc dò tia phải được thực hiện lặp đi lặp lại cho tất cả các dải octave cần thiết, thường là các dải một octave hoặc dải 1/3 octave. Sự suy giảm năng lượng âm do không khí hút âm cũng có thể được mô phỏng bằng cách giảm năng lượng của tia theo khoảng cách di chuyển và hệ số hút âm của không khí.

### Sơ đồ thuật toán của kỹ thuật dò tia:

Bây giờ chúng ta sẽ tập trung vào các nguyên lý phát triển của thuật toán dò tia. Có hai lựa chọn để mô phỏng hiện tượng hút âm. Trong cách 1, rõ ràng là năng lượng của tia âm có thể được tính giảm bằng cách nhân năng lượng này với  $(1 - \alpha)$  - trong đó  $\alpha$  là hệ số hút âm của bề mặt phản xạ. Trong cách 2, các thuật toán sẽ được lập trình mô phỏng sự tiêu hủy ngẫu nhiên của các tia âm. Cả hai thuật toán đều mang lại kết quả giống nhau nếu giá trị tính toán lớn, nhưng chúng khác nhau về thời gian tính toán và tính chính xác.

Trong cách 1 nói trên, hạt âm bắt đầu với năng lượng  $e_0$  và được đổi theo cho đến khi thời gian đi di chuyển của nó đạt tối đa  $t_{max}$ , hoặc cho đến khi đạt tới năng lượng tối thiểu,  $e_{min}$  (xem Hình 5.6). Nếu vật liệu hút âm mạnh, năng lượng của tia âm tắt hoàn toàn, chúng ta đôi khi không cần dùng đến các tiêu chí giới hạn như  $t_{max}$  hoặc  $e_{min}$ .



**Hình 5.6.** Sơ đồ nguyên lý vòng lặp để lập trình thuật toán dò tia theo cách 1 (bên trái) và cách 2 (bên phải) - phỏng theo Vorländer (2008)

Trong cách 2, các tia âm lần lượt xuất hiện rồi biến mất. Sau mỗi lần phản xạ tại một bề mặt, điều kiện để một tia âm biến mất phụ thuộc vào một giá trị ngẫu nhiên  $z \in (0, 1)$  mà thuật toán tự gán cho tia âm đó. Nếu  $z < \alpha$ , tia âm được coi là biến mất và tia âm tiếp theo sẽ xuất hiện. Ngược lại, nếu  $z > \alpha$  tia âm sẽ tiếp tục đường đi cho đến lần phản xạ tiếp theo. Quy trình cứ như vậy, lặp đi lặp lại cho đến khi số lượng tia âm đạt đến giá trị mà người dùng yêu cầu (xem Hình 5.6).

### ***Kiểm tra sự va chạm tia âm - bề mặt phản xạ:***

Một công việc quan trọng trong vòng lặp bên trong cùng của các thuật toán dò tia (trong Hình 5.6) là kiểm tra xem một tia âm (hạt), được biểu diễn bởi một đoạn thẳng,  $i$  có va vào một mặt phẳng chứa một bức tường nào đó hay không? và nếu có thì  $ii$  điểm va chạm nằm bên trong hay bên ngoài bề mặt tường? Ở bước này, đường thẳng truyền âm và hướng lan truyền âm đã biết, do đó, một vector âm được xác định. Đa giác đại diện cho bề mặt tường cũng đã xác định.

Các đa giác dự kiến sẽ đón tia âm (các đa giác nằm ở hướng phía trước của vector âm) được chuyển đổi tọa độ vào trong một trong hệ tọa độ 2 chiều của mặt phẳng chứa đa giác đó. Giao điểm của tia âm với mặt phẳng đa giác được gọi là điểm  $O$ . Vẽ các vector từ  $O$  đến đỉnh đa giác. Đối với 2 vector tới 2 đỉnh liền kề nhau bất kỳ của đa giác, nếu vector tích của chúng cùng hướng với chúng thì điểm giao cắt nằm trong đa giác. Nếu ngược lại, điểm giao cắt  $O$  nằm bên ngoài hình đa giác. Một thuận lợi của thuật toán này là tính nhanh hơn do nó có thể được hủy tính toán đối với đa giác đó nếu vector âm có hướng ngược lại.

Nếu điểm giao cắt nằm bên trong đa giác, đường đi của tia âm phản xạ sẽ là điều kiện đầu vào cho lần va chạm tiếp theo. Trước khi xảy ra sự phản xạ, các đặc tính vật liệu tường ảnh hưởng đến âm thanh bởi sự hút âm, tán xạ và nhiễu xạ phải được người dùng cung cấp. Nếu một hạt âm chạm vào bức tường, nó sẽ mất năng lượng hoặc bị tiêu biến, và sẽ thay đổi hướng đi. Đối với các phản xạ gương, một hướng tia âm mới tuân theo định luật quang hình học được thuật toán thiết lập. Đối với các phản xạ khuếch tán, các thuật toán xác suất sẽ giúp khởi tạo các tia phản xạ khuếch tán dựa trên hệ số tán xạ âm.

### ***Mô hình hóa đầu thu (micro) trong kỹ thuật dò tia:***

Đầu thu kiểu diện hoặc kiểu cầu là những lựa chọn có thể sử dụng. Trong khi các đầu thu kiểu diện có một mặt cắt ngang phụ thuộc vào góc tới tia âm, các đầu thu kiểu cầu làm việc mà không phụ thuộc vào góc tới tia âm. Đầu thu kiểu cầu chỉ cần thông tin về tâm của khối cầu và bán kính là đủ. Mỗi tia âm cần được

kiểm tra đường đi của nó xem liệu nó có “chạm” vào đầu thu hay không. Phép kiểm tra này đòi hỏi phải tính khoảng cách từ tâm đầu thu đến vector âm. Việc này được thực hiện bằng cách xác định đường vuông góc từ đầu thu đến vector âm. Bằng cách so sánh khoảng cách này với bán kính đầu thu, một tia âm có đi qua đầu thu hay không dễ dàng được xác định. Kiểu mô phỏng đầu thu này giống như sự làm việc của một micro cầu, nhưng không phản ánh đúng một người khán giả thực sự. Những hiện tượng âm học khi âm đi trên đầu khu vực khán giả là khá phức tạp, bao gồm cả hiệu ứng nhúng chỗ ngồi (seat-dip effect) và sự tán xạ về phía trước (forward scattering) ở đầu khán giả. Hiện nay, kỹ thuật dò tia đường như chưa giải quyết được các hiện tượng này khi mô hình hóa đầu thu. Do đó, khu vực khán giả ngồi với những đặc điểm riêng sẽ được mô hình hóa riêng và đầu thu thì chỉ ở dạng đơn giản như trình bày trên.

***Phương pháp hiển thị kết quả mô phỏng năng lượng âm tại vị trí đầu thu:***

Tại mỗi lần tia âm “chạm” vào đầu thu, năng lượng âm, thời gian nhận và hướng của tia xuất hiện được lưu trữ trong một chuỗi dạng biểu đồ được gọi là xung đáp ứng của năng lượng âm (xem khái niệm xung đáp ứng ở mục 3.1.1). Xung đáp ứng này phải có một tần suất lấy mẫu cho phép độ phân giải thời gian đủ cao, mặt khác khoảng cách vi phân phải đủ lớn. Độ phân giải thời gian phù hợp thường được dùng là mili giây (xem hình 5.7). Với cách này, một số thông số chất lượng âm có thể tính toán dễ dàng (Thời gian âm vang, độ rõ, độ mạnh yếu của âm...), nhưng các hiệu ứng âm nghe 2 tai thì không tính được (ấn tượng không gian...). Đồng thời, phương pháp này không thể đáp ứng được yêu cầu về tần suất lấy mẫu phù hợp cho xử lý tín hiệu âm thanh và tạo âm thanh giả lập (auralization) (xem 5.2.7).



**Hình 5.7.** Xung đáp ứng nhận được của phương pháp dò tia.  
 Trên: năng lượng âm của các dải tần số; dưới: năng lượng âm trên thang đo logarithm của một dải tần số - theo Vorländer (2008)

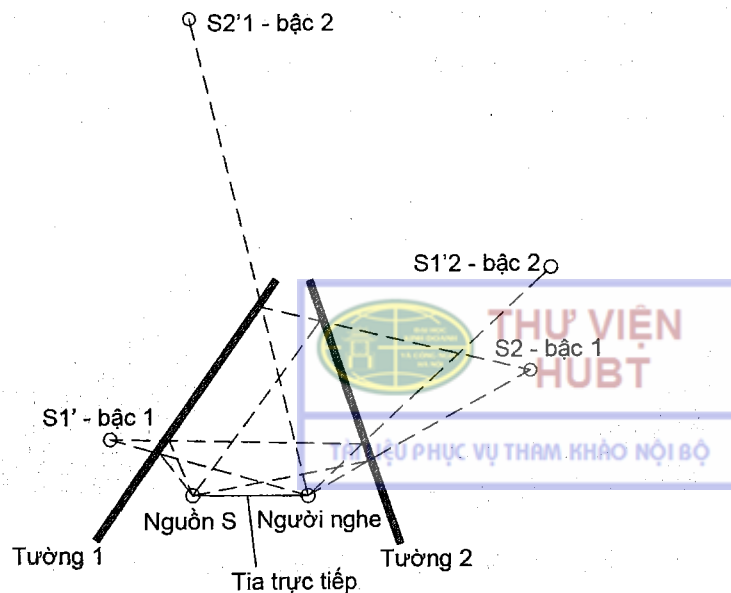
Có thể có ý kiến cho rằng việc tạo âm thanh giả lập thông qua kỹ thuật dò tia ngẫu nhiên có thể đạt được với các máy tính mạnh hơn. Tuy nhiên, đây không phải là một mục tiêu hợp lý vì việc dò tia chỉ là một sự bắt chước tương đối hiện tượng truyền sóng âm, trong đó pha dao động của sóng âm, giao thoa, cộng hưởng sóng không được xét đến.

Phương pháp dò tia đã được phát triển lần đầu tiên cách đây đã 30 năm và mục đích ban đầu chỉ là xem đường đi của các tia âm như thế nào (như Hình 3.11). Về sau, phương pháp này ngày càng hoàn thiện, và được dùng để tính toán các thông số năng lượng âm, thời gian âm vang... Tuy nhiên rất khó để đạt được độ chính xác cao bằng phương pháp dò tia (Rindel, 2000).

Phương pháp dò tia có thể có những biến thể, nhưng không phổ biến lắm như: dò chùm tia (beam tracing), dò chùm tia hình nón (cone tracing), dò chùm tia hình kim tự tháp (pyramid tracing)...

### 5.2.3. Phương pháp ảnh nguồn âm (image source method)

Phương pháp ảnh nguồn âm dựa trên nguyên lý rằng trong các phản xạ gương, tia phản xạ có thể được xác định bằng cách xác định ảnh của nguồn âm đối xứng qua bề mặt phản xạ (nguyên lý âm hình học). Trong một phòng hình hộp chữ nhật, việc xác định tất cả các ảnh nguồn âm (cho tới bậc phản xạ nào đó) là không khó khăn (Hình 5.8).



**Hình 5.8.** Nguyên lý của phương pháp ảnh nguồn âm - phỏng theo Ballou (2013)

Từ đó, có thể suy ra rằng trong một phòng có thể tích  $V$ , sau một khoảng thời gian  $t$  khi âm phát ra, số lượng ảnh nguồn âm là:

$$n_{\text{image-sources}} = \frac{4\pi c^3}{3V} t^3 \quad (5.1)$$

Đây cũng là một sự ước lượng số phản xạ đến vị trí nhận âm (receiver) sau thời gian  $t$  tính từ khi âm phát ra, và theo lý thuyết xác suất thì công thức này vẫn đúng với mọi hình dáng phòng.

Với phòng có  $N$  bề mặt phản xạ, sẽ có  $N$  ảnh của nguồn âm cho phản xạ bậc 1, và mỗi ảnh này sẽ có  $(N - 1)$  ảnh cho phản xạ bậc 2. Vậy sau lần phản xạ thứ  $i$  số lượng ảnh nguồn âm sẽ là:

$$n_{\text{image-sources}} = 1 + \frac{N}{N-2} \left( (N-1)^i - 1 \right) \approx (N-1)^i \quad (5.2)$$

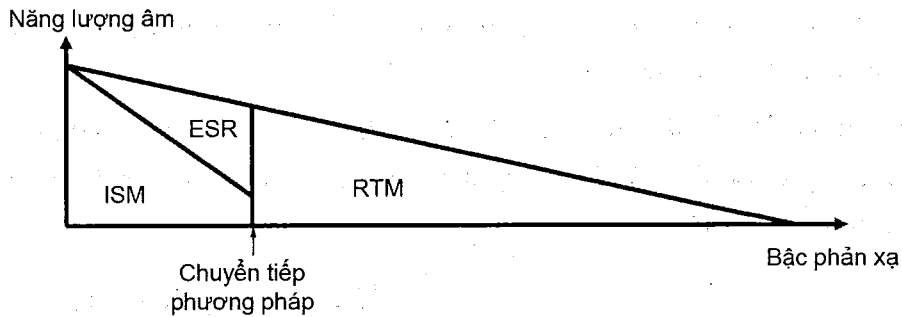
Có thể thấy số ảnh nguồn âm tăng lên theo lũy thừa 3 của thời gian, do đó, sau một khoảng thời gian ngắn số lượng ảnh tăng lên quá lớn khiến việc tính toán của máy tính không thể thực hiện được nữa. Ví dụ: với một phòng  $15000 \text{ m}^3$  với 30 bề mặt, độ dài trung bình của tia phản xạ sẽ là 16 m. Như vậy muốn tính sự phản xạ âm trong quãng thời gian 600 ms, bậc phản xạ thứ 13 phải được xét đến. Theo công thức (5.2), số lượng ảnh nguồn âm có thể lên tới  $10^{19}$ , một giá trị quá lớn cho tính toán. Chính vì lý do đó phương pháp ảnh nguồn âm chỉ dùng cho các phòng có hình hộp chữ đơn giản hay trường hợp bậc phản xạ nhỏ là đủ cho tính toán, ví dụ trong thiết kế hệ thống loa trong một phòng âm (không có âm phản xạ). Theo kinh nghiệm, để có thể áp dụng được phương pháp này, mô hình âm học nên có ít hơn 50 bề mặt phản xạ ( $N < 50$ ) và bậc phản xạ  $i < +6$ . Đối với mô hình âm học lớn hơn và phức tạp hơn, các phương pháp khác sẽ chiếm ưu thế.

#### 5.2.4. Các phương pháp khác

##### *Phương pháp lai:*

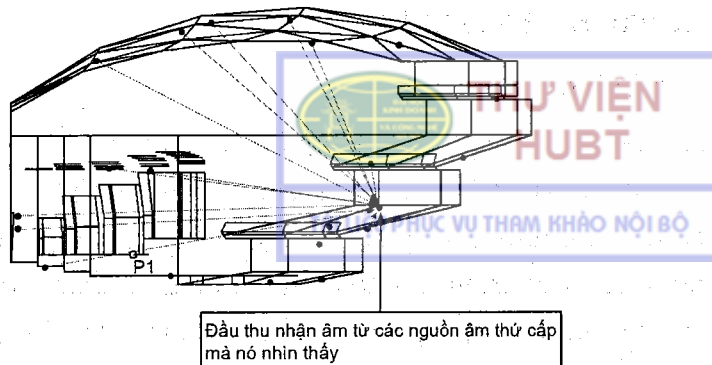
Những hạn chế của các phương pháp cơ bản nói trên dẫn đến sự phát triển các phương pháp lai với khả năng tận dụng các đặc tính tốt nhất của hai phương pháp cũ. Về nguyên tắc, phương pháp lai kết hợp 2 hay nhiều phương pháp khác nhau ở các giai đoạn của quá trình tính toán nhằm tăng độ chính xác và giảm thời gian tính. Chi tiết của phương pháp này khá phức tạp, chỉ phù hợp cho những nhà nghiên cứu chuyên sâu. Bạn đọc có nhu cầu có thể tham khảo các tài liệu (Vorländer, 1989; Naylor, 1993).

Ví dụ trong phần mềm âm học ODEON, đối với những âm phản xạ sớm kỹ thuật dò tia được sử dụng để phát hiện các nguồn ảnh nào phù hợp với một nguồn âm cho sẵn nào đó. Do đó một số lượng lớn các nguồn ảnh có tiềm năng, nhưng không phù hợp sẽ được lược bỏ bởi kỹ thuật dò tia; theo cách này sự kết hợp của hai phương pháp tiết kiệm thời gian tính toán (xem Hình 5.9).



**Hình 5.9.** Phương pháp lai trong phần mềm ODEON phiên bản 2011 (ISM: phương pháp ảnh nguồn âm; ESR: phương pháp tán âm sớm; RTM: phương pháp dò tia. Tất cả các phương pháp có thể chồng lấp về thời gian)

Năm 1992, “phương pháp Nguồn thứ cấp” được ODEON phát triển như là một mô hình lai để được hưởng lợi từ việc kết hợp kỹ thuật dò tia với phương pháp nguồn thứ cấp mới này để tính toán chính xác hơn các phản xạ âm trễ. Các tia âm mang năng lượng âm thanh, bị giảm năng lượng sau mỗi lần phản xạ theo hệ số hấp thụ âm của bề mặt. Các nguồn thứ cấp sẽ được đặt tại mỗi điểm phản xạ trong quá trình dò tia. Mỗi đầu thu âm trong phòng thu thập thông tin về năng lượng âm phát ra từ tất cả các nguồn thứ cấp nhìn thấy trong phòng. Kết hợp với phương pháp tán xạ dựa trên vector, phương pháp này đã được chứng minh là rất hiệu quả, đặc biệt là trong các phòng có đặc điểm hình học phức tạp (xem Hình 5.10).



**Hình 5.10.** Nguyên lý làm việc của phương pháp nguồn thứ cấp trên ODEON

### **Phương pháp dựa trên lý thuyết sóng:**

Gần đây, có nhiều nghiên cứu nhằm tính toán một cách toàn diện trường âm trong phòng dựa trên lý thuyết sóng - sử dụng các phương pháp tính như phần tử hữu hạn (finite-element method) - xem (Sakamoto, et al., 2006), sai phân hữu hạn (finite difference method) hoặc phương pháp phần tử biên (boundary-element method). Các phương pháp này có khả năng áp dụng cho cả các phòng có hình khối phức tạp, trong đó pha dao động của sóng và đặc biệt hiện tượng tán xạ đều có thể được xử lý tính toán. Bằng cách dõi theo sự lan truyền sóng âm trong phòng, các biểu đồ xung đáp ứng (impulse response) của âm tại vị trí thu nhận âm được tạo ra, cung cấp các thông tin về hướng tia âm tới, độ trễ và mức âm theo tần số của từng tia âm đến vị trí thu nhận âm. Từ những thông tin này, các chỉ số chất lượng âm trong phòng (như đề cập trong phần 3.2) đều có thể tính được.

#### **5.2.5. Đặc điểm chung của các phương pháp**

Các phần mềm âm học dù dựa trên nguyên lý dò tia hay ảnh nguồn âm đều cần biết được đặc tính hướng phát của nguồn âm, đặc tính âm học của các bề mặt phản xạ âm thanh trên đường từ nguồn âm tới vị trí nhận âm. Do đó, trong các phần mềm mô phỏng âm học, thư viện (hay bộ sưu tập) các loại vật liệu âm học, các loại nguồn âm phổ biến (giọng nói, âm thanh của các loại nhạc cụ), các thiết bị âm thanh điện tử như loa, micro thu âm là hết sức quan trọng và cần thiết. Kèm theo đó là đặc tính về hướng phát, mức năng lượng âm, dải tần số, độ trễ... của chúng cũng phải được cung cấp.

Sự đơn giản hóa và mô hình hóa các bề mặt là một trong những nguyên lý quan trọng trong mô phỏng âm học. Các bề mặt phức tạp như khu vực khán giả ngồi, khu vực hồ nhạc, khu vực trần sân khấu... cần được đơn giản hóa thành các bề mặt phẳng có các đặc tính âm học tương đương hoặc gần giống.

Các chương trình mô phỏng âm học hiện nay đang sử dụng hệ số hút âm, tán xạ dựa trên kết quả đo đạc trong phòng vang, do đó chúng là các hệ số độc lập với hướng tia âm tới bề mặt. Điều này không hoàn toàn đúng vì trên thực tế, một số bề mặt chỉ nhận tia âm tới từ một hướng nhất định, và cần hệ số hút âm / tán xạ âm tương ứng với góc tới đó. Những giá trị này chỉ có thể có thông qua đo đạc thực tế và chưa có trong các sách hay tài liệu phổ biến.

Hiện tượng không khí hút âm (hay âm thanh bị giảm yếu khi lan truyền trong không khí) cũng cần được xem xét đưa vào các thuật toán mô phỏng truyền âm.

Hiện tượng khuếch tán âm, hiện tượng nhiễu xạ hiện vẫn đang ở trong giai đoạn nghiên cứu trong các phương pháp dựa trên lý thuyết sóng như FEM, FDM, BEM...

Hầu hết các chương trình mô phỏng âm học hiện nay đều có thể tính toán biểu đồ suy giảm năng lượng âm theo thời gian tại một vị trí bất kỳ trong phòng (hay tính toán xung đáp ứng của năng lượng âm). Đồng thời, các chương trình cũng có thể ghi nhận năng lượng âm trung bình / năng lượng âm đến từ bên trái và bên phải / năng lượng âm rơi trên mặt ngang... Đây là cơ sở để các chương trình này dự đoán được hầu hết các chỉ số chất lượng âm quan trọng như thời gian âm vang RT60, EDT, độ rõ C<sub>50</sub>, C<sub>80</sub>, G, LEF,  $ST_{early}$  và  $ST_{late}$ , tiếng dội, thời điểm trọng tâm...

### 5.2.6. Trình tự thực hiện một mô phỏng âm học trên máy tính

Có thể tạm chia một quá trình mô phỏng âm học thính phòng trên máy tính cơ bản thành 4 bước như sau:

**Bước 1:** Dựng hình mô hình công trình trong không gian 3 chiều trên một phần mềm CAD.

Trong mô phỏng máy tính, hình dạng hình học của phòng được tái hiện bằng mô hình 3 chiều CAD. Do đó, các mô hình kiến trúc 3 chiều tạo ra bởi các KTS có thể được xuất (export) sang các phần mềm mô phỏng âm thanh một cách dễ dàng. Tuy nhiên, các mặt cong của mô hình phải được chia nhỏ thành nhiều mặt phẳng ghép lại, đồng thời nhất thiết phải đơn giản hóa các chi tiết kiến trúc đưa ra bởi KTS. Ngoài ra, nhà thiết kế âm học có thể xây dựng mô hình công trình trực tiếp trên phần mềm mô phỏng âm học bằng cách nhập tọa độ x, y, z của các đỉnh của các bề mặt. Tất nhiên cách này tốn nhiều thời gian hơn, nhưng có thể áp dụng cho mọi trường hợp và có thể được hỗ trợ bởi các phần mềm thông minh.

Trong bước này, các chi tiết kiến trúc bên trong thính phòng cần mô phỏng nên được phân chia thành các lớp hay nhóm (layer - group) để tiện cho việc gán thuộc tính ở bước tiếp theo.

Để thực hiện các thuật toán được mô tả trong phần mềm, hình học phòng, các nguồn âm thanh và các đầu thu âm phải được định nghĩa là các đối tượng toán học. Sự phức tạp của mô hình có thể rất cao, đặc biệt khi nó được nhập từ một phần mềm chuyên thiết kế kiến trúc. Những mô hình này bao gồm các chi tiết nhỏ như bậc cầu thang hoặc thậm chí các chi tiết hình học nhỏ hơn như thanh lan

can. Tuy nhiên, trên quan điểm âm học, kiểu mô hình này sẽ không chỉ quá lớn cho khả năng của bộ nhớ máy tính và tạo các đa giác phức tạp, gây lỗi tính toán. Đặc tính âm thanh của các bề mặt được mô phỏng dựa trên sự hút âm và tán âm, và các nguyên lý vật lý của hiện tượng phản xạ và tán xạ âm được định nghĩa rõ ràng. Các vật thể hoặc các bề mặt lượn sóng có kích thước không lớn so với bước sóng âm, phải được đưa ra khỏi mô hình âm học CAD và được thay thế bởi các bề mặt phẳng với các tính chất âm học tương đương. Điều này cũng đúng đối với trường hợp mô phỏng ghế và khán giả chỗ ngồi, cho đèn và tay nắm cửa... (Vorländer, 2008)

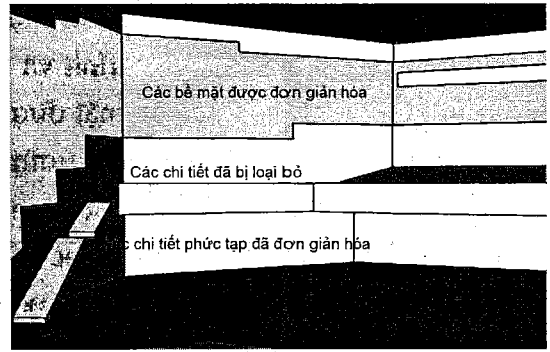
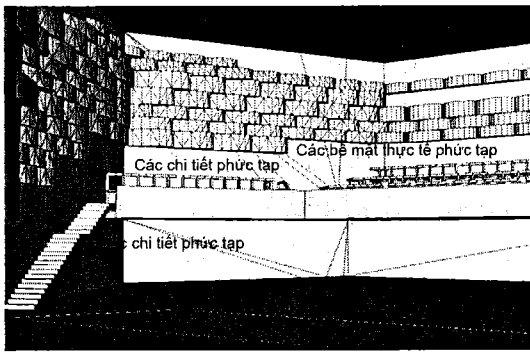
Theo nguyên tắc chung, chỉ nên vẽ bề mặt phòng và nội thất với độ phân giải 0.5 m, tương ứng với bước sóng của tần số khoảng 700 Hz. Dưới tần số đó, các bề mặt nhỏ phải được mô phỏng dưới dạng đa giác phẳng, phản xạ gương các tia âm. Còn ở trên tần số đó, các bề mặt có kích thước nhỏ hơn 0.5 m có thể mô phỏng như các vật thể tán âm một phần. Tuy nhiên, âm thanh bị phản xạ khuếch tán vẫn chiếm ưu thế ở các tần số cao, ngoại trừ các bức tường hoặc trần rất lớn ( $> 10$  m). Lý do duy nhất để mô phỏng các bề mặt có độ phân giải nhỏ ( $< 0.5$  m) là nghiên cứu chi tiết về dải tần số có bước sóng nhỏ so với 0.5 m, ví dụ:  $\lambda = 5$  cm. Tức là, chỉ các tần số khoảng 7 kHz trở lên được xem xét. Vì nhiều lý do, những trường hợp rất đặc biệt này hiếm khi gặp trong thực tế, cụ thể là:

- Những âm thanh của các nguồn âm tự nhiên như giọng nói, nhạc cụ... thường có dải tần số thấp hơn 7 kHz;

- Trong trường hợp tín hiệu băng rộng, hiện tượng âm che lấp sẽ khiến chúng ta không thể nghe được các chi tiết của mức âm bé ở tần số cao;

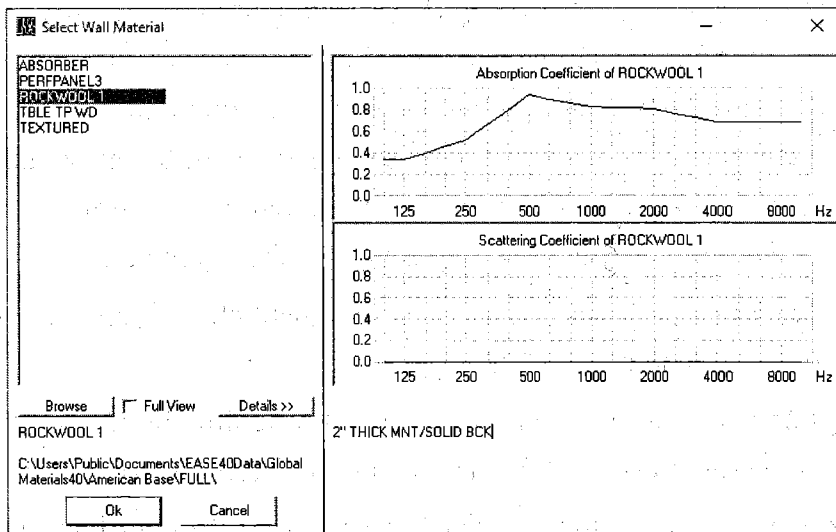
- Độ chính xác của mô hình mô phỏng không đủ để đảm bảo kết quả nằm trong giới hạn độ tin cậy chấp nhận được.

Cuối cùng, bề mặt căn phòng phải được xấp xỉ bằng các bề mặt đơn giản, điển hình là bởi các mặt phẳng, hay các đa giác lồi (ví dụ như hình tam giác). Về mặt nguyên tắc có thể sử dụng bề mặt có bậc cao hơn (hình trụ, hình cầu, hình parabol,...). Tất cả các bề mặt nhỏ nằm trong một mặt phẳng chung có thể coi là một "bức tường". Do đó, một bức tường có thể được tạo thành từ nhiều vật liệu bề mặt (xem Hình 5.11). Mặt phẳng là sự đơn giản hóa rất hiệu quả đối với tường cong lồi, vì nó làm tăng tốc các tính toán tốn nhiều thời gian. Quy tắc này không có hạn chế thực tế nào trong việc mô hình hóa hình dạng của một căn phòng.



**Hình 5.11.** Sự đơn giản hóa một mô hình 3D CAD thành một mô hình âm học sử dụng các mặt phẳng - phỏng theo Vorländer (2008)

**Bước 2:** Một khi việc xây dựng hình khối hình học trên máy tính đã xong, hệ số hút âm ứng với mỗi dải tần số octave, hệ số tán xạ âm, hệ số khuếch tán âm sẽ được gán cho tất cả các bề mặt trong phòng (xem Hình 5.12).



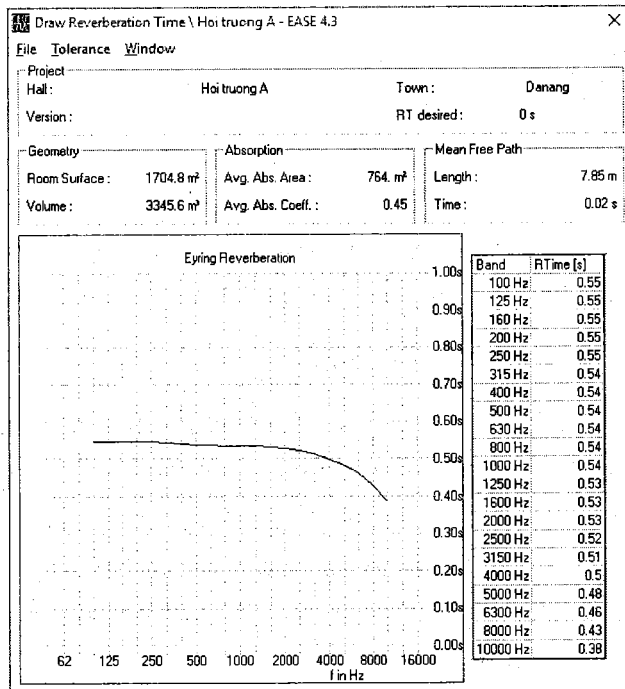
**Hình 5.12.** Giao diện gán vật liệu hút âm cho một bề mặt trong phần mềm EASE 4.3

Các hệ số hút âm và tán xạ âm của vật liệu và kết cấu có thể có sẵn trong phần mềm, hoặc tìm thấy trong Phụ lục A, hoặc chúng có thể được lấy từ các kết quả thí nghiệm cụ thể. Hầu hết các hệ số hút âm tương ứng với điều kiện trường âm khuếch tán bởi vì chúng được tính toán từ các phép đo trong phòng vang (ISO 354). Do đó, trong các phòng cung cấp trường âm khuếch tán gần đúng, các hệ số hút âm này làm việc khá chính xác, đặc biệt là trong phần âm vang kéo dài của các phản xạ bậc cao. Tuy nhiên, tổn thất năng lượng của các phản xạ đầu tiên (ở các góc tới xác định cụ thể) gây ra bởi hệ số hút âm sẽ không được tính toán chính xác. Tuy nhiên,

các sai số này không đáng kể. Trong trường hợp phòng được mô phỏng có hình dáng đặc biệt như quá dài, đường hầm, hành lang... thì hệ số hút âm tương ứng với các góc tới tia âm cụ thể cần được đưa vào phần mềm mô phỏng.

Bên cạnh đó, các đặc trưng của nguồn âm và đầu thu nhận âm (công suất và hướng tương ứng với các tần số, vị trí và phương vị) cũng phải được nhập vào chương trình.

Sau bước này, một số phần mềm cho phép kiểm tra tổng lượng hút âm và ước lượng thời gian âm vang theo công thức Sabine hoặc Eyring, giúp người thiết kế có quyết định thực hiện mô phỏng hay không, hay quay lại điều chỉnh vật liệu ngay (xem Hình 5.13). Một số phần mềm dùng phương pháp dò tia có thể giúp người thiết kế quan sát đường đi của các tia âm, sự làm việc của các bề mặt phản xạ... và có thể điều chỉnh nếu cần.

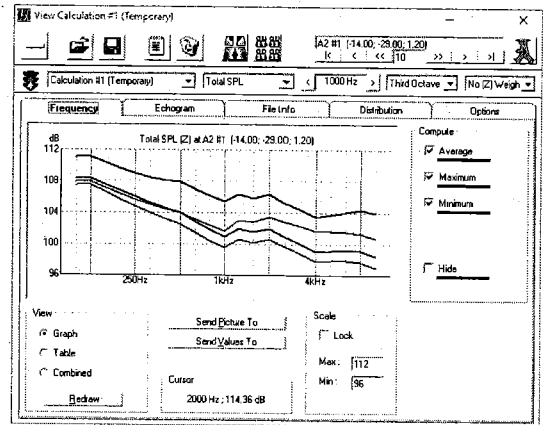
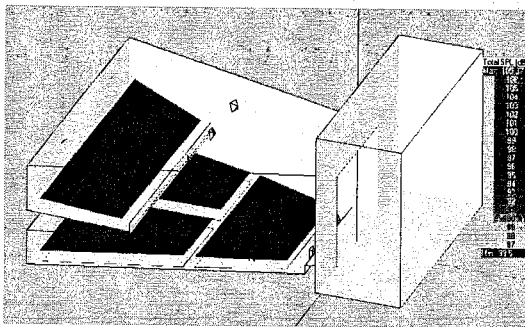


**Hình 5.13.** Các thông số cơ bản gồm thời gian âm vang (Eyring), diện tích bề mặt, tổng lượng hút âm, chiều dài tia âm tự do trung bình dự đoán bởi EASE 4.3

Trong một số phần mềm, người thiết kế còn phải định nghĩa một hệ lưới để áp lên các bề mặt cần tính toán chất lượng âm. Ví dụ: một hệ lưới phủ lên khu vực ghế ngồi khán giả, để phần mềm có thể hỗ trợ tính toán sự phân bố các đại lượng âm học trên toàn bộ khu vực này. Một số phần mềm âm học khác như EASE 4.3 lại tự động làm việc này.

**Bước 3:** Thực hiện mô phỏng. Kết quả tính toán sẽ được máy tính cho ra sau một khoảng thời gian rất ngắn - thường trong vòng vài phút đến một vài giờ đồng hồ - tùy theo mức độ phức tạp của mô hình và các thiết lập độ chính xác.

**Bước 4:** Đọc và xử lý kết quả, điều chỉnh mô hình và các thông số mô phỏng nếu cần để mô phỏng lại. Tùy theo phần mềm, các kết quả có thể được trình bày ở dạng bảng số liệu, dạng biểu đồ, hay dạng biểu đồ màu trực quan trên nền mô hình 3D của thính phòng (xem ví dụ Hình 5.14).



**Hình 5.14.** Một ví dụ kết quả mô phỏng phân bố mức áp suất âm ở 1000 Hz và áp suất âm chi tiết tại vị trí đầu thu A2 #1 cho bởi phần mềm EASE 4.3

### 5.2.7. Âm thanh giả lập (Auralization)

Hãy thử tưởng tượng bạn vừa là nhà thiết kế kiến trúc và bạn vừa hoàn thành một phương án kiến trúc của một phòng hòa nhạc. Bạn muốn nghe âm thanh của một chiếc violon trên sân khấu phát ra sẽ như thế nào một vị trí (ví dụ: tại hàng ghế thứ 10 bên trái sát tường biên) trong thính phòng bạn vừa thiết kế. Điều này là không thể thực hiện được đến tận năm 1999 khi kỹ thuật tạo âm thanh giả lập (auralization) được phát minh.

Âm thanh giả lập (auralization) là kỹ thuật tạo ra những file âm thanh “nghe được bằng tai” từ các dữ liệu số (từ mô phỏng, hoặc từ đặc, hoặc tổng hợp được) (Vorländer, 2008). Các âm thanh giả lập cho phép các kiến trúc sư và khách hàng, chủ đầu tư nghe và đánh giá chất lượng các âm thanh trong thính phòng của các phương án thiết kế, từ đó chọn được giải pháp hợp thiết kế lý nhất. Các âm thanh giả lập nghe được như vậy sẽ thuyết phục và cụ thể hơn nhiều so với việc các nhà thiết kế thuyết minh các con số tính toán phức tạp của họ cho chủ đầu tư. Do đó, người thiết kế phải hết sức cẩn trọng trong việc đảm bảo độ

trung thực của âm thanh giả lập. Quá trình tạo âm thanh giả lập cấu trúc thường được tiến hành qua các bước sau:

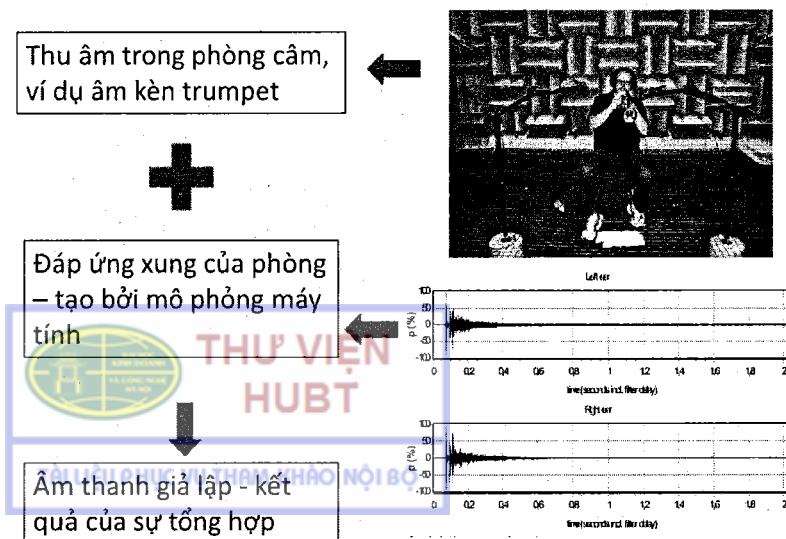
- Thu âm trong môi trường không có âm vang (thường thực hiện trong “phòng câm”) của loại nhạc cụ hay âm thanh cần đánh giá (bước 1).

- Mô hình hóa công trình - đối tượng nghiên cứu ở dạng 3D bằng các chương trình máy tính CAD (bước 2).

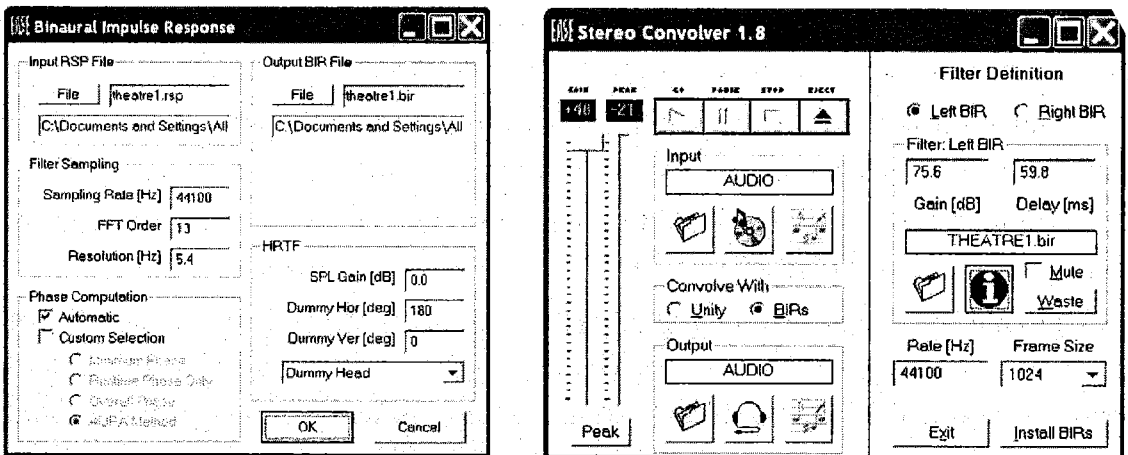
- Mô phỏng trường âm trong phòng để thu nhận và xác định chính xác đặc tính âm học của phòng và đặc tính của âm thanh tại vị trí cần khảo sát trong thính phòng (kết quả thể hiện bởi biểu đồ xung đáp ứng song âm cho hai tai của phòng - binaural impulse response - xem Hình 5.17) (bước 3).

- Xử lý và kết hợp (convolution) tín hiệu âm thanh thu được ở bước 1 với xung đáp ứng ở bước 3 bằng một chương trình máy tính (convolver) (Hình 5.16), và sau cùng là sản xuất các file âm thanh - thường có định dạng WAV (bước 4). Các “convolver” thường được tích hợp trong phần mềm mô phỏng âm học phòng.

Các file âm thanh ở bước 4 có thể nghe được bằng cách phát qua loa hoặc tốt nhất là nghe bằng tai nghe (headphone) để trải nghiệm sự khác biệt về âm đến hai tai. Tất nhiên việc tạo âm thanh giả lập phải tạo ra một tập tin song âm binaural (tín hiệu âm thanh đến 2 tai không giống nhau - như chúng ta ngồi nghe trong một không gian thực) ở định dạng WAV hoặc các định dạng tập tin âm thanh khác mà máy tính sử dụng dễ dàng. Hình 5.15 giới thiệu một quá trình sản xuất âm thanh giả lập và cho thấy bước thu âm của kèn trumpet trong một phòng câm.



Hình 5.15. Quá trình sản xuất âm thanh giả lập



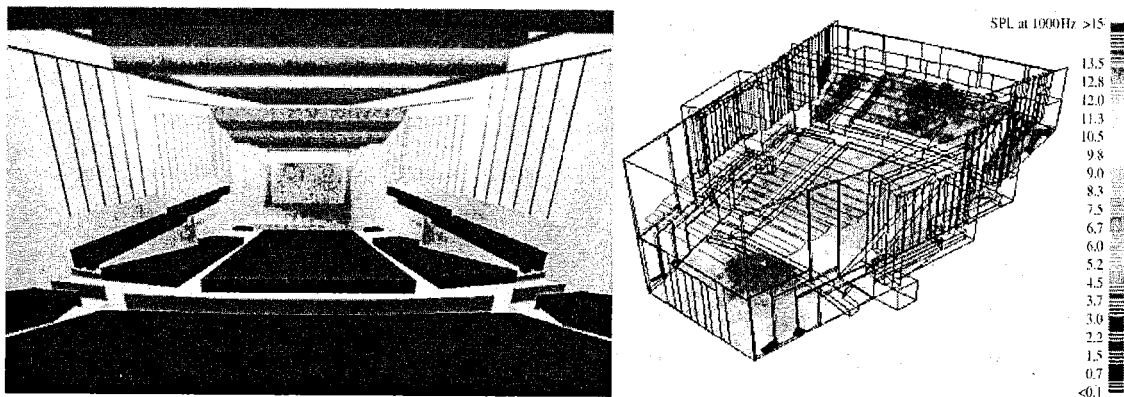
*Hình 5.16. Các giao diện xử lý và kết hợp tín hiệu sản xuất âm giả lập của phần mềm âm học EASE 4.3*

Như vậy, để có thể có được âm thanh giả lập của một thính phòng, yếu tố bắt buộc cần phải có là xung đáp ứng định dạng song âm (binaural) của trường âm trong phòng. Ở giai đoạn thiết kế thính phòng, xung đáp ứng này chỉ có thể có được thông qua mô phỏng trường âm. Hầu hết các phần mềm mô phỏng trường âm trong thính phòng đều có thể tạo được xung đáp ứng này.

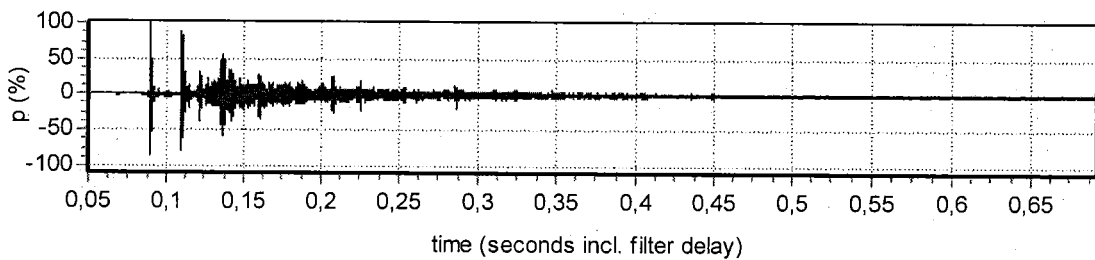
### 5.2.8. Những ưu điểm của phương pháp mô phỏng âm học trên máy tính

Trong thiết kế âm học, rõ ràng là các mô hình âm học máy tính linh hoạt hơn, nhanh hơn và rẻ hơn rất nhiều so với mô hình thu nhỏ của công trình. Với một mô hình máy tính, người thiết kế có thể dễ dàng điều chỉnh hình khối kiến trúc, thay đổi vật liệu, kết cấu hút âm và đặc tính hút âm của chúng sao cho đạt được kết quả mong muốn. Một mô hình máy tính cho ra kết quả rất nhanh, thường thì chỉ sau vài giờ làm việc. Không chỉ có vậy, kết quả mô phỏng có thể nhìn thấy và phân tích một cách hết sức trực quan do chúng chứa đựng nhiều thông tin hơn kết quả đo đạc trong các mô hình thu nhỏ với các đầu ghi âm mini.

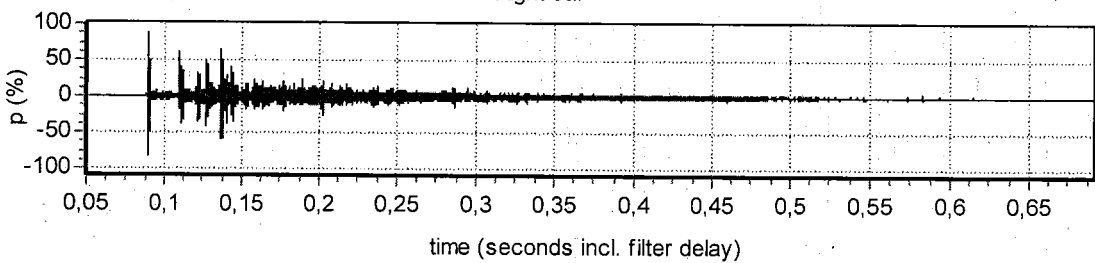
Hầu hết các chương trình tính toán có thể chia lưới phủ lên toàn bộ khu vực phòng và mã hóa kết quả tính toán ở từng ô lưới dưới dạng màu sắc, do đó kết quả tính toán có thể được biểu diễn dưới dạng đồ họa rất dễ hình dung và phân tích. Ví dụ: người dùng có thể quan sát sự phân bố của mức âm, mức áp suất âm, độ rõ, thời gian âm vang trong toàn bộ khu vực ghế ngồi thông qua màu sắc (xem Hình 5.17). Ngoài ra, nhiều tính năng khác cho phép in các kết quả tính toán dưới dạng biểu đồ, xung đáp ứng... và cung cấp dữ liệu cho việc tạo âm thanh giả lập (auralization - đã được trình bày trong phần 5.2.7).



Left ear



Right ear



Odeon©1985-2011 Licensed to: Odeon A/S

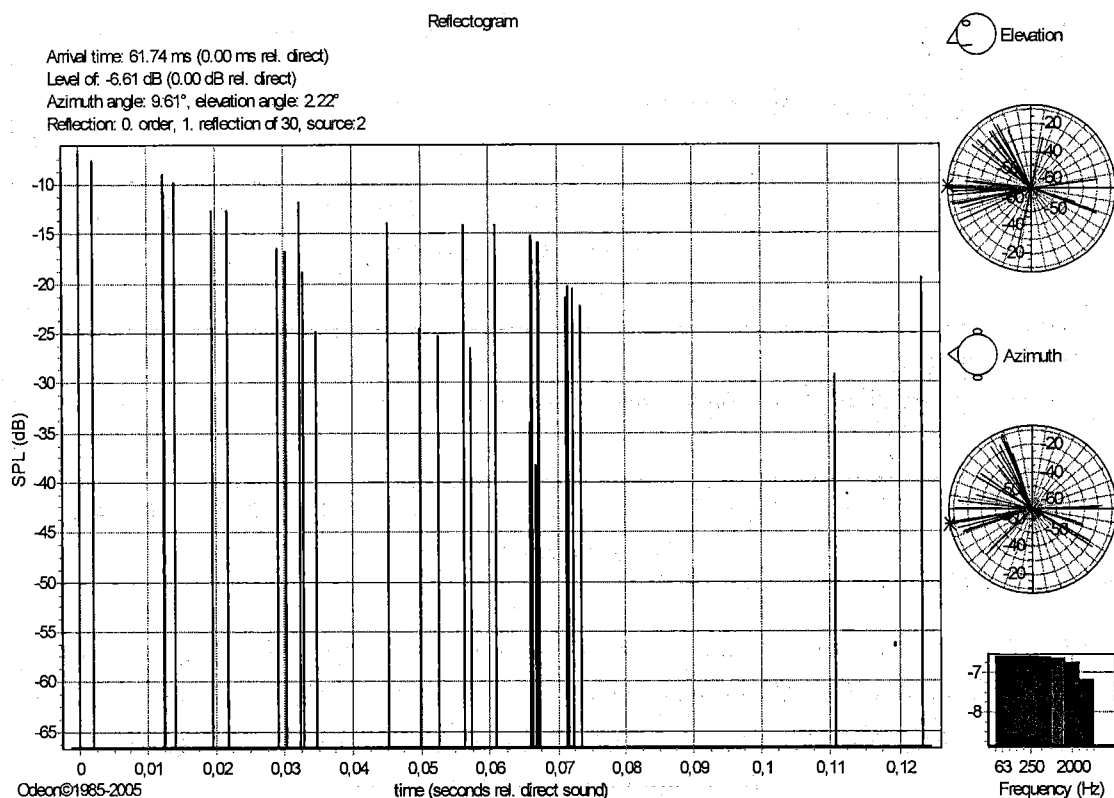
**Hình 5.17.** Kết quả một mô phỏng trường âm trong một phòng đa năng (Elmia hall) bằng phần mềm ODEON (gồm sự phân bố mức âm trong phòng và biểu đồ xung đáp ứng cho tai phải và tai trái của người nghe tại một vị trí ngồi)  
- trích một phần từ Gade (2007)

Việc mô phỏng trên máy tính còn dễ dàng cho phép người thiết kế kiểm tra các tia âm lan truyền trong phòng, các bề mặt phản xạ, các bề mặt có nguy cơ tạo tiếng dội, các bề mặt hoặc các khu vực không có âm phản xạ... Những khả năng đó của phần mềm hỗ trợ rất nhiều trong công tác thiết kế âm học phòng thính giả mà trước đây chưa thể làm được hay chỉ làm với một số mặt cắt điển hình.

Hình 5.17 giới thiệu một ví dụ về mô hình tính toán trên máy tính và một phần của kết quả mô phỏng một phòng hòa nhạc, thực hiện trên phần mềm ODEON. Sự phân bố mức áp suất âm trong phòng khí có nguồn âm trên sân khấu được

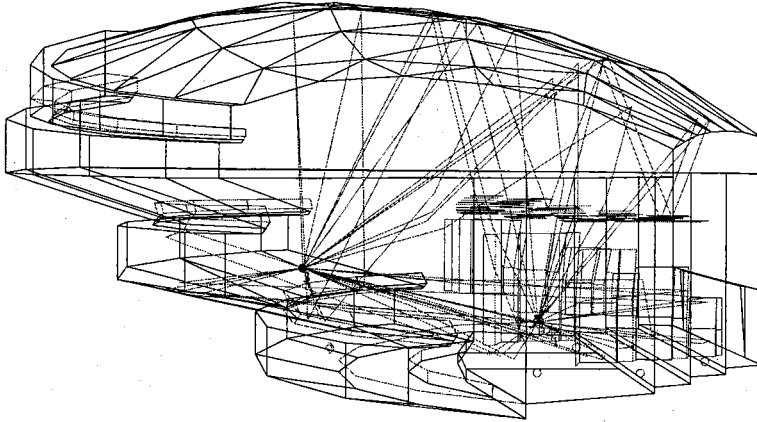
kích hoạt được biểu diễn dưới dạng dải màu trên toàn bộ khu vực ghế ngồi khán giả. Xung đáp ứng của âm đến từ bên trái và bên phải của một chỗ ngồi cũng được ghi lại, cho biết sự đồng đều của âm đến hai tai (tính khối của âm).

Hình 5.18 biểu diễn biểu đồ cấu trúc những âm vang đầu tiên (kết quả mô phỏng của ODEON), có ảnh hưởng lớn đến chất lượng âm. Có thể thấy ngoài thông tin về mức năng lượng và thời gian đến của từng âm phản xạ, ta còn biết được hướng đến của từng tia phản xạ và các bề mặt phản xạ có liên quan. Điều này rất cần thiết cho việc điều chỉnh hoặc bỏ hẳn một bề mặt phản xạ, để tránh tiếng dội chẳng hạn.



**Hình 5.18.** Biểu đồ cấu trúc những âm phản xạ đầu tiên (cho bởi phần mềm ODEON)

Ngoài các khả năng trên, với phần mềm mô phỏng, người thiết kế có thể xem trong không gian 3D trên máy tính đường đi của các tia âm từ nguồn đến tai người nghe sau một số lần phản xạ nhất định. Hình 5.19 giới thiệu một ví dụ như vậy. Với thông tin này, người thiết kế dễ dàng biết được đâu là những bề mặt có vai trò quan trọng trong việc hình thành các âm phản xạ có ích và hiểu được cơ chế tương tác âm học của thính phòng.



Source:	2
Surface:	*Receiver*
Refl.:	3
Path <m>:	63.47
Time <ms>:	185

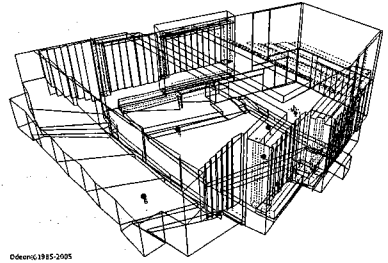
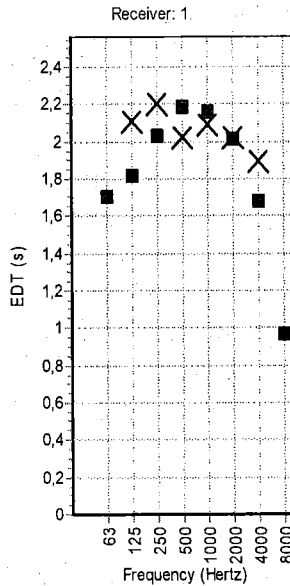
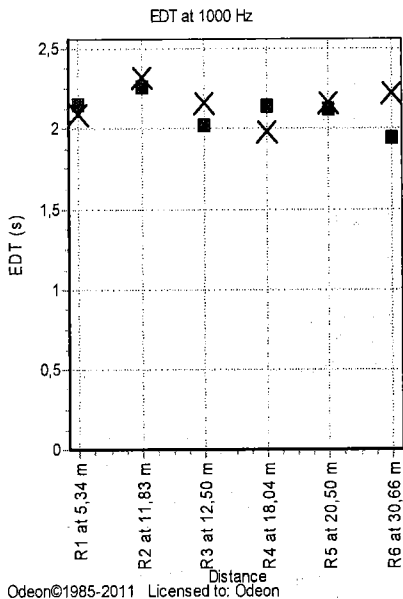
©1985-2005

**Hình 5.19.** Các tia phản xạ (bậc 1, 2 và 3) trong một khán phòng từ nguồn phát trên sân khấu đến tai người nghe trên khán đài

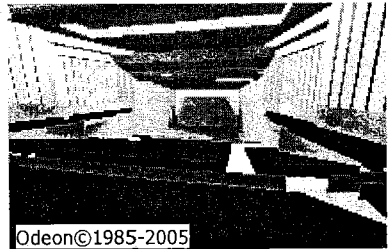
### 5.2.9. Độ chính xác của kết quả tính toán bằng phần mềm

Vào những năm 1994 - 1995, có một cuộc điều tra mang tầm quốc tế về độ chính xác của kết quả mô phỏng âm học so với thực tế (Vorländer, 1995). 16 nhà nghiên cứu và chuyên gia phát triển phần mềm âm học đã tham gia. Tình huống là một phòng đa năng 1800 m<sup>3</sup>, có 2 nguồn âm và 5 vị trí nhận âm (tất cả là 10 tình huống). 8 chỉ số chất lượng âm nêu trong ISO 3382 - 1997 đối với âm chuẩn tần số 1000 Hz được xem xét. Kết quả đo đạc làm cơ sở so sánh được thực hiện bởi 7 người khác nhau và lấy kết quả trung bình. Kết quả là chỉ có 3 phần mềm đã cho kết quả hợp lý và đáng tin cậy. Sai khác giữa kết quả đo thực tế và kết quả mô phỏng chỉ xấp xỉ sai khác giữa các chỉ số đo thực tế do các cá nhân thực hiện. Do đó, có thể nói rằng kết quả mô phỏng của các phần mềm tốt nhất có độ chính xác tương đương kết quả đo đạc, do đó hoàn toàn thỏa mãn. Có những điểm đáng lưu ý là các phần mềm tốt nhất đều sử dụng các thuật toán mô phỏng sự phản xạ khuếch tán (thay vì chỉ có phản xạ gương) của âm tại các bề mặt và không yêu cầu việc chi tiết hóa các chi tiết kiến trúc trong phòng (Rindel, 2000).

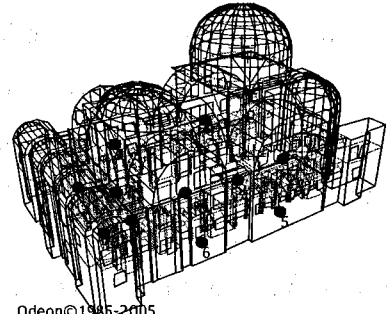
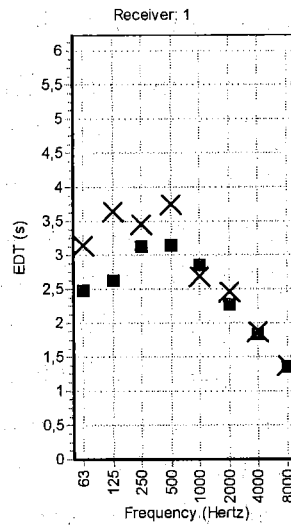
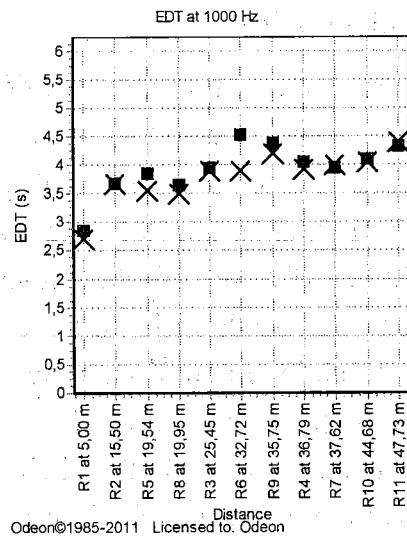
Hình 5.20 cho thấy những so sánh giữa kết quả EDT mô phỏng bằng phần mềm ODEON và đo đạc tại các vị trí khác nhau và đối với các tần số khác nhau trong các công trình Elmia hall và nhà thờ St Irene. Vị trí nguồn âm và vị trí nhận âm đều được chỉ rõ trong mô hình. Có thể thấy sự khác biệt là không lớn và có thể chấp nhận được.



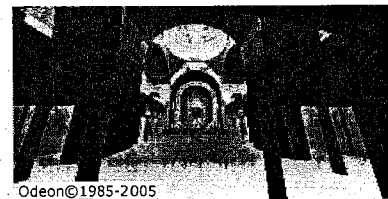
Odeon©1985-2005



Odeon©1985-2005



Odeon©1985-2005



Odeon©1985-2005

**Hình 5.20.** So sánh kết quả mô phỏng với ODEON và đo đạc trong phòng hội nghị Elmia và nhà thờ St Irene ở Istanbul (□ là kết quả mô phỏng, dấu x là kết quả đo)

Tuy nhiên rất cần thiết phải nhấn mạnh rằng độ chính xác của kết quả mô phỏng phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố, trong đó nổi lên những yếu tố sau:

- Mức độ nắm vững lý thuyết âm học của người thiết kế;
- Mức độ thông thạo phần mềm đang sử dụng;

- Độ chính xác của phương pháp tính và thuật toán của phần mềm (hay nói gọn là độ chính xác của phần mềm);

- Sự phù hợp giữa giả thiết mô phỏng và điều kiện thực tế khi đo đạc.

Qua đó có thể thấy là việc sử dụng kết quả âm học mô phỏng bằng các phần mềm máy tính phải được xem xét cẩn thận. Thông thường, các kết quả phải được kiểm nghiệm (validation) hoặc cân chỉnh (calibration) trước khi sử dụng. Dữ liệu dùng để cân chỉnh hoặc kiểm nghiệm thường là kết quả đo thí nghiệm, kết quả đã cân chỉnh hay kiểm nghiệm.

### 5.3. THIẾT KẾ ÂM HỌC PHÒNG THÍNH GIẢ BẰNG PHƯƠNG PHÁP DỰNG MÔ HÌNH

Từ trước khi có các chương trình máy tính hỗ trợ thiết kế âm học, từ những năm 1930, phương pháp thiết kế âm học dựa trên xây dựng mô hình thu nhỏ của công trình thường được sử dụng. Mô hình thu nhỏ giúp người thiết kế khảo sát trường âm trong phòng bằng cách đặt các nguồn âm và các đầu thu micro tại các vị trí quan trọng. Tín hiệu âm thanh phát ra từ đầu phát được ghi lại bởi đầu thu và sau đó xử lý tín hiệu để có được các chỉ số âm học cần thiết. Cho đến ngày nay, các mô hình âm học thu nhỏ vẫn được sử dụng trước khi xây dựng các công trình có quy mô lớn và quan trọng

#### 5.3.1. Vấn đề xử lý tần số âm thí nghiệm

Mô hình công trình thường được làm ở tỷ lệ 1/10 cho đến 1/50 so với kích thước thật của công trình. Mức độ chi tiết của mô hình âm học thường cao hơn một mô hình kiến trúc đơn giản. Trong mô hình âm học, lý tưởng thì các bề mặt bên trong được làm bằng các vật liệu thỏa mãn điều kiện: hệ số hút âm đối với tần số âm dùng trong mô hình bằng với hệ số hút âm của vật liệu thực đối với tần số trong công trình thực, nghĩa là:

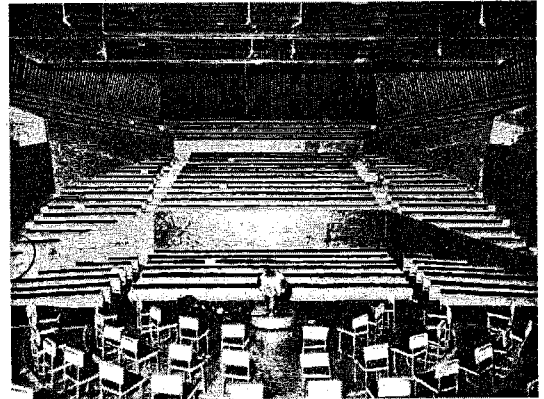
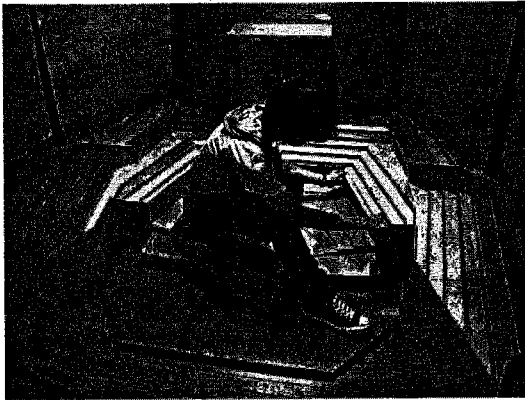
$$\alpha_{model}(fM) = \alpha_{actual}(f) \quad (5.3)$$

trong đó:

$M$  - tỷ lệ của mô hình (mô hình tỷ lệ 1/10 có  $M = 10$ );

$f$  - tần số của âm. Như vậy mô hình sẽ có những đặc trưng âm học gần đúng với thính phòng xây dựng về sau.

Hình 5.21 giới thiệu một ví dụ về mô hình âm học của một phòng hòa nhạc theo kiểu ruộng bậc thang để nghiên cứu tại trường Đại học Khoa học công nghệ quốc gia Đài Loan. Mô hình này được chi tiết hóa tương ứng với dải tần số đang cần khảo sát. Hầu hết các chi tiết kiến trúc chính như tường, cột, ghế, ban công trong, khán giả... đều được làm trong mô hình. Tuy nhiên các chi tiết ít quan trọng như tay vịn, đèn, các thanh giằng... không có tương tác với tần số âm đang khảo sát do đó không nhất thiết phải làm trong mô hình.



*Hình 5.21. Mô hình âm học khán phòng hòa nhạc theo kiểu ruộng bậc thang*

*Nguồn: Phan Ánh Nguyên*

Bởi vì mô hình âm học nhỏ hơn công trình thực, do đó chiều bước sóng âm sử dụng trong mô hình phải được giảm tương ứng với tỷ lệ của mô hình, và hệ quả là tần số của âm thanh sử dụng thí nghiệm trong mô hình phải tăng lên tương ứng, tức là:

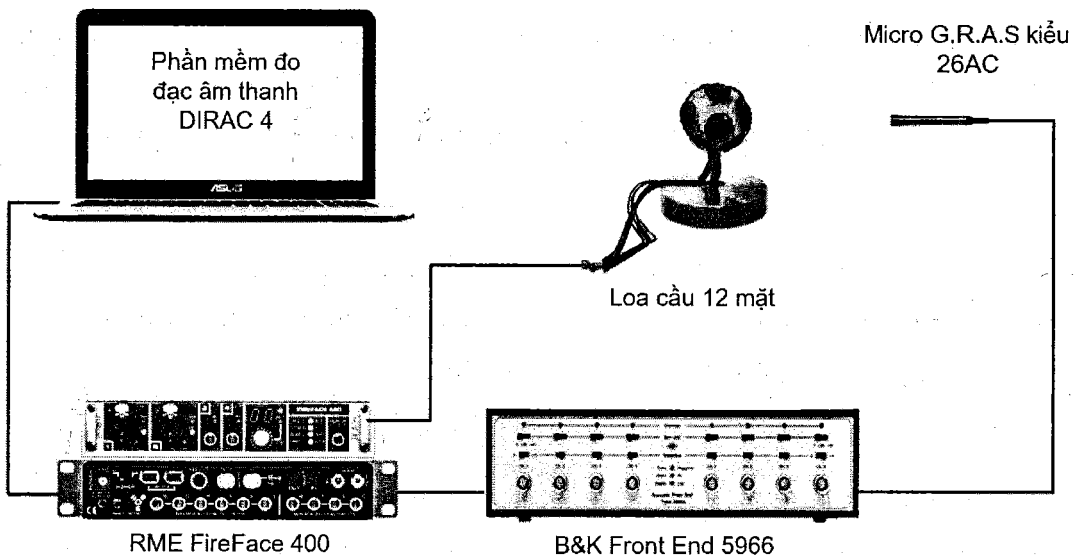
$$f_{model} = f_{actual}M \quad (5.4)$$

Ví dụ: trong một mô hình tỷ lệ 1/10, bước sóng của âm thanh dùng để thí nghiệm phải được thu nhỏ 10 lần (hay tần số của âm phải tăng lên gấp 10 lần). Một âm của một cây đàn vĩ cầm trong phòng có thể phải được chuyển thành một sóng siêu âm (tần số cao gấp 10 lần tần số của đàn vĩ cầm - khoảng 200 đến 15000 Hz) mà tai người không thể nghe thấy.

Trong mô hình phòng hòa nhạc Royal Festival Hall ở trên, dải tần số khảo sát là khoảng 250 Hz đến 2000 Hz (trong mô hình dùng âm 5000 Hz đến 40000 Hz). Bên dưới dải tần này, phần lớn lượng hút âm của phòng là do sự cộng hưởng của các bề mặt hoàn thiện dạng tấm mỏng. Các tấm mỏng này rất khó để tái hiện lại bằng mô hình thu nhỏ vì độ dày và độ cứng của vật liệu làm mô hình không cho

phép làm điều đó). Trên 2000 Hz (tức trên 40000 Hz trong mô hình) không khí bên trong mô hình trở thành lượng hút âm chính. Cho dù có điều chỉnh tính toán để bù đắp cho hiện tượng hút âm của không khí ở tần số cao, kết quả cũng không thể chính xác do năng lượng âm giảm rất nhanh khi tần số tăng lên quá ngưỡng này.

Để có thể phát được những âm thanh tần số cao như vậy trong mô hình, loại đầu phát thông thường vốn có thể phát sóng âm liên tục và ổn định trên một dải tần nhất định khó có thể phát năng lượng âm dạng nguồn điểm tần số cao. Do đó, các mô hình âm học thu nhỏ thường dùng đầu kích thích dạng xung. Một dạng thường gặp của nguồn âm dạng xung này là một đầu phóng điện gồm 2 điện cực gần nhau chịu điện thế cao trong một khoảng thời gian rất ngắn – từ 20  $\mu$ s đến 150  $\mu$ s. Tia lửa điện phóng qua giữa 2 điện cực sẽ phát ra âm thanh ở tần số cao và năng lượng âm lan truyền theo dạng gần như là sóng cầu (Ballou, 2013). Một cách khác là dùng một hệ loa cầu 12 mặt (dodecahedron speaker) để phát âm kích thích dạng gần giống với sóng cầu (xem Hình 5.22).



**Hình 5.22.** Hệ thống thiết bị tạo xung kích thích và đầu thu cùng với sơ đồ kết nối với hệ thống thu thập dữ liệu thí nghiệm

Microphone dùng để thu tín hiệu âm thanh trong thí nghiệm hiện nay có nhiều chủng loại với dải tần đáp ứng trên 50 kHz. Vấn đề lớn nhất của microphone là: (i) kích thước của nó quá lớn so với bước sóng âm trong thí nghiệm mô hình âm học; và (ii) ở tần số cao nó thường trở thành đầu thu có định hướng thay vì đầu thu đẳng hướng. Một microphone đường kính 1.25 cm dài 20 cm trong

một mô hình tỷ lệ 1:20 có thể coi là một vật cản hình trụ đường kính 25 cm và cao 4 m trong công trình thực và sẽ gây ảnh hưởng đến kết quả đo. Ngoài ra tính hướng mạnh của nó còn có thể khiến kết quả đo có chênh lệch hơn 6 dB trên các hướng khác nhau. Dùng microphone có kích thước nhỏ hơn thì có tính đẳng hướng tốt hơn, nhưng làm độ nhạy của đầu thu giảm và SNR (tỷ lệ độ lớn tín hiệu âm thu được so với tiếng ồn) thu được cũng giảm xuống.

### 5.3.2. Vật liệu trong mô hình âm học

Một cách lý tưởng, vật liệu dùng trong mô hình phải có cùng độ hút âm với các tần số giống như vật liệu sử dụng trong công trình thực tế. Do tần số âm trong mô hình thí nghiệm thường cao hơn nhiều lần so với tần số âm tương ứng trong công trình thực, vật liệu của mô hình và vật liệu của công trình thực thường khác nhau, nhất là vật liệu hút âm.

