

Tr2.119

PGS. TS. Phạm Đức Nguyên

Âm học kiến trúc Âm học đô thị



NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG

PGS. TS. PHẠM ĐỨC NGUYỄN

ÂM HỌC KIẾN TRÚC ÂM HỌC ĐÔ THỊ

(Tái bản)



NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
HÀ NỘI - 2014



**THƯ VIỆN
HUBT**

TÀI LIỆU PHỤC VỤ THAM KHẢO NỘI BỘ

LỜI NÓI ĐẦU

Âm thanh là một hiện tượng tự nhiên, quen thuộc và gần gũi không chỉ đối với con người mà còn phần lớn các loài động vật. Gần đây nhất các nhà sinh học còn phát hiện rằng cả thực vật cũng biết "nghe" âm thanh. Song chỉ có con người mới biết cảm thụ, thưởng thức âm thanh để làm phong phú và tô đẹp thêm cuộc sống của mình, nhưng có lẽ cũng chính vì vậy mà con người lại bị âm thanh quấy nhiễu, hành hạ, thậm chí gây bệnh.

Cuốn sách chúng tôi xoay quanh vấn đề "tạo ra các điều kiện tiện nghi âm thanh cho con người bằng các giải pháp kiến trúc và xây dựng".

Có hai loại tiện nghi âm thanh và tương ứng với chúng là hai lĩnh vực nghiên cứu trong âm học kiến trúc.

Trong các phòng thính - khán giả như các nhà hát, phòng hòa nhạc, rạp chiếu phim v.v... thì điều kiện tiện nghi âm thanh là điều kiện tốt nhất để thu nhận tiếng nói, cảm thụ và thưởng thức tiếng hát, âm nhạc. Lĩnh vực nghiên cứu này được gọi là âm học phòng, hay còn gọi là âm học kiến trúc và được giới thiệu ở chương 2 (cơ sở lý thuyết), chương 4 (áp dụng thiết kế các phòng thính giả) và chương 5 (nguyên tắc sử dụng hệ thống điện thanh trong các phòng).

Trong các thành phố hiện đại, trong nhà ở, nhà làm việc, nhà máy... thì tiện nghi âm thanh là điều kiện yên tĩnh cần thiết để làm việc hoặc nghỉ ngơi, giải trí cho con người. Lĩnh vực nghiên cứu này là chống tiếng ồn hay còn gọi là âm học xây dựng, được trình bày trong các chương 6 (chống tiếng ồn trong thành phố) chương 7 (cách âm cho các kết cấu nhà cửa) và chương 8 (chống tiếng ồn của các thiết bị và trong công nghiệp).

Chương 1 giới thiệu bản chất vật lý và sinh lý của âm thanh và đặc điểm cảm nhận âm thanh của tai người, các phương pháp đánh giá và tính toán nó. Chương 3 giới thiệu các vật liệu hút âm dùng trong cả hai lĩnh vực nghiên cứu nói trên.

Phần phụ lục cung cấp cho độc giả các số liệu cần thiết khi thực hiện các bài toán âm học cũng như các ví dụ về các giải pháp trong thực tế xây dựng ở trong nước cũng như trên thế giới.

Như vậy, cuốn sách muốn được giúp ích cho những người thiết kế kiến trúc, thiết kế nội thất, các kỹ sư xây dựng trực tiếp thi công các công trình, và trước hết phục vụ cho việc học tập của sinh viên các ngành nói trên trong các trường đại học và cao đẳng. Mặt khác chúng tôi cũng hy vọng cuốn sách còn giúp ích cho các nhà quản lý công trình và quản lý đô thị, các kỹ sư kinh tế xây dựng và kỹ sư kiểm soát môi trường, cũng như các nhà chuyên môn muốn nghiên cứu sâu hơn trong lĩnh vực âm học kiến trúc và xây dựng.

Trên thế giới, âm học kiến trúc đã có quá trình phát triển gần một thế kỷ nay, nhưng ở nước ta chỉ mới được quan tâm thực sự từ vài chục năm gần đây, và các nghiên cứu trong các lĩnh vực này chưa có nhiều. Trong cuốn sách chúng tôi đã cố gắng đưa vào các kết quả nghiên cứu áp dụng trong điều kiện Việt Nam.

Tác giả mong nhận được ý kiến đóng góp của các đồng nghiệp và bạn đọc để nâng cao chất lượng cuốn sách, đặc biệt các ý kiến chỉ rõ các thiếu sót và bổ sung các kinh nghiệm thực tế.

Tác giả xin chân thành cảm ơn Khoa Kiến trúc Trường đại học Xây dựng Hà Nội cũng như các đồng nghiệp đã ủng hộ và giúp đỡ để cuốn sách sớm được hoàn thành.



LỜI GIỚI THIỆU NHÂN LẦN XUẤT BẢN NĂM 2008

Trong thời gian tám năm, sau khi cuốn "Âm học kiến trúc - Cơ sở lý thuyết và các giải pháp ứng dụng" được xuất bản tại NXB Khoa học & Kỹ thuật, tác giả đã nhận được nhiều ý kiến đóng viên, khích lệ của bạn bè đồng nghiệp và của các độc giả. Đặc biệt cuốn sách đã vinh dự được nhận "Giải thưởng Kiến trúc" do Bộ Văn hoá Thông tin, Bộ Xây dựng và Hội Kiến trúc sư Việt Nam trao tặng năm 2000.

Tác giả xin chân thành cảm ơn!

Gần 10 năm qua, với sự phát triển không ngừng của nền kinh tế và kỹ thuật toàn cầu, sự tăng tốc của quá trình đô thị hoá đi kèm với các hoạt động mạnh mẽ về xây dựng và giao thông vận tải đã đặt ra những thách thức mới về môi trường âm thanh - tiếng ồn đối với tiện nghi cuộc sống, giải trí, sức khoẻ, bệnh tật và tuổi thọ của người dân đô thị. Lĩnh vực nghiên cứu về "Âm học đô thị" (Urban Acoustics) đã được đặc biệt quan tâm.

Ở trong nước ta, thêm nhiều công trình kiến trúc phòng thính giả, phòng giải trí, văn hoá đã được xây dựng, nhiều tiêu chuẩn mới về âm học trong xây dựng được ban hành, theo xu thế hội nhập với khu vực và thế giới.

Vì lý do đó, lần xuất bản này, cuốn sách lấy tên là "Âm học kiến trúc, Âm học đô thị" (Architectural Acoustics, Urban Acoustics), trong đó đã sửa chữa, hiệu đính một vài sai sót, bổ sung một số kết quả nghiên cứu mới ở nước ta, chủ yếu trong lĩnh vực cách âm và tiếng ồn đô thị.

Tác giả chân thành cảm ơn NXB Xây dựng đã giúp đỡ cho lần xuất bản - tái bản này, kịp thời phục vụ cho công tác đào tạo trong các trường đại học chuyên ngành kiến trúc và xây dựng.

Tác giả mong tiếp tục nhận được nhiều ý kiến phê bình của bạn đọc.

Hà Nội tháng tư, năm 2008

Tác giả: Nhà giáo ưu tú, Giảng viên cao cấp,

PGS. TS. PHẠM ĐỨC NGUYỄN



CÁC KÝ HIỆU SỬ DỤNG TRONG SÁCH

<i>Ký hiệu</i>	<i>Ý nghĩa, đơn vị</i>
f	Tần số âm, Hz
λ	Bước sóng âm, m
T_a	Chu kỳ dao động âm, s
c_0	Vận tốc âm trong không khí, m/s
ρ_0	Khối lượng riêng không khí, kg/m ³
t	Nhiệt độ không khí, °C
P	Công suất âm, W
I	Cường độ âm, W/m ²
E	Mật độ năng lượng âm, J/m ³
p	Áp suất âm, N/m ²
P_{\max}	Áp suất âm cực đại, N/m ²
\bar{p}	Áp suất âm hiệu quả, N/m ²
L_1	Mức cường độ âm, dB
L_p	Mức áp suất âm, dB
L_p	Mức công suất âm, dB
L_E	Mức mật độ năng lượng âm, dB
L_A	Mức âm theo hiệu chỉnh A, dB, A
L_{id}	Mức âm tương đương, dB, A
L	Mức âm, dB
ΔL	Độ chênh lệch, độ giảm mức âm, mức âm gia tăng, dB
M	Mức to, phon
Δ	Độ to, sone

r	Khoảng cách, m
Q	Hệ số định hướng của nguồn âm
Ω	Góc khối, Sr
α	Hệ số hút âm
β	Hệ số phản xạ âm
A	Lượng hút âm, m^2
S	Diện tích, m^2
B	Hàng số của phòng, m^2
R_a	Độ rõ âm tiết, %
V	Thể tích phòng, m^3
T	Thời gian âm vang của phòng, s
T^n	Thời gian âm vang tốt nhất, s
T_{hq}	Thời gian âm vang hiệu quả, s
T_d	Thời gian âm vang trong phòng sử dụng hệ thống điện thanh, s
U	Tỷ số âm thanh
m	Khối lượng tấm kết cấu, kg/m^2
τ	Hệ số truyền âm qua kết cấu
R	Khả năng cách âm không khí của kết cấu, dB
D	Độ chênh mức âm của hai phòng, dB
D_c	Độ chênh lệch mức âm quy chuẩn của hai phòng, dB
L_c	Mức âm va chạm chuẩn dưới sàn, dB
CK	Chỉ số cách âm không khí, dB
CV	Chỉ số cách âm va chạm, dB
f_{gh}	Tần số giới hạn của hiện tượng trùng sóng, Hz
f_{ch}	Tần số cộng hưởng chung của kết cấu, Hz
NR, NC	Họ đường tiêu chuẩn mức ồn



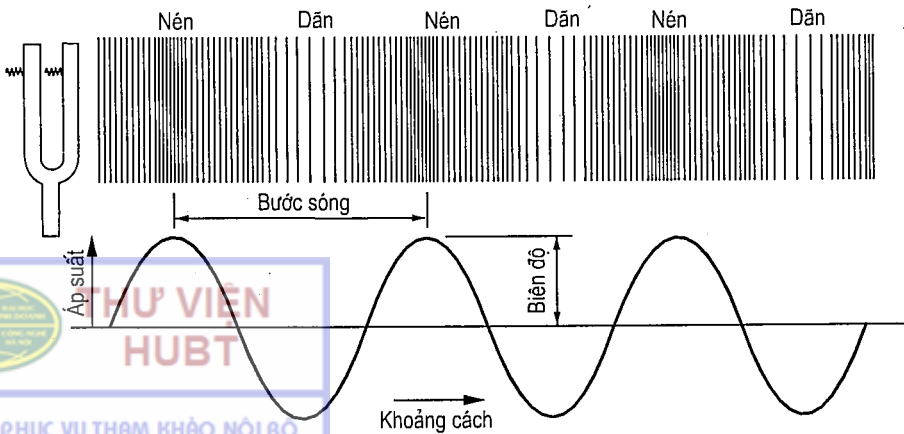
Chương 1

CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ ÂM THANH

1.1. BẢN CHẤT VẬT LÝ CỦA ÂM THANH

1.1. Sóng âm

Về mặt vật lý, âm thanh là những sóng dao động xuất hiện trong các môi trường vật chất, chất khí, chất lỏng, chất rắn... gọi chung là môi trường đàn hồi khi chịu các lực kích thích. Những lực kích thích là *nguồn âm* (như dây đàn và màng trống khi rung hay tiếng nói - sự rung của các dây thanh v.v...), sóng dao động được gọi là *sóng âm*, và môi trường trong đó có sóng âm lan truyền gọi là *trường âm*.



Hình 1.1. Sóng âm lan truyền trong môi trường đàn hồi

Sự xuất hiện và lan truyền của sóng âm trong môi trường đàn hồi được giải thích như sau (hình 1.1): Dao động của nguồn âm (ví dụ màng trống) gây ra áp lực làm nén hoặc dãn luân phiên các phần tử môi trường (không khí) ở hai phía của nó. Khi bị kích thích như vậy, các phần tử của môi trường sẽ dao động quanh một vị trí cân bằng và truyền các dao động đó cho phần tử bên cạnh nhờ có liên kết đàn hồi giữa chúng. Đến lượt các phần tử này lại

truyền dao động mới nhận được cho các phần tử tiếp theo, và cứ như vậy dao động được lan truyền đi xa dần nguồn âm. Như vậy sóng âm thực chất là sóng áp suất của môi trường. Khi các dao động âm truyền đến tai người, ở một phạm vi thích hợp (xem mục 1.5) chúng sẽ tác động lên cơ quan thính giác và cho ta cảm giác âm thanh.

Sóng âm cũng mang theo năng lượng, được gọi là *năng lượng âm*, và năng lượng này sẽ giảm dần trong trường âm, bởi vì càng xa nguồn của nó càng bị chia sẻ cho một số lượng các phần tử nhiều hơn, cho đến khi tắt hẳn.

Theo phương dao động của các phần tử môi trường người ta chia ra:

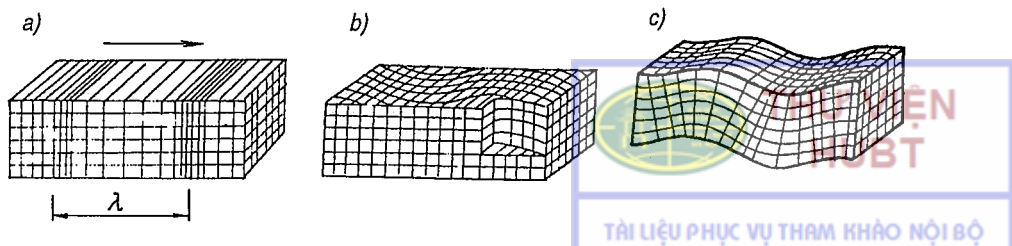
- *Sóng dọc*: khi các phần tử dao động dọc theo phương truyền sóng.
- *Sóng ngang*: khi các phần tử dao động vuông góc với phương truyền sóng.

Trong các chất khí và chất lỏng chỉ có sóng dọc lan truyền, trong các chất rắn có thể lan truyền được cả sóng dọc và sóng ngang, còn trong chân không sóng âm không thể lan truyền được.

Đặc biệt trong các tấm mỏng như sàn và tường nhà có thể lan truyền cả *sóng uốn*. Sóng uốn rất có ý nghĩa khi nghiên cứu cách âm của các kết cấu nhà cửa (xem chương 7).

Trên hình 1.2 là minh họa của ba loại sóng nói trên trong chất rắn.

Do kích thước hình học của nguồn âm mà sóng âm lan truyền trong môi trường có dạng mặt sóng không giống nhau. Chúng ta phân biệt ba dạng sóng.

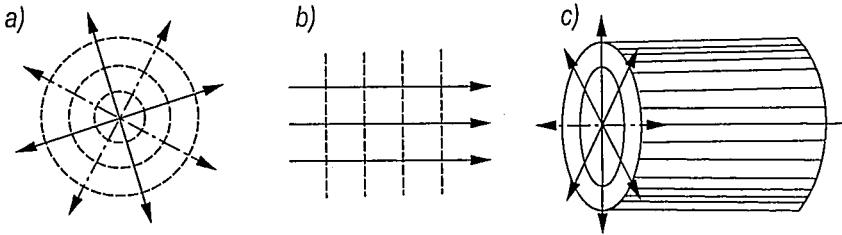


Hình 1.2. Các loại sóng âm trong chất rắn:
a) Sóng dọc; b) Sóng ngang; c) Sóng uốn

- *Sóng cầu*: khi mặt sóng là những mặt cầu. Các nguồn điểm phát năng lượng đồng đều trong một môi trường tĩnh đồng nhất sẽ tạo ra sóng cầu (hình 1.3a).

- *Sóng phẳng*: nếu mặt sóng là những mặt phẳng (hình 1.3b). Trong thực tế không có các nguồn phát ra sóng phẳng, nhưng ở các điểm khá xa nguồn âm ta có thể coi sóng cầu như sóng phẳng.

- *Sóng trụ*: Khi mặt sóng là những mặt trụ (hình 1.3c). Sóng trụ do các nguồn âm đường phát ra. Hãy tưởng tượng có một dòng xe ô tô giống nhau chạy nối đuôi nhau trên đường, khi đó ta có thể coi chúng như một nguồn âm đường phát sóng trụ. Vì vậy sóng trụ rất có ý nghĩa khi nghiên cứu tiếng ồn giao thông trong thành phố (xem chương 6).



Hình 1.3. Các dạng sóng: a) Sóng cầu; b) Sóng phẳng; c) Sóng trụ

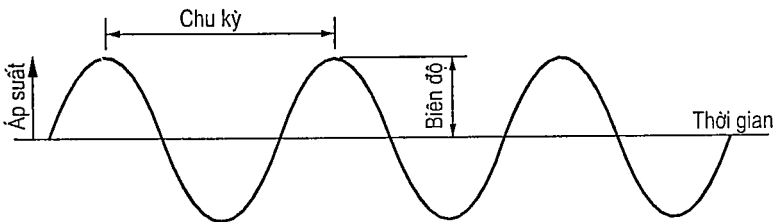
Đặc điểm lan truyền âm thanh của sóng cầu, sóng phẳng hay sóng trụ không giống nhau, đặc biệt là sự suy giảm năng lượng xa dần nguồn âm, mà chúng ta sẽ nghiên cứu trong mục 1.5 của chương này.

Các đặc trưng cơ bản của sóng âm là *tần số*, *bước sóng*, *chu kỳ*, *biên độ dao động* và *vận tốc truyền âm*.

- *Tần số âm* là số dao động toàn phần mà các phần tử môi trường thực hiện được trong một giây, thường ký hiệu bằng chữ f , đơn vị đo là Héc (Hz). Phạm vi dao động âm mà tai người cảm thụ được có tần số từ khoảng 20 đến 20000 Hz đối với người trẻ tuổi.

- *Bước sóng âm*: Ký hiệu bằng chữ λ (đo bằng mét) là khoảng cách gần nhất giữa hai phần tử có cùng pha dao động (hình 1.1). Chú ý rằng bước sóng tỷ lệ nghịch với tần số âm. Tần số càng lớn, bước sóng càng nhỏ.

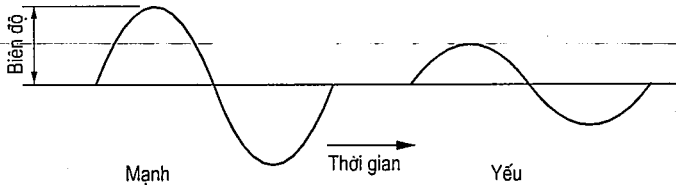
- *Chu kỳ dao động âm*: Ký hiệu T_a , là thời gian (tính bằng giây) để các phần tử thực hiện được một dao động toàn phần (hình 1.4).



Hình 1.4. Biểu diễn dao động của các phần tử theo thời gian

- *Biên độ dao động âm*: Là độ dời lớn nhất của các phần tử so với vị trí cân bằng. Biên độ dao động (hình 1.1 và hình 1.4) thể hiện độ mạnh, yếu của âm thanh. Biên độ càng lớn, âm thanh càng mạnh (hình 1.5).

- *Vận tốc âm*: Là vận tốc lan truyền của sóng âm trong các môi trường, nó hoàn toàn khác với vận tốc dao động của các phần tử. Vận tốc âm phụ thuộc vào đặc điểm, nhiệt độ của môi trường và dạng sóng âm lan truyền.



Hình 1.5. Biên độ thể hiện độ mạnh, yếu của âm thanh

Trong không khí, vận tốc âm có thể xác định theo công thức sau:

$$c_0 = 331,5 + 0,61t, \text{ m/s} \quad (1.1)$$

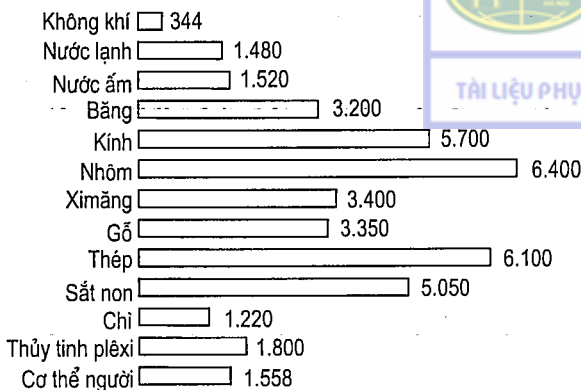
trong đó: c_0 - vận tốc âm, m/s;

t - nhiệt độ không khí, °C;

331,5 - vận tốc âm ở nhiệt độ 0°C.

Như vậy trong không khí, vận tốc âm tăng thêm 0,61 m/s mỗi khi nhiệt độ tăng lên 1°C. Người ta thường nói vận tốc âm trong không khí là 344m/s là vận tốc âm ứng với nhiệt độ không khí 20°C. Trong các tính toán thường lấy vận tốc âm là 340 m/s (tương ứng ở nhiệt độ 14°C).

Vận tốc âm trong một số môi trường được giới thiệu trong bảng 1.1. Trên hình 1.6 thể hiện vận tốc âm dưới dạng so sánh.



THƯ VIỆN
HUBT

TÀI LIỆU PHỤC VỤ THAM KHẢO NỘI BỘ

Hình 1.6. Vận tốc âm trong một số môi trường ở 21 °C, m/s

Bảng 1.1. Vận tốc âm trong các môi trường

Môi trường	Vận tốc âm, m/s
- Chất khí:	
Không khí (0°C)	331
Không khí (20°C)	344
Hydrogen	1284
Oxygen	316
Cacbon dioxide	340
- Chất lỏng:	
Nước (25°C)	1498
Nước biển (17°C)	1510-1550
Dầu hỏa (34°C)	1295
- Chất rắn (sóng dọc):	
Thép	6100
Nhôm	6400
Gỗ thông	5260
Kính	5660
Gạch	3650
Bê tông cốt thép	4500
Đá granit	6000

Quan hệ giữa tần số, bước sóng, chu kỳ và vận tốc âm được thể hiện theo biểu thức sau:

$$\lambda = \frac{c_0}{f} = c_0 \cdot T_a \quad (1.2)$$

trong đó:

λ - bước sóng, m;

f - tần số, Hz;

T_a - chu kỳ, s;

c_0 - vận tốc âm trong không khí (340m/s).

Theo biểu thức trên, trong phạm vi tần số 20 - 20000 Hz bước sóng âm thay đổi từ 17m đến 1,7cm.

1.1.2. Công suất, cường độ, áp suất và mật độ năng lượng âm

1. Công suất âm

Công suất âm, ký hiệu P, là năng lượng âm đo bằng Oát (W) do nguồn bức xạ trong một giây. Công suất âm trung bình của một số nguồn như sau (tính bằng Oát):

- Máy bay phản lực: 10.000 (10^4)
- Máy tăn đinh khí nén: 1
- Quạt trục 50 kW: 0,1 (10^{-1})
- Dàn nhạc giao hưởng lớn: 0,01 (10^{-2})
- Tiếng nói bình thường: 0,00001 (10^{-5}).

2. Cường độ âm

Cường độ âm, ký hiệu I, là số năng lượng trung bình đi qua một đơn vị diện tích vuông góc với phương truyền âm trong một giây. Đơn vị là W/m^2 . Như vậy cường độ âm là một đại lượng có xét đến hướng truyền âm.

3. Mật độ năng lượng âm

Mật độ năng lượng âm, ký hiệu E, là năng lượng âm chứa trong một đơn vị thể tích môi trường trong một giây, đơn vị là J/m^3 . Mật độ năng lượng âm thường được đề cập đến trong các phòng kín, khi âm thanh tới một điểm từ nhiều phía, lúc đó không xét đến hướng truyền âm.

4. Áp suất âm

Áp suất âm, ký hiệu p, đơn vị N/m^2 (hay Pa), là áp suất dư (áp suất có thêm so với áp suất khí quyển tĩnh) có trong trường âm. Tại mỗi điểm của trường âm áp suất thay đổi theo chu kỳ từ dương (nén) sang âm (dãn). Tuy nhiên áp suất tác động lên cơ quan thính giác cũng như các thiết bị đo lường âm thanh là áp suất hiệu quả \bar{p} , tính theo công thức:

$$\bar{p} = \frac{P_{\max}}{\sqrt{2}} \quad (1.3)$$

trong đó: p_{\max} - áp suất cực đại tương ứng với biên độ dao động cực đại.

Áp suất âm trong phạm vi tai người nghe được có trị số rất nhỏ, chỉ bằng 10^{-10} (nhỏ nhất) đến 10^{-4} (lớn nhất) atm.

Trong sóng âm phẳng, quan hệ giữa cường độ, áp suất và mật độ năng lượng âm được thể hiện theo các biểu thức sau:

$$I = \frac{\bar{p}^2}{\rho_0 c_0} \quad (1.4)$$

$$E = \frac{I}{c_0} = \frac{\bar{p}^2}{\rho_0 c_0^2} \quad (1.5)$$

trong đó: ρ_0 - khối lượng riêng không khí, kg/m^3 .

Trị số $\rho_0 c_0$ gọi là *trở âm* của không khí. Trong điều kiện áp suất khí quyển bình thường, ở nhiệt độ 20°C , ta có:

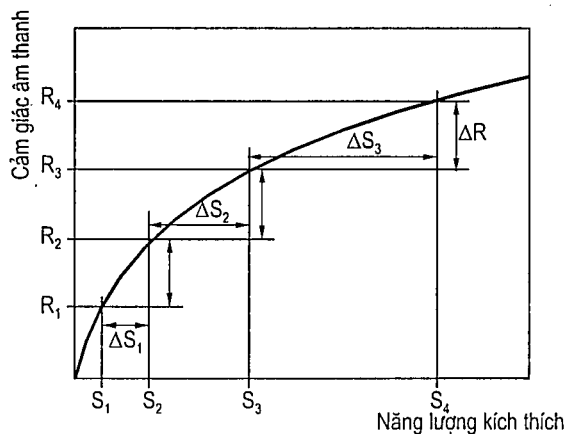
$$\rho_0 c_0 = 415 \text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$$

1.1.3. Mức âm - Đơn vị Đêxiben (dB)

Âm thanh mà tai người nghe cảm thụ được có cường độ và áp suất thay đổi trong một phạm vi rất rộng. Ví dụ, áp suất âm có thể thay đổi từ mức nhỏ nhất là $2 \cdot 10^{-5} \text{N/m}^2$ đến mức lớn nhất là $2 \cdot 10^1 \text{N/m}^2$, nghĩa là thay đổi một triệu lần. Cũng tương tự như vậy, cường độ âm thanh thay đổi tới 10^{12} lần. Sự thay đổi quá lớn này gây bất tiện và trở ngại cho công việc đo lường và đánh giá âm thanh.

Mặt khác, người ta để ý đến đặc điểm nghe âm thanh theo kiểu so sánh của tai người: tai ta phân biệt áp suất âm giữa 1 và 2 Pa cũng giống như giữa 5 và 10 Pa. Weber Fechner phát hiện rằng cảm giác âm thanh của tai không tỷ lệ bậc nhất với năng lượng kích thích, mà đúng hơn với logarit của nó (hình 1.7).

Đó chính là cơ sở của một đơn vị đánh giá âm thanh mới theo thang logarit gọi là *mức âm* (*sound level*).



Hình 1.7. Quan hệ giữa cảm giác và năng lượng kích thích

Như vậy *mức âm* là đơn vị đánh giá âm thanh theo thang logarit (cơ số 10) của tỷ số giữa áp suất hoặc cường độ âm cần đo với áp suất và cường độ âm lấy làm chuẩn so sánh (tham chiếu).

Theo quy ước quốc tế, các trị số của chuẩn so sánh được lấy tương ứng với các trị số trung bình nhỏ nhất mà tai người cảm thụ được, gọi là ngưỡng quy ước. Như vậy các trị số cường độ và áp suất âm ở ngưỡng quy ước tương ứng là:

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2 \text{ và}$$

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$$

Chú ý rằng, giữa áp suất và cường độ âm thanh có quan hệ bậc 2 (công thức 1.4) và các trị số I_0 và p_0 đã được xác định tương ứng với nhau. Khi đó:

- *Mức cường độ âm (sound intensity level)* là:

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad (1.6)$$

- *Mức áp suất âm (sound pressure level)* là:

$$L_p = 10 \lg \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad (1.7)$$

trong đó: I và p - cường độ và áp suất âm cần đánh giá.

Đơn vị của chúng là Đề xiben (dB)*.

Mức cường độ và mức áp suất âm của cùng một âm là như nhau và được gọi chung là *mức âm*. Quan hệ giữa cường độ, áp suất và mức âm thể hiện trên biểu đồ hình 1.8.

Theo biểu đồ hình 1.8 có thể nhận thấy: mức âm trung bình lớn nhất tai người nghe được là 120dB (tương ứng với cường độ 1 W/m^2) và nhỏ nhất là 0dB (tương ứng với cường độ 10^{-12} W/m^2). Tổng cộng trong phạm vi tai nghe được có 120 mức (120dB).

Tương tự ta cũng có:

* Bội số của dexiben là Ben. 1Ben = 10dB. Trong thực tế đơn vị Ben ít được sử dụng. Số 10 trong các công thức (1.6) - (1.9) là số đổi đơn vị từ Ben sang dB.

- Mức công suất âm (sound power level), ký hiệu L_P :

$$L_P = 10 \lg \frac{P}{P_0}, \text{dB} \quad (1.8)$$

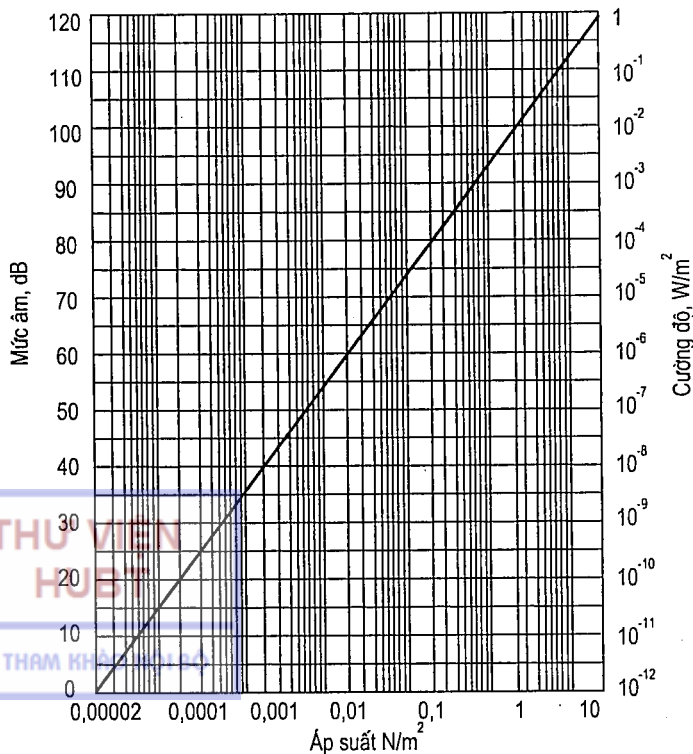
- Mức mật độ năng lượng âm (sound energy density level), ký hiệu L_E :

$$L_E = 10 \lg \frac{E}{E_0}, \text{dB} \quad (1.9)$$

trong đó: P và E - công suất và mật độ năng lượng âm cần đo;

P_0 và E_0 - công suất và mật độ năng lượng âm ở ngưỡng quy ước;

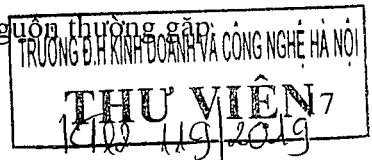
$$P_0 = 10^{-12} \text{W}; E_0 = 3 \cdot 10^{-5} \text{J/m}^3.$$



Hình 1.8. Quan hệ giữa cường độ, áp suất và mức âm

Thực tế cho thấy, sự thay đổi mức âm nhỏ nhất mà tai người có thể phát hiện được là 1dB, nhưng thay đổi 3dB mới được coi là thay đổi nhỏ nhất có ý nghĩa. Các phép đo âm học thông thường cho phép sai số 1 - 2dB.

Trong bảng 1.2 giới thiệu mức âm của một số nguồn thường gặp:



Bảng 1.2. Mức âm của một số nguồn thường gặp

Mức độ ồn	Mức âm, dB	Ví dụ
Không thể nói chuyện	120	Ngưỡng đau tai. Động cơ máy bay (gần). Sét đánh gần. Trong ga tàu điện ngầm
	110	Tiếng còi tàu. Trong ga tàu điện ngầm. Tàu hỏa chạy qua ga
	100	Dưới cầu đường sắt khi tàu chạy. Trong toa tàu điện ngầm. Ga tàu hỏa
Khó nói chuyện	90	Xưởng cơ khí, Phòng máy quạt gió trong khách sạn lớn
	80	Xưởng in. Nút giao thông đông đúc. Phòng đợi xe. Siêu thị
Phải to giọng khi nói chuyện	70	Nhà hát. Cửa hàng. Hành lang ngân hàng. Trụ sở ồn
Nói chuyện dễ dàng	60	Cửa hàng. Nhà ăn. Tiếng nói bình thường. Hành lang khách sạn, cơ quan
	50	Phòng khán giả rạp chiếu bóng
	40	Radio mở nhỏ. Vùng nhà ở yên tĩnh
	30	Vùng nông thôn. Studio phát thanh
	20	Tiếng lá rơi khi gió nhẹ
	10	Gió rất nhẹ
	0	Ngưỡng nghe của tai người

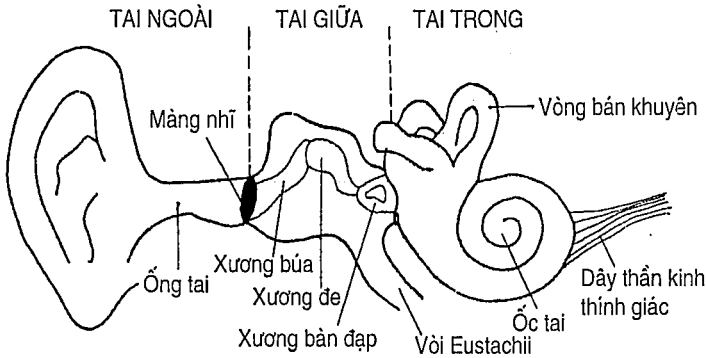
1.2. TAI NGƯỜI VÀ ĐẶC ĐIỂM CẢM THỤ ÂM THANH

1.2.1. Tai người

Tai người là một bộ máy thu nhận âm thanh rất phức tạp, tinh vi và hoàn thiện mà đến nay khoa sinh lý - y học còn chưa hiểu biết hết về cơ chế hoạt động của nó.

Cơ quan thu nhận âm thanh gồm có tai và não bộ. Có lẽ vì thế mà hiệu quả cảm nhận âm thanh vừa có đặc điểm chung của nhiều người, lại vừa thay đổi đối với mỗi người. Các đặc điểm cảm thụ âm thanh trình bày dưới đây là những đúc kết chung trên một số đồng người.

Theo cơ chế thu nhận âm thanh, tai có thể chia làm ba bộ phận: tai ngoài, tai giữa và tai trong (hình 1.9).

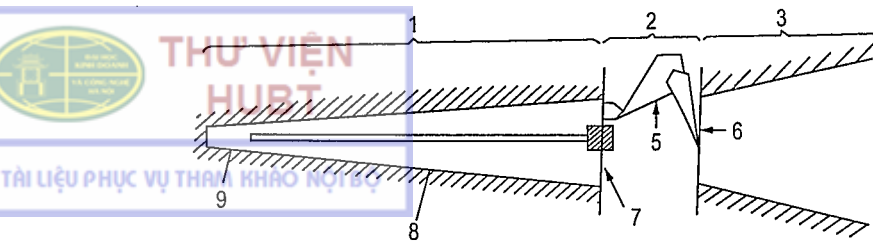


Hình 1.9. Cấu tạo của tai người

Tai ngoài gồm vành tai và ống tai có nhiệm vụ thu nhận và hướng sóng âm đến màng nhĩ.

Tai giữa là một hốc không khí thông với khoang mũi - hầu qua vòi Eustachii, bắt đầu từ màng nhĩ và kết thúc ở màng che tai trong. Ở đây có ba xương thính giác nhỏ (xương búa, xương đe và xương bàn đạp) tạo thành một chiếc đòn bẩy để chuyển đổi sóng âm từ màng nhĩ đến chất dịch lỏng chứa ở tai trong qua một cửa có màng che hình ô van. Các xương thính giác biến đổi các dao động âm có biên độ lớn và áp suất nhỏ thành các dao động có biên độ nhỏ nhưng áp suất lớn, rất cần thiết để truyền cho chất dịch lỏng.

Vòi Eustachii bình thường đóng, chỉ mở khi ta nuốt để tạo sự cân bằng áp suất không khí ở hai bên màng nhĩ.

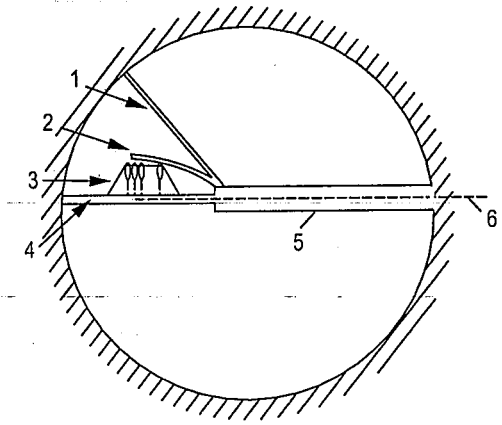


Hình 1.10. Sơ đồ minh họa cấu tạo của tai người:

- 1 - tai trong; 2 - tai giữa; 3 - tai ngoài; 4- cửa ô van; 5 - các xương thính giác;
- 6 - màng nhĩ; 7 - cửa tròn; 8 - vách ngăn; 9 - lỗ hở.

Tai trong có cấu tạo rất phức tạp vì nó có nhiệm vụ hết sức quan trọng là biến đổi các dao động cơ học của âm thanh thành các tín hiệu điện để gửi về não bộ [25]. Bộ phận chính của tai trong là ốc tai (có hình xoắn ốc 2,5 vòng)

có tiết diện rộng và nhỏ dần, bên trong chứa đầy một chất dịch lỏng (hình 1.10). Một vách ngăn (8) chạy dọc ốc tai chia chất dịch lỏng thành hai kênh trên và dưới, thông với nhau qua một lỗ hở (9) ở tận cùng của vách (8) nhằm giữ cho áp suất hai kênh được cân bằng. Vách ngăn gồm hai nửa: nửa gắn với thành trong là một bản xương mỏng, còn nửa ngoài là một màng đáy, bên trên có một bộ phận hết sức quan trọng là cơ quan Coocti tuy chiều dài của nó tổng cộng chỉ có 32mm (hình 1.11).



Hình 1.11. Mặt cắt ngang ốc tai:

1 - màng Reixner; 2 - màng che; 3 - cơ quan Coocti với các tế bào thính giác; 4 - màng đáy; 5 - vách ngăn; 6 - thần kinh thính giác.

Chính trong cơ quan Coocti này có khoảng 25.000 tế bào cảm giác xếp thành nhiều hàng chạy dọc suốt ốc tai, nhờ chúng có thể phân biệt được khoảng 3500 tông âm có cao độ khác nhau. Các dây thần kinh thính giác từ các tế bào cảm giác xuyên qua vách ngăn và thành ốc tai rồi nối với vùng thần kinh thính giác ở não bộ.

Áp suất âm thanh được truyền vào kênh dịch lỏng trên qua cửa ô van và lan truyền dọc theo nó. Đồng thời sóng âm cũng truyền qua màng Reixner vào chất dịch lỏng nằm giữa nó và màng đáy cơ quan Coocti, rồi nhờ tính đàn hồi của màng đáy, sóng âm lan truyền xuống kênh dịch lỏng dưới. Như vậy đường đi của sóng âm bắt đầu từ cửa ô van (4) (hình 1.10) và kết thúc ở cửa tròn (7) phía dưới (hình 1.10).

Do đâu ta có cảm giác về độ to, độ cao và âm sắc của âm thanh? Câu hỏi này cho đến nay còn chưa nhận được câu trả lời thật rõ ràng. Người ta chỉ giả thiết rằng: khi sóng âm lan truyền dọc ống tai, phụ thuộc tần số âm, sẽ có một vị trí biên độ dao động cực đại. Các tế bào cảm giác của cơ quan Coocti ở đó sẽ thông báo về não. Biên độ cho biết cường độ còn vị trí cho biết tần số và âm sắc âm thanh.

Tai trong còn được nối với ba vòng bán khuyên, ở đó có cơ quan tiền đình giữ thăng bằng cho cơ thể.

Với cấu tạo như vậy, các tổn thương thính giác có thể ảnh hưởng không chỉ đến độ nhạy cảm của tai, mà cả đến sự cảm nhận tần số âm thanh. Thường có hai dạng tổn thương thính giác.

- Tổn thương tai giữa do liên kết giữa các xương thính giác bị cứng lại, do viêm hoặc thủng màng nhĩ.

- Tổn thương thần kinh ở cơ quan Coocli hoặc lệch lạc về thần kinh ghi nhận tín hiệu thính giác ở não bộ.

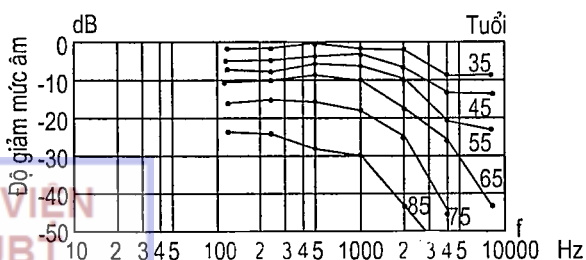
1.2.2. Các đặc điểm cảm thụ âm thanh của cơ quan thính giác người

Trong phần này chỉ giới thiệu các đặc điểm chủ yếu của sự cảm thụ âm thanh của cơ quan thính giác người.

1. Phạm vi nghe âm thanh

Tai người bình thường có thể nghe được âm thanh trong phạm vi tần số từ 20 đến 15000Hz. Riêng lứa tuổi 18 có thể nghe đến 20000Hz. Âm có tần số dưới 20Hz là *hạ âm*, và trên 20000Hz, là *siêu âm* tai người đều không thu nhận được.

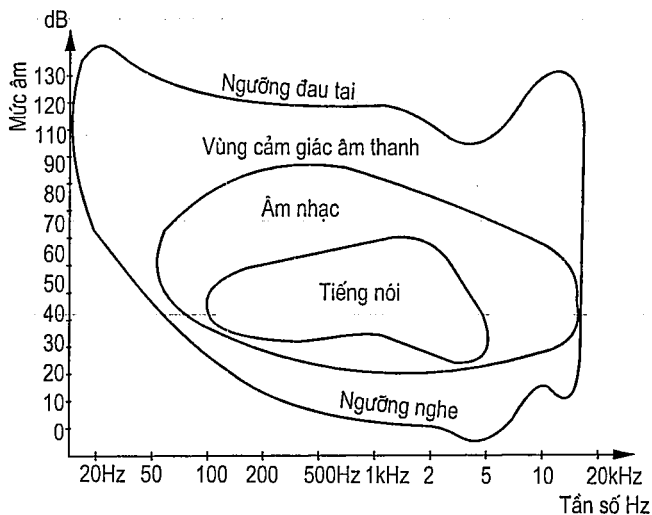
Sự giảm thính giác do tuổi tác có thể thấy rõ trên biểu đồ hình 1.12 [30]. Tuổi càng cao, độ nhạy cảm âm thanh ở các tần số cao càng giảm rõ rệt.



Hình 1.12. Sự giảm thính giác do tuổi tác

Trong phạm vi tần số cảm thụ âm thanh nói trên, độ nhạy cảm theo tần số cũng khác nhau. Độ nhạy cảm cao nhất của tai nằm ở phạm vi tần số từ 1000 đến 5000Hz và giảm dần ở các tần số thấp.

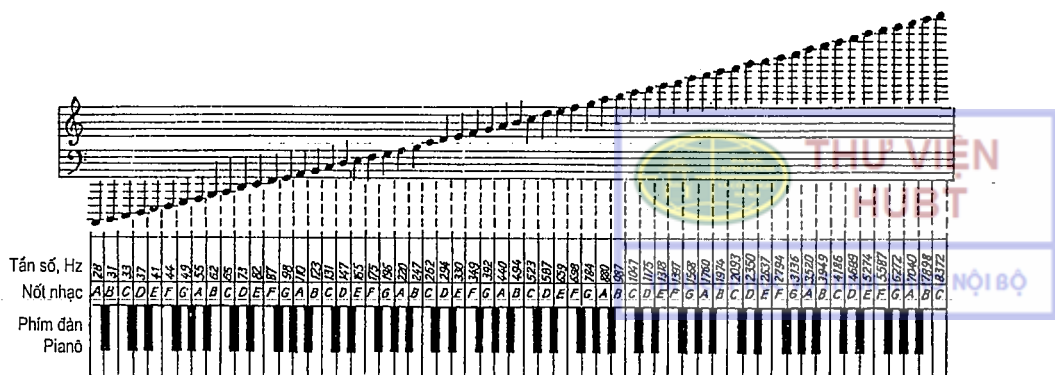
Các trị số mức âm nhỏ nhất theo tần số mà tai người bắt đầu nghe được gọi là *ngưỡng nghe* (*threshold of audibility*). Các trị số lớn nhất mà tai người thu nhận được là *ngưỡng đau tai* (*threshold of pain*). Trên mức này có thể gây tổn thương nghiêm trọng cho cơ quan thính giác. Trên hình 1.13 biểu diễn phạm vi âm thanh tai người nghe được.



Hình 1.13. Phạm vi âm thanh tai người nghe được

2. Độ cao của âm thanh

Cảm giác âm thanh cao hay thấp, thanh hay trầm do tần số của nó quyết định. Tần số càng cao, âm càng thanh. Tần số càng nhỏ, âm nghe càng thấp, càng trầm. Để chúng ta dễ dàng hình dung về thang độ cao của cơ quan thính giác người, hình 1.14, cho các trị số tần số tương ứng với các nốt nhạc và phím đàn [19].



Hình 1.14. So sánh độ cao âm thanh

Từ các khảo sát thực tế trong đời sống có thể rút ra một vài con số:

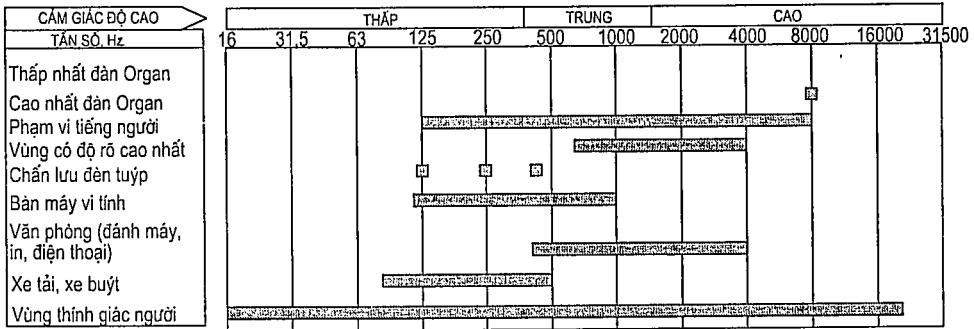
- Âm 16 - 20Hz chỉ có đại phong cầm (đàn Organ) phát được. 28Hz là nốt đầu tiên của đàn Piano. 40 - 44Hz là kỷ lục của giọng nam trầm và 2300Hz là kỷ lục của giọng nữ cao. Nốt cao nhất của đàn Piano là 8372HZ.

- Âm thanh chúng ta gặp trong cuộc sống có thể nằm ở các vùng khác nhau của phạm vi tần số (xem hình 1.15), [20].

Theo cảm giác độ cao của tai người, có thể chia làm ba phạm vi tần số:

- Tần số thấp từ 16 đến 355 Hz (16 - 250Hz)
- Tần số trung từ 355 đến 1400Hz (250Hz - 2kHz)
- Tần số cao từ 1400 đến 20000Hz (2 - 20kHz).

(số liệu trong ngoặc là theo tiêu chuẩn âm học của Mỹ [20]).

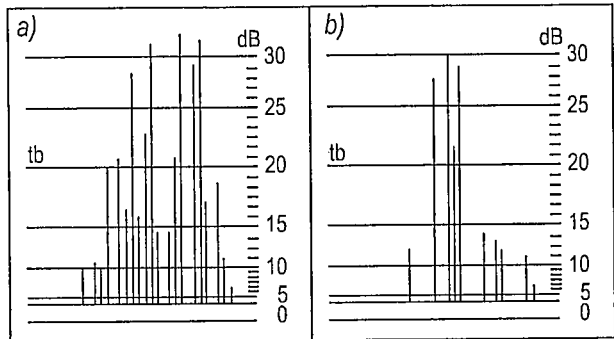


Hình 1.15. Phạm vi tần số của âm thanh trong đời sống

3. Âm sắc âm thanh (timbre)

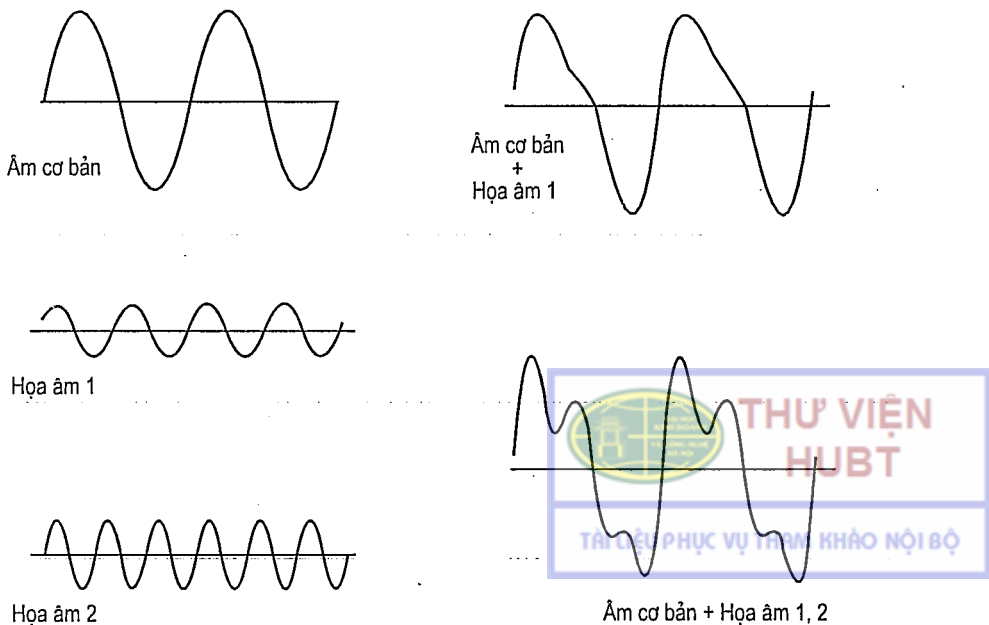
Âm thanh chỉ có một tần số gọi là âm đơn. Có lẽ chỉ có âm thoa là dụng cụ duy nhất phát ra âm đơn. Âm thanh chúng ta gặp trong đời sống là những âm phức hợp (còn gọi là đa âm) là âm thanh tổ hợp từ nhiều tần số khác nhau. Trong một âm phức hợp bao giờ cũng có một âm cơ bản - âm có cường độ mạnh nhất - có tần số f_0 , các họa âm (có tần số $2f_0, 2f_0, 4f_0$) v.v... và các âm tần số khác. Âm cơ bản cho ta cảm giác về độ cao chung của âm và nó quyết định chính cảm giác to nhỏ của âm này.

Hình 1.16. Phân tích phổ âm thanh của ca sĩ chuyên nghiệp (1.16a) và nghiệp dư (1.16b)



Các họa âm cho chúng ta cảm giác về sắc thái của âm thanh, hay nói khác đi nó quyết định *âm sắc âm thanh*. Nhờ có âm sắc chúng ta có thể nhận ra được giọng nói của những người thân, âm thanh của các loại đàn khác nhau, ngay cả khi chúng cùng phát chung một nốt nhạc. Tất nhiên, tiếng đàn và tiếng hát được tập luyện ngoài âm cơ bản còn có nhiều họa âm, còn tiếng ồn của máy móc, đường phố lại còn có nhiều âm tần số khác mà có ít họa âm. Trên hình 1.16 phân tích giọng của một ca sĩ nổi tiếng (hình 1.16a) và của một ca sĩ nghiệp dư (1.16b) khi cùng hát một nốt nhạc [45]. Giọng của ca sĩ chuyên nghiệp có nhiều họa âm hơn.

Dao động âm (dao động của các phân tử môi trường) khi đó là tổng hợp của dao động âm cơ bản với các họa âm và các âm tần số khác có mặt trong âm phức hợp. Trên hình 1.17 là tổng hợp dao động của âm cơ bản với một và hai họa âm. Khi có nhiều họa âm và các âm khác, đường biểu diễn sẽ là một đường cong rất phức tạp.



Hình 1.17. Tổng hợp dao động của âm cơ bản với các họa âm

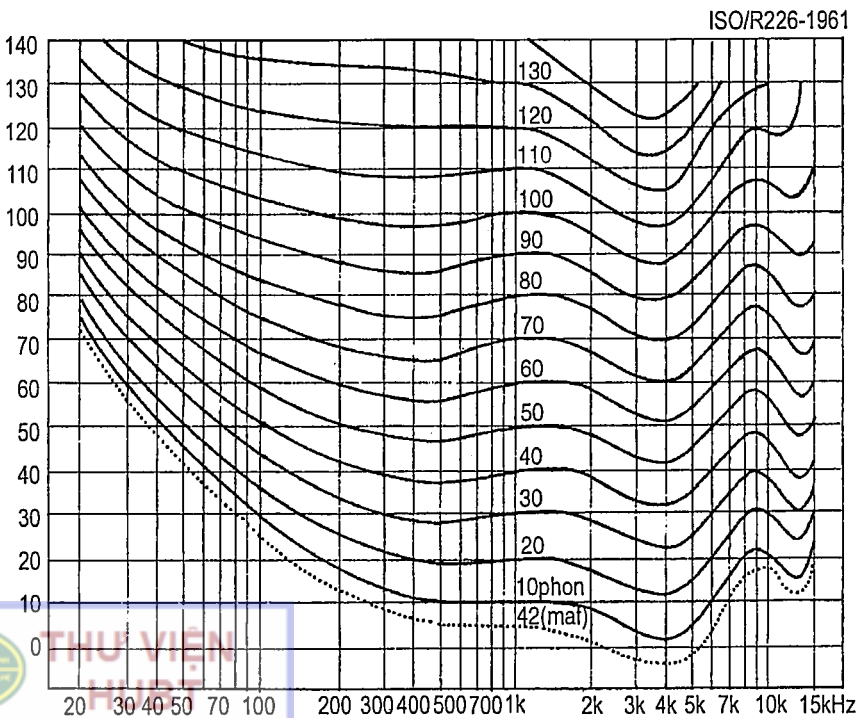
4. Cảm giác to nhỏ - mức to (loudness level)

Cảm giác to nhỏ khi nghe âm thanh của cơ quan thính giác người vừa phụ thuộc vào mức âm (theo dB), vừa phụ thuộc vào tần số âm. Hai âm tuy có cùng mức, nhưng ta nghe to nhỏ khác nhau vì chúng có tần số khác nhau.

Cảm giác to nhỏ này của tai được đánh giá bằng một đơn vị chủ quan gọi là *mức to* và đo bằng *phon* (phân biệt với dB là đơn vị hoàn toàn vật lý). Thang phon được thành lập bằng cách chọn âm tần số 1000Hz làm chuẩn, và trị số mức to (phon) ở tần số này đúng bằng trị số mức âm (dB). Ví dụ:

- Âm tần số 1000Hz có mức âm 60dB thì có mức to là 60 phon.

- Mức to của các âm đơn khác xác định bằng cách so sánh chúng với âm chuẩn và trị số (phon) của nó lấy bằng của âm chuẩn nếu chúng nghe to bằng nhau.



Hình 1.18. Biểu đồ các đường đồng mức to của Robinson và Dadson: MAF - đường cong cảm giác nhỏ nhất của tai người.

Bằng thực nghiệm với nhiều người trẻ tuổi, các ông Robinson và Dadson đã lập được biểu đồ các đường đồng mức to (*Equal loudness contours*) và được tổ chức tiêu chuẩn quốc tế, viết tắt là ISO (International Organisation for Standardization) công nhận và giới thiệu (hình 1.18).

Mỗi đường cong trên biểu đồ là tập hợp tất cả các âm đơn có tần số và mức âm khác nhau, nhưng đều nghe to như nhau, và do đó có cùng một trị số mức to theo phon.

Quan sát các đường đồng mức to có thể nhận thấy:

- Tai người có độ nhạy cảm rất kém ở các tần số thấp, từ 20 đến 200Hz.
- Độ nhạy cảm cao nhất của tai người nằm ở tần số 4000Hz.

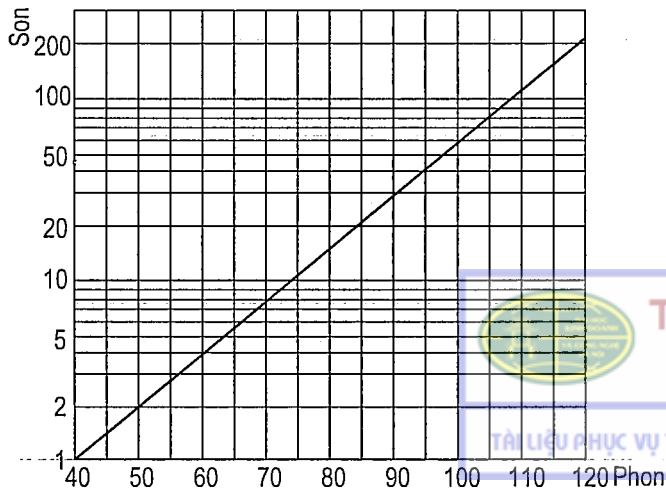
Chú ý rằng thang mức to (phon) tuy không được biểu diễn bằng công thức toán học, nhưng sự cảm thụ sinh lý âm thanh cũng mang đặc điểm của một hàm số logarit (hình 1.7).

5. Độ to (loudness) - thang son

Cũng giống như mức to (phon), độ to là một đại lượng chủ quan đánh giá cảm giác to nhỏ của âm thanh, nhưng nó thay đổi theo tỷ lệ bậc nhất với cảm giác. Đơn vị của độ to là son. Quan hệ giữa độ to (ký hiệu D) và mức to (ký hiệu M) theo công thức:

$$D = 2^{\frac{M-40}{10}} \quad (1.10)$$

hoặc theo biểu đồ hình 1.19.



Hình 1.19. Quan hệ giữa độ to và mức to

Như vậy độ to 1 son tương ứng với mức to 40 phon. Khi tăng độ to, ví dụ từ 1 son lên 2 son, cảm giác nghe to sẽ tăng lên hai lần. Theo hình 1.19 mỗi khi mức to tăng lên 10 phon, độ tăng to tương ứng hai lần.

Sử dụng thang độ to chúng ta có thể đánh giá cảm giác to nhỏ khi nghe các âm đơn và so sánh trực tiếp cảm giác nghe to giữa chúng.

Ví dụ 1.1. So sánh độ to của hai âm:

- Âm 60Hz có mức âm 90dB và âm 1000Hz có mức âm 85dB.

Bài giải:

Xác định mức to của hai âm theo biểu đồ hình 1.18:

- Âm 60Hz, $M_1 = 80\text{phon}$;

- Âm 1000Hz, $M_2 = 85\text{ phon}$.

Xác định độ to theo biểu đồ hình 1.19.

- Âm 60Hz, $D_1 = 16\text{ son}$;

- Âm 1000Hz, $D_2 = 22,6\text{ son}$.

Vậy âm 1000Hz nghe to gấp $\frac{D_2}{D_1} = \frac{22,6}{16} \approx 1,5$ lần âm 60Hz.

Phương pháp nói trên chỉ dùng để đánh giá các âm đơn. Để đánh giá các âm phức hợp, chúng ta có thể dùng phương pháp Stevens (theo ISO - R532) theo trình tự sau đây:

1. Phân tích âm cần đánh giá theo dải 1; 1/2 hoặc 1/3 ôcta (xem mục 1.3.2 của chương này).

2. Xác định độ to D_i ở mỗi dải tần số tại tần số trung bình của dải theo biểu đồ Stevens (hình 1.20) phụ thuộc vào mức âm của chúng.

3. Độ to tổng cộng của âm phức hợp xác định theo công thức:

$$D_t = D_m + F (\Sigma D_i - D_m) \quad (1.11)$$

trong đó:

D_m - độ to lớn nhất trong các dải tần số, xác định ở điểm (2);

ΣD_i - tổng độ to của tất cả các dải tần số;

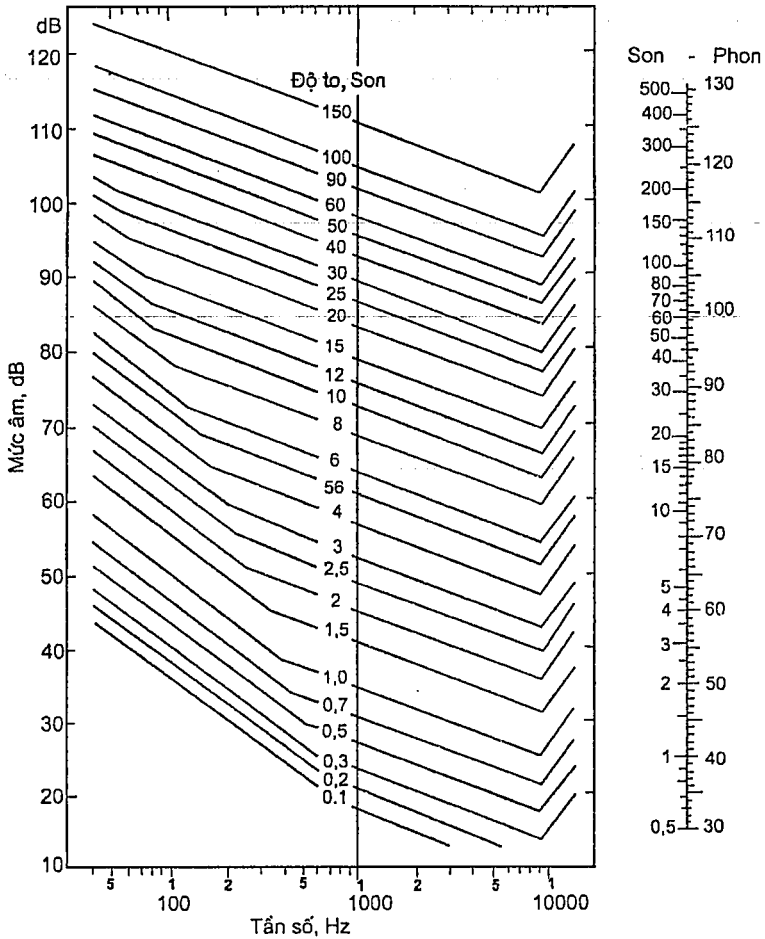
F - hệ số phụ thuộc của bề rộng dải tần số, lấy như sau:

F = 0,3 đối với dải 1 ôcta

F = 0,2 đối với dải 1/2 ôcta.

F = 1,15 đối với dải 1/3 ôcta.

4. Xác định mức to (phon) của âm từ độ to tổng cộng D_t theo thước tỷ lệ ở bên phải biểu đồ hình 1.20 hoặc biểu đồ hình 1.19.



Hình 1.20. Các đường đồng độ to Stevens

Ví dụ 1.2. Xác định mức to tổng cộng của một âm phức hợp có mức âm theo dải 1 ôcta như trong bảng 1.3.

Bảng 1.3. Mức âm và độ to của một âm phức hợp

Tần số trung bình của dải 1 ôcta	Mức âm, dB	Độ to D_i , son
63	80	6,5
125	75	7,0
250	70	6,0
500	60	4,0
1000	40	1,5
2000	40	1,7
4000	50	3,8

Bài giải:

Độ to \mathbb{D}_i ở mỗi tần số trung bình của dải 1 octa xác định theo biểu đồ 1.20 được ghi trong bảng 1.3. Ta có:

$$\mathbb{D}_m = 7,0 \text{ son}; \Sigma \mathbb{D}_i = 30,5 \text{ son.}$$

Độ to tổng cộng xác định theo công thức (1.11).

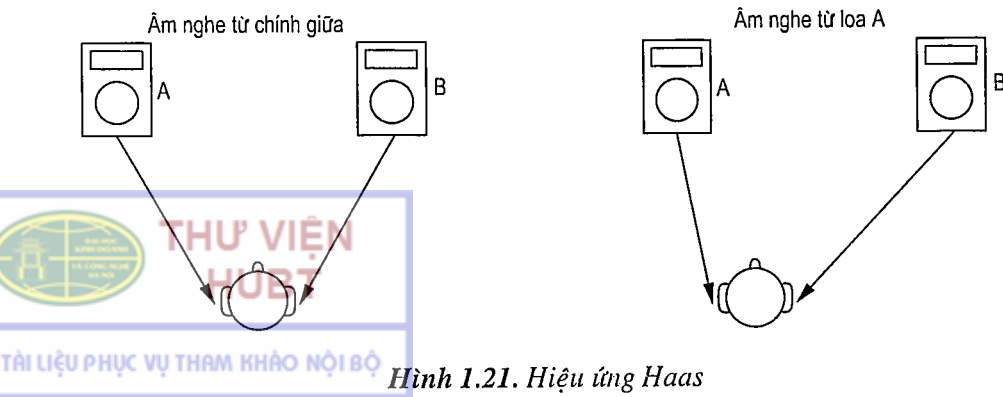
$$\mathbb{D}_i = 7,0 + 0,3 (30,5 - 7) = 14,05 \text{ son.}$$

Theo quan hệ phon-son ta xác định được mức to của âm phức hợp $M_1 = 78 \text{ phon.}$

6. Khả năng định hướng nguồn âm và cảm thụ khoảng cách

Khả năng định hướng nguồn âm khi nghe âm thanh là nhờ hiệu quả nghe hai tai. Khi chỉ nghe một tai, khả năng định hướng hầu như không còn nữa.

Khả năng định hướng của tai được giải thích là do sự chênh lệch về thời gian và cường độ vì có sự chênh lệch về quãng đường từ nguồn âm đến mỗi tai. Trên hình 1.21 giới thiệu hiệu ứng Haas.



Hình 1.21. Hiệu ứng Haas

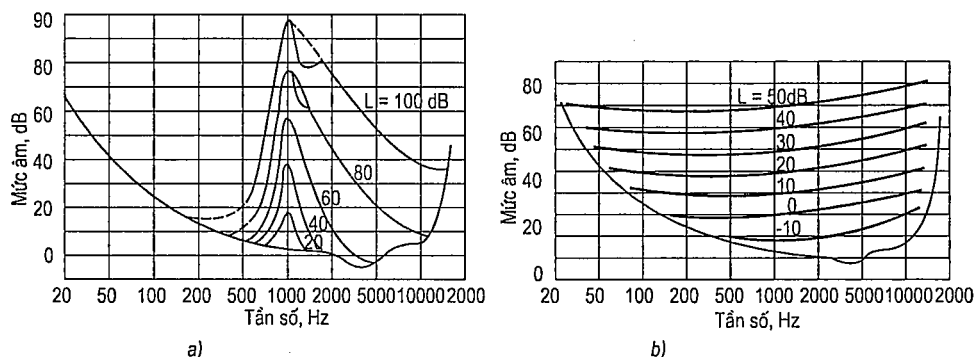
Khi người nghe ở chính giữa hai loa, ta có cảm giác nguồn âm nằm ở giữa chúng. Nếu người nghe ở gần một loa hơn loa kia, âm thanh như đến từ loa gần hơn.

Cường độ của âm thanh cũng ảnh hưởng đến tính định hướng của tai. Nếu mức âm đến từ một loa rất lớn, nó sẽ che lấp âm phát ra từ loa kia, khi đó cảm giác phương hướng của âm thanh không còn rõ ràng như trường hợp thứ nhất. Nghiên cứu kỹ hơn về trường hợp này sẽ trình bày ở chương 5.

7. Hiện tượng che lấp

Hiện tượng che lấp xảy ra khi chúng ta nghe âm thanh (tiếng nói hoặc âm nhạc) trong môi trường ồn. Khi đó sự cảm thụ âm thanh sẽ khó khăn hơn, do tiếng ồn che lấp một phần các âm thanh cần nghe.

Hiện tượng che lấp được giải thích là sự tăng ngưỡng nghe trong môi trường ồn. Trên hình 1.22 giới thiệu các đường cong ngưỡng nghe khi tiếng ồn là âm đơn (hình 1.22a) và tiếng ồn là âm trắng (hình 1.22b) có mức khác nhau. Nghiên cứu hiện tượng này cho thấy tiếng ồn có tần số càng thấp và mức càng lớn thì hiệu quả che lấp càng mạnh, đồng thời âm thanh ở tần số cao, có lợi để nghe rõ tiếng nói lại bị che lấp nhiều hơn.



Hình 1.22. Hiện tượng che lấp:
a) Khi tiếng ồn là âm đơn; b) Khi tiếng ồn là âm trắng

1.3. ĐO ÂM THANH

Các máy đo và phân tích âm thanh hiện đại nhất ngày nay có thể thực hiện nhiều phép đo và đánh giá âm thanh, nhưng chưa có một máy đo nào có thể bắt chước được cách cảm nhận âm thanh của thính giác con người. Vì vậy các máy đo chỉ có thể xác định mức âm (theo dB), nghĩa là một số trị số vật lý có tính khách quan.

Các phép đo âm thanh chính là:

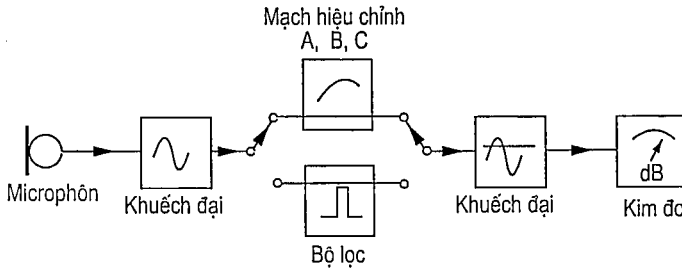
- Đo phân tích mức âm thanh theo tần số.
- Đo mức âm tổng cộng về năng lượng theo các thang hiệu chỉnh gần đúng về cảm giác âm thanh của cơ quan thính giác người.
- Đo tích lũy theo từng khoảng thời gian để xác định trị số trung bình năng lượng âm thanh, hay còn gọi là mức âm tương đương.

- Ghi lại mức áp suất âm (trên băng giấy) hoặc ghi lại âm thanh trên băng, đĩa từ và hiển thị âm thanh.

- Đo thời gian âm vang của phòng và chất lượng cách âm của các kết cấu.

- Đo các tính năng âm học của vật liệu v.v...

Các phép đo âm thanh đều sử dụng một *máy đo mức âm* (Sound level meter - tiếng Anh, hoặc Sonometre - tiếng Pháp) có sơ đồ giới thiệu trên hình 1.23.



Hình 1.23. Sơ đồ máy đo mức âm

Các máy đo mức âm được chia thành ba loại theo hướng dẫn 179 của IEC (International Electrotechnical Commission):

- Loại rất chính xác, dùng khi lập các báo cáo chính thức, khi xây dựng các văn bản và luật môi trường.

- Loại tương đối chính xác (theo định nghĩa của IEC 123) dùng cho các phép đo không phải là báo cáo chính thức.

- Loại ít chính xác (sai số trên 1 dB) dùng để đánh giá gần đúng.

Cần chú ý rằng mọi máy đo mức âm đều có thể thực hiện phép đo theo hai đặc tính động khác nhau:

- Loại nhanh (Fast) - tương ứng với một thời gian đáp ứng tương tự tai người (0,1s) áp dụng khi đo âm thanh có mức thay đổi lớn (không ổn định).

- Loại chậm (Slow) cho phép xác định mức âm tích phân trong một thời gian dài hơn (khoảng 1s), sử dụng khi đo âm thanh ít thay đổi (ổn định).

Dưới đây trình bày một số vấn đề kỹ thuật chung liên quan đến phương pháp đo và đánh giá âm thanh.

1.3.1. Mức âm hiệu chỉnh A, B, C, D (weighted sound levels)

Các máy đo âm thanh hiện nay đều làm việc theo nguyên tắc tác động của áp suất âm thanh, tương tự như tai người. Tuy nhiên sự khác nhau cơ bản

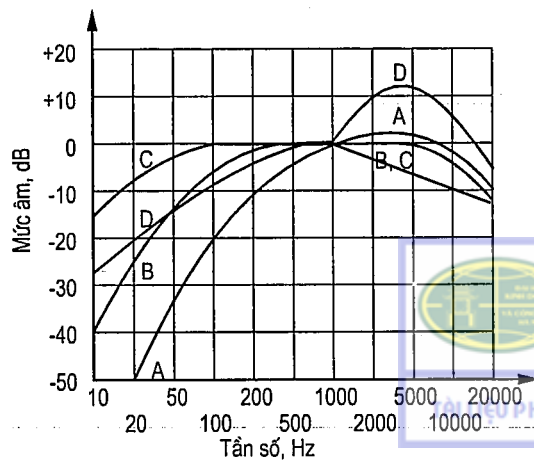
giữa máy đo và tai người là ở chỗ: một micrôphôn lý tưởng có độ nhạy đồng đều với mọi tần số âm thanh. Ngược lại tai người thu nhận áp suất âm và chuyển đổi thành tác động thần kinh mạnh hay yếu còn phụ thuộc tần số của nó. Tai người là một bộ máy chủ quan, cảm giác âm thanh mà tai người thu nhận được đánh giá theo một đơn vị sinh lý là phon.

Để chuyển đổi một cách gần đúng các kết quả đo khách quan của máy về cảm giác chủ quan của tai người, cần thiết phải đưa vào máy các mạch hiệu chỉnh tương ứng với đường đồng mức to (hình 1.18) gần mức khảo sát nhất.

Tuy nhiên làm như vậy sẽ quá phức tạp. Vì vậy, để đơn giản hơn người ta chia các đường đồng mức to thành ba vùng và xác định một đường trung bình cho mỗi vùng đó.

- Vùng A: Các đường đồng mức to từ 0 đến 40 dB (ở tần số 1000Hz).
- Vùng B: từ 40 đến 70 dB (ở 1000Hz).
- Vùng C: trên 70 dB (ở 1000Hz).

Như vậy ta có các mạch hiệu chỉnh A, B và C (hình 1.24), tương ứng kết quả đo mức âm được biểu diễn theo dB, A, dB, B và dB, C.



Hình 1.24. Các đường cong hiệu chỉnh A, B, C, D

Sau này lại được bổ sung thêm mạch hiệu chỉnh D để xét đến tác động gây nhiễu của tiếng ồn tần số cao, như của máy bay. Khi đó ta có mức âm theo dB, D.

Muốn kết quả đo gần đúng nhất với cảm giác của tai người, thủ tục đo phải như sau:

- Mở mạch hiệu chỉnh A, nếu mức âm đo được không vượt quá 40dB thì kết quả đúng và được biểu diễn theo dB, A.

- Nếu mức âm lớn hơn 40dB là kết quả sai, khi đó phải mở mạch hiệu chỉnh B. Kết quả đúng nằm trong phạm vi từ 40 đến 70 dB và biểu diễn theo dB, B.

- Nếu mức âm vượt quá 70 dB, phải đo theo mạch hiệu chỉnh C (dB, C) mới có kết quả đúng.

Tuy nhiên, cách đo như vậy quá phiền phức và nhiều khi không thể thực hiện được. Vì vậy hiện nay các phép đo, đánh giá và tiêu chuẩn âm thanh trên thế giới cũng như trong nước, người ta quy định chỉ sử dụng mạch hiệu chỉnh A (dB, A) để đánh giá tất cả âm thanh, kể cả trong đời sống, trong công nghiệp, giao thông hay tiếng ồn máy bay.

1.3.2. Dải tần số âm (sound frequency bands)

Trong nhiều bài toán thực tế nếu chỉ đánh giá âm thanh theo một mức âm tổng cộng là chưa đủ, mà cần phân tích chúng theo các tần số. Tuy nhiên việc phân tích âm thanh trên mỗi tần số trong phạm vi 20 - 2000Hz là không thể thực hiện được và cũng không cần thiết.

Chính vì lý do đó, và để thống nhất trên phạm vi thế giới, ISO kiến nghị sử dụng các *dải tần số âm* tiêu chuẩn khi nghiên cứu âm thanh cũng như khi chế tạo thiết bị đo.

Mỗi dải tần số được xác định bởi tần số giới hạn dưới (f_1) và tần số giới hạn trên (f_2). Khi đó bề rộng của dải tần số là:

$$\Delta f = f_2 - f_1 \quad (1.12)$$

Khi chọn một dải tần số để nghiên cứu, thì bộ lọc tần số chỉ cho năng lượng âm thanh của các tần số nằm giữa phạm vi của hai tần số giới hạn xác định của dải này đi qua mà thôi.

Có ba dải tần số âm chính sau đây:

- Dải 1 ôcta (one octave) khi $f_2/f_1 = 2$;
- Dải 1/2 ôcta (half octave) khi $f_2/f_1 = 2^{1/2} = 1,41$;
- Dải 1/3 ôcta (third octave) khi $f_2/f_1 = 2^{1/3} = 1,26$;

Tên của mỗi dải thường được gọi theo *tần số trung bình của dải (geometric center frequencies of the band)* xác định theo công thức:

$$f_{tb} = (f_1 \cdot f_2)^{1/2}$$

Ví dụ

Nếu $f_{1b} = 125\text{Hz}$ với dải 1 ôcta $f_2 = 2f_1$, ta có:

$$f_1 = f_{1b}/2^{1/2} = 88\text{Hz}; f_2 = f_{1b} \cdot 2^{1/2} = 175\text{Hz};$$

Trong bảng 1.4 giới thiệu các tần số chuẩn trung bình của các dải tần số theo hướng dẫn R266 của ISO.

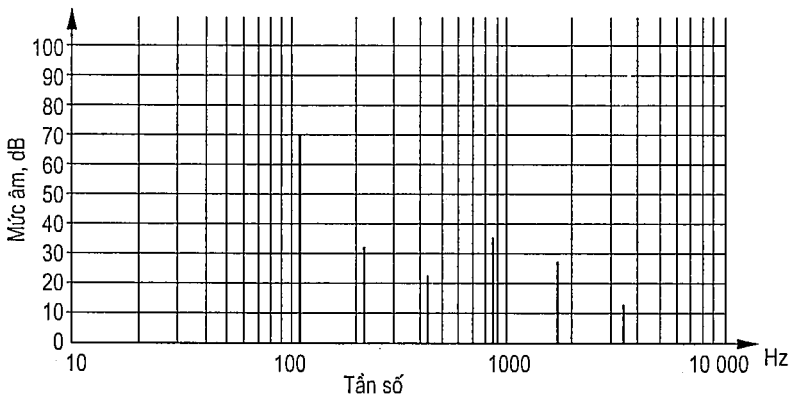
Bảng 1.4. Bảng tần số chuẩn theo ISO - R266 (Preferred frequencies)

Tần số trung bình	Dải 1 ôcta	Dải 1/2 ôcta	Dải 1/3 ôcta	Tần số trung bình	Dải 1 ôcta	Dải 1/2 ôcta	Dải 1/3 ôcta	Tần số trung bình	Dải 1 ôcta	Dải 1/2 ôcta	Dải 1/3 ôcta
16	x	x	x	160			x	1600			x
18				180		x		1800			
20			x	200			x	2000	x	x	x
22.4		x		224				2240			
25			x	250	x	x	x	2500			x
28				280				2800		x	
31.5	x	x	x	315			x	3150			x
35.5				355		x		3550			
40			x	400			x	4000	x	x	x
45		x		450				4500			
50			x	500	x	x	x	5000			x
56				560				5600		x	
63	x	x	x	630			x	6300			x
71				710		x		7100			
80			x	800			x	8000	x	x	x
90		x		900				9000			
100			x	1000	x	x	x	10000			x
112				1120				11200		x	
125	x	x	x	1250			x	12500			x
140				1400		x		14000			
160			x	1600			x	16000	x	x	x

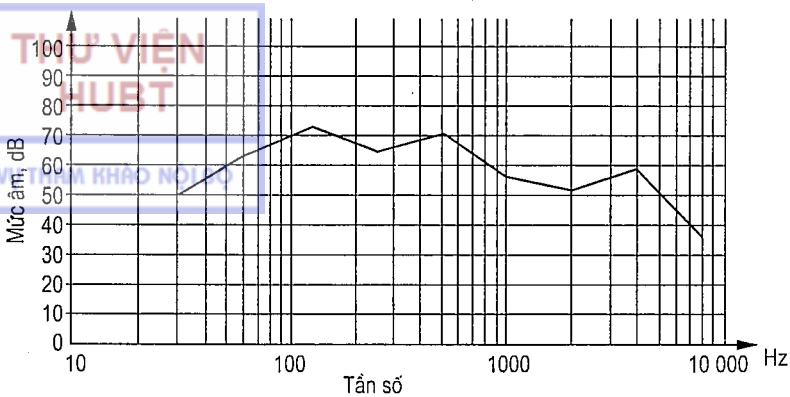
Trong âm học kiến trúc dải tần số 1 ôcta thường được sử dụng trong nghiên cứu tiếng ồn các khu dân cư, trong thành phố và trong các phòng. Dải tần số 1/3 ôcta thường được sử dụng trong nghiên cứu cách âm của các kết cấu nhà cửa. Dải tần số 1/2 ôcta ít được sử dụng.

1.3.3. Phổ âm thanh, phổ tiếng ồn

Để đánh giá, phân tích âm thanh người ta thường lập phổ âm thanh, nghĩa là biểu diễn biểu đồ mức âm theo các tần số của chúng. Phổ âm thanh như tiếng nói, tiếng hát (hình 1.16), âm nhạc (hình 1.25) gồm âm cơ bản và các họa âm gọi là *phổ vạch*. Khi các thành phần tần số dày đặc, ví dụ phổ của tiếng ồn (hình 1.26), ta có *phổ liên tục*.



Hình 1.25. Phổ của một loại nhạc cụ là phổ vạch



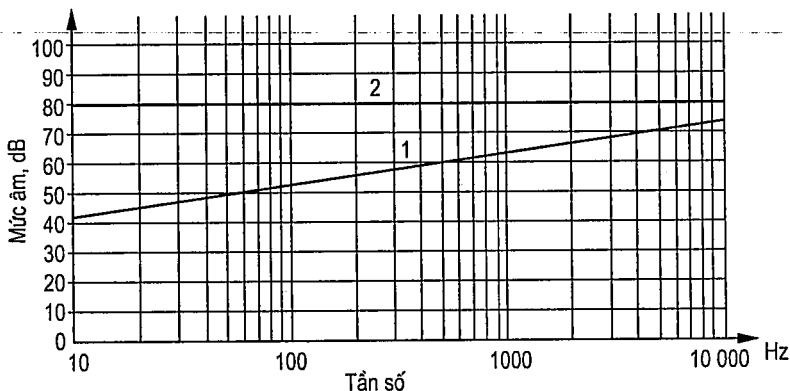
Hình 1.26. Phổ liên tục của một tiếng ồn

Các phép đo trong âm học kiến trúc thường sử dụng hai loại nguồn âm mẫu, là *tiếng ồn trắng* và *tiếng ồn hồng*, có phổ khác nhau.

- Tiếng ồn trắng có đặc điểm năng lượng âm phân bố đều nhau trên mọi tần số, vì vậy mức âm tăng dần theo dải 1 ôcta hoặc 1/3 ôcta.

- Tiếng ồn hồng có mật độ năng lượng phổ tỷ lệ nghịch với tần số, hoặc năng lượng cố định cho mỗi khoảng tần số theo tỷ lệ lôgarit. Vì vậy phổ của tiếng ồn hồng có mức âm *không đổi* theo dải tần số 1 ôcta hoặc 1/3 ôcta.

Trên hình 1.27 giới thiệu phổ tiếng ồn trắng và tiếng ồn hồng.



Hình 1.27. Phổ tiếng ồn trắng (1) và tiếng ồn hồng (2)

1.3.4. Phương pháp biểu diễn và tính toán kết quả đo

Khi nghiên cứu âm học kiến trúc, chúng ta thường phải tiến hành các phép đo âm thanh trong các phòng thí nghiệm hoặc ngoài hiện trường để lập các phổ âm (còn gọi là đặc tính tần số mức âm) theo dải tần số 1 hoặc 1/3 ôcta. Khi đánh giá và so sánh, thường phải thực hiện các phép tính chuyển đổi từ dải hẹp sang dải rộng hơn, hoặc tính mức tổng cộng theo các hiệu chỉnh A, B hoặc C.

1. Xác định và biểu diễn phổ âm theo dải 1 ôcta từ các kết quả đo theo dải 1/3 ôcta

Mức âm theo dải 1 ôcta chính là tổng mức năng lượng âm của ba dải 1/3 ôcta tương ứng. Gọi các mức âm theo dải 1/3 ôcta tương ứng là L_1 , L_2 , L_3 , theo công thức (1.6) và (1.7) ta có:

$$L_1 = 10 \lg \frac{I_1}{I_0} = 10 \lg \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^2 ;$$

$$L_2 = 10 \lg \frac{I_2}{I_0} = 10 \lg \left(\frac{P_2}{P_0} \right)^2 ;$$

$$L_3 = 10 \lg \frac{I_3}{I_0} = 10 \lg \left(\frac{P_3}{P_0} \right)^2.$$

Kết quả ta có mức âm theo dải 1 ôcta tương ứng của ba dải 1/3 ôcta là:

$$L_{\text{oct}} = 10 \lg \frac{I_1 + I_2 + I_3}{I_0} = 10 \lg \left(\frac{P_1^2 + P_2^2 + P_3^2}{P_0^2} \right)$$

hay:
$$L_{\text{oct}} = 10 \lg \sum \frac{I_i}{I_0} = 10 \lg \sum \left(\frac{P_i}{P_0} \right)^2 \quad (1.14)$$

Ví dụ 1.3. Hãy xác định và biểu diễn phổ âm theo dải 1 ôcta từ các kết quả đo âm thanh theo dải 1/3 ôcta, cho trong bảng 1.5.

Bảng 1.5. Mức âm đo theo dải 1/3 ôcta

Tần số của dải 1/3 ôcta	100	125	160	200	250	320	400	500	640	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000
Mức âm dB	60	62	58	61	65	67	70	72	68	61	58	56	56	50	48	48	47	45
Tần số của dải 1 ôcta	125			250			500			1000			2000			4000		

Bài giải:

Các tần số trung bình của dải 1 ôcta tương ứng với các dải 1/3 ôcta ghi ở hàng cuối bảng 1.5.

Mức âm ở tần số 125Hz theo dải 1 ôcta bằng tổng ba mức âm của dải 1/3 ôcta tương ứng. Tính như sau:

$$L_{100} = 60 = 10 \lg \frac{I_{100}}{I_0} \rightarrow \frac{I_{100}}{I_0} = 10^6;$$

$$L_{125} = 62 = 10 \lg \frac{I_{125}}{I_0} \rightarrow \frac{I_{125}}{I_0} = 1,58 \cdot 10^6;$$

$$L_{160} = 58 = 10 \lg \frac{I_{160}}{I_0} \rightarrow \frac{I_{160}}{I_0} = 0,63 \cdot 10^6;$$

$$L_{\text{oct}125} = 10 \lg \sum \frac{I_i}{I_0} = 10 \lg(3,21 \cdot 10^6);$$

$$L_{\text{oct}125} = 65,06 \approx 65 \text{dB}.$$

Tính toán tương tự đối với các tần số khác của dải 1 octa, được kết quả như sau:

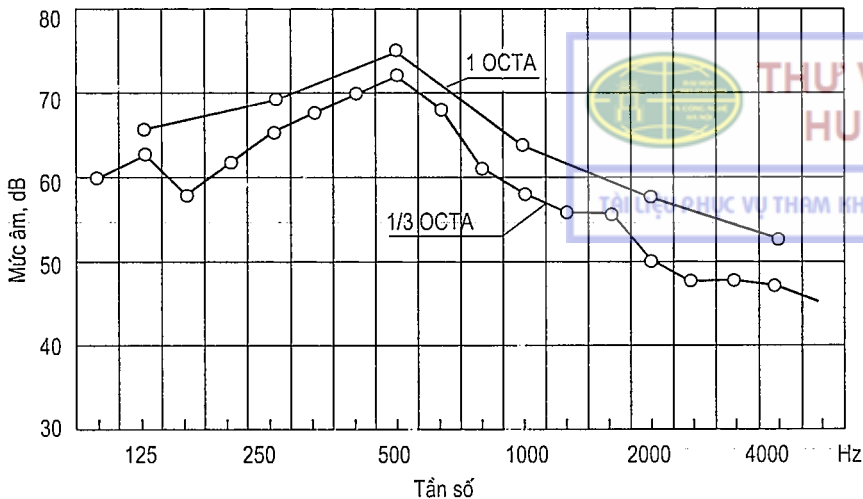
$$L_{\text{oct}125} = 65 \text{dB}; \quad L_{\text{oct}1000} = 63,6 \text{dB};$$

$$L_{\text{oct}250} = 69,8 \text{dB}; \quad L_{\text{oct}2000} = 57,5 \text{dB};$$

$$L_{\text{oct}500} = 75 \text{dB}; \quad L_{\text{oct}4000} = 51,6 \text{dB};$$

Để biểu diễn phổ âm theo các kết quả đo và tính toán ở trên ta lập hệ trục tọa độ theo tỷ lệ nửa lôgarit, nghĩa là trên trục tung đặt mức âm (dB) theo tỷ lệ đường thẳng, còn trục hoành đặt tần số âm theo thang lôgarit (mỗi dải tần số 1/3 octa lấy một khoảng bằng nhau).

Trên hình 1.28 là phổ âm thanh biểu diễn theo dải 1/3 octa và dải 1 octa.



Hình 1.28. Phổ âm theo dải 1/3 octa và dải 1 octa

Nhận xét:

1. Mức âm theo dải 1 ôcta luôn luôn lớn hơn trị số lớn nhất trong dải 1/3 ôcta tương ứng. Vì vậy đường biểu diễn phổ âm theo dải 1 ôcta luôn luôn nằm phía trên phổ âm theo dải 1/3 ôcta.

2. Khi mức âm của ba dải 1/3 ôcta (tương ứng với dải 1 ôcta) đều bằng nhau, thì mức chênh lệch giữa hai dải sẽ lớn nhất và bằng 5dB.

3. Không thể xác định mức âm theo dải 1/3 ôcta khi biết mức âm của dải 1 ôcta tương ứng.

2. Xác định mức âm theo thang A (dB, A) khi biết phổ âm thanh

Ở trên chúng ta đã biết mức âm xác định theo thang A là mức âm tổng cộng được hiệu chỉnh về cảm giác nghe của tai người ở các mức thấp. Các trị số hiệu chỉnh về thang A theo dải 1 ôcta có thể xác định theo biểu đồ hình 1.24 hoặc theo bảng 1.6.

Bảng 1.6. Các trị số hiệu chỉnh về thang A

Tần số, Hz	Trị số hiệu chỉnh, dB		Tần số, Hz	Trị số hiệu chỉnh, dB	
	Dải 1/3 ôcta	Dải 1 ôcta		Dải 1/3 ôcta	Dải 1 ôcta
100	-19		800	-1	
125	-16	-16	1000	0	0
160	-13,5		1250	+0.5	
200	-11		1600	+1	
250	-8.5	-8.5	2000	+1	+1
320	-6.5		2500	+1.5	
400	-5		3200	+1	
500	-3	-3	4000	+1	+1
640	-2		5000	+0.5	

Tính toán mức âm theo thang A được tiến hành theo hai bước.

Bước 1. Hiệu chỉnh các trị số đo về thang A.

Bước 2. Cộng mức âm ở tất cả các dải tần số theo phương pháp tổng năng lượng giới thiệu ở mục 1 của phần này.

Ví dụ 1.4:

Theo phổ âm thanh của dải 1 ôcta đã tính toán được ở ví dụ 1.3, xác định mức âm tổng cộng theo thang A.

Bài giải

Tính toán hiệu chỉnh mức âm theo dải 1 ôcta về thang A giới thiệu ở bảng 1.7.

Mức âm tổng cộng theo thang A xác định như công thức (1.14).

$$L_A = 10 \lg \sum \frac{I_i}{I_0}, \text{ dBA}$$

Các trị số I_i/I_0 tương ứng với mỗi dải tần số tính toán tương tự ví dụ 1.3 và đưa vào bảng 1.7.

Bảng 1.7. Ví dụ tính toán mức âm L_A

Tần số, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Mức âm, dB	65	69,8	75	63,5	57,5	51,6
Trị số hiệu chỉnh A, dB	49	61,3	72	63,6	58,5	52,6
I/I_0	$7,94 \cdot 10^4$	$1,35 \cdot 10^6$	$15,85 \cdot 10^6$	$2,29 \cdot 10^6$	$0,71 \cdot 10^6$	$0,18 \cdot 10^6$

$$\sum \frac{I_i}{I_0} = 20,46 \cdot 10^6$$

Vậy: $L_A = 10 \lg(20,46 \cdot 10^6) = 73,1 \text{ dBA}$

Ghi chú: Mức âm tổng cộng theo thang A (dB, A) tính toán như trên có thể khác ít nhiều so với mức âm tổng cộng theo thang A đọc trên máy đo. Nguyên nhân của sai khác này là mức tính toán chỉ bao gồm năng lượng âm của sáu dải tần số, còn mức âm đo gồm toàn bộ năng lượng do nguồn bức xạ trong toàn phạm vi tần số (có thể từ 20 đến 20.000Hz).

1.4. TRUYỀN ÂM Ở NGOÀI TRỜI

Sự truyền âm ở ngoài trời có những đặc điểm sau đây:

1. Không gian ngoài trời là trống trải, vì vậy sóng âm chỉ lan truyền đi mà không có sóng trở lại. Sóng âm như thế gọi là *sóng chạy*.

2. Sự truyền âm chịu ảnh hưởng của thời tiết như gió, phân bố nhiệt độ theo chiều cao từ mặt đất.

3. Sự truyền âm chịu ảnh hưởng hút âm của bề mặt đất (đất xói, đất trồng cỏ, trồng cây, mặt nước, mặt bê tông v.v...).

4. Trên đường truyền âm có thể gặp chướng ngại như nhà cửa, tường chắn, hàng cây...

Chúng ta sẽ lần lượt xem xét các trường hợp cụ thể sau đây:

1.4.1. Sự tắt dần âm thanh trong không khí

Khi âm thanh lan truyền trong không khí, năng lượng âm sẽ giảm dần theo khoảng cách xa dần nguồn âm. Đó là hiện tượng tắt dần của âm thanh, xảy ra do hai nguyên nhân sau đây:

- Do càng xa nguồn âm, năng lượng âm phải chia sẻ cho một khối lượng các phần tử môi trường càng lớn. Đó là sự giảm năng lượng âm theo khoảng cách.

- Do ma sát của các phần tử môi trường khi thực hiện dao động. Sự giảm năng lượng này gọi là sự hút âm của không khí hay còn gọi là sự hút âm nguyên tử.

1. Sự giảm năng lượng âm theo khoảng cách

a) Trường hợp nguồn âm điểm

Nếu một nguồn âm điểm có công suất $P(W)$, bức xạ sóng cầu, thì ở khoảng cách nguồn $r(m)$ cường độ âm có thể tính theo công thức:

$$I_r = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (1.15)$$

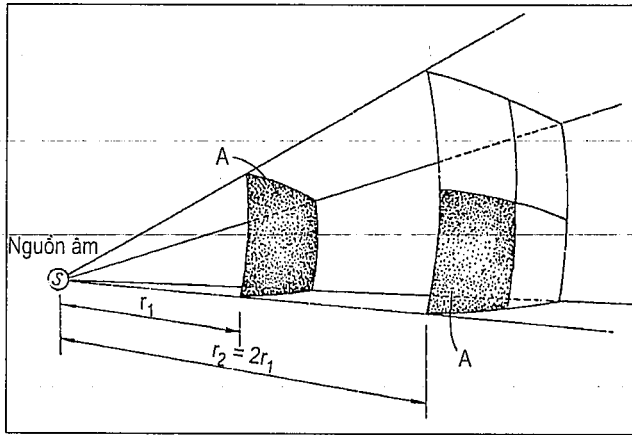
Công thức (1.15) cho thấy, mỗi khi khoảng cách r tăng lên gấp đôi, cường độ âm lại giảm đi bốn lần (xem hình 1.29 minh họa hiện tượng này). Sự giảm năng lượng của sóng cầu theo khoảng cách này gọi là *luật giảm tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách*.

Logarit hóa hai vế công thức (1.15), ta xác định được mức âm (dB) tại r theo công thức:

$$L_r = L_p + 10 \lg \frac{1}{4\pi r^2} \quad (1.16)$$

hay:
$$L_r = L_p - 20 \lg r - 11, \text{ dB}, \quad (1.17)$$

trong đó: L_p - mức công suất âm của nguồn, dB.



Hình 1.29. Năng lượng âm giảm theo luật bình phương khoảng cách

Bài toán thường gặp là xác định độ chênh lệch mức âm tại các khoảng cách r_1 (có mức âm L_1) và r_2 (mức âm L_2), với $r_2 > r_1$.

Ta có:

$$\Delta L = L_1 - L_2 = 20 \lg r_2 / r_1, \text{ dB} \quad (1.18)$$

Theo công thức này, mỗi khi khoảng cách tăng lên hai lần, mức âm giảm đi 6 dB.

Xét trường hợp tổng quát, một nguồn âm điểm có tính định hướng Q (Q xác định bằng tỷ số giữa cường độ âm theo hướng khảo sát và cường độ trung bình đối với mọi hướng ở cùng khoảng cách) bức xạ năng lượng P (W) vào một góc khối Ω , khi đó cường độ âm ở khoảng cách r (m) xác định theo công thức sau:

$$I_r = \frac{P \cdot Q}{\Omega \cdot r^2} \quad (1.19)$$

Logarit hóa cả hai vế công thức (1.19) ta được:

$$L_r = L_p + 10 \lg Q - 20 \lg r - 10 \lg \Omega \quad (1.20)$$

- Trường hợp nguồn âm bức xạ đều vào không gian ($Q = 1$ và $\Omega = 4\pi$) mức âm L_r trở về công thức (1.17).

- Khi truyền âm trên mặt phẳng (nửa không gian, $\Omega = 2\pi$) mức âm tại r có dạng (với $Q = 1$):

$$L_r = L_p - 20 \lg r - 8, \text{ dB} \quad (1.21)$$

- Khi truyền âm từ góc nhị diện ($\Omega = \pi$), tương tự ta có:

$$L_r = L_p - 20 \lg r - 5, \text{ dB} \quad (1.22)$$

b) Trường hợp nguồn âm đường

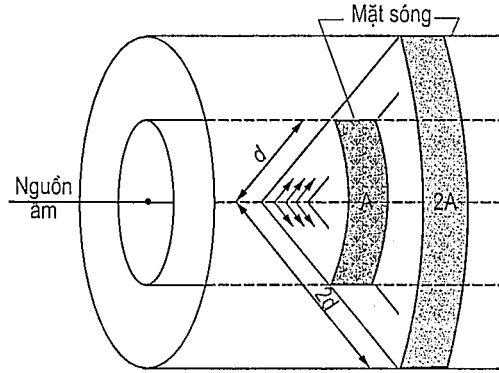
Với nguồn âm đường (bức xạ sóng trụ), độ giảm cường độ âm từ khoảng cách $r_1(I_1)$ đến khoảng cách $r_2(I_2)$ theo quan hệ:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

được minh họa trên hình 1.30.

Độ chênh lệch mức âm giữa các khoảng cách r_1 và r_2 lúc này sẽ là:

$$\Delta L = 10 \lg \frac{r_2}{r_1}, \text{ dB} \quad (1.23)$$



Hình 1.30. Sự giảm cường độ của nguồn âm đường

Công thức (1.23) cho thấy, đối với nguồn âm đường, mỗi khi khoảng cách tăng lên gấp đôi mức âm sẽ giảm đi 3dB.

Chú thích: Về mặt lý thuyết các sóng phẳng không suy giảm năng lượng theo khoảng cách, mà chỉ suy giảm do sự hút âm nguyên tử, sẽ xem xét trong mục sau.

2. Sự hút âm của không khí

Sự hút âm của không khí phụ thuộc rất lớn vào tần số âm, đồng thời phụ thuộc vào nhiệt độ và độ ẩm của không khí, thường xác định theo độ giảm mức âm trên mỗi mét chiều dài truyền âm (dB/m). Trên hình 1.31 là biểu đồ xác định sự hút âm của không khí ở 20°C theo tần số âm và độ ẩm tương đối φ (theo %).

Ví dụ 1.5:

Xác định độ giảm mức âm của một nguồn điểm phát sóng cầu từ khoảng cách nguồn 1m đến khoảng cách 50m ở ngoài trời có độ ẩm 80% tại các tần số 1000Hz và 2000Hz.

Bài giải:

Độ giảm mức âm do khoảng cách là (theo công thức 1.18):

$$\Delta L_1 = 20 \lg 50 = 34 \text{ dB}$$

Độ giảm mức âm do sự hút âm của không khí (ở nhiệt độ 20°C và độ ẩm 80%):

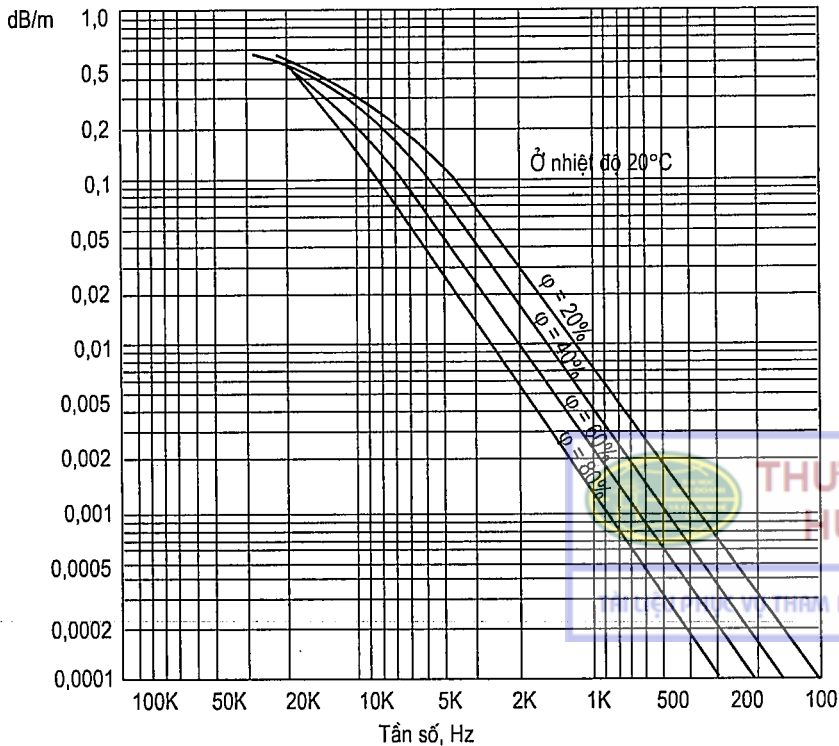
- Với tần số 1000Hz ta có $\Delta L_2 = 0,0014 \times 50 = 0,07 \text{ dB}$.

- Với tần số 2000Hz ta có $\Delta L_2 = 0,0055 \times 50 = 0,275 \text{ dB}$.

Độ giảm mức âm tổng cộng ở khoảng cách 50m so với khoảng cách 1m là:

- Với tần số 1000Hz ta có $\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 \approx 34 \text{ dB}$.

- Với tần số 2000Hz ta có $\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 \approx 34,3 \text{ dB}$.



Hình 1.31. Sự hút âm của không khí

1.4.2. Xác định mức âm tổng cộng của nhiều nguồn

Mức âm tại một điểm trong không gian có thể do nhiều nguồn âm truyền tới. Khi đó, mức âm tại điểm khảo sát là mức âm tổng cộng của các mức

thành phần (không xét đến sự lệch pha của các mức truyền tới). Ta hãy xét một số trường hợp cụ thể sau đây:

- Trường hợp có hai mức thành phần: Âm truyền tới điểm khảo sát gồm hai mức thành phần L_1 và L_2 từ hai hướng khác nhau:

$$L_1 = 10 \lg \frac{I_1}{I_0}; \quad L_2 = 10 \lg \frac{I_2}{I_0}.$$

Mức âm tổng cộng (L_Σ) tại điểm khảo sát xác định theo công thức (1.14):

$$L_\Sigma = 10 \lg \frac{I_1 + I_2}{I_0}$$

+ Nếu $L_1 = L_2$, nghĩa là $I_1 = I_2$, ta có:

$$L_\Sigma = 10 \lg 2 \frac{I_1}{I_0} = L_1 + 10 \lg 2;$$

$$L_\Sigma = L_1 + 3\text{dB}.$$

Như vậy, nếu hai mức âm truyền đến bằng nhau, thì mức âm tổng cộng bằng trị số của một mức cộng thêm 3dB.

+ Nếu $L_1 \neq L_2$ và $L_1 > L_2$, nghĩa là $I_1 > I_2$:

Khi đó $I_2 = aI_1$ với $a < 1$, ta có:

$$L_1 = 10 \lg \frac{I_1}{I_0} \quad \text{và} \quad L_2 = 10 \lg \frac{aI_1}{I_0}.$$

Mức âm tổng cộng là:

$$L_\Sigma = 10 \lg \frac{I_1 + aI_1}{I_0} = L_1 + 10 \lg(1 + a)$$

Gọi $\Delta L = 10 \lg(1 + a)$ là mức âm gia tăng, ta có:

$$L_\Sigma = L_1 + \Delta L \quad (1.24)$$

Trị số ΔL phụ thuộc chênh lệch các mức âm thành phần ($L_1 - L_2$):

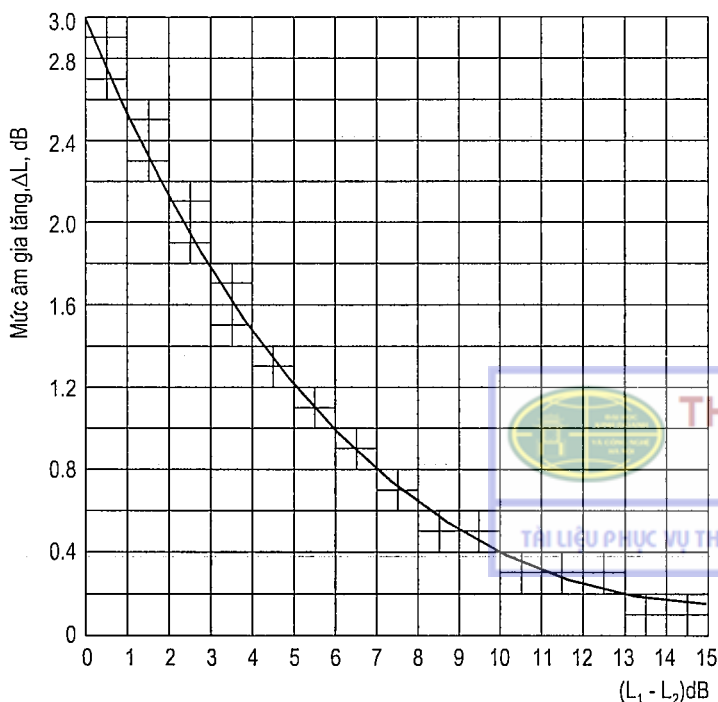
$$L_1 - L_2 = 10 \lg \frac{I_1}{I_0} - 10 \lg \frac{aI_1}{I_0} = -10 \lg a$$

Tính toán mức âm gia tăng (ΔL) theo chênh lệch giữa hai mức thành phần ($L_1 - L_2$) được thể hiện trong bảng 1.8.

Bảng 1.8. Mức âm gia tăng phụ thuộc hiệu ($L_1 - L_2$)

a	$L_1 - L_2 = -10\lg a, \text{ dB}$	$\Delta L = 10\lg(1+a), \text{ dB}$
1	0	3
0.8	1,0	2,6
0.7	1,6	2,3
0.6	2,2	2,0
0.5	3,0	1,8
0.4	4,0	1,5
0.3	5,2	1,1
0.2	7,0	0,8
0.1	10,0	0,4

Các kết quả tính toán trong bảng 1.8 được biểu diễn trên biểu đồ 1.32.



Hình 1.32. Biểu đồ để cộng mức âm

- Trường hợp có n mức âm bằng nhau cùng truyền đến điểm khảo sát:

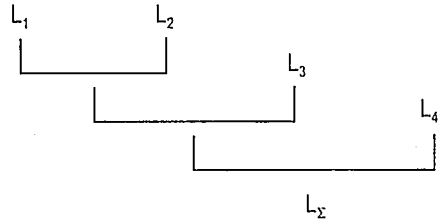
$$L_1 = L_2 = L_3 = \dots = L_n = L$$

Mức âm tổng cộng xác định theo công thức:

$$L_{\Sigma} = L + 10 \lg n \quad (1.25)$$

- Trường hợp có nhiều mức âm khác nhau truyền đến điểm tính toán.

Mức âm tổng cộng có thể xác định bằng cách cộng dồn khi áp dụng công thức (1.24) theo sơ đồ ở hình bên.



(Trường hợp bốn mức thành phần)

Ví dụ 1.6:

Xác định mức âm tổng cộng tại điểm A do bốn nguồn âm cùng truyền tới có mức âm là: $L_1 = 85\text{dB}$; $L_2 = 80\text{dB}$; $L_3 = 82\text{dB}$; $L_4 = 78\text{dB}$.

Bài giải

Để thuận tiện, tiến hành cộng dồn mức âm từ cao đến thấp.

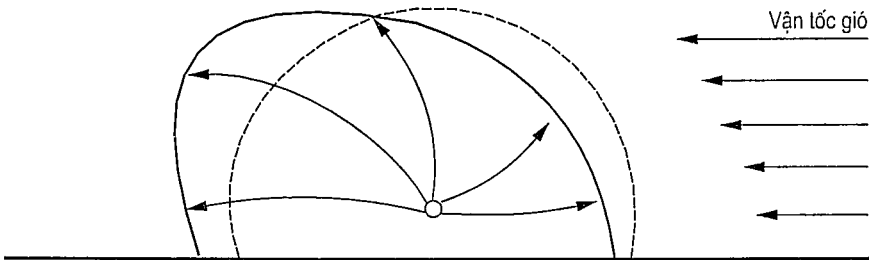
$$L_1 - L_3 = 85 - 82 = 3 \text{ dB} \rightarrow \Delta L_{13} = 1,8\text{dB} \rightarrow L_{1,3} = 85 + 1,8 = 86,8 \text{ dB.}$$

$$L_{1,3} - L_2 = 86,8 - 80 = 6,8\text{dB} \rightarrow \Delta L_{13} = 0,8\text{dB} \rightarrow L_{1,23} = 86,8 + 0,8 = 87,6 \text{ dB.}$$

$$L_{1,23} - L_4 = 87,6 - 78 = 9,4\text{dB} \rightarrow \Delta L_{1234} = 0,4\text{dB} \rightarrow L_{\Sigma} = 87,6 + 0,4 = 88 \text{ dB.}$$

1.4.3. Ảnh hưởng của gió và phân bố nhiệt độ đến sự truyền âm

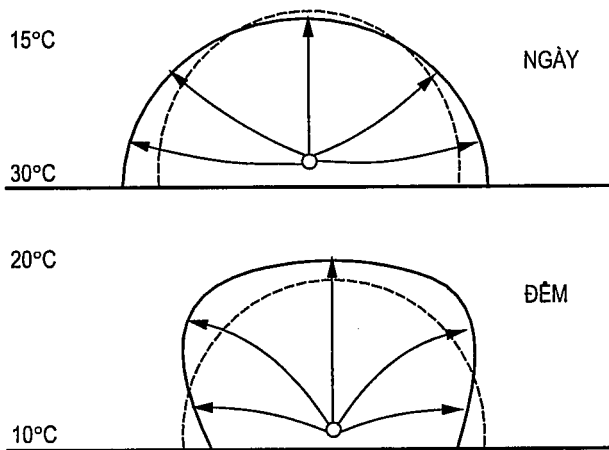
Gió có thể ảnh hưởng đến gradient vận tốc của sóng âm, do đó làm thay đổi mặt sóng âm thanh. Ở gần mặt đất vận tốc gió nhỏ, khi độ cao tăng lên vận tốc cũng tăng lên, điều đó làm cho các tia âm có xu hướng uốn xuống mặt đất theo chiều gió, và uốn lên cao theo chiều ngược hướng gió (hình 1.33), tạo thành *bóng âm* ở phía này.



Hình 1.33. Ảnh hưởng của gió đến sự truyền âm

Gió còn làm thay đổi mức âm theo các hướng khác nhau. Tùy theo vận tốc gió, mức âm thuận theo chiều gió có thể lớn gấp 2 - 3 lần theo chiều ngược gió.

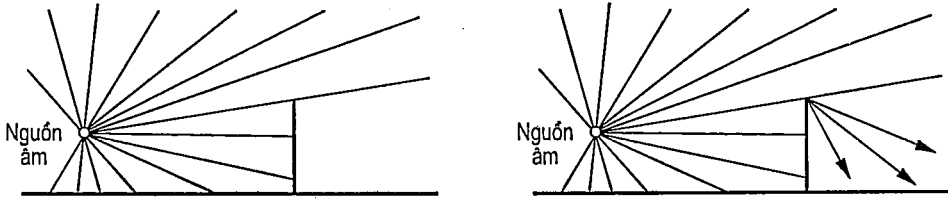
Sự phân bố nhiệt độ trong không gian không đều theo chiều cao và không giống nhau giữa ban ngày và ban đêm giữa đồi núi cao và thung lũng sâu. Ở vùng đồng bằng, ban ngày nhiệt độ ở gần mặt đất lớn và giảm dần theo chiều cao. Ban đêm, ngược lại, nhiệt độ ở gần mặt đất thấp (do sự bức xạ nhiệt của mặt đất vào không gian) và tăng dần theo chiều cao. Kết quả hướng của các tia âm bị thay đổi và dạng mặt sóng cũng thay đổi. Trên hình 1.34 thể hiện sự xuất hiện bóng âm ở gần mặt đất lúc ban ngày.



Hình 1.34. Ảnh hưởng của phân bố nhiệt độ đến sự truyền âm

1.4.4. Ảnh hưởng của vật cản đến sự truyền âm

Sóng âm trên đường lan truyền có thể gặp các vật cản như ngôi nhà, bức tường, hàng cây... Khi đó một phần năng lượng âm sẽ phản xạ trở lại sau khi đập vào các vật cản, làm tăng mức âm ở phía trước, đồng thời ở phía sau vật cản có thể tạo thành bóng âm mà độ lớn của nó phụ thuộc kích thước của vật cản và bước sóng âm. Tần số âm càng cao, bóng âm càng rõ rệt (hình 1.35a), còn ở các tần số thấp, đặc biệt khi bước sóng âm xấp xỉ hoặc lớn hơn vật cản, âm thanh có thể xâm nhập vào bóng âm do hiện tượng nhiễu xạ (hình 1.35). Tuy nhiên trong cả hai trường hợp năng lượng âm trong vùng bóng âm đều giảm đáng kể so với khi âm thanh lan truyền tự do. Tính toán cụ thể trường hợp này sẽ đề cập ở chương 6.



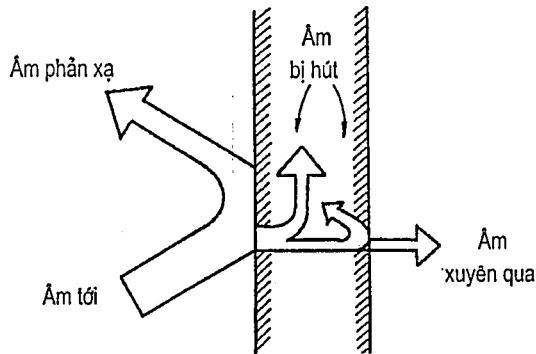
Hình 1.35. Sự hình thành bóng âm đối với tần số cao (a) và xuất hiện nhiễu xạ ở tần số thấp (b)

1.5. TRUYỀN ÂM TRONG PHÒNG KÍN

1.5.1. Hệ số hút âm và lượng hút âm

Khi âm thanh lan truyền trong phòng kín tới gặp một bề mặt kết cấu thì sẽ xảy ra các hiện tượng (hình 1.36):

- Một phần năng lượng âm sẽ phản xạ trở lại vào phòng.
- Một phần năng lượng âm sẽ truyền qua kết cấu sang phòng bên cạnh;
- Một phần bị tiêu tán trong vật liệu kết cấu.



Hình 1.36. Sự phản xạ và hút âm của các kết cấu trong phòng

Khi nghiên cứu âm học các phòng chúng ta chỉ quan tâm phần năng lượng âm phản xạ trở lại và năng lượng âm bị mất đi. Do đó phần năng lượng âm tiêu tán và phần truyền qua được gọi chung là năng lượng âm bị hút. Ta có:

$$I_t = I_p + I_h,$$

trong đó: I_t - cường độ âm tới mặt kết cấu; I_p - cường độ âm phản xạ;

I_h - cường độ âm bị hút.

Để đặc trưng cho tính chất hút âm của vật liệu, người ta dùng hệ số hút âm, ký hiệu α , với:

$$\alpha = \frac{I_h}{I_t} \tag{1.26}$$

Tính chất phản xạ âm thanh của các vật liệu được đặc trưng bằng *hệ số phản xạ âm*, ký hiệu β , với:

$$\beta = \frac{I_p}{I_t} \quad (1.27)$$

Do đó: $\alpha + \beta = 1$ (1.28)

Tất cả các vật liệu đều hút âm, chỉ có ít hoặc nhiều. Hút âm là sự chuyển đổi *năng lượng âm* thành các *năng lượng khác* như nhiệt năng, cơ năng... Nói chung các vật liệu càng rắn, đặc, nhẵn càng ít hút âm, hệ số hút âm xấp xỉ không. Ngược lại chúng ta có thể tạo được các vật liệu hút âm xấp xỉ đơn vị. Vấn đề hút âm sẽ được nghiên cứu kỹ hơn trong chương 3.

Mặt khác, khả năng hút âm của vật liệu thay đổi rất nhiều theo tần số âm thanh và thường được biểu diễn dưới dạng một *đường đặc tính tần số hút âm* α (hình 1.37), nó cho biết khả năng hút âm của vật liệu mạnh ở vùng nào, giúp chúng ta sử dụng chúng một cách hợp lý.

Khả năng hút âm của một bề mặt có diện tích S (hệ số hút âm là α) được đánh giá bằng *lượng hút âm tương đương* của nó, ký hiệu là A , xác định theo công thức:

$$A = S\alpha, \text{ đơn vị là } m^2.$$

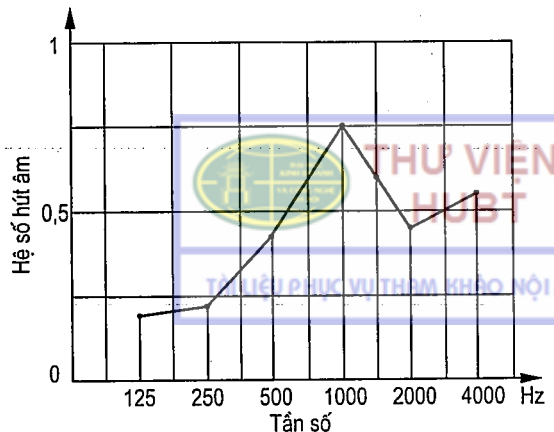
Ví dụ: một bề mặt diện tích $S = 100m^2$ có hệ số hút âm $\alpha = 0,35$ (ở một tần số nào đó) sẽ có lượng hút âm tương đương là:

$$A = 100 \cdot 0,35 = 35m^2$$

Nói khác đi, bề mặt khảo sát $100m^2$ có khả năng hút âm tương đương một diện tích hoàn toàn hút âm là $35m^2$.

Để đơn giản người ta gọi tắt nó là *lượng hút âm*.

Một phòng sẽ có nhiều bề mặt diện tích khác nhau (S_i) với hệ số hút âm khác nhau (α_i). Lượng hút âm của một phòng là lượng hút âm tổng



Hình 1.37. Đặc tính tần số hút âm của một vật liệu

cộng của tất cả các bề mặt và các vật có trong phòng đó, xác định theo công thức:

$$A = \sum S_i \cdot \alpha_i + \sum a_m N_m \quad (1.29)$$

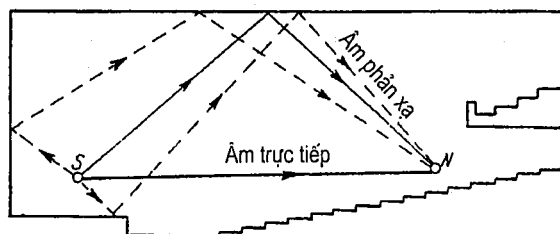
trong đó:

N_m - số vật hút âm có trong phòng;

a_m - lượng hút âm của một vật.

1.5.2. Trường âm trực tiếp và trường âm phản xạ

Giả thiết rằng trong một phòng kín có một nguồn phát âm S (hình 1.38). Năng lượng âm người nghe tại N nhận được gồm hai phần



Hình 1.38. Trường âm trong phòng kín:

S - nguồn âm; N - người nghe.

- Năng lượng âm trực tiếp tới từ nguồn, gọi là I_1 ;

- Năng lượng âm của các phản xạ từ các bề mặt trong phòng gọi là I_2 .

Năng lượng âm trực tiếp có thể xác định như khi truyền âm ở ngoài trời, nghĩa là:

$$I_1 = \frac{P}{4\pi r^2}$$

trong đó:

P - công suất của nguồn âm;

r - khoảng cách từ nguồn âm đến điểm N.

Âm thanh khi đập vào các bề mặt, một phần năng lượng sẽ bị hút, vì vậy năng lượng âm sau một lần phản xạ tới N có thể xác định theo công thức (bỏ qua các năng lượng phản xạ bậc cao):

$$I_2 = P \cdot \frac{4(1-\alpha)}{S\alpha} \quad (1.30)$$

Với

$$\alpha = \frac{\sum S_i \alpha_i}{\sum S_i} = \frac{A}{S} \quad (1.31)$$

Trị số $S\alpha/(1 - \alpha)$ được đặt tên là *hằng số của phòng*. Ký hiệu là B, đặc trưng cho tính chất hút âm của một phòng:

$$B = \frac{S\alpha}{(1 - \alpha)} = \frac{A}{(1 - \alpha)} \quad (1.32)$$

Khi phòng ít hút âm, α nhỏ, trị số B cũng nhỏ, Trị số B lớn chứng tỏ phòng hút âm mạnh. Thay B vào công thức (1.30) ta có:

$$I_2 = \frac{4}{B} \cdot P$$

Do đó năng lượng âm tổng cộng tại N là:

$$I_r = I_1 + I_2 = P \left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{B} \right) \quad (1.33)$$

Khi logarit cả hai vế công thức (1.33) ta xác định được mức âm tại N:

$$L_r = L_p + 10 \lg \left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{B} \right) \quad (1.34)$$

trong đó: L_p - mức công suất của nguồn âm.

Phân tích công thức (1.34) chúng ta nhận thấy:

- Ở một khoảng cách r đủ lớn, trị số $1/4\pi r^2$ sẽ rất nhỏ so với $4/B$, nghĩa là khi đó mức âm trong phòng không còn phụ thuộc khoảng cách nữa và bắt đầu từ khoảng cách đó mức âm trong phòng được coi là cố định. Ta có:

$$L_{px} \approx L_p + 10 \lg \frac{4}{B}$$

Trường âm trong vùng này gọi là *trường âm phản xạ*.

- Khi người nghe ở gần nguồn âm (r rất nhỏ) trị số $1/4\pi r^2$ trở nên khá lớn so với $4/B$, khi đó chúng ta trở về bài toán truyền âm ngoài trời. Nghĩa là:

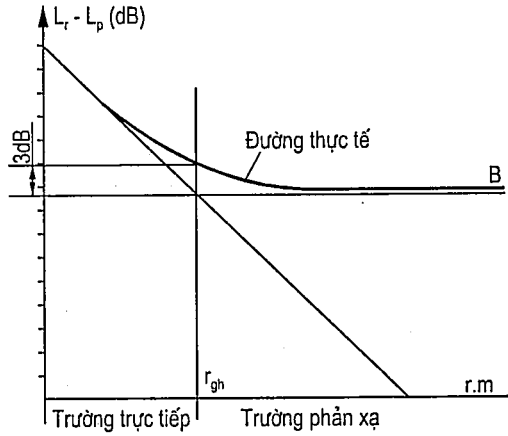
$$L_u \approx L_p + 10 \lg \frac{1}{4\pi r^2}$$

Trường âm trong vùng này gọi là *trường âm trực tiếp*.

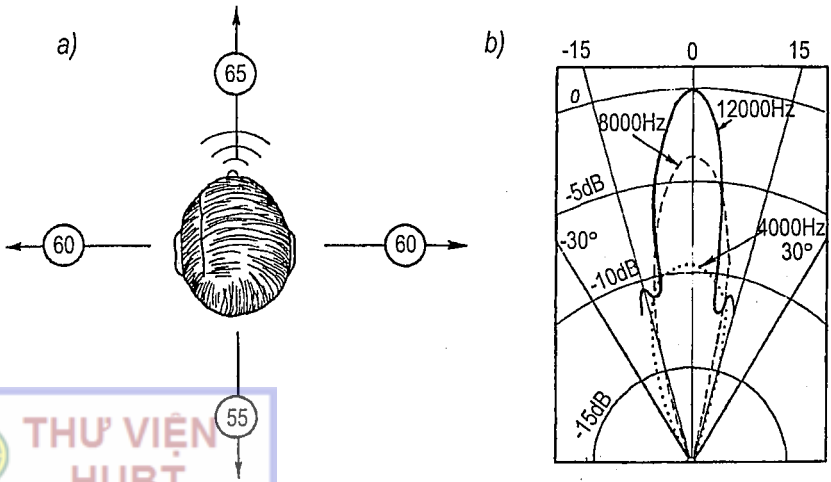
Như vậy trường âm trong phòng có thể biểu diễn theo biểu đồ, trong đó trục tung đặt hiệu mức âm ($L_r - L_p$) và trục hoành đặt khoảng cách r từ nguồn âm đến điểm khảo sát (hình 1.39).

Khoảng cách chuyển tiếp từ trường âm trực tiếp sang trường âm phản xạ, được gọi là *khoảng cách giới hạn*, ký hiệu r_{gh} .

Trong thực tế các nguồn âm thường bức xạ không đều theo các hướng khác nhau, nghĩa là nguồn âm có tính định hướng rõ rệt. Trên hình 1.40 giới thiệu sự phân bố mức âm của tiếng nói chúng ta trên mặt phẳng ngang.



Hình 1.39. Trường âm trực tiếp và trường âm phản xạ



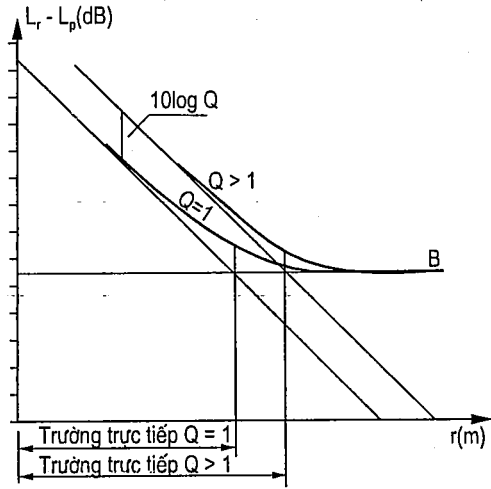
Hình 1.40. Phân bố mức âm trung bình của tiếng nói theo các hướng (a) và phân bố mức âm theo tần số của tiếng hét (b).

Khi xét đến tính định hướng của nguồn âm, công thức (1.34) sẽ có dạng:

$$L_r = L_p + 10 \lg \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{B} \right) \quad (1.35)$$

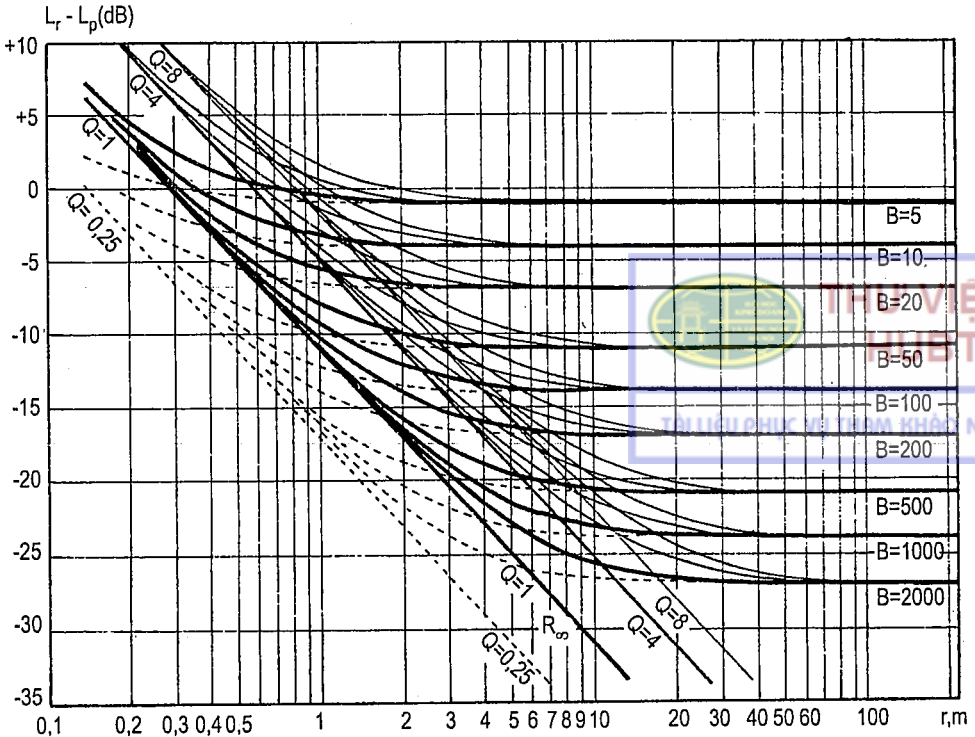
trong đó: Q - hệ số định hướng (xem công thức 1.19).

Biểu đồ trên hình 1.41 cho thấy ảnh hưởng của tính định hướng của nguồn âm đến sự thay đổi bán kính giới hạn giữa trường âm trực tiếp và trường âm phản xạ.



Hình 1.41. Ảnh hưởng của Q đến bán kính giới hạn

Biểu đồ hình 1.42 có thể dùng trong tính toán thực tế để xác định mức âm trong phòng khi hằng số phòng thay đổi ($B = 5 \div 2000\text{m}^2$) và tính định hướng khác nhau ($Q = 0,25 \div 8$) [15].



Hình 1.42. Sự thay đổi mức âm trong phòng phụ thuộc B và Q

Ví dụ 1.7:

Hãy xác định bán kính giới hạn mức âm của trường trực tiếp và trường phản xạ trong một giảng đường kích thước $15\text{m} \times 25\text{m}$ (rộng \times dài) có tổng diện tích các bề mặt là $S = 1500\text{m}^2$ và hệ số hút âm trung bình $\alpha = 0,25$. Nguồn âm đặt ở phía trước có mức công suất $L_p = 80\text{dB}$ và đẳng hướng ($Q = 1$).

Bài giải:

Xác định hằng số của phòng:

$$B = \frac{S\alpha}{1 - \alpha} = \frac{1500 \cdot 0,25}{1 - 0,25} = 500\text{m}^2$$

Theo $B = 500$ và $Q = 1$, tra biểu đồ hình 1.42 ta xác định được:

- Khoảng cách giới hạn $r_{gh} = 6\text{m}$.
- Mức âm của trường phản xạ ($r > 6$) chênh lệch với mức công suất của nguồn âm là:

$$L_{px} - L_p = -21\text{dB}$$

Do đó mức âm trong trường phản xạ là:

$$L_{px} = L_p - 21 = 80 - 21 = 59\text{dB}$$

Trong vùng trường âm trực tiếp mức âm thay đổi theo khoảng cách như sau:

- Khi $r = 2\text{m}$: $L_{tt} - L_p = -16\text{ dB} \rightarrow L_{tt} = 64\text{ dB}$

- Khi $r = 3\text{m}$: $L_{tt} - L_p = -18\text{ dB} \rightarrow L_{tt} = 62\text{ dB}$

- Khi $r = 4\text{m}$: $L_{tt} - L_p = -19\text{ dB} \rightarrow L_{tt} = 61\text{ dB}$

- Khi $r = 5\text{m}$: $L_{tt} - L_p = -20\text{ dB} \rightarrow L_{tt} = 60\text{ dB}$

Tại bán kính giới hạn: $L_{tt} = L_{px} = 59\text{dB}$.

Chương 2

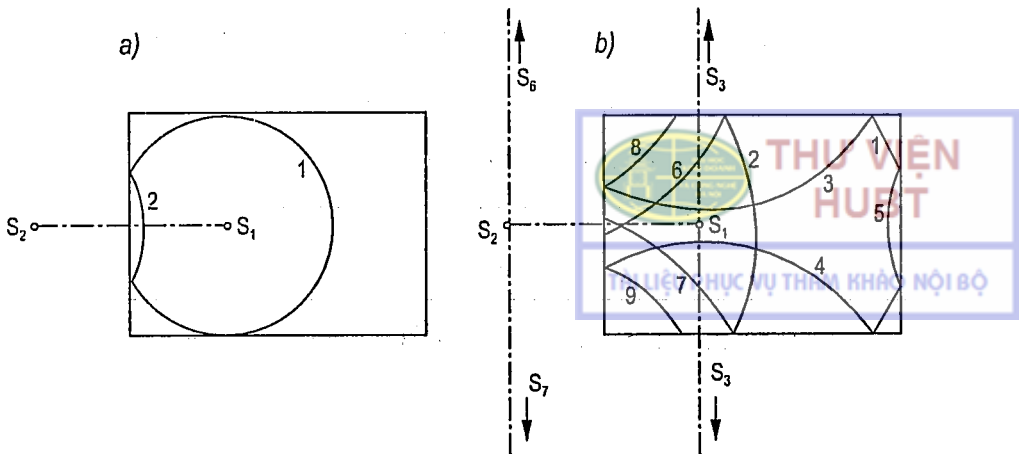
ĐẶC ĐIỂM TRƯỜNG ÂM TRONG CÁC PHÒNG THÍNH GIẢ

2.1. CÁC PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU ÂM HỌC PHÒNG

Trong chương này chúng ta sẽ nghiên cứu các hiện tượng xảy ra khi âm thanh lan truyền trong một phòng - một không gian kín bị giới hạn bởi các bề mặt kết cấu (tường và trần).

Như đã biết, sóng âm là những sóng áp suất, lan truyền từ nguồn âm đến mọi điểm trong phòng - đó là *sóng trực tiếp*.

Khi âm thanh truyền tới các bề mặt trong phòng, sẽ xảy ra các hiện tượng phản xạ và hút âm: một phần năng lượng âm tới bị vật liệu của bề mặt hút đi, phần còn lại sẽ phản xạ trở lại vào phòng (hình 2.1) đó là *các sóng phản xạ*.



Hình 2.1. Sóng âm lan truyền trong phòng sau 1/60s (a) và sau 1/30s (b)

Các sóng phản xạ có thể là bậc một (chỉ một lần gặp bề mặt), bậc 2 (hai lần gặp bề mặt), bậc ba (ba lần gặp bề mặt), hoặc bậc cao hơn. Các sóng trực

tiếp và sóng phản xạ lan truyền khắp phòng, chông chéo lên nhau, hòa hợp với nhau, tạo thành trường âm trong phòng.

Mặt khác, khối không khí bị bao bọc bởi các bề mặt trong phòng về mặt vật lý là một hệ thống dao động, có thể dao động khi bị kích thích của sóng âm. Đồng thời bản thân nó cũng có những tần số riêng, có thể cộng hưởng dao động ngay cả khi nguồn âm đã tắt.

Chính vì vậy, người ta đã ví phòng với một hộp đàn vĩ cầm, nhưng có kích thước lớn hơn và mức độ phức tạp nhiều hơn do tính đa dạng của các bề mặt phòng.

Các hiện tượng vừa nêu làm cho trường âm trong phòng trở nên rất phức tạp và có thể không đồng đều tại các điểm khác nhau trong không gian của phòng và chúng sẽ có ảnh hưởng đến chất lượng cảm thụ âm thanh trong phòng đó.

Nội dung nghiên cứu của âm học kiến trúc là *tìm hiểu các quá trình âm học xảy ra khi truyền âm trong các phòng, ảnh hưởng của nó đến sự cảm thụ âm thanh, nhờ đó đưa ra được các tiêu chuẩn và phương pháp thiết kế phòng có chất lượng âm thanh cao.*

Âm học kiến trúc bắt đầu được chú ý từ thế kỷ XIX, nhưng mãi đến đầu thế kỷ XX, nhờ các nghiên cứu của W.C. Sabine - một giáo sư vật lý người Mỹ - mới đạt được các kết quả định lượng đầu tiên, đánh dấu mở đầu một giai đoạn phát triển mạnh mẽ của âm học kiến trúc cho tới ngày nay và trở thành một môn khoa học riêng biệt.

Để nghiên cứu trường âm trong phòng, người ta thường sử dụng ba phương pháp sau đây:

- Phương pháp sử dụng *lý thuyết sóng*, nghiên cứu trường âm theo đúng bản chất sóng của âm thanh, nghĩa là coi phòng như một hệ dao động ba chiều, còn âm thanh là một tín hiệu tác động trong một dải rộng tần số. Lý thuyết sóng cho phép phân tích một cách nghiêm ngặt các quá trình âm thanh xảy ra trong phòng. Tuy nhiên do phải vận dụng các công cụ toán học phức tạp và mới chỉ đưa ra được các kết luận định tính nên ít được áp dụng trong thực tế. Chúng tôi sẽ giới thiệu một cách vắn tắt phương pháp này với các hướng dẫn áp dụng trong thực tế thiết kế các phòng.

- Phương pháp sử dụng toán học thống kê nghiên cứu trường âm trong các phòng, nên còn được gọi là phương pháp *lý thuyết thống kê*, mà người khởi xướng là giáo sư W.C. Sabine. Mức độ chính xác của các kết quả nghiên cứu phụ thuộc sự phù hợp giữa các điều kiện âm học thực tế so với các giả thiết. Cho đến nay, suốt gần một thế kỷ, lý thuyết thống kê vẫn là chỗ dựa chủ yếu để thiết kế âm thanh các phòng.

- Phương pháp sử dụng *lý thuyết âm hình học*, theo đó trường âm trong phòng được hình dung dưới dạng một tổng hợp các tia phản xạ qua lại giữa các bề mặt phòng. Tuy lý thuyết âm hình học đã đơn giản hóa quá trình truyền âm, nhưng lại cho phép ta dễ dàng nghiên cứu và hình dung bức tranh trường âm, và đặc biệt đã giải thích được nhiều hiện tượng âm học xảy ra trong các phòng, xác định được ảnh hưởng của hình dạng và kích thước các bề mặt đến sự hình thành trường âm... Phương pháp âm hình học có nhiều áp dụng trong thực tế thiết kế và có độ chính xác khá cao ở phạm vi các tần số cao của âm thanh.

Trong các mục tiếp theo của chương này chúng tôi sẽ lần lượt trình bày các kết quả nghiên cứu âm học các phòng theo ba lý thuyết nói trên.

2.2. PHÂN LOẠI VÀ ĐÁNH GIÁ CÁC PHÒNG THÍNH GIẢ

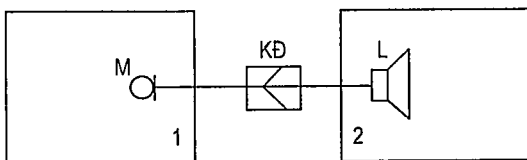
Các phòng thính giả được phân loại theo đặc điểm của các nguồn âm và được phân thành ba nhóm:

- *Nhóm 1*: các phòng nghe âm thanh trực tiếp từ nguồn âm.

Trong các phòng thuộc nhóm này, âm thanh sau khi phát ra từ nguồn âm (tiếng nói, âm nhạc) sẽ lan truyền trong phòng và tới người nghe dưới dạng các sóng trực tiếp và sóng phản xạ. Âm thanh trong trường hợp này được coi là âm thanh tự nhiên. Các giảng đường, hội trường, nhà hát, phòng hòa nhạc thuộc nhóm này.

- *Nhóm 2*: gồm các phòng chỉ nghe âm thanh qua hệ thống điện thanh. Khi đó cần phân biệt hai loại phòng (hình 2.2).

Phòng thứ nhất là phòng có nguồn âm. Âm thanh phát ra được thu nhận bằng các microphôn và được ghi vào các thiết bị thu, giữ âm thanh (như băng từ, đĩa CD, VCD hoặc đường tiếng trong phim nhựa). Các phòng này được gọi là các studio âm thanh, hay gặp trong các hãng sản xuất phim ảnh, các công ty phát thanh, truyền hình, sản xuất băng đĩa v.v...



Hình 2.2. Các phòng có liên hệ điện thanh:

1 - phòng có nguồn âm; 2 - phòng phát lại âm thanh;

M - micrôphôn; L - loa; KĐ - khuếch đại

Trong các phòng thứ hai - phòng phát lại âm - chúng ta chỉ nghe lại âm thanh đã ghi trong phòng thứ nhất qua các loa của hệ thống điện thanh, bố trí trong phòng. Đó là các phòng chiếu phim, phòng kiểm tra âm thanh (kiểm thính).

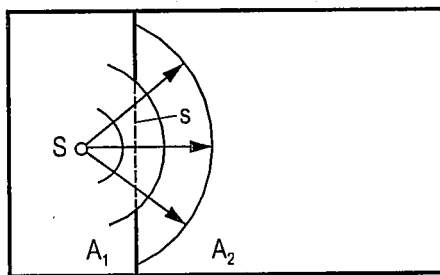
Hai phòng nói trên được coi là có liên hệ điện thanh với nhau.

- *Nhóm 3:* gồm các phòng trong đó chúng ta vừa nghe âm thanh trực tiếp (âm thanh tự nhiên) lại vừa nghe âm thanh qua các loa của hệ thống điện thanh. Nhóm này thường là các phòng có khối tích lớn, các phòng đa năng với nhiều chức năng sử dụng liên quan đến các yêu cầu âm học khác nhau. Tuy nhiên, ngày nay các phòng kích thước nhỏ hơn cũng có thể sử dụng hệ thống điện thanh.

Các phòng thuộc nhóm thứ nhất và thứ ba, phụ thuộc vào đặc điểm chất lượng thu nhận âm thanh lại chia thành:

- Các phòng chỉ nghe tiếng nói như các giảng đường, phòng họp.
- Các phòng chuyên dùng nghe âm nhạc như nhạc thính phòng, nhạc giao hưởng, nhạc nhà thờ.
- Các phòng vừa nghe tiếng nói, tiếng hát, vừa nghe âm nhạc như nhà hát (kịch, tuồng, chèo, cải lương), các phòng đa năng.

Trong các phòng kể trên chúng ta có thể gặp hai không gian liền kề và thông với nhau qua một cửa có diện tích s (hình 2.3), như trường hợp sân khấu thông với phòng thính giả, hoặc phòng thính giả thông với các "lô ghế". Hai không gian như vậy gọi là các không gian có liên hệ âm thanh.



Hình 2.3. Các phòng có liên hệ âm thanh

Đặc điểm âm thanh của chúng sẽ chịu ảnh hưởng qua lại của nhau phụ thuộc độ lớn s của cửa liên hệ.

Một vấn đề hết sức quan trọng, chi phối mọi nghiên cứu âm học các phòng là vấn đề đánh giá chất lượng âm thanh các phòng. Đánh giá xác đáng nhất là sự công nhận của thính giả, hay gọi là đánh giá chủ quan.

- Đối với các phòng dùng cho tiếng nói chất lượng âm thanh chủ yếu được đánh giá qua *độ rõ*. Khi tiếng nói hiểu được rõ ràng, không giảm dần theo thời gian, người nghe không cảm thấy căng thẳng thì phòng được coi là có độ rõ tốt (không xét tới đặc điểm của giọng nói có bị thay đổi hay không). Để đánh giá độ rõ một cách chính xác, loại trừ các nhân tố ảnh hưởng như đặc điểm của giọng nói, sự chú ý của người nghe do tính hấp dẫn của người nói v.v... người ta dùng một phương pháp thực nghiệm gọi là *độ rõ âm tiết*. Nội dung phương pháp là đọc một bài gồm các âm tiết (đối với ngôn ngữ đa âm đó là những đơn âm chưa tạo thành một từ, đối với tiếng Việt đó là một từ vô nghĩa) để cho người nghe (các thí nghiệm viên) ngồi tại các vị trí khác nhau trong phòng ghi lại. Tỷ số phần trăm giữa các âm tiết ghi đúng và toàn bộ âm tiết đã đọc chính là độ rõ âm tiết (DRAT) và được V.O. Knudsen [34] đánh giá như sau:

+ Độ rõ rất tốt khi: $DRAT \geq 85\%$

+ Độ rõ rất tốt khi: $DRAT = 75 - 85\%$

+ Độ rõ đạt yêu cầu khi: $DRAT = 65 - 75\%$

(lúc này người nghe phải tập trung chú ý).

+ Độ rõ không đạt khi: $DRAT < 65\%$.

Do đó $DRAT = 75\%$ được lấy làm tiêu chuẩn khi thiết kế âm học trong phòng.

Độ rõ của câu nói (độ rõ câu) sẽ cao hơn DRAT do người nghe suy luận được ý nghĩa của các từ. Quan hệ giữa chúng như sau:

+ $DRAT = 85\%$ tương ứng độ rõ câu 97%.

+ $DRAT = 75\%$ tương ứng độ rõ câu 94%.

+ $DRAT = 65\%$ tương ứng độ rõ câu 90%.

- Đối với các phòng để nghe ca nhạc, chất lượng âm thanh không thể đánh giá bằng DRAT được. Lúc đó người ta dùng khái niệm "*nghe hay*" - một tiêu chuẩn rất khó định lượng, vì ngoài các điều kiện âm thanh của phòng, nó còn phụ thuộc tâm trạng, khả năng am hiểu và thưởng thức của người nghe, nội dung bài hát, bản nhạc, trình độ biểu diễn của nghệ sĩ, v.v...

Để loại trừ phần nào các yếu tố ảnh hưởng này, người ta thường dùng chỉ một dàn nhạc, biểu diễn cùng một tác phẩm, và người nghe được lựa chọn và chuẩn bị trước để đánh giá chất lượng âm thanh.

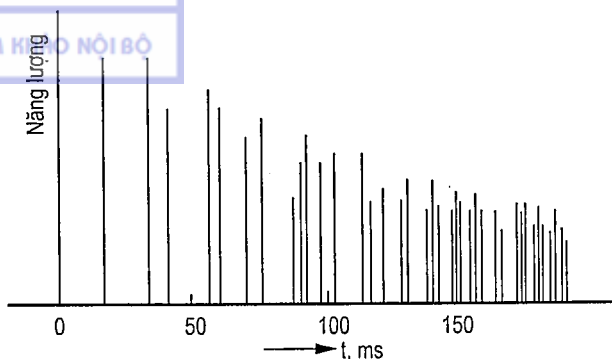
Các phương pháp đánh giá chủ quan vừa nêu tuy khá chính xác, nhưng chỉ có thể để xếp loại các phòng thính giả đã xây dựng mà không thể áp dụng cho các công trình còn trên dự án. Nội dung của âm học kiến trúc giới thiệu trong chương này là tìm kiếm các tiêu chuẩn vật lý, khách quan, có liên hệ với các thông số của phòng (như hình dạng, kích thước, thể tích, đặc điểm hút âm và phản xạ âm của các bề mặt...) để đánh giá trước chất lượng âm thanh các phòng, nhờ đó có thể đề ra các giải pháp âm học hợp lý khi thiết kế phòng. Đây là một vấn đề khá phức tạp vì nó vừa liên quan đến các kiến thức vật lý - âm học của âm thanh và của phòng, vừa liên quan đến các điều kiện cảm thụ âm thanh của chúng ta.

2.3. NGHIÊN CỨU ÂM HỌC PHÒNG THEO LÝ THUYẾT THỐNG KÊ

2.3.1. Cơ sở áp dụng lý thuyết thống kê để nghiên cứu âm học các phòng

Như ta đã biết, trường âm hình thành trong phòng thính giả là tổng hợp của âm trực tiếp và một số lượng rất lớn các âm phản xạ từ các bề mặt trong phòng đến người nghe tại mỗi chỗ ngồi. Âm phản xạ đến từ nhiều hướng, có bậc phản xạ ngày một cao hơn. Mỗi lần phản xạ từ một bề mặt, năng lượng âm lại giảm một phần do bị hút tại các bề mặt đó. Các âm phản xạ có bậc càng cao, đường đi càng dài, năng lượng càng giảm và đến người nghe càng chậm hơn.

Nếu ta tắt nguồn âm thì âm thanh không tắt ngay lập tức, mà giảm dần, sau một thời gian ngắn mới tắt hẳn.



Hình 2.4. Âm trực tiếp và các âm phản xạ tới người nghe trong phòng

Trên hình 2.4 biểu diễn biểu đồ các âm thanh trực tiếp và âm phản xạ tới người nghe tại một vị trí trong phòng theo thời gian, lấy thời điểm tới của âm trực tiếp làm gốc ($t = 0$).

Qua biểu đồ 2.4 ta thấy, các phản xạ đến trước là phản xạ bậc thấp, mật độ thưa thớt, càng về sau càng dày đặc các phản xạ bậc cao.

Muốn áp dụng được lý thuyết thống kê cần phải đưa vào một số giả thiết để lý tưởng hóa trường âm trong phòng.

Giả thiết 1 coi các phản xạ âm tới mọi điểm trong phòng là từ mọi hướng với xác suất như nhau, đồng thời mật độ của các phản xạ là khá dày đặc. Một trường âm như vậy được gọi là trường âm hoàn toàn khuếch tán (hay khuếch tán lý tưởng). Mức độ phù hợp của âm thực tế với giả thiết 1 phụ thuộc rất nhiều vào hình dạng kích thước của phòng và của các bề mặt trong phòng, cũng như tính chất hút âm của các bề mặt ấy.

Giả thiết 2 cho rằng năng lượng âm tại mỗi điểm là năng lượng tổng cộng trung bình của tất cả các âm trực tiếp và phản xạ tới điểm đó, bỏ qua sự lệch pha giữa chúng. Thực nghiệm cho thấy các âm phức hợp (tiếng nói, tiếng hát, âm nhạc) có thể phù hợp với giả thiết này. Các hiện tượng nhiễu xạ, giao thoa của âm thanh chỉ xảy ra đối với các âm đơn mà thôi.

Giả thiết 3 cho rằng các phòng cần có kích thước đủ lớn so với bước sóng âm thanh và các bề mặt có hệ số hút âm tương đối nhỏ và đều nhau. Giả thiết này cũng tương đối phù hợp với các phòng thính giả nói chung.

Khi chấp nhận các giả thiết đã nêu, chúng có thể xác định hệ số hút âm trung bình của phòng theo công thức (1.31):

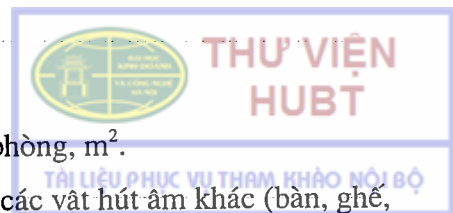
$$\alpha_{tb} = \frac{\sum S_i \alpha_i}{\sum S_i} = \frac{A}{S}$$

trong đó: S là tổng diện tích các bề mặt trong phòng, m^2 .

Trường hợp trong phòng có thính giả, hoặc các vật hút âm khác (bàn, ghế, nhạc công với các nhạc cụ v.v...) thì lượng hút âm A xác định như công thức (1.29) và hệ số hút âm trung bình khi đó sẽ là:

$$\alpha_{tb} = \frac{1}{S} (\sum \alpha_i S_i + \sum a_m N_m) \quad (2.1)$$

Áp dụng lý thuyết thống kê ta cũng xác định được quãng đường đi trung bình giữa hai lần phản xạ là:



$$l_{\text{tb}} = c_0 \tau = \frac{4V}{S} \quad (2.2)$$

trong đó: c_0 - vận tốc âm trong không khí;

τ - thời gian trung bình giữa hai lần phản xạ;

$$\tau = \frac{4V}{c_0 S} \quad (2.3)$$

Ở đây: V - thể tích của phòng.

Số lần phản xạ n trong một giây là:

$$n = \frac{1}{\tau} = \frac{c_0 S}{4V} \quad (2.4)$$

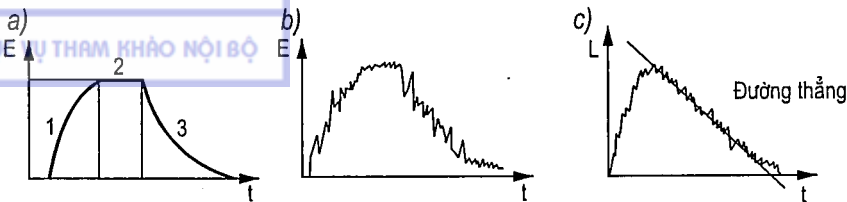
2.3.2. Quá trình thu nhận âm thanh trong phòng

Theo cách phân tích nói trên, quá trình thu nhận âm thanh trong phòng có thể chia làm ba giai đoạn:

- *Giai đoạn 1: Giai đoạn tăng*, năng lượng âm tăng dần nhờ được bổ sung thêm các phản xạ cho âm trực tiếp.

- *Giai đoạn 2: Giai đoạn ổn định*, xảy ra do sự cân bằng giữa năng lượng âm do nguồn bức xạ và năng lượng âm bị hút trong phòng. Khi đó nếu giữ cố định công suất nguồn âm thì năng lượng âm trong phòng là một trị số ổn định, không thay đổi.

- *Giai đoạn 3: Giai đoạn giảm*, xảy ra sau khi tắt nguồn âm. Năng lượng sẽ giảm dần, âm đến trước tắt trước, đến sau tắt sau cho đến khi tắt hẳn.



Hình 2.5. Quá trình thu nhận âm thanh trong phòng:

a) Lý thuyết; b) Thực nghiệm; c) Biểu diễn theo mức âm (dB)

Trên hình 2.5 minh họa ba giai đoạn nói trên của quá trình thu nhận âm thanh trong phòng, cho thấy sự phù hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm.

Trên cơ sở phương trình vi phân cân bằng năng lượng âm trong phòng:

$$V \cdot \frac{dE}{dt} = P_a - P_h \quad (2.5)$$

trong đó: V - thể tích của phòng;

E - mật độ năng lượng âm;

P_a - công suất âm của nguồn;

P_h - năng lượng âm bị hút trong một giây.

Chúng ta viết được phương trình mật độ năng lượng âm cho ba giai đoạn này như sau [37]:

Giai đoạn tăng:

$$E_t = \frac{4P_a}{c_o A} (1 - e^{-\delta t}) \quad (2.6)$$

Giai đoạn ổn định:

$$E_o = \frac{4P_a}{c_o A} \quad (2.7)$$

Giai đoạn giảm:

$$E_g = E_o e^{-\delta t} \quad (2.8)$$

với t là thời gian, lấy t = 0 khi E = E_o.

và

$$\delta = \frac{c_o A}{4V}$$

Chú thích: Khi lập các phương trình trên đã giả thiết sự hút âm trong phòng (trên các bề mặt và trong không khí) xảy ra một cách liên tục, do đó năng lượng cũng giảm một cách liên tục.

Khi biểu diễn ba giai đoạn nói trên theo hàm logarit (mức mật độ năng lượng âm) đường cong tắt dần sẽ có dạng gần một đường thẳng (hình 2.5c).

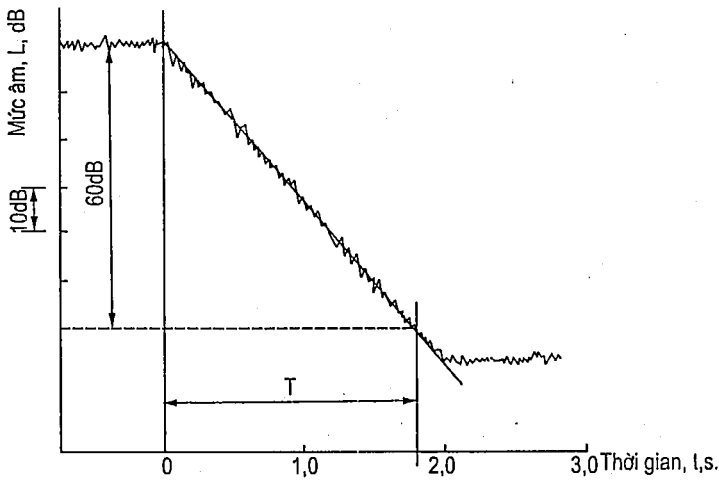
2.3.3. Thời gian âm vang

Giai đoạn tăng và ổn định xảy ra khá nhanh chỉ tính bằng phần mười giây, còn giai đoạn giảm xảy ra chậm hơn, (có thể tính bằng giây) và có ảnh hưởng lớn đến chất lượng thu nhận âm thanh trong các phòng. Chính giai đoạn này tạo ra tiếng vang (reverberation) trong phòng, cho nên còn được gọi là quá trình âm vang, và thời gian âm thanh tắt dần trong quá trình đó là thời gian âm vang.

Để đánh giá định lượng quá trình âm vang, người ta đưa vào một đại lượng mới, đặt tên là "thời gian âm vang chuẩn" và định nghĩa như sau:

Thời gian âm vang chuẩn là thời gian cần thiết để năng lượng âm trong quá trình tắt dần tự do trong phòng giảm được một triệu (10^6) lần so với trị số ban đầu. Tương ứng với độ giảm này của năng lượng, mức âm sẽ giảm được 60dB.

$$\left(L_E = 10 \lg \frac{E_1}{E_2} = 10 \lg 10^6 = 60 \text{dB} \right)$$



Hình 2.6. Quá trình tắt dần âm thanh trong phòng

Vì vậy cũng có thể định nghĩa thời gian âm vang chuẩn là thời gian tắt dần của âm thanh trong phòng để cho mức âm giảm được 60 dB (xem hình 2.6).

Từ đây về sau chúng ta gọi tắt thời gian âm vang chuẩn là thời gian âm vang (reverberation time) ký hiệu bằng chữ T, đo bằng giây (s).

Dùng thời gian âm vang chúng ta có thể đánh giá định lượng quá trình âm vang của một phòng là nhanh (T nhỏ) hay chậm (T lớn).

2.3.4. Xác định thời gian âm vang

1. Công thức Sabine (1902)

Theo định nghĩa thời gian âm vang thì $t = T$ khi: $\frac{E_t}{E_0} = 10^{-6}$.

Từ công thức (2.8) ta có:

$$T = \frac{6.4}{c_0 \cdot lge} \cdot \frac{V}{A} = \frac{6.4}{340.0,43} \cdot \frac{V}{A}$$

Vậy $T = 0,16 \frac{V}{A}$ (2.9)

trong đó: T - tính bằng giây (s);

V - tính bằng m³;

A - tính theo m².

Công thức (2.9) chính là công thức Sabine nổi tiếng. Tuy nhiên Wallace Clement Sabine tìm ra công thức này hoàn toàn bằng thực nghiệm trong những đêm miệt mài trong phòng thực nghiệm từ mùa xuân đến mùa hạ năm 1896, khi thành phố hoàn toàn yên tĩnh (từ nửa đêm tới sáng). Mãi 30 năm sau người ta mới chứng minh được bằng lý thuyết công thức Sabine.

Chỉ bằng một quan hệ đơn giản giữa thể tích và lượng hút âm của phòng, Sabine đã tìm được một đại lượng mà cho đến nay vẫn coi là một tiêu chuẩn quan trọng nhất của âm học phòng, vì vậy suốt một thế kỷ qua nó đã được áp dụng vào thiết kế âm thanh các phòng thính giả, và W. Sabine được coi là người thầy sáng lập môn âm học kiến trúc. Để nhớ công lao của ông người ta đã lấy tên ông để đặt cho lượng hút âm của phòng (đơn vị của A là Sabine hoặc m²).

2. Công thức Eyring

Khi lượng hút âm của phòng lớn ($\alpha_{tb} > 0,2$) tính toán T theo công thức Sabine thường cho kết quả khác nhiều so với thực tế. Vì vậy, C.F. Eyring (người Mỹ) năm 1930 đã đưa ra giả thiết về sự hút âm không liên tục của phòng (sự hút âm xảy ra gián đoạn mỗi khi âm thanh đập vào bề mặt phòng) để tìm công thức mới tính thời gian âm vang.

Nếu năng lượng âm ở giai đoạn ổn định là E_0 thì theo Eyring năng lượng âm còn lại sau lần phản xạ thứ nhất là:

$$E_1 = E_0 (1 - \alpha)$$

Sau lần phản xạ thứ hai: $E_2 = E_0 (1 - \alpha)^2$

Sau lần phản xạ thứ n: $E_n = E_0 (1 - \alpha)^n$

Vì τ là thời gian giữa hai lần phản xạ, nên thời gian t sau n lần phản xạ là:

$$t = n \cdot \tau = n \frac{4V}{c_0 S}$$

Do đó:
$$n = \frac{c_0 S}{4V} \cdot t$$

Vậy:
$$E_n = E_0 (1 - \alpha)^{\frac{c_0 S}{4V} \cdot t}$$

Theo định nghĩa thời gian âm vang ta có:

Khi
$$\frac{E_n}{E_0} = 10^{-6}, \text{ ta có } t = T.$$

Vậy:
$$\frac{E_n}{E_0} = 10^{-6} = (1 - \alpha)^{\frac{c_0 S}{4V} \cdot T}$$

Do đó:
$$T = \frac{6.4 \cdot V}{-c_0 \lg e \cdot S \ln(1 - \alpha_{tb})}$$

$$T = \frac{0,164V}{-S \ln(1 - \alpha_{tb})} \quad (2.10)$$

Hoặc đổi sang \log_{10} , ta có:

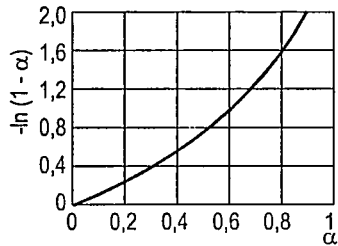
$$T = \frac{0,071V}{-S \lg(1 - \alpha_{tb})} \quad (2.11)$$

Công thức (2.10) và (2.11) chính là công thức Eyring.

Chú ý rằng công thức Sabine và công thức Eyring chỉ khác nhau ở trị số α và $[-\ln(1 - \alpha)]$.

Khi α nhỏ: $-\ln(1 - \alpha) \approx \alpha$ lúc đó công thức Eyring lại trở về công thức Sabine. Tuy nhiên khi α lớn, hai trị số này khác nhau rõ rệt (hình 2.7).

Công thức Eyring cho kết quả chính xác hơn công thức Sabine khi $\alpha_{tb} > 0,2$ trong một phòng trường âm đạt



Hình 2.7. Quan hệ giữa α và $-\ln(1 - \alpha)$

được độ khuếch tán lý tưởng, vì vậy nó được dùng rộng rãi khi thiết kế âm học các phòng thính giả.

3. Công thức Millington

Khi vật liệu hút âm trong phòng bố trí không đều, trường âm trong phòng sẽ không đạt được độ khuếch tán cao, thời gian âm vang tính toán theo cả hai công thức Sabine và Eyring đều cho kết quả với sai số khá lớn. Lúc này ta có thể tính toán theo công thức Millington (1932), trong đó lượng hút âm của phòng được xác định như là tổng lượng hút âm của tất cả các bề mặt (không cho phép tính hệ số hút âm trung bình). Công thức Millington có dạng:

$$T = \frac{0,16V}{-\sum S_i \ln(1 - \alpha_i)} \quad (2.12)$$

Nhận xét: Công thức Millington có một thiếu sót nghiêm trọng là: chỉ cần trong phòng có một bề mặt hoàn toàn hút âm ($\alpha_i = 1$), thì $T = 0$. Điều này là không hợp lý.

Chú ý: Khi sử dụng các công thức (2.9), (2.10), (2.11), (2.12) đối với các tần số cao ($f > 1000\text{Hz}$) cần phải bổ sung vào mẫu số lượng hút âm của không khí trong phòng. Cụ thể là:

Công thức Sabine có dạng:

$$T = 0,16 \frac{V}{A + nV} \quad (2.9a)$$

Công thức Eyring có dạng:

$$T = \frac{0,164V}{-S \ln(1 - \alpha_{tb}) + nV} \quad (2.10,a)$$

trong đó: n - lượng hút âm của 1m^3 không khí, xác định theo bảng 2.1 [29].

Kết luận về các công thức tính thời gian âm vang:

1. Thời gian âm vang của một phòng phụ thuộc thể tích phòng, tổng lượng hút âm trong phòng, tần số âm và cả vào vị trí của nguồn âm và của vật liệu hút âm trong phòng.

2. Khi phòng hút âm ít ($\alpha_{tb} \leq 0,2$) có thể xác định thời gian âm vang theo công thức Sabine (2.9, 2.9a).

Khi phòng hút âm mạnh ($\alpha_{tb} > 0,2$) sử dụng công thức Eyring (2.10, 2.11, 2.10a) để tính thời gian âm vang sẽ cho kết quả tin cậy hơn.

3. Các kết quả tính toán thời gian âm vang theo hai phương pháp nói trên đạt được độ chính xác càng cao nếu như trường âm trong phòng có độ khuếch tán càng gần với điều kiện lý tưởng.

4. Khi trường âm trong phòng kém khuếch tán nên sử dụng công thức Millington để xác định thời gian âm vang (công thức 2.12).

Bảng 2.1. Lượng hút âm của không khí n ở 20°C

Độ ẩm không khí, %	Lượng hút âm, n/m ³ theo tần số	
	2000Hz	4000Hz
30	0,0119	0,0379
40	0,0104	0,0287
50	0,0096	0,0244
60	0,009	0,0224
70	0,0085	0,0213
80	0,0081	0,0204
90	0,008	0,02

2.3.5. Một số trường hợp đặc biệt

1. Các phòng có liên hệ âm thanh (hình 2.3)

Ảnh hưởng âm vang giữa hai không gian thể hiện qua lượng hút âm của chúng ($S_1\alpha_1$ và $S_2\alpha_2$) và phụ thuộc vào diện tích cửa thông giữa chúng. Có thể xảy ra các trường hợp sau đây:

1. Nếu diện tích cửa thông của hai không gian rất nhỏ, ta có thể khảo sát chúng như hai phòng riêng biệt (ví dụ giữa phòng thính giả và phòng máy chiếu phim).

2. Nếu diện tích cửa thông rất lớn, ta khảo sát chúng như một không gian đồng nhất. Sân khấu của các phòng hòa nhạc, rạp chiếu bóng, chỗ ngồi dưới ban công v.v... với phòng thính giả thuộc trường hợp này.

3. Khi diện tích cửa thông trung bình, khảo sát thực nghiệm cho thấy quá trình tắt dần âm thanh chung chủ yếu do phòng ít hút âm hơn quyết định (phòng có $S \cdot \alpha$ nhỏ hơn) ngay cả khi nó có thể tích nhỏ hơn phòng kia.

Đối với âm học phòng, đương nhiên chúng ta quan tâm chính đến phòng thính giả, lúc đó ảnh hưởng của không gian kia được kể vào không gian chính bằng một lượng hút âm phụ, thường tính gần đúng bằng diện tích cửa thông nhân với hệ số hút âm của nó (lấy theo kinh nghiệm).

Ví dụ: Sân khấu của một nhà hát kịch thông với phòng thính giả bằng một miệng sân khấu kích thước $8 \times 12\text{m}$. Không gian sân khấu kịch hút âm mạnh do có nhiều phòng, màn, bố cảnh, có hệ số hút âm thực nghiệm $\alpha = 0,4$ ở tần số số 500Hz). Vậy ảnh hưởng của sân khấu đối với phòng thính giả được thay bằng lượng hút âm: $A = 8 \times 12 \times 0,4 = 38,4\text{m}^2$ (ở tần số 500Hz).

2. Các phòng có liên hệ điện thanh: âm vang hiệu quả

Các phòng có liên hệ điện thanh đã giới thiệu trên hình 2.2. Thường gặp nhất loại này là các rạp chiếu phim.

Trong phòng thính giả loại này, người nghe chịu tác động đồng thời của hai thời gian âm vang:

T_1 - thời gian âm vang của phòng ghi âm;

T_2 - thời gian âm vang của phòng thính giả.

Thời gian âm vang người nghe cảm nhận là thời gian âm vang hiệu quả, ký hiệu là T_{hq} .

Các kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm [37] cho phép rút ra một số kết luận sau đây:

1. Khi một trong hai phòng hút âm rất mạnh (T_1 hoặc T_2 gần tới 0), T_{hq} sẽ gần với thời gian âm vang của phòng kia (phòng ít hút âm hơn).

2. Khi thời gian âm vang của hai phòng khác nhau và khác 0, thì thời gian âm vang hiệu quả xác định theo công thức sau đây:

$$T_{hq}^3 = T_1^3 + T_2^3 \quad (2.13)$$

3. Trường hợp $T_1 = T_2 = T$, từ (2.13), ta có:

$$T_{hq} = 1,26T \quad (2.14)$$

Theo tính toán lý thuyết cho trường hợp này [37]

$$T_{hq} = 1,208T \quad (2.14,a)$$

Như vậy khi âm vang của hai phòng ngang nhau, thời gian âm vang thính giả cảm nhận được trong rạp chiếu phim tăng lên khoảng 20 - 26% so với thời gian âm vang thực của nó.

3. Trường hợp trường âm không đều: âm vang tương đương

Khi sử dụng các công thức (2.9), (2.10) phải thừa nhận giả thiết trường âm khuếch tán lý tưởng. Trong thực tế không thể đạt được điều này, và như đã nghiên cứu trong mục 1.5.2 luôn luôn tồn tại trường âm trực tiếp và trường âm phản xạ. Đặc biệt khi phòng sử dụng hệ thống điện thanh với các loa công suất lớn, có tính định hướng mạnh, năng lượng âm trực tiếp sẽ tăng lên đáng kể so với năng lượng phản xạ. Đồng thời tỷ lệ giữa chúng thay đổi phụ thuộc vị trí điểm khảo sát trong phòng. Sự thay đổi này gây ra sự thay đổi cảm giác âm vang và người nghe lúc đó sẽ cảm nhận được *âm vang tương đương*.

Thời gian âm vang tương đương, ký hiệu T_{td} , có quan hệ với thời gian âm vang T của phòng theo biểu thức sau [5]:

$$T_{td} = \frac{1,2T}{1,2 + T \lg \frac{1+U}{U}} \quad (2.15)$$

Khi xét tới tính định hướng Q của nguồn ($Q > 1$) công thức sẽ có dạng:

$$T_{td} = \frac{1,2T}{1,2 + T \lg \frac{Q+U}{U}} \quad (2.16)$$

trong đó U được gọi là tỷ số âm thanh, là tỷ số giữa năng lượng âm phản xạ (E_{px}) và năng lượng âm trực tiếp (E_{tt}) tại điểm khảo sát, nghĩa là:

$$U = \frac{E_{px}}{E_{tt}} \quad (2.17)$$

Các kết quả nghiên cứu thực nghiệm trong các phòng thính giả thông thường cho phép rút ra các kết luận:

1. Tại các chỗ ngồi xa nguồn âm, năng lượng âm phản xạ vượt năng lượng âm trực tiếp nhiều lần ($U > 3$), khi đó trị số:

$$\frac{1+U}{U} \approx 1 \text{ và } T \lg \frac{1+U}{U} \approx 0$$

Thời gian âm vang tương đương theo công thức (2.15) sẽ xấp xỉ thời gian âm vang thực của phòng, nghĩa là âm vang tương đương không còn ý nghĩa.

2. Tại các chỗ ngồi phía trước, năng lượng âm trực tiếp sẽ tương đương hoặc lớn hơn năng lượng âm phản xạ ($U \leq 1$) hoặc khi sử dụng các loa định hướng mạnh ($Q > 1$), thính giả sẽ cảm nhận được âm vang tương đương, nhỏ hơn so với âm vang thực của phòng.

Lợi dụng hiệu quả này người ta có thể nâng cao độ rõ tiếng nói trong phòng cố âm vang dài nhờ sử dụng hệ thống điện thanh (xem phần thiết kế các phòng đa năng, chương 4).

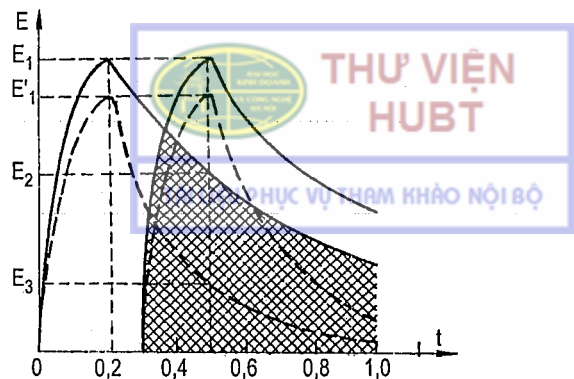
2.3.6. Thời gian âm vang tốt nhất (Optimum reverberation time), T^m

W.C.Sabine cũng là người đầu tiên xác định quan hệ giữa thời gian âm vang và chất lượng thu nhận âm thanh trong các phòng thính giả. Ông kết luận rằng, mỗi phòng thính giả, tùy theo chức năng sử dụng và thể tích của nó, tồn tại một tốc độ tắt dần tốt nhất của âm thanh, nghĩa là tồn tại một trị số thời gian âm vang tốt nhất. Nếu thời gian âm vang của phòng đạt được trị số này, chất lượng thu nhận âm thanh trong phòng sẽ đạt mỹ mãn.

Tuy rằng hiện nay người ta đã xác định thêm một số yếu tố khác cũng có ảnh hưởng quan trọng đến chất lượng âm thanh các phòng, nhưng thời gian âm vang vẫn được xem là tiêu chuẩn quyết định nhất đến chất lượng trường âm, cả tiếng nói và âm nhạc. Cũng chính vì vậy đã có nhiều nghiên cứu về nó, mà chúng tôi giới thiệu tóm tắt một số nội dung chính dưới đây.

1. Ảnh hưởng của thể tích phòng đến T^m

Do công suất của nguồn âm có hạn, nên khi thể tích phòng tăng lên, mật độ năng lượng âm trong phòng sẽ giảm đi. Muốn bổ sung năng lượng âm phải lợi dụng năng lượng âm phản xạ, nghĩa là phải kéo dài thời gian âm vang. Mặt khác khi tăng thời gian âm vang lại có thể xuất hiện hiện tượng "chông âm", làm giảm độ rõ (hình 2.8). Như vậy, thời gian âm vang tốt nhất có thể xác định



Hình 2.8. Hiện tượng chông âm khi $T = 2s$ (đường liền) so với khi $T = 1s$ (đường đứt)

như là trị số thời gian âm vang lớn nhất mà chưa làm giảm độ rõ do hiện tượng chồng âm.

Đối với các phòng nghe âm nhạc, quan niệm độ rõ không giống như trong các phòng nghe tiếng nói, vì vậy việc xác định thời gian âm vang tốt nhất sẽ phức tạp hơn.

Từ kết quả của nhiều nghiên cứu trên thế giới [15, 19, 37] có thể rút ra kết luận: *Khi thể tích phòng tăng từ 10 đến 30 lần, thời gian âm vang tốt nhất tăng tương ứng 30 - 50%.*

2. T^m phụ thuộc chức năng của phòng

Ảnh hưởng của chức năng sử dụng phòng đến T^m rất rõ rệt. Các phòng nghe tiếng nói thường đòi hỏi có thời gian âm vang ngắn để tránh hiện tượng chồng âm, nhằm nâng cao độ rõ. Ngược lại, đối với các phòng nghe âm nhạc, nếu thời gian âm vang quá ngắn sẽ tạo ra cảm giác âm thanh "khô khan". Các phòng như vậy được coi là "phòng chết".

Âm vang đủ dài trong các phòng hòa nhạc sẽ tạo cho người nghe cảm giác phong phú, sống động, có tính không gian. Tuy nhiên do có nhiều thể loại âm nhạc khác nhau, thêm vào đó sự phong phú của các thể loại âm nhạc dân tộc (khác nhau về âm lượng, âm sắc, tiết tấu, nhịp điệu, loại nhạc cụ...) làm cho yêu cầu âm vang không giống nhau.

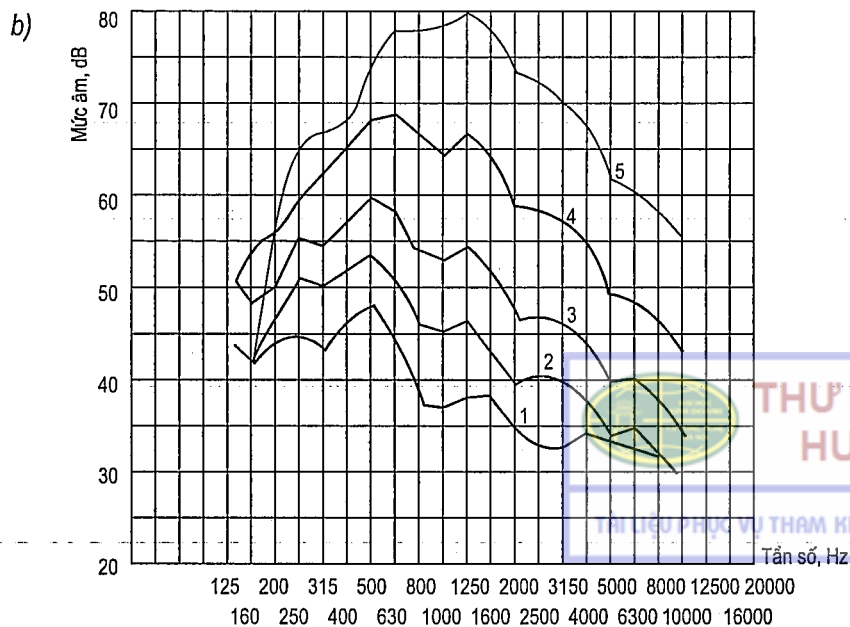
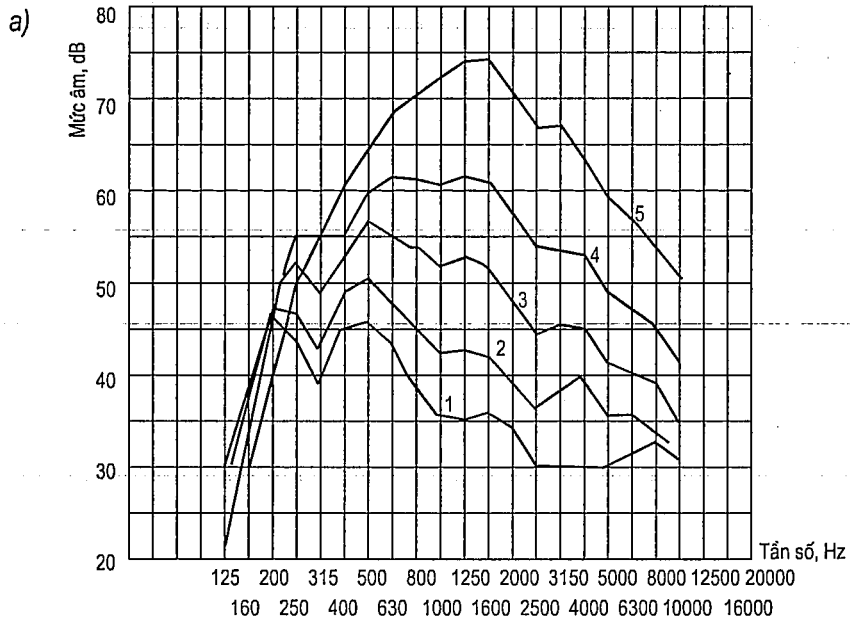
Tổng hợp kết quả nghiên cứu có thể rút ra các kết luận sau đây:

1. Công suất âm càng lớn, thời gian âm vang phải càng dài hơn. Như vậy thời gian âm vang tốt nhất cho một độc tấu và một dàn nhạc không giống nhau. Tương tự như vậy các nhạc khí bộ hơi (như đại phong cầm, kèn...) cần âm vang dài hơn các nhạc khí bộ dây (như violông, xenlô...).

2. Âm nhạc khoan thai, long trọng cần âm vang dài hơn loại nhạc có tiết tấu nhanh, các loại nhạc nhảy. Như vậy, âm nhạc nhà thờ với đàn đại phong cầm (Organ) có thời gian âm vang tốt nhất, lớn nhất. Các loại nhạc thánh phòng, nhạc Jazz có âm vang tốt nhất ngắn hơn (xem hình 2.10, 2.11, 2.12).

3. T^m phụ thuộc tần số âm thanh

Thời gian âm vang tốt nhất phải tạo được sự cân bằng âm vang theo các tần số để chúng không lấn át lẫn nhau mà bổ sung cho nhau, trong khi công suất của nguồn âm thường khác nhau theo tần số và vật liệu hút âm cũng có đặc điểm như vậy. Trên hình 2.9 giới thiệu phổ âm thanh của giọng nói người, cho thấy các tần số thấp có mức công suất âm tương đối nhỏ so với tần số trung và cao.



Hình 2.9. Phổ âm thanh của giọng nữ (a) và giọng nam (b):

1 - nói thầm; 2 - nói nhỏ; 3 - nói bình thường; 4 - nói to; 5 - hét lớn.

Mặt khác, âm thanh tần số thấp có ảnh hưởng nhiều đến độ trầm mỹ của âm thanh, trong khi tần số cao lại ảnh hưởng nhiều đến độ rõ, vì vậy cần phải điều chỉnh đặc tính tần số âm vang tốt nhất theo chức năng phòng.

Tóm lại, cần nâng cao thời gian âm vang tốt nhất ở các tần số thấp từ 20 đến 40% so với các tần số trung bình và cao (số trước cho phòng nghe tiếng nói, số sau cho âm nhạc). Biểu đồ thay đổi âm vang tốt nhất theo tần số giới thiệu trên hình 2.14.

4. Xác định thời gian âm vang tốt nhất T^m

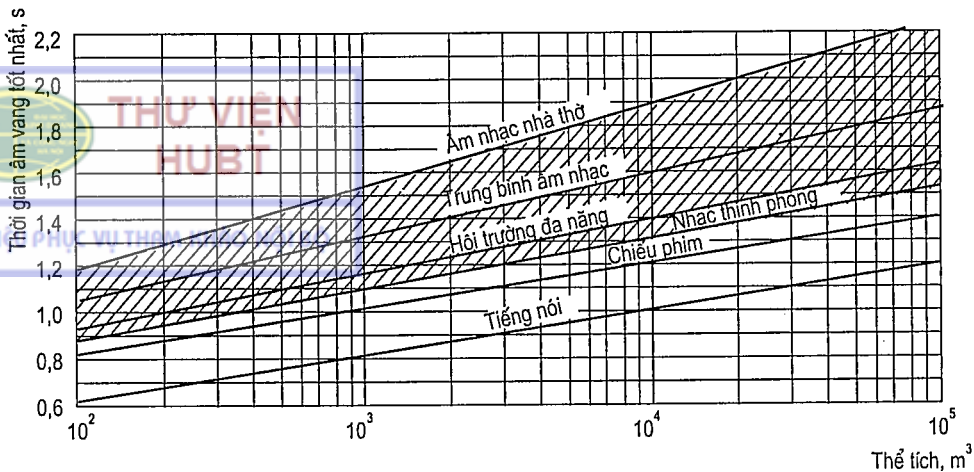
Có rất nhiều kiến nghị thời gian âm vang tốt nhất của các tác giả rất khác nhau, dựa trên nghiên cứu các phòng được công nhận là có chất lượng âm thanh tốt nhất trên thế giới. Do ở nước ta mới có những nghiên cứu bước đầu về vấn đề này, cho nên chúng tôi giới thiệu trước hết một vài hướng dẫn chọn thời gian âm vang tốt nhất ở tần số 500 - 1000Hz theo thể tích và chức năng của phòng được sử dụng ở nhiều ở các nước khác.

Hình 2.10 là T^m theo Knudsen và Harris [46] rất nổi tiếng và được sử dụng ở nhiều nước.

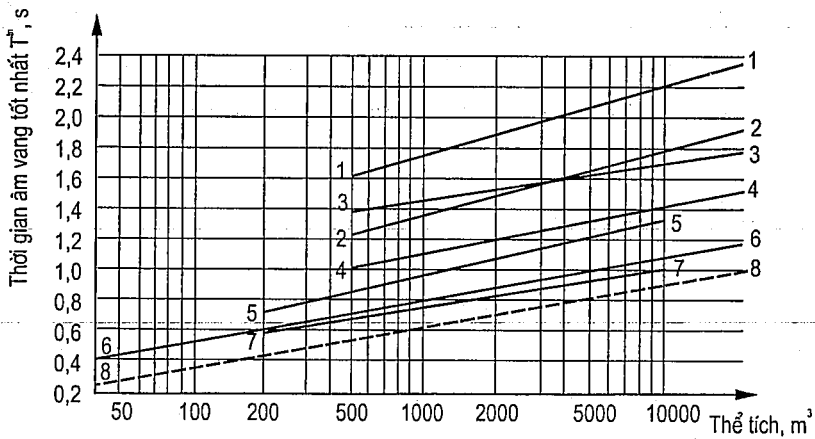
Hình 2.11 là T^m theo M. Lamoral [11] được áp dụng nhiều ở Pháp.

Hình 2.12 là kiến nghị của hãng TOA ở Nhật Bản [23].

Trên hình 2.13 là kiến nghị của chúng tôi về thời gian âm vang tốt nhất cho các nhà hát Việt Nam ở tần số 500 - 1000Hz [51]. Trên biểu đồ này cũng đánh dấu thời gian âm vang của một số nhà hát ở nước ta và thế giới (số trên hình vẽ tương ứng với bảng 4.7, chương 4).

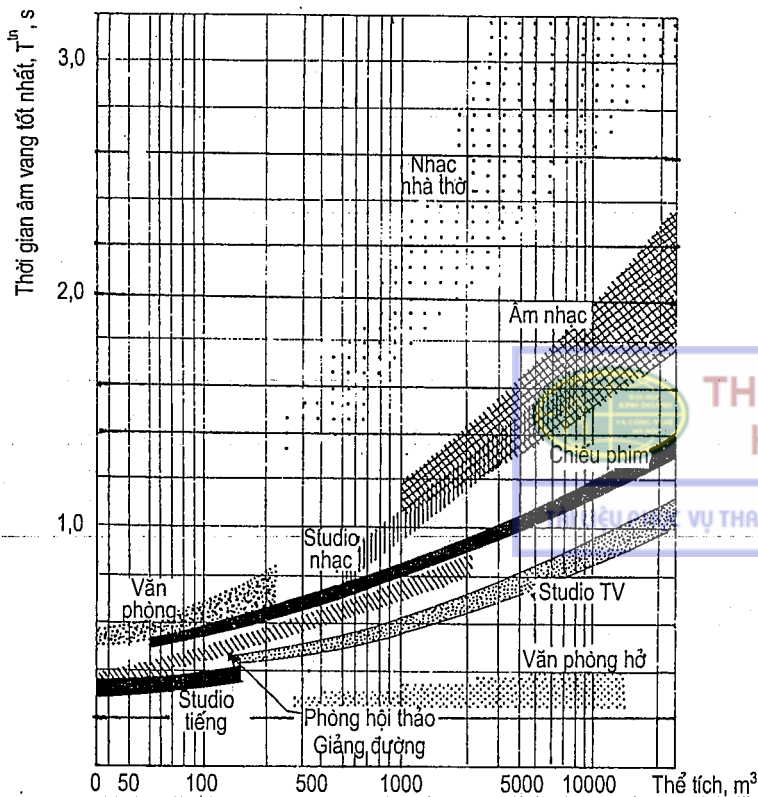


Hình 2.10. Thời gian âm vang tốt nhất ở tần số 500 - 1000Hz theo V.O. Knudsen và Harris (phần gạch chéo là phạm vi âm nhạc)

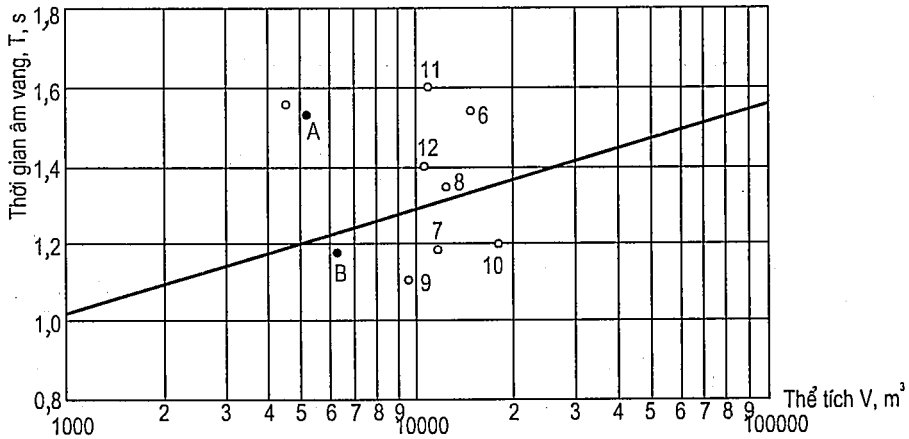


Hình 2.11. Thời gian âm vang tốt nhất T^{in}_{1000} (sec) theo M.Lamoral:

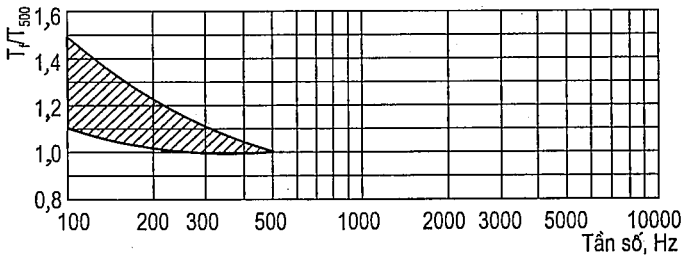
- 1 - âm nhạc đại phong cầm; 2 - giao hưởng nghe trực tiếp; 3 - khi ghi âm đại phong cầm; 4 - ôpera, nghe trực tiếp; 5 - âm nhạc phòng, nhạc nhẹ (Jazz), nghe trực tiếp; 6 - tiếng nói nghe trực tiếp; 7 - tiếng nói khi ghi âm; 8 - ghi âm chương trình thay đổi.



Hình 2.12. Thời gian âm vang tốt nhất ở 500 - 1000Hz kiến nghị của TOA, Nhật Bản



Hình 2.13. Thời gian âm vang tốt nhất ở 500 - 1000Hz để nghị cho các nhà hát Việt Nam: A - Nhà hát lớn thành phố Hà Nội; B - Cung văn hoá hữu nghị, Hà Nội; Số từ 5 đến 12 tương ứng với bảng 4.7.



Hình 2.14. Yêu cầu thay đổi thời gian âm vang tốt nhất theo tần số. Đường trên cho âm nhạc, đường dưới cho tiếng nói.

Một số tác giả còn tiến hành nghiên cứu để đưa ra các công thức xác định thời gian âm vang tốt nhất, như công thức Stphens & Bate [22] dưới đây:

$$T^m = k[0,0118V^{1/3} + 0,107] \quad (2.18)$$

trong đó: V - thể tích phòng, m³;

k - hệ số phụ thuộc chức năng của phòng: k = 4 cho tiếng nói;

k = 5 cho âm nhạc; và k = 6 cho hợp xướng, nhạc nhà thờ.

Khi xác định T^m cần chú ý:

1. Phần lớn các kiến nghị thời gian âm vang tốt nhất đều do các tác giả Âu, Mỹ đưa ra, ở đó ngôn ngữ và một số thể loại âm nhạc không giống với các dân tộc phương Đông, nhất là ngôn ngữ đơn âm của Việt Nam. Vì vậy khi sử dụng cần phải cân nhắc cẩn thận.

2. Các trị số T^n của cùng một loại phòng (cùng chức năng và thể tích) theo các tác giả khác nhau cũng có thể không giống nhau. Ví dụ trong bảng 2.2 cho thấy điều đó.

Bảng 2.2. Ví dụ xác định T^n ở 500Hz

Theo tác giả (hình)	Nhạc giao hưởng		Phòng đa năng, hội trường	
	$V = 2000m^3$	$V = 5000m^3$	$V = 2000m^3$	$V = 5000m^3$
Knudsen & Harris (hình 2.10)	1,55	1,70	1,21	1,30
Lamoral (hình 2.11)	1,50	1,67	1,20	1,34
TOA (hình 2.12)	1,42	1,72	1,20	1,38
Stephens & Bate	1,24	1,54	1,02	1,28

Như vậy việc chọn trị số T^n cũng cần dựa theo kinh nghiệm của người thiết kế và cần được tiếp tục nghiên cứu ở nước ta.

2.4. NGHIÊN CỨU ÂM HỌC THEO LÝ THUYẾT ÂM HÌNH HỌC

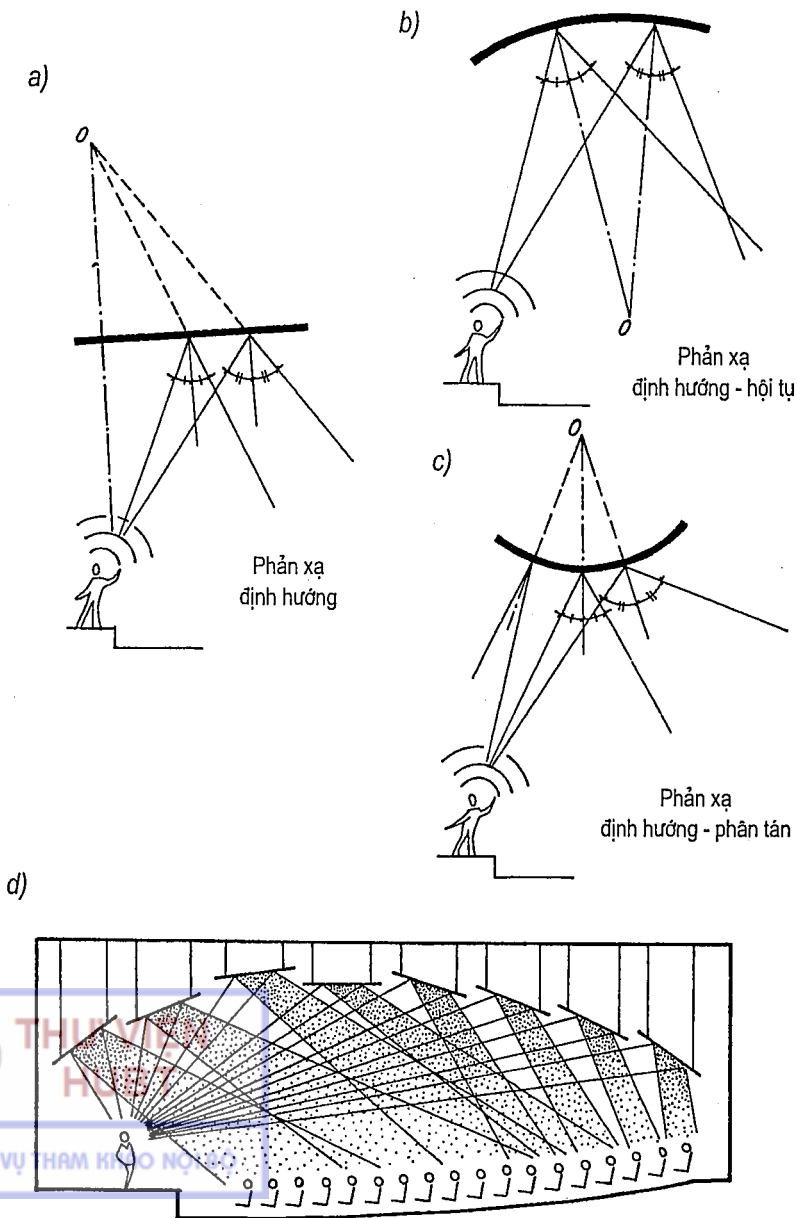
2.4.1. Lý thuyết âm hình học áp dụng cho âm học phòng

Như đã trình bày ở trên, trường âm trong phòng thính giả là sự kết hợp của âm trực tiếp bức xạ từ nguồn và âm phản xạ từ các bề mặt trong phòng. Bức tranh phản xạ của âm thanh sẽ dễ hình dung hơn nhiều nếu chúng ta áp dụng lý thuyết âm hình học để nghiên cứu nó.

Lý thuyết âm hình học cũng giống như lý thuyết quang hình học, cho phép nghiên cứu sự truyền âm dưới dạng các vectơ tia âm. Các vectơ này chỉ hướng truyền âm và vuông góc với mặt sóng tại mỗi điểm của nó. Khi các tia âm đập vào các bề mặt phòng có kích thước lớn hơn bước sóng của nó nhiều lần, âm thanh sẽ phản xạ định hướng từ các bề mặt này theo các quy luật của quang hình học, nghĩa là:

- Góc tới bằng góc phản xạ;
- Tia tới và các tia phản xạ nằm trong một mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng phản xạ (hình 2.15a, b, c).

Áp dụng các quy luật này chúng ta có thể dựng các bản vẽ tia âm để hình dung trường âm phản xạ trong các phòng thính giả (xem hình 2.15d).

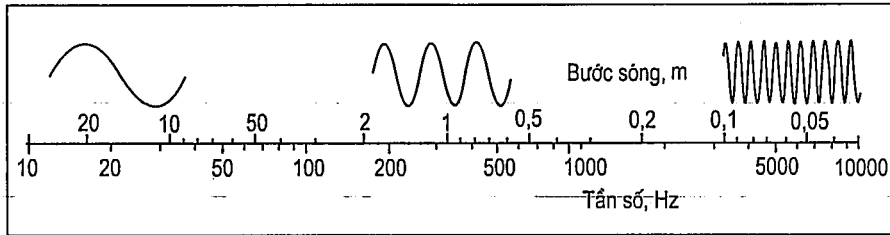


Hình 2.15. Cách dựng các tia phản xạ định hướng từ mặt phẳng (a) mặt cong lõm (b), cong lồi (c) và dựng bản vẽ tia âm (d)

Cần chú ý, trong khi kích thước của các bề mặt là xác định thì bước sóng âm lại thay đổi trong một phạm vi rất rộng (hình 2.16).

Điều kiện xảy ra phản xạ định hướng của âm thanh có nguồn gốc từ bản chất sóng của nó, phải được tuân theo khi thiết kế hình dạng nội thất các

phòng: các bề mặt chỉ cho phản xạ định hướng các sóng âm có bước sóng nhỏ hơn kích thước của nó nhiều lần (theo nhiều tác giả 2 - 3 lần, theo tác giả [17] - 4 lần).

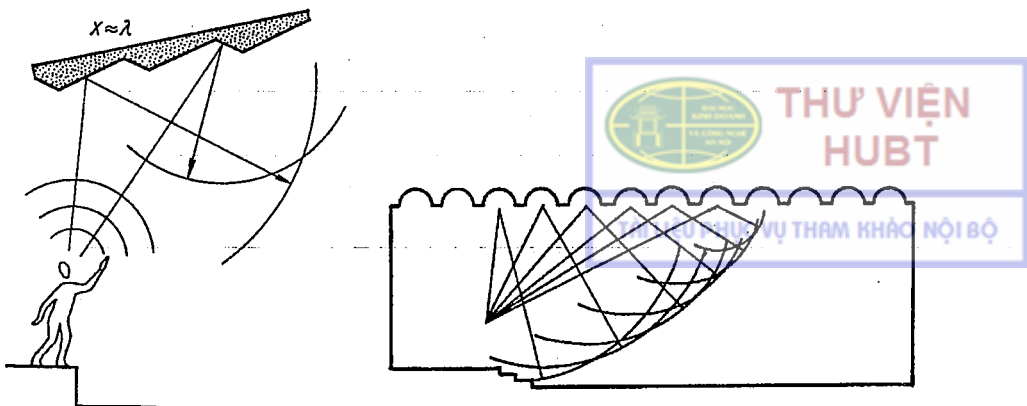


Hình 2.16. Quan hệ giữa tần số (Hz) và bước sóng âm (m)

Như vậy, một bề mặt có kích thước xác định có thể là lớn hơn so với bước sóng âm này, nhưng là nhỏ so với sóng âm khác. Ví dụ: bề mặt kích thước 1m có thể coi là lớn đối với sóng âm 1000Hz ($\lambda = 0,34\text{m}$), nhưng là nhỏ so với sóng âm 100Hz ($\lambda = 3,4\text{m}$). Do vậy người ta còn gọi lý thuyết âm hình học là lý thuyết của âm thanh tần số cao.

Hãy chú ý các tia âm phản xạ từ các mặt cong lõm và cong lồi (hình 2.15b, c), chúng sẽ được phân tích kỹ hơn trong chương 4.

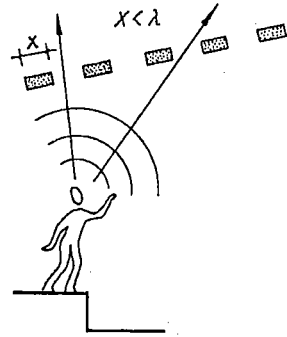
Trường hợp các bề mặt có kích thước xấp xỉ với sóng âm, âm thanh sẽ phản xạ từ bề mặt này dưới dạng khuếch tán, khi đó không thể xác định được một hướng của âm phản xạ, mà chỉ có thể xác định được mặt sóng phản xạ sau những khoảng thời gian xác định (hình 2.17).



Hình 2.17. Phản xạ khuếch tán khi $X \approx \lambda$

Chú ý: Các mặt sóng trên hình 2.17 được vẽ cùng một thời điểm, nghĩa là chiều dài các tia âm đều bằng nhau.

Chúng ta cũng có thể gặp trong phòng các bề mặt không liên tục có kích thước nhỏ hơn bước sóng âm, khi đó sẽ xảy ra hiện tượng nhiễu xạ, âm thanh sẽ đi vòng qua bề mặt này vào không gian phía sau (hình 2.18).



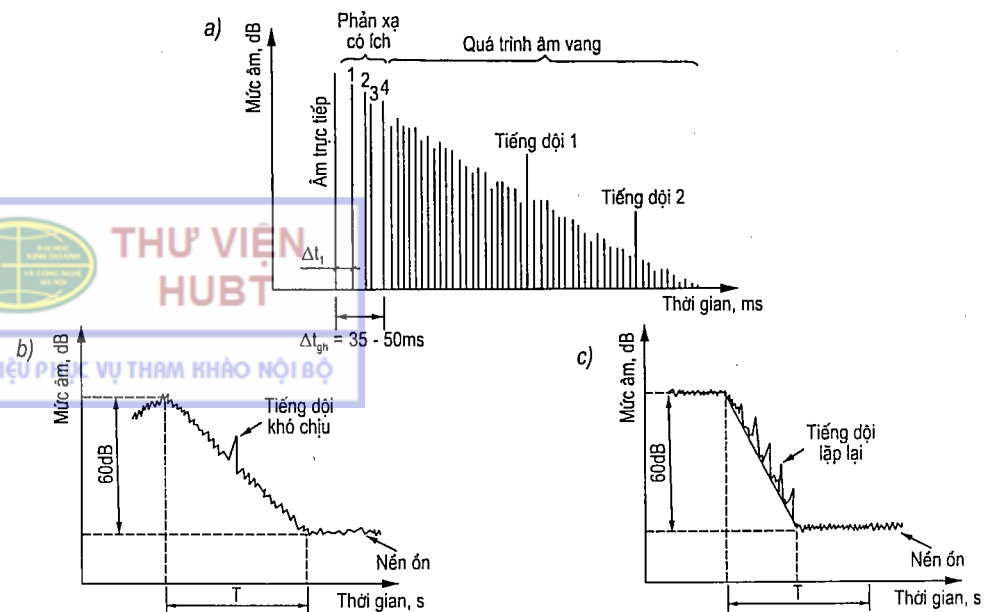
Hình 2.18. Hiện tượng nhiễu xạ khi $X < \lambda$

2.4.2. Âm phản xạ có ích và các hiện tượng âm thanh xấu

Các âm phản xạ đến thính giả sau âm trực tiếp một khoảng thời gian gọi là thời gian trễ, tính bằng miligiây (ms), và chúng có ảnh hưởng đến chất lượng thu nhận âm thanh, đặc biệt là đến độ rõ.

Nhiều nghiên cứu đã xác định được một thời gian giới hạn (kí hiệu Δt_{gh}) với ý nghĩa như sau:

- Các phản xạ đến người nghe trước Δt_{gh} có tác dụng tăng cường mức âm, làm tăng độ rõ nên được gọi là các âm phản xạ có ích.
- Các phản xạ đến sau Δt_{gh} không có tác dụng tăng cường mức âm nhưng tạo ra quá trình âm vang của phòng và không có lợi cho độ rõ (hình 2.19a).



Hình 2.19. Nghiên cứu quá trình âm vang:

- a) Minh họa các phản xạ âm tới thính giả;
 b) Đường tắt dần khi có tiếng dội khó chịu; c) Khi có tiếng dội lặp lại

Trong các phản xạ có ích thì phản xạ đầu tiên (có thời gian trễ Δt_1) có ảnh hưởng lớn nhất đến chất lượng âm thanh. Thời gian trễ của các phản xạ này cần phải khống chế như sau:

- Khi nghe tiếng nói: $\Delta t_1 \approx 10 - 15\text{ms}$.
- Khi nghe âm nhạc: $\Delta t_1 \approx 20 - 30\text{ms}$.

Một hiện tượng âm học có ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng thu nhận âm thanh trong phòng là *tiếng dội* (echo), xảy ra khi âm phản xạ đầu tiên, có cường độ cao và đến sau thời gian trễ giới hạn. Tiếng dội dễ dàng quan sát khi phát một xung âm (tiếng pháo hay tiếng súng) trước một bức tường lớn. Âm trực tiếp và âm phản xạ khi đó sẽ nghe thành hai âm, giữa chúng có một quãng nghỉ - đó là *tiếng dội nhại*. Như vậy thời gian trễ giới hạn quyết định sự xuất hiện tiếng dội, và nó phụ thuộc vào một số yếu tố sau đây:

- *Tốc độ phát âm của tiếng nói và âm nhạc*: tốc độ phát âm càng nhanh trị số Δt_{gh} càng nhỏ. Tiếng nói và âm nhạc càng chậm, càng khoan thai, trị số Δt_{gh} càng lớn. Như vậy đặc điểm của ngôn ngữ và âm nhạc dân tộc có ảnh hưởng đến sự hình thành tiếng dội và các phản xạ có ích.

- *Cường độ tương đối giữa âm trực tiếp và âm phản xạ*: ví dụ sẽ có 10% thính giả cảm thấy khó chịu khi thời gian trễ $\Delta t = 40\text{ms}$ và hai mức âm bằng nhau, hoặc khi $\Delta t = 60\text{ms}$ và mức âm phản xạ nhỏ hơn mức âm trực tiếp 3dB (xem thêm hiệu ứng Haas, chương 5, mục 5.2).

- *Phổ của âm thanh*: ví dụ khi phổ âm giảm dần về phía tần số cao, khả năng xuất hiện tiếng dội giảm rõ rệt.

Phân tích nghiên cứu của nước ngoài về thời gian trễ để áp dụng cho tiếng Việt có thể rút ra kết luận: thời gian trễ giới hạn của tiếng Việt có thể lấy bằng 50ms tương ứng với tốc độ phát âm 4,5 - 5 từ/giây. Đối với âm nhạc và lời ca dân tộc (tốc độ phát âm trung bình 1,5 - 2 từ/giây) thời gian trễ giới hạn có thể lấy 8 - 10ms.

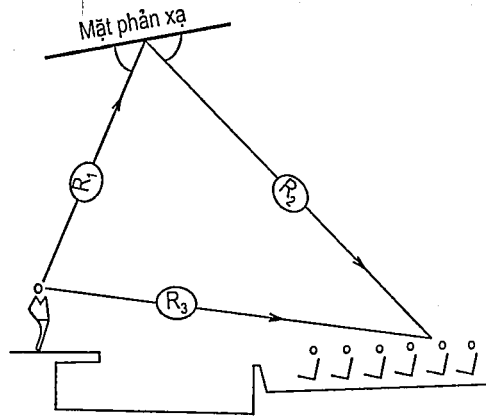
Tương ứng với thời gian 50ms, âm thanh lan truyền một quãng đường dài 17m. Áp dụng nguyên lý âm hình học chúng ta có thể lập biểu thức kiểm tra sự xuất hiện tiếng dội trong các phòng.

Điều kiện có tiếng dội (hình 2.20) là:

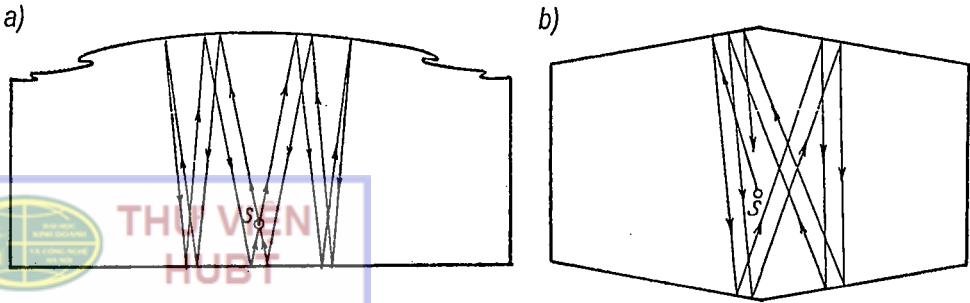
$$R_1 + R_2 - D \geq 17(\text{m}) \quad (2.19)$$

Tiếng dội khó chịu (xem hình 2.19a và b) có thể xuất hiện trước khi sự nhại âm rõ rệt xảy ra, khi có một vài âm phản xạ có mức lớn "trôi lên" khỏi nền âm giảm chung, gây cảm giác khó chịu cho người nghe.

Một dạng khác của tiếng dội, gọi là *tiếng dội lặp lại* (Flutter echo), xuất hiện khi âm thanh phản xạ qua lại nhiều lần giữa các bề mặt rồi quay trở lại điểm xuất phát. Khi đó cứ sau một khoảng thời gian nhất định tương ứng với quãng đường đi liên tiếp của các phản xạ, ta lại nghe lặp lại tiếng dội (mô tả trên hình 2.19c). Trên hình 2.21 giới thiệu tiếng dội lặp lại xuất hiện trong một vũ trường ở CHLB Đức và trong một phòng với các tường bên không song song, có nguồn âm ở giữa chúng.



Hình 2.20. Kiểm tra sự xuất hiện tiếng dội nhại tiếng



Hình 2.21. Tiếng dội lặp lại xuất hiện:

- a) Trong một vũ trường ở CHLB Đức (mặt cắt);
- b) Trong một phòng có tường không song song (mặt bằng)

- Hiện tượng hội tụ âm do các phản xạ từ các mặt cong lõm có thể gây ra sự phân bố không đều của trường âm: tại nơi hội tụ, năng lượng âm tăng cường quá lớn, trong khi ở các vùng khác lại thiếu năng lượng âm phản xạ. Các mặt cong lõm trong phòng còn có thể gây thêm hiện tượng âm đi ven phòng: năng lượng âm phản xạ không tới được vùng giữa phòng mà chỉ phân bố theo chu vi phòng (hình 2.22).

- Hiện tượng méo âm sắc là hiện tượng âm thanh tới người nghe bị biến đổi âm sắc so với âm sắc do nguồn phát ra, gây ra sự cảm nhận sai lệch sắc thái âm thanh.

Nguyên nhân của hiện tượng này là:

Sự hút âm không đều giữa các tần số, ví dụ: một số tần số nào đó bị hút quá mạnh gây ra sự thiếu hụt năng lượng âm.

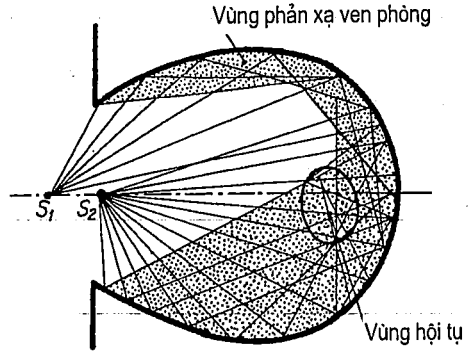
Sự phản xạ không như nhau của âm thanh tần số khác nhau trên cùng một bề mặt do quan hệ giữa bước sóng âm và kích thước bề mặt. Ví dụ mặt cong lõm kích thước lớn gây hội tụ âm ở các tần số thấp, trong khi các mặt lõm nhỏ trên mặt lõm đó lại gây phản xạ khuếch tán âm tần số cao. Do đó tại nhiều chỗ trong trường âm sẽ bị tổn thất âm tần số thấp.

Các hiện tượng âm thanh xấu kể trên có thể phát hiện và xử lý theo nguyên lý âm hình học.

2.4.3. Các bề mặt có cùng bậc phản xạ

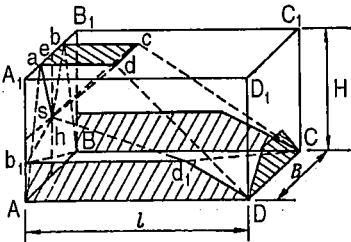
Các bề mặt nội thất của phòng, tùy theo vị trí của nó, có vai trò không giống nhau trong hút âm, phản xạ âm và tạo thành trường âm trong phòng.

A. N. Kacherovich [32] khi áp dụng nguyên lý âm hình học để nghiên cứu các bề mặt của một phòng hình hộp chữ nhật đã phát hiện rằng, một số vị trí của trần và tường chỉ cho một lần phản xạ (hình 2.23), một số vị trí khác cho hai lần phản xạ (hình 2.24), và tương tự có các bề mặt phản xạ bậc cao hơn (hình 2.25).

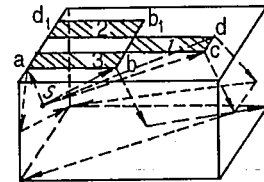


Hình 2.22. Hội tụ âm và âm đi ven phòng trong một phòng hình giả có mặt bằng hình móng ngựa:

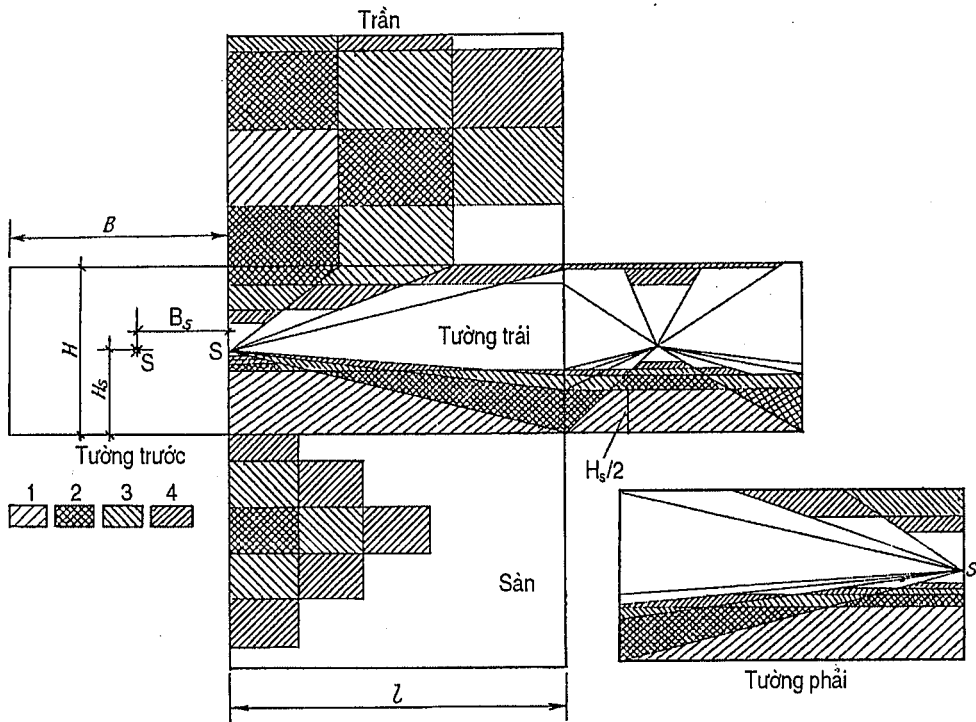
- S₁ - nguồn âm trên sân khấu;
- S₂ - nguồn âm trong hố nhạc



Hình 2.23. Cách xác định các mặt phản xạ bậc 1 (S - nguồn âm)



Hình 2.24. Cách xác định các bề mặt phản xạ bậc 2 (S - nguồn âm)



Hình 2.25. Các mặt phản xạ bậc 1, 2, 3, 4 trên mặt khai triển của phòng

Các nghiên cứu của tác giả [32] dẫn tới một số kết quả sau đây:

1. Vai trò của các vật liệu hút âm trên các bề mặt có bậc phản xạ khác nhau không giống nhau. Vật liệu hút âm mạnh ở các bề mặt phản xạ bậc cao sẽ có hiệu quả hút âm cao hơn trên các bề mặt phản xạ bậc thấp. Cụ thể là:

- Số lần âm thanh gặp các tường cao (nằm trên mặt phẳng ngang đi qua nguồn âm) gấp 2,2 lần so với gặp tường thấp.

- Số lần âm thanh gặp tường gấp 3,3 lần gặp sàn và 1,5 lần gặp trần.

Theo tác giả [32] thì công thức tính lượng hút âm tổng cộng của một phòng cần được điều chỉnh theo hiệu quả hút âm của các bề mặt khác nhau.

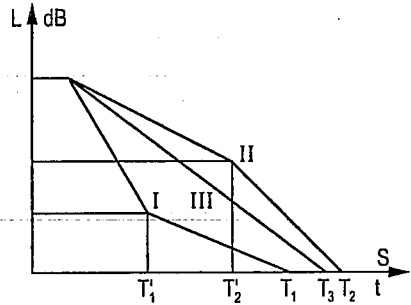
2. Bằng cách bố trí vật liệu hút âm mạnh, yếu khác nhau trên các bề mặt của phòng, ta có thể điều chỉnh được quá trình âm vang (quá trình tắt dần) của âm thanh trong phòng thính giả. Có thể xảy ra ba dạng tắt dần của âm thanh trong phòng sau đây (hình 2.26).

- Dạng I xảy ra khi vật liệu hút âm mạnh bố trí trên các mặt phản xạ bậc 1;

- Dạng II xảy ra khi vật liệu hút âm mạnh bố trí trên các mặt phản xạ bậc cao;

- Dạng III - khi vật liệu hút âm mạnh phân tán đều trong phòng.

Chú ý rằng giai đoạn đầu của quá trình âm vang có ảnh hưởng quyết định đến độ rõ tiếng nói, còn giai đoạn phản xạ đến sau quyết định thời gian âm vang.



Hình 2.26. Quá trình âm vang phụ thuộc cách bố trí vật liệu hút âm

Sau này, tùy theo chức năng của phòng và đặc điểm nguồn âm chúng ta có thể bố trí vật liệu hút âm một cách hợp lý trong phòng để đạt được một trường âm có lợi nhất cho sự cảm thụ âm thanh.

2.5. NGHIÊN CỨU ÂM HỌC PHÒNG THEO LÝ THUYẾT SÓNG

Các nghiên cứu trường âm trong các phòng theo lý thuyết sóng cũng được bắt đầu từ lâu, cùng tiến hành song song với các lý thuyết thống kê và âm hình học nhưng chỉ dừng lại ở các kết quả định tính. Chúng tôi giới thiệu dưới đây hai vấn đề đã có những ứng dụng thực tế.

2.5.1. Dao động riêng của thể tích không khí trong phòng

Thể tích không khí trong phòng là một hệ thống dao động phức tạp, có liên quan với nhiều thông số như: kích thước ba chiều của phòng, đặc điểm hình dạng của nó, vị trí kích thước và tính chất âm học của các bề mặt v.v... Thể tích này có các tần số riêng xác định giống như mọi hệ thống dao động khác.

Âm thanh xuất hiện trong phòng là những lực kích thích. Mỗi loại âm thanh (tiếng nói, tiếng hát, tiếng đàn, hòa tấu của dàn nhạc...) có phổ âm thanh riêng và khi xuất hiện nó sẽ kích động thể tích không khí trong phòng dao động, kể cả các tần số riêng. Khi tắt nguồn âm, các dao động riêng sẽ tắt dần và tạo thành quá trình âm vang như đã trình bày trong lý thuyết thống kê.

Để đơn giản vấn đề, chúng ta hãy bắt đầu với một phòng hình hộp chữ nhật (có kích thước dài \times rộng \times cao = $L \times B \times H$) hút âm không đáng kể.

Các tần số riêng của phòng được xác định theo công thức vật lý sau đây:

$$f_{abc} = \frac{c_0}{2} \left(\frac{a^2}{L^2} + \frac{b^2}{B^2} + \frac{c^2}{H^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.20)$$

trong đó: c_0 - vận tốc âm trong không khí;

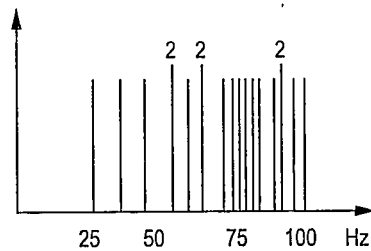
a, b, c - những số nguyên với mọi tổ hợp có thể.

Vận dụng công thức (2.20) ta xác định được tần số riêng nhỏ nhất tuyệt đối, khi $a = 1$ và $b = c = 0$, ta có:

$$f_{100} = \frac{c_0}{2L} \quad (\text{giả thiết } L > B > H)$$

Ví dụ khi $L = 5\text{m}$ ta có $f_{100} = 34\text{Hz}$.

Khi L, B, H thay đổi chúng ta tìm được dễ dàng vô số các tần số riêng của phòng theo các tổ hợp của a, b, c . Ví dụ khi $L = 6\text{m}$, $B = 4\text{m}$ và $H = 3\text{m}$ thì các tần số riêng của phòng sẽ như trên hình 2.27 [37].



Hình 2.27. Tần số riêng của phòng kích thước $6 \times 4 \times 3\text{m}$ (số 2 là các tần số được lặp lại)

Vai trò quan trọng của các tần số riêng ở chỗ: nếu chúng càng nhiều, phân bố càng đều theo tần số, thì trường âm trong phòng càng đều đặn, chất lượng âm thanh càng cao.

Theo công thức (2.20) ta cũng nhận thấy, khi có hai hoặc ba kích thước của phòng bằng nhau, hoặc là bội số của nhau, sẽ xảy ra sự trùng lặp các tần số riêng làm giảm số lượng của chúng.

Ví dụ, khi $L = B = H$ ta chỉ nhận được một tần số riêng khi $a = b = c$, trong khi nếu chúng khác nhau ta sẽ có ba tần số riêng.

Công thức (2.20) có thể viết lại theo tần số riêng nhỏ nhất: $f_{100} = \frac{c_0}{2L}$

như sau:

$$f_{abc} = \frac{c_0}{2L} \left(a^2 + b^2 \frac{L^2}{B^2} + c^2 \frac{L^2}{H^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Đặt $\frac{L}{B} = p$ và $\frac{L}{B} = q$ ta có:

$$f_{abc} = \frac{c_0}{2L} (a^2 + b^2 p^2 + c^2 q^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2.21)$$

Gọi: $f_{abc}/f_{100} = k_{abc}$ là "quãng tần số", ta có:

$$k_{abc}^2 = a^2 + b^2 p^2 + c^2 q^2 \quad (2.22)$$

Ví dụ, cho $a + b + c = n$ khi:

$n = 1$ ta có: k_{abc}^2 bằng 1, p^2 và q^2 .

$n = 2$ ta có: k_{abc}^2 bằng $1 + p^2$; $1 + q^2$; $p^2 + p^2$; 4 ; $4p^2$ và $4q^2$ và v.v...

Như vậy khi n tăng lên, a , b , c cũng tăng lên, các tần số riêng sẽ xích lại gần nhau, quãng tần số càng giảm, nguy cơ xuất hiện một tần số cộng hưởng rõ rệt sẽ giảm dần và mất hẳn. Điều này rất có lợi cho chất lượng âm thanh của phòng.

Ta có thể kết luận: quãng tần số có vai trò điều hòa sự phân bố các tần số riêng và nó phụ thuộc chủ yếu vào các tỷ lệ của phòng (p và q).

Kết luận:

1. Thể tích không khí trong phòng là một hệ thống dao động có vô số tần số riêng.

Mỗi dao động riêng tắt dần theo hàm số mũ, với tốc độ có thể khác nhau. Tuy nhiên nếu tốc độ tắt dần của chúng càng ít khác nhau thì quá trình tắt dần của âm thanh trong phòng càng đều đặn, càng có lợi.

2. Số lượng tần số riêng sẽ có nhiều và phân bố dày đặc nếu như ba kích thước của phòng không bằng nhau hoặc bội số của nhau, khi đó trường âm trong phòng càng tắt dần đều đặn.

3. Người ta cũng chứng minh được:

- Các phòng nhỏ, có tần số riêng ít, nhất là ở phạm vi tần số thấp. Vì vậy trường âm trong các phòng này thường không đều.

- Các phòng lớn, số lượng tần số riêng có nhiều ngay cả ở phạm vi tần số thấp, còn ở tần số cao tần số riêng càng dày đặc vì vậy trường âm càng đồng đều.

4. Từ các công thức (2.20), (2.21) và (2.22) ta có thể chọn được các tỷ lệ p và q của kích thước phòng để quãng tần số đạt được sự điều hòa nhất [11]. Đó là khi:

$$p^2 = 1,425 \text{ và } q^2 = 2,06;$$

$$p^2 = 1,76 \text{ và } q^2 = 3,47;$$

Từ đó ta có thể dễ dàng xác định tỷ lệ kích thước của phòng như trong bảng 2.3.

Bảng 2.3. Tỷ lệ các kích thước của phòng để các tần số riêng phân bố điều hòa

H	B	L
1	1,202	1,435
1	1,404	1,863

Tác giả [11] cũng nhận xét rằng, các tỷ lệ do một số tác giả đưa ra, như:

2: 3: 5 và $1: 2^{1/3}: 4^{1/3}$ sẽ không cho sự điều hòa các tần số riêng.

Tỷ lệ kích thước phòng rất có ý nghĩa đối với các phòng nhỏ, đặc biệt các studio âm thanh.

5. Lý thuyết sóng, mặt khác, cũng khẳng định khả năng áp dụng lý thuyết thống kê để nghiên cứu âm thanh các phòng có kích thước lớn, đặc biệt các phòng có hình dạng không chính tắc.

2.5.2. Sự khuếch tán của trường âm

Trường âm khuếch tán đã được đề cập khi nghiên cứu âm học phòng theo lý thuyết thống kê. Nhưng muốn giải thích nó một cách đầy đủ phải sử dụng lý thuyết sóng với sự phân bố và tắt dần điều hòa của các tần số riêng của phòng.

Nói một cách đơn giản, trường âm khuếch tán cũng tương tự như trường ánh sáng khuếch tán, được coi là lý tưởng nếu như tại mỗi điểm trong phòng có một số lượng lớn các sóng phản xạ truyền tới, từ mọi hướng với xác suất như nhau và phân bố một cách dày đặc. Muốn đánh giá chính xác độ khuếch tán của trường âm phải sử dụng các phương pháp thực nghiệm phức tạp, ví dụ:

- Phương pháp dùng chỉ số khuếch tán trên cơ sở lập biểu đồ không gian các tia âm [37];

- Dùng micro định hướng đo và đánh giá theo phương pháp của G.S. Furduev [37] hay của Thiele [44] v.v..

Để đơn giản trong thực nghiệm, ta có thể đánh giá gần đúng độ khuếch tán của trường âm theo các phương pháp sau đây:

1. Đánh giá theo độ đồng đều của trường âm khi nguồn âm phát tín hiệu kéo dài trong phòng đó (dùng tiếng ồn trắng hoặc tiếng ồn hồng). Độ chênh lệch của mức âm tại nhiều điểm phân bố trong phòng càng nhỏ chứng tỏ trường âm càng có độ khuếch tán cao.

2. Đánh giá theo quá trình tắt dần của âm thanh tại nhiều điểm trong phòng. Nếu đường tắt dần càng đều đặn, ít thăng giáng, càng gần với đường thẳng là trường âm có độ khuếch tán cao.

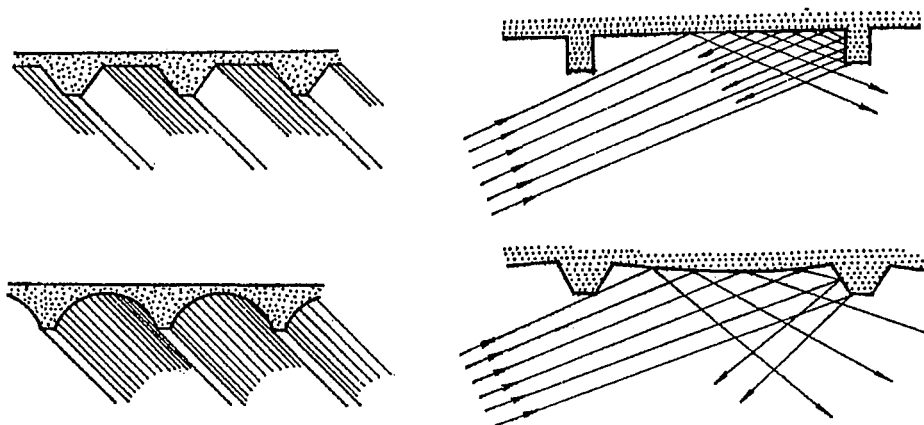
3. Đánh giá theo thời gian âm vang. Nếu thời gian âm vang tại các điểm khác nhau trong phòng càng đồng nhất thì trường âm trong phòng có độ khuếch tán càng cao.

Đối với tất cả các phòng thính giả, trường âm khuếch tán cao luôn luôn có lợi cho sự cảm thụ âm thanh. Riêng các phòng để nghe âm nhạc, trường âm khuếch tán cao còn là một đòi hỏi cần phải đáp ứng.

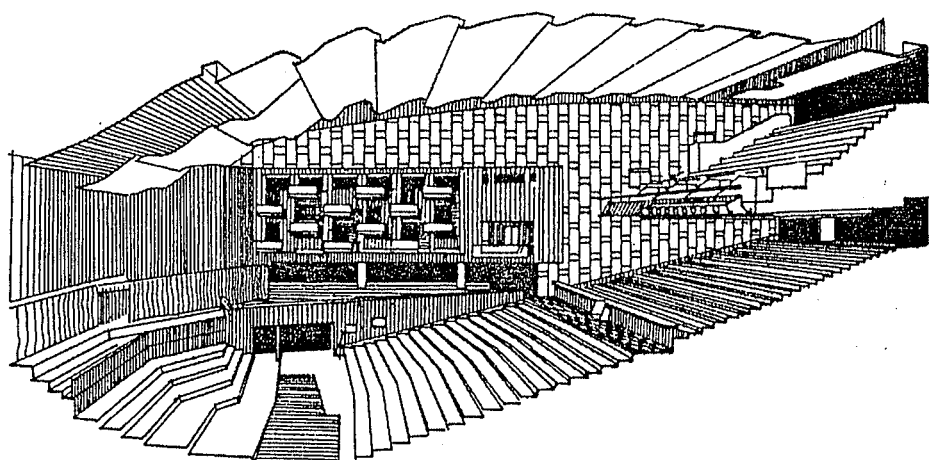
Dưới đây chúng tôi giới thiệu các giải pháp kiến trúc - nội thất âm học để nâng cao độ khuếch tán của trường âm trong phòng.

Giải pháp 1. Lợi dụng các phản xạ định hướng phân tán của các mặt cong lồi (hình 2.15c), hoặc của các bề mặt tương tự, rất có lợi về âm học, bằng cách cải tạo lại các bề mặt kết cấu chịu lực chính của phòng như cột, dầm, tường, sàn... (hình 2.28). Tuy nhiên giải pháp này chưa đạt được hiệu quả khuếch tán cao và chỉ nên áp dụng cho các phòng nhỏ, không có yêu cầu cao về chất lượng âm thanh.

Giải pháp cấu tạo các ban công nhô vào phòng hoặc các nhóm ghế ngồi (ghế lô), các chi tiết kiến trúc lớn phá vỡ tính liên tục của các tường lớn bao quanh phòng thính giả rất có hiệu quả để tạo nên một trường âm khuếch tán cao trong phòng, và tránh được các hiệu quả âm thanh xấu có thể xảy ra do hình dạng bất lợi của chúng. Giải pháp này đã áp dụng có hiệu quả trong các nhà hát cổ có mặt bằng hình móng ngựa và ôvan (xem hình 4.12 và 4.13).



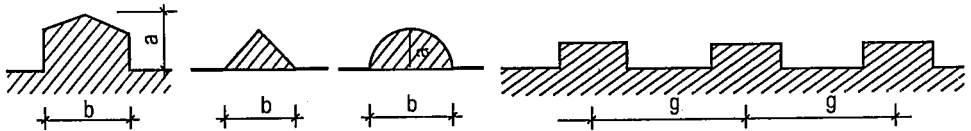
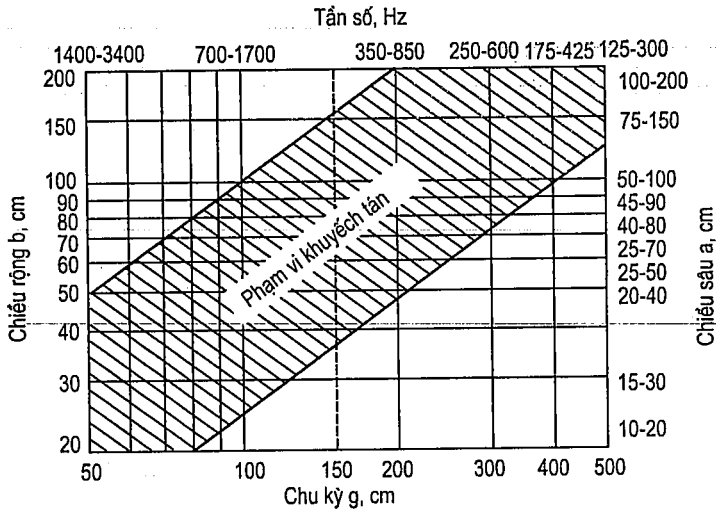
Hình 2.28. Cải tạo lại bề mặt kết cấu có lợi cho trường âm trong phòng



Hình 2.29. Phối cảnh nội thất phòng hòa nhạc hoàng gia Luân Đôn (Royal Festival Hall). Mặt bằng và mặt cắt xem hình 4.45 và hình 4.53).

Trên hình 2.29 là phối cảnh bên trong phòng hòa nhạc hoàng gia Luân Đôn, có chất lượng âm thanh nổi tiếng với các ban công nhô vào phòng.

Giải pháp 2. Xử lý các bề mặt không gian chính phòng thính giả bằng các cấu tạo phân chia chu kỳ. Cấu tạo phân chia có thể có dạng hình chữ nhật, bán trụ, lăng trụ... nhưng quan trọng là kích thước của nó phải xấp xỉ bước sóng âm thanh để đạt hiệu quả khuếch tán theo nguyên tắc đã nghiên cứu trên hình 2.17. Các cấu tạo dạng bán trụ và lăng trụ cho hiệu quả khuếch tán ở các tần số cao hơn dạng chữ nhật. Trên hình 2.30 là biểu đồ hướng dẫn chọn kích thước các cấu tạo phân chia chu kỳ theo nghiên cứu [44].



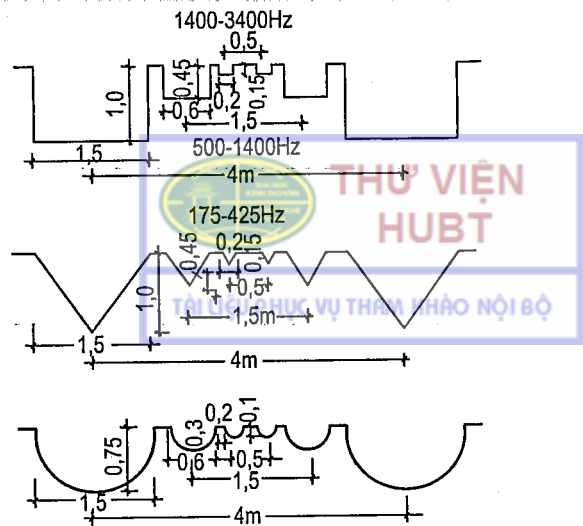
Hình 2.30. Biểu đồ hướng dẫn chọn kích thước cấu kiện phân chia chu kỳ

Chú ý rằng mỗi cấu kiện kích thước xác định cho hiệu quả phản xạ khuếch tán trong một phạm vi tần số nhất định.

Ví dụ cấu kiện bán trụ (hoặc lăng trụ) có kích thước:

Rộng $b = 50\text{cm}$; sâu $a = 30\text{cm}$; chu kỳ $g = 100\text{cm}$ có hiệu quả phản xạ khuếch tán âm thanh trong phạm vi tần số 700 - 1700Hz.

Qua biểu đồ chúng ta cũng thấy rõ: các cấu kiện phân chia kích thước lớn có hiệu quả đối với âm thanh tần số thấp. Các cấu kiện phân chia có hiệu quả đối với âm tần số cao phải có kích thước không nhỏ hơn:

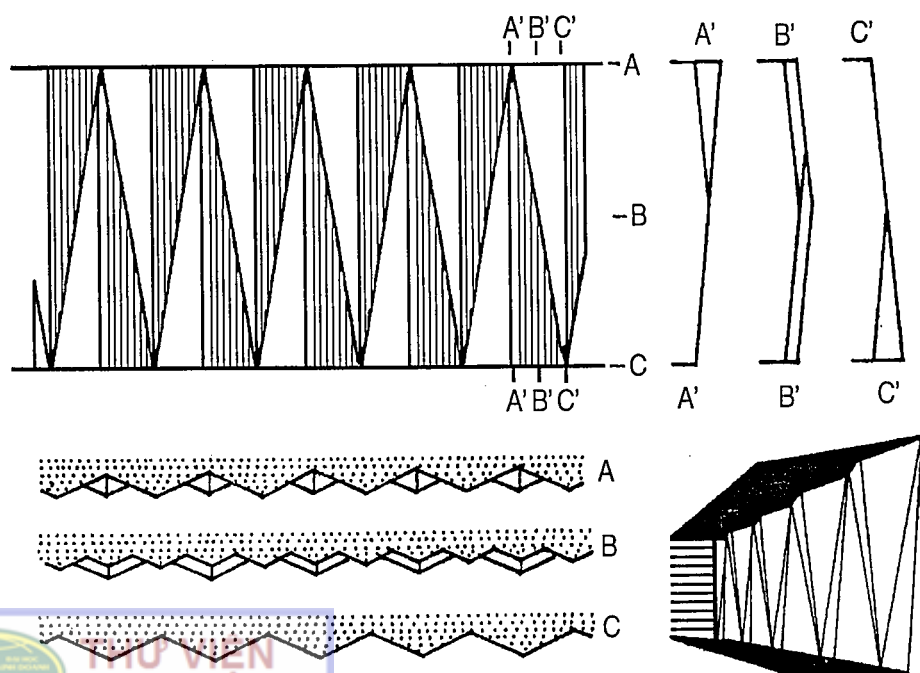


Hình 2.31. Cấu tạo phân chia có kích thước thay đổi hai chiều

Chiều rộng $b = 20\text{cm}$; chiều sâu $a = 10\text{cm}$; chu kỳ $g = 50\text{cm}$.

Theo nguyên tắc này, người ta đề nghị sử dụng các cấu kiện phân chia thay đổi hai chiều như trên hình 2.31, cho hiệu quả khuếch tán âm thanh trong ba vùng tần số.

Các cấu tạo phân chia ba chiều (hình 2.32) có hiệu quả khuếch tán âm thanh gần như toàn bộ dải tần số âm thanh, bởi vì mỗi tần số âm thanh đều tìm được các kích thước tương ứng cho hiệu quả khuếch tán.

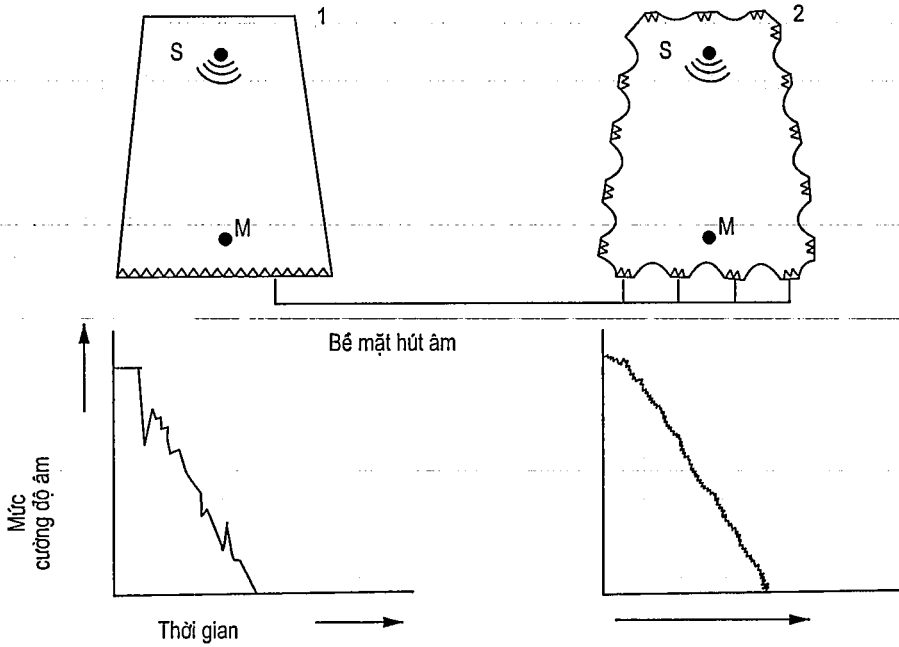


Hình 2.32. Cấu tạo phân chia có kích thước thay đổi ba chiều

Giải pháp 3. Sử dụng và bố trí vật liệu hút âm

Trong phần trước (mục 2.4.3) chúng ta đã chứng minh được rằng vị trí của vật liệu hút âm có ảnh hưởng tới quá trình âm vang, nghĩa là ảnh hưởng đến trường âm trong phòng.

Các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm cho thấy, nếu vật liệu hút âm được chia thành các dải nhỏ và bố trí phân tán đều trên các bề mặt của phòng thì trường âm trong phòng sẽ tắt dần một cách đều đặn, biểu hiện của một trường âm khuếch tán cao (xem hình 2.33).



Hình 2.33. Đường tắt dẫn âm thanh trong hai phòng:
a) Phòng có tường phẳng, vật liệu hút âm đặt ở tường sau;
b) Tường phân chia chu kỳ, vật liệu hút âm bố trí phân tán đều.

Các giải pháp vừa nêu sẽ được vận dụng trong thiết kế âm thanh các phòng ở chương 4.



Chương 3

VẬT LIỆU VÀ KẾT CẤU HÚT ÂM

3.1. TÍNH CHẤT HÚT ÂM CỦA VẬT LIỆU VÀ KẾT CẤU

3.1.1. Giải thích sự hút âm và phân loại vật liệu

Hút âm và phản xạ âm là hai tính chất quan trọng của các vật liệu và kết cấu xây dựng, có ảnh hưởng trực tiếp đến sự hình thành trường âm trong các phòng thính giả, có liên quan đến sự phân bố mức âm trong phòng, đến thời gian âm vang, độ khuếch tán của trường âm, nền ồn trong phòng, và do đó đến chất lượng thu nhận âm thanh.