Trên thực tế khi làm mô hình, chúng ta chỉ cần phân biệt giữa 2 dạng vật liệu chính: hút âm và phản xạ âm. Vật liệu phản xạ âm ( $\alpha < 0.02$ ) trong mô hình khá dễ thực hiện vì chúng có thể làm bằng bất cứ vật liệu cứng nào (ví dụ: tấm kim loại, tấm nhựa cứng...) với 1 lớp phủ cứng - nếu cần. Hệ số hút âm tối thiểu của bất kỳ vật liệu nào đối với một tần số có thể ước tính bằng công thức kinh nghiệm:

$$\alpha_{min} = 1.8 \times 10^{-4} \sqrt{f} \quad (5.5)$$

trong đó:  $f$  - tần số âm thanh tương ứng với độ hút âm tối thiểu đang khảo sát. Theo công thức này, ở tần số 100 kHz một bề mặt cứng như thủy tinh trong một mô hình tỷ lệ 1/20 chẳng hạn sẽ có hệ số hút âm tối thiểu là:

$$\alpha_{min} = 1.8 \times 10^{-4} \sqrt{100000} = 0.06$$

Rõ ràng giá trị 0.06 này cao hơn hẳn hệ số hút âm ở tần số tương ứng 5 kHz của thủy tinh trong công trình thật (thủy tinh có  $\alpha = 0.03$ ). Xét chênh lệch mức âm của một tia âm sau lần phản xạ thứ  $n$  trên một bề mặt có độ hút âm  $\alpha$  so với tia âm trực tiếp, độ chênh mức âm có thể tính bằng cách:

$$\Delta L = 10 \log(1 - \alpha)^n \quad (5.6)$$

Theo công thức trên, nếu giá trị  $\alpha = 0.06$ , độ chênh mức âm sau 2 lần phản xạ là 0.54 dB. Trong công trình thực với  $\alpha = 0.03$ , độ chênh mức âm sau 2 lần phản xạ là 0.26 dB. Sai số giữa phép thí nghiệm với mô hình và công trình thực tế là

0.28 dB. Ngay cả sau 5 lần phản xạ, sai số cũng ở mức 0.7 dB, một giá trị sai số nhỏ có thể chấp nhận được.

Nhưng đối với vật liệu hút âm ( $\alpha > 0.1$ ), rất khó để tìm một vật liệu làm mô hình có tính năng hút âm tương tự trong công trình thực và sai số của phép thí nghiệm và thực tế có thể nghiêm trọng. Ví dụ, theo công thức (5.6) với vật liệu có hệ số hút âm lớn hơn 0.6 thì chỉ cần sai khác 10% hệ số hút âm sẽ dẫn đến 1.5 dB chênh lệch mức âm sau 2 lần phản xạ. Nếu sai khác hệ số hút âm là 20% sẽ dẫn tới sai số khoảng 10 dB giữa mô hình và công trình thực. Đây là sai số khó chấp nhận được.

Do đó đối với vật liệu hút âm, trong các mô hình âm học, người ta thường dùng các vật liệu thay thế để đại diện cho vật liệu thật trong công trình thực tế. Ví dụ, một lớp 10mm bông trong một mô hình tỷ lệ 1:20 có thể được sử dụng để mô tả một hàng ghế trong phòng thực tế, hoặc một lớp mỏng bọt polyurethane trong mô hình mô hình 1:10 có thể được sử dụng để đại diện cho một lớp phủ bằng thạch cao 50 mm trong không gian thực (Ballou, 2013). Một tham số vật lý khác khó có thể mô tả được trong mô hình vật lý là độ cứng của các tấm bản, do đó việc đánh giá các hiệu ứng như hút âm cộng hưởng và các kỹ thuật xây dựng nó rất khó để mô hình hóa.

Một vấn đề quan trọng khác là việc hiệu chỉnh trong tính toán nhằm loại trừ hiện tượng hút âm quá mức của không khí khi tần số âm thí nghiệm rất cao. Trong một điều kiện nhiệt độ môi trường, âm tần số cao sẽ bị suy giảm năng lượng nhanh hơn, đặc biệt là khi độ ẩm không khí tăng lên. Nhưng ngược lại, quãng đường đi của tia âm trong mô hình thí nghiệm lại giảm xuống theo tỷ lệ của mô hình. Do đó, các điều chỉnh thường được thực hiện bằng cách loại bỏ ẩm không khí dùng trong mô hình, hoặc bằng cách thay không khí bằng khí nitơ, hay đơn giản bằng cách điều chỉnh tính toán bởi vì sự suy giảm năng lượng âm là một hàm tuyến tính đơn giản theo thời gian, nếu tần số âm, nhiệt độ, độ ẩm không khí đã biết (Gade, 2007).

Trong mô hình, việc làm mô hình người và ghế ngồi có vai trò rất quan trọng vì chúng ảnh hưởng lớn đến sự nhiễu xạ và lượng hút âm của mô hình. Cuối cùng, lượng hút âm của công trình cần được điều chỉnh một cách kỹ lưỡng để đạt được thời gian âm vang mong muốn. Thông thường, người ta thường thêm lượng hút âm vào các bề mặt chỉ có phản xạ thứ cấp (phản xạ bậc 2 trở lên) để không ảnh hưởng đến những âm vang có ích bậc 1.

### 5.3.3. Độ chính xác yêu cầu của thiết bị đo

Một vấn đề nữa trong thí nghiệm với mô hình âm học này là vấn đề độ chính xác của thiết bị đo. Thông thường, quãng đường  $d$  mà âm thanh lan truyền là kết quả của thời gian di chuyển  $t$  với vận tốc âm thanh  $c$  như sau:

$$d = c \times t \quad (5.7)$$

Trong mô hình vật lý thu nhỏ, do kích thước của mô hình được thu nhỏ, do đó thời gian lan truyền âm thanh cũng phải được thu nhỏ tương ứng. Điều này dẫn đến việc độ chính xác của thiết bị đo đặc trong thí nghiệm với mô hình thu nhỏ phải tăng lên tương ứng với tỷ lệ mô hình. Một ví dụ là: nếu nguồn âm được đặt ở đầu của một căn phòng dài 34.4 m và vận tốc truyền âm là 344 m/s. Theo công thức (5.7), như vậy âm thanh cần 100 ms để chạm vào cuối phòng. Nếu độ chính xác yêu cầu của các thông tin khoảng cách là  $\pm 0.1$  m, độ chính xác về thời gian của thiết bị đo phải là  $\pm 291 \mu\text{s}$ . Trong trường hợp mô hình tỷ lệ 1:10 của căn phòng này, thời gian âm thanh di chuyển hết căn phòng chỉ còn 10 ms và độ chính xác của thiết bị đo phải là  $\pm 29.1 \mu\text{s}$  để đáp ứng được độ phân giải về khoảng cách  $\pm 0.01$  m.

Kết quả đo đặc trường âm trong phòng thường là các xung đáp ứng tại các vị trí đo trong phòng, vốn chứa đựng toàn bộ thông tin về trường âm cũng như chất lượng âm. Biểu đồ xung đáp ứng (xem ví dụ trong Hình 3.1, Hình 5.17) có thể cho thấy cấu trúc của âm phản xạ và thời gian của các âm vang khi đến đầu thu micro. Độ mạnh yếu của âm phản xạ cũng được thể hiện trên biểu đồ xung đáp ứng cho phép xác định các âm vang gây tiếng dội, ảnh hưởng đến chất lượng âm. Vì tốc độ truyền âm trong không khí đã biết, căn cứ vào biểu đồ xung đáp ứng và dựa trên mô hình, ta có thể xác định được các bề mặt gây tiếng dội và có điều chỉnh thích hợp. Hình 3.1 giới thiệu biểu đồ xung đáp ứng đo được trong mô hình của Royal Festival Hall, cho thấy các tiếng dội và các vùng bị thiếu âm.

### 5.4. QUAN NGẠI VỀ MỨC ĐỘ KHÔNG CHẮC CHẮN CỦA CÁC THIẾT KẾ ÂM HỌC

Trên thực tế, mặc dù các nhà âm học áp dụng nhiều quy tắc khoa học và công cụ trong tính toán thiết kế âm học thính phòng, chất lượng âm của nhiều phòng thính giả vẫn không được đảm bảo. Vào năm 1955, Wechsberg (Wechsberg, 1955) đã viết rằng nhiều thính phòng mới được xây dựng ở Châu Âu có chất lượng âm thanh tệ hại dù đã được tư vấn thiết kế âm học kỹ lưỡng. Từ những điều đó có thể

thấy rằng không ai dám chắc chắn về chất lượng âm của thính phòng cho đến khi nó được xây xong, trang thiết bị đầy đủ, sưởi ấm lên, và được điền đầy bởi người biểu diễn và thính giả. Và lúc đó nếu chất lượng âm không đáp ứng yêu cầu, thường thì việc điều chỉnh sẽ rất tốn kém. Không rõ nhận xét này của Wechsberg có còn đúng vào ngày nay khi mà rất nhiều công cụ máy tính hiện đại và chính xác đã ra đời, giúp cho việc thiết kế âm học trở nên dễ dàng hơn và chính xác hơn rất nhiều.

Gần đây nhất, trong quá trình thiết kế phòng nhà hát Opera ở Quảng Châu, Trung Quốc theo thiết kế của KTS. Zaha Hazid, các mô hình âm học và mô hình máy tính bằng phần mềm Odeon đã được sử dụng cho việc thiết kế âm học. Tuy nhiên kết quả đo đạc trong thính phòng đầy khán giả sau khi được xây dựng lại có khác biệt tương đối lớn so với thiết kế (xem Bảng 5.3). Sự khác biệt giữa thực tế và mô hình dự đoán chủ yếu nằm ở các âm có tần số cao.

**Bảng 5.3. So sánh kết quả mô phỏng, đo đạc trong mô hình thu nhỏ và trong công trình thực ở nhà hát Opera Quảng Châu - theo Exton & Marshall (2011)**

<i>Nguồn dữ liệu từ</i>	<i>Thời gian âm vang của các dải octave (s)</i>					
	<i>125 Hz</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>	<i>2000</i>	<i>4000</i>
Mô hình máy tính Odeon	1.8	1.7	1.6	1.5	1.5	1.3
Mô hình thu nhỏ 1/25	1.8	1.7	1.5	1.5	1.5	1.3
Kết quả đo thực tế sau khi xây	2.0	1.7	1.8	2.0	2.0	1.8

### 5.5. CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG 5

#### Câu hỏi trọng tâm

1. Hãy lý giải ý nghĩa các mô hình hồi quy của Gade nêu trong Bảng 5.1?
2. Nêu và mô tả vắn tắt 4 phương pháp cơ bản dùng để thiết kế âm học phòng thính giả.
3. Nêu trình tự thực hiện một mô phỏng chất lượng âm trong thính phòng kín trên chương trình máy tính.
4. Có những cách tiếp cận nào trong việc tính toán chất lượng âm dựa trên phần mềm máy tính? Các cách tiếp cận đó có ưu nhược điểm gì?
5. Nêu những ưu nhược điểm của phương pháp mô phỏng âm học trên máy tính.

6. Nêu những điểm cần lưu ý khi thực hiện mô hình âm học thu nhỏ để nghiên cứu chất lượng âm trong thính phòng.

7. Tạo âm thanh giả lập là gì? Nêu trình tự tạo âm thanh giả lập của một thính phòng đang trong giai đoạn thiết kế.

### **Bài thực hành:**

Sử dụng phương pháp thiết kế thính phòng trên máy tính, hãy tự thiết kế một thính phòng tự chọn (có thể là phòng hòa nhạc, Opera, xem phim, hát cải lương, kịch nói, giảng đường lớn....) có quy mô 1400 khán giả. Nêu rõ phương án kiến trúc (mặt bằng, mặt cắt dọc phòng, hình khối 3D - nếu cần) và phương án bố trí vật liệu trên tất cả các bề mặt phòng nhằm đảm bảo chất lượng âm trong phòng.

*Gợi ý:* Trình tự thực hiện như sau:

- Tính thời gian âm vang tối ưu cho các tần số như hướng dẫn ở bài tập 1, Chương 3. Sau đó tính cả sai số cho phép của thời gian âm vang tối ưu ( $\pm 10\%$ );
- Tính thể tích, diện tích và chiều cao trung bình của phòng (xem mục 4.3.1);
- Phác thảo mặt bằng mặt cắt phòng, tận dụng nguyên lý âm hình học để xác định các bề mặt phản xạ trên mặt bằng và mặt cắt;
- Dựng mô hình âm học phòng dự kiến theo phác thảo mặt bằng và mặt cắt trên phần mềm (ví dụ Autodesk Ecotect phiên bản 2011);
- Tạo vật liệu với các hệ số hút âm cụ thể trên phần mềm mô phỏng;
- Gán vật liệu đã tạo cho các mặt bên trong mô hình công trình đã dựng;
- Đặt các đầu thu, nguồn âm trong phòng (nếu phần mềm cho phép);
- Thực hiện mô phỏng và nhận được kết quả thời gian âm vang thực tế;
- So sánh với thời gian âm vang tối ưu và sai số cho phép ở bước đầu tiên và quay lại điều chỉnh vật liệu nếu cần. Nếu kết quả đạt yêu cầu thì kết thúc việc tính toán và mô phỏng.



## TÀI LIỆU THAM KHẢO CHƯƠNG 5

1. Ballou G., 2013. Handbook for sound engineers. Oxfordshire: Taylor & Francis.
2. Exton P. & Marshall H., 2011. The Room Acoustic Design of the Guangzhou Opera House. Glasgow, pp. 117-124.
3. Gade A. C., 1996. Room acoustic properties of concert halls: Quantifying the influence of size, shape, and absorption area. The Journal of the Acoustical Society of America, Volume 100, p. 2802.
4. Gade A. C., 2007. Acoustics in Halls for Speech and Music. Berlin, Springer, pp. 301-350.
5. Krokstad A., Strom S. & Sørsdal S., 1968. Calculating the acoustical room response by the use of a ray tracing technique. Journal of Sound and Vibration, 8(1), pp. 118-125.
6. Naylor G. M., 1993. ODEON - Another Hybrid Room Acoustical Model. Applied Acoustics, Volume 38, pp. 131-143.
7. Rindel J. H., 2000. The use of computer modeling in room acoustics. Journal of Vibroengineering, 3(4), pp. 41-72.
8. Rindel J. H., Gade A. C. & Nielsen M. L., 2006. The virtual reconstruction of the ancient Roman concert hall in Aphrodisias, Turkey. Copenhagen, the Institute of Acoustics, pp. 316-323 (Có thể tải về tại <http://www.odeon.dk/publications#Pres>).
9. Sakamoto S., Ushiyama A. & Nagatomo H., 2006. Numerical analysis of sound propagation in rooms using the finite difference time domain method. Journal of the Acoustical Society of America, Volume 120, p. 3008.
10. Schroeder M., 1973. Computer models for concert hall acoustics. American Journal of Physics, 41(4), pp. 461-471.

11. Vorländer M., 1989. Simulation of the transient and steady-state sound propagation in rooms using a new combined ray-tracing/image-source algorithm". Journal of the Acoustical Society of America, Volume 86, pp. 172-178.
12. Vorländer M., 1995. International Round Robin on Room Acoustical Computer Simulations. Trondheim, Norway, ICA 95 Committee, pp. 689-692.
13. Vorländer M., 2008. Auralization: fundamentals of acoustics, modelling, simulation, algorithms and acoustic virtual reality. Berlin: Springer.
14. Wechsberg J., 1955. Our Far-Flung Correspondents, "A Question of Reverberation". The New Yorker, 5 November.p. 100.



## HỆ THỐNG ĐIỆN THANH TRONG PHÒNG THÍNH GIẢ

---

### TÓM TẮT NỘI DUNG CHÍNH

Chương 6 mô tả và giới thiệu các nguyên lý của hệ thống điện thanh sử dụng trong thính phòng. Để ứng dụng được kiến thức, bạn đọc cần nắm được các nội dung cốt lõi sau:

- Cấu tạo cơ bản và các thành phần chính của một hệ thống điện thanh, trong đó 3 bộ phận không thể thiếu là đầu thu, âm ly và loa;

- Hiểu được trong trường hợp nào thì một hệ thống điện thanh là cần thiết hoặc không, nhấn mạnh rằng các trường hợp cần chất lượng âm cao và trung thực thì phải nghe âm trực tiếp;

- Đặc điểm trường âm trong phòng khi có hệ thống điện thanh, trong đó đặc biệt chú ý đến hiệu ứng Haas và hiện tượng âm hồi tiếp;

- Các cách cơ bản để bố trí hệ thống điện thanh trong phòng nhằm đảm bảo chất lượng âm, phù hợp với chức năng sử dụng, trong đó việc bố trí loa là cực kỳ quan trọng;

- Trình tự thiết kế và bố trí một hệ thống điện thanh trong thính phòng.

Ví dụ ứng dụng ở cuối chương là một minh họa rất cụ thể cho việc thiết kế hệ thống điện thanh trong thính phòng. Ví dụ đã được giản lược nhằm phù hợp với các kiến trúc sư và kỹ sư không chuyên sâu về điện thanh.

Một điểm chú ý trong chương này là các hệ thống điện tử có thể can thiệp vào thiết kế điện thanh của thính phòng, giúp cải tiến chất lượng âm, đặc biệt là thời gian âm vang và âm phản xạ từ tường biên. Các hệ thống này có thể giải quyết khiếm khuyết trong thiết kế âm học của thính phòng, do đó rất phù hợp cho công tác cải tạo. Tuy nhiên chi phí lắp đặt và vận hành, sửa chữa hệ thống rất cao, cần được cân nhắc khi áp dụng.

Hệ thống điện thanh có hai vai trò chính là tăng âm và cải thiện chất lượng âm. Hệ thống điện thanh và âm thanh trong thính phòng có hệ thống điện thanh hầu như bị chi phối bởi chất lượng hệ thống điện thanh và cách bố trí chúng trong thính phòng. Một hệ thống điện thanh hiện đại và hoàn chỉnh có cấu tạo rất phức tạp, thường gồm nhiều thiết bị điện tử kết nối, đòi hỏi người kỹ thuật viên vận hành chúng phải am hiểu về âm thanh cũng như sự làm việc của hệ thống. Chỉ một sai sót nhỏ trong điều chỉnh cũng khiến hệ thống gặp trục trặc, hoặc thậm chí là hư hỏng. Do đó trong phần đầu của chương này, chúng tôi tập trung vào việc giới thiệu chi tiết hệ thống điện thanh, làm cơ sở cho việc lắp đặt, bố trí, điều chỉnh hệ thống trong thính phòng ở phần sau của chương.

## 6.1. CẤU TẠO VÀ NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN THANH

Một hệ thống điện thanh thông thường phải có 5 thành phần chính như sau:

Một là: (Các) Micro, hộp DI (bộ phận trung gian giữa các nhạc cụ và bàn trộn) và các nguồn thu khác;

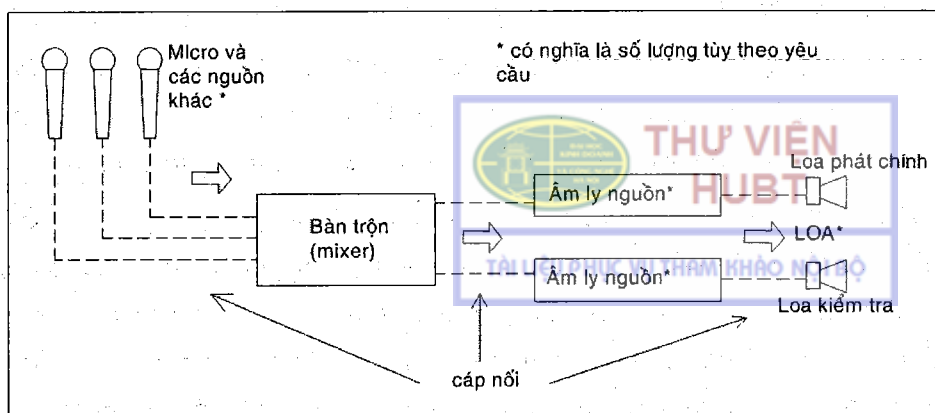
Hai là: Một bàn trộn (mixer);

Ba là: Âm-ly (Power amplifier);

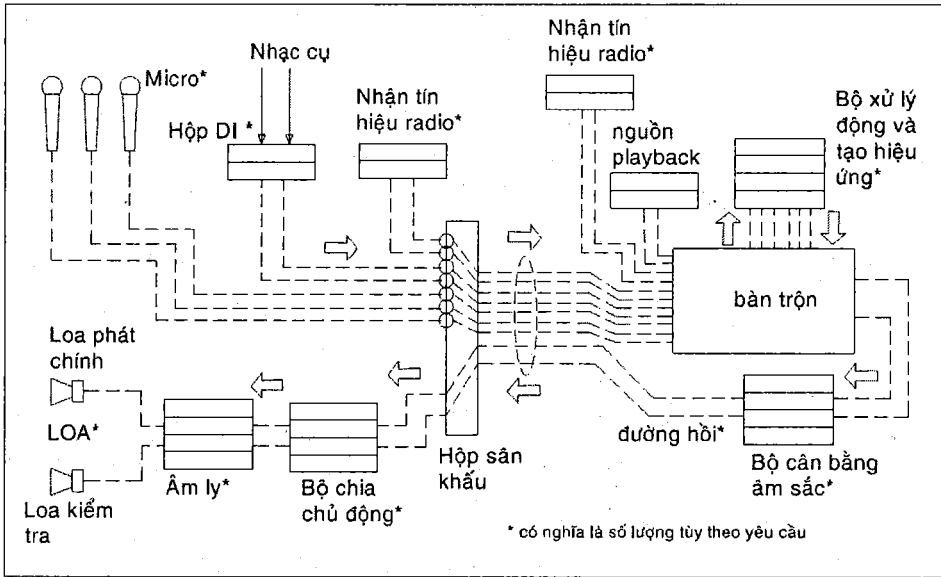
Bốn là: (Các) Loa;

và năm là: Hệ thống các dây cáp nối liên các thành phần nói trên.

Chúng được kết nối bằng dây dẫn hoặc bằng sóng radio tần số cao. Vị trí của từng thành phần nói trên được mô tả trong Hình 6.1. Một hệ thống điện thanh phức tạp hơn có thể có thêm những thành phần khác như hệ thống micro cho máy phát thanh, bộ lọc tín hiệu (graphic equalizer), thường chia tần số chủ động, bộ xử lý động, các bộ tạo hiệu ứng... như giới thiệu trong Hình 6.2.



Hình 6.1. Các thành phần chính của một hệ thống điện thanh đơn giản

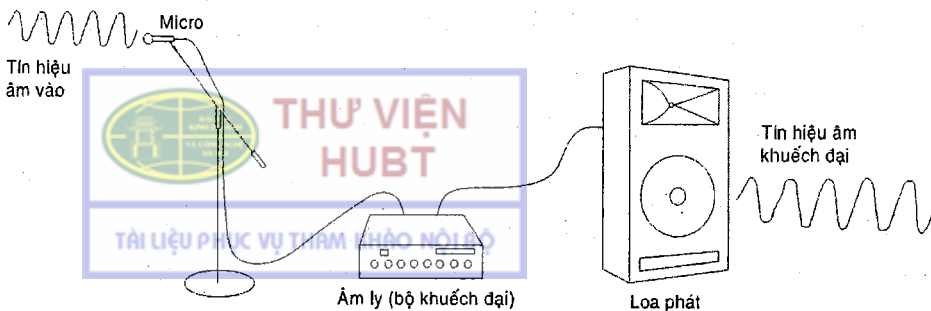


**Hình 6.2.** Các thành phần chính của một hệ thống điện thanh phức tạp

Chức năng và vai trò của các thành phần trong hệ thống điện thanh nói trên được mô tả trong các mục tiếp theo.

### 6.1.1. Đầu thu âm

Các loại đầu thu âm thường hay gặp trong thính phòng là *các loại microphone*, tùy theo mục đích sử dụng là ca hát, hay hòa nhạc, hay họp hội nghị với nhiều đại biểu, bạn có thể lựa chọn các loại microphone (không dây, có dây) hoặc microphone cổ ngỗng để bàn... sao cho phù hợp với nhu cầu sử dụng. Ngoài ra còn có các thiết bị như đầu đĩa, máy phát thanh, máy cassette, máy vi tính, điện thoại... dùng để phát và đưa nguồn âm vào hệ thống điện thanh cũng rất hay được sử dụng. Một hệ thống tăng âm đơn giản nhất là một microphone kết nối với âm ly và phát ra loa như Hình 6.3.



**Hình 6.3.** Thành phần và kết nối của một hệ thống điện thanh đơn giản nhất

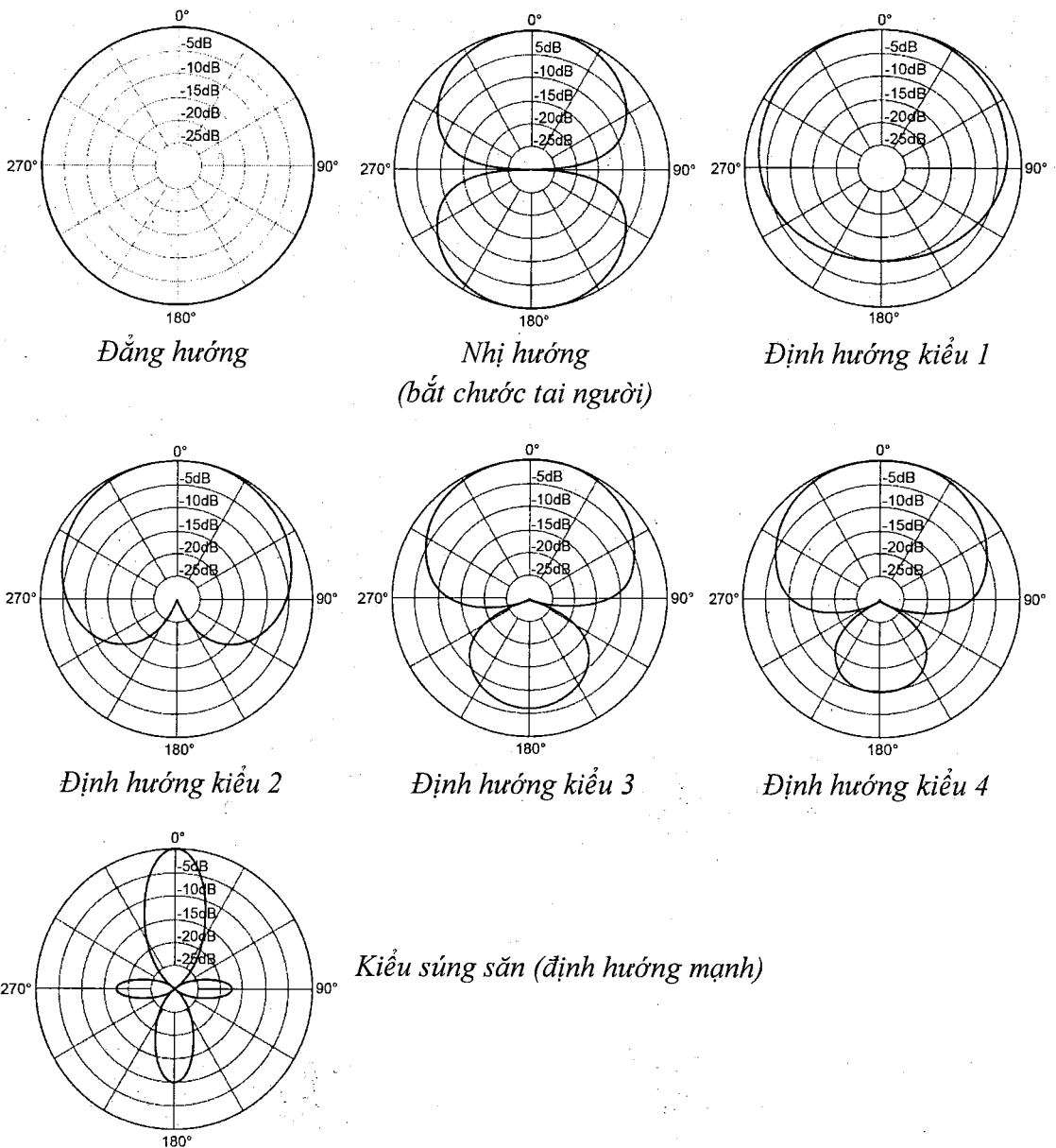
Microphone (mic hay mike) là một đầu thu âm giúp chuyển đổi âm thanh thành tín hiệu điện. Có rất nhiều kiểu microphone được sử dụng, khai thác các phương pháp khác nhau để chuyển đổi áp suất âm dao động thành tín hiệu điện. Phương pháp phổ biến nhất là microphone điện động sử dụng nguyên lý Faraday, gồm một cuộn dây điện treo trong một từ trường nam châm; microphone tụ sử dụng tụ điện; microphone tinh thể sử dụng hiệu ứng áp điện với tinh thể của vật liệu áp điện. Microphone cần phải được kết nối với một bộ điều tiết khuếch đại (amplifier - âm-ly) trước khi có thể thu và phát âm ra loa.

Độ nhạy của microphone thường được đo với kích thích âm thanh ở tần số 1000 Hz với mức áp suất âm 94 dB. Tỷ số độ lớn tín hiệu (tín hiệu số hay analog) đầu ra từ microphone so với tín hiệu kích thích đầu vào được gọi là độ nhạy microphone. Độ nhạy là một trong những đặc điểm của microphone, nhưng hoàn toàn không có phản ánh đúng chất lượng của microphone. Sự cân bằng giữa mức ồn, điểm cắt, độ méo âm, và độ nhạy của microphone xác định liệu một microphone có phù hợp cho một mục đích nào đó hay không.

Đặc tính độ nhạy của một microphone thường được biểu diễn bởi một biểu đồ cực cho biết độ nhạy của microphone trên các hướng so với trục trung tâm của nó. Trên biểu đồ cực trong Hình 6.4, chúng tôi giới thiệu các dạng microphone khác nhau với các phân bố độ nhạy đặc trưng. Đường đậm của biểu đồ là tập hợp các điểm sản sinh tín hiệu âm thanh đầu ra của microphone giống nhau nếu tại đó có âm kích thích.

Thông thường, hướng từ tâm biểu đồ vuông góc ra ngoài trùng với trục vật lý của microphone. Một số loại microphone đặc biệt như microphone dạng tấm màng, hướng từ tâm biểu đồ vuông góc ra ngoài thường là hướng vuông góc với mặt của microphone. Thiết kế của một số microphone kết hợp nhiều nguyên tắc để tạo ra biểu đồ độ nhạy mong muốn, có thể là dùng biện pháp kiểm soát bởi vỏ bọc bên ngoài, hoặc các loại màng điện từ kép.

Loại micro đẳng hướng bắt âm thanh từ mọi hướng nên hay dùng trong đo đặc trường âm; nhưng loại này không hợp với các thính phòng do nó bắt cả âm thanh từ loa phát ra và lại đưa ra loa (hiện tượng hồi tiếp) tạo ra tiếng hú, tiếng gào. Do đó, các loại micro định hướng phù hợp hơn cho các phòng biểu diễn có loa. Loại microphone nhị hướng thường được dùng trong đo đặc trường âm trong thính phòng như đã đề cập trong phần 3.4.

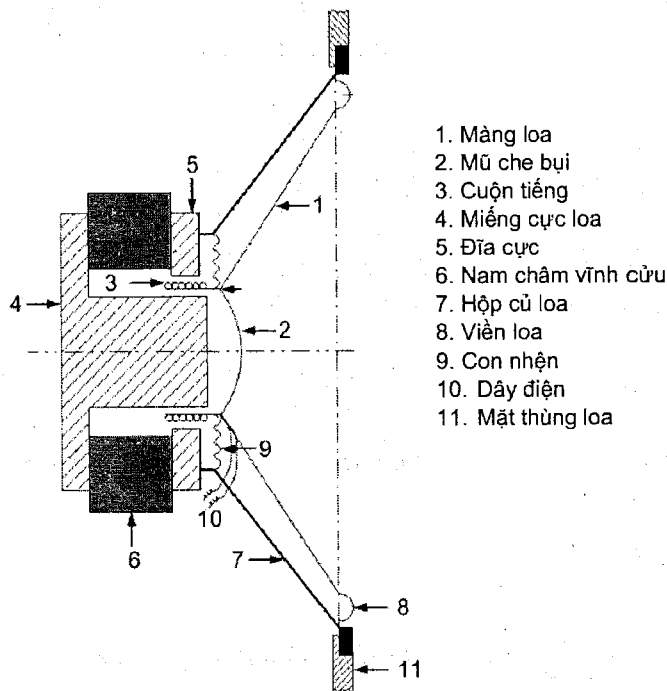


**Hình 6.4.** Biểu đồ cực cho thấy độ nhạy của microphone trên các hướng

### 6.1.2. Loa (speaker)

Loa là một thiết bị chuyển đổi điện tử - âm học giúp chuyển đổi tín hiệu âm thanh điện thành âm thanh tương ứng. Loại loa được dùng phổ biến nhất cho mục đích biểu diễn trong giai đoạn hiện nay là loa điện động (dynamic speaker), được phát minh năm 1925 bởi Edward W. Kellogg và Chester W. Rice. Loa động hoạt động tương tự như micro, nhưng ngược lại, để sản sinh ra âm thanh từ các tín hiệu điện. Âm thanh sinh ra do rung động của màng loa, hoạt động trên nguyên

lý từ của Faraday, tạo ra sóng âm trong không khí (xem Hình 6.5). Ngoài phương pháp khá cổ điển này, hiện nay có nhiều kỹ thuật thay thế khác có thể chuyển đổi tín hiệu điện thành âm thanh. Nguồn âm (ví dụ âm thanh ghi nhận bởi 1 micro chẳng hạn) phải được khuếch đại hay tăng cường bởi một bộ khuếch đại âm trước khi tín hiệu âm được đưa ra loa. Các loại loa điện động có một nhược điểm chung là kích cỡ thùng loa thường lớn và nặng nên loa chiếm nhiều không gian và việc di chuyển loa sẽ tốn nhiều công sức.



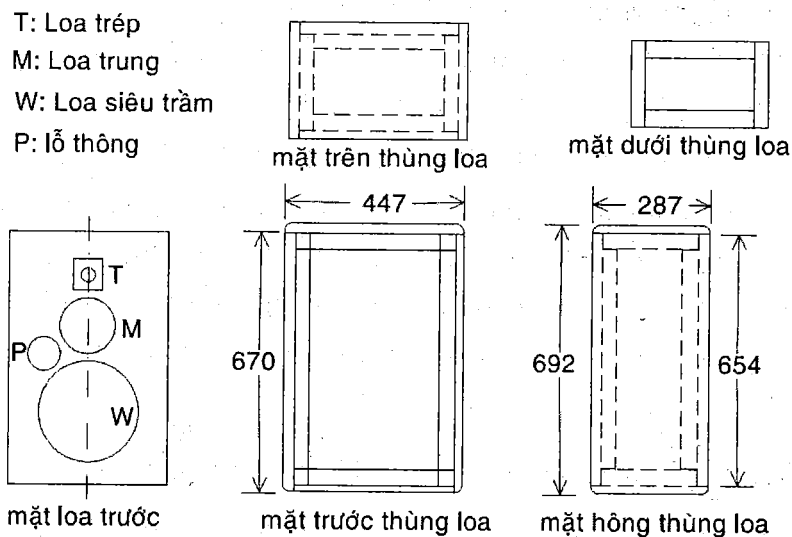
1. Màng loa
2. Mũ che bụi
3. Cuộn tiếng
4. Miếng cực loa
5. Đĩa cực
6. Nam châm vĩnh cửu
7. Hộp củ loa
8. Viên loa
9. Con nhện
10. Dây điện
11. Mặt thùng loa

**Hình 6.5.** Mặt cắt dọc một loa bức xạ trực tiếp gắn trên một thùng loa  
- phỏng theo Beranek & Mellow (2012)

Loa là thiết bị cuối cùng trong chuỗi thiết bị của hệ thống điện thanh, nhưng đóng vai trò rất quan trọng vì sẽ quyết định cường độ, phương hướng, dải tần số... của âm thanh phát ra và đến tai thính giả. Chính vì tính chất quan trọng như vậy, nên loa thường được sản xuất thành nhiều loại có chức năng riêng, quy mô và công suất âm khác nhau. Đôi khi chúng ta có thể gặp loa tích hợp nhiều tính năng trong một.

Loa thường được đặt trong thùng loa, thông thường có hình hộp chữ nhật bằng gỗ hoặc bằng nhựa. Vật liệu và thiết kế của vỏ thùng loa, có thể bao gồm cả một lỗ phát tiếng bass, đóng vai trò quan trọng đối với chất lượng âm của loa thùng

(loudspeaker). Khi cần loa thùng cho chất lượng âm thật tốt, nhiều loa nhỏ thường được tích hợp trong 1 thùng loa, mỗi loa nhỏ như vậy phụ trách một dải tần số âm nhất định. Trên một loa thùng, những loa nhỏ phát ra âm tần số cao gọi là loa tweeter (thường gọi là loa treble), những loa nhỏ phát ra âm tần số trung bình gọi là loa trung. Ở dải tần số cao và trung, màng loa phải đủ nhỏ và mềm để đáp ứng kịp cho những dao động nhanh và liên tục được tạo ra. Vì thế mà loa treble thường được thiết kế kích thước rất nhỏ so với loa bass. Những loa lớn phát ra âm tần số thấp gọi là loa bass - loa sub hay loa siêu trầm (woofer). Ở dải tần thấp này, sóng âm có biên độ dao động lớn, màng loa phải có kích thước rộng. Chính vì thế mà các loa bass thường có màng loa rất lớn.



**Hình 6.6.** Cấu tạo một loa thùng đơn giản với các loa nhỏ và thùng loa

### 6.1.2.1. Loa siêu trầm - theo Công ty TNHH TM Minh Thanh P.I.A.N.O (2016)

Loa siêu trầm (loa sub, hay subwoofer) là một loa trầm hoặc một loa hoàn chỉnh, được dành riêng cho mục đích phát ra các âm thanh có tần số thấp (gọi là âm bass). Loa siêu trầm được tạo thành từ một hoặc nhiều loa trầm cùng tích hợp trong một thùng loa thường được làm bằng gỗ hay bằng nhựa có khả năng chịu áp suất không khí và chống biến dạng. Có hai loại loa siêu trầm chủ yếu:

- Loa siêu trầm thụ động được hỗ trợ bởi một bộ khuếch đại bên ngoài, trên thực tế thường chia sẻ với amplifier chính của hệ thống,
- Và loa siêu trầm chủ động có một bộ khuếch đại (amplifier) riêng tích hợp bên trong.

Một loa siêu trầm thường có khả năng tái tạo các âm thanh có tần số thấp, vào khoảng 20 Hz - 200 Hz. Loa siêu trầm thường rất phù hợp cho các bộ phim hành động, các bản nhạc dance, những tiếng trống... Khi trong hệ thống loa có một loa siêu trầm thì các loa khác sẽ có kích thước nhỏ hơn (bớt loa trầm) vì phần âm trầm đã được loa siêu trầm phụ trách. Khi bố trí hệ thống loa trong thính phòng, loa siêu trầm cần được bố trí cân chỉnh với những thiết bị âm thanh khác trong một bộ loa để tạo ra trường âm hoàn chỉnh. Loa siêu trầm nếu thiết kế riêng rẽ tách khỏi loa thùng thường có hình dạng phong phú, nhưng cơ bản có 3 dạng cấu trúc:

- Loa siêu trầm liền hộp: có cấu tạo giống với loa thùng, có một màng loa để âm thanh phát ra, bên ngoài có lưới hay màng bảo vệ.

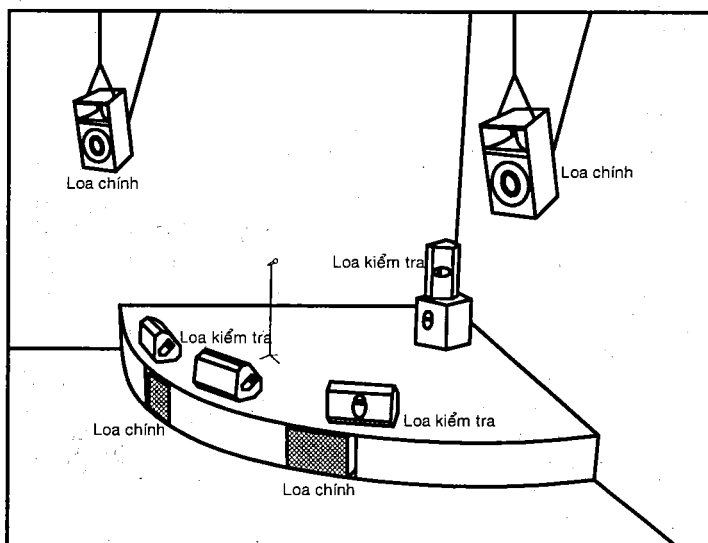
- Loa siêu trầm có lỗ: cũng giống như loa liền hộp, nhưng thiết kế có thêm một hay vài lỗ ở dưới đường tiếng để có thể mang đến những âm thấp nhất và giúp âm trầm như lan tỏa mạnh hơn. Loại này rất phổ biến trên thị trường hiện nay.

- Loa siêu trầm đẳng áp: Thiết kế với 2 loa trầm bố trí đối diện với nhau. Các sóng âm sẽ phát ra có cùng pha, cùng tần số sẽ cộng hưởng để tạo ra những tiếng bass mạnh hơn, đem lại hiệu quả âm thanh cao hơn. Loại loa đẳng áp này thường sử dụng cho các dàn âm thanh công suất lớn, hoặc dành cho các sân khấu ca nhạc...

#### **6.1.2.2. Loa dành cho khán giả và loa kiểm tra (monitor speaker)**

Loa kiểm tra là một loại loa sử dụng trong biểu diễn trực tiếp (nhạc sống, hòa nhạc, opera...) trong đó có sử dụng hệ thống tăng âm để điều tiết âm thanh của người biểu diễn. Loa kiểm tra được bố trí trên sân khấu, ngửa mặt về hướng người biểu diễn (xem Hình 6.7). Loa kiểm tra thường là những loa đơn hoàn chỉnh về dải tần số hoạt động, có cấu tạo để dễ dàng di chuyển và chống va chạm: có tai xách, ốp kim loại bảo vệ góc, lưới bảo vệ loa.

Nếu không có loa kiểm tra, âm thanh mà người biểu diễn trên sân khấu nghe được là âm phản xạ từ tường hậu của phần khán phòng. Âm phản xạ tự nhiên này thường trễ hơn âm trực tiếp và bị méo âm, có thể khiến cho người ca sĩ hát lạc nhịp với ban nhạc. Vì lý do đó, một kênh tín hiệu âm thanh hoàn chỉnh được dẫn ra loa kiểm tra phát và đến tai người biểu diễn để họ diễn đúng nhịp và đúng thứ tự với mọi người. Tín hiệu này phải là tín hiệu “khô” (dry mix), nghĩa là chưa có các hiệu ứng điện tử như echo hay âm vang.

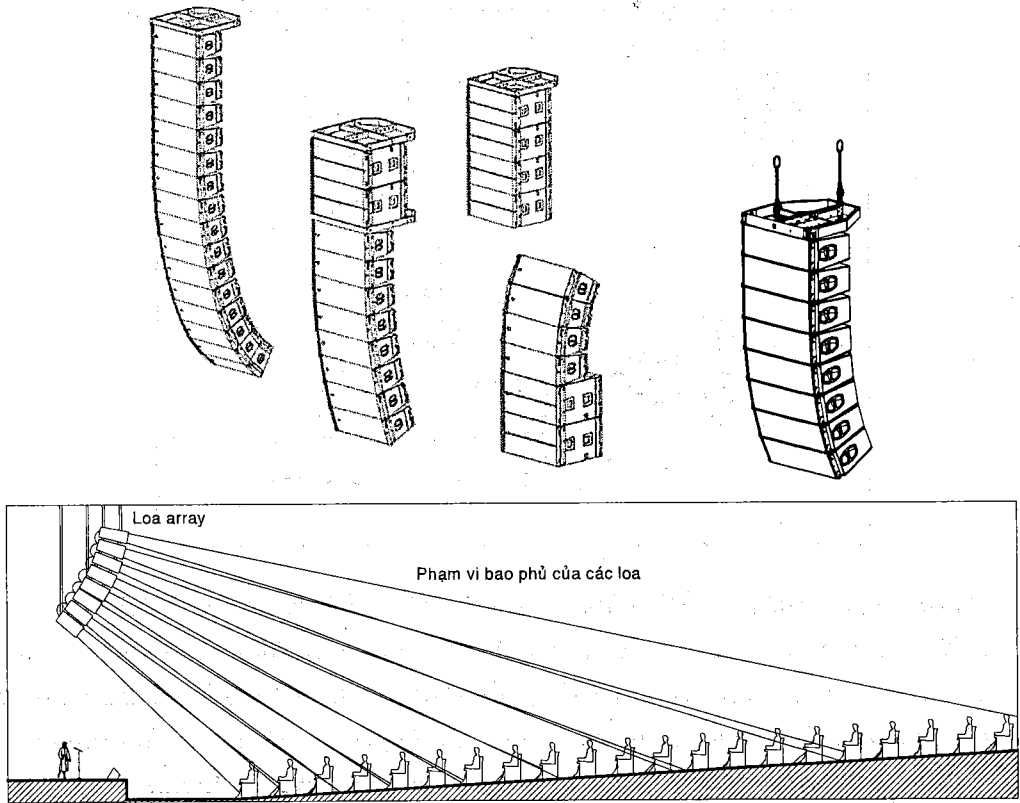


**Hình 6.7.** Một ví dụ điển hình của việc bố trí hệ thống loa kiểm tra:  
 3 loa kiểm tra hình trụ tam giác quay mặt về phía người biểu diễn và ban nhạc.  
 Thậm chí ở vị trí chơi trống, tay trống còn được bố trí 1 loa kiểm tra siêu trầm  
 (để theo dõi âm trầm của trống và của thiết bị điện tử) và một loa thùng  
 trụ tam giác để kiểm tra tiếng hát và âm trung - cao tần.

Loa dành cho khán giả là hệ thống loa chính của thính phòng, là hệ loa định hướng về phía khán giả. Hệ loa này có khả năng tái tạo âm thanh trên toàn bộ dải tần số 20 Hz - 20.000 Hz, có đầy đủ các hiệu ứng như độ trễ, độ vang, echo... Hệ loa dành cho thính phòng lớn thường gồm loa chính, loa phụ, loa tạo hiệu ứng... với nhiều chủng loại như loa thùng, loa nén, loa sắt, loa array... tùy thuộc theo vị trí và mục đích của từng loa. Kỹ thuật bố trí loa sẽ được bàn kỹ trong các phần sau của chương này.

### 6.1.2.3. Loa array

Loa array (line array) là một chuỗi gồm các loa nhỏ (loa đơn vị) có đáp tuyến toàn bộ dải tần số, có kiểu giống nhau được lắp liên kết với nhau thành một đường, để tạo ra một nguồn âm đường. Các loa này được cung cấp tín hiệu đồng pha. Khoảng cách giữa các loa đơn vị là liền kề nhau khiến âm thanh phát ra giao thoa với nhau và đi xa hơn các loại loa dạng kèn truyền thống và cấu trúc của sóng âm được trải đều hơn. Do đó, loa array thường được sử dụng cho những hội trường lớn, sân khấu ngoài trời có phạm vi hoạt động rộng và xa, khán giả đông. Hình 6.8 giới thiệu một ví dụ về cách bố trí và sự phân bố âm thanh phát ra bởi một chuỗi loa array trong phòng.



**Hình 6.8.** Nguyên lý bố trí và phân bố âm thanh của một hệ thống loa array

Các loa đơn vị trong chuỗi loa array thường có kích thước gọn gàng, nhưng lại có công suất lớn bởi chúng thường được chế tạo với kỹ thuật loa nén, giúp cho các khoang chứa loa có thể tích nhỏ. Một loa đơn vị thường có độ nhạy cao với củ loa có nam châm điện mạnh. Các loa đơn vị thường được ghép với nhau bằng khung nối tiêu chuẩn và hệ thống thường được treo.

Hệ thống loa array có những ưu điểm sau:

- Gọn gàng và dễ tháo lắp, vận chuyển và linh hoạt điều chỉnh số lượng loa trong 1 chuỗi array. Người dùng dễ dàng định hướng góc phát thanh nhờ vào hệ thống móc treo đi kèm trong các bộ loa. Các loa đơn vị được chế tạo nằm ngang, nên khi chồng lên nhau, chiều cao của hệ thống ở mức vừa phải, chỉ khoảng  $\frac{1}{2}$  so với loa đứng.

- Âm thanh các loa phát ra ít bị nhiễu, ít bị triệt tiêu nhau (do cùng pha), âm đi xa hơn và năng lượng âm lớn hơn. Thường thì các họng loa treble được chế tạo với góc phát thanh theo mặt phẳng ngang lớn ( $100 - 120^\circ$ ), góc phát trên mặt phẳng đứng lại rất hẹp - thường không quá  $12^\circ$  tùy theo sự sắp xếp góc giữa các

loa. Chính vì vậy âm thanh sẽ phóng xa hơn mà không bị nhiễu lẫn nhau. Với loa thông thường (nguồn điểm), năng lượng âm tắt dần theo quy luật bình phương khoảng cách (khoảng cách tăng gấp đôi, mức âm giảm 6 dB. Nhưng đối với loa array (nguồn đường), năng lượng âm chỉ giảm đi 3 dB khi khoảng cách tăng gấp đôi.

Do các loa array thường có kích thước nhỏ (củ loa thường có đường kính 6", 8", 10", 12"), nên phù hợp hơn cho âm thanh tần số trung và cao. Do đó, trong các sự kiện trình diễn âm thanh, các loa siêu trầm (có kích thước củ loa lớn hơn, khoảng 18") đảm nhiệm dải tần thấp, còn các loại loa array sẽ chủ yếu tập trung vào dải tần số cao. Loa array chỉ phù hợp khi cần phát âm đi xa. Nếu vị trí người nghe quá gần, < 10 m, hiệu quả âm thanh mà nó mang lại sẽ không như các loa thùng thông thường. Ngoài ra, loa array cần ít nhất 4 loa đơn vị cho một dãy loa, nên chi phí cho hệ thống lớn hơn so với hệ thống loa thùng thông thường. Hiện nay, loa array rất được ưa chuộng khi sử dụng cho các sự kiện ngoài trời. Việc lắp đặt, vận chuyển cũng khá đơn giản.

#### **6.1.2.4. Đáp tuyến tần số của loa (*Loudspeaker frequency response*)**

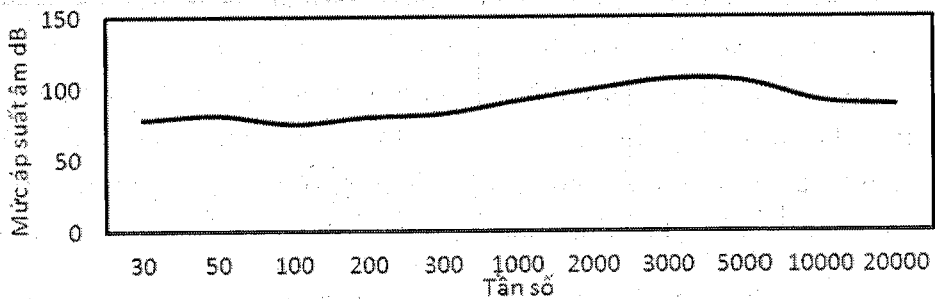
Khái niệm đáp tuyến tần số của loa: là thông số kỹ thuật của một chiếc loa thể hiện phạm vi tần số âm thanh mà loa đó có khả năng tái tạo và phát ra... nhà sản xuất loa thường sẽ thể hiện đáp tuyến tần số của loa thông qua biểu đồ đi kèm trong catalogue, trong đó cho thấy ở những quãng tần số khác nhau âm thanh sẽ được loa tái tạo ở mức nào. Đây là một thông tin quan trọng để lựa chọn loa cho phù hợp mục đích biểu diễn.

Âm thanh trong khoảng 20 Hz đến 20000 Hz có thể nghe được đối với người trẻ có tai bình thường. Các nhà sản xuất loa có thể công bố rằng loa của họ có thể tái tạo tốt toàn bộ dải âm thanh này. Nhưng thực tế khó có loa nào đáp ứng được điều đó. Để có đáp tuyến tần số rộng, người ta phải sử dụng nhiều loa có đáp tuyến tần số khác nhau.

Nói chung, âm trầm có dải tần khoảng 20 Hz - 500 Hz trong khi âm trung sẽ là khoảng 500 Hz đến 5.000 Hz. Còn âm cao tần có dải 5.000 Hz - 20 kHz. Đôi khi, dải nói trên còn được chia nhỏ hơn thành các dải nhỏ hơn. Hiểu được các dải tần này giúp chúng ta xác định được chất lượng loa như thế nào nếu biết đáp tuyến tần số của nó. Chẳng hạn với biểu đồ trong Hình 6.9, chúng ta có thể thấy rằng đoạn trên của dải tần số trung (các âm thanh rất chi tiết thường ở trong dải tần số này) sẽ to và rõ ràng. Những âm trầm dường như sẽ nhỏ dần theo tần số.

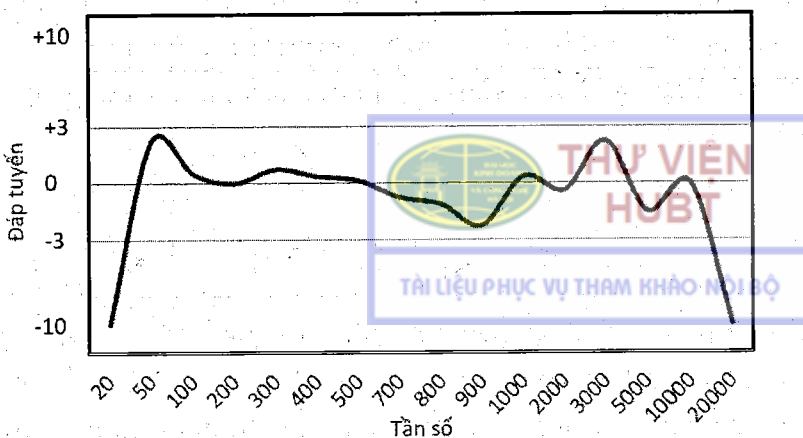
Tuy nhiên, để hiểu rõ hơn biểu đồ này, chúng ta cần kiến thức về các yếu tố liên quan khác đến loa. Đặc tính nghe của tai người, tương tác giữa các loa với nhau, cấu trúc thùng loa, trang âm của phòng và một loạt các yếu tố khác cần phải xem xét khi phân tích biểu đồ đáp tuyến tần số của loa.

Lấy ví dụ, biểu đồ trong Hình 6.9 cho thấy loa rất mạnh ở dải trên của tần số trung, nếu chúng ta biết biểu đồ này là của một tai nghe nhét trong lỗ tai thì trong thực tế hoạt động, âm trầm sẽ tăng lên rất nhiều do tiếp xúc trực tiếp của tai nghe và lỗ tai trong. Nếu biểu đồ đáp tuyến cho thấy tai nghe mạnh ở tần số thấp, trên thực tế nghe âm trầm sẽ rất lớn và nghe “lùng bùng” do hiệu ứng tiếp xúc nói trên.



**Hình 6.9.** Biểu đồ đáp tuyến tần số của loa ở dạng mức áp suất âm

Trong một số trường hợp, biểu đồ đáp tuyến tần số của loa được thể hiện dưới dạng dung sai của loa trong phép đo (Hình 6.10) chứ không phải là mức áp suất âm (Hình 6.9). Tuy nhiên cả 2 loại biểu đồ này phản ánh nội dung cơ bản là giống nhau. Các nhà sản xuất sử dụng dung sai  $\pm 3$  dB là đơn vị trong biểu đồ đáp tuyến này vì tai người chỉ có thể cảm nhận được sự khác biệt nếu sự thay đổi mức áp suất âm không nhỏ hơn 3 dB.



**Hình 6.10.** Biểu đồ đáp tuyến tần số ở dạng dung sai

Thí nghiệm xác định biểu đồ đáp tuyến tần số của loa:

Để đưa ra được một đồ thị đáp tuyến tần số của loa hay microphone, nhà sản xuất phải sử dụng các phép đo trong phòng thí nghiệm. Cách thức hay dùng là cấp cho loa các tín hiệu âm thanh có tần số khác nhau ở cùng một mức âm lượng, rồi đo mức áp suất âm mà loa phát ra. Dùng microphone đặt cách 1 m ở phía trước loa để đo mức áp suất âm mà loa phát ra. Việc thí nghiệm được thực hiện trong phòng câm (không có tiếng dội). Thông thường, với loa thì người ta sẽ cấp cho nó các âm có tần số theo từng quãng 1/3 octave (xem Hình 1.8), trong dải tần từ 20 Hz cho tới 20 kHz.

#### 6.1.2.5. Độ nhạy của loa (sensitivity)

Một trong những thông số cơ bản nhưng cũng rất quan trọng khi đánh giá loa là chỉ số **độ nhạy**, được đo bằng decibel (dB). Độ nhạy của loa được xác định bằng cách đo Mức áp suất âm (SPL) thu được cách loa 1 m khi loa nhận 1 W công suất từ âm-ly (đo trong phòng câm - không có tiếng dội). Độ nhạy là thông số quan trọng để biết được công suất tối thiểu của âm-ly phải là bao nhiêu để phối ghép với loa.

Công suất âm-ly được tính bằng tỷ số giữa bình phương hiệu điện thế với trở kháng âm-ly. Thông thường, với mức điện áp đầu vào chuẩn là 2.83 V, nếu âm-ly có mức trở kháng 8  $\Omega$ , công suất mà loa nhận được là 1 W (tức  $2.83^2/8 = 8.0089/8 = 1$  W). Nếu trở kháng của âm-ly là 4  $\Omega$  thì công suất của âm-ly cung cấp cho loa sẽ là 2 W.

Một ví dụ cho thấy sự quan trọng của độ nhạy của loa khi chọn âm-ly: loa có độ nhạy 85 dB có nghĩa là loa sẽ phát ra âm có mức áp suất âm 85 dB khi cung cấp cho loa công suất 1 W, đo được cách loa 1 m. Để tạo ra âm lượng 101 dB, một loa có độ nhạy 80 dB cần âm-ly cung cấp công suất 128 W. Trong khi đó, loa nhạy 95 dB chỉ cần 2 W từ âm-ly để tạo ra âm lượng tương đương. Độ nhạy loa cứ giảm đi 3 dB thì cần công suất âm-ly gấp đôi để tạo ra mức âm không thay đổi. Đây cũng là lý do mà dùng sai  $\pm 3$  dB được dùng làm đơn vị trong phép đo biểu đồ đáp tuyến tần số của loa.

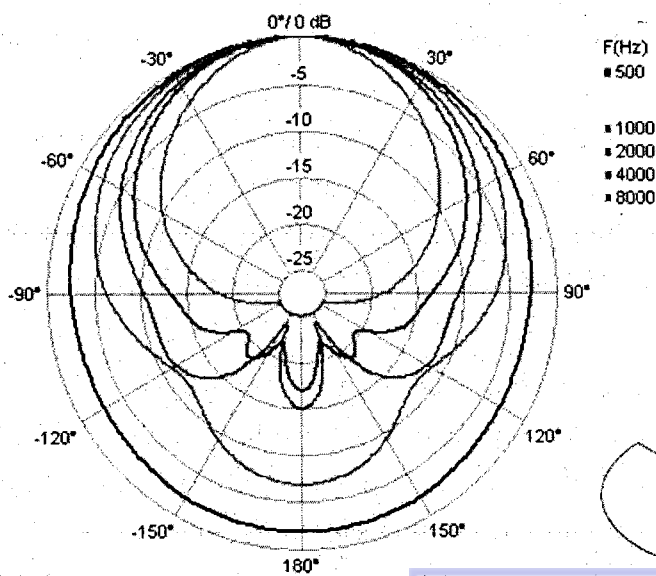
Trên thị trường, hầu hết các loa đều có độ nhạy khoảng 80 dB đến 90 dB hoặc hơn. Các loa tốt thường có độ nhạy 90 dB trở lên.

Cần lưu ý là độ nhạy của loa chỉ liên quan đến độ lớn nhỏ của âm mà loa phát ra (hay công suất âm của loa) chứ không liên quan đến chất lượng âm. Do

đó một loa có độ nhạy cao chưa chắc đã nghe hay hơn loa có độ nhạy thấp. Trong khi đó, đáp tuyến tần số của loa vừa liên quan mật thiết đến chất lượng âm của loa, vừa ít nhiều liên quan đến âm lượng mà loa phát ra, trong mối tương quan với các tần số.

### 6.1.2.6. Hướng phát của loa

Hướng phát là một khái niệm dùng để biểu thị sự thay đổi cường độ mức xạ âm trên các hướng lệch khỏi trục loa, ứng với các tần số âm khác nhau. Một loa có hướng phát rộng thường được hiểu là nó có thể duy trì áp suất âm (sound pressure level, SPL) đồng đều trên các hướng khác nhau dù lệch khỏi trục loa. Ngược lại, một loa có hướng phát hẹp có mức áp suất âm trên trục loa lớn hơn rất nhiều so với áp suất âm trên các hướng lệch khỏi trục loa. Hướng phát của loa là một đặc trưng quan trọng của loa, giúp người thiết kế bố trí loa trên hướng và khoảng cách thích hợp.

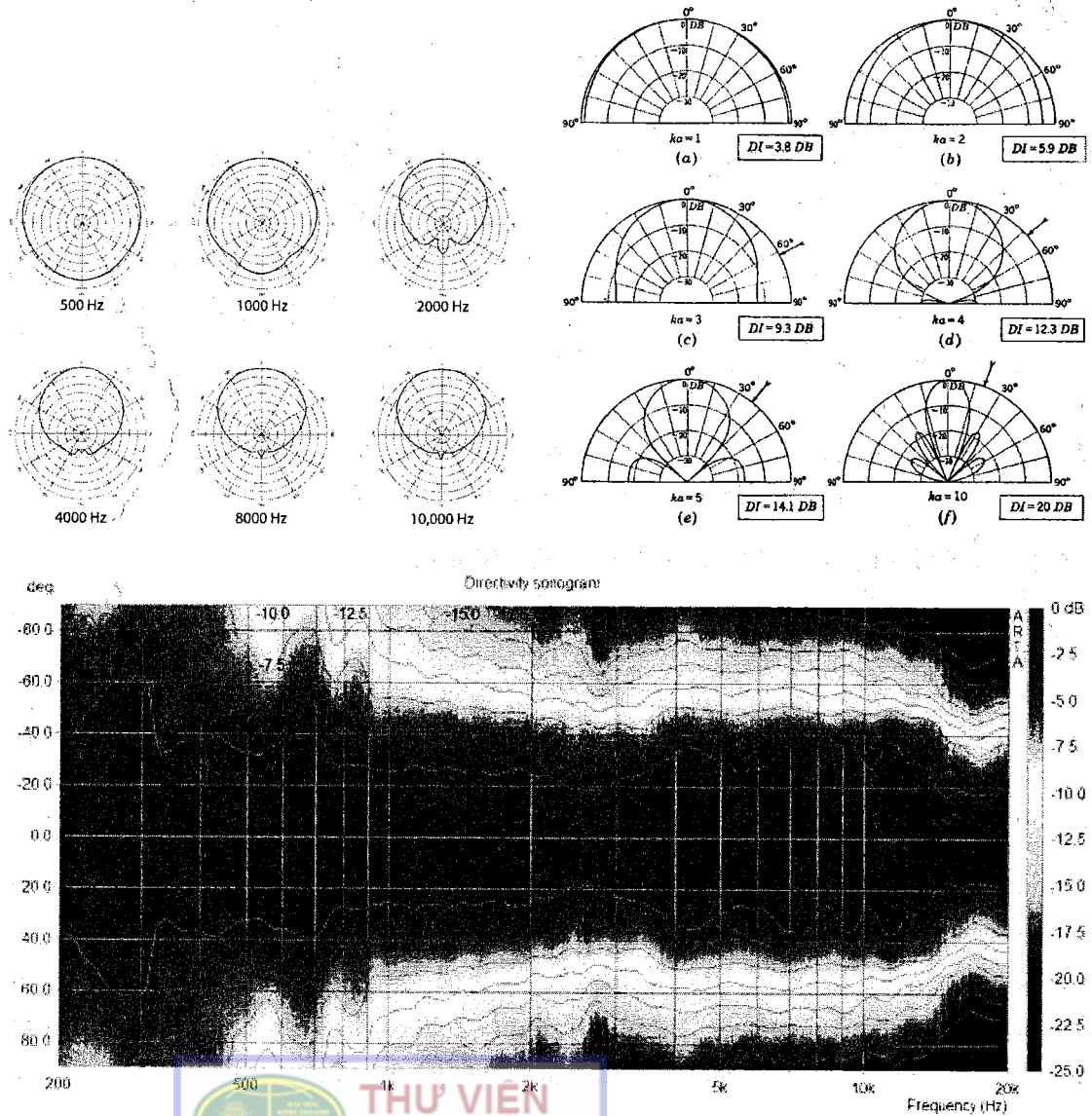


Hình 6.11. Biểu đồ hướng phát của loa và nguyên lý vẽ biểu đồ

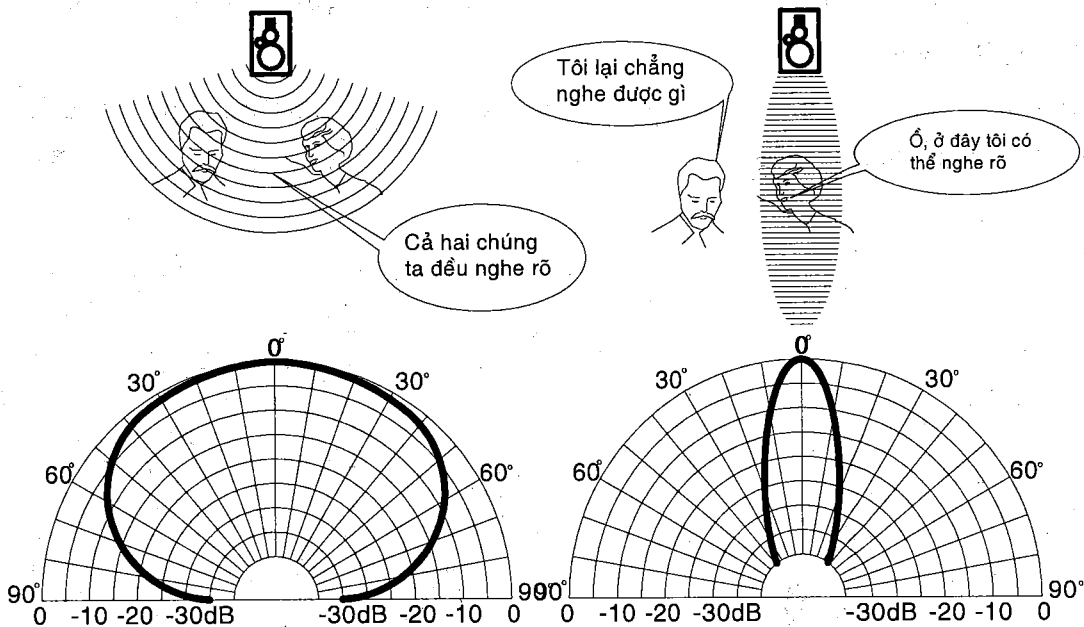
Hướng phát của loa thường được nhà sản xuất loa biểu thị bằng một biểu đồ cực (có thể là 1 đường tròn, hoặc 1 nửa đường tròn phía trên) như trong Hình 6.11. Trên biểu đồ này, hướng phát của loa ứng với các tần số khác nhau được biểu thị bằng các đường cong có màu sắc tương ứng. Hướng phát trên trục loa (hướng 0°) có độ suy giảm âm là 0 dB. Các hướng lệch khỏi trục luôn có độ suy giảm nhiều

hơn 0 dB, biểu thị bằng dấu trừ. Nói chung, tần số phát của loa càng cao, hướng phát càng thu hẹp.

Hình 6.12 và Hình 6.13 cho thấy một vài loại biểu đồ thường gặp và ý nghĩa thực tiễn của chúng.



**Hình 6.12.** Một vài dạng biểu đồ hướng phát của loa. Chú ý chỉ số DI trong các hình chữ nhật (hình phải) cho biết độ lợi áp suất âm trên trục loa so với loa đẳng hướng có cùng công suất phát ( $DI = \text{directivity index}$ ). Biểu đồ màu bên dưới cũng là một dạng biểu đồ hướng phát của loa, có tích hợp cả hướng, tần số, áp suất âm và được sử dụng phổ biến trong thời gian gần đây.



**Hình 6.13.** Ý nghĩa của biểu đồ hướng phát của loa cho thấy tầm quan trọng của nó trong việc bố trí loa và chỗ ngồi cho khán giả

### 6.1.3. Hệ thống trộn, khuếch đại và cân bằng tần số

#### 6.1.3.1. Bàn trộn (mixer)

Thiết bị trộn âm, hay gọi tắt là bàn trộn (mixer): là một thành phần không thể thiếu cho hệ thống điện thanh hoàn chỉnh; đó là thiết bị tiếp nhận đồng thời các tín hiệu điện của âm thanh từ nguồn (micro, đĩa, nhạc cụ...) và xử lý chúng sau đó cho ra một tín hiệu điện âm thanh duy nhất dưới dạng tín hiệu âm đơn kênh (mono) hay âm thanh nổi (đa kênh - stereo). Như vậy một bàn trộn (mixer) thường có rất nhiều "cổng" vào (line in) và tùy vào quy mô của thính phòng, loại hình biểu diễn và sự đa dạng của thiết bị nguồn, người sử dụng có thể lựa chọn các loại mixer có số lượng cổng Line in phù hợp. Mixer là thiết bị giúp kiểm soát tín hiệu âm thanh đầu vào một cách dễ dàng và đảm bảo thống nhất.

#### 6.1.3.2. Bộ khuếch đại (Amplifier)

Âm-ly công suất (Power amplifier): là thành phần nối tiếp với mixer, có chức năng khuếch đại tín hiệu âm thanh từ mixer, sau đó cung cấp tín hiệu âm thanh có công suất phù hợp với công suất hoạt động của loa. Âm-ly công suất là thành phần không thể thiếu trong một hệ thống điện thanh dành cho thính phòng. Công

suất âm-ly phụ thuộc vào công suất và số lượng loa của hệ thống âm thanh và được lựa chọn bởi kỹ sư điện thanh. Hiện nay, các nhà sản xuất thiết bị đã chế tạo một số loại power mixer, có tích hợp cả âm-ly vào bộ trộn (mixer), giúp đơn giản hóa và giảm kích cỡ của bộ dàn âm thanh. Một số loại power mixer hiện nay còn được tích hợp cả bộ điều chỉnh tần số (equalizer) dạng đơn giản lẫn bộ tiếp sóng micro không dây đi kèm dành giúp cho việc sử dụng thuận lợi hơn.

Có nhiều loại âm-ly dùng cho nhiều mục đích khác nhau. Do đó, tùy theo chức năng của từng loại âm ly mà chúng có những tên gọi tương ứng cho dễ nhớ. Hiện nay có 5 dạng phổ biến với tên trong tiếng Anh như sau:

- Pre-amplifier: âm-ly tiền khuếch đại có nhiệm vụ khuếch đại tín hiệu yếu từ nguồn phát (đầu CD-DVD, đầu đĩa than, điện thoại...) lên mức tín hiệu mạnh hơn để đưa vào âm-ly công suất.

- Power amplifier: âm-ly công suất có nhiệm vụ khuếch đại tín hiệu ở mức vừa từ âm-ly lên mức tín hiệu lớn ra loa phát.

- Integrated amplifier: là loại âm-ly tích hợp trong đó âm-ly công suất và âm-ly tiền khuếch đại được thiết kế nằm chung trong một vỏ máy, giúp làm tinh gọn hệ thống.

- Dual mono amplifier: là loại âm-ly tích hợp có cấu trúc đối xứng cho hai kênh phải và trái tách biệt (từ phần thu nhận tín hiệu cho tới phần khuếch đại), thường cung cấp tín hiệu cho 2 nhánh loa phải và trái.

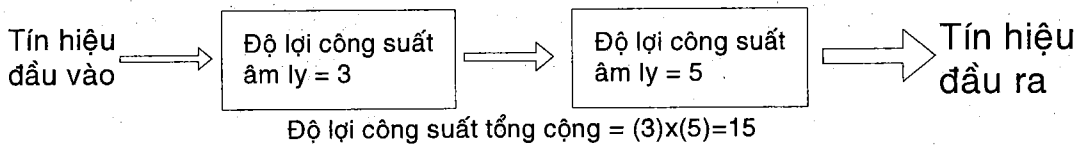
- Monoblock amplifier: Một âm-ly đa kênh (stereo) thường gồm có 2 âm-ly đơn kênh (mono) lắp đặt trong cùng một vỏ máy. Monoblock chỉ đơn giản là tách riêng 2 kênh thành 2 hệ thống đơn kênh. Với cách làm như vậy sẽ giảm được nhiều âm giữa các kênh, nhưng lại làm tăng giá thành.