Năng lượng âm bị hút, theo định nghĩa, là phần năng lượng âm không phản xạ trở lại vào phòng sau khi âm thanh lan truyền tới đập vào bề mặt kết cấu. Năng lượng âm bị hút bao gồm năng lượng bị mất mát trong vật liệu, năng lượng lan truyền theo kết cấu và năng lượng âm truyền qua kết cấu. Như vậy hút âm và phản xạ âm là hai khái niệm trái ngược nhau

Sự mất mát năng lượng âm trong vật liệu và kết cấu xảy ra do bốn nguyên nhân chính sau đây:

1. *Do ma sát*: năng lượng âm biến thành năng lượng nhiệt.

Trong vật liệu và kết cấu nói chung, đặc biệt là các vật liệu hút âm, có rất nhiều lỗ rỗng. Sóng âm - sóng áp suất - tới bề mặt vật liệu, kích thích không khí trong các lỗ rỗng dao động, do đó tạo ra ma sát giữa không khí và thành lỗ, vì vậy năng lượng âm bị tổn thất do biến thành năng lượng nhiệt.

2. *Do không khí bị nén*: năng lượng âm biến thành năng lượng nhiệt

Không khí trong các lỗ rỗng đồng thời bị sóng âm nén lại theo từng chu kỳ, làm cho nó nóng lên. Nhiệt lượng mới xuất hiện này sẽ truyền ra các thành lỗ và giảm dần cùng với áp suất cho đến chu kỳ tiếp theo. Như vậy dạng mất mát năng lượng âm thứ hai cũng dưới dạng năng lượng nhiệt.

3. Các thành lỗ biến dạng bị nóng lên: năng lượng âm biến thành năng lượng nhiệt

Do sự khác nhau trong cấu trúc của vật liệu, nên khi bị sóng âm tác động, trong chu kỳ nén các thành mỏng hơn bị biến dạng và nung nóng nhiều hơn. Năng lượng nhiệt này được truyền ra chung quanh và kịp cân bằng một phần, làm giảm áp suất trước chu kỳ dẫn tiếp theo, do đó gây ra mất mát năng lượng, cùng dưới dạng nhiệt.

4. Do biến dạng dư: năng lượng âm mất mát dưới dạng cơ năng.

Sóng âm gây ra biến dạng trong vật liệu, nhưng sự biến dạng này xảy ra không thuận nghịch, mà khi áp suất giảm sẽ có biến dạng dư. Năng lượng âm bị mất có thể coi là hiệu số giữa năng lượng chi phí cho biến dạng đàn hồi và năng lượng vật liệu nhận được để phục hồi không hoàn toàn dạng ban đầu. Sự mất mát thứ tư có thể quy về dạng năng lượng cơ học.

Theo đặc điểm cơ lý của vật liệu, và theo sự mất mát năng lượng âm người ta chia vật liệu và kết cấu hút âm thành các loại sau đây:

- *Vật liệu hút âm xốp*, gồm hai loại:

+ Loại có các thành lỗ cứng, không đàn hồi, hút âm do ma sát của không khí với thành cứng và do sự truyền nhiệt của vật liệu. Thuộc loại này có bê tông bọt, gạch xốp, v.v...

+ Loại có các thành lỗ đàn hồi, sự hút âm xảy ra theo cả bốn nguyên nhân kể trên. Thuộc loại này có các loại bông khoáng, bông thủy tinh, các tấm sợi ép mềm, các loại thảm dệt, đan v.v....

- *Kết cấu dao động cộng hưởng* hút âm do sự dao động của mặt kết cấu dưới tác dụng của sóng âm. Đặc biệt sự hút âm mạnh nhất xảy ra ở vùng tần số cộng hưởng của kết cấu. Với kết cấu này, các đặc tính cơ lý của vật liệu và các thông số hình học của cấu tạo có ảnh hưởng lớn đến đặc điểm hút âm của nó.

- *Kết cấu cộng hưởng không khí* cũng làm việc theo nguyên tắc cộng hưởng, nhưng là của khối không khí dao động trong kết cấu. Sự hút âm xảy ra do ma sát của không khí với thành kết cấu trong một phạm vi tần số khá hẹp đã được tính toán trước.

- Loại kết cấu hút âm phối hợp, được chế tạo đặc biệt để phối hợp các tính năng hút âm của ba loại kể trên, nhờ đó khả năng hút âm được mở rộng trong phạm vi tần số thường gặp trong đời sống và sản xuất.

Khả năng hút âm của vật liệu và kết cấu được đánh giá qua hệ số hút âm α (công thức 1.26) theo các dải tần số âm từ 125 đến 4000Hz (thường theo dải 1 ôcta, xem biểu đồ hình 1.37).

Hệ số hút âm của vật liệu phụ thuộc góc tới của sóng âm. Góc tới vật liệu của sóng âm (so với pháp tuyến của bề mặt vật liệu) càng lớn thì hệ số hút âm càng giảm, và độ giảm càng nhanh khi góc tới càng gần 90° (tới tiếp tuyến). Trong thực tế âm học phòng, sóng âm tới kết cấu có thể coi là khuếch tán, vì vậy trị số có ý nghĩa là hệ số hút âm khuếch tán, đó là hệ số hút âm tính trung bình cho mọi góc tới của sóng âm, xác định theo công thức:

$$\alpha = \int_0^{\pi/2} \alpha_\theta \sin 2\theta d\theta \quad (3.1)$$

trong đó: α_θ - hệ số hút âm dưới góc tới θ của sóng âm.

3.1.2. Đo hệ số hút âm

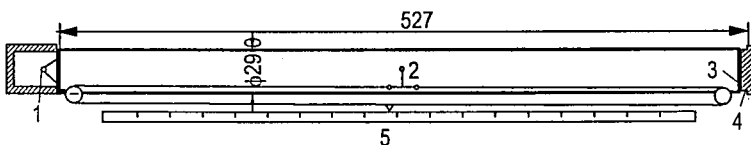
Hệ số hút âm có thể tính toán hoặc đo đạc trong các phòng thí nghiệm đặc biệt. Phương pháp tính toán thường rất phức tạp và khó cho các kết quả chính xác bởi vì không thể tính hết các yếu tố ảnh hưởng đến sự hút âm của vật liệu và kết cấu.

Các đặc tính tần số hút âm của vật liệu và kết cấu giới thiệu trong các hướng dẫn thường xác định bằng các phương pháp đo trong các phòng thí nghiệm âm học.

Có hai phương pháp đo hệ số hút âm.

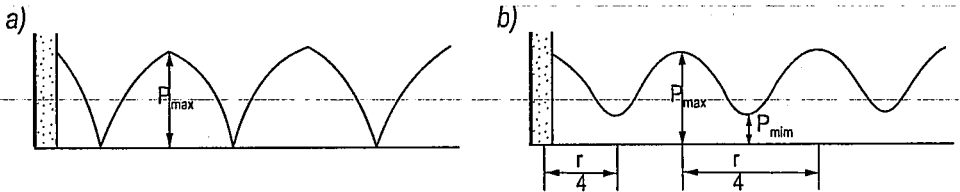
1. Phương pháp sóng đứng

Phương pháp sóng đứng để đo hệ số hút âm sử dụng một ống đặc biệt gọi là ống giao thoa, một đầu đặt loa, đầu kia đặt vật liệu hút âm (hình 3.1).



Hình 3.1. Thiết bị đo hệ số hút âm bằng phương pháp sóng đứng
1- loa; 2 - microphôn; 3 - mẫu vật liệu; 4 - mặt cứng; 5 - thước tỷ lệ.

Đo hệ số hút âm theo nguyên tắc giao thoa của sóng âm bức xạ từ loa tới mẫu vật liệu (p_1) và sóng phản xạ từ mẫu (p_2). Khi hai sóng giao thoa (lệch pha 180°) sẽ tạo thành các điểm bụng có áp suất cực đại (p_{\max}) và các điểm nút, có áp suất cực tiểu (p_{\min}) (hình 3.2).



Hình 3.2. Sóng đứng trong ống giao thoa:
a) Khi hoàn toàn phản xạ; b) Khi có vật liệu hút âm

Phương pháp vừa nêu phải tuân theo một điều kiện là, sóng âm lan truyền trong ống là sóng phẳng. Điều kiện này chỉ đáp ứng khi bước sóng âm ở tần số đo hút âm cực đại lớn gấp 1,7 lần đường kính trong của ống [30]. Đồng thời chiều dài của ống phải sao cho khoảng cách từ loa đến mẫu vật liệu gấp ít nhất 20 lần đường kính trong của nó. Vì vậy thường có một bộ bốn ống để đo hệ số hút âm trong một phạm vi tần số rộng từ 40Hz đến 20kHz.

Hệ số hút âm tính theo áp suất:

$$\alpha = 1 - \frac{P_2^2}{P_1^2}$$

Đo trong ống giao thoa xác định được tỉ số:

$$n = \frac{P_1 + P_2}{P_1 - P_2} = \frac{P_{\max}}{P_{\min}}$$

Khi đó hệ số hút âm xác định theo công thức:

$$\alpha = \frac{4}{n + \frac{1}{n} + 2}$$

Nhờ dịch chuyển microphone trên giá con chạy, ta dò tìm và xác định được p_{\max} và p_{\min} .

Chú ý rằng phương pháp ống giao thoa cho phép xác định hệ số hút âm khi sóng âm tới vuông góc với vật liệu.



2. Phương pháp phòng vang

Hệ số hút âm của vật liệu được đo trong một phòng thí nghiệm, đặc biệt gọi là phòng vang - một phòng có thể tích khoảng 180 - 200m³ (ít nhất 100m³), có trường âm khuếch tán và các bề mặt phản xạ mạnh âm thanh để có thời gian âm vang khoảng từ 2 đến 5s.

Mẫu vật liệu hút âm phải có diện tích không dưới 10m² và bố trí trên một trong các tường của phòng [33].

Hệ số hút âm của mẫu vật liệu xác định từ các kết quả đo thời gian âm vang T₀ và T₁ của phòng trước và sau khi bố trí mẫu vật liệu hút âm. Hệ số hút âm α₁ của mẫu vật liệu diện tích S₁ xác định khi áp dụng công thức Sabine:

$$\alpha_1 = \frac{0,16V}{S_1} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0} \right) + \frac{0,16V}{S} \cdot \frac{1}{T_0} \quad (3.3)$$

trong đó: V - thể tích phòng vang, m³;

S - diện tích các bề mặt trong phòng, m².

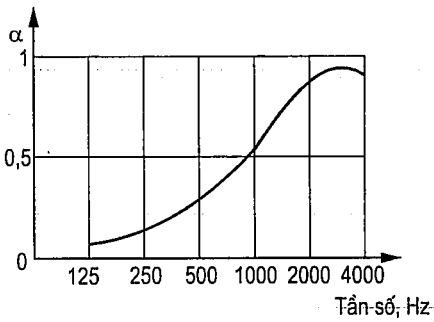
Phương pháp phòng vang xác định hệ số hút âm khuếch tán và xét được ảnh hưởng của các thông số hình học cấu tạo kết cấu đến khả năng hút âm. Đây là phương pháp cho kết quả tin cậy và được dùng phổ biến để nghiên cứu và đánh giá vật liệu và kết cấu hút âm.

3.2. CÁC LOẠI VẬT LIỆU VÀ KẾT CẤU HÚT ÂM

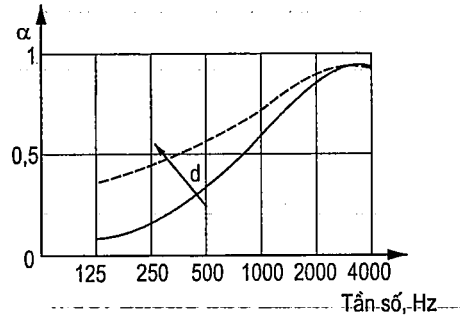
3.2.1. Vật liệu hút âm xốp

Vật liệu xốp cấu tạo bởi những thành cứng và các khe hở ngoằn ngoèo hoặc lỗ hở nhỏ chứa đầy không khí. Khác với vật liệu cách nhiệt, các khe lỗ hở trong vật liệu hút âm không bị đóng kín mà được thông ra mặt ngoài của vật liệu. Trong bốn nguyên nhân hút âm của hai loại vật liệu xốp (loại thành lỗ cứng và loại thành lỗ đàn hồi) thì nguyên nhân tiêu hao lượng âm thành năng lượng nhiệt do ma sát là lớn nhất.

Các loại bông khoáng, bông thủy tinh, các chế phẩm từ sợi (dệt, đan) là loại vật liệu hút âm mạnh ở tần số cao so với tần số thấp (hình 3.3). Khi chiều dày vật liệu tăng lên, khả năng hút âm cũng tăng lên nhưng chủ yếu ở tần số thấp (hình 3.4).

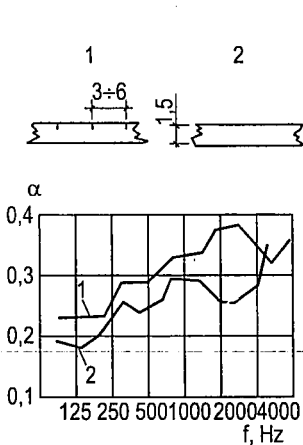


Hình 3.3. Hút âm của các tấm bằng bông (khoáng, thủy tinh)

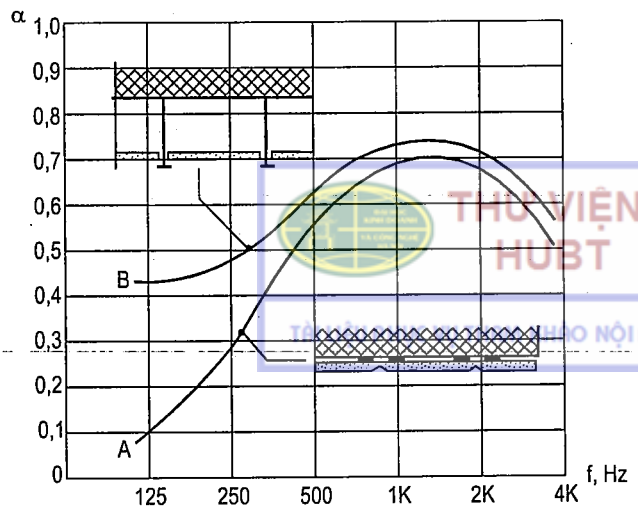


Hình 3.4. Ảnh hưởng của chiều dày tấm bông khoáng đến khả năng hút âm
d- chiều dày của tấm vật liệu

Các loại bông xốp còn được chế tạo thành các tấm ép nửa cứng (từ bông khoáng, bông thủy tinh, sợi gỗ, vỏ bào, bã mía, rơm rạ, xơ dừa v.v...) kích thước có thể 40 x 40cm hoặc đến 60 x 120cm, bề mặt có thể để trần chất thô vật liệu hoặc phủ thêm một lớp sơn hoa văn trang trí (nhưng không đóng kín các lỗ hở). Khi sử dụng có thể đặt trực tiếp lên mặt kết cấu bao che của phòng hoặc tạo thành một lớp không khí phía sau nó. Khả năng hút âm sẽ thay đổi theo cách chế tạo và lắp đặt sử dụng (hình 3.5 và hình 3.6).

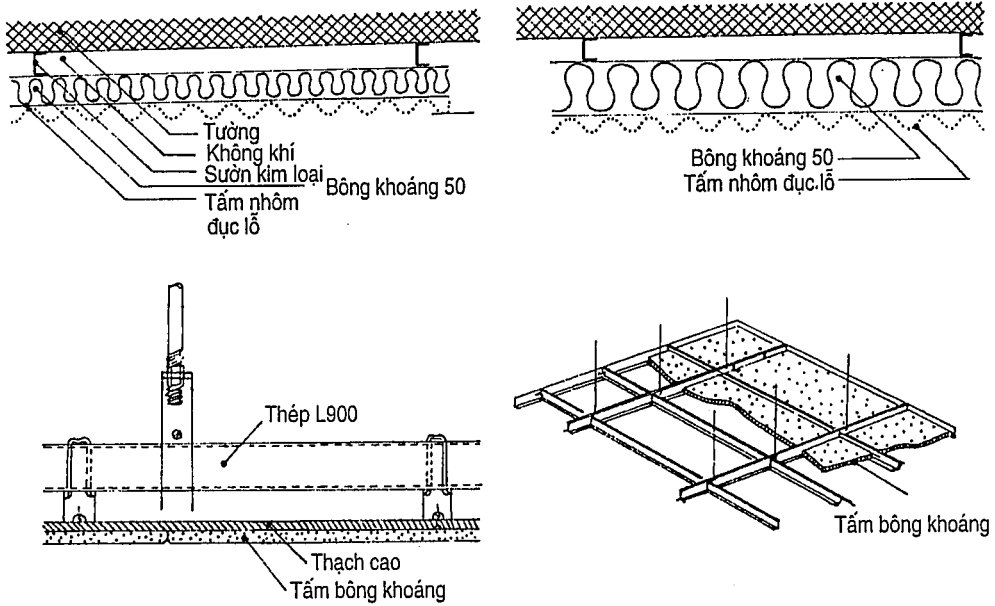


Hình 3.5. Đặc tính hút âm của tấm sợi gỗ ép
1 - khi đục lỗ bề mặt;
2 - khi để trần



Hình 3.6. Đặc tính hút âm của tấm ép bông khoáng khi đặt sát trần và khi treo cách trần 50mm

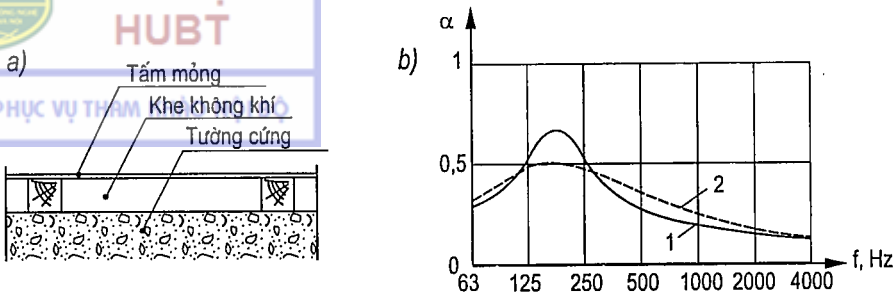
Trên hình 3.7 giới thiệu một số giải pháp cấu tạo để sử dụng vật liệu hút âm xốp trong thực tế. Chú ý rằng bông khoáng và bông thủy tinh cần có một lớp che mặt ngoài thoáng hở (như vải, lưới kim loại, tấm đục lỗ bằng gỗ hoặc kim loại), còn các tấm ép nửa cứng cũng không thể chịu được các va đập mạnh nên không thích hợp sử dụng ở những cao độ thấp.



Hình 3.7. Một số cấu tạo hút âm sử dụng vật liệu xốp trong thực tế

3.2.2. Kết cấu dao động cộng hưởng hút âm

Cấu tạo của nó gồm một tấm mỏng, được đóng hoặc dán trên một hệ sườn gỗ hoặc kim loại, cách mặt tường một lớp không khí (hình 3.8).



Hình 3.8. Kết cấu dao động cộng hưởng (a) và đặc tính tần số hút âm (b):

1 - khe không khí thông thường; 2 - trong khe không khí có vật liệu xốp

Tấm mỏng được chế tạo từ gỗ dán, gỗ ván, thạch cao, xi măng, chất dẻo,

v.v...

Khi sóng âm tới mặt kết cấu, dưới tác dụng của áp suất âm tấm mỏng sẽ bị dao động (bị đẩy về phía sau và kéo về phía trước theo chu kỳ nén và giãn của sóng âm), do đó một phần năng lượng âm sẽ biến thành cơ năng và nhiệt năng để thắng nội ma sát của vật liệu. Mặt khác, kết cấu giống như một hệ thống dao động cơ học (tấm mỏng là khối lượng, không khí phía sau nó là lò xo), có một tần số dao động riêng và khi tần số âm tới kết cấu trùng với nó, sẽ xảy ra cộng hưởng. Khi đó kết cấu sẽ dao động rất mạnh, và khả năng hút âm sẽ đạt cực đại ở các tần số này.

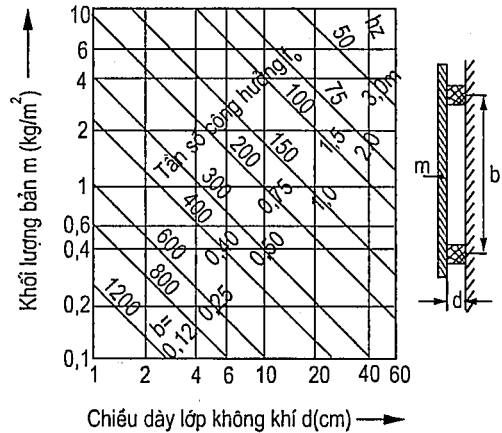
Tần số cộng hưởng f_0 tương ứng với hệ số hút âm đạt cực đại có thể xác định theo công thức:

$$f_0 = \frac{600}{\sqrt{md}}, \quad (3.4)$$

trong đó:

m - khối lượng tấm mỏng, kg/m^2 ;

d - chiều dày của lớp không khí phía sau nó, cm.



Hình 3.9. Biểu đồ xác định tần số cộng hưởng

Biểu đồ hình 3.9 cho phép

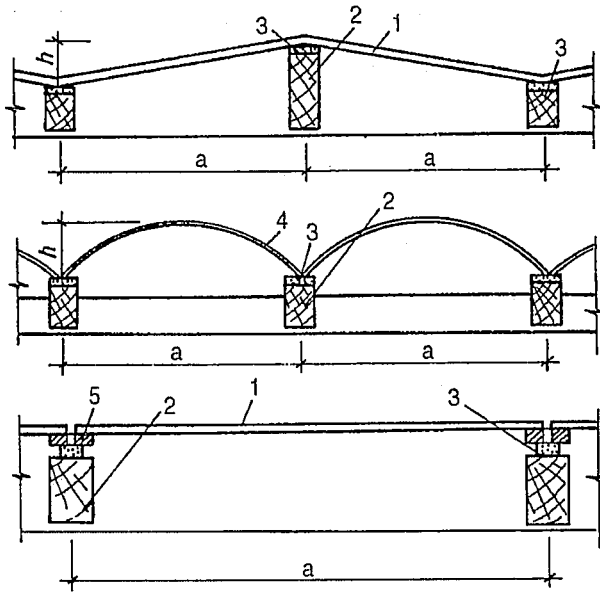
xác định tần số cộng hưởng f_0 , còn xét thêm ảnh hưởng của chiều rộng tấm mỏng b (khoảng cách giữa các sườn đỡ tấm mỏng).

Biểu đồ hình 3.8 cho thấy khả năng hút âm của kết cấu có tính chọn lựa tần số rõ rệt và tần số cộng hưởng của kết cấu thường nằm ở vùng tần số thấp. Khối lượng tấm mỏng càng lớn, lớp không khí càng rộng và dày, tần số cộng hưởng càng thấp. Chính vì vậy mà kết cấu này có tên là *kết cấu hút âm tần số thấp*.

Kết cấu càng nặng và cứng, khả năng hút âm càng yếu, kết cấu nhẹ và dẻo, khả năng hút âm tăng lên rõ rệt.

Khả năng hút âm của kết cấu cũng mở rộng và đều hơn khi ta đặt thêm một lớp vật liệu xốp ở phía sau tấm mỏng (hình 3.8, đường cong 2).

Kết cấu hút âm theo kiểu tấm dao động có ưu điểm kết cấu đơn giản, chịu được va đập, dễ làm sạch và đặc biệt có thể tạo được bề mặt dạng bất kỳ, vừa làm phong phú nội thất, vừa tăng thêm tính khuếch tán của trường âm trong phòng (hình 3.10).

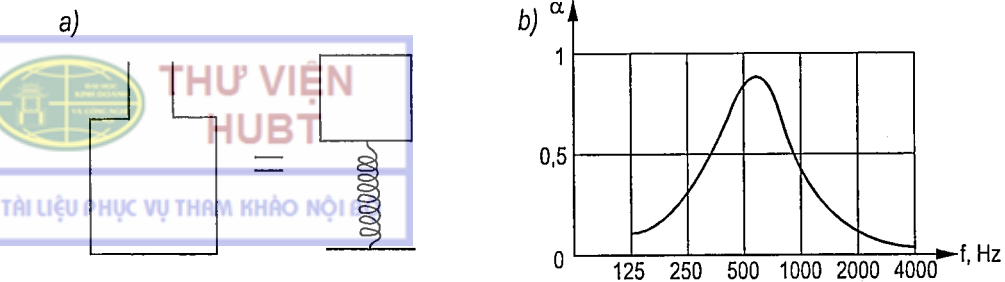


Hình 3.10. Các khả năng tạo hình dạng bề mặt khác nhau của kết cấu dao động hút âm

1 - gỗ dán 10mm; 2 - sườn gỗ; 3 - đệm đàn hồi; 4 - gỗ dán 4mm; 5 - đệm gỗ.

3.2.3. Kết cấu cộng hưởng không khí

Chúng ta hãy làm quen với kết cấu hút âm này bắt đầu từ ống cộng hưởng Helmholtz, có cấu tạo như trên hình 3.11a.



Hình 3.11. Ống cộng hưởng Helmholtz (a) và đặc tính tần số hút âm (b)

Ống cộng hưởng như một hệ dao động mà không khí ở miệng ống là khối lượng còn không khí trong ống là lò xo. Sự mất mát năng lượng âm chủ yếu dưới dạng nhiệt do ma sát của không khí với thành lỗ (ở phần cổ). Vì vậy nếu tại đây có dán thêm một lớp vải thì ma sát sẽ tăng lên và khả năng hút âm cũng tăng theo.

Kết cấu hút âm rất mạnh và rõ rệt tại một phạm vi hẹp tần số xung quanh tần số cộng hưởng f_0 , xác định theo công thức:

$$f_0 = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{(l+1,6R)V}} \quad (3.5)$$

trong đó: c_0 - vận tốc âm trong không khí, cm/s;

l - chiều dài phần cổ, cm;

R - bán kính cổ, cm;

S - diện tích tiết diện cổ, cm^2 ;

V - thể tích không khí phần thân ống, cm^3 .

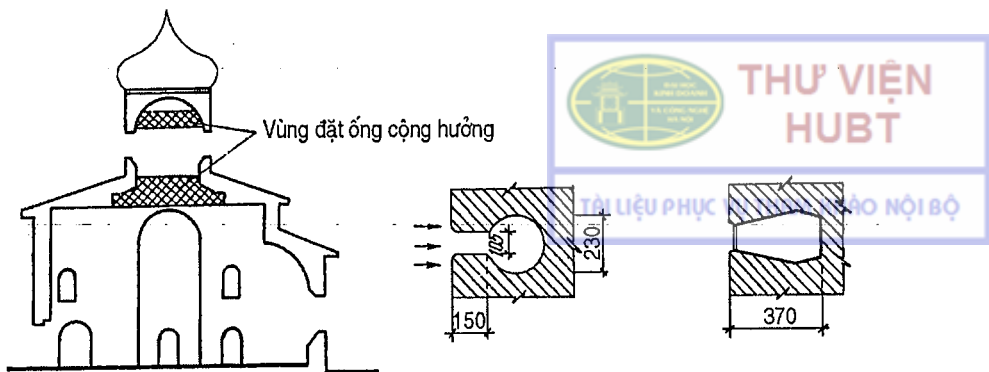
Còn lượng hút âm cực đại của ống cộng hưởng có thể xác định gần đúng theo công thức:

$$A = \frac{\lambda_0^2}{2\pi} = \frac{1}{6,28} \left(\frac{c_0}{f_0} \right)^2 \quad (3.6)$$

trong đó: λ_0 - bước sóng tương ứng với tần số cộng hưởng f_0 .

Như vậy, bằng cách thay đổi các kích thước của ống, chúng ta có thể cấu tạo các ống hút âm cho bất kỳ tần số nào.

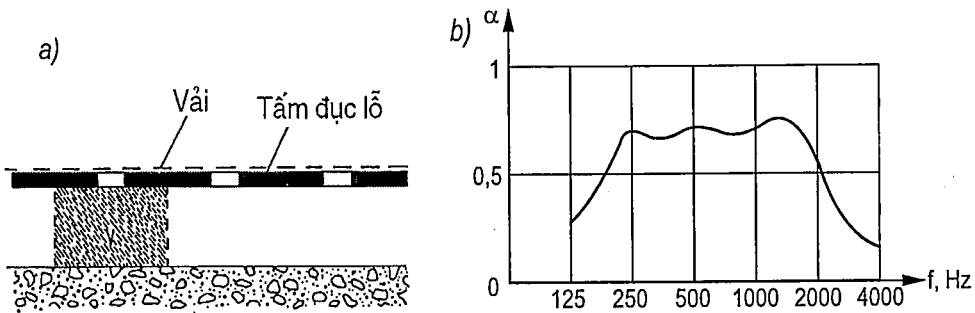
Các ống cộng hưởng như vậy ngày nay không còn được sử dụng mà chỉ tìm thấy trong một số nhà thờ cổ ở châu Âu (hình 3.12).



Hình 3.12. Ống cộng hưởng hút âm trong các nhà thờ cổ ở Nga

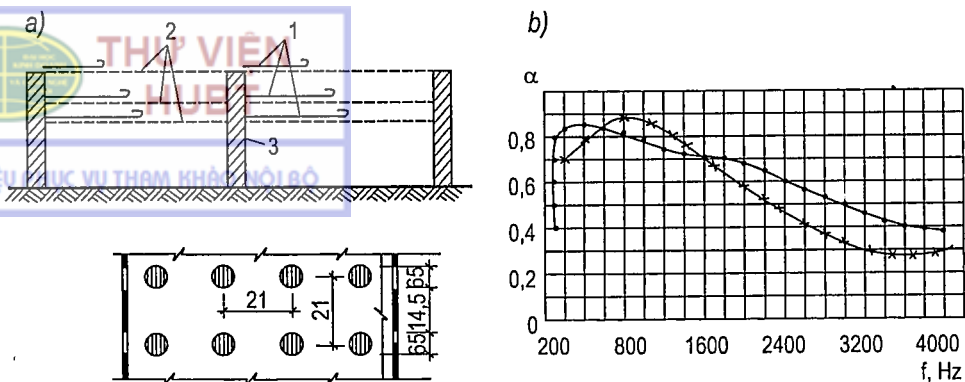
Tuy nhiên, điều thú vị là khi áp dụng nguyên tắc hút âm này người ta đã tạo được một loại kết cấu hút âm mới, có thể sử dụng trong các công trình

hiện đại, đó là các kết cấu đục lỗ hút âm theo nguyên tắc cộng hưởng không khí (hình 3.13a). Mỗi một lỗ và thể tích không khí phía sau nó, tuy không có các thành phân chia nhưng làm việc giống như một ống cộng hưởng, còn lớp vải dán ngoài (hoặc trong) có vai trò làm tăng ma sát.

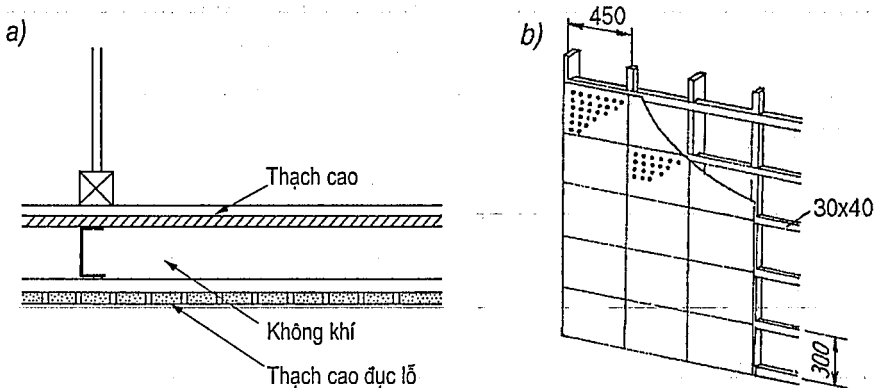


Hình 3.13. Kết cấu cộng hưởng không khí hiện đại (a) và đặc tính hút âm (b)

Khi điều chỉnh các thông số của lỗ và lớp không khí, chúng ta có thể điều chỉnh phạm vi tần số hút âm (hình 3.13b). Các tấm đục lỗ có thể làm bằng gỗ, kim loại, nhựa, thạch cao trộn bông thủy tinh hoặc bông khoáng v.v... Trên bề mặt các tấm có thể đục lỗ hay xẻ rãnh. Trên hình 3.14 là các tấm đục lỗ ba lớp sử dụng ở Cung văn hoá khoa học Vacsava và đặc điểm hút âm của nó [29]. Còn trên hình 3.15 là cấu tạo các tấm thạch cao đục lỗ cho trần và tường.



Hình 3.14. Tấm đục lỗ ba lớp ở cung văn hoá khoa học Vacsava: a) Cấu tạo; b) Đặc điểm hút âm



Hình 3.15. Cấu tạo các tấm thạch cao cho trần (a) và tường (b)

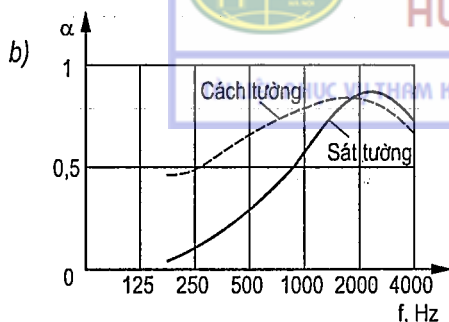
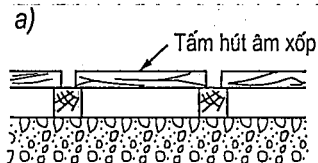
3.2.4. Kết cấu hút âm phối hợp

Ba loại kết cấu hút âm nói trên có khả năng hút âm mạnh ở ba vùng tần số khác nhau:

- Vật liệu xốp hút âm ở vùng tần số cao;
- Các tấm dao động hút âm ở vùng tần số thấp.
- Các tấm đục lỗ hút âm ở vùng tần số trung bình.

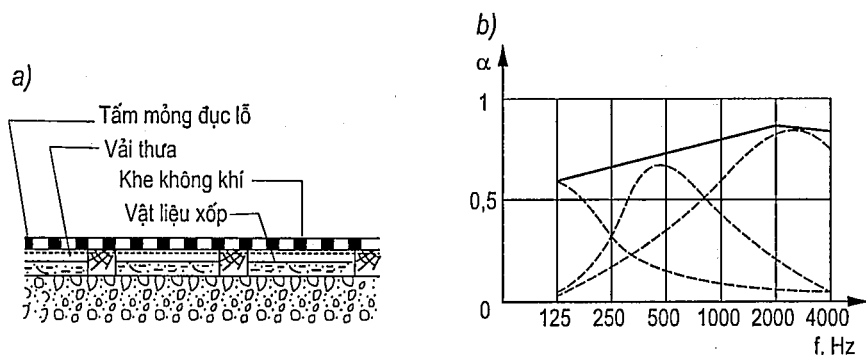
Nếu phối hợp chúng lại với nhau ta sẽ được một loại kết cấu mới có khả năng hút âm mạnh trong một vùng tần số rộng hơn.

Kiểu 1. Đặt các tấm bằng vật liệu xốp (tấm ép mềm) cách tường một lớp không khí (hình 3.16a) khả năng hút âm ở tần số thấp tăng lên nhờ hiệu quả dao động của tấm (hình 3.16b).



Hình 3.16. Tấm vật liệu xốp đặt cách tường (a) và đặc tính hút âm của nó (b)

Kiểu 2. Mặt ngoài là tấm mỏng đục lỗ, phía sau đặt vật liệu xốp cách tấm đục lỗ một khe không khí. Phía sau tấm mỏng đục lỗ có thể dán thêm một lớp vải. Khả năng hút âm của kết cấu tăng lên và mở rộng rõ rệt (hình 3.17).



Hình 3.17. Tấm đục lỗ - vật liệu xốp và khe không khí
a) Cấu tạo; b) Đặc tính hút âm

Khi sử dụng kết cấu phối hợp kiểu 2 cần lưu ý:

- Khả năng phối hợp ba tính chất hút âm của ba loại kết cấu nói trên chỉ xảy ra khi diện tích các lỗ hở trên bề mặt kết cấu tương đối nhỏ (diện tích lỗ dưới 20% so với diện tích bề mặt).

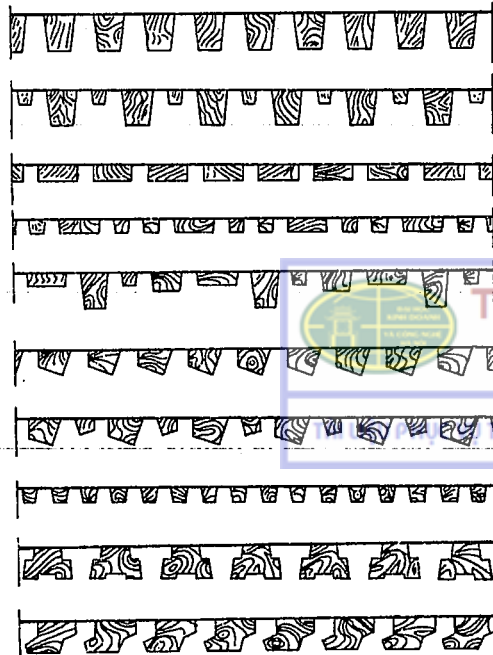
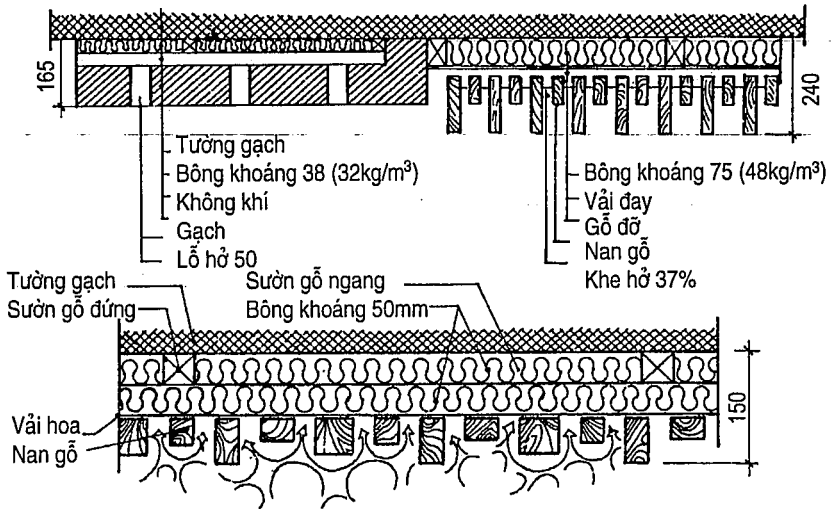
- Khi diện tích các lỗ hở lớn, tấm đục lỗ sẽ không tham gia vào cơ chế hút âm mà chỉ làm nhiệm vụ của một tấm che mặt ngoài, bảo vệ lớp vật liệu hút âm xốp. Khi đó kết cấu chỉ hút âm như một vật liệu xốp được sử dụng trong kết cấu.

Trên hình 3.18 giới thiệu các giải pháp tạo bề mặt kết cấu hút âm phối hợp kiểu 2.

Áp dụng các nguyên tắc hút âm của các kết cấu kể trên, người ta còn chế tạo nên các khối hút âm - đó là những khối có dạng hình hộp, hình cầu, hình nón hoặc kiểu tấm mỏng (xem hình 3.19), thường hay sử dụng trong nhà công nghiệp, treo trên trần hoặc trực tiếp trên các nguồn ồn. Khả năng hút âm của các khối hút âm sẽ lớn hơn các bề mặt do diện tích tăng lên và nhờ hiện tượng nhiễu xạ của âm thanh.

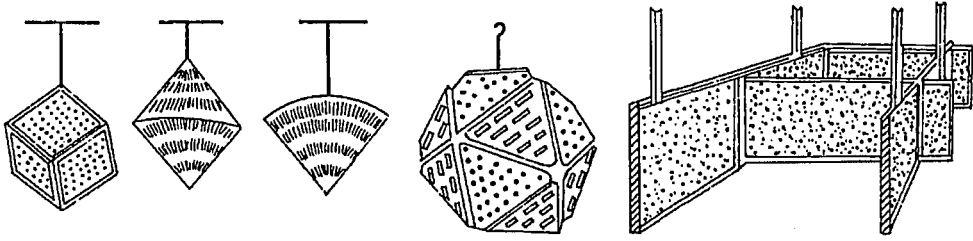
Cuối cùng chúng ta chú ý rằng các ghế ngồi trong phòng thính giả, nhạc công với nhạc cụ, các bàn học, bàn vẽ trong phòng và chính thính giả cũng là những vật hút âm đơn lẻ, có thể làm thay đổi đáng kể âm vang trong

phòng. Chính vì vậy các ghé mềm hút âm phải được chế tạo sao cho khả năng hút âm của nó giống nhất với khả năng hút âm của một thính giả, nhờ đó giảm bớt được sự thay đổi âm vang của phòng khi có số lượng thính giả vắng mặt.



25 0 50 75 100mm

Hình 3.18. Các giải pháp bề mặt kết cấu hút âm phối hợp



Hình 3.19. Các khối hút âm đơn lẻ

Đặc tính tần số hút âm của các vật liệu và kết cấu hút âm thường dùng giới thiệu trong PL.1.



Chương 4

THIẾT KẾ ÂM HỌC CÁC PHÒNG THÍNH GIẢ

Nội dung thiết kế âm học các phòng thính giả gồm các vấn đề sau đây:

- Xác định tỷ lệ kích thước, thể tích phòng hợp lý về âm học.
- Thiết kế các chi tiết kiến trúc lớn trong phòng (như sân khấu, hố nhạc, sàn dốc, ban công...) có lợi về âm học.
- Thiết kế hình dạng nội thất phòng và chọn vật liệu (phản xạ và hút âm) cho các bề mặt trần và tường phòng thính giả theo yêu cầu âm học.
- Kiểm tra sự xuất hiện của các hiện tượng xấu về âm học trong phòng, như tiếng dội (tiếng dội nhai, tiếng dội khó chịu, tiếng dội lặp lại), hội tụ âm thanh, méo tiếng và đưa ra các giải pháp xử lý.
- Đánh giá và điều chỉnh thiết kế đã có thông qua các chỉ tiêu âm học:
 - + Phân bố mức âm và độ rõ trong phòng.
 - + Mức và thời gian trễ của các phản xạ có ích.
 - + Thời gian âm vang của phòng.

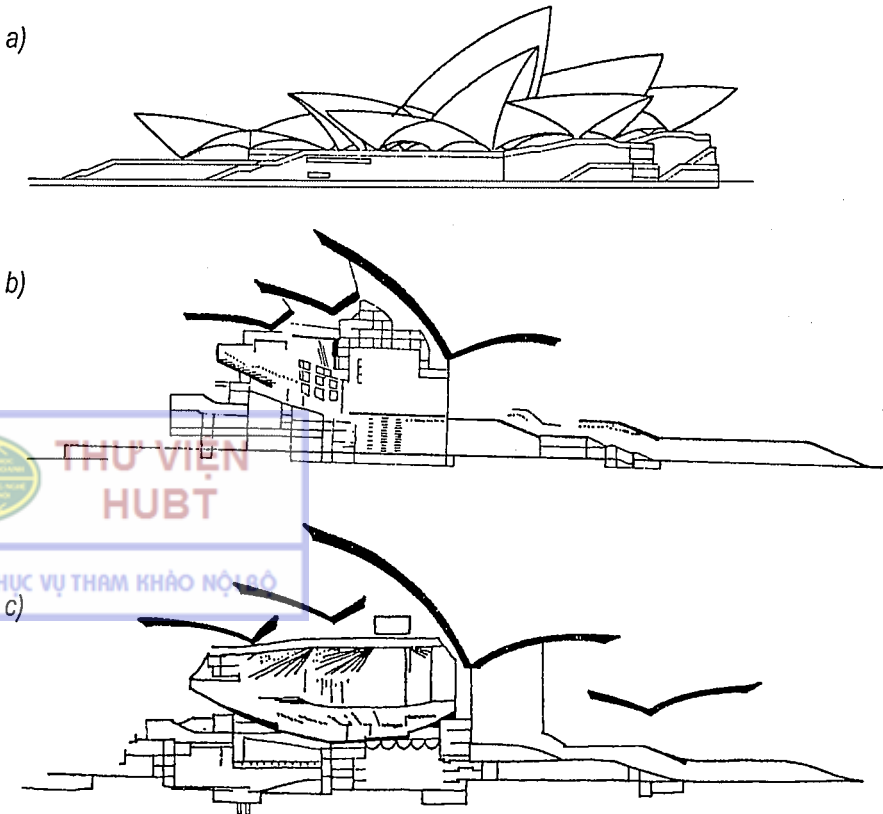
Các giải pháp âm học phải phù hợp với giải pháp kiến trúc - nội thất, đồng thời cùng với giải pháp chiếu sáng (chiếu sáng phòng thính giả và chiếu sáng sân khấu), điều hòa không khí tạo được một không gian hài hoà, thống nhất, hấp dẫn và tiện nghi.

4.1. HÌNH DẠNG PHÒNG THÍNH GIẢ

Nhiều thập kỷ trước đây các nhà thiết kế chờ đợi sự phát triển của âm học kiến trúc sẽ tìm được một "tỷ lệ vàng âm học" cho kích thước các phòng thính giả, tương tự như tỷ lệ vàng trong kiến trúc. Nhưng chính sự phát triển của âm học kiến trúc sau gần một thế kỷ lại khẳng định một kết luận ngược lại: *Không có một hình dạng lý tưởng cho các phòng thính giả* [44]. Kết luận này cần phải được nhìn nhận từ hai phía:

Từ phía sáng tạo kiến trúc - đó là điều đáng mừng vì nó cho phép người thiết kế được hoàn toàn tự do tìm tòi sáng tạo các không gian nội thất phòng thính giả.

Từ phía âm học kiến trúc - điều đó không có nghĩa là không có những tỷ lệ, hình dạng xấu, bất lợi về âm học, thậm chí có thể đưa đến những hậu quả nghiêm trọng không thể sửa chữa được về chất lượng âm thanh. Mặt khác kết luận trên cũng cho thấy, không phải hình khối chính của công trình (vỏ nhà) mà hình dạng các bề mặt tạo không gian nội thất mới có vai trò quyết định sự hình thành trường âm, nghĩa là quyết định chất lượng âm thanh các phòng. Ví dụ các cánh buồm rất quyến rũ của nhà hát ôpêra Sydney nổi tiếng hoàn toàn độc lập với hình dạng nội thất các phòng thính giả và hoàn toàn không đóng góp gì cho sự hình thành trường âm trong các phòng này (xem hình 4.1).



Hình 4.1. Nhà hát ôpêra Sydney (Australia) Kts. Jorn Utzon:
a) Nhìn từ phía Đông; b) Mặt cắt dọc nhà hát; c) Mặt cắt dọc phòng hòa nhạc.
(mặt bằng và nội thất xem PLA.1)

Từ nhận thức này chúng tôi không đi theo hướng phân tích ưu khuyết điểm của mỗi dạng mặt bằng, mặt cắt các phòng thính giả để người thiết kế bắt buộc phải tuân theo, mà theo hướng *phân tích các giải pháp có lợi về âm học để người thiết kế vận dụng và sáng tạo trong thiết kế của mình, làm cho công trình đạt được sự hoàn hảo và thống nhất cả hai yêu cầu kiến trúc và âm học.*

4.1.1. Các nguyên tắc cơ bản chọn hình dạng phòng

1. Nguyên tắc đầu tiên

Xuất phát từ lý thuyết sóng, yêu cầu phòng phải có một phổ tần số riêng đủ dày đặc, cùng dao động và tắt dần với tốc độ như nhau [37]. Để đạt được yêu cầu này ta phải:

- Lựa chọn các kích thước của phòng không được là bội số của nhau.
- Loại trừ hiện tượng sóng đứng, xuất hiện khi phòng có hai bề mặt song song và phản xạ mạnh âm thanh.

Hai biện pháp cụ thể vừa nêu có ý nghĩa đặc biệt quan trọng đối với các phòng có kích thước nhỏ, như studio âm thanh trong đài phát thanh truyền hình.

2. Nguyên tắc thứ hai

Tỷ lệ và kích thước của phòng phải thể hiện được quan hệ giữa người biểu diễn và người nghe, cụ thể là các vấn đề sau đây:

- Quan hệ giữa nhìn và nghe: vừa đạt được tốt nhất cả nhìn và nghe, vừa đạt được sự đồng bộ giữa chúng. Dựa vào quan hệ này mà tiêu chuẩn thiết kế của nhiều nước quy định chiều dài các phòng nghe trực tiếp và chiếu phim không nên vượt quá 40m.

- Xét tới sự hạn chế của công suất nguồn âm: kích thước quá rộng và quá dài là bất lợi cho các phòng nghe trực tiếp có công suất của nguồn âm nhỏ (như tiếng của một diễn viên, một độc tấu).

- Xét tới tính có hướng của nguồn âm: tiếng của diễn viên có tính định hướng rõ rệt (xem hình 1.40), còn đối với các nhạc cụ, tính định hướng lại thay đổi rất nhiều phụ thuộc đặc điểm phát âm của chúng (xem [48]). Phần lớn sân diễn nằm ở một phía của phòng thính giả (trừ các sân vận động, nhà thi đấu và một số phòng hòa nhạc), vì vậy kích thước chiều rộng của phòng phải xét tới đặc điểm này, bởi vì sự lan truyền tốt âm trực tiếp có vai trò quan trọng để nâng cao độ rõ và bảo đảm tính trung thực của âm thanh.

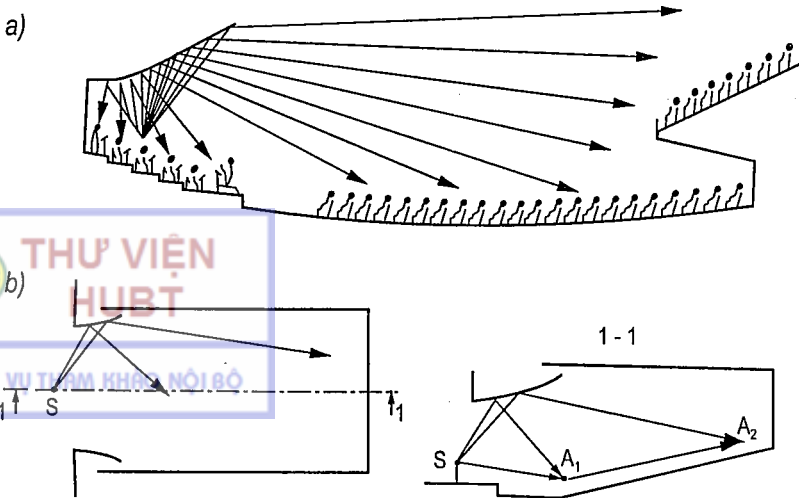
3. Nguyên tắc thứ ba

Cần chú ý khi sử dụng các mặt trần và tường vì chúng có thể tạo ra các hiện tượng âm thanh xấu trong phòng như hội tụ âm, tiếng dội nhại tiếng, tiếng dội lặp lại. Đặc biệt phải hết sức thận trọng khi sử dụng các mặt cong lõm trong phòng, bởi vì các mặt này gây bất lợi về âm học nhiều hơn là có lợi.

4. Nguyên tắc thứ tư

Khi tìm giải pháp nội thất kiến trúc âm thanh phòng thính giả người ta thường chia không gian phòng thành hai phần:

- Không gian sân khấu và cận sân khấu (cả trần và tường), phần chủ yếu phải được sử dụng để bổ sung năng lượng âm phản xạ cho các chỗ ngồi xa, đặc biệt các chỗ ngồi ở cuối phòng và cuối ban công (trừ các phòng chiếu phim), đồng thời một phần năng lượng phản xạ được đưa tới các diễn viên và nhạc công trên sân khấu, để họ có thể nghe được tiếng của mình và của bạn diễn, nhờ đó có thể điều chỉnh âm lượng cho phù hợp với âm vang chung của dàn diễn hay dàn nhạc (hình 4.2).



Hình 4.2. Giải pháp không gian sân khấu cho phòng hòa nhạc (a) và không gian cận sân khấu cho nhà hát kịch (b)

- Không gian còn lại của phòng thính giả tùy theo chức năng của phòng mà có thể xử lý theo các hướng sau đây:

+ Tạo một trường âm phản xạ phân bố đồng đều tới mọi chỗ ngồi của thính giả trong phòng. Biện pháp này thường áp dụng cho các hội trường, phòng họp, nhà hát... các phòng nghe tiếng nói là chủ yếu.

+ Tạo một trường âm khuếch tán cao, ví dụ bằng các cấu tạo phân chia chu kỳ (xem chương 2, mục 2.5.2). Biện pháp này thường áp dụng cho các phòng hòa nhạc.

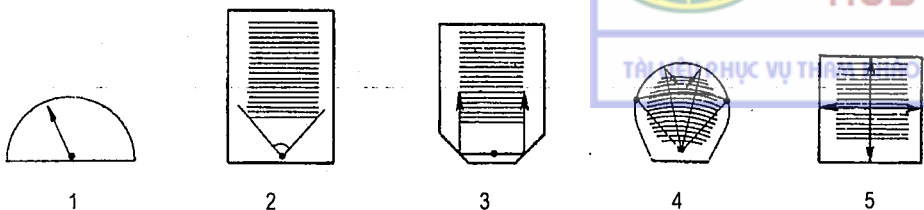
+ Đạt được thời gian âm vang tốt nhất theo chức năng của phòng nhờ xử lý vật liệu hút âm.

+ Các giải pháp nội thất âm thanh lựa chọn, đồng thời phải phối hợp tốt với giải pháp chiếu sáng, màu sắc để tạo nên một không gian kiến trúc phong phú và hấp dẫn.

4.1.2. Hình dạng mặt bằng

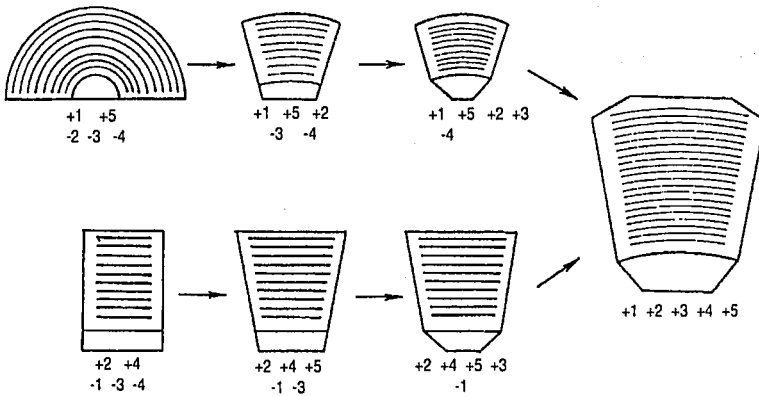
Từ các nguyên tắc cơ bản nêu trên, K. Hanus đã đề nghị năm yêu cầu cần phải thỏa mãn khi phân tích mặt bằng các phòng [44] (xem hình 4.3).

1. Khoảng cách giữa nguồn âm và người nghe phải nhỏ nhất.
2. Góc bao giữa nguồn âm và các chỗ ngồi bên phải nhỏ để xét tới tính định hướng của nguồn âm.
3. Các tường gần nguồn âm phải tạo được các phản xạ âm có lợi cho thính giả.
4. Tránh các mặt cong lõm tạo nên hội tụ âm ở chỗ ngồi thính giả.
5. Khử các tiếng dội phản xạ nhiều lần (tiếng dội lặp lại) của hai tường song song khi các tường khác hút âm mạnh.



Hình 4.3. Năm yêu cầu đối với mặt bằng các phòng thính giả

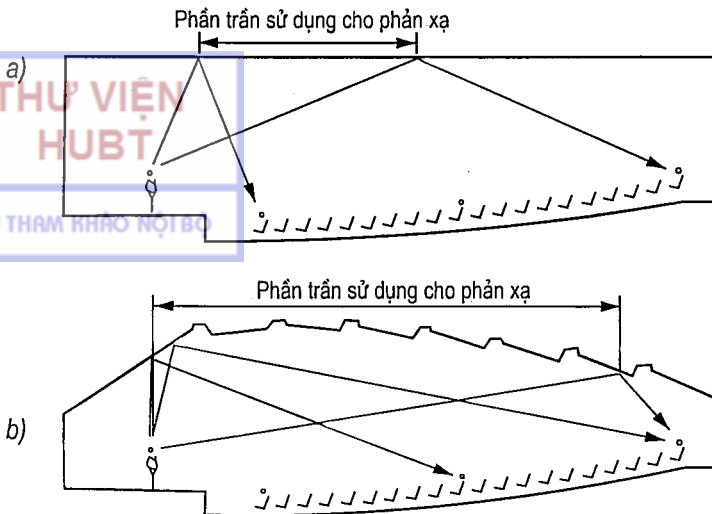
Theo K. Hanus sự phát triển của các dạng mặt bằng hiện đại, từ dạng mặt bằng của nhà hát cổ Hy Lạp và dạng chữ nhật đơn giản là nhằm thỏa mãn các yêu cầu nói trên (hình 4.4).



Hình 4.4. Quá trình hoàn thiện ý đồ sáng tác mặt bằng phòng thính giả
 Dấu + yêu cầu thỏa mãn; Dấu - yêu cầu không thỏa mãn

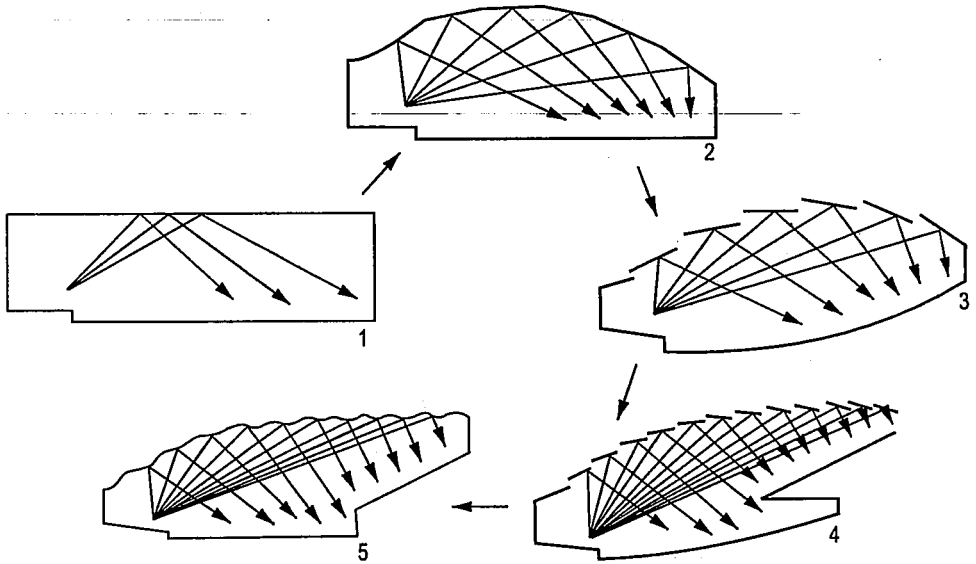
4.1.3. Hình dạng mặt cắt

Xét về mặt lợi dụng năng lượng âm phản xạ thì dạng trần phẳng của phòng hình hộp chữ nhật chỉ sử dụng được một phần diện tích, nhỏ hơn nhiều so với dạng trần nếp gấp hạ thấp dần độ cao về phía cuối phòng (xem mặt cắt phòng thính giả trên hình 4.5). Phát triển hướng nghiên cứu này chúng ta có thể tìm thấy những dạng trần có lợi nhất cho sự phân bố đều năng lượng âm phản xạ tới các chỗ ngồi thính giả. Các dạng phòng từ 1 đến 5 (hình 4.6) tạo được sự phân bố năng lượng âm phản xạ đều dần và đạt đến một trường âm khuếch tán gần với lý tưởng.

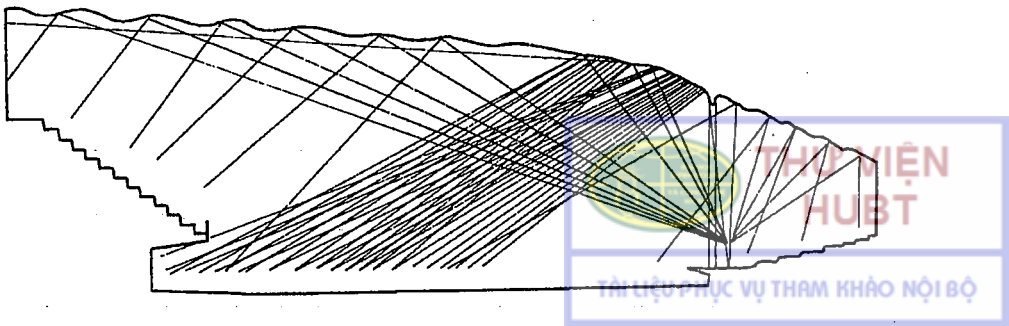


Hình 4.5. So sánh diện tích sử dụng năng lượng âm phản xạ của trần phẳng (a) và nếp gấp (b)

Phòng hòa nhạc thành phố Freiburg (CHLB Đức) có thể coi là một ví dụ áp dụng dạng phòng 5 (hình 4.6) vào thực tế (xem hình 4.7). Chú ý sự tăng dần chiều sâu của sóng trần về phía tường sau nhằm tạo độ nghiêng lớn dần cho các âm tần số cao phản xạ tới các thính giả ngồi ở cuối phòng.



Hình 4.6. Nghiên cứu phát triển các dạng mặt cắt phòng có lợi về âm học



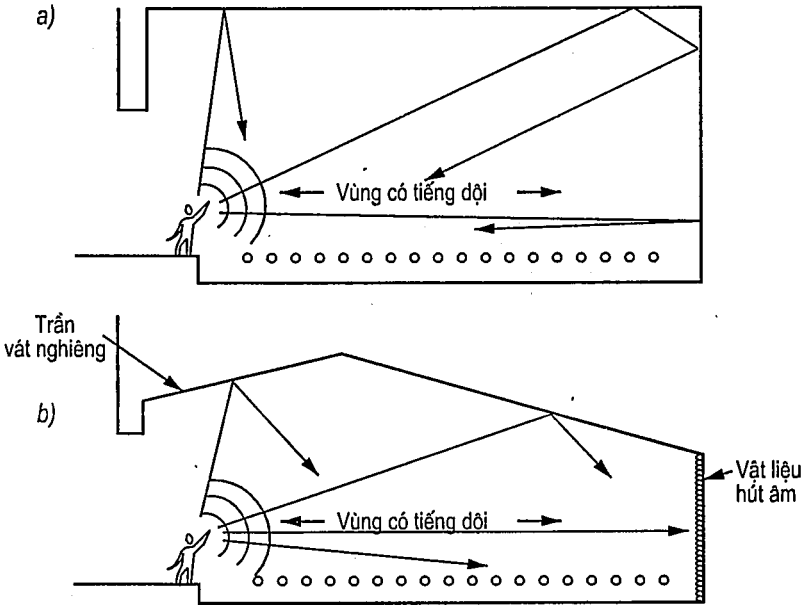
Hình 4.7. Mặt cắt phòng hòa nhạc thành phố Freiburg (CHLB Đức)

4.1.4. Kiểm tra để phát hiện và xử lý các hiện tượng âm thanh xấu trong phòng

1. Tiếng dội

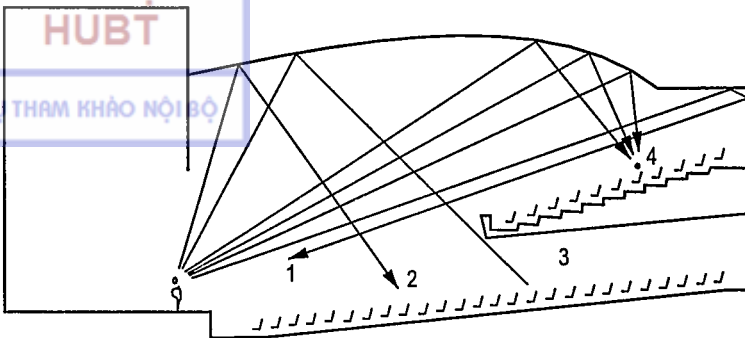
Trong các phòng thính giả lớn, có trần cao, tiếng dội nhai và tiếng dội khó chịu có thể tạo thành khi âm phản xạ từ trần đến thính giả ngồi phía

trước (xem hình 4.8a). Bằng cách vát nghiêng trần, đổi hướng phản xạ, chúng ta có thể tránh được hiện tượng này (hình 4.8b).



Hình 4.8. Sự hình thành tiếng dội (a) và biện pháp xử lý (b)

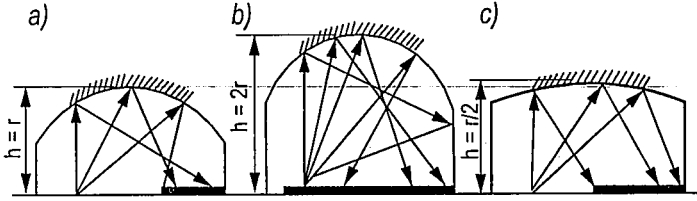
Âm thanh phản xạ liên tục từ trần, tường sau (hoặc tường lan can ban công) có thể trở về các thính giả phía trước với thời gian trễ lớn gây ra tiếng dội khó chịu (hình 4.9). Để khắc phục hiện tượng này có thể sử dụng vật liệu hút âm mạnh bố trí trên tường sau và lan can ban công phòng thính giả.



Hình 4.9. Các hiện tượng âm thanh xấu xuất hiện trong phòng:
1 và 2 - tiếng dội; 3 - bóng âm ; 4- hội tụ âm

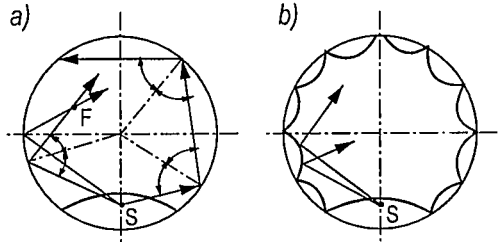
2. Hội tụ âm

Trên hình 4.9 cũng cho thấy có thể xảy ra hội tụ âm khi mặt trần có dạng cong lõm (vị trí 4). Để khắc phục hiện tượng này có thể điều chỉnh hợp lý bán kính cong so với chiều cao của phòng (hình 4.10) hoặc sử dụng các cấu kiện chu kỳ dạng cong lồi (hình 4.11).



Hình 4.10. Tránh hội tụ âm (a) bằng cách thay đổi bán kính mặt cong (b và c)

Hình 4.11. Hiện tượng hội tụ âm và âm đi ven phòng khi mặt bằng phòng có dạng cong lõm (a) và cách khắc phục (b)



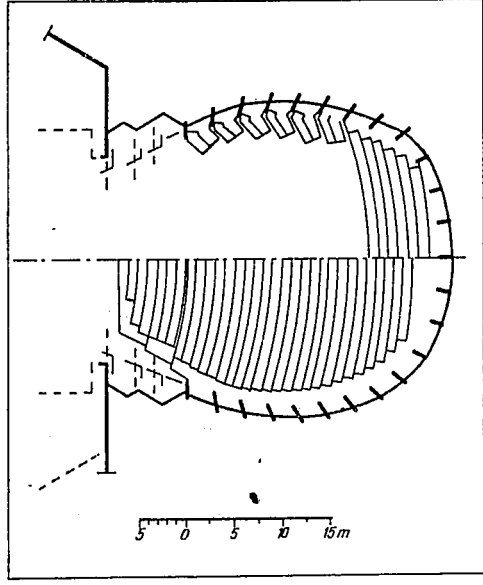
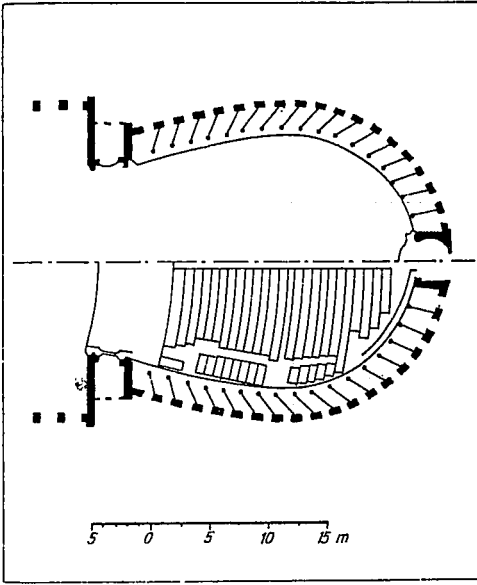
Các nhà hát cổ thường có dạng mặt bằng hình elip, móng ngựa hoặc tròn. Nhưng thật ra dạng cong lõm của mặt bằng đã hoàn toàn bị phá vỡ nhờ cấu tạo nhiều tầng ban công, hoặc các phòng nhóm (các ghế lô), nhờ thế không những tránh được hậu quả xấu về âm thanh đã nêu mà còn góp phần tạo được một trường âm khuếch tán cao trong phòng (hình 4.12, 4.13).

4.1.5. Trở lại vấn đề tỷ lệ kích thước và thể tích trong phòng thính giả

1. Tỷ lệ kích thước

Dù rằng không có một tỷ lệ vàng trong âm học kiến trúc, như chúng ta đã khẳng định ở đầu chương này, thì khi thiết kế, chúng ta vẫn phải chọn một tỷ lệ kích thước cho đồ án của mình và nếu xác định nó không thích hợp sẽ gây bất lợi cho trường âm trong phòng.

Vấn đề tỷ lệ phòng đã được nghiên cứu từ những năm 1930 và 1940, khi áp dụng lý thuyết sóng của âm thanh cho âm học phòng, và còn được tiếp tục trong những năm sau này. Một số kết quả nghiên cứu theo lý thuyết sóng chúng tôi đã giới thiệu ở chương 2 (mục 2.5.1). Trong bảng 4.1 là tám tỷ lệ phòng hay được nhắc tới trong kiến trúc và trong âm học kiến trúc [11, 22].



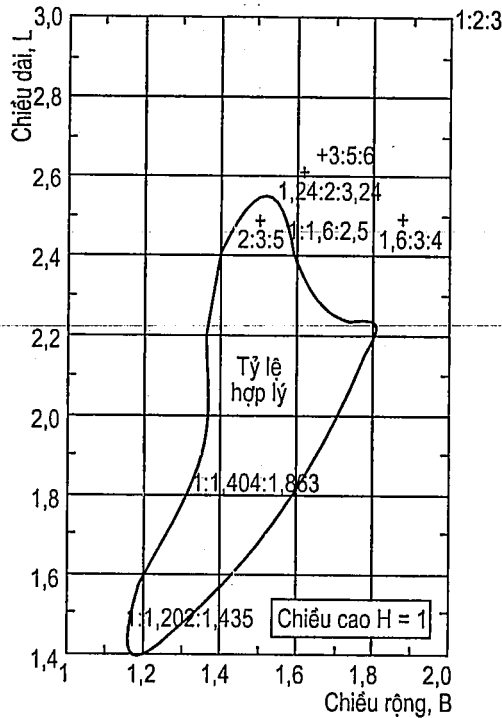
Hình 4.12. Mặt bằng hình móng ngựa nhà hát Alla Scala, Milan, Italy (sức chứa 2689 chỗ, 1778, Kts. G. Piermarini)

Hình 4.13. Mặt bằng nhà hát opera của National arts centre, Ottawa, Canada (sức chứa 2300 chỗ, 1969, Kts. A.D.Dimakopoulos Lebensold)

Bảng 4.1. Các tỷ lệ phòng thường gặp

Tỷ lệ H : B : L	Tên gọi hoặc tác giả
1 : 2 : 3	Tỷ lệ hài hòa
1,6 : 3 : 4 hay 1 : 1,88 : 2,5	V.O. Knudsen
3 : 5 : 8 hay 1 : 1,67 : 2,67	Tỷ lệ châu Âu
1 : 1,6 : 2,5	J.E.Volkman
2 : 3 : 5 hay 1 : 1,5 : 2,5	P.E. Sabine
$(\sqrt{5} - 1) : 2 : (\sqrt{5} + 1)$ hay 1 : 1,62 : 2,62 (1,236 : 2 : 3,236)	Tỷ lệ vàng
1 : 1,202 : 1,435	R. Lamoral
1 : 1,404 : 1,863	(theo lý thuyết sóng)

Không thể nói một tỷ lệ nào tốt hơn các tỷ lệ khác, bởi vì như đã nói trên, không có tỷ lệ tốt nhất cho các kích thước của phòng mà chỉ có một số tỷ lệ có thể coi là được chấp nhận.



Hình 4.14. Vùng tỷ lệ phòng hình hộp chữ nhật chấp nhận theo R.H. Bolt

Trên hình 4.14 là vùng tỷ lệ chấp nhận, được biểu diễn trên biểu đồ nghiên cứu của R.H. Bolt, trên đó cũng đánh dấu các tỷ lệ theo bảng 4.1. Chúng ta nhận thấy chỉ có ba tỷ lệ (của P.E. Sabine và R. Lamoral) là nằm trong vùng tỷ lệ chấp nhận của Bolt.

Khi thiết kế các phòng cho âm nhạc loại nhỏ, nên tham khảo các tỷ lệ nêu trên.

Đối với các studio âm thanh, có thể áp dụng các tỷ lệ dưới đây [48]:

+ Các phòng có $V < 80\text{m}^3 \rightarrow H : B : L = 1 : 1,2 : 1,5$

+ Các phòng có $V \geq 80\text{m}^3 \rightarrow H : B : L = 1 : 1,4 : 1,9$.

2. Thể tích các phòng

Thể tích phòng thính giả có ảnh hưởng đến sự phân bố năng lượng âm, tính khuếch tán của trường âm, và đặc biệt đến thời gian âm vang (công thức 2.9, 2.10) - một chỉ tiêu âm học quan trọng nhất đối với mọi phòng thính giả.

Nếu thể tích phòng quá lớn, âm vang sẽ quá dài, khi đó muốn đạt được thời gian âm vang tốt nhất, cần thiết phải sử dụng rất nhiều vật liệu hút âm. Trong các phòng như vậy, trường âm không còn khuếch tán, âm thanh sẽ mất tính khối. Các nhà âm học gọi các phòng này là "phòng chết", chất lượng âm thanh trong đó không thể đạt tốt được.

Ngược lại, nếu thể tích phòng quá nhỏ, thời gian âm vang của phòng sẽ quá ngắn. Âm thanh nghe trong các phòng này sẽ có cảm giác khô khan, thiếu phong phú, không đạt được trình độ mỹ cảm cần thiết.

Những phân tích ở trên cũng cho thấy, các phòng nghe nhạc, có yêu cầu thời gian âm vang dài, phải có thể tích lớn hơn các phòng nghe tiếng nói, ở đó độ rõ là chỉ tiêu hàng đầu quyết định chất lượng âm thanh.

Để làm số liệu hướng dẫn khi thiết kế các phòng, người ta đưa ra chỉ tiêu thể tích riêng cho mỗi thính giả ($m^3/\text{người}$) đối với các phòng có chức năng khác nhau. Thể tích phòng (V, m^3) khi đó sẽ xác định theo công thức:

$$V = v \cdot N \quad (4.1)$$

trong đó:

- v- chỉ tiêu thể tích riêng, $m^3/\text{người}$;
- N - số lượng thính giả.

Vì thể tích phòng:

$$V = N \cdot s_N \cdot H \quad (4.2)$$

(H - chiều cao trung bình phòng thính giả;

s_N - chỉ tiêu diện tích riêng, $m^2/\text{người}$, có thể lấy $s_N = 0,8m^2/\text{người}$);

do đó ở giai đoạn thiết kế sơ bộ, chúng ta có thể ước lượng chiều cao của phòng thính giả theo công thức:

$$H = \frac{v \cdot N}{N s_N} = \frac{v}{s_N} \quad (4.3)$$

Khi thể tích phòng lấy đúng theo chỉ tiêu thể tích riêng hướng dẫn chúng ta sẽ ít phải sử dụng vật liệu hút âm khi gia công âm học phòng.

Trong bảng 4.2 là chỉ tiêu thể tích riêng tổng hợp từ nghiên cứu của nhiều tác giả [26, 29, 35, 37].

Bảng 4.2. Chỉ tiêu thể tích riêng các phòng thính giả

Loại phòng	V, m ³ /người	
	Hướng dẫn	Tối đa
Giảng đường	3-4,0	4,5
Nhà hát kịch	4-5,0	5,5
Ca kịch, âm nhạc phòng	4,5-5,5	6,5
Phòng hòa nhạc	6-8,0	9,0
Phòng hòa nhạc có dàn organ	6,5-9,5	12,0
Phòng đa năng	5-7,0	8,0
Phòng chiếu bóng	3,5-5,0	5,0

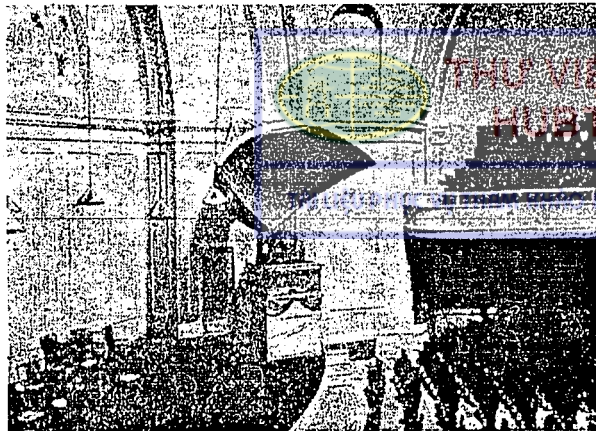
4.1.6. Các chi tiết kiến trúc trong phòng

1. Độ dốc sàn ngồi

Độ dốc sàn ngồi của phòng thính giả có ảnh hưởng rất lớn đến sự lan truyền âm trực tiếp từ nguồn âm đến các chỗ ngồi, nghĩa là có vai trò quyết định đến độ rõ trong phòng. Khi âm thanh lan truyền dọc theo một bề mặt hút âm, một phần năng lượng âm sẽ bị hút bởi bề mặt này. Tia âm càng đi gần bề mặt, sự hút âm xảy ra càng mạnh. Mặt sàn chứa đầy thính giả là một bề mặt hút âm như vậy, làm cho mức âm ở các chỗ ngồi phía sau bị giảm đi đáng kể. Mặt khác sự hút âm của các thính giả phía trước còn xảy ra không đều theo tần số, có thể gây ra sự biến đổi âm sắc khi âm lan truyền đến các chỗ ngồi phía sau.

Có hai giải pháp để giảm bớt ảnh hưởng của hiện tượng này:

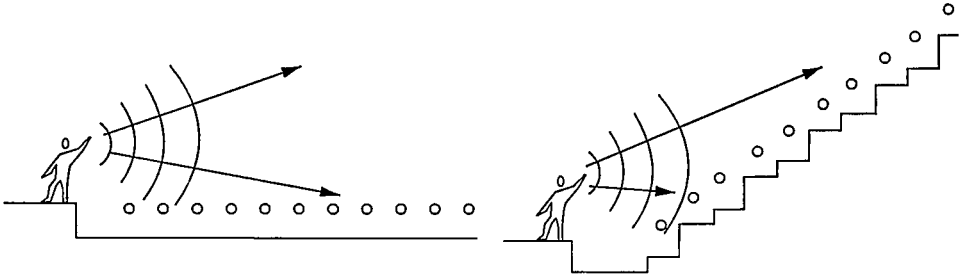
- *Nâng cao vị trí của nguồn âm.* Giải pháp này thường hay áp dụng trong các nhà thờ: do thể tích quá lớn (nên thời gian âm vang khá dài) và nền phòng thường phẳng, nên việc đặt cao bục giảng, kết hợp với



Hình 4.15. Nâng cao vị trí nguồn âm để giảm sự hút âm thính giả

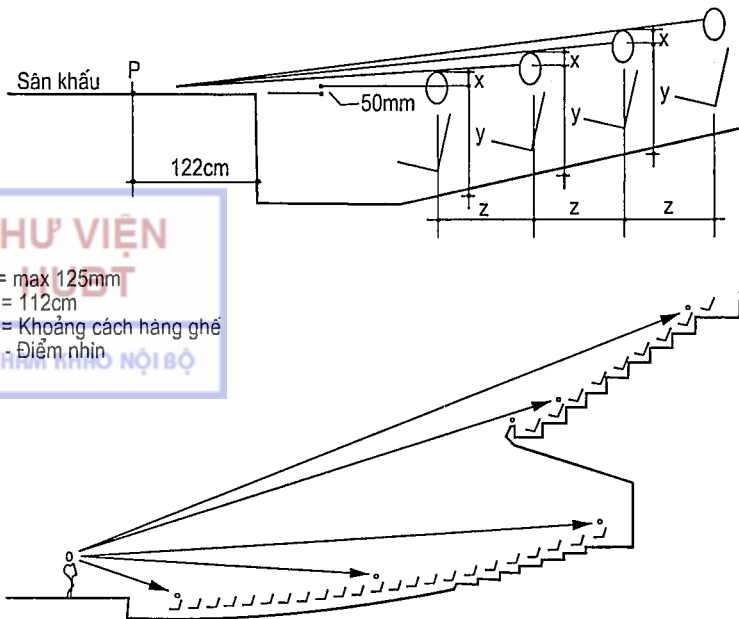
một mái phản xạ âm phía trên gần như là một giải pháp hiệu quả duy nhất để nâng cao độ rõ trong phòng (hình 4.15).

- Giải pháp phổ biến trong các phòng thính giả là *nâng cao độ dốc sàn ngói* (hình 4.16). Độ dốc càng lớn, càng giảm bớt sự hút âm thính giả. Điều này giải thích vì sao trong các giảng đường có độ dốc sàn lớn và tại các hàng ghế đầu tiên của ban công phòng thính giả thường đạt được độ rõ rất cao.



Hình 4.16. Nâng cao độ dốc sàn ngói bảo đảm truyền âm trực tiếp tốt

Độ dốc sàn ngói thường được thiết kế theo yêu cầu nhìn rõ (hình 4.17) có thể coi *mới đạt yêu cầu tối thiểu cho sự truyền âm trực tiếp*. Nếu điều kiện cho phép, nên nâng cao thêm độ dốc sàn ngói.

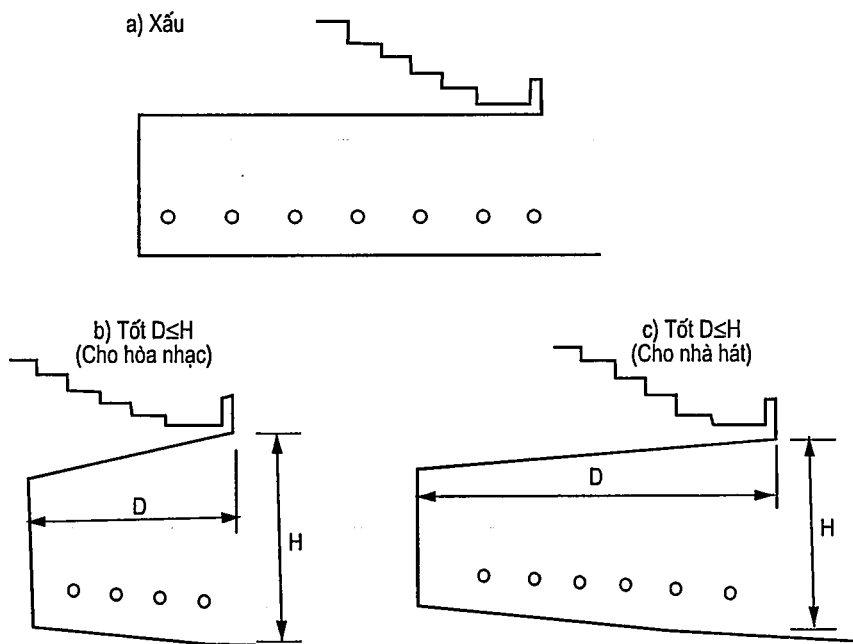


$x = \max 125\text{mm}$
 $y = 112\text{cm}$
 $z = \text{Khoảng cách hàng ghế}$
 $P - \text{Điểm nhìn}$

Hình 4.17. Sàn ngói thiết kế theo yêu cầu nhìn rõ - yêu cầu tối thiểu đối với truyền âm trực tiếp

2. Ban công

Độ mở của ban công (xác định bởi độ cao H , hình 4.18) có ảnh hưởng tới sự thu nhận âm thanh của thính giả ngồi dưới ban công (đánh giá bằng độ sâu D). Nếu độ mở H nhỏ và độ sâu D lớn, thính giả ngồi dưới ban công không thể nhận được các phản xạ âm có lợi từ trần (xem hình 4.9 và hình 4.18a). Trên hình 4.18b, và 4.18c là yêu cầu đối với ban công phòng hòa nhạc và nhà hát ôpera [3]. Theo kinh nghiệm độ mở nên bằng 4 - 4,5m.



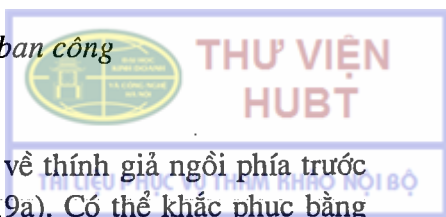
Hình 4.18. Yêu cầu thiết kế ban công

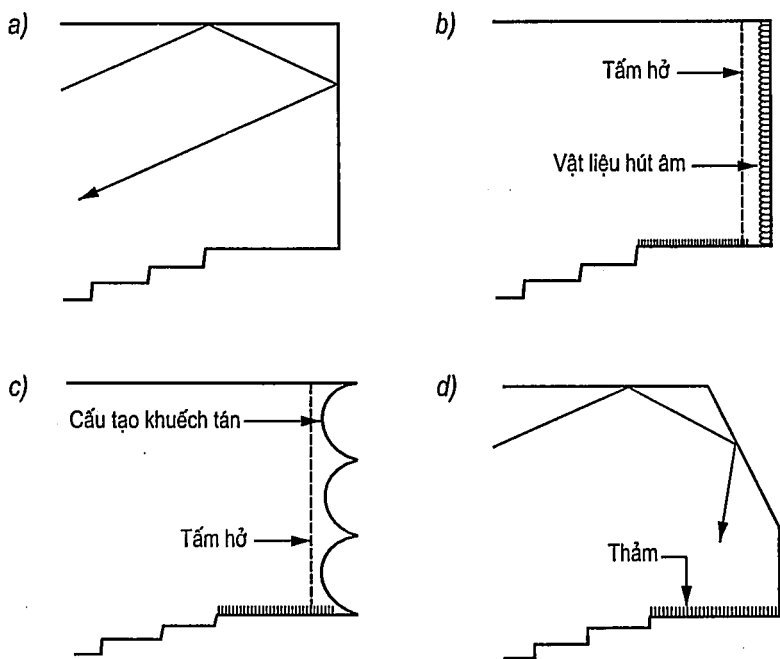
3. Tường sau và lan can ban công

Âm thanh phản xạ từ tường sau dễ quay trở về thính giả ngồi phía trước với thời gian trễ lớn, gây ra tiếng dội (hình 4.19a). Có thể khắc phục bằng cách giải pháp sau đây:

- Dùng vật liệu hút âm mạnh (hình 4.19b).
- Tạo phản xạ khuếch tán (hình 4.19c).
- Tạo phản xạ âm có lợi (hình 4.19d).

Đối với tường lan can ban công cũng xử lý tương tự như đối với tường sau phòng thính giả (giải pháp 4.19b, 4.19c).

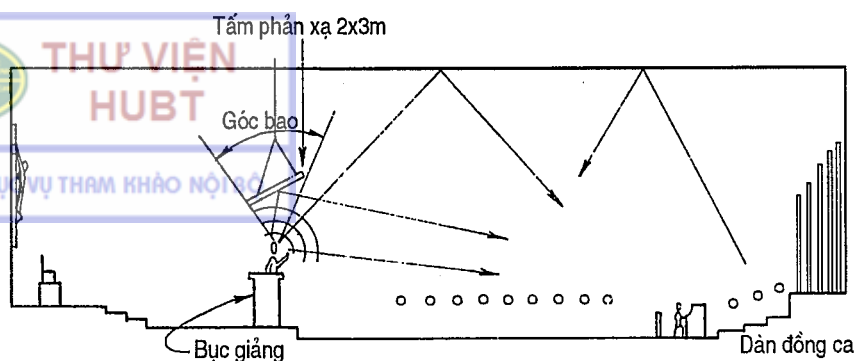




Hình 4.19. Tường sau phòng thính giả: hiện tượng tiếng dội và cách xử lý

4. Thiết kế các tấm phản xạ âm thanh

Các tấm phản xạ được thiết kế theo nguyên lý âm hình học (xem chương 2 mục 2.4) và đặt ở không gian phía trên, gần nguồn âm. Muốn cho các tấm phản xạ đạt được hiệu quả cao nhất, cần phải thỏa mãn các yêu cầu sau đây:



Hình 4.20. Tấm phản xạ âm trong một nhà thờ

- Góc bao của tấm phản xạ (góc đa diện có đỉnh là nguồn âm và các mặt bên chạy theo chu vi tấm phản xạ) càng lớn càng chứa nhiều năng lượng âm

và càng hiệu quả. Điều này có nghĩa là tấm phản xạ càng lớn, càng gần nguồn âm, hiệu quả càng cao. Trên hình 4.20 là tấm phản xạ trên bức giăng trong một nhà thờ.

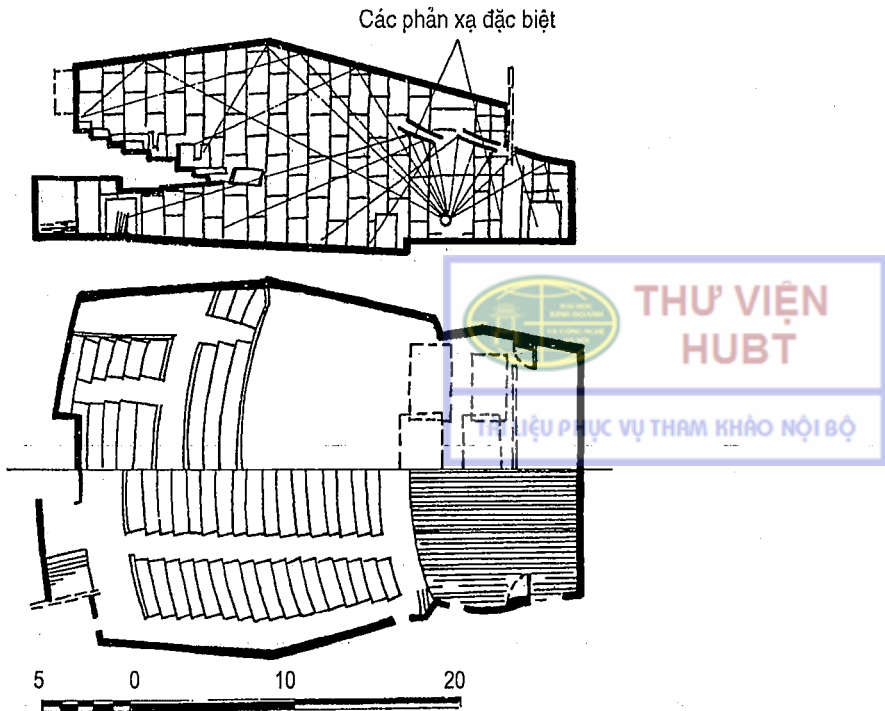
- Kích thước tấm phản xạ phải đủ lớn để phản xạ âm thanh trong một phạm vi rộng tần số.

+ Kích thước tối thiểu: 2 - 3m.

+ Kích thước tốt nhất: 6 - 9m.

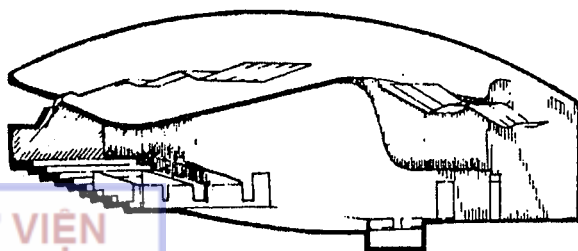
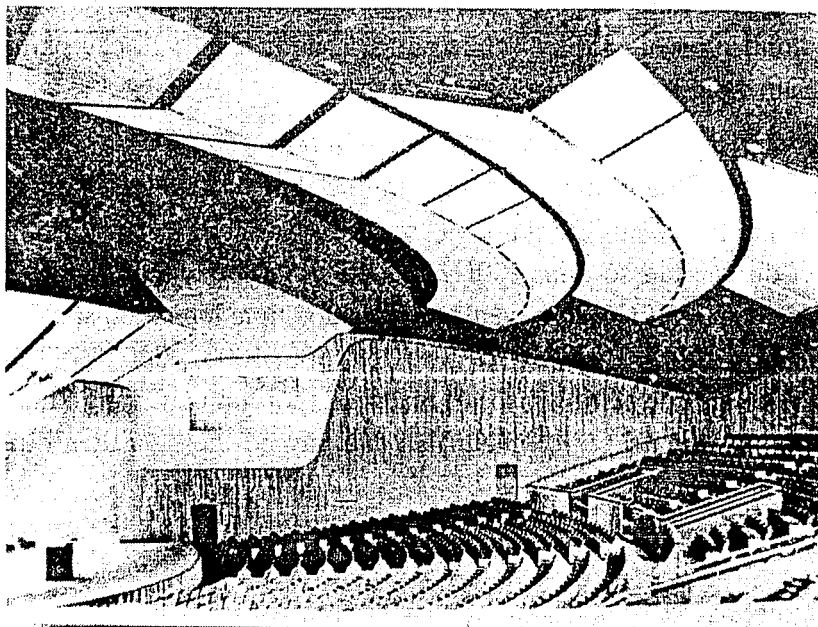
- Vật liệu làm tấm phản xạ phải có hệ số phản xạ âm lớn (hệ số hút âm nhỏ), và đồng đều trong phạm vi tần số của tiếng nói và âm nhạc (từ 50 Hz đến 8000Hz). Các vật liệu thường được sử dụng làm tấm phản xạ là gỗ cứng, gỗ ép từ mùn cưa, vỏ bào... (dày 20 - 30mm), thạch cao nhiều lớp trên lưới sắt (thường trộn với bông thủy tinh để tăng thêm độ cứng), vữa xi măng trên lưới sắt v.v...

- Kết cấu tấm phải vững chắc, không bị dao động và rung động dưới tác dụng của sóng âm.



Hình 4.21. Một phòng hòa nhạc 708 chỗ ngồi ở New York

Trên hình 4.21 giới thiệu một phòng hòa nhạc ở New York với các tấm phản xạ ở không gian gần sân khấu, và trên hình 4.22 là phòng hòa nhạc Cambridge (Mỹ) với một loạt tấm phản xạ ở cả hai phía đầu và cuối phòng.



Hình 4.22. Phòng đa năng (Kresge Auditorium Cambridge, Mỹ) 1233 chỗ.

Kích thước phòng $41 \times 38 \times 19,2m$, sân khấu $16 \times 18m$. (mặt bằng xem hình 4.59)

Các tấm phản xạ không chỉ có ý nghĩa về âm thanh mà còn như những chuỗi trang sức làm đẹp nội thất phòng thính giả.

Cần chú ý khi xác định vị trí và hướng các tấm phản xạ, sao cho thời gian trễ của phản xạ âm đầu tiên (sau âm trực tiếp) trong phạm vi 10 - 15ms (đối với tiếng nói) và 20 - 30 ms (đối với âm nhạc), đồng thời các phản xạ âm thứ 2, 3, 4 trong phạm vi thời gian trễ 50ms để tạo được hiệu quả tăng cường mức âm, nâng cao độ rõ mà không gây ra tiếng dội khó chịu (xem chương 2, mục 2.4.2).

4.2. THIẾT KẾ PHÒNG THEO ÂM VANG

4.2.1. Yêu cầu thiết kế âm vang

Thiết kế âm vang là thiết kế âm thanh quan trọng nhất cho tất cả các phòng thính giả với mọi loại chức năng sử dụng. Hai yêu cầu chính trong thiết kế âm vang là:

* *Yêu cầu 1. Thời gian âm vang theo tính toán của phòng phải đạt xấp xỉ trị số tốt nhất* (tương ứng với chức năng sử dụng và thể tích phòng) trong toàn phạm vi tần số của tiếng nói và âm nhạc. Tuy nhiên do sự hạn chế về kỹ thuật (ví dụ các tần số dưới 100Hz thường dao động mạnh, không thể xác định được hệ số hút âm), nên yêu cầu này được thực hiện theo sáu dải tần số 1 octa, có các tần số trung bình là 125; 250; 500; 1000; 2000 và 4000Hz. Sai số giữa trị số tính toán và trị số tốt nhất của thời gian âm vang không được vượt quá 10% của trị số tốt nhất. Yêu cầu này có thể biểu diễn dưới dạng biểu thức sau:

$$T_f = T_f^{tn} \pm (10\% T_f^{tn}) \quad (4.4)$$

trong đó: T_f và T_f^{tn} - thời gian âm vang tính toán và thời gian âm vang tốt nhất ở cùng một dải tần số.

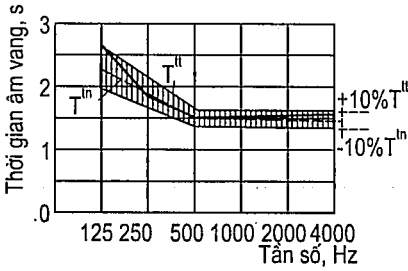
Chú ý:

- Số lượng thính giả có mặt trong phòng có ảnh hưởng lớn đến âm vang. Vì vậy tùy theo tình hình thực tế, yêu cầu 1 cần được đáp ứng khi 75% hoặc 100% thính giả có mặt.

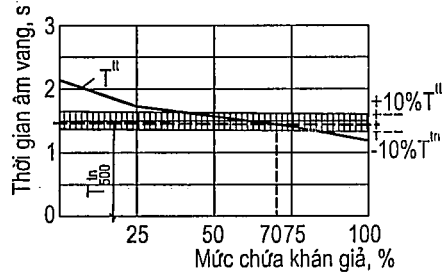
- Đối với các phòng thể tích nhỏ, các phòng nghe tiếng nói, khi tính toán thời gian âm vang có thể bỏ cách tần số, nghĩa là thực hiện tính toán theo ba dải tần số 125; 500 và 2000Hz.

* *Yêu cầu 2. Sự thay đổi âm vang của phòng theo số lượng thính giả có mặt phải được tính toán trước*, ít nhất ở dải tần số trung bình 500Hz (khi 50%, 75%, 100% và 0% thính giả có mặt). Yêu cầu này có ý nghĩa trong quá trình sử dụng phòng và trong gia đình thi công xây dựng công trình.

Hai yêu cầu nói trên có thể biểu diễn dưới dạng biểu đồ đường đặc tính tần số thời gian âm vang (hình 4.23) và thời gian âm vang theo mức chứa thính giả của phòng (hình 4.24).



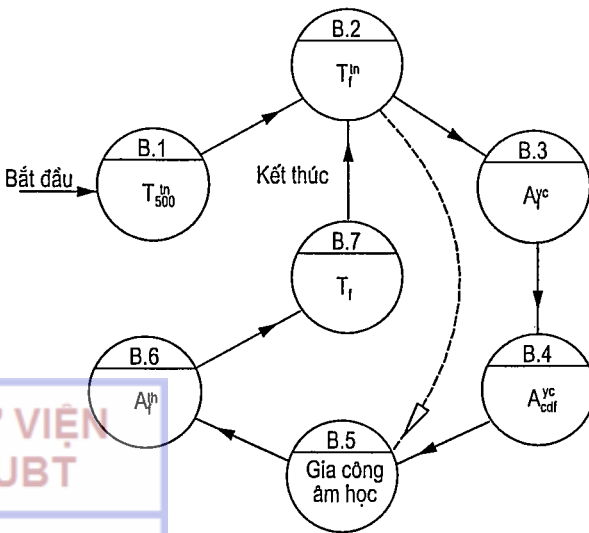
Hình 4.23. Đặc tính tần số thời gian âm vang



Hình 4.24. Thay đổi thời gian âm vang theo mức chứa khán giả

4.2.2. Các bước thiết kế âm vang

Nội dung thiết kế âm vang có thể tiến hành theo các bước thể hiện trên sơ đồ hình 4.25.



Hình 4.25. Sơ đồ các bước thiết kế âm học phòng

Theo sơ đồ hình 4.25 ta tiến hành các bước như sau:

* **Bước 1.** Xác định thời gian âm thanh tốt nhất ở tần số 500Hz (T_{500}^{in}) theo chức năng và thể tích của phòng (sử dụng các biểu đồ 2.10, 2.11 hoặc 2.12).

* **Bước 2.** Xác định đặc tính tần số thời gian âm vang tốt nhất, theo công thức:

$$T_f^{\text{in}} = k_f \cdot T_{500}^{\text{in}}$$

với $k_f = \frac{T_f}{T_{500}}$, xác định theo biểu đồ hình 2.14.

* **Bước 3.** Xác định lượng hút âm yêu cầu của phòng theo các dải tần số âm: A_f^{yc} .

Từ công thức Eyring (2.10) ta có:

$$-\ln(1 - \alpha_{\text{tb}}) = \frac{0,164V}{T_f^{\text{in}} \cdot S}$$

Do đó: $A_f^{\text{yc}} = \alpha_{\text{tb}} \cdot S$

* **Bước 4.** Xác định lượng hút âm yêu cầu của các bề mặt trong phòng theo dải tần số âm: $A_{\text{cd},f}^{\text{yc}}$. Tính toán như sau:

Theo công thức (1.29):

$$A = \sum S_i \alpha_i + \sum a_m N_m$$

gọi: $A_{\text{cd}} = \sum S_i \alpha_i$ - lượng hút âm cố định (của các bề mặt phòng).

$A_{\text{td}} = \sum a_m N_m$ - lượng hút âm thay đổi (của thính giả).

Ta có: $A_f^{\text{yc}} = A_{\text{cd},f}^{\text{yc}} + A_{\text{td},f}$

Do đó: $A_{\text{cd},f}^{\text{yc}} = A_f^{\text{yc}} - A_{\text{td},f}$

A_f^{yc} - xác định ở bước 3.

$A_{\text{td},f}$ - xác định theo số lượng thính giả có mặt và số ghế trống (mức chứa 75% hoặc 100%).

* **Bước 5.** Gia công âm học phòng.

Đây là bước quan trọng nhất, cần phải chọn và bố trí vật liệu hút âm trong phòng cho đạt được (bằng hoặc gần bằng) lượng hút âm yêu cầu đã xác định ở bước 4. Sự phức tạp của công việc là ở chỗ, không chỉ phải có đủ lượng hút âm cho cả sáu dải tần số yêu cầu, mà còn phải có tỷ lệ và vị trí hợp lý giữa phần diện tích phản xạ và diện tích hút âm, tránh các hiện tượng âm thanh xấu có thể xảy ra và tạo được một trường âm khuếch tán cao trong phòng.



Các nguyên tắc chung khi bố trí vật liệu hút âm:

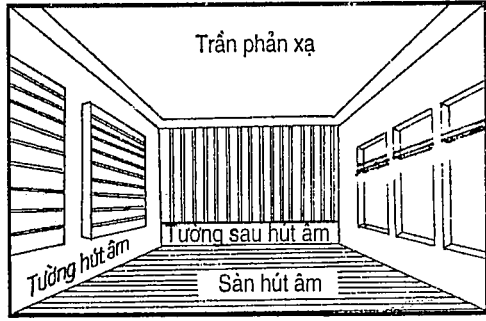
1. Chỉ bố trí vật liệu hút âm trên một trong hai bề mặt song song với nhau. Như vậy:

- Sàn có thính giả là bề mặt hút âm, vậy không nên bố trí vật liệu hút âm trên phần diện tích chính của trần.

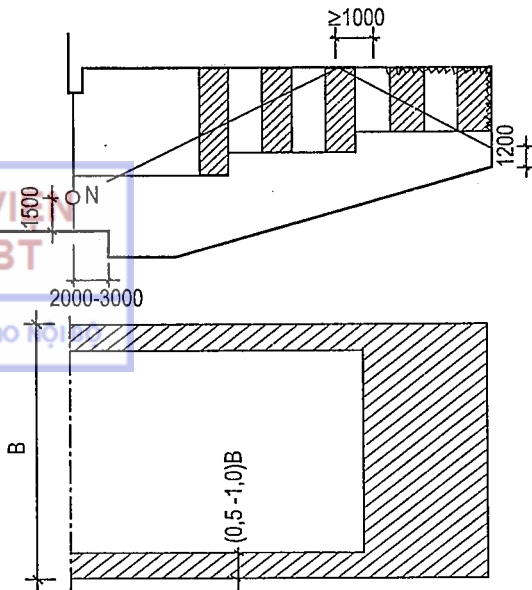
- Trong các lớp học, giảng đường, phòng hội thảo, nên bố trí vật liệu hút âm ở tường sau và tường bên không có cửa sổ (hình 4.26).

2. Tường sau nên bố trí vật liệu hút âm mạnh và đều theo dải tần số để tránh hiện tượng tiếng dội.

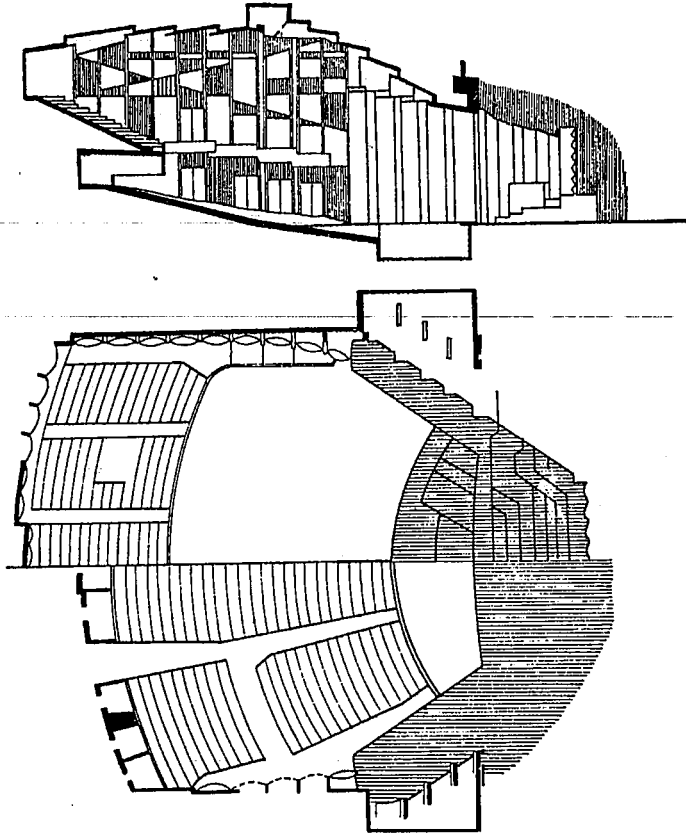
3. Vật liệu hút âm nên chia thành các dải nhỏ và bố trí phân tán ở các tường bên phía trên (ở độ cao 2 - 3m từ mặt sàn), hoặc một phần theo chu vi trần (nếu cần thiết) nhằm tạo được trường âm khuếch tán cao và lợi dụng các phản xạ âm có ích ở phần dưới tường bên (hình 4.27).



Hình 4.26. Bố trí vật liệu hút âm ở tường sau và một tường bên



Hình 4.27. Hướng dẫn bố trí vật liệu hút âm trong phòng (phần gạch chéo và răng cưa)



Hình 4.28. Phòng đa năng (ôpera, nhà hát, hòa nhạc) Salzburg, 2158 chỗ

Trên hình 4.28 giới thiệu phòng đa năng (ôpera, nhà hát, hòa nhạc) Salzburg (Áo) 2158 chỗ.

* **Bước 6.** Xác định lượng hút âm thực của phòng sau gia công âm học theo sáu dải tần số A_f^{th} :

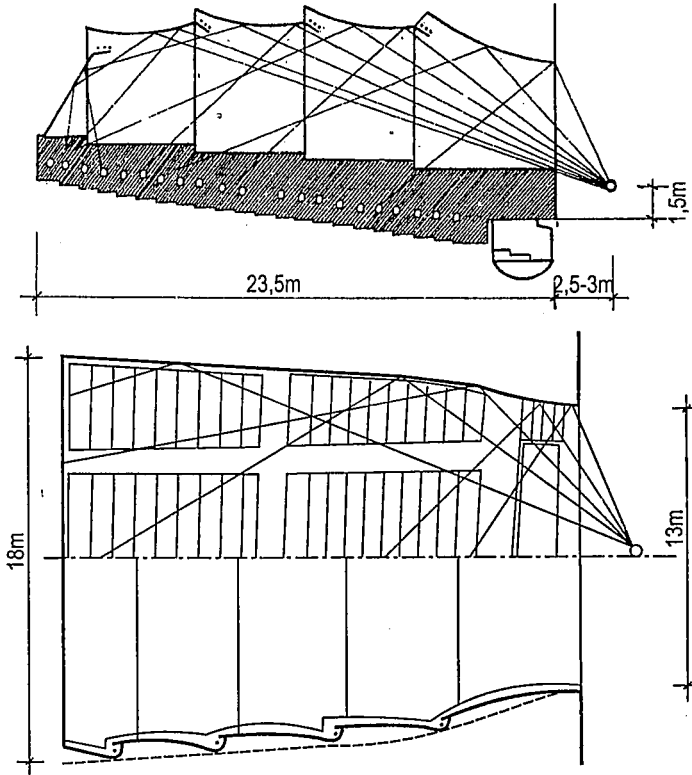
$$A_f^{th} = \sum S_i \alpha_i + \sum a_m N_m$$

* **Bước 7.** Xác định thời gian âm vang của phòng tại sáu dải tần số theo công thức Eyring (công thức 2.10), và so sánh với trị số tốt nhất tương ứng.

Nếu yêu cầu 1 thỏa mãn (sai số không vượt quá 10% T_f^{tn}) là bước gia công âm học đã đạt yêu cầu và tính toán kết thúc. Nếu sai số vượt quá (10% T_f^{tn}) xảy ra ở một số tần số nào đó thì cần tiến hành lại từ chọn vật liệu (bước 5) và tiến hành tiếp tục cho đến khi yêu cầu 1 được thỏa mãn ở tất cả các dải tần số tính toán.



Ví dụ 4.1. Yêu cầu gia công âm học cho một phòng đa năng có 456 chỗ ngồi để đạt được thời gian âm vang tốt nhất. Phòng đã được thiết kế hình dạng nội thất theo nguyên lý âm hình học và giới thiệu trên hình 4.29.



Hình 4.29. Mặt bằng, mặt cắt và mặt trần phòng đa năng 456 chỗ ngồi

Bài giải:

Trước hết cần chia không gian phòng thành các khối hình học đơn giản để xác định chính xác thể tích thông thủy của nó. Theo cách đó ta có:

- Thể tích thực của phòng: $V = 3098\text{m}^3$.
- Thể tích riêng: $v = 6,8\text{m}^3/\text{người}$, phù hợp với hướng dẫn trong bảng 4.2.

Xác định thời gian âm vang tốt nhất ở tần số 500Hz theo chức năng và thể tích phòng:

- Theo biểu đồ hình 2.10 cho phòng đa năng: $T_{500}^{\text{in}} = 1,28\text{s}$.
- Theo biểu đồ hình 2.11 cho nhà hát opera: $T_{500}^{\text{in}} = 1,28\text{s}$.
- Theo biểu đồ hình 2.12, lấy cận dưới âm nhạc: $T_{500}^{\text{in}} = 1,25\text{s}$.

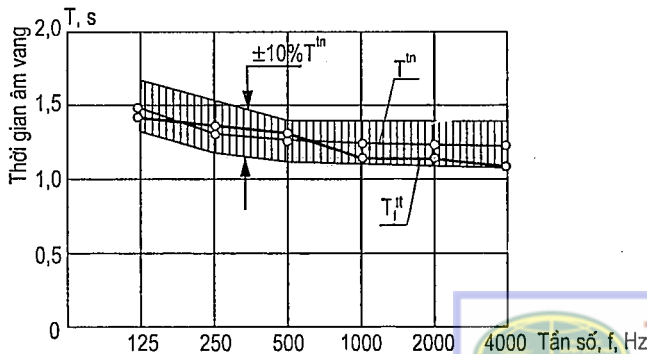
Chọn: $T_{500}^{ln} = 1,25s$.

Thời gian âm vang tốt nhất ở các tần số, lượng hút âm yêu cầu, lượng hút âm thay đổi (tính khi mức chứa của phòng 100% khán giả) và lượng hút âm cố định yêu cầu của phòng xác định trong bảng 4.3 (các bước 2, 3, 4).

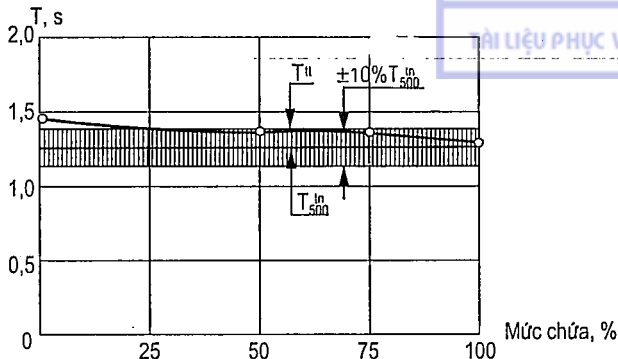
Bảng 4.3. Bảng tính T_f^{ln} , A_f^{yc} , $A_{td,f}$ và A_{cdf}^{yc}

Đại lượng (đơn vị)	Tần số trung bình của dải 1 octa, Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
k_f	1,2	1,1	1	1	1	1
$T_f^{ln} = T_{500}^{ln} \cdot k_f$ (s)	1,50	1,36	1,25	1,25	1,25	1,25
A_f^{yc} (m ²)	299	318	351	351	351	351
$A_{td,f}$ (m ²)	144	137	182,5	205	202	182,5
A_{cdf}^{yc} (m ²)	155	181	169	146	146	169

Gia công âm học phòng, tính toán lượng hút âm của các bề mặt, tính thời gian âm vang thực hiện theo bảng 4.4.



Hình 4.30. Đặc tính tần số thời gian âm vang



Hình 4.31. Thời gian âm vang theo mức chứa thính giả

Bảng 4.4. Bảng tính toán âm học phòng

TT	Kết cấu và vật liệu	Diện tích, m ²	(α_i) và A_i ở các tần số trung bình Hz					
			125	250	500	1000	2000	4000
1	Trần - thạch cao trộn bông thủy tinh trên lưới sắt	347	(0,04) 14	0,05 17,5	0,06 21	0,08 28	0,04 14	0,06 21
2	Tường sau: gỗ ván ép dày 200mm	130	(0,1) 13	(0,1) 13	(0,1) 13	0,08 11,5	0,08 11,5	0,11 16
3	Tường bên phía dưới: gỗ ván ép dày 20mm	144	(0,1) 14,5	(0,1) 14,5	(0,1) 14,5	0,08 11,5	0,08 11,5	0,11 16
4	Lối đi trải thảm len nhân tạo	101	(0,08) 8	(0,08) 8	(0,2) 20	0,26 26	0,27 27	0,27 27
5	Miếng sân khấu (sân khấu nhiều phòng màn)	93.5	(0,3) 28	(0,3) 28	(0,4) 37	(0,4) 37	(0,4) 37	(0,4) 37
6	Miếng hồ nhạc	16	(0,3) 5	(0,3) 5	(0,4) 6,5	(0,4) 6,5	(0,4) 6,5	(0,4) 6,5
7	Lỗ đèn, khe hở tường, trần	30	(0,2) 6	(0,2) 6	(0,3) 9	(0,3) 9	(0,3) 9	(0,3) 9
8	Tường bên phía trên (1): gỗ dán 6mm, bông khoáng 50 sát tường	170	(0,17) 29	(0,26) 44	(0,14) 24	(0,1) 17	(0,09) 15	(0,04) 7
9	Tường bên phía trên (1): gỗ dán 6mm, bông khoáng 50 sát tường	100	(0,55) 55	(0,39) 39	(0,15) 15	(0,12) 12	(0,11) 11	(0,10) 10
	$A_{cd,f}$	1355	172	175	160	157	141	147,5
	$A_f = A_{cdf} + A_{td,f}$	1355	316	312	342,5	362	346	330
	$\alpha_{tb} = A_f/S$	-	0,233	0,230	0,250	0,268	0,256	0,25
	$-S \ln(1 - \alpha_{tb})$	-	360	354,6	395	422,5	402,2	391,5
	nV	-	-	-	-	-	24	63
	T_f	-	1,41	1,43	1,29	1,20	1,19	1,12
	$[(T_f - T_f^{in})/T_f^{in}] \cdot 100\%$	-	7	5	3	4	5	10

Kết luận: Thời gian âm vang của phòng ở các tần số trung bình của dải 1 ôcta đều xấp xỉ thời gian âm vang tốt nhất. Sai số từ 3 đến 10% nằm trong phạm vi cho phép.

Tính sự thay đổi âm vang theo mức chứa thính giả ở tần số 500Hz theo bảng 4.5.

Bảng 4.5. Tính toán thay đổi âm vang theo mức chứa

Đại lượng	Đơn vị	Thay đổi mức chứa thính giả			
		0%	50%	75%	100%
Thính giả, N_{tj}	Người	0	228	342	456
a_{500}	-	0,40	0,40	0,40	0,40
$a_i N_{tj}$	m^2	0	91,2	137	182,5
Ghế mềm, N_{gj}	Ghế	456	228	114	0
a_{500}	-	0,25	0,25	0,25	0,25
$a_i N_{gj}$	m^2	114	57	28,5	0
A_{td}	m^2	114	148,2	165,5	182,5
A_{500}	m^2	2,74	308,2	325,5	342,5
T_{500}	s	1,66	1,45	1,36	1,29

Kết quả tính toán thể hiện trên hai biểu đồ 4.30 và 4.31 cho thấy âm vang của phòng tốt và đồng đều trong phạm vi tần số khảo sát.

Cần lưu ý rằng: Các tính toán thời gian âm vang phòng thính giả không thể tránh khỏi sai số do những nguyên nhân sau đây:

1. Nguyên nhân rất quan trọng là trường âm thực tế trong các phòng không giống như trường âm giả thiết. Các tính toán thường sử dụng công thức Sabine hoặc Eyring với điều kiện giả thiết là trường âm hoàn toàn khuếch tán, mà trong thực tế do hình dạng phòng và cách bố trí vật liệu hút âm có thể không đạt được điều này.

2. Chưa kể hết các bề mặt hút âm trong phòng do tính toán chưa đủ chính xác, hoặc do không thể kể hết các khe lỗ hở trong phòng, nhất là các khe hở thi công ghép nối các bộ phận kết cấu. Để xét đến lượng hút âm còn thiếu này, có tác giả đề nghị thêm một lượng hút âm phụ vào công thức xác định lượng hút âm tổng cộng của phòng (công thức 1.29). Theo nghiên cứu của Viện vật lý xây dựng Liên Xô công thức xác định lượng hút âm sẽ có dạng:

$$A = \sum S_i \alpha_i + \alpha_m N_m + \alpha_p S \quad (4.5)$$

trong đó: $\alpha_p S$ - lượng hút âm phụ thêm do xét đến các khe lỗ hở (S - tổng diện tích bề mặt các phòng). α_p tùy theo tình hình thực tế có thể lấy các giá trị như sau (tăng hoặc giảm 30%).

Ở tần số 125Hz: $\alpha_p = 0,07 \div 0,09$;

Ở tần số 500 - 2000Hz: $\alpha_p = 0,04 \div 0,05$

3. Hệ số hút âm của các vật liệu chưa đúng với thực tế do:

- Sai số từ phép đo trong phòng thí nghiệm (thường chỉ tiến hành với một diện tích nhỏ khoảng $10m^2$).

- Do thiết kế cấu tạo hoặc thực tế thi công không hoàn toàn đúng với mẫu vật liệu thử nghiệm.

Ngoài ra việc tính toán thể tích phòng, diện tích bề mặt hút âm... cũng khó đạt được độ chính xác tuyệt đối.

Vì vậy trong quá trình thi công phân âm thanh cần phải đo đạc, thử nghiệm và tiến hành các hiệu chỉnh cần thiết. Việc tính thời gian âm vang phòng trống (mức chứa 0%) chính là để phục vụ cho việc này.

4.3. ĐÁNH GIÁ ĐỘ RÕ TẠI CÁC CHỖ NGỒI VÀ LẬP CẤU TRÚC CÁC PHẢN XẠ CÓ ÍCH

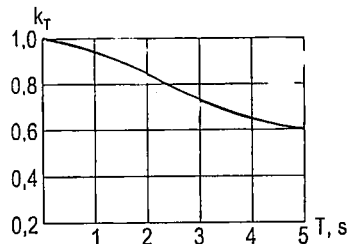
Độ rõ âm tiết đề cập ở chương 2 phải xác định bằng thực nghiệm trong các phòng thính giả đang hoạt động. Trong giai đoạn thiết kế, chúng ta có thể xác định trước độ rõ (ký hiệu R_a , theo phần trăm) theo công thức gần đúng sau đây [34, 37]:

$$R_a = 96 \cdot k_T \cdot k_L \cdot k_N \cdot k_S, \% \quad (4.6)$$

trong đó:

k_T - hệ số xét đến ảnh hưởng của thời gian âm vang của phòng đến độ rõ (hình 4.32).

k_L - hệ số xét đến ảnh hưởng của mức âm tại vị trí tính toán đến độ rõ (hình 4.33).



Hình 4.32. Ảnh hưởng của thời gian âm vang đến độ rõ

k_N - hệ số xét đến ảnh hưởng của mức ồn nền trong phòng đến độ rõ (hình 4.34);

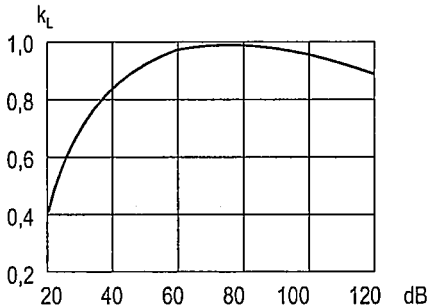
k_S - hệ số xét đến ảnh hưởng của hình dạng phòng đến độ rõ.