Âm-ly thường có các thông số cơ bản như sau:

- Công suất của âm-ly (W): là tỷ số của bình phương điện thế với trở kháng của âm-ly, cho biết công suất mà âm-ly cung cấp cho loa. Đây là thông số quan trọng, có mối quan hệ mật thiết với độ nhạy và công suất của loa

- Độ lợi công suất (gain): Đây là tỷ số được tính theo hàm logarit giữa công suất đầu vào và công suất đầu ra của âm-ly, là đại lượng không thứ nguyên. Độ lợi công suất cho biết khả năng khuếch đại của âm-ly, tức hiệu suất làm việc của nó. Ví dụ, nếu một âm-ly xoay chiều với độ lợi công suất là 3.5 được cấp một tín hiệu

đầu vào AC công suất 28 mA RMS, công suất tín hiệu đầu ra sẽ là  $3.5 \times 28$  mA, tức 98 mA. Nếu nhiều âm-ly được nối tiếp, độ lợi công suất tổng cộng sẽ là tích của độ lợi của từng âm-ly (xem Hình 6.14).



**Hình 6.14.** Độ lợi công suất của 1 chuỗi liên tục các âm-ly là tích độ lợi của từng âm-ly

- Đáp tuyến tần số (frequency response) của âm-ly: là dải tần số tín hiệu đầu vào mà âm-ly có thể tiếp nhận, khuếch đại và phát lại. Thông thường các âm-ly tốt có đáp tuyến tần số trong khoảng âm thanh mà tai người nghe thấy (20 Hz đến 20 kHz). Biểu đồ **đáp tuyến tần số càng ổn định (phẳng) sẽ thể hiện khả năng khuếch đại và tái tạo âm thanh càng tốt.**

- Hiệu suất điện (efficiency): là tỷ số công suất tín hiệu âm thanh trên công suất điện mà âm-ly tiêu thụ, cho biết khả năng sản sinh công suất âm thanh (có ích) theo công suất đầu vào của âm-ly. Một âm-ly có thể có hiệu suất rất thấp 10% (năng lượng điện bị tổn hao dưới dạng tỏa nhiệt trên sò hoặc đèn điện tử) đến cao 90%.

- Độ méo hài tổng (total harmonic distortion - THD): quá trình khuếch đại tín hiệu qua âm-ly làm tín hiệu bị biến dạng. Độ méo hài tổng là chỉ số (tính bằng %) cho biết mức độ biến dạng của âm thanh sau khi qua âm-ly. Vì vậy âm-ly có THD thấp thì có khả năng tái tạo âm thanh trung thực. Thông thường âm-ly phải có THD không vượt quá 0,5%.

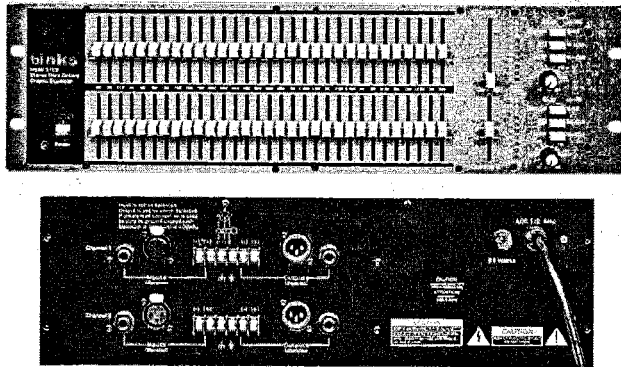
- Trở kháng ra (output impedance) ( $\Omega$ ): là trở kháng ra của công ra của âm-ly. Khi lựa chọn âm-ly và loa cần quan tâm đến mối tương quan về công suất và trở kháng của 2 thiết bị này để chúng không bị quá tải khi hoạt động.

Cần lưu ý là âm-ly công suất dư so với yêu cầu cho chất lượng âm thanh tốt hơn âm-ly có công suất vừa đủ, lúc nào cũng hoạt động ở công suất tối đa.

Ngoài các thiết bị chính nói trên, trong hệ thống âm thanh còn có thể gặp các thiết bị hỗ trợ khác cho âm thanh hiệu quả. Thứ tự bố trí thường hay gặp của các thiết bị này được giới thiệu trong Hình 6.2. Đôi khi, các thiết bị hỗ trợ này được tích hợp trên các thiết bị chính như mixer hoặc âm-ly. Các thiết bị hỗ trợ gồm có:

### 6.1.3.3. Bộ cân bằng âm sắc (equalizer) - còn gọi là bộ lọc tần số

Equalizer - hay thường được gọi tắt EQ - là thiết bị điều chỉnh đặc tính tần số của tín hiệu đầu vào sao cho đạt được hiệu ứng âm thanh tốt nhất cho loại hình biểu diễn (Hình 6.15). EQ sử dụng nhiều bộ lọc điện tử mà mỗi bộ lọc như vậy làm việc theo nguyên lý tăng hoặc giảm tín hiệu của từng dải tần số. Bộ cân bằng âm sắc giúp khắc phục những khiếm khuyết của âm thanh nguồn, cho âm thanh đầu ra hay hơn theo ý muốn. Một hệ thống điện thanh có tính năng hoàn chỉnh luôn có bộ phận này. Một ví dụ ứng dụng của thiết bị này là trong khi thu âm, chúng ta có thể dùng chức năng “low-pass filter” để cắt đi tần số cao khi thu âm tiếng guitar bass, giúp bản phối cuối cùng sạch sẽ và hoàn hảo hơn.



Hình 6.15. Mặt trước và mặt sau của một bộ cân bằng âm sắc kiểm soát 31 dải tần số

### 6.1.4. Hệ thống các dây nối: Dây loa và Âm-ly

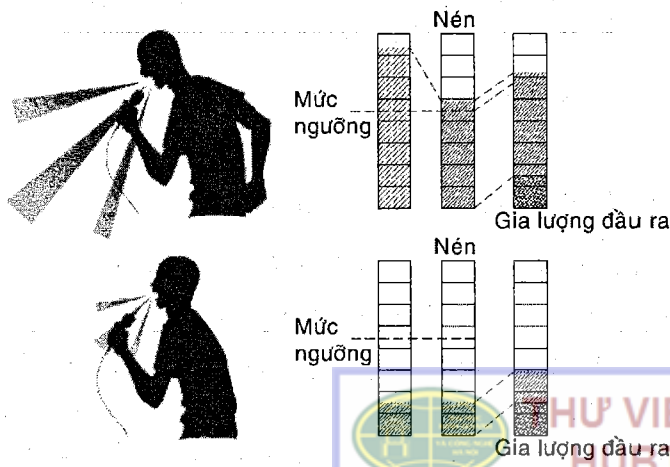
Dây loa thường được làm từ nhiều chất liệu khác nhau, tùy theo công nghệ chế tạo, tiết diện của dây hay nhiệt độ môi trường mà dây làm việc. Về mặt nguyên tắc, đường truyền dẫn dài thì tổn hao công suất càng lớn, do đó dây loa phải có tiết diện ngang tỷ lệ thuận với độ dài của dây. Các loại dây loa thường phải có đường kính dây đạt chuẩn (từ 1.5 mm<sup>2</sup> trở lên) để có thể đảm bảo được hiệu quả truyền tín hiệu. Đặc biệt lớp vỏ bọc dây đóng vai trò quan trọng trong việc chống nhiễu, chống tổn hao tín hiệu. Các loại dây bọc bằng nhựa PVC hiện nay rất phổ biến, và đó cũng là một sự lựa chọn tốt mà chúng ta có thể xem xét. Để giảm tổn hao công suất tín hiệu trên đường truyền, âm-ly gần cần được bố trí càng gần với vị trí đặt loa càng tốt. Hiện trên thị trường có những loại dây có giá thành từ vài chục ngàn đồng đến vài chục triệu đồng trên 1 mét dài.

Để giảm ảnh hưởng của dây loa và độ dài đường truyền, người ta có thể sử dụng các loa điện thế. Nếu như thính phòng chỉ dùng để phát tiếng nói, truyền thông báo, thông tin... qua lời nói thì việc sử dụng các loại loa điện thế sẽ hợp lý nhất do tín hiệu hầu như không bị suy hao khi truyền đi khoảng cách xa cũng như không bị ảnh hưởng nhiều bởi chất lượng dây loa. Do đó hệ thống âm thanh với loa điện thế rất hay gặp trong siêu thị, sân bay, cửa hàng, nhà ga...

### 6.1.5. Các thiết bị phụ trợ (không nhất thiết phải có)

#### 6.1.5.1. Compressor (bộ nén)

Bộ nén dùng để nén tín hiệu âm thanh với mục đích làm dịu bớt những âm thanh lớn và làm nổi bật lên những âm thanh nhỏ. Biểu diễn bởi các nhạc cụ và giọng hát không phải lúc nào cũng duy trì cùng một âm lượng ổn định. Bộ nén giúp điều chỉnh âm lượng để khán giả có thể nghe thoải mái, là một yếu tố quan trọng trong quá trình hòa âm. Với bộ nén, khi ca sĩ gào thét lớn, người nghe vẫn thấy dễ chịu và giọng ca sĩ vẫn hài hòa với nhạc nền. Bộ nén thường gồm 3 thông số chính là *mức ngưỡng*, *tỷ số nén*, *gia lượng đầu ra*. Bộ nén còn giúp cho hệ thống âm thanh tránh phải truyền tải những tín hiệu có cường độ cao có khả năng làm hỏng bo mạch chủ của nguồn hoặc làm cháy các loa.



Hình 6.16. Chức năng của bộ nén

#### 6.1.5.2. Bộ giới hạn (limited)

Có vai trò tương tự như compressor, nhưng chỉ giúp giới hạn cường độ tín hiệu ra luôn không vượt quá một mức ngưỡng nào do người dùng ấn định mặc dù tín hiệu vào có thể tăng cao bất thường.

### **6.1.5.3. Bộ chia tần số (crossover)**

Bộ chia tần số là thiết bị nối giữa mixer và âm-ly có nhiệm vụ phân chia toàn bộ dải tần số mà tai người nghe được (20 Hz - 20.000 Hz) thành nhiều dải tần số hẹp hơn (thông thường hay gặp chia 2, 3 hay 4 dải). Sau đó mỗi dải tần số hẹp này sẽ được xử lý bởi một kênh riêng qua âm-ly phát ra loa và mỗi loa chỉ nhận dải tần số hẹp phù hợp với tính năng của nó. Âm thanh đầu ra từ các loa có đủ các tần số mong muốn, hiệu quả sử dụng loa cao hơn, loại bỏ được các tạp âm, và làm tăng chất lượng cảm thụ âm thanh.

### **6.1.5.4. Bộ tạo thời gian trễ (delay)**

Từ một tín hiệu âm thanh đầu vào, bộ tạo trễ giúp tạo ra những tín hiệu âm thanh đầu ra có độ trễ khác nhau để đưa đến những loa có vị trí khác nhau trong thính phòng. Như vậy, cùng một nguồn âm nhưng có loa phát trước, có loa phát sau. Bộ tạo trễ giúp giải quyết tốt hiệu ứng Haas trong thính phòng, giúp người nghe định vị chính xác nguồn âm.

### **6.1.5.5. Bộ tạo lặp (echo) - tạo vang (reverberator)**

Đây là các thiết bị tạo hiệu ứng âm thanh khiến âm lặp đi lặp lại (echo) hay kéo dài, ngân vang (âm vang). Cả hai hiệu ứng này rất cần cho thính phòng biểu diễn.

### **6.1.5.6. Bộ ức chế phản quy (Feedback suppressor hay feedback exterminator)**

Người ta thường dùng Bộ ức chế phản quy tự động để phát hiện âm thanh phản quy và ngăn chặn nó, thường bằng cách tự động chèn một bộ lọc tần số hẹp vào kênh truyền tín hiệu của hệ thống, ngăn ngừa phản quy rú rít xảy ra. Âm thanh phản quy có thể tạo ra tiếng ồn không mong muốn, làm phá hỏng màn trình diễn, và có thể gây tổn thương thính giác của người biểu diễn và khán giả. Âm thanh phản quy xảy ra khi một microphone "nghe" những âm thanh từ loa kiểm tra hay loa chính. Thông thường, hệ thống điện thanh rất nhạy đối với các âm có tần số nhỏ hơn 3000 Hz, đặc biệt là âm nhỏ hơn 300 Hz. Nên bộ ức chế phản quy thường nhắm đến các tần số này.

## **6.2. PHÂN LOẠI CÁC HỆ THỐNG ĐIỆN THANH**

### **6.2.1. Phân loại theo đặc điểm bố trí hệ thống thu phát**

Hệ thống điện thanh đóng vai trò cực kỳ quan trọng trong các thính phòng hiện nay. Do đó, việc bố trí chúng sẽ ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng âm thanh trong thính phòng. Theo cách bố trí hệ thống điện thanh, chúng ta có thể chia thành 2 trường hợp như trình bày trong những phần sau.

### **6.2.1.1. Hệ thống thu phát bố trí trong 2 phòng cách biệt**

Trường hợp này thường gặp trong các phòng thu (studio truyền hình) hay các hệ thống phát thanh ở trong các không gian công trình công cộng (nhà ga, sân bay, siêu thị, bệnh viện, nhà thi đấu...). Ở đây, đầu thu âm và loa bố trí cách xa nhau, trong khác không gian riêng biệt, nên không xảy ra hiện tượng phản quy (hồi tiếp).

Trong trường hợp này, người ta thường dùng một loại loa là loại loa điện thể. Loại loa điện thể có kích thước nhỏ gọn và trọng lượng nhẹ hơn rất nhiều so với loa điện động. Các loại loa điện thể có ưu điểm là có cấu tạo đơn giản hơn, nên tín hiệu âm thanh ít bị suy hao nên có thể bố trí âm-ly và loa cách xa nhau mà không làm ảnh hưởng đến chất lượng âm. Đặc biệt là các loại loa điện thể thường có độ nhạy rất cao, khoảng 90 - 99 dB, và chất lượng âm thanh không phụ thuộc vào khoảng cách và chất lượng dây loa. Tuy nhiên, do chỉ sử dụng một loa duy nhất phát tất cả các âm thanh, nên các loại loa điện thể không thể cho chất lượng âm phong phú như các loại loa điện động.

Trường hợp này thường chỉ cần chất lượng âm bình thường, mục đích chủ yếu là truyền tiếng nói, do đó không phải là đối tượng nghiên cứu của âm học kiến trúc.

Một trường hợp nữa có thể gặp là hệ thống điện thanh để phóng thanh ngoài trời (trong sân vận động, trong khu phố, khu dân cư, làng mạc...). Môi trường này cần loa công suất lớn, thường dùng loa sắt. Âm thanh phát ra có thể đi xa hàng kilomet. Nếu biểu diễn ngoài trời cần chất lượng âm cao thì hệ thống điện thanh kết hợp loa thùng công suất lớn được sử dụng.

### **6.2.1.2. Hệ thống điện thanh thu - phát trong cùng một thính phòng**

Đây là trường hợp phổ biến nhất trong các thính phòng biểu diễn, nơi thính giả vừa có thể nghe âm trực tiếp từ sân khấu nơi có diễn viên và dàn nhạc hoạt động, nhưng phần lớn âm thanh trong thính phòng lại đến từ hệ thống loa bố trí trong đó. Trong loại thính phòng này, âm thanh phát ra từ loa có thể quay lại và tác động lên đầu thu (microphone) khuếch đại và lại phát ra loa gây méo mó trường âm. Đây là hiện tượng phản quy (Nguyễn, 2011) hay hiện tượng hồi tiếp (Phạm, 2011) (audio feedback hay acoustic feedback).

Đây là trường hợp mà âm thanh yêu cầu có chất lượng cao, việc tính toán bố trí phức tạp, do đó cần phải nghiên cứu cụ thể. Trong trường hợp này, tùy theo cách bố trí loa trong thính phòng mà người ta còn chia ra các trường hợp:

*- Bố trí loa tập trung:*

+ Kiểu mono: là hệ thống gồm một hay nhiều loa bố trí tập trung cố định một chỗ, nhưng chia sẻ một kênh tín hiệu duy nhất hoặc nhiều kênh tín hiệu nhưng phát âm thanh hoàn toàn giống nhau và không có độ trễ.

+ Kiểu trái - phải: là kiểu bố trí 2 cụm loa bên trái và bên phải sân khấu (hay màn ảnh). Nếu 2 cụm loa này được cung cấp bởi 2 kênh tín hiệu trở lên, phân bố tín hiệu từ trái sang phải (hoặc ngược lại) thì đây là hệ thống stereo (đa kênh). Âm thanh trong trường hợp này nghe sinh động hơn âm thanh mono và cho cảm giác không gian. Ví dụ tiếng một chiếc ô tô chạy từ trái qua phải có thể được tái tạo bởi hệ thống âm thanh stereo này. Đôi khi người ta có thể bố trí loa thành hàng ngang với nhiều kênh tín hiệu để tạo cảm giác định vị nguồn âm tốt hơn.

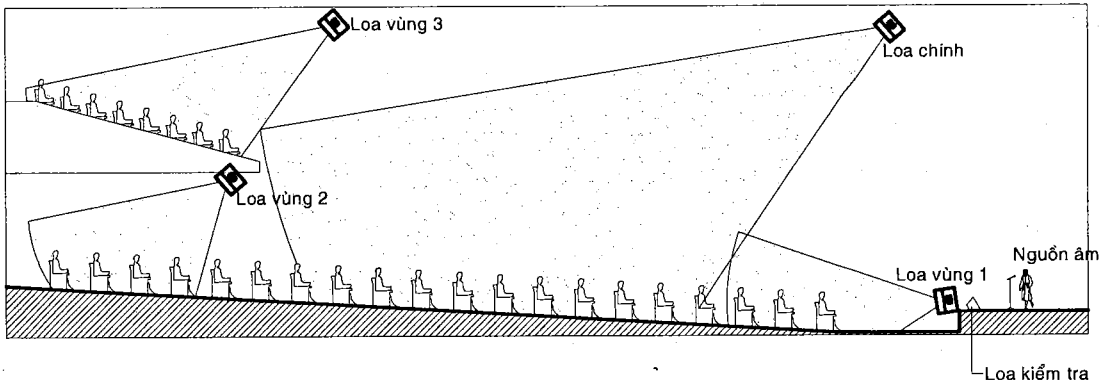
Các hình thức bố trí loa tập trung thường không đảm bảo trường âm đồng đều: gần loa thì nghe chói tai, ở xa thì nghe vừa vắn; hoặc gần nghe vừa, xa thì không nghe rõ. Nhưng vì sự đơn giản và tiết kiệm và dễ dàng trong việc điều chỉnh hướng loa của hệ thống, hướng phát của loa thường gần với hướng nguồn âm gốc, nên được sử dụng khá phổ biến. Nhưng kiểu bố trí này thường rất tệ hại trong các không gian lớn, không có trang âm như quảng trường nhà ga đường sắt, nhà ga hàng không cũ, khiến cho các thông báo hầu như chẳng nghe được gì. Kiểu bố trí này chỉ phù hợp với thính phòng quy mô nhỏ, vài trăm chỗ như hội trường, rạp phim.

*- Bố trí loa phân tán:*

+ Kiểu phân bố đều: các loa có cùng công suất và tính năng được bố trí phân bố đều trên khu vực khán giả, thường là bố trí trên trần hoặc trên tầng vị trí ngồi. Kiểu bố trí này phù hợp cho mục đích nói chuyện do âm thanh phân bố đều, không xảy ra rú rít do hồi tiếp. Nhưng do loa nhỏ, lại bố trí đều, nên cho chất lượng âm không cao và cảm giác không gian bị xóa nhòa, chỉ phù hợp cho các thính phòng có số chỗ ngồi rất lớn (cung hội nghị) (Phạm, 2011) hoặc trong các công trình công cộng (nhà ga, sân bay, siêu thị...).

+ Kiểu phân khu vực: toàn bộ khu vực chỗ ngồi của thính giả được chia thành những vùng, mỗi vùng thường do 2 hoặc một nhóm loa phụ trách cung cấp âm thanh đáp ứng cả về chất lượng âm lẫn áp suất âm. Hình 6.17 cho thấy một ví dụ về cách bố trí loa phân khu vực, với bốn vùng ghế ngồi được đảm trách bởi bốn nhóm loa riêng biệt. Chú ý là các nhóm loa đều có tính năng hoàn chỉnh, cung

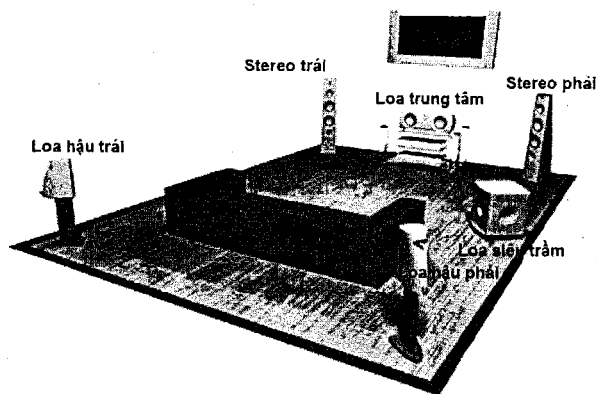
cấp chất lượng âm thanh đồng đều. Tuy nhiên, do vị trí các loa cách xa nhau, nên các kênh tín hiệu cấp cho các nhóm loa phải được tạo độ trễ thích hợp để cho thính giả cảm nhận được phù hợp giữa hình và tiếng (Phạm, 2011). Kiểu bố trí loa này phù hợp với thính phòng lớn, có nhiều khu vực khán giả khác nhau như nhà hát có ban công lớn.



**Hình 6.17.** *Bố trí loa theo kiểu phân khu vực*

+ Kiểu surround (vòng quanh): có người nhầm lẫn là kiểu âm thanh lập thể, nhưng thuật ngữ mô tả chính xác nhất phải là **âm thanh bao quanh** (bạn). Hệ thống âm thanh này sử dụng để tái hiện lại những âm thanh diễn ra xung quanh bạn đúng theo trình tự không gian và thời gian, khiến cho thính giả cảm thấy như thực sự đang ở trong môi trường âm thanh thật. Hệ thống âm thanh này rất phù hợp cho các rạp chiếu phim. Hệ thống này hoạt động trên nguyên lý các loa phát ra âm thanh không giống nhau, giống như trong môi trường âm thanh thực tế. Ví dụ, khi bạn xem một bộ phim trong đó nhân vật đi dạo trong công viên, phía sau có tiếng chim hót, phía phải có tiếng nước chảy, phía trước có tiếng trẻ nô đùa... Tất cả các âm thanh đó được hệ thống loa surround tái tạo đúng theo trật tự không gian như vậy.

Kiểu bố trí loa surround cần hệ thống âm thanh theo định dạng 5.1 hoặc 7.1. Hệ thống 5.1 gồm có: loa thứ nhất là loa trung tâm ở giữa màn hình, loa thứ hai và ba là loa bên trái và bên phải phía trước, loa thứ tư và năm là loa phía sau; ngoài ra còn một loa phụ là loa siêu trầm. Hệ thống 7.1 còn có thêm hai loa bên trái và bên phải ở giữa. Hệ thống loa này hoạt động đúng nếu nguồn âm được phát ra từ đĩa DVD chuẩn 5.1, phù hợp cho chiếu phim. Còn đối với âm nhạc thì không cần tính năng âm thanh vòng do dàn nhạc luôn ở phía trước người nghe.



**Hình 6.18.** Bố trí của hệ thống âm thanh 5.1 điển hình với loa surround

- **Bố trí kiểu kết hợp:** là kiểu bố trí loa kết hợp hai hay nhiều kiểu nói trên. Thông thường, người ta sử dụng biện pháp kết hợp giữa hệ thống loa tập trung và hệ thống phân tán, áp dụng cho các phòng đa chức năng. Hệ thống loa tập trung sử dụng chính cho mục đích biểu diễn ca nhạc; gồm một nhóm loa chính tập trung và một số nhóm loa phụ bố trí tại các nơi bất lợi như dưới ban công. Hệ thống loa phân tán sử dụng cho mục đích hội thảo, hội nghị, nói chuyện là chính; chủ yếu đáp ứng yêu cầu nghe rõ và chống hiện tượng hồi tiếp (Nguyễn, 2011).

### 6.2.2. Phân loại theo tính chất của hệ thống thu phát

Một hệ thống tăng âm cho nhạc rock ở sân vận động có thể cực kỳ phức tạp, bao gồm hàng trăm microphone, hệ thống trộn và xử lý tín hiệu sóng phức tạp, bộ âm-ly hàng chục nghìn Watt, và nhiều chuỗi loa thùng, được quán xuyến bởi một đội gồm các kỹ sư âm thanh và kỹ thuật viên. Mặt khác, hệ thống tăng âm có thể đơn giản nhất có thể với một người diễn. Theo tính chất của toàn bộ hệ thống điện thanh, người ta có thể chia hệ thống điện thanh theo các cấp độ từ đơn giản đến phức tạp, gồm có:

- Hệ thống tăng âm đơn giản nhất: gồm đầu thu, hệ thống tăng âm, và loa phát thanh. Hệ thống chỉ gồm 1 kênh tín hiệu duy nhất, nên gọi là hệ thống đơn kênh hay mono. Hệ thống này thường gặp trong các loa xách tay hoặc trong các phòng nhỏ.

- Hệ thống tăng âm đa kênh (stereo): là hệ thống âm thanh gồm nhiều nguồn phát (như mic, đầu đĩa, máy nghe nhạc kỹ thuật số...) kết nối với hệ thống các loa thông qua hộp DI, mixer và bộ khuếch đại đa kênh. Hệ thống này phù hợp cho hầu hết các loại hình tăng âm thông thường như hội họp, nói chuyện, văn nghệ phong trào... nên rất phổ biến.

- Hệ thống tăng âm kết hợp tạo hiệu ứng: là hệ thống tăng âm đa kênh có hỗ trợ bởi các thiết bị tạo hiệu ứng (bộ lọc tần số, bộ nén, bộ tạo vang tạo trễ, bộ ngừa âm hồi tiếp...), hệ thống loa có chức năng chuyên biệt và có đáp tuyến tần số rộng và bố trí phức tạp. Hệ thống này có khả năng tạo âm thanh có chất lượng cao, được sử dụng trong các thính phòng biểu diễn nghệ thuật, studio truyền hình, biểu diễn ca nhạc ngoài trời. Hệ thống cần có kỹ sư âm thanh điều khiển mới có thể đạt hiệu quả cao. Hệ thống này trước khi vận hành chính thức cần phải được cân chỉnh (calibration) bởi con người (trước đây) cộng với các thiết bị chuyên dùng (ngày nay) để hệ thống có thể tái tạo âm thanh một cách trung thực nhất.

### **6.3. KHI NÀO THÌ CẦN MỘT HỆ THỐNG ĐIỆN THANH**

#### **\* Các trường hợp cần ưu tiên cho nghe âm trực tiếp:**

Âm trực tiếp có đầy đủ cấu trúc tần số và tính chất vị trí, do đó tối ưu khi nghe so với âm qua hệ thống điện thanh. Nhiều loại hình biểu diễn nghệ thuật cần tối ưu về chất lượng âm nên cần được biểu diễn trong các thính phòng nghe âm trực tiếp, gồm có: nhạc giao hưởng, ca vũ kịch (opera), nhạc dân gian (tuồng, chèo, cải lương...), nhạc cổ điển... Trong các trường hợp này, thiết kế âm học thính phòng đóng vai trò quan trọng đối với chất lượng âm của thính giả.

Tuy nhiên, trong các thính phòng có khối tích lớn, năng lượng âm bị giảm rất nhanh theo khoảng cách, do đó thường không đủ cho những vị trí ngồi xa sân khấu, đặc biệt là khi người diễn viên hạ thấp giọng hoặc những đoạn diễn cảm (Phạm, 2011). Khi nghe âm trực tiếp, một số học giả còn đề xuất khoảng cách từ nguồn âm đến thính giả ở xa nhất không nên quá 25 m, điều này ít khi đáp ứng trong các thính phòng lớn. Như vậy, hệ thống điện thanh vẫn cần được trang bị. Nói tóm lại, thính phòng không có hệ thống điện thanh rất ít gặp trong thực tế.

#### **\* Các trường hợp bắt buộc trang bị hệ thống điện thanh:**

Một số loại hình biểu diễn âm nhạc hiện đại thường đi đôi với hệ thống tăng âm và cải thiện chất lượng âm. Chúng gồm có biểu diễn nhạc rock, nhạc pop, nhạc hip hop, nhạc dance, nhạc điện tử, phòng thu sản xuất âm nhạc...

Biểu diễn ngoài trời thường cần có hệ thống điện thanh do tiếng ồn lớn so với công suất của người và nhạc cụ biểu diễn, đồng thời không có âm vang khiến năng lượng âm tắt rất nhanh. Cùng phục vụ một lượng khán giả như nhau, hệ thống điện thanh ngoài trời phải có công suất lớn gấp nhiều lần so với hệ thống trong nhà.

Khi biểu diễn trong nhà, nhưng hình dáng phòng hoặc cách bố trí vật liệu, chi tiết không có lợi cho trường âm trực tiếp thì phải dùng hệ thống điện thanh với các thiết bị điều chỉnh chất lượng âm. Đó thường là những thính phòng cũ cải tạo lại.

Khi thính phòng được sử dụng cho nhiều mục đích biểu diễn, mỗi mục đích cần có một yêu cầu chất lượng âm riêng biệt. Hệ thống điện thanh có thể thỏa mãn điều này với khả năng điều chỉnh chất lượng âm linh hoạt.

Ngoài ra, hệ thống tăng âm gần như là bắt buộc nếu thính phòng có hơn 1500 khán giả (khoảng 8500 m<sup>3</sup>) và nên có đối với phòng 300 chỗ trở lên (khoảng 1500 m<sup>3</sup>).

Nếu phòng ồn ào (do lọt tiếng ồn hay thiết kế âm học không phù hợp thì các giới hạn về khối tích hay số chỗ ngồi cần hạ xuống nữa). Đó là lý do vì sao nhiều giảng đường hay phòng họp nhỏ, nhưng vẫn được trang bị hệ thống điện thanh. Theo kinh nghiệm, nếu chênh lệch mức áp suất âm của nguồn âm tại chỗ ngồi bất lợi nhất và mức ồn nền không quá 10 dB thì nên trang bị hệ thống điện thanh. Ví dụ, mức ồn nền trong một nhà hát opera giả định là 30 dB (do tiếng ồn bên ngoài lọt vào, do người bên trong gây ồn, do máy móc thiết bị điều hòa...). Tại vị trí ngồi xa sân khấu nhất, khi người diễn viên xuống thấp giọng mức âm đo được là 38 dB. Chênh lệch áp suất âm sẽ là:

$$\Delta L = 38 - 30 = 8 \text{ dB}$$

Như vậy cần bố trí hệ thống điện thanh giúp tăng áp suất âm trong nhà hát, hoặc ít nhất tăng áp suất âm tại khu vực chỗ ngồi bất lợi này.

#### 6.4. CÁC YÊU CẦU ÂM HỌC ĐỐI VỚI HỆ THỐNG ĐIỆN THANH

Các yêu cầu âm học đối với hệ thống điện thanh không hoàn toàn giống nhau trong các trường hợp. Nhưng luôn có một yêu cầu chung đối với một hệ thống điện thanh lý tưởng hay một hệ thống đáp ứng hoàn toàn các chức năng mong muốn. Vào năm 1950, Schneider (Schneider, 1950) đã đề xuất 5 yêu cầu đối với hệ thống lý tưởng gồm có:

- Hệ thống có khả năng tăng âm đối với tất cả các vị trí trên sân khấu, bất kể âm thanh tới từ hướng nào, và khuếch đại chúng đến một cường độ vừa đủ để thính giả nghe một cách thoải mái mà không xảy ra hiện tượng hồi tiếp (hay phản quy);

- Tất cả âm thanh phải được khuếch đại và tái hiện bởi hệ thống một cách đầy đủ và đồng đều. Khả năng này phụ thuộc vào đáp tuyến tần số của toàn hệ thống;

- Đặc điểm về hình dạng của sóng âm của âm thanh phải được bảo toàn, tức âm thanh được hệ thống tái hiện không bị ảnh hưởng bởi hiện tượng méo âm;
- Đảm bảo cho người nghe cảm giác được âm thanh đến từ nguồn âm thực tế, thay vì cảm giác âm thanh đến từ vị trí đặt loa. Điều này đạt được nếu thiết lập âm lượng và độ trễ phù hợp cho các kênh cho hệ thống dựa trên nguyên lý của hiệu ứng Hass;
- Hệ thống điện thanh phải được thiết kế phù hợp với các tính chất âm học của thính phòng.
- Thay vì nói về yêu cầu của hệ thống, Nguyễn (Nguyễn, 2011) nói về nhiệm vụ của chúng. Cụ thể, nhiệm vụ của hệ thống điện thanh là:
  - Cung cấp mức áp suất âm đồng đều và đủ đến mọi vị trí ngồi trong thính phòng, tránh các vùng trắng âm hay hội tụ âm;
  - Không làm tăng thêm tiếng ồn đáng kể;
  - Bảo toàn tính chất của âm thanh gốc, cả về cấu trúc tần số và vị trí.
  - Trong nghiên cứu của mình, Phạm (Phạm, 2011) dẫn nguồn của các tài liệu nước ngoài và cho rằng có 7 yêu cầu cơ bản đối với hệ thống điện thanh:
    - (1) Mức âm của hệ thống điện thanh tạo ra trong phòng phải lớn hơn mức ồn nền của phòng tối thiểu 10 dB và đạt mức áp suất âm tối thiểu khoảng 50 dB;
    - (2) Mức âm cực đại tại vị trí thính giả đạt 80 dB (khi nói chuyện) và 105 dB (khi biểu diễn âm nhạc);
    - (3) Về độ đồng đều của trường âm, sai khác về mức âm giữa các vị trí trong thính phòng không quá 5 dB đến 10 dB;
    - (4) Hệ thống điện thanh phải có khả năng tái hiện âm thanh một cách trung thực, đầy đủ và cân bằng các tần số của âm thanh gốc. Thông thường dải tần số của tiếng nói nằm trong khoảng 100 Hz đến 4000 Hz; dải tần số cho biểu diễn âm nhạc rộng hơn, khoảng 30 Hz đến 10000 Hz. Do đó lựa chọn hệ thống điện thanh cần đáp ứng dải tần số này;
    - (5) Hệ thống điện thanh phải đảm bảo tôn trọng hướng âm thanh đến từ nguồn âm gốc, tức hệ thống phải được tạo mức âm và tạo trễ hợp lý (xem Hiệu ứng Haas ở phần 6.5.1);
    - (6) Hệ thống ổn định, có khả năng hạn chế tối đa hiện tượng tự kích thích, hiện tượng hồi tiếp;
    - (7) Có khả năng hạn chế tối đa hiện tượng méo âm sau khuếch đại.

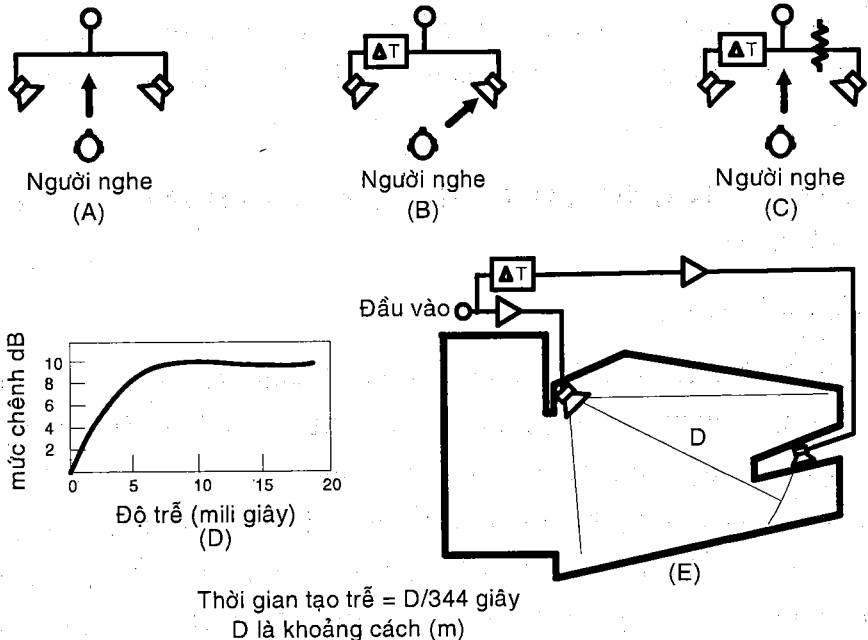
Như vậy, mặc dù có cách diễn đạt khác nhau, hầu hết các học giả đều có sự thống nhất chung ở những tiêu chí quan trọng như độ to, độ rõ, độ đồng đều, độ trung thực của âm thanh tái tạo. Đây cũng là các yếu tố cần kiểm tra khi thiết kế lắp đặt hệ thống điện thanh.

## 6.5. ĐẶC ĐIỂM TRƯỜNG ÂM THANH TRONG PHÒNG CÓ HỆ THỐNG ĐIỆN THANH

### 6.5.1. Hiệu ứng Haas

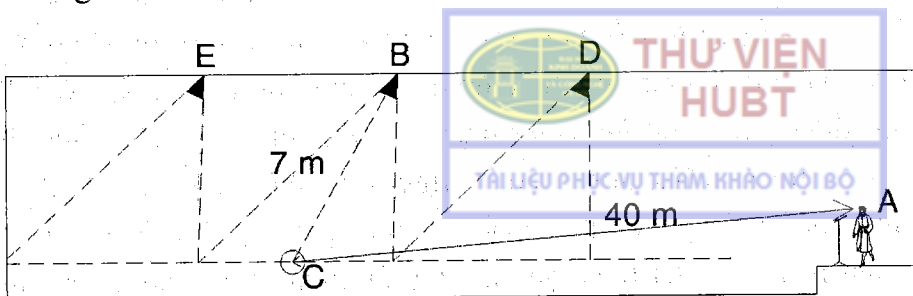
Trong một thính phòng có hệ thống loa bố trí phân tán, nếu các loa đồng thời phát cùng một thời điểm thì sẽ có hiện tượng âm từ các loa đến thính giả không đồng thời. Khi đó, hiệu ứng Haas xảy ra như mô tả trong Hình 6.19. Nếu 2 loa được cung cấp cùng một tín hiệu âm thanh, một thính giả ở giữa 2 loa sẽ định vị vị trí âm phát ra ở giữa hai loa (trường hợp A trong hình). Trong trường hợp B trong hình, nếu tín hiệu đến loa trái được tạo trễ một khoảng thời gian nào đó, tín hiệu từ loa bên phải đến tai người nghe trước, người nghe sẽ định vị âm đến từ bên phải. Trong trường hợp C, loa phát trước được giảm nhỏ âm lượng một chút tạo ra hiệu ứng 2 loa dường như kêu to như nhau, người nghe lại có cảm giác âm đến từ giữa 2 loa. Mối quan hệ này không hoàn toàn chính xác, nên trường hợp D trong hình là một biểu đồ ước lượng mối tương quan giữa thời gian trễ và mức âm loa phát muộn phải tăng thêm để tạo cảm giác 2 loa kêu to như nhau.

Hình 6.19 E cho thấy cách thời gian trễ được áp dụng trong một hệ thống điện thanh. Ở đây, bộ phận khán giả ngồi dưới ban công không nhận đủ âm từ dãy loa chính trên sân khấu. Những loa phụ dưới trần sân khấu sẽ cung cấp âm thanh bổ sung, với điều kiện chúng được tạo trễ. Bằng cách tạo trễ như vậy, khán giả dưới ban công sẽ tưởng như âm đến từ loa chính, chứ không phải đến từ ngay trên trần. Nếu loa phụ không được tạo trễ, người ngồi dưới ban công sẽ nghe như âm đến từ trên trần, và người ngồi phía trước một vài dãy ghế sẽ bị nhiễu bởi âm từ loa chính và loa phụ. Trong thực tiễn, độ trễ thường được thiết lập cộng thêm 20 ms để giảm thiểu hiệu ứng *lọc răng lược* ở vùng âm chồng lấn giữa nhóm loa chính và loa phụ (*lọc răng lược* - comb filtering - hiệu ứng xảy ra khi một âm thanh nhưng phát từ 2 nguồn khác nhau đến tai người nghe không cùng một lúc, chồng lấp lên nhau và triệt tiêu/cộng hưởng lẫn nhau ở một số tần số nhất định làm giảm độ rõ, độ trung thực của âm). Các bộ tạo trễ số hiện nay rất phổ biến và hầu như là bộ phận không thể thiếu trong các hệ thống điện thanh hoàn chỉnh.



**Hình 6.19.** Hiệu ứng Haas - phỏng theo Eargle (1999)

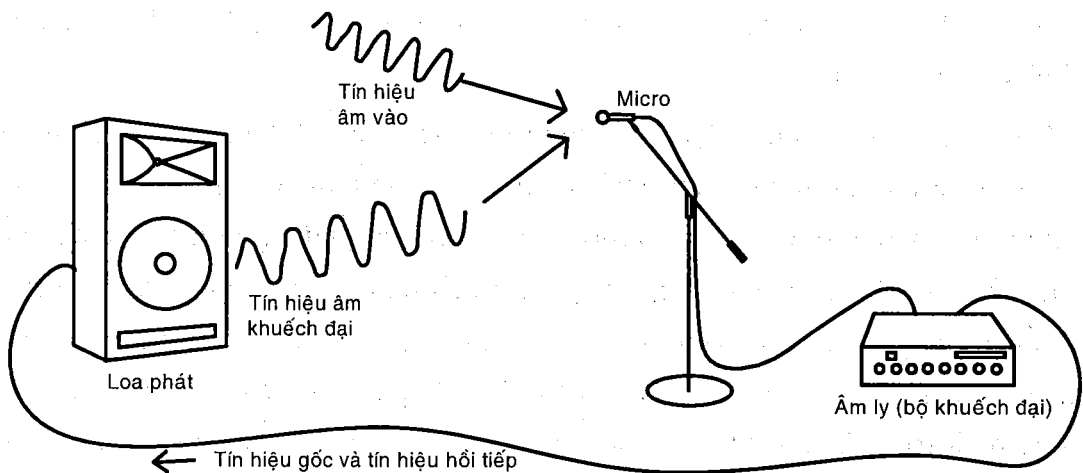
Trong trường hợp bố trí loa theo kiểu phân tán (xem mục 6.2.1.2), hệ thống loa được thiết kế dựa vào hiệu ứng Haas. Ví dụ: thiết kế một hệ thống loa phân tán như trong Hình 6.20, gồm các dãy loa treo trần tại E, B, D. Thời gian âm đi từ nguồn A đến C là 0.12 s trong khi thời gian âm đi từ B đến C là 0.02 s. Như vậy dãy loa tại B phải được thiết kế để phát chậm hơn nguồn âm gốc một khoảng thời gian ít nhất là 0.1 s, cộng với một độ trễ nào đó, khoảng 0.015 s. Tóm lại tổng độ trễ của dãy loa B phải là  $0.1 + 0.015 = 0.115$  s. Khi đó do hiệu ứng Haas, khán giả tại C luôn cảm nhận nguồn âm phát ra từ A, dù loa B có phát mức âm to hơn cả nguồn âm. Hệ thống tăng âm được thiết kế để khán giả hầu như không nhận ra chúng.



**Hình 6.20.** Hiệu ứng Haas trong thiết kế hệ thống loa phân tán - phỏng theo Szokolay (2008)

### 6.5.2. Hiện tượng hồi tiếp (hiện tượng phản quy)

Hiện tượng âm hồi tiếp (audio feedback) hay còn gọi là hiệu ứng Larsen (do học giả người Đan Mạch tên là Søren Absalon Larsen phát hiện đầu tiên) là hiện tượng xấu khi vòng lặp âm thanh xảy ra giữa một đầu thu âm (ví dụ: một microphone) và một cổng phát âm (ví dụ: loa). Ví dụ: một tín hiệu nhận được bởi các microphone được khuếch đại và truyền ra loa (hồi tiếp thông thường - xem Hình 6.21). Những âm thanh từ loa phát ra sau đó có thể được nhận bởi microphone, khuếch đại hơn nữa, và sau đó được truyền qua loa thêm một lần nữa. Vòng lặp này tiếp diễn liên tục khiến âm thanh cuối cùng nhận được là mức âm cực đại của hệ thống tăng âm, nghe chói tai và gây nhiễu loạn trường âm (hồi tiếp xấu).



*Hình 6.21. Tình huống xảy ra âm hồi tiếp*

Tần số của âm thanh cuối cùng phụ thuộc vào tần số cộng hưởng trong microphone, bộ khuếch đại âm-ly, loa, tính chất âm học của phòng, các hướng thu âm của đầu thu, đặc trưng phát của loa, và khoảng cách giữa chúng. Thông thường, các âm tần số thấp dễ xảy ra hồi tiếp hơn âm tần số cao do đặc trưng khuếch tán mạnh của chúng. Theo Nguyễn (Nguyễn, 2011), các âm có tần số dưới 3000 Hz - đặc biệt là dưới 300 Hz - dễ xảy ra hồi tiếp nhất. Đối với hệ thống tăng âm nhỏ, âm hồi tiếp dễ dàng nhận ra vì nó giống như một tiếng rú lớn hoặc tiếng rít.

Trong âm học thính phòng, hiện tượng hồi tiếp hầu như là xấu và do đó không mong muốn diễn ra. Trước đây, để hạn chế nó người ta sử dụng bộ lọc tần số

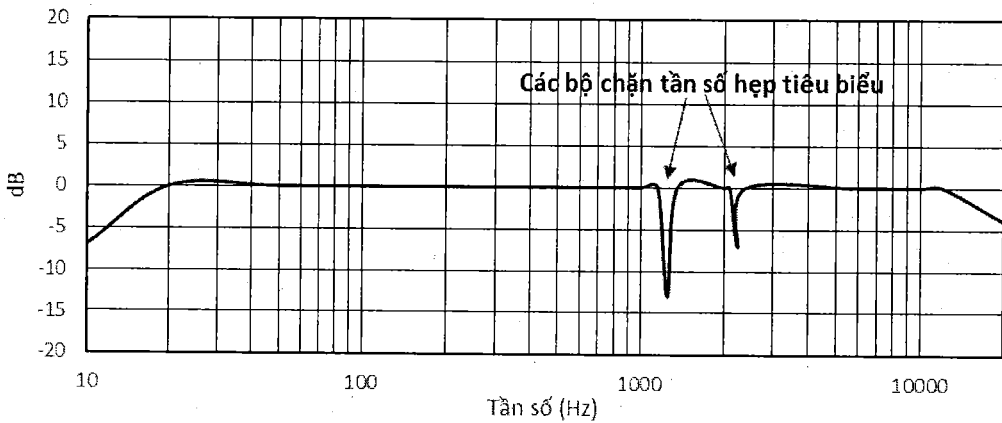
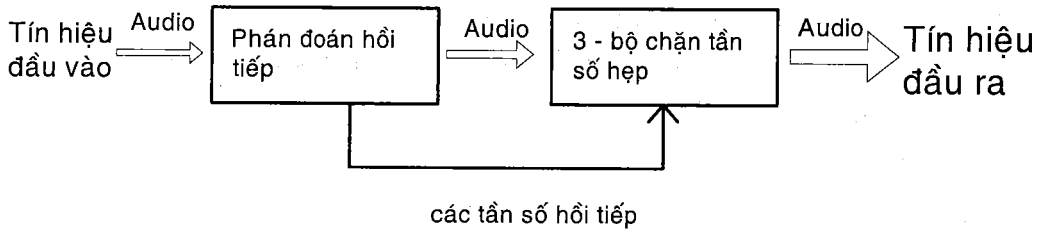
(equalizer) và từ những năm 1990 trở về sau, các bộ dò hồi tiếp tự động và bộ ức chế hồi tiếp được sử dụng rộng rãi để loại trừ những tiếng rú rít, giúp thính giả thưởng thức trọn vẹn chương trình. Hiện tượng hồi tiếp được coi là một hiện tượng tiêu cực, nhưng trong hard rock và metal rock, nghệ sĩ guitar điện cố ý tạo ra âm hồi tiếp (cùng với việc tạo hiệu ứng méo âm) của đàn guitar để tạo âm thanh độc đáo. Loại hồi tiếp này được các nghệ sĩ guitar rất ưa thích, vì vậy các kỹ sư âm thanh không cố gắng để ngăn chặn nó.

Điều kiện để hồi tiếp xảy ra tuân theo nguyên lý ổn định Barkhausen (Barkhausen stability criterion). Cụ thể là, xét một tần số cụ thể nào đó:

- Khi microphone nhận được âm khuếch đại từ loa có độ lớn bằng đúng âm kích thích ban đầu (độ lợi âm bằng 1);
- Đồng thời độ lệch pha của âm khuếch đại từ loa so với âm kích thích ban đầu là bội số của  $2\pi$  radian;

Khi đó một tín hiệu dao động ổn định trong hệ thống sẽ diễn ra. Nếu vì một lý do nào đó (cộng hưởng chẳng hạn) khiến âm mà microphone nhận được từ loa mạnh hơn âm kích thích trước đó (độ lợi âm lớn hơn 1) đồng thời độ trễ pha vẫn là bội số của  $360^\circ$ , dao động nói trên trở nên mất ổn định và ngày càng lớn lên do sự khuếch đại của âm-ly. Mức âm của hệ thống sinh ra ngày càng lớn cho đến khi tiến tới giới hạn của hệ thống và tự cắt (clipping), khiến cho vòng hồi tiếp không phát triển thêm được nữa (độ lợi âm trở lại bằng 1). Âm cuối cùng của hệ thống là mức âm lớn, thường quá công suất định mức của hệ thống, khiến nghe chói tai và dễ khiến hệ thống bị hỏng do quá tải.

Với nguyên lý nói trên, khi hiện tượng hồi tiếp xảy ra, nó chỉ xảy ra với một tần số chính xác nào đó. Nếu tín hiệu của tần số đó bị chặn lại trong hệ thống điện thanh thì hiện tượng hồi tiếp chấm dứt. Do đó, trong các hệ thống điện thanh, để ngăn ngừa hiện tượng hồi tiếp, người ta đặt trong các đường tín hiệu ra loa các bộ chặn tần số hẹp - notch filter - (chặn một vài dải tần số hẹp hay xảy ra hồi tiếp) (xem Hình 6.22). Vấn đề là hiện tượng hồi tiếp không xảy ra cố định với một tần số duy nhất mà có thể thay đổi với nhiều tần số khác nhau. Nhiều kỹ sư âm thanh có thể xác định được gần đúng tần số hồi tiếp bằng cách nghe trực tiếp và chặn chúng lại bằng bộ lọc tần số. Một số người khác dùng bộ phân tích tức thời tự động (real time analyzer) để xác định tần số hồi tiếp.



**Hình 6.22.** Sơ đồ nguyên lý bộ kiểm soát tần số hồi tiếp và bộ lọc tần số hẹp

**Cách cách để giảm hồi tiếp xấu:**

**(a) Cách thủ công:**

- Điều chỉnh bộ lọc tần số của hệ thống điện thanh cho phù hợp với phòng (để loại những tần số nóng);
- Giải bớt độ lợi của bộ khuếch đại - âm-ly;
- Giảm bớt số lượng microphone đang mở xuống vừa đủ dùng;
- Sử dụng microphone có tính định hướng mạnh;
- Giảm bớt âm lượng của loa kiểm tra (nếu có) hay bằng cách sử dụng tai nghe thay cho loa kiểm tra;
- Tăng khoảng cách từ loa đến microphone để giảm thiểu năng lượng âm từ loa đến microphone. Vì áp suất âm giảm đi theo tỷ số  $1/r$  ứng với khoảng cách  $r$  trong không gian tự do (năng lượng âm giảm đi theo tỷ số  $1/r^2$ ), hay giảm đi cho đến khi đạt khoảng cách âm vang trong phòng kín (nơi mức âm của âm vang và mức âm của âm trực tiếp bằng nhau), do đó điều quan trọng là duy trì khoảng cách lớn nhất có thể giữa microphone và hệ thống loa;

Đương nhiên là một số giải pháp nói trên có thể không hiệu quả đối với một vài trường hợp cụ thể.

(b) *Tạo trễ*: Một bộ tạo trễ được đưa vào đường truyền tín hiệu âm và tác động vào tín hiệu gây hồi tiếp khiến nó lệch pha so với tín hiệu ban đầu và hiện tượng cộng hưởng tần số không còn xảy ra. Cách này thường được dùng trong các không gian biểu diễn lớn.

(c) *Làm lệch tần số âm hồi tiếp*: Có một số thiết bị như vậy làm việc trên nguyên lý khi phát hiện một tần số nào đó bị hồi tiếp xấu, thiết bị lập tức điều chỉnh lệch nhẹ tần số này làm sai lệch tần số, chống cộng hưởng, khiến hệ thống chỉ tạo ra tiếng riu rít nhỏ thay vì tiếng hú lớn. Cách này chỉ nên áp dụng với hệ thống tăng âm cho giọng nói, không dùng cho âm nhạc hay các mục đích khác.

(d) *Dùng các thiết bị ức chế phản quy*: Đây là phương pháp được dùng phổ biến ngày nay. Các thiết bị chống hồi tiếp tự động có thể được sử dụng (Trên thị trường thiết bị này thường được nhắc đến như là feedback destroyer, feedback eliminator, feedback exterminator, feedback suppressor...). Các thiết bị này sử dụng bộ chặn tần số hẹp (notch filter) để lọc và loại bỏ các tần số bị hồi tiếp. Các thuật toán thích ứng (adaptive algorithm) thường được sử dụng để tự động điều chỉnh các bộ chặn tần số hẹp này.

Ngoài ra, vị trí loa và microphone cần được bố trí nằm ngoài phạm vi tác dụng tối đa của từng thiết bị, tốt nhất là nằm hẳn ra ngoài nhau. Microphone nên chọn loại có định hướng mạnh (chẳng hạn: microphone định hướng kiểu súng săn). Những người kỹ sư âm thanh chuyên nghiệp thường bố trí dàn loa chính cách xa đội nhạc công hay nghệ sĩ để tránh hồi tiếp, còn các loa kiểm tra nhỏ bố trí xoay về từng thành viên ban nhạc hay nghệ sĩ, nhưng hướng loa kiểm tra tránh hướng của microphone hoạt động. Cách bố trí này giúp kiểm soát tốt áp suất âm đến thính giả và đến người biểu diễn mà tránh hồi tiếp.

Trước những buổi biểu diễn quan trọng, các kỹ thuật viên âm thanh có thể thử nghiệm hoạt động của hệ thống tăng âm và loại bỏ hồi tiếp một cách thủ công. Quá trình này được gọi là “ringing out”, với mục đích hệ thống tăng âm đạt được âm lượng tối đa mà vẫn không xảy ra hồi tiếp. Tùy thuộc vào các đặc điểm âm học của địa điểm, một vài tần số nhất định có thể cộng hưởng, và sẽ dễ bị hồi tiếp. Khi “ringing out” trong một khán phòng, người kỹ thuật viên âm thanh nâng độ lợi âm của hệ thống (gain) lên cho đến khi hồi tiếp xảy ra. Người kỹ thuật viên sau đó dùng bộ lọc tần số để loại bỏ tần số gây hồi tiếp. Điều này được lặp đi lặp lại cho đến khi hồi tiếp được kiểm soát hoàn toàn mà không làm giảm chất lượng của âm thanh. Việc “ringing out” trở nên khá phức tạp khi làm việc với một số lượng lớn microphone và loa kiểm tra. Thực tế, với những cuộc lưu diễn

lớn, các loa kiểm tra có thể được thay bằng các tai nghe, giúp giảm bớt công sức “ringing out” cần phải thực hiện.

### **6.5.3. Hiện tượng âm tắt dần trong phòng có hệ thống điện thanh**

Quá trình tắt dần của năng lượng âm trong phòng có hệ thống điện thanh là sự tổng hợp của các phần năng lượng âm nguồn, âm khuếch đại của hệ thống điện thanh và âm hồi tiếp qua hệ thống. Do đó, các đặc điểm của quá trình tắt dần của năng lượng âm phức tạp, không chỉ phụ thuộc vào đặc điểm tần số của nguồn âm và đặc điểm thính phòng mà còn phụ thuộc vào cả đặc điểm hệ thống điện thanh và cách bố trí chúng. Do hiện tượng hồi tiếp luôn tồn tại khi có các hệ thống điện thanh, khiến năng lượng âm tắt dần chậm hơn so với trong môi trường âm tự nhiên. Do đó, thời gian âm vang của thính phòng khi hệ thống điện thanh hoạt động thường lớn hơn khi chúng không hoạt động.

Âm vang điện tử và tạo trễ điện tử là 2 hiệu ứng được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống điện thanh để tăng cường cảm giác không gian của trường âm khuếch tán và tạo hiệu ứng nghệ thuật mong muốn. Hiệu ứng âm vang và tạo trễ điện tử tạo cảm giác không gian cho âm, bắt chước âm thanh của một giọng hát hay nhạc cụ trong một thính phòng lớn và vang.

Các hình thức và mức độ của hiệu ứng là khá chủ quan và thường được quyết định bởi kỹ sư âm thanh, nghệ sĩ, chỉ huy dàn nhạc, nhà sản xuất âm nhạc, hoặc giám đốc âm nhạc. Ví dụ, hiệu ứng âm vang có thể tạo cảm giác âm thanh như đang ở trong một căn phòng nhỏ đến một hội trường lớn, hoặc thậm chí trong một không gian không có thật trong thế giới vật lý. Việc sử dụng hiệu ứng âm vang thường không bị nhận ra khán giả, vì nó thường có vẻ tự nhiên hơn so với tín hiệu "khô" (không có hiệu ứng).

Hiện nay việc sử dụng các hệ thống điện thanh tập trung nâng cao chất lượng âm trong thính phòng và khắc phục các khiếm khuyết âm học của phòng. Hai đối tượng chính mà hệ thống điện thanh hướng tới là:

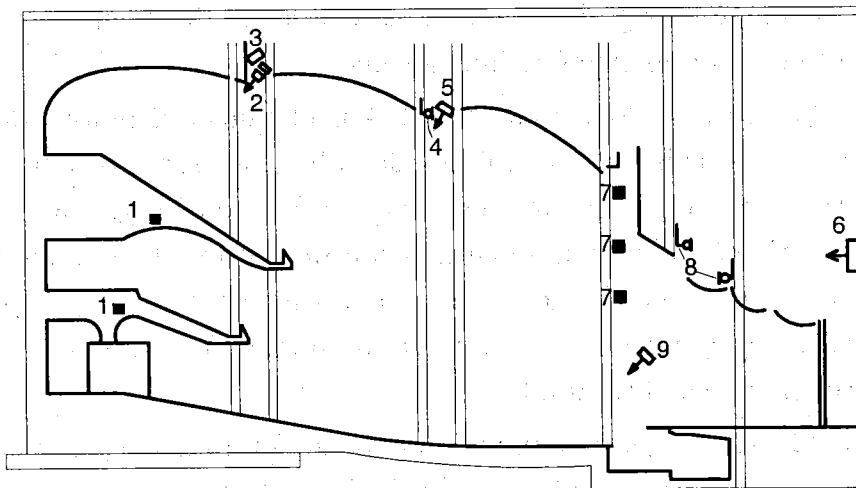
#### **6.5.3.1. Sử dụng các thiết bị tạo trễ để nâng cao tính không gian của âm thanh**

Tính không gian của âm thanh được nâng cao nếu có nhiều năng lượng âm đến tai thính giả từ nhiều hướng, đặc biệt là tường biên và trần nhà. Các hệ thống hỗ trợ đều hoạt động nhằm vào mục tiêu này.

- Hệ thống Ambiophony: Hệ thống này mặc dù đã lỗi thời, nhưng nguyên lý hoạt động của nó là cơ sở cho các phương pháp hiện đại về sau. Hệ thống hoạt động như sau: những âm thanh trực tiếp phát ra trực tiếp từ nguồn âm gốc và trực

tiếp phân bố vào phòng, có trộn lẫn các tín hiệu âm đã được tạo trễ được sản xuất bởi một hệ thống điện thanh có tạo trễ phù hợp (trong thời kỳ đầu nó là một hệ thống ghi âm từ tính). Các âm thanh đã được tạo trễ được phát ra từ loa ở trên các bức tường hoặc trần nhà tương ứng. Điều này đòi hỏi phân bố thêm loa hợp lý trong phòng để phân phối âm thanh đã được tạo trễ càng khuếch tán đều càng tốt. Để có thêm những âm thanh trễ hơn nữa, các âm hồi tiếp chọn lọc sẽ được ghi và phát lại qua hệ thống loa nói trên. Hệ thống này đã từng được lắp trong nhiều thính phòng lớn trước đây.

- Hệ thống ERES (Electronic Reflected Energy System): Nhờ sự sắp xếp của các loa trên các bức tường của khu vực hội trường gần sân khấu và việc tạo trễ một cách linh động cho các loa này, cộng với các bộ lọc và việc điều chỉnh mức tín hiệu cung cấp cho các loa, các phản xạ thích ứng từ tường biên (bằng phương pháp điện tử) có thể thay thế hoặc bổ sung cho các phản xạ âm thanh vật lý thông thường. Phương pháp này giúp cải thiện tính không gian của trường âm, thay đổi thời gian âm vang (cảm giác độ lớn của phòng), và độ rõ.



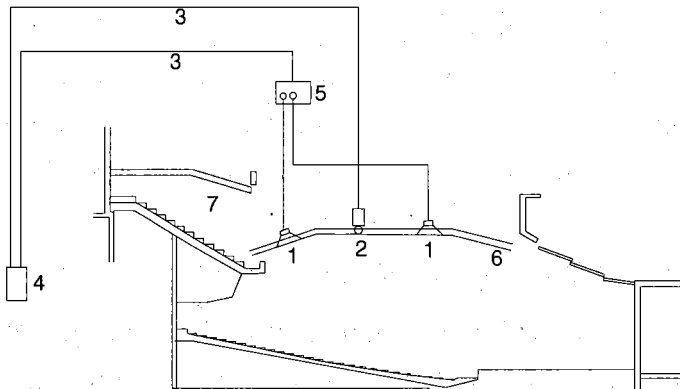
**Hình 6.23.** Hệ thống ERES/AR trong thính phòng Sivia ở Trung tâm biểu diễn nghệ thuật Eugene, Oregon.

*Chú thích:* 1- mười bốn cặp loa array (hỗ trợ cộng hưởng); 2- chín mươi loa array; 3- bốn loa ERES trên trần thứ ba; 5- bốn loa ERES trên trần thứ hai; 6- cột loa ERES trên sân khấu; 7- sáu loa array sát miệng sân khấu; 8- micro ERES; 9- hai loa ERES miệng sân khấu.

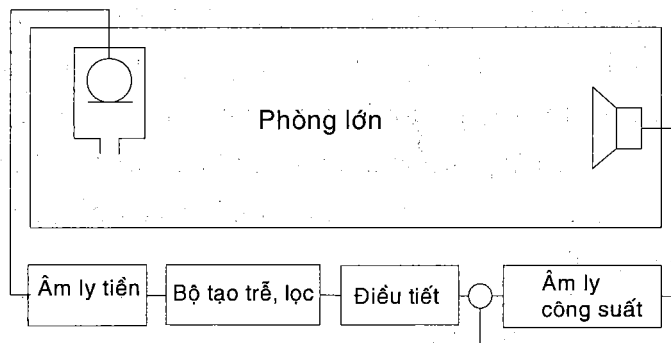
Ngày nay, phương pháp tạo trễ điện tử đã trở thành một chuẩn phổ biến trong các hệ thống điện thanh sử dụng rộng rãi trên toàn thế giới.

### 6.5.3.2. Các hệ thống hiệu chỉnh thời gian âm vang

Các hệ thống kiểu này thường có mục đích tăng cường các âm vang trễ và kéo dài thời gian âm vang.



A. Bố trí cơ bản của 1 kênh tạo vang trong thính phòng



B. Thành phần của một kênh AR (Phòng tạo vang với micro)

**Hình 6.24.** Hệ thống hỗ trợ cộng hưởng lắp đặt trong London Royal Festival Hall.

*Chú thích:* 1- sáu mươi hộp loa trong các khu vực trần và trên tường trên cao;

2- một trăm hai mươi micro trong hộp cộng hưởng Helmholtz;

3- một trăm hai mươi micro và dây loa; 4- các bộ điều khiển, tạo trễ, âm ly cho 120 kênh; 5- bộ chia cho các hộp loa; 6- trần di động

giúp thay đổi thể tích phòng; 7- ban công.

- Hệ thống hỗ trợ cộng hưởng: Hệ thống này được lắp đặt trong nhà hát London Royal Festival Hall vào năm 1951 bởi Parkin và Morgan. Hệ thống sử dụng một số lượng lớn (vài chục đến vài trăm) các microphone và các loa nhỏ. Trong thính phòng luôn tồn tại các sóng dừng của các tần số khác nhau, gồm bụng sóng và nút sóng (xem sóng dừng ở mục 3.1.6.1). Duy trì sóng dừng của

một tần số lâu sẽ kéo dài thời gian âm vang của tần số đó. Các microphone được đặt trong các lọ Helmholtz chỉ cộng hưởng ở 1 tần số nào đó và đặt tại vị trí bụng sóng (áp suất lớn nhất) của sóng dừng có tần số cần hỗ trợ. Âm thanh cộng hưởng (của 1 tần số dao động riêng của lọ) trong lọ được thu bởi microphone, qua hệ thống lọc và điều chỉnh pha, rồi khuếch đại và lại phát ra loa, cung cấp năng lượng âm cho một bụng sóng ở xa của chính sóng dừng đó. Với cách làm này, năng lượng âm của sóng dừng của một tần số nào đó sẽ được duy trì lâu hơn, làm tăng thời gian âm vang của tần số đó. Cách làm này đến nay đã lỗi thời, phức tạp và tốn kém, nhưng đã từng được sử dụng rộng rãi trước đây do nó không làm ảnh hưởng chất lượng âm, đặc biệt là âm tần số thấp.

- Hệ thống tạo vang đa kênh (Multi-Channel-Reverberation, MCR): Hệ thống này sử dụng một số lượng lớn các kênh khuếch đại âm thanh toàn bộ dải tần sao cho mức khuếch đại trong mỗi kênh là rất bé khiến cho hiện tượng hồi tiếp xấu làm thay đổi sắc thái của âm thanh phát ra loa không thể xảy ra (hay nói cách khác, âm phát ra mỗi loa tuy rất nhỏ, nhưng trung thực như âm gốc). Vì số lượng kênh rất lớn, mỗi kênh đóng góp một ít mức năng lượng âm, hệ thống đa kênh như trên có thể tạo ra mức năng lượng âm đủ làm tăng đáng kể thời gian âm vang và cảm giác không gian của trường âm. Sự cải thiện của thời gian âm vang có thể được xác định bởi công thức:

$$\frac{T_m}{T_o} = 1 + \frac{n}{50} \quad (6.1)$$

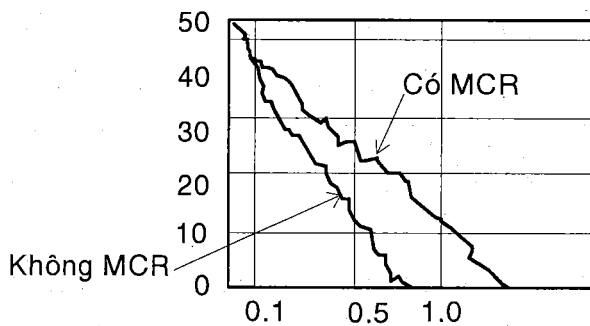
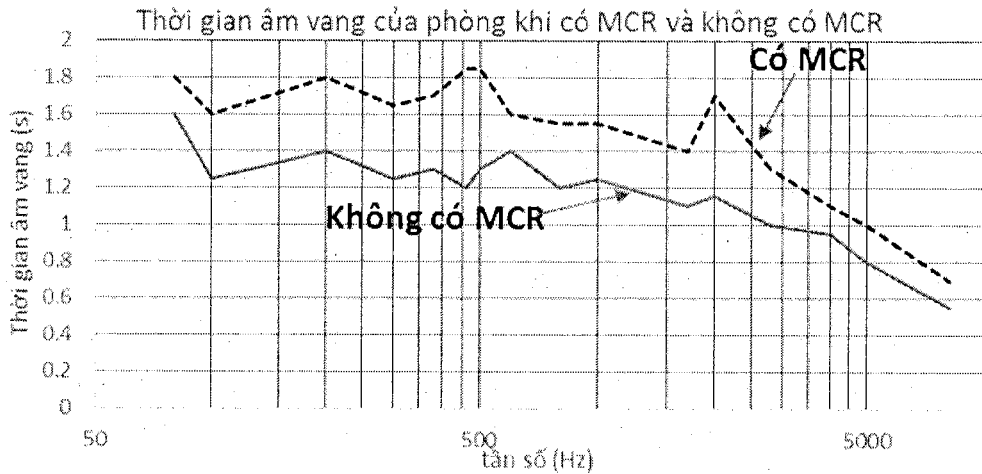
trong đó:

$T_m$  - thời gian âm vang khi có hệ thống MCR;

$T_o$  - thời gian âm vang khi không có MCR;

$n$  - số kênh khuếch đại.

Nếu giả sử thời gian âm vang tăng lên gấp đôi với MCR (tức là mật độ năng lượng âm tăng lên gấp đôi), hệ thống MCR cần có 50 kênh khuếch đại. Theo chỉ dẫn kỹ thuật của một hệ thống MCR của hãng Philips, thời gian âm vang trung bình các tần số có thể kéo dài khoảng từ 1.2 đến 1.7 giây (có thể điều chỉnh được) và có thể đồng đều hơn trong phòng. Hệ thống này được lắp đặt trong nhiều thính phòng trung bình và lớn, với Nhà hát POC ở Eindhoven là thính phòng đầu tiên trang bị.



Trạng thái của âm vang tại tần số 400 Hz

**Hình 6.25.** Hệ thống MCR trong Nhà hát POC ở Eindhoven, Hà Lan (thông tin hệ thống: 3100 m<sup>3</sup>; sân khấu 900 m<sup>3</sup>; 90 kênh, 90 micro trên trần; 110 loa trên tường biên trần và dưới ban công; thời gian âm vang điều chỉnh 10 nốt)

Ngoài ra, ngày nay, với sự phát triển mạnh mẽ của các công nghệ điện tử, có rất nhiều phương thức hỗ trợ thời gian âm vang và tính không gian của âm thanh. Các hệ thống phổ biến có thể kể đến là: hệ thống ACS (Acoustic Control System) đề xuất bởi Berkhout và de Vries (Berkhout, 1988), hệ thống RODS (Reverberation on Demand System), hệ thống LARES của công ty Lexicon, Hệ thống SIAP (System for Improved Acoustic Performance), hệ thống AFC (Active Field Control) của Yamaha, hệ thống Constellation™ của Meyer Sound Inc., hệ thống CARMEN® của trung tâm Khoa học Kỹ thuật công trình Pháp (CTBS),... Các hệ thống này làm việc chủ yếu dựa trên sự phối hợp hoạt động của các thiết bị điện tử, nên phạm vi nghiên cứu vượt ra khỏi mục tiêu của Âm học kiến trúc, nên chúng tôi không giới thiệu kỹ hơn, độc giả quan tâm có thể đọc thêm trong tài liệu (Ballou, 2013).

## 6.6. TÍNH TOÁN SƠ BỘ MỘT HỆ THỐNG ĐIỆN THANH

### 6.6.1. Các bước thiết kế hệ thống điện thanh

Có một cách tiếp cận khá hợp lý (Eargle, 1999) cho thiết kế tính toán một hệ thống điện thanh trong nhà, và có thể được tách ra thành từng bước như sau:

**Bước 1:** Sắp xếp các dải loa yêu cầu, thường là bắt đầu bằng một cụm loa tập trung. Xác định yêu cầu của từng loa con trong chuỗi loa.

**Bước 2:** Tính toán mức âm tạo ra bởi cả âm trực tiếp và âm vang tại các vị trí khác nhau trong thính phòng, và xác định xem tỷ số của 2 phần âm này có thỏa mãn tiêu chí độ rõ hay không (có xét đến cả thời gian âm vang của phòng – tức mục đích sử dụng). Việc tính toán này quan trọng nhất là ở tần số 1000 Hz, nhưng cũng nên làm với cả tần số 125 Hz và 4000 Hz. Từ kết quả đó, xác định độ lợi âm mà hệ thống điện thanh cần đạt được (Độ lợi là chênh lệch mức âm tại vị trí người nghe khi hệ thống điện thanh bật và tắt), cần lưu ý quy định rõ khoảng cách từ người nói đến microphone trong trường hợp hệ thống làm việc bình thường.

**Bước 3:** Nếu tiêu chí độ rõ được thỏa mãn, hệ thống điện thanh như vậy là hoàn tất. Nếu tiêu chí về độ rõ cho thấy tỷ lệ giữa âm trực tiếp và âm vang không đạt, cần phải tăng lượng hút âm trong phòng bằng cách bố trí thêm vật liệu hút âm.

**Bước 4:** Nếu việc tính toán lại độ rõ cho thấy hệ thống loa tập trung đáp ứng yêu cầu sử dụng, kết thúc việc thiết kế. Nếu vẫn không đạt, bước tiếp theo là tính đến giải pháp loa phân tán để thỏa mãn độ rõ. Hệ thống loa tập trung phụ trách phần thính phòng phía trước, các loa phân tán được tạo trở phụ trách phần thính phòng phía sau (xem 6.5.1).

### 6.6.2. Tính toán sơ bộ công suất hệ thống điện thanh

Công suất âm trung bình của giọng nói trong một căn phòng có kích thước vừa phải vào khoảng  $3 \cdot 10^{-6}$  W. Một tiếng nói lớn có thể đạt công suất 0.003 W. Hiệu suất chuyển đổi công suất điện-âm thanh của các loa thường khoảng 0.03 đến 0.05. Do đó, để đạt được tiếng nói lớn, công suất danh nghĩa của loa cần phải là  $P = 0.003/0.03 = 0.1$  W. Một hệ số đảm bảo khoảng 10 đến 30 thường được áp dụng để bù lấp cho việc phân bố âm từ loa không đều và hạn chế sử dụng loa hết công suất. Như vậy công suất thực tế của loa phải là 1 W đến 3 W. Bảng 6.1 cho công suất loa dự kiến cho các trường hợp khác nhau.

**Bảng 6.1. Công suất loa điện yêu cầu (W/100 khán giả)  
- phỏng theo Szokolay (2008)**

	<i>Cho hội nghị</i>	<i>Cho âm nhạc</i>	<i>Cho nhạc nhảy</i>
Phòng có thời gian âm vang lớn	0.5	1	2
Phòng có thời gian âm vang bé	1.0	2	3
Ngoài trời	1.5	2	3

Theo nghiên cứu, các loa dạng thùng treo cao thường phát âm tần số thấp dạng sóng cầu (sóng âm là các mặt cầu có tâm là loa) trong khi các âm tần số cao được phát định hướng mạnh, là một dải âm thanh hẹp hướng thẳng ra ngoài loa. Đối với kiểu loa dạng cột (nhiều loa xếp chồng liên tục lên nhau) thì trên mặt phẳng thẳng đứng âm phát ra có tính định hướng mạnh, trên mặt phẳng nằm ngang thì hiện tượng giống loa dạng hộp.

### **6.6.3. Thiết kế âm học phòng có hệ thống điện thanh**

Nếu hệ thống điện thanh chỉ có chức năng hỗ trợ (âm trực tiếp) thì việc lắp đặt hệ thống điện thanh phải được điều chỉnh cho thật phù hợp với thiết kế âm học của phòng. Nhưng thực tế hiện nay nhiều thính phòng sử dụng điện thanh như hệ thống âm thanh chủ đạo. Ví dụ như trong các phòng họp lớn (phòng hội nghị, phòng hội nghị toàn thể), sân khấu rock hoặc thể thao, rạp phim, studio nhạc điện tử hay thậm chí là cả phòng khách với hệ thống âm thanh HIFI. Ở đây, nhiệm vụ của âm học thính phòng chỉ đơn giản là đảm bảo chất lượng âm thanh tinh khiết để thu và dẫn ra loa phát, đồng nghĩa với việc phòng cần có thời gian âm vang đủ bé. Hơn nữa, những âm phản xạ phiền toái cần được loại trừ bằng cách phối hợp giữa thiết kế âm học phòng và hệ thống điện thanh.

Bởi vì có rất nhiều chức năng sử dụng cũng như thể tích phòng, nên yêu cầu cho từng loại thường khá khác biệt. Thời gian âm vang đặc biệt thấp thường áp dụng cho các rạp phim hiện đại, thường chỉ khoảng 0.4 đến 0.6 giây cho phòng khoảng 2000 m<sup>3</sup>, để đạt được cái gọi là rạp phim đạt chuẩn THX (THX-standard - một hệ thống tiêu chuẩn kiểm soát chất lượng âm thanh trong các rạp phim). Ngoài ghế bọc vải và thảm trải sàn, các rạp phim như vậy còn cần thêm giải pháp hút âm mạnh trên tường và trần. Các hiệu ứng âm thanh như cộng hưởng, âm vang... đều có thể tạo bằng phương pháp điện tử và tích hợp sẵn vào trong file âm thanh.

Những phòng đặc biệt được thiết kế để thu âm hoặc phát triển sản phẩm âm nhạc hay thiết kế âm thanh thì cần những xử lý âm học đặc biệt. Mặc dù đặc tính âm học của phòng còn phụ thuộc chức năng sử dụng, cỡ phòng và hình dạng phòng, nói chung thể tích phòng không thể nhỏ hơn  $40 \text{ m}^3$ ; và với thể tích lên tới  $300 \text{ m}^3$  thì thời gian âm vang cần đạt chỉ khoảng 0.3 đến 0.4 s cho toàn bộ dải tần số. Phòng nên thiết kế đối xứng so với vị trí nghe (thu) và được thiết kế với tỷ lệ tránh sự chồng lấp của các tần số tự nhiên (eigenfrequency). Nhằm cải thiện thành phần âm phản xạ, ngoài các thành phần hút âm thì các tấm tán xạ âm (xem Hình 3.27) có vai trò rất là quan trọng. Nếu không thể tránh được những tấm phẳng nhẵn phản xạ âm thì âm phản xạ từ chúng không được hướng đến người nghe.

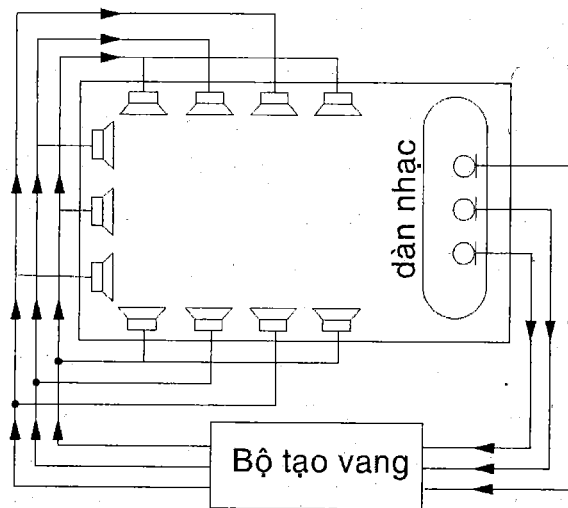
#### 6.6.4. Thiết kế âm học với phòng đa chức năng

Đối với phòng đa chức năng sử dụng cho nhiều mục đích biểu diễn, một sự thỏa hiệp là khó tránh khỏi: phòng vừa phải có thời gian âm vang lớn để tối ưu cho mục đích âm nhạc, nhưng vừa phải có thời gian âm vang tần số thấp đủ ngắn để đảm bảo nghe rõ khi nói chuyện, hội nghị. Sự thỏa hiệp nói trên có thể thực hiện bằng các giải pháp như sau: thời gian âm vang của các tần số trung (2000 - 4000 Hz) nên ở cận dưới của mức cho phép đối với nhạc cổ điển; tạo những tia phản xạ sớm (bậc 1, 2) mạnh; vật liệu hút âm tần số thấp (bản mỏng cộng hưởng); và đặc biệt một hệ thống cải thiện âm thanh phù hợp với thiết kế âm học của phòng sẽ rất hiệu quả giúp nghe rõ câu. Ngoài ra, ghế ngồi khi có khán giả và không có nên có giá trị hút âm ít bị thay đổi.

Sự thỏa hiệp nói trên nếu vẫn không mang lại kết quả thì phải dùng các giải pháp có khả năng điều chỉnh thuộc tính âm học tùy theo yêu cầu sử dụng. Những giải pháp này gồm có: tường xoay, tường trượt, trần nhà hút âm mà có thể giấu đi hoặc cuốn lên; hoặc các phòng vang kết nối với thính phòng chính. Những giải pháp này chỉ có tác dụng khi chức năng sử dụng đúng với thiết kế. Do đó chúng chỉ thường được áp dụng cho studio nhạc hay phòng tập của dàn nhạc.

Những giải pháp nói trên cũng ít thay đổi được thời gian âm vang của những phòng lớn có khán giả do khán giả hút âm mạnh. Do đó, hiện nay người ta dùng các hệ thống điện thanh để giải quyết bài toán âm học cho các phòng đa chức năng. Phòng được thiết kế với thời gian âm vang phù hợp cho nói chuyện thông thường. Khi biểu diễn âm nhạc, hệ thống điện thanh được sử dụng nhằm tăng thời gian âm vang một cách nhân tạo, phù hợp cho thưởng thức âm nhạc. Cách

đơn giản nhất là thu âm phát ra từ nguồn bằng các micro đặt sát nguồn âm, sau đó cải tiến âm vang bằng phương pháp âm học (1) hay điện tử (2). Trong cách thứ nhất, âm thanh được phát ra trong một phòng khác có thời gian âm vang lớn mong muốn, sau đó thu âm lại và phát trở vào thính phòng. Trong cách thứ hai, hệ thống điện thanh gồm hàng loạt loa phát xen kẽ với tín hiệu nhận được từ bộ tạo âm vang (reverberation unit) là rời rạc và không đồng thời (có loa phát trước và sau), nhưng phải đảm bảo âm phát từ loa đến tai người nghe sau khi người nghe đã nhận âm trực tiếp từ nguồn âm (xem Hình 6.26). Một hệ thống như vậy đã được sử dụng trong London Royal Festival hall với 172 kênh tạo trễ riêng biệt, giúp hiệu chỉnh hiệu ứng âm vang cho từng 4 Hz tần số, từ tần số 20 Hz đến 700 Hz (trên 700 Hz, thời gian âm vang đã đảm bảo yêu cầu). Với sự hỗ trợ của hệ thống, thời gian âm vang của tần số 63 Hz tăng từ 1.6 s lên 2.5 s; 125 Hz tăng từ 1.4 s lên đến 2.5 s; 250 Hz tăng từ 1.6 s lên 2.15 s; 500 Hz tăng 0.4 s, lên mức 2 s (Szokolay, 2008).



**Hình 6.26.** Hệ thống điện thanh nhằm tạo thời gian âm vang nhân tạo (3 kênh tạo trễ)

Hệ thống loa tạo âm thanh che lấp (xem mục 1.7.7) cũng là một dạng đặc biệt của hệ thống sửa âm, giúp che lấp tiếng ồn không mong muốn. Tóm lại, những hệ thống tạo ra những ảnh hưởng chủ động lên thời gian âm vang thính phòng hoặc chất lượng âm đang được sử dụng ngày một nhiều, giúp cải thiện hay khắc phục các khiếm khuyết âm học do thiết kế âm học không tốt tạo ra; đồng thời đáp ứng nhu cầu sử dụng đa dạng của thính phòng.

## 6.6.5. Lưu ý khi lựa chọn và bố trí hệ thống điện thanh

### *Lựa chọn loa*

Công nghệ sản xuất loa hiện nay đã đạt đến trình độ rất cao do những hiểu biết sâu sắc về âm học và điện tử. Do đó nhiều hãng sản xuất loa chuyên nghiệp đã tập trung chế tạo các loại loa chuyên biệt phục vụ cho từng mục đích sử dụng khác nhau như ca hát, nghe nhạc, xem phim hay hội họp. Hiện nay, việc sử dụng một hệ thống loa cho nhiều mục đích sử dụng khác nhau đã không còn phổ biến nữa. Việc lựa chọn hệ thống loa cho hội trường cần lưu ý các điểm sau:

- Hệ thống loa cần có khả năng tái tạo các âm trầm, tạo cảm giác âm và âm thanh có độ sâu. Tính chất này rất cần thiết đối với thính phòng biểu diễn. Do đó hệ thống rất cần có các loa sub, hoặc ít nhất là loa sub tích hợp trong thùng loa lớn.

- Công suất loa và các thông số kỹ thuật: phụ thuộc vào thể tích thính phòng, số khán giả, và loại hình biểu diễn nghệ thuật, độ nhạy của loa. Khi lựa chọn loa, công suất độ nhạy cần được tính toán bởi kỹ sư âm thanh và đưa ra con số chính xác. Để ước tính sơ bộ có thể xem phần 6.6.2.

- Kiểu dáng loa: nên chọn các hệ thống có kích thước gọn gàng, có thể treo trên trần hoặc tường để tiết kiệm diện tích, có tính thẩm mỹ cao. Nhiều loại loa tuy kích thước nhỏ nhưng chế tạo bởi công nghệ loa nén, nên công suất lớn, vẫn đảm bảo yêu cầu. Các loa thùng lớn cần được bố trí kín đáo để không làm ảnh hưởng đến tính thẩm mỹ của không gian, ví dụ giấu sau một lớp lưới trang trí nội thất mỏng.

- Độ bền của hệ thống loa: đây là yếu tố rất khó xác định bằng cảm quan. Chất lượng thùng loa góp phần quan trọng vào độ bền của loa, mà quan trọng nhất là chất liệu thùng và khả năng chống thấm nước. Thùng loa phát huy tối đa vai trò khi loa hay phải di chuyển, tháo lắp, biểu diễn ngoài trời. Thông thường, những thương hiệu loa lớn và lâu đời cung cấp sản phẩm có chất lượng cao, độ bền lớn. Ngoài ra, khi bố trí loa cần chú ý đến tính thuận lợi khi lau chùi, bảo trì, bảo dưỡng.

- Hệ thống bảo vệ khi quá dòng: các loa chính đắt tiền nên được trang bị các mạch bảo vệ khi quá dòng, hiện tượng thường xảy ra khi người sử dụng hệ thống âm thanh không có kiến thức hoặc không hiểu rõ về nó. Dải tần số cao (HF) thường xảy ra quá dòng nhất.

- Giá thành: giá thành của hệ thống điện thanh bao gồm các thành phần chính như đã nói ở trên, kèm theo đó là chi phí phụ kiện và các dây dẫn, cộng với chi phí lắp đặt, bảo trì bảo dưỡng. So sánh giá phải xem xét tất cả chi phí nói trên để

tránh trường hợp mua hệ thống rẻ, nhưng lắp đặt và sửa chữa thì lớn. Đặc biệt chi phí phụ kiện ít khi được báo giá cẩn thận, nên người mua cần lưu ý để tránh chi phí phát sinh.

- Mục đích sử dụng: Đối với các hệ thống loa chỉ phát tiếng nói như trong siêu thị, bệnh viện, nhà ga... việc sử dụng các loại loa điện thế sẽ là một sự lựa chọn lý tưởng cho hệ thống âm thanh của bạn. Loa điện thế có ưu điểm nhỏ gọn, khoảng cách từ âm-ly đến loa cho phép lớn, lên đến hàng trăm mét và chất lượng tín hiệu ít bị suy hao khi truyền đi xa. Loa điện thế có dải đáp tuyến tần số trong khoảng 200 Hz đến 10 kHz, do đó không có khả năng phát âm tần số cao và âm trầm, nên chỉ dùng để phát tiếng nói. Đối với các hệ thống loa có phát nhạc, biểu diễn nghệ thuật thì loại loa thùng chuyên dụng cho hội trường hoặc loa array (line array) là những lựa chọn tốt, với hiệu quả âm thanh nói lẫn phát nhạc đều mang lại chất lượng ổn định.

### ***Bố trí loa***

Việc bố trí loa là một quá trình **thiết kế - lắp đặt - kiểm tra - điều chỉnh** cho đến khi chất lượng âm thanh đạt được yêu cầu mong muốn. Do sự đa dạng trong loại hình biểu diễn, kiểu dáng thính phòng cũng như chủng loại hệ thống điện thanh, không có một quy luật bất biến nào cho việc bố trí hệ thống điện thanh nói chung và các loa nói riêng.

Việc bố trí hệ thống loa có ảnh hưởng trực tiếp đến việc xử lý âm học đối với các bề mặt phản xạ trong phòng, bằng cách xem xét hướng phát của loa và chúng tương tác với các bề mặt trong phòng như thế nào. Do đó đôi khi việc bố trí loa phải đi trước một bước so với việc bố trí vật liệu hút âm và phản xạ âm. Để âm thanh đạt chất lượng tốt nhất, xử lý âm học nên tránh làm theo lối “triệt âm” bằng cách bố trí vật liệu hút âm mạnh tại các vị trí phản xạ.

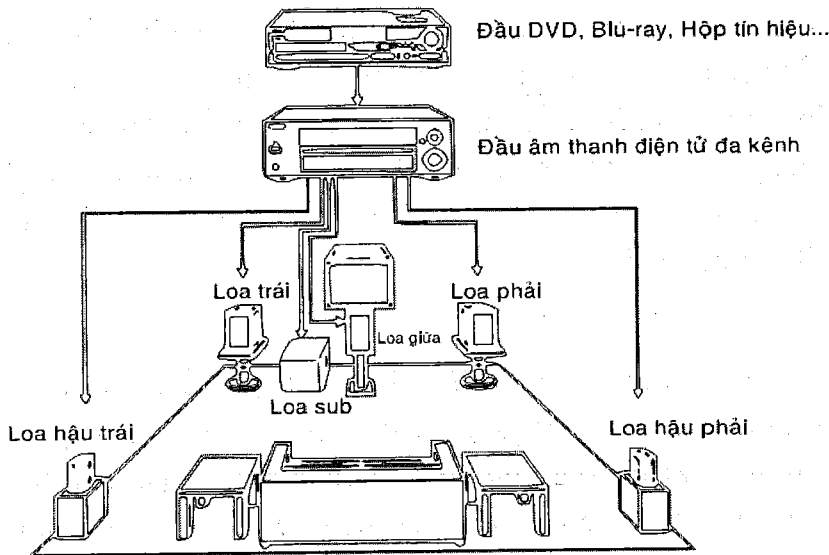
Sau đây, chúng tôi giới thiệu một số kinh nghiệm tham khảo khi bố trí loa.

Đối với những phòng thu như của Đài phát thanh, truyền hình có yêu cầu rất cao về chất lượng âm. Do đó yêu cầu kỹ thuật khá phức tạp và nghiêm ngặt. Phòng thu thường gồm 2 ngăn, ngăn thu và ngăn kỹ thuật (thường bố trí gần phòng đặt máy phát sóng để giảm độ dài đường truyền tín hiệu). Để đạt tiêu chuẩn kỹ thuật phát thanh, phòng Studio thường phải được cách âm đặc biệt để đạt độ tạp âm (noise) tối thiểu là -50dB.

Các microphone cho phát thanh viên (đơn hướng) và người biểu diễn (đa hướng - có màng lọc chắn tạp âm hơi thở và tay cầm) được lựa chọn cẩn thận. Dải tần số

hoạt động 50 Hz - 15 kHz. Các thiết bị mixer, equalizer, amplifier đều phải có chất lượng cao với các thông số kỹ thuật riêng. Các loa kiểm tra có đáp tuyến tần số từ 55 Hz đến 20 kHz với vật liệu thùng bằng gỗ MDF có độ rung thấp.

Đối với các phòng nghe nhạc gia đình nhỏ, để đạt hiệu quả âm thanh nổi cao nên chọn hệ thống loa surround gồm 5 hoặc 7 loa chính và 1 loa sub bố trí xung quanh phòng như trong Hình 6.27.



**Hình 6.27.** Bố trí loa surround 5.1 trong một phòng nhỏ

Đối với căn phòng nhỏ dùng cho nghe nhạc, trong quá trình lắp đặt và điều chỉnh loa, bạn có thể tham khảo các bước theo kinh nghiệm sau đây:

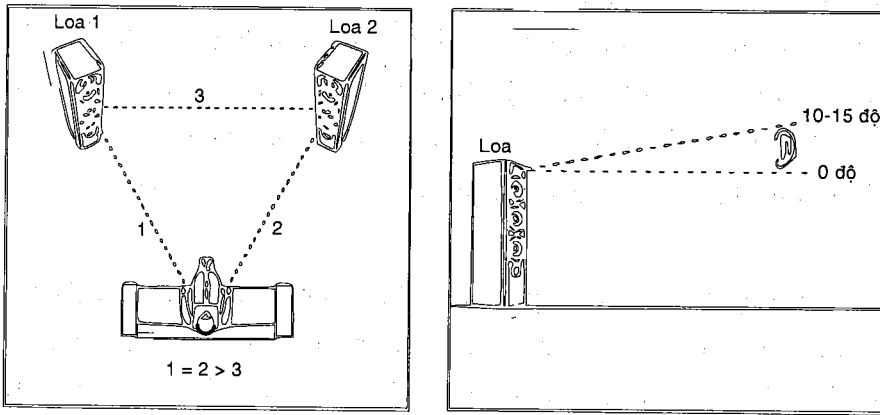
**Bước 1:** Xác định tương quan vị trí thính giả và loa

Giải pháp thường gặp nhất là bố trí hệ loa đối xứng trong thính phòng. Vị trí ngồi tốt nhất thông thường là trên trục đối xứng của 2 loa chính, khoảng cách từ người đến loa lớn hơn khoảng cách giữa 2 loa (xem Hình 6.28). Khoảng cách giữa hai loa nên dao động trong khoảng từ 2.2 m - 2.5 m và đến mức tối đa là 2.8 m tùy thuộc vào khoảng cách chiều rộng của phòng. Người nghe chuyên đọc trục đối xứng này và cảm nhận vị trí cho chất lượng âm thanh tốt nhất, từ đó xác định được khoảng cách tối ưu giữa người và loa. Đó là cơ sở để xác định vị trí của loa. Giải pháp loa đối xứng cũng giúp tăng tính thẩm mỹ của thính phòng.

**Bước 2:** Xác định cao độ đặt loa hay treo loa

Trong phòng nhỏ, nếu vì tiết kiệm diện tích mà phải đặt loa quá cao sẽ làm chất lượng âm bị ảnh hưởng, nhất là những âm tần số cao. Thông thường, các loa

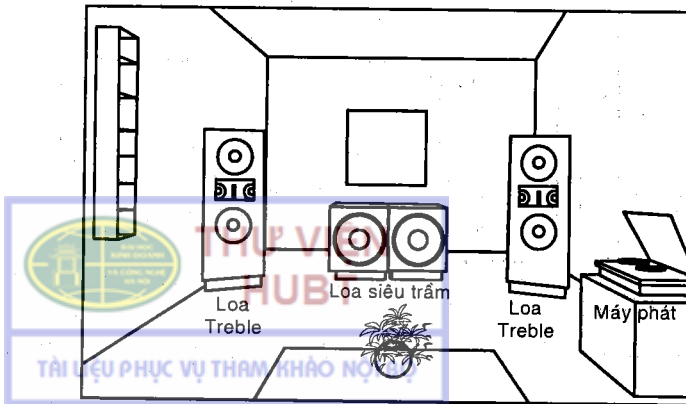
treble nên có độ cao ngang tầm tai người, khoảng 1.2 m (xem Hình 6.28). Nếu treo loa cao, hướng của loa phải quay về phía thính giả. Các loa sub nên cách mặt đất một khoảng nhỏ (khoảng 30 cm). Nếu đặt loa trực tiếp trên nền thì mặt loa nên được ngửa lên một góc khoảng  $15^\circ$ .



**Hình 6.28.** Minh họa về vị trí của loa với tai người nghe

**Bước 3:** Điều chỉnh hướng của loa

Đối với các loa sub, hướng đặt loa ít ảnh hưởng đến sự cảm nhận âm bass. Nhưng hướng đặt các loa treble lại ảnh hưởng nhiều đến chất lượng và độ lớn của âm tần số cao do tính định hướng rất mạnh của âm tần số cao. Bạn có thể đặt loa sao cho mặt loa song song với mặt tường sau lưng người nghe hay đặt loa hướng về phía người nghe ở giữa. Trong cả hai cách, người nghe cần thử âm thanh và xoay góc loa cho đến khi đạt yêu cầu (Hình 6.29).



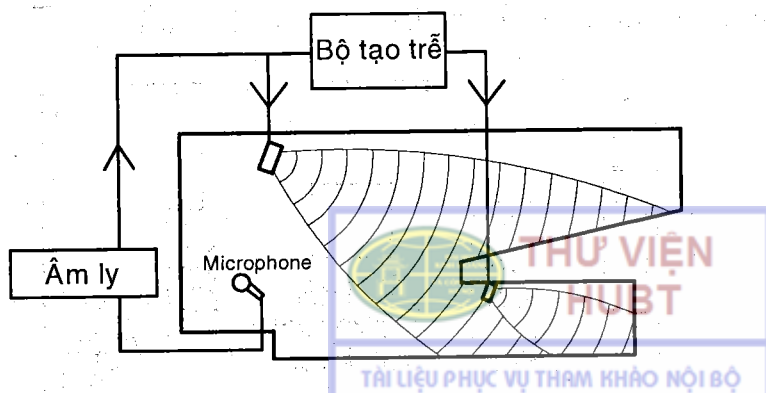
**Hình 6.29.** Một ví dụ về cách bố trí loa, trong đó loa treble đặt hơi nghiêng về phía người nghe, loa sub đặt gần góc tường

**Bước 4:** Xác định khoảng cách hợp lý giữa loa sub và tường phía sau

Âm trầm có độ khuếch tán mạnh, do đó trường âm trầm thường bao trùm quanh loa mặc dù loa chỉ quay về một hướng. Do đó, những bức tường phía sau loa sub góp phần phản xạ âm trầm về phía người nghe. Nếu bạn muốn âm trầm mạnh mẽ, sống động thì đặt loa sub gần góc tường. Càng gần góc tường, tiếng âm trầm càng mạnh mẽ. Hướng dẫn sử dụng của nhà sản xuất loa cũng giúp bạn hiểu hơn về cách bố trí các loa sub. Nhiều nhà sản xuất loa cũng đưa ra khuyến cáo cụ thể về khoảng cách giữa loa và tường sau, tường bên.

**Bước 5:** Điều chỉnh khoảng cách giữa loa và tường để đạt được trường âm thanh có chiều sâu

Thông thường, đặt loa xa tường thì âm thanh có chiều sâu hơn đặt gần tường, do tránh được các âm phản xạ bậc nhất. Tuy nhiên, không phải phòng nào cũng đủ kích thước để làm điều đó. Khoảng cách giữa loa sub và các bức tường cần điều chỉnh để tránh sóng dừng xảy ra, khiến âm thanh trong phòng thiếu tự nhiên khi chỉ mạnh mẽ ở một vài quãng tần số nào đó, can thiệp một cách bất thường vào áp suất âm của dải tần số cao hoặc thấp, gây ra hiện tượng sai âm. Bằng cách điều chỉnh vị trí loa và người nghe có thể đạt được vị trí mà âm thanh nghe mượt nhất. Theo nhiều nguồn tài liệu kinh nghiệm, để có được âm trầm hay nên đặt loa cách tường sau ở vị trí  $1/3$  chiều dài của phòng, hoặc  $1/5$  nếu chiều dài phòng không cho phép. Cả hai vị trí này có tác dụng giảm sự xuất hiện các sóng dừng, cộng hưởng áp suất âm.



**Hình 6.30.** Hệ thống điện thanh trong thính phòng quy mô vừa và nhỏ

Đối với các hội trường quy mô nhỏ, hệ thống loa có thể chỉ gồm một hệ thống chính và một hệ thống phụ phía sau được tạo trễ (nếu cần) để bổ sung âm thanh ở những vị trí bất lợi (xem Hình 6.30) và làm cho âm thanh đồng đều trên toàn thính

phòng. Khi đó, các cột loa phía sau là các loa toàn dải tần (full range). Việc hiệu chỉnh bộ tạo trễ (delay line) sẽ phối hợp giữa tiếng trầm của các loa sub ở trong loa chính với các loa phụ phía sau. Thời gian trễ  $t_{delay}$  thường được tính như sau:

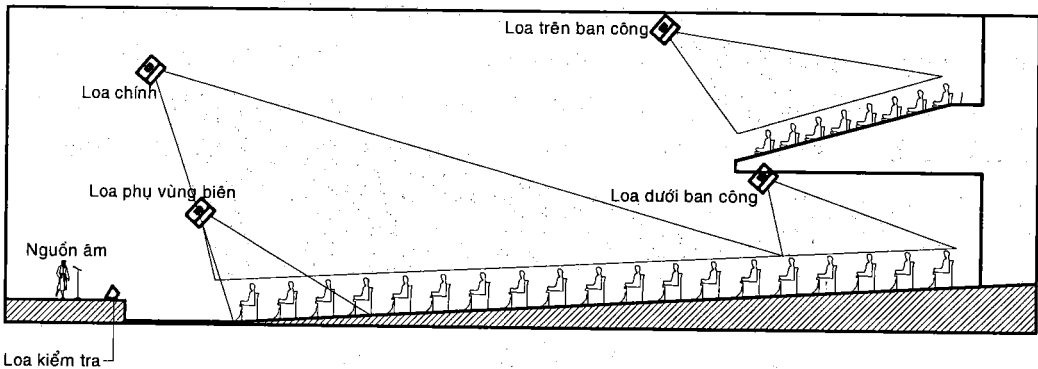
$$t_{delay} = ck \quad (6.2)$$

trong đó:

$c$  - tốc độ của âm thanh trong không khí (m/s);

$k$  - khoảng cách giữa loa chính và loa được tạo trễ (m).

Trong những thính phòng quy mô lớn, việc bố trí hệ thống loa phức tạp hơn, cả về số lượng, vị trí, chủng loại. Nếu không xét đến các loa làm nhiệm vụ tạo hiệu ứng (vang, tạo hiệu ứng không gian...), loa trong thính phòng lớn có thể chia thành: loa chính, loa phụ hai bên, loa phụ ở xa, loa dưới ban công, loa kiểm tra. Mỗi loa được quy hoạch để phụ trách một khu vực khán giả trong thính phòng, đi kèm theo đó là kênh tín hiệu được tạo trễ riêng (delay line). Hình 6.31 giới thiệu nguyên lý bố trí hệ thống loa trong một thính phòng lớn có ban công.



Hình 6.31. Hệ thống loa trong một thính phòng lớn

## 6.7. CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG 6

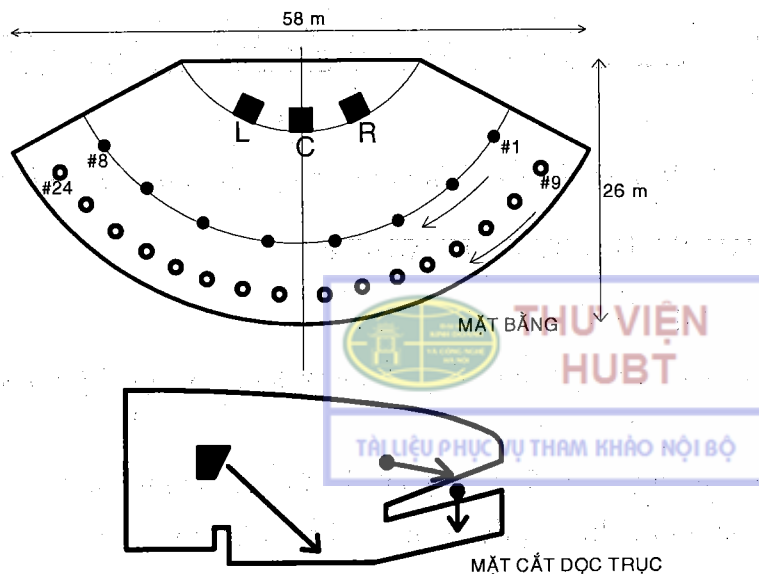
### Câu hỏi trọng tâm:

1. Tại sao cần có hệ thống điện thanh? Khi nào thì hệ thống điện thanh là cần thiết?
2. Hãy nêu những yêu cầu chung của hệ thống điện thanh?
3. Cấu tạo một hệ thống điện thanh cơ bản như thế nào?
4. Cấu tạo một hệ thống điện thanh nâng cao khác với hệ thống cơ bản ở những điểm nào?

5. Nêu các thông số kỹ thuật cơ bản của microphone? của loa?
6. Nêu các loại loa và tính năng - ứng dụng của chúng?
7. Nêu các phương án bố trí loa trong một thính phòng.
8. Hiện tượng âm hồi tiếp là gì? Làm thế nào để có thể hạn chế hiện tượng âm hồi tiếp?
9. Tại sao phải tạo trễ cho hệ thống loa? Hiệu ứng Haas là gì?
10. Nêu các bước cơ bản để thiết kế một hệ thống điện thanh.
11. Những vấn đề cần quan tâm khi lựa chọn loa là gì?

### Bài tập ứng dụng:

Hãy lựa chọn và bố trí hệ thống điện thanh cho tiếng nói và âm nhạc trong một nhà thờ Tin lành cỡ lớn với những thông tin và yêu cầu cơ bản: Mặt bằng hình rẻ quạt trong Hình 6.32 là thiết kế kiến trúc khá điển hình của nhà thờ Tin lành bởi sức chứa lớn và tất cả các chỗ ngồi đều có tầm nhìn tốt. Vấn đề âm học chính ở đây là mặt cong trước ban công và mặt cong ở tường hậu của căn phòng. Nếu không được xử lý âm học đúng, những mặt cong này có thể tạo ra những âm phản xạ xấu vào giữa thính phòng. Trong nhiều trường hợp, những không gian này được áp vật liệu hút âm một cách quá dư thừa khiến trường âm trong phòng trở nên câm (năng lượng âm tắt quá nhanh). Hậu quả là phải trang bị hệ thống điện thanh cực mạnh để khôi phục lại cảm giác thính phòng và âm nhạc bao quanh.



**Hình 6.32.** Mặt bằng và mặt cắt ngang chính giữa của nhà thờ Tin lành

**Gợi ý:** Hệ thống âm thanh được lựa chọn bao gồm: một dãy loa trung tâm gồm các loa âm nhạc đa kênh trái (L), giữa (C) và phải (R); tiếng nói thì chỉ được tăng âm bởi duy nhất một dãy loa ở giữa. Khu vực trên ban công được phủ bởi 8 loa được tạo trần - treo thành một vòng cung. Khu vực dưới ban công thì phụ trách bởi 16 loa được tạo trần - âm trần xếp thành vòng cung. Dãy loa chính phải có khả năng bao phủ một góc lớn hơn  $120^\circ$  trên mặt bằng (do mặt bằng hình rẻ quạt  $120^\circ$ ). Nếu các phân tích trên phần mềm CADP2 (phần mềm tính toán âm thanh miễn phí của hãng loa JBL) cho thấy cần thiết thì phải lắp thêm các loa phụ bên hông phòng cũng như các loa xung quanh sân khấu để âm bao phủ hết toàn bộ mặt bằng phòng (Eargle, 1999).

Dãy loa chính đa kênh dự kiến phụ trách phần lớn diện tích sàn chính và một vài hàng ghế đầu phía dưới ban công. Loa chính phải có khả năng đáp ứng cả tín hiệu tần số thấp và tần số cao. Phụ trách khu vực ban công là các loa đơn kênh (mono), với 1 kênh tín hiệu duy nhất cung cấp cho tất cả các loa này. Mức âm của âm nhạc mong muốn là 105 dB ở khu vực sàn chính.

#### ***Yêu cầu:***

- Đối với dãy loa chính: xác định các thiết bị trong các dãy loa trái, giữa và phải, đồng thời xác định công suất cần thiết của chúng.
- Đối với dãy loa được tạo trần treo trên ban công: xác định các thiết bị, đồng thời xác định công suất cần thiết và phương pháp phân phối.
- Đối với dãy loa được tạo trần dưới trần ban công: xác định các thiết bị, đồng thời xác định công suất cần thiết và phương pháp phân phối.

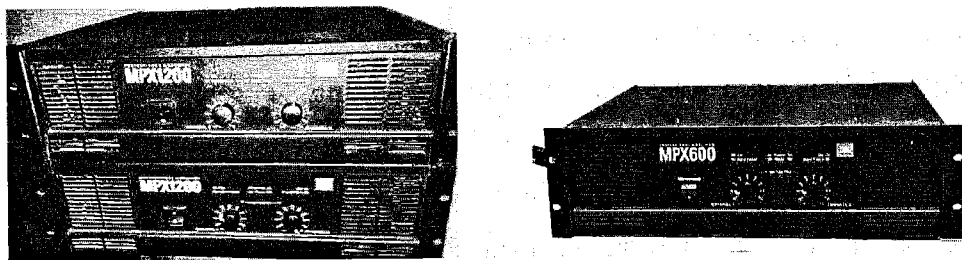
Đối với dãy loa chính: Có 2 cách tiếp cận trong cho vấn đề thiết kế hệ thống loa chính. Một là: thiết kế và lắp ghép một hệ thống loa tần số thấp và tần số trung theo ý muốn. Lợi ích của các tiếp cận này là những loa tần số cao (HF) có thể bố trí tập trung thành nhóm sát nhau mà ít bị nhiễu lẫn nhau khi hoạt động. Nhưng làm như vậy sẽ cần chi phí rất lớn - bất hợp lý. Cách còn lại là sử dụng hệ thống loa đã chế tạo và tổ hợp sẵn trong thùng loa, như hệ thống loa SP225-9 của JBL (xem chi tiết thông số kỹ thuật ở Phụ lục B). Hệ thống này có thể sắp xếp thành dãy với khoảng cách hợp lý để tạo hiệu ứng đa kênh (stereo) và góc xoay từng cụm loa được điều chỉnh để toàn hệ thống loa bao phủ một góc  $135^\circ$  trên mặt bằng thính phòng. Hệ thống giá treo đã được tích hợp sẵn vào hệ thống loa SP, nên rất thuận tiện cho việc lắp đặt.

Cặp loa SP225-9 ở vị trí trung tâm được bố trí sát nhau, áp lưng vào nhau để tạo ra góc bao phủ  $120^\circ$  trên mặt bằng (xem chi tiết cấu tạo loa). Cặp loa này sử dụng chủ yếu để phát tiếng nói, nhưng cũng dùng khi biểu diễn âm nhạc để tạo hiệu ứng đa kênh (stereo). Hai loa SP225-9 còn lại được dùng để bố trí bên phải và bên trái thính phòng, chỉ hoạt động khi biểu diễn âm nhạc.

Tất cả các loa SP225-9 này được treo nghiêng mặt loa  $60^\circ$  so với mặt sàn, khoảng cách phát thanh trung bình đến sàn chính là 10 m. Mức âm tính toán bởi phần mềm CADP2 như sau:

Mức áp suất âm	Công suất	Khoảng cách
100 dB	1 W	1 m
131 dB	1200 W	1 m
111 dB (thỏa)	1200 W	10 m

Trong mỗi loa SP225-9 có một loa tần số thấp (LF). Cứ 2 loa SP225-9 có 2 loa tần số thấp, và chúng được xem là 2 tải song song (mỗi tải có trở kháng  $4 \Omega$ ) được cung cấp công suất bởi một khối âm-ly MPX1200 của JBL (xem Hình 6.33).

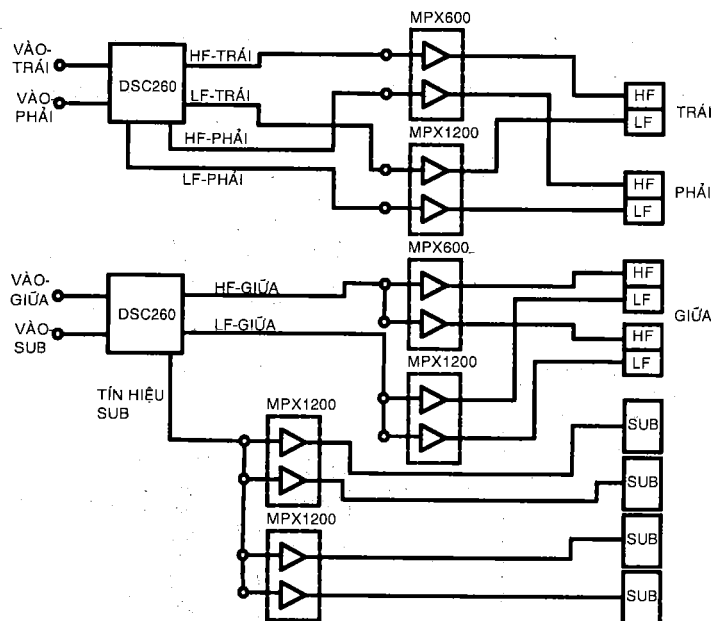


Hình 6.33. Hai khối âm-ly MPX1200 xếp chồng lên nhau (trái) và 1 khối âm-ly MPX600 (phải)

Bốn cụm loa tần số cao nằm trong bốn loa chính SP225-9 được cung cấp công suất bởi 2 khối âm-ly MPX600 (mỗi khối 200 W vào  $16 \Omega$ ). Mỗi loa chính còn có thêm một loa phụ siêu trầm (subwoofer) SP128S. Những loa siêu trầm này được cung cấp công suất giống như là các loa tần số thấp (LF) ở trên. Kết quả tính toán mức áp suất âm như sau:

Mức áp suất âm	Công suất	Khoảng cách
102 dB	1 W	1 m
133 dB	1200 W	1 m
113 dB (thỏa)	1200 W	10 m

Toàn bộ sơ đồ hệ thống điện thanh cho các loa chính được trình bày chi tiết trong Hình 6.34.



**Hình 6.34.** Sơ đồ điện của hệ thống loa chính  
(DSC: Digital system controller - hộp kiểm soát tín hiệu vào)

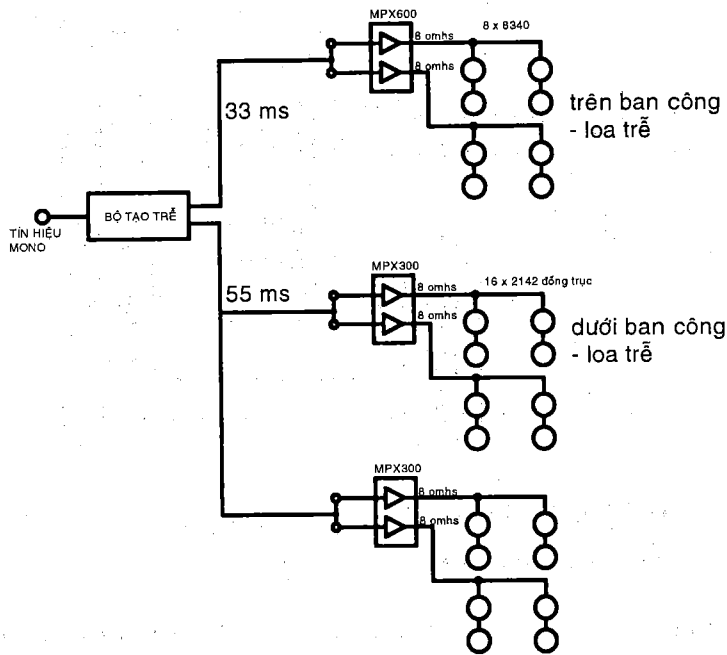
Đối với dãy loa được tạo trễ phía ban công: Dãy 8 loa được tạo trễ thứ nhất treo phía trên ban công cần loa mạnh, nên loa 8340A của JBL được chọn. Loại loa này nhỏ gọn, độ nhạy cao (96 dB), đáp tuyến tần số rộng (xem Phụ lục B). Mỗi loa 8340A có cự ly phát thanh 6 m và có khả năng chịu được công suất đầu vào 150 W. Với hệ thống 8 loa này, khu vực trên ban công sẽ nhận được thêm các âm tần số cao, đảm bảo chất lượng âm nhạc tương đương khu vực chỗ ngồi dưới sàn chính. Kết quả tính toán mức áp suất âm phát ra của loa như sau:

Mức áp suất âm	Công suất	Khoảng cách
96 dB	1 W	1 m
118 dB	150 W	1 m
102 dB	150 W	6 m

Khu vực dưới trần ban công gồm có 16 loa nhỏ gắn âm trần cao 2 m so với cao độ tai người ngồi phía dưới. Kiểu loa 2142H của JBL được dùng, với độ nhạy 97 dB và công suất trung bình (công suất RMS) 90 W. Một thính giả dưới

ban công ngồi ngay thẳng bên dưới loa 2142H sẽ nghe âm 91 dB nếu loa nhận được công suất 1 W. Một thính giả ngồi chính giữa 2 loa sẽ nghe âm khoảng 90 dB. Ước tính với dãy loa công suất trung bình 90 W (công suất tối đa có thể lên 360 W), mức âm tối đa dưới ban công 110 dB có thể đạt được (thỏa mãn).

Sơ đồ điện của toàn bộ hệ thống loa được tạo trễ phía sau được trình bày trong Hình 6.35.



**Hình 6.35.** Sơ đồ hệ thống điện của các dãy loa phụ, được tạo trễ

Thiết lập thời gian trễ:

- Khoảng cách từ loa chính đến dãy loa phụ trên ban công vào khoảng 11 m. Do đó thời gian trễ cho dãy loa này vào khoảng  $11/344$  s, tức 32 ms. Thời gian trễ được chọn cho hệ thống là 33 ms.

- Đối với dãy loa phụ dưới ban công, khoảng cách đến loa chính vào khoảng 18 m. Do đó, thời gian trễ cho dãy loa này là  $18/344$  s, tức 52,3 ms. Chọn thiết lập thời gian trễ cho hệ thống là 55 ms sẽ đảm bảo cho tất cả các loa phụ phát sau khi âm từ loa chính đến tai thính giả (Eargle, 1999).

## TÀI LIỆU THAM KHẢO CHƯƠNG 6

1. Ballou G., 2013. Handbook for sound engineers. Oxfordshire: Taylor & Francis.
2. Beranek L. L. & Mellow, T., 2012. Acoustics: Sound Fields and Transducers. Waltham, Massachusetts: Academic Press.
3. Berkhout A. J., 1988. A Holographic Approach to Acoustic Control. J. Audio Eng. Soc., 36(12), p. 977–995.
4. Công ty TNHH TM MINH THANH P.I.A.N.O., Trang chủ. [Online], Available at: <http://soundking.vn>, [Accessed 14 10 2016].
5. Eargle, J., 1999. Sound System Design Reference Manual. Northridge, CA: Electronic version: JBL Professional.
6. Nguyễn Ngọc Giả, 2011. Cơ sở âm học kiến trúc - Thiết kế chất lượng âm. Hà Nội: Nhà xuất bản Xây dựng.
7. Phạm Đức Nguyên, 2011. Âm học kiến trúc, âm học đô thị. Hà Nội: Nhà xuất bản Xây dựng.
8. Schneider A. W., 1950. Sound Reinforcing Systems. Journal of the Audio Engineering Society, Volume 1, pp. 27-55.
9. Szokolay S. V., 2008. Introduction to architectural science. Oxford: Elsevier Science.



## TIẾNG ÒN VÀ CHỐNG ÒN TRONG MÔI TRƯỜNG XÂY DỰNG

### TÓM TẮT NỘI DUNG CHÍNH

Nội dung chương 7 bàn về tiếng ồn và xử lý tiếng ồn trong môi trường xây dựng. Khác với âm học thính phòng, tiếng ồn cần bị triệt tiêu càng nhanh càng tốt. Bạn đọc cần nắm vững các nội dung chủ yếu sau đây:

- Các phương pháp đánh giá tiếng ồn thay đổi, gồm mức ồn tương đương  $L_{eq}$ , mức ồn  $L_{90}$  và  $L_{10}$ , mức ồn tương đương ngày và đêm  $L_{dn}$ ;

- Hiểu và đánh giá được một tiếng ồn có phổ tần số cho trước bằng các tiêu chuẩn NR và NC, từ đó so sánh tiếng ồn với các tiêu chuẩn quốc gia hoặc quốc tế;

- Nắm được cách tính toán sự suy giảm tiếng ồn khi nó lan truyền trong không gian đô thị, đặc biệt quan tâm là mức giảm tiếng ồn qua rặng cây xanh và tường chắn vì đây là những biện pháp chống ồn cơ bản trong đô thị;

- Các giải pháp mà người thiết kế có thể áp dụng khi quy hoạch đô thị và thiết kế công trình để hạn chế tác động của tiếng ồn, trong đó đặc biệt chú ý các biện pháp trong quy hoạch chung và quy hoạch chi tiết đô thị;

Phần cuối chương, chúng tôi đề cập vấn đề cách âm trong công trình, trong đó tập trung giải thích các đại lượng đo khả năng cách âm của kết cấu và một số giải pháp cách âm minh họa, gồm:

- Lượng cách âm không khí, lượng cách âm va chạm, lượng cách âm quy đổi;

- Giải pháp cách âm không khí, giải pháp cách âm va chạm trong công trình xây dựng.

Cuối cùng, đối với tiếng ồn, cho dù dùng giải pháp gì thì một nguyên tắc đầu tiên cần nhớ là “Hạn chế tiếng ồn phát sinh ngay từ nguồn ồn sẽ mang lại hiệu quả cao nhất và đỡ tốn kém nhất”.

## 7.1. KHÁI NIỆM VỀ TIẾNG ÒN VÀ CÁC VẤN ĐỀ LIÊN QUAN ĐẾN TIẾNG ÒN

Tiếng ồn là những âm thanh ngoài ý muốn truyền đến tai người, gây cản trở quá trình cảm nhận âm cần nghe hoặc ảnh hưởng đến sự tập trung trong công việc, hoặc ảnh hưởng đến điều kiện nghỉ ngơi.

Tiếng ồn nói chung có tác động xấu đến sức khỏe con người, làm giảm năng suất lao động, giảm tiện nghi của môi trường sống, sinh hoạt, giải trí và nghỉ ngơi.

Về bản chất vật lý, tiếng ồn là một dạng của âm thanh, nên nó cũng có các đặc trưng vật lý của sóng âm như dao động, sự tắt dần, sự lan truyền, tần số, mức ồn... Do đó, nghiên cứu tiếng ồn đòi hỏi các kiến thức nền tảng về vật lý và âm học.

Bảng 7.1 giới thiệu các loại tiếng ồn và mức ồn tương ứng cũng như cảm nhận của con người đối với các tiếng ồn khác nhau. Có thể thấy mức ồn mà con người cảm thấy không bị quấy nhiễu chỉ vào khoảng 50 dB. Tuy nhiên, nếu khảo sát kỹ hơn thì có nhiều đặc trưng khác của tiếng ồn cũng có tác động đến sự cảm nhận của con người chứ không chỉ riêng mức ồn.

**Bảng 7.1. Mức ồn của một số tiếng ồn cảm giác chủ quan của con người - tham khảo và bổ sung từ Nguyễn (2011)**

<i>Mức ồn (dB)</i>	<i>Cảm giác chủ quan</i>	<i>Nguồn phát</i>
0		Nguưỡng nghe, áp suất âm $P_0 = 2.10^{-5} \text{ N/m}^2$
10	Không nghe thấy	Tiếng lá rơi từ xa
15	Khó nghe thấy	Tiếng gõ của đồng hồ, hơi thở ồn định
20	Yên tĩnh tuyệt đối	Điều kiện trong phòng ghi âm, phát thanh
25	Hoàn toàn yên lặng	Điều kiện trong phòng thu nhạc, phòng bệnh nhân trong bệnh viện ban đêm
30	Rất yên lặng	Mức ồn thực tế phòng bệnh nhân ban đêm
35	Khá yên lặng	Phòng ngủ yên tĩnh, mức ồn lớn nhất cho phép ban đêm
40	Yên lặng	Phòng thi viết, trong phòng đọc thư viện, khu ở đặc biệt
45	Tiếng xào xạc	Phòng ở trong khu ở - giới hạn tập trung tinh thần (tiếng ồn xé giấy)

**Bảng 7.1 (tiếp theo)**

<i>Mức ồn (dB)</i>	<i>Cảm giác chủ quan</i>	<i>Nguồn phát</i>
50	Gây nhiễu nhẹ	Nói chuyện nhỏ nhẹ - Mức tối đa còn đảm bảo giấc ngủ không bị quấy nhiễu
60	Gây nhiễu	Nói chuyện bình thường - mức ồn lớn nhất còn có thể đối thoại bình thường
70	Tiếng ồn tương đối lớn	Máy hút bụi - cách 1 m, tiếng ồn trong hội trường
80	Tiếng ồn lớn	Đường giao thông tập nập, cách 5 m
90	Tiếng ồn rất lớn	Tiếng ồn xưởng in, mức ồn cho phép trong nhà máy
100	Tiếng ồn quá lớn	Tiếng ồn máy cưa, âm lớn nhất của đội nhạc diễn tấu
110	Khó chịu đựng được lâu	Xưởng dệt thoi, máy gia công gỗ
120	Không chịu đựng được	Tiếng máy bay phản lực cách khoảng 100 m, ngưỡng khó chịu
130	Cảm giác đau	Tiếng còi báo động - cách 1 m, máy bay phản lực cách 100 m
140	Tồn thương thính giác không thể hồi phục	Máy bay phản lực - cách 25 m
190	Không thể nghe hay cảm nhận được	Ngưỡng lý thuyết của sóng âm trong điều kiện áp suất 1 atm

### 7.1.1. Các loại nguồn ồn và tính chất của tiếng ồn

Tiếng ồn được sinh ra từ rất nhiều nguồn và tạm thời có thể phân loại thành những nhóm như sau:

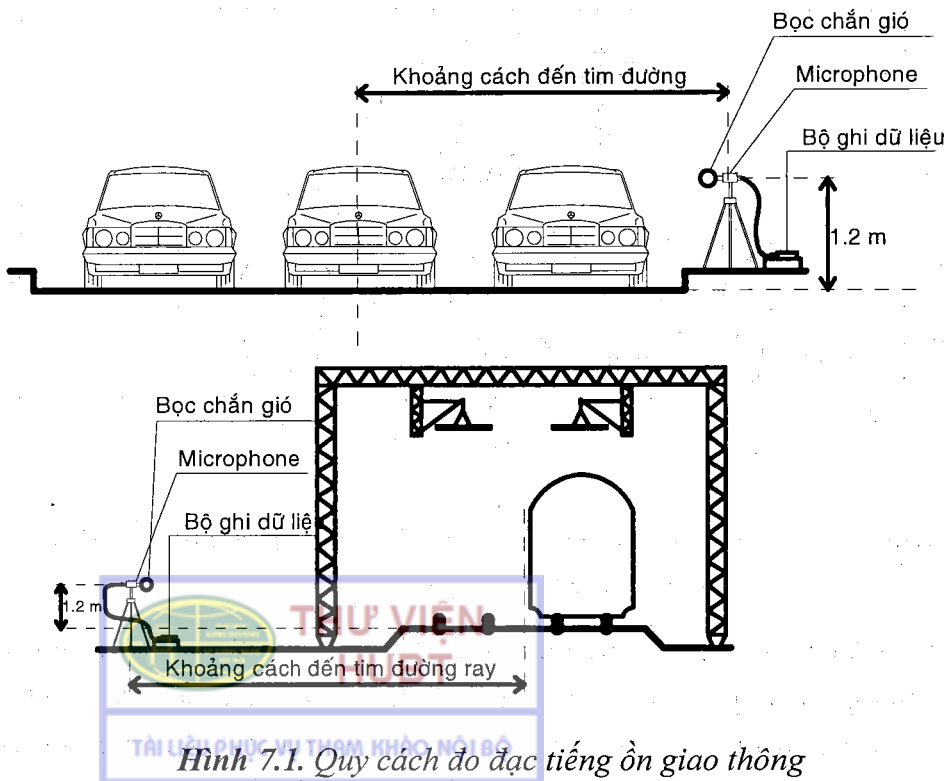
- Theo vị trí, người ta chia tiếng ồn thành tiếng ồn trong nhà và tiếng ồn ngoài nhà. Mỗi loại tiếng ồn có cách xử lý chống ồn riêng.

- Theo thời gian trong ngày, tiếng ồn được chia thành tiếng ồn ban ngày và tiếng ồn ban đêm (22 giờ đêm đến 7 giờ sáng). Trong tính toán, tiếng ồn ban đêm thường được điều chỉnh tăng khoảng 10 dB so với giá trị đo thực tế vì tác động của nó lớn hơn tiếng ồn cùng mức vào ban ngày.

- Theo phương thức lan truyền, người ta chia thành tiếng ồn lan truyền qua không khí (airborne sound) và tiếng ồn lan truyền qua kết cấu (structure-borne sound). Trong công trình, hầu hết các trường hợp tiếng ồn lan truyền qua không khí chiếm thành phần chủ đạo.

- Theo diễn biến của mức ồn qua thời gian, người ta cũng chia làm 2 loại là tiếng ồn ổn định và tiếng ồn thay đổi. Ngưỡng dao động tối thiểu của mức ồn để xác định một tiếng ồn kéo dài theo thời gian thuộc nhóm ồn định hoặc thay đổi là 5 dB. Trên thực tế cuộc sống đô thị ta hay gặp tiếng ồn thay đổi. Tiếng ồn phát ra từ các loại phương tiện giao thông thuộc nhóm tiếng ồn thay đổi.

Thông thường, độ lớn vật lý của tiếng ồn thường được đo bằng máy đo. Dải tần số tiếng ồn cần đo thông thường vào khoảng 20 Hz đến 20 kHz, tương ứng với dải âm thanh có thể nghe được bởi tai người. Hiện nay loại máy đo phổ biến nhất là các loại máy điện tử có mạch hiệu chỉnh A, B, C như đã giới thiệu ở phần 1.6, tương ứng với đơn vị đo dBA, dBB, dBC. Hiện nay, các phương pháp đánh giá và tiêu chuẩn về tiếng ồn của nước ta và nhiều nước trên thế giới đều dùng thang dBA để khảo sát mức ồn trong sinh hoạt, giao thông và cả trong hoạt động công nghiệp. Việc đo đặc tiếng ồn nên tuân thủ theo tiêu chuẩn IEC 61672-1:2002. Đối với tiếng ồn tuyến giao thông cần có biện pháp đo đặc phù hợp như giới thiệu trong Hình 7.1.



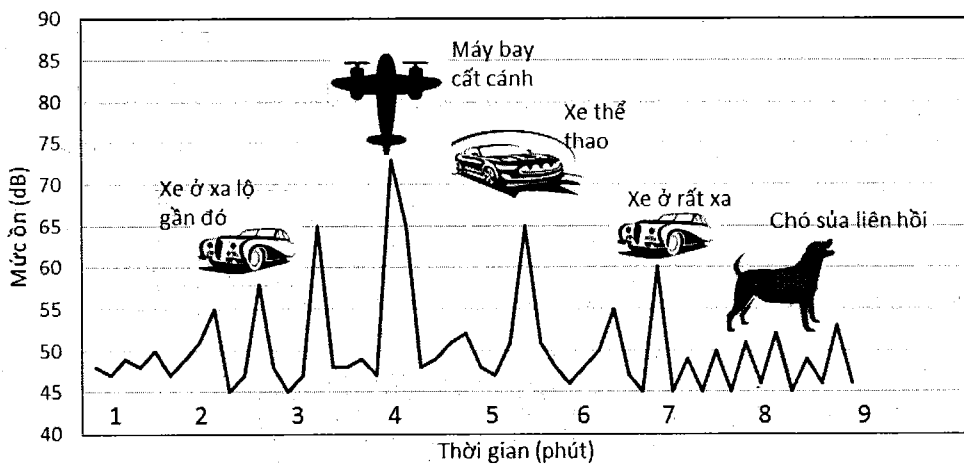
Hình 7.1. Quy cách đo đặc tiếng ồn giao thông

Đối với các tiếng ồn thay đổi, việc đo đặc thường dùng các kỹ thuật đặc biệt để quy về một giá trị được coi là “trung bình” và sẽ được giới thiệu ở phần sau.

### 7.1.2. Đánh giá tiếng ồn thay đổi

Mức âm trong nhà và ngoài nhà thường thay đổi đáng kể theo thời gian cho dù ở trong khu vực yên tĩnh ở vùng nông thôn hay ở khu vực đô thị đông đúc. Với loại tiếng ồn thay đổi theo thời gian như vậy thì không có một đại lượng đơn giản nào có thể mô tả đầy đủ định tính và định lượng năng lượng âm có trong tiếng ồn.

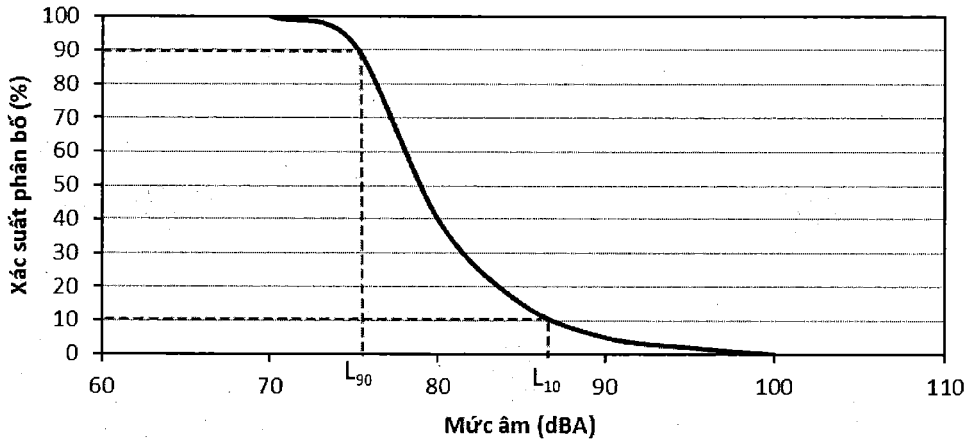
Hình 7.2 giới thiệu mức ồn đo được (theo thang dBA) trên một tuyến đường ngoại ô yên tĩnh trong vòng 10 phút. Dễ dàng nhận thấy mức ồn ở đây thay đổi liên tục theo thời gian và mức ồn có sự chênh lệch khá lớn, từ 40 đến 75 dB. Như vậy trong đô thị, mức ồn có khả năng sẽ lớn hơn và phức tạp hơn. Rõ ràng là những tiếng ồn thay đổi theo thời gian như trong Hình 7.2 nên được diễn đạt bằng các đại lượng thống kê, ví dụ như: bao nhiêu phần trăm thời gian mức ồn lớn hơn một ngưỡng nào đó. Chúng ta không thể nói cụ thể mức ồn trong 10 phút đo là bao nhiêu, nhưng ta có thể nói 90% thời gian mức ồn không quá 60 dB chẳng hạn.



**Hình 7.2.** Mức ồn đo được trên một tuyến đường yên tĩnh ở ngoại ô - phỏng theo *Cavanaugh et al.* (2009)

Việc phân tích sự phân bố theo xác suất của mức ồn là một cách hữu ích để đánh giá tiếng ồn thay đổi theo thời gian. Kiểu phân tích này không chỉ cung cấp thông tin về sự thay đổi của mức âm mà còn rất cần thiết trong nhiều tiêu chuẩn tiếng ồn vì đó là cơ sở để đánh giá mức ồn nền. Hình 7.3 biểu diễn một dạng phân tích xác suất phân bố mức ồn của một tuyến giao thông. Trên biểu đồ phân bố, người ta xác định được xác suất xuất hiện các mức ồn; ví dụ mức ồn

$L_{90}$  trong Hình 7.3 là 75.5 dBA (nghĩa là trong 90% thời gian khảo sát, mức ồn bằng hoặc vượt quá ngưỡng này). Bên cạnh đó mức ồn  $L_{10}$  cũng có thể được xác định là 86.7 dBA (chỉ có 10% thời gian khảo sát, mức ồn bằng hoặc vượt ngưỡng này). Mức ồn  $L_{90}$  thường được dùng như một số đo về mức ồn nền và quy định trong các tiêu chuẩn tiếng ồn, trong khi mức ồn  $L_{10}$  (hoặc  $L_5$ ) thường dùng như một chỉ báo về mức ồn lớn có tính không thường xuyên.



*Hình 7.3. Đường cong xác suất phân bố mức ồn của một tuyến giao thông cho phép xác định các mức ồn  $L_{90}$  và  $L_{10}$*

Trong thực tế, đã có nhiều tiêu chuẩn tiếng ồn cho phép đưa ra ngưỡng ồn tối đa mà không được nghiên cứu kỹ dẫn đến việc rất khó để đánh giá một tiếng ồn kéo dài hoặc tiêu chuẩn bị “qua mặt”. Ngược lại, ngưỡng cho phép quá thấp dẫn đến việc những tiếng ồn bình thường trong sinh hoạt cũng bị coi là không được phép, hệ quả là tiêu chuẩn không được thừa nhận và bỏ qua.

Vào những năm 1970, nhiều nghiên cứu ở Mỹ đã dẫn đến việc sử dụng một đại lượng gọi là: **mức âm tương đương** ( $L_{eq}$ ). Mức âm tương đương  $L_{eq}$  của một âm thay đổi theo thời gian được định nghĩa là “mức âm tương đương của một âm ổn định có năng lượng âm tương đương với năng lượng âm thay đổi trong khoảng thời gian đang xét” (xem Hình 7.4). Đôi khi, mức âm tương đương còn được gọi là mức âm trung bình, ký hiệu là  $L_{AT}$ . Với định nghĩa như vậy, mức âm tương đương được tính như sau:

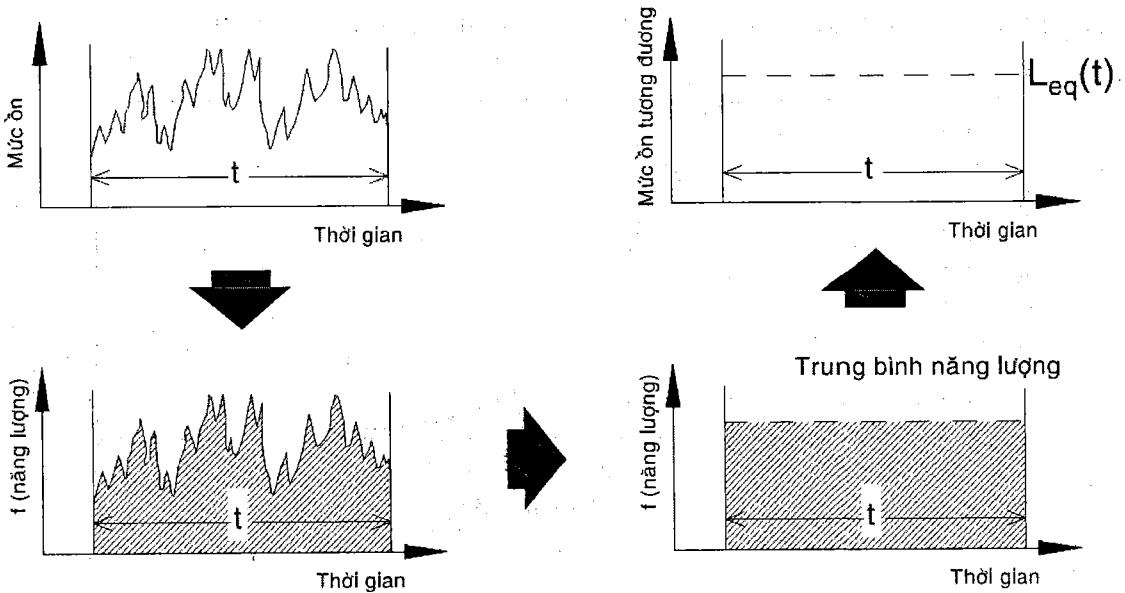
$$L_{eq} = 10 \lg \left[ \frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} \left( \frac{P(t)}{P_0} \right)^2 dt \right] \quad (7.1)$$

trong đó:

$t_1$  và  $t_2$  - thời điểm bắt đầu và kết thúc khảo sát (s);

$P(t)$  - áp suất âm tại thời điểm  $t$  trong khoảng khảo sát ( $\text{N/m}^2$ );

$P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$  - áp suất âm tại ngưỡng nghe.



**Hình 7.4.** Khái niệm mức âm tương đương

Nếu mức âm của một tiếng ồn liên tục được đo  $n$  lần cách quãng đều đặn bằng thang đo dBA, mức âm tương đương theo dBA có thể tính một cách đơn giản theo công thức sau:

$$L_{A(eq)} = 10 \lg \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{Ai}/10} \right] \quad (7.2)$$

Mức âm tương đương hiện có thể đo được một cách dễ dàng bằng các máy đo điện tử hoạt động theo cơ chế tự động đo nhiều lần trong một quãng thời gian (có thể kéo dài lên đến 24 h) và tự động tính toán giá trị trung bình theo công thức (7.2). Giá trị báo bởi máy đo chính là mức âm tương đương.

Đối với tiếng ồn thay đổi theo thời gian như trong Hình 7.2, mức ồn tương đương là  $L_{eq} = 58 \text{ dBA}$ . Như vậy, mức âm (hay tiếng ồn) tương đương phản ánh chính xác hơn mức năng lượng âm có trong tiếng ồn thay đổi theo thời gian. Khi sử dụng đại lượng này, mức âm (mức ồn) tương đương phải đi kèm một đại lượng chỉ độ dài quãng thời gian đang xét, chỉ một mình  $L_{eq}$  là không đủ, ví dụ:

tiếng ồn tương đương của một giờ cao điểm  $L_{eq(1h)}$ . Hiện nay ở Mỹ và các nước phương Tây, các tiêu chuẩn tiếng ồn cho phép thường dựa trên  $L_{eq}$ . Đại lượng mức âm (mức ồn) tương đương và một số đại lượng thống kê khác cũng được công nhận ở nhiều nước phương Tây và thường được dùng trong nghiên cứu liên quan đến môi trường âm thanh.

Ở Việt Nam, có tác giả kiến nghị sử dụng mức ồn tương đương từ 8 - 20 giờ  $L_{eq(8-20)}$  của mức ồn giao thông là cơ sở để thiết lập tiêu chuẩn tiếng ồn giao thông (Phạm, 2011).

Một đại lượng đo tiếng ồn thay đổi theo thời gian khác sinh ra từ  $L_{eq}$  là **mức âm (hay mức ồn) tương đương ngày đêm** và được ký hiệu là  $L_{dn}$ .  $L_{dn}$  được định nghĩa như sau:

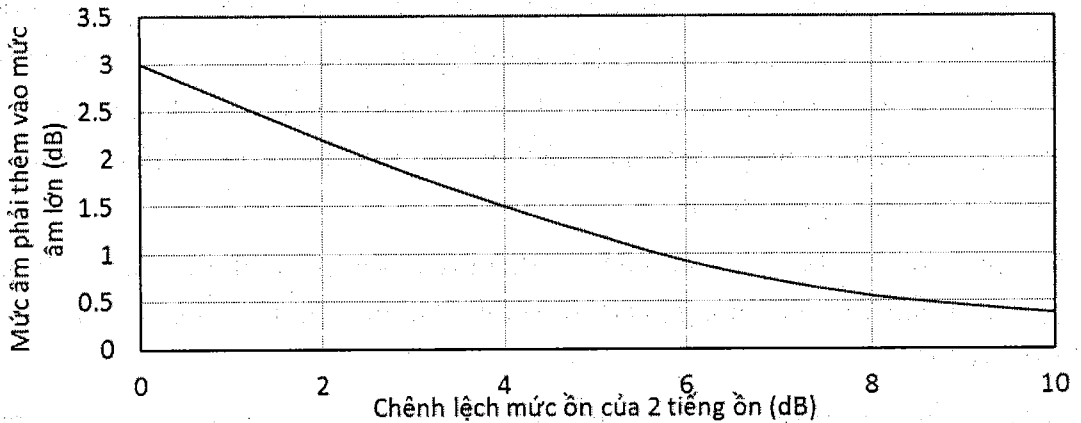
$$L_{dn} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} L_{eq(i)} \quad (7.3)$$

trong đó:  $L_{eq(i)}$  - mức ồn tương đương của giờ thứ  $i$  trong ngày. Lưu ý, đối với quãng thời gian từ 22 giờ đêm đến 7 giờ sáng,  $L_{eq}$  của từng giờ được cộng thêm 10 dB so với giá trị đo để phản ánh độ nhạy của tiếng ồn vào ban đêm đối với con người.

Mức ồn tương đương ngày đêm  $L_{dn}$  được dùng nhiều trong trường hợp khảo sát khu vực sân bay, các nhà ga bến cảng và các nghiên cứu tiếng ồn ngoài nhà khác.  $L_{dn}$  cũng được dùng trong nhiều tiêu chuẩn tiếng ồn, đặc biệt là tiêu chuẩn tiếng ồn trong khu dân cư, bệnh viện, khách sạn. Rất nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng  $L_{dn}$  có tương quan chặt chẽ với phản ứng của cộng đồng về ảnh hưởng của tiếng ồn, có nghĩa là  $L_{dn}$  là một đại lượng phản ánh rất tốt thực tế (Cavanaugh, et al., 2009).