Các phòng lớn: $k_S = 0,9 \div 0,95$.

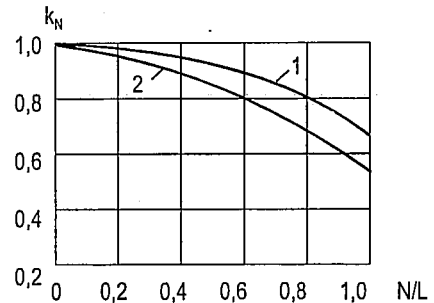
Phòng chữ nhật: $k_S = 1$;

Phòng có các bề mặt phản xạ mạnh âm thanh: $k_S = 1,06$.

96 - độ rõ cao nhất có thể đạt được khi các điều kiện khác đều là lý tưởng.



Hình 4.33. Ảnh hưởng của mức âm đến độ rõ



Hình 4.34. Ảnh hưởng của mức ồn nền đến độ rõ khi sân khấu ồn (1) và không ồn (2)

Khi thiết kế âm học phòng yêu cầu độ rõ tại chỗ ngồi: $R_a \geq 75\%$.

Phân tích các biểu đồ trên ta nhận thấy:

- Khi thời gian âm vang của phòng $T = 0,5 \div 0,8s$ hệ số k_T xấp xỉ đơn vị. Thời gian âm vang tăng thêm 1s, độ rõ giảm khoảng 10%. Khi $T = 3s$, $k_T \approx 75\%$ nghĩa là độ rõ không đạt yêu cầu ngay cả khi các hệ số khác bằng đơn vị ($R_a = 72\%$).

- Độ rõ đạt cao nhất khi mức âm tại chỗ ngồi đạt 80dB ($k_L = 1,0$). Khi mức âm lớn hoặc nhỏ hơn trị số này, độ rõ đều giảm. Ví dụ, khi mức âm là 50dB và 120dB, $k_L = 0,9$. Khi mức 30dB, $k_L = 0,65$, độ rõ không đạt yêu cầu.

Khi mức âm và mức ồn nền bằng nhau, $k_N = 0,65$ độ rõ không thỏa mãn. Khi tỷ số mức ồn và mức âm bằng 0,8 (ví dụ $N = 40dB$ và $L = 50dB$), $k_N = 0,78$ độ rõ vừa đạt yêu cầu. Nói khác đi *điều kiện cần để đạt được độ rõ*

yêu cầu ($R_a \geq 75\%$) là mức âm tại các chỗ ngồi phải vượt mức ồn ít nhất 10dB nghĩa là $L - N \geq 10dB$.

Mức ồn nền trong các phòng thính giả được quy định tiêu chuẩn thiết kế, có trị số cho phép khoảng 25 - 35dB, A phụ thuộc chức năng của phòng (xem chương 6 mục 6.2.2). Biện pháp chính để đạt được trị số cho phép này là cách âm các tường chu vi và các cửa sổ, cửa đi, sẽ giới thiệu ở chương 7.

Mức âm tại mỗi chỗ ngồi là mức âm tổng cộng của âm trực tiếp và các phản xạ có ích (các phản xạ có thời gian trễ dưới 50ms).

Mức âm trực tiếp xác định theo công thức (1.21):

$$L_r = L_p - 20lgr - 8, \text{ dB}$$

Mức âm của mỗi phản xạ có thể xác định theo công thức:

$$L_{r'} = L_p - 20lgr' - 10 \lg \frac{1}{1-\alpha} - 8, \text{ dB} \quad (4.7)$$

trong đó:

L_p - mức công suất của nguồn âm, thường xác định cách nguồn 1m (xem bảng 4.6).

r và r' - đường đi của âm trực tiếp và âm phản xạ đến điểm tính;

α - hệ số hút âm của bề mặt từ đó âm phản xạ tới điểm khảo sát.

Mức âm tổng cộng tại mỗi chỗ ngồi xác định theo phương pháp đã trình bày ở chương 1, mục 1.4.2.

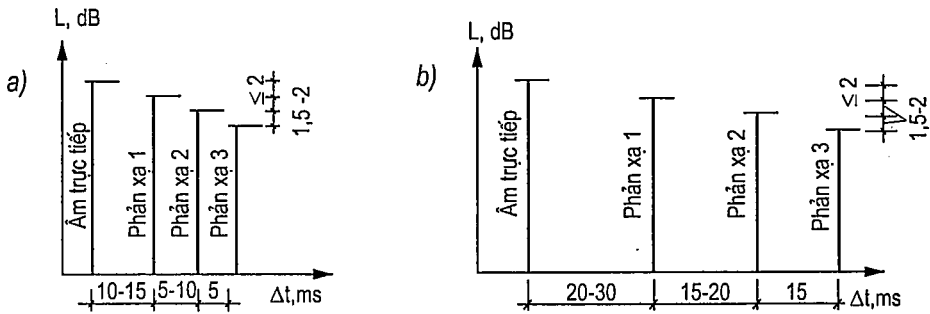
Bảng 4.6. Mức công suất âm của một số nguồn [26]

Nguồn âm	Mức cực đại trung bình, dB	Phạm vi động, dB
Giọng nam trung (Bartion)	80	40
Giọng nữ cao (Soprano) và nữ thấp (contralto)	89	47
Hợp xướng nam (38 người)	94	20
Dàn nhạc nhà thờ, dàn nhạc có hợp xướng và độc tấu	114	50 - 70
Dàn nhạc giao hưởng	110	40 - 80

Với mỗi phản xạ, bên cạnh mức âm xác định theo công thức (4.7) ta còn xác định được thời gian trễ (so với âm trực tiếp) theo công thức:

$$\Delta t = \frac{r' - r}{340} \cdot 1000, \text{ ms} \quad (4.8)$$

Theo mức âm và thời gian trễ của âm trực tiếp và các âm phản xạ, chúng ta có thể lập biểu đồ cấu trúc các phản xạ có ích tại mỗi chỗ ngồi trong phòng và so sánh với cấu trúc tốt nhất theo nghiên cứu của tác giả [32] (hình 4.35).



Hình 4.35. Cấu trúc tốt nhất của các phản xạ có ích:
a) Cho tiếng nói; b) Cho âm nhạc

4.4. ĐẶC ĐIỂM VÀ CÁC GIẢI PHÁP ÂM HỌC CHO CÁC PHÒNG THÍNH GIẢ KHÁC NHAU

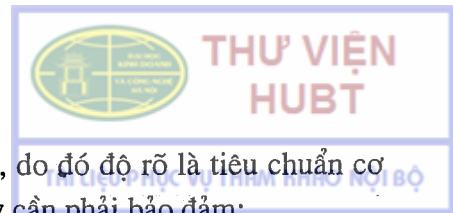
4.4.1. Giảng đường, phòng hội thảo

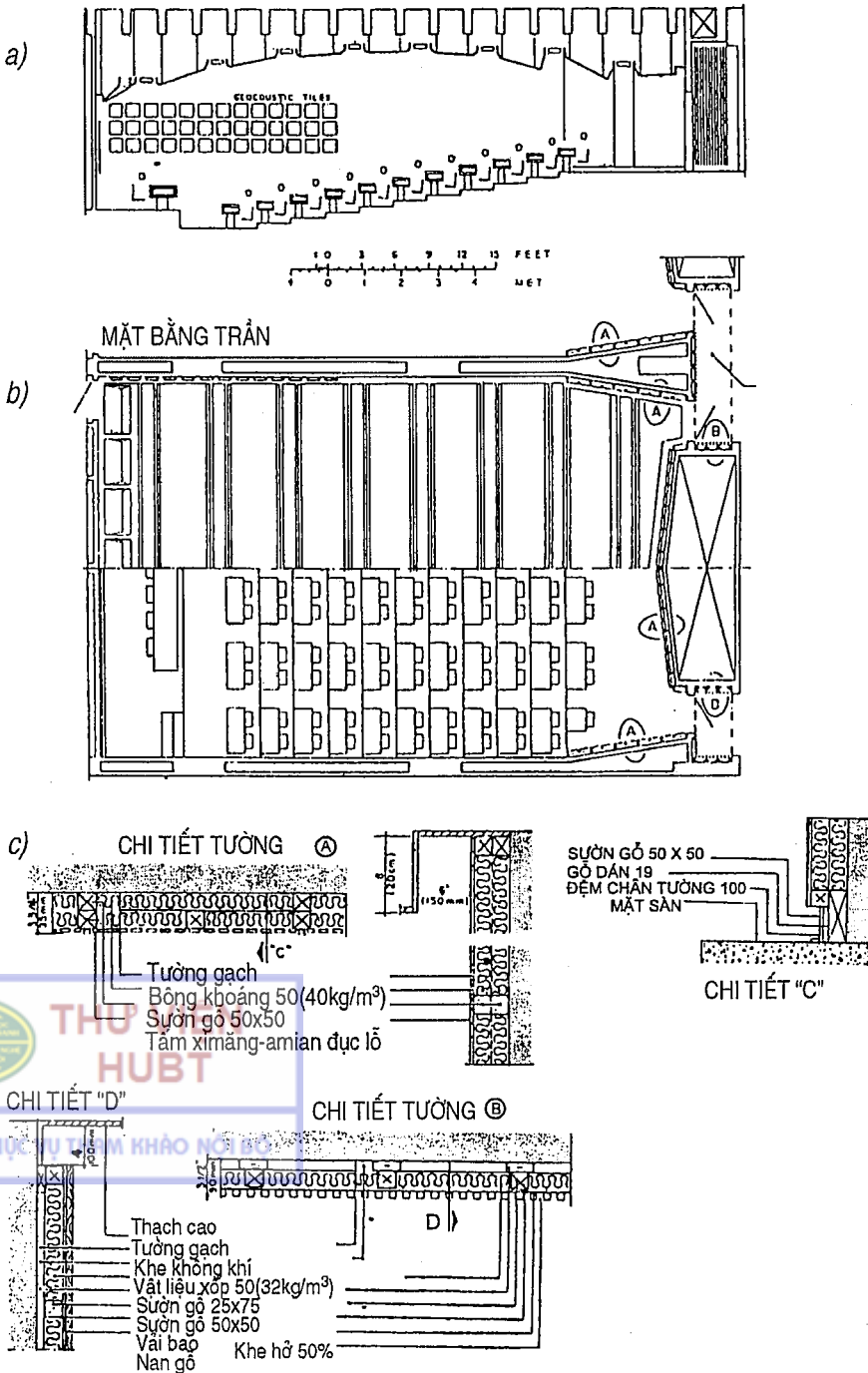
1. Đặc điểm âm thanh

- Phòng sử dụng chủ yếu để nghe tiếng nói, do đó độ rõ là tiêu chuẩn cơ bản quyết định chất lượng âm thanh. Muốn vậy cần phải bảo đảm:

- + Đủ mức âm tại các chỗ ngồi.
- + Thời gian âm vang tương đối ngắn.
- + Tạo được phản xạ đầu tiên có thời gian trễ khoảng 10-15ms.

- Công suất nguồn âm - là tiếng của giảng viên, diễn giả - tương đối nhỏ, không phải là giọng được tập luyện của diễn viên.





Hình 4.36. Giảng đường Université Laval Quebec, Canada (1946)
a) Mặt trần; b) Mặt bằng; c) Chi tiết vật liệu hút âm

2. Giải pháp

1. Kích thước và thể tích phòng phải hạn chế, có thể tuân theo hướng dẫn sau đây:

- Khoảng cách xa nhất đến người nghe: $l \leq 20\text{m}$.

- Kích thước phòng lớn nhất: $L \times B \times H = 22 \times 15 \times 7\text{m}^3$ với sức chứa khoảng 450 chỗ.

2. Nếu phòng tương đối rộng và cao, có thể cấu tạo các tấm phản xạ phía trên diễn đàn để đưa âm phản xạ tới 2/3 chỗ ngồi cuối phòng, sao cho chênh lệch đường đi của âm phản xạ và âm trực tiếp từ 3 đến 8m. Tường bên gần sân khấu cũng áp dụng giải pháp này. Tấm phản xạ có thể bằng thạch cao, gỗ hoặc vật liệu khác, nhưng không nên là bê tông cốt thép.

3. Sàn ngồi nên có độ dốc lớn để bảo đảm truyền âm trực tiếp tốt từ diễn giả đến người nghe.

4. Tại bề mặt xảy ra các phản xạ bậc cao (xem chương 2 mục 2.4.3) nên bố trí vật liệu hút âm mạnh để giảm thời gian âm vang của phòng và nâng cao độ rõ.

5. Tường phía trước nên bố trí vật liệu phản xạ âm thanh mạnh.

Trên hình 4.36 giới thiệu giải pháp âm học - kiến trúc giảng đường trường đại học Laval, ở Quebec, Canada với 130 chỗ ngồi. Vật liệu hút âm bố trí ở tường sau và phần cuối tường bên. Trần và tường bên được sử dụng để phản xạ âm thanh tới các chỗ ngồi.

4.4.2. Nhà hát kịch, tuồng, chèo, cải lương

1. Đặc điểm âm thanh

Đặc điểm thứ nhất. Âm thanh trong các nhà hát chủ yếu vẫn là tiếng nói. Thực ra tuồng chèo, cải lương của chúng ta có thể xếp vào loại kịch hát, khá gần với ôpera của châu Âu. Tuy nhiên yêu cầu âm học cơ bản vẫn là phải nghe rõ lời, do đó tiêu chuẩn độ rõ là quan trọng nhất. Đồng thời trong kịch hiện đại vẫn thường có kèm theo âm nhạc và các loại âm thanh tự nhiên (gió rít, mưa rơi, sấm sét, tiếng tàu hỏa, máy bay, súng đạn v.v...). Trong nghiên cứu về các chỉ tiêu âm học cho các nhà hát Việt Nam của chúng tôi 1985 [56], các chuyên gia nghệ thuật trong lĩnh vực này đều không phân biệt sự



khác nhau về yêu cầu âm thanh giữa các thể loại này và chúng tôi đã kiến nghị chỉ có một tiêu chuẩn chung về âm thanh cho các nhà hát Việt Nam.

Đặc điểm thứ hai. Nguồn âm chủ yếu trong nhà hát là giọng diễn viên, tuy là giọng đã được lựa chọn và tập luyện, nhưng công suất vẫn nhỏ, nhất là những đoạn tâm tình cần hạ thấp giọng để diễn cảm theo nội dung vở diễn. Mặt khác, trong nhà hát có sự lôi cuốn của vở diễn, làm tăng sự chú ý của người nghe, nhờ đó giảm bớt tiếng ồn do thính giả gây ra, rất có lợi cho trường âm trong phòng.

Đặc điểm thứ ba. Sân khấu của các nhà hát thường có không gian lớn và nhiều phòng màn, bố cảnh nên được coi là một sân khấu hút âm mạnh. Đồng thời không gian này lại không thể bố trí các tấm phản xạ âm thanh để đưa năng lượng âm về phía thính giả. Đây là một bất lợi lớn cho trường âm.

Từ các đặc điểm trên, chúng ta có thể rút ra các yêu cầu âm học cho nhà hát là:

- Phải có độ rõ cao trên toàn chỗ ngồi, muốn vậy phải bảo đảm truyền âm trực tiếp tốt, đồng thời bổ sung thêm các phản xạ có thời gian trễ 10 - 15ms, với 2 - 3 phản xạ âm trong 50ms đầu tiên.
- Âm vang của phòng không được quá dài để làm xấu độ rõ, nhưng cũng đủ lớn để thưởng thức lời hát và âm nhạc.
- Một trường âm khuếch tán cao luôn có tác dụng nâng cao chất lượng âm thanh trong bài hát.

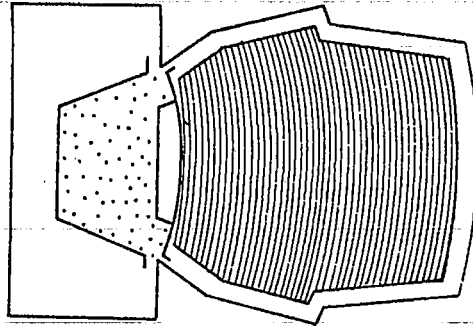
2. Giải pháp

a) Hình dạng nhà hát

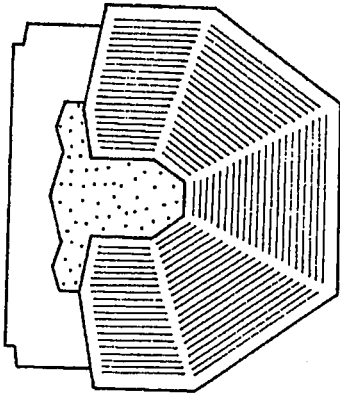
Mặt bằng nhà hát thường tổ chức tùy theo kiểu sân khấu. Có bốn kiểu sân khấu đi kèm với bốn dạng mặt bằng nhà hát sau đây (hình 4.37).

- Sân khấu cổ điển (có miện sân khấu).
- Sân khấu mở.
- Sân khấu kiểu khán đài.
- Sân khấu linh hoạt.

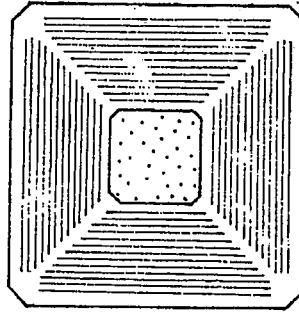
Tùy theo kiểu biểu diễn mà chọn dạng mặt bằng thích hợp. Ví dụ với kịch hiện đại, hát quan họ, kết hợp thời trang có thể chọn dạng mặt bằng kiểu sân khấu mở hoặc kiểu linh hoạt. Trên hình 4.38 và 4.39 giới thiệu mặt bằng của một số nhà hát hiện đại kiểu sân khấu cổ điển và kiểu sân khấu mở.



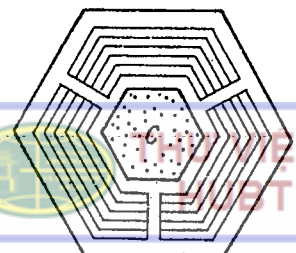
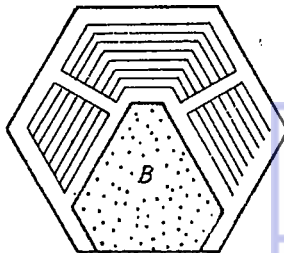
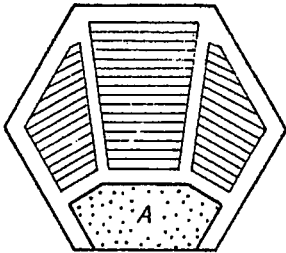
A - Sân khấu cổ điển



B- Sân khấu mở



C - Sân khấu khán đài

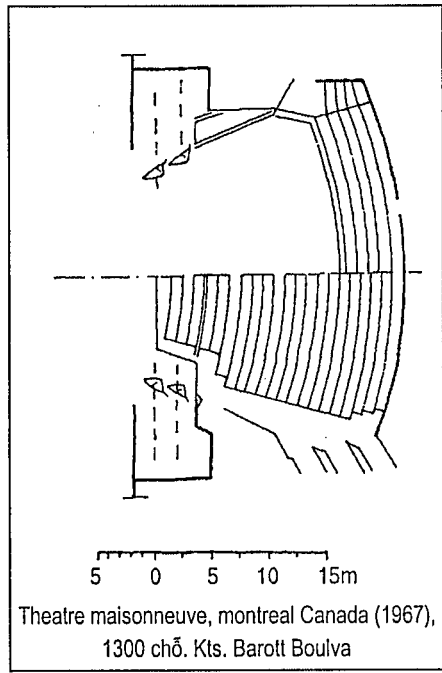
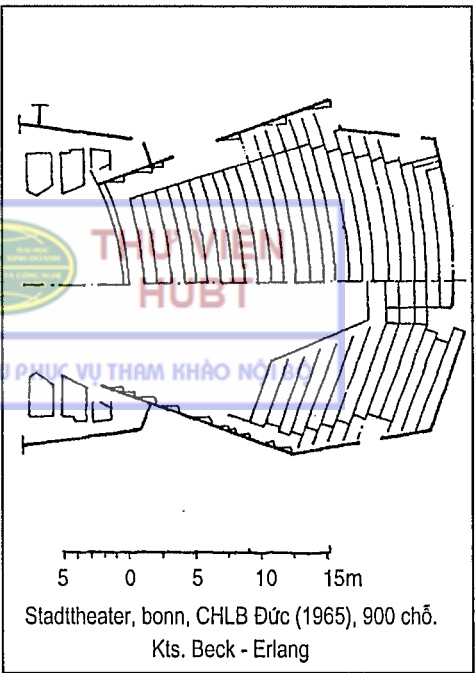
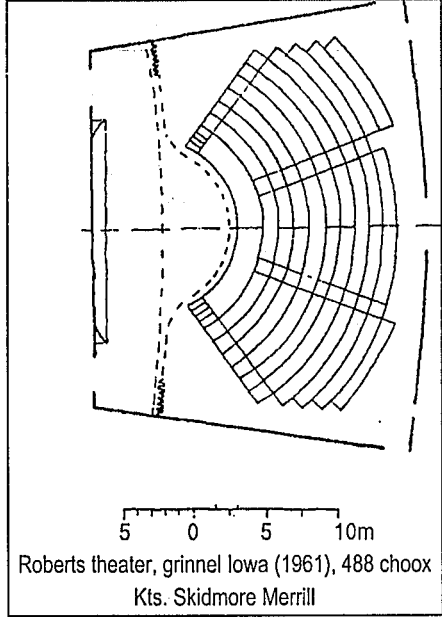
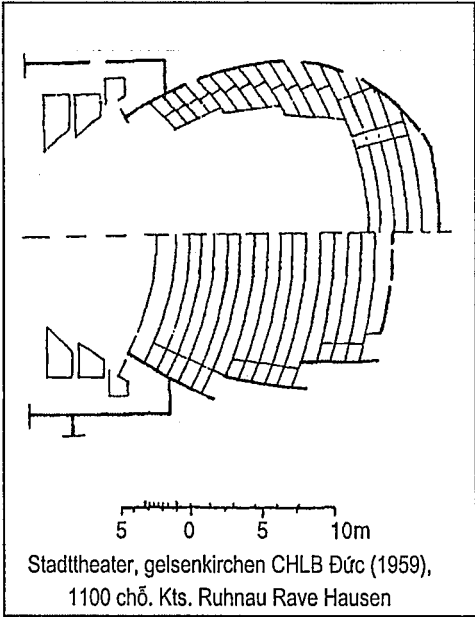


Sân khấu linh hoạt theo ba kiểu A, B, C

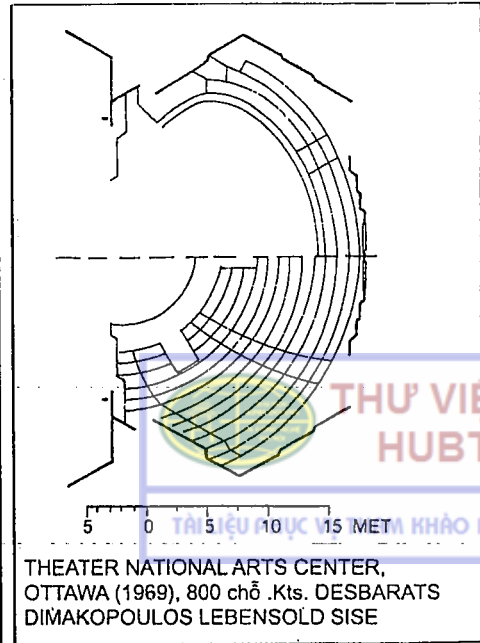
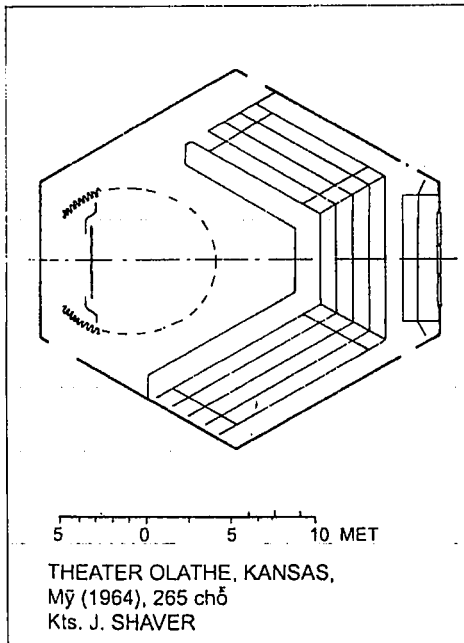
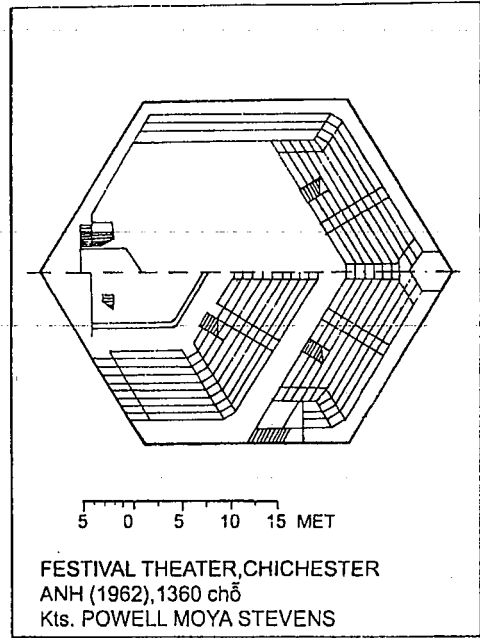
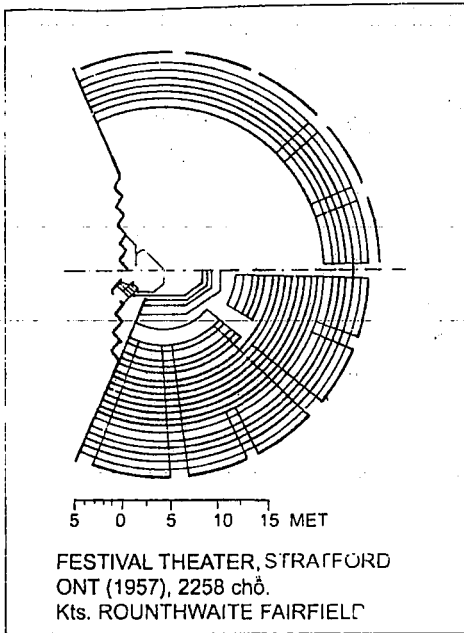
Hình 4.37. Hình dạng mặt bằng nhà hát theo các kiểu sân khấu

Các nhà hát hiện đại có nguồn gốc từ các nhà hát cổ Hy Lạp (thế kỷ V - IV trước CN) và La Mã (thế kỷ III - II trước CN) có sức chứa đến vài chục ngàn người (hình 4.40, 4.41). Để đạt được độ rõ cao (các khảo sát âm học ngày nay cho thấy độ rõ ở các chỗ ngồi xa nhất đạt 78 - 88% khi không có thính giả và tiếng ồn) các nhà hát này thường bảo đảm tốt sự lan truyền âm

trực tiếp nhờ có sàn ngồi có độ dốc lớn (lợi dụng địa hình tự nhiên), đặt xa tiếng ồn thành phố và tranh thủ các phản xạ âm từ mái, sàn và tường sau sân khấu để bổ sung năng lượng âm cho các chỗ ngồi.



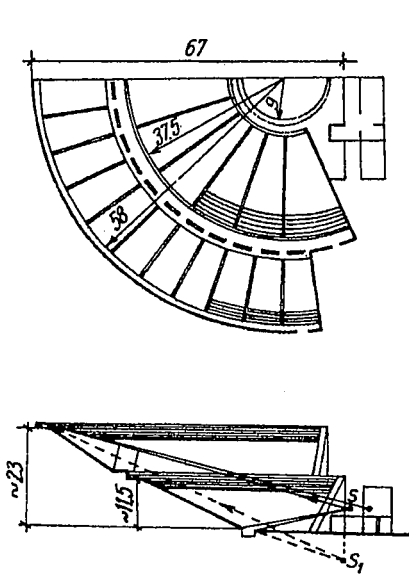
Hình 4.38. Mặt bằng một số nhà hát có sân khấu cổ điển



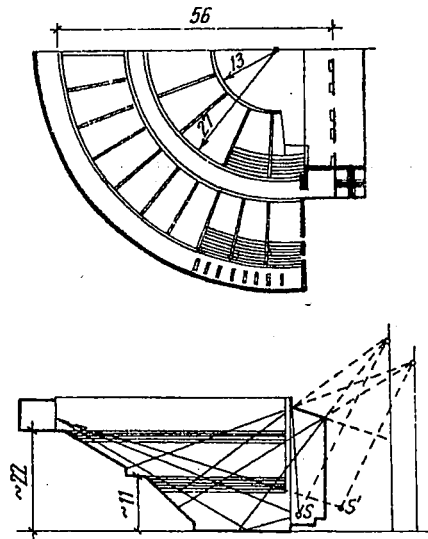
Hình 4.39. Mặt bằng nhà hát có sân khấu mở hoặc linh hoạt

Các kiến trúc sư Hy Lạp còn biết sử dụng các ống kim loại đặt trên sàn, chúc đầu hở xuống phía dưới để giữ âm vang tự nhiên cho giọng hát ở các tần số âm cao và trung bình, là những tần số bị hút mạnh trong quá trình

truyền âm ngoài trời. Tương tự các ống kim loại, trong nhà hát cổ La Mã sử dụng "hành lang cộng hưởng" đặt theo chu vi phòng để tăng cường mức âm. Nền ngồi dốc ngoài tác dụng thu ngắn khoảng cách tới nguồn âm và bảo đảm truyền âm trực tiếp tốt, còn có tác dụng chắn gió và tiếng ồn để tạo được một trường âm tốt trong nhà hát.



Hình 4.40. Nhà hát cổ Hy Lạp



Hình 4.41. Nhà hát cổ La Mã

Nghiên cứu và phân tích các nhà hát cổ cho thấy các kiến trúc sư ngày xưa đã hiểu biết khá sâu sắc các quy luật truyền âm ở ngoài trời và đưa ra các giải pháp kiến trúc xây dựng rất thích hợp và có hiệu quả.

b) Sức chứa, kích thước và khối tích

Từ các đặc điểm âm học nêu trên cho thấy các nhà hát không nên có sức chứa quá lớn, vượt quá 1200 - 1500 chỗ ngồi. Nhiều nhà thiết kế nước ngoài cho rằng sức chứa hợp lý của nhà hát là từ 700 đến 1000 chỗ.

Khoảng cách ra nhất từ thính giả đến sân khấu không nên vượt quá 25m, khi có ban công có thể tăng lên đến 27 - 28m.

Chiều rộng nhà hát không nên quá 20m và thể tích riêng thích hợp, theo kinh nghiệm nước ngoài là $4 - 5\text{m}^3/\text{người}$.

Trong bảng 4.7 chúng tôi giới thiệu để tham khảo các thông số của một số nhà hát nổi tiếng trên thế giới.

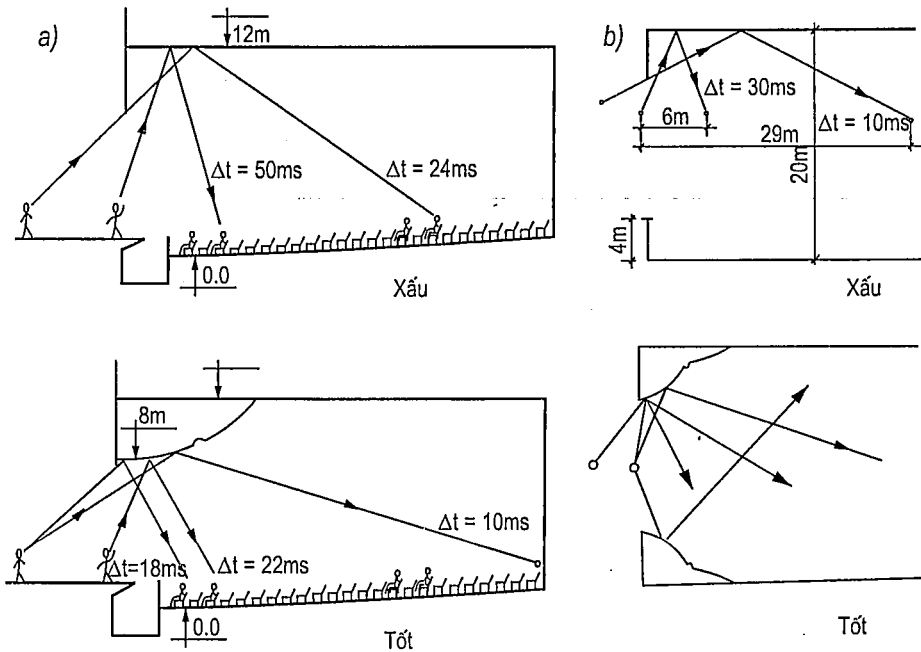
Bảng 4.7. Các thông số của các nhà hát trên thế giới

tt	Tên nhà hát (năm xây dựng cải tạo)	Thể tích, m ³	Sức chứa, người	v, m ³ /người	L _{max} , m	T ₅₀₀ , s
1	Nhà hát hàn lâm nghệ thuật Maxcova	4800	1160	4,2	23	
2	Nhà hát Puskin, Maxcova	4400	950	4,6	-	
3	Nhà hát của Cung văn hoá khoa học Vacsava, Balan	3680	776	4,7	21	
4	Nhà hát lớn Hà Nội (1911, 1998)	4080	630	6,5		
5	King's Theater, London (1793)	4550	-	-		4,55
6	Queen Elizabeth Theater Vencouver, Canada (1959)	16750	2800	6,0	-	1,5
7	Teatro alla Scala, Milan, Italia (1778, 1946)	11250	2289	4,9	-	1,2
8	Royal Opera House London, Anh (1858)	12240	2180	5,6	-	1,35
9	Theâtre National de l'Opera Paris, Pháp (1875)	9960	2131	4,7	-	1,1
10	Metropolitan Opera House, New York (1883)	19500	3639	5,4	-	1,2
11	Deutsche Oper, Berlin, Germany (1961)	10800	1900	5,7	-	1,6
12	Staatsoper, Vienne, Áo (1864, 1955)	10600	1658	6,4	-	1,4
13	Opernhaus Cologne Germany, (1957)	8650	1346	6,4	-	1,6
14	Staatsoper, Berlin Germany (1742, 1984)	7000	1488	4,7	-	1,0
15	Kresge Auditorium, Cambridge Mass* (1955)	10000	1238	8,1	29	1,47

c) Không gian nội thất

Do sân khấu hút âm mạnh nên cần tận dụng tối đa các mặt trần và tường sát sân khấu làm các mặt phản xạ âm thanh tới các chỗ ngồi trong phòng, đặc biệt là những chỗ ngồi cuối phòng, nhờ đó cũng tránh được tiếng dội khó chịu do thời gian trễ quá lớn (hình 4.42). Các mặt phản xạ này nên có kích thước không dưới 5 - 6m.

Phân trần và tường chính của phòng thính giả thường được sử dụng cho các mặt phản xạ để phân bố đều năng lượng âm trong phòng như trong nhà hát của Đại học tổng hợp Bishop Lennoxville, Quebec (hình 4.43), hoặc tạo một trường âm khuếch tán nhờ các cấu tạo phân chia bề mặt dạng chu kỳ như trong nhà hát nhạc hài kịch Crasnodar, Nga (hình 4.44): trần dùng các khối hình tháp bằng gỗ dày 20mm, tường bên khối lăng trụ lệch bằng tấm sợi gỗ 20mm. Tuy nhiên, giải pháp âm thanh này chưa tạo nên sự hấp dẫn cho nội thất phòng.



Hình 4.42. Các mặt phản xạ gần sân khấu bổ sung năng lượng cho các chỗ ngồi xa (b) và tránh tiếng dội khó chịu (a)

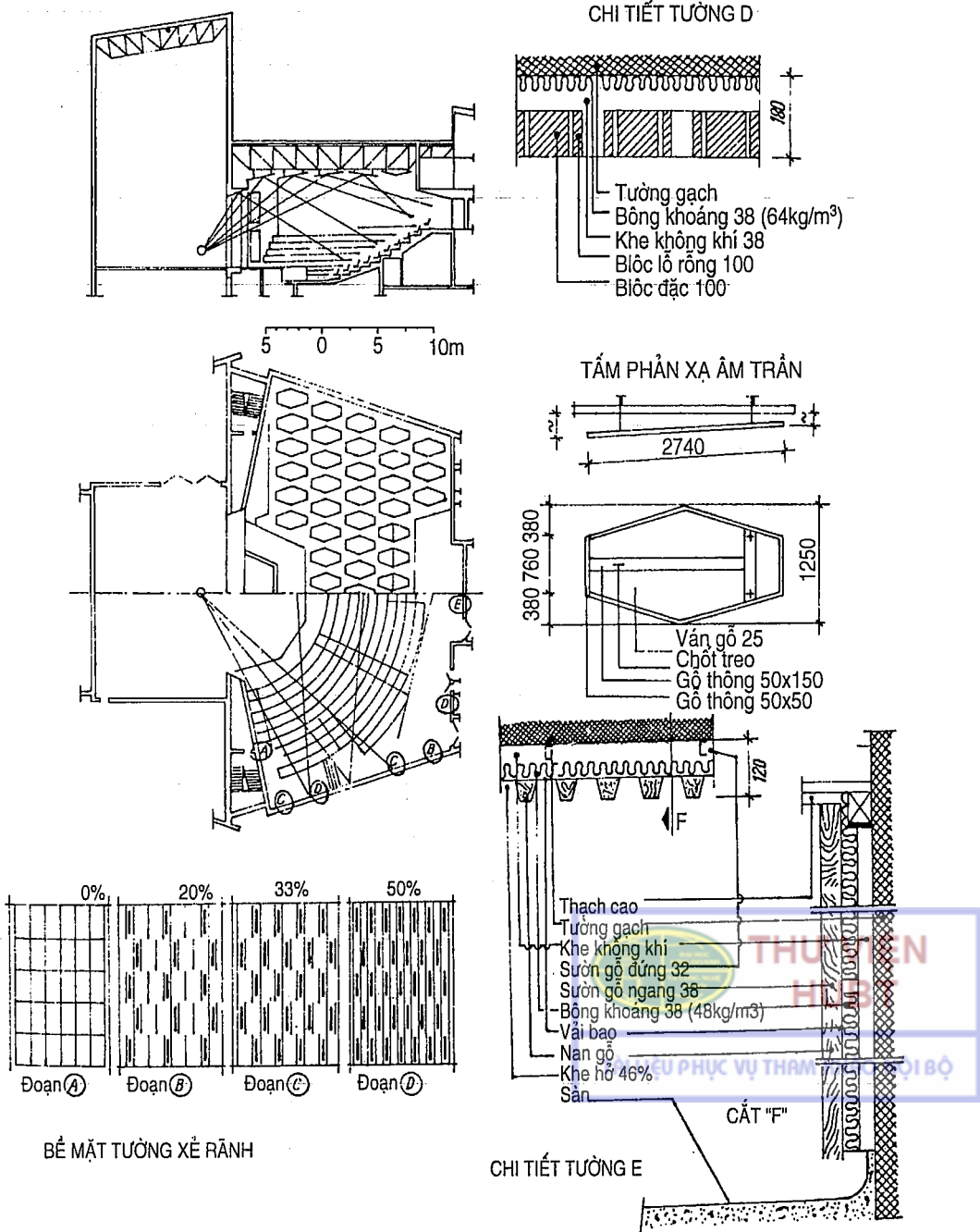
Chú ý rằng trong nhà hát của Trường đại học Bishop, do chiều rộng phòng lớn và tường bên vát nghiêng mạnh nên các phản xạ từ tường này có thể tạo tiếng dội cho thính giả ngồi ở giữa phòng. Để tránh hiện tượng xấu này người ta đã bố trí vật liệu hút âm thay đổi (kiểu B, C và D) tại đây.

Một số kết luận về các yêu cầu âm học cho các nhà hát Việt Nam (từ các kết quả của đề tài nghiên cứu "tiêu chuẩn âm học cho các nhà hát Việt Nam" năm 1985 [56]):

1. Về mặt âm học, có thể đồng nhất hóa các chỉ tiêu âm học cho các thể loại kịch và ca kịch Việt Nam (kịch nói, tuồng, chèo, cải lương và kịch hát), do đó chỉ có một tiêu chuẩn âm học chung cho các nhà hát.

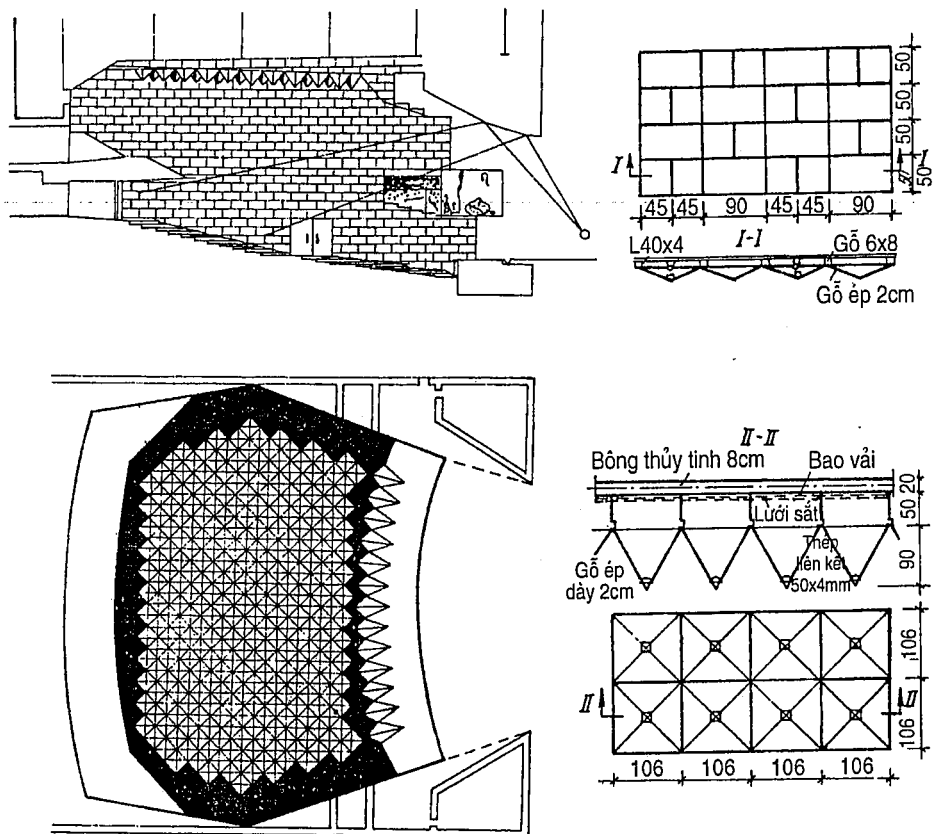
2. Thể tích riêng tốt nhất cho các nhà hát là $4,0 - 4,5\text{m}^3/\text{người}$ (giới hạn trên là $5,5\text{m}^3/\text{người}$).

3. Thời gian âm vang tốt nhất ở tần số $500 - 1000\text{Hz}$ tương ứng với thể tích phòng $1000 - 6000\text{m}^3$ là $T^n = 1,0 \div 1,25\text{s}$, và có thể xác định theo biểu đồ hình 2.13.



Hình 4.43. Giải pháp âm học Nhà hát của Đại học tổng hợp Bishop, Lennoxville, Quebec (1968)

(sức chứa 770 chỗ; thể tích 4250m³; diện tích 485m²; v = 5,4m³/ng; T₅₀₀ = 1,05s).



Hình 4.44. Giải pháp âm học của nhà hát nhạc hài kịch Crasnodar, Nga

4.4.3. Phòng hòa nhạc

1. Đặc điểm và yêu cầu âm học

Độ lớn của phòng hòa nhạc chủ yếu phụ thuộc vào số lượng nhạc công, nghĩa là phụ thuộc vào độ lớn của nguồn âm. Khi độ lớn phòng khác nhau, yêu cầu âm học cũng không giống nhau. Các phòng hòa nhạc thường được chia làm 2 loại:

- Phòng dùng cho dàn nhạc thính phòng với số lượng nhạc công không quá vài chục người. Các phòng này có kích thước nhỏ, để biểu diễn độc tấu và dàn nhạc nhẹ. Phạm vi động của mức âm tương đối hẹp, thường không quá 50dB.

- Phòng hòa nhạc lớn để biểu diễn các độc tấu với dàn nhạc giao hưởng hoặc các dàn đồng ca lớn có số diễn viên 100 - 150 người. Phạm vi động của

mức âm khoảng 70 - 80dB, từ một độc tấu có mức rất nhẹ (pianissimo) đến mức rất mạnh của cả dàn nhạc (fortissimo).

Các phòng hòa nhạc có đòi hỏi rất cao về chất lượng âm thanh và thường yêu cầu không sử dụng hệ thống điện thanh, mà chỉ nghe âm thanh trực tiếp - âm tự nhiên - của các nguồn âm. Các yêu cầu âm thanh của phòng hòa nhạc thường thể hiện qua các chỉ tiêu sau đây:

1. Cấu trúc các phản xạ có ích ảnh hưởng đến mức âm và tính "khối" của âm thanh cảm thụ". Cấu trúc tốt nhất mong muốn đạt được tại các chỗ ngồi trong phòng như giới thiệu trên hình 4.35.

2. Thời gian âm vang của phòng phải đủ lớn để âm vang phong phú, hấp dẫn và có độ mỹ cảm cao. Các phòng hòa nhạc nổi tiếng thế giới giới thiệu ở bảng 4.8 còn thời gian âm vang từ 1,4 đến 1,8 giây. Phòng hòa nhạc nhỏ của nhạc viện Traicôpxki ở Moskva được coi là có chất lượng âm thanh tuyệt hảo có thời gian âm vang tới 2,0 giây.

3. Các phòng hòa nhạc phải đạt được độ khuếch tán cao của trường âm. Âm thanh cảm thụ được trong phòng như vậy sẽ có tính khối rõ rệt, độ mỹ cảm tăng lên và chất lượng âm thanh đồng đều trong toàn phòng.

4. Trong các phòng nghe âm nhạc, mức ồn nền yêu cầu khá thấp, khoảng 25dB, A và đường NR = 20 ÷ 25, đòi hỏi phải có các biện pháp cách âm và chống tiếng ồn có hiệu quả, đặc biệt khi nó nằm ở trung tâm thành phố, gần các đường giao thông lớn.

2. Giải pháp

a) Kích thước và thể tích phòng

Nếu kích thước một phòng hòa nhạc quá nhỏ, thì trường âm trong phòng không thể đạt được độ khuếch tán cao, nhất là ở các tần số thấp và không thể tạo được cấu trúc tốt nhất cho các phản xạ có ích.

Theo [32] thì kích thước nhỏ nhất của một phòng hòa nhạc là:

- Chưa kể sân khấu: từ $23 \times 16 \times 9\text{m}^3$ đến $27 \times 18 \times 9\text{m}^3$ với thể tích từ 4750m^3 đến 6000m^3 .

- Kể cả sân khấu: từ $33 \times 16 \times 9\text{m}^3$ đến $37 \times 18 \times 9\text{m}^3$ (sân khấu tối thiểu $16 \times 10\text{m}^2$).

Sức chứa của phòng khi đó khoảng từ 400 đến 700 chỗ.



Bảng 4.8. Các thông số của các phòng hòa nhạc nổi tiếng thời gian

TT	Tên phòng hòa nhạc (năm xây dựng)	Thể tích, m ³	Sức chứa, người	V, m ³ /ng	T ₅₀₀ , s	Δt, ms	Khoảng cách
1	Phòng hòa nhạc nhỏ nhạc viện Moxkva	-	400	-	2,0	-	35
2	Phòng hòa nhạc lớn nhạc viện Moskva	17000	1900	7,8	-	21,26	47
3	Phòng hòa nhạc Traicopxki, Moxkva	17570	1560	11	-	18,24	-
4	Royal Festival Hall London (1951)	22000	3445	6,5	1,47	34,14	38
5	Konserthus Goteborg (1935)	11900	1371'	8,7	1,7	33,22	
6	Symphony Hall Boston, Mass (1900)	18740	2,631	7,1	1,8	30,9	45
7	Tanglewood Music Shed, Lenox, Mass (1938)	42450	6000	7,1	2,05	19,12	47
8	Carnegie Hall New York (1891)	24300	2760	8,8	1,7	23,16	45
9	Neues Festspielhaus Salzburg, Áo (1960)	1500	2158	7,2	1,55	23,14	35
10	Orchestra Hall Chicago	36600	5081	7,2	1,7	36,14	55
11	Academy of music Philadelphia (1857)	15700	2984	5,3	1,4	19,10	35
12	Aula Magna Caracas Venezuela (1954)	24900	2660	9,4	1,35	30,10	-
13	Redoutensaal, Viene (1752)	10400	1500	6,9	1,4	-	-
14	Grosser Musik Vereinessaal, Vienna (1870)	14600	1680	8,7	2,2	-	-
15	Royal Albert Hall London (1871)	86600	6080	14,2	2,5	-	-
16	St-Andrew's Hall Glasgow (1877)	16100	2133	7,5	2,2	-	-
17	Neues Gewandhaus Leipzig (1886)	10100	1560	6,8	1,55	-	-
18	Concertgebouw Amsterdam (1887)	18700	2206	8,5	2,2	-	-
19	Massey Hall Toronto (1894)	16100	2774	5,8	1,9	-	-
20	Palais des Beaux Arts Bruxelles (1929)	12500	2150	5,8	1,42	-	-
21	Philharmonie Hall Liverpool (1939)	13500	1955	6,9	1,5	-	-
22	Klehans Music Haf. Buffalo (1940)	18220	2839	6,4	1,32	-	-
23	Frederic R. Mann Auditorium Tel Aviv (1957)	21250	2715	7,8	1,55	-	-
24	Kultuuritalo Helsinki (1957),	10000	1500	6,7	1,05	-	-
25	Queen Elizabeth Theater Vancouver (1959)	16750	2800	6,0	1,5	-	-
26	Beethovenhalle Bonn (1959)	15700	1407	11,2	1,7	-	-
27	(New) Philharmonie Berlin (1963)	24500	2218	11,2	1,95	-	-
28	Grotezaal de Doelen Hall Rotterdam (1966)	28000	2232	12,5	2,15	-	-
29	Avery Fisher-Hall New York (1976)	18800	2631	7,1	1,8	-	-
30	Barbican Concert Hall, London (1982)	18850	2000	9,4	1,9	-	-
31	Roy Thomson Hall Toronto (1982)	28300	2812	10,	1,5-2,5	-	-
32	Phòng hòa nhạc đài PT-TH NHK, Japan	25200	3800	6,6	1,7	-	-
33	Cocert Hall, Chiba, Japan (1965)	14000	1800	7,8	1,6	-	-
34	Grande Salle de Concerts Paris (19630)	12000	937	12,8	2,0	-	-

Nếu chỉ dùng để ghi âm nhạc giao hưởng, thì kích thước phòng cũng không nên nhỏ hơn.

Ngược lại, kích thước tối đa của phòng hòa nhạc phải xét đến công suất hạn chế của một độc tấu, một đơn ca mà không sử dụng hệ thống điện thanh. Trong bảng 4.8 chỉ có hai phòng hòa nhạc (Chicago - 5081 chỗ ngồi và Lenox - 6000 chỗ ngồi) có khoảng cách chỗ ngồi xa nhất ở phần nền dốc đến sân khấu tới 47 - 55m. Theo hướng dẫn, chỗ ngồi xa nhất ở nền dốc nên hạn chế ở 25 - 40m.

Nghiên cứu bảng 4.8 ta có thể rút ra một số nhận xét sau đây:

- Các phòng hòa nhạc trên thế giới có chất lượng âm thanh tốt phần lớn đều có kích thước và thể tích lớn, sức chứa từ 1000 đến 3000 người, thậm chí lên tới 5000-6000 người. Các phòng hòa nhạc nhỏ không thể đáp ứng yêu cầu cho một dàn hợp xướng lớn.

- Thể tích riêng các phòng hòa nhạc dao động trong phạm vi 6 - 8m³/người, cá biệt lên đến 12 - 14 m³/người.

- Thời gian âm vang các phòng ở tần số trung bình thay đổi từ 1,3 giây đến 1,9 giây, phù hợp với vùng cho âm nhạc trong biểu đồ 2.10. Tuy nhiên cũng có một số phòng có thời gian âm vang nằm ngoài vùng tốt nhất này, như các phòng số 1, 14, 15, 16, 24, 28 và 34 (thứ tự theo bảng 4.8).

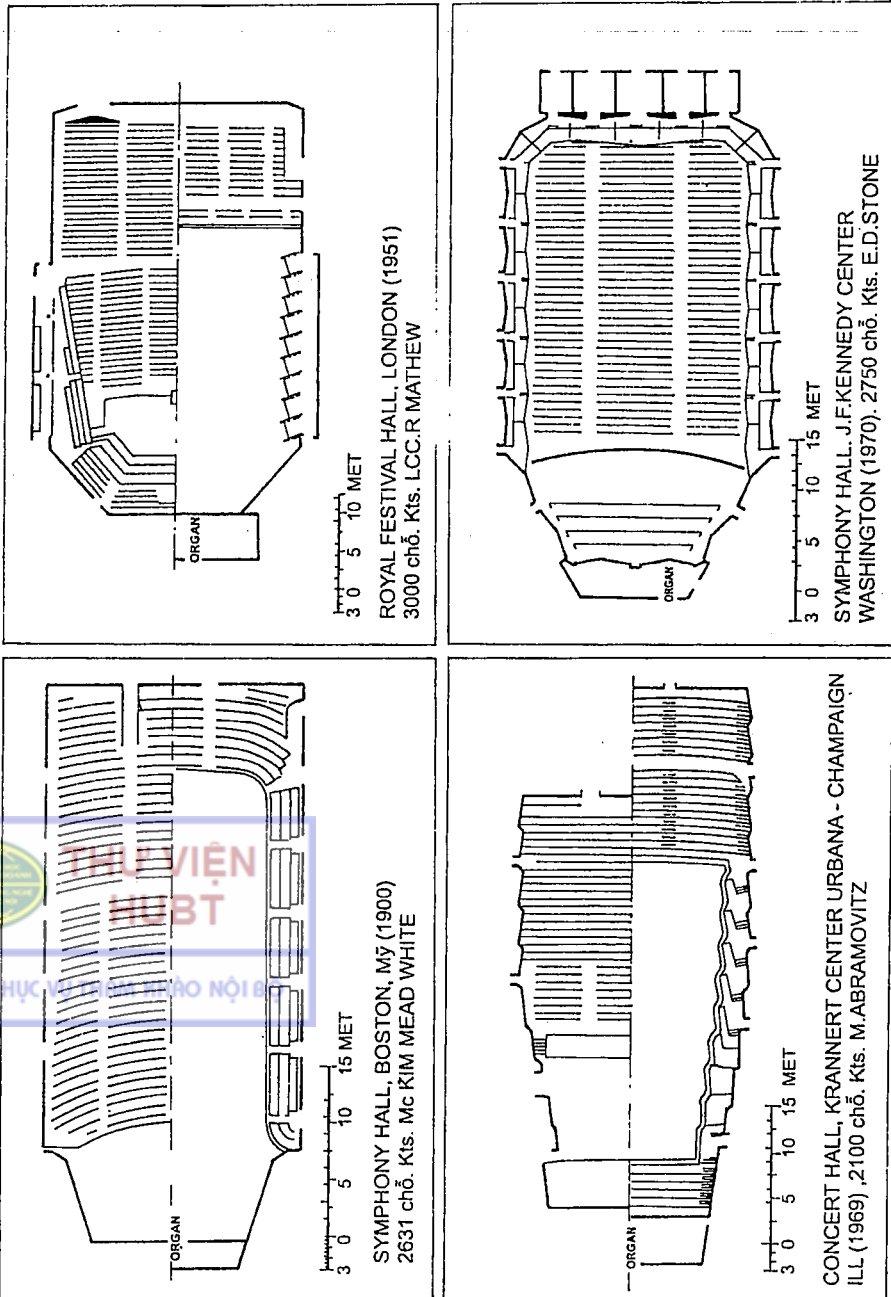
b) Hình dạng phòng

Như đã phân tích ở trên, hình dạng chính của phòng không có vai trò quyết định sự hình thành trường âm, vì vậy có thể chọn tùy ý theo yêu cầu tổ hợp kiến trúc. Còn tỷ lệ của phòng có thể thay đổi trong một phạm vi khá rộng (xem mục 4.1.4). Vấn đề có ý nghĩa rất lớn đối với trường âm là giải pháp kiến trúc - nội thất của phòng. Xu hướng phát triển của kiến trúc hiện đại với các bề mặt phẳng và lớn cùng với sự xuất hiện của vật liệu nhân tạo mới có phần bất lợi đối với âm học kiến trúc, đã đề ra cho nó những bài toán đòi hỏi những lời giải mới. Điều này hoàn toàn khác với các giải pháp phân chia bề mặt, bằng các ban công, lô ghế... của các nhà hát và phòng hòa nhạc xây dựng nhiều thập niên trước đây, có mặt bằng giới thiệu trên hình 4.45, 4.46 và 4.47.

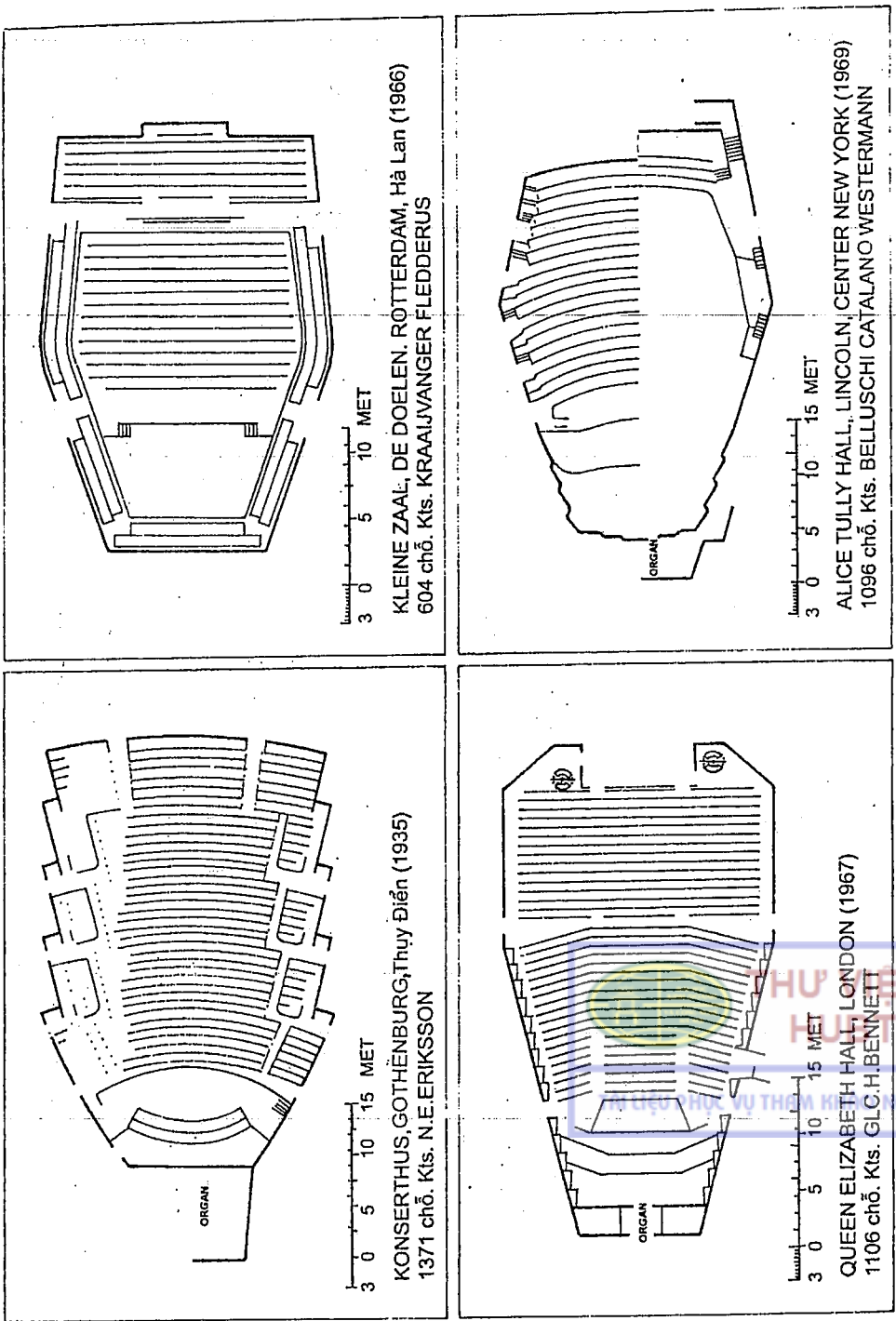
c) Giải pháp kiến trúc - nội thất âm thanh

Dẫu biết rằng nội thất phòng thính giả phải là một khối thống nhất, thì khi tìm giải pháp cho nó chúng ta lại tạm thời chia nó làm hai phần.

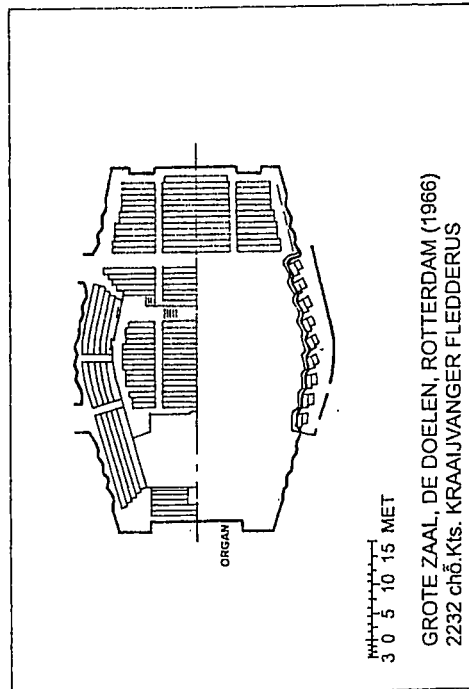
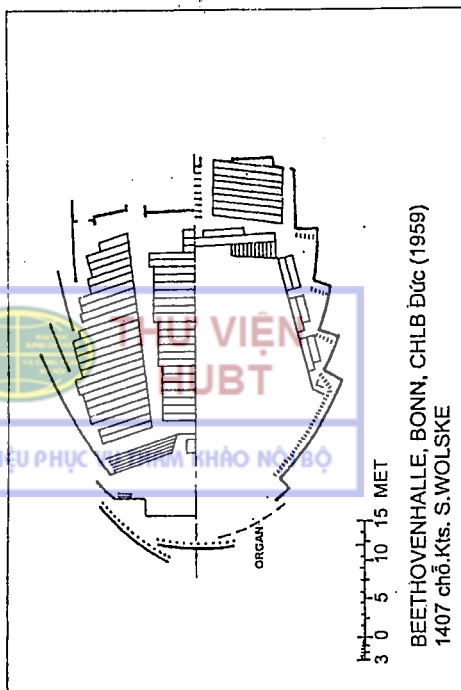
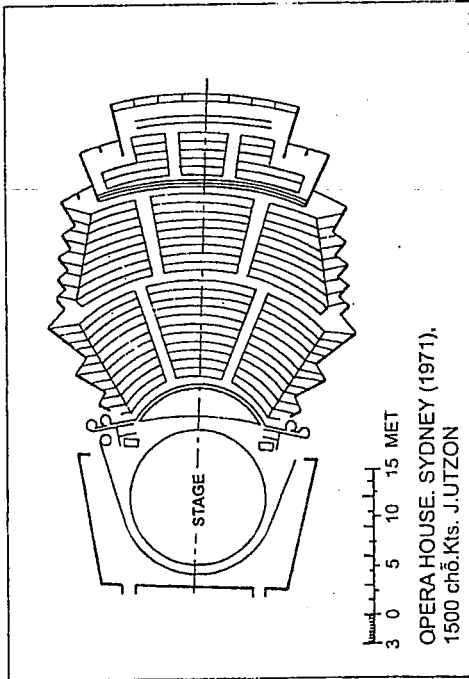
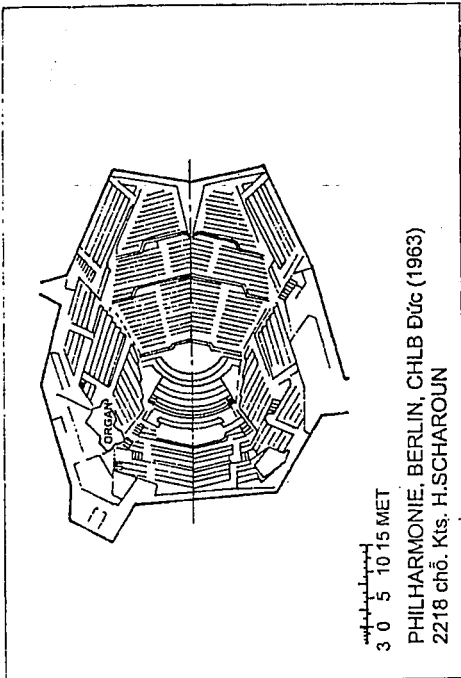
Phần không gian sân khấu và cận sân khấu của phòng hòa nhạc phải sử dụng cho các mặt phản xạ âm như đã trình bày trong mục 4.11 (xem hình 4.2, hình 4.7, hình 4.48).



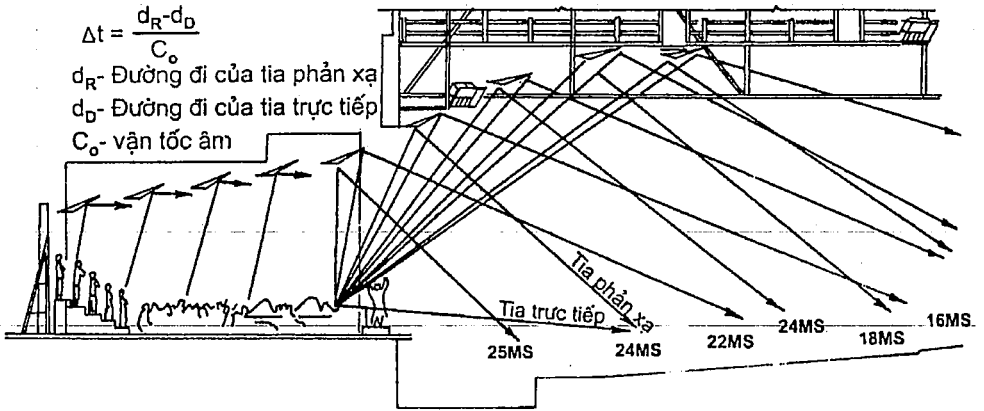
Hình 4.45. Mặt bằng các phòng hòa nhạc có dạng hình chữ nhật



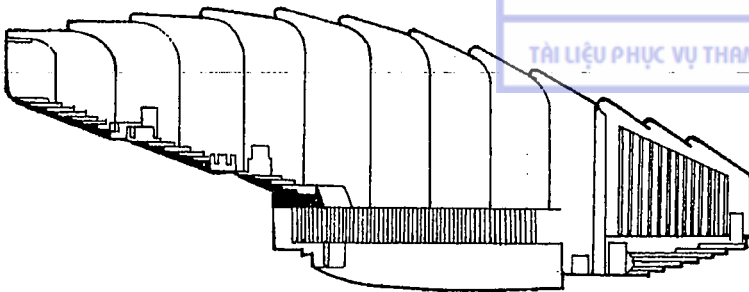
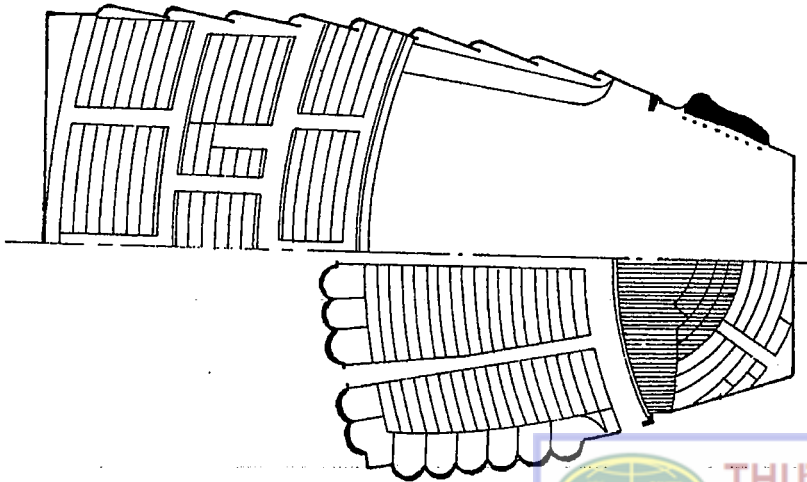
Hình 4.46. Mặt bằng các phòng hòa nhạc có dạng hình quạt



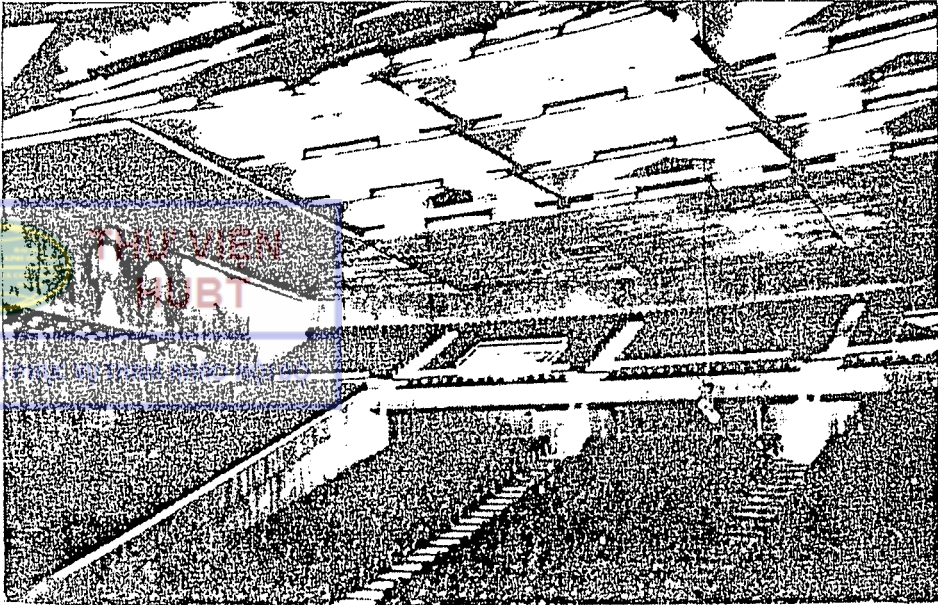
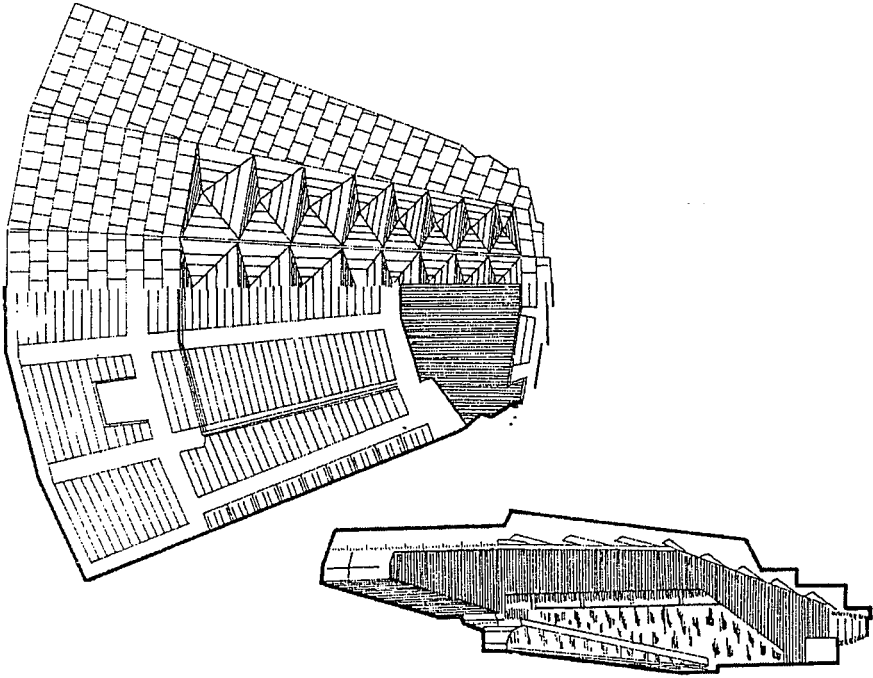
Hình 4.47. Mặt bằng các phòng hòa nhạc có dạng tự do



Hình 4.48. Thiết kế các tấm phản xạ âm trên sân khấu phòng hòa nhạc (Riverbend musical centre)

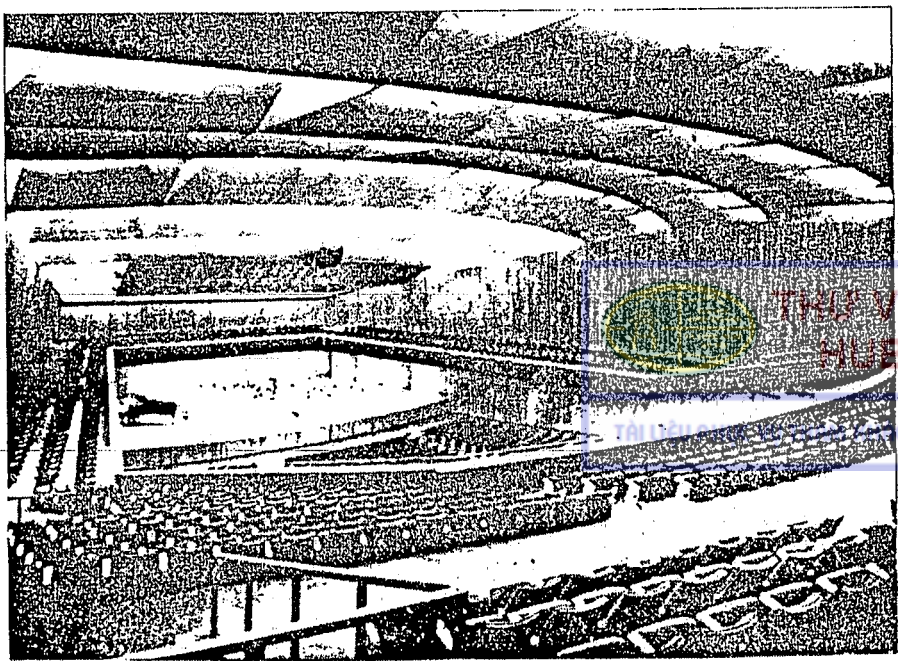
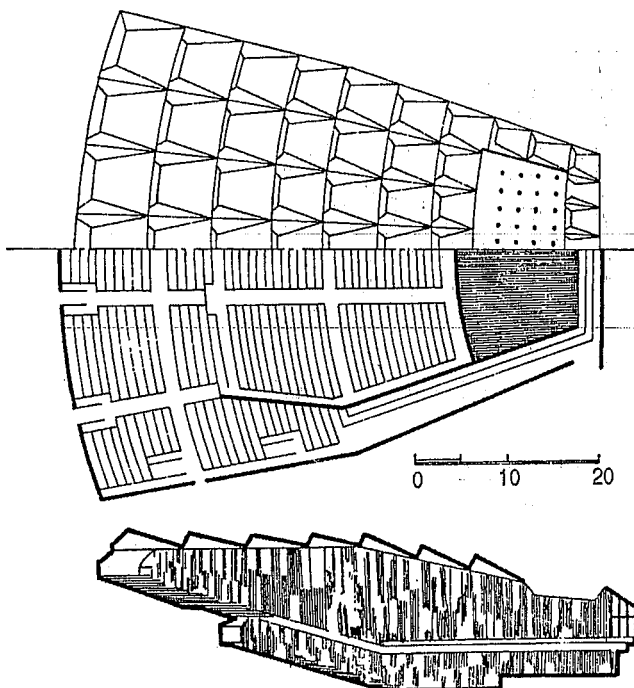


Hình 4.49. Giải pháp mặt bằng và mặt cắt tạo trường âm phân bố đều trong phòng hòa nhạc

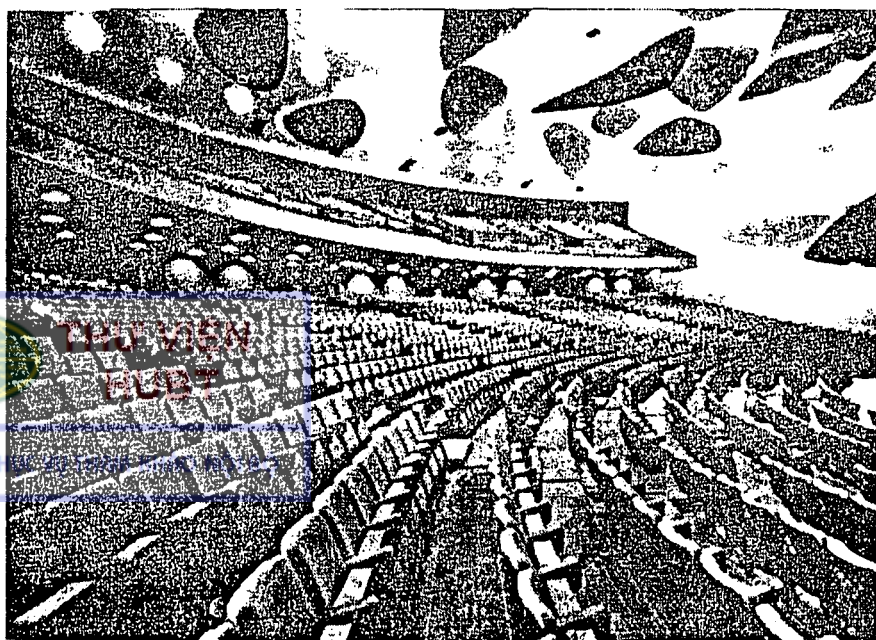
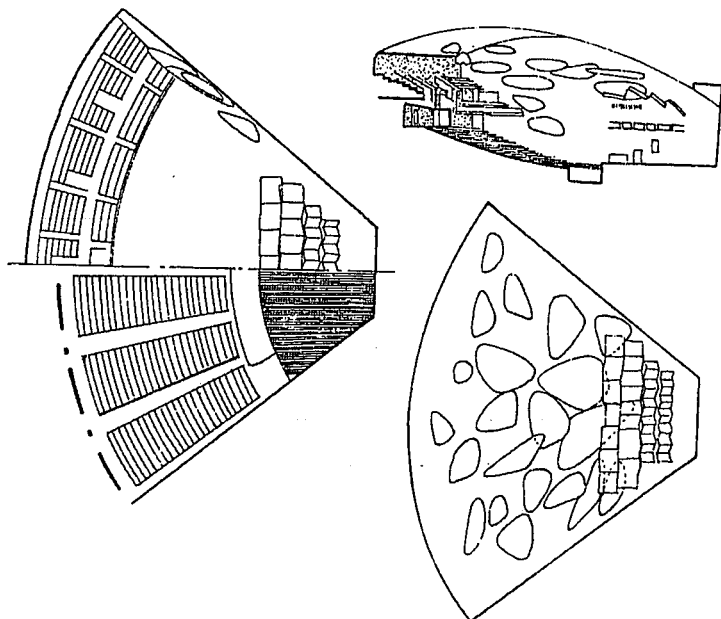


Hình 4.50. Phòng hòa nhạc (Frederic R. Mann Auditorium Tel Aviv)

$V = 21250 \text{ m}^3$ $N = 2715$ người; $T_{500} = 1,55\text{s}$.



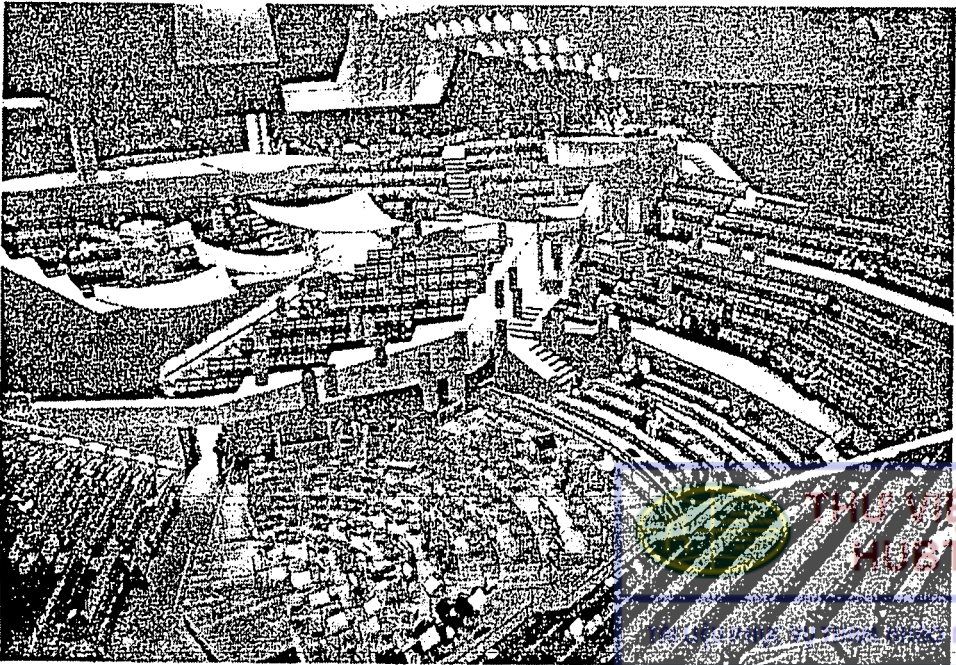
Hình 4.51. Phòng hòa nhạc Jerusalem Binyanei Ha'00man, Israel
 ($V = 24700m^3$, $N = 3142$ người; $T_{500} = 1,75s$, $\Delta t = 26; 13$)



*Hình 4.52. Phòng hòa nhạc Aula Magna Caracas, Venezuela
 - Mặt bằng, mặt cắt và mặt bằng các tấm phản xạ trần*

Phần không gian chính của phòng thính giả cần tìm giải pháp để tạo được một trường âm phân bố đều (hình 4.49) hoặc một trường âm khuếch tán cao bằng cách sử dụng các cấu kiện phân chia chu kỳ bề mặt trần và tường. Các phòng hòa nhạc ở Tel Aviv (hình 4.50) và Jerusalem (hình 4.51) là theo hướng này.

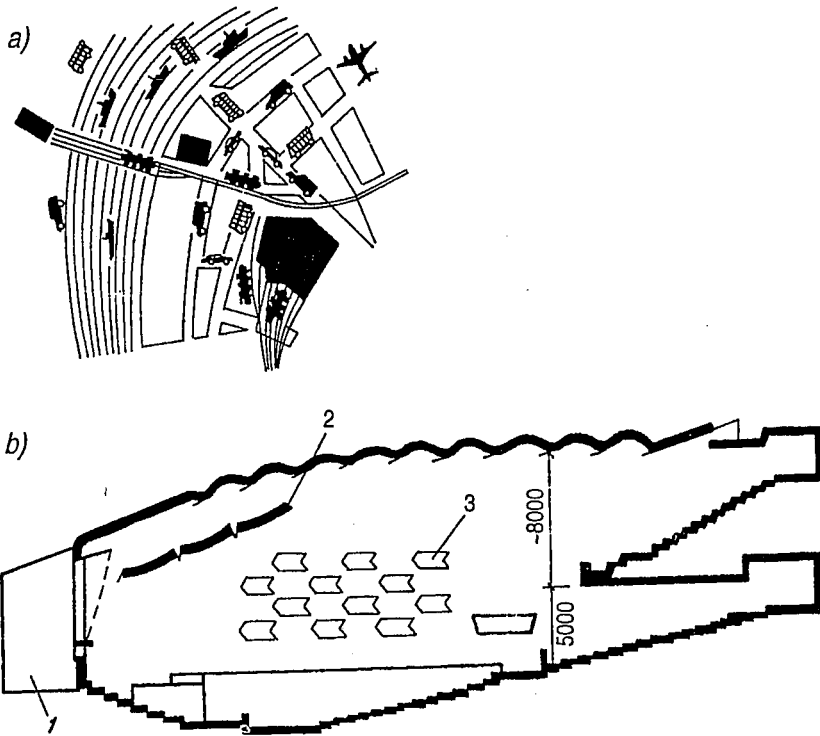
Giải pháp sử dụng các tấm phản xạ treo tự do, trong phòng hòa nhạc Aula Magna ở Caracas, Vênezuela (hình 4.52) tạo được một hình thức hấp dẫn cho kiến trúc nội thất. Khi áp dụng giải pháp này, cần chú ý rằng, nếu kích thước các tấm phản xạ không đủ lớn, âm phản xạ tới thính giả có thể thiếu tần số thấp, gây ra méo tần số và sự mất cân bằng âm vang, làm xấu chất lượng âm thanh.



Hình 4.53. Nội thất phòng hòa nhạc Berlin (Philharmonie Berlin) với những "đám mây âm học" trên dàn nhạc

Trên hình 4.53 giới thiệu ảnh chụp nội thất phòng hòa nhạc Berlin (Philharmonie Berlin) có mặt bằng cho trên hình 4.47. Các mặt phản xạ âm như những "đám mây âm học" (các tấm hình thang cạnh 2,75m treo ở độ cao 10,6m).

Tuy nhiên chất lượng âm thanh của phòng hòa nhạc chỉ mới được đánh giá tốt (chưa phải tốt nhất), theo chúng tôi có một nguyên nhân là do tấm phản xạ có kích thước còn quá nhỏ.



Hình 4.54. Phòng hòa nhạc Royal Festival Hall $V = 22.000m^3$, $N = 3445$ chỗ, $T = 1,47s$: a) Tổng mặt bằng với các nguồn ồn chung quanh; b) Mặt cắt dọc: 1 - đàn Organ; 2 - tấm phản xạ; 3 - ban công (Mặt bằng xem hình 4.45).

Phòng hòa nhạc Hoàng gia London (Royal Festival Hall) được đánh giá là một trong những công trình tốt nhất về âm thanh sau chiến tranh (xây dựng năm 1951) có hai đặc điểm đáng chú ý (hình 4.45 và 4.54). Một là trần phòng thính giả thiết kế tạo được sự phân bố đều năng lượng âm phản xạ khắp phòng. Tường với các ban công nhô vào phòng góp phần tạo nên trường âm khuếch tán cao. Hai là, tuy phòng hòa nhạc xây dựng ở trung tâm thành phố, bên bờ sông Thames có đường tàu thủy, tàu điện ngầm chạy qua, nhưng đã giữ được mức ồn tiêu chuẩn cho phép nhờ giải pháp cách âm tốt của các tường và cửa, cùng giải pháp cách chấn động, tạo cho phòng giống như một "quả trứng" được treo vào kết cấu của nhà bằng các lò xo giảm chấn động.

4.4.4. Rạp chiếu phim

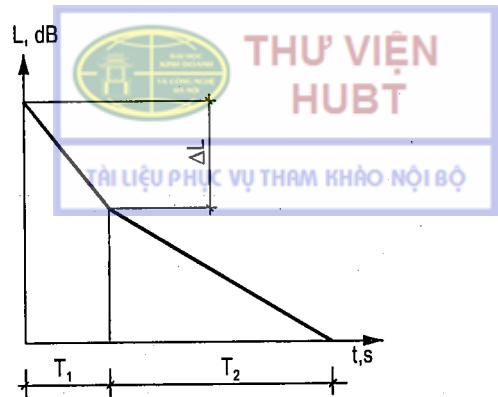
1. Đặc điểm và yêu cầu âm học

- *Đặc điểm đầu tiên* là trong rạp chiếu phim chúng ta luôn luôn nghe âm thanh qua hệ thống điện thanh. Vì vậy công suất của nguồn âm có thể coi là rất lớn, không bị hạn chế. Đặc điểm này cũng phù hợp với tâm lý của người xem: các hình ảnh được phóng đại trên màn ảnh đòi hỏi âm thanh cũng được phóng đại tương ứng.

- *Đặc điểm thứ hai.* Trong phim chúng ta gặp đủ loại âm thanh: tiếng nói, tiếng hát, tiếng đàn (từ một độc tấu cho đến một dàn nhạc giao hưởng), âm thanh của thiên nhiên v.v... Mỗi loại âm thanh đòi hỏi những điều kiện riêng khác nhau, thậm chí trái ngược nhau, để có thể cảm thụ tốt nhất.

- *Đặc điểm thứ ba.* Trong rạp chiếu phim chúng ta chỉ nghe lại các chương trình đã được ghi sẵn trong phòng ghi âm của xưởng phim rồi phát lại trong phòng xem. Đặc điểm này đã được nghiên cứu trong âm vang của các phòng có liên hệ điện thanh (chương 2, mục 2.3.5 và công thức (2.13)) đã được áp dụng thiết kế các rạp chiếu phim trong một thời gian dài theo cách "gia công nhiều vật liệu hút âm trong phòng chiếu phim để thời gian âm vang của phòng gần bằng không, khi đó thính giả sẽ cảm thụ theo âm vang hiệu quả, xấp xỉ với thời gian âm vang phòng ghi âm - phòng được coi là chất lượng âm thanh lý tưởng". Tuy nhiên trong các rạp chiếu phim khi gia công âm học như vậy, âm thanh cảm thụ được có cảm giác khô khan, thiếu tính "khối" của âm vang sống, đồng thời người nghe nhanh chóng có cảm giác mệt mỏi. Các khảo sát thực tế cho thấy phòng thính giả rạp chiếu phim cần phải có thời gian âm vang thích hợp cho cả tiếng nói và âm nhạc. Nhưng giải pháp này có thể làm xấu đi độ rõ trong phòng, mà đối với các rạp chiếu phim thì độ rõ là tiêu chuẩn chất lượng âm thanh hàng đầu.

A. Kacherovitr [32] đã giải quyết mâu thuẫn này bằng cách tạo đường tắt



Hình 4.55. Đường tắt dần của âm thanh trong rạp chiếu phim

dần của âm thanh trong rạp chiếu phim có dạng như trên hình 4.55. Quá trình tắt dần gồm hai giai đoạn T_1 và T_2 . Giai đoạn T_1 khoảng 150ms, mức âm thanh giảm mạnh, đạt trị số $\Delta L \geq 5 \div 6\text{dB}$ để đạt được độ rõ cao (nhờ nghe âm thanh trực tiếp từ loa đã có mức đủ lớn, mà không cần phản xạ âm có ích). Giai đoạn T_2 tắt dần chậm để có thời gian âm thanh đủ lớn khi nghe âm nhạc.

Như vậy, yêu cầu âm thanh của các rạp chiếu phim được thể hiện qua các chỉ tiêu sau đây:

1. Độ rõ tiếng nói cao.
2. Thời gian âm vang phù hợp cho cả tiếng nói và âm nhạc (giải pháp trung hòa).
3. Trường âm có độ khuếch tán tốt góp thêm phần nâng cao chất lượng cảm thụ âm nhạc khi thời gian âm vang không đủ lớn.

2. Giải pháp

a) Thể tích và kích thước phòng

Từ đặc điểm thứ nhất cho thấy kích thước các rạp chiếu phim về nguyên tắc có thể rất lớn. Tuy nhiên trong thực tế, khi phòng quá dài, âm thanh phải khuếch đại để đủ cường độ cho những chỗ ngồi cuối phòng thì ở những hàng ghế đầu mức âm sẽ quá lớn, làm giảm độ rõ và gây khó chịu cho người nghe. Mặt khác còn có yêu cầu bảo đảm sự đồng bộ giữa âm thanh và hình ảnh, khi đó khoảng cách từ thính giả xa nhất đến màn ảnh không được vượt quá 50m. Tiêu chuẩn thiết kế rạp chiếu phim của nước ta (TCXD - 48 - 72) quy định chiều dài phòng không được vượt quá 35m.

b) Phương pháp gia công âm học

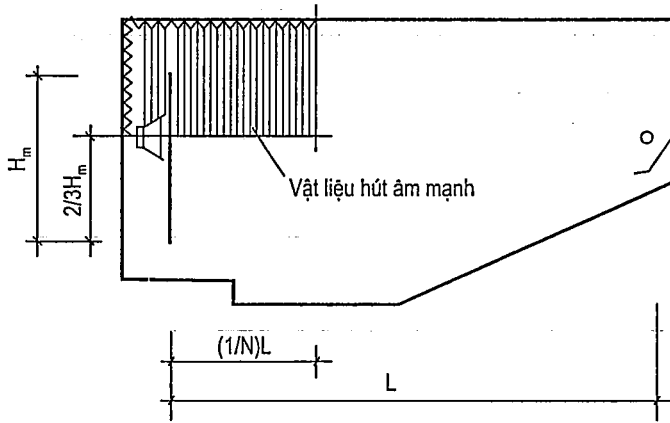
Muốn giảm nhanh mức âm trong giai đoạn T_1 , cần phải bố trí vật liệu hút âm mạnh ($\alpha > 0,5$), trên các mặt phản xạ bậc 1 của trần và tường bên như trên hình 4.56 [32]. Trị số N lấy như sau:

Khi chiều dài phòng: $L < 25\text{m} \rightarrow N = 5$;

Khi: $L = 25 \div 40\text{m} \rightarrow N = 4$;

Khi: $L > 40\text{m} \rightarrow N = 3$.

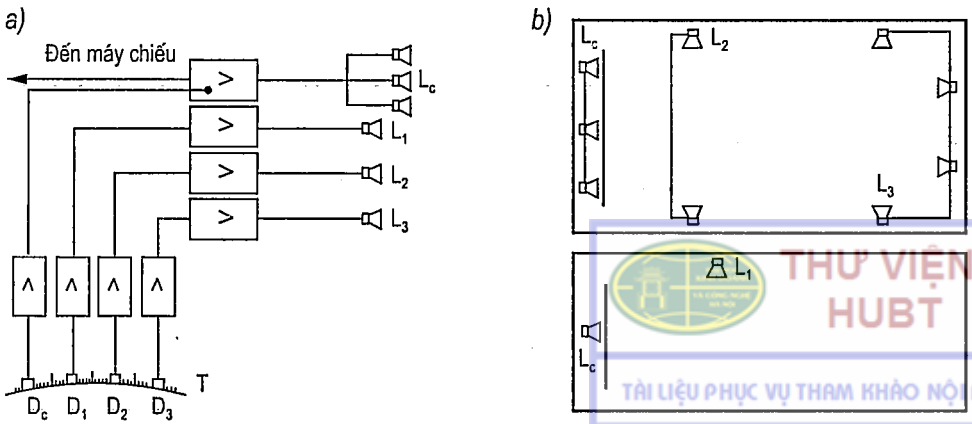
Phần trần và tường còn lại của không gian phòng khán giả bố trí vật liệu hút âm theo yêu cầu âm vang và để tạo được một trường âm khuếch tán tốt (xem chương 12, mục .5.2).



Hình 4.56. Sơ đồ hướng dẫn bố trí vật liệu hút âm trong rạp chiếu bóng

c) Hệ thống điện thanh

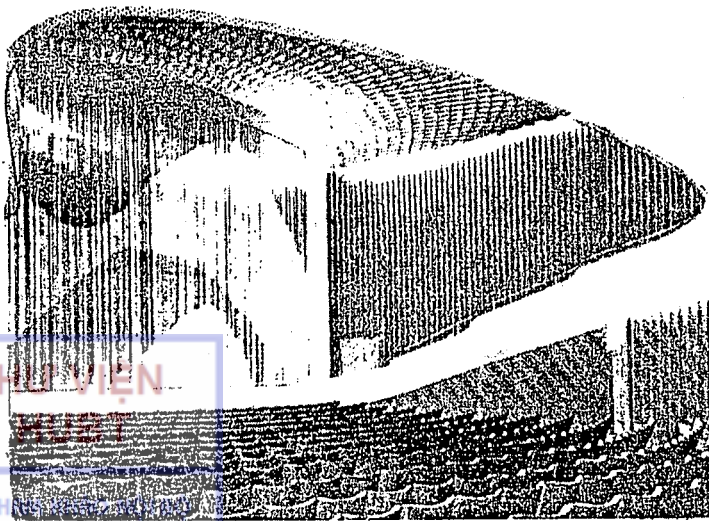
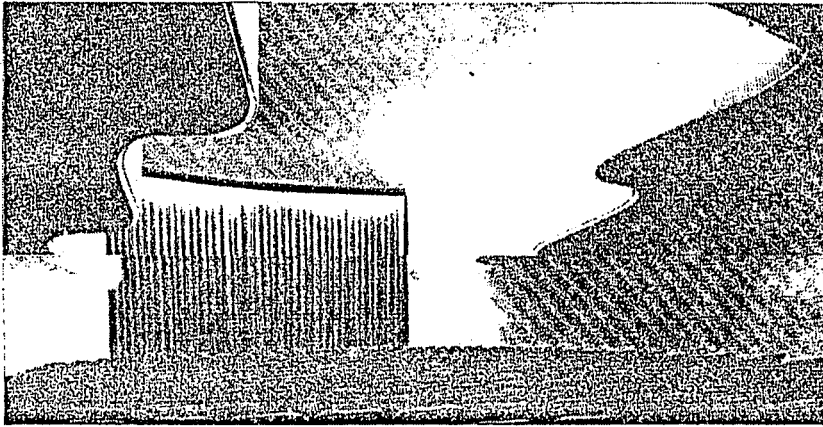
Nghiên cứu thực nghiệm tại viện nghiên cứu khoa học điện ảnh Liên Xô cho thấy có thể sử dụng một hệ thống loa bố trí ở nhiều vị trí trong phòng (hình 4.57) mô phỏng các phản xạ có ích có thể nâng cao được chất lượng thu nhận âm thanh.



Hình 4.57. Sơ đồ thiết bị âm thanh (a) và vị trí các loa (b) trong rạp chiếu phim.

Các loa chính ở sau màn ảnh (ký hiệu L_c). Tín hiệu chính cũng được đưa vào máy tạo trễ (T) và lấy ra từ các đầu D_1, D_2, D_3 đưa vào các loa L_1, L_2, L_3 với mức giảm dần (giảm 1 dB sau mỗi loa) và thời gian trễ tương ứng là 25ms, 20ms, và 15ms.

Với cách tổ chức loa như vậy phòng thính giả đạt yêu cầu để thưởng thức các phim âm nhạc. Trên hình 4.58 giới thiệu nội thất một rạp chiếu phim đã phối hợp được hài hòa giữa kiến trúc âm thanh và chiếu sáng.



Hình 4.58. Giải pháp phối hợp hài hòa kiến trúc - âm thanh - ánh sáng trong một rạp chiếu bóng

4.4.5. Phòng đa năng

1. Đặc điểm và yêu cầu âm học

Phòng đa năng là phòng có thể sử dụng cho một vài hoặc nhiều chức năng khác nhau. Một số chức năng sau đây thường hay được sử dụng phối hợp:

- Kịch, ca kịch, hòa nhạc.

- Hội họp, hòa nhạc, balê, chiếu phim, và thời trang, ca nhạc tạp kỹ...

Các phòng đa năng thường gặp trong các cung đại hội, cung quốc gia, cung văn hoá, hội trường thành phố, thường có sức chứa lớn tới vài ba ngàn người, thậm chí sáu bảy ngàn. Ví dụ cung đại Kremli Maxcova có sức chứa 6150 chỗ (thể tích 52.000m³) nhà hát đa năng ở Chicago (Arie Crow Theater) 5081 chỗ, đại lễ đường Bắc Kinh, Trung Quốc gần 10.000 chỗ v.v...

Đặc điểm thứ hai của các phòng đa năng là yêu cầu âm học khác nhau theo chức năng sử dụng, thậm chí trái ngược nhau (ví dụ giữa hội họp và hòa nhạc, giữa chiếu phim và hòa nhạc v.v...).

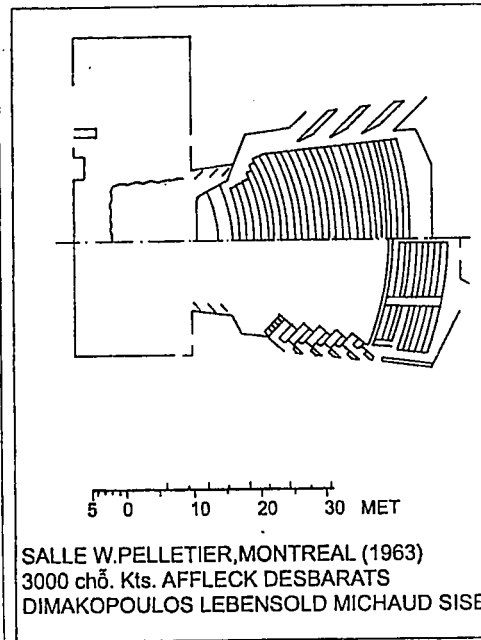
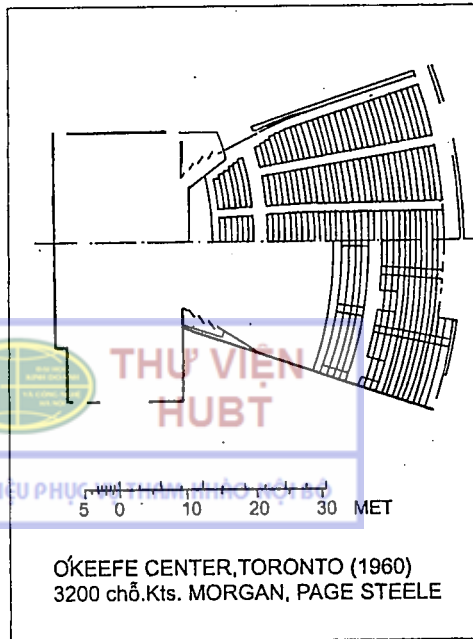
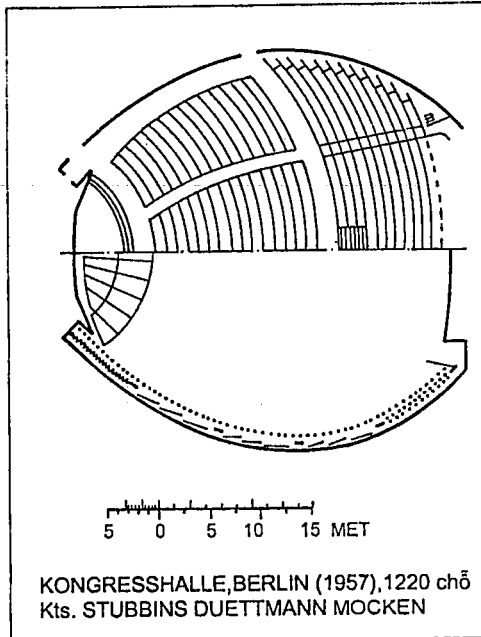
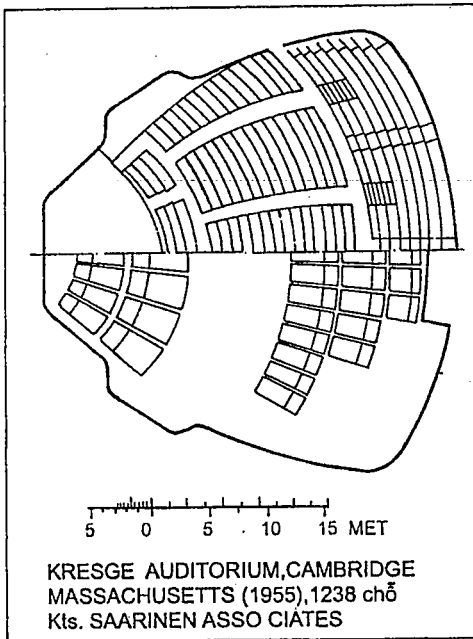
Các đặc điểm trên đề ra yêu cầu âm học cho các phòng đa năng là phải có chất lượng âm thanh phù hợp với mỗi chức năng, tốt nhất là phòng có chế độ âm thanh thay đổi theo chức năng sử dụng. Yêu cầu này trong thực tế khó đáp ứng một cách hoàn hảo, và thường phải chọn một giải pháp thỏa hiệp. Vì vậy một trường âm khuếch tán cao trong phòng đa năng là rất cần thiết, nó có thể làm giảm vai trò quan trọng của các chỉ tiêu chưa được đáp ứng (ví dụ, do thời gian âm vang phải chọn trung gian giữa tiếng nói và âm nhạc, nhưng nhờ có trường âm khuếch tán cao chất lượng cảm thụ âm nhạc trong phòng vẫn đạt yêu cầu).

2. Giải pháp

Tren hình 4.59 giới thiệu một số mặt bằng và trong bảng 4.9 là một số phòng đa năng trên thế giới.

Bảng 4.9. Một số phòng đa năng trên thế giới

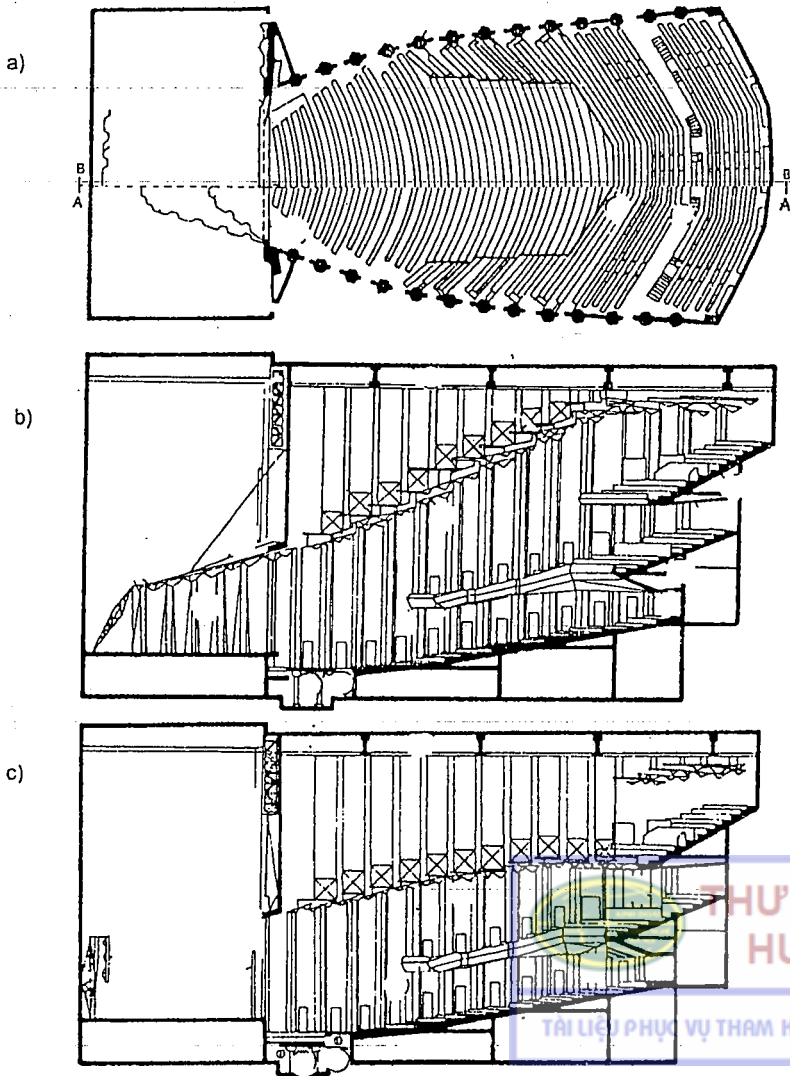
Tên phòng	Địa điểm	Năm xây dựng	Sức chứa
Eastman theater	Rochester, New York	1923	3347
Aula Magna	Caracas, Venezuela	1954	2660
Civic Auditorium	Bofu, Japan	1960	1604
Civic Auditorium	Nagasaki, Japan	1962	1800
Civic Auditorium	Fukuoka, Japan	1963	1800
Memorial Auditorium	Chiba, Japan	1965	960
National Cultural Center	Manila, Philipin	1968	2000
Grand Théâtre	Quebec, Canada	1971	1780



Hình 4.59. Mặt bằng các phòng đa năng

Để đạt được yêu cầu thay đổi các chế độ âm thanh của phòng chúng ta có thể áp dụng các giải pháp sau đây:

- *Giải pháp 1.* Áp dụng cho sân khấu, sử dụng các mặt phản xạ di động để biến sân khấu hút âm của nhà hát thành sân khấu phản xạ âm khi hòa nhạc (xem hình 4.59 và hình 4.60).

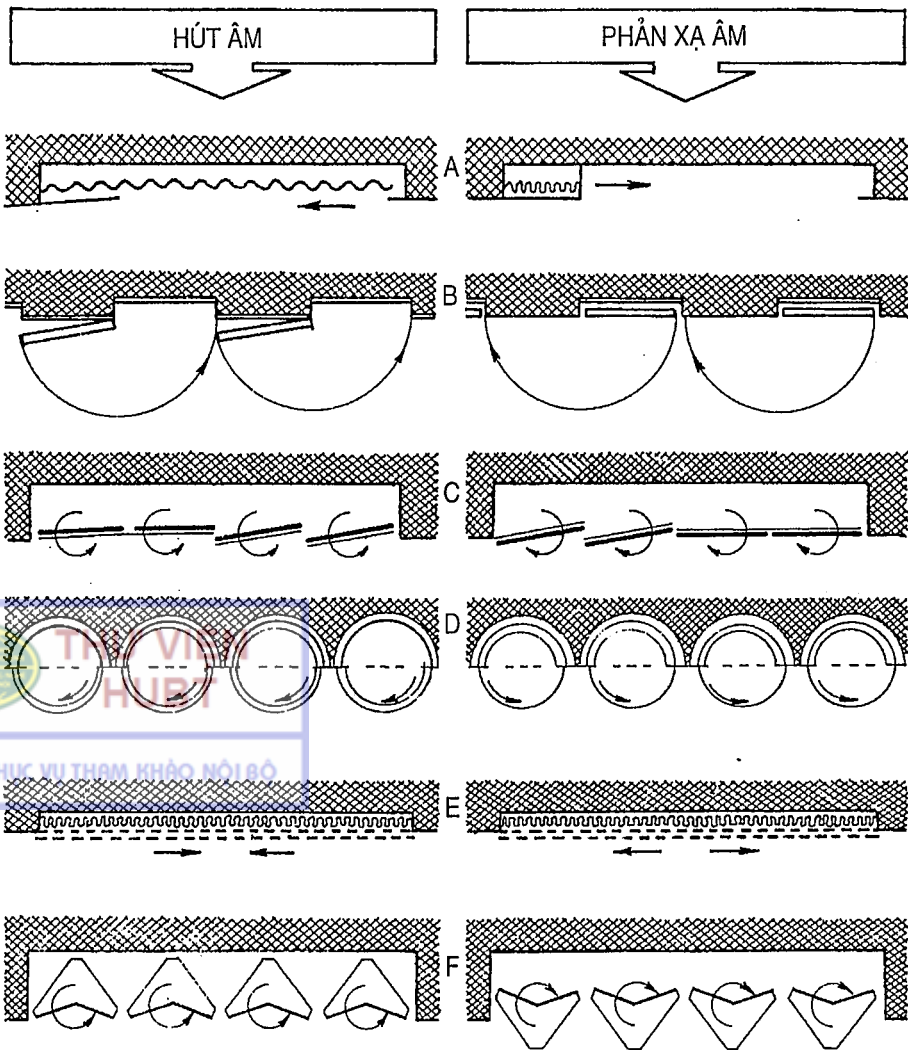


Hình 4.60. Phòng đa năng Jones Hall, Houston, Texas:

a) Mặt bằng; b) Mặt cắt khi hòa nhạc, 3000 chỗ; c) Mặt cắt khi ôpera, 1700 chỗ.

- *Giải pháp 2.* Bằng các cấu kiện di động của trần và tường, thay đổi thể tích và sức chứa các phòng thính giả phù hợp với chức năng sử dụng. Đây là giải pháp hiệu quả nhất nhưng đòi hỏi phải áp dụng những biện pháp kỹ thuật xây dựng phức tạp. Một ví dụ rất hay về giải pháp này là phòng đa

năng ở Houston bang Texas (Jones Hall) trên hình 4.60. Khi hòa nhạc, biểu diễn ba lê đạt sức chứa tối đa 3000 người với toàn bộ không gian thiết kế. Khi làm chức năng nhà hát opêra, số chỗ giảm còn 1700 bằng cách bỏ ban công tầng ba và một phần tầng hai nhờ các tường và trần di động. Thời gian âm vang của phòng giảm từ 1,8 giây (khi hòa nhạc) xuống còn 1,2 giây (khi nhà hát) bản đảm chất lượng âm thanh tốt cho cả hai trường hợp. Trường âm trong phòng đạt được độ khuếch tán cao nhờ 870 panen phản xạ khuếch tán hình tháp sáu mặt, được ghép thành từng cặp ba cái một, có thể nâng hạ và quay ở độ cao 8m.



Hình 4.61. Vật liệu hút âm thay đổi dùng trong các phòng đa năng

- *Giải pháp 3.* Sử dụng các vật liệu hút âm thay đổi để điều chỉnh lượng hút âm theo yêu cầu âm vang của chức năng sử dụng. Trên hình 4.61 giới thiệu một số cấu tạo của các kết cấu hút âm như vậy. Khi nghe âm nhạc quay mặt phản xạ vào phòng, còn khi nghe tiếng nói quay mặt hút âm vào trong phòng.

- *Giải pháp 4.* Sử dụng hệ thống điện thanh - xử lý tín hiệu để điều chỉnh thời gian âm vang của phòng. Có thể áp dụng một trong hai cách xử lý sau đây:

+ Cách một. Thiết kế phòng có thời gian âm vang đủ dài để nghe âm nhạc. Khi nghe tiếng nói chúng ta dùng một hệ thống loa công suất lớn, có tính định hướng mạnh. Lúc đó thính giả sẽ cảm thụ theo âm vang tương đương, nhỏ hơn thời gian âm vang thực của phòng (xem chương 2, mục 2.3.5).

+ Cách hai. Xử lý phòng đạt được thời gian âm vang tốt nhất cho tiếng nói (phòng có thời gian âm vang nhỏ, lượng hút âm lớn). Khi nghe âm nhạc phòng được bổ sung thêm âm vang nhân tạo của hệ thống điện thanh, cho phép điều chỉnh kéo dài thời gian âm vang phù hợp với các chương trình âm nhạc khác nhau (xem chương 5).

4.4.6. Các studio âm thanh

1. Đặc điểm và yêu cầu âm học

Các studio âm thanh là các phòng thu thanh chuyên dùng trong phát thanh, truyền hình, điện ảnh, sản xuất băng đĩa nhạc. Người ta thường phân loại các studio theo các chương trình thu âm, và do đó có liên quan đến kích thước của các studio.

Studio lớn cho âm nhạc, ca kịch, có thể tích V từ 600 đến 15.000m³. Loại này lại chia ra các studio không có thính giả và các studio có thính giả (từ vài trăm tới vài ngàn người);

Studio trung bình cho âm nhạc và ca kịch (có thể dùng cho một dàn nhạc giao hưởng trung bình); $V = 300 \div 4500\text{m}^3$;

Studio nhỏ âm nhạc và ca kịch: $V = 1000 \div 2500\text{m}^3$.

Studio lớn cho kịch nói: $V = 800 \div 1200\text{m}^3$.

Studio trung bình cho kịch nói: $V = 500\text{m}^3$.

Studio thu âm nhạc phòng, độc tấu: $V = 600 \div 900\text{m}^3$.

Studio tiếng nói: $V = 90 \div 120\text{m}^3$.

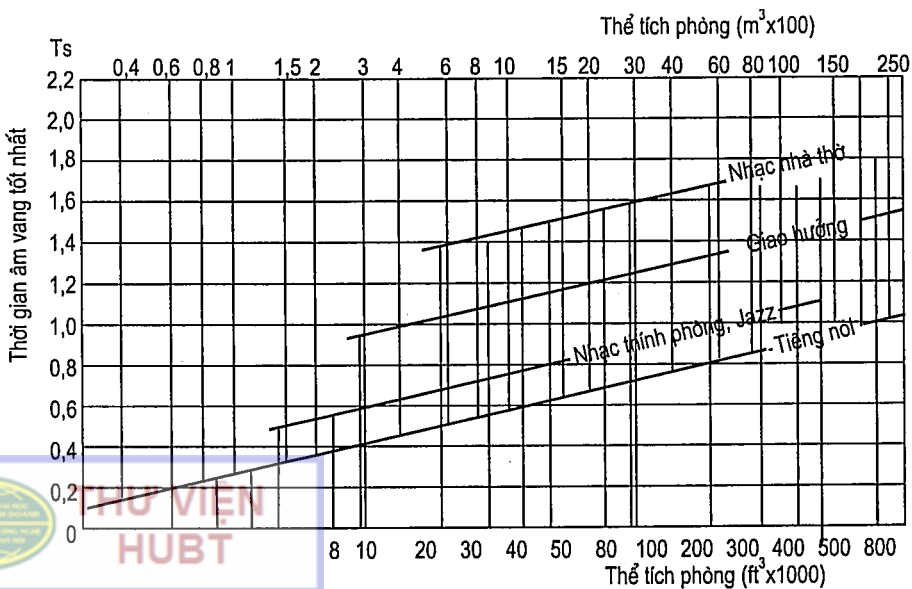
Ngoài ra còn có các phòng máy, đạo diễn, kiểm thính v.v...

Các studio âm thanh có yêu cầu âm học cao hơn và nghiêm ngặt hơn các phòng thính giả đã nói ở trên, do một số nguyên nhân sau đây:

- Phạm vi tần số xử lý âm thanh rộng hơn (từ 63 đến 8000Hz) so với nhà hát, hội trường, phòng hòa nhạc (từ 125 đến 4000Hz);

- Các microphôn thu âm (khác với tai người) có độ nhạy rất cao, đòi hỏi những điểm đặt chúng phải có trường âm ổn định, không được có sự dao động về mức âm;

- Các studio nói chung có kích thước tương đối nhỏ so với các phòng thính giả vì vậy khó tạo được một trường âm khuếch tán đều ở các tần số, nhất là các tần số thấp dưới 250Hz, đồng thời dễ phát sinh các hiện tượng xấu về âm thanh như tiếng dội, méo âm.



Hình 4.62. Thời gian âm vang tốt nhất ở 500 - 1000Hz cho studio âm thanh

Yêu cầu âm học của các studio âm thanh thể hiện qua các chỉ tiêu sau đây:

1. Trường âm trong phòng có độ khuếch tán cao.
2. Đặc tính tần số thời gian âm thanh phù hợp với đặc tính tần số âm vang tốt nhất.
3. Không xảy ra các hiện tượng xấu về âm thanh trong các studio.
4. Tiếng ồn nền và chấn động phải hạn chế thấp nhất (theo đường NR từ 15 đến 25, xem chương 6, mục 6.2).

Trừ các studio lớn, có thính giả, thời gian âm vang tốt nhất cho các studio âm thanh thường ngắn hơn trong các phòng thính giả các loại (xem hình 4.62 [13]).

Trong bảng 4.10 giới thiệu tiêu chuẩn Việt Nam về âm thanh các studio (TCVN - 1510 - 88).

Bảng 4.10. Yêu cầu tiêu chuẩn đối với các studio (TCVN - 4510 - 88)

Thể loại studio	Chức năng của phòng	Thể tích, m ³	Thời gian-vang T_{500}, s	Đường giới hạn mức tạp âm tối đa cho phép (đường, NR, hình 6.9)
Studio sản xuất chương trình lời	Phòng đọc cho 1 đến 3 người	80 ± 20	0,35 ± 0,05	13
	Phòng máy đạo diễn	100 ± 20	0,35 ± 0,05	20
	Phòng chuẩn bị	70 ± 10	Từ 0,4 đến 0,5	30
Studio sản xuất chương trình kịch nói	Phòng thu nhỏ	150 ± 50	Từ 0,4 đến 0,5	9
	Phòng thu trung bình	450 ± 50	0,6 đến 0,7	9
	Phòng thu lớn	900 ± 100	0,8 đến 0,9	9
	Phòng câm	80 ± 20	0,10 ± 0,05	9
	Phòng máy đạo diễn	120 ± 20	0,30 ± 0,05	20
Studio sản xuất chương trình âm nhạc và ca kịch	Phòng tập duyệt	Từ 400 đến 700	(0,6 đến 0,8) ± 0,1	20
	Phòng thu nhạc thính phòng, ca khúc	Từ 500 đến 1000	(1,0 đến 1,2) ± 0,1	9
	Phòng thu tốp ca và dàn nhạc nhỏ	Từ 1500 đến 2500	(1,2 đến 1,4) ± 0,1	13
	Phòng thu nhạc nhẹ	Từ 2000 đến 3500	(0,8 đến 1,0) ± 0,1	13
	Phòng thu dàn nhạc trung bình	Từ 3000 đến 4500	(1,6 đến 1,8) ± 0,1	13
	Phòng thu giao hưởng hợp xướng lớn không người xem	Từ 600 đến 9000	(1,7 đến 2,0) ± 0,1	13
	Phòng thu giao hưởng hợp xướng có người xem	Từ 12000 đến 15000	(2,0 đến 2,2) ± 0,1	13
	Phòng máy đạo diễn	120 ± 20	0,3 ± 0,05	20
	Phòng kiểm thính tiêu chuẩn	120 ± 20	0,2 ± 0,05	13
	Phòng vang	100 ± 10	2,0 đến 2,5	20
Studio truyền dẫn tín hiệu phát thanh (truyền âm)	Phòng pha in	100 ± 20	0,3 ± 0,05	20
	Phòng máy phát băng	120 ± 20	0,4 đến 0,5	30
	Phòng đọc trực tiếp	80 ± 20	0,35 ± 0,05	13
	Phòng phân phối và khống chế tín hiệu	Từ 100 đến 200	0,6 đến 0,7	30

2. Giải pháp

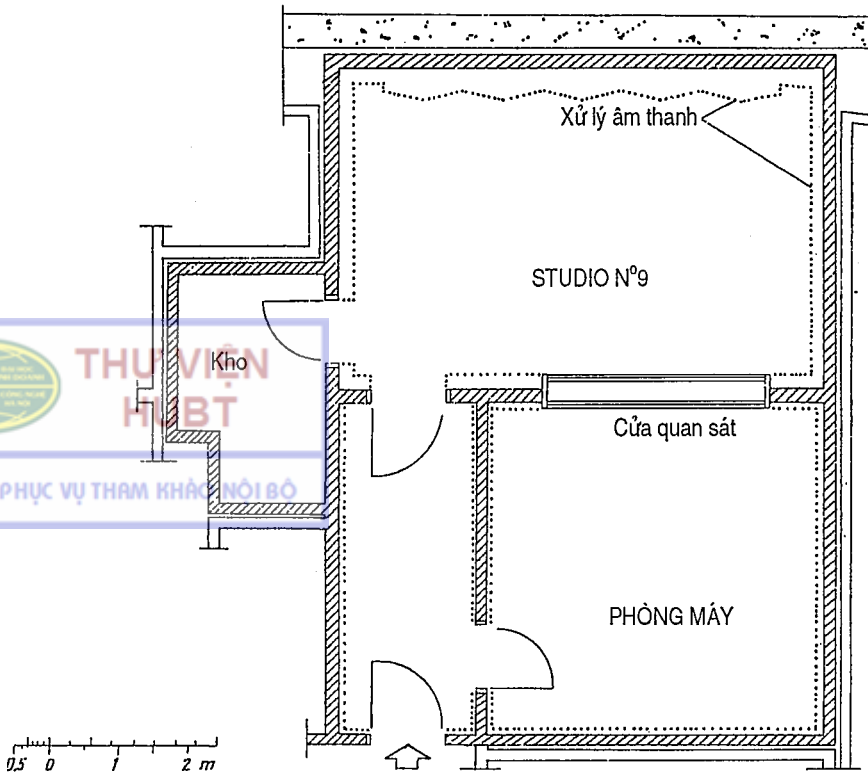
a) Hình dạng và tỷ lệ kích thước

Hình dạng và kích thước các studio nhỏ có ý nghĩa quan trọng đối với trường âm và nên tham khảo các tỷ lệ đã giới thiệu ở mục 4.1.4 của chương này.