### 7.1.3. Mức ồn tổng hợp của 2 nguồn ồn độc lập

Tiếng ồn trong thực tế xuất phát từ rất nhiều nguồn đồng thời, do đó tiếng ồn mà ta nghe được thực tế là tiếng ồn tổng hợp. Tuy nhiên, mức ồn tổng hợp không đơn giản chỉ là cộng đại số của hai mức âm thành phần. Thông thường, các mức áp suất âm phải được chuyển ngược về các áp suất âm đại số, cộng dồn và sau đó lại chuyển về thang decibel. Công thức cộng dồn các nguồn âm độc lập đã giới thiệu ở phần 1.8.2. Để đơn giản hóa tính toán, phần này giới thiệu phương pháp cộng dồn 2 nguồn âm độc lập bằng cách sử dụng biểu đồ như giới thiệu trong Hình 7.5.



**Hình 7.5.** Cộng hai nguồn âm độc lập bằng độ chênh mức âm giữa hai nguồn

Ví dụ: dựa vào biểu đồ ta thấy nếu 2 nguồn ồn có mức âm cùng là 50 dB thì mức âm tổng hợp sẽ là mức âm lớn nhất của 2 nguồn cộng thêm 3 dB. Nếu hai nguồn ồn có mức âm lần lượt là 52 và 56 dB (chênh lệch 4 dB), mức âm tổng hợp sẽ được cộng thêm 1.5 dB vào mức âm lớn hơn, tức  $56 + 1.5 = 57.5$  dB.

Biểu đồ cũng cho thấy nếu mức âm của 2 nguồn ồn chênh nhau trên 10 dB thì mức âm tổng hợp tăng lên không đáng kể và mức âm của nguồn ồn lớn hơn sẽ đóng vai trò chủ đạo trong mức âm tổng hợp.

#### 7.1.4. Ảnh hưởng của tiếng ồn đối với con người

Ô nhiễm tiếng ồn trong các đô thị lớn của Việt Nam đã dần trở nên nghiêm trọng trong thời gian gần đây. Thông tin từ Chi cục trưởng bảo vệ môi trường cho biết theo các kết quả quan trắc tháng 10/2013 về tiếng ồn của khu dân cư dọc các tuyến đường giao thông chính ở thành phố Hồ Chí Minh, 100% số liệu quan trắc không đạt quy chuẩn cho phép, cao hơn quy chuẩn cho phép từ 6 - 10 dB. Trong đó, giá trị trung bình tiếng ồn cao nhất được ghi nhận tại vòng xoay An Sương. Trên các tuyến đường có lưu lượng phương tiện cao như: Điện Biên Phủ, Đinh Tiên Hoàng, Ba Tháng Hai tại gần vòng xoay Phú Lâm, mức trung bình của tiếng ồn do các phương tiện giao thông gây ra là trên 78 dB, trong khi tiêu chuẩn cho phép tối đa là 70 dB. Riêng tiếng ồn vào ban đêm (từ 22 giờ đêm - 7 giờ sáng hôm sau), so với tiêu chuẩn cho phép (50 dB) thì kết quả quan trắc đo được ở các đoạn đường này đều vượt tiêu chuẩn. Có thể nói với mức ồn như vậy, việc sinh sống và làm việc lâu dài tại đây sẽ có những ảnh hưởng sức khỏe nghiêm trọng về lâu dài.

Áp suất âm lớn dễ dẫn đến tổn thương cơ quan thính giác và gây ra những rối loạn thần kinh thực vật. Tiếng ồn không chỉ là một tác nhân vật lý mà còn là yếu tố mang tính cá nhân, phụ thuộc vào sự cảm nhận của từng người. Việc giải quyết không tốt tiếng ồn về lâu dài dễ dẫn đến sự kém linh hoạt trong các phản xạ của con người và nghiêm trọng hơn là làm rối loạn cơ chế điều tiết của cơ thể. Rối loạn cơ chế điều tiết là những tác động tiêu cực, có thể coi là trạng thái chuyển tiếp từ khỏe mạnh sang bệnh tật (Maschke & Widmann, 2013). Cơ thể con người là một đơn vị tâm sinh lý, do đó các vấn đề sức khỏe không chỉ là những tổn thương vật lý thấy được mà còn là sự rối loạn các quá trình tâm sinh lý trong cơ thể. Hai yếu tố này không thể tách rời khi xem xét. Các tổn thương về tâm sinh lý có thể phản ánh qua sự rối loạn hệ thần kinh (như stress, trầm cảm, cáu gắt, nổi xung, hay gây gổ, mất tự chủ...) và các rối loạn vật lý (như đau đầu, đau lưng, mệt mỏi, rối loạn tiêu hóa, rối loạn tuần hoàn, hen...).

Đối với cơ quan thính giác, điếc, các khó khăn trong giao tiếp hay bệnh nặng tai là những rối loạn trực tiếp gây bởi tiếng ồn quá mức. Nếu bị đặt thường xuyên trong điều kiện ồn ào, quá trình sinh lý của cơ thể bị kích thích và thường xuyên ở mức cao khiến cơ thể rất mệt mỏi. Bên cạnh đó, việc thường xuyên tiếp xúc với tiếng ồn khiến các cơ quan thu nhận âm trở nên kém nhạy hơn, hệ quả là ngưỡng nghe tăng lên. Đây là phản ứng tự điều chỉnh của cơ thể, thông thường sẽ hồi phục lại rất nhanh (trong vòng vài phút) nếu con người được cách ly khỏi tiếng ồn. Tuy nhiên, nếu thường xuyên phải ở trong môi trường tiếng ồn quá mức, tai dần mất khả năng hồi phục và dẫn tới thoái hóa cơ quan thính giác, các bệnh nặng tai, điếc (Phạm, 2011).

Điếc gây bởi tiếng ồn vẫn là một trong những dạng bệnh nghề nghiệp hay gặp nhất. Không chỉ có tiếng ồn trong công việc mới gây bệnh lý tai mà các tiếng ồn khi vui chơi giải trí (đi vũ trường hay nghe nhạc trong phòng tại nhà) cũng có thể gây tổn thương thính giác. Xét mức ồn trong vũ trường, cộng với thời gian ở đó của các thanh niên, người ta dự đoán rằng sau 10 năm, có khoảng 10% thanh niên ngày nay bị giảm thính đến 10 dBA (Maschke & Widmann, 2013). So với vùng nông thôn, tiếng ồn trong đô thị cũng có tác động xấu về lâu dài đối với cơ quan thính giác. Có bằng chứng ở Pháp cho thấy số người bị nặng tai ở thành thị cao gấp 4 đến 5 lần ở vùng nông thôn (Phạm, 2011).

Tiếng ồn cũng được cho là có liên quan đến bệnh về tim mạch. Vào năm 1999, tổ chức Y tế thế giới WHO kết luận rằng có mối liên hệ giữa bệnh cao huyết áp và

sự tiếp xúc tiếng ồn ở mức 67 - 70 dBA lâu dài (Berglund, et al., 1999). Những nghiên cứu gần đây chỉ ra rằng mức ồn ban đêm vào khoảng 50 dBA làm gia tăng nguy cơ nhồi máu cơ tim bởi sự gia tăng sản xuất cortisol (Lercher, et al., 1993; Franssen, et al., 2004). Tiếng ồn đường sắt ở mức trung bình cũng có khả năng làm hạn chế lưu thông máu trong động mạch gây tăng huyết áp. Lý do là những sự phiền nhiễu do tiếng ồn làm tăng nồng độ adrenaline kích thích sự co hẹp các mạch máu. Những ảnh hưởng khác của tiếng ồn là làm tăng tần suất bệnh đau đầu, mệt mỏi, loét dạ dày, rối loạn tiền đình (Office of Noise Abatement and Control, 1978).

Tại nơi làm việc, ô nhiễm tiếng ồn xảy ra nếu mức ồn lớn hơn 55 dBA. Các nghiên cứu kỹ lưỡng đã chỉ ra rằng khoảng 35 đến 40% người lao động trong văn phòng cảm thấy mức ồn từ 55 đến 60 dBA là hết sức khó chịu. Tiêu chuẩn một số nước, ví dụ ở Đức, lấy mức 55 dBA là mức tối đa dành cho những công việc căng thẳng. Tuy nhiên, nếu tiếng ồn kéo dài, ngưỡng 55 dBA cần phải hạ xuống nữa (Passchier-Vermeer & Passchier, 2000).

Tùy theo loại hình công việc, nhưng trong nhiều trường hợp đặt người làm việc vào trong môi trường ồn, sự suy giảm năng suất lao động do tiếng ồn thường được bù đắp bằng chính nỗ lực của người lao động, chẳng hạn như nỗ lực tập trung cao hơn. Vì thế có khi năng suất lao động còn có thể cao hơn nhất thời. Tuy nhiên, nhiều nghiên cứu đã cho thấy tiếng ồn có thể có ảnh hưởng sau khi ngưng tiếng ồn, thể hiện ở chỗ người lao động trở nên mệt mỏi, giảm khả năng tập trung và làm việc (Maschke & Widmann, 2013).

Tiếng ồn ban đêm có ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe. Nghiên cứu thực hiện bởi Rockwool, một nhà sản xuất các vật liệu cách âm ở Anh, cho thấy ở Anh, 33% những người bị phiền nhiễu cho rằng hàng xóm ồn ào khiến họ không ngủ được và stress trong 2 năm gần nhất. Hơn 1.8 triệu người Anh cho biết khu vực hàng xóm lân cận ồn ào khiến cuộc sống của họ khổ sở và không còn thoải mái ở trong nhà của họ nữa. Nghiên cứu cũng cho thấy 17.5 triệu (38%) người Anh có bị ảnh hưởng bởi những người hàng xóm ồn ào trong hai năm qua và đối với 7% dân số Anh, điều này xảy ra “như cơm bữa”<sup>1</sup>.

Trên cơ sở các nghiên cứu, Tổ chức Y tế thế giới WHO đã đưa ra các đánh giá ảnh hưởng của tiếng ồn ở bên ngoài nhà đến giấc ngủ và sức khỏe như trong Bảng 7.2.

<sup>1</sup> Nguồn: <http://www.express.co.uk> [Truy cập 15/9/2013]

**Bảng 7.2. Ảnh hưởng của tiếng ồn ban đêm đến sức khỏe của cư dân  
- theo (WHO Regional Office for Europe (2009))**

<i>Mức ồn trung bình ban đêm trong suốt 1 năm</i>	<i>Ảnh hưởng đến sức khỏe ghi nhận được trong cộng đồng dân cư</i>
Đến 30 dB	Mặc dù độ nhạy cảm của từng cá nhân là khác nhau, nhưng ở mức ồn này không có ảnh hưởng sinh lý đáng kể nào được ghi nhận. Mức ồn ban đêm ngoài nhà ở mức 30 dB là không có tác hại.
30 - 40 dB	Một số ảnh hưởng được ghi nhận ở mức ồn này gồm: trở mình, thức giấc, phàn nàn về giấc ngủ bị quấy rầy. Mức độ quấy rầy phụ thuộc vào tính chất của nguồn ồn và tần suất xuất hiện. Những nhóm nhạy cảm: người già, trẻ em, người bệnh mãn tính... bị ảnh hưởng nhiều hơn. Tuy nhiên, ảnh hưởng xấu nhất thì vẫn không quá nghiêm trọng. Mức ồn ban đêm ngoài nhà ở mức 40 dB là mức đầu tiên mà các tác động xấu xuất hiện.
40 - 55 dB	Những ảnh hưởng xấu về sức khỏe xuất hiện trong cộng đồng. Nhiều người phải điều chỉnh cuộc sống để đối phó với tiếng ồn. Những nhóm dễ bị tổn thương bị tác động nặng nề.
Trên 55 dB	Tình huống trở nên nguy hiểm cho sức khỏe cộng đồng. Những tác động xấu xuất hiện thường xuyên. Một bộ phận đáng kể cư dân bị quấy nhiễu và mất ngủ. Có những bằng chứng cho thấy xuất hiện các vấn đề về tim mạch.

Trên cơ sở kết quả ở Bảng 7.2, WHO đưa ra tiêu chuẩn cho khu vực Châu Âu như sau:

- Mức ồn ban đêm ngoài nhà khuyến nghị: 40 dB;
- Mức ồn cho phép (cho giai đoạn chuyển tiếp - nếu tiêu chuẩn ở trên chưa thể thỏa mãn vào giai đoạn hiện tại): 55 dB.

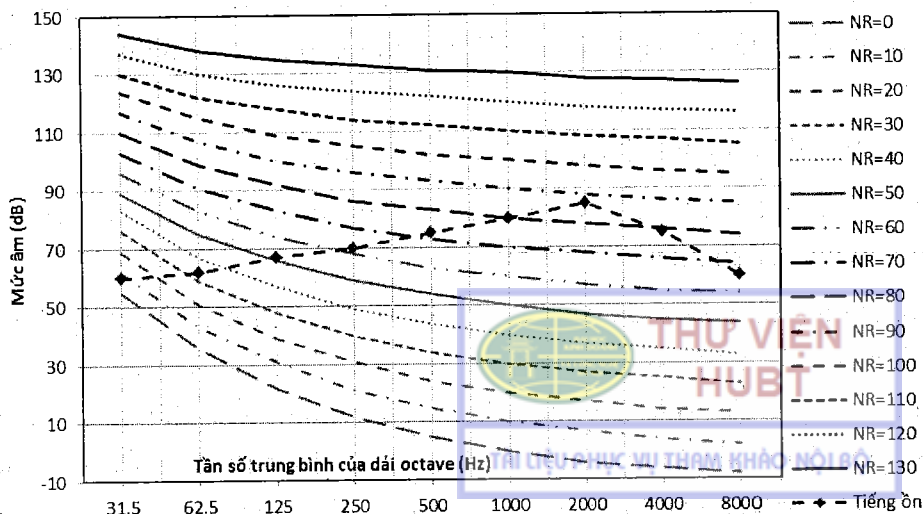
Ở trong phòng, theo khuyến nghị của tổ chức WHO, mức ồn tương đương của tiếng ồn liên tục vào ban đêm trong phòng là  $L_{eq} = 30$  dBA và mức ồn tối đa trong phòng  $L_{max} = 45$  dBA cần được đảm bảo để giấc ngủ không bị quấy nhiễu (WHO Regional Office for Europe, 2000). Các tiêu chuẩn của các nước khác cũng đưa ra những yêu cầu tương tự cho tiếng ồn ban đêm. Ở Đức, người ta quy định mức ồn liên tục tại tai người khi ngủ không quá 30 dBA và mức ồn tối đa dưới 40 dBA. Những chỉ dẫn này không chỉ bảo đảm giấc ngủ cho người bình thường mà còn phù hợp cả với các đối tượng nhạy cảm.

### 7.1.5. Các tiêu chuẩn mức ồn cho phép Âu - Mỹ

Chỉ số mức ồn tương đương  $L_{eq}$  rất tiện lợi khi đánh giá tiếng ồn liên tục trong quãng thời gian dài. Tuy nhiên, nó lại có điểm hạn chế là không đánh giá được tính chất của tiếng ồn theo tần số và đặc điểm cảm thụ âm thanh của tai người. Chính vì vậy, một số phương pháp đánh giá và tiêu chuẩn hóa tiếng ồn cho phép có xét đến đặc tính tần số của tiếng ồn đã được thiết lập.

Đầu tiên là họ đường cong đánh giá tiếng ồn (Noise rating curves) được phát triển bởi tổ chức Tiêu chuẩn hóa quốc tế - ISO - dùng để xác định một môi trường âm trong nhà chấp nhận được cho việc nghe, giao tiếp và tránh bị phiền nhiễu. Đường cong 'Noise rating curves' được nêu trong tiêu chuẩn ISO/R 1996:1971 và thể hiện trong Hình 7.6. Các đường cong trong biểu đồ này được xây dựng chủ yếu dựa trên đặc tính cảm thụ của tai người đối với các tần số như trong Hình 1.16. Trị số NR của mỗi đường bằng đúng mức âm tần số 1000 Hz của đường đó. Người ta hay dùng chữ viết tắt NR để chỉ giá trị của một tiếng ồn sử dụng phương pháp hoặc để chỉ phương pháp 'Noise rating curves'.

Chỉ số mức ồn của âm được đánh giá dựa trên chỉ số NR của các đường cong. Khi đánh giá một tiếng ồn thực tế theo NR, người ta đặt phổ tần số 1 octave của tiếng ồn đó lên biểu đồ NR, đường NR ngay phía trên của phổ tiếng ồn chính là giá trị NR của tiếng ồn (xem ví dụ cách đánh giá một tiếng ồn trong Hình 7.6). Họ đường cong này được chấp nhận và sử dụng phổ biến ở Châu Âu.



**Hình 7.6.** Họ đường cong Noise rating curves trong ISO/R 1996:1971. Đường nét đứt với chấm vuông thể hiện phổ tần số của một tiếng ồn có giá trị NR = 87

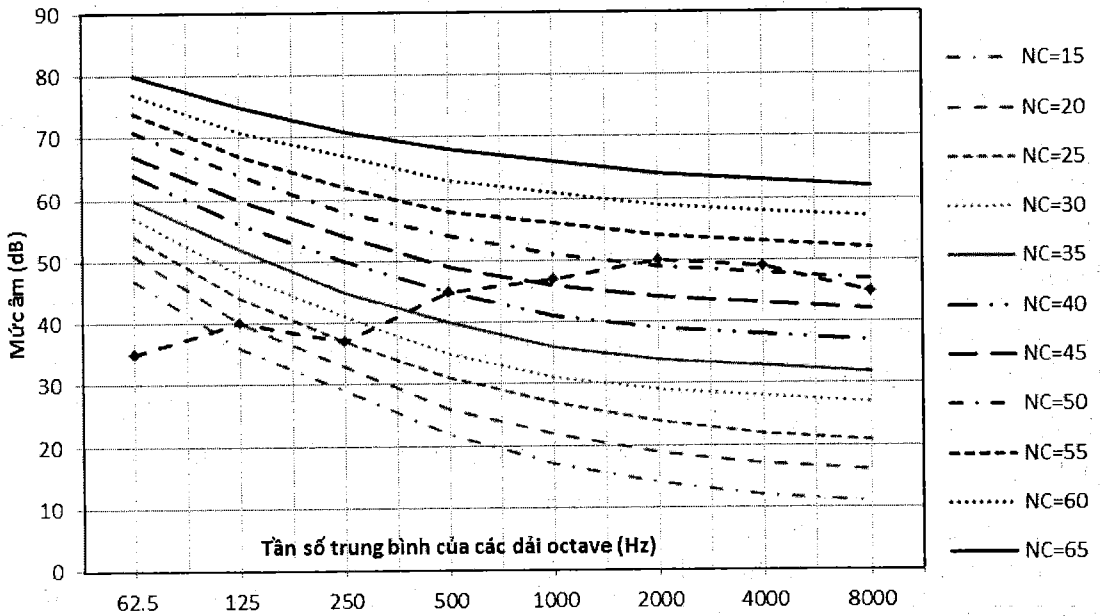
Theo tiêu chuẩn ISO/R 1996:1971, mức NR yêu cầu trong các công trình được khuyến nghị như trong Bảng 7.3. Lưu ý là do chưa có nghiên cứu cơ bản, một số tiêu chuẩn về mức ồn cho phép ở Việt Nam cũng dựa trên tiêu chí NR của ISO.

**Bảng 7.3. Mức NR yêu cầu đối với các không gian trong công trình**

<i>Chức năng phòng</i>	<i>Mức NR yêu cầu</i>	<i>Hiệu chỉnh đối với nhà ở</i>	<i>Mức hiệu chỉnh (dB)</i>
Phòng phát thanh	15	Âm đơn, dễ cảm nhận	-5
Phòng hòa nhạc, nhà hát chính thống 500 chỗ	20	Tiếng ồn không liên tục, dồn dập	-5
Phòng học, phòng nghe nhạc, Studio TV, phòng hội nghị	25	Tiếng ồn chỉ trong giờ làm việc	5
Phòng ngủ (xem mức hiệu chỉnh cột bên cạnh)	25	Tiếng ồn trong 25% thời gian	5
Phòng hội nghị, 20 chỗ hay có loa và micro cá nhân; rạp phim; bệnh viện; nhà thờ; phòng xử án; thư viện	30	Tiếng ồn trong 6% thời gian	10
Phòng khách (xem mức hiệu chỉnh cột bên cạnh)	30	Tiếng ồn trong 1.5% thời gian	15
Văn phòng cá nhân	40	Tiếng ồn trong 0.5% thời gian	20
Nhà hàng	45	Tiếng ồn trong 0.1% thời gian	25
Cung thể thao	50	Tiếng ồn trong 0.02% thời gian	30
Văn phòng (đánh máy)	55	Khu ngoại ô rất yên tĩnh	-5
Xưởng máy	65	Ngoại ô	0
		Nhà ở trong đô thị	5
		Đô thị, gần nhà máy xí nghiệp	10
		Khu vực công nghiệp nặng	15

Song song với họ đường cong NR, một họ đường cong tương tự được đề xuất và sử dụng rộng rãi ở các nước Mỹ và Anh, gọi là họ đường cong tiếng ồn cho phép (Noise criterion curves) và thường được gọi tắt là NC. Đường cong NC được đề xuất đầu tiên bởi Beranek (Beranek, 1957). Trị số NC của đường cong

lấy bằng mức âm của âm có tần số 1697 Hz. Cách đánh giá một tiếng ồn theo họ đường cong NC cũng giống như với họ đường cong NR. Họ đường cong NC và cách đánh giá một tiếng ồn theo NC được mô tả trong Hình 7.7.



**Hình 7.7.** Họ đường cong Noise criterion curves. Đường nét đứt với chấm vuông thể hiện phổ tần số của một tiếng ồn có giá trị NC = 51

Để hình dung được mức độ ồn ào theo tiêu chí NC, Bảng 7.4 giới thiệu sự phân cấp của mức độ ồn.

**Bảng 7.4.** Các cấp độ ồn ào theo tiêu chí NC

NC10	NC15	NC20	NC25	NC30	NC35	NC40	NC45	NC50	NC55	NC60	NC65
21 dBA	26 dBA	30 dBA	34 dBA	38 dBA	42 dBA	47 dBA	52 dBA	65 dBA	61 dBA	66 dBA	71 dBA
←→		←→		←→		←→		←→		←→	
Rất yên tĩnh			Yên tĩnh			Vừa phải		Ồn ào		Rất ồn	

Căn cứ trên dữ liệu trong Bảng 7.4, người ta đã đưa ra tiêu chuẩn tiếng ồn trong công trình theo tiêu chí NC, áp dụng ở Mỹ và một số nước khác như trong Bảng 7.5.

**Bảng 7.5. Giá trị NC khuyến nghị  
cho các loại hình không gian trong nhà khác nhau**

<i>Thể loại không gian</i>	<i>NC khuyến nghị</i>	<i>Thể loại không gian</i>	<i>NC khuyến nghị</i>
<b>Khu dân dụng</b>		<b>Bệnh viện / Y tế</b>	
Căn hộ	25 - 35	Phòng cá nhân	25 - 30
Phòng họp	25 - 30	Phòng mổ	25 - 30
Nhà thờ	30 - 35	Khu nội trú	30 - 35
Phòng xử án	30 - 40	Phòng thí nghiệm	35 - 40
Nhà xưởng	40 - 65	Hành lang	30 - 35
Nhà ở gia đình - nông thôn và ngoại ô	20 - 30	Khu công cộng	35 - 40
Nhà ở gia đình ở đô thị	25 - 30	<b>Trường học</b>	
<b>Khách sạn / Motel</b>		Phòng học, giảng đường	25 - 30
Phòng riêng	25 - 35	Phòng học mở	35 - 40
Phòng họp	25 - 35	Phòng xem phim	30 - 35
Khu phục vụ	40 - 45	Thư viện	35 - 40
Hành lang, sảnh	35 - 40	Nhà hát tiêu chuẩn	20 - 25
<b>Văn phòng</b>		Nhà hàng	40 - 45
Phòng hội nghị	25 - 30	Phòng phát hình TV	15 - 25
Phòng riêng	30 - 35	Phòng thu	15 - 20
Khu VP mở	35 - 40	Phòng hòa nhạc	15 - 20
Phòng máy tính, máy in...	40 - 45	Nhà thi đấu	45 - 55
		Phòng phát thanh	15 - 20

Về sau, có một số đề xuất khác nhằm hiệu chỉnh đường cong NC, xét đến việc các âm tần số thấp được cho phép quá cao, gây ra tiếng ồn khó chịu ở tần số thấp, mặc dù tiêu chuẩn NC vẫn thỏa mãn. Ví dụ, tiếng ồn của hệ thống xử lý không khí có nhiều âm tần số thấp rất khó chịu. Beranek và cộng sự (Beranek, et al., 1971) đã điều chỉnh các đường NC và công bố hệ đường cong mới gọi là “preferred noise criterion (PNC) curves”. Những đường PNC có mức âm tần số thấp thấp hơn 2 - 5 dB so với hệ đường cong NC năm 1957. Hệ đường cong PNC chủ yếu được dùng trong đánh giá mức ồn chấp nhận được của hệ thống điều hòa không khí.

### 7.1.6. Một số quy định và tiêu chuẩn về tiếng ồn của Việt Nam

Trong khu vực dân cư và khu vực có các công trình công cộng, mức ồn tương đương ở ngoài nhà được quy định trong Tiêu chuẩn TCVN 5949: 1998 như trình bày trong Bảng 7.6.

**Bảng 7.6. Giới hạn tối đa cho phép tiếng ồn khu vực công cộng và dân cư (theo mức âm tương đương)**

Đơn vị: dBA

TT	Khu vực	Thời gian		
		Từ 6h đến 18h	Từ 18h đến 22h	Từ 22h đến 6h
1	Khu vực cần đặc biệt yên tĩnh: Bệnh viện, thư viện, nhà điều dưỡng, nhà trẻ, trường học, nhà thờ, chùa chiền	50	45	40
2	Khu dân cư, khách sạn, nhà nghỉ, cơ quan hành chính	60	55	50
3	Khu dân cư xen kẽ trong khu vực thương mại, dịch vụ, sản xuất	75	70	50

Đối với môi trường lao động, mức ồn cho phép tại vị trí làm việc được đánh giá bằng mức áp suất âm tương đương tại mọi vị trí làm việc và được quy định trong Tiêu chuẩn TCVN 3985 - 1999 như sau:

- Mức ồn cho phép tại các vị trí làm việc được, trong suốt ca lao động (8 giờ), không được vượt quá 85 dBA, mức cực đại không được vượt quá 115 dBA.

- Nếu tổng thời gian tiếp xúc với tiếng ồn trong ngày không quá:

+ 4 giờ, mức âm cho phép là 90 dBA;

+ 2 giờ, mức âm cho phép là 95 dBA;

+ 1 giờ, mức âm cho phép là 100 dBA;

+ 30 phút, mức âm cho phép là 105 dBA;

+ 15 phút, mức âm cho phép là 110 dBA;

Thời gian làm việc còn lại trong ngày làm việc chỉ được tiếp xúc với mức âm dưới 80 dBA.



Đối với nhiều loại hình công việc khác nhau, mức âm tương đương tại nơi làm việc cũng phải đảm bảo yêu cầu trong Bảng 7.7 như sau:

**Bảng 7.7. Mức ồn tương đương tại nơi làm việc đối với các loại công việc khác nhau**

<i>Vị trí làm việc</i>	<i>Mức áp suất âm tương đương không quá (dBA)</i>
Tại vị trí làm việc, sản xuất trực tiếp	85
Buồng theo dõi và điều khiển từ xa không có thông tin bằng điện thoại, các phòng thí nghiệm, thực nghiệm có nguồn ồn	80
Buồng theo dõi và điều khiển từ xa có thông tin bằng điện thoại, phòng điều phối, phòng lắp máy chính xác, đánh máy chữ	70
Các phòng chức năng, hành chính, kế toán, kế hoạch, thống kê	65
Các phòng làm việc trí óc, nghiên cứu thiết kế, thống kê, máy tính, phòng thí nghiệm lý thuyết và xử lý số liệu thực nghiệm	55

Đối với môi trường bên trong công trình, mức ồn tối đa được quy định trong tiêu chuẩn TCXDVN 175: 2005 sử dụng cả hai phương pháp đánh giá là đánh giá phổ tiếng ồn theo hệ đường cong Noise Rating của tiêu chuẩn ISO/R 1996:1971 và theo mức ồn tương đương. Chi tiết tiêu chuẩn được mô tả trong Bảng 7.8.

**Bảng 7.8. Mức ồn tối đa cho phép trong công trình công cộng**

<i>STT</i>	<i>Loại không gian trong công trình công cộng</i>	<i>Thời gian trong ngày, h</i>	<i>Đường NR</i>	<i>L<sub>TĐ</sub>, dB, A</i>
<b>1</b>	<b>Công trình văn hoá</b>			
1.1	Các phòng biểu diễn nghệ thuật			
1.1.1	Phòng hoà nhạc, nhà hát opera (nghe âm trực tiếp, không dùng hệ thống điện thanh)	-	25	
1.1.2	Phòng khán giả nhà hát (kịch, nhạc vũ kịch, tuồng, chèo, cải lương, rối nước), nhà văn hoá, câu lạc bộ, hội trường đa năng: - Khi nghe âm trực tiếp - Khi nghe qua loa	-	30	
		-	40	
1.1.3	Phòng chiếu phim, rạp xiếc	-	40	
1.1.4	Sảnh nhà hát, phòng hoà nhạc, nhà văn hoá, câu lạc bộ	-		50
1.1.5	Sân chiếu bóng, nhà hát ngoài trời	-	45	-

**Bảng 7.8 (tiếp theo)**

<i>STT</i>	<i>Loại không gian trong công trình công cộng</i>	<i>Thời gian trong ngày, h</i>	<i>Đường NR</i>	<i>L<sub>TĐ</sub>, dB, A</i>
1.2	Nhà bảo tàng, triển lãm			
1.2.1	Phòng trưng bày	-	55	
1.2.2	Phòng làm việc nhân viên	-	50	
1.3	Thư viện			
1.3.1	Phòng đọc sách, tra cứu	-	45	
1.3.2	Phòng làm việc nhân viên	-	50	
<b>2</b>	<b>Công trình giáo dục</b>			
2.1	Nhà trẻ, trường mẫu giáo, trường tiểu học bán trú			
2.1.1	Phòng ngủ trong trường mẫu giáo, tiểu học bán trú	6 - 22 22 - 6	- -	45 35
2.1.2	Lớp học	-	-	50
2.1.3	Sân chơi (ngoài trời)	-	-	55
2.1.4	Vùng kề cận trường học (ngoài trời)	-	-	60
2.2	Trường cấp phổ thông trở lên			
2.2.1	Phòng hội thảo	-	-	45
2.2.2	Giảng đường, lớp học, hội trường	-	-	50
2.2.3	Phòng thí nghiệm	-	-	50
2.2.4	Phòng làm việc trong trường học	-	-	50
2.2.5	Phòng nghỉ giáo viên	-	-	55
<b>3</b>	<b>Công trình y tế</b>			
3.1	Trạm y tế, bệnh viện đa khoa, chuyên khoa, phòng khám đa khoa, chuyên khoa, nhà hộ sinh			
3.1.1	Phòng bệnh nhân điều trị trong bệnh viện	6 - 22 22 - 6	- -	45 35
3.1.2	Phòng bác sỹ, phòng khám bệnh	-	-	45
3.1.3	Phòng mổ, phòng đỡ đẻ	-	-	45
3.1.4	Vùng bệnh viện, nhà an dưỡng (ngoài trời)	6 - 22 22 - 6	- -	50 40

Bảng 7.8 (tiếp theo)

<i>STT</i>	<i>Loại không gian trong công trình công cộng</i>	<i>Thời gian trong ngày, h</i>	<i>Đường NR</i>	<i>L<sub>TD</sub>, dB, A</i>
3.2	Nhà điều dưỡng, nhà nghỉ, nhà dưỡng lão			
3.2.1	Phòng ở trong nhà điều dưỡng, nhà nghỉ, nhà dưỡng lão	6 - 22	-	50
		22 - 6	-	40
3.2.2	Phòng làm việc nhân viên	-	-	50
3.3	Nhà làm việc của cơ quan y tế			
3.3.1	Phòng làm việc nhân viên, phòng nghiên cứu	-	-	50
3.3.2	Phòng tiếp khách	-	-	50
<b>4</b>	<b>Nhà làm việc, văn phòng, trụ sở</b>			
4.1	Nhà văn phòng, trụ sở, cơ sở thiết kế, nghiên cứu khoa học			
4.1.1	Phòng làm việc, có máy văn phòng, máy vi tính	-	-	50
4.1.2	Phòng tiếp khách	-	-	50
4.2	Toà án			
	- Phòng xử án	-	-	45
	- Phòng làm việc	-	-	50
<b>5</b>	<b>Công trình thể thao</b>			
5.1	Phòng làm việc của huấn luyện viên, nhân viên	-	-	50
5.2	Phòng tập luyện thể dục, thể thao trong nhà	-	-	55
5.3	Sân chơi thể thao, bể bơi có mái	-	-	60
5.4	Sân vận động (không có mái)	-	-	60
<b>6</b>	<b>Công trình thương nghiệp, dịch vụ</b>			
6.1	Cửa hàng, trung tâm thương mại, siêu thị Nhà hàng ăn, giải khát	-	-	60
6.2	Trạm dịch vụ công cộng: giặt là, may vá, sửa chữa thiết bị, đồ gia dụng, phòng cắt tóc, tắm	-	-	55
6.3	Chợ trung tâm (có hoặc không có mái)	-	-	60
<b>7</b>	<b>Nhà ga giao thông các loại</b>			
7.1	Phòng hành khách tàu hoả, ôtô, tàu thủy	-	-	60
7.2	Phòng làm việc nhân viên	-	-	50

Mức ồn cho phép trong tiêu chuẩn này chỉ giúp con người trong công trình không thấy khó chịu vì tiếng ồn chứ chưa cho phép tạo môi trường tiện nghi về âm học. Trong điều kiện khí hậu nóng ẩm của nước ta, nhiều công trình thường mở thoáng tạo điều kiện cho tiếng ồn lan truyền trong không khí vào nhà, do đó mức ồn trong và ngoài nhà chênh lệch nhau rất ít.

### 7.1.7. Tính toán lan truyền tiếng ồn trong không gian đô thị

Sự lan truyền tiếng ồn (hay âm thanh) trong không gian quy hoạch là một trường hợp tổng quát của âm lan truyền trong các môi trường và điều kiện khác nhau, trong đó sự tồn tại của vật cản, công trình, các bề mặt với hệ số hút âm khác nhau, điều kiện môi trường không khí là những yếu tố có ảnh hưởng. Đại lượng mà nhà thiết kế hay quy hoạch quan tâm là mức âm tại một điểm khảo sát cách nguồn  $r$  mét so với mức âm tại một điểm cách nguồn một khoảng xác định  $L_1$ . Theo ISO 9613-1996 (ISO, 1996), chúng có quan hệ vật lý với nhau qua biểu thức sau:

$$L_r = L_1 - \Delta L_{kc} - \Delta L_{kk} - \Delta L_{bm} - \Delta L_{cx} - \Delta L_{ct} - \Delta L_{khác} \quad (7.4)$$

trong đó:

$L_r$  - mức âm tại điểm khảo sát cách nguồn  $r$  mét;

$L_1$  - mức âm đã biết tại một điểm cách nguồn 1 khoảng cách cho trước - thường lấy khoảng cách 1 m;

$\Delta L_{kc}$  - độ giảm mức âm do khoảng cách;

$\Delta L_{kk}$  - độ giảm mức âm do không khí hút âm;

$\Delta L_{bm}$  - độ giảm mức âm do âm lan truyền trên mặt đất với các bề mặt khác nhau;

$\Delta L_{cx}$  - độ giảm mức âm do bị cây xanh hút âm;

$\Delta L_{ct}$  - độ giảm mức âm do âm bị chắn bởi công trình, vật cản;

$\Delta L_{khác}$  - độ giảm mức âm do các nguyên nhân khác.

Sau đây, ta lần lượt khảo sát các cách tính toán các độ giảm mức âm do các nguyên nhân kể trên.

#### \* Độ giảm mức âm do khoảng cách $\Delta L_{kc}$ :

Sóng âm khi lan truyền trong không gian thì năng lượng âm bị dàn trải trên một mặt sóng càng lúc càng lớn. Do đó, mức âm giảm dần khi khoảng cách truyền âm lớn dần.

Nếu nguồn âm là nguồn điểm (phát sóng cầu) hay nguồn đường (phát ra sóng trụ) thì công thức tính độ giảm mức âm đã được đề cập ở phần 1.8.1 và được nhắc lại như sau:

Đối với nguồn điểm:

$$\Delta L_{kc} = L_1 - L_r = 20 \lg \frac{r_2}{r_1} \quad (7.5)$$

Đối với nguồn đường:

$$\Delta L_{kc} = L_1 - L_r = 10 \lg \frac{r_2}{r_1} \quad (7.6)$$

trong đó:  $r_1$  và  $r_2$  - lần lượt là khoảng cách từ nguồn âm tới điểm tham chiếu (thường lấy 1 m) và tới điểm đang xét.

*Ví dụ 1:* Còi hú (coi như là nguồn điểm) có mức ồn cách vị trí còi 100 m là 110 dB. Vậy tại khoảng cách 200 m, mức ồn giảm đi một lượng:

$$\Delta L_{kc} = L_1 - L_r = 20 \lg r_2 / r_1 = 20 \lg 200 / 100 = 6.0 \text{ dB}$$

Mức ồn tại vị trí cách nguồn 200 m sẽ là 104 dB. Cũng theo công thức trên, đối với nguồn âm điểm, nếu khoảng cách tăng lên 2 lần thì mức âm giảm đi 6 dB.

*Ví dụ 2:* Đoàn tàu hỏa đang chạy (coi như nguồn đường) phát ra tiếng ồn 90 dB đo cách đường tàu 100 m. Vậy tại khoảng cách 200 m, mức ồn sẽ bị suy giảm là:

$$\Delta L_{kc} = L_1 - L_r = 10 \lg r_2 / r_1 = 10 \lg 200 / 100 = 3.0 \text{ dB}$$

Như vậy cho nguồn âm đường, ta sẽ thấy mức âm giảm 3 dB khi khoảng cách tăng gấp đôi.

Nếu có nhiều nguồn âm đồng thời cùng phát, ta có thể tính mức âm tại điểm đang xét của từng nguồn, sau đó tính mức âm tổng hợp tại điểm đó theo các công thức ở phần 1.8.2.

**\* Độ giảm mức âm do không khí hút âm  $\Delta L_{kk}$ :**

Sóng âm là sóng dao động trong môi trường đàn hồi, do đó khi âm lan truyền trong không khí năng lượng âm bị tiêu hao để thắng sức đàn hồi (tính nhớt) của không khí - thường gọi là hiện tượng không khí hút âm. Tần số âm càng cao, năng lượng âm bị không khí hút đi càng nhiều.

Lượng hút âm của bầu khí quyển chính là mức giảm năng lượng âm được tính qua công thức:

$$\Delta L_{kk} = \eta r / 100 \quad (7.7)$$

trong đó:

$\eta$  - hệ số giảm âm của khí quyển (xem Bảng 7.9), dB/100m;

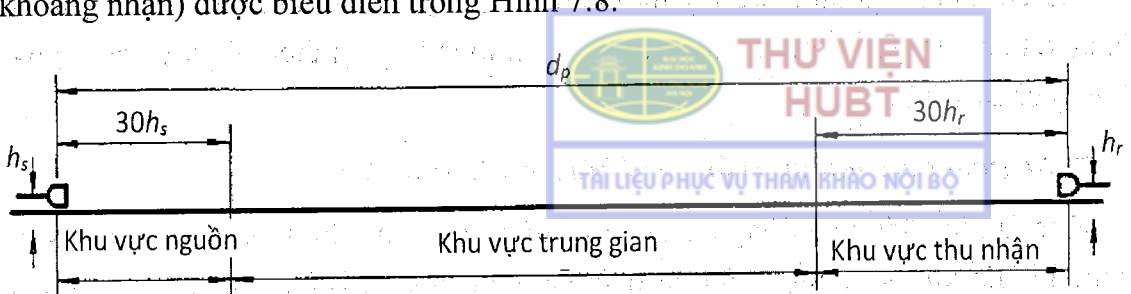
$r$  - khoảng cách tới điểm đang xét, m. Đối với những điều kiện môi trường chưa có trong Bảng 7.9, xem thêm ISO 9613-1996 để biết thêm.

**Bảng 7.9. Hệ số giảm âm của khí quyển đối với các âm đơn cho từng dải tần số (ISO, 1996)**

Nhiệt độ, °C	Độ ẩm, %	Hệ số giảm âm của khí quyển $\eta$ , dB/100m							
		Trung bình của các dải octave tần số, Hz							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10	70	0.01	0.04	0.10	0.19	0.37	0.97	3.28	11.7
20	70	0.01	0.03	0.11	0.28	0.50	0.90	2.29	7.66
30	70	0.01	0.03	0.10	0.31	0.74	1.27	2.31	5.93
15	20	0.03	0.06	0.12	0.27	0.82	2.82	8.88	20.2
15	50	0.01	0.05	0.12	0.22	0.42	1.08	3.62	12.9
15	80	0.01	0.03	0.11	0.24	0.41	0.83	2.37	8.28

**\* Độ giảm mức âm do các bề mặt trên đường truyền âm  $\Delta L_{bm}$ :**

Khi âm lan truyền trên mặt đất có các lớp phủ bề mặt khác nhau, năng lượng âm bị tiêu hao bởi các bề mặt này. Các tham số liên quan đến mức độ hút âm của các bề mặt gồm: khoảng cách  $d_p$ , độ cao của nguồn phát và điểm nhận âm đang xét  $h_s$  và  $h_r$ , chất liệu bề mặt trong 3 khoảng chia (khoảng nguồn, khoảng giữa và khoảng nhận) được biểu diễn trong Hình 7.8.



**Hình 7.8. Sơ đồ truyền âm trên một bề mặt và các tham số có liên quan - phỏng theo ISO (1996)**

Độ suy giảm mức âm do bề mặt được tính như sau:

$$\Delta L_{bm} = A_s + A_m + A_r \quad (7.8)$$

trong đó:  $A_s, A_m, A_r$  - lần lượt là mức hút âm của 3 khoảng chia: *khoảng nguồn*, *khoảng giữa* và *khoảng nhận* như trong Hình 7.8.

Gọi  $G$  là hệ số hút âm của bề mặt mặt đất,  $G$  có các giá trị sau:

- $G = 0$ : bề mặt cứng như bê tông, vỉa hè, mặt đường nhựa, mặt nước...
- $G = 1$ : bề mặt rỗ rỗng như thảm cỏ, thảm cây bụi...
- Bề mặt hỗn hợp:  $G$  thay đổi từ 0 đến 1 theo tỷ lệ 2 loại bề mặt nói trên.

Với  $G$  như vậy, cách tính  $A_s, A_m, A_r$  được thể hiện trong Bảng 7.10.

**Bảng 7.10. Các công thức tính lượng hút âm bề mặt - theo (ISO, 1996)**

Các dải octave tần số	$A_s$ hoặc $A_r$ (dB) <sup>(1)</sup>	$A_m$ (dB)
63	-1.5	$-3q$ <sup>(2)</sup>
125	$-1.5 + G \times a'(h)$	$-3q(1 - G_m)$
250	$-1.5 + G \times b'(h)$	
500	$-1.5 + G \times c'(h)$	
1000	$-1.5 + G \times d'(h)$	
2000	$-1.5(1 - G)$	
4000	$-1.5(1 - G)$	
8000	$-1.5(1 - G)$	

Ghi chú:

$$a'(h) = 1.5 + 3.0 \times e^{-0.12(h-5)^2} (1 - e^{-d_p/50}) + 5.7 \times e^{-0.09h^2} (1 - e^{-2.8 \times 10^{-6} \times d_p^2})$$

$$b'(h) = 1.5 + 8.6 \times e^{-0.09h^2} (1 - e^{-d_p/50})$$

$$c'(h) = 1.5 + 14.0 \times e^{-0.46h^2} (1 - e^{-d_p/50})$$

$$d'(h) = 1.5 + 5.0 \times e^{-0.9h^2} (1 - e^{-d_p/50})$$

1. Để tính  $A_s$ , lấy  $G = G_s$  và  $h = h_s$ . Để tính  $A_r$ , lấy  $G = G_r$  và  $h = h_r$ .

2.  $q = 0$  khi  $d_p \leq 30(h_s + h_r)$

$q = 1 - 30(h_s + h_r) / d_p$  khi  $d_p > 30(h_s + h_r)$

trong đó:  $G_s, G_r$  và  $G_m$  - lần lượt là hệ số hút âm bề mặt quanh nguồn âm, quanh điểm khảo sát và ở đoạn trung gian giữa.

Nếu chỉ xét mức giảm âm theo thang đo dBA (không quan tâm đến tần số), âm lan truyền trên bề mặt có dạng bất kỳ, nhưng có tỷ lệ bề mặt rỗ rỗng cao thì mức giảm âm do bề mặt có thể tính theo công thức:

$$\Delta L_{bm} = 4.8 - (2h_m / d)[17 + (300 / d)] \text{ dBA} \quad (7.9)$$

trong đó:

$h_m$  - chiều cao trung bình của đường truyền âm so với mặt đất, m;

$d$  - khoảng cách nguồn âm và điểm khảo sát. Nếu theo công thức trên,  $\Delta L_{bm}$  có giá trị âm, ta lấy giá trị 0 để thay thế.

*Ví dụ:* Một loa phóng thanh treo trên cột ở độ cao 8 m phát âm có mức âm 80 dBA. Như vậy tại vị trí tương tự cách đó 100 m không bị vật chắn ngăn cản, mức âm bị suy giảm do bề mặt hút âm một lượng là:

$$\Delta L_{bm} = 4.8 - (2 \times 8 / 100)[17 + (300 / 100)] = 1.6 \text{ dBA}$$

**\* Độ giảm mức âm do cây xanh  $\Delta L_{cx}$ :**

Những dải cây xanh thường được dùng để làm bình phong chắn tiếng ồn từ các tuyến giao thông đi vào khu dân cư. Những yếu tố quan trọng liên quan đến hiệu suất chắn tiếng ồn của dải cây xanh là mật độ tán lá, độ rộng dải, chiều cao dải và chiều dài của dải cây xanh.

Mật độ lá của tán cây xanh là đại lượng rất khó để đo đạc, tuy nhiên có thể dùng khái niệm “tầm nhìn” (visibility) để lượng hóa mật độ tán lá. Tầm nhìn được định nghĩa là khoảng cách gần nhất giữa người quan sát và vật cần quan sát mà vật thể đó bị che khuất bởi tán cây. Trong nghiên cứu của mình, Fang và Ling (2003) cho một người quan sát đứng trước tán cây, người còn lại đi vào theo hướng vuông góc với tán cây cho đến khi khuất hẳn, sau đó đo khoảng cách giữa 2 người và nhận được giá trị của “tầm nhìn”. Cách đo đạc này khá chính xác so với cách dùng ánh sáng thay cho người.

Mặc dù sự giảm tiếng ồn qua rừng cây có liên quan đến nhiều yếu tố, tuy nhiên Fang và Ling (2003) phát hiện ra rằng “độ giảm tiếng ồn” có quan hệ mật thiết với “tầm nhìn” qua tán cây và được thể hiện qua công thức:

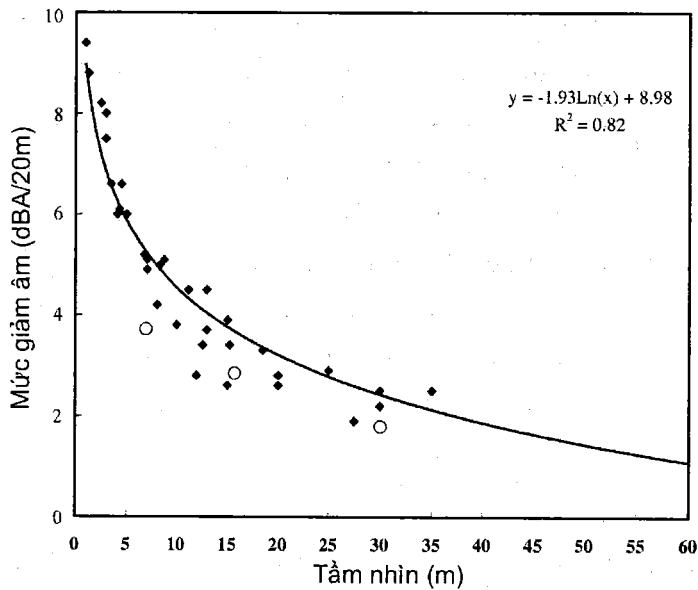
$$\Delta L_{cx/20m} = -1.93 \ln v + 8.98 \quad (7.10)$$

trong đó:

$\Delta L_{cx/20m}$  - độ giảm mức ồn trên cứ mỗi 20 m rừng cây, dBA;

$v$  - “tầm nhìn” của rừng cây (visibility), m.

Độ giảm mức ồn cho bởi công thức (7.10) có hệ số tương quan so khá tốt với giá trị đo đạc là  $R^2 = 0.82$ , cho phép dự đoán tương đối chính xác độ giảm tiếng ồn qua rừng cây. Hình 7.9 thể hiện mô hình dự đoán của Fang và Ling, phát triển từ kết quả khảo nghiệm thực tế của 35 rừng cây xanh các loại ở Đài Loan.



**Hình 7.9.** Mức giảm âm theo độ dày tán lá (visibility) của dải cây xanh  
- phỏng theo Fang & Ling (2003)

Đơn giản hơn, để tính mức giảm âm bởi rừng cây, ta có thể dùng phương pháp nêu trong tài liệu (Nguyễn, 2011) bằng cách nhân độ giảm âm khi lan truyền trong không khí - công thức (7.5) và (7.6) - với hệ số giảm âm của cây xanh  $k_{cx}$  như sau:

- Cây trồng xen kẽ, vòm lá rậm, có cây thấp xung quanh,  $k_{cx} = 1.5$ ,
- Cây xanh mang tính chất công viên rừng, vòm lá trung bình và có cây thấp trồng chung quanh,  $k_{cx} = 1.2$ .

**\* Độ giảm mức âm do vật cản kiến trúc  $\Delta L_{ct}$ :**

Âm lan truyền khi gặp vật cản kiến trúc thì tạo thành một vùng bóng âm phía sau vật cản. Hiện tượng này thường thấy rất rõ với các âm có tần số cao (giống như sóng ánh sáng trong môi trường trong suốt gặp vật cản). Đối với các âm có tần số thấp, hiện tượng nhiễu xạ xảy ra tại biên vật cản khiến biên vật cản trở thành nguồn phát âm thứ cấp (xem Hình 1.20). Hiện tượng nhiễu xạ khiến cho việc tính toán mức giảm âm do vật cản trở nên phức tạp.

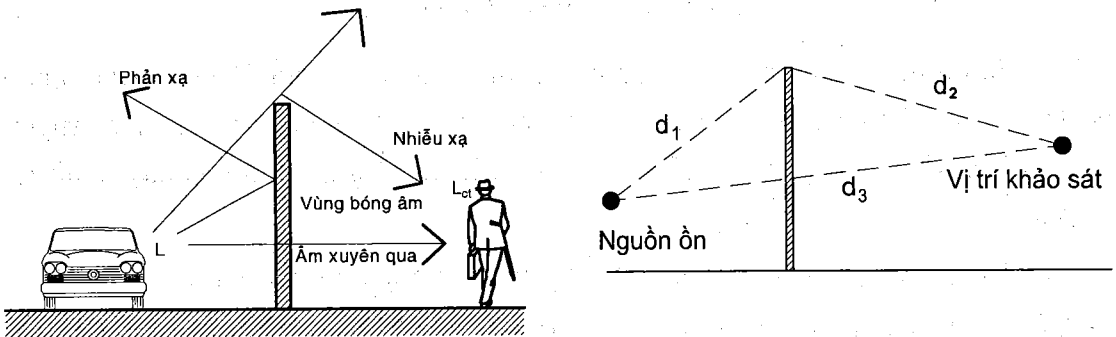
Một vật được coi là vật cản kiến trúc trên đường truyền âm phải thỏa mãn các điều kiện:

- Là vật cứng có mật độ bề mặt không dưới  $10 \text{ kg/m}^2$ ;
- Bề mặt kín, không có lỗ hay rãnh lớn xuyên qua;
- Tiết diện bề mặt của vật (phần tiết diện vuông góc với đường truyền âm) phải có các kích thước lớn hơn bước sóng âm của tần số đang xét.

Do sự đa dạng của các tình huống, vật cản nên đã có nhiều phương pháp tính toán mức giảm âm sau tường chắn hay vật cản kiến trúc. Tài liệu này giới thiệu một phương pháp tính toán đơn giản với một trường hợp khá điển hình, đó là mức giảm âm sau tường chắn dài (thường làm dọc các đường giao thông để ngăn tiếng ồn lan truyền vào khu dân cư). Việc tính toán này dựa trên một thông số gọi là “số Fresnel” có các đại lượng liên quan được giới thiệu trong Hình 7.10 (bên phải). Số Fresnel  $N_0$  được tính như sau:

$$N_0 = \frac{2(d_1 + d_2 - d_3)}{\lambda} \quad (7.11)$$

trong đó: các đại lượng  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  xác định trong Hình 7.10,  $\lambda$  là bước sóng âm sinh ra bởi nguồn âm.



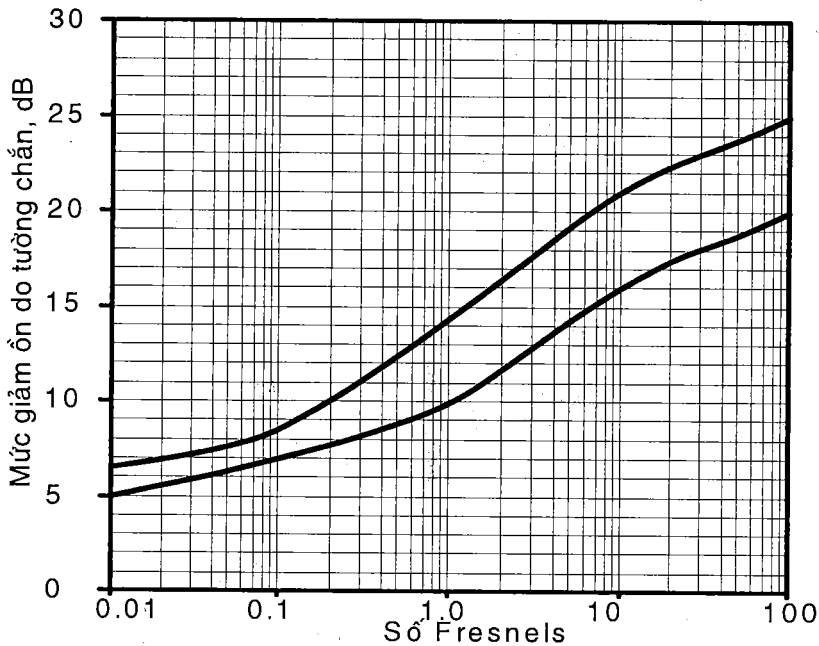
**Hình 7.10.** Hiện tượng nhiễu xạ khiến âm có thể lan truyền đến sau vật cản (trái) và các thông số tính toán (phải)

Trên cơ sở số Fresnel, mức giảm âm do tường chắn mang lại được xác định bằng biểu đồ như giới thiệu trong Hình 7.11 hoặc tính trực tiếp bằng công thức của Kurze và Anderson (1971) như sau:

$$\Delta L_{tc} = 5 + 20 \lg \left( \frac{\sqrt{2\pi N_0}}{\tanh \sqrt{2\pi N_0}} \right) \quad (7.12)$$

trong đó:

- Hàm số “tanh” là hàm *tangent hyperbolic* ( $\tanh x = (e^x - e^{-x})/(e^x + e^{-x})$ ) và có thể tính trực tiếp bằng một số công cụ, ví dụ như Microsoft Excel);
- $0.2 < N_0 < 12.5$ . Nếu  $N_0$  lớn hơn 12.5, các kết quả thí nghiệm đã cho thấy  $\Delta L_{tc}$  không vượt quá ngưỡng 24 dB;
- Công thức này áp dụng cho một nguồn âm (ví dụ xe hơi) tại vị trí gần điểm đang xét sau tường chắn nhất.



**Hình 7.11.** Mức giảm âm sau tường chắn trên cơ sở số Fresnel  
(Nét ở trên: nguồn âm cố định - Nét ở dưới: nguồn âm là xe ô tô di chuyển)  
- phỏng theo Engineering ToolBox (2003)

Bên cạnh mức giảm âm sau tường chắn, ta cũng có thể ước tính sơ bộ chiều sâu vùng bóng âm sau tường chắn. Vùng bóng âm này được định nghĩa là khu vực sau tường chắn có mức giảm độ ồn không nhỏ hơn 5 dBA. Với các điều kiện đã biết sau:

- Độ cao của tường chắn  $h_{tc}$ , feet;
- Mức ồn nền  $L_{90}$ , dBA (mức ồn thực tế lớn hơn  $L_{90}$  trong 90% thời gian)
- Khoảng cách từ tường chắn đến trục tuyến đường  $d_{tc}$ , feet;
- Tỷ lệ xe tải nặng trong tổng số xe đi qua tuyến  $P_{xt}$  ( $P_{xt}$  có giá trị từ 0 - 1.0).

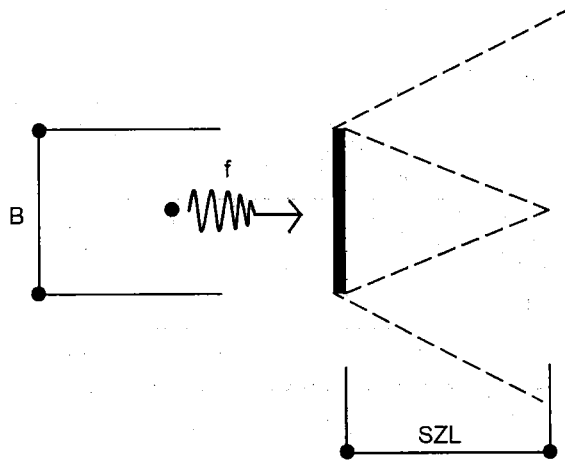
Chiều sâu vùng bóng âm sau tường chắn được tính bằng công thức của MacDonald et al. (2004) như sau:

$$SZL = 616.5 + 7.218h_{tc} - 2.2L_{90} + 1.3d_{tc} - 530.5P_{xt} \quad (7.13)$$

Lưu ý là công thức (5.13) là công thức rút ra từ thực nghiệm, sử dụng hệ đơn vị Anh - Mỹ. SZL dự đoán bởi công thức này có hệ số tương quan với thực tế là  $R^2 = 0.701$  và có sai số trung bình là 31 feet.

Với tường chắn có chiều dài hữu hạn  $B$  (m) như trong Hình 7.12, chiều dài vùng bóng âm sau tường chắn khi có nguồn âm điểm phát tiếng ồn tần số  $f$  (Hz) với vận tốc truyền âm trong không khí là  $c$  (m/s) là:

$$SZL = \frac{fB^2}{4c} \quad (7.14)$$



Hình 7.12. Chiều dài vùng bóng âm sau tường chắn hữu hạn

**\* Độ giảm mức âm do các nguyên nhân khác**

Âm khi lan truyền có thể bị suy giảm bởi những nguyên nhân khác với những nguyên nhân đã đề cập ở trên như: giảm âm do địa hình không bằng phẳng, do có công trình kiến trúc cản trở, hoặc do có gió thổi ngược hướng truyền âm... Trong các trường hợp như vậy, việc tính toán mức giảm âm phải căn cứ vào từng điều kiện cụ thể và đưa ra các phương pháp tính phù hợp. Nói chung, hầu hết các biện pháp tính toán lan truyền âm trong môi trường quy hoạch đều là tính gần đúng, sai số cộng dồn cũng có khả năng lớn dần. Tốt nhất nên tính toán kết hợp với đo đạc thực tế hoặc mô phỏng trên máy tính để có thể kiểm tra tính chính xác của mô hình tính toán đang sử dụng.

## 7.2. CÁC BIỆN PHÁP CHỐNG ÒN TRONG THIẾT KẾ VÀ QUY HOẠCH ĐÔ THỊ

Tiếng ồn trong đô thị là một yếu tố gây mất tiện nghi, ảnh hưởng chất lượng cuộc sống và có thể làm đảo lộn sinh hoạt của người dân. Trong vùng khí hậu nóng ẩm việc chống ồn trở nên khó khăn hơn do thói quen sinh hoạt ngoài trời khá sôi động. Mặt khác công trình kiến trúc trong vùng khí hậu nóng ẩm thường mở thoáng và không kín gió, tạo điều kiện cho tiếng ồn thâm nhập mọi ngõ ngách của công trình. Vì vậy, muốn tạo dựng một môi trường đô thị ít tiếng ồn, các giải pháp hạn chế tiếng ồn cần được triển khai đồng bộ trong tất cả các khâu ngay từ ban đầu theo trình tự thời gian như sau: các biện pháp quy hoạch đô thị và quy hoạch mạng lưới giao thông, thiết kế kiến trúc các công trình xây dựng và các biện pháp kỹ thuật chống ồn khác (Phạm, 2011).

### 7.2.1. Biện pháp chống ồn trong quy hoạch chung đô thị

Phân vùng trong quy hoạch đô thị là một biện pháp cơ bản để chống ô nhiễm tiếng ồn. Việc phân vùng quy hoạch xây dựng thường được thực hiện theo tiêu chuẩn mức ồn cho phép đối với các chức năng của đô thị. Chúng ta cần lồng ghép vấn đề chống ồn vào công tác quy hoạch, gồm có quy hoạch chung và quy hoạch chi tiết đô thị, thực hiện một cách có hiệu quả việc đánh giá tác động môi trường cho các đồ án quy hoạch vùng, thành phố và thị xã. Đứng trên góc độ hạn chế ảnh hưởng của tiếng ồn, các khu chức năng đô thị nên được bố trí trong các phân vùng như sau (Phạm, 2011):

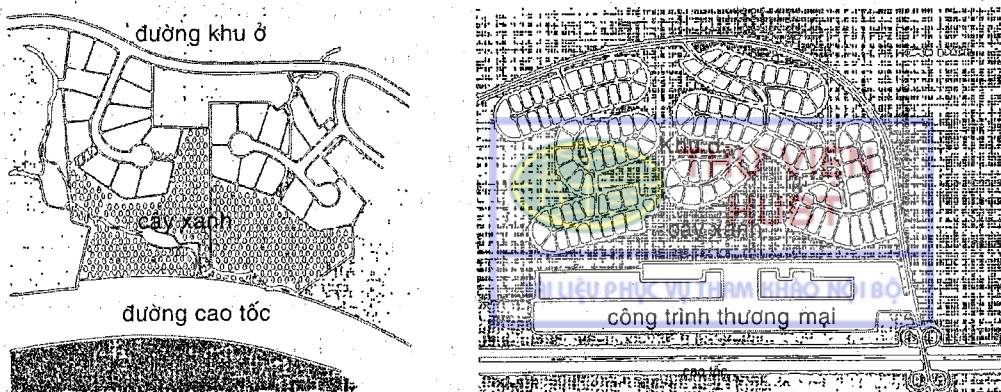
*Phân vùng I:* Khu công nghiệp đô thị, sân bay - là những khu vực có nguy cơ ô nhiễm tiếng ồn cao nhất, với mức ồn tương đương dễ dàng đạt 75 dBA, thậm chí lên tới trên 100 dBA - khi các máy bay phản lực cất hạ cánh (ví dụ: trường hợp thành phố Đà Nẵng hay thành phố Hồ Chí Minh, do sân bay nằm trong đô thị, nên ô nhiễm tiếng ồn là rất nghiêm trọng. Đây cũng là lý do các sân bay cần được quy hoạch cách xa đô thị từ 30 km trở lên). Trong vùng này chỉ nên bố trí các cơ sở sản xuất công nghiệp, các tuyến đường giao thông vận tải có mật độ lớn, đường sắt cùng với các dải cây xanh, các khoảng cách ly phù hợp và thường bố trí cuối hướng gió chủ đạo. Trong vùng không được phép bố trí nhà ở, trừ những công trình phục vụ người lao động. Nên có các trạm quan trắc môi trường xung quanh khu vực, đảm bảo tiếng ồn và các tác động khác không ảnh hưởng tới dân cư xung quanh.

*Phân vùng II:* Khu trung tâm các công trình công cộng của đô thị. Mức ồn theo tiêu chuẩn cho phép vào ban ngày không quá 75 dBA. Khu trung tâm công cộng đô thị thường có mật độ dân cư, giao thông, công trình xây dựng cao, do đó mức ồn thường rất lớn, cộng với ô nhiễm không khí, chất thải rắn... khiến các vấn đề môi trường càng trầm trọng. Khu vực này nếu bố trí nhà ở nên chọn giải pháp nhà ở nhiều tầng vừa để tiết kiệm đất, đồng thời giảm thiểu tác động tiếng ồn.

*Phân vùng III:* Các khu nhà ở. Đây là khu vực của đô thị cần đảm bảo độ yên tĩnh, mức ồn tối đa cho phép vào ban ngày và ban đêm (từ 22 giờ đến 7 giờ sáng hôm sau) lần lượt là 60 dBA và 50 dBA. Các tuyến giao thông đi qua khu vực này phải bị giới hạn tốc độ và thường thì các xe vận tải nặng thường bị cấm vào khu vực này. Các tuyến giao thông lớn gần khu vực này phải có khoảng cách ly, tường chắn, hàng rào cây xanh.

*Phân vùng IV:* Các khu cây xanh, bao gồm đất xây dựng các công viên văn hóa nghỉ ngơi, công viên bách thảo, các công trình cần yên tĩnh cao như các bệnh viện, viện dưỡng lão, thư viện, viện nghiên cứu, nhà thờ, chùa chiền, nhà trẻ... không ở gần trung tâm công cộng. Mức ồn cho phép ở phân vùng chức năng này là 50 dBA.

Bên cạnh đó, việc đánh giá tác động môi trường của đô án quy hoạch cần quan tâm đến các giải pháp chống lan truyền tiếng ồn trong đô thị. Ngoài ra, các tuyến giao thông là thành phần gây tiếng ồn chính trong đô thị có mặt trong tất cả các khu chức năng, cần được phân cấp để quản lý xây dựng, cấp phép và thiết kế chống ồn và cách âm hiệu quả. Thông thường các tuyến giao thông được chia thành 2 nhóm đường ồn ào (nhóm 1) và ít ồn ào (nhóm 2). Hình 7.13 giới thiệu một vài giải pháp quy hoạch phổ biến tuân thủ nguyên tắc này.



**Hình 7.13.** Một vài giải pháp quy hoạch khoảng cách ly chống ồn  
- phỏng theo US Department of Housing and Urban development (2009)

Sự lan truyền tiếng ồn chịu sự chi phối mạnh mẽ của hướng gió và vận tốc gió. Trong trường hợp bất lợi nhất khi tiếng ồn lan truyền theo chiều gió, tốc độ lan truyền tiếng ồn lớn hơn và năng lượng ít bị tổn thất hơn. Vì vậy, khi quy hoạch các đô thị, các chức năng đô thị ồn ào như khu công nghiệp, sân vận động cần bố trí cách xa khu dân cư, nên ở cuối hướng gió chính mùa nóng. Nguyên tắc bố trí này cũng phù hợp với yêu cầu chống lan truyền nguồn ô nhiễm do gió cuốn theo bụi, khói, các loại khí độc hại...

Sau thời kỳ bùng phát của quy hoạch theo kiểu phân khu chức năng sau thế chiến thứ II, vào những năm 1990 trở về sau, kiểu quy hoạch sử dụng đất hỗn hợp (mixed-use development) đang được các nhà quy hoạch quan tâm và sử dụng trở lại do nó mang lại nhiều lợi ích như: khu ở mật độ cao, đa dạng hình thức cư ngụ, giảm cự ly giao thông, tạo các khu phố sầm uất, có tính nơi chốn, tạo các phố đi bộ, tuyến xe đạp, tăng cường gắn kết xóm giềng, giao thông công cộng dễ dàng... Tuy nhiên hình thức quy hoạch sử dụng đất hỗn hợp này lại bất lợi trong việc khống chế ảnh hưởng tiếng ồn đối với cư dân. Đối với trường hợp như vậy, nhiều giải pháp có thể được áp dụng. Trong báo cáo năm 2014, Cục môi trường Châu Âu (European Environment Agency, 2014) khuyến cáo chính quyền địa phương phải có trách nhiệm trong việc xây dựng các kế hoạch hành động nhằm bảo vệ cư dân của mình khỏi tiếng ồn, đặc biệt là giấc ngủ. Có thể xem xét các lựa chọn khác nhau, vì chúng đã được thực hiện ở các thành phố lớn ở Châu Âu. Giải pháp quyết liệt nhất là bắt đầu từ 11 đến 12 giờ đêm, các hoạt động giải trí ban đêm bắt buộc phải di chuyển từ khu vực trung tâm thành phố đến các khu ngoại vi có đặc điểm hoàn toàn khác nhau: khu vực văn phòng, sản xuất, khu công nghiệp, sân bay cũ... Tuy nhiên, nếu chính quyền địa phương muốn duy trì nhiều khu giải trí ở trong lòng các khu dân cư, theo kiểu sử dụng đất hỗn hợp thì các cơ sở giải trí phải được mở trong các tòa nhà không có người ở và buộc những cơ sở này (cả mới và đã có) đáp ứng đầy đủ các đánh giá kiểm soát tiếng ồn, kiểm tra âm thanh bắt buộc, sử dụng quyết liệt các bộ giới hạn âm lượng điện tử trên hệ thống âm thanh. Đồng thời chính quyền tạo điều kiện cho cư dân được phép truy cập vào các nghiên cứu về cách âm.

Liên quan đến việc quy hoạch đô thị, Chính phủ Anh đã ban hành Hướng dẫn chính sách Quy hoạch 24 vào năm 1994 và Khung Chính sách Quy hoạch quốc gia 2012, trong đó nhấn mạnh việc sắp xếp các khu vực có tiếng ồn lớn như giao

thông, sân bay... cách xa các khu ở, đồng thời yêu cầu thiết lập các tiêu chuẩn tiếng ồn chặt chẽ cho mọi hoạt động. Các hoạt động xây dựng, các cơ sở công nghiệp, thương mại dịch vụ phải được kiểm soát bởi các giấy phép môi trường.

Hà Lan vào tháng 10 năm 1978 đã ban hành luật trong đó quy định việc thiết kế các vùng tiếng ồn (geluidszones) xung quanh các sân bay hiện hữu và tương lai và các căn cứ không quân. Trong các vùng tiếng ồn này Hà Lan không cho phép xây dựng các khu dân cư. Các công trình hiện hữu trong vùng tiếng ồn được cải tạo với các biện pháp cách âm đặc biệt với tài trợ từ Chính quyền. Đến năm 2014, Hà Lan đã công bố trên Cổng dữ liệu Châu Âu các tập tin chứa ranh giới đường đồng mức ồn 50 dBA quanh các sân bay, làm cơ sở cho chính quyền thực hiện quy hoạch và cấp phép xây dựng.

Tại Thụy Sĩ, các vùng ồn đã được thiết lập trong vùng phụ cận của sân bay quốc gia dựa trên đường cong đánh giá tiếng ồn NNI (Noise and Number Index). Ở mỗi vùng ồn này, việc sử dụng đất được quy định cụ thể trong quy định liên bang. Chỉ số NNI đã được thiết lập bằng một cuộc khảo sát xã hội học quy mô lớn được thực hiện ở Thụy Sĩ. Ở các quốc gia phát triển khác như Đức, Pháp, Thụy Điển, Canada, Mỹ, Nhật..., luật định và chính sách cũng được ban hành từ rất sớm (Evers, 1980).

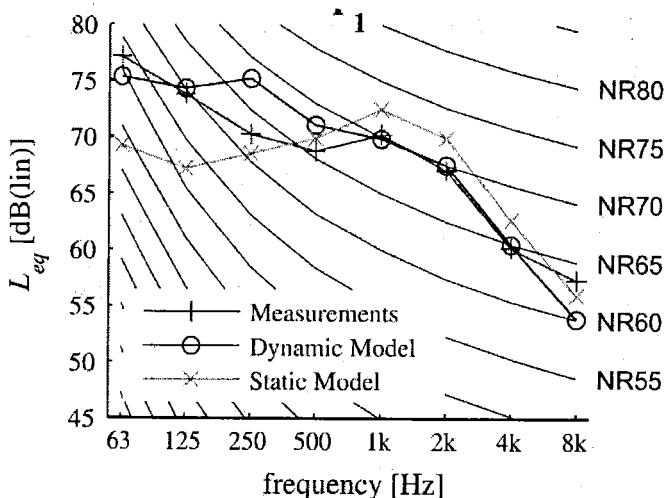
Trong nghiên cứu (Hammad, et al., 2017), tác giả đề xuất phương pháp tối ưu hóa trong việc bố trí các công trình nhạy cảm với tiếng ồn và công trình phát sinh tiếng ồn ở những khu vực cách xa nhau, nhưng vẫn đảm bảo liên hệ giao thông thuận tiện và tránh tắc nghẽn.