Cần chú ý rằng, vai trò tỷ lệ phòng sẽ giảm dần ý nghĩa khi:

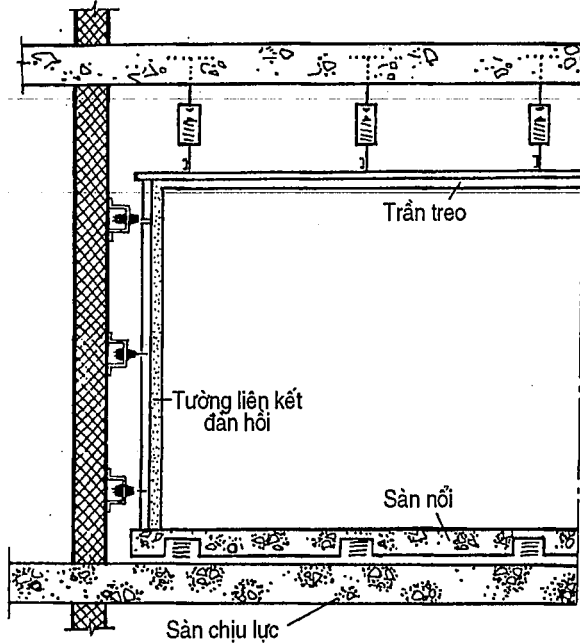
1. Mặt bằng studio không phải hình chữ nhật.
2. Đặc tính tần số thời gian âm vang là lý tưởng;
3. Phòng hút âm mạnh, rộng và đều, đặc biệt ở các tần số thấp;
4. Trường âm có độ khuếch tán cao;
5. Thể tích studio trên 700m^3 .

Trên hình 4.63 giới thiệu studio phát thanh mẫu của Đài phát thanh Canada Montreal (1972).

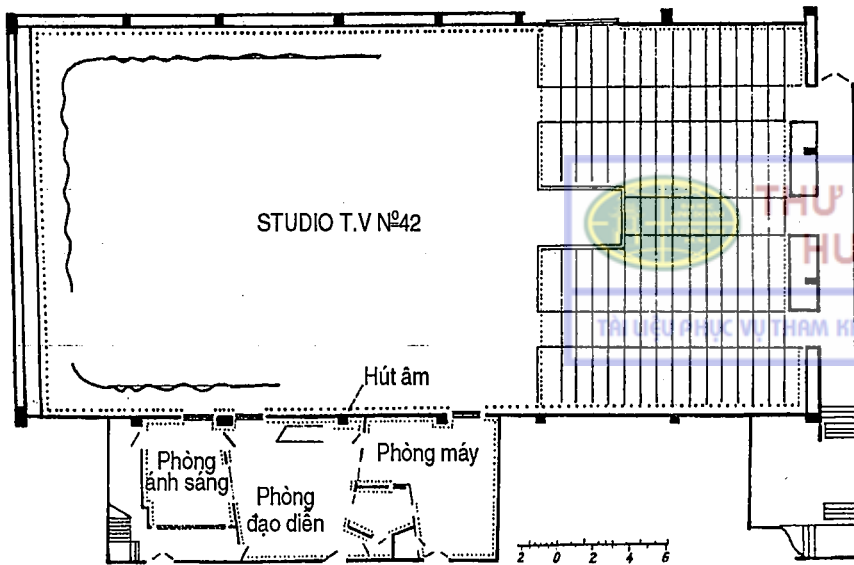


Hình 4.63. Studio phát thanh mẫu của đài phát thanh Montreal, Canada (1972)

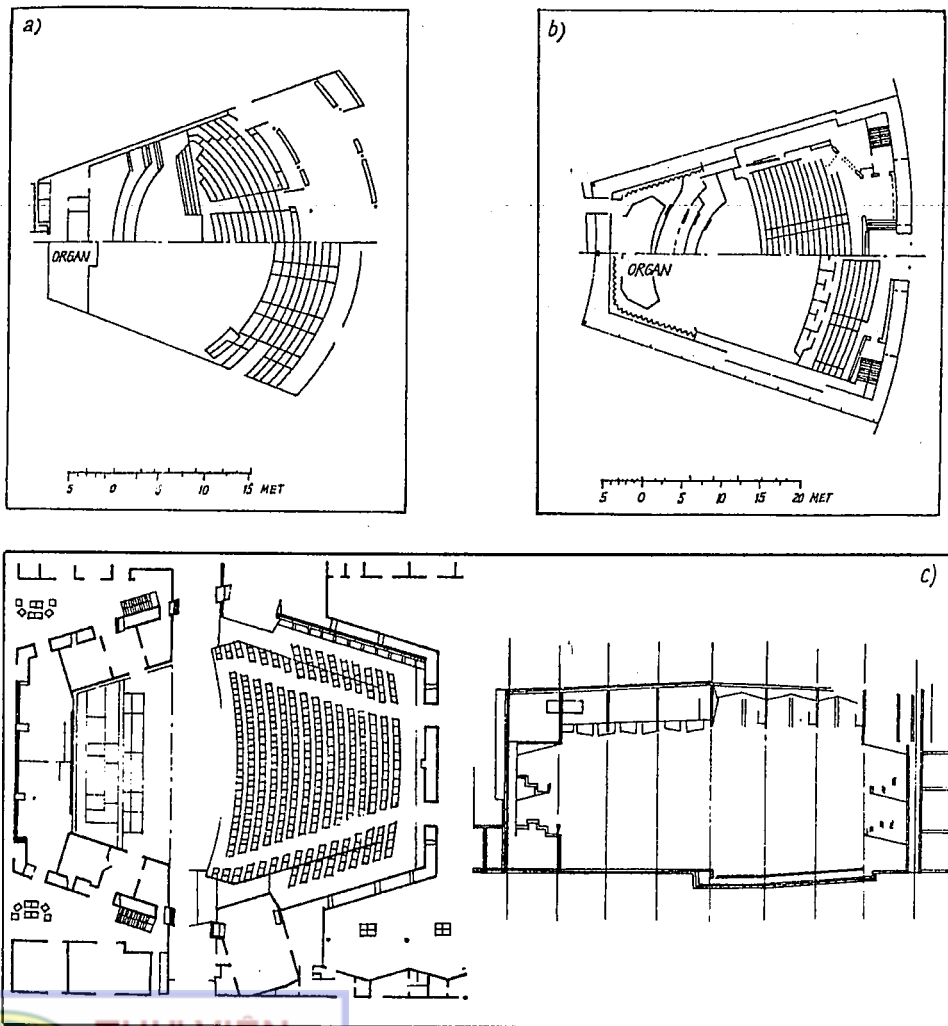
Để cách âm và chấn động tốt, các studio thường được thiết kế theo nguyên tắc "hộp trong hộp" nhằm làm cho kết cấu mất tính liên tục, nhờ đó giảm thiểu được đường lan truyền âm vật liệu (hình 4.64).



Hình 4.64. Kết cấu "hộp trong hộp" với sàn nổi, tường đôi, trần treo



Hình 4.65. Studio truyền hình của đài phát thanh truyền hình Montreal, Canada (1972)



Hình 4.66. Các studio phát thanh có thính giả:

a) Studio 1 của đài phát thanh Đan Mạch (1945), sức chứa 1093 chỗ, Kts. V. Lauritzen; b) Phòng hòa nhạc lớn đài phát thanh Paris (1963), sức chứa 937 chỗ, Kts. Niermans; c) Phòng hòa nhạc Berwald sức chứa 1306 chỗ của đài phát thanh truyền hình Thụy Điển (1979). Kts. Erik Ahnborg và Sune Lindstrom (mặt bằng và mặt cắt dọc).

Các studio lớn có thính giả cho âm nhạc và kịch hát thiết kế giống như các phòng hòa nhạc. Trên hình 4.65 là studio truyền hình có thính giả của Đài phát thanh truyền hình Canada, Montreal, còn trên hình 4.66a và b là các studio phát thanh có thính giả của Đài phát thanh truyền hình Đan Mạch

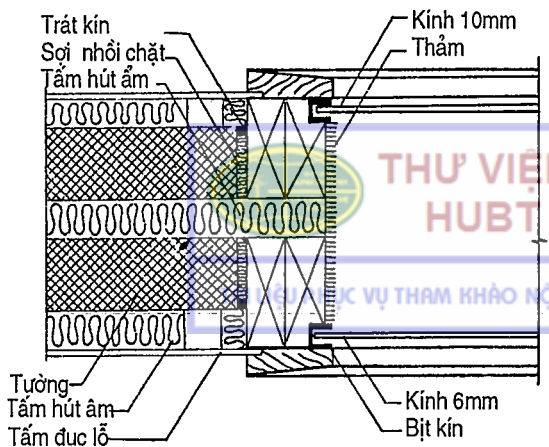
(1945) và Paris (1963). Trên hình 4.66c là phòng hòa nhạc Berwald của Đài phát thanh - truyền hình Thụy Điển (1979) có thể chứa 1306 thính giả với sân khấu đủ chỗ cho 100 nhạc công và dàn hợp xướng 100 người (275m²). Cách tổ chức chỗ ngồi bao quanh sân diễn tạo được sự tiếp xúc tốt giữa diễn viên và thính giả. Phòng cao 16,5m có dạng hình lục giác, có lợi để âm thanh từ dàn nhạc tới thính giả. Sân bằng gỗ cứng. Tường ốp gỗ, có thêm các khối hình lăng trụ. Phần âm thanh do Vilhelm Lassen Jordan, người đã thiết kế nhà hát opera Sydney đảm nhiệm. Trong PLA2 là phòng lớn của Đài phát thanh truyền hình NHK Nhật Bản.

b) Gia công âm học

Trường âm trong các studio truyền hình có thể coi là "chết", nghĩa là có lượng hút âm khá lớn. Nếu cần thiết tăng cường âm vang thì dùng thiết bị tạo vang nhân tạo. Vật liệu hút âm trong các studio thường dùng một lớp bông khoáng, phủ ngoài bằng gỗ dán, nan gỗ hoặc các tấm trát đục lỗ. Để hút âm tần số thấp có thể dùng gỗ dán, tấm trát thạch cao đặt ở độ cao thấp (từ 1,8 đến 2,4m).

Cửa quan sát giữa studio và phòng máy, đạo diễn phải bảo đảm cách âm tốt, thường có cấu tạo có hai ba lớp (hình 4.67).

Trong PLA từ 1 đến 10 ở cuối sách, chúng tôi giới thiệu một số phòng thính giả nổi tiếng trên thế giới được thiết kế và xây dựng trong mấy thập niên gần đây với các chú thích đáng lưu ý về các giải pháp nội thất - âm học, như là những minh họa thêm cho các phần lý thuyết đã trình bày trong các chương 2 và 4. Đây có thể là những gợi ý cho các tác giả thiết kế khi tìm giải pháp các phòng thính giả.



Hình 4.67. Cửa kính quan sát trong các studio

Chương 5

SỬ DỤNG HỆ THỐNG ĐIỆN THANH TRONG CÁC PHÒNG THÍNH GIẢ

5.1. PHÂN LOẠI CÁC HỆ THỐNG ĐIỆN THANH

Mấy thập kỷ gần đây với sự phát triển nhanh và mạnh của công nghệ điện tử, các thiết bị điện thanh vừa có chất lượng cao, vừa đa dạng về chủng loại và được sử dụng phổ biến để truyền âm thanh trong các phòng biểu diễn, nhà thi đấu, sân vận động, nhà ga, bến tàu, quảng trường và đường phố.

Ta có thể phân loại các hệ thống điện thanh theo đặc điểm về âm học, về chất lượng âm thanh, về cách bố trí loa.

5.1.1. Phân loại theo đặc điểm về âm học

Ta có thể phân biệt hai hệ thống điện thanh:

1. Hệ thống điện thanh trong các phòng thính giả, trong đó người nghe vừa nghe âm thanh trực tiếp (từ diễn giả, diễn viên, nhạc cụ... - nguồn âm thứ nhất), vừa nghe âm thanh qua các loa của hệ thống điện thanh (nguồn âm thứ hai), như trong các phòng hội họp, ca kịch, hòa nhạc, phòng đa năng... Trong các hệ thống này người biểu diễn và microphone ở khá gần các loa, do đó âm thanh từ loa sẽ tác động trở lại microphone, gây ra một hiệu ứng gọi là *hiện tượng hồi tiếp* có ảnh hưởng lớn đến trường âm trong các phòng (xem mục 5.3).

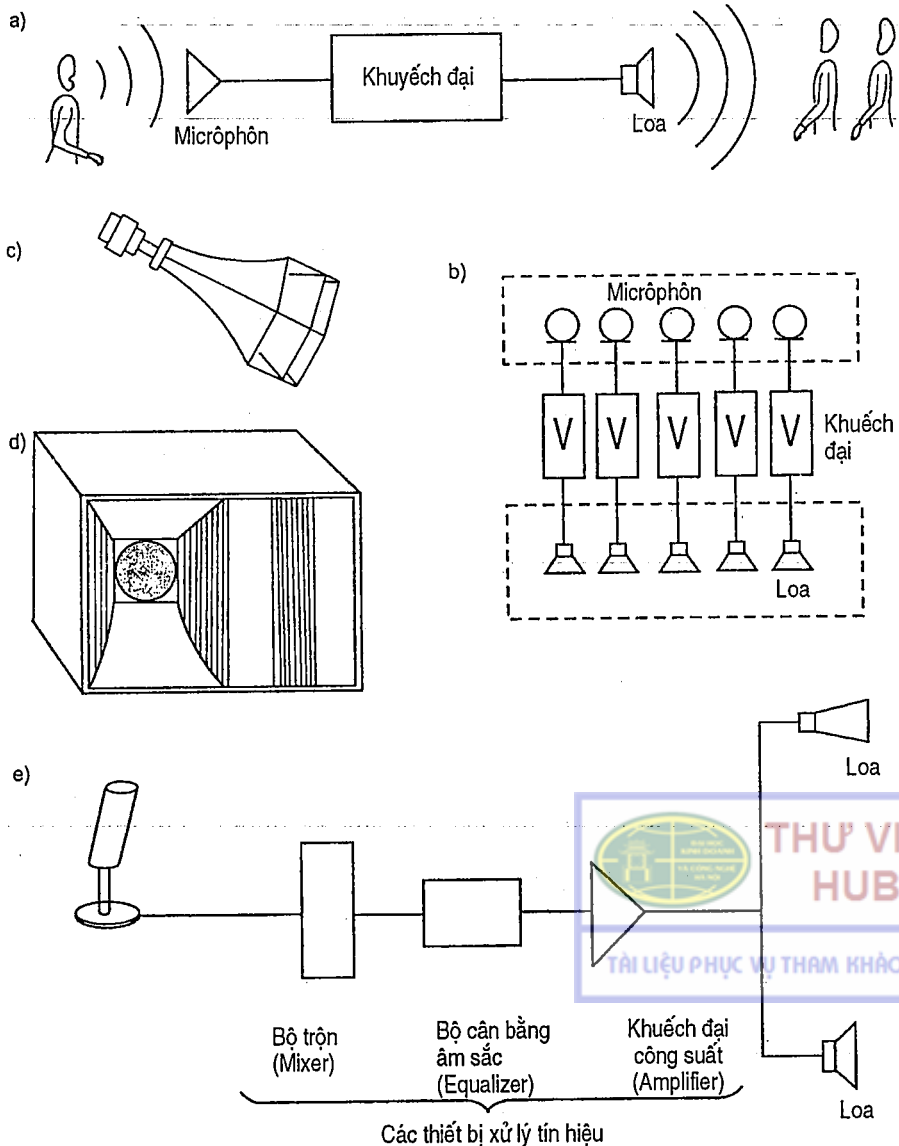
2. Trong hệ thống điện thanh thứ hai, hai loại nguồn âm ở khá xa nhau, chỉ liên hệ với nhau qua mạch của hệ thống, do đó không xảy ra hiện tượng hồi tiếp, ví dụ truyền âm trên đường phố, quảng trường, sân vận động, trong các phòng chiếu phim, phòng phát lại các chương trình đã ghi.

Trong chương này chúng ta quan tâm chính đến hệ thống thứ nhất.

5.1.2. Phân loại theo chất lượng âm thanh

Theo chất lượng âm thanh lại chia ra:

- Hệ thống điện thanh thường dùng để khuếch đại tiếng nói, hoặc âm nhạc, được gọi là hệ thống tăng âm.



Hình 5.1. Sơ đồ các hệ thống và thiết bị âm thanh chính:

- a) Hệ thống truyền âm đơn (mono); b) Hệ thống truyền âm lập thể (stereo) có năm kênh; c) Loa tần số cao (horn loudspeaker); d) Loa tần số thấp (woofer); e) Hệ thống điện thanh - xử lý tín hiệu.

Hệ thống tăng âm đơn giản nhất chỉ gồm có một kênh truyền âm, gọi là *hệ thống truyền âm đơn* (mono) (hình 5.1a). Âm thanh của hệ thống này không tạo được cho người nghe cảm giác vị trí không gian của nguồn âm. Âm nghe được như từ một không gian nhỏ (của chiếc loa) truyền tới, thiếu tính khối, thể hiện tính tự nhiên của âm thanh sống.

- *Hệ thống truyền âm lập thể*: Để khắc phục nhược điểm trên, người ta sử dụng *hệ thống truyền âm lập thể* (sterio), đó là một hệ thống truyền âm nhiều kênh, trên cơ sở nghe định vị hai tai của con người [48]. Hệ thống truyền âm lập thể càng có nhiều kênh càng cho phép xác định chính xác vị trí nguồn âm, đặc biệt khi nguồn âm lại có kích thước lớn như một dàn nhạc giao hưởng. Tuy nhiên việc tăng số kênh sẽ làm phức tạp hệ thống, vì vậy tùy theo yêu cầu chất lượng mà người ta chỉ sử dụng hệ thống lập thể có một số kênh nhất định (hình 5.1b), ví dụ trong phát thanh và đĩa hát - dùng hai kênh, chiếu phim và hòa nhạc - ba đến bốn kênh, chiếu phim toàn cảnh - sáu đến chín kênh [28, 48].

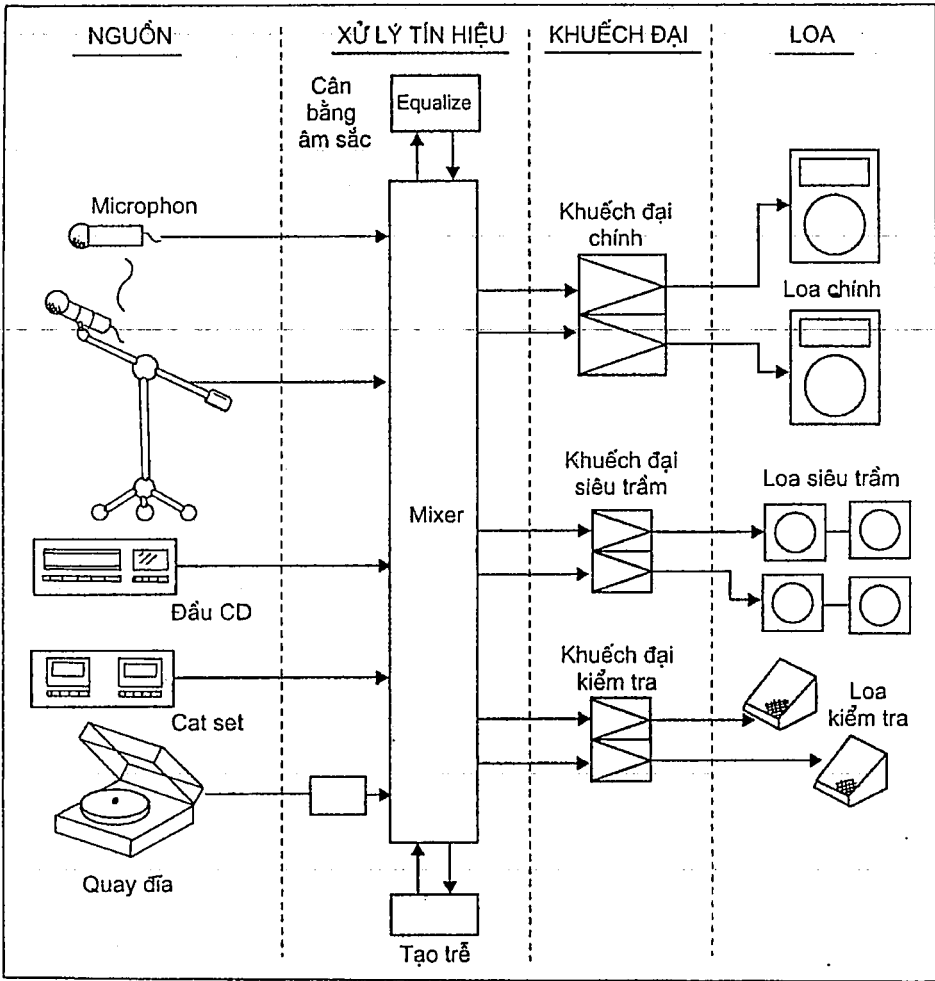
Khi truyền âm lập thể, các loa có thể bố trí thành một hàng ngang để tạo cảm giác định vị nguồn âm theo phương ngang mà bỏ qua định vị theo chiều sâu (phương dọc) vì khả năng này khi nghe tự nhiên cũng rất hạn chế [28, 48].

- *Hệ thống điện thanh - xử lý tín hiệu* (hình 5.1e), trong đó người ta đưa vào hệ thống một loạt thiết bị xử lý âm thanh chuyên dụng như bộ trộn đa kênh (mixer), bộ cân bằng âm sắc (equalizer), bộ nén (compressor), bộ tạo trễ (delay time), bộ tạo vang (reverberator)... cho phép điều chỉnh, cắt xén, bổ sung, pha trộn tín hiệu nhằm nâng cao chất lượng âm thanh phát ra loa theo thẩm mỹ của nhà đạo diễn. Ngày nay hệ thống này được sử dụng khá phổ biến trong các phòng biểu diễn và hòa tấu âm nhạc, trong các nhà hát, các phòng đa năng... với chất lượng âm thanh ngày một nâng cao và có thể lập sẵn chương trình phù hợp với mỗi thể loại âm nhạc.

Trên hình 5.2 là sơ đồ khối của hệ thống điện thanh - xử lý tín hiệu với các thiết bị chính cho một hội trường cỡ trung bình thường gặp hiện nay.

Các chức năng chính của các thiết bị trong hệ thống điện thanh- xử lý tín hiệu giới thiệu trong bảng 5.1 [23, 50].

Đặc biệt trong hệ thống này người ta có thể tạo ra âm vang, nhờ đó có thể điều chỉnh thời gian âm vang của phòng - một trong những chỉ tiêu quan trọng nhất của âm học các phòng.



Hình 5.2. Sơ đồ khối hệ thống điện thanh - xử lý tín hiệu

Có nhiều phương pháp tạo âm vang - gọi là âm vang nhân tạo - như phương pháp điện, phương pháp âm thanh, điện thanh hoặc phối hợp cả âm và điện thanh. Dưới đây giới thiệu hai hệ thống tạo âm vang thường sử dụng.

Một trong hai hệ thống này là *hệ thống dùng phòng vang* (phương pháp âm thanh). Tín hiệu sau khi vào microphôn được truyền theo hai đường: theo kênh trực tiếp và kênh đến phòng vang (hình 5.3). Phòng vang có thời gian âm vang lớn, vì vậy microphôn đặt tại phòng này sẽ bổ sung âm vang cho tín hiệu chính. Theo kinh nghiệm, phòng vang cần có thể tích không dưới $100m^3$, có các bề mặt không song song và được gia công bằng vật liệu phản xạ âm thanh mạnh.

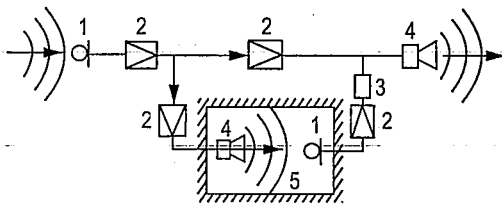
Nhược điểm chính của hệ thống này là không thay đổi được thời gian âm vang trong chu kỳ truyền âm.

Bảng 5.1. Chức năng của các thiết bị trong hệ thống điện thanh - xử lý tín hiệu

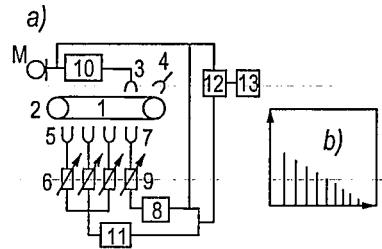
Tên thiết bị	Đặc điểm	Chức năng
Nguồn âm: Microphôn	Có loại đẳng hướng, đơn hướng, nhị hướng	Thu nhận tín hiệu âm thanh
Máy phát	Đầu CD (CD - recordplayer) Caset (Cassette, tape player) Quay đĩa	Phát lại âm thanh
Bộ trộn (Mixer)	- Mono (một đầu ra) - Stereo: (8, 12, 24, 32... đầu vào 8, 12 đầu ra)	- Pha trộn tín hiệu - Xử lý, điều chỉnh mức và tần số. - Phân phối tín hiệu.
Bộ nén (Compressor)		Chống quá tải ampli và loa
Bộ cân bằng âm sắc (equalizer)	- Mônô - Stêrêô (2 vế) - 15 hoặc 31 vùng tần số (kiểu cân gạt)	Điều chỉnh đặc tính tần số tín hiệu vào
Bộ tạo trễ (Delay time)	-Kiểu từ - Kiểu số	Tạo độ trễ thời gian các tín hiệu ra
Bộ tạo vang (Reverberator)	- Kiểu vang từ - Kiểu vang số	Tạo ra âm vang nhân tạo
Khuếch đại công suất (Power amplifier)	- Cho truyền thanh, hội họp - Cho ca nhạc	Khuếch đại tín hiệu âm thanh
Loa (Speakers)	Loa chính (main speaker) (tần số thấp, trung, cao và siêu trầm) -Loa phụ (surround) - Loa kiểm tra (monitor speaker)	Phát tín hiệu âm thanh chính trong phòng Bổ sung tín hiệu thêm quanh phòng Phát cho người biểu diễn và điều khiển

Phương pháp dùng máy vang từ (phương pháp điện thanh). Máy có cấu tạo đơn giản, nhưng lại có thể điều chỉnh được âm vang trong suốt quá trình sử dụng. Cấu tạo của máy về nguyên tắc giới thiệu trên hình 5.4a, gồm một băng ghi âm đặc biệt (1) quay vòng nhờ trục quay (2). Máy có các đầu ghi (3) và đầu xóa (4) cùng các đầu phát (5). Tín điện từ các đầu phát (5) được điều chỉnh thời gian trễ theo vị trí tương đối giữa chúng và điều chỉnh mức nhờ bộ điều chỉnh (6) để có đường tắt dẫn là đường thẳng (hình 5.4b). Đầu phát cuối (7) được đưa trở lại qua khuếch đại (8) cho phép tín hiệu lặp lại

nhiều lần tùy ý. Đồng thời bộ điều chỉnh (6, 9) cũng cho phép tăng hoặc giảm các mức tín hiệu ra để quá trình tắt dần nhanh hay chậm, nghĩa là cho phép điều chỉnh thời gian âm vang của phòng.



Hình 5.3. Hệ thống tạo vang dùng phòng vang: 1- microphone; 2 - khuếch đại; 3 - thiết bị điều chỉnh mức âm; 4 - loa; 5 - phòng vang.



Hình 5.4. Máy vang từ:

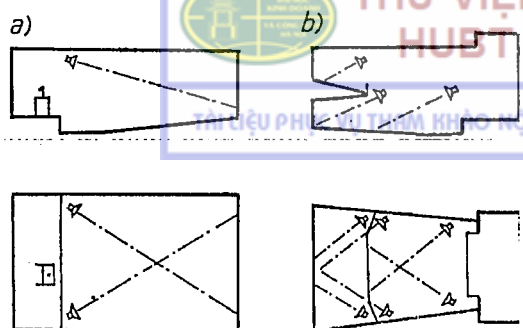
a) Sơ đồ thiết bị; b) Biểu đồ tắt dần âm thanh: 1- băng từ; 2 - trục quay; 3 - đầu ghi; 4 - đầu xóa; 5, 7 - đầu phát; 6, 9 - bộ điều chỉnh mức; 8, 10, 11, 12 - khuếch đại; 13 - thiết bị ghi lại tín hiệu

Hiện nay, đã xuất hiện các máy vang số với sự áp dụng tiến bộ của kỹ thuật xử lý số tín hiệu và kỹ thuật máy tính. Các đặc điểm âm vang theo các chương trình biểu diễn được lập trình và ghi sẵn vào bộ nhớ của máy tính, khi sử dụng người đạo diễn âm thanh chỉ cần chọn lấy một chương trình thích hợp.

5.1.3. Phân loại theo cách bố trí loa

Tùy thuộc vị trí loa trong phòng người ta chia thành các kiểu truyền âm sau đây:

- **Kiểu tập trung:** Khi các loa bố trí ở gần nguồn âm (thường ở trên hoặc hai bên miệng sân khấu) (hình 5.5a). Hệ thống này để bảo đảm sự phù hợp giữa hình ảnh và tiếng (tiếng phát ra theo đúng hướng nguồn âm), thích hợp cho cả hệ thống truyền âm đơn và hệ thống truyền âm lập thể, thường áp dụng khi các phòng có kích thước nhỏ và trung bình.

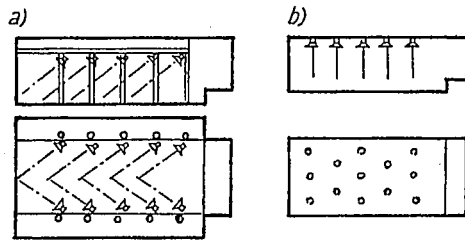


Hình 5.5. Kiểu bố trí tập trung (a) và kiểu vùng (b)

- *Kiểu vùng* (hình 5.5b) khi bề mặt truyền âm được chia thành nhiều vùng, mỗi vùng do một loa hoặc một nhóm loa phụ trách. Muốn bảo đảm phù hợp về hướng giữa hình và tiếng, cần đưa vào hệ thống này bộ tạo trễ và có thiết kế độ trễ thích hợp với vị trí của loa (xem mục 5.2).

Kiểu bố trí loa này không thích hợp cho truyền âm lập thể và thường dùng cho các phòng có kích thước lớn.

- *Kiểu phân tán*. Âm thanh tới người nghe từ một loa hoặc một số loa có công suất gần như nhau. Các loa có thể bố trí thành một đường (hình 5.6a) trên cả một bề mặt (hình 5.6b), hoặc phân tán tới mỗi ghế ngồi (dùng loại loa bát công suất 0,1 - 0,25 W).



Hình 5.6. Kiểu bố trí tập trung (a) và kiểu vùng (b)

Ưu điểm của kiểu phân tán là tạo được độ đồng đều cao của trường âm, có thể đạt được độ rõ rất cao và rất khó xảy ra hiện tượng hồi tiếp. Nhược điểm cơ bản của nó là không đảm bảo sự phù hợp hướng giữa tiếng và hình. Kiểu bố trí này thường dùng cho các phòng hội họp có số chỗ ngồi rất lớn từ bốn đến mười ngàn người như các cung đại hội.

5.2. CÁC YÊU CẦU ĐỐI VỚI HỆ THỐNG ĐIỆN THANH

Trừ loại nhạc phổ và một số loại ca nhạc nhẹ hiện đại luôn luôn gắn liền với âm thanh điện tử, các loại kịch nói, kịch hát dân tộc, ca kịch (opêra), âm nhạc phòng và nhạc giao hưởng, người nghe luôn có mong muốn được nghe âm thanh trực tiếp từ nguồn với sự tô điểm thêm trường âm hoàn hảo của bản thân phòng - một "hộp đàn đặc biệt" cho dù người ta có đủ điều kiện để trang bị một hệ thống điện thanh có chất lượng cao nhất.

Tuy nhiên, trong các phòng có kích thước lớn, năng lượng âm tự nhiên thường không đủ lớn để bảo đảm một trường âm đồng đều và có chất lượng, nhất là khi người diễn hạ thấp giọng diễn cảm những câu trữ tình, hoặc những giai điệu xuống thấp (pianissimo) của các độc tấu. Khi đó bắt buộc phải sử dụng hệ thống điện thanh.

Sự cần thiết trang bị hệ thống điện thanh cho một phòng thính giả xác định theo độ lớn của phòng, ví dụ khi thể tích của phòng trên 2000m^3 (khoảng 400 - 500 chỗ ngồi) hoặc khi khoảng cách từ thính giả xa nhất đến nguồn âm vượt 25m. Tuy nhiên trong thực tế một phòng hội thảo, một

giảng đường vài trăm chỗ ngồi đã thường được trang bị hệ thống tăng âm. Thậm chí, đôi khi các phòng tuy nhỏ nhưng mức ồn nền cao cũng được trang bị hệ thống điện thanh.

Như vậy yêu cầu trang bị hệ thống điện thanh cho một phòng có thể xác định theo công thức đơn giản sau đây:

$$\Delta L = L_{\min} - L_n \leq 10\text{dB} \quad (5.1)$$

(với L_{\min} là mức âm tại chỗ ngồi xa nhất, dB và L_n là mức ồn nền trung bình trong phòng, dB). Nghĩa là khi mức âm tại chỗ ngồi xa nhất vượt mức ồn nền trung bình không quá 10 dB thì cần trang bị hệ thống điện thanh.

Các hệ thống điện thanh phải đạt được các yêu cầu cơ bản sau đây [37]:

1. Mức âm nhỏ nhất truyền qua hệ thống điện thanh đến các chỗ ngồi thính giả phải vượt mức ồn nền không dưới 10dB. Muốn vậy mức âm thấp nhất trong các phòng thính giả và trong nhà hát ngoài trời phải đạt được khoảng 50dB, còn mức âm nhỏ nhất của hệ thống truyền thanh đường phố và quảng trường phải đạt khoảng 60 - 65dB.

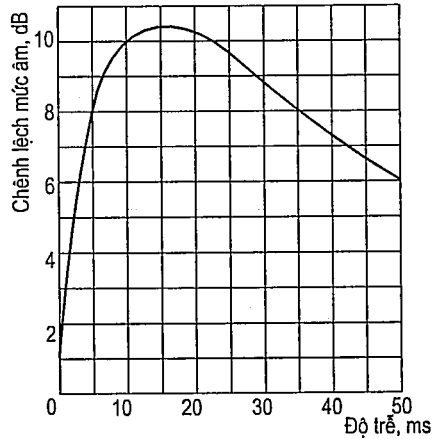
2. Mức âm cực đại trong vùng truyền âm phải đạt 85 - 105 dB (trị số dưới là cho tiếng nói, trị số trên cho âm nhạc). Do đó phạm vi động của mức âm trong các phòng là 50 - 55dB và ngoài đường phố, quảng trường là 20 - 25dB.

3. Mức không đều của trường âm trên toàn diện tích truyền âm là 5 - 10dB (5dB áp dụng khi hệ thống điện thanh có hiện tượng hồi tiếp, 10dB cho hệ thống không có hiện tượng này).

4. Phạm vi tần số của các tín hiệu phát qua loa phụ thuộc yêu cầu âm học tương ứng với chức năng của phòng, và nó là một trong các thông số cơ bản dùng để chọn thiết bị cho hệ thống. Khi truyền thanh tiếng nói trong phòng hoặc đường phố có thể chọn phạm vi tần số hẹp, ví dụ 100 - 4000Hz. Khi truyền các chương trình âm nhạc cần có một phạm vi tần số từ 30Hz đến 8000 - 10000Hz. Khi đó, ngoài các loa thông thường có chất lượng cao; phải dùng thêm các loa siêu trầm (sub - bass speaker).

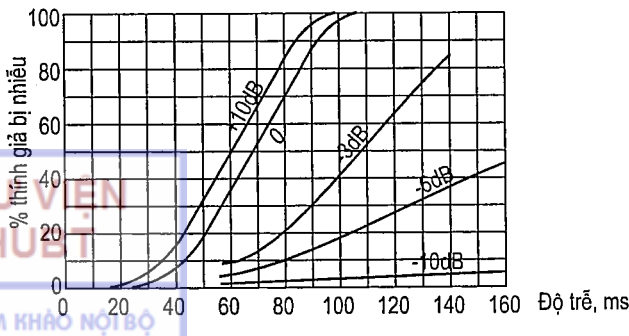
5. Khi bố trí loa theo kiểu phân tán hoặc kiểu vùng thì chênh lệch mức âm và độ lệch thời gian giữa các tín hiệu đến từ các loa khác nhau (gọi tắt là độ trễ tín hiệu) có thể gây nhiễu cho thính giả và làm mất tính hướng của âm thanh (âm phát ra từ nguồn nhưng lại nghe từ hướng loa gần nhất). Để tránh các sai lệch này có thể sử dụng bộ tạo trễ (delay time) để điều chỉnh độ chênh lệch mức âm và độ trễ tín hiệu theo biểu đồ hình 5.7 và 5.8.

Biểu đồ trên hình 5.7 [11, 19, 37, 44] cho biết mức âm của loa gần người nghe nhất có thể vượt mức âm của loa xa hơn (hay của nguồn ban đầu) bao nhiêu dB, phụ thuộc độ trễ để có cảm giác độ to của chúng ngang nhau. Nói khác đi, biểu đồ cho ta biết âm thanh của loa gần nhất phải điều chỉnh về mức và độ trễ bao nhiêu để không cảm nhận được nó, nghĩa là vẫn giữ được cảm giác hướng âm từ loa thứ nhất (hay từ nguồn). Ví dụ khi âm thứ hai (loa gần) đến sau âm thứ nhất 10ms, chúng ta có thể điều chỉnh để mức âm của nó vượt mức âm thứ nhất dưới 10dB, thì ta vẫn có cảm giác như âm thanh tới từ hướng loa thứ nhất.



Hình 5.7. Cảm giác đồng độ to phụ thuộc chênh lệch mức âm (âm thứ hai vượt âm thứ nhất) và độ trễ

Biểu đồ hình 5.8 [11,19] (còn được gọi là hiệu ứng Haas) cho quan hệ giữa độ chênh lệch mức âm, độ trễ và cảm giác nhiều ở người nghe (theo %). Quan sát biểu đồ hình 5.8 ta thấy:



Hình 5.8. Cảm giác nhiều (%) phụ thuộc chênh lệch mức âm và độ trễ

Khi mức âm thay đổi từ 0 đến + 10dB (dấu + chỉ mức âm thứ hai tăng lên), cảm giác nhiều phụ thuộc độ trễ thay đổi không đáng kể. Ví dụ khi độ trễ là 60ms, số thính giả bị nhiều là 40 - 50%.

Khi mức âm thứ hai giảm 3dB, cảm giác nhiều thay đổi rất lớn theo độ trễ: khi $\tau = 60\text{ms}$ chỉ có 10% thính giả bị nhiều, nhưng khi $\tau = 100\text{ms}$, số bị nhiều tăng lên 40%.

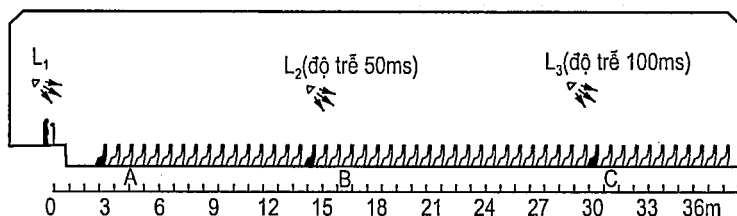
Khi mức âm giảm nhỏ 6 - 10dB, cảm giác nhiều giảm đi rõ rệt.

Khi thiết kế thường chấp nhận mức thính giả bị nhiễu khoảng 10% (xem ví dụ 5.1).

6. Hệ thống điện thanh trong phòng phải làm việc ổn định, nằm xa trạng thái tự kích.

7. Các loại méo tần số, méo không đường thẳng (còn gọi là méo phi tuyến), là hiện tượng khi đưa vào hệ thống một tín hiệu cơ bản hình sin, thì tín hiệu phát ra ngoài âm cơ bản, còn có các họa âm. Để tránh méo không đường thẳng thì tỷ số cường độ của các họa âm và âm cơ bản [50] không được vượt quá các trị số đề ra cho hệ thống điện thanh.

Ví dụ 5.1. Trên hình 5.9 giới thiệu một phương án bố trí loa kiểu phân vùng cho một hội trường có chiều dài 40m: Các loa L_1 , L_2 , L_3 bố trí cách diễn giả lần lượt là 0; 15 và 30m ở độ cao 3,3m trên đầu thính giả (xem hình 5.9).



Hình 5.9. Mặt cắt dọc hội trường và vị trí đặt loa

Độ trễ của các loa được thiết kế như sau [19]: loa L_1 có $\tau = 0$; L_2 có $\tau = 50\text{ms}$; L_3 có $\tau = 100\text{ms}$.

Mức âm từ nguồn và từ các loa tới thính giả tại ba vị trí A, B và C được điều chỉnh như sau:

- Mức âm từ nguồn tới A: 63dB (ký hiệu L_N)
- Mức âm từ L_1 tới A: 73dB (ký hiệu L_{1A})
- Mức âm từ L_2 tới B: 73dB (ký hiệu L_{2B})
- Mức âm từ L_3 tới C: 70dB (ký hiệu L_{3C}).



Hãy lập cấu trúc âm thanh (về mức và độ trễ) và đánh giá chất lượng thu nhận âm thanh tại ba chỗ ngồi A, B và C.

Bài giải

Tính toán độ giảm mức âm theo khoảng cách và độ trễ của chúng, ta được các trị số sau đây:

Tại A: âm trực tiếp $L_N = 63\text{dB}$, độ trễ $\tau_0 = 0$ (gốc).

âm từ loa 1: $L_{1A} = 73\text{dB}$, độ trễ $\tau_1 = 5\text{ms}$.

âm từ loa 2: $L_{2A} = 61\text{dB}$, độ trễ $\tau_2 = 78\text{ms}$.

âm từ loa 3: $L_{3A} = 51\text{dB}$, độ trễ $\tau_3 = 173\text{ms}$.

Tại B: âm trực tiếp có mức nhỏ nên bỏ qua:

âm từ loa 1: $L_{1B} = 63\text{dB}$, $\tau_0 = 0$ (gốc)

âm từ loa 2: $L_{2B} = 73\text{dB}$, $\tau_1 = 10\text{ms}$.

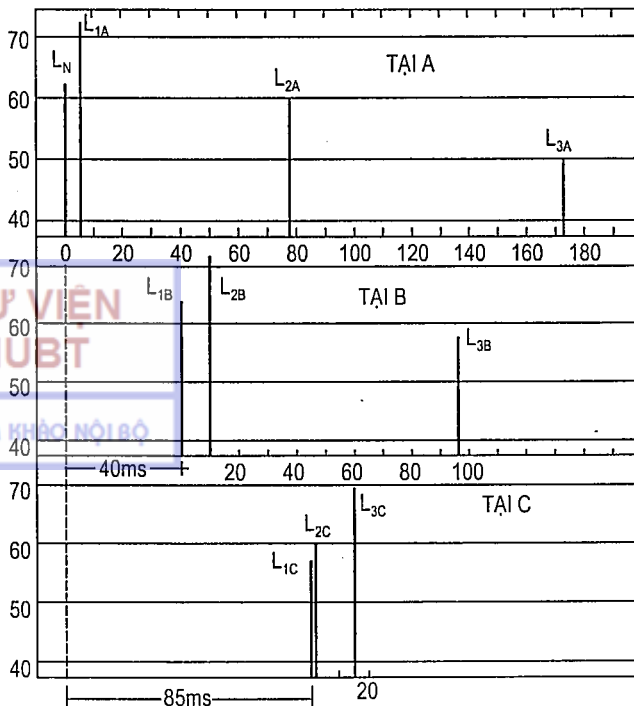
âm từ loa 3: $L_{3B} = 57\text{dB}$, $\tau_2 = 96\text{ms}$.

Tại C: âm từ loa 1: $L_{1C} = 57\text{dB}$, $\tau_0 = 0$ (gốc)

âm từ loa 2: $L_{2C} = 60\text{dB}$, $\tau_1 = 2\text{ms}$.

âm từ loa 3: $L_{3C} = 70\text{dB}$, $\tau_2 = 15\text{ms}$.

Cấu trúc âm thanh tại các chỗ ngồi A, B, C được biểu diễn trên hình 5.10.



Hình 5.10. Cấu trúc âm thanh thu nhận tại A, B và C

Phân tích đánh giá:

* Tại A: Âm L_{1A} vượt âm trực tiếp 10dB và trễ sau 5ms nên người nghe có cảm giác âm đến từ loa L_1 (xem hình 5.8). Tuy nhiên do tại A hướng của loa L_1 và hướng diễn giả gần trùng nhau nên có thể chấp nhận.

Mức âm L_{2A} và L_{3A} thấp hơn mức âm L_{1A} là 12dB và 22dB với thời gian trễ 73ms và 168ms không làm đổi hướng nguồn âm và gây nhiễu ở thính giả đều dưới 10% (xem hình 5.8).

* Tại B: $L_{2B} - L_{1B} = 73 - 63 = 10\text{dB}$ với độ trễ $\tau = 10\text{ms}$ tạo được cảm giác âm thanh tới từ loa 1 (từ nguồn).

Chênh lệch mức âm $L_{2B} - L_{3D} = 73 - 57 = 16\text{dB}$ với độ trễ 68ms không gây nhiễu cho thính giả.

* Tại C: Mức âm $L_{3C} - L_{2C} = 70 - 60 = 10\text{dB}$ với thời gian trễ 13ms tạo cho cảm giác âm thanh tới từ phía loa 2 - phía nguồn.

$L_{2C} - L_{1C} = 60 - 57 = 3\text{dB}$ với độ trễ 2ms.

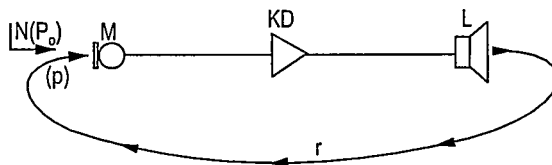
$L_{3C} - L_{2C} = 70 - 60 = 10\text{dB}$ với độ trễ 15ms.

Đều không gây nhiễu nhiều ở thính giả.

5.3. ĐẶC ĐIỂM TRƯỜNG ÂM TRONG PHÒNG KHI SỬ DỤNG HỆ THỐNG ĐIỆN THANH

5.3.1. Hiện tượng hồi tiếp (acoustic feedback)

Hiện tượng hồi tiếp là hiện tượng âm học đặc biệt xảy ra khi áp suất âm từ loa phát ra (p) quay trở lại microphôn, tác động cùng với áp suất âm của nguồn (p_0), được khuếch đại rồi phát ra loa (xem hình 5.11). Hiện tượng này chỉ xảy ra khi nguồn, microphôn, và loa ở tương đối gần nhau, nghĩa là trường hợp khá phổ biến trong các phòng thính giả.



Hình 5.11. Hiện tượng hồi tiếp (M - microphôn; N - nguồn âm; L - loa; KD - khuếch đại; r - quãng đường từ loa đến microphôn)

Hiện tượng hồi tiếp được đánh giá qua hệ số hồi tiếp β theo công thức:

$$\beta = \frac{P}{P_0 + P} \quad (5.2)$$

với $\beta \leq 1$.

Nếu β càng lớn, càng gần tới 1, hiện tượng hồi tiếp càng trở nên trầm trọng. Hiện tượng hồi tiếp mất hoàn toàn khi $\beta = 0$.

Các tín hiệu từ nguồn và loa có thể tới microphôn với pha khác nhau, phụ thuộc tần số của chúng và thời gian (t) cần thiết để âm thanh vượt quãng đường (r) từ loa tới microphôn. Hệ số pha của chúng có thể viết [37]:

$$\varphi = 2\pi f \cdot t = \frac{2\pi}{c_0} f \cdot r$$

Điều kiện hồi tiếp có thể viết dưới dạng tổng quát:

$$\beta = \frac{P}{P_0 + P} (\cos\varphi + j \sin\varphi)$$

từ đó xác định được:

$$\frac{P}{P_0} = \frac{\beta}{(\cos\varphi - \beta) + j \sin\varphi}$$

Nếu chỉ quan tâm đến giá trị tuyệt đối của nó, ta có:

$$\left| \frac{P}{P_0} \right| = \frac{\beta}{\sqrt{(\cos\varphi - \beta)^2 + j^2 \sin^2\varphi}} = \frac{\beta}{\sqrt{1 + \beta^2 - 2\beta \sin\varphi}} \quad (5.3)$$

Mức âm ở một khoảng cách x trước loa có thể viết:

$$L_x = 20 \lg \frac{P_x}{P_0} = 20 \lg \frac{P_x}{P} \cdot \frac{P}{P_0} = |\Delta L_x| + 20 \lg \left| \frac{P}{P_0} \right|$$

Trong đó: ΔL_x - mức tăng tín hiệu tại x không kể tới tác động của hiện tượng hồi tiếp.

Thay giá trị $\frac{P}{P_0}$ vào và xét đến sự thay đổi tần số của tín hiệu φ ta tính được mức âm tại điểm x:

$$|L'_x| = |\Delta L_x| + 20 \lg \frac{\beta}{1-\beta} \quad (5.4)$$

hoặc

$$|L''_x| = |\Delta L_x| + 20 \lg \frac{\beta}{1+\beta} \quad (5.4')$$

Số hạng thứ hai ở vế phải trong các công thức (5.4) và (5.4') có thể nhận trị số dương và âm tương ứng với một trị số β xác định, làm cho mức âm ở x lúc thì nâng cao, lúc lại hạ thấp. Sự thay đổi dấu ở số hạng thứ hai cũng cho thấy khi hệ thống điện thanh làm việc, hệ số hồi tiếp (xảy ra cả chiều dương và chiều âm) có thể chuyển từ dương sang âm khi tần số tín hiệu thay đổi, tương ứng ta có *hồi tiếp dương* và *hồi tiếp âm*.

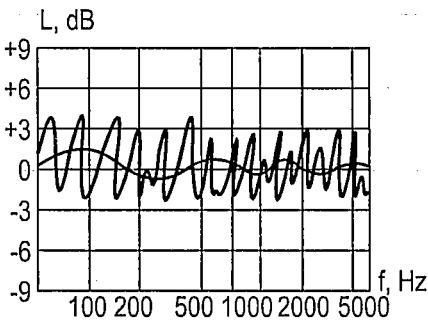
Độ không đều của mức âm tại x có thể viết dưới dạng (từ 5.4 và 5.4'):

$$L'_x - L''_x = 20 \lg \frac{\beta}{1-\beta} - 20 \lg \frac{\beta}{1+\beta}$$

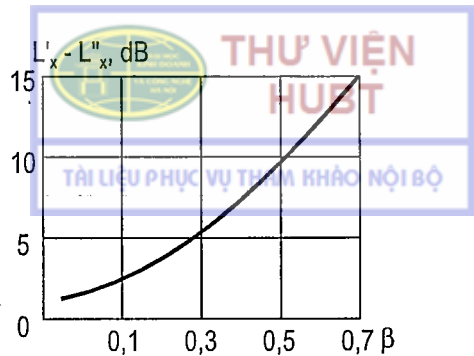
$$L'_x - L''_x = 20 \lg \frac{1+\beta}{1-\beta} \quad (5.5)$$

Như vậy khi xảy ra hiện tượng hồi tiếp đặc tính tần số của mức âm trước loa sẽ không tránh khỏi dao động gây ra méo tần số.

Trên hình 5.12 minh họa dao động của đặc tính tần số mức âm trước loa khi hệ số $\beta = 0,3$. Các đỉnh tương ứng với tần số có trị số dương lớn nhất, chỗ lõm tương ứng với các trị số âm lớn nhất.



Hình 5.12. Đặc tính tần số của hệ thống điện thanh khi $\beta = 0,3$



Hình 5.13. Ảnh hưởng của hệ số hồi tiếp β đến dao động mức âm ($L'_x - L''_x$)

Hình 5.13 dựng theo công thức (5.5) cho thấy độ không đều của đặc tính tần số mức âm sẽ giảm nhanh khi hệ số β giảm.

Khi tăng hệ số β không chỉ tăng nhanh các tần số méo, mà đặc biệt khi β tiến gần tới 1 sẽ tạo ra *tự kích* và *rú rít* do tăng đột ngột hồi tiếp dương ở một tần số nào đó.

Hiện tượng hồi tiếp còn dẫn đến một dạng méo đặc trưng khác của hệ thống điện thanh gọi là *âm vang tái sinh*, có thể mô tả như sau:

Do hiện tượng hồi tiếp, nên sau khi tắt nguồn âm, các xung âm cuối cùng từ loa sẽ tác động vào micrôphôn sau thời gian $t = r/c_0$ với cường độ nhỏ hơn. Xung âm này được phát ra loa với thời gian muộn hơn và mức yếu hơn. Tác động quay vòng này sẽ lặp đi lặp lại cho đến khi tín hiệu tắt hẳn, tương tự như quá trình tắt dần của âm thanh trong phòng và được gọi là *âm vang tái sinh*.

Sự cảm thụ âm vang tái sinh không giống như sự cảm thụ âm vang của phòng do độ không đồng đều của đặc tính tần số của hệ thống điện thanh ảnh hưởng tới tín hiệu tắt dần: do dạng răng cưa của đặc tính tần số (hình 5.12) của tín hiệu do loa phát ra, sau mỗi lần lặp lại sẽ mất dần một số tần số thành phần, làm cho đường giảm của nó có sắc thái đặc biệt.

Để giảm ảnh hưởng của hiện tượng hồi tiếp khi sử dụng các hệ thống điện thanh, có thể áp dụng một số biện pháp sau đây:

1. Biện pháp thường áp dụng, có thể loại trừ hoàn toàn tác động của năng lượng âm từ loa trở lại micrôphôn là dùng loa và micrôphôn định hướng và bố trí chúng một cách hợp lý. Các kỹ thuật viên điện thanh biết rõ nhiều giải pháp cụ thể theo hướng này.

2. Sử dụng vật liệu hút âm và bố trí ở các vị trí thích hợp trong phòng nhằm giảm nhỏ nhất năng lượng âm phản xạ từ loa quay trở lại micrôphôn.

3. Dùng thiết bị chống rú rít (anti feedback). Thiết bị này mới xuất hiện những năm gần đây, có thể tự tìm kiếm các tần số xuất hiện rú rít tại các vị trí khác nhau trong phòng và lập chương trình tự động điều chỉnh, xử lý và loại trừ hiện tượng hồi tiếp. Một trong những thiết bị như thế là Digital Feedback Reducer SRP - FR 300 của hãng Sony.

Kết luận:

* Khi hệ thống điện thanh làm việc có thể xuất hiện hiện tượng hồi tiếp gây ra méo tần số, tự kích, rú rít và âm vang tái sinh làm cho trường âm trong phòng bị xấu đi nghiêm trọng.

* Sự xuất hiện và mức độ nghiêm trọng của các hiện tượng kể trên phụ thuộc độ lớn của hệ số hồi tiếp β mà trị số cực đại của nó có thể đạt tới 1.

* Để bảo vệ hệ thống điện thanh, chống các dạng méo, tự kích và âm vang tái sinh phải giảm hệ số β đến trị số:

$$\beta \leq 0,2 - 0,3$$

* Muốn đạt được hệ số β thấp phải áp dụng nhiều biện pháp, như sử dụng các loa và microphôn định hướng và bố trí chúng một cách thích hợp, sử dụng vật liệu hút âm hợp lý trong phòng hoặc dùng thiết bị đặc biệt chống rú rít.

5.3.2. Âm vang của phòng khi có hệ thống điện thanh

Quá trình âm thanh trong các phòng có hệ thống điện thanh rất phức tạp, vì tín hiệu tác động vào microphôn ngoài âm trực tiếp (từ diễn viên) và loa còn có nhiều âm phản xạ từ các bề mặt trong phòng tất dần và chậm dần khác nhau (do cả nguồn âm và các loa tạo ra). Như đã khảo sát ở trên, mỗi tín hiệu tới microphôn lại đặc trưng bằng hệ số hồi tiếp mà độ lớn của nó do cường độ của tín hiệu quyết định. Vì vậy các tần số mà hệ số hồi tiếp đạt trị số cực đại hoặc cực tiểu rất khác nhau do phụ thuộc quá nhiều yếu tố (hình dạng, kích thước phòng, vị trí, số lượng các loa, số lượng phản xạ).

Áp dụng lý thuyết thống kê của âm học phòng (xem chương 2, mục 2.3) có thể viết các phương trình cân bằng năng lượng cho hai nguồn âm (tự nhiên và các loa của hệ thống điện thanh) [37]. Giải các phương trình này, ta viết được phương trình của *quá trình giảm* (quá trình tất dần) của âm thanh trong các phòng có hệ thống điện thanh làm việc như sau:

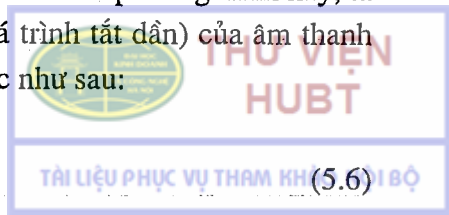
$$E_g = E_o e^{-(\delta - \frac{k^2}{v} q^2)t}$$

trong đó: E_o - năng lượng âm ở trạng thái ổn định;

$$\delta = \frac{c_o A}{4V};$$

k - hệ số khuếch đại của hệ thống điện thanh;

$$q = \frac{P}{P_o}.$$



So sánh phương trình (5.6) với phương trình (2.8) (khi truyền âm tự nhiên) ta thấy số mũ của e trong trường hợp này nhỏ hơn về giá trị tuyệt đối. Điều đó chứng tỏ quá trình tắt dần của âm thanh trong phòng khi có hệ thống điện thanh xảy ra chậm hơn so với phòng âm thanh tự nhiên.

Theo định nghĩa của thời gian âm vang (tiêu chuẩn), tương tự như ở mục 2.3.4 ta xác định được thời gian âm vang trong phòng có hệ thống điện thanh (ký hiệu T_d):

$$T_d = \frac{0,164V}{S(\alpha - \frac{\tau}{V} k^2 q^2)} \quad (5.7)$$

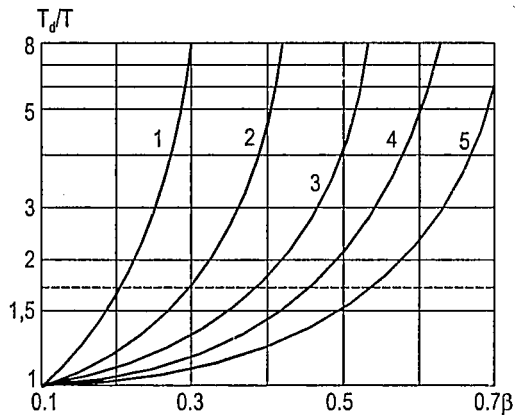
hoặc khi thay giá trị của q theo công thức (5.3) và (5.7), ta có:

$$T_d = \frac{0,164V}{S(\alpha - \tau \frac{k^2 \beta^2}{V(1 + \beta - 2\beta \sin \varphi)})} \quad (5.7')$$

Trong đó:

- τ - thời gian trung bình của một phản xạ âm;
- β - hệ số hồi tiếp;
- φ - góc lệch pha giữa âm trực tiếp và tín hiệu từ loa tác động vào micrôphôn.

Trong các công thức (5.7) và (5.7') α là hệ số hút âm trung bình (thực) của phòng, còn trị số $\tau k^2 q^2 / V$ gọi là "hệ số hút âm ảo" khi có hệ thống điện thanh. Trị số này thay đổi phụ thuộc τ , β và φ . Do vậy có thể xảy ra trường hợp khi β khá lớn, ở một góc lệch pha φ nào đó, hệ số hút âm ảo sẽ xấp xỉ hệ số hút âm thực, khi đó thời gian âm vang T_d sẽ có trị số rất lớn.



Hình 5.14. Quan hệ T_d/T theo β :

- 1 - khi $\alpha = 0,1$; 2 - khi $\alpha = 0,2$
- 3 - khi $\alpha = 0,3$; 4 - khi $\alpha = 0,5$;
- 5 - khi $\alpha = 0,7$.

Khi giảm dần β , hệ số hút âm ảo ngày càng nhỏ, thời gian âm vang T_d sẽ giảm dần cho đến khi bằng thời gian âm vang T của phòng không có hệ thống điện thanh.

Trên hình 5.14 là biểu đồ quan hệ giữa tỷ số T_d/T phụ thuộc hệ số hồi tiếp β và hệ số hút âm trung bình của phòng α . Biểu đồ 5.14 cho thấy khi tăng hệ số hút âm trong phòng, ngay cả khi β lớn vẫn giữ được âm vang tái sinh nhỏ.

Nếu lấy tỷ số T_d/T giới hạn đến 1,7 thì khi hệ số hút âm đạt 0,7, hệ thống điện thanh cũng không gây hậu quả nghiêm trọng ngay cả khi $\beta = 0,4 \div 0,5$.

Kết luận:

1. Khi tăng hệ số hồi tiếp β , thời gian âm vang lúc có hệ thống điện thanh T_d sẽ tăng dần do xuất hiện âm vang tái sinh. Khi tiếp tục tăng β quá trình âm vang sẽ có sắc thái đặc biệt do xuất hiện méo tần số. Đến một trị số nào đó của β , phụ thuộc lượng hút âm của phòng, hệ thống sẽ chuyển sang chế độ tự kích và thời gian âm vang sẽ tăng vô giới hạn. Chất lượng âm thanh của phòng khi đó sẽ bị xấu đi nghiêm trọng.

2. Muốn giữ được chất lượng âm thanh của phòng cần phải giảm hệ số hồi tiếp bằng các biện pháp đã nêu trong mục 5.3.1.

3. Một biện pháp hiệu quả chống âm vang tái sinh là sử dụng vật liệu hút âm mạnh trong phòng, bố trí tập trung vào những vùng nhạy cảm của microphôn và của loa, nhằm giảm cường độ âm phản xạ từ loa quay trở lại microphôn.

5.4. THIẾT KẾ SƠ BỘ HỆ THỐNG ĐIỆN THANH

Thiết kế hệ thống điện thanh nói chung và đặc biệt cho một phòng thính giả nói riêng, không thể phân chia tách biệt thành các giai đoạn riêng rẽ. Ngày nay công việc này do các công ty phân phối thiết bị của các hãng sản xuất đảm nhiệm, và nó được thực hiện một cách liên tục và hoàn hảo từ việc bố trí các hệ thống loa, chọn các thiết bị của hệ thống chính và thiết bị xử lý tín hiệu, thiết bị kiểm tra, điều khiển cho đến tính toán các đặc trưng của trường âm trong phòng (như phân bố mức âm, độ đồng đều, độ rõ của tín hiệu...) trên cơ sở các thông số âm học cụ thể của các thiết bị do họ cung cấp.

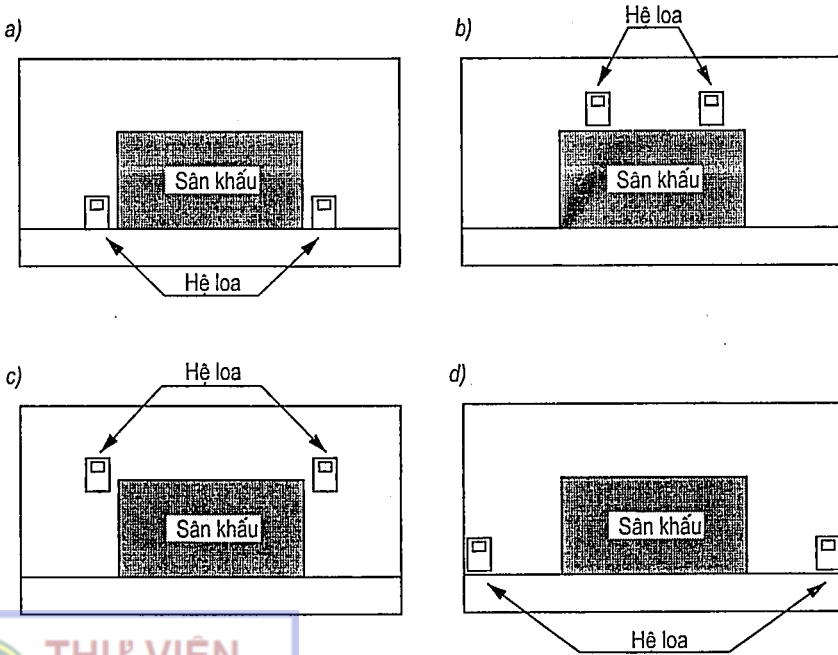
Trong chương này chúng tôi chỉ giới thiệu phương pháp đơn giản xác định một vài thông số chủ yếu của hệ thống điện thanh, có liên quan nhiều đến sự phân bố của trường âm trong các phòng, và gọi chúng là bước thiết kế sơ bộ hệ thống điện thanh.

5.4.1. Vị trí của hệ thống loa chính

Chọn vị trí cho hệ thống loa chính của phòng có thể tham khảo bảng 5.2.

Vị trí cụ thể của loa như trên hình 5.15 theo hướng dẫn của hãng TOA - Nhật Bản [23] có thể gồm các kiểu:

- Trên sàn sân khấu (5.15a).
- Hai bên trên miệng sân khấu (5.15b).
- Hai bên miệng sân khấu (5.15c).
- Góc sàn tường (5.15d).



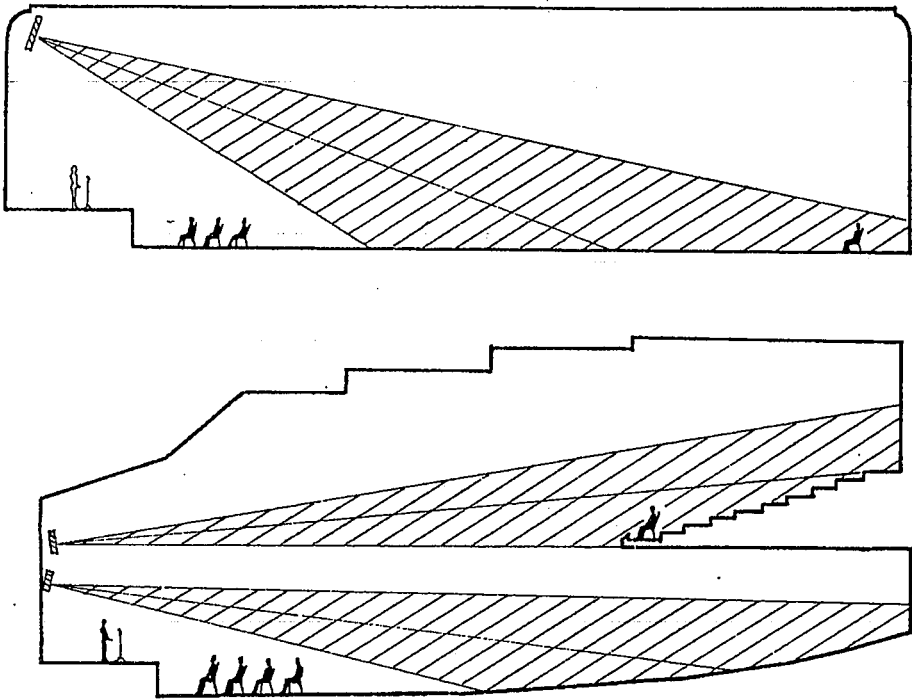
Hình 5.15. Vị trí loa chính trong phòng (cho thính giả)

- a) Loa trên sàn; b) Loa hai bên, trên miệng sân khấu;
 c) Loa hai bên miệng sân khấu; d) Loa góc sàn tường

Bảng 5.2. Hướng dẫn chọn vị trí của hệ thống loa chính

Chức năng công trình	Chức năng của hệ thống loa	Vị trí loa
Âm nhạc	Hòa nhạc, độc tấu	Sân khấu
Hội họp hoặc nghi lễ	Tiếng nói	Khán đài
Thi đấu thể thao	Thông báo (tiếng nói) âm nhạc nền hoặc theo nhịp điệu thể thao	Trung tâm của vùng thi đấu (khán đài)
Triển lãm hoặc thương mại	Thông tin	Trung tâm lễ đài

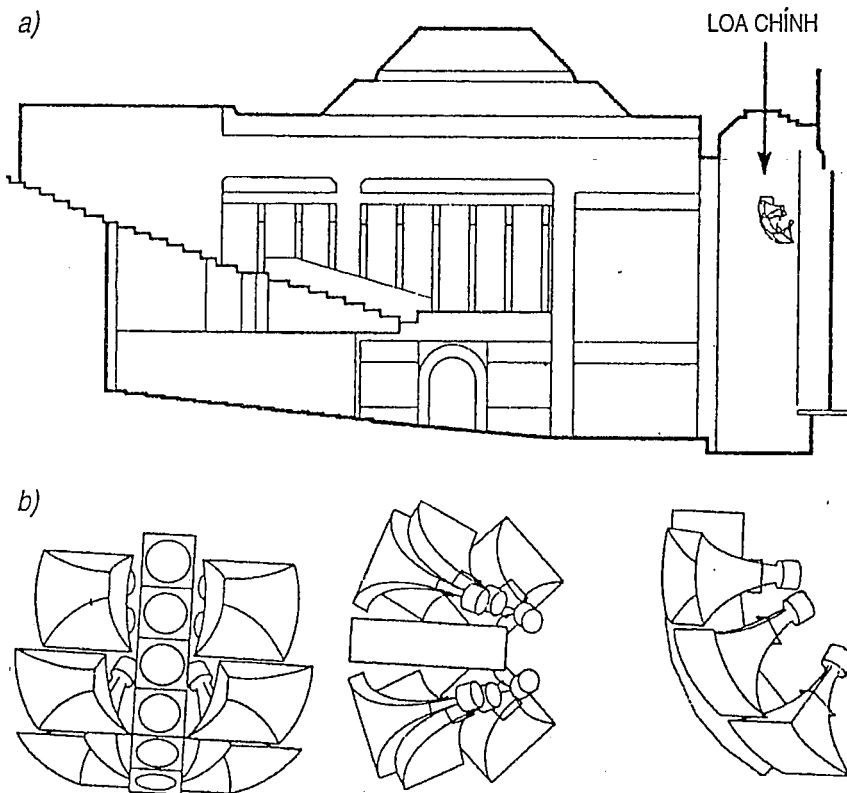
Khi bố trí loa, một yêu cầu quan trọng là xác định góc nghiêng của nhóm loa hoặc cột loa (mỗi nhóm hoặc cột loa gồm có một số loa tần số thấp, trung và cao) sao cho góc bức xạ chính của loa bao trùm được toàn bộ vùng thính giả mà loa phục vụ. Muốn vậy trục âm học của loa phải hướng về khoảng 2/3 nửa cuối phòng (hình 5.16).



Hình 5.16. Ví dụ bố trí loa trong phòng thính giả

- a) Bố trí một cột loa cho phòng có nền phẳng
- b) Bố trí hai cột loa cho phòng có ban công

Trên hình 5.17 là một phương án bố trí loa kiểu trung tâm của nhà hát ở Seattle Washington, Mỹ (Seattle's 5th Avenue Theatre). Sáu loa tần số cao "JBL 2365 Bi - Radial" (horn loudspeaker - tweeter) tỏa ra từ tâm bao trùm toàn bộ chỗ ngồi thính giả. Âm thanh tần số dưới 800Hz do sáu loa JBL 2202H (woofer) đặt theo một cung đứng ở giữa phụ trách (xem hình 5.17b). Hệ thống loa bảo đảm mức âm trên sàn ngồi chính dao động trong phạm vi 3dB trong vùng tần số từ 80Hz đến 5kHz, sau đó hạ thấp theo đường dốc 3dB/octa từ 5kHz đến 12,5kHz. Mức âm cực đại trên sàn ngồi chính đạt 105dB.



Hình 5.17. Bố trí loa kiểu trung tâm trong nhà hát Seattle, Washington, Mỹ a) Mặt cắt phòng thính giả và vị trí loa (giữa miệng sân khấu);
 b) Hệ thống loa nhìn phía trước (trái), từ trên (giữa) và từ bên (phải)

5.4.2. Các thông số cơ bản của loa

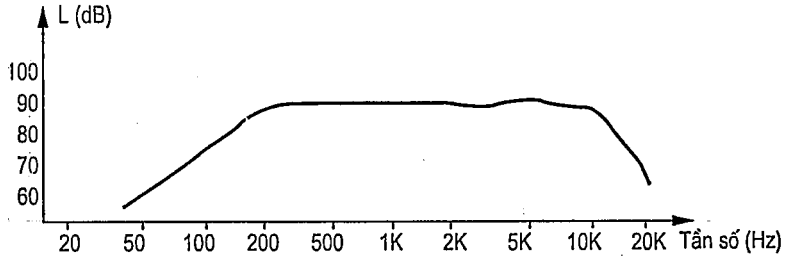
Ba thông số cơ bản của loa sau đây có liên quan đến trường âm và mức âm trong các phòng:

* **Độ nhạy của loa** (sensitivity) được đánh giá bằng mức áp suất âm trên trục âm học ở cách loa 1m khi công suất 1W, ký hiệu N(dB). Cách viết (ví dụ):

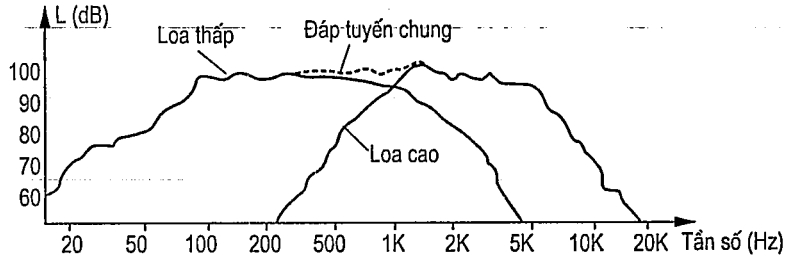
- Độ nhạy (sensitivity): $N = 98\text{dB} (1\text{W}, 1\text{m})$

* **Đáp tuyến tần số** (Frequency Response) cho biết sự thay đổi của mức áp suất âm do loa phát ra theo dải tần số âm. Trên hình 5.18 là ví dụ đáp tuyến tần số của một loa (loại toàn dải) và một bộ hai loa (tần số thấp và tần số cao).

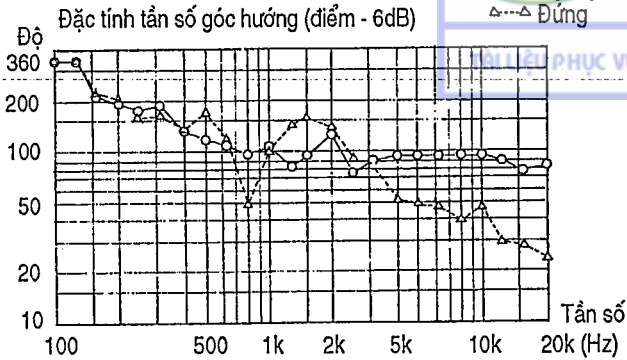
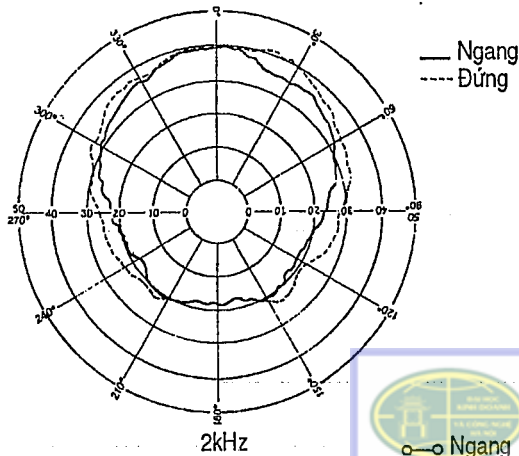
a) Loa toàn dải



b) Bộ hai loa



Hình 5.18. Đáp tuyến tần số của loa toàn dải (a) và của bộ hai loa (b)



Hình 5.19. Tính hướng của loa trung và cao

* **Tính hướng của loa** (Speaker directivity) còn gọi là búp hướng [50] - cho biết sự phân bố của mức áp suất âm do loa bức xạ trong không gian. Mỗi loa, phụ thuộc tần số âm bức xạ của nó (thấp, trung và cao) có tính hướng riêng. Thông thường các loa tần số thấp có tính hướng rộng, tần số càng cao tính hướng càng hẹp, nghĩa là loa càng có tính định hướng mạnh. Tính hướng của loa thường biểu diễn theo biểu đồ trên mặt ngang và mặt đứng. Trên hình 5.19 cho một ví dụ biểu đồ tính hướng của loa.

5.4.3. Xác định mức âm và công suất âm của loa

1. Xác định mức âm ở cách loa 1m (trên trục âm học)

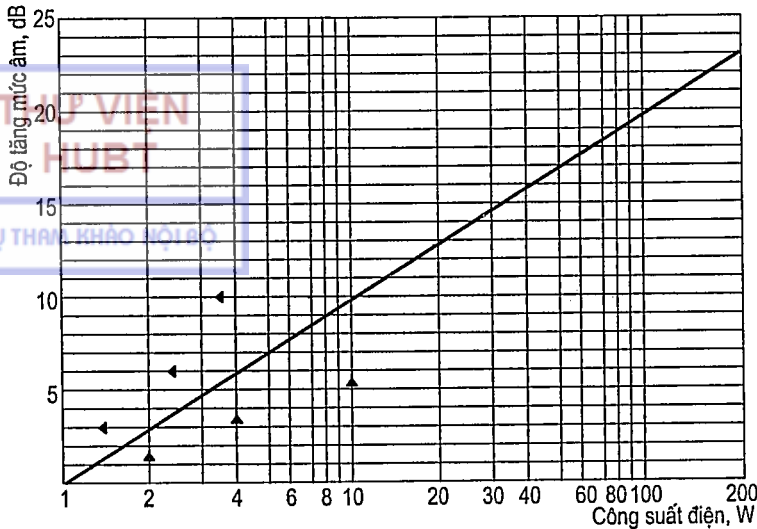
Mức âm cho theo độ nhạy của loa ở khoảng cách 1m trên trục âm học tương ứng với công suất 1W (ký hiệu $P_1 = 1W$). Mức âm tăng thêm tại vị trí này khi công suất tăng tới P_2 (W) xác định theo công thức:

$$\Delta L = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}, \text{dB} \quad (5.8)$$

Nhận xét: Mỗi khi công suất âm tăng lên gấp đôi ($P_2 = 2P_1$) mức âm sẽ tăng lên:

$$\Delta L = 10 \lg 2 = 3 \text{dB}.$$

Mức âm tăng thêm theo công thức (5.8) có thể biểu diễn theo biểu đồ hình 5.20.



Hình 5.20. Biểu đồ xác định mức âm tăng thêm

Như vậy mỗi khi công suất điện vào loa tăng lên gấp đôi (hoặc giảm một nửa) mức âm do loa phát ra sẽ tăng lên (hoặc giảm đi) 3dB. Từ đó ta có thể xác định mức âm ở cách loa 1m theo độ nhạy của nó theo công thức:

$$\boxed{\text{Mức âm bức xạ (PW, 1m)}} = \boxed{\text{Độ nhạy (1W, 1m)}} + \boxed{\text{Mức âm tăng thêm (hình 5.20)}} \quad (5.9)$$

Ví dụ 5.2. Cho biết độ nhạy của loa là $N = 90\text{dB}$ (1W/1m). Hãy xác định mức âm ở cách loa 1m (trên trục âm học) khi công suất điện vào loa là 40W.

Bài giải:

Theo biểu đồ hình 5.20 xác định được mức âm tăng thêm khi $P_2 = 40\text{W}$ là $\Delta L = 16\text{dB}$. Mức âm của loa cách 1m theo công thức (5.9) sẽ là:

$$L_2 = 90 + 16 = 106\text{dB}.$$

Ví dụ 5.3. Tính mức âm ở cách loa 1m khi công suất điện vào loa 1W biết mức âm tương ứng với công suất điện 200W là 113dB.

Bài giải:

Theo biểu đồ 5.20 xác định mức âm giảm từ công suất $P_2 = 200\text{W}$ đến $P_1 = 1\text{W}$ là:

$$\Delta L = 23\text{dB}.$$

Vậy mức âm cách loa 1m khi $P_1 = 1\text{W}$ là:

$$L_1 = 113 - 23 = 90\text{dB}.$$

5.4.3.2. Xác định mức âm nơi trục âm học của loa gặp sàn ngồi thính giả

Các loa có thể coi gần đúng là các nguồn phát sóng cầu. Vì vậy mức âm tại giao điểm của trục loa với sàn ngồi thính giả (ký hiệu L_r) có thể xác định theo quy luật suy giảm âm thanh của sóng cầu theo công thức:

$$L_r = L_1 - \Delta L_r \quad (5.10)$$

Trong đó: L_1 - mức âm ở cách loa 1m;

ΔL_r - độ suy giảm mức âm của sóng cầu, xác định theo công thức (1.16) hoặc biểu đồ (hình 5.21) theo quy luật *mỗi khi khoảng cách tăng gấp đôi, mức âm giảm 6dB*.

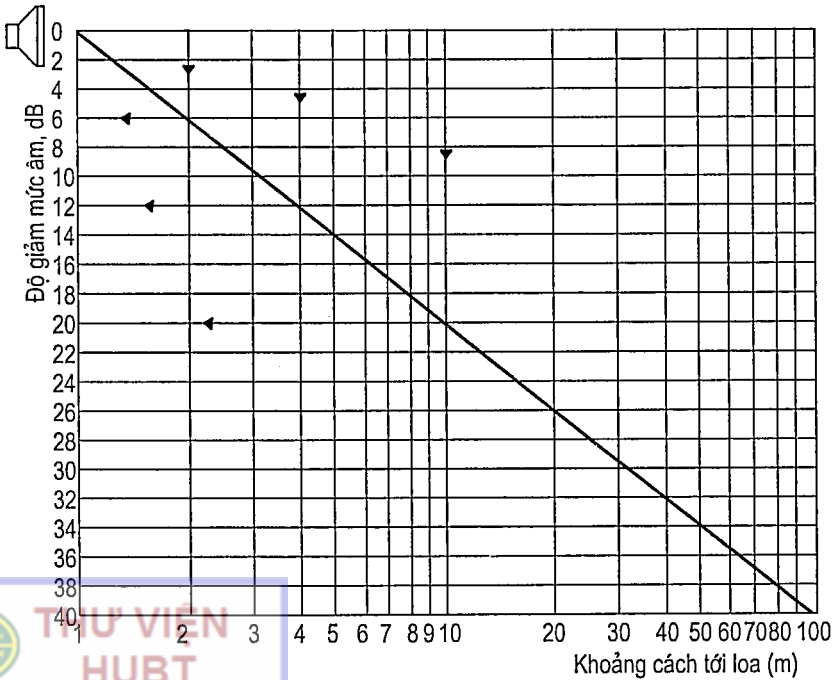
Ví dụ 5.4. Xác định mức âm trên trục âm học cách loa 20m khi mức âm cách loa 1m là 106dB tương ứng với công suất điện vào loa $P = 40W$.

Bài giải: Mức âm ở cách loa 20m trên trục âm học (L_{20}) xác định theo công thức (5.10):

$$L_{20} = 106 - \Delta L_r$$

Theo biểu đồ hình 5.21 xác định được $\Delta L_r = 26dB$, vậy ta có:

$$L_{20} = 106 - 26 = 80dB$$



Hình 5.21. Độ giảm mức âm theo khoảng cách từ loa

Ví dụ 5.5. Mức âm yêu cầu trên trục âm học của loa ở khoảng cách 30m là 80dB. Hãy xác định công suất điện cần thiết của loa khi độ nhạy của nó là $N = 90dB (1w, 1m)$.

Bài giải:

Mức âm yêu cầu cách loa 1m để đạt được mức âm 80dB ở khoảng cách 30m là:

$$L_1 = 80 + \Delta L_r$$

Theo biểu đồ (5.21) xác định được $\Delta L_r = 29,5\text{dB}$.

Ta có: $L_1 = 80 + 29,5 = 109,5 \text{ dB}$.

Chênh lệch giữa mức âm L_1 và độ nhạy của loa ($N = 90\text{dB}$) là:

$$\Delta L = L_1 - N = 109,5 - 90 = 19,5\text{dB}$$

Theo biểu đồ (hình 5.20) để có mức âm tăng thêm $\Delta L = 19,5\text{dB}$ công suất điện cần thiết vào loa là phải $P = 90\text{W}$.

3. Xác định độ không đều của trường âm

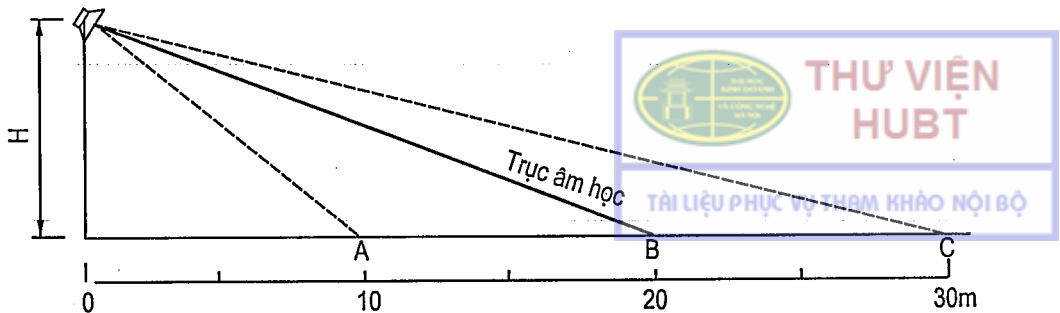
Mức âm do loa tạo ra tại chỗ ngồi của thính giả phụ thuộc:

* Khoảng cách từ thính giả tới loa. Độ giảm của mức âm phụ thuộc khoảng cách từ loa xác định theo công thức (1.16).

* Tính hướng của loa theo tần số âm thanh.

Độ không đều của trường âm có thể xác định gần đúng khi biết các thông số hình học của phòng tương ứng với vị trí loa và tính hướng của nó theo ví dụ sau đây:

Ví dụ 5.6. Xác định độ thay đổi mức âm tại các vị trí chỗ ngồi A, B và C (hình 5.22) ở các tần số 250 và 4000Hz.



Hình 5.22. Ví dụ xác định độ không đều của mức âm

Bài giải:

Độ không đều của mức âm xác định bởi độ xa của chỗ ngồi so với loa và tính hướng của loa tiến hành trong bảng 5.3.

Bảng 5.3. Tính toán độ không đều mức âm

Vị trí	Tần số 250Hz			Tần số 4000Hz		
	Theo độ xa	Tính hướng	Tổng cộng, dB	Độ xa	Tính hướng	Tổng cộng, dB
A	+ 4,5	- 0,5	+ 4,0	+ 4m5	-6	-1,5
B	0	0	0	0	0	0
C	-3	0	-3	-3	-1	-1

Kết luận: Độ chênh lệch mức âm giữa các chỗ ngồi tại A và C không vượt quá 5dB so với mức âm tại chỗ ngồi B.



Chương 6

ÂM HỌC ĐÔ THỊ

6.1. NGUỒN ỒN TRONG CÁC ĐÔ THỊ VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ CHÚNG

6.1.1. Phân loại các nguồn ồn

Tiếng ồn là tất cả những âm thanh gây cho chúng ta cảm giác khó chịu, quấy rối điều kiện làm việc, sinh hoạt, nghỉ ngơi và thu nhận âm thanh của con người. Tiếng ồn rất đa dạng và có nhiều nguồn gốc khác nhau.

Để nghiên cứu các biện pháp giảm nhỏ và triệt tiêu tiếng ồn, người ta cần phải phân loại chúng. Có một số cách phân loại sau đây:

Theo vị trí nguồn ồn ta có thể chia ra:

- Tiếng ồn trong nhà, do chính con người và các thiết bị vệ sinh kỹ thuật phục vụ đời sống vật chất và tinh thần của con người sinh ra, như tiếng nói, tiếng hát, tiếng bước chân đi lại và chạy nhảy trên sàn nhà, tiếng của radio, TV và các máy móc thiết bị khác, tiếng ồn từ cầu thang, thang máy và do các đường ống nước, ống rác, v.v... sinh ra.

- Tiếng ồn bên ngoài nhà sinh ra do các phương tiện giao thông vận tải (ô tô, tàu điện, tàu hỏa, tàu thủy, máy bay...), các sân vận động, sân chơi thiếu nhi, các điểm sinh hoạt văn hoá, thể thao, các hoạt động trên đường phố, các nhà máy và xí nghiệp sản xuất nhất là các xí nghiệp nằm xen kẽ trong khu dân cư, và tất cả các hoạt động khác của con người.

Theo nguồn gốc phát sinh và đặc điểm lan truyền có thể chia thành:

- Tiếng ồn không khí là tiếng ồn phát ra và lan truyền trong không khí (như tiếng nói, tiếng hát, tiếng từ các loa phát thanh...).

- Tiếng ồn va chạm, là tiếng ồn sinh ra do sự va chạm của các vật thể, lan truyền theo kết cấu nhà cửa, trong các vật thể rắn, trong đất (ví dụ tiếng ồn

do tiếng chân người hoặc các vật rơi trên sàn nhà, chấn động của các phương tiện vận tải v.v...).

- Tiếng ồn kết cấu (hay vật liệu) là tiếng ồn lan truyền trong các kết cấu nhà cửa hay trong các vật chất ở thể rắn nói chung, nguồn gốc của nó có thể là tiếng ồn không khí hay va chạm.

Theo thời gian tác dụng của tiếng ồn có thể chia ra:

- Tiếng ồn ổn định nếu như mức ồn theo thời gian thay đổi không quá 5dB. Ví dụ tiếng ồn của các trạm biến thế, của phần lớn máy móc khi làm việc.

- Tiếng ồn được gọi là không ổn định nếu mức ồn thay đổi theo thời gian trên 5dB. Đó là tiếng ồn của các phương tiện giao thông vận tải (ôtô, tàu hỏa, máy bay, tàu thủy), tiếng ồn từ các sân chơi, sân thể thao, của các loại máy xây dựng, v.v... Tiếng ồn không ổn định lại có thể chia ra:

+ Tiếng ồn ngắt quãng nếu mỗi tác động ồn kéo dài trên 1 giây xen kẽ những quãng nghỉ;

+ Tiếng ồn xung nếu mỗi tác động ồn kéo dài không quá 1 giây.

6.1.2. Các phương pháp đo và đánh giá tiếng ồn

Tiếng ồn có thể đo và đánh giá theo:

- Phổ tiếng ồn, trong phạm vi tần số từ 63 đến 8000Hz, theo dải tần số 1 octa hoặc 1/3 octa.

- Mức ồn tổng cộng theo thang A, B hoặc C của máy đo tương ứng với mức âm thấp trung bình hoặc cao của nguồn (xem chương 1, mục 1.3.1). Tuy nhiên các phương pháp đánh giá và tiêu chuẩn tiếng ồn hiện nay của nước ta và trên thế giới cho phép chỉ dùng mức ồn tổng cộng theo thang A (dB, A) để đánh giá tiếng ồn sinh hoạt, giao thông và cả tiếng ồn mức cao trong công nghiệp.

Đo tiếng ồn bằng các thiết bị đã giới thiệu ở chương 1 (mục 1.3). Tuy nhiên, do đặc điểm bức xạ tiếng ồn của các nguồn khác nhau, người ta quy định các phương pháp đo và đánh giá riêng cho mỗi loại nguồn ồn đã giới thiệu ở trên. Dưới đây giới thiệu phương pháp đo và đánh giá sáu loại nguồn ồn.

1. Các nguồn ồn ổn định và cố định

Phổ tiếng ồn hoặc mức ồn tổng cộng theo thang A (dB, A) thường được xác định ở một khoảng cách nguồn nhất định.

Khi kích thước nguồn ồn khá nhỏ (như một chiếc máy đang làm việc), các điểm xác định mức ồn thường đặt trên một bán cầu cách vỏ máy 1m.

Khi kích thước máy lớn, bán cầu đo phải cách vỏ máy không nhỏ hơn hai lần trực lớn của máy.

Đối với các nguồn ồn có kích thước lớn như trạm biến thế, sân thể thao, sân chơi..., các điểm đo tiếng ồn đặt cách chu vi nguồn một khoảng nhất định, thường lấy bằng 7,5m.

Các phép đo chính xác phải tiến hành trong trường âm tự do, không có sóng phản xạ với mức ồn nền rất thấp. Trong âm học thường dùng các "phòng âm" - phòng có các bề mặt gần như hoàn toàn hút âm ($\alpha \approx 99\%$ [42]) để xác định đặc tính các nguồn ồn nhỏ, ví dụ xác định đặc điểm bức xạ của các loa. Tuy nhiên phần lớn các phép đo âm học được thực hiện tại hiện trường, khi đó chúng ta được các kết quả đo gần đúng và phải tuân theo một số quy định chuẩn (xem quy trình đo tiếng ồn trong TCVN 5964/1995). Kết quả đo cũng cần phải hiệu chỉnh theo mức ồn nền, nếu mức ồn đo vượt mức ồn nền dưới 10dB.

- Khi chênh lệch của chúng từ 6 đến 9dB, mức đo phải giảm 1dB.

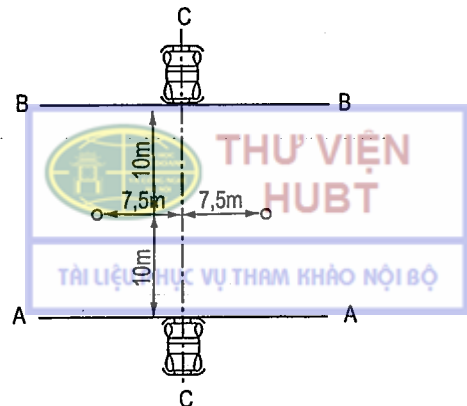
- Khi chênh lệch 4 - 5dB mức đo phải giảm 2dB.

- Nếu chênh lệch dưới 4dB hoặc mức ồn nền dao động quá lớn theo thời gian thì phép đo không còn chính xác và nên hủy bỏ.

2. Nguồn ồn chuyển động

Các nguồn ồn chuyển động như các phương tiện giao thông (xe máy, ô tô, tàu hỏa, v.v...). Tiếng ồn của chúng được đánh giá bằng mức âm theo thang hiệu chỉnh A (dB, A) ở cách trực đường 7,5m trên độ cao 1,2m so với mặt đường (hình 6.1). Phép đo phải tiến hành theo đúng phương pháp trong TCVN-5948 - 1999 (ISO-00362-1998).

Máy đo mức âm khi đó đặt ở chế độ nhanh (F) và trị số đo đọc theo độ lệch cực đại của kim đo.



Hình 6.1. Sơ đồ đo mức ồn của phương tiện giao thông AA → BB - phạm vi bắt đầu và kết thúc lần đo; CC - trực đường xe chạy; M- vị trí microphôn.

3. Nguồn ồn không ổn định

Các nguồn ồn không ổn định bức xạ tiếng ồn có mức thay đổi (trên 5dB) theo thời gian. Để đặc trưng cho mức ồn thay đổi này người ta dùng một trị số cố định gọi là *mức ồn (hay mức âm) tương đương* (equivalent sound level). Theo định nghĩa của ISO-R1999, mức ồn tương đương trong một thời gian T là mức ồn cố định và liên tục phát ra trong thời gian đó, gây ra cùng một ảnh hưởng tới con người như tiếng ồn không ổn định khảo sát.

Về mặt vật lý, mức ồn tương đương là mức ồn trung bình có xét đến tần suất xuất hiện của các mức cố định thành phần khác nhau (thường chia thành các khoảng, cách nhau 5dB, ví dụ mức 60dB, A bao gồm các mức từ 58 đến 62dB, A mức 65dBA bao gồm các mức từ 63 đến 67dB, A v.v...) và được tính theo công thức sau:

$$L_{Aid} = 10 \lg \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i \cdot 10^{0,1L_{Ai}} \quad (6.1)$$

trong đó: T- thời gian đo tiếng ồn, s;

t_i - thời gian tác động của tiếng ồn (s) có mức L_{Ai} (chính là thời gian lấy một số liệu mức ồn L_{Ai});

i- số lượng các số đo tiếng ồn.

Các máy đo tiếng ồn hiện đại ngày nay đã lập sẵn chương trình để đo và xác định trực tiếp mức âm tương đương trong khoảng thời gian từ 1 phút đến 24 giờ đo (gọi là các máy đo tích phân mức âm).

4. Tiếng ồn dòng xe

a) Đặc điểm

Tiếng ồn dòng xe là tiếng ồn do tất cả các xe cùng chạy trên đường tạo ra. Nói tiếng ồn giao thông là chỉ tiếng ồn dòng xe và nó có ý nghĩa hết sức quan trọng đối với cuộc sống của người dân đô thị, bởi vì tiếng ồn giao thông chiếm tỷ trọng từ 60 đến 90% trong tiếng ồn đô thị, và mức ồn ở các thành phố lớn trên thế giới trong vòng 50 năm gần đây cứ mỗi năm lại tăng thêm 1dB, nghĩa là *cứ sau khoảng mười năm cảm giác độ to của tiếng ồn lại tăng gấp hai lần*.

Mức ồn của dòng xe cũng được đo ở điểm cách trục của làn xe gần nhất 7,5m ở độ cao 1,2m (hình 6.1), trên một mặt cắt của đường (không phải tại các nút giao thông). Mức ồn của dòng xe phụ thuộc:

- Số lượng xe chạy trên đường trong một giờ theo cả hai chiều, gọi là cường độ dòng xe, ký hiệu N (xe/h). Cường độ dòng xe càng lớn mức ồn sẽ càng cao.

- Thành phần của dòng xe - là tỷ lệ (%) các loại xe thành phần trong dòng xe. Thường người ta quan tâm ba loại:

+ Xe khách và xe vận tải nặng.

+ Xe tải và xe khách nhẹ.

+ Xe mô tô hai và ba bánh.

- Vận tốc dòng xe, (km/h).

- Đặc điểm của đường: loại mặt đường, độ dốc.

- Đặc điểm của các công trình hai bên đường (có hay không có nhà cửa ở hai bên đường).

Một số đặc điểm của dòng xe ở các thành phố lớn của nước ta hiện nay là [55]:

- Cường độ dòng xe thấp, trung bình khoảng 1000 - 1500 xe/h trong giờ cao điểm, cực đại có thể tới 3000 xe/h (so với nhiều thành phố trên thế giới cường độ đạt tới 5000 - 100000 xe/h).

- Trong thành phần dòng xe, xe máy hai bánh chiếm tới 60 - 80% (trong khi trên thế giới thành phần xe máy chỉ có tỷ lệ không đáng kể và có tới 30 - 60% các loại xe nặng).

- Các phương tiện giao thông không được kiểm soát về tiếng ồn, cho nên tình trạng các xe hai, ba bánh và xe nhẹ có mức ồn cao hơn các xe vận tải nặng thường xảy ra.

- Vận tốc dòng xe thấp do sự có mặt của nhiều loại xe thô sơ (vận tốc trung bình trong thành phố ở các nước khác là từ 40 đến 80km/h).

Tất cả những đặc điểm nêu trên cần được xem xét khi nghiên cứu quy luật tiếng ồn giao thông ở nước ta.

b) Phương pháp đánh giá

Tiếng ồn dòng xe là không ổn định và phải đánh giá theo mức ồn tương đương (L_{Aid}). Ngay từ năm 1940 ở Chicago người ta đã nhận thấy phân bố của tiếng ồn dòng xe rất gần với phân bố chuẩn (phân bố Gauss). Năm 1968, nghiên cứu của J.Foxon & F. Pearson cho thấy có thể nhận được phân bố

chuẩn của mức ồn cả khi cường độ dòng xe lớn và nhỏ [39]. Vì lý do đó, mấy thập niên gần đây người ta đã áp dụng phổ biến phương pháp phân tích thống kê để nghiên cứu tiếng ồn dòng xe và lập được biểu đồ xác suất phân bố mức ồn (hình 6.2). Từ biểu đồ này chúng ta có thể rút ra một số trị số rất có ý nghĩa của tiếng ồn dòng xe là:

L_{10} - mức ồn bằng và vượt 10% thời gian đo, là mức ồn trung bình cực đại của dòng xe, tương đương mức ồn của một xe;

L_{90} - mức ồn bằng và vượt 90% thời gian đo, tương đương với mức ồn nền của đường.

L_{50} - mức ồn bằng và vượt 50% thời gian đo, tương đương mức ồn trung bình của dòng xe.

Các trị số L_{10} , L_{90} đặc trưng cho tiếng ồn đường phố.

Các tác giả [39] cũng chỉ rõ các điều kiện nghiên cứu theo phương pháp thống kê xác suất để đạt được độ chính xác cần thiết.

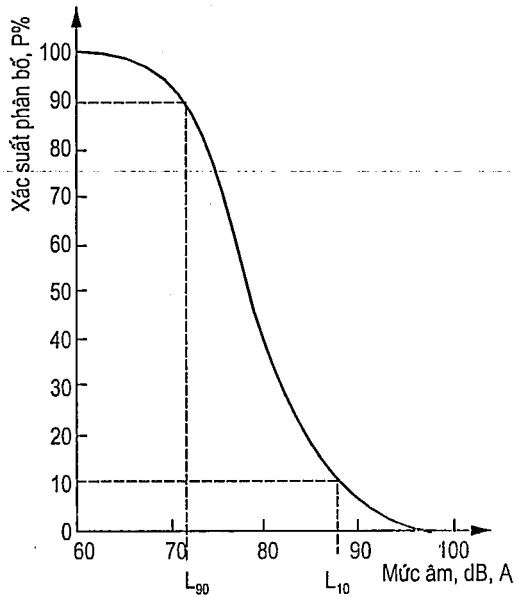
- Đo trong giờ cao điểm của ngày.

- Thời gian đo là 10 phút khi cường độ dòng xe 1000 - 3000xe/h, 20 phút khi cường độ 500 - 1000xe/h, và 30 phút khi dưới 500xe/h. Mọi trường hợp khi chưa rõ cường độ dòng xe, cần phải đo 20 - 30 phút.

- Tốc độ lấy số liệu: 1s/1 số liệu đo.

c) *Trị số tính toán của mức ồn dòng xe*

Nhiều nước (Nga, Đức, Áo, Mỹ, Thụy Điển, Ba Lan, Nhật Bản,...) dùng mức ồn tương đương (L_{Aid}) làm mức ồn tính toán của tiếng ồn giao thông. Mức ồn tương đương thường thấp hơn mức L_{10} khoảng 1 - 2dB khi cường độ dòng xe 500 - 3000xe/h [39].



Hình 6.2. Biểu đồ xác suất phân bố mức ồn

Ở Pháp dùng mức ồn tương đương trong thời gian từ 8 đến 20 giờ làm mức ồn tính toán ban ngày [17], ký hiệu L_{eq} (8h - 20h).

Ở Anh dùng "chỉ số tiếng ồn giao thông" (TNI - Traffic noise index) là mức ồn trung bình của L_{10} trong 18 giờ hàng ngày (giữa 6 giờ và 24 giờ của ngày thường), ký hiệu $L_{10,18hr}$, với thuyết minh rằng mức ồn này gây ảnh hưởng khó chịu đáng kể cho người dân và Chính phủ dựa vào mức này để xác định việc bồi thường cho họ [16]. Chú ý rằng ở Anh mức ồn được đo cách mép đường 10m.

Nước ta chưa có tiêu chuẩn quy định mức ồn giao thông tính toán. Chúng tôi kiến nghị sử dụng mức ồn tương đương trung bình trong thời gian từ 8 giờ đến 20 giờ, đo cách trục làn xe gần nhất 7,5m làm trị số mức ồn tính toán [58].

Ký hiệu: $L_{Atd(8-20h)}$, đơn vị dB, A.

Mức ồn tương đương tính toán mỗi giờ có thể xác định gần đúng theo cường độ dòng xe cho ở bảng 6.1 khi dòng xe có 20% xe tải và xe hành khách nặng động cơ carburateur, với vận tốc 40km/h [39].

Bảng 6.1. Mức ồn tương đương của dòng xe (ở cách mép đường 7,5m) khi dòng xe có 20% xe tải và xe khách nặng, vận tốc 40km/h

Cường độ dòng xe N, xe/h	40	50	60	80	100	150	200	300	400	500
Mức ồn L_{Atd} , dBA	65	65,5	66	66,5	67	68	69	70	70,5	71
Cường độ dòng xe N, xe/h	700	900	1000	1500	2000	3000	4000	5000	10000	
Mức ồn L_{Atd} , dBA	72	72,5	73	74	74,5	75,5	76	77	78	

Các trị số trong bảng 6.1 được hiệu chỉnh theo các trường hợp cụ thể thực tế sau đây [39]

- Theo số lượng xe tải và xe khách nặng động cơ carburateur:
 - Tăng, giảm 13% hiệu chỉnh ± 1 dBA.
- Theo số lượng xe tải và xe khách động cơ diêdel:

- Giảm không quá 10% hiệu chỉnh 0 dB, A

- Tăng 10% hiệu chỉnh + 1dB, A.

3. Theo vận tốc dòng xe:

- Từ 40km, giảm mỗi 7km đến 7km/h hoặc tăng đến 80km/h, hiệu chỉnh ± 1 dB;

- Từ 80 -120km/h, tăng mỗi 20km/h, hiệu chỉnh +1dB.

4. Theo độ dốc chiều dọc đường:

- Độ dốc 0% hiệu chỉnh 0;

- Tăng 2% hiệu chỉnh + 1dB, A.

5. Theo chiều rộng đường phố có nhà hai bên đường:

- Rộng trên 50m hiệu chỉnh 0;

- Giảm 10m hiệu chỉnh + 1dbA.

Ví dụ 6.1. Xác định mức ồn giao thông tính toán của đường phố có các đặc điểm sau:

- Số lượng xe tải và xe khách động cơ carburateur: xem bảng 6.2.

- Số lượng xe tải và xe khách động cơ diedel: xem bảng 6.2.

- Vận tốc dòng xe: 30km/h.

- Độ dốc dọc đường: 0%.

- Đường phố rộng 40m có nhà hai bên.

Cường độ dòng xe theo các giờ khác nhau và mức ồn tương đương cho ở bảng 6.2.

Bài giải:

Mức ồn tương đương theo cường độ dòng xe lấy theo bảng 6.1 có các hiệu chỉnh về thành phần dòng xe, vận tốc dòng xe cho ở bảng 6.2.

$$L_{Atd}^{tb} = \frac{\sum L_{td}}{12} = 72,5 \text{dB, A}$$

Hiệu chỉnh độ dốc đường: 0

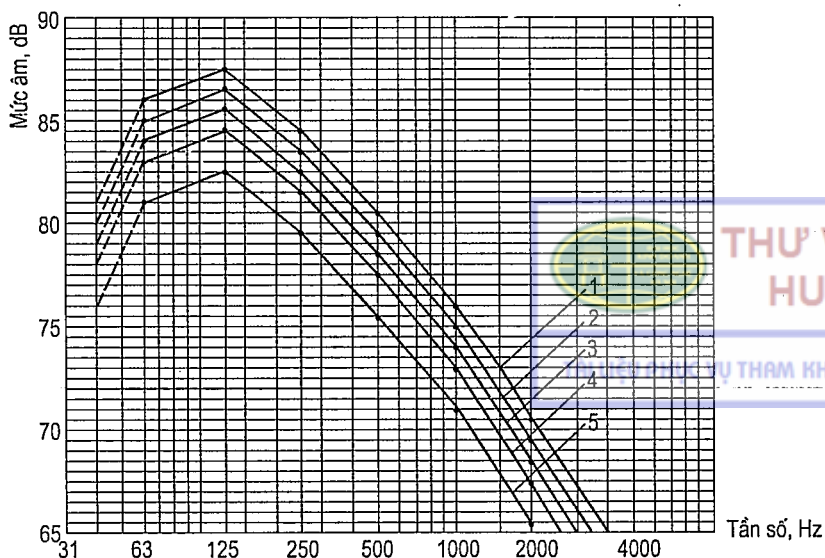
Hiệu chỉnh đường phố: +1 dB, A.

Vậy mức ồn giao thông tính toán từ 8 đến 20h là:

$$L_{Atd(8-20h)} = 73,5 \text{dB, A.}$$

Bảng 6.2. Bảng tính mức ồn tương đương của dòng xe

Giờ trong ngày	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20
Cường độ N, xe/h	1800	1500	1000	800	800	600	700	900	1000	1200	400	80
L_{Aid}	74,5	74	73	72	72	71,5	72	72,5	73	73,5	70,5	66,5
Xe nặng Carbur	10%	8%	20%	30%	20%	15%	30%	25%	10%	10%	20%	20%
Hiệu chỉnh, dB, A	-1	-1	0	+1	0	+0,5	+1	+0,5	-1	-1	0	0
Xe nặng diesel	5%	8%	15%	10%	20%	10%	5%	10%	8%	5%	10%	20%
Hiệu chỉnh, dB, A	0	0	+0,5	+	+1	0	0	0	0	0	0	+1
Vận tốc km/h	30	40	50	50	50	40	40	50	40	30	30	40
Hiệu chỉnh, dB, A	-1,5	0	+1,5	+1,5	+1,5	0	0	+1,5	0	-1,5	-1,5	0
Trị số tính toán, dB, A	72	73	75	74,5	74,5	72	73	74,5	72	71	69	67,5

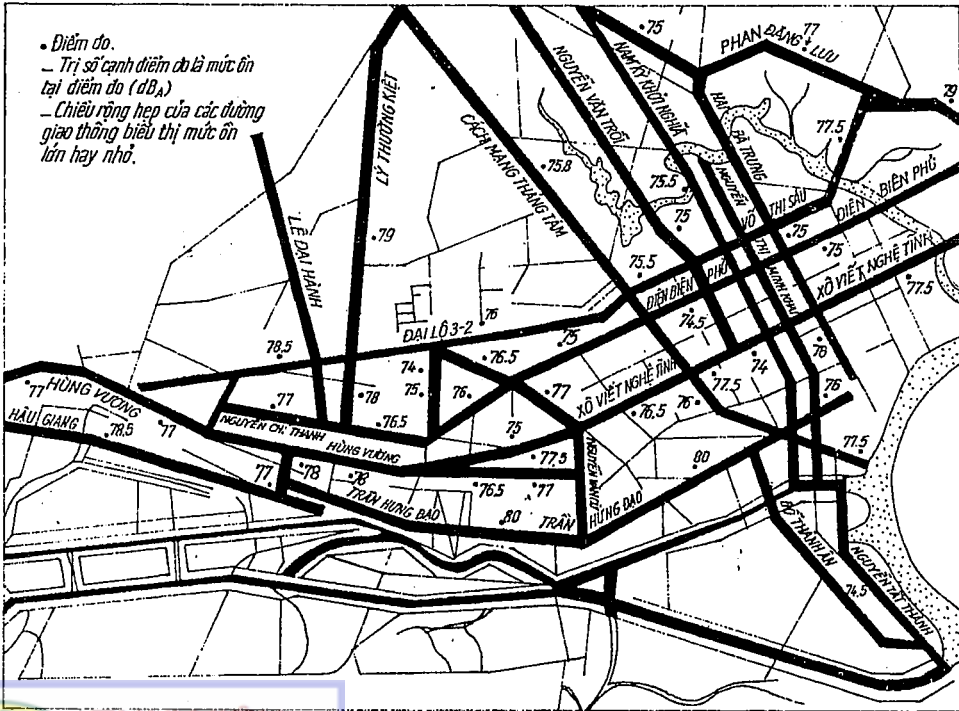


Hình 6.3. Phổ tiếng ồn giao thông:

- 1- Khi $N = 5000$ xe/h; 2- Khi $N = 3000$ xe/h; 3- Khi $N = 2000$ xe/h;
4- Khi $N = 1000$ xe/h; 5- Khi $N = 500$ xe/h.

Bên cạnh việc đánh giá tiếng ồn dòng xe theo mức ồn tương đương chúng ta còn lập được *phổ tiếng ồn giao thông* (hình 6.3) [31]. Quan sát hình 6.3 ta nhận thấy:

- Tiếng ồn giao thông thuộc loại tiếng ồn tần số thấp (không xét đến âm thanh do còi xe tạo ra);
- Dạng phổ tiếng ồn giao thông không phụ thuộc cường độ dòng xe N.



Hình 6.4. Bản đồ tiếng ồn giao thông thành phố Hồ Chí Minh năm 1985 (trị số mức ồn tương đương trong giờ cao điểm)

Trên hình 6.4 là bản đồ tiếng ồn giao thông thành phố Hồ Chí Minh trên cơ sở đo thực tế mức ồn và cường độ dòng xe năm 1985 [55] chú ý rằng các trị số trên bản đồ là mức âm tương đương trong giờ cao điểm của mỗi đường phố.

5. Tiếng ồn giao thông đường sắt

Tiếng ồn giao thông đường sắt phụ thuộc loại tàu, cường độ đoàn tàu (số tàu chạy qua mặt cắt ngang đường trong 1 giờ) và vận tốc của tàu, được đánh giá theo mức ồn tương đương ở điểm cách đường ray gần nhất 7,5m.

Theo kết quả khảo sát của công trình [39], mức ồn tương đương trung bình khi vận tốc 40km/h của tàu hỏa chạy điện là 87dB, A, của tàu hành khách là 84dB, A và tàu hàng là 89dB, A.

Mức ồn tương đương phụ thuộc cường độ đoàn tàu có thể xác định theo bảng 6.3.

Bảng 6.3. Mức ồn tương đương của giao thông đường sắt theo cường độ đoàn tàu dB, A (khi vận tốc 40km/h)

Cường độ tàu (đôi tàu/giờ)	1	2	3	4	5	6
Tàu khách	68	71	73	74,5	75	76
Tàu hàng	73	76	78	79,5	80,5	81

Hiệu chỉnh theo vận tốc đoàn tàu xác định như sau:

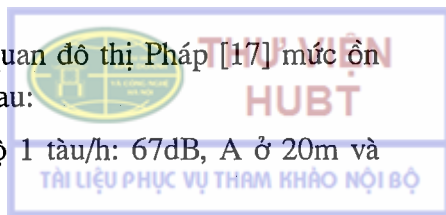
- $v = 40\text{km/h}$ hiệu chỉnh 0.
- $v = 45\text{km/h}$ hiệu chỉnh 2,5 dB, A;
- $v = 50\text{km/h}$ hiệu chỉnh 4,0 dB, A;
- $v = 55\text{km/h}$ hiệu chỉnh 5,5 dB, A;
- $v = 60\text{km/h}$ hiệu chỉnh 6,5 dB, A;
- $v = 65\text{km/h}$ hiệu chỉnh 7,5 dB, A;
- $v = 70\text{km/h}$ hiệu chỉnh 8,0 dB, A;
- $v = 80\text{km/h}$ hiệu chỉnh 9,0 dB, A.

Theo số liệu của Bộ Môi trường và Cảnh quan đô thị Pháp [17] mức ồn tương đương ở mặt nhà do tàu hỏa gây ra như sau:

- Tàu hàng vận tốc 60 - 70km/h, cường độ 1 tàu/h: 67dB, A ở 20m và 50dB, A ở 60m.
- Tàu khách vận tốc 120km/h, cường độ 16tàu/h: 78dB, A ở 20m và 73dB, A ở 60m.
- Tàu khách tốc hành vận tốc 260km/h, cường độ 8 tàu/h: 78dB, A ở 25m và 74dB, A ở 60m.

6. Tiếng ồn máy bay

Cần phân biệt hai khái niệm:



- Tiếng ồn máy bay là tiếng ồn ở dưới mặt đất khi máy bay bay qua. Nếu tuyến bay thường xuyên bay qua các khu vực dân cư sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến cuộc sống của họ.

- Tiếng ồn quanh sân bay, thường phát triển theo hướng các đường băng cất và hạ cánh của máy bay (chiều song song và chiều vuông góc với chúng). Khi nghiên cứu quy luật lan truyền tiếng ồn từ đường băng chúng ta có thể xác định khoảng đất cách ly để bảo vệ cho các khu dân cư chung quanh sân bay.

Tiếng ồn máy bay có những đặc điểm khác với các nguồn ồn đã trình bày ở trên (về tần số, về thời gian tác dụng, về ảnh hưởng đối với con người... Vì vậy phương pháp đánh giá, tiêu chuẩn tiếng ồn này cũng khác các cách đã biết.

Hiện nay trên thế giới thường sử dụng hai loại đơn vị đánh giá tiếng ồn máy bay.

- Đơn vị PN, dB (Perceived Noise - tiếng ồn cảm nhận), do các tác giả Bolt, Beranek và Newman đề nghị, được sử dụng ở Mỹ và một số nước khác (ví dụ tiêu chuẩn S - 31 - 008 của Pháp), trên cơ sở đánh giá cảm giác khó chịu của tiếng ồn máy bay (loại tiếng ồn chứa nhiều tần số cao) đối với người dân. Đơn vị PN có thể xác định theo công thức [9]:

$$PN, dB = dB(D) + 7 \quad (6.2)$$

Trong đó: dB(D) là mức ồn đo theo thang hiệu chỉnh D của máy đo mức (đơn vị là dB, D, xem hình 1.24, chương 1).

- Đơn vị dB, A - mức âm đo theo thang hiệu chỉnh A của máy đo mức - cũng được thừa nhận và áp dụng ở nhiều nước, cũng như theo khuyến nghị của ISO.

Quan hệ giữa hai đơn vị có thể biểu diễn gần đúng qua công thức:

$$L_{PN} - L_A \approx 12dB \quad (6.3)$$

Phân tích ảnh hưởng của tiếng ồn máy bay đối với người dân theo hai loại đơn vị đo, thấy rằng mức âm theo hiệu chỉnh A phù hợp hơn với sự cảm thụ tiếng ồn máy bay ở ngoài trời của người dân [39].

Chúng tôi kiến nghị ở Việt Nam, sử dụng đơn vị mức âm theo hiệu chỉnh A để đánh giá tiếng ồn máy bay, vì ngoài ưu điểm nêu trên, còn đơn giản, thuận tiện và thống nhất với khuyến nghị của cơ quan tiêu chuẩn quốc tế (ISO).

Phương pháp đánh giá tiếng ồn máy bay: Hai thông số sau đây dùng để đánh giá tiếng ồn máy bay được coi là thể hiện đầy đủ đặc điểm của tiếng ồn và ảnh hưởng quấy nhiễu của nó đối với dân cư:

- Mức ồn cực đại của một chuyến bay, ký hiệu L_{Amax} (dB, A);

- Mức ồn tương đương trong suốt thời gian ban ngày (ví dụ từ 6 giờ đến 22 giờ) và ban đêm (từ 22 giờ đến 6 giờ), có xét đến số lần máy bay bay qua và mức ồn của nó.

Mức ồn tương đương của máy bay xác định theo công thức:

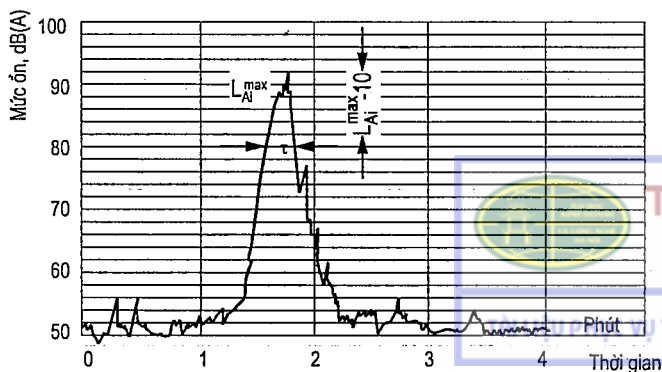
$$L_{Atd} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \sum \tau_i \cdot 10^{0,1 L_{Ai}^{max}} \right) \quad (6.4)$$

trong đó:

L_{Ai}^{max} - mức ồn cực đại của một máy bay khi bay qua điểm khảo sát, dB, A;

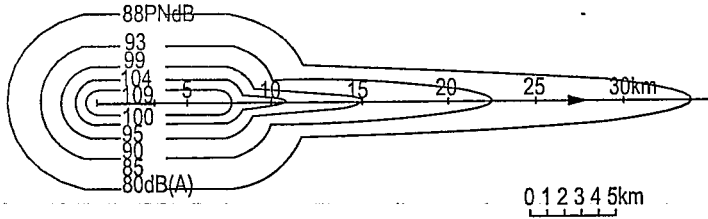
τ_i - thời gian (s) tác động của mức ồn một máy bay từ trị số ($L_{Ai}^{max} - 10$ dB), đến trị số L_{Ai}^{max} (xem hình 6.5);

T - tổng thời gian khảo sát ban ngày hoặc ban đêm tính bằng giây.

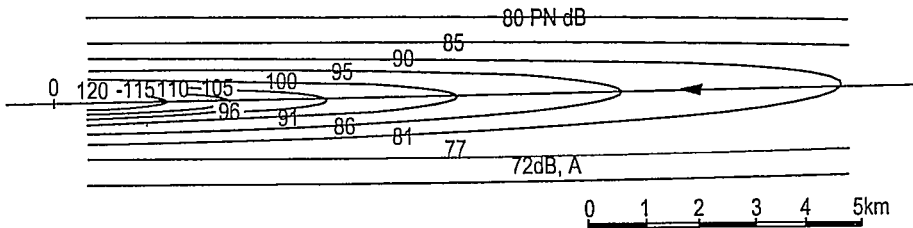


Hình 6.5. Mức ồn ghi được trên mặt đất khi máy bay bay qua (ví dụ)

Đối với các sân bay, bằng phương pháp đo đạc chúng ta có thể dựng được các đường đồng mức ồn cực đại cho mỗi loại máy bay chung quanh các đường băng cất và hạ cánh (hình 6.6 và 6.7). Tổng hợp lại chúng ta có thể dựng được đường phân bố mức ồn chung quanh một sân bay.



Hình 6.6. Các đường đồng mức ồn cực đại của máy bay phản lực khi cất cánh (ví dụ)



Hình 6.7. Các đường đồng mức ồn cực đại của máy bay phản lực khi hạ cánh (ví dụ)

Cần lưu ý rằng phương pháp chọn trị số đánh giá để dựng các đường đồng mức ồn chung quanh sân bay ở các nước khác nhau không giống nhau. Ví dụ, ở Pháp sử dụng *chỉ số tổng mức ồn thu nhận N* (l'indice psophique), ở Anh - *chỉ số NNI* (Noise and Nuber Index), ở Mỹ - *chỉ số CNR* (Composite Noise Rating).

Chỉ số N theo tiêu chuẩn S31 - 008 của Pháp xác định theo công thức (đơn vị là PN, dB):

$$N = 10 \lg \left\{ \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{TPN_i}^{\max}} \right\} - 30, \text{PNdB}$$

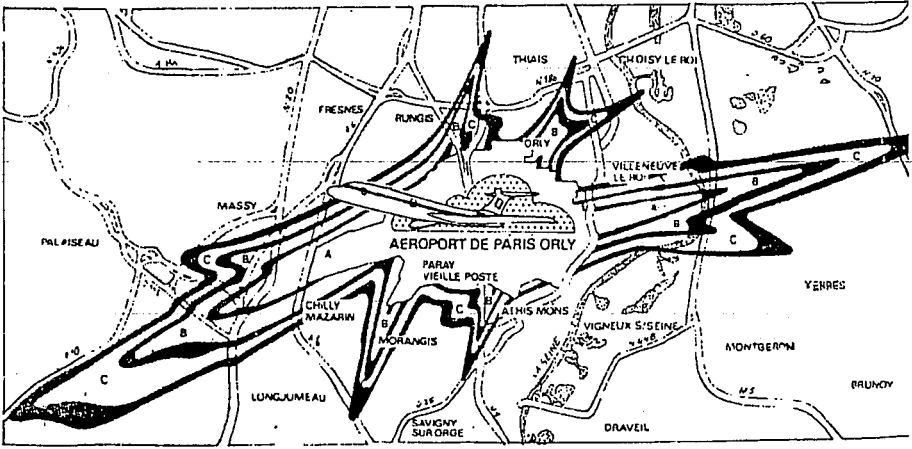
trong đó:

$L_{TPN_i}^{\max}$ - mức ồn cực đại ở điểm khảo sát do máy bay thứ i gây ra;

n - số lần máy bay cất hạ cánh trong thời gian T (ngày hoặc đêm).

Trên hình 6.8 là các đường đồng mức ồn N quanh sân bay Paris-Orly của Pháp [8], trong đó được phân thành ba vùng ồn khác nhau:

- Vùng A - mức ồn rất mạnh, $N > 96$ PN dB;
- Vùng B - mức ồn mạnh, $N = 89 - 96$ PN dB;
- Vùng C - mức ồn cao, $N = 84 - 89$ PN dB.



Hình 6.8. Các vùng tiếng ồn chung quanh sân bay Paris - Orly

Trong cả ba vùng trên đều không được phép xây dựng nhà ở kiểu chia lô. Sau vùng C mức ồn mới được coi là nhỏ và bắt đầu được phép xây dựng nhà ở.

6.2. ẢNH HƯỞNG CỦA TIẾNG ỒN ĐỐI VỚI CON NGƯỜI VÀ TIÊU CHUẨN MỨC ỒN CHO PHÉP

6.2.1. Ảnh hưởng của tiếng ồn đối với con người

Trước hết cần nói rằng tiếng ồn không phải lúc nào cũng có hại đối với con người. Ngược lại, tiếng ồn mức thấp khoảng 10 - 20dB lại là cần thiết đối với họ, bởi vì nó tạo nên trạng thái môi trường bình thường, quen thuộc và tạo được sự cân bằng cho hệ thống thần kinh của chúng ta từ lúc còn là một bào thai trong bụng mẹ cho đến suốt cuộc đời. Khi mức ồn tăng lên, thậm chí ngay cả khi mức âm còn không đáng kể (khoảng 50 - 70dB), đã có ảnh hưởng xấu đến các hoạt động khác nhau của con người.

Âm thanh con người cảm thụ được chủ yếu thông qua tai (chỉ có phần nhỏ dao động được âm truyền qua xương sọ), nhưng tiếng ồn không chỉ gây ảnh hưởng xấu đối với tai, mà còn gây ra một loạt thay đổi theo chiều hướng

xấu trong nhiều cơ quan và bộ máy khác của cơ thể trước khi có những biểu hiện bệnh lý và thoái hóa ở tai. Ảnh hưởng xấu của tiếng ồn đối với cơ thể phụ thuộc vào mức và phổ tiếng ồn, thời gian tác dụng của nó trong một ngày, quá trình con người tiếp xúc với tiếng ồn, cũng như vào lứa tuổi, giới tính và tình trạng sức khỏe của mỗi người.

Trước hết nói ảnh hưởng của tiếng ồn đối với tai. Khi chịu tác động của tiếng ồn độ nhạy cảm của tai giảm xuống và ngưỡng nghe tăng lên. Hiện tượng nay được gọi là sự thích nghi của tai, là một phản ứng tự vệ của cơ thể để chống lại tiếng ồn. Khi rời khỏi môi trường ồn đến nơi yên tĩnh, độ nhạy cảm sẽ hồi phục lại rất nhanh, chỉ sau 2 - 3 phút. Tuy nhiên sự thích nghi của tai chỉ có mức độ nhất định. Tác dụng kéo dài của tiếng ồn làm giảm độ nhạy của tai rõ rệt, nhất ở các tần số cao và thời gian hồi phục kéo dài hơn, từ vài giờ đến vài ngày, đồng thời xuất hiện cảm giác mệt mỏi trong tai. Nếu tác dụng của tiếng ồn lặp lại nhiều lần, tai mất dần khả năng hồi phục, sau một thời gian sẽ phát triển thành những biến đổi có tính chất bệnh lý, gây thoái hóa trong tai, dẫn tới bệnh nặng tai và bệnh điếc.

Như vậy, sự mệt mỏi trong tai là dấu hiệu đầu tiên báo hiệu sự phát triển của bệnh nặng tai và bệnh điếc. Theo kết quả nghiên cứu của nước ngoài thì tác dụng gây mệt mỏi của tiếng ồn bắt đầu từ 80dB đối với âm tần số 2000 - 4000 Hz và từ 60dB đối với âm tần số 5000 - 6000Hz.

Theo số liệu của Tổ chức y tế thế giới (WHO):

- Mức âm tương đương trong một ca làm việc (8 giờ) là 80dB, A chưa gây ra bệnh điếc nghề nghiệp khi tiếp xúc lâu dài với nó.

- Mức 85dB, A có 10% công nhân bị điếc sau 40 năm tiếp xúc.

- Mức 90dB, A có 10% bị điếc sau 10 năm tiếp xúc và 16% sau 20 năm tiếp xúc.

- Mức 95dB, A có 17% bị điếc sau 10 năm và 28% sau 20 năm tiếp xúc.

- Mức 100dB, A có 12% bị điếc sau 5 năm; 29% sau 10 năm và 42% sau 20 năm tiếp xúc...

Nhiều nghiên cứu thống kê đi đến kết luận rằng tiếng ồn của các thành phố lớn là nguyên nhân làm giảm độ thính của tai và tăng bệnh nặng tai: ở Pháp nếu ở vùng nông thôn cứ 10 ngàn dân có 20 - 30 người mắc bệnh nặng tai, thì ở các thành phố lớn lên đến 100 - 120 người (tăng gấp 4 - 5 lần). Ở

Mỹ năm 1967 có 11 triệu người lớn và 3 triệu trẻ em thành phố được chẩn đoán mất thính giác v.v...

Các nghiên cứu gần đây, cho thấy tiếng ồn gây ra các bệnh ở hệ thống thần kinh và ở các cơ quan bên trong sớm hơn nhiều so với những biến đổi thoái hóa ở cơ quan nghe.

Tiếng ồn trước hết ảnh hưởng xấu tới trạng thái chức năng của hệ thần kinh trung tâm, gây ức chế ở các trung tâm thần kinh, làm giảm sự chú ý và giảm khả năng làm việc của con người, đặc biệt đối với lao động trí óc.

Tiếng ồn mạnh thường gây ra bệnh đau đầu, chóng mặt, cảm giác sợ hãi, bực tức vô cớ, trạng thái tâm thần không ổn định. Lúc đó biện pháp thụ động thường sử dụng là uống thuốc an thần. Ví dụ ở Orly - thành phố vệ tinh của Paris, cạnh một sân bay cỡ lớn nhất thế giới - số lượng thuốc an thần bán ra hàng ngày gấp 7 lần ở các nơi khác.

Đặc biệt về ban đêm, tiếng ồn thành phố thường phá rối giấc ngủ và sự nghỉ ngơi của con người. Các nghiên cứu về giấc ngủ cho thấy [31, 39]:

- Khi mức ồn 30 - 35dB, A, giấc ngủ xảy ra bình thường, cần có 14 - 20 phút để có giấc ngủ say và giấc ngủ sâu chiếm 82% thời gian ngủ. Chú ý rằng giấc ngủ sâu có vai trò hết sức quan trọng để hồi phục sức khỏe con người.

- Khi mức ồn 40dB, A, giấc ngủ đã bị phá rối rõ rệt, và khi mức ồn 50dB, A thời gian để ngủ say kéo dài tới 1 giờ, thời gian của giấc ngủ sâu giảm còn 60%.

Tiếng ồn gây ảnh hưởng xấu đến hệ thống tim mạch. Mức ồn 80dB, A làm giảm áp suất tâm thu, tăng áp suất tâm trương, áp suất động mạch dao động tới 20 - 30mmHg, chu kỳ tim kéo dài, tần số nhịp tim hạ thấp.

Tác dụng liên tục của tiếng ồn là nguyên nhân của bệnh loét, viêm dạ dày do rối loạn chức năng chế tiết và co bóp của dạ dày.

Tiếng ồn có ảnh hưởng mạnh hơn đối với trẻ em và đặc biệt đối với những người bị bệnh thần kinh, bệnh tim mạch, các bệnh nhân sau các ca mổ nặng. Nó làm giảm hiệu quả của các quá trình điều trị và tăng thời gian lưu lại trong bệnh viện.

Nhiều nhà nghiên cứu khẳng định, tiếng ồn trong các thành phố lớn rút ngắn tuổi thọ của con người từ 10 đến 12 năm.

Tiếng ồn làm giảm sự tập trung chú ý khi làm việc, gây mệt mỏi, giảm chất lượng công việc, tăng phế phẩm và tai nạn lao động. Người ta cũng thấy rằng quá trình lao động càng phức tạp, càng cần nhiều tập trung chú ý thì tiếng ồn càng làm giảm năng suất lao động. Theo các nghiên cứu ở nước ngoài, trong một số công việc, năng suất lao động có thể giảm tới 40%, số lượng nhầm lẫn tăng lên 50%.

Kết luận về những mức ồn có ảnh hưởng tới con người.

30- 35dB, A: Không ảnh hưởng đến giấc ngủ.

40dB, A: Ảnh hưởng đến giấc ngủ. Điều kiện làm việc trí óc tốt.

50dB, A: Phá rối giấc ngủ rõ rệt. Điều kiện tốt cho sinh hoạt và nghỉ ngơi nói chung.

65dB, A: Quấy rầy công việc, sinh hoạt. Bắt đầu có ảnh hưởng xấu về tâm sinh lý con người.

80dB, A: Chưa gây ảnh hưởng xấu tới tai khi tiếp xúc lâu dài.

85dB, A: Bắt đầu gây bệnh nặng tai và bệnh điếc.

100dB, A: Gây tổn thương không hồi phục ở tai.

120dB, A: Gây đau tai.

150dB, A: Tức khắc gây tổn thương thính giác.

Các nghiên cứu về ảnh hưởng của tiếng ồn máy bay đối với dân cư cho thấy:

* Theo mức âm cực đại L_{Amax} :

Khi $L_{Amax} = 75 - 77$ dB, A: không gây ảnh hưởng đáng kể đến dân cư.

$L_{Amax} = 80 - 85$ dB, A: có 38 - 49% người dân phản nản khó chịu.

$L_{Amax} = 90 - 100$ dB, A: có 65 - 92% dân cư phản ứng mạnh.

* Theo mức âm tương đương L_{Aid} :

$L_{Aid} = 62$ dB, A (ban ngày) và 52 dB, A (ban đêm): không gây ảnh hưởng tới dân cư.

6.2.2. Tiêu chuẩn mức ồn cho phép

1. Phương pháp tiêu chuẩn

Phương pháp tiêu chuẩn trước hết phải xuất phát từ đặc điểm cảm thụ âm thanh (hay tiếng ồn) của tai người (phụ thuộc vào mức và tần số âm)

nghĩa là phải dựa vào biểu đồ các đường đồng mức to (hình 1.18). Mặt khác cần chú ý đến các đặc điểm bức xạ của tiếng ồn (về mức, tần số, thời gian...) và ảnh hưởng khác nhau của chúng đối với dân cư.

Hiện nay trên thế giới đang áp dụng một số tiêu chuẩn theo các phương pháp khác nhau, và trong một quốc gia có thể sử dụng không chỉ một phương pháp tiêu chuẩn.

Dưới đây chúng tôi sơ lược giới thiệu một số phương pháp tiêu chuẩn thường gặp trên thế giới.

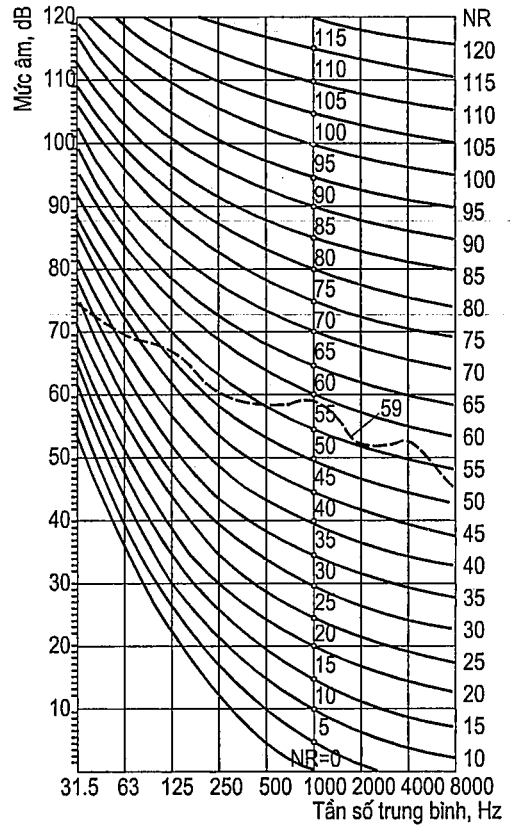
Đường NR (Noise Rating)

Đường NR là một họ đường cong đánh giá ảnh hưởng quá nhiều của tiếng ồn trong phạm vi tần số từ 31,5 đến 8000Hz theo dải 1 octa (hình 6.9). Biểu đồ này được xây dựng dựa trên biểu đồ các đường đồng mức âm (hình 1.18). Chỉ số NR là trị số mức âm (dB) ở tần số chuẩn 1000Hz được lấy làm tên gọi các đường cong. Các trị số của họ đường NR cũng cho trong bảng 6.4.

Mức âm tổng cộng theo hiệu chỉnh A của mỗi đường cong (L_A, dB, A) thường cao hơn các chỉ số NR từ 5 đến 8dB, vì vậy có thể viết quan hệ giữa chúng theo biểu thức:

$$L_A - NR \approx 5dB \quad (6.5)$$

Khi đánh giá tiếng ồn thực tế theo NR, cần đo và dựng phổ tiếng ồn theo dải tần số 1 octa rồi đặt nó lên biểu đồ các đường NR (đường chấm chấm trên hình 6.9). Chỉ số của đường khảo sát là đường NR kề sát nó nhất khi không có điểm nào của đường này nằm dưới đường khảo sát (trong ví dụ trên hình 6.9, chỉ số của đường khảo sát là NR - 59).



Hình 6.9. Biểu đồ họ đường cong NR (Noise Rating)

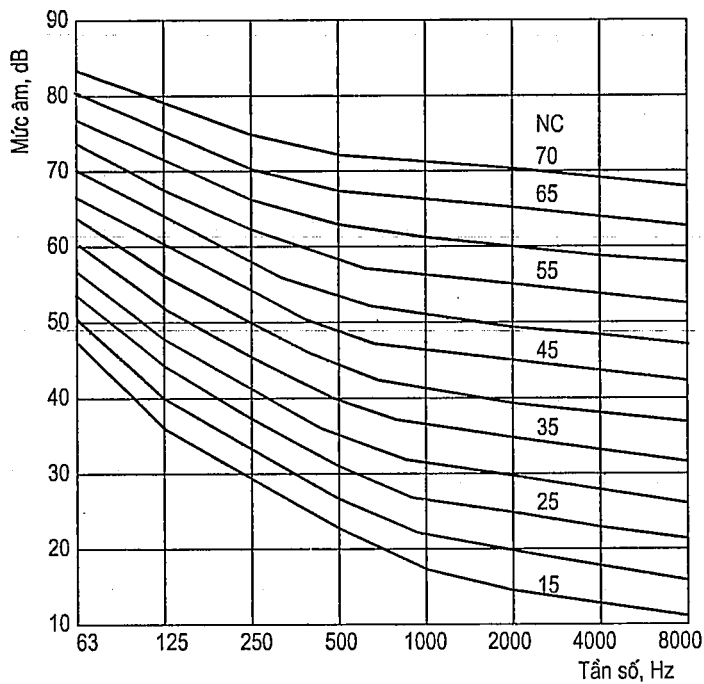
Bảng 6.4. Trị số mức âm theo họ đường cong NR

Chỉ số, NR	Mức âm theo dải tần số 1 ôcta, dB								L_A , dB, A
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
20	51	39	31	24	20	17	14	13	25
25	55	44	35	29	25	22	20	18	30
30	59	48	40	34	30	27	25	23	35
35	63	52	45	39	35	32	30	28	40
40	67	57	49	44	40	37	35	33	45
45	71	61	54	49	45	42	40	38	50
50	75	66	59	54	50	47	45	43	55
55	79	70	63	58	55	52	50	49	60
60	83	74	68	63	60	57	55	54	65
65	87	79	72	68	65	63	61	59	70
70	92	83	77	73	70	68	66	64	75
75	96	87	82	78	75	73	71	70	80
80	99	92	86	83	80	78	76	74	85

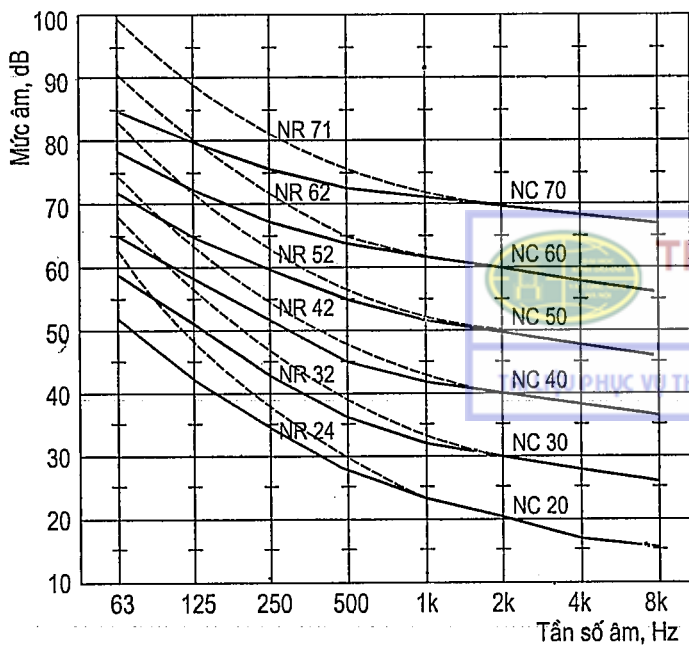
Các đường cong NR được đề xuất theo khuyến nghị của ISO - R1996 và được chấp nhận sử dụng ở nhiều nước trên thế giới như Nga, Pháp, Anh, Bỉ v.v...

Đường NC (Noise Criterion)

Đường NC là một họ đường cong do L. Beranek đề xuất năm 1957 (hình 6.10), được sử dụng phổ biến ở Mỹ, Anh... Chỉ số của mỗi đường cong là mức âm tại tần số xấp xỉ 2000Hz (chính xác là 1697Hz) của đường đó. Trên hình 6.11 là so sánh hai họ đường cong NR và NC, cho thấy các đường NC có trị số thấp hơn các đường NR ở các tần số thấp dưới 1000Hz. Cách đánh giá môi trường ồn theo chỉ số NC cũng giống như khi đánh giá theo chỉ số NR vừa trình bày ở trên.



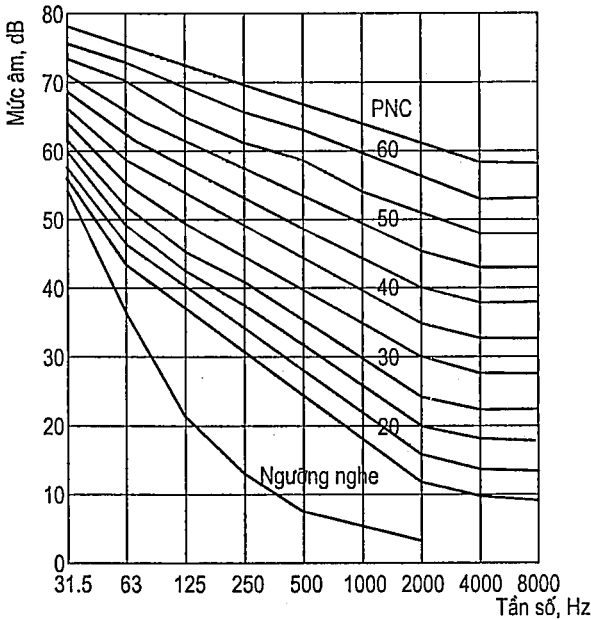
Hình 6.10. Họ đường cong NC (Noise criterion)



Hình 6.11. So sánh hai họ đường cong NR và NC

Đường PNC (Preferred Noise Criterion)

Ở Mỹ họ đường cong PNC cũng được dùng song song với họ đường cong NC. Đặc điểm của họ đường PNC là có các trị số nhỏ hơn các đường NC ở các tần số thấp và tần số cao (hình 6.12), sử dụng để đánh giá tiếng ồn có chứa nhiều năng lượng ở các tần số này (ví dụ tiếng ồn máy bay) phù hợp hơn khi xét ảnh hưởng xấu của tiếng ồn đối với con người.



Hình 6.12. Họ đường cong PNC (Preferred Noise Criteria)

Đường A - N (Noise Rating Curves A)

Họ đường cong A - N do F. Bruckmayer (thuộc Học viện kỹ thuật Graz, Austria) kiến nghị (hình 6.13) có những đặc điểm sau đây:

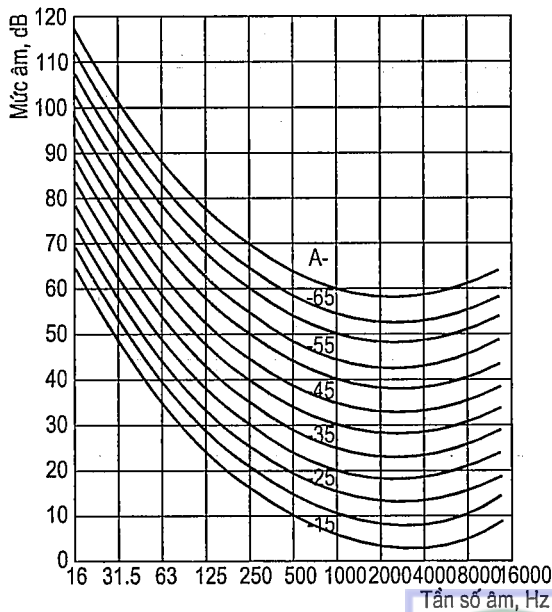
- Phổ tần số bao gồm toàn bộ phạm vi tần số âm nghe được (từ 16Hz đến 16kHz).
- Dạng đường cong là dạng lật ngược của đường hiệu chỉnh A (hình 1.24).
- Chỉ số A - N của mỗi đường cong đúng bằng mức âm tổng cộng theo hiệu chỉnh A (dB, A). Đây chính là ưu điểm cơ bản của họ đường A - N so với các họ đường NR, NC và PNC.

- Quan hệ của A - N với NR và NC có thể viết:

$$A - N \approx NC + 10;$$

$$A - N = 0,9 NR + 18.$$

Tương tự tác giả cũng lập các họ đường cong: B - N và C - N (là họ đường cong có dạng lật ngược của các đường hiệu chỉnh B và C). Tuy nhiên, phương pháp này có một nhược điểm là nếu xét riêng mỗi họ A - N, B - N hoặc C - N thì chúng ta lại không thể hiện được sự thay đổi cảm giác âm thanh của tai người theo mức âm.



Hình 6.13. Họ đường cong A - N (Noise rating Curves A)

Mức ồn tổng cộng thang A, L_A (dB, A)

Ưu điểm của cách đánh giá này là chỉ dùng một trị số, đó là mức năng lượng âm tổng cộng trong toàn bộ phạm vi tần số bức xạ của âm thanh theo hiệu chỉnh A. Vì vậy cách đánh giá theo thang A là đơn giản, phù hợp với hướng dẫn của ISO và được chấp nhận gần như ở tất cả các nước trên thế giới.

Tuy nhiên nhược điểm của nó là không cho biết sự phân bố năng lượng tiếng ồn theo các dải tần số, vì vậy không thuận tiện khi khởi thảo các biện pháp chống tiếng ồn.

Kết luận và kiến nghị

Yêu cầu của phương pháp đánh giá:

- Phù hợp với sự cảm nhận ảnh hưởng xấu của tiếng ồn đối với con người.
- Thống nhất được với các phương pháp đánh giá của ISO và của nhiều nước trên thế giới.

Kiến nghị (đã được chấp nhận trong TCXDVN 175:2005):

- Sử dụng mức ồn tổng cộng theo hiệu chỉnh A (L_A , dB, A) để đánh và tiêu chuẩn tiếng ồn ở các vùng khác nhau trong đô thị, trong nhà ở, nhà công nghiệp.
- Đồng thời kết hợp sử dụng họ đường cong NR (hình 6.9) khi xử lý tiếng ồn, khi đề ra tiêu chuẩn cho các không gian có yêu cầu âm thanh cao như các phòng hòa nhạc, các studio âm thanh, v.v...

2. Tiêu chuẩn mức ồn cho phép

- Tiêu chuẩn mức ồn tối đa cho phép trong các khu vực công cộng và dân cư của Việt Nam (TCVN 5949 - 1998) giới thiệu ở bảng 6.5.

Chú ý rằng TCVN 5949 - 1998 chưa cho phép đạt được môi trường âm thanh tiện nghi khi làm việc, nghỉ ngơi và cho giấc ngủ của người dân. Nguyên nhân cơ bản là do đặc điểm kiến trúc thoáng hở của một nước nhiệt đới ẩm với cửa sổ của các ngôi nhà gần như mở quanh năm, làm cho mức ồn ngoài nhà và trong nhà chênh lệch nhau rất ít (từ 0 đến 5dB).

- Tiêu chuẩn mức ồn cho phép trong các nhà máy, xí nghiệp quy định mức âm tương đương trong suốt ca lao động (8 giờ) không được vượt quá 85dB, A. Mức cực đại không được vượt quá 115dB, A (TCVN 3985; 1999). Tiêu chuẩn này nhằm bảo vệ cơ quan thính giác của người lao động.

Bảng 6.5. Giới hạn tối đa cho phép tiếng ồn khu vực công cộng và dân cư (theo mức âm tương đương dB, A)

TT	Khu vực	Thời gian		
		6h - 18h	18 - 22h	22h - 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

Trong bảng 6.6. Mức ồn tối đa cho phép trong nhà công cộng (trích TCXDVN 175:2005).

**Bảng 6.6. Mức ồn tối đa cho phép trong nhà công cộng
(trích TCXDVN 175: 2005)**

TT	Loại phòng	Đường NR	$L_{A,tdi}$, dBA
1	Phòng hòa nhạc, nhà hát Ôpera (nghe âm thanh trực tiếp)	25	
2	Nhà hát kịch, nhà văn hóa, hội trường đa năng + Khi nghe âm thanh trực tiếp + Khi nghe âm thanh qua loa	30	-
		40	-
3	Phòng chiếu phim, rạp xiếc	40	-
4	Phòng đọc sách trong thư viện	45	-
5	Lớp học trong trường học phổ thông, đại học	-	50
6	Phòng hội thảo, phòng xử án	-	45
7	Phòng làm việc, nghiên cứu, phòng thí nghiệm	-	50
8	Phòng bác sỹ, phòng khám bệnh	-	45
9	Cửa hàng, nhà ga	-	60
10	Phòng bệnh nhân trong bệnh viện + Từ 6h đến 22h + Từ 22h đến 6h	-	45
		-	35
11	Phòng ở trong nhà dưỡng lão + Từ 6h đến 22h + Từ 22h đến 6h	-	50
		-	40

* Tiêu chuẩn ồn của máy bay khi bay qua các khu dân cư: xem bảng 6.7.

Bảng 6.7. Tiêu chuẩn tiếng ồn máy bay (kiến nghị)

Mức ồn cho phép	Thời gian trong ngày	
	Từ 8 h đến 20 h	Từ 20 h đến 8h
Mức cực đại, dB, A	85	75
Mức tương đương, dB, A	65	55

Chú thích: Mức ồn kiến nghị cao hơn 3 - 5dB, A so với các trị số ảnh hưởng tới người dân đã nghiên cứu ở mục 6.2.1 do xét đến tính khả thi của tiêu chuẩn.

6.3. TÍNH TOÁN LAN TRUYỀN TIẾNG ỒN GIAO THÔNG TRONG ĐÔ THỊ

Như đã nói trên, tiếng ồn trong đô thị chủ yếu là tiếng ồn giao thông, nó không những có tỷ trọng lớn, cường độ cao, xuất hiện gần như suốt thời gian trong ngày (từ 2 - 3 giờ sáng đến 12 giờ đêm), mà còn xâm nhập đến tận nơi ở của chúng ta, do việc kiểm soát tiếng ồn ở đô thị hiện nay chưa chặt chẽ.

Tiếng ồn giao thông có thể lan truyền dọc theo các đường phố, đặc biệt khi đường phố có nhà ở hai bên và chiều rộng hẹp, tạo thành một hành lang có mức ồn rất cao. Đường Hai Bà Trưng ở quận 1, thành phố Hồ Chí Minh là một ví dụ rõ rệt. Tuy nhiên, mức ồn này chỉ ảnh hưởng chủ yếu đến các ngôi nhà ở mặt đường.

Sự lan truyền tiếng ồn theo phương vuông góc với đường phố có khả năng phá vỡ môi trường âm thanh yên tĩnh của các công trình nằm sâu trong đô thị, quấy rối đời sống và công việc của người dân là đối tượng nghiên cứu của mục này.

6.3.1. Lan truyền tiếng ồn giao thông qua các địa hình khác nhau trong đô thị

1. Lan truyền tiếng ồn trên địa bàn bằng phẳng

Sự giảm dần mức âm theo khoảng cách xa dần đường giao thông do hai nguyên nhân, đã nghiên cứu khi truyền âm ngoài trời, đó là:

- Mức âm giảm theo khoảng cách.
- Do sự hút âm của không khí.

Sự giảm mức âm theo khoảng cách xa nguồn âm đã nghiên cứu ở chương 1 (mục 1.4):

- Đối với nguồn âm điểm: công thức (1.18).
- Đối với nguồn âm đường: công thức (1.23).

Khi âm thanh lan truyền trên một bề mặt, năng lượng âm còn bị giảm bớt một phần do sự hút âm của bề mặt này. Do đó trong tính toán người ta đưa thêm vào các công thức nói trên một hệ số, gọi là *hệ số hút âm của các bề mặt, k_b* :

- Với nguồn âm điểm:

$$\Delta L_{kc} = k_b \cdot 20 \lg \frac{r_2}{r_1} \quad (6.6)$$

- Với nguồn âm đường:

$$\Delta L_{kc} = k_b \cdot 10 \lg \frac{r_2}{r_1} \quad (6.7)$$

-- Các ký hiệu xem công thức (1.18) và (1.23).

Hệ số k_b lấy như sau:

+ Mặt đất phẳng, đất cày: $k_b = 1,0$;

+ Mặt đất trồng cỏ: $k_b = 1,1$.

+ Mặt đường nhựa: $k_b = 0,9$.

Trong thực tế, dòng xe chạy trên đường phố có thể coi là một nguồn âm dẫy, một dạng trung gian giữa hai nguồn âm kể trên: mỗi phương tiện giao thông là một nguồn âm, nằm trên một đường thẳng, cách nhau một khoảng $S(m)$ xác định theo công thức:

$$S = 1000 \frac{v_{tb}}{N} \quad (6.8)$$

trong đó: v_{tb} - vận tốc trung bình của dòng xe, km/h;

N - cường độ dòng xe, xe/h.

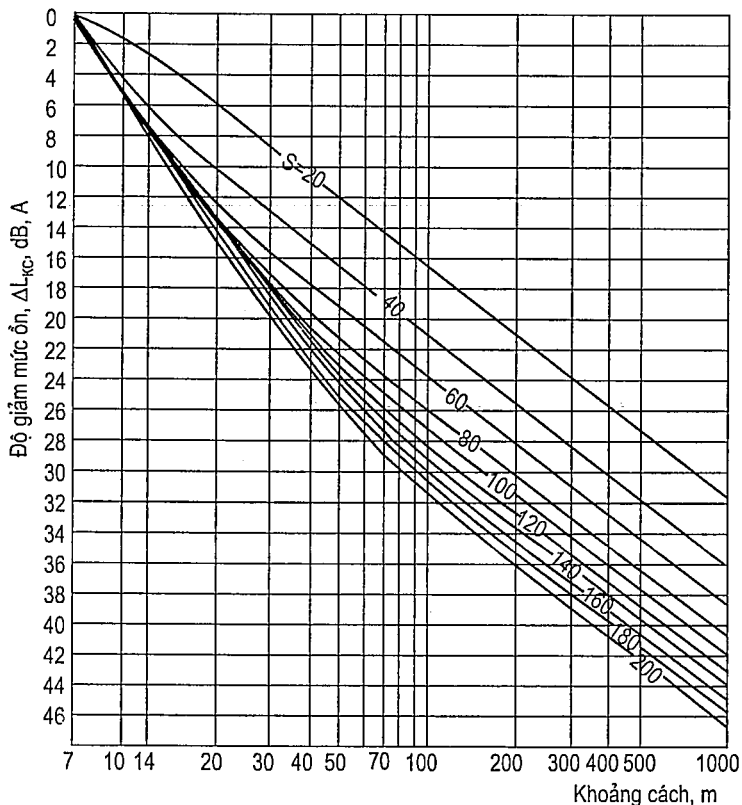
Quan hệ (6.8) có thể thể hiện trong bảng (6.8).

Bảng 6.8. Quan hệ giữa S và N khi $v_{tb} = 40\text{km/h}$.

N , xe/h	2000	1000	666	500	400	333	285	250	222	200
S , m	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200

Độ giảm mức âm theo khoảng cách của dòng giao thông (nguồn âm dẫy) có thể xác định theo biểu đồ hình 6.14 [38] lập cho trường hợp mặt đất phẳng ($k_b = 1,0$), ở độ cao 1,2 - 1,5m.

Đường giảm $S = 200\text{m}$, có thể coi là đường giảm của nguồn điểm, còn đường $S = 20\text{m}$ tương ứng với nguồn âm đường (cường độ dòng xe 2000xe/h).



Hình 6.14. Độ giảm mức ồn giao thông theo khoảng cách ở độ cao 1,2 - 1,5m trên mặt đất bằng phẳng

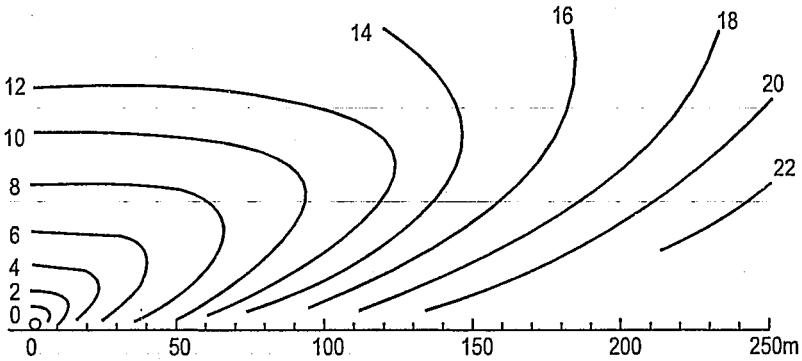
2. Lan truyền tiếng ồn trên địa hình có nhà cửa

Nhà cửa, tường rào có thể làm giảm đáng kể mức ồn giao thông do hiệu quả tạo thành "bóng âm" phía sau nó (xem mục 1.4.4, chương 1). Hiệu quả này có thể nhận thấy khi so sánh kết quả nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình (tỷ lệ 1: 10, tần số âm 500Hz, nguồn âm đường) [39], khi tiếng ồn lan truyền trong không gian tự do (hình 6.15) và khi có một tường chắn cao 10m (hình 6.16).

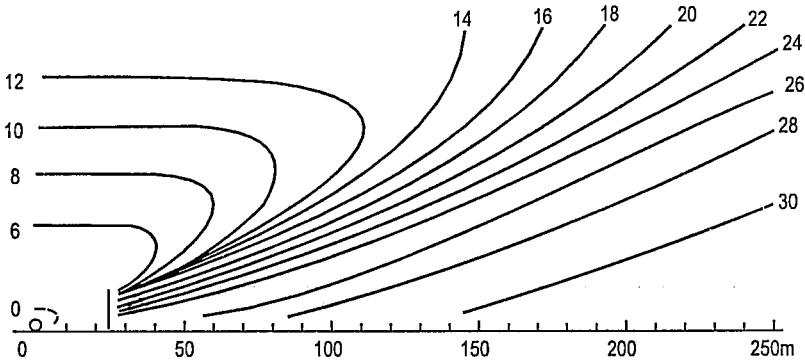
Các kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm cho thấy độ giảm của mức ồn phụ thuộc:

- Đặc điểm của nguồn âm (nguồn âm điểm, đường hay nguồn dây);
- Vị trí của tường chắn và điểm khảo sát so với nguồn âm;

- Kích thước tường chắn (chiều cao và chiều dài);
- Tần số âm thanh.



Hình 6.15. Sự hạ thấp tiếng ồn trong không gian tự do (thực nghiệm mô hình)



Hình 6.16. Sự hạ thấp tiếng ồn khi có tường chắn cao 10m (thực nghiệm mô hình)

Dưới đây là phương pháp tính toán gần đúng mức ồn sau tường chắn đối với nguồn điểm và nguồn đường.

a) Nguồn âm điểm

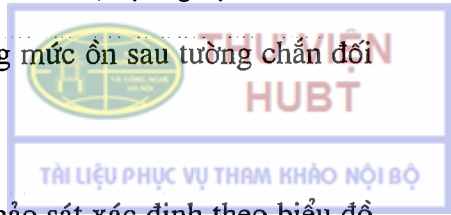
Độ giảm mức ồn sau tường chắn tại điểm khảo sát xác định theo biểu đồ 6.17 phụ thuộc tỷ số:

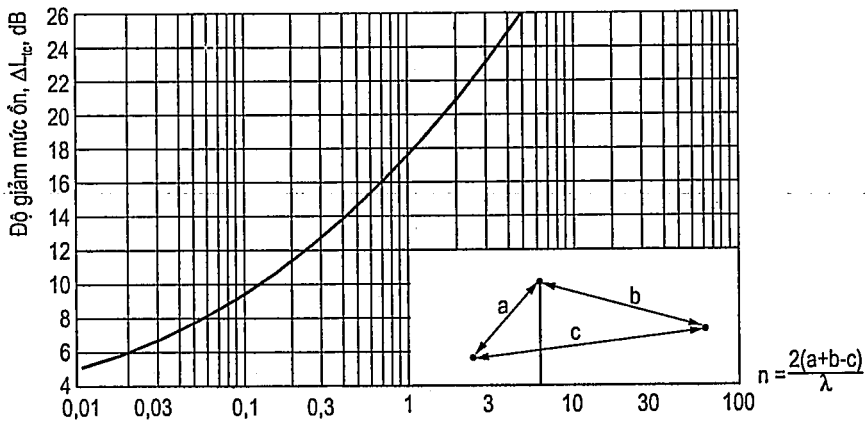
$$n = \frac{2(a + b - c)}{\lambda} \quad (6.9)$$

trong đó:

a, b, c - các kích thước (theo m) tương ứng với hình 6.17;

λ - bước sóng âm, m.





Hình 6.17. Biểu đồ xác định độ giảm mức ồn sau tường chắn ΔL_{tc} đối với nguồn âm điểm, tường chắn dài vô hạn

Ví dụ 6.2. Hãy xác định độ giảm mức ồn sau một bức tường dài vô hạn ở các tần số 250 Hz và 500 Hz đối với nguồn âm điểm. Cho biết:

$$a = 10,5\text{m}; b = 15,5\text{m}; c = 25\text{m}.$$

Bài giải:

$$f = 250\text{Hz} \rightarrow \lambda = \frac{340}{250} = 1,36\text{m};$$

$$f = 500\text{Hz} \rightarrow \lambda = \frac{340}{500} = 0,68\text{m};$$

$$n_{250} = \frac{10,5 + 15,5 - 25}{1,36} = 1,47;$$

$$n_{500} = \frac{10,5 + 15,5 - 25}{0,68} = 2,94;$$

Tra biểu đồ 6.17 xác định được mức ồn giảm do tường chắn ΔL_{tc} :

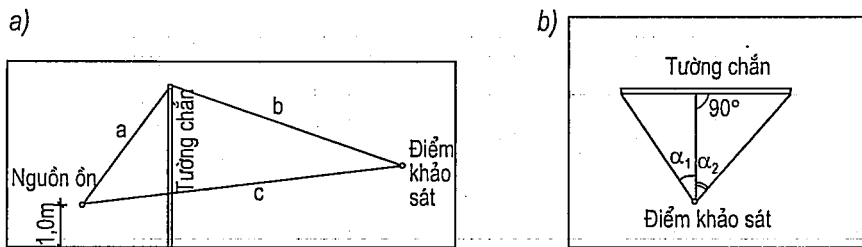
$$f = 250\text{Hz} \rightarrow \Delta L_{tc} = 15\text{dB};$$

$$f = 500\text{Hz} \rightarrow \Delta L_{tc} = 17,5\text{dB};$$

Vậy tần số càng cao, mức ồn sau tường chắn càng giảm mạnh.

b) Nguồn âm đường

Đối với nguồn âm đường, chiều dài tường chắn có ảnh hưởng lớn đến độ giảm mức ồn. Sơ đồ tính toán của trường hợp này giới thiệu trên hình 6.18.



Hình 6.18. Sơ đồ tính toán độ giảm mức ồn sau tường chắn

Phương pháp của Scholes W.E, Sargent I.W xác định độ giảm mức ồn theo trình tự sau đây:

1. Xác định độ giảm mức ồn cực đại ΔL^{\max} phụ thuộc $\delta = (a + b - c)$ theo bảng 6.9.

Bảng 6.9. Độ giảm mức ồn cực đại sau tường chắn ΔL^{\max} , dB, A

$\delta = (a+b - c)m$	0,005	0,01	0,02	0,04	0,06	0,1	0,14	0,2	0,28	
ΔL^{\max} , dB, A	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
$\delta = (a+b - c)m$	0,36	0,48	0,63	0,83	1	1,4	1,8	2,4	3,3	6
ΔL^{\max} , dB, A	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

Bảng 6.10. Độ giảm mức ồn sau tường chắn ΔL_{α} , dB, A

ΔL^{\max} dB, A	Góc α , độ									
	45	50	55	60	65	70	75	80	85	
6	1,2	1,7	2,3	3	3,8	4,5	5,1	5,7	6	
8	1,7	2,3	3	4	4,8	5,6	6,5	7,4	8	
10	2,2	2,9	3,8	4,8	5,8	6,8	7,8	8,8	10	
12	2,4	3,1	4	5,1	6,2	7,5	8,8	10,2	11,7	
14	2,6	3,4	4,3	5,4	6,7	8,1	9,7	11,3	13,5	
16	2,8	3,6	4,5	5,7	7	8,6	10,4	12,4	15	
18	2,9	3,7	4,7	5,9	7,3	9,0	10,8	13	16,8	
20	3,1	3,9	4,9	6,1	7,6	9,4	11,3	13,7	18,7	
22	3,3	4,1	5,1	6,3	7,9	9,8	11,9	14,5	20,7	
24	3,5	4,3	5,3	6,5	8,2	10,2	12,6	15,4	22,8	

2. Theo các góc α_1 , α_2 và ΔL^{\max} . Xác định các độ giảm ΔL_{α_1} , ΔL_{α_2} , theo bảng 6.10.

3. Theo hiệu số ($\Delta L_{\alpha_1} - \Delta L_{\alpha_2}$) với ($\Delta L_{\alpha_1} > \Delta L_{\alpha_2}$) xác định trị số hiệu chỉnh H theo bảng 6.11.

Bảng 6.11. Số hiệu chỉnh H vào mức ΔL_{α_2} , dB, A

$\Delta L_{\alpha_1} - \Delta L_{\alpha_2}$, dB, A	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
H, dB, A	0	0,8	1,5	2	2,4	2,6	2,8	2,9	3	3	3	3

4. Mức ồn giảm sau tường chắn xác định theo công thức:

$$\Delta L_{tc} = \Delta L_{\alpha_2} + H, \text{ dB, A} \quad (6.10)$$

Ví dụ 6.3. Hãy xác định độ giảm mức ồn tại điểm A sau ngôi nhà làm tường chắn có các kích thước như trên hình 6.19.

Bài giải:

1. Xác định ΔL^{\max} :

$$\delta = 10 + 14,5 - 22,1 = 2,4\text{m}$$

Theo bảng 6.9, ta có:

$$\Delta L^{\max} = 22\text{dB, A.}$$

2. Xác định ΔL_{α_1} và ΔL_{α_2} (bảng 6.10).

$$\alpha_1 = 45^\circ \rightarrow \Delta L_{\alpha_1} = 3,3$$

$$\alpha_2 = 60^\circ \rightarrow \Delta L_{\alpha_2} = 6,3.$$

3. Xác định số hiệu chỉnh H theo bảng 6.11.

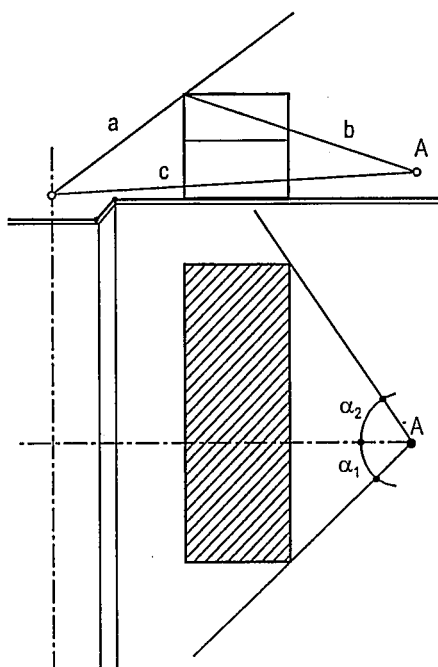
$$\Delta L_{\alpha_2} - \Delta L_{\alpha_1} = 6,3 - 3,3 = 3 \text{ dB, A}$$

Do đó:

$$H = 1 \text{ dB, A.}$$

4. Mức ồn giảm tại điểm A là:

$$\Delta L_{tc} = 3,3 + 1 = 4,3 \text{ dB, A}$$



Hình 6.19. Ví dụ xác định độ giảm mức ồn tại A, với $a = 10\text{m}$; $b = 14,5\text{m}$; $c = 22,1\text{m}$; $\alpha_1 = 45^\circ$; $\alpha_2 = 60^\circ$;

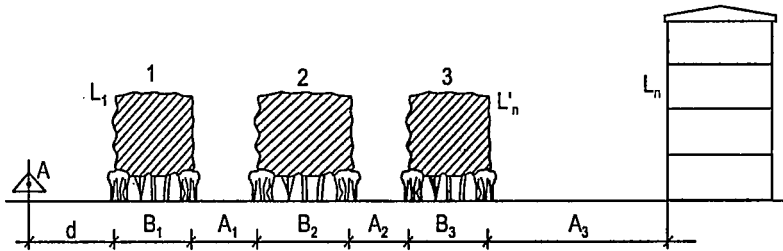
3. Lan truyền tiếng ồn qua dải cây xanh

Khi trên đường lan truyền sóng âm gặp các dải cây xanh (hình 6.20) thì ngoài phần năng lượng âm giảm do khoảng cách, âm thanh còn bị tiêu hao đáng kể do:

- Một phần năng lượng bị phản xạ trở lại từ hàng cây giống như đối với tường chắn.
- Một phần năng lượng bị hút và khuếch tán trong đám lá cây.

Các nghiên cứu thực nghiệm cho thấy [39]:

- Tác dụng phản xạ như tường chắn có thể làm giảm mức âm 1,5dB mỗi khi gặp một dải cây xanh.
- Khả năng hút và khuếch tán âm thanh của cây xanh phụ thuộc vào loại cây với mức độ rậm rạp của lá, có trị số khoảng 0,12 - 0,17dB/m.



Hình 6.20. Sơ đồ lan truyền tiếng ồn qua dải cây xanh

Như vậy, độ giảm mức âm thêm do các dải cây xanh gây ra (ký hiệu ΔL_{cx}) có thể xác định theo công thức của Meister F. và Ruhrberg W. (CHLB Đức):

$$\Delta L_{cx} = 1,5Z + \beta \sum B_i$$

trong đó: Z - số dải cây xanh;

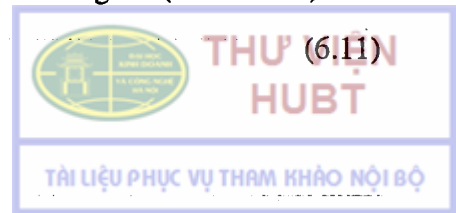
B_i - bề rộng mỗi dải cây xanh, m;

β - hệ số hút âm của cây xanh.

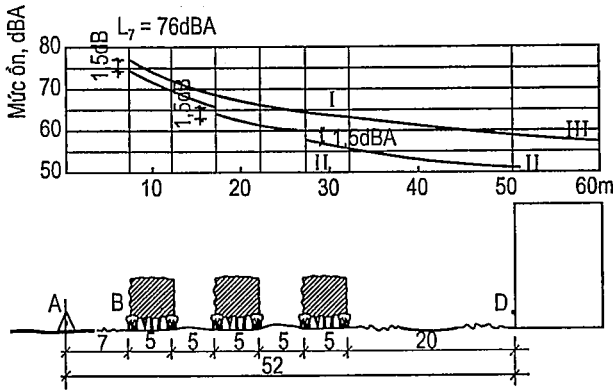
Trong bảng 6.12 là hệ số hút âm của cây xanh (dB/m) phụ thuộc tần số âm.

Bảng 6.12. Khả năng hút âm của cây xanh, dB/m

Tần số âm, Hz					Trung bình các tần số
200-400	400-800	800-1600	1600-3200	3200-6400	
0,05	0,05-0,07	0,08-0,1	0,11-0,15	0,17-0,2	0,12-0,17



Ví dụ 6.4. Một đường phố có cường độ dòng xe trung bình là $N = 1000\text{xe/h}$ có mức ồn tính toán $L_{Atd(8-20h)} = 76\text{dB, A}$. Hãy xác định mức ồn tại mặt ngoài nhà ở, cách đường giao thông 52m, có trồng ba dải cây xanh như trên hình 6.21 và so sánh với TCVN 5949 - 1998.



Hình 6.21. Ví dụ tính toán lan truyền tiếng ồn giao thông qua dải cây xanh:
 I - Đường giảm do khoảng cách; II - Đường giảm nhờ trồng ba dải cây xanh;
 III - Đường tiêu chuẩn cho phép

Bài giải:

Theo bảng 6.8 với $N = 1000\text{xe/h}$, $S = 40\text{m}$.

Độ giảm mức ồn tại điểm D (mặt nhà) là tổng độ giảm do khoảng cách (ΔL_{kc}) và do cây xanh (ΔL_{cx}), nghĩa là:

$$\Delta L = \Delta L_{kc} + \Delta L_{cx}$$

Theo biểu đồ hình 6.14 với $S = 40\text{m}$, ở khoảng cách 52m, ta có:

$$\Delta L_{kc} = 16,5\text{dB, A}$$

Độ giảm mức ồn khi truyền qua ba dải cây xanh xác định theo công thức (6.11):

$$\Delta L_{cx} = 1,5.3 + 0,15.15 = 6,8\text{dB, A.}$$

Độ giảm tổng cộng của mức ồn tại D là:

$$\Delta L = 16,5 + 6,8 = 23,3 \text{ dB, A.}$$

Vậy mức ồn giao thông truyền đến điểm D có trị số:

$$L_D = 76 - 23,3 = 52,7 \text{ dB, A.}$$

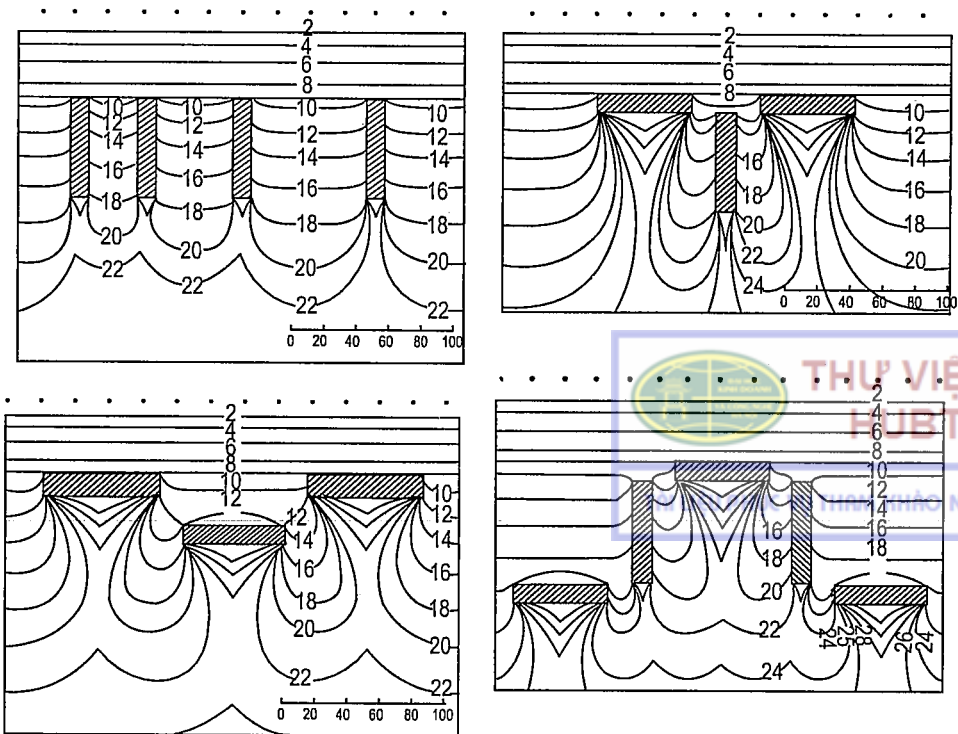
Theo TCVN 5949 - 1998, mức ồn cho phép bên ngoài nhà ở là $L_{cr} = 60$ dB, A (từ 6h đến 18h) và $L_{cr} = 55$ dB, A (từ 18h đến 22h).

Kết luận mức ồn giao thông sau khi lan truyền đến mặt nhà ở thấp hơn trị số cho phép.

Cũng theo biểu đồ trên hình 6.14 muốn giảm đến mức cho phép 55 dB, A mà không trồng cây xanh, cần phải đặt nhà ở cách đường giao thông 100m (để giảm được $76 - 55 = 21$ dB, A).

6.3.2. Lập bản đồ lan truyền tiếng ồn giao thông trong các khu xây dựng

Bản đồ lan truyền tiếng ồn giao thông của một khu xây dựng cho phép chúng ta hình dung sự phân bố mức ồn giao thông tới các khu vực khác nhau trong khu nhà, xác định các vùng đạt tiện nghi âm thanh và các vùng mất tiện nghi, nhờ đó có thể so sánh ưu khuyết điểm của các phương án thiết kế để chọn phương án xây dựng hợp lý nhất.



Hình 6.22. Các đường đồng mức giảm tiếng ồn theo các phương án quy hoạch kiến trúc khác nhau (cường độ dòng xe $N = 2000$ xe/h, $S = 20$ m).

Bản đồ lan truyền tiếng ồn trong các khu xây dựng có thể lập được khi áp dụng quy luật lan truyền tiếng ồn trên địa bàn bằng phẳng kết hợp với sự giảm mức ồn sau các ngôi nhà - tường chắn đã nghiên cứu. Trên các hình 6.22 giới thiệu các đường đồng mức giảm tiếng ồn từ đường giao thông có cường độ dòng xe 2000xe/h ($S = 20m$) theo các phương án quy hoạch kiến trúc khác nhau. Khi lập bản đồ tiếng ồn có thể dựng các đường phân bố mức ồn tương tự khi có phương án quy hoạch kiến trúc gần với các mẫu đã giới thiệu ở trên.

Trình tự lập bản đồ phân bố tiếng ồn giao thông một khu xây dựng có thể tiến hành như sau:

Bước 1. Dựng các đường đồng mức giảm tiếng ồn trên địa hình bằng phẳng, không xét đến sự có mặt của công trình (dùng biểu đồ hình 6.14).

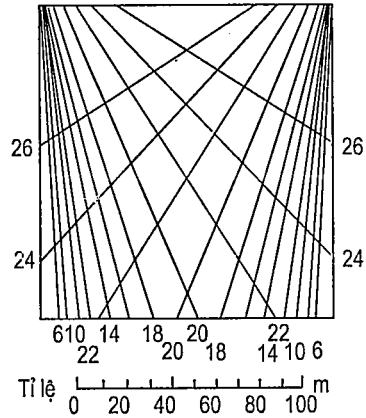
Bước 2. Dựng các đường giảm mức ồn sau các ngôi nhà - tường chắn. Để giảm bớt công việc, chúng ta có thể dùng phương pháp gần đúng khi sử dụng biểu đồ trên hình 6.23 [40]. Biểu đồ này lập cho trường hợp cường độ dòng xe $N = 300 - 700$ xe/h.

Bước 3. Phối hợp hai hệ thống đường giảm mức ồn, sau đó đưa vào trị số mức ồn tính toán của dòng xe đường phố ta sẽ được bản đồ lan truyền tiếng ồn giao thông.

Ví dụ 6.5. Hãy dựng bản đồ lan truyền tiếng ồn giao thông trong khu xây dựng có tổng mật bằng trên hình 6.24. Dòng xe có cường độ 700xe/h ($S = 60m$). Mức ồn tính toán của dòng xe sau khi hiệu chỉnh là $L_{Aid} = 76dB, A$.

Bài giải:

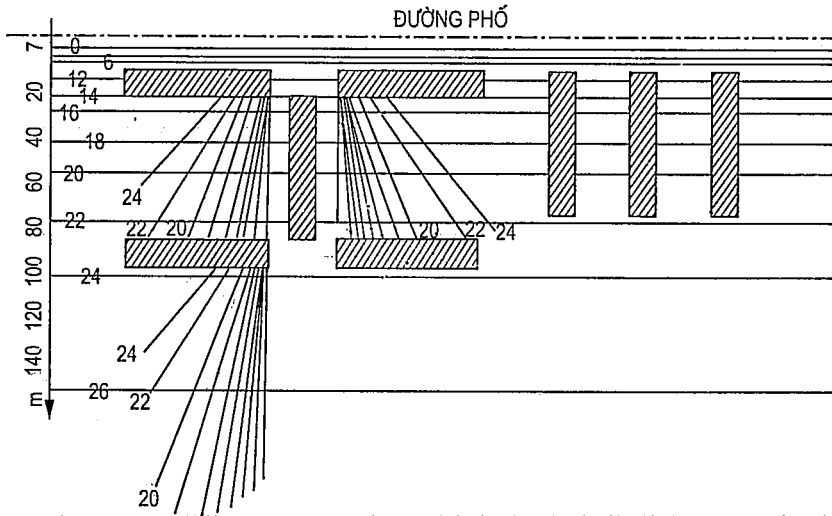
Xác định độ giảm mức ồn theo khoảng cách từ đường giao thông tương ứng với $S = 60m$ (hình 6.14) và đưa vào tổng mật bằng khu xây dựng, ta được các đường đồng mức giảm song song với đường phố có trị số từ 0 dBA (ở 7m) đến 26 dB, A (ở 150m) (xem hình 6.24). Các đường giảm dựng cách nhau 2dB,A.



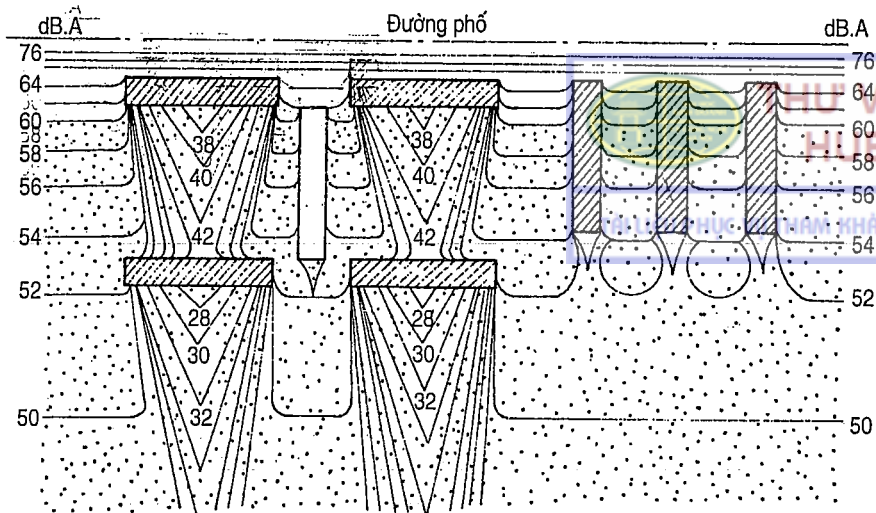
Hình 6.23. Biểu đồ các đường giảm mức ồn sau công trình

Vẽ các đường giảm mức ồn phía sau các ngôi nhà nhờ sử dụng biểu đồ hình 6.23 (đặt biểu đồ tại các góc nhà và dựng các đường giảm từ 0 dBA đến 24 dBA - xem hình 6.24). Chú ý rằng tỷ lệ của biểu đồ và của bản vẽ tổng mặt bằng phải giống nhau.

Sau khi phối hợp chúng lại ta có các đường đồng mức giảm tiếng ồn như trên hình 6.25. Trị số của mỗi đường đồng mức lúc này là trị số mức ồn lan truyền từ đường phố tới. Vùng chấm chấm trên bản đồ là vùng thỏa mãn tiêu chuẩn cho khu dân cư (TCVN 5949 - 1998).



Hình 6.24. Tổng mặt bằng khu nhà với các đường đồng mức giảm tiếng ồn



Hình 6.25. Bản đồ lan truyền tiếng ồn giao thông trong một khu xây dựng

6.4. CÁC BIỆN PHÁP CHỐNG TIẾNG ỒN TRONG CÁC ĐÔ THỊ

Muốn chống tiếng ồn trong các đô thị một cách hiệu quả cần phải áp dụng tổng hợp các biện pháp quy hoạch kiến trúc, quy hoạch giao thông, kiến trúc công trình và các biện pháp kỹ thuật xây dựng khác.

6.4.1. Biện pháp quy hoạch, kiến trúc, giao thông

Một biện pháp có hiệu quả chống tiếng ồn rất cao là phân vùng quy hoạch xây dựng đô thị theo mức ồn cho phép. Biện pháp này do các kiến trúc sư Ba Lan và CHLB Đức đề cập đầu tiên [41]. Một đô thị có thể chia thành bốn vùng xây dựng sau đây:

Vùng I. Vùng công nghiệp - vùng ồn nhất của đô thị, mức ồn có thể đạt trên 75 dBA, thậm chí lên tới 90dBA. Trong vùng này chỉ cho phép bố trí các nhà máy, xí nghiệp với các đường giao thông vận tải có cường độ cao, đường tàu hỏa. Trong vùng không bố trí nhà ở, trừ những ngôi nhà phục vụ công nhân.

Vùng II. Trung tâm công cộng và thương nghiệp của đô thị với mức ồn cho phép tới 75dBA. Ở đây có thể bố trí các đường phố có cường độ vận tải cao, các đường bộ đi lại tấp nập, các công trình phục vụ công cộng như cửa hàng, nhà hàng, rạp chiếu bóng v.v...

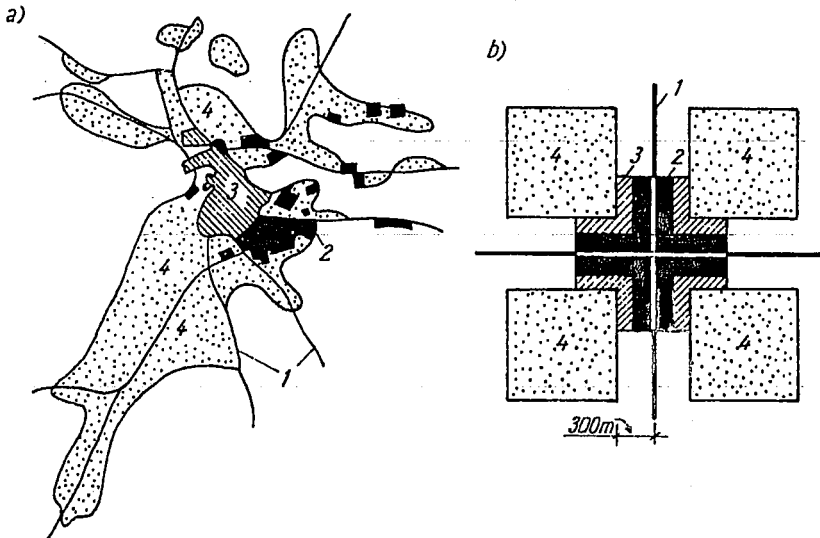
Vùng III. Vùng nhà ở, là vùng tương đối yên tĩnh của đô thị, mức ồn cho phép 60dBA (Ở Pháp cho phép đến 65 dBA một con số được coi là bắt đầu "báo động" về tiếng ồn). Trong vùng này chỉ bố trí các đường giao thông vận tải nhẹ.

Vùng IV. Vùng yên tĩnh của đô thị mức ồn không cho phép vượt quá 50 dBA. Ở đây chỉ bố trí các công trình cần yên tĩnh cao như các studio phát thanh, truyền hình, thư viện, viện nghiên cứu, trường học, nhà trẻ...

Khi quy hoạch tổng mặt bằng đô thị cần phải phân vùng xây dựng hợp lý, có biện pháp cách ly các vùng có mức ồn cao với vùng dân cư và vùng yên tĩnh. Trên hình 6.26 giới thiệu tổng mặt bằng của thành phố Newsbury (Mỹ) được quy hoạch theo nguyên tắc này.

Hướng gió cũng có ảnh hưởng lớn đến sự lan truyền tiếng ồn (xem chương 1, mục 1.4.3). Khi lan truyền theo chiều gió, tiếng ồn đi nhanh hơn và ít bị tổn thất hơn. Vì vậy khi quy hoạch các đô thị, các khu công nghiệp

cần bố trí ở rìa đô thị, cuối hướng gió chính mùa nóng. Điều này cũng phù hợp với yêu cầu chống ô nhiễm môi trường do bụi, khói, khí độc hại...



Hình 6.26. Phân vùng quy hoạch thành phố Newsbury – (Mỹ)

a) Bản đồ quy hoạch thành phố; b) Sơ đồ nguyên tắc phân vùng:

1 - Đường giao thông; 2 - Vùng công nghiệp; 3 - Khu vực buôn bán; 4- Vùng nhà ở

Việc quy hoạch kiến trúc đô thị luôn gắn liền với quy hoạch mạng lưới giao thông, mà tiếng ồn giao thông lại là nguồn ồn chính trong các đô thị. Vì vậy cần phải phân loại đường giao thông theo mức ồn của chúng, có biện pháp kỹ thuật hiệu quả để giảm tiếng ồn, và cấp phép lưu hành phương tiện giao thông trong mỗi loại. Tại thủ đô của nhiều nước trên thế giới (Moxkva, Praha, Berlin, Vacsava...) đường tàu hỏa có thể vào đến ga trung tâm trong thành phố, rất thuận tiện cho việc đi lại của hành khách, nhưng nhờ có quy hoạch giao thông hợp lý và sử dụng các giải pháp chống tiếng ồn hiệu quả nên không ảnh hưởng gì đến dân cư, ngay cả ban đêm.

Theo Bộ môi trường và cảnh quan đô thị Pháp, các đường giao thông trên bộ có thể chia làm bốn cấp:

- *Đường liên vận*: đường nối các vùng lớn trong nước có vận tốc dòng xe cao, thường đạt 80 đến 100km/h.

- *Đường huyết mạch*: là đường nối các vùng trong một đô thị có cường độ dòng xe cao và vận tốc 60 - 80km/h.

- *Đường mạng lưới*: Phục vụ giao thông nội vùng, có vận tốc nhỏ (40 đến 60km/h).

- *Đường nhỏ*: Được phép vào các khu dân cư và các khu công cộng khác, có vận tốc nhỏ (từ 20 - 40km/h).

Cùng với việc phân loại ở trên, họ chia đường phố thành hai nhóm theo mức ồn:

- Nhóm đường ồn ào gồm các đường liên vận, đường huyết mạch và một số đường mạng lưới. Nhóm này lại chia làm hai mức:

+ Mức I là những đường gây tác hại lớn về tiếng ồn gồm tất cả các đường liên vận, các đường huyết mạch có cường độ dòng xe cao, vận tốc lớn, thành phần xe nặng nhiều.

+ Mức II là những đường gây tác hại ít hơn về tiếng ồn như các đường huyết mạch khác (không thuộc mức I), một số đường mạng lưới (dành riêng cho xe buýt có cường độ trên 350 xe/ngày).

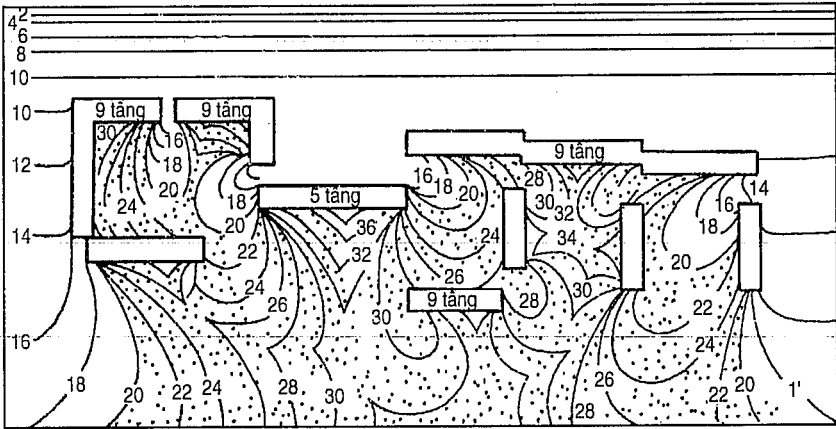
- Nhóm đường không ồn ào là các đường mạng lưới khác và đường phụ.

Sự phân loại các đường gây ồn được thực hiện ở tất cả các khu dân cư, các tỉnh và là cơ sở để đề ra các quy định xây dựng, cấp phép xây dựng, yêu cầu cách âm cho nhà cửa ... ở nước Pháp.

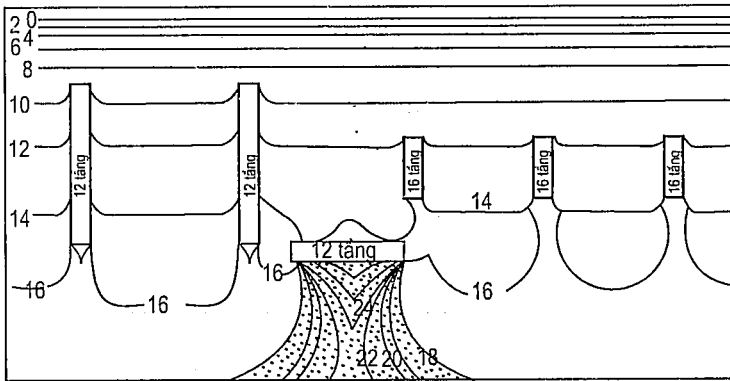
Các giải pháp quy hoạch kiến trúc có ảnh hưởng không chỉ đến môi trường tiếng ồn trong mỗi ngôi nhà, mà còn ảnh hưởng đến môi trường tiếng ồn chung trong toàn khu xây dựng, các sân trong, các sân nghỉ v.v... Để làm ví dụ, trên các hình 6.27, 6.28, phân tích các ưu khuyết điểm của một vài giải pháp quy hoạch cụ thể.

Các đường nét mảnh trên hình 6.27 và 6.28 là các đường đồng mức giảm tiếng ồn từ đường giao thông (vẽ cách nhau 2 dBA). Nếu lấy đường giảm 20dB,A là giới hạn của vùng đạt tiện nghi âm thanh, thì giải pháp trên hình 6.27 chỉ đạt được 5,2% diện tích, còn giải pháp trên hình 6.28 đạt tới 39,8% diện tích khu đất xây dựng.

Trên hình 6.29 phân tích một số giải pháp quy hoạch kiến trúc ảnh hưởng đến tiện nghi âm thanh. Hình 6.29a cho thấy sân trong có thể tăng mức ồn trong nhóm nhà do âm phản xạ qua lại từ các mặt nhà đối diện nhau. Sử dụng cây xanh ở hành lang hoặc dàn cây leo trên mặt nhà có thể giảm bớt ảnh hưởng này. Trên mỗi hình 6.29b, c, d, e cho hai giải pháp quy hoạch nhà cửa. Giải pháp B tạo được tiện nghi âm thanh tốt hơn giải pháp A.



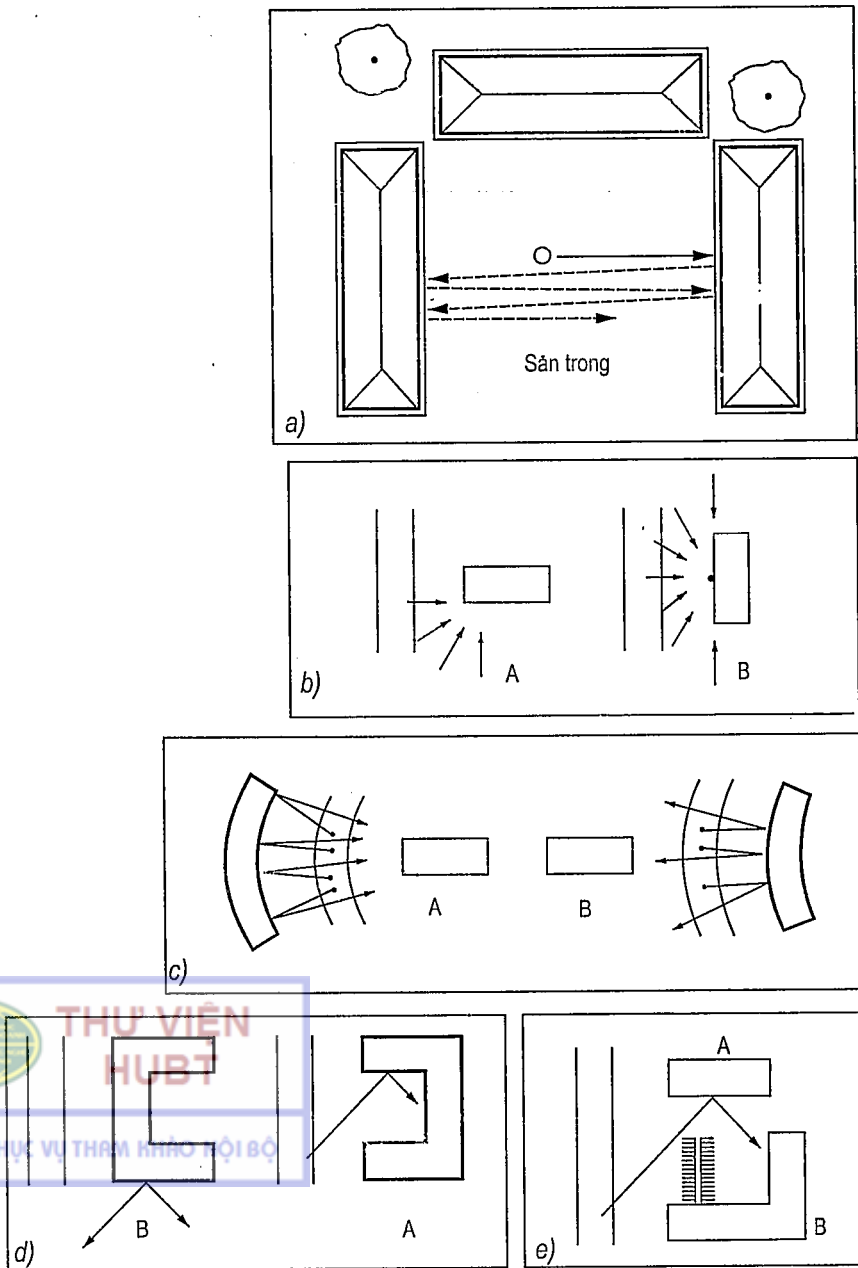
Hình 6.28. Phương án quy hoạch kiến trúc II có 39,8% diện tích đất đạt tiện nghi âm thanh



Hình 6.27. Phương án quy hoạch kiến trúc I có 5,3% diện tích đất đạt tiện nghi âm thanh

Giải pháp tổ hợp không gian bên trong mỗi ngôi nhà cũng có ảnh hưởng đến điều kiện tiện nghi âm thanh. Ví dụ trong nhà ở, các phòng ngủ, phòng làm việc nên bố trí vào phía trong của khu nhà, còn các phòng phụ như cầu thang, bếp, kho, vệ sinh v.v... thì hướng ra đường phố. Các nguồn âm trong nhà là cầu thang, khối vệ sinh, bếp, ống rác, v.v... nên tập trung về một phía và cách xa các phòng ngủ. Có thể dùng các phòng ít ồn hơn (như bếp, phòng khách) để ngăn cách giữa phòng ngủ và các phòng ồn.

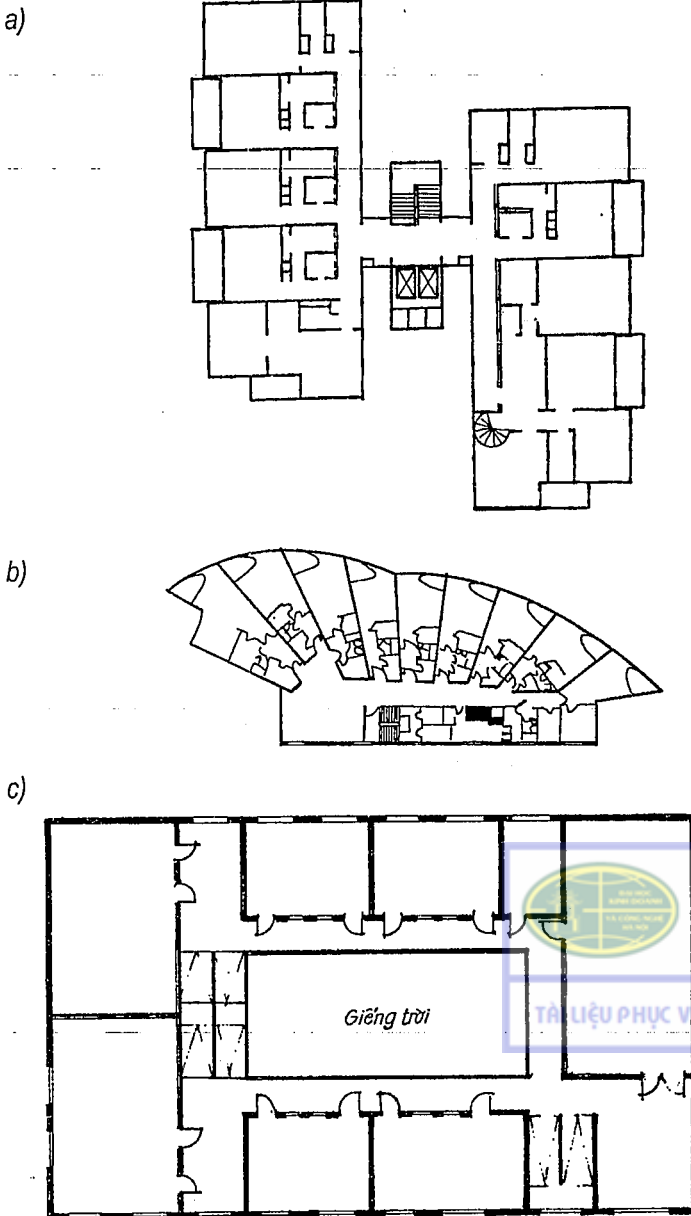
Trên hình 6.30a, b giới thiệu giải pháp mặt bằng hai ngôi nhà tại Cologne và tại Brème. Các khối cầu thang, thang máy có mức ồn cao được đặt tách rời, xa các căn hộ ở.



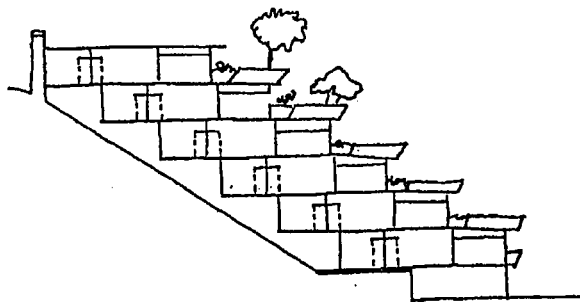
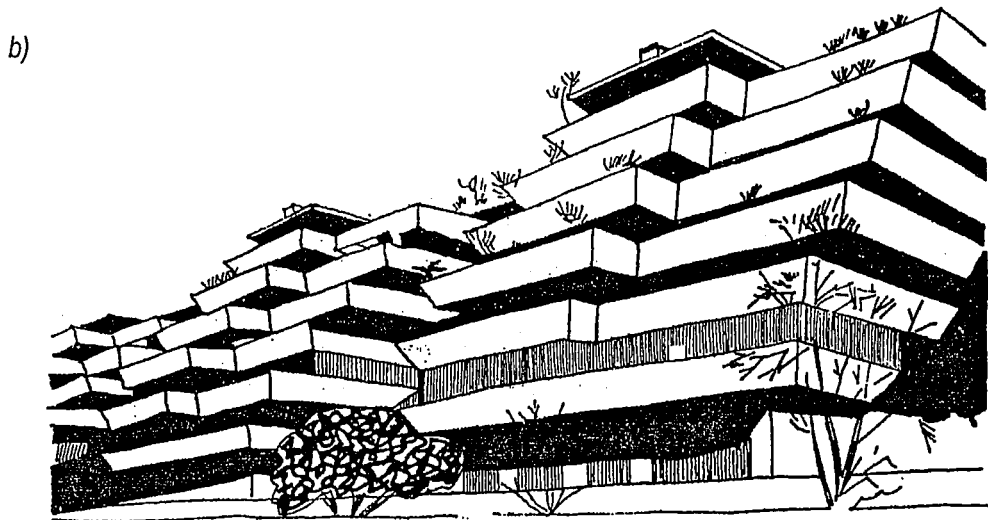
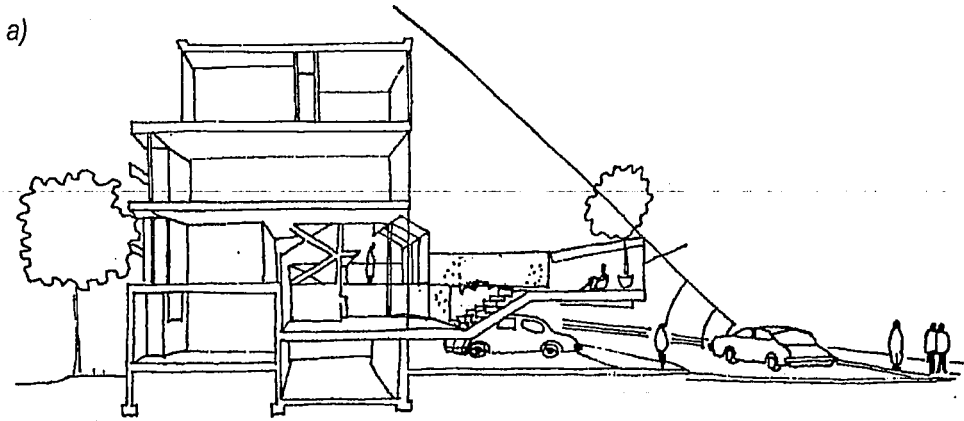
Hình 6.29. Giải pháp quy hoạch kiến trúc để giảm ảnh hưởng tiếng ồn trong khu nhà: a) Sân trong nâng cao mức ồn trong khu nhà; b, c, d, e) So sánh hai giải pháp quy hoạch (B tốt hơn A)

Giải pháp mặt bằng hợp khối có sân trong của nhà lớp học (hình 6.30c) lại tỏ ra bất lợi về âm thanh trong điều kiện kiến trúc thoáng hở của Việt Nam:

tiếng ồn tăng cường do phản xạ qua lại nhiều lần từ sân trong, dễ dàng xâm nhập vào các phòng học qua cửa mở thông thoáng gây mức ồn cao, quấy nhiễu việc học.

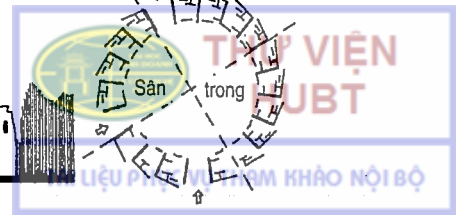
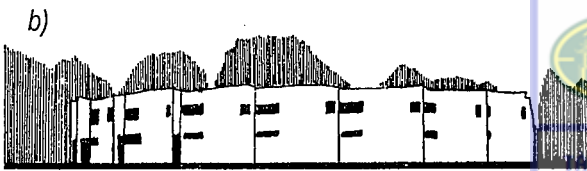
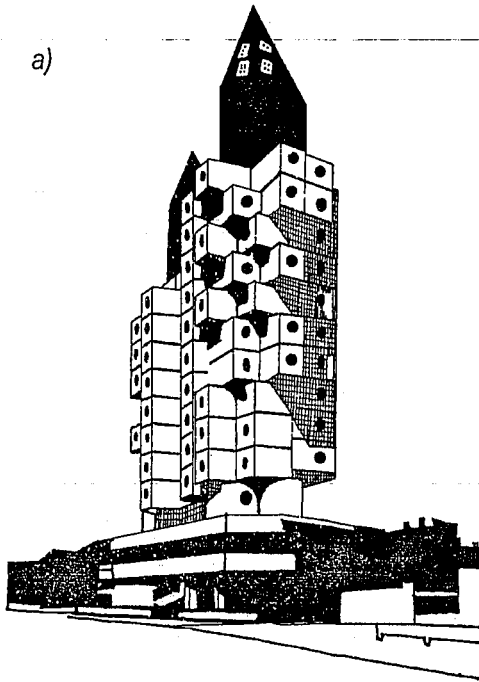


Hình 6.30. Các giải pháp kiến trúc quy hoạch chống tiếng ồn:
a) Nhà ở Cologne, Kts. P. F. Schneider; b) Nhà ở Brème, Kts. Alvar Aalto;
c) Mặt bằng một nhà học hợp khối có sân trong



Hình 6.31. Các giải pháp tường chắn:
a) Nhà ở Norfolk, Virg. Kts. Barton Myers;
b, c) Nhà ở Zug. Kts. Stucky & Meuli

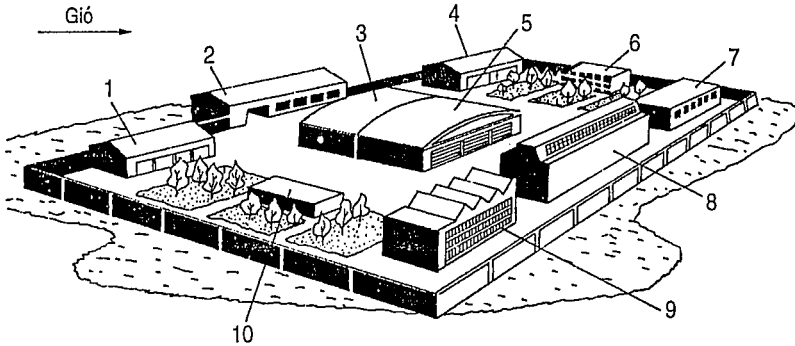
Khi thiết kế công trình có thể lợi dụng các khối phụ làm màn chắn tiếng ồn cho công trình chính (hình 6.31a), hoặc nhô tầng dưới nhiều hơn về phía đường giao thông để che chắn tiếng ồn cho các tầng trên (hình 31b, c). Nhà tháp ở Tokyo (hình 6.32a) tập trung cầu thang, thang máy trong phần lõi tháp, tách rời với 140 "hộp căn hộ" bám chung quanh, tạo được sự yên tĩnh riêng cho mỗi gia đình trong sự ồn ào chung của kiểu nhà căn hộ.



Hình 6.32. Các giải pháp kiến trúc chống tiếng ồn
 a) Nhà tháp ở Tokyo, Kts. Kisho Kurokawa;
 b) Khu nhà Mặt Trời ở Avignon, Kts. Georges Candilis

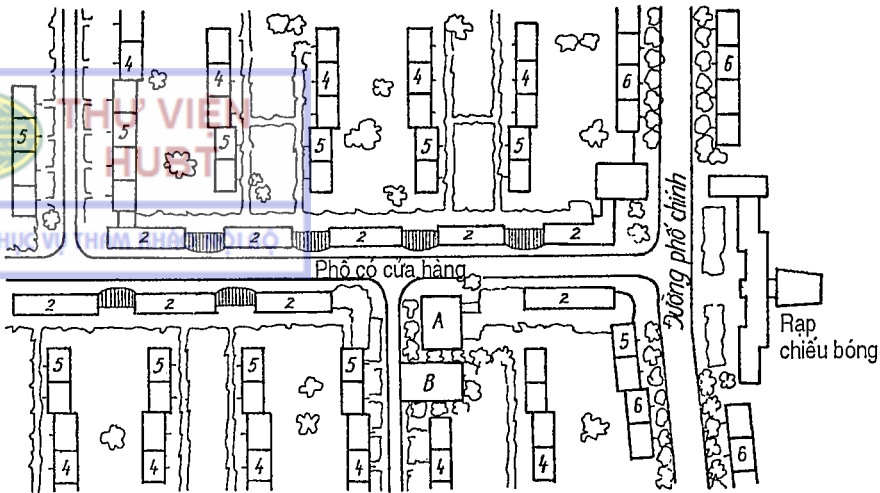
Khu nhà mặt trời ở Avignon (hình 6.32b) quay các mặt tường cách âm ra phía các đường giao thông, tạo thành một sân trong lớn, có cây xanh, yên tĩnh mà vẫn thoáng gió, có thể áp dụng cho cả vùng khí hậu nhiệt đới.

Khi thiết kế các công trình công nghiệp, chúng ta thường gặp nhiều loại nguồn ồn có mức khác nhau. Để hạn chế được nhiều nhất ảnh hưởng của chúng, cần phải áp dụng nguyên tắc vừa nêu khi bố trí tổng mặt bằng và mặt bằng nhà máy, nghĩa là cần phải tập trung các xưởng ồn, khu vực ồn về một phía, cách ly với các không gian cần yên tĩnh bằng các tường cách âm hoặc các phòng phụ (các kho, khối vệ sinh, hành lang v.v...) hoặc các dải cây xanh (hình 6.33).



Hình 6.33. Tổng mặt bằng một nhà máy bố trí theo nguyên tắc phân khu mức ồn và có xét đến hướng gió chủ đạo:

- 1- Kho nguyên liệu; 2- Khu hành chính; 3- Phân xưởng lắp ráp (70 - 80dBA);
- 4- Kho thành phần; 5- Phân xưởng cơ khí (80 - 85dBA); 6- Xưởng thử nghiệm (120 dBA); 7- Xưởng khí nén (110 dBA); 8- Xưởng đúc (100dBA);
- 9 - Xưởng rèn (100dBA); 10- Nhà thí nghiệm (100dBA).



Hình 6.34. Quy hoạch một khu nhà ở CHLB Đức, sử dụng các cửa hàng hai tầng để làm màn chắn tiếng ồn: a) Siêu thị nhỏ; b) Bãi xe; các con số chỉ số tầng nhà.

Khi quy hoạch đô thị và tiểu khu cần hết sức lợi dụng khoảng cách để chống tiếng ồn, gọi là các "dải cách ly". Một nguyên tắc cổ điển cần nhớ là "hãy bố trí nhà xa các nguồn ồn nhất". Muốn giảm nhỏ các dải cách ly để tận dụng đất một cách hợp lý, có thể bố trí nhà thành nhiều dải: dải kế cận nguồn ồn bố trí các công trình không cần yên tĩnh như gara, nhà kho, bến xe, sân chơi..., dải xa hơn nên bố trí các công trình có mức ồn cho phép lớn và trung bình như các công trình phục vụ, cửa hàng, vườn trẻ, kể đến là các nhà ở và xa hơn là các công trình cần yên tĩnh cao như phòng đọc, thư viện, bệnh viện, viện nghiên cứu, v.v... Hình 6.34 giới thiệu quy hoạch một khu nhà theo nguyên tắc chống tiếng ồn tại CHLB Đức.

6.4.2. Giải pháp kỹ thuật: cây xanh, tường chắn chống tiếng ồn

Sử dụng dải cây xanh để chống tiếng ồn (hình 6.35a) là biện pháp có hiệu quả và kinh tế. Ngoài ra cây xanh còn có tác dụng cải tạo khí hậu, chống bụi và ô nhiễm môi trường. Cây xanh trồng thành nhiều dải có tác dụng chống tiếng ồn hơn chỉ trồng một dải liên tục nhờ tác dụng tường chắn âm thanh. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy, sự hạ thấp tiếng ồn nhờ dải cây xanh xảy ra mạnh nhất trong khoảng 10 - 15m đầu tiên của dải cây, vì vậy bề rộng mỗi dải cây không nên dưới 5m. Một dải cây xanh chống tiếng ồn trồng đúng kỹ thuật có thể đánh giá đơn giản như sau:

- Khi đứng cuối dải cây không nhìn thấy các "khoảng sáng". Về mặt âm học, các khoảng sáng chính là các hành lang lan truyền tiếng ồn.

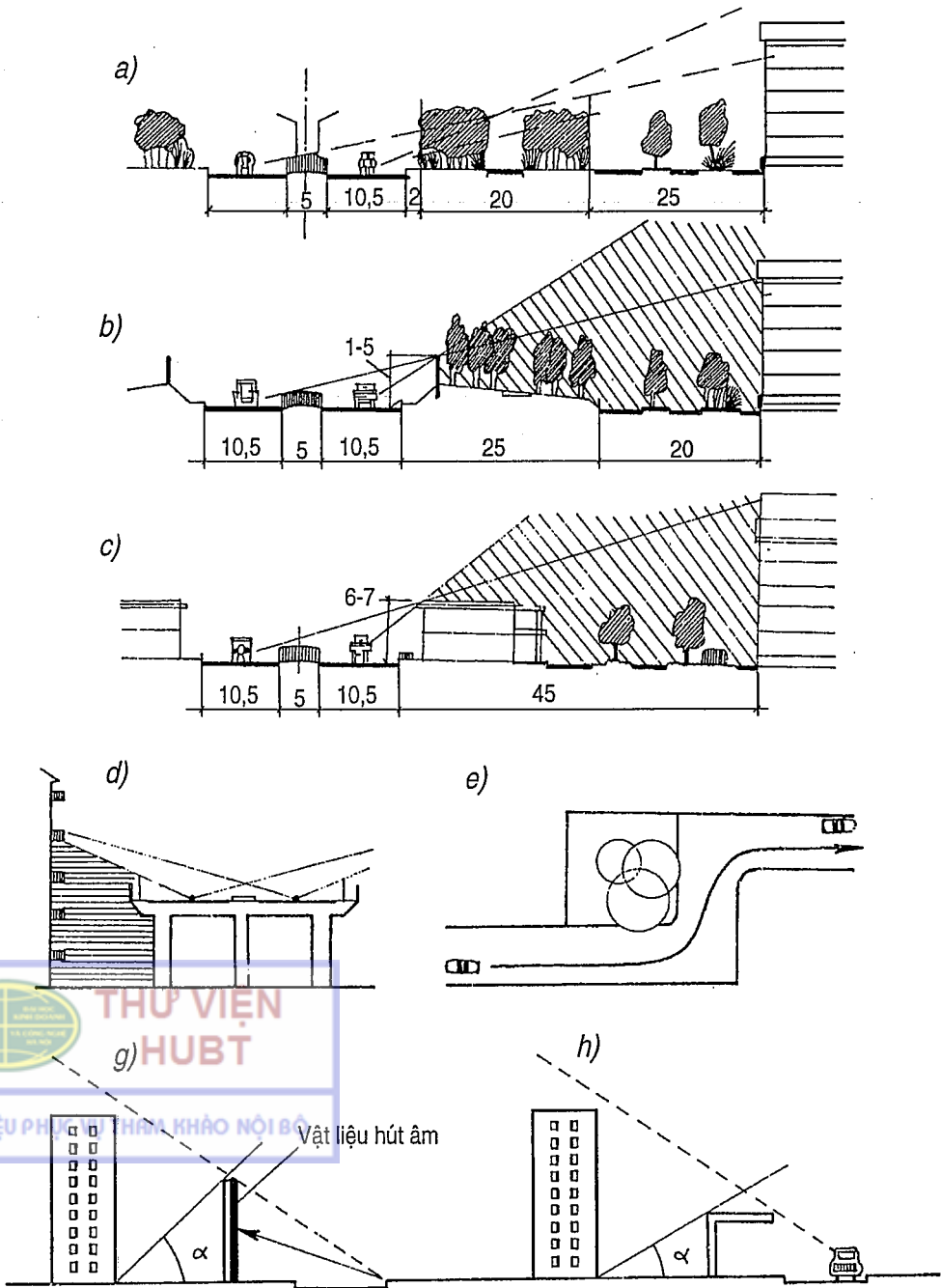
- Đầu và cuối mỗi dải cây có các hàng rào thấp và kín để che phần thân cây (dưới tán cây).

Như vậy các hàng cây trồng hai bên đường phố gần như không có tác dụng giảm tiếng ồn.

Hiệu quả giảm tiếng ồn của các dải cây xanh có thể xác định gần đúng theo bảng 6.13 [40].

Bảng 6.13. Hiệu quả giảm tiếng ồn của dải cây xanh

TT	Chiều rộng dải cây	Cấu trúc dải cây	Mức ồn hạ thấp, dB, A
1	10-14	Một dải cây, trồng kiểu ô cờ, có hai hàng rào cây	4-5
2	14-20	Như trên	5-8
3	20-30	Hai dải cây, cách nhau 3 - 5m, cách trồng tương tự 1, 2	8-10
4	25 - 30	Hai hoặc ba dải cây cách nhau 3m, cách trồng tương tự 1, 2	10-12



Hình 6.35. Sơ đồ nguyên tắc một số biện pháp chống tiếng ồn thành phố:
 a) Dãy dải cây xanh; b) Bờ đất kết hợp với tường chắn;
 c) Nhà làm tường chắn; d) Đường trên cầu cạn;
 e) Biện pháp làm giảm vận tốc dòng xe; g, h) Hai kiểu tường chắn

Một biện pháp có hiệu quả cao để chống tiếng ồn đô thị là sử dụng các công trình làm tường chắn tiếng ồn. Các công trình làm tường chắn tiếng ồn đơn giản nhất là các bờ đất, vách đất đắp dọc theo các đường giao thông. Có thể sử dụng phối hợp các bờ tường cao 0,5 - 1m cùng với vách đất (hình 6.35b). Hai bên các đường cao tốc, đường liên vận có mức ồn cao có thể sử dụng các tường bê tông - cốt thép, tường gạch, mặt trong (phía đường giao thông) có thể ốp vật liệu hút âm hoặc trồng cây xanh, cây hoa để giảm bớt mức ồn trong lòng đường (hình 6.35g, h).

Các đường giao thông kiểu ray treo, cáp treo hoặc đặt trên các cầu cạn (hình 6.35d) có tác dụng chống ồn giống như đường có tường chắn, nhưng hiệu quả của chúng cao hơn nhờ mở rộng được vùng "bóng âm". Với các đường mạng lưới có thể dùng các biện pháp làm giảm tốc độ, nhờ đó giảm mức ồn dòng xe (hình 6.35e).

Biện pháp phổ biến nhất trong quy hoạch đô thị là sử dụng các ngôi nhà phục vụ một hai tầng (như cửa hàng, nhà hàng ăn uống, giải khát...) hai bên đường phố lớn làm tường chắn tiếng ồn (hình 6.35c và áp dụng ở hình 6.31, 6.34).

Khi thiết kế cần chú ý rằng các tường chắn tiếng ồn càng đặt gần nguồn ồn càng có hiệu quả cao.

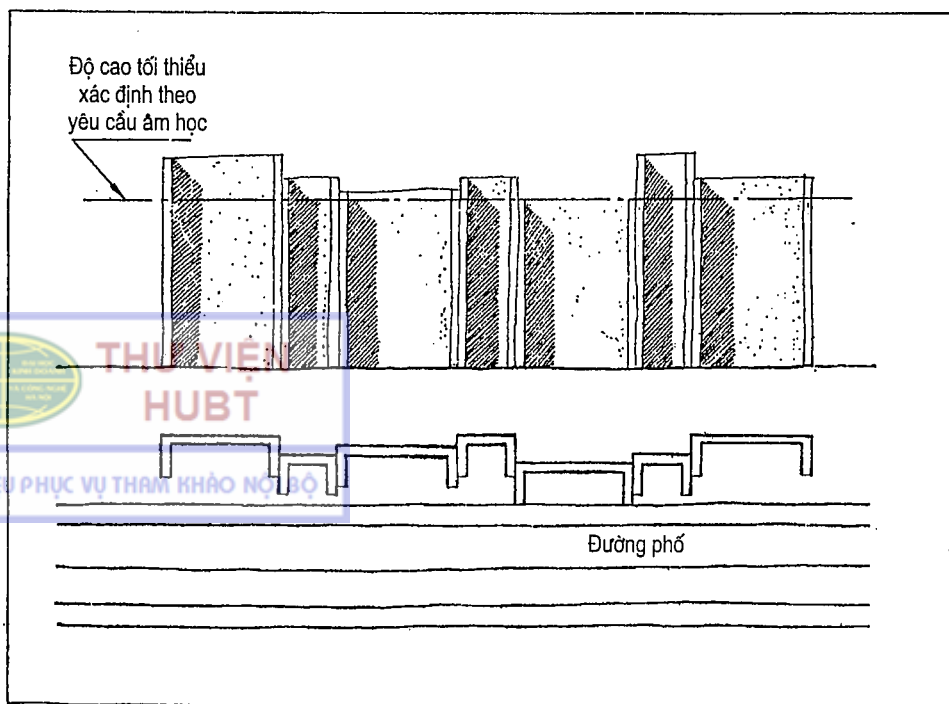
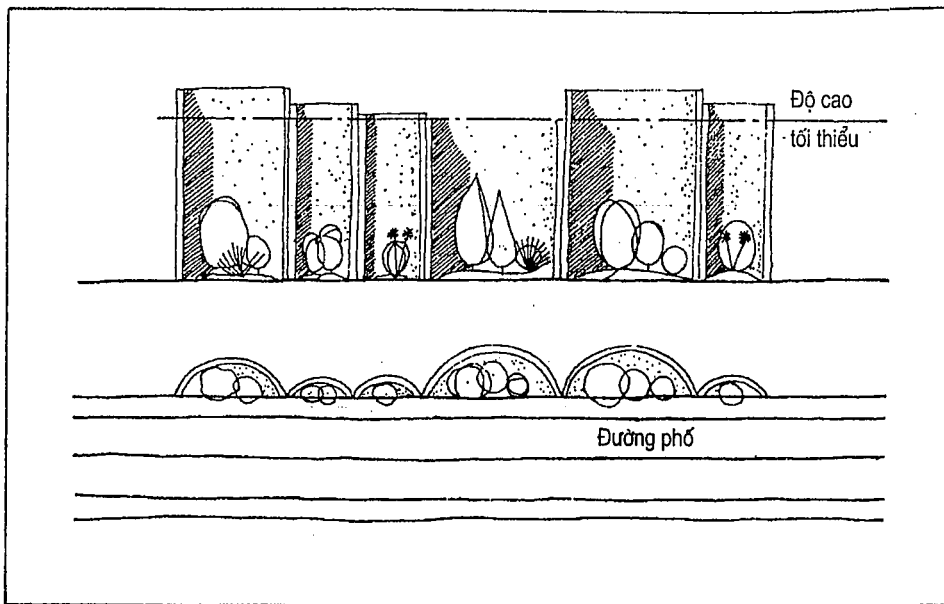
Trên các hình 6.36, 6.37 giới thiệu một số kiểu tường chắn kết hợp tạo cảnh quan đường phố và giảm bớt cảm giác nặng nề, đồng điệu mà chúng có thể gây ra.

Các khảo sát thực tế ở nước ngoài đưa ra một số hiệu quả gần đúng về hiệu quả của tường chắn như sau:

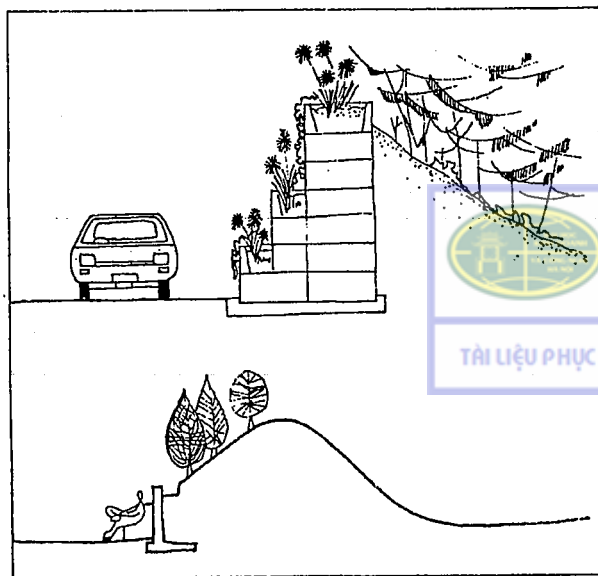
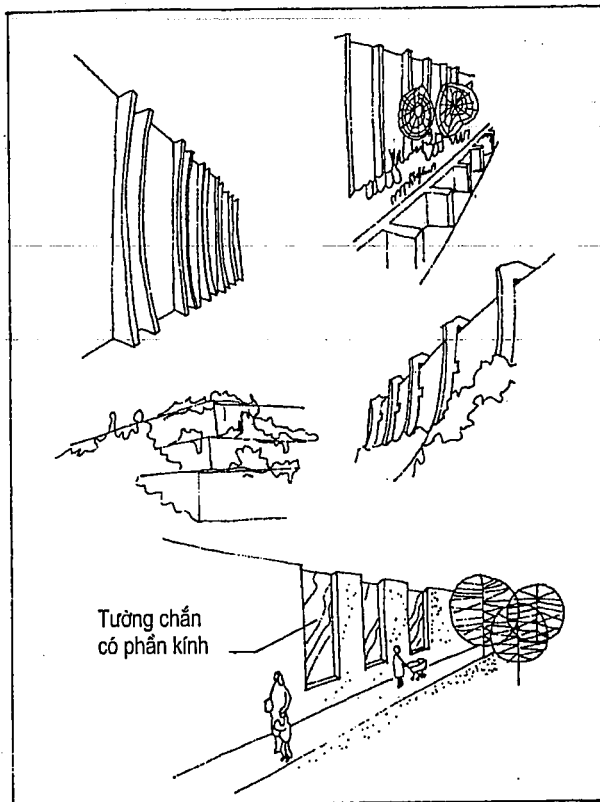
- Tường bằng đất cao 0,5 - 1m ở hai bên đường có thể giảm được 5 - 7 dB, A.
- Các ụ đất cao 8m có thể giảm tới 15 - 18 dB, A.
- Các tường bê tông, các ngôi nhà làm tường chắn tùy theo độ cao và chiều dài có thể hạ thấp tiếng ồn tới 20 - 30 dB, A [39].

Trên hình 6.38 giới thiệu giải pháp chống tiếng ồn bằng cầu cạn chạy qua một khu di tích ở Baltimor (Mỹ). Các thành cầu - tường chắn bằng kính hữu cơ (cao 4,6m dày 13mm) cho phép hành khách trên các xe du lịch có thể quan sát phong cảnh hai bên đường và giảm mức ồn tới 19dB, A.



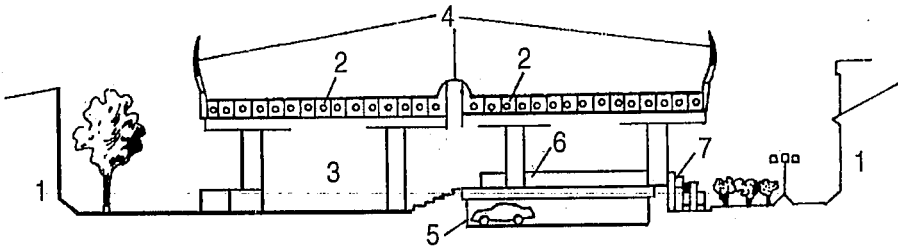


Hình 6.36. Hai kiểu tường chắn làm giảm bớt sự đồng điệu trên đường phố



THƯ VIỆN
HUBT
TÀI LIỆU PHỤC VỤ THAM KHẢO NỘI BỘ

Hình 6.37. Một số kiểu tường chắn kết hợp tạo cảnh quan hai bên đường giao thông



Hình 6.38. Giải pháp chống tiếng ồn ở Baltimor (Mỹ):

- 1- Công trình đã có; 2- Đường giao thông; 3- Trạm đỗ xe;
 4 - Tấm chắn tiếng ồn bằng kính hữu cơ; 5- Bãi xe; 6- Sân chơi; 7- Bể phun nước

Cuối cùng chúng tôi muốn nhấn mạnh rằng vấn đề chống tiếng ồn trong các đô thị cần phải được coi trọng, phải được nghiên cứu và đề xuất ngay từ bước lập dự án quy hoạch đô thị, cho đến thiết kế cụ thể mỗi công trình. Chỉ khi đó vấn đề chống tiếng ồn mới có thể giải quyết triệt để và giảm được chi phí tốn kém cho các giải pháp kỹ thuật sau này.

Chương 7

CÁCH ÂM CHO CÁC KẾT CẤU PHÂN CÁCH NHÀ CỬA

7.1. SỰ LAN TRUYỀN ÂM TRONG NHÀ CỬA VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ CÁCH ÂM

Khi nghiên cứu cách âm cho các kết cấu nhà cửa, chúng ta chỉ quan tâm hai loại nguồn tiếng ồn chính là: *tiếng ồn không khí* và *tiếng ồn va chạm*.

Tiếng ồn không khí (như tiếng nói, tiếng hát, tiếng từ các máy phát thanh, truyền hình...) được nghiên cứu đối với các tường và vách, cửa sổ, cửa đi và sàn giữa các tầng nhà.,

Tiếng ồn va chạm (như tiếng bước chân trên sàn, tiếng các vật rơi, kéo đồ gỗ trên sàn...) chỉ nghiên cứu cho sàn nhà.

Sự lan truyền âm vật liệu trong kết cấu nhà cửa có ảnh hưởng đến chất lượng cách âm của các kết cấu được xem xét dưới dạng các trị số tính toán hiệu chỉnh và các biện pháp cấu tạo kiến trúc để làm suy yếu nó.

Sự lan truyền tiếng ồn không khí và va chạm trong kết cấu nhà cửa không giống nhau, do đó phương pháp đánh giá chúng cũng khác nhau. Hãy lần lượt xem xét chúng.

7.1.1. Tiếng ồn không khí (airborne sound)

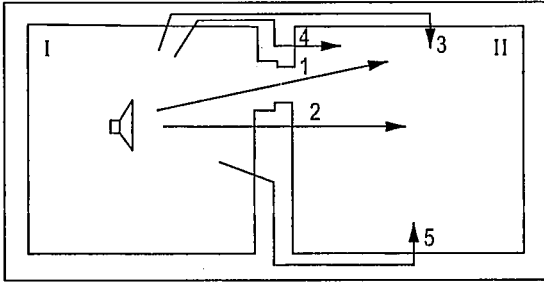
Chúng ta hãy nghiên cứu sự lan truyền tiếng ồn không khí từ phòng I (phòng có nguồn ồn) sang phòng II (phòng cần cách âm).

Tiếng ồn xâm nhập vào phòng II có thể theo những con đường sau đây (hình 7.1):

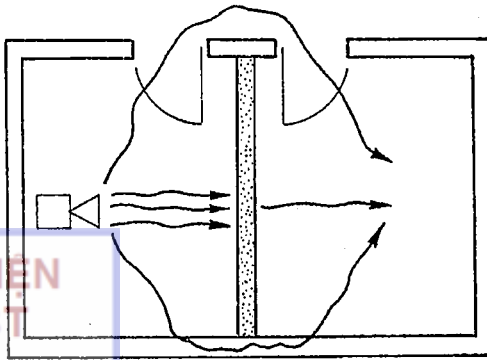
- Sóng âm 1 truyền trực tiếp qua các khe hở, các mối nối không kín, các cửa sổ và cửa đi mở thông giữa hai phòng. Trong điều kiện kiến trúc thoáng hở Việt Nam, tiếng ồn cũng có thể từ phòng I đi vòng qua các cửa mở xâm

nhập vào phòng II trong cùng một tầng hoặc khác tầng (hình 7.2). Năng lượng của các đường truyền âm trực tiếp theo dạng sóng 1 rất lớn, làm cho mức ồn ở phòng II nâng cao một cách đáng kể (xem [52]).

- Sóng âm 2 từ nguồn âm đập vào kết cấu phân cách hai phòng. Dưới tác dụng của áp suất âm, kết cấu này sẽ bị dao động uốn cưỡng bức và trở thành một nguồn âm mới bức xạ tiếng ồn vào phòng cách âm. Đường truyền âm 2 cũng là đường truyền âm trực tiếp.



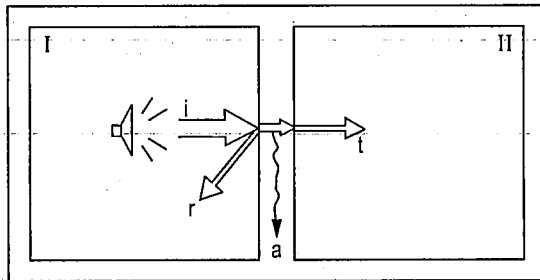
Hình 7.1. Sơ đồ lan truyền tiếng ồn không khí từ phòng ồn (phòng I) sang phòng cách âm (phòng II)



Hình 7.2. Tiếng ồn xâm nhập vào phòng cách âm qua cửa đi mở

- Các sóng âm 3, 4, 5 lan truyền theo dạng sóng dọc và sóng ngang theo các kết cấu của nhà cửa, một phần bức xạ vào phòng II, một phần tiếp tục lan truyền xa hơn đến các phòng khác trong nhà. Đường truyền âm này gọi là gián tiếp và năng lượng tiếng ồn của chúng không lớn bằng năng lượng của các đường trực tiếp kể trên khi xâm nhập vào các phòng. Theo sự phân loại tiếng ồn trong nhà (xem chương 6, mục 6.1.1) tiếng ồn lan truyền theo dạng này còn được gọi là tiếng ồn kết cấu (hay vật liệu) và thường được xử lý bằng giải pháp cấu tạo kiến trúc.

Như vậy, nếu chúng ta khảo sát một kết cấu kín (không có khe hở) phân cách hai phòng đóng kín (hình 7.3) thì sóng âm trực tiếp (các sóng 2) truyền qua kết cấu này sẽ quyết định mức ồn trong phòng II (bỏ qua tiếng ồn truyền theo các đường gián tiếp).



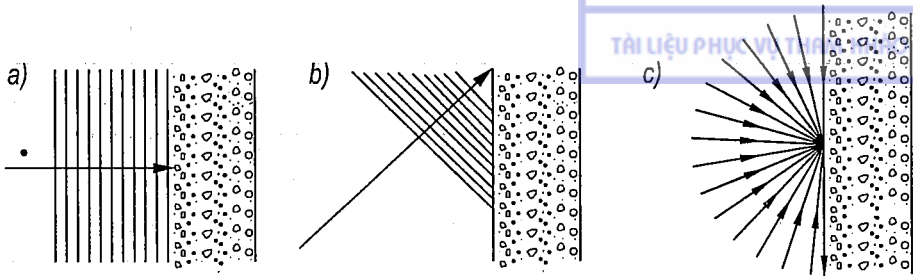
Hình 7.3. Truyền âm trực tiếp qua kết cấu phân cách hai phòng:

i - năng lượng âm tới kết cấu; *r* - năng lượng âm phản xạ từ kết cấu;
a - năng lượng âm bị hút bởi kết cấu; *t* - năng lượng âm truyền qua kết cấu.

Ở chương 1 chúng ta đã gọi hệ số hút âm α là tỷ số giữa phần năng lượng âm không phản xạ trở lại ($\alpha + t$) và năng lượng âm tới. Khi nghiên cứu cách âm ta gọi *hệ số truyền âm*, ký hiệu τ là tỷ số giữa năng lượng âm truyền qua và năng lượng âm tới, nghĩa là:

$$\tau = \frac{t}{i} \quad (7.1)$$

Hệ số truyền âm qua kết cấu phụ thuộc góc tới của sóng âm. Tuy nhiên, trong thực tế không chỉ có sóng âm trực tiếp từ nguồn tới kết cấu, mà còn có sóng âm tới sau khi phản xạ nhiều lần từ các kết cấu khác trong phòng. Kết quả là sóng âm với kết cấu gần như là khuếch tán (hình 7.4).



Hình 7.4. Sóng âm tới kết cấu vuông góc (a), xiên góc (b), và khuếch tán (c).

Do đó hệ số truyền âm thực sự có ý nghĩa là *hệ số truyền âm khuếch tán*, đó là hệ số truyền âm trung bình dưới mọi góc tới của sóng âm (từ 0 đến 90°).

Ngược với khái niệm truyền âm là khái niệm cách âm của kết cấu và được đánh giá bằng *khả năng cách âm*, ký hiệu R, xác định theo công thức định nghĩa sau đây:

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau} \quad (7.2)$$

Đơn vị của khả năng cách âm là dB.

Ghi chú: Tuy công thức định nghĩa giống nhau, nhưng tên gọi cách âm ở các nước trên thế giới lại không giống nhau:

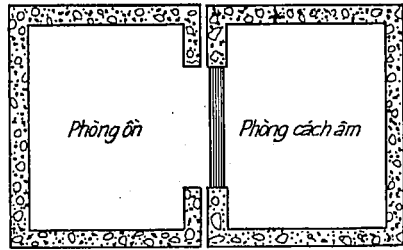
Ở Anh gọi là Sound Reduction Index (SRI).

Ở Mỹ gọi là Transmission Loss (TL).

Ở Pháp gọi là Indice d'affaiblissement acoustique (R).

ISO gọi là Airborne Sound Reduction Index, R.

Muốn đo khả năng cách âm R của kết cấu một cách chính xác phải tiến hành trong các phòng thí nghiệm đặc biệt, gọi là các phòng cách âm (hình 7.5), để loại trừ ảnh hưởng của tất cả các sóng trực tiếp và gián tiếp khác (sóng 1, 3, 4, 5) ngoại trừ sóng trực tiếp 2. Khi đó, khả năng cách âm xác định theo công thức:



Hình 7.5. Phòng thí nghiệm âm học đo cách âm

$$R = L_1 - L_2 - 10 \lg \frac{A}{S} \quad (7.3)$$

trong đó: L_1 - mức ồn trong phòng có nguồn ồn, dB;

L_2 - mức ồn trong phòng cách âm, dB;

A - lượng hút âm trong phòng cách âm, m²;

S - diện tích kết cấu khảo sát, m².