### **7.2.2. Biện pháp chống ồn trong quy hoạch đô thị**

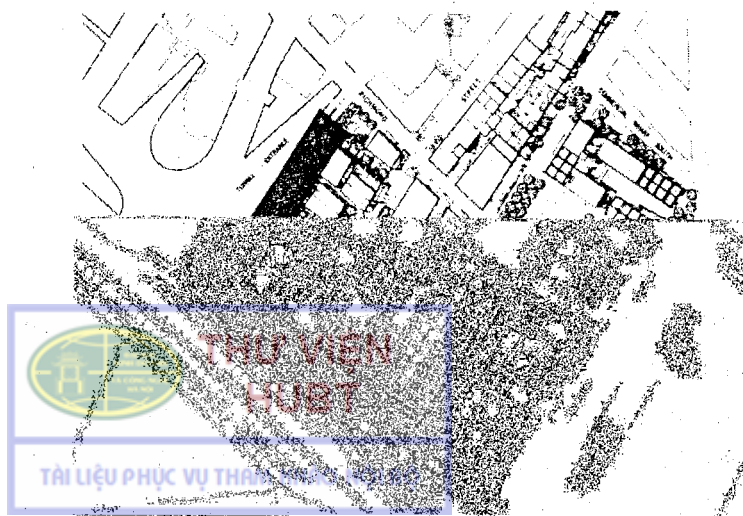
Khi tiến hành quy hoạch đô thị, đặc biệt là các khu ở cần tận dụng tối đa các khoảng cách để làm giảm tiếng ồn. Khoảng cách có tác dụng giảm ồn cực kỳ hiệu quả đối với các âm tần số cao và được coi như các “dải cách ly”. Tuy nhiên, nguồn ồn chủ yếu trong khu dân cư lại là tiếng ồn giao thông có mức ồn chủ yếu tập trung ở các âm tần số thấp (xem Hình 7.14). Do đó, ngoài khoảng cách thì các dải cây xanh cách ly, tường chắn tiêu âm, bờ đất đắp phủ xanh... là các giải pháp bổ sung để giảm mức ồn giao thông trong khu ở.

Một cách khác để giảm thiểu các khoảng đất lãng phí chỉ dùng làm dải cách ly tiếng ồn là người ta có thể bố trí tuần tự các lớp công trình từ gần ra xa nguồn ồn theo yêu cầu mức ồn cho phép. Các công trình thương mại, chợ, văn phòng làm việc kín, các nhà để xe, bến bãi tập kết xe cộ hàng hóa... cho phép bố trí gần các

nguồn ồn, các trục giao thông chính. Các công trình trung gian có thể là các khu nhà ở nhiều tầng, các khu cây xanh công cộng. Cách xa nguồn ồn nhất là các công trình có yêu cầu tiện nghi tiếng ồn cao như thư viện, bệnh viện, viện dưỡng lão, viện nghiên cứu... (Phạm, 2011). Hình 7.15 giới thiệu quy hoạch một khu nhà ở Boston, Mỹ theo nguyên tắc chống tiếng ồn bằng cách bố trí dãy garage che toàn bộ phần khu đất hướng ra đường cao tốc Fitzgerald Expressway và miệt đường hầm Callahan Tunnel.

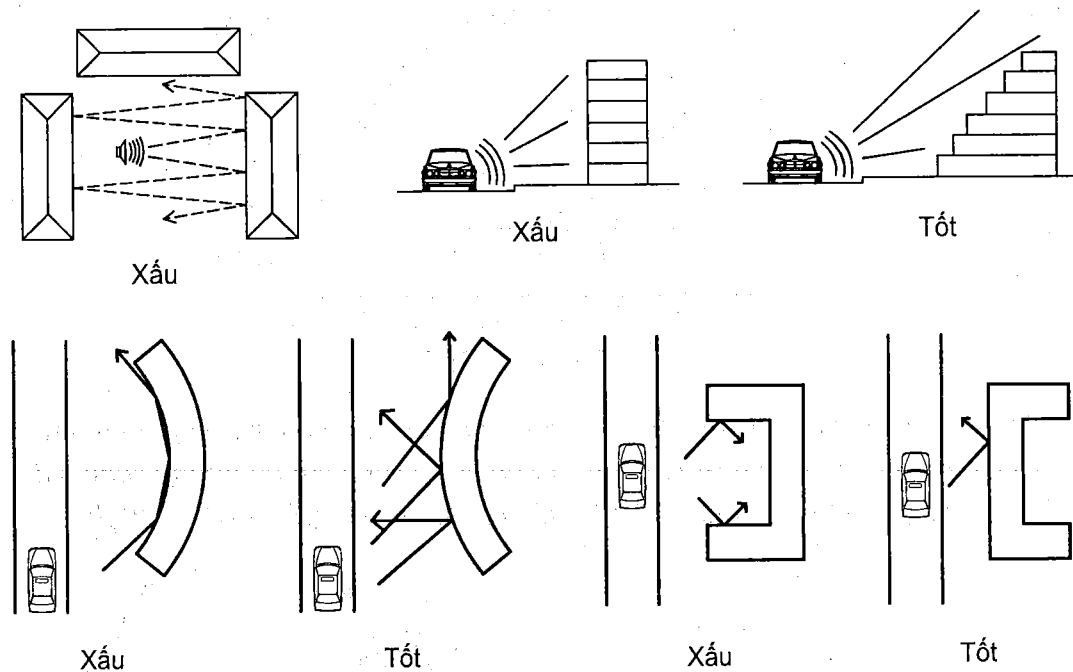


**Hình 7.14.** Kết quả đo đạc từ thực tế và mô phỏng phổ tiếng ồn giao thông trên đường Cours Lafayette, Lyon - Pháp và so sánh với họ đường cong NR - phỏng theo Can et al. (2010). Mức ồn đo đạc có giá trị NR = 70 dB



**Hình 7.15.** Quy hoạch một nhóm nhà sử dụng garage làm “tường chắn” tiếng ồn  
 Nguồn: US Department of Housing and Urban development (2009)

Hình 7.16 và Hình 7.17 phân tích một số giải pháp bố trí tổng mặt bằng và hình khối có tác động đến độ ồn trong công trình. Các dãy nhà song song hoặc có sân trong có thể tạo tiếng dội làm tăng mức ồn giữa các dãy nhà. Tiếng ồn tăng cường do phản xạ qua lại nhiều lần từ sân trong, dễ dàng xâm nhập vào các phòng chức năng qua cửa mở thông thoáng gây mức ồn cao, quấy nhiễu người sử dụng. Trên mặt phố, các dãy nhà dạng cong lồi, hoặc giật cấp lùi về phía sau là những hình thức có lợi cho chống ồn. Để chống tiếng dội do mặt công trình có thể phủ xanh bằng cây xanh và dây leo, hoặc tổ chức các gờ chỉ chi tiết kiến trúc nhằm khuếch tán các tia âm.

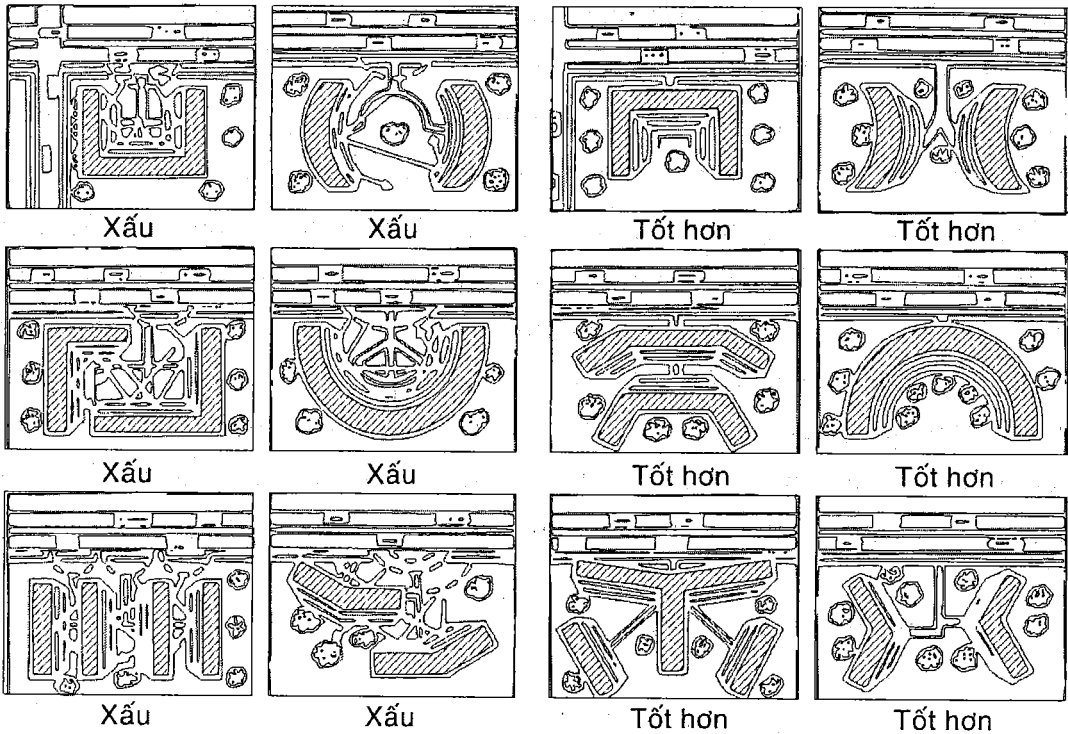


**Hình 7.16.** Giải pháp thiết kế ảnh hưởng đến mức ồn trong công trình  
- phỏng theo Phạm (2011)

Trong quy hoạch các tuyến giao thông đô thị, việc phân cấp đường giao thông theo vận tốc, lưu lượng xe chạy là cơ sở quan trọng để lập các phương án thiết kế. Trong quy hoạch chống tiếng ồn, việc phân cấp đường giao thông như trên và phân cấp theo mức ồn cũng cần được thực hiện song song. Đó là cơ sở để cấp phép xây dựng, thiết kế chống ồn, yêu cầu cách âm cho nhà cửa ở nhiều nước.

Ở Châu Âu, các tuyến giao thông đường sắt khi đi vào trung tâm đô thị thường được tổ chức đi ngầm, do đó hầu như không quấy nhiễu người dân đô thị. Các tuyến metro cũng đi ngầm, cung cấp một phương tiện đi lại trong đô thị nhanh

nhất và không ồn ào. Ở một số đầu mối giao thông trong thành phố (ví dụ ở các thành phố Alicante, Girona...), có thể lắp máy đo tiếng ồn nhằm cung cấp thông tin về mức ồn cho người dân hiện diện trong khu vực, nhằm giúp cộng đồng kiểm soát tiếng ồn tốt hơn.



**Hình 7.17.** Một số cách quy hoạch công trình nhằm giảm thiểu tiếng ồn - phỏng theo US Department of Housing and Urban development (2009). Lưu ý sự sắp xếp theo trật tự tốt xấu như trên chỉ xét trên tiêu chí chống ồn. Về tổng thể, người thiết kế cần cân nhắc đến việc tổ chức không gian đô thị, tạo ra không gian tích cực cho đường phố và các yếu tố có liên quan khác.

Quy hoạch các dải cách ly chống ồn là một biện pháp rất hay được sử dụng trong thực tế để giảm thiểu lan truyền tiếng ồn giao thông. Các loại dải cách ly phổ biến là:

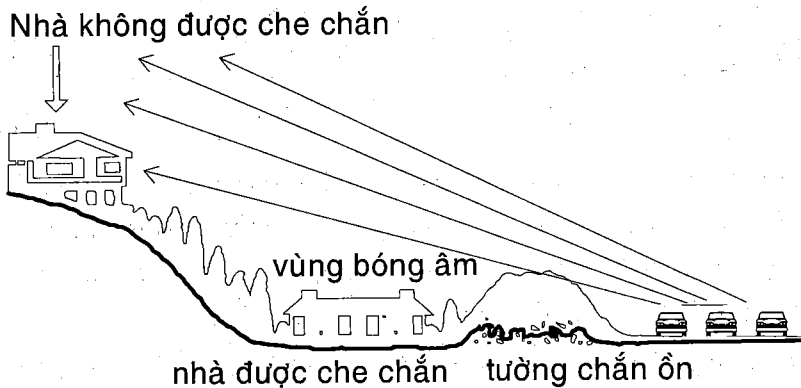
\* Dải cách ly bằng cây xanh: vừa có tác dụng chắn tiếng ồn (có hiệu quả với tiếng ồn tần số thấp), vừa xử lý bụi và các chất ô nhiễm và cải thiện vi khí hậu của khu vực. Cây xanh trồng thành nhiều dải chống ồn tốt hơn một dải lớn liên tục. Tác dụng hút âm của dải cây xanh diễn ra mạnh nhất trong 15 m đầu tiên, do đó chiều rộng mỗi dải cây xanh cần được lựa chọn cho phù hợp. Dải cây xanh chống tiếng ồn nên thỏa mãn một số yêu cầu kỹ thuật như sau (Phạm, 2011):

- Tán lá của dải cây che khuất hoàn toàn tầm nhìn, không lộ các “khoảng sáng”. Các “khoảng sáng” chính là các tuyến lan truyền tiếng ồn không khí. Ngay cả khi không có khoảng sáng, âm thanh vẫn dễ dàng lan truyền qua tán cây, nhưng bị tổn thất năng lượng âm nhiều hơn.

- Khoảng trống phía dưới tán lá cây cần được che lấp bằng cây bụi thấp, có tác dụng hoàn chỉnh giải pháp, lấp đầy các “khoảng sáng”.

Như vậy các cây xanh trồng thưa thớt hai bên đường phố có tác dụng giảm tiếng ồn rất ít so với yêu cầu và chủ yếu làm nhiệm vụ tạo bóng mát.

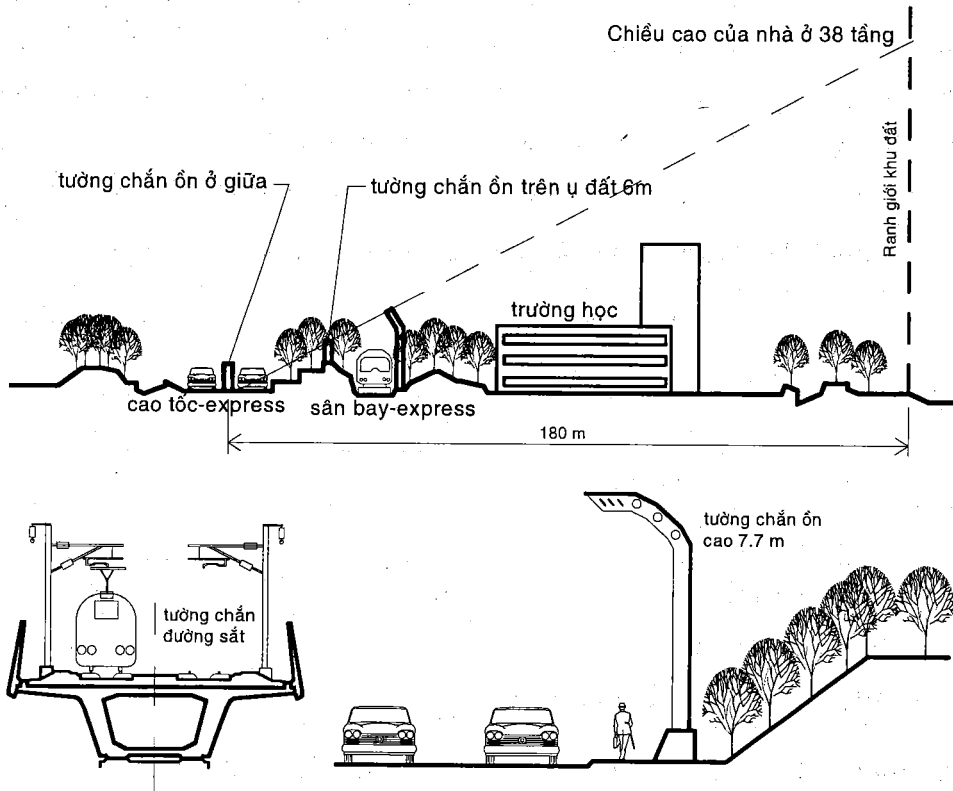
\* Dải cách ly có dạng tường chắn tiếng ồn: Hình thức tường chắn tiếng ồn đơn giản nhất là các bờ đất, vách đất đắp dọc theo các đường giao thông (xem Hình 7.18). Để tăng hiệu quả chắn âm của bờ đất, người ta thường trồng cỏ và cây bụi trên mặt bờ đất hoặc kết hợp tường chắn để nâng cao chiều cao hiệu quả. Đối với các tuyến đường cao tốc, đường sắt cao tốc, tường chắn âm bằng bờ đất cực kỳ phổ biến, không chỉ chắn tiếng ồn mà còn hạn chế sự xâm nhập của người và gia súc vào tuyến giao thông.



Hình 7.18. Minh họa tường đất chắn tiếng ồn

\* Dải cách ly dạng tường chắn tiếng ồn: Thay vì làm bờ đất đắp, người ta có thể làm tường chắn tiếng ồn. Vật liệu phổ biến nhất làm tường chắn là các panel bê tông đúc sẵn cho phép thi công rất nhanh. Bên cạnh đó, các tấm nhựa composite, các vách bằng tôn có phủ cách âm cũng được sử dụng. Tường chắn tiếng ồn dọc đường giao thông bao giờ cũng đi kèm giải pháp hút âm và khuếch tán âm trên bề mặt tường. Khi thiết kế cần chú ý rằng các tường chắn tiếng ồn càng đặt gần nguồn ồn càng có hiệu quả cao và tạo được vùng bóng âm rộng hơn.

Hình 7.19 mô tả một số kiểu tường chắn và cách bố trí chúng nhằm tạo được vùng bóng âm mong muốn, đồng thời tối đa hóa khả năng chắn âm.



**Hình 7.19.** Một số dạng tường chắn âm hay gập cho đường bộ và đường sắt trên cao - phỏng theo Hong Kong Environmental protection department (2013)

Các nghiên cứu thực nghiệm ở các nước đã cho ra các đánh giá khá chính xác về hiệu quả của tường chắn như sau (Phạm, 2011):

- Tường đắp bằng đất cao 0.5 - 1 m ở hai bên đường có thể giảm được 5 - 7 dBA. Thực tế các tường chắn đất thường làm cao hơn nhiều, khoảng 3 đến 4 m để tăng hiệu quả chắn âm;

- Các dải đất cao khoảng 8 m có thể làm giảm tiếng ồn 15 - 18 dbA, tùy theo cấu tạo dải đất có cây xanh hay không;

- Các tường chắn ồn kiên cố, các công trình xây dựng có thể làm suy giảm tiếng ồn tới 20 - 30 dBA, phụ thuộc vào độ cao và chiều dài của cấu trúc. Các công trình phục vụ có mức ồn cho phép cao nếu bố trí dọc theo 2 bên đường cũng là một giải pháp chắn âm. Tuy nhiên hiệu quả của chúng không cao do công trình thường không liên tục, nên phải kết hợp với giải pháp cây xanh hoặc tường chắn.

Đối với tuyến giao thông trong các khu ở, người ta thường làm các đoạn đường cong hoặc làm gờ giảm tốc để giới hạn vận tốc xe chạy.

Khi quy hoạch tổng mặt bằng xí nghiệp công nghiệp, các hạng mục công trình có thể sản sinh tiếng ồn có độ lớn và tính chất rất khác nhau, tùy thuộc loại hình sản xuất. Ví dụ: trong nhà máy dệt, phân xưởng dệt thoi rất ồn – lớn nhất lên đến 120 dBA, trong khi khu vực lò hơi, khu chứa xăng dầu lại yên tĩnh. Bảng 7.11 cho thấy độ ồn khác nhau của các phân xưởng trong nhà máy dệt điển hình.

**Bảng 7.11. Mức ồn tại các xưởng sản xuất của nhà máy dệt**

STT	Khu vực	Độ ồn (dBA)
1	Khu vực lò hơi	65
2	Khu vực chứa xăng dầu	63
3	Giữa phân xưởng nhuộm	93
4	Phân xưởng dệt kim	88
5	Phân xưởng sợi	90
6	Phân xưởng dệt thoi	120
	TCVN 5949 - 1995 (khu sản xuất)	75

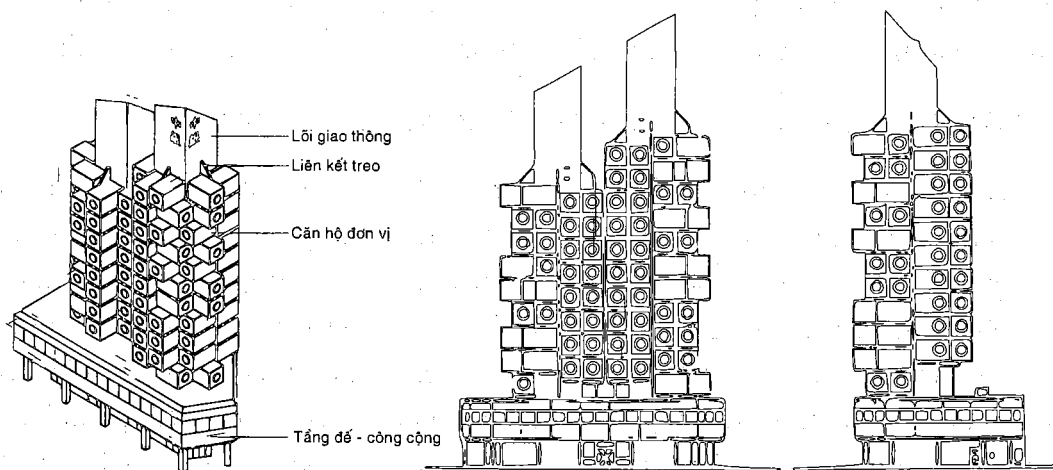
Do đó người thiết kế cần phải chủ động bố trí tập trung các hạng mục phát sinh tiếng ồn lớn và thường xuyên về một phía của tổng mặt bằng, cách ly với các hạng mục công trình khác bằng giải pháp khoảng trống, cây xanh hoặc các nhà kho, khối vệ sinh, hành lang vv... Đồng thời cần quan tâm đến các biện pháp giảm ồn trong nhà xưởng (Phạm, 2011).

### 7.2.3. Biện pháp chống ồn khi thiết kế công trình

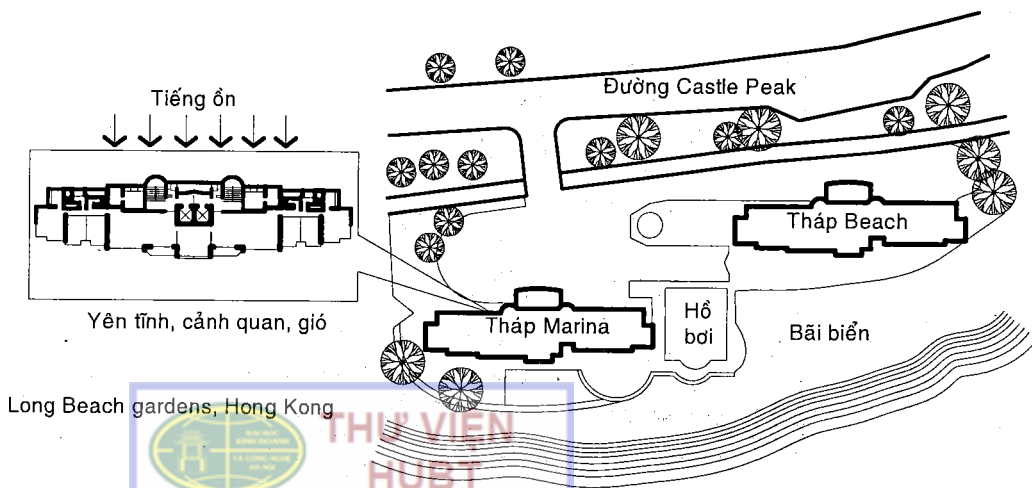
Trước khi nghĩ đến biện pháp cách âm cho công trình xây dựng, KTS phải quan tâm đầu tiên đến việc sắp xếp các khu vực chức năng của công trình theo mức ồn nhằm tạo môi trường yên tĩnh cho công việc, nghỉ ngơi. Các khu vực chức năng có thể phân khu như sau:

- Khu ồn ào: Cầu thang, thang máy, sảnh chính, hành lang chính, phòng sinh hoạt, phòng ăn tập thể, khu công cộng;
- Khu trật tự: các phòng làm việc, hành lang phụ, phòng kỹ thuật, phòng khách;
- Khu yên tĩnh: các phòng ngủ, phòng đọc, phòng điều dưỡng, phòng nghiên cứu.

Người thiết kế phải cố gắng đảm bảo cách ly khu vực ồn ào khỏi khu yên tĩnh bằng các không gian đệm, các phòng trung gian. Có như vậy mới hạn chế việc dùng đến các giải pháp cách âm, vốn không phù hợp trong điều kiện kiến trúc mở thoáng ở nước ta. Công trình tháp Nakagin capsule do KTS Kisho Kurokawa thiết kế (Hình 7.20) tập trung cầu thang, thang máy trong phần lõi tháp. 140 block căn hộ đơn giản bám chung quanh. Kết cấu các block là tách rời khỏi lõi tháp và chỉ liên kết với lõi tháp bằng các bulon, tạo được sự yên tĩnh trong mỗi đơn vị.



Hình 7.20. Tháp Nakagin capsule ở Tokyo



Hình 7.21. Mặt bằng khu nhà chung cư ở Long Beach Gardens, Hong Kong

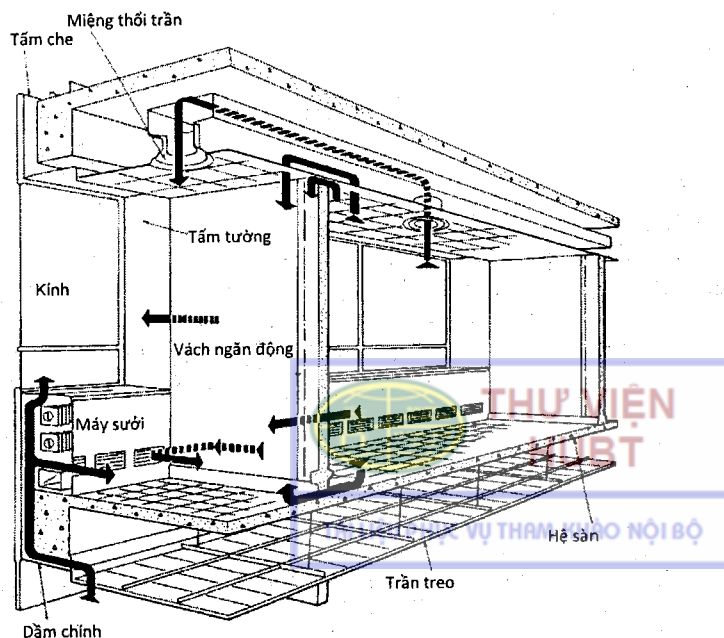
Trong khu nhà ở cao tầng tại Long Beach Gardens ở Hong Kong (Hình 7.21), người ta đã thiết kế toàn bộ các khu vực phụ của các căn hộ (bếp, vệ sinh, kho, phòng ăn, cầu thang, thang máy) về phía chịu tác động của nguồn ồn từ đường

Castle Peak Road, để dành hướng yên tĩnh cho các phòng ngủ. Đây là ví dụ về một giải pháp rất tốt để chống ồn trong kiến trúc.

Để kết luận về các giải pháp chống ồn trong quy hoạch, chúng ta cần thẩm nhuần rằng ngay từ bước lập dự án quy hoạch đô thị, cho đến bước thiết kế kỹ thuật thi công từng hạng mục công trình, vấn đề chống ồn cho các công trình luôn được nghiên cứu và triển khai đồng thời với các giải pháp quy hoạch, kiến trúc và kỹ thuật khác. Một khi việc chống ồn trong các bước quy hoạch và định hướng đã được triển khai tốt, vấn đề chống ồn đô thị mới có thể giải quyết có hiệu quả và giảm thiểu chi phí cho các giải pháp kỹ thuật chống ồn phát sinh.

### 7.3. THIẾT KẾ CÁCH ÂM CHO CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG

Cách âm giữa các phòng khác nhau trong một công trình hoặc với bên ngoài là một vấn đề rất phức tạp. Để đảm bảo kiểm soát hiệu quả môi trường âm thanh trong phòng, đầu tiên là khả năng cách âm lan truyền trong không khí của các vách ngăn như trần, tường, cửa đi, cửa sổ là rất quan trọng. Thứ hai, khả năng cách âm lan truyền trong kết cấu (còn gọi là cách âm va chạm) cũng phải đảm bảo ở mức nhất định. Cuối cùng, các thiết bị vận hành công trình cũng phải có độ ồn chấp nhận được. Cả 3 khía cạnh này được mô tả trong Hình 7.22 và sẽ được giới thiệu chi tiết trong các nội dung tiếp theo.



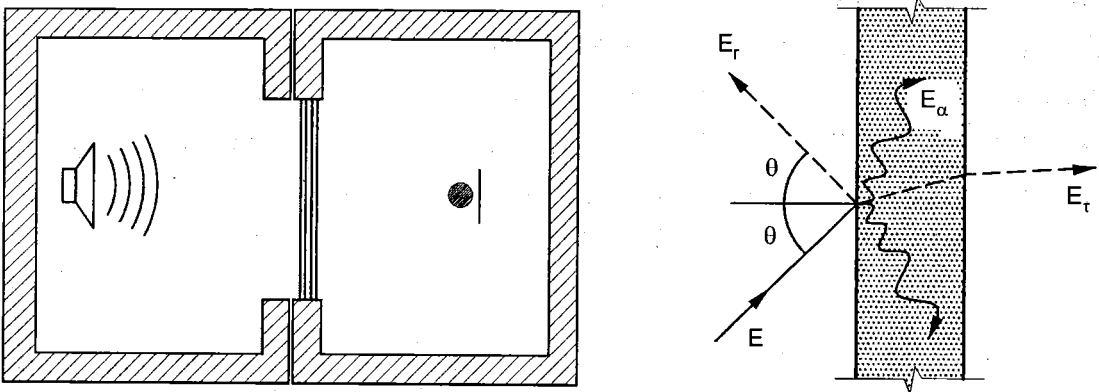
**Hình 7.22.** Các đường lan truyền âm thanh trong công trình từ không gian này sang không gian khác - phỏng theo Cavanaugh et al. (2009)

### 7.3.1. Các đại lượng vật lý để đánh giá khả năng cách âm của kết cấu

#### 7.3.1.1. Lượng cách âm lan truyền trong không khí (airborne sound)

Để đo khả năng cách âm của một kết cấu, người ta tiến hành thí nghiệm trong phòng đặc biệt như trong Hình 7.23. Mục đích là để loại trừ toàn bộ các đường truyền âm gián tiếp từ phòng phát (bên trái) vào phòng thu (bên phải). Sóng âm từ phòng phát lan truyền trong không khí đến kết cấu ngăn cách. Tại đây, một phần năng lượng âm bị phản xạ trở lại, một phần khác bị kết cấu hấp thụ, một phần sẽ xuyên qua kết cấu. Âm xuyên qua kết cấu được là do 2 nguyên nhân:

- Kết cấu mỏng, hoặc thưa, hoặc có lỗ rỗng;
- Hoặc kết cấu có một độ đàn hồi, khi âm đến bề mặt kết cấu, áp suất âm thay đổi làm kết cấu dao động, trở thành nguồn âm mới bức xạ vào phòng thu.



**Hình 7.23.** Thí nghiệm đo khả năng cách âm của kết cấu và các đại lượng liên quan quá trình truyền âm qua kết cấu

Gọi các phần năng lượng âm tới, phản xạ, hấp thụ và xuyên qua kết cấu lần lượt là  $E, E_r, E_\alpha, E_\tau$ . Khi nghiên cứu khả năng cách âm, người ta định nghĩa hệ số xuyên âm như sau:

$$\tau = \frac{E_\tau}{E} \quad (7.15)$$

Còn khả năng cách âm của kết cấu (sound reduction index; một số tài liệu còn gọi là TL - sound transmission loss) được định nghĩa là:

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau} = 10 \lg \frac{E}{E_\tau} \quad (7.16)$$

$R$  có đơn vị là dB, và thường được xác định bằng thực nghiệm như nói ở trên.  $R$  càng lớn, khả năng cách âm càng tốt. Tuy nhiên, có thể tính toán khá chính xác với công thức:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A} \quad (7.17)$$

trong đó:

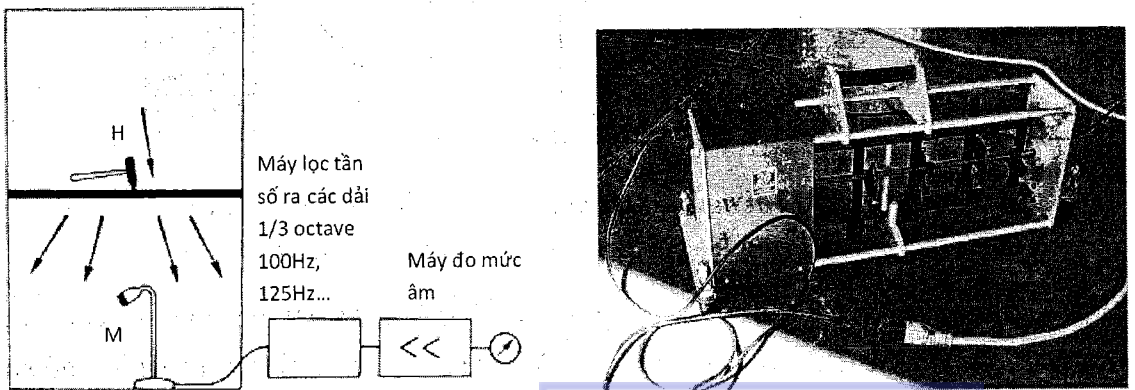
$L_1$  và  $L_2$  - lần lượt là mức áp suất âm của phòng có mức âm cao và thấp, dB;

$S$  - diện tích của kết cấu khảo sát,  $m^2$ ;

$A = \sum \alpha_i S_i$  - tổng lượng hút âm trong phòng cách ly,  $m^2$ .

### 7.3.1.2. Lượng cách âm và chạm của kết cấu

Nhà ở, khách sạn, văn phòng... thường xuyên chịu tiếng ồn do chân người đi, ghế, thiết bị... từ phía trên truyền xuống. Để đo lượng cách âm và chạm của kết cấu, người ta tiến hành thí nghiệm trong phòng thí nghiệm với máy gõ tiêu chuẩn như mô tả trong Hình 7.24. Máy gõ tiêu chuẩn (Standard tapping machine) là một thiết bị có 5 búa bố trí theo hàng dọc cách nhau 10 cm, mỗi búa nặng 500 gr, cho rơi tự do từ độ cao 4 cm trên mặt kết cấu với tốc độ 10 búa /s.



Hình 7.24. Thí nghiệm đo khả năng cách âm và chạm của kết cấu với máy gõ tiêu chuẩn

Người ta đo mức áp suất âm  $L$  ở trong phòng bên dưới sàn cho mỗi dải tần số 1/3 octave. Mức áp suất âm  $L$  này được chuyển đổi sang mức áp suất âm của một phòng tiêu chuẩn có lượng hút âm tương đương là  $A_0 = 10 m^2$ . Từ đó, người ta tính mức áp suất âm va chạm quy đổi  $L_n$  (normalized impact sound pressure level) bên dưới như sau:

$$L_n = L + 10 \lg \frac{A}{A_0} \quad (7.18)$$

trong đó:

$L$  - mức âm đo ở phòng bên dưới sàn ở các tần số, dB;

$A_0$  - lượng hút âm tiêu chuẩn, thường lấy bằng  $10 \text{ m}^2$ ;

$A$  - lượng hút âm thực tế của phòng dưới sàn,  $\text{m}^2$ .

Đại lượng  $L_n$  chính là một thông số đo lường khả năng cách âm va chạm của kết cấu. Giá trị  $L_n$  càng nhỏ thì khả năng cách âm của kết cấu càng tốt.

### 7.3.1.3. Lượng cách âm quy đổi (weighted sound reduction index hoặc weighted normalized impact sound pressure level)

Trên thực tế, khả năng cách âm lan truyền trong không khí  $R$  và va chạm  $L_n$  thay đổi theo tần số âm. Do đó,  $R$  hay  $L_n$  thường là một đường biến thiên theo tần số của âm.

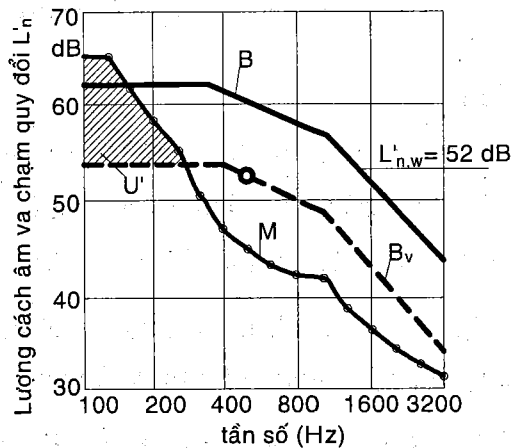
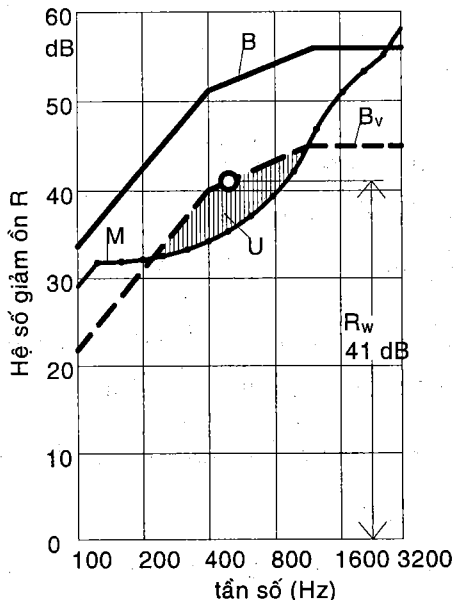
Để đánh giá khả năng cách âm của kết cấu bằng **một chỉ số cách âm duy nhất**, người ta phải dùng khái niệm **lượng cách âm quy đổi** (weighted sound reduction index) như sau:

- So sánh đường đặc tính cách âm không khí  $R$  (hoặc mức áp suất âm va chạm quy đổi  $L_n$ ) của kết cấu cần khảo sát với đường cách âm không khí (va chạm) tiêu chuẩn.

- Giá trị cách âm tại tần số 500 Hz của đường chuẩn tương đương với đường khảo sát chính là giá trị cần tìm.

Hình 7.25 giới thiệu một ví dụ về cách quy đổi đường  $R$  hoặc  $L_n$  của một kết cấu về một giá trị quy đổi duy nhất tại tần số 500 Hz. Đầu tiên, tịnh tiến đường cách âm tiêu chuẩn B (đã có sẵn) về phía đường đặc tính cách âm cần quy đổi M (vị trí  $B_v$ ) sao cho sai số không mong muốn  $U$  của M so với  $B_v$  có tổng là lớn nhất, nhưng không vượt quá 32 dB. Giá trị của  $B_v$  tại 500 Hz chính là giá trị quy đổi cần tìm.  $U$  tính bằng tổng các sai số ở từng tần số 1/3 octave trong phần gạch chéo của Hình 7.25. Trong Hình 7.25, đường M có giá trị quy đổi là 41 và 52 dB (bên trái và bên phải).

Ở Việt Nam, lượng cách âm quy đổi này được gọi là chỉ số cách âm không khí (CK, dB) và chỉ số cách âm va chạm (CV, dB).



**Hình 7.25.** Cách tính lượng cách âm quy đổi đối với âm không khí (bên trái) và âm va chạm (bên phải). B là đường cách âm tiêu chuẩn có giá trị 52 dB. M là đường cách âm khảo sát cần quy đổi.  $B_v$  là đường tiêu chuẩn tịnh tiến về phía đường khảo sát. U là sai số không mong muốn giữa M và  $B_v$  - phỏng theo Gösele & Schröder (2013)<sup>2</sup>

Ưu điểm của việc sử dụng chỉ số lượng cách âm quy đổi CK và CV là khi đánh giá trên một dải tần số rộng, mỗi kết cấu chỉ có 1 giá trị CK và CV duy nhất. Đó là một thuận lợi và là một sự đơn giản hóa. Tuy nhiên cần lưu ý là CK càng cao, kết cấu cách âm không khí càng tốt, nhưng CV càng cao, kết cấu cách âm va chạm càng kém.

Các chỉ số CK và CV cho phép trong công trình dân dụng ở Việt Nam được quy định trong tiêu chuẩn TCXDVN 277: 2002 “Cách âm cho các kết cấu phân cách bên trong nhà dân dụng”.

### 7.3.2. Các giải pháp cách âm không khí cho công trình xây dựng

Kết cấu cách âm của công trình có thể có nhiều dạng tuy nhiên có thể chia thành 2 loại cơ bản là kết cấu cách âm 1 lớp và kết cấu cách âm nhiều lớp.

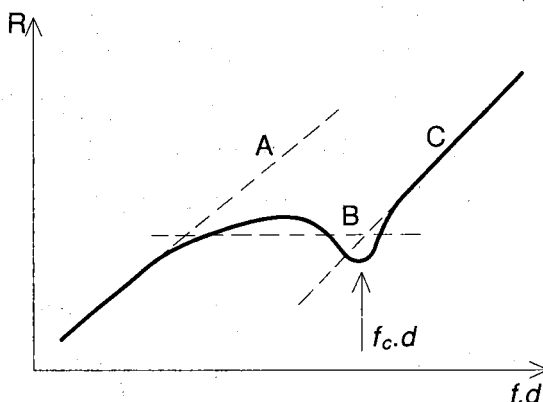
Kết cấu một lớp (hoặc có thể có nhiều lớp gắn kết chặt với nhau như một khối đồng nhất), khi chịu tác động của sóng âm thì phản ứng như kết cấu đồng nhất.

<sup>2</sup> Trong trường hợp cách âm không khí, sai số không mong muốn U là phần nằm dưới đường chuẩn đã tịnh tiến; nhưng với cách âm va chạm, trị số U là phần nằm trên đường chuẩn đã tịnh tiến.

Kết cấu nhiều lớp thường có lớp không khí hoặc các lớp vật liệu khác nhau, khi phản ứng với sóng âm thì làm việc khác nhau.

### 7.3.2.1. Khả năng cách âm của kết cấu 1 lớp

Đối với kết cấu cách âm một lớp, khả năng cách âm của kết cấu trở nên rất rõ nếu ta biểu diễn khả năng cách âm  $R$  theo tích của độ dày kết cấu và tần số âm kích thích  $f.d$  như trong Hình 7.26. Ba khu vực trên biểu đồ là A, B, C có thể dễ dàng phân biệt được.



**Hình 7.26.** Khả năng cách âm của kết cấu 1 lớp biến thiên theo hàm  $f.d$ ; 3 khu vực A, B, C có thể nhìn thấy rõ

Đối với khi vực A (ứng với tần số âm thấp): khi đó khả năng cách âm của kết cấu  $R$  phụ thuộc nhiều vào mật độ diện tích của kết cấu  $m''$  ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ). Trong trường hợp này  $R$  được tính như sau (Gösele & Schröder, 2013):

$$R = 20 \lg \frac{\pi f m''}{\rho c} - 3 \quad (7.19)$$

trong đó:

$\rho$  - tỷ trọng;

$c$  - vận tốc truyền âm trong không khí.

Đối với khu vực B, hiện tượng cộng hưởng khiến cho khả năng cách âm của kết cấu giảm mạnh mẽ quanh một tần số nguy hiểm  $f_c$  như trong Hình 7.26. Tần số nguy hiểm có thể tính như sau:

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m''}{B}} \quad (7.20)$$

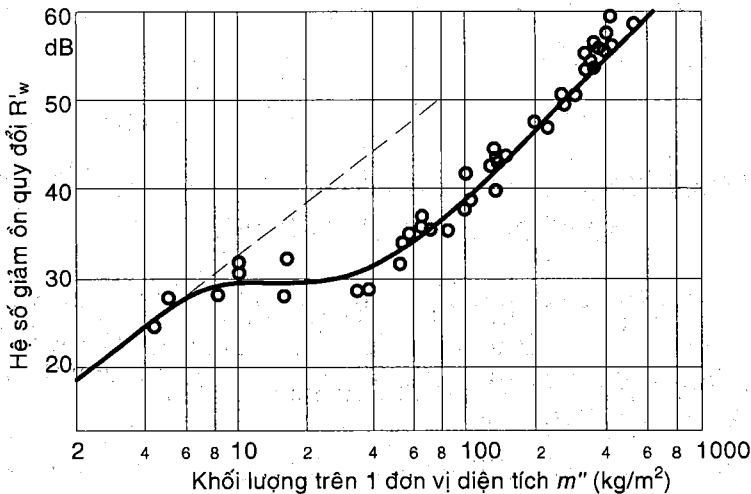
trong đó:  $B$  - độ cứng uốn của tấm (Nm).

Đối với khu vực C, khả năng cách âm thay đổi theo quy luật tuyến tính so với tần số và độ dày. Khả năng cách âm trong khu vực này được tính như sau (Gösele & Schröder, 2013):

$$R = 20 \lg \frac{\pi f m''}{\rho c} + 10 \lg \frac{2\eta f}{\pi f_c} \quad (7.21)$$

Trong công thức này, khả năng cách âm còn phụ thuộc vào tổng hệ số mất mát  $\eta$  của kết cấu. Tổng hệ số mất mát bao gồm năng lượng mất tại biên do tiêu hao vào vật liệu và do bức xạ âm ngược trở lại.

Qua thực nghiệm, người ta thấy rằng đối với hầu hết các vật liệu xây dựng phổ biến, lượng cách âm không khí của kết cấu cũng phụ thuộc chủ yếu vào mật độ bề mặt của kết cấu  $m''$  ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) như thể hiện trong Hình 7.27. Quy luật này chỉ không đúng đối với một số vật liệu cực kỳ linh hoạt như cao su, tấm chì, gỗ mềm.



**Hình 7.27.** Khả năng cách âm không khí (quy đổi) của kết cấu một lớp theo mật độ bề mặt của tấm - phòng theo Gösele & Schröder (2013)

Ảnh hưởng của mật độ bề mặt của kết cấu  $m''$  đối với khả năng cách âm  $R$  của kết cấu được gọi là “định luật khối lượng” cho kết cấu 1 lớp. Quy luật này được phát hiện lần đầu vào năm 1911 bởi Berger (1911). Hiện nay, trong nhiều tài liệu định luật khối lượng được phát biểu tổng quát bằng công thức (Nguyễn, 2011):

$$R = 20 \lg m'' + 20 \lg f - 47.5 \text{ dB} \quad (7.22)$$

Theo công thức này, nếu ta tăng mật độ bề mặt  $m''$  hay tần số  $f$  lên gấp đôi, khả năng cách âm tăng khoảng 6 dB.

### 7.3.2.2. Khả năng cách âm của kết cấu nhiều lớp

Muốn cải thiện khả năng cách âm của kết cấu 1 lớp phải tăng mật độ bề mặt của kết cấu, đó là điều không mong muốn. Thay vào đó có thể sử dụng kết cấu có nhiều lớp, có lớp không khí hay lớp cách âm - cách nhiệt ở giữa.

Các kết cấu có nhiều lớp làm thành một hệ dao động phức tạp, trong đó các lớp kết cấu đóng vai trò vật nặng có mật độ bề mặt  $m_1$  và  $m_2$ , lớp không khí hay vật liệu cách âm ở giữa là lò xo đàn hồi (xem Hình 7.28). Khả năng cách âm của hệ phụ thuộc vào mật độ bề mặt  $m_1$  và  $m_2$  của mỗi tấm, hiện tượng cộng hưởng của từng tấm, của lớp vật liệu đàn hồi ở giữa và của toàn bộ hệ. Do đó việc tính toán khả năng cách âm của hệ cũng rất phức tạp.

Sẽ có tối thiểu 2 tần số âm nguy hiểm ở đó kết cấu dao động cộng hưởng và khả năng cách âm bị giảm đáng kể (như trong Hình 7.28). Nếu 2 tấm có khối lượng và độ cứng giống nhau, cộng hưởng sẽ rất mạnh; do đó cần tránh khi thiết kế kết cấu cách âm. Tần số dao động cộng hưởng của toàn hệ có thể ước tính theo công thức sau (Gösele & Schröder, 2013):

$$f_{res} = \frac{65}{\sqrt{d \left( \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right)}} \quad \text{hay} \quad f_{res} = 190 \sqrt{\frac{s}{\left( \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right)}} \quad (7.23)$$

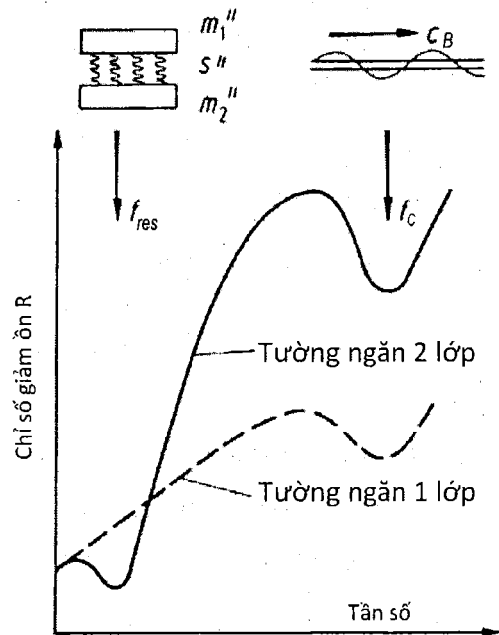
trong đó:

$d$  - chiều dày lớp không khí (m);

$s$  - độ cứng động của lớp vật liệu ở giữa (nếu không phải là không khí) ( $\text{MN/m}^3$ );

$m_1$  và  $m_2$  là mật độ bề mặt của mỗi tấm ( $\text{kg/m}^2$ ).

Do tính phức tạp của kết cấu nhiều lớp (có quá nhiều tham số ảnh hưởng đến khả năng cách âm của kết cấu) do đó hiện nay dường như người ta chỉ thống nhất



**Hình 7.28.** Đường đặc tính cách âm của kết cấu hai lớp - phỏng theo Gösele & Schröder (2013)

được hình dạng chung của đường đặc tính cách âm của kết cấu 2 lớp như trình bày trong Hình 7.28. Công thức tính khả năng cách âm của kết cấu nhiều lớp có khá nhiều dạng. Trong tài liệu này giới thiệu một cách tính như sau (Gösele & Schröder, 2013):

- Nếu 2 bản cứng có lớp không khí ở giữa (không có liên kết giữa 2 tấm) thì khả năng cách âm là:

$$R = R_1 + R_2 + 20 \lg \left( \frac{4\pi fd}{c} \right) - 29 \text{ khi } f_{res} < f \text{ và } f < c/4d \quad (7.24)$$

$$R = R_1 + R_2 + 6 \text{ khi } f > c/4d$$

trong đó:

$d$  - độ dày lớp không khí ở giữa (m);

$f_{res}$  - tần số cộng hưởng của hệ;

$R_1$  và  $R_2$  - khả năng cách âm của từng kết cấu riêng rẽ, tính bởi công thức (7.22).

- Nếu 2 bản cứng liên kết với nhau bằng hệ khung cách nhau  $b$  (m), Khả năng cách âm của hệ có thể tính (Sharp, 1978):

$$R = 20 \lg (10^{R_1/20} + 10^{R_2/20}) + 10 \lg (bf_c) + 20 \lg \left( \frac{m_1}{m_1 + m_2} \right) - 18 \quad (7.25)$$

Ngoài ra có một số điểm cần lưu ý khi làm kết cấu cách âm lan truyền trong không khí:

- Lỗ hở làm giảm nhanh khả năng cách âm của kết cấu, do đó cần xử lý kín các khe hở trên kết cấu.

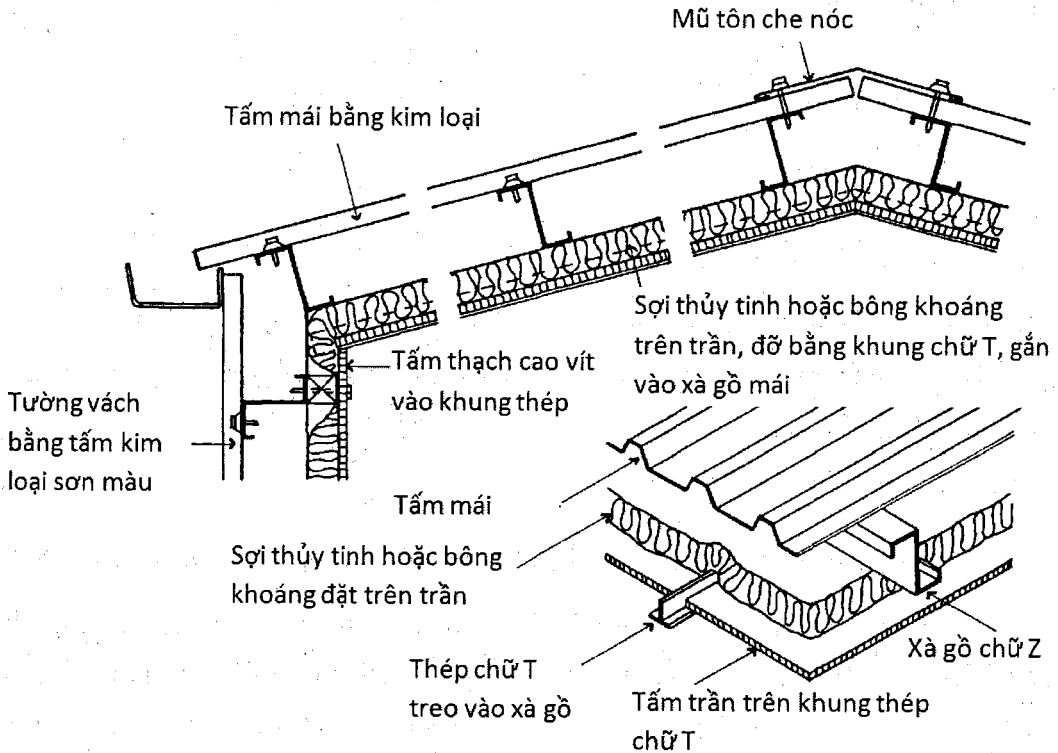
- Khe hở lớn làm giảm khả năng cách âm nhiều hơn là nhiều lỗ nhỏ có cùng diện tích khe hở.

- Nếu nguồn ồn ở trong nhà thì phải tìm biện pháp cách ly và giảm ồn nguồn ồn ngay tại chỗ bằng đệm giảm chấn, lò xo, bao vật liệu cách âm, bố trí vật liệu hút âm bao quanh...

### 7.3.3. Giải pháp cách âm va chạm

Tiếng ồn do sự va chạm vào kết cấu công trình thường lan truyền trong nội bộ kết cấu rất nhanh và truyền đi rất xa so với tiếng ồn không khí, do đó có thể gây phiền nhiễu lớn nếu kéo dài hay lặp lại thường xuyên. Tiếng ồn va chạm có thể xuất hiện do bước chân người, máy móc hoạt động gây chấn động kết cấu, mưa rơi trên mái nhà, tiếng đồ vật bị rơi trên sàn, tiếng va chạm trong làm bếp...

Trong kết cấu, tiếng ồn va chạm lan truyền đi dưới hai hình thức. Một là kết cấu dao động trở thành nguồn âm thứ cấp truyền tiếng ồn vào không khí của các phòng lân cận. Hai là biến thành dao động lan truyền trong nội bộ kết cấu đi rất xa cho đến khi dao động tắt hẳn. Do đó, ta có thể nghe thấy tiếng ồn va chạm từ rất xa, có khi đến vài trăm mét.

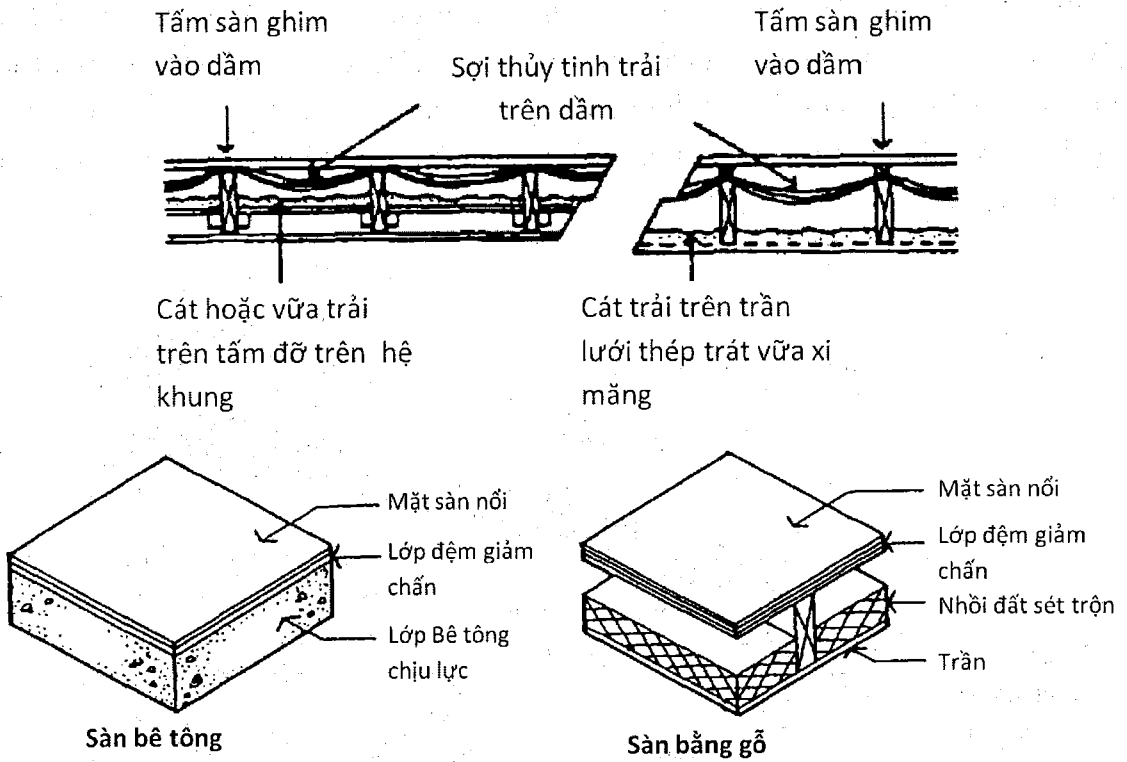


**Hình 7.29.** Giải pháp cách âm va chạm kết hợp chống nóng cho mái nhà lợp bằng tấm kim loại - phỏng theo Barry (1993)

Do những tính chất trên, việc chống tiếng ồn va chạm bằng cách tăng khối lượng của kết cấu (như định luật khối lượng áp dụng trong cách âm lan truyền trong không khí) không làm tăng đáng kể khả năng cách âm của kết cấu. Trên cơ sở đó, cần tổ chức cách âm dựa trên 2 nguyên tắc cơ bản sau:

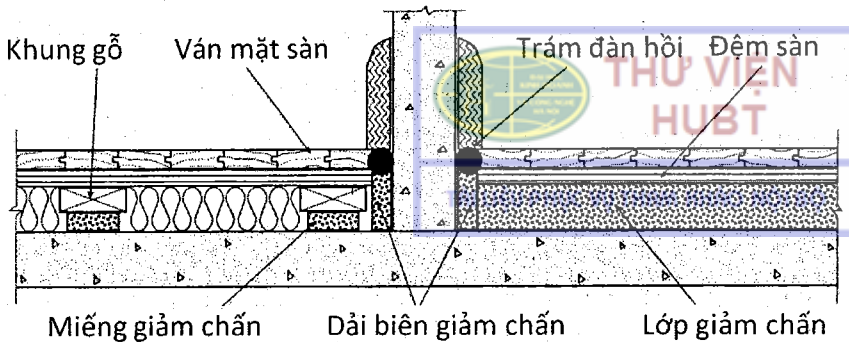
- Làm gián đoạn đường truyền âm trong kết cấu hoặc làm giảm năng lượng âm trên đường truyền;
- Làm giảm hoặc triệt tiêu tiếng ồn va chạm ngay tại chỗ.

Hình 7.29 và Hình 7.30 giới thiệu một vài giải pháp cách âm va chạm cho sàn, mái nhà. Khả năng cách âm của sàn nhà cũng tăng lên đáng kể nếu phía dưới sàn được đóng trần có lớp vật liệu hút âm bên trên.



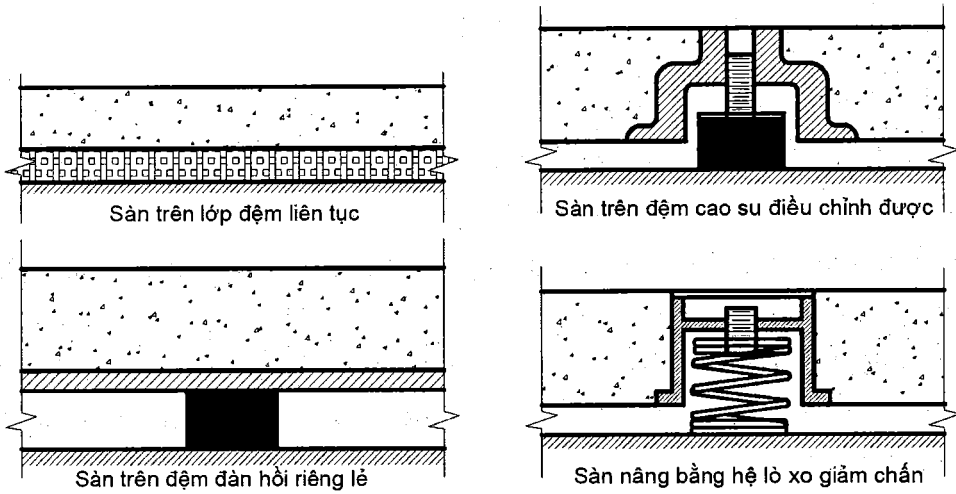
**Hình 7.30.** Một số giải pháp cách âm cho sàn gỗ, bê tông - phỏng theo Barry (1993)

Thực tế cũng cho thấy sàn bê tông toàn khối và sàn rỗng, nếu chỉ có lớp chịu lực với lớp mặt làm sạch thì không đủ để ngăn cách tiếng ồn và chạm. Do đó, loại sàn này nên được xử lý phủ một lớp đệm đàn hồi trên mặt sàn. Lớp đệm đàn hồi này giúp tăng đáng kể khả năng cách âm và chạm tần số cao. Đối với sàn nhà, giải pháp cách âm hiệu quả nhất là làm lớp sàn nổi trên bản cứng chịu lực. Lớp sàn nổi này cách ly hoàn toàn với sàn và tường biên bằng các lớp đệm đàn hồi (xem Hình 7.31).



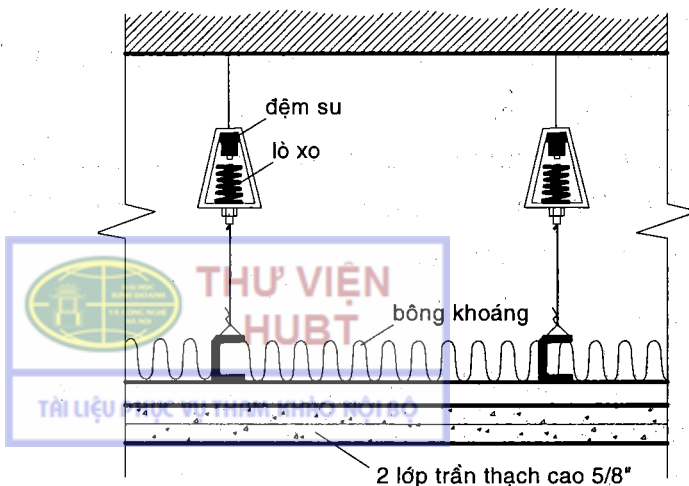
**Hình 7.31.** Cấu tạo sàn nổi cách âm và chạm - phỏng theo Warnock (1999)

Đối với sàn nhà, việc tăng khả năng cách âm bằng cách tăng độ cứng và mật độ diện tích của kết cấu sàn cũng làm giảm khả năng lan truyền âm, nhưng không hiệu quả cao do tốn kém. Một số giải pháp làm sàn nổi như trình bày trong Hình 7.32 sẽ giúp cải thiện đáng kể khả năng cách âm và chạm: sử dụng lớp lót đàn hồi, các gối đỡ bằng cao su tổng hợp hay lò xo.



**Hình 7.32.** Bốn cách để làm sàn nổi giúp tăng khả năng cách âm và chạm đối với sàn, đáp ứng hầu hết các yêu cầu cách âm - phòng theo Ballou (2013)

Đóng trần giúp hạn chế tiếng ồn từ trên mái nhà xuống cũng như những tiếng động trong sinh hoạt ở tầng trên phát xuống tầng dưới. Đối với trần nhà, giải pháp cách âm thông dụng là sử dụng trần treo có lò xo giảm rung chấn (xem Hình 7.33).



**Hình 7.33.** Giải pháp cách âm và chạm cho trần treo - phòng theo Ballou (2013)

Cuối cùng, có thể trồng thêm cây xanh xung quanh nhà. Cây to như bức tường giúp “ngăn” tiếng ồn xâm nhập đáng kể. Bên cạnh đó, đối với ban công và hành lang, có thể sử dụng những tiểu cảnh nhỏ với các thảm cỏ xanh mát vừa giúp môi trường sống gần gũi với thiên nhiên, vừa giúp hấp thụ lượng lớn âm thanh trước khi “truyền” vào nhà.

#### 7.4. CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG 7

##### Câu hỏi trọng tâm:

1. Phân loại tiếng ồn trong môi trường xây dựng theo cả 3 cách: theo vị trí, theo thời gian trong ngày và theo phương thức lan truyền.
2. Thế nào là tiếng ồn thay đổi? Mô tả ít nhất một cách đo đạc hay đánh giá định lượng tiếng ồn thay đổi.
3. Nêu các thành phần (hay nguyên nhân) làm suy giảm tiếng ồn khi lan truyền trong không gian đô thị, từ đó viết công thức tổng quát tính mức ồn tại 1 điểm cách nguồn  $r$  mét.
4. Nêu nguyên tắc phân vùng trong quy hoạch chung đô thị để chống ồn.
5. Nêu những giải pháp cơ bản trong quy hoạch chi tiết nhằm hạn chế lan truyền tiếng ồn trong đô thị.
6. Nêu nguyên tắc cách âm va chạm trong công trình. Vẽ hình minh họa một cấu tạo cách âm va chạm cho sàn nhà.
7. Đại lượng nào được dùng để đo lường khả năng cách âm va chạm của kết cấu?
8. Hãy phát biểu định luật khối lượng của Berger dùng trong tính toán cách âm lan truyền qua không khí.
9. Việc chống tiếng ồn va chạm bằng cách tăng khối lượng của kết cấu có làm tăng đáng kể hiệu quả cách âm hay không, tại sao? Cách âm va chạm cần tổ chức cách âm dựa trên nguyên tắc cơ bản nào?

##### Bài tập ôn:

**Bài tập 1:** Tính mức âm tương đương ngày và đêm biết kết quả đo tiếng ồn từng giờ trong ngày như sau:

- Từ 1 giờ đến 7 giờ: 45 dB;
- Từ 8 giờ đến 16 giờ: 65 dB;

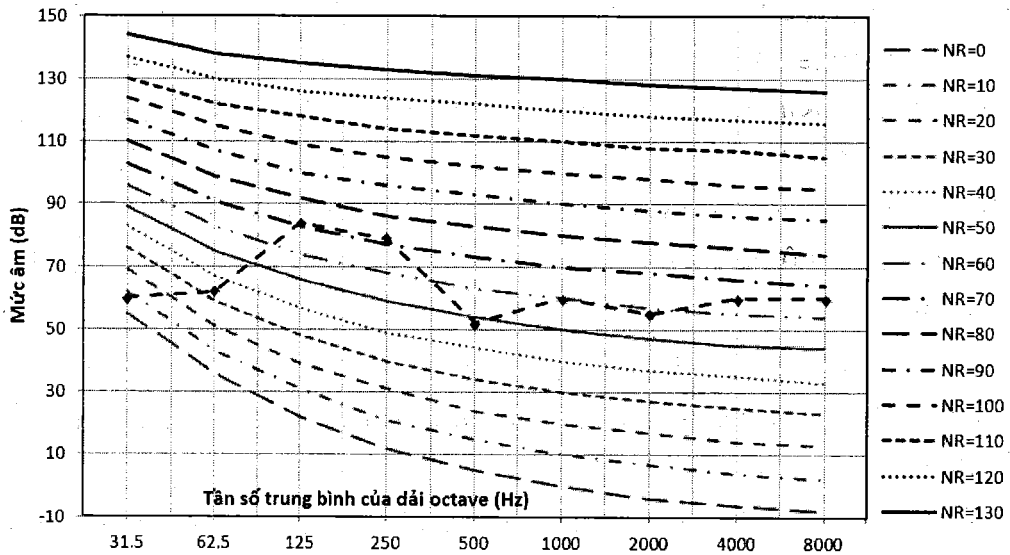
- Từ 17 giờ đến 21 giờ: 60 dB;

- Từ 22 giờ đến 24 giờ: 57 dB.

*Gợi ý:* Chú ý mức âm ban đêm (từ 22 giờ đến 7 giờ sáng hôm sau) cần được cộng thêm 10 dB vào kết quả đo. Kết quả mức âm tương đương ngày và đêm là:

$$L_{dn} = (45 + 10) \times 7 + 65 \times 9 + 60 \times 5 + (57 + 10) \times 3 = 61.3 \text{ dB.}$$

**Bài tập 2:** Biểu đồ sau thể hiện tiêu chuẩn gì? Đường nét đứt thể hiện điều gì của tiếng ồn? Đường nét đứt có giá trị NR bằng bao nhiêu? Giải thích.



*Gợi ý:* Giá trị NR của nét đứt là 91 (so sánh với họ đường cong NR tại vị trí cao nhất của tiếng ồn)

**Bài tập 3:** Tính mức âm tương đương của một tiếng ồn biết do tiếng ồn đó 5 lần liên tiếp cách khoảng thời gian đều nhau được các kết quả đo như sau: 50, 60, 60, 50, 70 dBA.

*Gợi ý:* Mức âm tương đương có thể tính theo công thức:

$$L_{A(eq)} = 10 \lg \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{Ai}/10} \right]$$

$$L_{A(eq)} = 10 \lg \left[ \frac{1}{5} (10^{50/10} + 10^{60/10} + 10^{60/10} + 10^{50/10} + 10^{70/10}) \right]$$

$$L_{A(eq)} = 10 \lg \left[ \frac{1}{5} (10^5 + 10^6 + 10^6 + 10^5 + 10^7) \right] = 63.9 \text{ dBA}$$

**Bài tập 4:** Có một rừng cây có bề rộng là 60 m, với độ rậm của tán cây được đo bằng đại lượng “tâm nhìn”  $\nu$  là 35 m. Tính độ suy giảm tiếng ồn qua rừng cây này.

Gợi ý: Ta có mức giảm tiếng ồn mỗi 20 m của rừng cây là:

$$\Delta L_{cx/20m} = -1.93 \ln \nu + 8.98 = -1.93 \ln 35 + 8.98 = 2.1 \text{ dBA}$$

Vậy độ suy giảm tiếng ồn qua rừng cây rộng 60 m là 6.3 dBA.



## TÀI LIỆU THAM KHẢO CHƯƠNG 7

1. Ballou G., 2013. Handbook for sound engineers. Oxfordshire: Taylor & Francis.
2. Barry R., 1993. The construction of buildings (all volumes). 4th ed. Tokyo: Blackwell science.
3. Beranek L. L., 1957. Revised criteria for noise in buildings. Noise Control, Volume 3, pp. 19-27.
4. Beranek L. L., Blazier W. E. & Figwer J. J., 1971. Preferred noise criterion (PNC) curves and their application to rooms. The Journal of the Acoustical Society of America, 50(5A), pp. 1223-1228.
5. Berger R., 1911. Uber die Schalldurchlassigkeit. Munchen: TH Munchen.
6. Berglund B., Lindvall T., Schwela D. & Goh K. T., 1999. World Health Organization: Guidelines for Community Noise, Geneva: World Health Organization.
7. Can A., Leclercq L., Lelong J. & Botteldooren D., 2010. Traffic noise spectrum analysis: Dynamic modeling vs. experimental observations. Applied Acoustics, 71(8), pp. 764-770.
8. Cavanaugh W. J., Tocci G. C. & Wilkes J. A., 2009. Architectural acoustics: principles and practice. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons Incorporated, pp. 1-54.
9. Engineering ToolBox, 2003. Propagation of Outdoor Sound - Partial Barriers. [online] Available at: [https://www.engineeringtoolbox.com/outdoor-sound-partial-barriers-d\\_65.html](https://www.engineeringtoolbox.com/outdoor-sound-partial-barriers-d_65.html) [Accessed 10/3/2016].
10. European Environment Agency, 2014. Report Noise in Europe 2014, No 10/2014, EEA.
11. Evers F. W. R., 1980. Noise zoning around airports in the Netherlands. Journal of Sound and Vibration, 68(2), pp. 281-294.

12. Fang C. F. & Ling D. L., 2003. Investigation of the noise reduction provided by tree belts. *Landscape and Urban Planning*, 63(4), pp. 187-195.
13. Franssen E. A., van Wiechen C. M., Nagelkerke N. J. & Lebet E., 2004. Aircraft noise around a large international airport and its impact on general health and medication use. *Occup Environ Med*, 61(5), p. 405-413.
14. Gösele K. & Schröder E., 2013. *Sound Insulation in Buildings*. Berlin, Springer, pp. 137-164.
15. Hammad A. W., Akbarnezhad A. & Rey D., 2017. Sustainable urban facility location: Minimising noise pollution and network congestion. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Volume 107, pp. 38-59.
16. Hong Kong Environmental protection department, 2013. *Noise management*. [Online] Available at: <http://www.epd.gov.hk>, [Accessed 3 10 2013].
17. ISO, 1996. ISO 9613 - 1996: Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors. Geneva: ISO.
18. Kurze U. J. & Anderson G. S., 1971. Sound attenuation by barriers.. *Applied Acoustics*, Volume 4, pp. 35-53.
19. Lercher P., Hörtnagl J. & Kofler W. W., 1993. Work noise annoyance and blood pressure: combined effects with stressful working conditions. *Int Arch Occup Environ Health*, 65(1), p. 23-28.
20. MacDonald J., Wayson R., Ei-Aassar A. & Berrios M., 2004. Sound Levels and Shadow Zones Behind Barriers in Florida. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1880(1), pp. 158-164.
21. Maschke C. & Widmann U., 2013. *The Effects of Sound on Humans*. Berlin, Springer, pp. 69-86.
22. Nguyễn Ngọc Giả, 2011. *Cơ sở âm học kiến trúc - Thiết kế chất lượng âm*. Hà Nội: Nhà xuất bản Xây dựng.
23. Office of Noise Abatement and Control, 1978. *Noise: A Health Problem*, Washington, DC: United States Environmental Protection Agency.
24. Passchier-Vermeer W. & Passchier W., 2000. Noise exposure and public health. *Environment Health Perspectives*, 108(1), p. 123-131.

25. Phạm Đức Nguyên, 2011. Âm học kiến trúc, âm học đô thị. Hà Nội: Nhà xuất bản Xây dựng.
26. Sharp B. H., 1978. Prediction methods for the sound transmission of building elements. Noise Control Engineering, 11(2), pp. 53-63.
27. US Department of Housing and Urban development, 2009. The Noise Guidebook (Chapter 4: Noise attenuation) (3<sup>rd</sup> edition). Washington, DC: US Department of Housing and Urban development.
28. Warnock A. C. C., 1999. Controlling the transmission of impact sound through floors. Ottawa: Institute for Research in Construction.
29. WHO Regional Office for Europe, 2000. Noise and health. Copenhagen: World Health Organization.
30. WHO Regional Office for Europe, 2009. Night noise guidelines for Europe. Copenhagen: World Health Organization.



# PHỤ LỤC

Phụ lục **A**

## ĐẶC TÍNH ÂM HỌC CỦA MỘT SỐ VẬT LIỆU VÀ KẾT CẤU

### PHẦN 1: HỆ SỐ HÚT ÂM CỦA VẬT LIỆU VÀ KẾT CẤU (TRÍCH TỪ TÀI LIỆU (PHẠM, 2011))

TT	Tên vật liệu và kết cấu	Hệ số hút âm ở các tần số trung bình của dải 1 octave, Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
<b>A. Các vật liệu và kết cấu xây dựng thông thường</b>							
1	Tường gạch không trát vữa	0.02	0.02	0.03	0.04	0.07	0.07
2	Tường gạch trát vữa	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
3	Tường gạch trát vữa và quét sơn	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
4	Bê tông	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04
5	Đá hoa cương	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
6	Vữa vôi trên lưới sắt	0.04	0.05	0.06	0.08	0.04	0.06
7	Sàn ván gỗ	0.01	0.01	0.01	0.08	0.08	0.09
8	Sàn packe	0.04	0.04	0.06	0.07	0.07	0.07
9	Cao su 5 mm trải trên nền cứng	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04
10	Thảm len trên bê tông	0.08	0.08	0.20	0.26	0.27	0.37
11	Rèm che cửa bằng vải bông nặng 0.5 kg/m <sup>2</sup>	0.04	0.07	0.13	0.22	0.33	0.35
12	Vải bông 0.36 kg/m <sup>2</sup>	0.03	0.04	0.11	0.17	0.24	0.35
13	Vải nhung 0.65 kg/m <sup>2</sup>	0.05	0.12	0.35	0.45	0.38	0.36

TT	Tên vật liệu và kết cấu	Hệ số hút âm ở các tần số trung bình của dải 1 octave, Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
14	Nt, cách tường 10 cm	0.06	0.27	0.44	0.50	0.40	0.35
15	Nt, cách tường 20 cm	0.08	0.29	0.44	0.50	0.40	0.35
16	Cửa sổ kích thước thông thường có kính dày 3 mm	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
<b>B. Người, ghế (lượng hút âm tương đương)</b>							
17	Người ngồi ghế	0.25	0.30	0.40	0.45	0.45	0.40
18	Nhạc công (với nhạc cụ)	0.28	0.40	0.45	0.49	0.47	0.45
19	Ghế mềm (chỗ ngồi và lưng ghế bọc vải, trong có vật liệu xốp)	0.15	0.20	0.25	0.30	0.30	0.30
20	Ghế nửa mềm	0.08	0.10	0.15	0.15	0.15	0.20
21	Ghế cứng	0.20	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
22	Ghế bọc da nhân tạo	0.05	0.09	0.12	0.13	0.15	0.16
23	Ghế có chỗ ngồi và lưng ghế bằng gỗ dán	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05
<b>C. Các lỗ, khe v.v</b>							
24	Cửa sổ mở hoặc lỗ thông ra ngoài trời	1	1	1	1	1	1
25	Cửa đi mở sang phòng bên cạnh	0.5	0.05	0.5	0.05	0.5	0.5
26	Miệng thông gió	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
27	Miệng sân khấu, miệng hố nhạc...	0.2-0.3	0.2-0.3	0.3-0.4	0.3-0.4	0.3-0.4	0.3-0.4
28	Màn ảnh	0.10	0.10	0.30	0.30	0.30	0.30
<b>D. Vật liệu hút âm xốp</b>							
29	Tấm fibrolite (vỏ bảo ép với xi măng) $\gamma = 300 - 450 \text{ kg/m}^3$ , dày 35mm đóng sát tường	0.06	0.16	0.25	0.38	0.59	0.63
30	Nt, cách tường 100 m	0.08	0.27	0.46	0.35	0.54	0.60
31	Nt, cách tường 150 m	0.13	0.42	0.53	0.35	0.53	0.63
32	Tấm bằng bông khoáng (có tấm chất liên kết) $\gamma = 100 \text{ kg/m}^3$ dày 100 m đặt sát tường	0.43	0.98	0.99	0.99	0.95	0.87

TT	Tên vật liệu và kết cấu	Hệ số hút âm ở các tần số trung bình của dải 1 octave, Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
33	Nt, bọc trong bao polietilen	0.66	0.76	0.35	0.14	0.07	0.10
34	Bông thủy tinh có $\gamma = 75 - 85 \text{ kg/m}^3$ bọc trong vải thủy tinh, dày 50 mm đặt sát tường	0.03	0.12	0.47	0.75	0.84	0.84
35	Nt, cách tường 50 mm	0.08	0.26	0.64	0.89	0.75	0.78
36	Bông khoáng có $\gamma = 100 \text{ kg/m}^3$ bọc trong lưới sắt dày 50 mm đặt sát tường	0.17	0.59	0.99	0.98	0.96	0.87
37	Tấm hút bằng bông khoáng tấm chất kết dính tổng hợp $500 \times 500 \times 20 \text{ mm}$ , $\gamma = 130 \text{ kg/m}^3$ , mặt ngoài sơn một lớp mỏng, đặt sát tường	0.05	0.59	0.52	0.53	0.25	0.11
38	Nt, cách tường 50 mm	0.18	0.60	0.52	0.55	0.25	0.13
39	Nt, cách tường 100 mm	0.34	0.62	0.52	0.52	0.26	0.15
40	Nt, bề mặt đục lỗ $d = 4 \text{ mm}$ , $D = 14 \text{ mm}$ , $K = 49\%$ , sâu 5 mm, đặt sát tường	0.01	0.17	0.68	0.98	0.86	0.45
41	Nt, cách tường 50 mm	0.05	0.42	0.98	0.90	0.80	0.45
42	Nt, cách tường 100 mm	0.20	0.50	0.98	0.85	0.80	0.45
43	Tấm bông khoáng ép Excel - Tone (hãng Daiken, Nhật Bản) dày 16mm	0.54	0.42	0.43	0.54	0.70	0.90
44	Nt, dày 19 mm	0.54	0.44	0.45	0.57	0.75	0.91
45	Tấm bông khoáng New - Tome (Nhật Bản) dày 16 mm	0.40	0.35	0.40	0.52	0.65	0.80
46	Tấm bông khoáng Dai - Lotone (Nhật Bản) dày 15 mm	0.31	0.28	0.41	0.64	0.80	0.97
47	Nt, dày 19 mm	0.28	0.35	0.55	0.65	0.77	0.95
48	Tấm sợi amiang và vật liệu tự do chế từ Calci - Silicat/ Daiken lux securate dày 6 mm khi có lớp không khí 57 mm	0.05	0.05	0.21	0.24	0.08	0.09

TT	Tên vật liệu và kết cấu	Hệ số hút âm ở các tần số trung bình của dải 1 octave, Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
49	Nt, lớp không khí 30 mm	0.21	0.25	0.13	0.16	0.16	0.14
50	Nt, loại có mặt vải phía sau, lớp kk 30 mm	0.27	0.29	0.16	0.19	0.17	0.15
<b>E. Tấm đục lỗ có vật liệu xốp phía sau</b>							
51	Gỗ dán 46 mm đục lỗ $d = 5$ mm, $D = 100$ mm. $K = 0.2\%$ , có vật liệu xốp 50 mm	0.37	0.68	0.31	0.15	0.10	0.09
52	Nt, không có vật liệu xốp, lớp không khí 50 mm	0.06	0.42	0.20	0.07	0.07	0.06
53	Nt, có vật liệu xốp 100 mm	0.77	0.64	0.30	0.15	0.15	0.10
54	Nt, vật liệu xốp 100 mm, không khí 100 mm	0.80	0.52	0.27	0.14	0.12	0.10
55	Gỗ dán 4 - 6 mm đục lỗ $d = 5$ mm, $D = 65$ mm. $K = 0.7\%$ vật liệu xốp 50 mm, sát tường	0.26	0.88	0.38	0.20	0.12	0.10
56	Nt, cách tường 50 mm	0.43	0.69	0.33	0.17	0.10	0.10
57	Gỗ dán 4 - 6 mm đục lỗ $d = 5$ mm, $D = 65$ mm. $K = 0.47\%$ vật liệu xốp 50 mm, sát tường	0.51	0.60	0.33	0.15	0.10	0.10
58	Nt, vật liệu xốp 100 mm, cách tường 50 mm	0.61	0.68	0.37	0.20	0.17	0.10
59	Nt, cách tường 100 mm	0.86	0.68	0.39	0.17	0.13	0.10
60	Nt, không có vật liệu xốp, cách tường 100 mm	0.11	0.37	0.18	0.12	0.07	0.05
61	Gỗ dán 4 - 6 mm đục lỗ $d = 10$ mm, $D = 50$ mm. $K = 3.1\%$ vật liệu xốp 50mm, cách tường 50 mm	0.29	0.88	0.72	0.32	0.26	0.25
62	Nt, cách tường 100 mm	0.55	0.82	0.49	0.34	0.29	0.25
63	Nt, vật liệu xốp 100 mm, sát tường	0.76	0.97	0.67	0.36	0.25	0.18
64	Nt, cách tường 100 mm	0.90	0.97	0.68	0.35	0.28	0.20

TT	Tên vật liệu và kết cấu	Hệ số hút âm ở các tần số trung bình của dải 1 octave, Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
65	Gỗ dán 4 - 6 mm đục lỗ d = 5 mm, D = 35 mm. K = 1.6% (không có vật liệu xốp )	0.02	0.09	0.36	0.17	0.19	0.13
66	Nt, d = 7 mm, D = 30 mm, K = 4.3% cách tường 50 mm	0.05	0.08	0.23	0.29	0.12	0.09
67	Nt, d = 6 mm, D = 30 mm, K = 4.5% cách tường 50 mm	0.08	0.08	0.21	0.08	0.16	0.20
67A	Tấm nhựa đục lỗ $\phi$ 5, a = 65 (0.47%)						
	- Bông thủy tinh 50	0.18	0.78	0.44	0.20	0.05	-
	- Bông thủy tinh 100	0.58	0.74	0.45	0.28	0.02	-
67B	- Bông thủy tinh 50. không khí 50	0.23	0.71	0.39	0.22	0.05	-
	Tấm nhôm đục lỗ $\phi$ 5, a = 35						
	- Bông thủy tinh 50	0.20	0.69	0.89	0.49	0.19	0.04
	- Bông thủy tinh 100	0.43	0.95	0.87	0.58	0.20	0.04
68	Nt, cách tường 100 mm	0.07	0.17	0.45	0.25	.22	0.18
69	Nan gỗ rộng 35 mm, dày 10 mm, lớp bông khoáng 50 mm, khi khoảng cách các nan gỗ:						
	- 10 mm	0.16	0.66	0.98	0.89	0.59	0.39
	- 20 mm	0.16	0.63	0.98	0.88	0.70	0.64
	- 30 mm	0.16	0.59	0.98	0.95	0.74	0.64
70	Nan gỗ 30 x 40 mm cách 30 mm, phía sau có bông thủy tinh $\gamma = 15 \text{ kg/m}^3$ , dày 100 mm bọc trong vải thủy tinh	0.68	0.88	0.98	0.94	0.93	0.72
<b>F. Tấm cộng hưởng hút âm</b>							
71	Gỗ dán 4 - 6 mm, cách tường 50 mm	0.17	0.26	0.14	0.10	0.09	0.04
72	Nt, cách tường 100 mm	0.11	0.15	0.12	0.10	0.09	0.06
73	Nt, có lớp bông khoáng 50 mm, sát tường	0.55	0.39	0.15	0.12	0.11	0.10

TT	Tên vật liệu và kết cấu	Hệ số hút âm ở các tần số trung bình của dải 1 octave, Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
74	Gỗ dán 8 - 10 mm, cách tường 50 mm	0.13	0.28	0.17	0.10	0.04	0.09
75	Nt, cách tường 100 mm	0.34	0.15	0.09	0.10	0.04	0.10
76	Nt, cách tường 150 mm	0.35	0.16	0.10	0.08	0.04	0.10
77	Gỗ dán 8 - 10 mm, có lớp bông khoáng 50 mm đặt sát tường	0.44	0.45	0.22	0.12	0.04	0.10
78	Tấm sợi $\gamma = 600 \text{ kg/m}^3$ dày 20 mm đặt sát tường	0.01	0.09	0.09	0.08	0.09	0.14
79	- Nt, cách tường 50 mm	0.32	0.13	0.05	0.05	0.06	0.13
	- Nt, cách tường 100 mm	0.27	0.08	0.04	0.02	0.08	0.10
	- Nt, cách tường 150 mm	0.10	0.03	0.02	0.03	0.09	0.10
80	Nt, bông khoáng 50 mm, sát tường	0.32	0.14	0.07	0.04	0.08	0.11
81	Tấm xi măng amiang $\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3$ dày 8 mm đặt sát tường	0.03	0.03	0.09	0.08	0.08	0.13
82	Nt, cách tường 50 mm	0.15	0.19	0.12	0.06	0.06	0.03
	100 mm	0.32	0.21	0.16	0.09	0.07	0.03
	200 mm	0.24	0.14	0.08	0.08	0.06	0.05
83	Tấm vữa thạch cao $\gamma = 1200 \text{ kg/m}^3$ dày 10 mm,						
	- cách tường 50 mm	0.23	0.31	0.13	0.09	0.06	0.13
	- cách tường 100 mm	0.41	0.28	0.15	0.06	0.05	0.02
84	Nt, lớp bông khoáng dày						
	- 50 mm, sát tường	0.56	0.42	0.24	0.11	0.04	0.04
	- 100 mm, sát tường	0.65	0.34	0.23	0.17	0.17	0.11
85	Gỗ thông 19 mm	0.10	0.10	0.10	0.08	0.08	0.11
86	Vữa vôi trát phẳng trên sườn gỗ	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03
87	Vữa vôi trát xù trên sườn gỗ	0.03	0.05	0.06	0.09	0.04	0.06
88	Lớp trát cách tường 50 mm	0.30	0.25	0.15	0.08	0.05	0.05

**Kết cấu hút âm (Phạm, 2011)**

TT	Tên vật liệu và kết cấu	Hệ số hút âm ở các tần số trung bình của dải 1 octave, Hz							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
89	Tấm ép bằng bông khoáng $\gamma = 150 \text{ kg/m}^3$ dày 20 mm đặt sát trần	0.02	0.03	0.17	0.68	0.98	0.86	0.45	0.20
90	Nt, cách trần 50 mm	0.02	0.05	0.42	0.98	0.90	0.79	0.45	0.19
91	Tấm ép bằng bông khoáng $\gamma = 400 \text{ kg/m}^3$ dày 20 mm đặt sát trần	0.02	0.11	0.30	0.85	0.90	0.78	0.72	0.59
92	Nt, cách trần 50 mm	0.10	0.20	0.71	0.88	0.81	0.71	0.79	0.65
93	Nt, cách trần 200 mm	0.30	0.48	0.71	0.70	0.79	0.77	0.62	0.59
94	Tấm ép bằng bông thủy tinh cực mảnh bọc vải thủy tinh $\gamma = 150 \text{ kg/m}^3$ , dày 50 mm đặt sát tường	0.10	0.25	0.70	0.98	1	1	1	0.95
95	Tấm bằng bông khoáng $\gamma = 120 \text{ kg/m}^3$ dày 50 mm bọc vải thủy tinh, tấm kim loại dày 2.2 mm đục lỗ 33%, đường kính 3 mm, đặt sát trần	0.03	0.18	0.39	0.60	0.73	0.80	0.85	0.85
96	Nt, cách trần 100 mm	0.08	0.27	0.53	0.69	0.76	0.92	0.87	0.87
97	Tấm bằng bông khoáng $\gamma = 100 \text{ kg/m}^3$ dày 100 mm bọc vải thủy tinh, tấm kim loại dày 1.2 mm đục lỗ đường kính 6 mm, 46% đặt sát trần	0.05	0.32	0.76	1	0.95	0.90	0.98	0.95
98	Tấm bông sợi thủy tinh cực mảnh: $\gamma = 15 \text{ kg/m}^3$ , dày 100 mm bọc vải thủy tinh, tấm xm amiăng dày 4 mm đục lỗ đường kính 6 mm, 25% đặt sát tường	0.01	0.30	0.63	0.86	0.72	0.54	0.46	0.32
99	Nt, cách trần 250 mm	0.5	0.98	1	1	1	1	1	0.86
<b>H. Khối hút âm hình hộp (lượng hút âm tương đương)</b>									
100	Kích thước $400 \times 400 \text{ mm}$ , tấm kim loại 2mm đục lỗ đường kính 10 mm, 30% bông thủy tinh cực mảnh $15 \text{ kg/m}^3$ dày 60 mm bọc vải thủy tinh $b = 2500 \text{ mm}$ ; $h = 1250 \text{ mm}$ .	0.14	0.4	0.75	1.23	1.14	1.05	0.82	0.67
101	Nt, $b = 1500 \text{ mm}$ ; $h = 1250 \text{ mm}$	0.08	0.23	0.55	1.03	0.97	0.86	0.75	0.60

TT	Tên vật liệu và kết cấu	Hệ số hút âm ở các tần số trung bình của dải 1 octave, Hz							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
102	Kích thước 500 × 500 mm gỗ dán 4 mm đục lỗ 25% đường kính 10 mm, tấm bông khoáng 100 kg/m <sup>3</sup> dày 100 mm bọc vải (tấm chất chống cháy) b = 250; h = 1250 mm	-	0.7	1.2	1.98	1.79	1.59	1.63	1.4
103	Nt, b = 1250 mm, h = 1250 mm h - khoảng cách từ mặt nền đến giữa khối hút âm b - khoảng cách giữa hai khối hút âm	-	0.81	1	1.70	1.72	1.39	1.58	1.20
104	Tấm thạch cao (500 – 1000 × 5000) dày 10; 900 kg/m <sup>3</sup> đục lỗ φ10 bước 24 (12%) Dán vải thô phía sau: - Khe không khí 50 - Khe không khí 100 - Bông thủy tinh 50 - Bông thủy tinh 100 Không dán vải thô: - Khe không khí 50 - Khe không khí 100 - Bông thủy tinh 50 - Bông thủy tinh 100		0.05	0.15	0.6	0.64	0.31	0.24	
			0.28	0.69	0.94	0.76	0.51	0.43	
			0.62	0.88	0.88	0.67	0.57	0.43	
			-	-	0.04	0.17	0.08	0.03	
			0.02	0.05	0.15	0.10	0.08	0.03	
			0.23	0.47	0.98	0.73	0.44	0.41	
			0.50	0.53	0.95	0.77	0.56	0.38	
105	Tấm thạch cao có sườn cứng dày 30 (810 × 810) đục lỗ φ 4.5/ lỗ ( 16%). Sau lỗ có 2 lớp giấy - Sắt tường - Khe không khí 50 - Khe không khí 100 Sau kết cấu có lá kim loại - Bông thủy tinh 50 - Bông thủy tinh 100		0.03	0.13	0.43	0.87	0.55	0.38	
			0.15	0.42	0.39	0.75	0.67	0.41	
			0.22	0.63	0.87	0.68	0.67	0.45	
			0.33	0.72	0.99	0.76	0.49	0.32	
			0.67	0.80	0.98	0.77	0.57	0.33	

## PHẦN 2: THÔNG SỐ ÂM HỌC CỦA VẬT LIỆU VÀ KẾT CẤU (TRÍCH TỪ TÀI LIỆU (VORLÄNDER, 2008))

Các thông số cơ bản của vật liệu âm học là trở kháng âm, độ hút âm, tán âm và hình dạng bề mặt. Để tính toán thêm chi tiết, cần phải có những thông tin khác như trở kháng âm phụ thuộc góc tới của tia âm, độ rỗ, độ rung, vv. Những dữ liệu vật liệu này bao gồm tất cả các thông tin cần thiết để tính toán trường âm phản xạ và xuyên qua vật liệu. Để dự đoán cách âm, cần phải có chỉ số giảm âm hoặc các dữ liệu truyền âm chuẩn khác.

Hầu hết các dữ liệu trong các bảng dưới đây được trích ra từ cơ sở dữ liệu hệ số hút âm được sử dụng rộng rãi và gần đây nhất. Cơ sở dữ liệu được phát triển bởi Ingolf Bork trong “round robin”<sup>1</sup> về mô phỏng máy tính âm thanh thính phòng<sup>2</sup>. Các dữ liệu khác thu thập được từ dữ liệu sản phẩm của các nhà sản xuất vật liệu.

Các phương pháp tham chiếu được sử dụng để xác định các dữ liệu này là các phương pháp tiêu chuẩn hóa để kiểm tra vật liệu, ISO354 cho các hệ số hút âm, ISO17497, phần 1 cho các hệ số tán âm và ISO140 cho các hệ số cách âm. Tất cả các tiêu chuẩn mô tả phương pháp đo lường thu được trong phòng vang. Để biết thêm chi tiết, xem Bork (2005b)<sup>3</sup> và các tiêu chuẩn ISO nói trên.

Những dữ liệu này được áp dụng cho các mô hình mô phỏng theo nguyên lý âm hình học hoặc các mô hình năng lượng âm khác như dò tia, ảnh nguồn. Chúng không có độ chính xác và thông tin cần thiết cho các mô hình số dựa trên lý thuyết sóng.

### Hệ số hút âm ứng với tia tới ngẫu nhiên từ nhiều hướng, $\alpha$

Trừ khi được chỉ định rõ, những thông số trong bảng sau là hệ số hút âm với tia tới ngẫu nhiên từ các hướng,  $\alpha_s$ .

Vật liệu	Hệ số hút âm ở các tần số trung bình của dải 1 octave, Hz						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>Khối xây và các bề mặt cứng</b>							
Tường, bề mặt cứng nói chung (tường gạch, vữa trát, nền cứng ...)	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05
Tường xây gạch, trát vữa	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04
Bê tông thô	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07	0.07

<sup>1</sup> Một cuộc thi giữa các đối tượng để xem cái nào tốt hơn hay chính xác hơn

<sup>2</sup> <http://www.ptb.de/en/org/1/17/173/roundrobin.htm>

<sup>3</sup> Bork, I. (2005b) Report on the 3rd round robin on room acoustical computer simulation, Part II: Calculations. Acta Acustica united with Acustica 91, 753

Vật liệu	Hệ số hút âm ở các tần số trung bình của dải 1 octave, Hz						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Bê tông phẳng chưa sơn	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05
Bề mặt vôi nhám	0.02	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03	0.02
Gạch xây để trần lộ mạch vữa, sơn	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Gạch phẳng xây trần mạch vữa sâu 10 mm, vữa xi măng	0.08	0.09	0.12	0.16	0.22	0.24	0.24
Tường gạch, trát vữa hoàn thiện thô	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.07
Gạch lát nền với bề mặt phẳng nhẵn	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Tường đá vôi	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05
Tường trong phòng vang	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.04
Sàn bê tông	0.01	0.03	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02
Sàn đá hoa cương	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
<b>Xây nhẹ và ốp</b>							
Tấm vữa trên khung thép 2 * 13 mm, tấm bông 50 mm trong khoảng trống, sơn bề mặt	0.15	0.10	0.06	0.04	0.04	0.05	0.05
Lót hoặc ốp bằng gỗ, dày 12 mm cố định trên khung	0.27	0.23	0.22	0.15	0.10	0.07	0.06
<b>Kính các loại</b>							
Kính đơn, 3 mm	0.08	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
Cửa sổ kính, 0.68 kg/m <sup>2</sup>	0.1	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
Kính có nẹp chì (ví dụ: tranh kính màu)	0.3	0.2	0.14	0.1	0.05	0.05	-
Kính đôi, dày 2 - 3 mm, khoảng cách > 30 mm	0.15	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
Kính đôi, dày 2 - 3 mm, khoảng cách 10 mm	0.1	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02
Kính đôi, kính nẹp chì lớp trong	0.15	0.3	0.18	0.1	0.05	0.05	-
<b>Gỗ</b>							
Gỗ dày 1.6 cm, trên khung gỗ 4 cm	0.18	0.12	0.1	0.09	0.08	0.07	0.07
Ván ép dạng tấm mỏng	0.42	0.21	0.1	0.08	0.06	0.06	-
Sàn gỗ khán phòng 2 lớp trải trên lớp đệm trên mặt bê tông	0.09	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	-
Sàn gỗ sân khấu 2 lớp dày 27 mm trên khoảng trống không khí	0.1	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	-
Cửa gỗ nguyên tấm	0.14	0.1	0.06	0.08	0.1	0.1	0.1

Vật liệu	Hệ số hút âm ở các tần số trung bình của dải 1 octave, Hz						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>Hoàn thiện sàn</b>							
Tấm linoleum, nhựa đường, cao su, hoặc tấm bản trên bê tông	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	-
Thảm bằng vải	0.07	0.31	0.49	0.81	0.66	0.54	0.48
Thảm bông cuộn 1.4 kg/m <sup>2</sup> , chiều dài sợi 9.5 mm, đặt trên tấm nền 3.0 kg/m <sup>2</sup>	0.1	0.4	0.62	0.7	0.63	0.88	-
Thảm mỏng, dán vào bê tông	0.02	0.04	0.08	0.2	0.35	0.4	-
Thảm cọc dày 6mm gắn với lớp phủ bột bong bóng bên dưới	0.03	0.09	0.25	0.31	0.33	0.44	0.44
Thảm cọc dày 6mm gắn với lớp phủ bột rỗng bên dưới	0.03	0.09	0.2	0.54	0.7	0.72	0.72
Thảm cọc dày trên lớp bông ép mỏng	0.08	0.08	0.3	0.6	0.75	0.8	0.8
Thảm dạng kim châm 5 mm trên nền bê tông	0.02	0.02	0.05	0.15	0.3	0.4	0.4
Thảm mềm 10 mm trên bê tông	0.09	0.08	0.21	0.26	0.27	0.37	-
Thảm tóc trên tấm bông ép 3 mm	0.11	0.14	0.37	0.43	0.27	0.25	0.25
Thảm su 5 mm trên bê tông	0.04	0.04	0.08	0.12	0.1	0.1	-
Thảm 1.35 kg/m <sup>2</sup> , trên tấm bông ép hoặc trên tấm bột cao su	0.08	0.24	0.57	0.69	0.71	0.73	-
Sợi cuộn sợi dừa, dày 29 mm (chưa kéo), mặt sau phủ giấy, 2.2 kg/m <sup>2</sup>	0.1	0.13	0.22	0.35	0.47	0.57	-
<b>Rèm vải</b>							
Rèm bông (0.5 kg/m <sup>2</sup> ) phủ lên khoảng 3/4 diện tích, cách tường 130 mm	0.3	0.45	0.65	0.56	0.59	0.71	0.71
Rèm (0.2 kg/m <sup>2</sup> ) treo 90 mm cách tường	0.05	0.06	0.39	0.63	0.7	0.73	0.73
Vải cotton (0.33 kg/m <sup>2</sup> ) gấp lại khoảng 7/8 diện tích	0.03	0.12	0.15	0.27	0.37	0.42	-
Rèm cửa sổ dày đặc cách tường 90 mm	0.06	0.1	0.38	0.63	0.7	0.73	-
Mành lá dọc, cách tường 15 cm, mở một nửa (45°)	0.03	0.09	0.24	0.46	0.79	0.76	-
Mành lá dọc, cách tường 15 cm, mở hoàn toàn (90°)	0.03	0.06	0.13	0.28	0.49	0.56	-

Vật liệu	Hệ số hút âm ở các tần số trung bình của dải 1 octave, Hz						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Rèm nhung xếp khít	0.05	0.12	0.35	0.45	0.38	0.36	0.36
Rèm vải, cách tường 15 cm	0.1	0.38	0.63	0.52	0.55	0.65	-
Rèm vải, gấp nếp, cách tường 15 cm	0.12	0.6	0.98	1.0	1.0	1.0	1.0
Rèm bằng tấm thảm thủy tinh đan gọn, cách tường 50mm	0.03	0.03	0.15	0.4	0.5	0.5	0.5
Rèm Studio, cách tường 22 cm	0.36	0.26	0.51	0.45	0.62	0.76	-
<b>Chỗ ngồi (2 chỗ/m<sup>2</sup>)</b>							
Ghế bằng gỗ không đệm	0.05	0.08	0.1	0.12	0.12	0.12	-
Ghế nhựa không người	0.06	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2
Ghế phòng hòa nhạc bọc nệm vừa phải, không người	0.49	0.66	0.8	0.88	0.82	0.7	-
Ghế bọc nệm dày, không người	0.7	0.76	0.81	0.84	0.84	0.81	-
Ghế nệm bọc vải, không người	0.44	0.6	0.77	0.89	0.82	0.7	0.7
Ghế nệm bọc da, không người	0.4	0.5	0.58	0.61	0.58	0.5	0.5
Ghế bọc nệm vừa phải, trống (0.90 m × 0.55 m)	0.44	0.56	0.67	0.74	0.83	0.87	-
<b>Khán giả (trừ khi chỉ định cụ thể, 2 người/m<sup>2</sup>)</b>							
Khu vực có khán giả, dàn nhạc hoặc dàn hợp xướng bao gồm lối đi hẹp	0.6	0.74	0.88	0.96	0.93	0.85	0.85
Khán giả trên ghế gỗ, 1 người/m <sup>2</sup>	0.16	0.24	0.56	0.69	0.81	0.78	0.78
Khán giả trên ghế gỗ, 2 người/m <sup>2</sup>	0.24	0.4	0.78	0.98	0.96	0.87	0.87
Dàn nhạc với nhạc cụ trên bục, 1.5 m <sup>2</sup> /người	0.27	0.53	0.67	0.93	0.87	0.8	0.8
Khu vực khán giả, 0.72 người/m <sup>2</sup>	0.1	0.21	0.41	0.65	0.75	0.71	-
Khu vực khán giả, 1.0 người/m <sup>2</sup>	0.16	0.29	0.55	0.8	0.92	0.9	-
Khu vực khán giả, 1.50 người/m <sup>2</sup>	0.22	0.38	0.71	0.95	0.99	0.99	-
Khu vực khán giả, 2.0 người/m <sup>2</sup>	0.26	0.46	0.87	0.99	0.99	0.99	-
Thính giả trên ghế bọc nệm vừa phải 0.85 m × 0.63 m	0.72	0.82	0.91	0.93	0.94	0.87	-
Thính giả trên ghế bọc nệm vừa phải 0.90 m × 0.55 m	0.55	0.86	0.83	0.87	0.9	0.87	-

Vật liệu	Hệ số hút âm ở các tần số trung bình của dải 1 octave, Hz						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>Tường hút âm</b>							
Tấm panel bọc vải, lõi bông khoáng (6 pounds/ft <sup>3</sup> )	0.46	0.93	1	1	1	1	1
Tấm panel bọc vải, lõi bông khoáng (8 pounds/ft <sup>3</sup> )	0.21	0.66	1	1	0.97	0.98	0.98
Gạch ốp mặt tiền, mối ghép hờ, kích thước gạch 230 × 50 × 55 mm	0.04	0.14	0.49	0.35	0.31	0.36	-
Thạch cao âm, xấp xỉ độ dày 25 mm, 3.5 kg/m <sup>2</sup> /cm	0.17	0.36	0.66	0.65	0.62	0.68	-
Bông khoáng dày = 50 mm, 80 kg/m <sup>3</sup>	0.22	0.6	0.92	0.9	0.88	0.88	0.88
Bông khoáng dày = 50 mm, 40 kg/m <sup>3</sup>	0.23	0.59	0.86	0.86	0.86	0.86	86
50 mm bông khoáng (40 kg/m <sup>3</sup> ), dán vào tường, bề mặt để trần	0.15	0.7	0.6	0.6	0.85	0.9	0.9
50 mm bông khoáng (70 kg/m <sup>3</sup> ) 300 mm cách mặt trước tường	0.7	0.45	0.65	0.6	0.75	0.65	0.65
Tấm thạch cao, lỗ thủng 19.6%, đường kính lỗ 15 mm, mặt sau lót vải thưa, cách tường 100 mm nhồi đầy bông khoáng 1.05 kg/m <sup>2</sup>	0.3	0.69	1	0.81	0.66	0.62	-
Ván ép ván ép, 50 mm, lỗ 1 mm, khoảng cách 3 mm, tỷ lệ bề mặt lỗ 9%, cách tường 150 mm chứa bông khoáng dày 30 mm	0.41	0.67	0.58	0.59	0.68	0.35	-
Sợi hút âm bằng sợi khoáng, dày 20 mm, 3.4 kg/m <sup>2</sup> , cách tường 50 mm	0.2	0.56	0.82	0.87	0.7	0.53	-
<b>Cấu trúc hút âm đặc biệt</b>							
Màng đục lỗ siêu nhỏ "Microsorber" (Kaefer)	0.06	0.28	0.7	0.68	0.74	0.53	-
Tấm kính đục lỗ siêu nhỏ, cách tường 5 mm	0.1	0.45	0.85	0.3	0.1	0.05	-
Tấm hút âm treo (dạng bột), dày 400 mm, khoảng cách 400 mm	0.25	0.45	0.8	0.9	0.85	0.8	-
Tấm hút âm treo (dạng bột), dày 400 mm, khoảng cách 700 mm	0.2	0.3	0.6	0.75	0.7	0.7	-

Vật liệu	Hệ số hút âm ở các tần số trung bình của dải 1 octave, Hz						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>Trần hút âm</b>							
Trần thạch cao trên khung gỗ với khoảng trống rộng lớn phía trên	0.2	0.15	0.1	0.08	0.04	0.02	-
Bông khoáng và tấm kim loại đục lỗ, thép mạ kẽm 0.5 mm, đường kính lỗ khoan 1.5 mm, khoang 200 mm chứa đầy bông khoáng 20 mm (20 kg/m <sup>3</sup> ), chống cháy	0.48	0.97	0.97	0.97	1	1	1
Tấm trần đục lỗ li ti	0.49	0.53	0.53	0.75	0.92	0.99	-
Tấm thạch cao đục lỗ 27 mm (16%), d = 4.5 mm, cách trần 300 mm	0.45	0.55	0.6	0.9	0.86	0.75	-
Tấm trần hình cái nêm (wedge-shaped) bằng bột melamine	0.12	0.33	0.83	0.97	0.98	0.95	-
Trần bằng tấm kim loại, mặt sau là tấm cách âm Sillan 20 mm, khổ rộng 85 mm, khoảng cách khoảng cách 15 mm, khoảng không khí 35 cm	0.59	0.8	0.82	0.65	0.27	0.23	-
<b>Vật liệu hút âm đặc biệt</b>							
<b>Diện tích hút âm tương đương, A, tính trên từng vật thể, m<sup>2</sup></b>							
Ghế đơn bằng gỗ	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04	-
Ghế đơn bọc nệm	0.1	0.2	0.25	0.3	0.35	0.35	-
Một người trong nhóm, ngồi hoặc đứng, 1 người/ 6 m <sup>2</sup> sàn; tối thiểu	0.05	0.1	0.2	0.35	0.5	0.65	-
Một người trong nhóm, ngồi, 1 người/ 6 m <sup>2</sup> sàn; tối đa	0.12	0.45	0.8	0.9	0.95	1	1.1
Một người trong nhóm, đứng, 1 người/ 6 m <sup>2</sup> sàn; tối đa	0.12	0.45	0.8	1.2	1.3	1.4	1.45

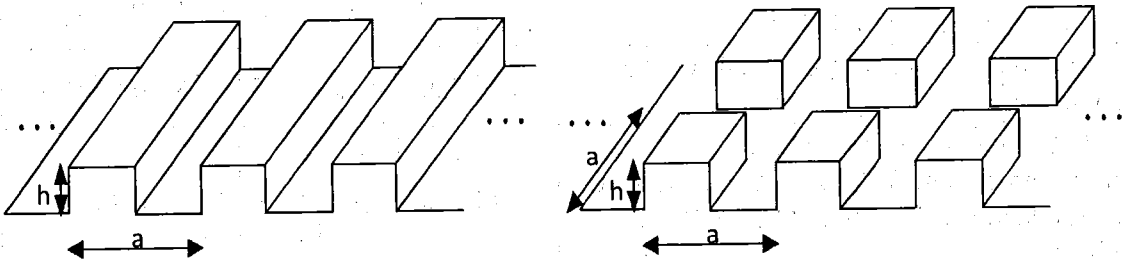
### Hệ số giảm âm của không khí, đơn vị 10<sup>-3</sup> m<sup>-1</sup>

Không khí	Hệ số giảm âm ở các tần số trung bình của dải 1 octave, Hz						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Nhiệt độ 10°, độ ẩm 30 - 50%	0.1	0.2	0.5	1.1	2.7	9.4	29.0
10°, 50 - 70%	0.1	0.2	0.5	0.8	1.8	5.9	21.1
10°, 70 - 90%	0.1	0.2	0.5	0.7	1.4	4.4	15.8
20°, 30 - 50%	0.1	0.3	0.6	1.0	1.9	5.8	20.3
20°, 50 - 70%	0.1	0.3	0.6	1.0	1.7	4.1	13.5
20°, 70 - 90%	0.1	0.3	0.6	1.1	1.7	3.5	10.6

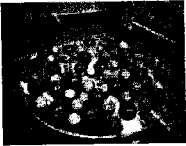

## Bảng hệ số tán xạ âm $s$ (scattering coefficient) khi tia âm tới từ hướng ngẫu nhiên

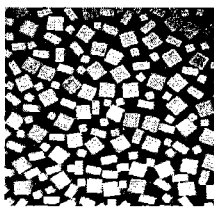
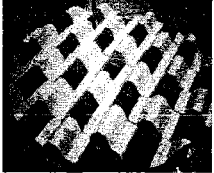
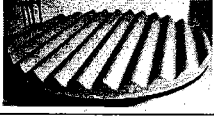
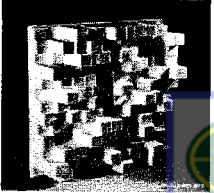

Dữ liệu tán xạ âm nêu bên dưới đây là tập hợp các kết quả của nhiều nghiên cứu và thí nghiệm khác nhau. Hệ số tán xạ âm theo ISO 17497-1 với tia tới ngẫu nhiên phụ thuộc vào hình dáng và kích thước của bề mặt. Những thông số cơ bản là độ dài và chiều sâu của nếp gấp trên bề mặt. Giả định rằng diện tích bề mặt của tấm tán âm là lớn so với kích thước của lượn sóng và bước sóng.


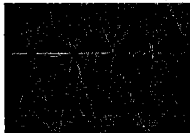
Hai kích thước hình học có liên quan đến hệ số tán xạ âm  $s$  là  $a$  và  $h$  (xem Hình A-1). Hệ số tán xạ âm  $s$  phụ thuộc vào tỷ số  $a/\lambda = fa/c$ . Với tỷ số  $a/\lambda$  nhỏ hơn 0.125, hệ số tán xạ âm thông thường nhỏ hơn 0.05.



Hình A-1. Định nghĩa các kích thước  $a$  và  $h$  đối với các bề mặt tán xạ âm 2D và 3D

Hình dáng của bề mặt gồ ghề		$a/\lambda$						
		0.125	0.25	0.5	1	2	4	8
<b>Các bề mặt 2-D</b>								
	Bán cầu có bán kính trung bình $h$ , đặt ngẫu nhiên, phủ 40% ( $h/a \approx 0.25$ )	0.1	0.2	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8
	Bán cầu đặt dày, bán kính đồng nhất $h$ , $h/a = 0.5$ đặt cách đều nhau	0.05	0.05	0.1	0.6	0.6	0.6	-
	Bán cầu có bán kính trung bình $h$ , đặt ngẫu nhiên, phủ 25% ( $h/a \approx 0.15$ )	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4
	Cục gỗ lập phương đặt cách đều, $h/a = 0.5$	0.05	0.05	0.25	0.3	0.7	0.9	-
	Cục gỗ lập phương đặt khoảng cách và hướng ngẫu nhiên $h/a = 0.5$	0.05	0.05	0.20	0.3	0.6	0.7	-
	Gạch men đặt sát nhau, đặt trong khoảng từ 1 đến 10, trung bình $h/a \approx 1$ . - chiều cao $h$	0.1	0.4	0.9	0.7	0.7	0.7	-

<i>Hình dáng của bề mặt gỗ ghê</i>		<i>a/λ</i>						
		<i>0.125</i>	<i>0.25</i>	<i>0.5</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>8</i>
	Cục gỗ nhiều cỡ, đặt ngẫu nhiên, trung bình $h/a = 0.5$	0.05	0.05	0.15	0.4	0.7	0.9	-
	Khay hình lăng trụ tam giác so le, $h/a \approx 0.5$	0.05	0.05	0.1	0.9	0.8	0.9	0.9
<b>Các bề mặt 1-D</b>								
Cầu thang (răng cưa) $h/a = 0.3$		0.05	0.05	0.2	0.3	0.4	0.45	-
Thanh gỗ hình chữ nhật phân bố không đều, $h/a = 0.5$		0.1	0.6	0.5	0.4	0.3	0.4	-
Thanh gỗ hình chữ nhật phân bố đều, $h/a = 0.5$		0.1	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	-
Thanh gỗ hình bán trụ phân bố đều $h/a = 0.25$		0.1	0.1	0.3	0.7	0.8	0.8	-
	Mặt sóng tròn, $h/a = 0.31$	0.05	0.05	0.2	0.7	0.8	0.85	-
<i>Hình dáng của bề mặt gỗ ghê</i>		<b>Tần số dải octave Hz</b>						
		<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>	<i>2000</i>	<i>4000</i>	<i>8000</i>
<b>Tấm khuếch tán âm của hãng RPG</b>								
	Tấm khuếch tán của RPG, kiểu "Skyline"	0.01	0.08	0.45	0.82	1.0	-	-
	Tấm khuếch tán của RPG, kiểu "QRD"	0.06	0.15	0.45	0.95	0.88	0.91	-

<i>Hình dáng của bề mặt gỗ ghế</i>	<i>Tần số dải octave Hz</i>						
	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>	<i>2000</i>	<i>4000</i>	<i>8000</i>
<b>Chỗ ngồi và khán giả</b>							
Khán giả rạp hát	0.3	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7
Bậc ngồi giảng đường lớn, dài 82 cm, cao 30 cm - theo Farnetani (2005)	0.05	0.45	0.75	0.9	0.9	-	-
Các dãy bàn và người ngồi trên ghế	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6
<b>Trần và tường</b>							
 Cục khối tự nhiên trong tường studio - theo Bork (2005)	0.50	0.90	0.95	0.95	0.95	0.95	-
 Khối chóp tam giác (trần studio) - theo Bork (2005)	0.13	0.56	0.95	0.95	0.95	0.95	-

**Bảng hệ số giảm ồn, *R***

	<i>Hệ số giảm ồn ở các tần số trung bình của dải 1 octave, Hz</i>						
	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>	<i>2000</i>	<i>4000</i>	<i>8000</i>
<b>Khối xây</b>							
Bê tông nhẹ (1200 kg/m <sup>3</sup> ) 140 mm	30.9	32.1	42	49.1	54.4	59.9	45
Bê tông thường (2300 kg/m <sup>3</sup> ) 240 mm	45.6	51.9	58.7	66	70.7	72.3	63
Bê tông bọt (400 kg/m <sup>3</sup> ) 150 mm, render 2 × 10 mm	24.1	25.9	35.6	42.4	47.7	53.2	39
Gạch (1400 kg/m <sup>3</sup> ) 175 mm, trát 2 mặt 15 mm	28.6	43	50.3	58.1	63.2	68.1	52
Canxi silicat (1200 kg/m <sup>3</sup> ) 115 mm	29.1	33	40.1	47.8	54.9	60.4	44
Canxi silicat (2000 kg/m <sup>3</sup> ) 175 mm, trát 2 mặt 15 mm	39.6	45.6	52.7	60.3	65.4	70	56
<b>Vật liệu nhẹ</b>							
Tấm thạch cao 2 × 12.5 mm với khoảng cách 25 mm được lắp đầy	30.0	43.0	53.0	60.0	65.0	50.0	51
Tấm tường 2 × 15 mm WallBoard 146 mm, khung thép chữ C, 25 mm Isowool APR 1200	33.8	35.6	51.7	56.2	59.5	49.8	51

	<i>Hệ số giảm ồn ở các tần số trung bình của dải 1 octave, Hz</i>						
	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>	<i>2000</i>	<i>4000</i>	<i>8000</i>
<b>Cửa đi</b>							
Ván ép 13 mm, P 3 20 mm, ván ép 13 mm	19.2	35	37.9	35.6	42	38	38
Veener 6 mm, TW 1 40 mm, tấm thạch cao 12.5 mm, veneer 10 mm	22	33	40	40	44	40	40
Veneer 6 mm, TW 1 50 mm, veneer 10 mm	21	21	36	37	41	40	35
Tấm sợi gỗ 3.5 mm, 2 lớp	27	27	29	28	30	35	30
<b>Kính</b>							
Kính đơn 3 mm	18.7	22	24.2	28.6	34.7	29.4	29
6 mm	23.4	27.4	31.8	35.2	26.8	35.5	32
10 mm	26.6	30.1	32.2	30.6	34.9	45.3	33
12 mm	31.3	33.1	31.5	32.3	39.4	45.7	34
Kính đôi 4-6-4	25.7	25	23.4	34.1	40.4	36.5	31
Kính đôi 8-12-8	29.2	27.3	31.1	36.8	35	46.7	34

**Hệ số tán xạ âm và hệ số khuếch tán âm của một số kết cấu (nguồn (Cox & D'antonio, 2009))**

Trong các bảng dữ liệu sau, 2 hệ số khác nhau được giới thiệu và có vẻ như giống nhau, dễ gây nhầm lẫn. Một là hệ số tán xạ âm (scattering coefficient) và hai là hệ số khuếch tán âm (diffusion coefficient).

Hệ số tán xạ là một phép đo lượng âm thanh bị tán ra các hướng khác so với hướng phản xạ gương trên một bề mặt phản xạ. Hệ số tán xạ được định nghĩa là tỷ số giữa năng lượng âm thanh phản xạ không theo phương của phản xạ gương với toàn bộ năng lượng âm phản xạ (Cox, et al., 2006).

Hệ số khuếch tán đo lường chất lượng (về độ đồng đều trong không gian) của các phản xạ được tạo ra bởi một bề mặt. Nếu năng lượng âm phản xạ nằm rải rác đồng đều trên mọi hướng thì hệ số khuếch tán bằng 1; điều này được gọi là sự khuếch tán hoàn toàn. Nếu toàn bộ năng lượng âm phản xạ nằm trên một hướng duy nhất thì hệ số khuếch tán bằng 0.

Bảng hệ số khuếch tán âm đã được đồng nhất hóa (Normalized diffusion coefficient)

(Ghi chú: N.n. = ngẫu nhiên)

Bề mặt	Góc tia tới (°)	Tần số Hz																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
1. Ảnh hưởng của sự thay đổi tần suất của bộ phận khuếch tán và khoảng cách. Bề mặt Bán trụ không hút âm, bán kính 0.3 m, (khoảng cách phẳng giữa các bán trụ 1 cm)																			
1 chu kỳ (1 bán trụ + 1 khoảng cách), bề rộng 0.61 cm	0	0.02	0	0	0	0.65	0.96	0.92	0.96	0.97	0.9	0.93	0.95	0.94	0.95	0.97	0.98	0.98	0.98
	57	0.06	0.07	0.16	0.38	0.59	0.18	0.43	0.37	0.55	0.53	0.64	0.7	0.74	0.77	0.8	0.82	0.85	0.86
	N.n.	0.06	0.07	0.11	0.28	0.56	0.5	0.56	0.66	0.8	0.76	0.77	0.8	0.82	0.82	0.84	0.85	0.86	0.87
2 chu kỳ, rộng 1.22 m	0	0.16	0.18	0.15	0.06	0.02	0.17	0.6	0.62	0.71	0.43	0.5	0.72	0.65	0.77	0.77	0.73	0.77	0.8
	57	0.15	0.12	0.18	0.53	0.4	0.5	0.3	0.26	0.66	0.69	0.66	0.69	0.72	0.73	0.76	0.76	0.8	0.83
	N.n.	0.23	0.16	0.09	0.26	0.32	0.38	0.38	0.33	0.64	0.55	0.62	0.69	0.71	0.73	0.74	0.74	0.78	0.79
4 chu kỳ, rộng 2.44 m	0	0.02	0	0.01	0.05	0.03	0.04	0.13	0.58	0.32	0.16	0.24	0.38	0.31	0.48	0.44	0.41	0.43	0.54
	57	0.04	0.18	0.21	0.19	0.29	0.34	0.12	0.02	0.49	0.31	0.33	0.49	0.51	0.53	0.64	0.66	0.64	0.66
	N.n.	0	0.05	0.03	0.07	0.09	0.18	0.19	0.19	0.38	0.29	0.34	0.45	0.47	0.49	0.54	0.59	0.61	0.62
6 chu kỳ, rộng 3.66 m	0	0	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.05	0.21	0.22	0.1	0.19	0.21	0.26	0.39	0.32	0.38	0.49	0.72
	57	0.07	0.16	0.16	0.1	0.18	0.32	0.09	0.03	0.4	0.18	0.25	0.43	0.42	0.46	0.59	0.58	0.6	0.66
	N.n.	0	0	0	0	0.07	0.14	0.14	0.12	0.28	0.19	0.26	0.36	0.4	0.42	0.48	0.55	0.6	0.65

Bề mặt	Góc tia tới (°)	Tần số Hz																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
12 chu kỳ, rộng 7.32 m	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.14	0.08	0.17	0.48	0.35	0.63	0.57	0.72	0.66	0.81
	57	0.06	0.06	0.03	0.04	0.32	0.13	0.07	0.3	0.09	0.21	0.42	0.4	0.42	0.49	0.55	0.58	0.68	0.67
	N.n.	0	0	0	0.03	0.1	0.1	0.09	0.2	0.12	0.22	0.22	0.38	0.42	0.46	0.56	0.64	0.66	0.7
<b>2. Ảnh hưởng của chiều sâu bề mặt, 6 bán trụ ê líp, không hút âm, mỗi cái rộng 0.6 m, tổng cộng rộng 3.66 m (khoảng cách giữa các bán trụ 1 cm)</b>																			
Sâu 1 cm	0	0.02	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.03
	57	0.01	0.03	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.03
	N.n.	0.01	0.02	0.02	0	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01
Sâu 2 cm	0	0.02	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.08	0.13
	57	0.01	0.03	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.03	0.08	0.1
	N.n.	0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08
Sâu 5 cm	0	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0.01	0.03	0.03	0.04	0.07	0.1	0.14	0.24	0.24	0.34	0.36
	57	0	0.03	0.02	0	0	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.1	0.12	0.15	0.15
	N.n.	0.01	0.03	0.03	0.02	0.05	0.06	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.05	0.08	0.12	0.14	0.15	0.2	0.25
Sâu 10 cm	0	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0.05	0.26	0.22	0.19	0.32	0.26	0.32	0.57	0.5	0.7	0.73
	57	0	0.03	0.02	0	0.02	0.22	0.15	0.12	0.14	0.14	0.16	0.17	0.19	0.24	0.31	0.4	0.41	0.4
	N.n.	0.02	0.06	0.07	0.06	0.06	0.1	0.07	0.05	0.11	0.15	0.19	0.23	0.25	0.29	0.39	0.4	0.47	0.51

Tần số Hz

Bề mặt	Góc tỉa tối (°)	Tần số Hz																
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
Sâu 20 cm	0	0	0.01	0.01	0	0.01	0.02	0.28	0.41	0.18	0.02	0.16	0.28	0.27	0.57	0.58	0.58	0.54
	57	0	0.03	0.03	0.04	0.09	0.16	0.03	0.22	0.27	0.34	0.31	0.29	0.38	0.47	0.53	0.54	0.59
	N.n.	0	0	0	0.01	0.06	0.11	0.11	0.2	0.25	0.23	0.31	0.32	0.37	0.45	0.5	0.56	0.61
Sâu 30 cm (bán trụ tròn)	0	0	0.02	0.02	0.01	0.02	0.05	0.21	0.22	0.1	0.19	0.21	0.26	0.39	0.32	0.38	0.49	0.72
	57	0.07	0.16	0.16	0.1	0.18	0.32	0.09	0.4	0.18	0.25	0.43	0.42	0.46	0.59	0.58	0.6	0.66
	N.n.	0	0	0	0	0.07	0.14	0.14	0.12	0.28	0.19	0.26	0.4	0.42	0.48	0.55	0.6	0.65

3. Các tam giác, không hút âm, rộng 3.66 m (khoảng cách 0.01 cm giữa các chu kỳ)

5 chu kỳ, góc 60°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0.01	0	0.01	0.01	0.01
	57	0.07	0.09	0.07	0.05	0.09	0.06	0.11	0.07	0.16	0.05	0.04	0.23	0.17	0.15	0.23	0.24	0.23
	N.n.	0	0	0	0	0	0	0.06	0.05	0.08	0.05	0.05	0.13	0.11	0.15	0.15	0.14	0.14
9 chu kỳ, góc 45°	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.03	0.03	0	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
	57	0	0.03	0.03	0.01	0	0.02	0.19	0.05	0.13	0.26	0.15	0.22	0.2	0.15	0.07	0.06	0.07
	N.n.	0	0	0	0	0	0	0.12	0.07	0.13	0.16	0.14	0.18	0.2	0.16	0.13	0.15	0.1
6 chu kỳ, góc 30°	0	0	0	0	0	0	0	0.07	0.39	0.21	0.22	0.35	0.4	0.33	0.36	0.33	0.22	0.17
	57	0	0.01	0.02	0.01	0.08	0.32	0.15	0.09	0.21	0.18	0.16	0.15	0.17	0.16	0.14	0.09	0.05
	N.n.	0	0	0	0	0.04	0.09	0.08	0.09	0.17	0.18	0.19	0.22	0.24	0.24	0.23	0.2	0.16

Bề mặt	Góc tia tới (°)	Tần số Hz																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
3 chu kỳ, góc 18°	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.07	0.23	0.33	0.28	0.35	0.32	0.3	0.3	0.28	0.23	0.19	0.15	0.12	0.1
	57	0.02	0.15	0.34	0.29	0.19	0.19	0.16	0.18	0.16	0.16	0.16	0.17	0.19	0.17	0.13	0.1	0.09	0.02
	N.n.	0.05	0.08	0.11	0.1	0.08	0.1	0.15	0.19	0.2	0.2	0.21	0.21	0.2	0.17	0.15	0.12	0.1	0.07
<b>4. Bán ế líp treo trên tằm phẳng 3.63 m, không hút âm, mỗi bán ế líp rộng 0.6 m, sâu 0.2 m</b>																			
1 bán ế líp ở giữa tằm phẳng	0	0	0	0.03	0.09	0.11	0.1	0.17	0.14	0.08	0.02	0.02	0.04	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.04
	57	0.11	0.27	0.23	0.29	0.31	0.29	0.26	0.26	0.22	0.16	0.11	0.08	0.06	0.09	0.15	0.15	0.07	0.06
	N.n.	0.08	0.13	0.15	0.19	0.22	0.22	0.22	0.24	0.21	0.17	0.15	0.14	0.16	0.16	0.17	0.13	0.11	0.1
3 bán ế líp với khoảng cách 0.6 m giữa chúng	0	0.01	0.02	0.01	0.02	0.12	0.5	0.33	0.28	0.3	0.1	0.12	0.16	0.17	0.1	0.08	0.16	0.17	0.25
	57	0.05	0.31	0.43	0.28	0.23	0.38	0.23	0.33	0.31	0.4	0.52	0.42	0.2	0.22	0.44	0.41	0.27	0.67
	N.n.	0.05	0.13	0.14	0.14	0.17	0.27	0.24	0.31	0.31	0.29	0.25	0.33	0.33	0.32	0.34	0.37	0.34	0.35
<b>5. Các bề mặt cong được tối ưu hóa, rộng 3.6 m, trải thành mảng</b>																			
3 chu kỳ, sâu 30 cm	0	0.09	0.1	0.06	0.13	0.54	0.49	0.28	0.39	0.53	0.28	0.35	0.52	0.63	0.42	0.73	0.74	0.31	0.79
	57	0.21	0.51	0.5	0.33	0.2	0.23	0.12	0.16	0.31	0.6	0.59	0.52	0.59	0.58	0.56	0.57	0.55	0.47
	N.n.	0.16	0.16	0.19	0.2	0.2	0.23	0.18	0.27	0.38	0.44	0.48	0.54	0.59	0.54	0.55	0.59	0.56	0.59

Bề mặt	Góc tia tới (°)	Tần số Hz																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
6 chu kỳ, bề sâu 20 cm	0	0.06	0.04	0.02	0.01	0	0.01	0.02	0.28	0.52	0.35	0.35	0.29	0.18	0.38	0.15	0.31	0.33	0.54
	57	0.08	0.06	0.05	0	0.08	0.38	0.21	0.11	0.31	0.44	0.53	0.6	0.51	0.64	0.57	0.54	0.52	0.58
	N.n.	0.09	0.04	0.03	0	0.05	0.13	0.16	0.18	0.29	0.42	0.39	0.45	0.47	0.56	0.5	0.53	0.56	0.56
6 chu kỳ, bề sâu 10 cm	0	0.04	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05	0.41	0.56	0.3	0.64	0.29	0.63	0.63
	57	0.07	0.1	0.09	0.09	0.1	0.08	0.11	0.1	0.41	0.44	0.49	0.47	0.52	0.46	0.46	0.36	0.42	0.41
	N.n.	0.07	0.1	0.11	0.1	0.1	0.11	0.13	0.1	0.2	0.27	0.33	0.44	0.47	0.44	0.47	0.46	0.48	0.51
6 chu kỳ, bề sâu 5 cm	0	0.06	0.03	0.02	0.01	0	0	0	0.01	0	0	0.01	0.1	0.16	0.29	0.45	0.56	0.51	0.64
	57	0.07	0.06	0.05	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.12	0.15	0.12	0.09	0.1	0.13	0.18	0.29	0.29	0.33
	N.n.	0.07	0.05	0.04	0.02	0.04	0.04	0.03	0.05	0.1	0.12	0.09	0.1	0.13	0.21	0.3	0.36	0.39	0.45
<b>6. Những bề mặt hỗn hợp, rộng 3.6 m, trải thành mảng</b>																			
3 chu kỳ, bề mặt hỗn hợp phẳng	0	0.07	0.02	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
	57	0.13	0.08	0.06	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.02	0.03	0.06	0.09	0.08	0.14	0.29	0.36
	N.n.	0.15	0.11	0.09	0.06	0.04	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.07	0.1	0.11	0.13	0.13	0.16
3 chu kỳ, cong, Sâu 2.5 cm	0	0.06	0.02	0.02	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.05	0.06	0.15	0.22	0.28
	57	0.12	0.08	0.04	0.01	0.01	0.04	0.03	0.04	0.05	0.05	0.08	0.11	0.19	0.21	0.19	0.28	0.29	0.49
	N.n.	0.15	0.1	0.08	0.05	0.04	0.07	0.05	0.05	0.07	0.06	0.06	0.1	0.15	0.16	0.19	0.24	0.28	0.32

Bề mặt	Góc tia tới (°)	Tần số Hz																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
3 chu kỳ, cong, Sâu 7.5 cm	0	0.05	0.01	0.02	0.01	0	0	0.01	0.03	0.05	0.08	0.24	0.39	0.52	0.52	0.24	0.32	0.67	0.56
	57	0.11	0.07	0.03	0.01	0.01	0.11	0.09	0.14	0.39	0.3	0.33	0.44	0.43	0.41	0.4	0.4	0.42	0.4
	N.n.	0.15	0.1	0.06	0.04	0.04	0.1	0.09	0.11	0.21	0.2	0.24	0.36	0.42	0.4	0.33	0.4	0.49	0.47
<b>7. Mặt khuếch tán âm Schroeder - Schroeder diffuser (Một mặt khuếch tán Schroeder là một mặt phản xạ có cấu tạo gồm một loạt hốc có độ sâu khác nhau), rộng 3.6 m</b>																			
N = 7 QRD, 6 Chu kỳ, sâu 0.2 m	0	0.07	0.01	0.02	0	0.01	0.01	0.01	0.07	0.16	0.21	0.12	0.1	0.07	0.23	0.39	0.04	0.19	0.27
	57	0.13	0.14	0.11	0.05	0.11	0.02	0.1	0.24	0.37	0.28	0.32	0.12	0.31	0.45	0.43	0.32	0.37	0.6
	N.n.	0.07	0.04	0	0	0	0	0.04	0.22	0.25	0.22	0.23	0.09	0.23	0.35	0.36	0.23	0.25	0.42
Máng tối ưu hóa, 6 chu kỳ, 8 hốc sâu/Chu kỳ, sâu 0.17 m	0	0.07	0.02	0.01	0	0.06	0.07	0.07	0.3	0.58	0.4	0.41	0.49	0.59	0.38	0.33	0.38	0.3	0.33
	57	0.12	0.11	0.16	0.1	0.08	0.14	0.32	0.33	0.49	0.53	0.39	0.46	0.57	0.48	0.57	0.54	0.58	0.55
	N.n.	0.08	0.05	0.06	0	0	0.07	0.18	0.27	0.43	0.47	0.37	0.41	0.51	0.43	0.43	0.48	0.42	0.46
N = 7 PRD, 6 Chu kỳ, 6 hốc sâu/ Chu kỳ, sâu 0.2 m	0	0.07	0.01	0.02	0	0.01	0.02	0.04	0.03	0.06	0.33	0.13	0.14	0.2	0.27	0.1	0.35	0.21	0.06
	57	0.15	0.15	0.12	0.08	0.07	0.24	0.31	0.25	0.21	0.26	0.15	0.2	0.34	0.34	0.19	0.27	0.32	0.19
	N.n.	0.09	0.04	0	0	0	0.1	0.15	0.15	0.19	0.19	0.17	0.2	0.22	0.32	0.22	0.29	0.32	0.25

Bề mặt	Góc tia tới (°)	Tần số Hz																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Nhiều xạ, 1 chu kỳ, 3 cỡ sâu của hóc, N = 7 (tối đa chỉ có 6 cỡ hóc), sâu 0.5 m	0	0.06	0.25	0.1	0.27	0.3	0.36	0.56	0.31	0.39	0.4	0.42	0.52	0.56	0.49	0.49	0.4	0.47	0.54
	57	0.4	0.35	0.43	0.46	0.44	0.56	0.77	0.6	0.66	0.67	0.56	0.43	0.62	0.67	0.66	0.56	0.16	0.69
	N.n.	0.19	0.2	0.29	0.35	0.36	0.44	0.61	0.45	0.51	0.51	0.49	0.4	0.54	0.53	0.5	0.47	0.35	0.53
Màng tối ưu hóa, 6 chu kỳ, 12 hóc sâu/ Chu kỳ, sâu 0.17 m	0	0.06	0.02	0.02	0	0.04	0.05	0.2	0.61	0.58	0.51	0.58	0.32	0.31	0.49	0.37	0.3	0.42	0.53
	57	0.09	0.1	0.12	0.07	0.24	0.53	0.44	0.74	0.54	0.43	0.66	0.52	0.6	0.52	0.48	0.41	0.48	0.72
	N.n.	0.04	0.02	0	0	0.06	0.27	0.34	0.58	0.5	0.42	0.56	0.4	0.44	0.48	0.42	0.4	0.45	0.53

(Ghi chú: N.n. = ngẫu nhiên)

THƯ VIỆN  
HUBT

**Bảng hệ số tán xạ âm tương quan (correlation scattering coefficient)**

(Ghi chú: N.n. = ngẫu nhiên)

Bề mặt	Góc tía tới (°)	Tần số Hz																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
<b>1. Ảnh hưởng của sự thay đổi tần suất của bộ phận khuếch tán và khoảng cách. Bề mặt Bán trụ không hút âm, bán kính 0.3 m, (khoảng cách phẳng giữa các bán trụ 1 cm)</b>																			
1 chu kỳ (1 bán trụ + 1 khoảng cách), bề rộng 0.61 cm	0	0.06	0.09	0.13	0.2	0.29	0.38	0.43	0.45	0.59	0.78	0.82	0.8	0.92	0.89	0.92	0.94	0.95	0.96
	56.9	0.27	0.24	0.23	0.26	0.32	0.45	0.69	0.79	0.8	0.92	0.88	0.91	0.9	0.9	0.91	0.92	0.94	0.96
	N.n.	0.24	0.21	0.21	0.25	0.32	0.43	0.62	0.73	0.74	0.82	0.86	0.88	0.9	0.91	0.94	0.95	0.96	0.96
2 chu kỳ, rộng 1.22 m	0	0.04	0.05	0.05	0.04	0.02	0.11	0.65	0.87	0.64	0.56	0.87	0.79	0.9	0.89	0.92	0.93	0.94	0.91
	56.9	0.13	0.12	0.18	0.4	0.43	0.71	0.85	0.93	0.8	0.71	0.81	0.87	0.9	0.89	0.93	0.92	0.94	0.96
	N.n.	0.16	0.16	0.21	0.32	0.34	0.52	0.8	0.93	0.76	0.67	0.88	0.87	0.91	0.91	0.93	0.94	0.95	0.95
4 chu kỳ, rộng 2.44 m	0	0.01	0	0.02	0.06	0.02	0.08	0.35	0.74	0.55	0.49	0.87	0.77	0.87	0.84	0.8	0.86	0.83	0.88
	56.9	0.14	0.19	0.24	0.34	0.36	0.82	0.87	0.96	0.76	0.52	0.77	0.86	0.9	0.88	0.92	0.92	0.95	0.98
	N.n.	0.21	0.22	0.24	0.29	0.3	0.53	0.78	0.93	0.71	0.56	0.87	0.86	0.9	0.88	0.9	0.93	0.94	0.94

Bề mặt	Góc tia tới (°)	Tần số Hz																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
6 chu kỳ, rộng 3.66 m	0	0	0.01	0.01	0.04	0.03	0.05	0.25	0.55	0.53	0.45	0.86	0.72	0.8	0.81	0.79	0.85	0.82	0.95
	56.9	0.15	0.2	0.23	0.26	0.24	0.84	0.89	0.97	0.74	0.48	0.75	0.85	0.89	0.87	0.94	0.95	0.97	0.98
	N.n.	0.22	0.23	0.24	0.26	0.26	0.52	0.76	0.91	0.68	0.51	0.86	0.85	0.89	0.88	0.9	0.94	0.94	0.95
12 chu kỳ, rộng 7.32 m	0	0	0	0.01	0.02	0.02	0.03	0.13	0.33	0.48	0.4	0.86	0.76	0.84	0.87	0.83	0.81	0.87	0.9
	56.9	0.16	0.15	0.1	0.08	0.12	0.81	0.89	0.97	0.71	0.4	0.74	0.88	0.93	0.9	0.94	0.91	0.93	0.94
	N.n.	0.23	0.22	0.21	0.2	0.19	0.48	0.73	0.87	0.64	0.46	0.86	0.86	0.89	0.87	0.89	0.92	0.92	0.91
2. Ảnh hưởng của chiều sâu bề mặt, 6 bán trụ é lip, không hút âm, mỗi cái rộng 0.6 m, tổng cộng rộng 3.66 m (khoảng cách giữa các bán trụ 1 cm)																			
Sâu 1 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.04	0.1	0.14	0.37
	56.9	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.07	0.21	0.2
	N.n.	0	0	0	0	0	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.06	0.1	0.13	0.2
Sâu 2 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.15	0.17	0.36	0.47	0.8
	56.9	0	0	0	0	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.08	0.13	0.27	0.53	0.54
	N.n.	0	0	0	0	0	0.05	0.04	0.04	0.06	0.05	0.07	0.08	0.1	0.15	0.22	0.33	0.41	0.53

Bề mặt	Góc tia tới (°)	Tần số Hz																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Sâu 5 cm	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.06	0.2	0.23	0.33	0.4	0.51	0.67	0.77	0.86	0.84	0.92
	56.9	0	0	0	0.01	0.12	0.11	0.11	0.15	0.16	0.19	0.24	0.29	0.39	0.54	0.85	0.85	0.93	0.94
	N.n.	0	0.01	0.01	0.06	0.16	0.16	0.18	0.22	0.25	0.31	0.38	0.47	0.59	0.71	0.8	0.82	0.85	0.85
Sâu 10 cm	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.03	0.64	0.71	0.85	0.82	0.73	0.8	0.88	0.86	0.93	0.96
	56.9	0	0	0.01	0.05	0.38	0.35	0.37	0.46	0.51	0.56	0.65	0.72	0.81	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95
	N.n.	0.02	0.04	0.06	0.09	0.15	0.31	0.36	0.44	0.54	0.64	0.73	0.78	0.8	0.84	0.89	0.91	0.93	0.94
Sâu 20 cm	0	0	0	0.01	0.01	0.03	0.12	0.66	0.91	0.61	0.26	0.78	0.86	0.76	0.91	0.88	0.87	0.86	0.86
	56.9	0.03	0.04	0.06	0.09	0.19	0.75	0.88	0.87	0.81	0.7	0.72	0.85	0.92	0.91	0.96	0.97	0.98	0.98
	N.n.	0.14	0.16	0.18	0.2	0.25	0.47	0.64	0.87	0.9	0.76	0.62	0.8	0.9	0.87	0.92	0.93	0.94	0.95
Sâu 30 cm (bán trụ)	0	0	0.01	0.04	0.03	0.05	0.25	0.55	0.53	0.45	0.86	0.72	0.8	0.81	0.79	0.85	0.82	0.82	0.95
	56.9	0.15	0.2	0.23	0.26	0.24	0.84	0.97	0.74	0.48	0.75	0.85	0.89	0.87	0.94	0.95	0.97	0.97	0.98
	N.n.	0.22	0.23	0.24	0.26	0.26	0.52	0.91	0.68	0.51	0.86	0.85	0.89	0.88	0.9	0.94	0.94	0.94	0.95