$10 \lg \frac{A}{S}$ - số hiệu chỉnh loại trừ ảnh hưởng của diện tích kết cấu và

lượng hút âm trong phòng đến khả năng cách âm của kết cấu.

Trong thực tế chúng ta có thể đo *độ chênh lệch mức tiếng ồn* giữa hai phòng (mà chưa phải là khả năng cách âm của kết cấu) theo công thức:

$$D = L_1 - L_2, \text{ dB}, \quad (7.4)$$

trong đó: D - độ chênh lệch mức ồn giữa hai phòng, dB.

Độ chênh lệch mức ồn D chịu ảnh hưởng của diện tích kết cấu, các đường truyền âm gián tiếp và đặc biệt là sự có mặt của các đồ đạc trong phòng cách âm, bởi vì đồ đạc (đồ gỗ, giường chiếu chần màn, rèm cửa, v.v...) có thể làm tăng lượng lượng hút âm của phòng do đó làm giảm mức ồn L_2 . Để xét đến ảnh hưởng này khi đo cách âm thực tế, người ta thống nhất tính chuyển đổi về một phòng chuẩn có lượng hút âm $A_0 = 10\text{m}^2$. Lúc đó chúng ta gọi là *độ chênh lệch mức ồn quy chuẩn* (Normalized Level difference) ký hiệu D_c và xác định theo công thức:

$$D_c = L_1 - L_2 - 10 \lg \frac{A}{A_0}$$

hay:
$$D_c = L_1 - L_2 - 10 \lg \frac{A}{10} \quad (7.5)$$

trong đó: A là lượng hút âm thực của phòng cách âm khảo sát. Để xác định A người ta có thể đo thời gian âm vang (T) và thể tích (V) của phòng rồi xác định theo công thức Sabine:

$$A = \frac{0,16V}{T}, \text{ m}^2$$

Ở một vài nước (như ở Pháp) người ta coi phòng quy chuẩn có thời gian âm vang là 0,5s. Khi đó độ chênh lệch mức ồn quy chuẩn D_c có thể xác định theo công thức:

$$D_c = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{T}{0,5} \quad (7.6)$$

Hai công thức (7.5) và (7.6) chỉ hoàn toàn cho kết quả giống nhau khi thể tích phòng khảo sát là 31m^3 .

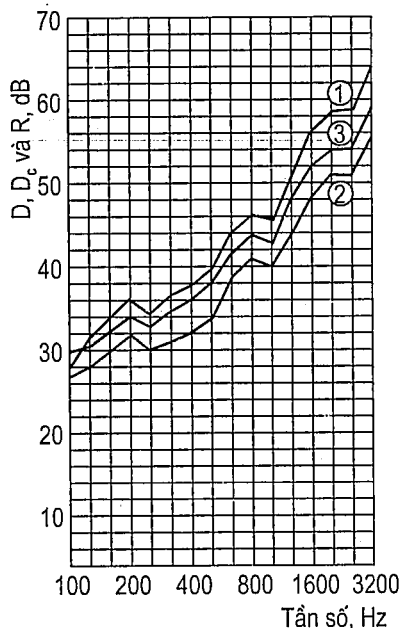
Ví dụ trên hình 7.6 là kết quả đo các trị số chênh lệch mức ồn D, độ chênh lệch mức ồn quy chuẩn D_c và khả năng cách âm R của một tường gạch hai lớp (mỗi lớp dày 5cm, trát vữa dày 1,5cm mỗi phía, lớp không khí

giữa dày 4cm nhét đầy bông khoáng). Phòng có thể tích 180m^3 và thời gian âm vang thay đổi từ 2 giây ở tần số thấp đến 0,5 giây ở tần số cao [15]. Kết quả đo thực tế cho thấy có sự khác nhau giữa ba đại lượng này.

Kết luận:

Khả năng cách âm R của kết cấu có thể xác định gần đúng tại hiện trường (ký hiệu R') theo độ chênh lệch mức âm quy chuẩn D_c (công thức 7.5 và 7.6), nghĩa là $R' \approx D_c$.

Theo hướng dẫn của ISO (R.140) các nghiên cứu cách âm không khí và va chạm phải tiến hành theo dải tần số 1/3 octa trong phạm vi từ 100 (125) Hz đến 3200 (4000Hz). Ở nước ta, đã chọn phạm vi tần số nghiên cứu từ 100 đến 3200Hz, phù hợp với phần lớn các nước trên thế giới. Các kết quả đo và đánh giá cách âm phải được biểu diễn dưới dạng đường đặc tính tần số cách âm.

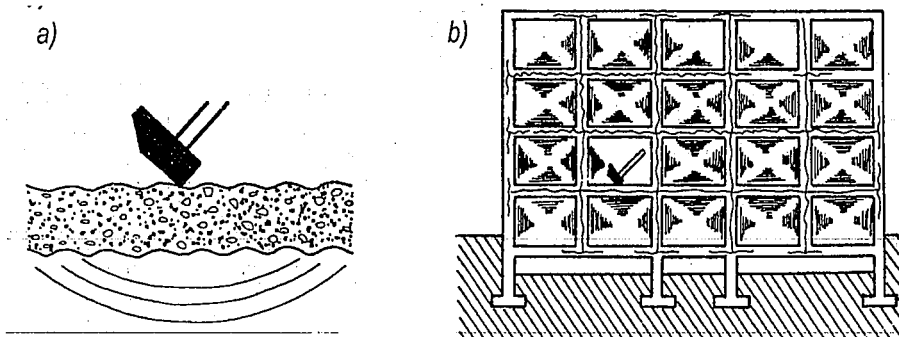


Hình 7.6. Đo cách âm trong thực tế: 1- Độ chênh lệch mức ồn D; 2 - Độ chênh lệch mức ồn quy chuẩn D_c ; 3 - Khả năng cách âm R

7.1.2. Tiếng ồn va chạm (impact sound)

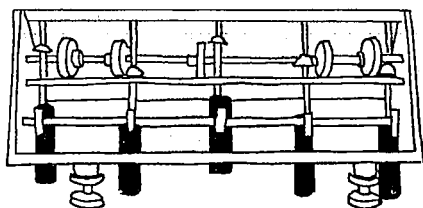
Khác với tiếng ồn không khí, tiếng ồn va chạm là sự va đập của các vật thể và kết cấu. Tại vị trí xảy ra va chạm có một lượng động năng rất lớn truyền vào kết cấu (hình 7.7a). Năng lượng này không phân bố trên toàn bộ kết cấu mà chỉ tập trung trên một diện tích rất nhỏ có trị số lớn hơn rất nhiều so với tiếng ồn không khí, lan truyền mạnh và khá xa theo kết cấu nhà cửa nếu chúng liên kết cứng với sàn. Trên hình 7.7b mô tả minh họa tiếng ồn va chạm trên sàn bê tông cốt thép của một căn hộ, có thể lan truyền tới tất cả các căn hộ khác trong một ngôi nhà.

Việc đánh giá cách âm va chạm không thể tiến hành như đối với âm không khí thông qua chênh lệch mức ồn hoặc khả năng cách âm mà phải trực tiếp đo mức ồn va chạm dưới sàn khi trên sàn xảy ra va chạm.



Hình 7.7. Sự lan truyền và chạm trong nhà cửa

Trong thực tế có rất nhiều loại và chạm khác nhau trên sàn, mỗi loại có mức ồn và phạm vi tần số tác động khác nhau. Vì vậy ISO đã đề nghị sử dụng một máy va chạm chuẩn (standard tapping machine) mô phỏng bước chân người làm nguồn âm mẫu khi đo và đánh giá cách âm va chạm (theo ISO Recommendation R 140,



Hình 7.8. Máy va chạm chuẩn (theo ISO140)

1960). Máy này (hình 7.8) có năm búa, đặt thành một hàng dọc cách nhau 10cm, mỗi búa có khối lượng 500g (± 5 g), dạng hình trụ (đường kính 3cm và bán kính cong mặt tiếp xúc là 50cm), làm bằng đồng thau mạ Nikel. Khi máy làm việc các búa lần lượt rơi tự do từ độ cao 4cm xuống mặt sàn sao cho mỗi giây có 10 va chạm. Khi đo cách âm va chạm chúng ta cho máy va chạm chuẩn làm việc trên sàn (thường tiến hành lần lượt tại ba vị trí trên đường chéo của phòng để lấy trị số trung bình) và đo mức ồn trong phòng dưới sàn. Trị số đo được hiệu chỉnh về một phòng có lượng hút âm chuẩn là 10m² và được gọi là mức âm va chạm chuẩn dưới sàn (normalized impact sound level).

Khi đo trong phòng thí nghiệm âm học, loại trừ được đường truyền âm gián tiếp, mức âm va chạm chuẩn L_c được xác định theo công thức:

$$L_c = L_v + 10 \lg \frac{A}{10} \quad (7.7)$$

trong đó: L_v - mức âm va chạm trung bình đo được trong phòng dưới sàn khi máy va chạm chuẩn làm việc trên sàn, dB;

A - lượng hút âm trong phòng đo, m².

Khi đo thực tế, không thể loại trừ được các đường truyền âm gián tiếp, mức âm va chạm chuẩn (ký hiệu L'_c) xác định theo công thức:

$$L'_c = L_v + 10 \lg \frac{A}{10} \quad (7.8)$$

Người ta cũng có thể quy định phòng chuẩn có thời gian âm vang là 0,5s, khi đó mức âm va chạm chuẩn dưới sàn có thể xác định theo công thức:

$$L'_c = L_v - 10 \lg \frac{T}{0,5} \quad (7.9)$$

trong đó: T - thời gian âm vang trong phòng đo, s.

7.2. TIÊU CHUẨN CHẤT LƯỢNG CÁCH ÂM

Tiêu chuẩn cách âm của các kết cấu được dùng để đánh giá chất lượng cách âm của chúng theo yêu cầu yên tĩnh của các phòng và là cơ sở để thiết kế cách âm các kết cấu. Tiêu chuẩn cách âm cho các kết cấu ở Việt Nam lần đầu tiên được đề cập năm 1977 [53], được hoàn thiện thêm trong [49]. Phương pháp tiêu chuẩn này phù hợp với tiêu chuẩn cách âm của các nước tham gia Hội đồng tương trợ kinh tế Vacsava trước đây. Ngày nay, trong công cuộc đổi mới của đất nước, sự nghiệp xây dựng đang phát triển mạnh mẽ với yêu cầu chất lượng nâng cao, đòi hỏi phải có một tiêu chuẩn cách âm mới, chính thức, làm chỗ dựa để thiết kế công trình, thỏa mãn điều kiện tiện nghi của cuộc sống hiện đại.

Tiêu chuẩn cách âm của Việt Nam (TCXDVN 277: 2002) giới thiệu dưới đây gồm hai nội dung cơ bản:

- Phương pháp tiêu chuẩn là phương pháp tiên tiến và phù hợp với khuyến nghị của ISO và nhiều nước trên thế giới.
- Trị số cách âm tiêu chuẩn thỏa mãn có mức độ các điều kiện tiện nghi âm thanh trong các không gian khác nhau, phù hợp với các điều kiện xây dựng, vật liệu và kinh tế của nước ta hiện nay. Sau mỗi giai đoạn 5 - 10 năm, các trị số tiêu chuẩn có thể được nâng cao hơn, tiến tới thỏa mãn hoàn toàn điều kiện tiện nghi âm thanh.

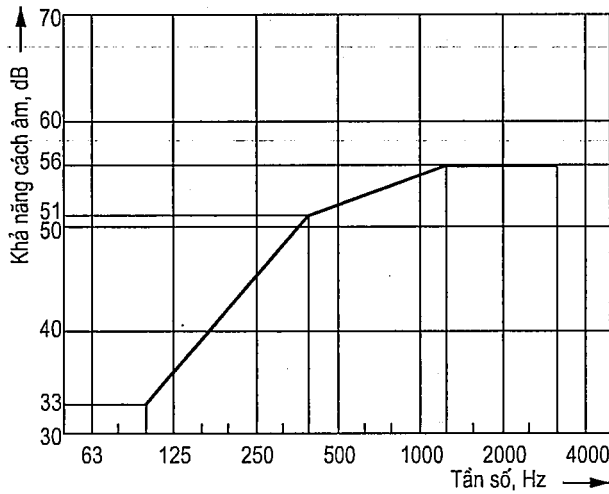
Phương pháp tiêu chuẩn

Phương pháp tiêu chuẩn theo TCXDVN 277 : 2002 như sau:

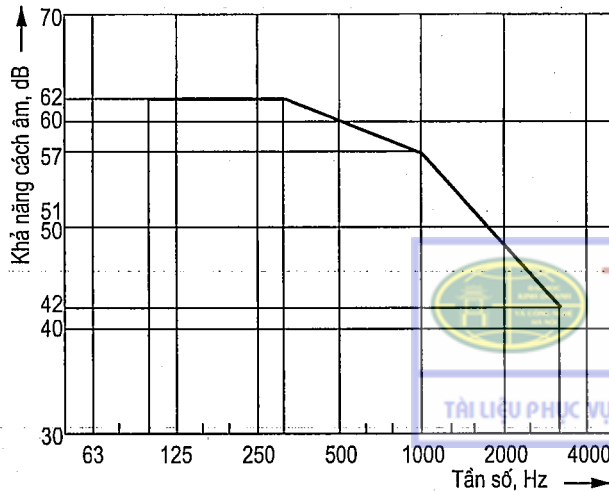
1. Đường tiêu chuẩn cách âm là đường đặc tính tần số cách âm trong phạm vi tần số từ 100 đến 3200Hz theo dải 1/3ôcta.

Đường tiêu chuẩn cách âm không khí là đường tiêu chuẩn khả năng cách âm R (hình 7.9).

Đường tiêu chuẩn cách âm va chạm là đường tiêu chuẩn mức âm va chạm dưới sàn (L_w) (hình 7.10).



Hình 7.9. Đường chuẩn cách âm không khí theo dải 1.3 octa



Hình 7.10. Đường chuẩn cách âm va chạm theo dải tần số 1/3 octa

2. Đánh giá chất lượng cách âm của các kết cấu bằng một trị số gọi là *chỉ số cách âm* (single - number quantity).

Chỉ số cách âm không khí (single - number quantity for airborne sound insulation rating), ký hiệu CK, dB.

Chỉ số cách âm va chạm (single - number quantity for impact sound insulation rating), ký hiệu CV, dB.

3. Xác định các chỉ số cách âm CK và CV bằng cách so sánh các đường R' và L'_c thực của kết cấu khảo sát (đường so sánh) với các đường tiêu chuẩn R và L_c tương ứng. Khi đó cần tịnh tiến các đường tiêu chuẩn theo phương đứng về phía các đường so sánh một số nguyên dB cho đến khi tổng các sai số xấu tại 16 tần số của đường thực của kết cấu khảo sát so với đường chuẩn đã tịnh tiến là lớn nhất nhưng không vượt quá 32dB, nghĩa là:

$$\sum |\sigma_i| \leq 32\text{dB} \quad (7.10)$$

Hay sai số xấu trung bình của các tần số không vượt quá 2dB, nghĩa là:

$$\sum |\sigma_i| : 16 \leq \sim 2\text{dB} \quad (7.11)$$

Chú thích: Sai số xấu là sai số của đường khảo sát nằm ở miền xấu của đường tiêu chuẩn đã tịnh tiến: với đường tiêu chuẩn cách âm không khí, miền xấu nằm ở phía dưới, còn với đường tiêu chuẩn cách âm va chạm, miền xấu nằm ở phía trên đường tiêu chuẩn.

Khi các điều kiện chuẩn trên đã được thỏa mãn, thì chỉ số cách âm là trị số R (hoặc L_c , dB) ở tần số 500Hz của đường tiêu chuẩn đã tịnh tiến. Chỉ số cách âm của các đường tiêu chuẩn trên hình 7.9 và 7.10 (chưa tịnh tiến) là $CK = 52\text{dB}$ và $CV = 60\text{dB}$.

Nhận xét:

1. Ưu điểm của phương pháp tiêu chuẩn cách âm hiện hành là khi đánh giá chất lượng cách âm đã xem xét trên một phạm vi rộng tần số, nhưng để tiêu chuẩn chúng lại chỉ dùng một trị số (CK hoặc CV), rất thuận tiện khi sử dụng.

2. Chỉ số cách âm, nói cách khác là khả năng cách âm R' (hoặc mức âm va chạm chuẩn dưới sàn L'_c) của kết cấu tại tần số trung bình 500Hz của đường tiêu chuẩn tương đương với đường khảo sát, nghĩa là một con số có ý nghĩa cách âm hơn so với phương pháp tiêu chuẩn áp dụng trước đây [49].

3. Theo phương pháp tiêu chuẩn trên, trị số CK càng lớn, cách âm càng tốt, ngược lại trị số CV càng nhỏ mới càng tốt. Điều này gây ra một sự xáo trộn trong khái niệm cách âm. Vì vậy tiêu chuẩn cách âm của Mỹ đã sửa chữa nhược điểm này bằng cách đổi chiều thang xác định CV (hình 7.11) và gọi là IIC (Impact Insulation Class). Quan hệ giữa CV và IIC theo phương trình:

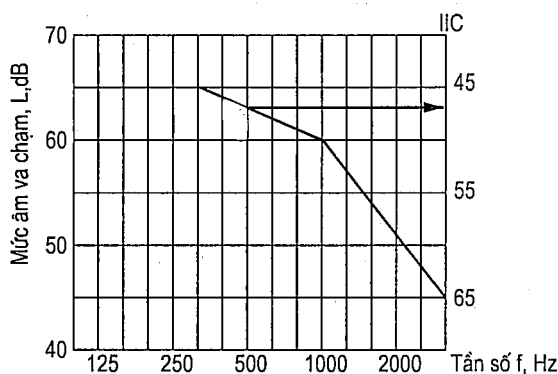
$$CV + IIC = 110\text{dB}.$$

Trị số chuẩn CK và CV cho kết cấu nhà dân dụng Việt Nam

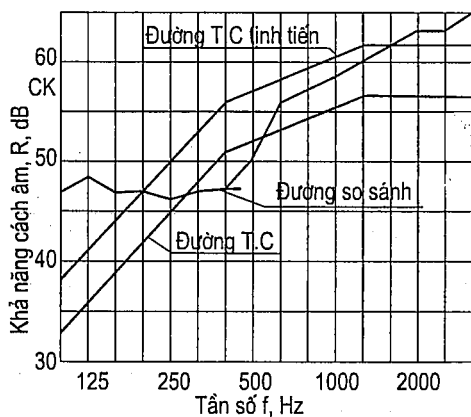
Các trị số tiêu chuẩn cách âm cho các kết cấu phân cách nhà dân dụng Việt Nam (TCXCVN 277: 2005) được giới thiệu trong Phụ lục 2.

Cuối cùng chúng tôi muốn nhấn mạnh rằng, với các trị số tiêu chuẩn cách âm kiến nghị, chưa thể đạt điều kiện tiện nghi âm thanh (điều kiện yên tĩnh yêu cầu), mà chỉ mới đạt được *điều kiện môi trường cho phép* cho các công việc, sinh hoạt và nghỉ ngơi của chúng ta.

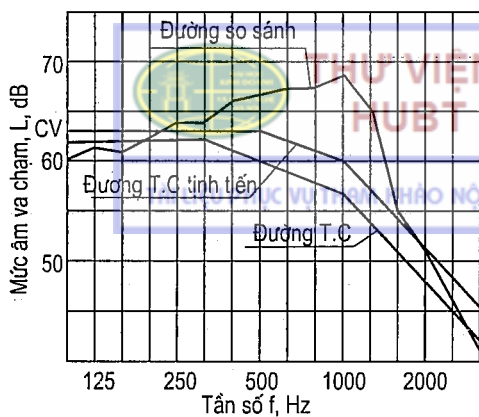
Ví dụ 7.1. Hãy xác định chỉ số cách âm không khí CK và va chạm CV của sàn giữa các tầng trong nhà ở căn hộ theo kết quả đo trên hình 7.12 và 7.13.



Hình 7.11. Đường tiêu chuẩn cách âm va chạm và thang IIC trong tiêu chuẩn của Mỹ



Hình 7.12. Ví dụ xác định chỉ số cách âm không khí CK. Tịnh tiến $R'' + 5dB$



Hình 7.13. Ví dụ xác định chỉ số cách âm va chạm CV. Tịnh tiến $L'' + 3dB$

Bài giải:

1. Tính chỉ số CK:

Đường R' phần lớn nằm phía trên đường R tiêu chuẩn. Tổng sai số xấu (ở các tần số 320, 400, 500 Hz) là 6,5dB. Để xác định CK cân tịnh tiến đường R tiêu chuẩn lên trên 5dB ($R^{lc} + 5dB$) lúc đó sẽ thỏa mãn điều kiện:

$$\Sigma|\sigma_i| = 31dB (4 + 6 + 8 + 6 + 2 + 2 + 2 + 1)$$

Vậy $CK = 57dB$.

2. Tính chỉ số CV:

Đường L' do thực tế phần lớn nằm ở miền xấu so với đường L_c^{lc} . Tổng sai số xấu lên tới 64dB.

Cân tịnh tiến đường tiêu chuẩn về phía trên 3dB ($L_c^{lc} + 3dB$) ta có:

$$\Sigma|\sigma_i| = 32dB (2 + 3 + 5 + 6 + 8 + 8, \text{ từ tần số } 400Hz \text{ đến } 1250Hz).$$

Vậy $CV = 63dB$.

Kết luận:

Đối với sàn giữa các căn hộ nhà ở chung cư, trị số tiêu chuẩn cách âm (theo TCVN 277:2002) là:

$$CK^{lc} = 52dB \text{ và } CV^{lc} = 62 \text{ dB (phụ lục 2).}$$

Vậy khả năng cách âm không khí của sàn khảo sát vượt yêu cầu tiêu chuẩn còn khả năng cách âm va chạm chưa đạt yêu cầu.

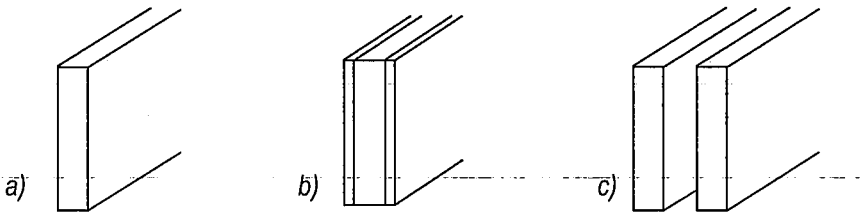
7.3. CÁCH ÂM KHÔNG KHÍ CỦA CÁC KẾT CẤU

Trong mục này chúng ta sẽ nghiên cứu sự làm việc về cách âm không khí của các kết cấu nhà cửa, các phương pháp tính toán khả năng cách âm của chúng và các biện pháp để nâng cao chất lượng cách âm.

Các kết cấu của nhà cửa rất đa dạng nhưng về mặt âm học có thể chia chúng làm hai loại cơ bản:

- Kết cấu một lớp (bao gồm cả kết cấu nhiều lớp nhưng có liên kết cứng với nhau trên suốt bề mặt của chúng), khi chịu tác động của sóng âm kết cấu phản ứng như một khối đồng nhất (hình 7.14a và b).

- Kết cấu nhiều lớp (hình 7.14c), giữa chúng là khe không khí hoặc một vài lớp vật liệu hút âm, khi chịu tác động của sóng âm, mỗi lớp có phản ứng khác nhau.



Hình 7.14. Phân loại kết cấu theo tính năng âm học:
a, b) Kết cấu một lớp; c) Kết cấu nhiều lớp

Như đã nói trên, sóng âm là sóng áp suất, khi đập vào kết cấu sẽ tiếp tục lan truyền trong chúng dưới dạng sóng dọc và sóng ngang, nhưng đối với các "tấm mỏng" như tường, sàn, vách... thì sóng uốn mới là đường truyền âm chủ yếu giữa hai phòng.

Các yếu tố có ảnh hưởng quyết định đến chất lượng cách âm của kết cấu là:

- Các kích thước hình học của chúng (chiều rộng, chiều dài và chiều dày).
- Liên kết của kết cấu với chung quanh.
- Khối lượng (tính bằng kg/m^2) và độ cứng của kết cấu.
- Nội mát mát của vật liệu gây ra bởi độ nhớt và nội ma sát các nguyên tử của vật liệu khi biến dạng, thường được đặc trưng bằng hệ số mát mát η và nó chỉ phụ thuộc vào bản chất của vật liệu.

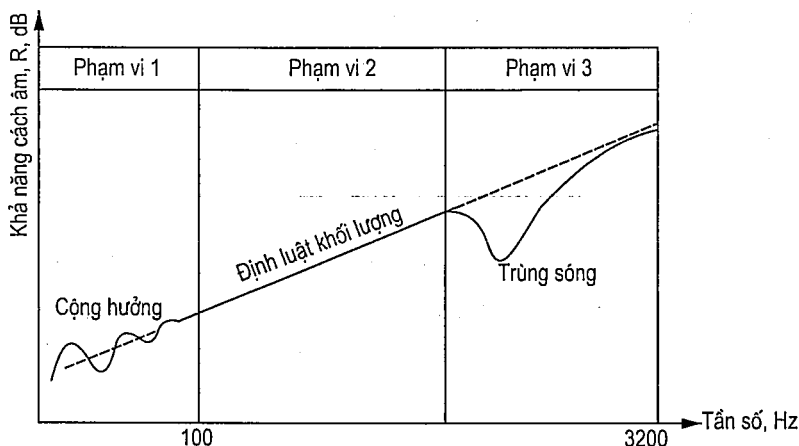
7.3.1. Kết cấu một lớp đồng chất

Đây là trường hợp đơn giản nhất mà cũng là phổ biến nhất trong kết cấu nhà cửa.

Các tường, vách, sàn nhà có thể khảo sát như một tấm mỏng có kích thước hữu hạn và liên kết chu vi, chịu tác động của sóng âm và bị dao động uốn cưỡng bức để trở thành một nguồn âm mới, bức xạ âm thanh sang phòng bên cạnh.

Các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm và truyền âm qua kết cấu [3, 15, 24, 30, 42] cho thấy có thể chia toàn bộ tần số khảo sát cách âm thành ba phạm vi chịu ảnh hưởng khác nhau của các yếu tố đã nêu (hình 7.15).





Hình 7.15. Ba phạm vi làm việc cách âm của kết cấu

Ở phạm vi tần số thứ nhất, khả năng cách âm của kết cấu phụ thuộc độ cứng của nó và thường xảy ra hiện tượng cộng hưởng. Tuy nhiên với các kết cấu có diện tích trên 10m^2 các tần số cộng hưởng này thường nằm ở vùng rất thấp [15] (thường dưới 50Hz), nên thực tế không có ảnh hưởng gì đến phạm vi tần số khảo sát cách âm (từ 100 đến 3200Hz).

Ở phạm vi tần số thứ hai, khả năng cách âm phụ thuộc khối lượng của nó và kết cấu có thể khảo sát như gồm rất nhiều khối lượng riêng rẽ dao động độc lập với nhau. Ở phạm vi này khả năng cách âm của kết cấu tuân theo một quy luật, được gọi là "*định luật khối lượng*" trong cách âm.

Trong phạm vi thứ ba, ở các tần số cao hơn, định luật khối lượng mất hiệu lực và khả năng cách âm chịu ảnh hưởng của một hiện tượng cộng hưởng độc đáo - gọi là *hiện tượng trùng sóng* - làm giảm đáng kể khả năng cách âm của nó.

Sau phạm vi này khả năng cách âm lại tăng dần phụ thuộc vào khối lượng và nội mát mát của vật liệu.

1. Định luật khối lượng trong cách âm

Khi sóng âm tới kết cấu khuếch tán, khả năng cách âm của nó có thể xác định theo công thức sau đây [42]:

$$R = 10 \lg \left[1 + \left(\frac{\pi m f}{\rho c_0} \right)^2 \right] - 5$$

trong đó: m - khối lượng kết cấu (kg/m^2);

f - tần số âm.

Khi lấy $\rho_{c_0} = 410\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$ và bỏ qua số 1 ta có:

$$R = 20\lg mf - 47,5, \text{ dB} \quad (7.12)$$

Xét trường hợp thực tế kết cấu có kích thước hữu hạn và liên kết theo chu vi, khả năng cách âm bị giảm nhiều hơn công thức (7.12) do các đường truyền âm gián tiếp. Khi đó khả năng cách âm được xác định theo công thức:

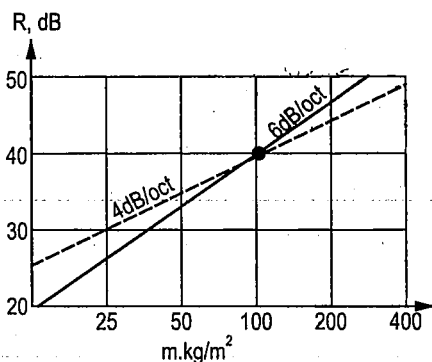
$$R = 20\lg mf - 54, \text{ dB} \quad (7.13)$$

Đây là công thức của *định luật khối lượng trong cách âm*.

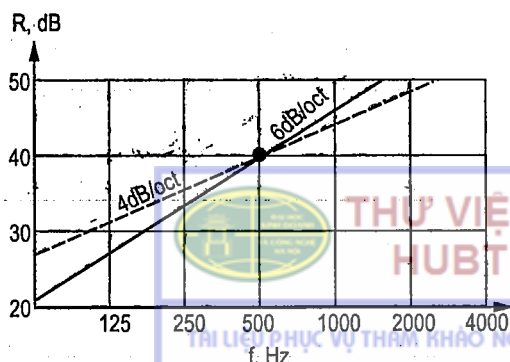
Như vậy theo định luật khối lượng ta nhận thấy:

- Khi khối lượng kết cấu tăng lên hai lần khả năng cách âm tăng thêm 6dB (hình 7.16).

- Khi tần số tăng lên hai lần (tăng mỗi ôcta) khả năng cách âm tăng lên 6dB nghĩa là đường R có độ dốc 6dB/ôcta (hình 7.17). Đó là quy luật tần số trong cách âm.



Hình 7.16. Định luật khối lượng



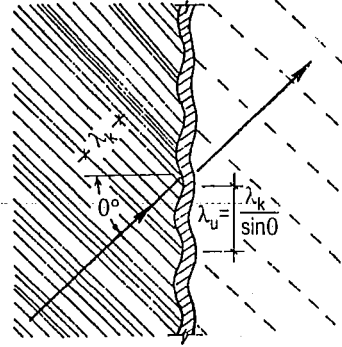
Hình 7.17. Quy luật tần số trong cách âm

Tuy nhiên theo nhiều số liệu thực nghiệm, Meisser [15] nhận thấy trong thực tế khả năng cách âm chỉ tăng thêm 4dB mỗi khi khối lượng tăng gấp đôi và cũng tăng thêm 4dB mỗi khi tần số tăng lên hai lần (đường đứt nét trên hình 7.16 và 7.17).

2. Hiện tượng trùng sóng

Hiện tượng trùng sóng làm giảm đáng kể khả năng cách âm của kết cấu có thể giải thích như sau:

Khi sóng âm (có bước sóng λ_k) tới kết cấu dưới góc θ (hình 7.18), dưới tác dụng của áp suất âm kết cấu sẽ bị dao động uốn cưỡng bức với bước sóng $\lambda_u/\sin\theta$.



Hình 7.18. Hiện tượng trùng sóng

Nếu gọi λ_{uo} là bước sóng uốn riêng của kết cấu, thì hiện tượng trùng sóng sẽ xảy ra khi:

$$\frac{\lambda_k}{\sin\theta} = \lambda_{uo} \quad (7.14)$$

Như vậy sẽ có nhiều tần số xảy ra trùng sóng, vì mỗi sóng âm có thể tìm thấy một góc θ thích hợp để điều kiện (7.14) thỏa mãn. Tuy nhiên, hiện tượng trùng sóng chỉ xảy ra khi:

$$\lambda_k \leq \lambda_{uo}, \text{ vì } \sin\theta \leq 1.$$

Do đó tồn tại một tần số nhỏ nhất mà bắt đầu từ đó sẽ xảy ra hiện tượng trùng sóng. Tần số này được gọi là *tần số giới hạn*, ký hiệu f_{gh} , tương ứng với điều kiện $\theta = 90^\circ$ (khi đó $\lambda_k = \lambda_{uo}$).

Tần số giới hạn có thể xác định theo công thức:

$$f_{gh} = \frac{c_o^2}{1,8c_1 \cdot d} = \frac{c_o^2}{1,8d} \sqrt{\frac{\rho}{E}} \quad (7.15)$$

trong đó: c_o - vận tốc âm trong không khí, m/s;

c_1 - vận tốc sóng dọc trong kết cấu, m/s;

d - chiều dày kết cấu, m;

ρ - khối lượng riêng của vật liệu, kg/m^3 ;

E - hệ số đàn hồi (modun Young).

Vậy tần số giới hạn phụ thuộc vào độ cứng của kết cấu, hệ số mất mát và tỷ lệ nghịch với chiều dày kết cấu. Trong bảng 7.1 cho tần số giới hạn của kết cấu bằng các vật liệu khác nhau khi chiều dày bằng 1cm. Muốn xác định

tần số giới hạn của kết cấu đồng chất có chiều dày x (cm), cần phải chia trị số trong bảng cho x .

Bảng 7.1. Tần số giới hạn của kết cấu (f_{gh}) khi chiều dày 1cm

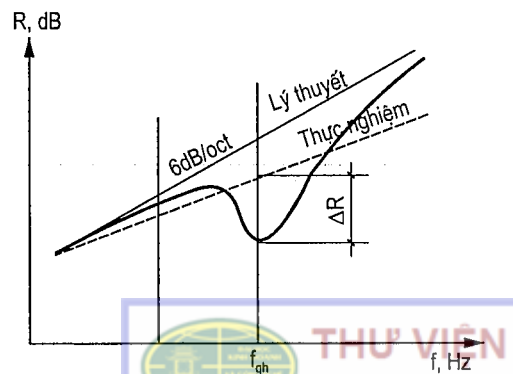
Vật liệu	Khối lượng riêng, kg/m ³	f_{gh} , Hz
Cao su	1000	85000
Lie (gỗ bắc)	250	18000
Polixtiren nở	14	14000
Thép	7800	1000
Nhôm	2700	1300
Chì	10600	8000
Kính	2500	1200
Gạch đặc	2000-2500	2500-5000
Bê tông	2300	1800
Thạch cao	1000	4000
Gỗ	600	6000-18000

Do hiện tượng trùng sóng, trong phạm vi tần số giới hạn khả năng cách âm của kết cấu sẽ giảm một cách đáng kể (hình 7.19), độ giảm lớn nhất xảy ra tại tần số giới hạn, ký hiệu ΔR (dB).

Theo kết quả nghiên cứu thực nghiệm của Meisser [15] độ giảm khả năng cách âm tần số giới hạn có thể lấy như sau:

- Các vật liệu có hệ số mất mát lớn như cao su, lie, chì, độ giảm cách âm $\Delta R \approx 6\text{dB}$ so với đường thực nghiệm.
- Các vật liệu có hệ số mất mát trung bình như polixtiren nở, bê tông, thạch cao và gỗ, độ giảm cách âm $\Delta R \approx 8\text{dB}$.
- Các vật liệu có hệ số mất mát nhỏ như thép, nhôm, kính, gạch đặc và bê tông dự ứng lực, độ giảm cách âm $\Delta R \approx 10\text{dB}$.

Sau tần số giới hạn khả năng cách âm của kết cấu trở lại tăng nhanh và ở tần số $f > 2f_{gh}$ có thể xác định theo công thức của Cremer L:



Hình 7.19. Sự giảm khả năng cách âm do hiện tượng trùng sóng

$$R = 20 \lg \frac{\pi f_{gh} m}{\rho c_0} + 30 \lg \frac{f}{f_{gh}} + 10 \lg \eta - 3 \quad (7.16)$$

Ở các tần số này hệ số mất mát η có vai trò quan trọng trong cách âm của kết cấu. Khi hệ số mất mát tăng gấp đôi, khả năng cách âm tăng thêm 3dB.

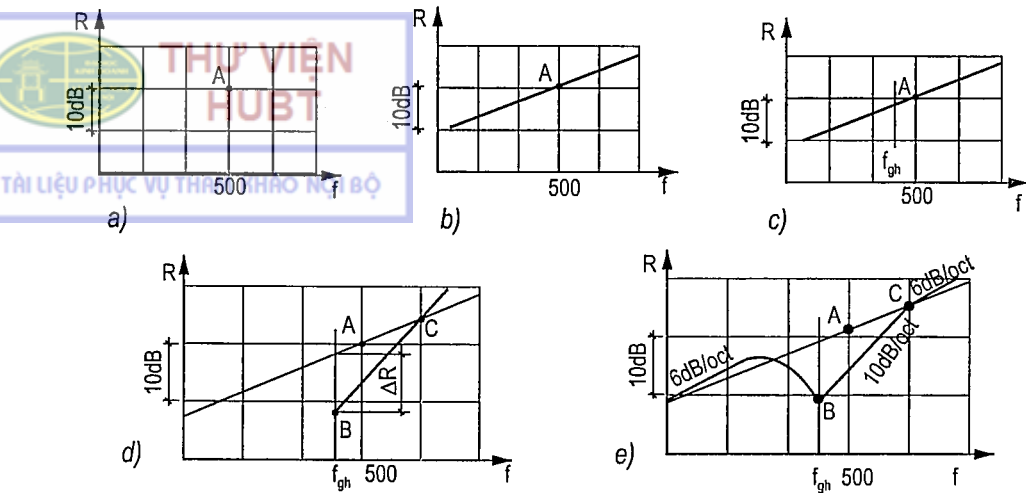
3. Phương pháp gần đúng dựng đường đặc tính tần số cách âm của kết cấu đồng chất

Các tường bằng gạch, đá, bê tông thường có lớp trát, ít nhất ở một mặt. Các lớp trát này nói chung không ảnh hưởng nhiều đến tần số giới hạn nếu như kết cấu đủ nặng. Mặt khác phần đóng góp nâng cao thêm khả năng cách âm của chúng cũng rất nhỏ, vì vậy có thể bỏ qua khi tính toán. Vai trò quan trọng của lớp trát là chúng có thể bịt kín các khe hở trong kết cấu, nhờ đó nâng cao được khả năng cách âm.

Phương pháp gần đúng dựng đường đặc tính tần số cách âm của kết cấu trên cơ sở lý thuyết đã trình bày được tiến hành theo trình tự sau đây (phối hợp phương pháp trong [15] với đề nghị của tác giả).

1. Xác định khả năng cách âm của kết cấu ở tần số 500Hz theo định luật khối lượng (công thức 7.13). Xác định điểm A (hình 7.20a).

2. Dựng qua điểm A đường thẳng nghiêng 4dB/octa theo quy luật tần số thực nghiệm trong cách âm (hình 7.20b).



Hình 7.20. Các dựng gần đúng đường R

3. Xác định tần số giới hạn theo bảng 7.2 và đưa vào biểu đồ (hình 7.20c).

4. Xác định độ giảm cách âm ΔR ở tần số giới hạn phụ thuộc hệ số mất mát của vật liệu. Xác định điểm B (hình 7.20d).

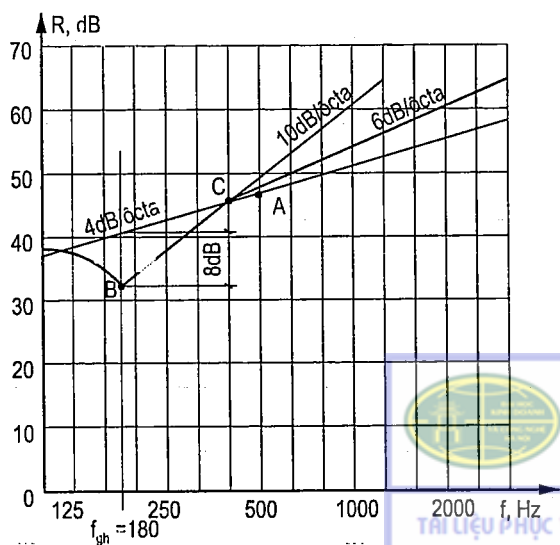
3. Dựng đường đặc tính tần số cách âm R như sau:

Trong khoảng 1 ôcta dưới f_{gh} dựng đường giảm cách âm từ trị số trên đường R (theo định luật khối lượng) hạ thấp dần đến điểm B.

Ở các tần số thấp hơn, khả năng cách âm tuân theo định luật khối lượng có độ dốc 6dB/ôcta (hình 7.20e).

Phía trên f_{gh} ($f > f_{gh}$), từ B dựng đường dốc 10dB/ôcta cho đến điểm C - giao điểm của đường này với đường R thực nghiệm. Từ điểm C dựng đường dốc 6dB/ôcta ở các tần số cao cho đến 3200Hz.

Ví dụ 7.2. Hãy dựng đường đặc tính tần số cách âm của tường bê tông cốt thép dày 10cm. Cho biết khối lượng riêng của bê tông là 2300kg/m^2 .



Hình 7.21. Ví dụ dựng đường cách âm của tường bê tông 10cm (đường vẽ đậm)

Bài giải:

Khối lượng tường: $m = 2300 \times 0,1 = 230\text{kg/m}^2$. Xác định khả năng cách âm ở tần số 500Hz theo công thức 7.13.

$$R = 20\lg.230.500 - 54 = 47,2\text{dB}.$$

Xác định tần số giới hạn của tường.

Tra bảng 7.2 được tần số giới hạn khi tường dày 1cm là 1800Hz. Vậy:

$$f_{gh} = \frac{1800}{10} = 180\text{Hz}$$

Bê tông có hệ số mất mát trung bình nên $\Delta R = 8\text{dB}$.

Dụng đường đặc tính tần số R của tường bê tông 10cm như trên hình 7.21.

Ví dụ 7.3. Dụng đường đặc tính tần số cách âm R của tường gạch đặc 22cm. Gạch có khối lượng riêng là 2000kg/m^3 .

Bài giải:

Khối lượng của tường: $m = 2000 \times 0,22 = 440\text{kg/m}^2$.

Khả năng cách âm ở tần số 500Hz:

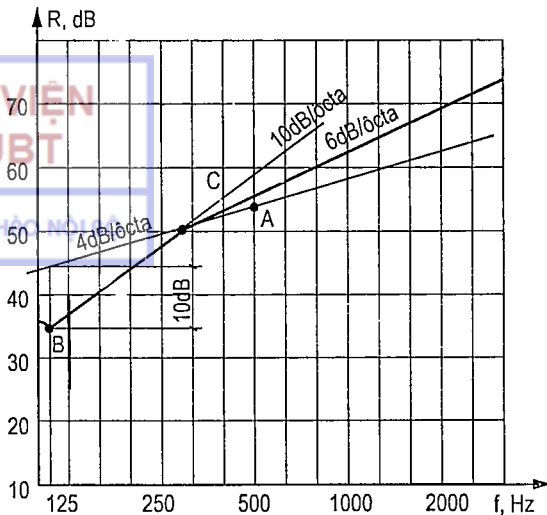
$$R = 20\lg 440 \times 500 - 54 = 52,8\text{dB}.$$

Tần số giới hạn:

$$f_{gh} = \frac{2500}{22} \approx 114\text{Hz}$$

Gạch đặc có hệ số mất mát nhỏ, do đó $\Delta R = 10\text{dB}$.

Dụng đường đặc tính tần số khả năng cách âm R tiến hành trên hình 7.22.



Hình 7.22. Ví dụ dụng đường cách âm của tường gạch 220

Ví dụ 7.4. Yêu cầu dựng đường đặc tính tần số cách âm R của tường bằng kính dày 10mm. Khối lượng riêng của kính là 2500kg/m^3 .

Bài giải:

Khối lượng của tường kính:

$$m = 2500 \times 0,01 = 25\text{kg/m}^2.$$

Khả năng cách âm ở tần số 500Hz:

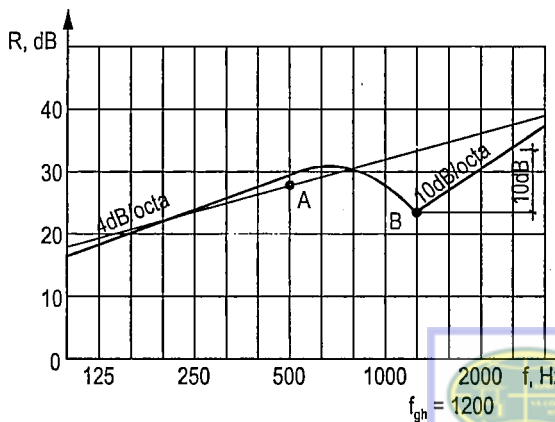
$$R = 20\lg/25.500 - 54 = 28\text{dB}.$$

Tần số giới hạn:

$$f_{\text{gh}} = \frac{1200}{1} = 1200\text{Hz}$$

Kính có hệ số mất mát nhỏ, do đó $\Delta R = 10\text{dB}$.

Kết quả dựng đường đặc tính tần số cách âm R cho trên hình 7.23.



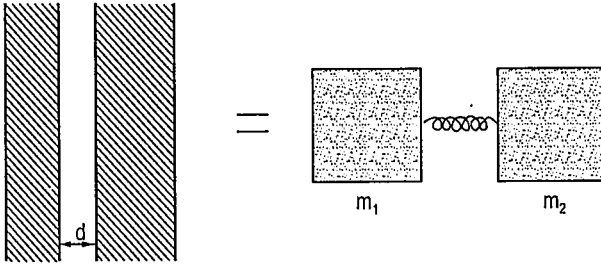
Hình 7.23. Ví dụ dựng đường cách âm R của tường kính

7.3.2. Kết cấu nhiều lớp

Để nâng cao khả năng cách âm và hạ thấp tần số giới hạn đối với kết cấu một lớp thường phải tăng chiều dày, tăng khối lượng là điều trong xây dựng nói chung không mong muốn. Để tránh điều này chúng ta có thể sử dụng kết cấu nhiều lớp, giữa các lớp có lớp không khí gián cách hoặc nhét đầy vật liệu hút âm. Kết cấu nhiều lớp thương dùng là kết cấu hai và ba lớp.

1. Kết cấu hai lớp

Kết cấu hai lớp có khe không khí ở giữa (có hay không có vật liệu hút âm) về mặt cơ học làm việc giống như một hệ thống hai khối lượng m_1 và m_2 liên kết với nhau bởi một lò xo (hình 7.24). Khe không khí càng lớn, lực đàn hồi của lò xo càng giảm.



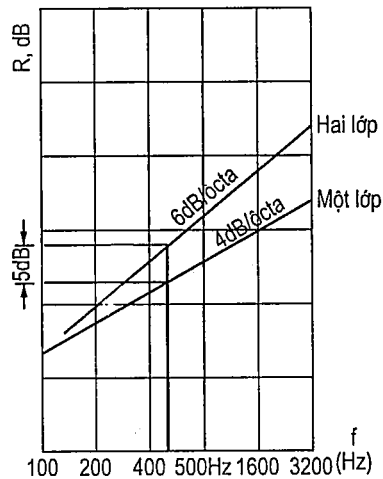
Hình 7.24. Kết cấu hai lớp có thể khảo sát như một hệ thống hai khối lượng và lò xo liên kết

Sóng âm tới đập vào tấm thứ nhất, sẽ gây ra dao động uốn của tấm này. Dao động được truyền qua khe không khí (lò xo) sang tấm thứ hai làm cho nó cũng dao động theo và trở thành nguồn âm mới bức xạ vào phòng cách âm. Khả năng cách âm của kết cấu hai lớp phụ thuộc khối lượng hai tấm (m_1, m_2) và các hiện tượng cộng hưởng của toàn hệ thống, của mỗi tấm và của khe không khí.

a) Định luật khối lượng trong kết cấu hai lớp

Nếu như theo quy luật tần số đối với kết cấu một lớp, khả năng cách âm tăng trung bình 4dB/octa, thì đối với kết cấu hai lớp độ dốc của đường R là từ 6 đến 8dB/octa (hình 7.25).

Khả năng cách âm trung bình của kết cấu hai lớp trong phạm vi tần số 100 - 3200Hz cao hơn khả năng cách âm trung bình của kết cấu một lớp từ 4 đến 9dB.



Hình 7.25. So sánh khả năng cách âm của kết cấu một lớp và hai lớp có cùng trọng lượng

Khảo sát của Meisser [15] cho thấy:

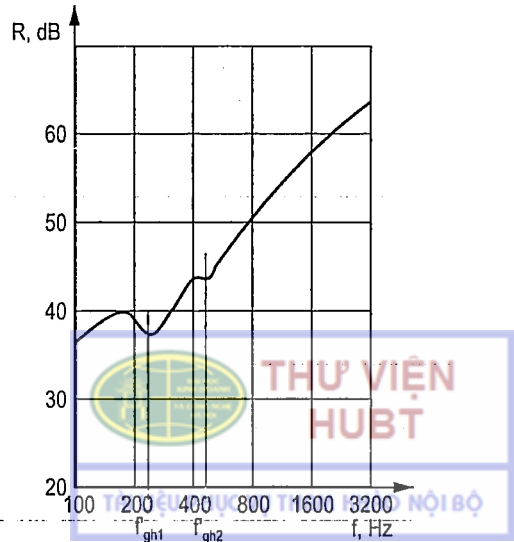
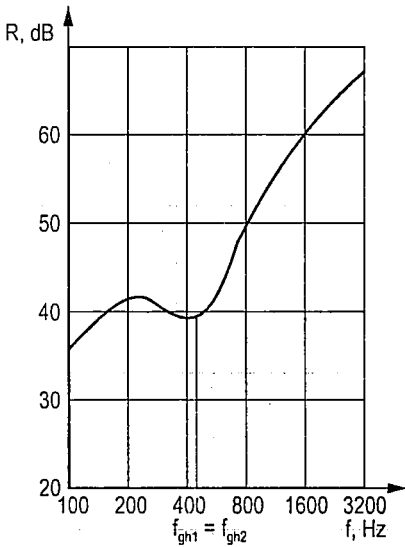
- Khi chiều dày khe không khí nhỏ (từ 2 đến 4cm) và không có vật liệu hút âm, *độ nâng cao cách âm là 4dB*.

- Khi chiều dày khe không khí lớn (từ 5 đến 10cm) và có vật liệu hút âm (nhưng không nén chặt) *độ nâng cao là 9dB*.

b) Cộng hưởng của mỗi tấm

Ta có thể khảo sát riêng rẽ mỗi tấm trong kết cấu hai lớp như với kết cấu một lớp. Khi đó mỗi tấm có một tần số giới hạn (ký hiệu f_{gh1} , f_{gh2}). Có thể xảy ra hai trường hợp:

- Khi tần số giới hạn trùng nhau $f_{gh1} = f_{gh2}$ (xảy ra khi hai tấm có cùng vật liệu và cùng chiều dày), hiện tượng cộng hưởng xảy ra trên cùng một tần số nên kết cấu sẽ dao động rất mạnh, khả năng cách âm sẽ giảm một cách đáng kể (hình 7.26).



Hình 7.26. Hai tấm trong kết cấu hai lớp có cùng tần số giới hạn ($f_{gh1} = f_{gh2}$)

Hình 7.27. Hai tấm trong kết cấu hai lớp có tần số giới hạn khác nhau ($f_{gh1} \neq f_{gh2}$)

- Hai tần số giới hạn khác nhau ($f_{gh1} \neq f_{gh2}$). Lúc đó hiện tượng cộng hưởng sẽ xảy ra ở hai tần số khác nhau, độ giảm cách âm sẽ nhỏ hơn so với trường hợp trên (hình 7.27).

Kết luận: Để nâng cao chất lượng cách âm của kết cấu hai lớp cần sử dụng vật liệu, khối lượng, độ cứng của các tấm khác nhau để chúng có tần số giới hạn khác nhau.

c) *Cộng hưởng của "hệ thống hai tấm"*

Tần số riêng của hệ thống "khối lượng - lò xo - khối lượng" có thể xác định cho trường hợp sóng âm tới vuông góc với kết cấu theo công thức sau đây:

$$f_{ch} = 600 \sqrt{\frac{1}{d} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} \quad (7.17)$$

trong đó:

d - chiều dày lớp không khí, cm;

m_1 và m_2 - khối lượng các tấm, kg/m^2 .

Khi sóng âm tới kết cấu khuếch tán, tần số cộng hưởng tăng thêm 1,4 lần, nghĩa là:

$$f_{ch} = 840 \sqrt{\frac{1}{d} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} \quad (7.18)$$

Tại tần số cộng hưởng f_{ch} , khả năng cách âm của kết cấu sẽ giảm thấp hơn khả năng cách âm của kết cấu đơn có cùng khối lượng.

Vì vậy, cần tìm các biện pháp cấu tạo để đưa tần số cộng hưởng xuống dưới tần số bắt đầu khảo sát cách âm ($f_{ch} < 100\text{Hz}$). Thực tế nhận thấy có thể hạ thấp f_{ch} dưới 80Hz bằng cách:

- Với kết cấu làm bằng hai tấm vật liệu nhẹ, cần phải tăng chiều dày lớp không khí.

- Với kết cấu có hai tấm tương đối nặng, cần có một khe không khí hẹp.

Ví dụ 7.5. kết cấu hai lớp bằng kính dày 6mm và 8mm. Hãy xác định khoảng cách d để tần số cộng hưởng của hệ thống $f_{ch} = 80\text{Hz}$.

Bài giải:

Khối lượng tấm kính 6mm: $m_1 = 15\text{kg/m}^2$.

Khối lượng tấm kính 8mm: $m_2 = 20\text{kg/m}^2$.

Theo công thức (7.18):

$$f_{ch} = 840 \sqrt{\frac{1}{d} \left(\frac{1}{15} + \frac{1}{20} \right)} = 80 \text{Hz}$$

Rút ra: $d \approx 12,8 \text{cm} \approx 13 \text{cm}$.

Ví dụ 7.6. Hãy xác định tần số cộng hưởng của kết cấu hai lớp làm bằng gạch đặc dày 11cm và 6cm với khe không khí dày 2cm.

Bài giải:

Khối lượng tường 11cm: $m_1 = 220 \text{kg/m}^2$.

Khối lượng tường 6cm: $m_2 = 120 \text{kg/m}^2$.

Tần số cộng hưởng của hệ thống là:

$$f_{ch} = 840 \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{220} + \frac{1}{120} \right)} = 67 \text{Hz}$$

Xét ảnh hưởng của vị trí tần số cộng hưởng f_{ch} đến khả năng cách âm của kết cấu hai lớp:

- Ở các tần số âm nằm dưới f_{ch} ($f < f_{ch}$) "lò xo" không còn tác dụng, lớp không khí như là liên kết cứng giữa hai tấm. Khả năng cách âm của kết cấu hai lớp lúc này giống như của kết cấu một lớp có cùng khối lượng.

- Ở các tần số âm nằm trên tần số cộng hưởng f_{ch} ($f > f_{ch}$), tính đàn hồi của "lò xo" truyền dao động từ tấm này qua tấm kia và bị tiêu hao một phần năng lượng. Khi đó khả năng cách âm của kết cấu hai lớp sẽ cao hơn của kết cấu một lớp có cùng trọng lượng. Tần số âm càng cao so với tần số cộng hưởng f_{ch} , khả năng cách âm của kết cấu càng tốt hơn. Vì lý do đó mà chúng ta nói ở trên rằng độ dốc của đường R của kết cấu hai lớp dốc hơn (6 đến 8dB) so với đường R của kết cấu một lớp.

d) Cộng hưởng của khe không khí

Sóng âm truyền qua lại do phản xạ giữa hai tấm kết cấu có thể xảy ra cộng hưởng mỗi khi tần số của âm tới bằng $nc_0/2d$ (với n là số nguyên dương, c_0 là vận tốc âm trong không khí, d là chiều dày khe không khí tính bằng mét).

Nghĩa là:

$$f_1 = \frac{nc_0}{2d} \quad (7.19)$$

Như vậy nếu f_1 là tần số cộng hưởng khi $n = 1$, thì ta cũng có cộng hưởng tại $f_2 = 2f_1$, $f_3 = 3f_1 \dots$

Ví dụ, nếu cửa kính hai lớp, chiều dày của khe không khí là $d = 13\text{cm}$, ta có:

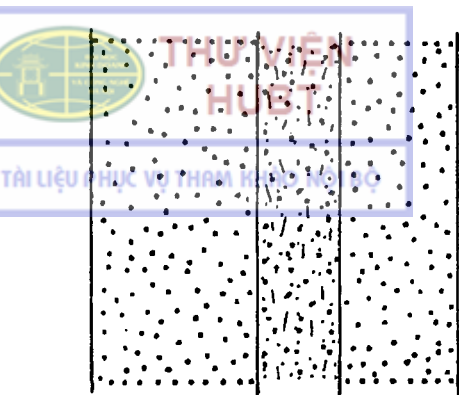
$$f_1 = \frac{340}{2 \times 0,13} = 1300\text{Hz};$$

$$f_2 = 2600\text{Hz};$$

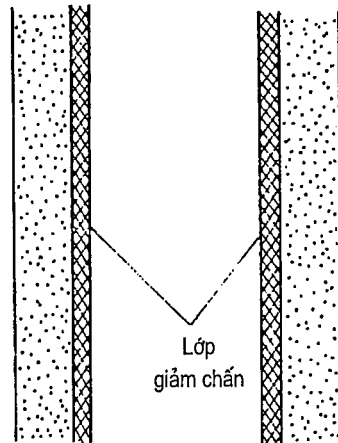
$$f_3 = 3900\text{Hz}.$$

Ta nhận thấy với chiều dày lớp không khí thường gặp trong kết cấu hai lớp, các tần số cộng hưởng thường nằm ở vùng tần số cao và gây ra sự suy giảm cách âm ở các tần số này. Vì vậy, muốn nâng cao khả năng cách âm của kết cấu hai lớp, cần phải đưa tần số cộng hưởng vượt trên 3200Hz. Muốn vậy cần giảm nhỏ chiều dày khe không khí. Điều này mâu thuẫn với yêu cầu hạ thấp tần số cộng hưởng chung của toàn kết cấu f_{ch} (mục c).

Để khắc phục mâu thuẫn này, ta có thể nhét vật liệu hút âm vào khe không khí giữa hai tấm (hình 7.28). Khi đó vật liệu hút âm có thể làm tiêu hao một phần năng lượng âm và do đó triệt tiêu cộng hưởng trong lớp không khí.



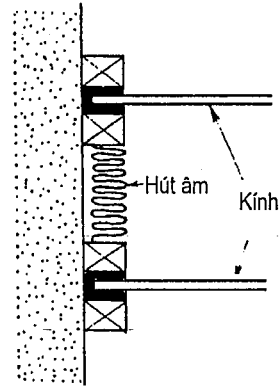
Hình 7.28. Nhét vật liệu hút âm vào khe không khí giữa hai tấm



Hình 7.29. Dán một lớp giảm chấn động sau kết cấu nhẹ

Chú ý:

- Trường hợp kết cấu hai lớp là những tấm mỏng, nhẹ, dễ dao động, ta cần phải triệt tiêu dao động bằng cách dán một lớp chất giảm chấn động (như băng bông khoáng, sợi thực vật) ở phía trong (hình 7.29). Đối với tấm bằng tôn, nên dán bằng một lớp chất dẻo. Chú ý rằng kỹ thuật này không có hiệu quả gì đối với kết cấu nặng.



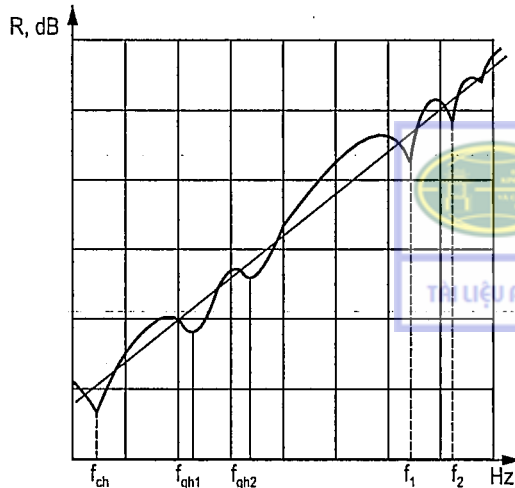
Hình 7.30. Vật liệu hút âm đặt theo chu vi của cửa kính

- Trường hợp cửa kính hai lớp, vì không thể nhét vật liệu hút âm vào khe không khí, ta có đặt nó theo chu vi của (hình 7.30).

e) Đường đặc tính tần số cách âm

Theo các nghiên cứu trình bày ở trên, đường đặc tính tần số cách âm của kết cấu hai lớp sẽ có dạng như trên hình 7.31:

- Đường nghiêng với độ dốc từ 6 đến 8dB/octa.
- Khả năng cách âm của kết cấu giảm ở các tần số cộng hưởng.



Hình 7.31. Đường đặc tính tần số cách âm của kết cấu hai lớp

f_{ch} - tần số cộng hưởng của toàn hệ thống; f_{gh1} , f_{gh2} - tần số giới hạn riêng của mỗi tấm; f_1 , f_2 - tần số cộng hưởng của lớp không khí.

Ví dụ 7.7. Hãy dựng đường đặc tính tần số cách âm R của tường hai lớp bằng gạch đặc 11cm và 6cm, khe không khí dày 2cm (giống ví dụ 7.6), không nhét vật liệu hút âm.

Bài giải:

Khối lượng chung của kết cấu là 340kg/m^2 (xem ví dụ 7.6).

Khả năng cách âm ở tần số 500Hz theo định luật khối lượng đối với kết cấu một lớp có cùng khối lượng là:

$$R = 20\lg 340 \cdot 500 - 54 = 50,6\text{dB}.$$

Vậy khả năng cách âm ở tần số 500Hz của kết cấu hai lớp cao hơn 4dB (khe không khí 2cm):

$$R_{500} = 50,6 + 4 = 54,6\text{dB}.$$

- Xác định các tần số giới hạn của mỗi tấm tường:

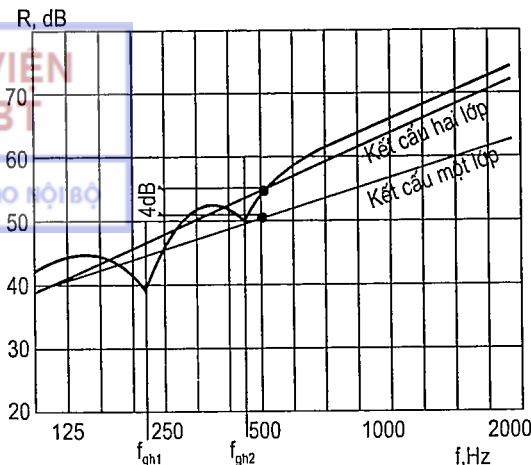
$$f_{gh1} = \frac{2500}{11} = 227\text{Hz}; \quad f_{gh2} = \frac{2500}{6} = 416,7\text{Hz}$$

- Tần số cộng hưởng chung của kết cấu (theo ví dụ 2): $f_{ch} = 67\text{Hz}$.

- Tần số cộng hưởng của khe không khí là:

$$n_1 = 1 \rightarrow f_1 = \frac{340}{2 \cdot 0,02} = 8500\text{Hz} - \text{nằm ngoài phạm vi tính toán cách âm}.$$

Đường đặc tính tần số R có thể dựng gần đúng như trên hình 7.32.



Hình 7.32. Ví dụ dựng đường R của kết cấu hai lớp gạch đặc (11 + 2 + 6)cm

Ví dụ 7.8. Hãy dựng đường đặc tính tần số cách âm R của cửa sổ kính hai lớp dày 6mm và 8mm, khe không khí 13cm có vật liệu hút âm đặt theo chu vi (giống ví dụ 7.5).

Bài giải:

Khối lượng cả hai tấm: $m = 35\text{kg/m}^2$.

Nếu là kết cấu một lớp, theo định luật khối lượng khả năng cách âm ở 500Hz xác định theo công thức (7.13):

$$R = 20\lg 35 \cdot 500 - 54 = 31\text{dB}.$$

Khả năng cách âm của cửa hai lớp kính tăng thêm khoảng 6dB (khe không khí lớn, có vật liệu hút âm theo chu vi). Vậy R ở tần số 500Hz của cửa sổ kính hai lớp là:

$$R \approx 31 + 6 = 37\text{ dB}.$$

- Tần số giới hạn của mỗi lớp kính:

$$f_{gh1} = \frac{1200}{0,6} = 2000\text{Hz};$$

$$f_{gh2} = \frac{1200}{0,8} = 1500\text{Hz}.$$

- Tần số cộng hưởng của toàn hệ thống (công thức 7.18).

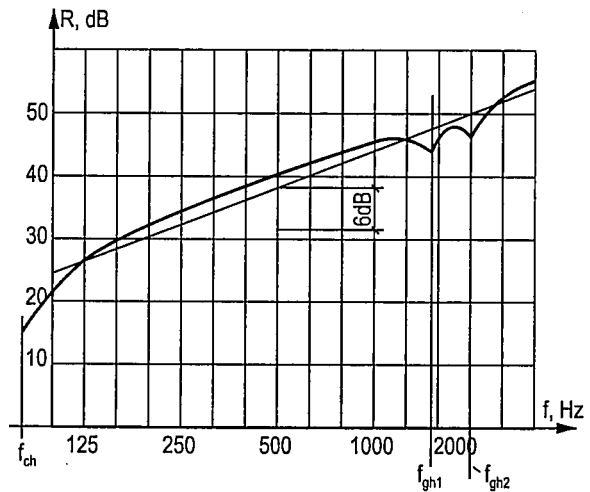
$$f_{ch} = 840 \sqrt{\frac{1}{13} \left(\frac{1}{15} + \frac{1}{20} \right)} \approx 80\text{Hz}$$

- Tần số cộng hưởng của khe không khí:

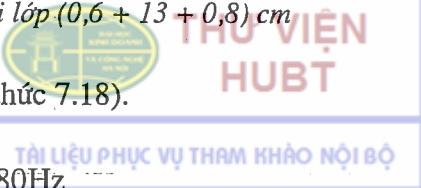
$$f_1 = \frac{340}{2,0,13} = 1300\text{Hz}; f_2 = 2600\text{Hz}; f_3 = 3900\text{Hz}$$

Tuy nhiên không thể xảy ra cộng hưởng nhờ có vật liệu hút âm.

Đường cách âm R của cửa sổ hai lớp dựng gần đúng trên hình 7.33.



Hình 7.33. Ví dụ dựng đường R của cửa kính hai lớp (0,6 + 13 + 0,8) cm



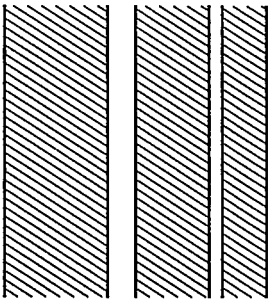
2. Kết cấu ba lớp

Nếu trong kết cấu hai lớp chúng ta lại chia đôi một trong hai lớp chịu lực, ta sẽ được kết cấu ba lớp (hình 7.34). Lúc đó khả năng cách âm lại được nâng cao thêm.

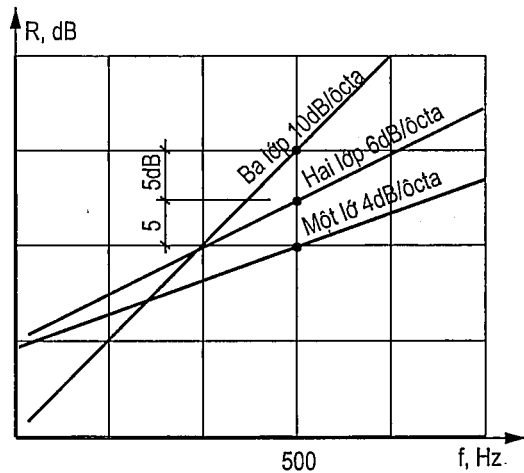
Trong thực tế kết cấu ba lớp đều nặng chỉ sử dụng trong những trường hợp đặc biệt. Ngược lại kết cấu ba lớp nhẹ mới thực sự đáng được quan tâm.

Về mặt âm học, kết cấu ba lớp cũng có các tần số giới hạn của mỗi lớp và tần số cộng hưởng của hai khe không khí.

Các nghiên cứu thực nghiệm cho thấy, độ dốc của đường đặc tính tần số cách âm R của kết cấu ba lớp khoảng $10\text{dB}/\text{octa}$ và độ nâng cao khả năng cách âm của nó ở tần số trung bình khoảng 5dB so với kết cấu hai lớp (hình 7.35).



Hình 7.34. Kết cấu ba lớp



Hình 7.35. So sánh khả năng cách âm của kết cấu một lớp và ba lớp

Ở các tần số thấp, khả năng cách âm của các kết cấu một, hai và ba lớp đều xấp xỉ nhau.

Chú ý: Độ dốc của đường đặc tính cách âm R của kết cấu nhiều lớp trên hình 7.35 nhận được khi khối lượng của các tấm khác nhau không quá lớn. Khi có một tấm quá nhẹ so với các tấm khác thì đường R trên không còn đúng nữa.

7.3.3. Ảnh hưởng của các đường truyền âm gián tiếp

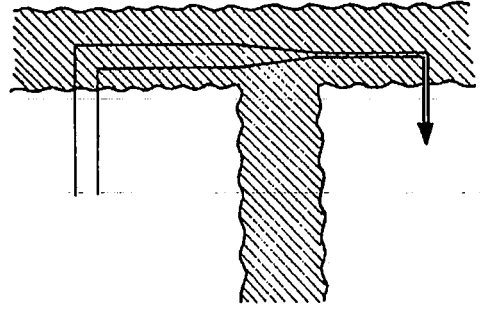
Âm thanh từ phòng có nguồn ồn cũng đập vào các kết cấu kề với kết cấu phân cách hai phòng rồi lan truyền theo kết cấu nhà cửa và xâm nhập vào

phòng cách âm. Đó là các đường truyền âm gián tiếp. Chúng ta hãy xét một số trường hợp thường gặp trong thực tế xây dựng.

Trường hợp 1. Tất cả các kết cấu đều nặng (hình 7.36).

Giả thiết tường ngăn liên kết cứng với trần và sàn.

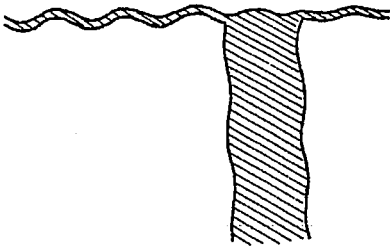
Năng lượng bức xạ từ bốn kết cấu kê với tường ngăn vào phòng cách âm cũng tương đương với năng lượng bức xạ qua tường ngăn. Mức âm tổng cộng trong phòng cách âm sẽ cao hơn ít nhất 3dB so với trường hợp không có truyền âm gián tiếp.



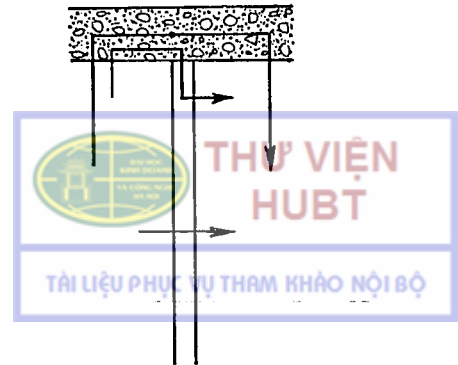
Hình 7.36. Truyền âm gián tiếp các kết cấu đều nặng

Trường hợp 2. Kết cấu liền kề nhẹ hơn kết cấu phân cách hai phòng (hình 7.37).

Năng lượng âm do kết cấu nhẹ bức xạ vào phòng cách âm rất lớn và có thể lớn hơn năng lượng truyền trực tiếp qua kết cấu phân cách hai phòng. Lúc đó dù có tăng chất lượng cách âm kết cấu phân cách, mức ồn trong phòng cách âm cũng không được cải thiện. Chất lượng cách âm của phòng cách âm được quyết định bởi các kết cấu liền kề.



Hình 7.37. Truyền âm gián tiếp khi kết cấu liền kề nhẹ



Hình 7.38. Truyền âm gián tiếp; kết cấu phân cách nhẹ hơn kết cấu liền kề

Trường hợp 3. Kết cấu liền kề nặng, kết cấu phân cách nhẹ (hình 7.38).

Năng lượng truyền âm qua các kết cấu liền kề vào phòng cách âm nhỏ hơn qua kết cấu phân cách hai phòng. Tuy nhiên lúc này lại xuất hiện đường

truyền âm mới: trần bị dao động dễ dàng truyền năng lượng vào kết cấu phân cách có quán tính quá nhỏ. Sự truyền âm qua kết cấu phân cách tăng lên, khả năng cách âm của nó sẽ giảm đi.

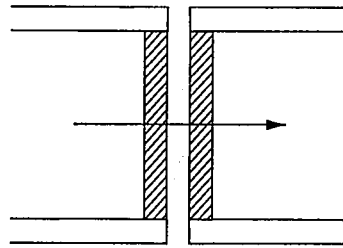
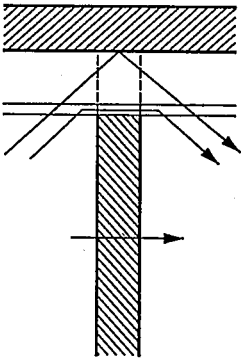
Giải pháp lúc đó, hoặc là tăng thêm khối lượng kết cấu phân cách, hoặc là cách ly nó với các kết cấu liền kề.

Giải pháp thích hợp là kết cấu phân cách hai phòng và các kết cấu liền kề với nó đều có cùng khả năng cách âm.

Trường hợp 4. Trần treo nhẹ (hình 7.39)

Thường hay gặp tường phân cách chỉ cao tới trần treo. Khi đó đường truyền âm gián tiếp tăng lên do âm thanh phản xạ từ trần xuống. Vì vậy chất lượng cách âm của kết cấu phân cách bị giảm đáng kể.

Giải pháp để cải thiện chất lượng cách âm là nâng độ cao tường phân cách tới tận trần (đường chấm chấm trên hình 7.39).



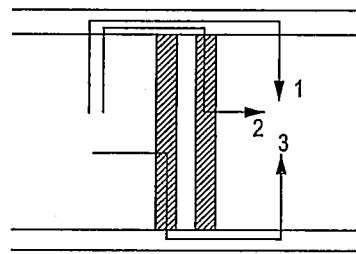
Hình 7.39. Trường hợp trần treo nhẹ

Hình 7.40. Kết cấu hai lớp tách rời

Trường hợp 5. Kết cấu phân cách hai lớp tách rời

Khi cấu tạo hai lớp hoàn toàn tách rời bằng một khe co giãn (hình 7.40), âm thanh truyền vào phòng cách âm chỉ theo đường trực tiếp qua kết cấu phân cách.

Khi kết cấu hai lớp gắn với kết cấu ngang chung cả hai phòng có thể chỉ ra ba đường truyền âm gián tiếp vào phòng cách âm (hình 7.41).



Hình 7.41. Truyền âm gián tiếp qua kết cấu thông hai phòng

Sóng âm 1 trong trường hợp này bị suy yếu ít hơn so với trường hợp kết cấu phân cách một lớp.

Sóng âm 2 truyền vào phòng cách âm càng lớn, nếu kết cấu hai lớp càng nhẹ.

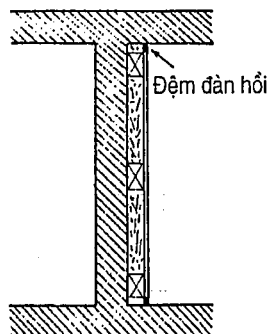
Sóng âm 3 do tấm phân cách phía phòng ồn dao động và truyền theo kết cấu ngang vào phòng cách âm.

Kết quả là khả năng cách âm của kết cấu hai lớp cũng không hơn gì kết cấu một lớp có cùng khối lượng.

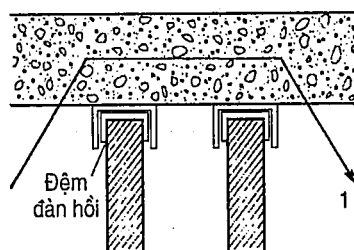
Giải pháp để giảm đường truyền âm gián tiếp như sau:

- Tạo kết cấu hai lớp gồm một lớp kết cấu nặng và một tấm nhẹ. Khi đó sẽ hạn chế được đường truyền âm 2 (hình 7.42).

- Tạo liên kết mềm để cách ly kết cấu phân cách với kết cấu ngang. Khi đó chỉ còn đường truyền âm 1 sang phòng cách âm (hình 7.43).



Hình 7.42. Kết cấu gồm một lớp nặng và một lớp nhẹ



Hình 7.43. Cách ly kết cấu hai lớp với kết cấu ngang

7.3.4. Các kết cấu không đồng nhất về cách âm

Đó là những kết cấu có khả năng cách âm không như nhau trên suốt bề mặt của nó, như trong tường có cửa sổ, cửa đi, các lỗ và khe hở v.v. KHẢO NỘI BỘ

1. Ảnh hưởng của các khe và lỗ hở đến cách âm

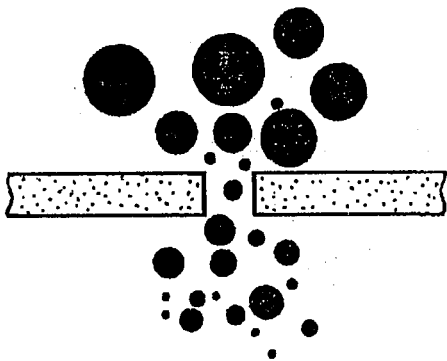
Khi trên kết cấu có các lỗ hoặc khe hở, âm thanh sẽ truyền qua chúng khá dễ dàng. Tuy nhiên khả năng cách âm của chúng không phải bằng không, mà phụ thuộc vào kích thước lỗ hở.

Sự truyền âm qua các lỗ hở phụ thuộc vào quan hệ giữa bước sóng âm và kích thước lỗ hở có thể hình dung dưới dạng các "viên bi âm thanh" (hình 7.44). Viên bi nhỏ tương ứng với âm tần số cao, viên bi lớn - âm tần số thấp.

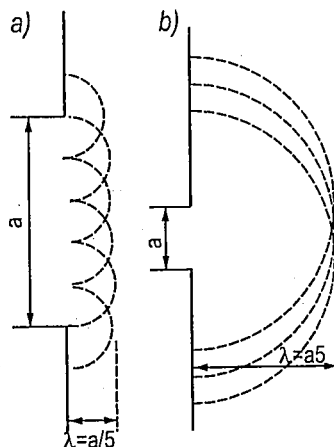
Tùy theo kích thước lỗ mà nó cho qua những viên bi cỡ nào. Kích thước lỗ càng lớn càng cho nhiều cỡ bi qua. Vì vậy mà *một lỗ kích thước lớn sẽ làm giảm cách âm hơn nhiều lỗ nhỏ có tổng diện tích bằng lỗ lớn.*

Nói chính xác hơn, khi kích thước lỗ hở lớn hơn bước sóng của âm tới, mặt sóng âm truyền qua sẽ là mặt phẳng (hình 7.45a), lúc đó có thể coi như toàn bộ âm thanh tới được truyền qua lỗ. Khi bước sóng âm tới lớn hơn kích thước lỗ, sóng truyền âm qua là sóng cầu (hình 7.45b), một phần năng lượng phản xạ trở lại.

Trường hợp có một lỗ hở và một khe hở diện tích bằng nhau, thì *năng lượng âm truyền qua khe hở luôn lớn hơn năng lượng truyền qua lỗ hở*, nguyên nhân là sóng âm truyền qua khe hở là sóng trụ, có trở sóng nhỏ hơn của sóng cầu truyền qua lỗ hở.



Hình 7.42. Âm thanh như những viên bi



Hình 7.43. Sự truyền âm qua lỗ có kích thước khác nhau

Nghiên cứu thực nghiệm về sự giảm khả năng cách âm do có lỗ hở trong các kết cấu khác nhau cho phép rút ra một kết luận quan trọng sau đây: *Lỗ hở trong các kết cấu có khả năng cách âm lớn làm giảm khả năng cách âm của nó nhiều hơn trong các kết cấu có khả năng cách âm nhỏ hơn.*

Ví dụ: một lỗ hở đường kính 15mm làm giảm 5,6dB khả năng cách âm của tường có $R = 40\text{dB}$, trong khi chỉ làm giảm 0,5dB của tường có $R = 25\text{dB}$.

Kết luận này có ý nghĩa thực tiễn quan trọng: *kết cấu càng có khả năng cách âm cao, càng phải xử lý thật kín các khe, lỗ hở.*

2. Khả năng cách âm của cửa đi và cửa sổ

Cửa đi và cửa sổ là bộ phận cách âm yếu nhất trong kết cấu nhà cửa vì chúng thường có chiều dày bé, trọng lượng nhỏ và khó bịt kín các lỗ và khe hở.

a) Cửa đi

Có thể chia làm 3 loại:

- Cửa nhẹ, có thể có một phần chớp hoặc để hở, thông thoáng. Khi đó khả năng cách âm của cửa rất kém hoặc hoàn toàn không khả năng cách âm.

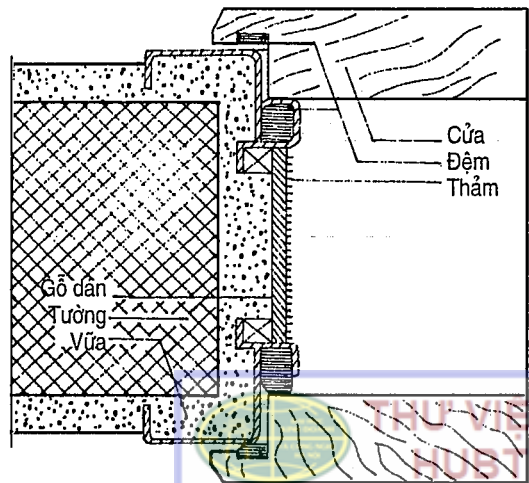
- Cửa nặng, dùng ở các lối ra vào chính hoặc các phòng chính, khả năng cách âm có thể đạt tới 20 - 30dB ở các tần số.

- Cửa cách âm đặc biệt thường dùng cho các phòng có yêu cầu độ yên tĩnh cao như studio âm thanh, các phòng hòa nhạc, học nhạc v.v... Các cửa này được cấu tạo đặc biệt, thường có nhiều lớp, khối lượng lớn.

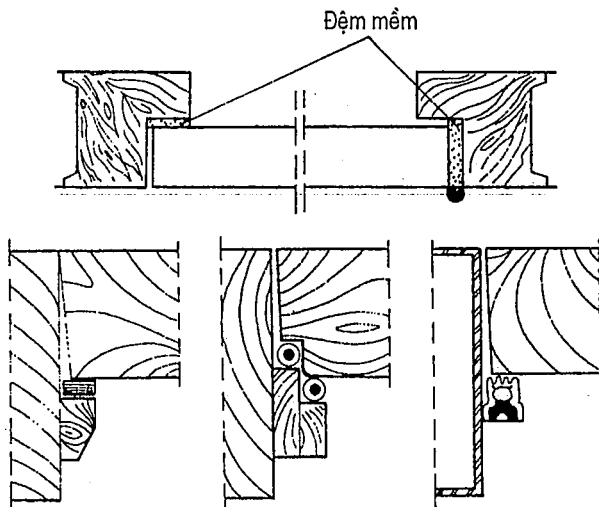
Trên hình 7.46 giới thiệu cấu tạo một cửa cách âm hai cánh cho các studio truyền hình. Không gian giữa hai cánh cửa có bố trí vật liệu hút âm và tạo thành một "ống khóa cách âm". Khả năng cách âm của nó có thể đạt 30 - 35dB ở tần số thấp, 40 - 45dB ở tần số trung và 45 - 50dB ở tần số cao.

Đối với các cửa nặng và nhất là cửa cách âm, việc chèn kín khe hở giữa cánh cửa và khuôn cửa cũng như giữa cánh cửa và sàn nhà có ý nghĩa rất lớn về cách âm. Thực nghiệm cho thấy các khe hở có thể làm giảm khả năng cách âm của cửa từ 5 đến 10dB.

Trên hình 7.47 và 7.48 giới thiệu một số giải pháp cấu tạo chèn kín khe hở của cửa. Các cửa bằng gỗ rất dễ biến dạng (cong, vênh) do thời tiết, vì vậy cần phải hết sức lưu ý việc chèn kín các khe hở.



Hình 7.46. Cửa cách âm hai cánh trong studio truyền hình



Hình 7.47. Giải pháp chèn kín khe hở giữa khuôn cửa và cánh cửa

b) Cửa sổ

Chúng ta không đề cập đến cửa chớp vì chúng chỉ có tác dụng che nắng và thông thoáng mà hoàn toàn không có khả năng cách âm.

Các cửa kính thông thường với chiều dày kính 3 - 5mm, khi đóng kín và chèn kỹ các khe hở chỉ đạt được khả năng cách âm từ 10 đến 20dB.

Các tấm kính dán hai lớp (3/3mm đến 6/6mm) có thể đạt chỉ số cách âm không khí CK từ 32 đến 37dB. Kính dán ba lớp (3/6/4mm đến 6/6/6mm) có thể đạt CK = 35 - 39dB. Đặc tính tần số khả năng cách âm của các loại kính cửa giới thiệu ở PL3. Tuy nhiên khi lắp chúng vào cửa, khả năng cách âm còn phụ thuộc rất nhiều vào kết cấu khuôn và cánh cửa cũng như vào độ kín của chúng.

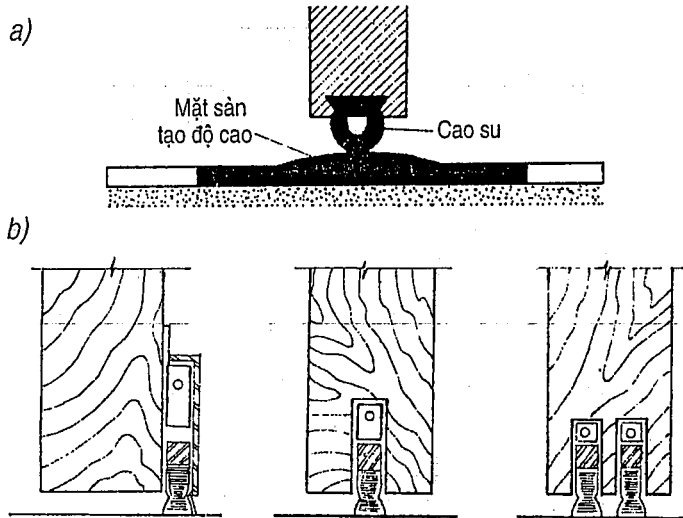
Ở Pháp [17] người ta chia cửa sổ thành ba loại cách âm và có yêu cầu sử dụng tùy theo vị trí của nhà tương đối với các nguồn ồn.

- Loại 30dB (A): cửa kính một lớp (kính dày 8mm) hoặc hai lớp (dày 4mm) với khe không khí 6mm, và phải bịt kín các khe hở;

- Loại 35dB (A): cửa kính một lớp với kính dày 19mm hoặc nhiều lớp kính dán. Nếu kính là hai lớp thì khe hở giữa chúng ít nhất 45mm. Phải làm thật kín các khe hở trong cửa.

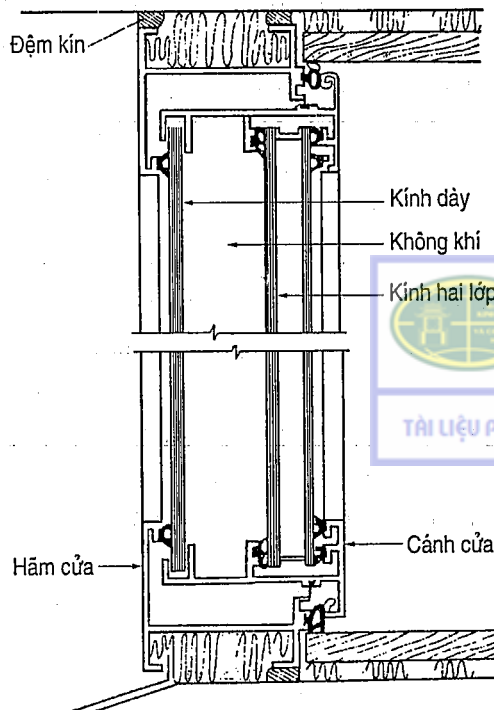
- Loại 42dB(A): cửa kính hai lớp, khoảng không khí giữa là 10cm. Cửa phải làm thật kín các khe hở.

Trong điều kiện Việt Nam các cửa sổ cách âm chỉ có ý nghĩa trong các phòng đóng kín có sử dụng hệ thống điều hòa không khí. Khi cửa sổ mở, tác dụng cách âm của chúng không còn nữa.



Hình 7.48. Giải pháp làm kín khe hở giữa cánh cửa và sàn:
a) Kiểu đơn giản; b) Kiểu tự động

Trên hình 7.49 giới thiệu cấu tạo một cửa kính cách âm đặc biệt có khuôn bằng nhựa cứng, không bị biến dạng theo thời tiết.



Hình 7.49. Cấu tạo cửa kính cách âm



3. Xác định khả năng cách âm trung bình của kết cấu không đồng nhất

Giả thiết có một bức tường diện tích S gồm phần tường diện tích S_1 có khả năng cách âm R_1 và một cửa sổ diện tích S_2 có khả năng cách âm R_2 (hình 7.50).

Theo công thức (7.2) ta có:

$$R_1 = 10 \lg \frac{1}{\tau_1} \text{ và } R_2 = 10 \lg \frac{1}{\tau_2}$$

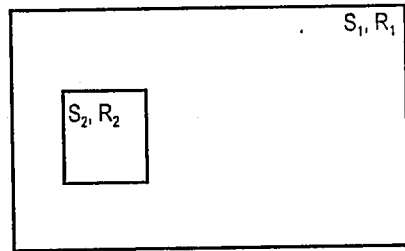
trong đó: τ_1 và τ_2 - hệ số truyền âm qua tường và qua cửa sổ, nghĩa là tỷ số năng lượng âm thanh truyền qua tính trên 1m^2 tường và cửa.

Vậy nếu gọi τ là tỷ số năng lượng âm trung bình truyền qua toàn bộ kết cấu, ta có:

$$\tau(S_1 + S_2) = \tau_1 S_1 + \tau_2 S_2$$

(năng lượng truyền qua toàn bộ kết cấu bằng tổng năng lượng truyền qua mỗi phần của kết cấu).

Khả năng cách âm trung bình của toàn kết cấu theo định nghĩa là:



Hình 7.50. Kết cấu không đồng nhất

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau} = 10 \lg \frac{S_1 + S_2}{\tau_1 S_1 + \tau_2 S_2}$$

hay $R = 10 \lg \frac{\Sigma S_i}{\Sigma \tau_i S_i}$ (7.20)

Ví dụ 7.9. Hãy xác định khả năng cách âm trung bình của một kết cấu gồm: tường gạch đặc $S_1 = 20\text{m}^2$; $R_1 = 40\text{dB}$; và cửa sổ $S_2 = 2\text{m}^2$; $R_2 = 20\text{dB}$.

Bài giải:

Xác định hệ số truyền âm qua mỗi bộ phận:

$$R_1 = 40\text{dB} = 10 \lg \frac{1}{\tau_1} \rightarrow \tau_1 = 10^{-4}$$

$$R_2 = 20\text{dB} = 10 \lg \frac{1}{\tau_2} \rightarrow \tau_2 = 10^{-2}$$

Áp dụng công thức (7.20) ta xác định được khả năng cách âm trung bình của kết cấu:

$$R = 10 \lg \frac{20 + 2}{10^{-4} \cdot 20 + 10^{-2} \cdot 2} = 10 \lg \frac{22}{10^{-4} \cdot 220};$$

$$R = 10 \lg 10^3 = 30 \text{dB}.$$

Ví dụ 7.10. Cũng ví dụ trên khi $R_1 = 50 \text{dB}$.

Bài giải:

Khả năng cách âm trung bình của kết cấu:

$$R = 10 \lg \frac{20 - 2}{10^{-5} \cdot 20} + 10^{-2} \cdot 2 = 10 \lg \frac{22}{2020 \cdot 10^{-5}}; R = 30,4 \text{dB}.$$

Nhận xét:

- Từ ví dụ 7.9 ta thấy cửa sổ tuy có diện tích chỉ bằng 1/10 diện tích tường nhưng do khả năng cách âm của nó chỉ bằng nửa của tường, đã làm giảm khả năng cách âm của tường 10dB (giảm 1/4 khả năng cách âm của tường).
- Từ hai ví dụ 7.9 và 7.10 ta thấy, cùng một cửa sổ có thể làm giảm mạnh hơn khả năng cách âm của tường nào có khả năng cách âm cao hơn. Thật vậy, cửa sổ làm giảm cách âm đối với tường $R = 40 \text{dB}$ chỉ 10 dB nhưng với tường $R = 50 \text{dB}$ tới gần 20dB.

Thay việc xác định khả năng cách âm trung bình theo công thức (7.20), chúng ta có thể xác định nó theo biểu đồ hình 7.51 [15].

Khi đó: R_1 và R_2 là khả năng cách âm của các phần có diện tích S_1 và S_2 , với $R_1 > R_2$.

R - khả năng cách âm trung bình của kết cấu.

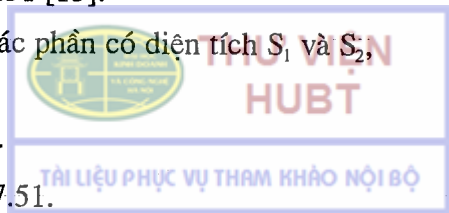
Ví dụ 7.11. Như ví dụ 7.9 giải bằng biểu đồ 7.51.

Bài giải: $R_1 - R_2 = 40 - 20 = 20 \text{dB}.$

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{20}{2} = 10.$$

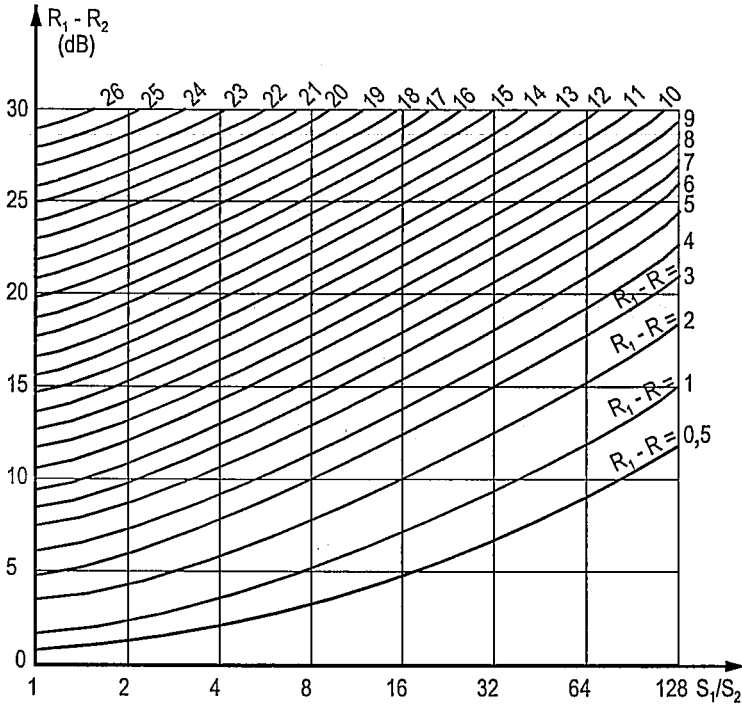
Tra biểu đồ 7.51, ta có:

$$R_1 - R = 10 \text{dB}.$$



Vậy

$$R = 40 - 10 = 30\text{dB.}$$



Hình 7.51. Biểu đồ xác định khả năng cách âm trung bình của kết cấu cách âm không đồng nhất

7.3.5. Mức ồn tổng cộng truyền vào phòng

Mục đích của cách âm các kết cấu nhà cửa là để hạn chế mức ồn từ bên ngoài truyền vào phòng, nhằm đạt được một môi trường âm thanh cho phép cho các hoạt động của con người trong các phòng đó (xem chương 6, mục 6.2). Thường thì khả năng cách âm của các kết cấu ngăn cách phòng không đều nhau, sau các kết cấu có khả năng cách âm lớn là những nguồn ồn có mức cao, còn phía các nguồn ồn thấp hơn chỉ cần các kết cấu có khả năng cách âm nhỏ.

Mức ồn tổng cộng trong phòng là tổng năng lượng tiếng ồn truyền qua tất cả các kết cấu vào phòng, không kể tiếng ồn sinh ra trong bản thân phòng đó.

Từ công thức (7.1) ta tính được năng lượng âm truyền qua một đơn vị diện tích kết cấu phân cách là (xem hình 7.3):

$$t = i \cdot \tau$$

τ và R_i quan hệ với nhau theo công thức (7.2), do đó:

$$\tau = 10^{-0,1R_i}$$

Mức âm phía sau kết cấu L_i quan hệ với i (năng lượng âm tới kết cấu) theo công thức (1.6) hoặc (1.9). Ta có:

$$i = 10^{0,1L_i}$$

(bỏ qua giá trị rất nhỏ $10\lg i_0$ - với i_0 là năng lượng âm ở ngưỡng nghe).

Vậy: $t = i \cdot \tau = 10^{0,1(L_i - R_i)}$

Năng lượng âm truyền qua mỗi kết cấu diện tích S_i là:

$$S_{i,t} = S_i \cdot 10^{0,1(L_i - R_i)}$$

Mức âm tổng cộng trong phòng bằng tổng năng lượng âm truyền qua tất cả các kết cấu:

$$L_\Sigma = 10 \lg \sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{0,1(L_i - R_i)} - 10 \lg A \quad (7.21)$$

Chú ý: L_i là mức ồn sau kết cấu thứ i có diện tích S_i và khả năng cách âm R_i , còn A là lượng hút âm trong phòng cách âm (m^2). n là số lượng kết cấu của phòng.

Ví dụ 7.12. Hãy xác định tổng mức ồn truyền qua kết cấu vào phòng có lượng hút âm $A = 20m^2$ khi phòng có một bức tường có cửa sổ quay ra đường phố có mức ồn cao. Đặc điểm của các kết cấu và mức ồn phía sau nó cho trong bảng 7.2.

Bài giải:

Tính toán mức ồn truyền qua mỗi kết cấu thực hiện trong bảng 7.2.

Bảng 7.2. Tính toán mức ồn truyền vào phòng

Tên kết cấu	S_i, m^2	R_i, dB	L_i, dB	$10^{0,1(L_i - R_i)}$	$S_i \cdot 10^{0,1(L_i - R_i)}$
Tường ngoài	15	50	80	10^3	$15 \cdot 10^3$
Cửa sổ	5	30	80	10^5	$5 \cdot 10^5$
Tường trong	45	40	70	10^3	$45 \cdot 10^3$
Cửa đi	2	30	70	10^4	$2 \cdot 10^4$

Tính: $\Sigma S_i \cdot 10^{0,1(L_i - R_i)} = 58 \cdot 10^4$.

Tổng mức ồn truyền qua các kết cấu vào phòng:

$$L_E = 10 \lg 58 \cdot 10^4 - 10 \lg 20 = 57,6 - 13 = 44,6 \text{ dB} \approx 45 \text{ dB}.$$

So sánh với tiêu chuẩn mức ồn cho phép trong nhà ở (bảng 6.6) chúng ta thấy khi đóng cửa sổ mức ồn trong phòng đạt tiêu chuẩn cho phép.

7.3.6. Kết luận về cách âm không khí của kết cấu

Từ các nghiên cứu trong mục 7.3 chúng ta có thể rút ra những đặc điểm làm việc cách âm không khí và các biện pháp chính nâng cao khả năng cách âm của các kết cấu sau đây.

1. Đối với các kết cấu một lớp, đồng nhất cần quan tâm hai phạm vi làm việc cách âm chủ yếu:

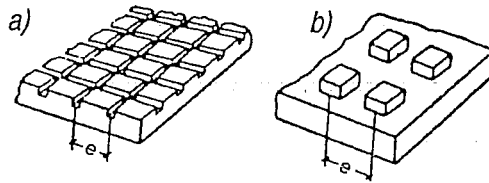
- Phạm vi các tần số thấp và trung bình, khả năng cách âm tuân theo quy luật khối lượng và quy luật tần số. Khi khối lượng kết cấu (kg/m^2) hoặc tần số âm tăng gấp đôi khả năng cách âm tăng thực tế thêm 4dB (theo lý thuyết tăng 6dB, công thức 7.13). Nói khác đi đường đặc tính tần số cách âm thực tế có độ dốc 4dB/octa.

- Ở phạm vi các tần số trung bình và cao có thể xuất hiện hiện tượng trùng sóng làm giảm khả năng cách âm của kết cấu từ 6 đến 10dB (phụ thuộc vào hệ số mất mát của vật liệu kết cấu). Trên tần số này khả năng cách âm lại tăng theo quy luật tần số từ 10dB/octa rồi giảm đến 6dB/octa.

Như vậy đối với kết cấu một lớp, muốn nâng cao khả năng cách âm cần phải tăng chiều dày và khối lượng kết cấu.

2. Kết cấu nhiều lớp (thường từ hai đến ba lớp) có thể nâng cao được khả năng cách âm ở tần số trung bình từ 4 đến 9dB, so với kết cấu một lớp có cùng khối lượng. Đồng thời khả năng cách âm cũng tăng nhanh hơn theo quy luật tần số (từ 6 đến 8dB/octa đối với kết cấu hai lớp, 10dB/octa - kết cấu ba lớp), Khi cấu tạo kết cấu hai, ba lớp cần làm giảm ảnh hưởng của các tần số cộng hưởng đến khả năng cách âm bằng các biện pháp sau:

- Các tần số giới hạn của mỗi lớp kết cấu không được trùng nhau. Muốn vậy các lớp kết cấu cần có khối lượng và độ cứng khác nhau. Trên hình 7.52 giới thiệu hai biện pháp làm giảm độ cứng (xẻ rãnh trên bề mặt hoặc gia tăng khối lượng) khi vật liệu kết cấu hai lớp như nhau.

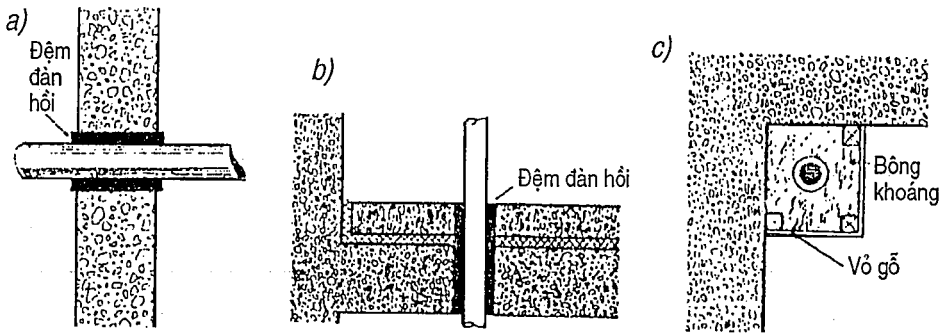


Hình 7.52. Biện pháp làm giảm độ cứng của kết cấu

- Hạ thấp tần số cộng hưởng chung của toàn bộ kết cấu xuống dưới tần số thấp nhất của phạm vi khảo sát cách âm ($f_{ch} < 100\text{Hz}$) bằng cách điều chỉnh chiều dày lớp không khí giữa các lớp kết cấu theo công thức (7.18).

Tránh cộng hưởng của khe không khí bằng cách cho vật liệu hút âm vào giữa các tấm.

3. Cần sử dụng các biện pháp cấu tạo kiến trúc để giảm các đường truyền âm gián tiếp vào phòng cách âm (xem mục 7.3.3).



Hình 7.53. Xử lý kín các đường ống qua tường (a) và qua sàn (b); (c)

4. Các khe và lỗ hở làm giảm rất đáng kể khả năng cách âm của kết cấu. Kết cấu có khả năng cách âm càng cao, ảnh hưởng của khe lỗ hở càng lớn. Vì vậy muốn nâng cao khả năng cách âm của kết cấu, trước hết phải xử lý thật kín các khe và lỗ hở. Trên hình 7.53 giới thiệu cách bịt kín khe hở quanh các đường ống qua tường và qua sàn.

5. Cửa sổ và cửa đi thường là bộ phận cách âm yếu nhất trong kết cấu nhà cửa do khối lượng nhỏ và có nhiều khe lỗ hở.

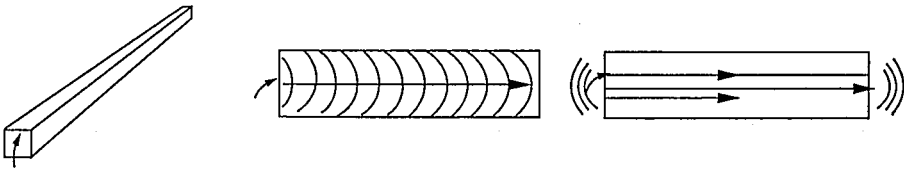
Biện pháp nâng cao khả năng cách âm của cả là sử dụng cửa có các đệm đàn hồi bịt kín các khe hở chung quanh cửa.

6. Trong mỗi kết cấu, khả năng cách âm giữa các bộ phận cần phải đồng đều. Muốn nâng cao khả năng cách âm của toàn kết cấu, trước hết cần phải nâng cao cách âm của bộ phận cách âm yếu nhất.

7.4. CÁCH ÂM VA CHẠM CHO SÀN NHÀ

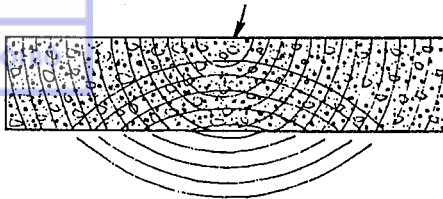
7.4.1. Sự lan truyền âm va chạm

Xét trường hợp đơn giản khi va chạm xảy ra với một thanh dầm (hình 7.54). Năng lượng va chạm tác động vào đầu dầm, một phần làm búa nảy ngược trở lại, một phần làm thanh dầm chuyển dịch về phía trước và một phần làm nó dao động, phát ra âm không khí. Năng lượng âm truyền vào vật liệu, lan truyền rất nhanh, theo sóng dọc và sóng ngang (vận tốc lan truyền âm trong các vật liệu khác nhau xem bảng 1.1, chương 1). Khi sóng âm truyền đến cuối dầm, một phần bức xạ vào không khí, phần lớn sẽ phản xạ trở lại và truyền ngược đến đầu dầm, rồi lại phản xạ và truyền đến cuối dầm... Sự lan truyền âm cứ lặp đi lặp lại và giảm dần năng lượng từng ít một do năng lượng bức xạ vào không khí và biến thành nhiệt năng (do ma sát giữa các nguyên tử) cho đến khi tắt hẳn. Năng lượng âm bức xạ vào không khí ở cuối dầm có tính chất chu kỳ, mỗi khi sóng âm lan tới.



Hình 7.54. Lan truyền âm va chạm trong thanh

Trường hợp va chạm xảy ra trên sàn, sóng dao động cũng lan truyền rất nhanh trong vật liệu. Khi tới mặt sàn một phần lớn năng lượng phản xạ trở lại mặt trên, phần nhỏ bức xạ vào phòng dưới sàn thành âm không khí (hình 7.55).



Hình 7.55. Lan truyền âm va chạm trong sàn

Tuy nhiên, khác với dầm, khi va chạm trên sàn còn tạo ra một biến dạng cục bộ tại sàn và lan truyền dưới dạng sóng uốn, giống như trường hợp của âm không khí. Các sóng uốn này cũng bức xạ âm thanh vào phòng dưới sàn.

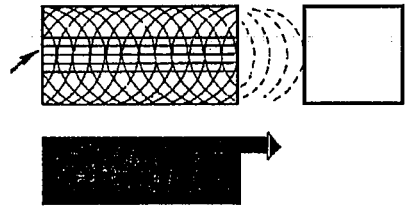
Mặt khác cũng có thể xảy ra cộng hưởng của sàn, và cũng giống như trường hợp của âm không khí, cộng hưởng xảy ra ở các tần số rất thấp, nằm ngoài phạm vi khảo sát cách âm.

Khác với lan truyền âm không khí, năng lượng âm va chạm có trị số lớn, lại tắt dần rất chậm nên lan truyền đi khá xa đến các phòng khác trong nhà (hình 7.7).

7.4.2. Các biện pháp giảm sự lan truyền âm va chạm

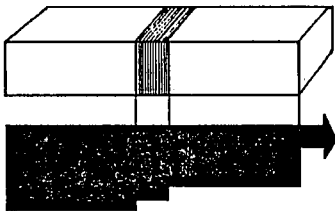
Chúng ta trở lại làm thực nghiệm với một thanh dầm, các kết quả khảo sát định tính được mô tả cho các trường hợp dưới đây:

1. Trường hợp cắt rời thanh dầm (hình 7.56): sóng dao động lan truyền qua lại trong nửa thanh dầm bị tác động và chạm. Một phần năng lượng bức xạ vào không khí nhưng không thể truyền sang nửa thanh phía bên kia (biểu đồ năng lượng được vẽ phía dưới mỗi hình).

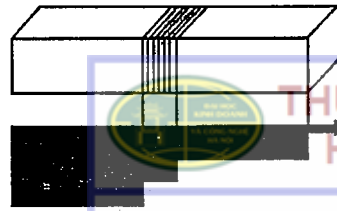


Hình 7.56. Truyền âm và chạm khi cắt đôi dầm

2. Trường hợp cắt rời thanh dầm thành hai đoạn rồi ghép vào giữa một loại vật liệu cứng và nặng (hình 7.57). Khi đó, chỉ có một phần nhỏ năng lượng bị phản xạ trở lại từ mặt giới hạn, còn phần lớn năng lượng vẫn truyền qua nửa thứ hai.



Hình 7.57. Trường hợp cắt rời dầm và ghép vật liệu cứng vào giữa



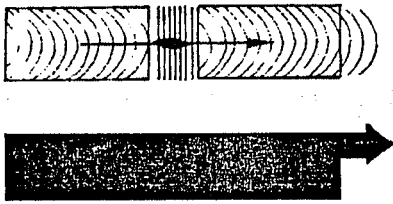
Hình 7.58. Trường hợp cắt rời dầm và ghép bằng vật liệu mềm, đàn hồi

3. Trường hợp thay vào phần ghép bằng vật liệu mềm và đàn hồi (hình 7.58). Năng lượng truyền tới mặt giới hạn phần lớn bị phản xạ trở lại, một phần nhỏ truyền qua lớp đàn hồi, sau đó lại phản xạ ngược lại từ mặt giới hạn thứ hai và chỉ có một phần nhỏ năng lượng được truyền qua nửa thứ hai của thanh dầm. Năng lượng này khi tới đầu mút dầm chỉ có thể bức xạ một

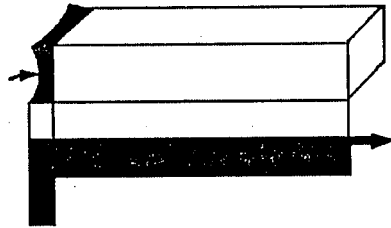
phần nhỏ năng lượng thành âm không khí. Năng lượng phản xạ tại các mặt giới hạn sẽ càng lớn nếu độ chênh lệch tính năng giữa vật liệu dầm và vật liệu đàn hồi càng nhiều.

4. Trường hợp cắt thanh dầm nhưng giữ lại lõi cứng (ví dụ cốt thép chẳng hạn) (hình 7.59). Năng lượng âm vẫn tìm được đường qua lõi cứng lan truyền đến nửa bị cắt. Đường lan truyền qua lõi được gọi là "cầu âm", cần phải được hết sức quan tâm khi thi công xây dựng nhà cửa.

5. Trường hợp đệm đầu thanh dầm, nơi xảy ra va chạm, bằng một vật liệu mềm và đàn hồi (hình 7.60). Khi đó va chạm làm biến dạng vật liệu và năng lượng âm bị tiêu tốn khá nhiều, phần còn lại truyền vào thanh dầm rất nhỏ.



Hình 7.59. Cắt thanh dầm nhưng giữ lại lõi cứng

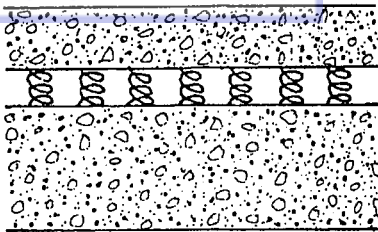


Hình 7.60. Trường hợp đệm vật liệu đàn hồi ở đầu dầm

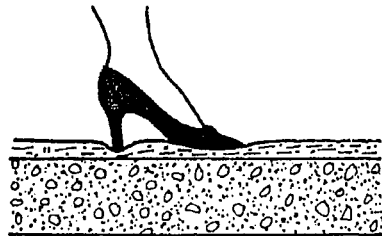
Kết luận:

Từ các nghiên cứu thực nghiệm ở trên có thể rút ra hai nguyên tắc cơ bản để giảm bớt sự lan truyền âm và chạm:

- Nguyên tắc 1. Muốn làm giảm đáng kể sự lan truyền âm và chạm trong kết cấu, cần phải cắt rời kết cấu, hoặc đưa vào giữa chúng các lớp vật liệu đàn hồi (hình 7.61).



Hình 7.61. Nguyên tắc cắt rời kết cấu và đưa vào lớp đệm đàn hồi



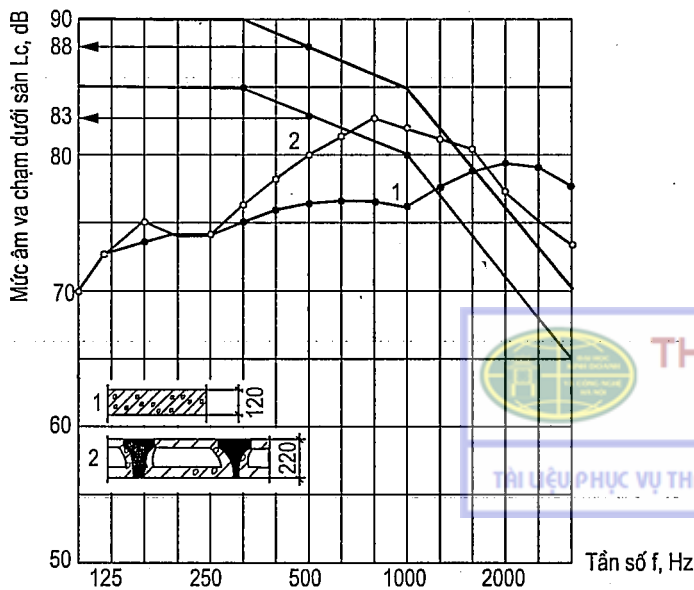
Hình 7.62. Nguyên tắc đặt vật liệu đàn hồi trên mặt chịu va chạm

- Nguyên tắc 2. Muốn giảm năng lượng âm và chạm truyền vào kết cấu, cần phải sử dụng các vật liệu mềm, đàn hồi đặt trên bề mặt va chạm (mặt sàn), (hình 7.62).

Các nguyên tắc nêu trên được vận dụng để cấu tạo các sàn nhà trong xây dựng.

7.4.3. Độ giảm mức âm và chạm của lớp mặt sàn cách âm

Sàn một lớp (chỉ có kết cấu chịu lực, không có các lớp cách âm) không đạt được yêu cầu tiêu chuẩn về cách âm và chạm. Mức ồn và chạm dưới sàn này khi máy va chạm chuẩn làm việc trên sàn là rất cao. Trên hình 7.63 là mức ồn và chạm dưới hai loại tấm chịu lực sàn theo kết quả đo lường của Gösele K. (Stuttgart, Đức) và của các tác giả [36]. Chỉ số cách âm và chạm CV lên tới 83dB và 88dB. Muốn đạt được chỉ số cách âm tiêu chuẩn, ví dụ cho nhà ở CV = 62dB, cần phải đưa vào sàn các lớp cách âm để hạ thấp mức ồn và chạm trung bình 10dB (ở các tần số thấp), 15 - 20dB ở các tần số trung và khoảng 26dB - 28dB ở các tần số cao (xem hình 7.63).



Hình 7.63. Mức âm và chạm dưới tấm chịu lực của sàn

Như vậy, nếu gọi L_0 là mức âm và chạm chuẩn dưới tấm chịu lực và ΔL là độ giảm mức âm và chạm do lớp mặt sàn có đệm cách âm, thì mức âm và chạm chuẩn dưới sàn cách âm (L_c) có thể xác định theo công thức:

$$L'_c = L_o - \Delta L \quad (7.22)$$

Chúng ta có thể dùng trị số ΔL để so sánh, đánh giá chất lượng cách âm của các lớp cách âm đưa vào sàn. ΔL càng lớn, độ giảm mức âm va chạm càng lớn, chất lượng cách âm của sàn càng cao.

7.4.4. Các loại sàn cách âm

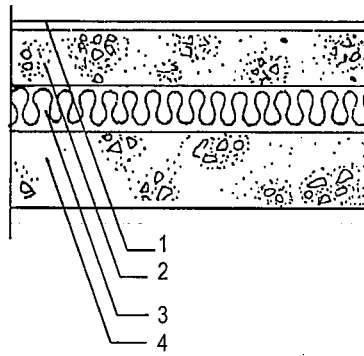
Theo các nguyên tắc cấu tạo cơ bản để giảm bớt sự lan truyền âm va chạm đã trình bày ở trên, trong thực tế xây dựng hiện nay thường sử dụng các loại sàn cách âm sau đây:

1. Sàn nổi

Cấu tạo của sàn nổi thực hiện theo nguyên tắc thứ nhất, gồm một lớp mặt sàn đặt "nổi" trên tấm chịu lực nhờ một lớp đệm đàn hồi (hình 7.64).

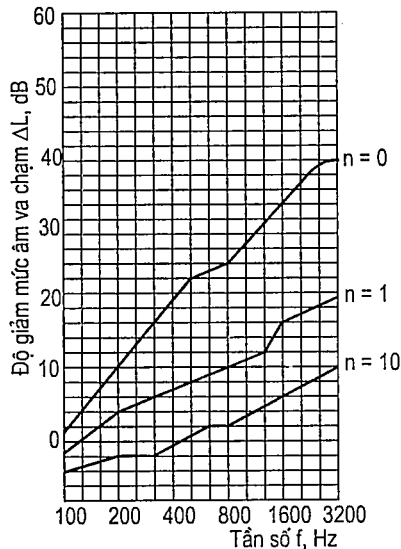
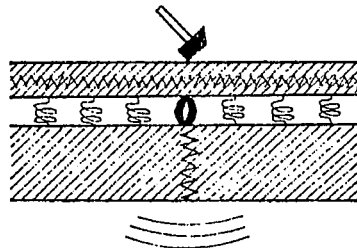
Mặt sàn sạch ở nước ta thường dùng các loại gạch gốm, gạch xi măng, đá hay các tấm lát bằng vật liệu nhân tạo (nhựa). Lớp chịu lực mặt sàn có thể là đan bê tông (đầy 4cm) hoặc các loại tương tự chịu được tải trọng trên sàn mà không bị biến dạng.

Đệm đàn hồi chính là lớp cách âm va chạm, có thể dùng bông khoáng, tấm sợi gỗ mềm, thảm bằng xơ đay hoặc xơ dừa, cao su, gỗ bấc (lie) hoặc loại xốp bằng nhựa. Chiều dày của lớp đệm đàn hồi bằng một lớp đệm cát 3 - 5cm, nhưng chất lượng cách âm va chạm sẽ kém hơn ít nhiều.



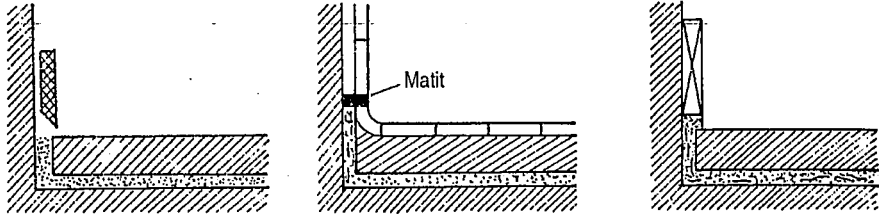
Hình 7.64. Cấu tạo sàn nổi:

1- Mặt sàn sạch; 2- Tấm chịu lực của mặt sàn (1+2 là lớp mặt sàn); 3- Đệm đàn hồi; 4- Tấm chịu lực.



Hình 7.65. Ảnh hưởng của cấu âm là những viên sỏi đến cách âm va chạm sàn (n - số lượng viên sỏi)

Chất lượng cách âm của sàn nổi tương đối cao phụ thuộc vào loại vật liệu của lớp đàn hồi. Khi thi công sàn này cần phải chú ý không tạo thành "cầu âm" làm giảm chất lượng cách âm và chạp của nó. Trên hình 7.65 là nghiên cứu thực nghiệm [15] cho thấy ảnh hưởng của những viên sỏi chen lẫn trong lớp đàn hồi (khi không có, có 1 viên và 10 viên) làm thay đổi độ giảm mức âm và chạp dưới sàn nổi như thế nào. Khi trong lớp đàn hồi có 10 viên sỏi thì chất lượng cách âm và chạp của nó hầu như không còn nữa!

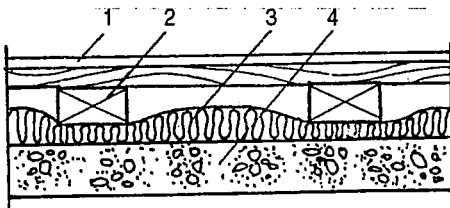


Hình 7.66. Các biện pháp cấu tạo chân tường để tránh "cầu âm"

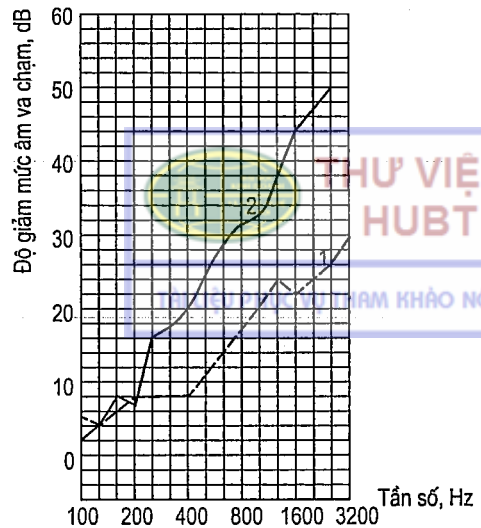
Trên hình 7.66 là các biện pháp cấu tạo chân tường để tránh đường truyền âm gián tiếp từ sàn vào tường.