Bề mặt	Góc tìm tới (°)	Tần số Hz																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
<b>3. Các tam giác, không hút âm, rộng 3.66 m (khoảng cách 0.01 cm giữa các chu kỳ)</b>																			
5 chu kỳ, góc 60°	0	0.01	0.01	0	0	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.05	0.06	0.37	0.12	0.06	0.12	0.13	0.17
	56.9	0.49	0.6	0.68	0.71	0.58	0.19	0.18	0.33	0.25	0.45	0.23	0.27	0.68	0.65	0.95	0.92	0.93	0.98
	N.n.	0.34	0.35	0.35	0.34	0.32	0.28	0.24	0.3	0.27	0.32	0.24	0.34	0.5	0.53	0.67	0.69	0.72	0.75
9 chu kỳ, góc 45°	0	0	0	0	0	0.01	0.04	0.03	0.07	0.16	0.29	0.3	0.17	0.23	0.22	0.22	0.19	0.23	0.28
	56.9	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.2	0.54	0.95	0.99	0.75	0.93	0.97	0.99	0.99	0.99	0.99	1	1
	N.n.	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23	0.28	0.37	0.59	0.8	0.79	0.69	0.82	0.83	0.87	0.89	0.9	0.9	0.91
6 chu kỳ, góc 30°	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.06	0.36	0.96	0.98	0.81	0.99	0.89	0.97	0.97	0.99	1	0.99
	56.9	0.01	0.02	0.02	0.04	0.18	0.81	0.76	0.72	0.7	0.83	0.9	0.94	0.99	1	0.99	0.99	1	1
	N.n.	0.1	0.13	0.14	0.17	0.26	0.47	0.61	0.72	0.81	0.9	0.93	0.95	0.95	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98
3 chu kỳ, góc 18°	0	0	0.01	0.01	0.02	0.17	0.49	0.66	0.78	0.9	0.99	0.98	0.95	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
	56.9	0.01	0.1	0.37	0.42	0.37	0.39	0.43	0.51	0.59	0.71	0.82	0.94	0.98	0.94	0.94	0.98	0.97	0.98
	N.n.	0.07	0.17	0.31	0.38	0.41	0.48	0.56	0.67	0.78	0.88	0.93	0.94	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99

Bề mặt	Góc tia tới (°)	Tần số Hz																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
<b>4. Bán ế líp treo trên tấm phẳng 3.63 m, không hút âm, mỗi bán ế líp rộng 0.6 m, sâu 0.2 m</b>																			
1 bán ế líp ở giữa tấm phẳng	0	0.01	0.02	0.03	0.09	0.2	0.22	0.36	0.4	0.35	0.22	0.19	0.27	0.2	0.19	0.14	0.18	0.21	0.3
	56.9	0.09	0.17	0.24	0.29	0.37	0.39	0.43	0.48	0.52	0.47	0.44	0.43	0.37	0.48	0.67	0.74	0.77	0.6
	N.n.	0.15	0.22	0.28	0.32	0.38	0.42	0.47	0.51	0.53	0.48	0.44	0.46	0.48	0.49	0.5	0.53	0.52	0.54
3 bán ế líp với khoảng cách 0.6 m giữa chúng	0	0	0.01	0.03	0.05	0.26	0.72	0.88	0.89	0.7	0.46	0.53	0.65	0.63	0.58	0.51	0.66	0.68	0.76
	56.9	0.03	0.17	0.52	0.62	0.56	0.66	0.78	0.8	0.9	0.95	0.94	0.72	0.54	0.72	0.9	0.8	0.91	0.91
	N.n.	0.13	0.22	0.38	0.5	0.57	0.67	0.79	0.85	0.85	0.76	0.69	0.75	0.77	0.75	0.79	0.85	0.81	0.78
<b>5. Các bề mặt cong được tối ưu hóa, rộng 3.6 m, trái thành mảng</b>																			
3 chu kỳ, sâu 30 cm	0	0	0.03	0.06	0.16	0.59	0.95	0.99	0.95	0.88	0.71	0.88	0.89	0.92	0.79	0.92	0.93	0.82	0.95
	56.9	0.05	0.31	0.74	0.76	0.7	0.68	0.85	0.88	0.92	0.95	0.94	0.89	0.94	0.96	0.95	0.99	0.97	0.99
	N.n.	0.15	0.3	0.5	0.64	0.74	0.79	0.9	0.94	0.89	0.86	0.91	0.93	0.95	0.94	0.94	0.95	0.96	0.97
6 chu kỳ, sâu 20 cm	0	0	0	0	0.01	0.02	0.04	0.14	0.61	0.81	0.94	0.8	0.78	0.68	0.84	0.6	0.84	0.78	0.86
	56.9	0.01	0.02	0.02	0.04	0.23	0.73	0.79	0.88	0.98	0.86	0.78	0.92	0.94	0.94	0.98	0.98	0.96	0.96
	N.n.	0.09	0.11	0.14	0.16	0.27	0.48	0.68	0.85	0.94	0.89	0.8	0.86	0.9	0.93	0.89	0.94	0.95	0.94

Tần số Hz

Bề mặt	Góc tỉa tới (°)	Tần số Hz																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
6 chu kỳ, sâu 10 cm	0	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.07	0.15	0.23	0.3	0.38	0.82	0.86	0.8	0.89	0.73	0.9	0.89
	56.9	0	0.01	0.03	0.11	0.15	0.2	0.24	0.67	0.71	0.77	0.81	0.82	0.89	0.96	0.97	1	0.99	
	N.n.	0.01	0.03	0.04	0.09	0.15	0.2	0.25	0.31	0.5	0.62	0.73	0.84	0.89	0.92	0.95	0.94	0.95	0.96
6 chu kỳ, sâu 5 cm	0	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.13	0.49	0.62	0.8	0.9	0.93	0.9	0.91	
	56.9	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.04	0.31	0.39	0.42	0.42	0.43	0.52	0.69	0.81	0.93	0.95	
	N.n.	0	0.01	0.01	0.02	0.05	0.06	0.12	0.29	0.36	0.43	0.5	0.58	0.7	0.82	0.88	0.91	0.92	
<b>6. Mặt khuếch tán âm Schroeder - Schroeder diffuser (Một mặt khuếch tán Schroeder là một mặt phản xạ có cấu tạo gồm một loạt hốc có độ sâu khác nhau), rộng 3.6 m</b>																			
N = 7 QRD, 6 Chu kỳ, sâu 0.2 m	0	0	0.01	0.02	0.05	0.08	0.07	0.04	0.35	0.51	0.67	0.57	0.52	0.44	0.73	0.85	0.39	0.71	0.86
	56.9	0.04	0.06	0.12	0.26	0.41	0.17	0.16	0.71	0.75	0.84	0.71	0.51	0.74	0.91	0.83	0.79	0.67	0.93
	N.n.	0.12	0.15	0.19	0.27	0.36	0.3	0.25	0.69	0.78	0.72	0.69	0.51	0.66	0.86	0.82	0.69	0.7	0.88
Máng tối ưu hóa, 6 chu kỳ, 8 hốc sâu/ Chu kỳ, sâu 0.17 m	0	0	0.01	0.02	0.04	0.2	0.21	0.27	0.65	0.78	0.8	0.85	0.86	0.95	0.92	0.95	0.82	0.88	0.96
	56.9	0.03	0.07	0.11	0.22	0.4	0.43	0.55	0.58	0.76	0.9	0.74	0.89	0.95	0.96	0.94	0.96	0.96	0.97
	N.n.	0.09	0.14	0.18	0.25	0.36	0.48	0.55	0.68	0.82	0.89	0.83	0.87	0.93	0.94	0.93	0.9	0.91	0.94

Bề mặt	Góc tỉa tới (°)	Tần số Hz																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
N = 7 PRD, 6 Chu kỳ, 6 hốc sâu/ Chu kỳ, sâu 0.2 m	0	0	0.01	0.02	0.05	0.04	0.14	0.19	0.14	0.32	0.81	0.65	0.69	0.88	0.88	0.97	0.98	0.97	0.42
	56.9	0.04	0.09	0.18	0.38	0.41	0.66	0.66	0.59	0.61	0.83	0.96	0.93	0.88	0.94	0.92	0.89	0.95	0.96
	N.n.	0.11	0.15	0.2	0.29	0.34	0.47	0.52	0.52	0.62	0.88	0.85	0.82	0.88	0.92	0.92	0.9	0.93	0.75
Nhiều xa, 1 chu kỳ, 3 cỡ sâu của hốc, N = 7 (tối đa chỉ có 6 cỡ hốc), sâu 0.5 m	0	0.16	0.45	0.28	0.39	0.7	0.85	0.87	0.83	0.73	0.79	0.89	0.86	0.96	0.96	0.89	0.84	0.91	0.9
	56.9	0.3	0.74	0.76	0.63	0.67	0.64	0.84	0.7	0.77	0.87	0.92	0.77	0.89	0.93	0.92	0.95	0.89	0.96
	N.n.	0.33	0.56	0.66	0.61	0.72	0.8	0.88	0.8	0.78	0.85	0.91	0.8	0.91	0.92	0.91	0.91	0.9	0.91
Màng tối ru hóa, 6 chu kỳ, 12 hốc sâu/ Chu kỳ, sâu 0.17 m	0	0	0.01	0.01	0.03	0.14	0.2	0.5	0.78	0.82	0.84	0.92	0.81	0.89	0.87	0.84	0.92	0.92	0.94
	56.9	0.04	0.08	0.13	0.24	0.5	0.7	0.67	0.9	0.92	0.92	0.95	0.88	0.91	0.96	0.97	0.99	0.98	0.98
	N.n.	0.14	0.17	0.21	0.27	0.4	0.61	0.69	0.9	0.9	0.91	0.92	0.87	0.87	0.9	0.91	0.93	0.94	0.94

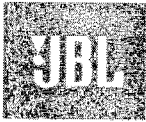
(Ghi chú: N.n. = ngẫu nhiên)

## TÀI LIỆU THAM KHẢO PHỤ LỤC A

1. Cox, T. J. và những tác giả khác, 2006. A tutorial on scattering and diffusion coefficients for room acoustic surfaces. Acta Acustica united with ACUSTICA, 92(1), pp. 1-15.
2. Cox, T. J. & D'antonio, P., 2009. Acoustic absorbers and diffusers: theory, design and application. Oxford: Taylor & Francis.
3. Phạm Đức Nguyên, 2011. Âm học kiến trúc, âm học đô thị. Hà Nội: Nhà xuất bản Xây dựng.
4. Vorländer, M., 2008. Auralization: fundamentals of acoustics, modelling, simulation, algorithms and acoustic virtual reality. Berlin: Springer.



## THÔNG SỐ KỸ THUẬT LOA SP225-9 VÀ LOA 8340A CỦA JBL

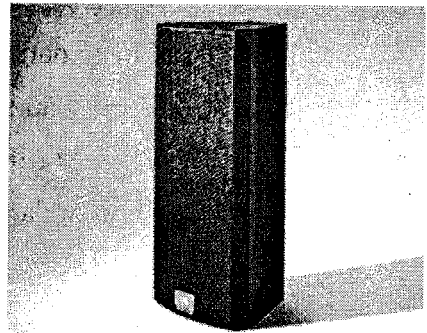


SP225-9

Hệ thống loa hai cổng toàn  
dải tần số để lắp đặt cố định

### Các tính năng chính:

- Đầu dò LF VGC (Vented Gap Cooled™)
- Loa Opt Apt HF 15"
- Thùng loa hình thang để sắp xếp các cụm dễ dàng
- Sơn phủ DuraFlex, cứng rắn, chịu thời tiết
- Tính năng khuếch đại kép chống nhiễu / bộ chọn thụ động
- 12 Điểm treo (M10 Thread)
- Các cấu trúc mạch cao cấp để cho âm thanh năng mượng mà và ổn định tải cho bộ khuếch đại



### Thông số kỹ thuật:

#### Hệ thống:

Dải tần (-10 dB): 33 Hz - 20 kHz

Dải tần đáp ứng (-3 dB): 42 Hz - 18 kHz

Phạm vi phủ sóng ngang (-6 dB): 90° trung bình 500 Hz đến 16 kHz

Phạm vi phủ sóng đứng (-6 dB): 55° trung bình 500 Hz đến 16 kHz

Hệ số hướng (Q): 9.3 trung bình 500 Hz đến 16 kHz

Chỉ số hướng (DI): 9.7 trung bình 500 Hz đến 16 kHz

Độ nhạy của hệ thống: 100 dB, 1 W ở 1 m

Mức âm tối đa danh nghĩa: 136 dB, ở 1 m

Trở kháng danh định của hệ thống: 4 Ohms

Công suất đầu vào của hệ thống: 1200 W, IEC; đỉnh 4800 W

Bộ khuếch đại được khuyến nghị: 1600 W

Bộ điều khiển được khuyến nghị: DSC260

Bộ chia tần số thụ động: 1.2 kHz.

**Bộ chuyển đổi tần số:**

Tần số thấp: 2 × 2226H, đường kính 380 mm, cuộn tiếng 100 mm

Trở kháng danh nghĩa: 4 Ohms

Công suất đầu vào: 1200 W, AES; 4800 W

Độ nhạy cao nhất: 100 dB, 1 W ở 1 m

Mức âm tối đa tính toán: 137 dB, ở 1 m

Bộ khuếch đại được đề xuất: 1600 W

Tần số cao: 2447J; đường kính màng rung và cuộn tiếng 100mm, đường kính họng: 76 mm

Trở kháng danh định: 16 Ohms

Công suất đầu vào: 75 W, AES;

Độ nhạy: 111 dB, 1 W, ở 1 m

Mức âm tối đa tính toán: 136 dB, ở 1 m

Bộ khuếch đại được khuyến nghị 3: 200 W

**Vật lý:**

Thùng loa: Hình thang, 22.5° góc cạnh biên, ván gỗ bạch dương

Thông số kỹ thuật môi trường: Mil-Std 810, IPX4 / IEC 529

Phụ kiện treo: 12 điểm; chấp nhận phân cứng có ren M10

Hoàn thiện bề mặt: Sơn đen DuraFlex

Lưới: Lưới thép đục lỗ bằng thép mạ kẽm đen

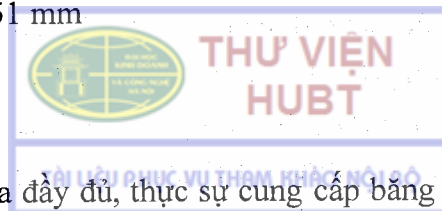
Nối đầu vào: 2 × đầu nối Neutrik Speakon NL4

Kích thước: 1151 mm × 451 mm × 451 mm

Trọng lượng tịnh: 53.5 kg

**Thông tin:**

Kiểu loa SP225-9 là một hệ thống loa đầy đủ, thực sự cung cấp bằng thông chưa từng có và áp suất âm tối đa trong một gói hệ thống duy nhất. Với mức phủ âm danh nghĩa 90°, các hệ thống có thể được nối với nhau để tạo ra vùng phủ rộng hơn và / hoặc áp suất âm lớn hơn. Hai bộ chuyển đổi LF 15 "VGC (Vented Gap Cooled™) cung cấp âm trầm thay đổi mạnh mẽ.

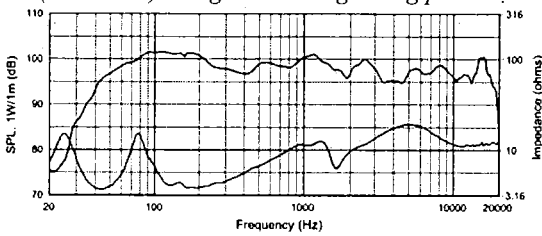


Loa tép HF Optimured Aperture™ được kết hợp với trình điều khiển nén thoát ra 2447J, kích thước 1.5 inch cung cấp phản hồi tần số cao chính xác và rõ ràng.

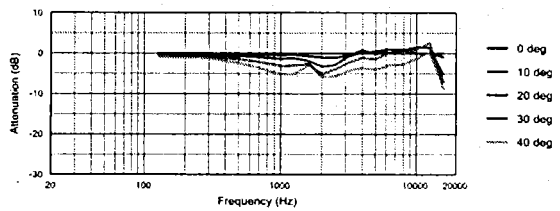
SP225-9 được trang bị một bộ chia tần số thụ động có thể được chuyển thành bộ khuếch đại kép thông qua một bộ phận chống nhiễu từ bên trong để tiếp cận. Chế độ khuếch đại kép, sử dụng bộ điều khiển số DSC260 cho chức năng chia tần, tín hiệu, và lọc tần - cung cấp hiệu năng hệ thống tối ưu.

SP225-9 là một phần của JBL Sound Power Series, một dòng loa độc lập thiết kế cho các hệ thống lắp đặt cố định, mục đích tăng âm đến các hoạt động âm nhạc có quy mô lớn. Tất cả các loa đều có điểm treo chấp nhận móc kiểu M10. Vỏ bọc được hoàn thiện với lớp phủ bền, chịu được thời tiết và hoàn thiện kết cấu bằng sơn DuraFlex. Gõ ép 13mm cao cấp và thép 1.02 mm, lưới bọt lót sau lưng giúp dòng loa SP tuân thủ các yêu cầu về kiểm tra môi trường.

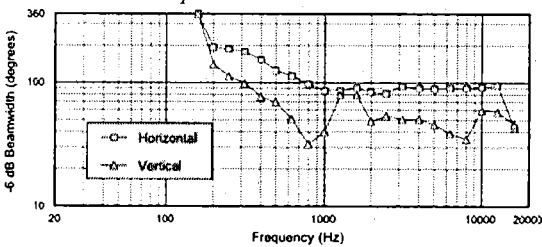
*Đáp tuyến tần số được đo trên trục loa ở khoảng cách tham chiếu đến 1 mét ở đầu vào 1 W (2.0 V rms) trong môi trường không phản xạ*



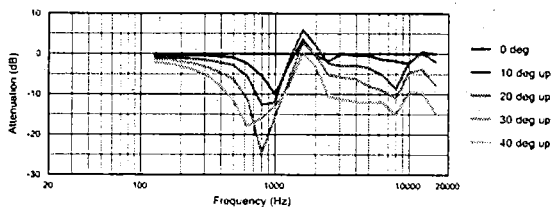
*Đáp tuyến tần số lệch trục - phương ngang*



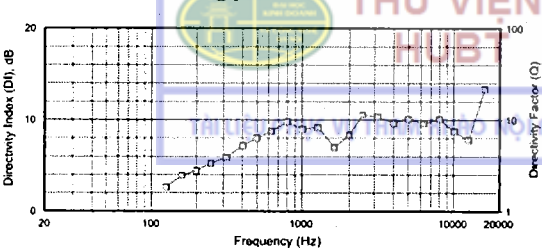
*Góc mở của chùm tia âm phát ra vs. tần số*



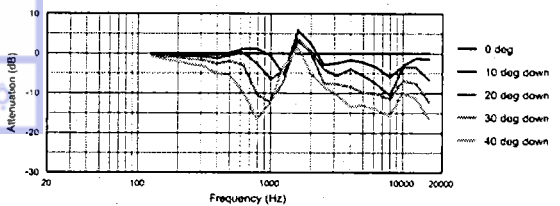
*Đáp tuyến tần số lệch trục - phương đứng (hướng lên)*



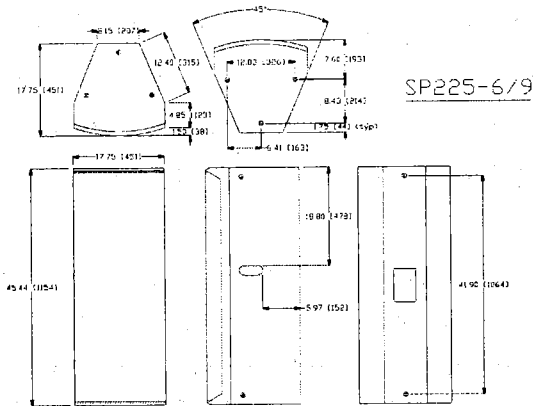
*Hướng phát vs. tần số*



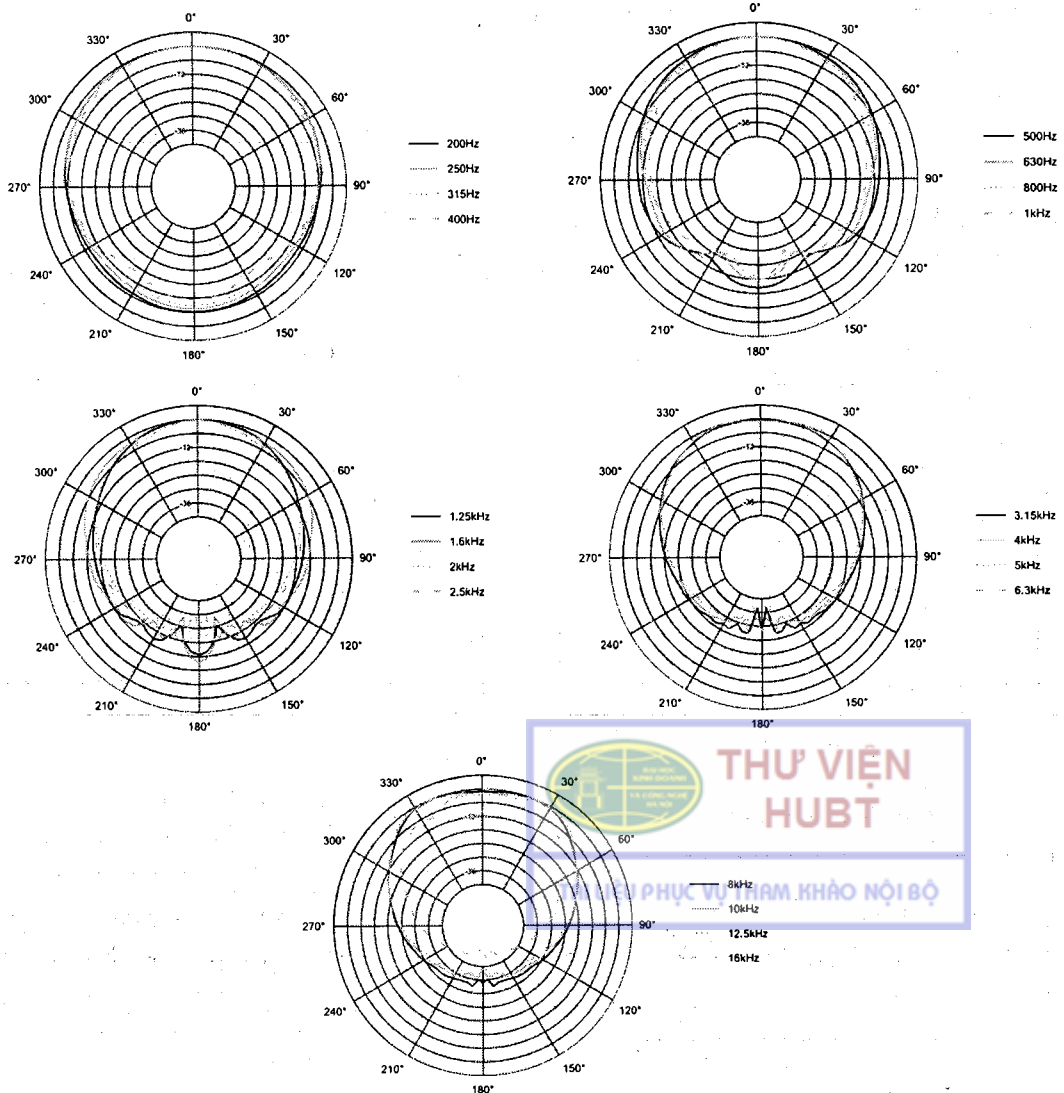
*Đáp tuyến tần số lệch trục - phương đứng (hướng xuống)*



## Hình dáng loa

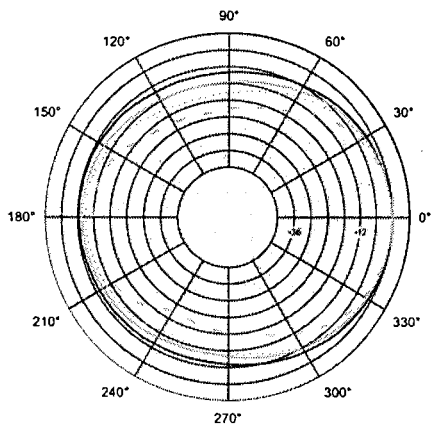


Biểu đồ cực cho thấy hướng phát của loa trên mặt bằng (1/3 Octave)

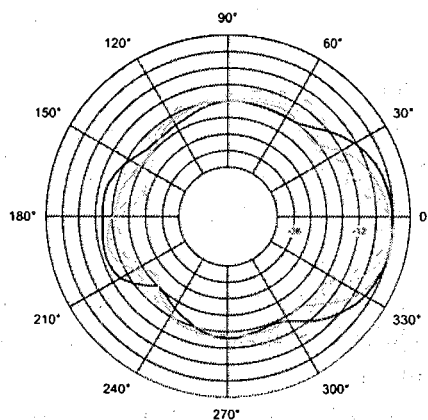


THƯ VIỆN HUBT  
PHỤC VỤ THAM KHẢO NỘI BỘ

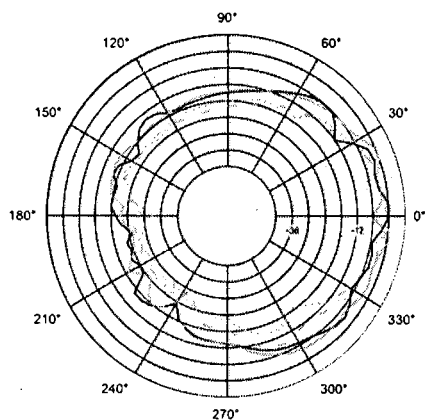
Biểu đồ cực cho thấy hướng phát của loa trên mặt phẳng đứng (1/3 Octave)



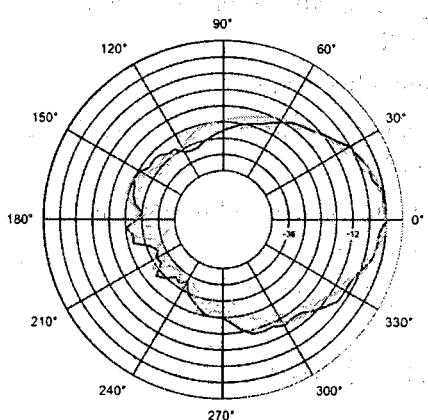
- 200Hz
- 250Hz
- 315Hz
- 400Hz



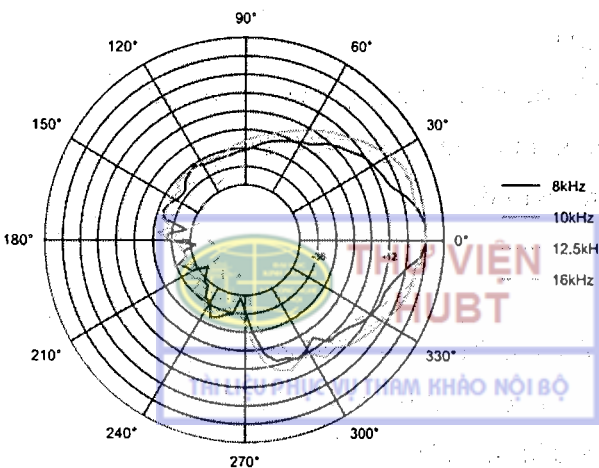
- 500Hz
- 630Hz
- 800Hz
- 1kHz



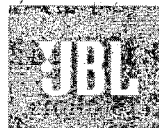
- 1.25kHz
- 1.6kHz
- 2kHz
- 2.5kHz



- 3.15kHz
- 4kHz
- 5kHz
- 6.3kHz

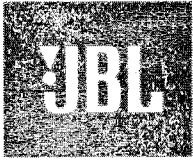


- 8kHz
- 10kHz
- 12.5kHz
- 16kHz



JBL Professional  
 8500 Balboa Boulevard, P.O. Box 2200  
 Northridge, California 91329 U.S.A.

**H** A Harman International Company

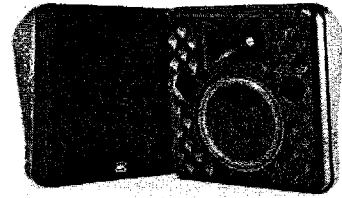


# 8340A

Loa vòng công suất cao cho rạp  
phim ứng dụng kỹ thuật số

### Các tính năng chính:

- Đáp tuyến tần số 45 Hz đến 18 kHz
- Độ nhạy cao, 96 dB SPL, 1 W, 1 m
- Khả năng xử lý công suất cao: tiếng ồn hồng 250 watts liên tục
- Thiết kế lắp đặt thuận tiện sử dụng khung giá JBL QuickMount™, Omnimount® hoặc APC Multimount
- Hình dạng loa đặc biệt kết hợp tấm chắn phía trước có thể nghiêng 20°
- Công nghệ xử lý tần số SMPTE / ISO2969 Curve X
- Vỏ nhẹ, chắc chắn
- Đầu vào loa nằm trên đầu loa để dễ lắp đặt và sử dụng
- Phát sóng âm theo phương ngang và dọc tương đương nhau
- Đáp ứng tiêu chuẩn THX®



### Thông số kỹ thuật:

#### Hệ thống:

Dải tần số (-10 dB): 45 Hz - 18 kHz

Tần số đáp ứng ( $\pm 3$  dB): 75 Hz - 16 kHz

Công suất đánh giá: tiếng ồn hồng 250 watts liên tục, cực đại 1000 watts

Độ nhạy (1W/1m): 96 dB-SPL nửa không gian / gắn trên tường

94 dB-SPL trường tự do

Mức áp suất âm đỉnh tối đa: 126 dB/1m

Trở kháng danh định: 8 ohms

Phạm vi phủ sóng ngang (-6 dB): 100° trung bình 400 Hz đến 12 kHz

Phạm vi phủ sóng đứng (-6 dB): 80° trung bình 400 Hz đến 12 kHz

Hệ số hướng (Q): 7 trung bình 400 Hz đến 12 kHz

Chỉ số hướng (DI): 8.4 dB trung bình 400 Hz đến 12 kHz



Tần số của bộ chia: 2.2 kHz

Đường bao tần số cao: Đường bao xung quanh kiểu ISO2969 Curve X

Tính phân cực: EIA (điện áp dương đến cực RED tạo ra rung động màng loa phía trước)

Bộ chuyển đổi tần số thấp: Đường kính danh nghĩa: 250 mm

Cuộn tiếng 51 mm

Bộ chuyển đổi tần số cao: Đường kính danh nghĩa: 25 mm

Cuộn tiếng 25 mm

### ***Vật lý:***

Góc phát xuống: 20° so với pháp tuyến khi gắn loa bằng mặt sau

Vật liệu vỏ loa: Nhựa đen có vân H.I.P.S.

Màu lưới: Đen

Đầu vào nối: 5 cổng kết nối với nhau

Kích thước (H × W × D): 457 mm × 457 mm × 260 mm

Trọng lượng tịnh: 8.6 kg

### ***Thông tin:***

Loa Cinema Surround 8340A cung cấp khả năng xử lý công suất cao, độ nhạy cao và tăng cường hiệu ứng bass trong một vỏ loa nhỏ gọn. Tính năng kép độ tin cậy và hiệu suất cao được chứng minh của 8340A đã khiến nó trở thành tiêu chuẩn ngành cho loa đáp tuyến rộng theo yêu cầu của các định dạng âm thanh số.

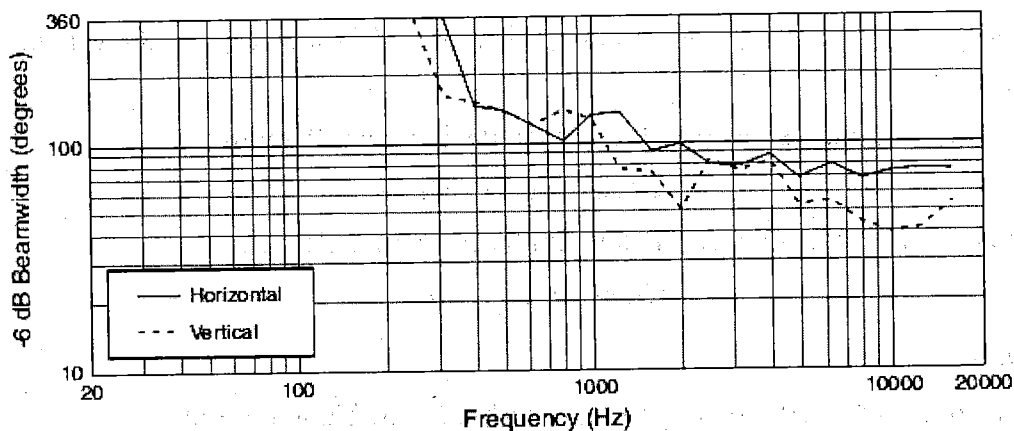
Loa 8340A có công suất cao, trình điều khiển tần số thấp kiểu phát xa - 250 mm cho phản ứng bass mượt mà và được tăng cường. Phần tần số cao kết hợp một màng loa nén titanium đường kính 25mm với miệng loa kiểu loe đều, cho công suất đầu ra rất cao và phạm vi phủ sóng rộng, thậm chí ở các tần số cao. Công suất liên tục 250 W (tối đa 1000 W) cung cấp dải tần số động mở rộng cần thiết cho các bản nhạc kỹ thuật số với độ tin cậy tuyệt đối.

Kiểu dáng hiện đại, với vỏ vân màu đen với lưới màu đen giúp dễ trang trí nội thất hơn.

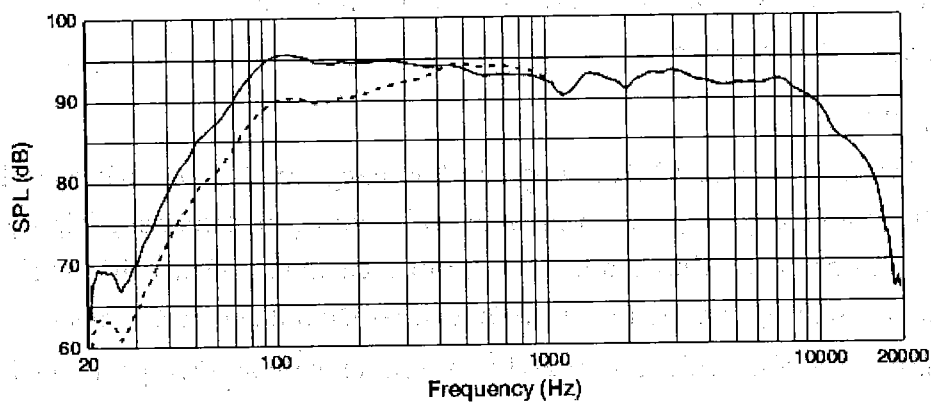
Khung QuickMount của JBL cho phép lắp đặt nhanh chóng và đơn giản trên một nửa khung lắp đặt trước đó.

Được xây dựng với các tiêu chuẩn chất lượng JBL truyền thống, loa 8340A phù hợp để sử dụng lâu dài dưới điều kiện bất lợi trong khi cung cấp hiệu suất tuyệt vời.

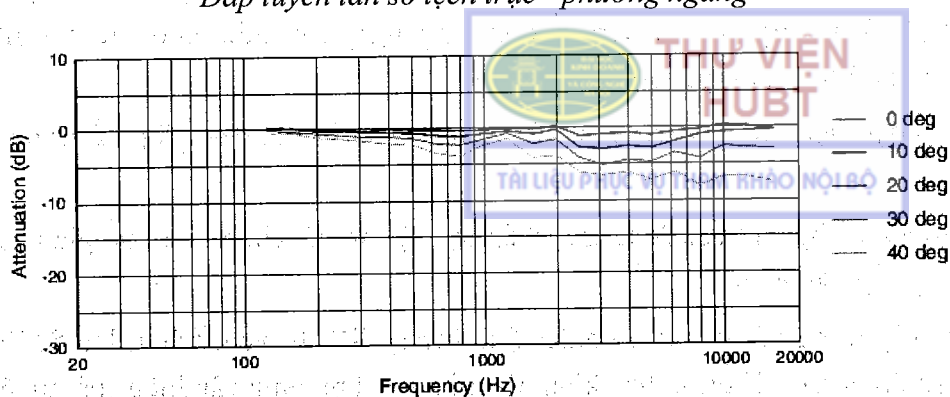
*Góc mở của chùm tia âm phát ra vs. tần số*



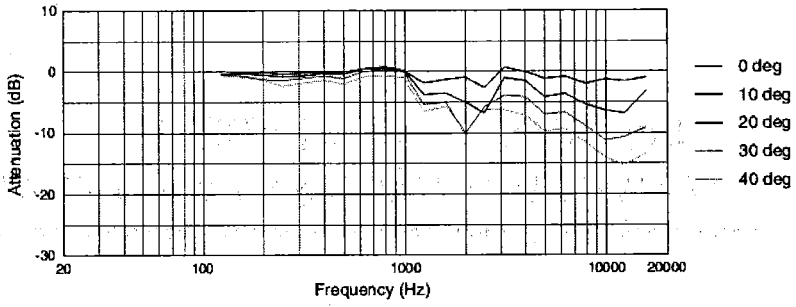
*Đáp tuyến tần số trong nửa không gian ( $2\pi$ , đường liền tục) và toàn bộ không gian ( $4\pi$ , đường chấm), và trở kháng đầu vào*



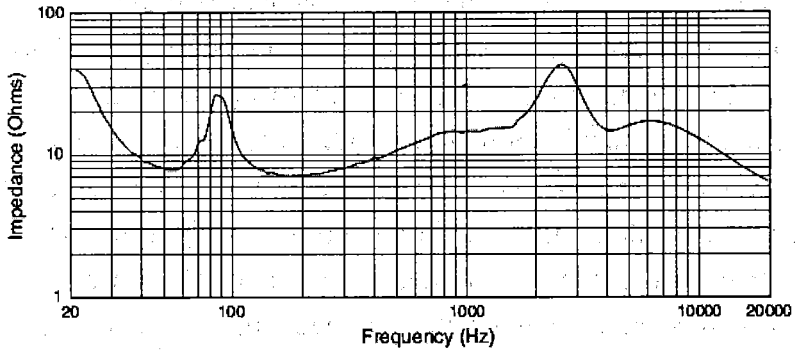
*Đáp tuyến tần số lệch trục - phương ngang*



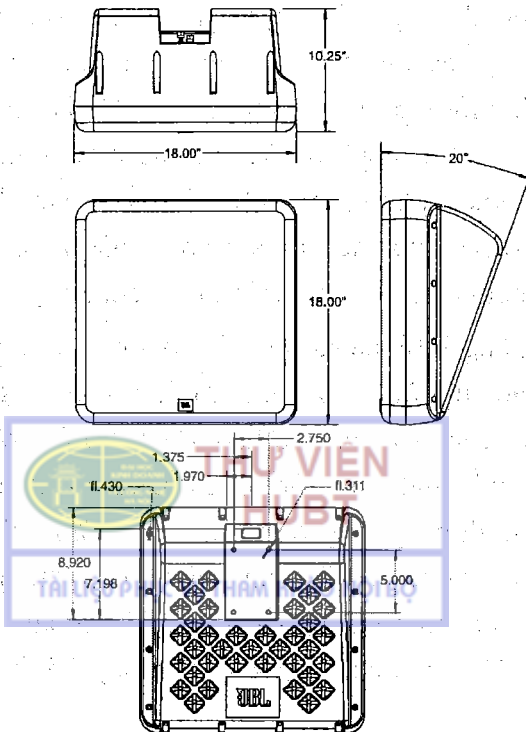
*Đáp tuyến tần số lệch trục - phương đứng (hướng xuống)*



*Trở kháng*



*Hình dáng loa*



JBL Professional  
 8500 Balboa Boulevard, P.O. Box 2200  
 Northridge, California 91329 U.S.A.  
 A Harman International Company

## LIỆU CÁC THIẾT BỊ ĐIỆN TỬ CÓ GIẢI QUYẾT HẾT CÁC VẤN ĐỀ ÂM THANH?

---

Bóng ma của các thiết bị điện tử của phòng hòa nhạc tiếp tục ám ảnh những ai tin rằng Thiên Chúa muốn các phòng hòa nhạc được làm bằng gỗ và thạch cao, không bị tràn ngập bởi loa phóng thanh, bóng bán dẫn và hệ thống tạo trễ. Những người theo chủ nghĩa âm học thuần khiết nhìn nhận rằng công nghệ âm thanh hiện đại giết chết đã giết chết âm thanh thuần khiết, bị giết bởi ma quỷ - kẻ làm xáo trộn các quy luật tự nhiên. Và người đứng đầu của những con quỷ ở Mỹ trong mắt họ là một quý ông trông rất thánh thiện tên là Christopher Jaffe, người đứng đầu của công ty Christopher Jaffe Associates ở Norwalk, Connecticut, người đã điện tử hóa hàng chục thính phòng và đang lên kế hoạch nhiều dự án hơn.

Khoảng hai tháng trước, những người theo chủ nghĩa âm học thuần khiết bắt đầu lo lắng và phiền muộn hơn bình thường. Vào ngày 12 tháng 10, dàn hòa tấu Indianapolis tổ chức buổi hòa nhạc đầu tiên tại ngôi nhà mới của mình – nhà hát Vòng tròn (Circle Theatre), vốn là một rạp phim có từ năm 1916 đã được ông Jaffe cải tạo âm học với hệ thống điện tử. Và một lần nữa, vấn đề được đưa ra: liệu âm thanh điện tử có chỗ trong một khán phòng vốn chỉ dành cho âm thanh "thuần khiết"? Thậm chí là câu hỏi: vị trí nào mà các nhà âm học thuần khiết có thể đảm nhận có thể đạt được khi kết quả buổi hòa nhạc nói trên thành công?

Vì có thể không phủ nhận rằng ông Jaffe đã sử dụng hệ thống điện tử của mình để tạo ra một âm thanh chất lượng đáng ngưỡng mộ. Ngay cả dưới ban công lớn nhô ra, nơi âm thanh có thể tản mát xung quanh và bị tiêu hao, độ rõ và âm sắc vẫn được duy trì, âm lượng cũng không bị mất mát chút nào. Điều đáng nói là những dự án trước đây của ông Jaffe trong các thính phòng điện tử không làm hài lòng tất cả người nghe. Trong nhà hát Eugene ở Oregon, cách đây vài năm, hệ thống điện thanh của ông nghe có vẻ tuyệt vời khi hội trường trống rỗng và lại kém hay khi khán giả có mặt đầy đủ. (Ông nói rằng vấn đề đã được giải quyết). Lần này thành công là điều không thể tranh cãi.

Ông Jaffe đã lắp đặt trong nhà hát Vòng tròn hệ thống ERES của ông ấy. ERES là viết tắt của Electronic Reflected Energy System (xem mục 6.5.3.1). Nó nhằm cải thiện **năng lượng âm phản xạ** bị thiếu hụt của thính phòng - và các từ đó, **năng lượng âm phản xạ**, là những từ đầy ma thuật đối với các nhà âm học ngày nay.

Những năm trước đây, những từ ma thuật trong âm học thính phòng là thời gian âm vang. Nói một cách nôm na, thời gian âm vang là thời gian cần thiết để cường độ trường âm thanh giảm xuống 60 decibel. Nó được đo ở các tần số khác nhau. Một phòng hòa nhạc có thời gian âm vang từ 1.8 đến 2.2 giây ở tần số 500 - 1000 Hz (chu kỳ mỗi giây) được xem xét một cách nghiêm nhiên là một thính phòng tốt. Nhưng trong những năm gần đây, người ta thấy rằng một số hội trường mới với thời gian âm vang "hoàn hảo" lại không phải là hoàn hảo. Rõ ràng là có một cái gì đó còn thiếu.

Ngày nay, người ta tin rằng cái còn thiếu đó chính là năng lượng âm phản xạ.

Trong bất kỳ phòng hòa nhạc nào, tai thính giả sẽ nhận được âm thanh từ hai nguồn: trực tiếp từ sân khấu, và phản xạ từ tường và trần nhà. Nhiều nhà âm học hiện đại - và ông Jaffe là một nhà âm học rất hiện đại - cho rằng bí mật chủ yếu của một phòng hoà nhạc cao cấp có liên quan đến thời gian tối ưu âm thanh đến tai người nghe của các phần năng lượng âm sớm và trễ.

Các trường năng lượng tần số trung bình và cao tần (250 Hz trở lên) nên đến tai người nghe trong vòng 20 và 30 mili giây. Các âm thanh tần số thấp (250 Hz và ở dưới) sẽ đến sau, sau 30 mili giây. Sự đến đúng lúc của các âm tần số trung và cao sẽ tạo cho thính phòng có âm điệu, có độ sáng, độ nét, độ trong trẻo của âm thanh. Sự xuất hiện đúng lúc của âm thanh tần số thấp sẽ bồi đắp cho sự ấm áp, hiệu ứng bass, sự cân đối của các câu trầm. Các phòng hòa nhạc cũ nổi tiếng đã đạt được thời gian âm đến tai hợp lý bằng cách sử dụng các bề mặt tường và trần nhà đầy trang trí. Nhưng ngày hôm nay không có kiến trúc sư nào nghĩ đến các hội trường cũ, với hốc, tượng nhỏ và các món trang sức khác giúp khuếch tán âm thanh. Các thính phòng hiện đại "hiện đại" hơn, đơn giản hơn trong việc thiết kế, và có tính sạch sẽ trơn tru. Vì vậy, các nhà âm học phải làm việc với các hệ thống các tấm phản xạ âm - chắn âm, các "đám mây âm học" trên trần và những thứ tương tự.

Đó là một chủ đề phức tạp, và ông Jaffe bận rộn không bao giờ chịu bận rộn để giải thích cho hàng giờ về vấn đề đó. Đậm người, hói, dễ chịu, mạnh mẽ, một thương gia tự nhiên, một người đàn ông với một thái độ hóm hỉnh, một người cải đạo đầy đam mê, ông Jaffe gần như là một nhà âm học tự học và được coi là một người không chuyên trong các vấn đề âm học. Ông ta liên tục làm việc không ngừng nghỉ. Trong khi hầu hết các nhà âm học làm từ 20 đến 30 thính phòng trong suốt cuộc đời của họ, ông Jaffe đã có trong tay cả 100 trường hợp, từ các phòng hòa nhạc

đến các hội trường đa năng, từ các sân khấu ngoài trời (nơi ông gây dựng tiếng tăm đầu tiên) cho các hệ thống âm thanh trong phòng họp. Mọi thứ liên quan đến âm thanh đều tìm đến địa chỉ của ông ấy.

Việc ông đến với thế giới âm học cũng thật tình cờ. Sinh năm 1927 ở Brooklyn, anh tốt nghiệp kỹ sư hóa học tại Viện Bách khoa Rensselaer, sau đó đến Đại học Columbia để làm việc về kịch nghệ và sân khấu. Sau đó ít lâu ông đã thiết kế nhà hát và các công việc của nhà hát. Sau đó ông thiết kế một lớp vỏ âm học cho Nhà hát Opera New England của Boris Goldovsky, sau đó ông thành lập một công ty chuyên về thiết kế vỏ. Các khoản thu nhập chủ yếu đến từ Cincinnati Symphony, New York Philharmonic, White House, Metropolitan Opera và các tổ chức nổi tiếng khác.

Năm 1964 ông thiết kế nhà hát đầu tiên, gian hàng cho Meadow Brook Music Festival. Đó là một thành công về mặt âm thanh. Kể từ đó, ông đã làm các thánh phòng từ Mexico đến Canada, gần đây nhất - ngoài Nhà hát Vòng tròn - Thánh phòng Boettcher ở Denver và Phòng Hòa nhạc Silva ở Eugene. Hiện đang làm là các hội trường ở Anchorage, Houston, Columbia (S.C.), Fort Myers và San Antonio. Ông Jaffe cũng là nhà thiết kế âm thanh cho nhà hát trong khách sạn Marriott-Marquis mới trên đại lộ Broadway.

Ông Jaffe lập luận một cách chắc chắn rằng hệ thống ERES của ông không phải là cái gì ghê gớm ngoài việc nó chỉ là một công cụ, được sử dụng để điều chỉnh các điều kiện trong các thánh phòng đã xây dựng, hoặc tại những hội trường đa năng mới mà không thể hoạt động tốt nếu không có sự hỗ trợ của hệ thống điện thanh. Nhưng khi ông ấy có trong tay một phòng hoà nhạc chính thống được thiết kế từ con số 0, ông ấy cho rằng không có lý do gì để sử dụng hệ thống ERES của mình. Nhưng khi không có sự lựa chọn nào khác - khi được mời xử lý một rạp chiếu phim cũ, hoặc một phòng đa năng mà nhất thiết phải là một sự thỏa hiệp - ông không ngần ngại sử dụng bất cứ phương tiện điện tử nào là cần thiết để cải thiện tình huống còn hơn là không thể giải quyết được.

Trong bất kỳ trường hợp nào, ông cũng cho biết, các loại hệ thống điện tử giống như thứ được lắp trong Royal Festival Hall ở Luân Đôn hay những hội trường mà hệ thống ERES đã được đặt, đều là những thứ rất tự nhiên của thánh phòng, hệt như các bức tường bên và bề mặt phản xạ trong thánh phòng Carnegie hay Symphony Hall ở Boston. Nghĩa là, các hệ thống điện tử này không giống như các hệ thống khuếch đại Broadway, ở đó các kỹ sư âm thanh liên tục kiểm soát và điều chỉnh. Thay vào đó, một khi đã được lắp đặt chúng trở thành các thuộc tính tự nhiên của thánh phòng, không chỉnh sửa được nữa (Hệ thống ERES trong Nhà hát Vòng tròn chỉ có hai lựa chọn sử dụng - Bật và Tắt). Chúng không khuếch đại âm thanh. Chúng chỉ thay đổi

âm thanh, làm theo cách điện tử chứ không theo cách cơ học. Chúng được dùng cho phòng hòa nhạc giống như những gì mà những "đám mây" hoặc các món thiết bị khác làm cho các phòng hòa nhạc chính thống hoặc nhà hát opera.

Thực tế là khoảng thời gian từ năm 1860 đến năm 1910 đã chứng kiến sự ra đời của nhiều phòng hòa nhạc tuyệt vời trên khắp thế giới (ba bộ thính phòng vĩ đại nhất được thừa nhận là Musikverein ở Vienna, Concertgebouw ở Amsterdam và Symphony Hall ở Boston). Tuy nhiên, mặc dù có tất cả sự tinh vi của các hệ thống điện tử trong vài thập kỷ qua, kết quả đạt được là gì? Giai đoạn sau Thế chiến II dường như đã nhìn chứng kiến hết thảm họa âm thanh này đến thảm họa âm thanh khác. Từ "acoustics" đột nhiên trở nên nổi tiếng ở Mỹ sau sự thất bại của Hội trường Philharmonic của Trung tâm Lincoln (nay là Avery Fisher Hall) vào năm 1962. Hay thất bại của thính phòng New York đã bị thất bại âm thầm của Royal Festival Hall ở London làm lu mờ.

Trường hợp sau cùng đã giải quyết được vấn đề của nó bằng cách lắp đặt một hệ thống điện tử cung cấp phản ứng âm bass mà trước đây hầu như không có tiếng bass. Thính phòng Philharmonic ở Berlin đã trục trặc và xây lại. Kể từ đó, đã có rất nhiều phòng hòa nhạc và nhà hát opera tại Hoa Kỳ, nhờ sự gia tăng của các trung tâm biểu diễn nghệ thuật bắt đầu từ những năm 1960. Nhưng rất ít trong số đó đã được các chuyên gia âm học đón chào nồng nhiệt. Có gì sai trái với khoa học về âm học? Hay cái gọi là "khoa học của âm học" là một cái gì đó giống như ma thuật, hoặc phỏng đoán, hoặc giống như đọc các thẻ bài tarot (một loại bài cỏ ở Châu Âu - tác giả)?

Ông Jaffe cũng có câu trả lời cho vấn đề này.

"Tất nhiên âm học là một khoa học," ông nói trong văn phòng Norwalk của ông. Những gì đã xảy ra sau chiến tranh thế giới II, và đặc biệt là sau sự bùng nổ của hàng loạt các trung tâm nghệ thuật, thực ra là một hội trường đa năng. Chắc chắn đã có rất nhiều và rất nhiều thính phòng mới. Nhưng rất ít trong số đó được xây dựng để dùng riêng cho một chức năng là một sảnh hòa nhạc hay một nhà hát opera. Đó là những phòng đa năng lớn, chứa đựng tất cả các loại nhạc - opera và symphony, biểu diễn và nhạc jazz, các chương trình du lịch, mọi thứ. Điều này là trái với tất cả các quy luật vật lý. Một nhà hát opera cần một khoảng thời gian âm vang ngắn, như 1.2 hoặc 1.3 giây. Một phòng hòa nhạc cần 1.8 đến 2.2 giây. Làm thế nào có thể một thính phòng làm được cả hai chức năng? Tòa nhà đa năng đã là một ý tưởng thất bại ngay từ đầu "

Ông Jaffe chỉ ra rằng có chưa tới chục nhà hát opera hoặc phòng hòa nhạc đúng nghĩa đã được xây dựng ở Mỹ kể từ năm 1962, năm mà Trung tâm Lincoln đã làm dấy lên cơn sốt của trung tâm biểu diễn nghệ thuật. Đã có Philharmonic Hall (Fisher Hall), Metropolitan Opera, hai trung tâm Kennedy Center, phòng hòa nhạc ở Minnesota, Salt Lake City, Denver, San Francisco và Baltimore. Hơn thế, hàng trăm

phòng đa năng trên khắp đất nước đã được dựng lên. Rất ít thành phố có thể đủ khả năng và sự sang trọng để làm phòng hòa nhạc và nhà hát opera thành 2 hạng mục riêng biệt. Vì vậy, các cộng đồng chọn xây dựng các hội trường đa năng, với dự định kiểu như "một ổ cắm cho tất cả mọi thứ".

Ông Jaffe nói: "Âm học đã bị gán cho một cái tiếng xấu vì những phòng đa năng kiểu đó". "Cũng có xu hướng cho các dàn nhạc giao hưởng đi diễn ở các rạp chiếu phim được khôi phục. Nhưng nhìn chung người ta không nhận ra rằng nhiều trong số đó đang được sử dụng như các hội trường đa năng. Tại châu Âu cũng có rất nhiều hội trường đa năng. Nhiều trong số đó là một mớ hỗn độn"

Tuy nhiên, theo ông Jaffe, vẫn có hy vọng. Nhờ vào sự tiến bộ to lớn trong khoa học âm thanh vào khoảng phần tư cuối cùng của thế kỷ 20, nhờ vào việc phát minh ra các dụng cụ đo vô cùng phức tạp hơn trước đây, nhờ một số nghiên cứu đáng chú ý về tính chất của thính giác, nhờ các kỹ thuật điện tử mới - cảm ơn tất cả những điều này, các chuyên gia âm thanh có thể tiếp cận giải quyết các vấn đề của hội trường đa năng với một mức độ tự tin đáng kể.

Christopher Jaffe nói. Và hơn thế nữa. Ông nhìn bạn trong mắt và tường thuật với sự chắc chắn bình tĩnh, như là một vấn đề đơn giản của thực tế, rằng với các công cụ điện tử mới ngày nay "có thể nhân đôi số lượng các thính phòng tốt trên thế giới".

Người ta cho rằng các đồng nghiệp âm học của ông ấy đón nhận điều đó với một chút bảo thủ. Thế giới của các chuyên gia về âm thanh là nhỏ và mang tính tài năng bẩm sinh, do đó rất ít người trong số họ sẽ nói bất cứ điều gì cho một xuất bản phẩm có thể gây bất lợi cho một đồng nghiệp. (Nhưng nếu nói một cách riêng tư - vấn đề có thể khác). Vì vậy nhiều chuyên gia âm thanh phản đối với tuyên bố của ông Jaffe đã từ chối không cho nêu tên đích danh. Nhưng phản ứng của họ có thể thay đổi từ một phản ứng quyết liệt kiểu "vô lý quá!" cho đến những thái độ khó ghi nhận hơn. Ông Jaffe, một thành viên của Hiệp hội Âm thanh Hoa Kỳ, Hiệp hội Kỹ thuật Âm thanh và Viện Âm học (Anh) rõ ràng vẫn là người không chuyên như các chuyên gia âm thanh.

Tuy nhiên, sẽ rất thú vị nếu các nhà đầu tư của một phòng hoà nhạc hoặc nhà hát dự kiến tiếp cận ông Jaffe và nói: "Được rồi. Hãy làm cho tôi một Musikvereinsaal, làm cho tôi một La Scala"<sup>4</sup>.

*Xuất bản ngày: 23 tháng 12 năm 1984*

*Bởi HAROLD C. SCHONBERG (Dịch thuật: TS. Nguyễn Anh Tuấn) | BỘ*

**The New York Times**

[Có tại: <http://www.nytimes.com/1984/12/23/arts/can-electronics-solve-all-acoustical-problems.html?pagewanted=all>, truy cập ngày 6/2/2017]

<sup>4</sup> Tên các phòng hòa nhạc nổi tiếng ở Viên - Áo và Milan - Ý.

# MỤC LỤC

	<i>Trang</i>
<i>Lời nói đầu</i> .....	3
<b>Danh mục các từ viết tắt</b> .....	5
<b>Chương 1. Cơ sở lý thuyết của âm học</b>	
1.1. Giới thiệu .....	7
1.2. Lịch sử của âm học .....	10
1.2.1. Âm học thời cổ đại .....	10
1.2.2. Âm học trong thế kỷ 19 .....	10
1.2.3. Âm học trong thế kỷ 20 .....	13
1.3. Các nguyên lý cơ bản của âm thanh và sự kiểm soát âm thanh .....	20
1.3.1. Sự hình thành sóng âm .....	20
1.3.2. Tần số của sóng âm .....	21
1.3.3. Dải tần số và sự phân bố áp suất âm của các tần số trong một hòa âm (phổ âm thanh, phổ tiếng ồn).....	22
1.3.4. Bước sóng âm thanh.....	23
1.4. Các đại lượng vật lý đo độ lớn của âm .....	24
1.5. Thang Decibel.....	26
1.6. Các mức âm hiệu chỉnh theo trọng số của tần số âm.....	28
1.7. Các đặc điểm cảm thụ âm thanh của tai người .....	30
1.7.1. Dải âm thanh khả thính.....	30
1.7.2. Cao độ của âm thanh .....	31
1.7.3. Âm điệu và âm sắc .....	31
1.7.4. Mức cảm giác to nhỏ của tai người .....	32
1.7.5. Khả năng định vị nguồn âm.....	33
1.7.6. Tính chất lưu âm của cơ quan thính giác .....	34
1.7.7. Hiện tượng âm thanh bị che lấp (sound masking).....	35

1.8. Sự lan truyền âm thanh ngoài trời.....	37
1.8.1. Sự suy giảm năng lượng âm theo khoảng cách.....	37
1.8.2. Mức âm tổng hợp của nhiều nguồn âm tác dụng đồng thời.....	38
1.8.3. Ảnh hưởng của gió và nhiệt độ đến sự lan truyền âm thanh.....	40
1.9. Câu hỏi và bài tập chương 1 .....	41
<i>Tài liệu tham khảo chương 1 .....</i>	<i>44</i>

## **Chương 2. Vật liệu và kết cấu dùng trong thiết kế trang âm**

2.1. Đặc trưng hút âm của vật liệu.....	48
2.2. Các loại vật liệu và kết cấu hút âm .....	51
2.2.1. Vật liệu hút âm xốp .....	51
2.2.2. Bản mỏng cộng hưởng hút âm .....	53
2.2.3. Bản đục lỗ hút âm.....	54
2.2.4. Các kết cấu hút âm phức hợp .....	58
2.3. Ứng dụng vật liệu hút âm .....	60
2.3.1. Kiểm soát thời gian âm vang.....	60
2.3.2. Kiểm soát tiếng ồn trong nhà máy và phòng lớn.....	61
2.3.3. Kiểm soát âm tần số thấp trong các thính phòng quan trọng .....	62
2.3.4. Kiểm soát tiếng dội trong khán phòng .....	63
2.3.5. Cách âm .....	64
2.3.6. Tường chắn ồn và đường.....	65
2.3.7. Kiểm soát tiếng ồn tự nhiên.....	66
2.4. Các nguyên tắc bố trí vật liệu hút âm .....	66
2.5. Các vấn đề khác liên quan đến lựa chọn giải pháp xử lý âm học.....	67
2.5.1. Xử lý âm học bằng thiết bị điện tử.....	67
2.5.2. Xử lý âm học và vấn đề an toàn cho con người.....	69
2.5.3. Vật liệu xử lý âm học và vấn đề môi trường.....	71
2.6. Vật liệu khuếch tán âm .....	72
2.6.1. Nguyên lý cơ bản.....	72
2.6.2. Các bề mặt khuếch tán âm.....	73
2.6.3. Bộ khuếch tán Schroeder.....	74

2.7. Ứng dụng của vật liệu khuếch tán âm.....	76
2.7.1. Kiểm soát tiếng dội và thúc đẩy trường âm khuếch tán trong khán phòng.....	76
2.7.2. Giảm tác động của âm phản xạ sớm trong studio âm thanh.....	78
2.7.3. Cải thiện khả năng nghe rõ trong các trạm tàu điện ngầm hoặc ga tàu điện ngầm.....	80
2.7.4. Các bề mặt sân khấu.....	81
2.7.5. Làm giảm hiện tượng âm tập trung của bề mặt lõm.....	84
2.7.6. Trong khu vực khán giả - trường âm khuếch tán .....	84
2.8. Các nguyên tắc bố trí vật liệu khuếch tán âm .....	85
2.9. Cách lựa chọn vật liệu (hút âm hay khuếch tán âm).....	86
2.10. Câu hỏi và bài tập chương 2 .....	88
<i>Tài liệu tham khảo chương 2 .....</i>	<i>90</i>

### **Chương 3. Âm học phòng kín (Room Acoustics)**

3.1. Trường âm trong phòng kín.....	93
3.1.1. Xung đáp ứng .....	93
3.1.2. Quá trình phát triển và tắt dần của trường âm trong phòng kín .....	96
3.1.3. Đo thời gian âm vang - phương pháp ngắt âm (Interrupted Method).....	97
3.1.4. Tính toán thời gian âm vang.....	99
3.1.5. Sự lan truyền âm thanh theo nguyên lý âm hình học .....	104
3.1.6. Tần số dao động riêng của phòng kín theo lý thuyết sóng.....	107
3.2. Các thông số liên quan đến chất lượng âm trong phòng thính giả .....	110
3.2.1. Thời gian âm vang tối ưu .....	110
3.2.2. Độ mạnh yếu của âm (sound strength hoặc là strength factor) .....	117
3.2.3. Ấn tượng không gian (spaciousness).....	118
3.2.4. Thông số liên quan đến âm sắc hay âm điệu.....	119
3.2.5. Các chỉ số về điều kiện biểu diễn.....	119
3.2.6. Độ rõ (definition), độ rõ câu (speech intelligibility) trong diễn thuyết và độ rõ trong âm nhạc (clarity) .....	121
3.2.7. Thời điểm trọng tâm (center time) .....	126
3.2.8. Tiếng dội (echoes) .....	126

3.3. Các hiện tượng âm học trong phòng kín.....	128
3.3.1. Trường âm khuếch tán.....	128
3.3.2. Tiếng dội.....	131
3.3.3. Hội tụ âm - âm đi vòng (whispering-gallery effect).....	132
3.3.4. Hiện tượng méo âm sắc.....	133
3.3.5. Hiện tượng bóng âm.....	133
3.4. Đo đạc trường âm trong phòng.....	134
3.5. Câu hỏi và bài tập chương 3.....	136
<i>Tài liệu tham khảo chương 3.....</i>	<i>138</i>

#### **Chương 4. Thiết kế trang âm các phòng thính giả**

4.1. Yêu cầu chung về chất lượng âm.....	141
4.2. Thiết kế các bộ phận cơ bản của phòng khán giả.....	145
4.2.1. Thiết kế ghế ngồi khán giả.....	145
4.2.2. Thiết kế tia nhìn và trường nhìn.....	146
4.2.3. Tấm phản xạ âm.....	148
4.2.4. Sân khấu.....	150
4.2.5. Thiết kế hồ nhạc.....	153
4.2.6. Trần.....	156
4.2.7. Tường hậu và tường bên.....	157
4.2.8. Ban công.....	160
4.3. Thiết kế trang âm phòng thính giả dựa trên thời gian âm vang.....	162
4.3.1. Tính toán thể tích và lựa chọn hình dáng mặt bằng.....	163
4.3.2. Định hình hình dáng phòng theo nguyên lý âm hình học.....	167
4.3.3. Xác định thời gian âm vang tốt nhất cho phòng.....	173
4.3.4. Tính toán tổng lượng hút âm cần thiết.....	175
4.3.5. Chọn và bố trí vật liệu và kết cấu hút âm, phản xạ âm.....	176
4.3.6. Kiểm tra các điều kiện âm học theo phương án đã chọn.....	177
4.4. Một ví dụ tính toán âm học thính phòng theo phương pháp thời gian âm vang.....	178
4.5. Câu hỏi và bài tập chương 4.....	181
<i>Tài liệu tham khảo chương 4.....</i>	<i>185</i>

## **Chương 5. Các phương pháp mô hình hóa âm học thính phòng**

5.1. Tính toán các chỉ số chất lượng âm bằng các mô hình thực nghiệm.....	188
5.2. Thiết kế trang âm phòng thính giả bằng mô phỏng trên máy tính.....	189
5.2.1. Phương pháp âm vang thống kê .....	192
5.2.2. Phương pháp dò tia (ray tracing method).....	193
5.2.3. Phương pháp ảnh nguồn âm (image source method) .....	198
5.2.4. Các phương pháp khác .....	199
5.2.5. Đặc điểm chung của các phương pháp.....	201
5.2.6. Trình tự thực hiện một mô phỏng âm học trên máy tính .....	202
5.2.7. Âm thanh giả lập (auralization).....	206
5.2.8. Những ưu điểm của phương pháp mô phỏng âm học trên máy tính.....	208
5.2.9. Độ chính xác của kết quả tính toán bằng phần mềm.....	211
5.3. Thiết kế âm học phòng thính giả bằng phương pháp dựng mô hình .....	213
5.3.1. Vấn đề xử lý tần số âm thí nghiệm.....	213
5.3.2. Vật liệu trong mô hình âm học .....	216
5.3.3. Độ chính xác yêu cầu của thiết bị đo.....	218
5.4. Quan ngại về mức độ không chắc chắn của các thiết kế âm học.....	218
5.5. câu hỏi và bài tập chương 5 .....	219
<i>Tài liệu tham khảo chương 5 .....</i>	<i>221</i>

## **Chương 6. Hệ thống điện thanh trong phòng thính giả**

6.1. Cấu tạo và nguyên lý làm việc của hệ thống điện thanh .....	224
6.1.1. Đầu thu âm .....	225
6.1.2. Loa (speaker) .....	227
6.1.3. Hệ thống trộn, khuếch đại và cân bằng tần số.....	238
6.1.4. Hệ thống các dây nối: dây loa và âm-ly .....	241
6.1.5. Các thiết bị phụ (không nhất thiết phải có).....	242
6.2. Phân loại các hệ thống điện thanh .....	243
6.2.1. Phân loại theo đặc điểm bố trí hệ thống thu phát .....	243
6.2.2. Phân loại theo tính chất của hệ thống thu phát.....	247
6.3. Khi nào thì cần một hệ thống điện thanh.....	248
6.4. Các yêu cầu âm học đối với hệ thống điện thanh .....	249

6.5. Đặc điểm trường âm thanh trong phòng có hệ thống điện thanh .....	251
6.5.1. Hiệu ứng Haas .....	251
6.5.2. Hiện tượng hồi tiếp (hiện tượng phản quy) .....	253
6.5.3. Hiện tượng âm tắt dần trong phòng có hệ thống điện thanh .....	257
6.6. Tính toán sơ bộ một hệ thống điện thanh .....	262
6.6.1. Các bước thiết kế hệ thống điện thanh .....	262
6.6.2. Tính toán sơ bộ công suất hệ thống điện thanh .....	262
6.6.3. Thiết kế âm học phòng có hệ thống điện thanh .....	263
6.6.4. Thiết kế âm học với phòng đa chức năng .....	264
6.6.5. Lưu ý khi lựa chọn và bố trí hệ thống điện thanh .....	266
6.7. Câu hỏi và bài tập chương 6 .....	271
<i>Tài liệu tham khảo chương 6</i> .....	277

## **Chương 7. Tiếng ồn và chống ồn trong môi trường xây dựng**

7.1. Khái niệm về tiếng ồn và các vấn đề liên quan đến tiếng ồn .....	279
7.1.1. Các loại nguồn ồn và tính chất của tiếng ồn .....	280
7.1.2. Đánh giá tiếng ồn thay đổi .....	282
7.1.3. Mức ồn tổng hợp của 2 nguồn ồn độc lập .....	285
7.1.4. Ảnh hưởng của tiếng ồn đối với con người .....	286
7.1.5. Các tiêu chuẩn mức ồn cho phép Âu - Mỹ .....	290
7.1.6. Một số quy định và tiêu chuẩn về tiếng ồn của Việt Nam .....	294
7.1.7. Tính toán lan truyền tiếng ồn trong không gian đô thị .....	298
7.2. Các biện pháp chống ồn trong thiết kế và quy hoạch đô thị .....	307
7.2.1. Biện pháp chống ồn trong quy hoạch chung đô thị .....	307
7.2.2. Biện pháp chống ồn trong quy hoạch đô thị .....	310
7.2.3. Biện pháp chống ồn khi thiết kế công trình .....	316
7.3. Thiết kế cách âm cho công trình xây dựng .....	318
7.3.1. Các đại lượng vật lý để đánh giá khả năng cách âm của kết cấu .....	319
7.3.2. Các giải pháp cách âm không khí cho công trình xây dựng .....	322
7.3.3. Giải pháp cách âm va chạm .....	326
7.4. Câu hỏi và bài tập chương 7 .....	330
<i>Tài liệu tham khảo chương 7</i> .....	333

## Phụ lục

<b>Phụ lục A. Đặc tính âm học của một số vật liệu và kết cấu</b> .....	336
Phần 1: Hệ số hút âm của vật liệu và kết cấu (trích từ tài liệu (Phạm, 2011)).....	336
Phần 2: Thông số âm học của vật liệu và kết cấu (trích từ tài liệu (Vorländer, 2008)) .....	344
Tài liệu tham khảo phụ lục A .....	368
<b>Phụ lục B. Thông số kỹ thuật loa SP225-9 và loa 8340A của JBL</b> .....	369
<b>Phụ lục C. Liệu các thiết bị điện tử có giải quyết hết     các vấn đề âm thanh?</b> .....	378





**THƯ VIỆN  
HUBT**

**TÀI LIỆU PHỤC VỤ THAM KHẢO NỘI BỘ**

# GIÁO TRÌNH ÂM HỌC KIẾN TRÚC

*Chịu trách nhiệm xuất bản:*

*Giám đốc – Tổng Biên tập*

**TRỊNH XUÂN SƠN**

*Biên tập:*

**ĐINH THỊ PHƯỢNG**

*Chế bản điện tử:*

**ĐẶNG HUYỀN TRANG**

*Sửa bản in:*

**ĐINH THỊ PHƯỢNG**

*Trình bày bìa:*

**VŨ THỊ BÌNH MINH**





In 300 cuốn khổ 19x27cm, tại xưởng in Nhà xuất bản Xây dựng số 10 Hoa Lư - Hà Nội.  
Số xác nhận đăng ký xuất bản: 2375-2018/CXBIPH/02-109/XD ngày 9 tháng 7 năm 2018.  
ISBN: 978-604-82-2452-3. Quyết định xuất bản số 112-2018/QĐ-XBXD ngày 20 tháng 7 năm 2018.  
In xong nộp lưu chiểu tháng 7 năm 2018.