2. Sàn ván ghép và sàn packê

Ván ghép và packê có thể đặt trực tiếp trên tấm chịu lực sàn hoặc trên một hệ dầm gỗ. Khả năng cách âm và chạp của sàn này chỉ nâng cao đôi chút nhờ sự khác nhau về tính đàn hồi giữa bê tông và gỗ.



Hình 7.67. Cấu tạo sàn packê:
1- Mặt sàn; 2 - Dầm gỗ; 3- Bông khoáng; 4- Tấm chịu lực

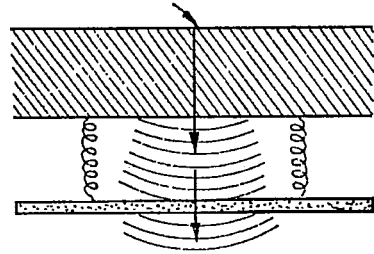


Hình 7.68. Độ giảm mức âm và chạp của sàn packê trên đệm cát (1) và trên lớp bông khoáng (2)

Muốn nâng cao đáng kể khả năng cách âm và chống ồn, các dầm gỗ đỡ mặt sàn phải được đặt trên các đệm đàn hồi (hình 7.67). Các đường giảm mức âm và chống ồn của mặt sàn packê đặt trên lớp đệm cát và lớp bông khoáng cho trên hình 7.68. Với lớp bông khoáng chất lượng cách âm và chống ồn ở tần số trung và cao nâng lên rõ rệt.

3. Sàn có trần treo

Sàn có trần treo được sử dụng rộng rãi trong kiến trúc nhà công cộng nhờ có một không gian dưới sàn chịu lực để đặt các đường ống và đường cáp (hình 7.69). Tuy vậy, hiệu quả cách âm và chống ồn của trần treo không cao, vì mức ồn tạo ra trong lớp không khí giữa hai lớp trần rất lớn, nên một lớp trần treo nhẹ không đủ hiệu quả cách âm.



Hình 7.69. Sàn có trần treo

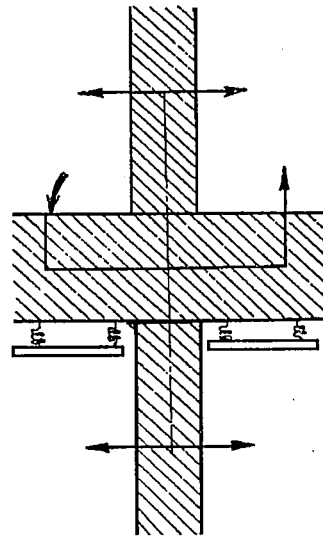
Những điểm cần chú ý khi cấu tạo trần treo:

1. Trần treo phải kín để tránh các đường truyền âm trực tiếp qua các khe hở xuống phòng cách âm.

2. Kết cấu treo phải mềm để tránh tạo một đường truyền âm mới từ sàn vào trần treo.

3. Vật liệu làm trần treo không nên quá cứng, vì tần số giới hạn của nó có thể rơi vào vùng 100 - 3200Hz. Vật liệu càng mềm (như cao su - xem bảng 7.2) tần số giới hạn càng cao.

4. Cần nhớ rằng trần treo giảm được ít nhiều tiếng ồn từ phòng tầng trên qua sàn xuống phòng tầng dưới, nhưng lại không làm giảm được sự truyền âm và chống ồn sang các phòng kề với nó trên cùng một tầng (hình 7.70).



Hình 7.70. Truyền âm và chống ồn sang phòng kề trên cùng tầng nhà

4. Sàn có lớp trải mặt sàn

Loại sàn này có cấu tạo khá đơn giản: trên tấm chịu lực được dán trực tiếp các loại tấm trải khác nhau. Chất lượng cách âm và chống ồn của sàn phụ

thuộc chủ yếu vào tính chất âm học của tấm trải và thường có các loại tấm trải sau đây:

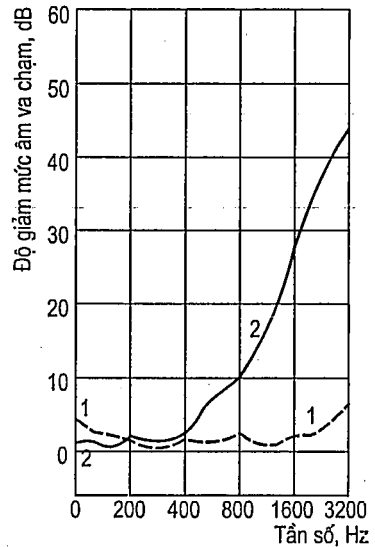
1. *Tấm trải chất dẻo*, sản xuất dưới dạng tấm cuộn hoặc miếng lát, dán trực tiếp bằng keo dính lên tấm chịu lực của sàn. Chất lượng cách âm của sàn kiểu này rất kém, độ giảm mức ồn va chạm chỉ được 2 - 3dB (hình 7.71, đường 1).

Để nâng cao chất lượng cách âm có thể đặt dưới tấm trải nhựa một lớp các tông mềm ($700\text{g}/\text{m}^2$, hình 7.72). Chất lượng cách âm khi đó sẽ nâng cao rõ rệt (đường 2, hình 7.71).

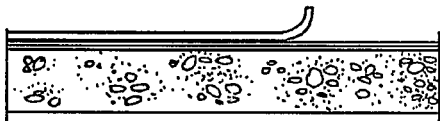
Cũng có thể quét một lớp nhựa vinila mềm dưới tấm trải chất dẻo để nâng cao khả năng cách âm.

2. *Tấm trải cách âm*. Các tấm trải cách âm thường có hai lớp chủ yếu: lớp làm mặt sàn sạch chế tạo bằng chất dẻo (giả vân gỗ, vân đá, giả sàn packê v.v...) phía dưới nó là lớp cách âm làm bằng các loại xơ thực vật (xơ gai, xơ dừa) hoặc các chế phẩm từ cao su (xem hình 7.73).

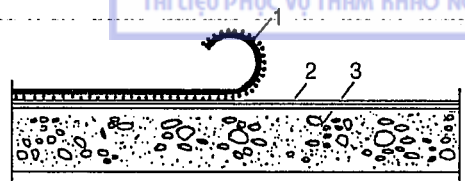
Đây là loại sàn được sử dụng khá phổ biến trong nhà ở căn hộ và nhà công cộng ở các nước công nghiệp phát triển do có ưu việt về giá thành rẻ, thi công đơn giản và nhanh, đặc biệt chất lượng cách âm và chạm khá tốt (hình 7.74).



Hình 7.71. Độ giảm mức ồn của các loại sàn có lớp trải mặt sàn bằng chất dẻo



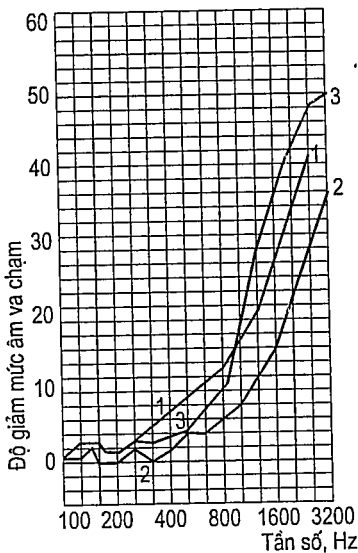
Hình 7.72. Cấu tạo sàn có tấm trải nhựa trên lớp các tông mềm ($700\text{g}/\text{m}^2$)



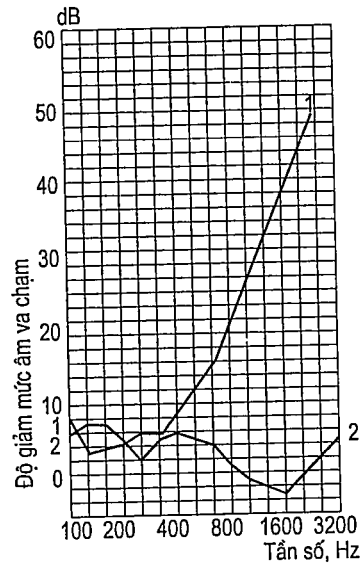
Hình 7.73. Cấu tạo sàn có lớp trải cách âm: 1- Lớp trải cách âm; 2- Nhựa dán; 3- Tấm chịu lực

3. *Tấm trải bằng thảm.* Thảm có nhiều loại, từ thảm len, thảm sợi thực vật, thảm cỏ, thảm sợi hóa học v.v... Chất lượng cách âm và chạm của các loại thảm nói chung đều tốt và tất nhiên cũng phụ thuộc vào chất lượng của chúng. Trên hình 7.75 giới thiệu độ giảm mức ồn và chạm của thảm len.

Cuối cùng chúng tôi muốn lưu ý rằng loại sàn thường sử dụng trong xây dựng nhà ở và nhà công cộng của chúng ta hiện nay, gồm một lớp lát bằng gạch gốm, gạch hoa hoặc đá... với vữa xi măng trực tiếp lên tấm chịu lực sàn không được coi là sàn cách âm vì độ giảm mức ồn và chạm của nó rất nhỏ (hình 7.75, đường 2).



Hình 7.74. Độ giảm mức ồn và chạm của sàn có lớp trải cách âm: 1- Lớp cách âm cao su mềm 3mm; 2- Lớp cách âm cao su cứng 4mm; 3- Lớp cách âm lie 5mm



Hình 7.75. Độ giảm mức ồn và chạm của thảm len (1) và của lớp lát cứng trên tấm chịu lực (2)

Ví dụ 7.4. Hãy đánh giá chất lượng cách âm của một sàn nhà ở có tấm chịu lực bê tông cốt thép 12cm với lớp trải cách âm chất dẻo trên cao su mềm dày 3mm.

Bài giải:

Xác định mức âm và chạm chuẩn dưới sàn theo công thức (7.22):

$$L'_c = L_0 - \Delta L$$

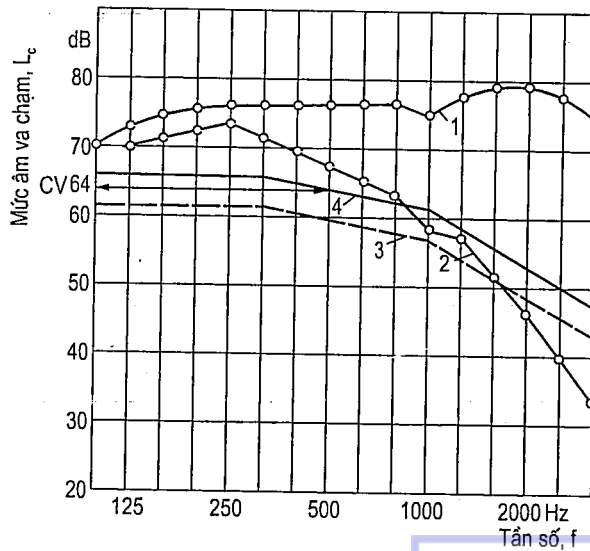
... L_0 của tấm bê tông cốt thép 12cm lấy theo hình (7.63) đường 1, còn ΔL của lớp trải cách âm có đệm cao su mềm 3mm lấy theo đường 1, (hình 7.74). Sau khi tính toán, kết quả được thể hiện trên hình (hình 7.76) là trị số mức ồn và chạm chuẩn dưới sàn cách âm L'_c (đường 2).

Sau khi tịnh tiến đường tiêu chuẩn lên cao 4dB, ta được:

$$\Sigma|\sigma_x| = 32\text{dB.}$$

Vậy chỉ số cách âm và chạm của sàn là: $CV = 64\text{dB}$.

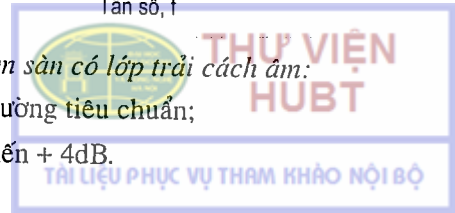
So với tiêu chuẩn kiến nghị cho nhà ở [CV] = 62dB, sàn trải cách âm chưa đạt yêu cầu tiêu chuẩn (mức ồn và chạm cao hơn trị số cho phép).



Hình 7.76. Ví dụ tính toán cách âm và chạm sàn có lớp trải cách âm:

1- Đường L_0 ; 2 - Đường L'_c ; 3- Đường tiêu chuẩn;

4- Đường tiêu chuẩn tịnh tiến + 4dB.



Chương 8

CHỐNG TIẾNG ỒN CỦA CÁC THIẾT BỊ VÀ TRONG NHÀ CÔNG NGHIỆP

Khi sử dụng các thiết bị phục vụ đời sống và sản xuất công nghiệp chúng ta có thể gặp các loại tiếng ồn sau:

1. *Tiếng ồn khí động*, tạo thành do sự chuyển động của các chất khí hoặc chất lỏng từ các máy quạt, máy bơm, máy nén vào các đường ống dẫn và do chuyển động của chúng trong các đường ống dẫn.

Tiếng ồn của các hệ thống điều hòa không khí, hệ thống thông gió thuộc loại này và nó có thể lan truyền theo đường ống dẫn qua các miệng thổi hoặc miệng hút vào phòng điều hòa.

2. *Tiếng ồn cơ khí*, sinh ra do sự va đập giữa các bộ phận và chi tiết máy móc khi vận hành. Tiếng ồn sẽ nâng cao rõ rệt khi các ổ trục bị "rơ", các bánh răng, khớp nối bị mòn.

3. *Tiếng ồn va chạm* tạo thành do các quá trình sản xuất cần sử dụng các lực va chạm (sử dụng búa tay hoặc búa máy) như trong các phân xưởng tán, đập, gò, rèn...

4. *Tiếng ồn từ trường* do sự biến đổi từ trường của các thiết bị vận hành điện hoặc sản xuất điện tạo ra, như các máy điện, trạm biến thế v.v...

Trong chương này chúng tôi chỉ đề cập hai bài toán ứng dụng chính. Một là các giải pháp chống tiếng ồn cho các hệ thống điều hòa không khí, rất hay gặp trong các nhà làm việc văn phòng, các phòng thí nghiệm cũng như trong nhà công nghiệp. Và hai là, các giải pháp chống tiếng ồn trong các nhà công nghiệp nói chung, xét đến tất cả các loại tiếng ồn khác nhau.

8.1. GIẢM TIẾNG ỒN CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU HÒA KHÔNG KHÍ

Chúng ta chỉ quan tâm tới hệ thống điều hòa không khí trung tâm vì hệ thống điều hòa không khí cục bộ có mức ồn không đáng kể, và để giảm nhỏ

mức ồn của hệ thống này phải áp dụng các biện pháp kỹ thuật công nghệ chế tạo, không thuộc lĩnh vực nghiên cứu của âm học kiến trúc. Hệ thống điều hòa không khí trung tâm ở nước ta thường hay sử dụng cho các tòa nhà văn phòng, nhà hàng, siêu thị, nhà thi đấu, các khách sạn và nhà làm việc cao tầng, đặc biệt thường phải áp dụng cho các hội trường, phòng thánh giá, các studio âm thanh trong phát thanh, truyền hình, xưởng phim - những công trình yêu cầu đóng kín để giữ chất lượng âm thanh và có mức ồn nền cho phép khá thấp. Chính vì vậy vấn đề giảm tiếng ồn của hệ thống điều hòa không khí được đặc biệt quan tâm trong các công trình loại này.

Nguồn gây ồn chính của hệ thống điều hòa không khí là máy quạt gió. Tiếng ồn của máy quạt gió được tạo thành do các nguyên nhân sau đây:

- Do tính không đồng nhất của dòng không khí chuyển động khi bị hút hoặc xả vào không khí theo từng chu kỳ.

- Do sự tạo thành xoáy ở mặt giới hạn của dòng chảy, thường xảy ra tại giới hạn giữa lớp khí chuyển động và lớp khí đứng yên, hoặc ở mặt cứng của ống dẫn khí.

- Do sự chảy rối của các dòng khí có vận tốc khác nhau chảy lẫn với nhau.

Ngoài ra, tiếng ồn cũng được tạo thành khi không khí chuyển động trong các đường ống, nhất là khi gặp các van điều chỉnh, tại những đoạn ống rẽ ngoặt, ống phân nhánh, ống thay đổi tiết diện đột ngột.

Tiếng ồn từ phòng máy quạt, theo đường ống dẫn khí xâm nhập vào các phòng điều hòa, làm tăng đáng kể mức ồn trong các phòng này, làm xấu chất lượng âm thanh của chúng. Ở nước ta có trường hợp khi thu âm trong các phim trường đã phải tắt hệ thống điều hòa không khí do mức ồn của nó gây ra quá lớn.

Khi nghiên cứu giảm tiếng ồn của hệ thống điều hòa không khí cần phải chú ý những vấn đề sau đây:

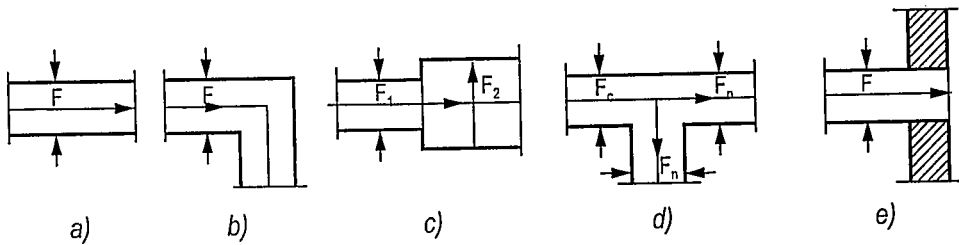
1. Tiếng ồn khí động có thể lan truyền dưới dạng tiếng ồn không khí trong các đường ống và dạng tiếng ồn kết cấu, theo vỏ ống dẫn vào kết cấu nhà cửa. Vì vậy việc cách chấn động tại các điểm treo đường ống vào kết cấu nhà cửa phải được quan tâm đúng mức.

2. Tiếng ồn không chỉ lan truyền theo đường ống dẫn khí vào các phòng điều hòa, mà còn có thể xâm nhập vào các phòng khác trên đường lan truyền qua thành ống, đặc biệt khi chất lượng cách âm của vỏ ống dẫn quá kém. Như vậy tốt nhất nên tránh đặt đường ống dẫn đi qua các phòng cần yên tĩnh.

3. Âm thanh (tiếng nói, tiếng hát, âm nhạc) lại có thể lan truyền theo đường ống dẫn khí từ phòng này sang phòng khác, nhất là khi chúng nằm quá gần nhau. Vì vậy nếu buộc phải sử dụng chung các đường ống dẫn khí cho nhiều phòng, cần phải nghiên cứu cẩn thận các giải pháp tiêu âm cho nó.

Đặc tính ồn của máy quạt gió là phổ mức ồn theo dải tần số 63 - 8000Hz. Mức ồn của máy quạt phụ thuộc chủ yếu vào công suất của nó (m^3/s) áp suất toàn phần (kg/m^2) và số lượng vòng quay (vòng/giây) và thường do các nhà sản xuất cung cấp. Trong trường hợp không có số liệu này, cần phải xác định bằng thực nghiệm đo tại hiện trường hoặc bằng các phương pháp tính toán (xem [38], [42]...).

Từ phòng đặt máy quạt, tiếng ồn sẽ lan truyền và giảm dần theo ống dẫn khí. Độ giảm mức ồn trên đường ống (chưa cấu tạo các bộ tiêu âm) gồm năm dạng tương ứng với hình 8.1.



Hình 8.1. Năm dạng giảm mức ồn trên đường ống:

- a) Ống đi thẳng; b) Ống đổi hướng; c) Ống thay đổi tiết diện;
d) Ống phân nhánh; e) Miệng thổi

1. Sự giảm dần năng lượng theo đường ống. Độ giảm này tăng theo độ dài của ống và phụ thuộc hình dạng, kích thước của tiết diện ống, chiều dày thành ống và tần số âm (ký hiệu là ΔL_1). Đối với ống dẫn kim loại tiết diện chữ nhật, trị số ΔL_1 có thể xác định theo bảng 8.1.

Bảng 8.1. Độ giảm mức ồn ΔL_1 dB/m theo đường ống kim loại tiết diện chữ nhật

Tiết diện ống, cm ² .	Tần số âm, Hz			
	63	125	250	≥ 500
15 × 15	0,4	0,4	0,3	0,2
50 × 50	0,4	0,4	0,2	0,1
100 × 100	0,3	0,2	0,1	0,03

Khi đường ống bọc vật liệu cách nhiệt, các trị số trong bảng 8.1 có thể tăng gấp đôi nhờ giảm được chấn động của ống.

Đối với ống tiết diện tròn có đường kính 10 - 30cm (có hoặc không bọc lớp cách nhiệt), độ giảm mức ồn khoảng 0,1dB/m ở tần số dưới 1000Hz và tăng đến 0,33dB/m ở các tần số cao (độ giảm lớn nhờ ống tròn khó bị chấn động hơn ống chữ nhật).

Ống bê tông và gạch có độ giảm mức âm rất nhỏ, có thể bỏ qua.

2. Sự giảm mức ồn tại những chỗ đường ống đổi chiều, ký hiệu ΔL_2 . Độ giảm mức ồn tại đây phụ thuộc diện tích tiết diện ống và tần số âm, có thể xác định theo biểu đồ hình 8.2 đối với ống tiết diện chữ nhật và không ốp vật liệu hút âm.

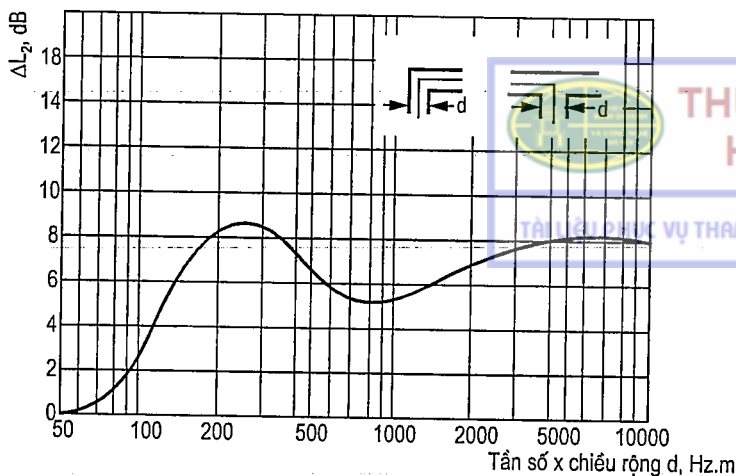
3. Giảm mức ồn do tiết diện ống thay đổi đột ngột, ký hiệu ΔL_3 . Trị số này có thể xác định theo công thức [38]:

$$\Delta L_3 = 10 \lg \frac{(m+1)^2}{4m} \quad (8.1)$$

trong đó: $m = \frac{F_1}{F_2}$;

F_1 và F_2 - diện tích tiết diện ống trước và sau khi thay đổi, m^2 .

Trị số ΔL_3 có thể xác định theo biểu đồ hình 8.3.



Hình 8.2. Độ giảm mức ồn ΔL_2 tại chỗ rẽ đối với ống tiết diện chữ nhật

4. Độ giảm mức ồn khi đường ống phân nhánh, ΔL_4 , xác định theo công thức:

$$\Delta L_4 = 10 \lg \frac{\Sigma F_n}{F_n} \cdot \frac{(m' + 1)^2}{4m'} \quad (8.2)$$

trong đó: $m' = \frac{F_c}{\Sigma F_n}$;

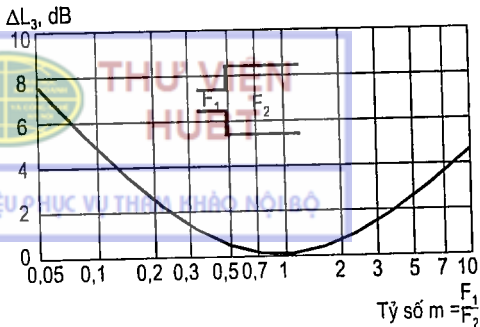
F_c - diện tích tiết diện ống chính, m^2 ;

F_n - diện tích tiết diện mỗi ống nhánh, m^2 ;

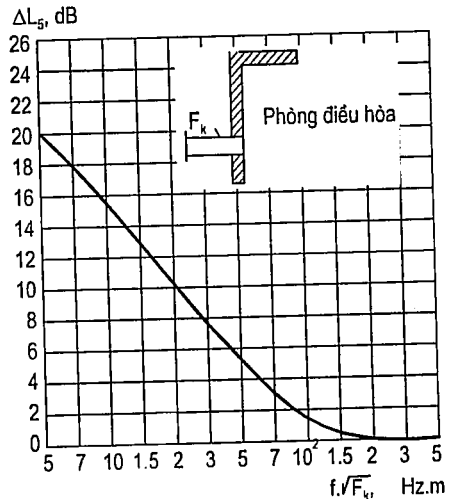
ΣF_n - tổng diện tích tiết diện các ống nhánh, m^2 .

Khi ống nhánh rẽ 90° , ngoài độ giảm mức ồn theo công thức (8.2) còn phải cộng thêm độ giảm ΔL_2 xác định theo biểu đồ hình 8.2. Đối với ống nhánh đi thẳng cùng chiều ống chính thì không cộng thêm trị số này.

5. Độ giảm mức ồn tại các miệng thổi vào phòng điều hòa, ΔL_5 , phụ thuộc diện tích tiết diện miệng thổi và tần số âm, có thể xác định theo biểu đồ hình 8.4. Qua biểu đồ có thể nhận thấy, diện tích tiết diện miệng thổi càng nhỏ, tần số âm càng thấp, độ giảm mức ồn càng lớn.



Hình 8.3. Độ giảm mức ồn ΔL_3 khi tiết diện ống thay đổi



Hình 8.4. Độ giảm mức ồn ΔL_5 tại các miệng thổi gió vào phòng

Sau khi tính toán độ giảm mức ồn trên đường ống, chúng ta có thể xác định mức ồn truyền vào phòng theo công thức:

$$L_{\text{dht}} = L_{\text{pr}} - \Sigma \Delta L_{\text{if}} \quad (8.3)$$

trong đó:

L_{dht} - mức ồn của hệ thống điều hòa không khí truyền vào phòng, dB;

L_{pr} - mức ồn của máy quạt gió, dB;

$\Sigma \Delta L_{\text{if}}$ - tổng độ giảm mức ồn trên đường ống, dB.

$$\Sigma \Delta L_{\text{if}} = \Delta L_{1f} + \Delta L_{2f} + \Delta L_{3f} + \Delta L_{4f} + \Delta L_{5f} \quad (8.4)$$

Các ký hiệu f trong công thức (8.3) và (8.4) cho biết các trị số tính toán thực hiện theo dải tần số 1 ôcta.

Để bảo đảm tiện nghi âm thanh trong các phòng điều hòa không khí, mức ồn của hệ thống điều hòa không khí vào phòng ít nhất phải thấp hơn 5dB so với mức ồn cho phép trong phòng ở tất cả các tần số trung bình của dải 1ôcta. (Quy định theo đường NR tương ứng, xem chương 6). Khi đó nó vẫn có thể làm cho mức ồn nền trong phòng điều hòa không khí tăng thêm khoảng 1dB. Vì vậy nếu điều kiện kỹ thuật cho phép cố gắng giảm mức ồn của hệ thống điều hòa không khí vào phòng thấp hơn mức ồn cho phép trong phòng 10dB. Chỉ lúc đó ảnh hưởng của mức ồn điều hòa không khí mới có thể bỏ qua hoàn toàn.

Trong trường hợp ngược lại, khi mức ồn của hệ thống điều hòa không khí phá hỏng điều kiện tiện nghi âm thanh của phòng điều hòa, nhất thiết phải thiết kế các bộ tiêu âm trên đường ống của hệ thống điều hòa không khí. Mức ồn cần hạ thấp nhờ các bộ tiêu âm (ký hiệu ΔL_{ta}) có thể xác định theo công thức:

$$\Delta L_{\text{ta}} = L_{\text{p}} - L_{\text{cp}} + 5\text{dB} \quad (8.5)$$

hay

$$\Delta L_{\text{ta}} = L_{\text{dh}} - L_{\text{cp}} + 5\text{dB} \quad (8.6)$$

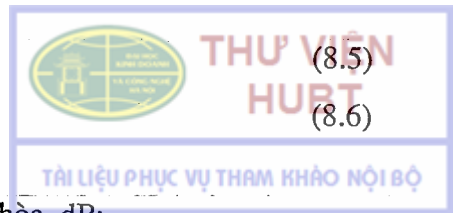
trong đó:

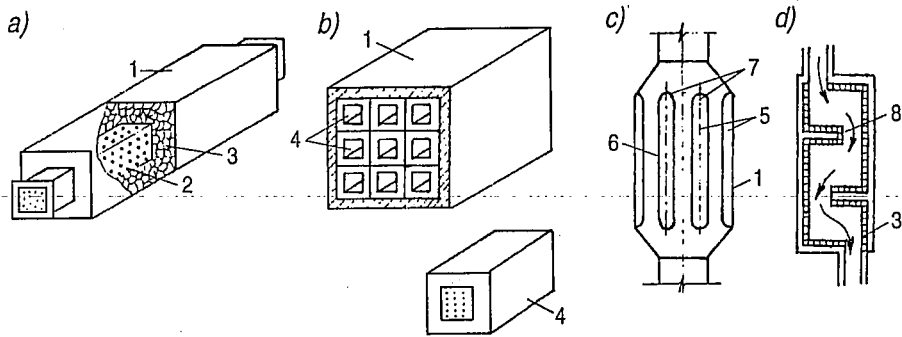
L_{cp} - mức ồn cho phép trong phòng điều hòa, dB;

L_{p} và L_{dh} - xem công thức (8.3).

Cần nhắc lại rằng các tính toán nêu trên đều phải tiến hành theo dải tần số 1 ôcta.

Có nhiều kiểu tiêu âm khác nhau có thể sử dụng cho đường ống của hệ thống điều hòa không khí, như kiểu ống (hình 8.5a), kiểu tổ ong (hình 8.5b), kiểu tấm (hình 8.5c) hay kiểu buồng (hình 8.5d).





Hình 8.5. Các kiểu bộ tiêu âm:

a) Kiểu ống; b) Kiểu tổ ong; c) Kiểu tấm; d) Kiểu buồng;

1- Vỏ ngoài; 2 - Ruột đục lỗ; 3- Vật liệu hút âm; 4- Tổ ong hút âm;

5- Tấm hút âm; 6 - Kênh thông gió; 7- Đầu rẽ; 8- Vách.

Các bộ tiêu âm được chế tạo đặc biệt và xác định trước khả năng giảm mức ồn của nó trên 1m chiều dài (dB/m) trong các phòng thí nghiệm âm học (xem [38, 42, ...]). Khi đó ta có thể xác định được chiều dài cần thiết của bộ tiêu âm áp dụng, theo công thức:

$$l_{ta} = \frac{\Delta L_{ta}}{\Delta}, m \quad (8.7)$$

trong đó: l_{ta} - chiều dài bộ tiêu âm, m;

Δ - độ giảm mức âm trên mỗi mét dài của bộ tiêu âm, dB/m.

Các yêu cầu khi thiết kế các bộ tiêu âm

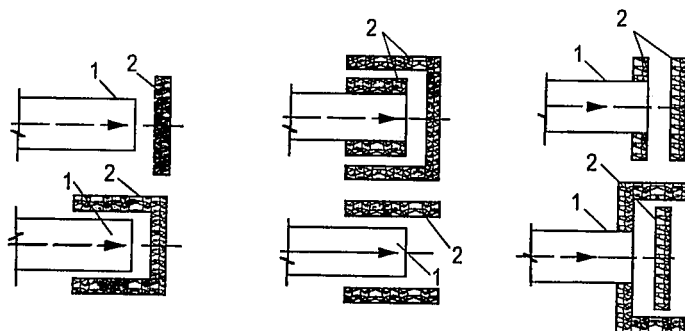
1. Vật liệu hút âm dùng trong các bộ tiêu âm cần có khả năng chống cháy tốt, phù hợp với yêu cầu phòng cháy của công trình. Thường sử dụng các loại bông thủy tinh, bông khoáng có khối lượng riêng từ 15 đến 40kg/m³.

2. Khi vận tốc gió trong đường ống lớn (khoảng 10 - 15m/s) nó có thể mang theo cả các sợi bông của vật liệu hút âm vào phòng ảnh hưởng đến điều kiện vệ sinh của không khí trong phòng. Vì vậy giữa lớp vỏ tôn đục lỗ (thường có đường kính 5mm và bước lỗ khoảng 10mm) và bông hút âm cần đặt một lớp vải thủy tinh. Cấu tạo như vậy sẽ không làm giảm đặc tính âm học của bộ tiêu âm.

Cũng có thể thay lớp tôn đục lỗ bằng lưới sắt, tuy nhiên xét về độ bền vững và vệ sinh môi trường thì lớp tôn đục lỗ có nhiều ưu điểm hơn.

3. Các bộ tiêu âm nên đặt gần buồng máy quạt gió, trên đoạn đầu của hệ thống đường ống. Khi đó sẽ hạn chế được tối đa ảnh hưởng của tiếng ồn hệ thống điều hòa không khí đến các phòng và không gian khác trên đường ống đi qua.

4. Các bộ phận tiêu âm cũng cần cấu tạo trên đường ống nối các phòng điều hòa để triệt tiêu âm thanh từ phòng nọ sang phòng kia. Khi đó cần đặc biệt chú ý cấu tạo tiêu âm tại các miệng thổi và miệng hút. Trên hình 8.6 giới thiệu một số cấu tạo đặc biệt của các miệng thổi (hút) này.



Hình 8.6. Các miệng thổi (hút) có cấu tạo đặc biệt:
1- Miệng ống điều hòa không khí; 2- Vật liệu hút âm

5. Vận tốc gió tại các miệng thổi có ảnh hưởng đến mức ồn trong phòng. Theo mức ồn cho phép của phòng (trị số của đường NR), cần phải khống chế vận tốc gió, tại miệng thổi theo bảng 8.2.

Bảng 8.2. Vận tốc gió hướng dẫn tại các miệng thổi

Mức ồn cho phép	Chỉ số NR			
	25	35	45	50
Vận tốc gió cho phép, m/s	4	6	8	10

Theo bảng 8.2 vận tốc gió tại miệng thổi trong các phòng tính giả không nên vượt 6m/s, còn trong các studio âm thanh nên dưới 4m/s.

8.2. CHỐNG TIẾNG ỒN TRONG NHÀ CÔNG NGHIỆP

Muốn chống tiếng ồn trong nhà công nghiệp một cách hiệu quả, cần phải áp dụng tổng hợp nhiều biện pháp, từ các biện pháp kiến trúc - xây dựng, công nghệ chế tạo cho đến các biện pháp kỹ thuật âm học.

Biện pháp kiến trúc - xây dựng bắt đầu từ việc nghiên cứu quy hoạch, sắp xếp hợp lý các vùng công nghiệp, các nhà máy trong thành phố, bố trí cách ly các phân xưởng ồn với các khu vực cần yên tĩnh trong một nhà máy, sử dụng các không gian xanh giữa khu công nghiệp và khu dân cư, giữa các phân xưởng ồn và phân xưởng yên tĩnh, cho đến việc sắp xếp hợp lý các khu vực ồn, ít ồn và yên tĩnh trong một phân xưởng, trong một ngôi nhà. Nguyên tắc và yêu cầu kỹ thuật cho vấn đề này đã được giới thiệu trong các chương 6 và 7.

Biện pháp công nghệ nghiên cứu đổi mới công nghệ và thiết bị sản xuất theo hướng giảm nhỏ tiếng ồn do chúng sinh ra.

Biện pháp kỹ thuật âm học có thể coi là biện pháp thụ động để giảm nhỏ tiếng ồn sau khi chúng đã hình thành trong một nhà máy, một phân xưởng. Đó cũng là biện pháp cuối cùng nhằm tạo được một môi trường âm thanh tiện nghi, hoặc ít nhất một môi trường cho phép theo tiêu chuẩn quốc gia (ví dụ TCVN - 3985 - 1999) cho các công việc sản xuất khác nhau. Dưới đây trình bày một số giải pháp kỹ thuật âm học cụ thể thường hay áp dụng cho nhà công nghiệp.

8.2.1. Gia công âm học các phòng sản xuất

Gia công âm học là ốp vật liệu hút âm trên các bề mặt trong phòng sản xuất. Đây là một giải pháp có hiệu quả và thường được áp dụng trong nhà công nghiệp.

Các bề mặt của phòng khi được ốp vật liệu hút âm, có khả năng giảm cường độ các âm phản xạ, làm cho mức ồn trong phòng tại vùng "trường âm phản xạ" (xem chương 1, mục 1.5) hạ thấp 8 - 10dB ở phạm vi tần số thấp và 10 - 12dB ở phạm vi tần số có hệ số hút âm cực đại. Trong vùng "trường âm trực tiếp" hiệu quả giảm tiếng ồn của việc gia công âm học giảm đi đáng kể, chỉ khoảng 4 - 5dB và phụ thuộc mật độ bố trí thiết bị trong phòng.

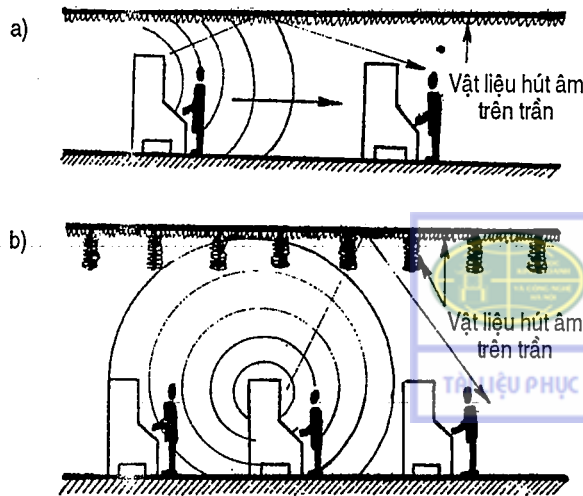
Hiệu quả giảm tiếng ồn do ốp vật liệu hút âm còn phụ thuộc hình dạng phòng: phòng có chiều dài lớn hơn chiều cao trên năm lần, hiệu quả cao hơn các phòng dạng hình hộp.

Vật liệu hút âm thường ốp trên trần và có thể ốp thêm ở phần cao của tường bên. Muốn đạt được hiệu quả giảm tiếng ồn cao, cần phải bố trí vật liệu hút âm không dưới 60% diện tích các bề mặt trong phòng. Các phòng có

chiều cao thấp (dưới 5m) và dài, nên bố trí vật liệu hút âm trên trần (hình 8.7a). Các phòng hẹp và cao nên bố trí vật liệu hút âm trên tường (chỉ chừa lại phần tường có độ cao dưới 2m). Các phòng có chiều cao trên 6m cần cấu tạo trần treo để đưa vật liệu hút âm tới gần các nguồn ồn. Nếu diện tích trần và tường chưa đủ để bố trí vật liệu hút âm, chúng ta có thể dùng các tấm hút âm kiểu cánh gà (hình 8.7b) hoặc các kết cấu hút âm khối treo trực tiếp trên các nguồn âm. Để xác định hiệu quả giảm tiếng ồn của giải pháp gia công âm học, cần phải biết các đặc trưng âm học của phòng, đó là lượng hút âm A, hệ số hút âm trung bình α (công thức 1.31) và hằng số của phòng B (công thức 1.32). Trong nhà công nghiệp việc xác định lượng hút âm A thường có khó khăn và kém chính xác vì vậy người ta thường tính toán theo hằng số của phòng. Từ các công thức (1.31) và (1.32) có thể xác định A và α theo hằng số phòng B:

$$\alpha = \frac{B}{B+S} \quad (8.8)$$

Và:
$$A = \frac{BS}{B+S} = \frac{B}{\frac{B}{S} + 1} \quad (8.9)$$



Hình 8.7. Bố trí vật liệu hút âm trên trần:
a) Khi chiều cao phòng nhỏ; b) Khi chiều cao phòng lớn sử dụng tấm hút âm cánh gà

Độ giảm mức ồn cục đại do gia công âm học phòng ΔL ở mỗi dải tần số đối với các điểm nằm trong trường âm phản xạ có thể xác định theo công thức:

$$\Delta L = 10 \lg \frac{B_1}{B}, \text{ dB} \quad (8.10)$$

trong đó: B - hằng số của phòng trước khi gia công âm học, m^2 ;
 B_1 - hằng số của phòng sau khi gia công âm học, m^2 ;

$$B_1 = \frac{A + \Delta A}{(1 - \alpha_1)} = \frac{A_1}{(1 - \alpha_1)} \quad (8.11)$$

Ở đây:

$A = \alpha(S - S_a)$ - lượng hút âm của các bề mặt không gia công âm học;

α - hệ số hút âm trung bình của phòng trước khi gia công âm học;

α_1 - hệ số hút âm của phòng sau khi gia công âm học;

$$\alpha_1 = \frac{A + \Delta A}{S} = \frac{A_1}{S} \quad (8.12)$$

ΔA - lượng hút âm gia công, m^2 ;

S_a - diện tích gia công âm học, m^2 ;

A_1 - lượng hút âm của phòng sau khi gia công âm học.

Hằng số của phòng ở tần số 1000Hz (ký hiệu B_{1000}) có thể xác định theo bảng 8.3. Ở các tần số khác, hằng số của phòng (B_f) xác định theo công thức:

$$B_f = B_{1000} \cdot \mu \quad (8.13)$$

trong đó: μ - hệ số đặc trưng cho sự thay đổi B theo tần số, xác định theo bảng 8.4.

Bảng 8.3. Hằng số phòng B_{1000}

Loại phòng	Đặc điểm phòng	B_{1000}, m^2
1	Phòng có ít người (như xưởng gia công kim loại, phòng máy, phòng thí nghiệm, phòng máy quạt gió...)	$\frac{V}{20}$
2	Phòng có đồ gỗ cứng và nhiều người hoặc ít người và đồ gỗ mềm (như phòng thí nghiệm, xưởng dệt, xưởng gia công gỗ, văn phòng...)	$\frac{V}{10}$
3	Phòng có nhiều người và đồ gỗ mềm (như phòng làm việc, phòng thiết kế, giảng đường, phòng ăn, cửa hàng, phòng đợi nhà ga hàng không, tàu hỏa, lớp học, phòng đọc thư viện, phòng ở...)	$\frac{V}{6}$
4	Phòng có trần và một phần tường ốp vật liệu hút âm	$\frac{V}{1,5}$

Bảng 8.4. Hệ số μ theo tần số

Thể tích phòng, V, m^3	Tần số trung bình của dải 1ôcta, Hz							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$V < 200$	0,8	0,75	0,7	0,8	1	1,4	1,8	2,5
$V = 200 - 1000$	0,65	0,62	0,64	0,75	1	1,5	2,4	4,2
$V > 1000$	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6

Phòng chỉ gia công âm học có lợi nếu hệ số hút âm trung bình ở tần số 1000Hz không vượt quá 0,25 ($\alpha \leq 0,25$). Đối với các phòng làm việc, sản xuất chỉ có một loại thiết bị và đã biết phổ tiếng ồn trong phòng (như phòng hành chính, đánh máy, vi tính, xưởng dệt...), có thể gia công âm học mà không cần tính toán trước. Vật liệu hút âm được chọn để gia công âm học phải có phổ hút âm giống với phổ tiếng ồn của phòng.

Ví dụ 8.1. Một xưởng dệt có mặt bằng hình chữ nhật kích thước $55 \times 20 \times 3,5m^3$ (dài \times rộng \times cao), có thể tích $V = 3850m^3$. Diện tích các bề mặt tương ứng là: tường $525m^2$, trần $1100m^2$, sàn $1100m^2$. Tổng diện tích các bề mặt phòng là $S = 2725m^2$.

Trong xưởng có 20 máy, chiếm 1/3 diện tích sàn. Phần diện tích còn lại bố trí các bộ phận phục vụ ít gây ồn. Ở điểm tính toán cách máy gần nhất 10m (trong trường âm phản xạ) có phổ mức ồn như trong bảng 8.5. Hãy gia công âm học phòng và xác định hiệu quả của giải pháp.

Bài giải:

Phân tích phổ mức ồn trong xưởng (bảng 8.5) và so sánh với đường tiêu chuẩn NR - 80 ta thấy mức ồn trong xưởng vượt mức tiêu chuẩn cho phép ở các tần số từ 250 đến 8000Hz khá lớn (từ 4 đến 16dB, xem bảng 8.5, dòng 3).

Để gia công âm học ta chọn vật liệu hút âm là tấm ép bằng bông thủy tinh cực mảnh (khối lượng riêng $15kg/m^3$) dày 50mm bọc trong vải thủy tinh và đặc sát trần, có hệ số hút âm cao trong phạm vi tần số 250 - 8000Hz (xem bảng PL.1 mục 94). Vật liệu hút âm được bố trí trên toàn bộ trần của xưởng (diện tích $S_a = 1100m^2$).

Theo bảng 8.3 và 8.4 ta xác định được hằng số của phòng β khi $V = 3850m^3$ (xem dòng 4, bảng 8.5). Các phép tính toán tiếp tục được thực hiện trong bảng 8.5.

Bảng 8.5. Ví dụ tính toán gia công âm học xưởng dệt

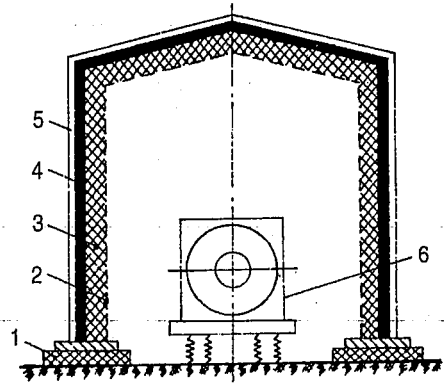
Đại lượng	Đơn vị	Tần số trung bình của dải 1ôcta, Hz							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L	dB	88	88	90	92	96	91	87	83
NR - 80	dB	99	92	86	83	80	78	76	74
L - (NR.80)	dB	-	-	4	9	16	13	11	9
B	m ²	193	193	212	270	385	616	1155	2310
B/S	-	0,07	0,07	0,08	0,10	0,14	0,23	0,42	0,85
$A = B / \left(\frac{B}{S} + 1 \right)$	m ²	180	180	196	245	338	501	813	1249
$\alpha = B / (B + S)$	-	0,07	0,07	0,072	0,09	0,124	0,184	0,290	0,459
α_a	-	0,1	0,25	0,70	0,98	1	1	1	0,95
$\Delta A = \alpha_a S_a$	m ²	110	275	770	1078	1100	1100	1100	1045
$A = \alpha(S - S_a)$	m ²	114	114	117	146	202	299	471	746
$A_1 = A + \Delta A$	m ²	224	389	887	1224	1302	1399	1571	1791
$\alpha_1 = A_1 / S$		0,08	0,143	0,326	0,449	0,478	0,513	0,577	0,657
$B_1 = A_1 / (1 - \alpha_1)$	m ³	243	454	1361	2221	2492	2873	3714	5222
$\Delta L = 10 \lg(B_1 / B)$	dB	1	4	8	9	8	7	5	4

Theo kết quả tính toán trị số ΔL (dB), ta nhận thấy hiệu quả gia công âm học chưa hạ thấp được mức ồn trong phòng tới mức cho phép dù đã sử dụng vật liệu hút âm mạnh và ốp trên toàn bộ trần phòng. Mức ồn trong phòng còn vượt mức cho phép 6dB (ở tần số 4000 và 8000Hz) và 8dB (ở tần số 1000Hz).

8.2.2. Vỏ cách âm và buồng cách âm

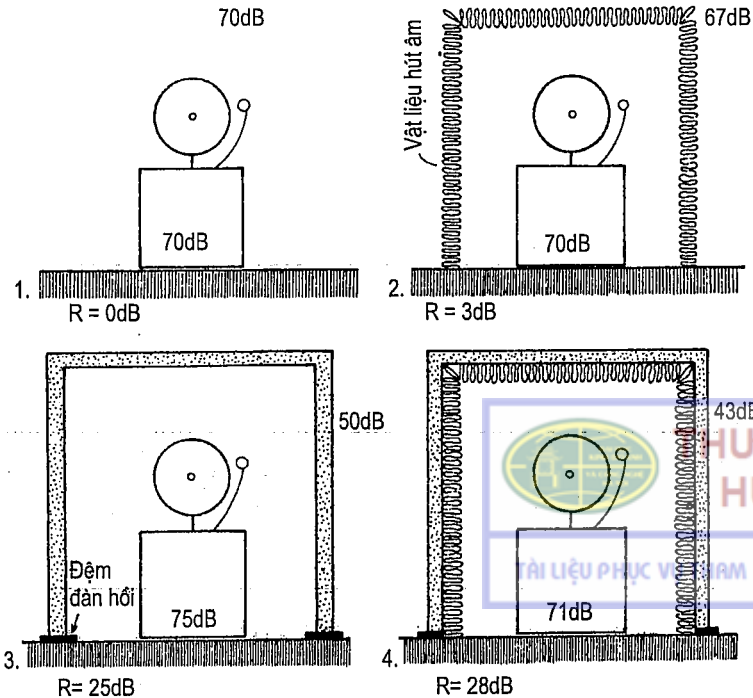
Một giải pháp đơn giản và hiệu quả để chống tiếng ồn cho các xưởng sản xuất là dùng vỏ cách âm bao kín hoàn toàn các thiết bị sinh ra tiếng ồn lớn. Vỏ cách âm được chế tạo từ các vật liệu cứng như nhôm, sắt, chất dẻo, gỗ v.v... Mặt trong của vỏ cách âm được ốp một lớp vật liệu hút âm, chọn tương ứng với phổ tiếng ồn của máy và theo yêu cầu phòng cháy. Ở mặt ngoài vỏ, đôi khi bọc thêm một lớp vật liệu hút chấn động (cao su, chất dẻo,

sợi tấm bitum...). Lớp vật liệu này phải được dán chặt vào mặt ngoài vỏ. Chân vỏ cần đặt trên đệm đàn hồi để giảm chấn động của máy truyền qua nền vào vỏ. Vỏ phải bao thật kín máy. Nếu cần thông gió tự nhiên, phải dùng đường ống có bộ tiêu âm như đã trình bày ở mục 8.1. Các cửa quan sát, nếu cần, làm bằng kính dày (có thể dùng kính dán nhiều lớp) kẹp chặt vào khung qua lớp gioăng cao su. Trên hình 8.8 giới thiệu vỏ cách âm như đã mô tả. Còn trên hình 8.9 cho biết hiệu quả của các loại vỏ cách âm [13].



Hình 8.8. Vỏ cách âm:

- 1- Đệm đàn hồi; 2 - Tấm đục lỗ;
- 3- Vật liệu hút âm; 4- Vỏ kim loại;
- 5 - Lớp hút chấn động; 6 - Máy.



Hình 8.9. Hiệu quả của các vỏ cách âm

- 1- Không có vỏ; 2 - Vỏ bằng vật liệu hút âm;
- 3- Vỏ cứng; 4 - Vỏ cứng ốp vật liệu hút âm.

Khi có vỏ cách âm, chênh lệch mức ồn giữa phía trong và ngoài vỏ có thể xác định từ công thức (7.3):

$$R = L_1 - L_2 - 10 \lg \frac{A}{S}$$

Ở đây vật liệu hút âm được ốp suốt mặt trong của vỏ, do đó chênh lệch mức ồn trong và ngoài vỏ có thể viết:

$$L_1 - L_2 = R + 10 \lg \alpha \quad (8.14).$$

trong đó: R - khả năng cách âm của vỏ;

α - hệ số hút âm của vật liệu ốp.

Ví dụ 8.2. Hãy xác định chênh lệch mức ồn giữa bên trong và bên ngoài một vỏ cách âm bằng kim loại dày 4mm, bên trong dán một lớp vật liệu hút âm dày 50mm. Khả năng cách âm R của vỏ kim loại và hệ số hút âm của vật liệu sử dụng cho trong bảng 8.6 theo dải tần số 1 ôcta.

Bài giải:

Chênh lệch mức ồn khi dùng vỏ cách âm tính toán theo công thức (8.14) và giới thiệu trong bảng 8.6, có thể đạt từ 3 đến 20dB ở tần số thấp, 30 - 40dB ở tần số trung và 40 - 50dB ở tần số cao.

Bảng 8.6. Bảng tính hiệu quả dùng vỏ cách âm

Đại lượng	Tần số trung bình, Hz						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
Khả năng cách âm R, dB	14	20	26	32	38	44	50
Hệ số hút âm α	0,08	0,11	0,18	0,30	0,60	0,70	0,90
$10 \lg \alpha$, dB	-11	-10	-7	-5	-2	-2	0
$(L_1 - L_2)$ dB	3	10	19	27	36	42	50

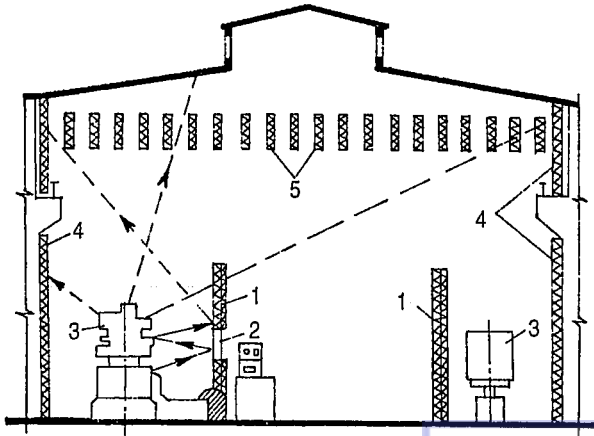
Trong các xưởng sản xuất ồn còn hay sử dụng những buồng cách âm, nhằm tạo ra một không gian yên tĩnh nhỏ cho các công việc cần tập trung trí óc như những phòng điều khiển từ xa trong gian máy tuabin của nhà máy thủy điện. Khả năng cách âm trung bình của tường buồng cách âm phải xét đến các cửa sổ, cửa ra vào và xác định theo công thức (7.20). Khi đó mức ồn trong buồng cách âm xác định từ công thức (7.3), nghĩa là:

$$L_b = L_x - R + 10 \lg \frac{S}{A}, \text{ dB} \quad (8.15)$$

trong đó: L_b - mức ồn trong buồng cách âm, dB;
 L_x - mức ồn, trong xưởng sản xuất, dB;
 S - diện tích kết cấu buồng cách âm ngăn cách với xưởng sản xuất, m^2 ;
 R - khả năng cách âm trung bình của kết cấu ngăn cách, dB;
 A - lượng hút âm trong buồng cách âm, m^2 .

8.2.3. Màn chắn tiếng ồn

Màn chắn tiếng ồn sử dụng thích hợp cho những vị trí khi mức ồn trực tiếp từ nguồn khảo sát vượt mức ồn từ các nguồn bên cạnh và mức ồn phản xạ cùng truyền tới vị trí đó. Nói khác đi màn chắn dùng để bảo vệ những chỗ làm việc nằm trong trường âm trực tiếp. Sử dụng màn chắn chỉ có lợi khi mức ồn tại điểm bảo vệ vượt mức ồn cho phép từ 10 đến 20dB và nó luôn luôn sử dụng phối hợp với giải pháp gia công âm học (khi hàng số phòng nhỏ sử dụng màn chắn sẽ kém hiệu quả).



Hình 8.10. Sử dụng màn chắn tiếng ồn phối hợp với gia công âm học

1- Màn chắn; 2- Cửa quan sát; 3- Nguồn ồn;
 4 - Vật liệu hút âm ốp tường; 5 - Các cánh gà hút âm

Màn chắn tiếng ồn được đặt giữa nguồn ồn và vị trí cần bảo vệ (chỗ làm việc trong nhà sản xuất, nhà công cộng, nơi có người thường qua lại, v.v...) Màn chắn được cấu tạo bởi một tấm cứng có ốp vật liệu hút âm (chiều dày không dưới 50 - 60mm) trên bề mặt hướng về nguồn ồn. Hình 8.10 giới thiệu một ví dụ sử dụng màn chắn tiếng ồn phối hợp với gia công âm học một xưởng sản xuất.

Hiệu quả giảm tiếng ồn của màn chắn nhờ sự tạo thành bóng âm phía sau màn chắn có thể xác định bằng thực nghiệm hoặc tính toán (xem chương 6).

Phụ lục 1

HỆ SỐ HÚT ÂM CỦA CÁC VẬT LIỆU VÀ KẾT CẤU

Thứ tự	Tên vật liệu và kết cấu	Hệ số hút âm ở các tần số trung bình của dải 16octa, Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
A. Các vật liệu và kết cấu xây dựng thông thường							
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	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,09
8	Sàn packe	0,04	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07
9	Cao su 5mm 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 0,5kg/m ²	0,04	0,07	0,13	0,22	0,33	0,35
12	Vải bông 0,36kg/m ²	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
13	Vải nhung 0,65kg/m ²	0,05	0,12	0,35	0,45	0,38	0,36
14	nl, cách tường 10cm	0,06	0,27	0,44	0,50	0,40	0,35
15	nl, cách tường 20cm	0,08	0,29	0,44	0,50	0,40	0,35
16	Cửa sổ kích thước thông thường có kính dày 3mm	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
B. Người, ghế (lượng hút âm tương đương)							
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	0,20	0,20
21	Ghế cứng	0,20	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Thứ tự	Tên vật liệu và kết cấu	Hệ số hút âm ở các tần số trung bình của dải 1ôcta, Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
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
C. Các lỗ, khe v.v.							
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	0,05
26	Miệng thông gió	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
27	Miệng sân khấu, miệng hố nhạc v.v...	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
D. Vật liệu hút âm xốp							
29	Tấm fibrôlit (vỏ bào ép với ximăng) $\gamma = 300 - 450\text{kg/m}^3$, dày 35mm đặt sát tường	0,06	0,16	0,25	0,38	0,59	0,63
30	nt, cách tường 100m	0,08	0,27	0,46	0,35	0,54	0,60
31	nt, cách tường 150m	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 100m đặt sát tường	0,43	0,98	0,99	0,99	0,95	0,87
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 50mm đặt sát tường	0,03	0,12	0,47	0,75	0,84	0,84
35	nt, cách tường 50mm	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 50mm 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 50mm	0,18	0,60	0,52	0,55	0,25	0,13
39	nt, cách tường 100mm	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 5mm, đặt sát tường	0,01	0,17	0,68	0,98	0,86	0,45

Thứ tự	Tên vật liệu và kết cấu	Hệ số hút âm ở các tần số trung bình của dải 10cta, Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
41	nt, cách tường 50mm	0,05	0,42	0,98	0,90	0,80	0,45
42	nt, cách tường 100mm	0,20	0,52	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 19mm	0,54	0,44	0,45	0,57	0,75	0,91
45	Tấm bông khoáng New-Tone (Nhật Bản) dày 16mm	0,40	0,35	0,40	0,52	0,65	0,80
46	Tấm bông khoáng Dai-Lotone (Nhật Bản) dày 15mm	0,31	0,28	0,41	0,64	0,80	0,97
47	nt, dày 19mm	0,28	0,35	0,55	0,65	0,77	0,95
48	Tấm sợi amian và vật liệu tự do chế từ Calci-Silicat/Daiken lux securate dày 6mm khi có lớp không khí 57mm.	0,05	0,05	0,21	0,24	0,08	0,09
49	nt, lớp không khí 300mm	0,21	0,25	0,13	0,16	0,16	0,14
50	nt, loại có mặt vải phía sau, lớp kk 300mm	0,27	0,29	0,16	0,19	0,17	0,15
E. Tấm đục lỗ có vật liệu xốp phía sau							
51	Gỗ dán 4-6mm đục lỗ d=5mm, D=100mm. K=0,2%, có vật liệu xốp 50mm.	0,37	0,68	0,31	0,15	0,10	0,09
52	Nt, không có vật liệu xốp, lớp không khí 50mm	0,06	0,42	0,20	0,07	0,07	0,06
53	Nt, có vật liệu xốp 100mm	0,77	0,64	0,30	0,15	0,15	0,10
54	Nt, vật liệu xốp 100mm, không khí 100mm	0,80	0,52	0,27	0,14	0,12	0,10
55	Gỗ dán 4-6mm đục lỗ d=5mm, D=65mm. K=0,47% vật liệu xốp 50mm, sát tường	0,26	0,88	0,38	0,20	0,12	0,10
56	Nt, cách tường 50mm	0,43	0,69	0,33	0,17	0,10	0,10
57	Gỗ dán 4-6mm đục lỗ d=5mm, D=65mm, K=0,47%, vật liệu xốp 50mm, sát tường	0,51	0,60	0,33	0,15	0,10	0,10
58	Nt, Vật liệu xốp 100mm, cách tường 50mm	0,61	0,68	0,37	0,20	0,17	0,10
59	Nt, cách tường 100mm	0,86	0,68	0,39	0,17	0,13	0,10
60	Nt, không có vật liệu xốp, cách tường 100mm	0,11	0,37	0,18	0,12	0,07	0,05

Thứ tự	Tên vật liệu và kết cấu	Hệ số hút âm ở các tần số trung bình của dải 1ôcta, Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
61	Gỗ dán 4-6mm đục lỗ d=10mm, D=50mm, K=3,1%, vật liệu xốp 50mm, cách tường 50mm	0,29	0,88	0,72	0,32	0,26	0,25
62	Nt, cách tường 100mm	0,55	0,82	0,49	0,34	0,29	0,25
63	Nt, vật liệu xốp 100mm, sát tường	0,76	0,97	0,67	0,36	0,25	0,18
64	Nt, cách tường 100mm	0,90	0,97	0,68	0,35	0,28	0,20
65	Gỗ dán 4-6mm đục lỗ d=5mm, D = 35mm, K =1,6% (không có vật liệu xốp)	0,02	0,09	0,36	0,17	0,19	0,13
66	Nt, d=7mm, D=30mm, K=4,3%, cách tường 50mm	0,05	0,08	0,23	0,29	0,12	0,09
67	Nt, d =6mm, D=30mm, K=4,5%, cách tường 50mm	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	-
	Bông thủy tinh 50, không khí 50	0,23	0,71	0,39	0,22	0,05	-
67B	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 100mm	0,07	0,17	0,45	0,25	0,22	0,18
69	Nan gỗ rộng 35mm, dày 10mm, lớp bông khoáng 50mm, khi khoảng cách các nan gỗ:						
	10mm	0,16	0,66	0,98	0,89	0,59	0,39
	20mm	0,16	0,63	0,98	0,88	0,70	0,64
	30mm	0,16	0,59	0,98	0,95	0,74	0,64
70	Nan gỗ 30x40mm cách 30mm, phía sau có bông thủy tinh $\gamma=15\text{kg/m}^3$, dày 100mm bọc trong vải thủy tinh	0,68	0,88	0,98	0,94	0,93	0,72
	F. Tấm cộng hưởng hút âm						
71	Gỗ dán 4-6mm, cách tường 50mm	0,17	0,26	0,14	0,10	0,09	0,04
72	Nt, cách tường 100mm	0,11	0,15	0,12	0,10	0,09	0,06

Thứ tự	Tên vật liệu và kết cấu	Hệ số hút âm ở các tần số trung bình của dải 1ôcta, Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
73	Nt, có lớp bông khoáng 50mm, sát tường	0,55	0,39	0,15	0,12	0,11	0,10
74	Gỗ dán 8-10mm, cách tường 50mm	0,13	0,28	0,17	0,10	0,04	0,09
75	Nt, cách tường 100mm	0,34	0,15	0,09	0,10	0,04	0,10
76	Nt, cách tường 150mm	0,35	0,16	0,10	0,08	0,04	0,10
77	Gỗ dán 8-10mm, có lớp bông khoáng 50mm đặt sát tường	0,44	0,45	0,22	0,12	0,04	0,10
78	Tấm sợi gỗ $\gamma=600\text{kg/m}^3$ dày 20mm đặt sát tường	0,01	0,09	0,09	0,08	0,09	0,14
79	Nt, cách tường 50mm	0,32	0,13	0,05	0,05	0,06	0,13
	Nt, cách tường 100mm	0,27	0,08	0,04	0,02	0,08	0,10
	Nt, cách tường 150mm	0,10	0,03	0,02	0,03	0,09	0,10
80	Nt, bông khoáng 50mm, sát tường	0,32	0,14	0,07	0,04	0,08	0,11
81	Tấm ximăng amian $\gamma=2000\text{kg/m}^3$ dày 8mm đặt sát tường	0,03	0,03	0,09	0,08	0,08	0,03
82	Nt, cách tường 50mm	0,15	0,19	0,12	0,06	0,06	0,03
	100mm	0,32	0,21	0,16	0,09	0,07	0,03
	200mm	0,24	0,14	0,08	0,08	0,06	0,05
83	Tấm vữa thạch cao $\gamma=1200\text{kg/m}^3$ dày 10mm cách tường 50mm	0,23	0,31	0,13	0,09	0,06	0,13
	Cách tường 100mm	0,41	0,28	0,15	0,06	0,05	0,02
84	Nt, lớp bông khoáng dày 50mm, sát tường	0,56	0,42	0,24	0,11	0,04	0,04
	100mm, sát tường	0,65	0,34	0,23	0,17	0,17	0,11
85	Cổ thông 19mm	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 xì trên sườn gỗ	0,03	0,05	0,06	0,09	0,04	0,06
88	Lớp trát cách tường 50mm	0,30	0,25	0,15	0,08	0,05	0,05

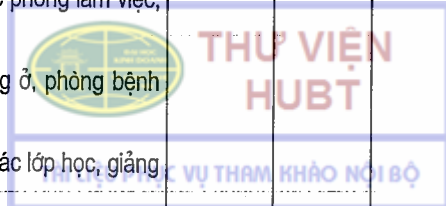
Thứ tự	Tên vật liệu và kết cấu	Hệ số hút âm ở các tần số trung bình của dải 1ôcta, Hz							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
G. Kết cấu hút âm dùng để chống ồn công nghiệp									
89	Tấm ép bằng bông khoáng $\gamma=150\text{kg/m}^3$, dày 20mm, đặt sát trần	0,02	0,03	0,17	0,68	0,98	0,86	0,45	0,20
90	Nt, trên cách trần 50mm	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 20mm, đặt sát trần	0,02	0,11	0,30	0,85	0,90	0,78	0,72	0,59
92	Nt, cách trần 50mm	0,10	0,20	0,71	0,88	0,81	0,71	0,79	0,65
93	Nt, cách trần 200mm	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 $\gamma =15\text{kg/m}^3$, dày 50mm, 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 50mm bọc vải thủy tinh, tấm kim loại 1,2mm đục lỗ 33%, đường kính 3mm, đặt sát trần	0,03	0,18	0,39	0,60	0,73	0,80	0,85	0,85
96	Nt, cách trần 100mm	0,08	0,27	0,53	0,69	0,76	0,92	0,87	0,87
97	Tấm bông khoáng $\gamma =100\text{kg/m}^3$, dày 100mm bọc vải thủy tinh, tấm kim loại dày 1,2mm đục lỗ đường kính 6mm, 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 100mm bọc vải thủy tinh, tấm xm amian dày 4mm đục lỗ đường kính 6mm, 25%, đặt sát tường	0,1	0,30	0,63	0,86	0,72	0,54	0,46	0,32
99	Nt, cách trần 250mm	0,5	0,98	1	1	1	1	1	0,86
H. Khối hút âm hình hộp (lượng hút âm tương đương)									
100	Kích thước 400×400mm, tấm kim loại 2mm đục lỗ đường kính 10mm, 30%, bông thủy tinh cực mảnh 15kg/m^3 dày 60mm 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

Thứ tự	Tên vật liệu và kết cấu	Hệ số hút âm ở các tần số trung bình của dải 1ôcta, Hz							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
102	Kích thước 500×500mm gỗ dán 4mm đục lỗ 25% đường kính 10mm, tấm bông khoáng 100kg/m ³ , dày 100mm bọc vải (tấm chất chống cháy) b = 2500, h = 1250mm	-	0,7	1,2	1,98	1,79	1,59	1,63	1,4
103	Nt, b = 1250mm; h = 1250mm 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

Thứ tự	Tên vật liệu và kết cấu	Hệ số hút âm ở các tần số trung bình của dải 1ôcta, Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
TT	Tên vật liệu và kết cấu						
104	Tấm thạch cao (500-1000×5000) dày 10 900 kg/m ³ đục lỗ ϕ 10 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	125	250	500	1k	2k	4k
		0,05	0,15	0,63	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	0,93	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	0,99	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

Phụ lục 2
TIÊU CHUẨN CHỈ SỐ CÁCH ÂM
CHO CÁC KẾT CẤU PHÂN CÁCH NHÀ DÂN DỤNG
(Theo TCXDVN 277:2002)

Nhóm cách âm	Loại nhà và loại kết cấu	Chỉ số CK ^c , dB	Chỉ số CV ^c , dB
I	<p>Kết cấu có yêu cầu cách âm cao:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nhà văn hoá, trường âm nhạc: sàn và tường giữa các phòng tập âm nhạc, chơi nhạc, - Nhà làm hành chính, văn phòng, bệnh viện: sàn và tường của một số phòng làm việc có yêu cầu yên tĩnh cao; - Khách sạn ≥ 4 sao: sàn và tường giữa các phòng ở; - Nhà ở, khách sạn, hành chính văn phòng: sàn và tường giữa các phòng ngủ, phòng làm việc kề với các phòng có thiết bị gây ồn cao. 	55	58
II	<p>Kết cấu có yêu cầu cách âm trung bình:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nhà ở chung cư: sàn và tường của các phòng ngủ, phòng sinh hoạt chung giữa các căn hộ; tường giữa các phòng ngủ, phòng sinh hoạt và bếp, khối vệ sinh, khu cầu thang. - Nhà ở tập thể, ký túc xá, khách sạn thường: sàn và tường giữa các phòng ở; tường giữa các phòng ở và sảnh, khu cầu thang; - Nhà hành chính, văn phòng: sàn và tường giữa các phòng làm việc, hội thảo; - Bệnh viện, nhà nghỉ: sàn và tường giữa các phòng ở, phòng bệnh nhân, phòng mổ, bác sỹ, phòng xem tivi, đọc sách; - Trường học, trường cao đẳng, đại học: tường giữa các lớp học, giảng đường, phòng thí nghiệm, phòng đọc sách. 	50	62
III	<p>Kết cấu có yêu cầu cách âm thấp:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nhà chung cư: tường giữa các phòng ở trong một căn hộ; - Khách sạn: tường giữa các buồng ở trong một phòng nhiều buồng; - Nhà hành chính, văn phòng, cửa hàng: sàn và tường giữa các phòng giao dịch, rút tiền, tiếp đón; - Trường học, trường cao đẳng, đại học: sàn giữa các lớp học, giảng đường; tường giữa các lớp học, giảng đường và hành lang. 	45	66



Phụ lục 3

ĐẶC TÍNH TẦN SỐ KHẢ NĂNG CÁCH ÂM (dB) CỦA CÁC LOẠI KÍNH

* Đo tại phòng thí nghiệm: Kobayashi Riken.

* Phương pháp đo của JIS A1416 (Nhật Bản).

* Kích thước kính: 1316 x 1716mm.

Loại kính	Chiều dày, mm	Tần số trung bình của dải 1/3 octa (Hz)																Chỉ số CK	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150		
Kính đơn (một lớp)	3	10	20	19	19	20	22	23	25	26	28	30	31	32	33	34	32	26	
	4	13	22	21	22	22	24	25	27	29	30	32	32	33	34	32	32	34	
	5	15	24	23	23	23	26	27	28	30	31	33	34	34	33	26	27	30	
	6	15	25	24	24	25	27	28	30	32	33	34	34	33	27	28	30	31	
	8	17	25	26	26	27	29	30	32	33	35	35	30	28	30	33	37	32	
	10	19	28	28	28	29	30	33	24	35	35	33	29	32	34	38	40	33	
	12	21	30	29	30	29	32	33	34	35	34	29	32	36	38	40	43	34	
	Kính dán hai lớp	3\38/3	15	25	24	24	25	26	28	29	32	33	35	34	33	29	30	32	32
		3\76/3	14	25	25	24	25	27	28	29	32	33	34	34	33	30	31	33	32
		3\1.14/3	15	26	25	24	25	26	29	30	32	33	34	34	32	30	32	34	32
		4\38/4	20	27	27	27	28	31	32	34	36	37	36	35	32	34	34	39	32
		4\76/4	20	27	27	27	28	31	32	34	36	37	36	35	33	35	35	39	35
5\38/3		17	26	26	27	27	29	30	32	33	34	35	31	28	29	34	37	35	
Kính dán hai lớp	5\76/3	20	27	27	27	28	31	32	34	36	37	36	35	33	35	35	39	32	
	6\38/3	21	28	28	28	29	31	33	34	36	37	36	33	33	35	37	42	35	
	6\76/3	21	28	28	28	29	31	33	34	36	37	36	34	34	36	37	42	36	
	6\38/4	22	29	29	28	30	32	34	35	36	37	35	33	34	35	39	43	36	
6\76/4	22	29	29	28	30	32	34	35	36	37	35	33	35	36	40	43	36		

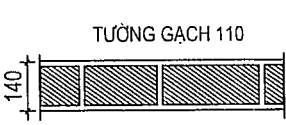
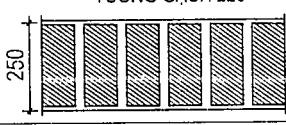

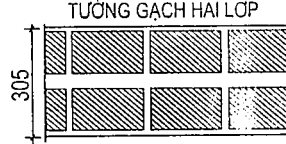



Loại kính	Chiều dày, mm	Tần số trung bình của dải 1/3 octa (Hz)														Chỉ số CK		
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000		2500	3150
	11,38	22	29	29	29	30	33	34	35	36	37	34	34	35	38	41	44	36
	11,76	22	29	29	29	30	33	34	35	36	37	34	34	35	39	42	44	37
	12,38	23	30	30	30	31	33	35	35	36	36	33	35	35	39	43	45	37
	12,76	23	30	30	30	31	33	35	35	36	36	33	35	35	40	49	45	37
	16,38	21	30	31	32	32	33	34	35	34	29	32	37	40	43	46	47	35
Kính dán ba lớp	3/76/6/76/4	24	32	31	31	32	35	35	35	35	33	35	37	41	46	46	48	38
	4/76/6/76/4	23	31	30	30	31	34	35	35	36	35	34	36	38	42	45	46	38
	5/76/6/76/5	25	32	32	32	33	35	35	35	34	34	36	39	44	47	47	49	39
	6/76/6/76/6	25	33	33	32	33	35	35	34	33	35	37	41	46	48	48	50	39
Hai lớp kính đơn (A12-khe không khí 12mm)	3+A6+3	16	24	25	21	23	22	19	20	22	27	30	34	37	37	39	37	27
	3+A12+3	18	23	23	18	17	16	17	21	24	29	34	37	40	39	40	37	26
	5+A12+3	20	25	24	22	19	21	22	25	28	33	38	40	43	39	37	41	31
	5+A12+5	22	25	24	17	19	22	25	27	31	25	38	40	40	35	30	36	31
	6+A12+4	22	26	26	20	21	22	22	25	32	26	39	40	38	36	35	32	32
	6+A12+5	23	26	25	18	21	23	23	26	33	26	39	41	40	33	32	37	32
	6+A12+6	24	27	26	19	22	23	23	27	30	27	40	41	40	31	33	38	33
	8+A12+8	28	24	22	18	22	24	24	29	32	34	36	37	34	32	37	41	32
Kính dán + A12 + Kính đơn	(3/76/3)+A12+6	22	27	27	22	23	24	28	31	36	38	41	43	41	34	35	40	34
	(4/76/3)+A12+6	23	28	28	23	23	25	29	32	37	39	41	42	40	35	37	44	35
	(6/38/3)+A12+6	24	29	29	24	25	26	30	33	37	38	39	42	42	38	41	47	37
	(5/76/5)+A12+8	25	29	30	24	25	26	30	34	37	40	41	38	38	38	42	51	36

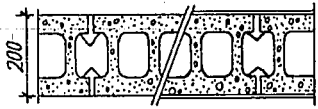
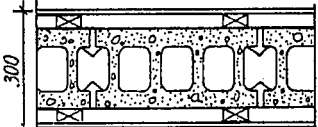
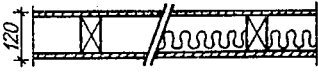

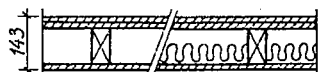

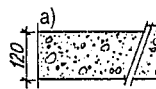

Chú thích: * Kính dán hai lớp 3/38/3 là kính gồm hai lớp dày 3mm được dán bởi lớp nhựa trong 0,38mm.



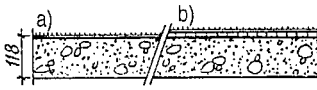
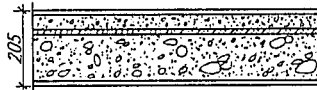
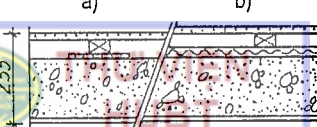


* Các loại kính trên đã có bán tại thị trường Việt Nam.

Phụ lục 4

CHẤT LƯỢNG CÁCH ÂM CỦA MỘT SỐ KẾT CẤU NHÀ DÂN DỤNG

Thứ tự	Sơ đồ kết cấu tường và sàn (kích thước theo mm)	Khối lượng, kg/m ²	Chỉ số cách âm, dB			Nguồn tài liệu		
			Không khí, CK	Va chạm, CV				
1	 <p>TƯỜNG GẠCH 110</p>	Vữa trát	15	220	46	-	[49]	
		Gạch đặc	110	270	42	-	[13]	
		Vữa trát	15					
2	 <p>TƯỜNG GẠCH 220</p>	Vữa trát	15	420	53	-	[49]	
		Gạch đặc	110	490	52	-	[13]	
		Vữa trát	15					
3	 <p>TƯỜNG GẠCH 330</p>	Gạch đặc	220	620	57	-	[49]	
		Vữa trát	110	590	54	-	[13]	
4	 <p>TƯỜNG GẠCH HAI LỚP</p>	Vữa trát	13	490	54	-	[13]	
		Gạch đặc	114					
		Không khí	50					
		Gạch đặc	114					
		Vữa trát	15					
5	 <p>TƯỜNG THẠCH CAO</p>	Vữa trát	13	115	40	-	[13]	
		Tấm thạch cao	100					
		Vữa trát	13					
6	 <p>TƯỜNG BÊTÔNG 150</p>	Vữa trát	13	390	52	-	[13]	
		Bê tông	150					
		Vữa trát	13					
7	 <p>TƯỜNG BÊTÔNG RỎNG 150: a) Không sơn; b) Quét sơn</p>	Sơn	145+	195	a. 43	-	[13]	
		Panen rỗng	150			b. 45		[13]
		Sơn						

Thứ tự	Sơ đồ kết cấu tường và sàn (kích thước theo mm)	Khối lượng, kg/m ²	Chỉ số cách âm, dB		Nguồn tài liệu	
			Không khí, CK	Va chạm, CV		
8	TƯỜNG BÊTÔNG RỔNG 220 a) Không sơn; b) Quét sơn 	Sơn Panen bê tông 150 Sơn	195± 245	a.45 b.48	- -	[13] [13]
	TƯỜNG BÊTÔNG RỔNG 200 CÓ HAI LỚP TRÁT 	Lớp trát hoặc thạch cao 13 Panen bê tông rỗng 200 Lớp trát hoặc thạch cao 13	220± 270	50	-	[13]
10	TƯỜNG THẠCH CAO HAI LỚP: a) Không; b) Có hút âm 	Tấm thạch cao 13 Sườn gỗ 50×100 Bông thủy tinh 50 Tấm thạch cao 13	a.21 b.23	33 36	- -	[13] [13]
	TƯỜNG THẠCH CAO HAI LỚP: a) Không; b) Có lớp hút âm 	Tấm thạch cao 16 Sườn gỗ 50×100 Bông thủy tinh 50 Tấm thạch cao 16	a.26 b.29	34 38	- -	[13] [13]
	TƯỜNG THẠCH CAO BA LỚP: a) Không; b) Có lớp hút âm 	Tấm thạch cao 16 Tấm thạch cao 16 Sườn gỗ 50×100 Bông thủy tinh 50 Tấm thạch cao 16	a.42 b.44	36 39	- -	[13] [13]
13	SÀN BÊTÔNG 100 (không có mặt sàn): a) Không; b) Có lớp vinyl 	Tấm lát vinyl Bê tông 100	a.260 b.265	44 44	85 82	[13] [13]
	SÀN BÊTÔNG 120, 140 (không có mặt sàn) a)  b) 	Bê tông a.120 b.140	300 350	49 51	83 82	[49] [49]

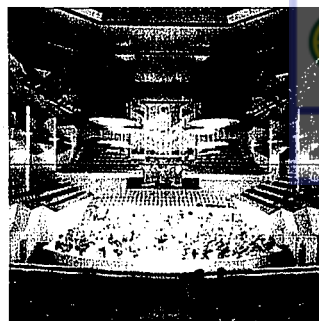
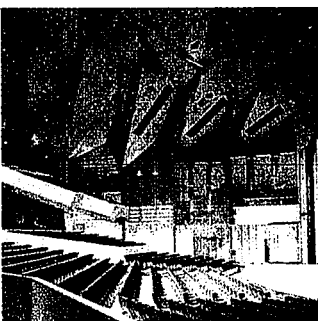
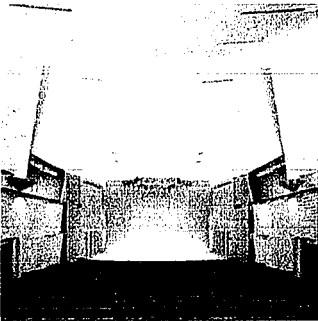
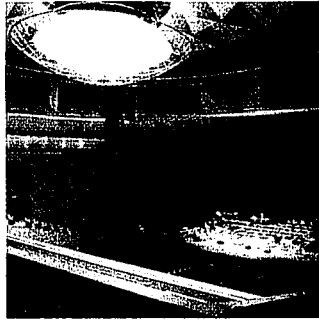
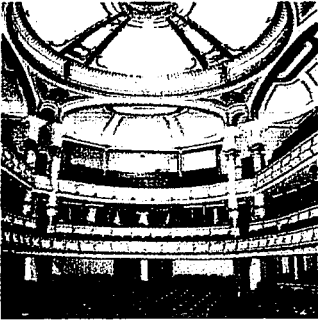
Thứ tự	Sơ đồ kết cấu tường và sàn (kích thước theo mm)	Khối lượng, kg/m ²	Chỉ số cách âm, dB		Nguồn tài liệu	
			Không khí, CK	Va chạm, CV		
15	SÀN PANEN BÊTÔNG RỔNG 220 (không có mặt sàn) 	300	49	83	[49]	
16	SÀN BÊTÔNG CÓ LỚP MẶT SÀN VÁN GỖ 	Ván gỗ 13 Tấm sợi mốp 13 Bê tông 100	275	44	65	[13]
17	SÀN BÊTÔNG TRÁI THÂM a) b) 	Thảm 10 Đệm cao su xốp 6 Ván gỗ 13 Bê tông 100	a.265 b.275	44	30 26	[13] [13]
18	SÀN BÊTÔNG 125 CÓ LỚP MẶT SÀN TRÊN ĐỆM ĐÀN HỒI 	Linôlêum trên mattit 13 Vữa 38 Bông cách âm 13 Bê tông 125 Vữa 13	440	51	57	[13]
19	SÀN VÁN GỖ TRÊN BÊTÔNG a) b) 	Ván gỗ 19 Sườn gỗ 38x50 Bản 13/bông khoáng 25 Bê tông 150 Vữa 13	a.365 b.405	53	57 53	[13] [13]
20	SÀN DÂY SƯỜN CÓ TRẦN 	Vữa 19 Bê tông 50 Không khí 135 Gỗ ván 16 Vữa 16	220	46	68	[13]
21	SÀN PANEN TI KHÔNG CÓ ĐỆM ĐÀN HỒI 	Vữa 19 Panen bê tông 125	136	42	78	[13]

Thứ tự	Sơ đồ kết cấu tường và sàn (kích thước theo mm)	Khối lượng, kg/m ²	Chỉ số cách âm, dB		Nguồn tài liệu	
			Không khí, CK	Va chạm, CV		
22		Ván gỗ 25	315	47	68	[13]
		Vữa 38				
		Panen bê tông 180				
		Vữa 19				
23		Mattit hắc in 13	270	45	79	[13]
		Vữa 13				
		Panen bê tông 150				
		Vữa 13				
24		Linôlêum	220	44	62	[13]
		Ván gỗ 22				
		Sườn gỗ 50x50				
		Panen bê tông 180				
		Vữa 93				
25		Tấm lát vinyl	a. 187 b. 188	48	77	[13]
		Bê tông 50				
		Thép góc liên kết 10				
		Thép treo trần 68				
		Rãnh đệm 19				
		Tấm thạch cao 10				
		Vữa 13				
26		Tấm sợi gỗ cứng 4	270	-	62	[49]
		Tấm sợi gỗ mềm 12,5				
		Cát nhỏ 40				
		Tấm bê tông 90				
27		Tấm mùn cửa ép 45	380	52	67-71	[49]
		Cát nhỏ 30 - 50				
		Tấm bê tông 100				
28		Ván gỗ 37	270+300	53	65	[49]
		Sườn gỗ 40				
		Hai lớp sợi gỗ ép mềm 25				
		Bê tông 100				

Thứ tự	Sơ đồ kết cấu tường và sàn (kích thước theo mm)	Khối lượng, kg/m ²	Chỉ số cách âm, dB		Nguồn tài liệu		
			Không khí, CK	Va chạm, CV			
29	<p>SÀN VÁN, GỖ ĐÉM XƠ DỪA TRÊN BÊTÔNG</p>	Ván gỗ	37	270	53	64	[49]
		Sườn gỗ	40				
		Tấm xơ dừa	20				
		Bê tông	100				
30	<p>SÀN GẠCH LÁT ĐEM CÁT TRÊN BÊTÔNG</p>	Gạch lát	20	350÷380	51÷52	66÷68	[49]
		Tấm bê tông trộn trấu ($\gamma = 700$)	35				
		Cát nhỏ	50				
		Tấm bê tông	90				

Phụ lục 3

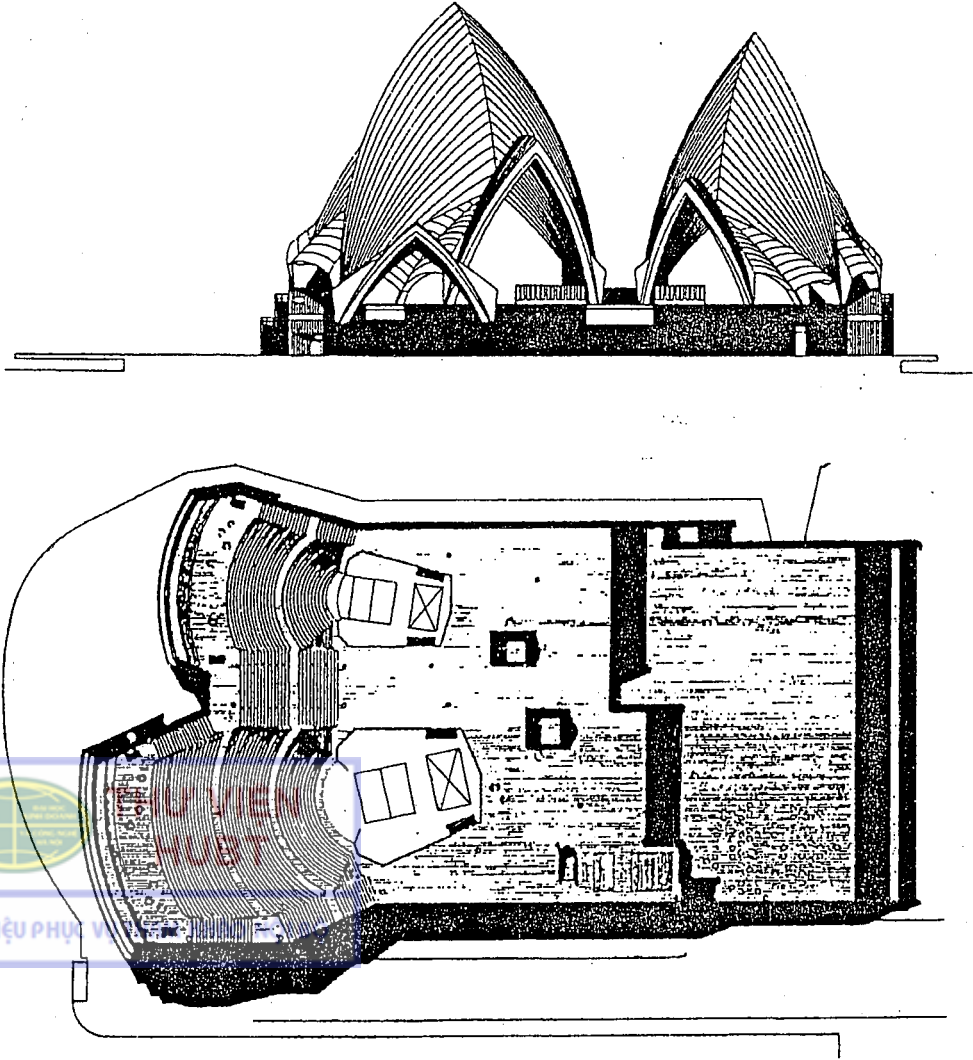
MỘT SỐ CÔNG TRÌNH TRÊN THẾ GIỚI VÀ VIỆT NAM CÓ ÁP DỤNG TỐT CÁC GIẢI PHÁP ÂM HỌC KIẾN TRÚC



THƯ VIỆN
HUBT
TRUNG ƯƠNG KHU VỰC KHẢO NGHIỆM NỘI BỘ

PLA.1. NHÀ HÁT LỚN ÔPERA SYDNEY (SYDNEY OPERA HOUSE)

Australia, 1973. Kts. *Jorn Utzon*

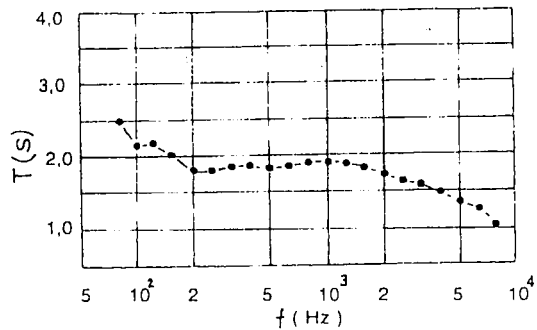
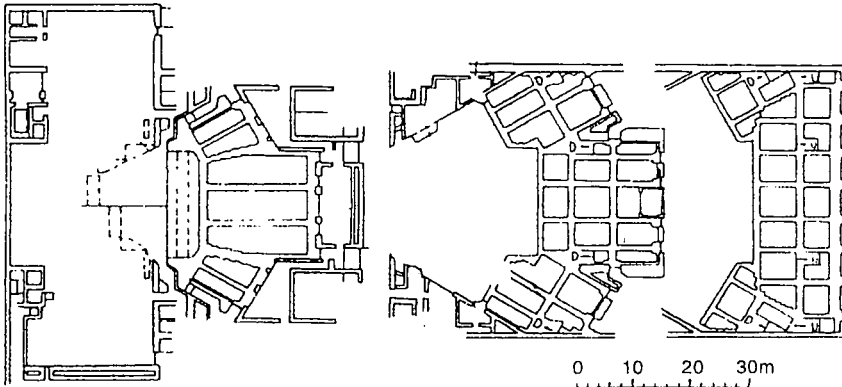
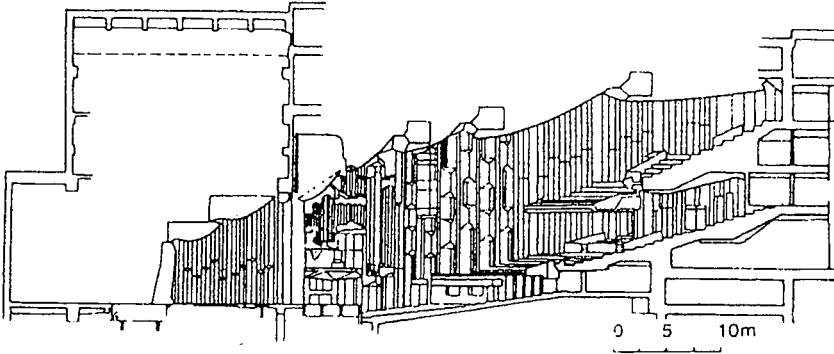


Xây dựng trong 14 năm với kinh phí 102 triệu USD. Phòng lớn dùng cho hòa nhạc có sức chứa 2700 chỗ. Nhà hát kịch có sức chứa 1550 chỗ. Ngoài ra còn có các phòng nhỏ 650 chỗ và 420 chỗ dùng cho kịch và nhạc thính phòng. Cách tổ chức chỗ ngồi phòng hòa nhạc tạo được sự tiếp xúc tốt giữa thính giả và diễn viên. Nội thất phòng hòa nhạc nhằm tạo được một trường âm có mức đồng đều và độ khuếch tán cao trên khắp chỗ ngồi thính giả.



Nội thất phòng hòa nhạc Sydney

PLA.2. PHÒNG THÍNH GIẢ LỚN CỦA ĐÀI PHÁT THANH TRUYỀN HÌNH NHẬT BẢN

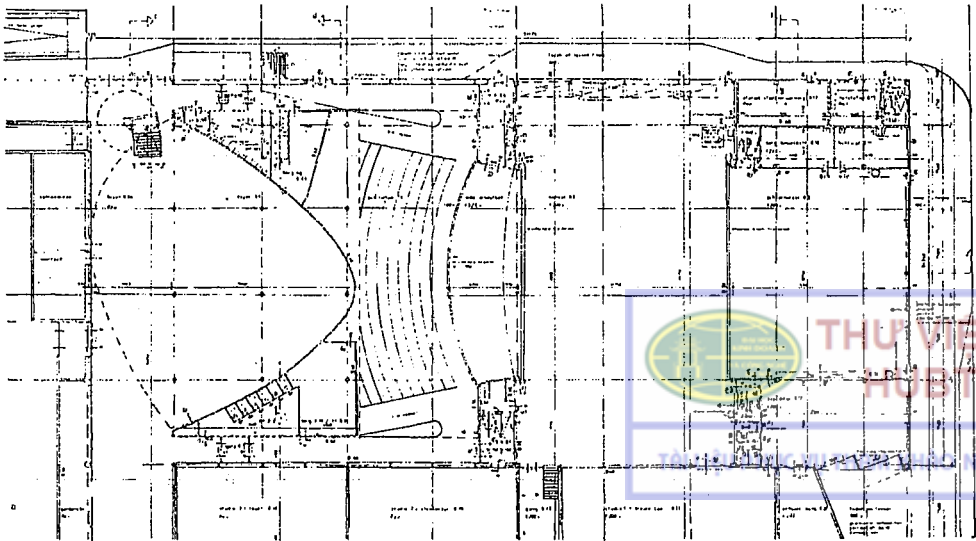
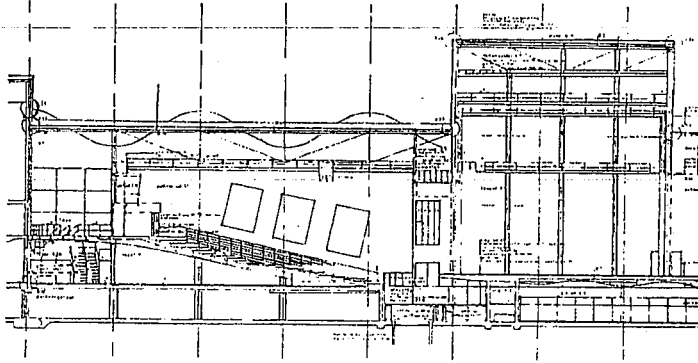


Diện tích 7780m^2 , thể tích 25.200m^3 , sức chứa 3800 chỗ, thời gian âm vang ở tần số 500Hz là 1,8s và thay đổi từ 2,1s (ở 100Hz) đến 1,5s ở 400Hz, (xem biểu đồ kèm theo). Hình dạng trần thiết kế nhằm tạo được sự phân bố đều âm phản xạ tới mọi chỗ ngồi, còn các tường bên để tạo trong phòng một trường âm khuếch tán cao.

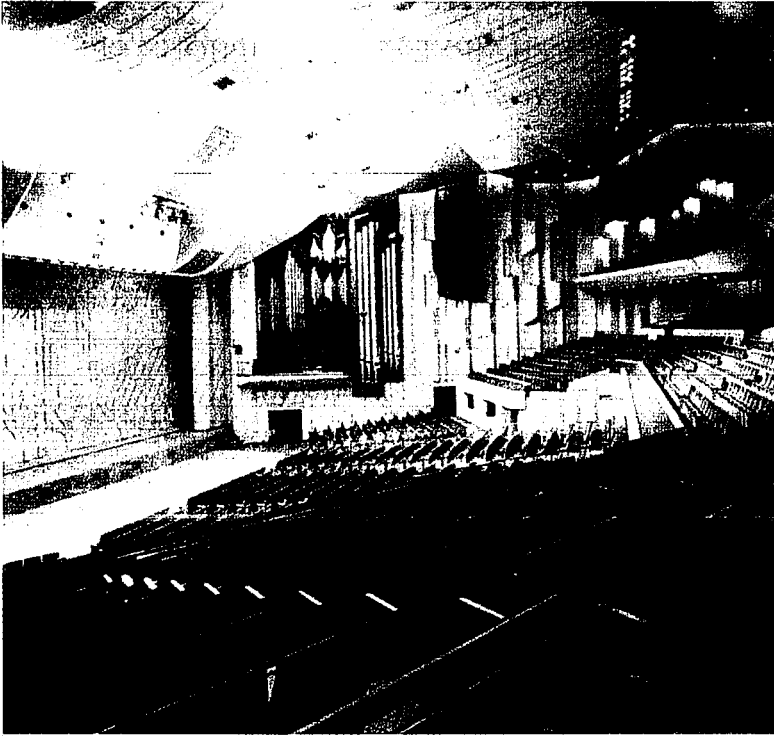
PLA.3. NHÀ HÁT - MÚA HÀ LAN

(THE NETHERLANDS DANCE THEATRE) Hà Lan, 1984

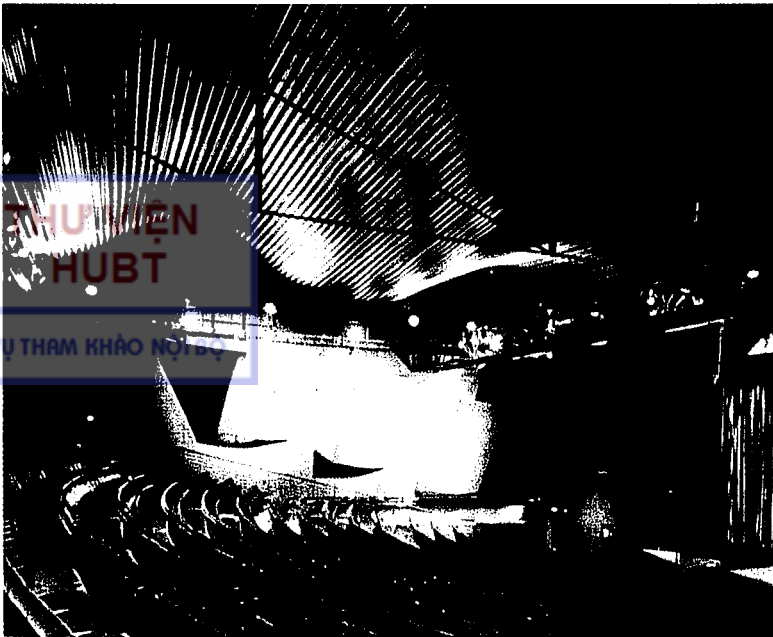
Kts. Rem Koolhaas



Phòng hình quạt, nền dốc thoải, sức chứa 1001 chỗ. Trần tạo bởi hai cánh buồm kim loại dạng sóng, có lớp cách âm ở giữa. Tường bên mỗi phía có ba cánh buồm phản xạ âm thanh bằng gỗ dán bọc lá kim loại màu vàng. Sự phối hợp màu sắc của ghế ngồi (xanh lam) và màn sân khấu (màu vàng) cùng với chiếu sáng nhân tạo gây được ấn tượng thẩm mỹ tốt.

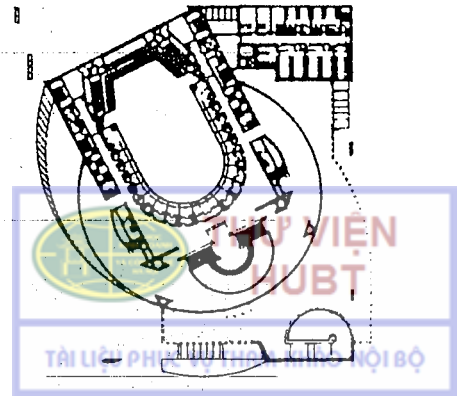
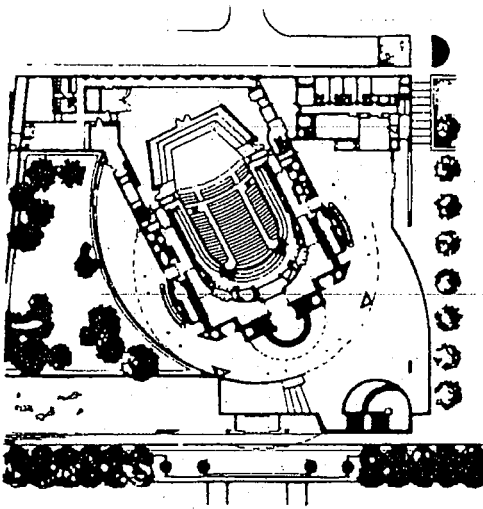
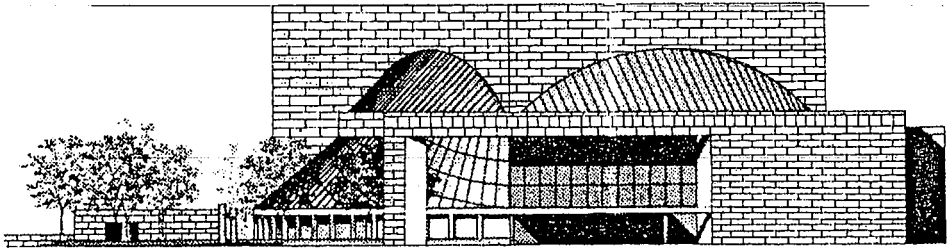


Nội thất phòng thính giả lớn của đài phát thanh truyền hình Nhật Bản.

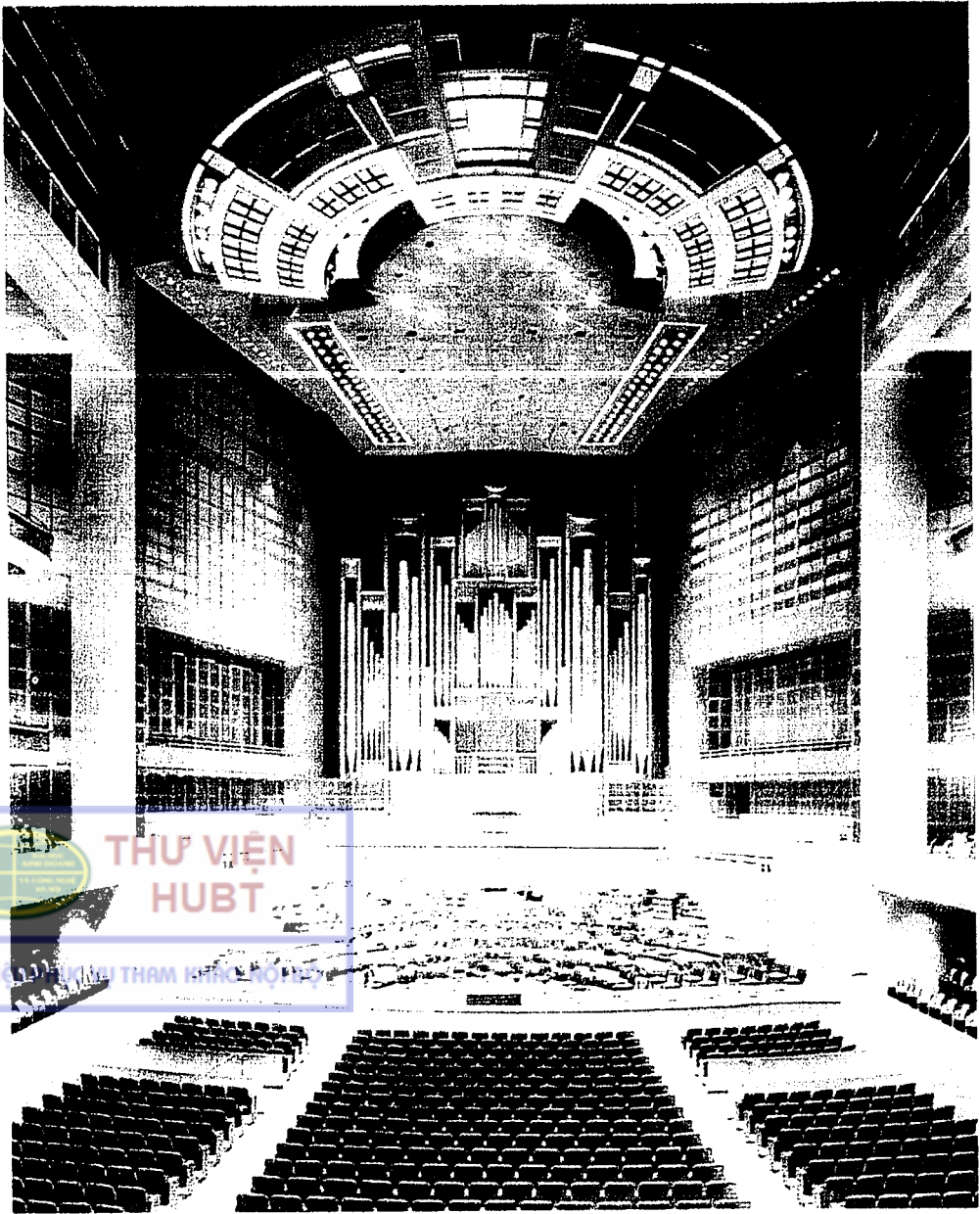


Nội thất nhà hát - múa Hà Lan

PLA.4. TRUNG TÂM GIAO HƯỞNG MORTON H.MEYERSON
(THE MORTON H MEYERSON SYMPHONY CENTRE)
Dallas, Mỹ. Kts. *Jeoh Ming Pei*



Phòng có 2066 chỗ, dùng cho nhạc giao hưởng, độc tấu, được đánh giá là có chất lượng âm thanh tuyệt vời nhờ ở tổ chức không gian linh hoạt, hợp lý. Để thay đổi thời gian âm thanh, đã sử dụng một hệ thống phòng vang đặt trên đỉnh phòng thính giả, có thể đóng mở bằng 72 cửa bê tông (mỗi cửa dày 15cm nặng 2,5t). Trần phản xạ trên dàn nhạc có thể thay đổi độ nghiêng, nâng cao, hạ thấp ở độ cao 11m. Vấn đề cách âm từ các phòng sinh hoạt khác cũng được giải quyết rất tốt.



THƯ VIỆN
HUBT

TÀI LIỆU THAM KHẢO NỘI BỘ

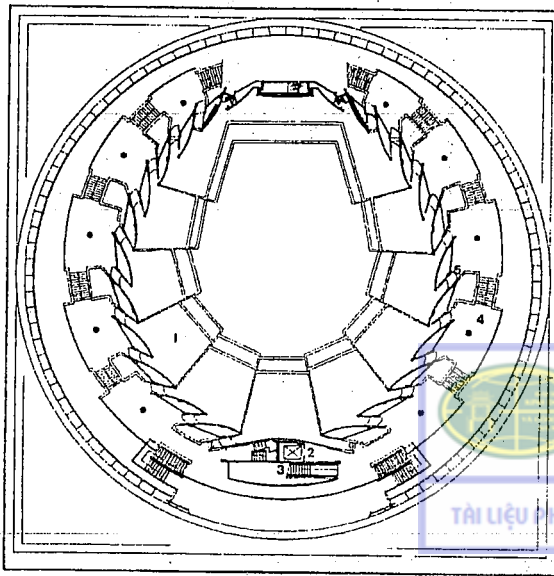
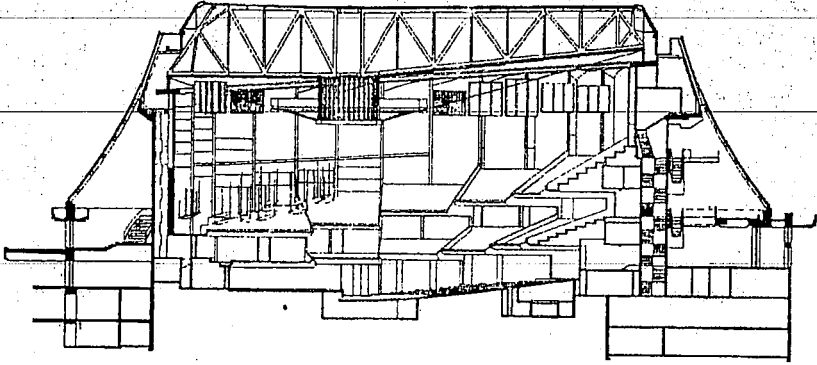
Nội thất phòng hòa nhạc của trung tâm giao hưởng Morton H.Meyerson, Mỹ.

PLA.5. PHÒNG HÒA NHẠC ROY THOMSON

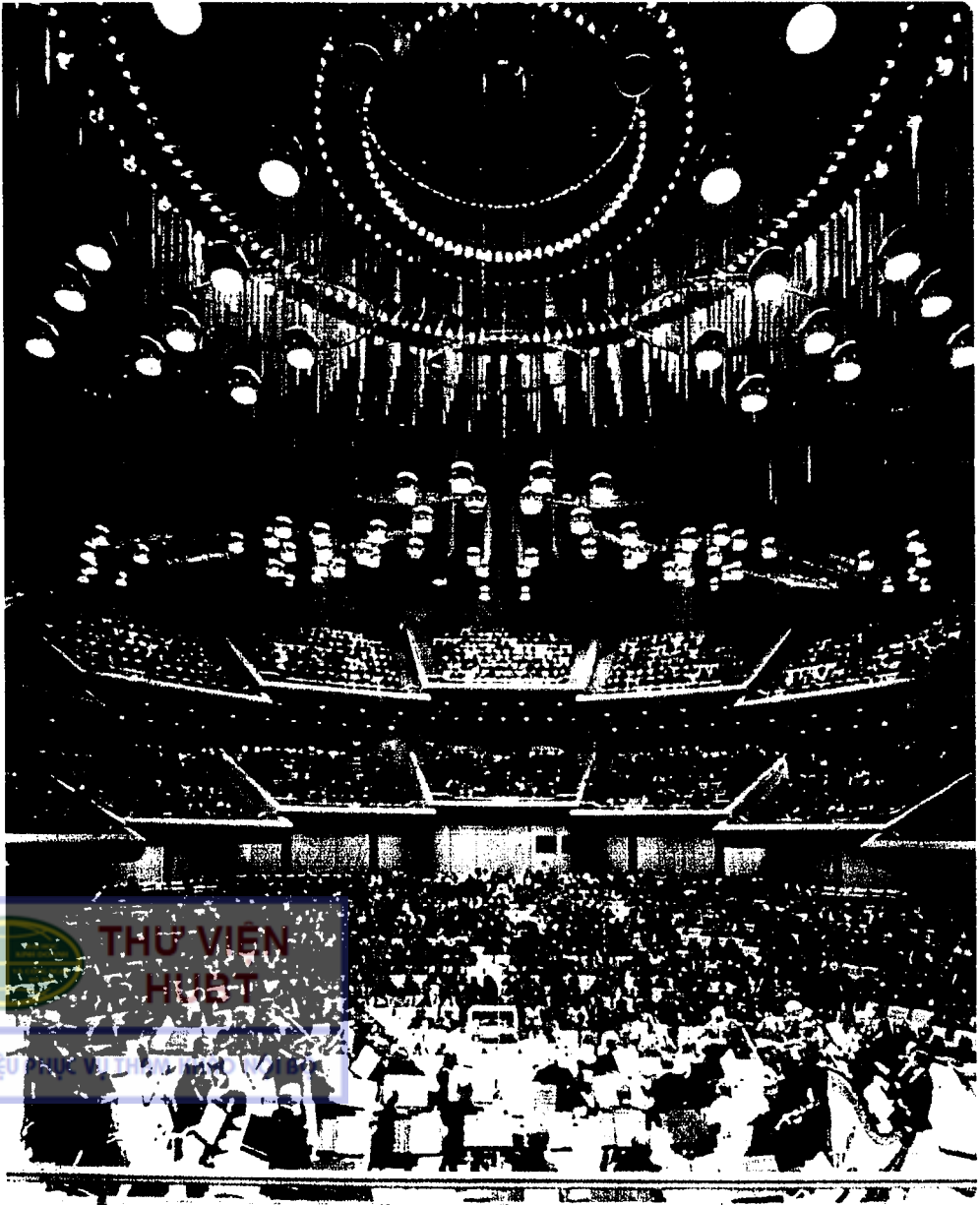
(ROY THOMSON HALL) Toronto, Canada.

Kts. Arthur Erickson (company).

Thiết kế âm thanh: Bolt Beranek & Newman (Mỹ).



Hoàn thành năm 1982, với kinh phí 40 triệu USD. Công trình được coi là có chất lượng âm thanh tuyệt vời, đáp ứng yêu cầu với mọi thể loại âm nhạc. Mặt bằng hình ovan được biến đổi bằng một loạt cột bê tông cong lồi nhằm tạo phản xạ khuếch tán âm thanh vào phòng. Tường lan can ban công cong lồi phản xạ âm thanh vào các chỗ ngồi trên sàn. Thời gian âm vang được điều chỉnh bằng "thảm hút âm" làm bằng 2000 ống len treo thành ba vòng giữa phòng, trong đó hai vòng ngoài nhỏ và phòng ít hơn. Các ống có thể nâng lên, hạ xuống bằng thiết bị đặc biệt. Các đĩa phản xạ âm thanh trong suốt trên dàn nhạc để hướng âm phản xạ về thính giả.

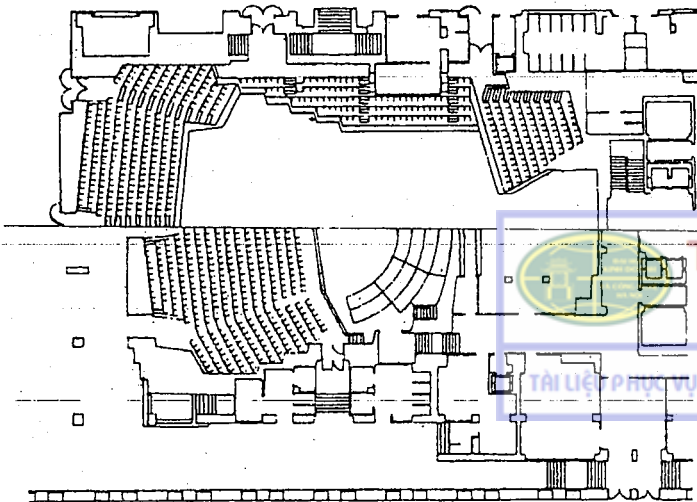
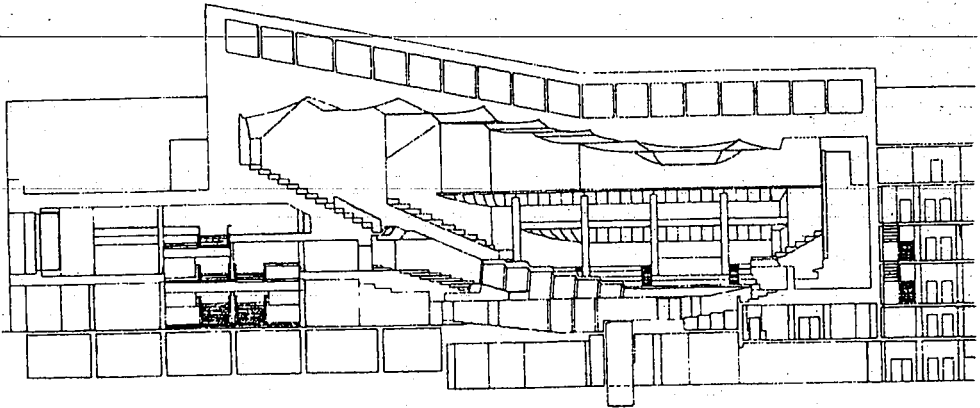


Nội thất phòng hòa nhạc Roy thomson, Canada.

PLA.6. PHÒNG HÒA NHẠC QUỐC GIA

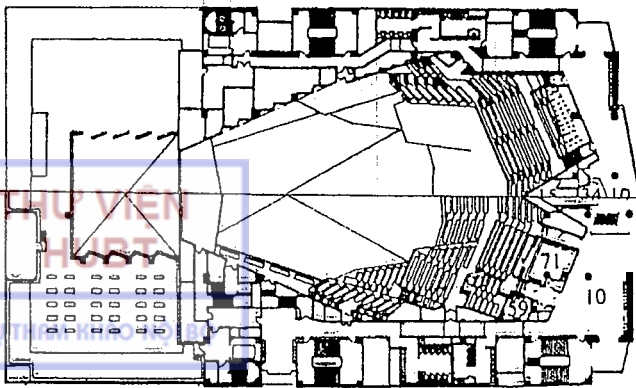
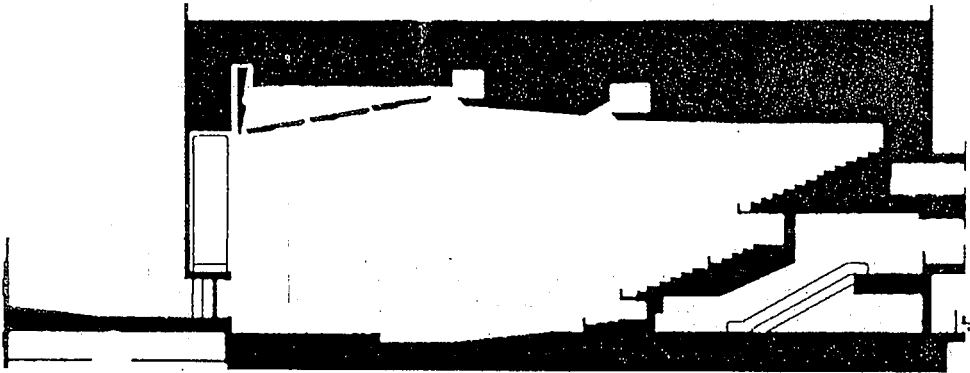
(AUDITORIO NACIONAL DE MUSICA)

Madrid, Tây Ban Nha, 1982. Kts. Jose Maria Garcia de Peredes



Phòng lớn 2274 chỗ, phòng nhỏ 619 chỗ. Giải pháp không gian hiện đại và phong phú của nội thất tạo được sự phân bố đều âm thanh với một trường âm khuếch tán cao trong phòng, rất cần thiết để cảm thụ âm nhạc. Giải pháp thiết kế có thể coi là một hướng tìm tòi sáng tạo thành công trong sự kết hợp giữa kiến trúc và âm học cho các phòng hòa nhạc hiện đại, có sức chứa lớn.

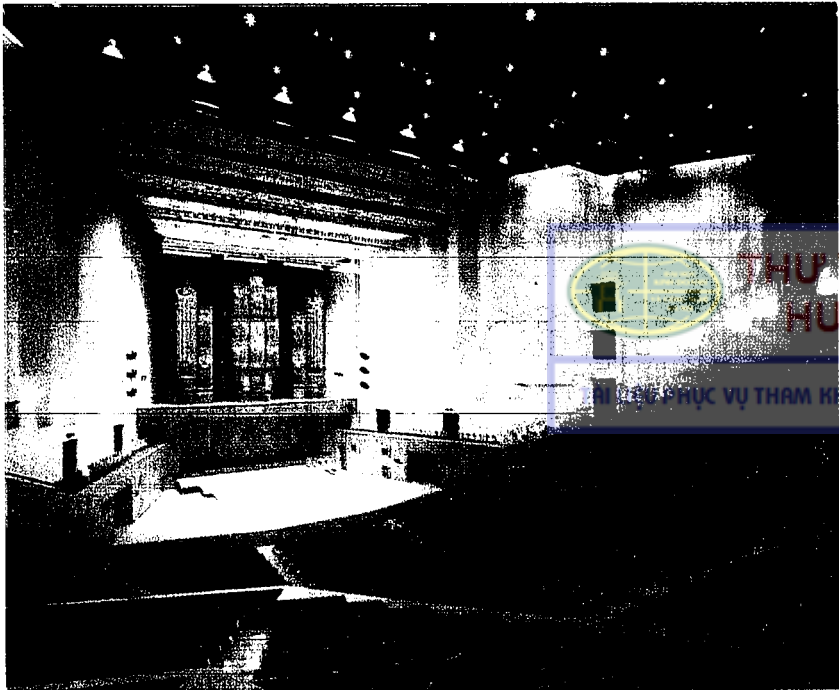
**PLA.7. PHÒNG HÒA NHẠC CỦA TRUNG TÂM NGHỆ THUẬT
TOKYO (TOKYO METROPOLITAN ART SPACE) 1990, Tokyo,
Nhật Bản. Kts. Ashihara. Thiết kế âm thanh: Nagata Acoustic
Engineer & Associates**



Phòng lớn 199 chỗ dùng cho hòa nhạc ($T_{500} = 2,1 - 2,3s$), phòng nhỏ 841 chỗ cho ôpera, kịch, ba lê ($T_{500} = 1,0 - 1,2s$). Trần phòng hòa nhạc sử dụng để phản xạ âm thanh tới thính giả. Tường bên, phía bên sử dụng các cấu kiện phân chia dạng chu kỳ để tạo trường âm khuếch tán trong phòng, cùng với ánh sáng, màu sắc đã tạo được một không gian hấp dẫn và hài hòa.



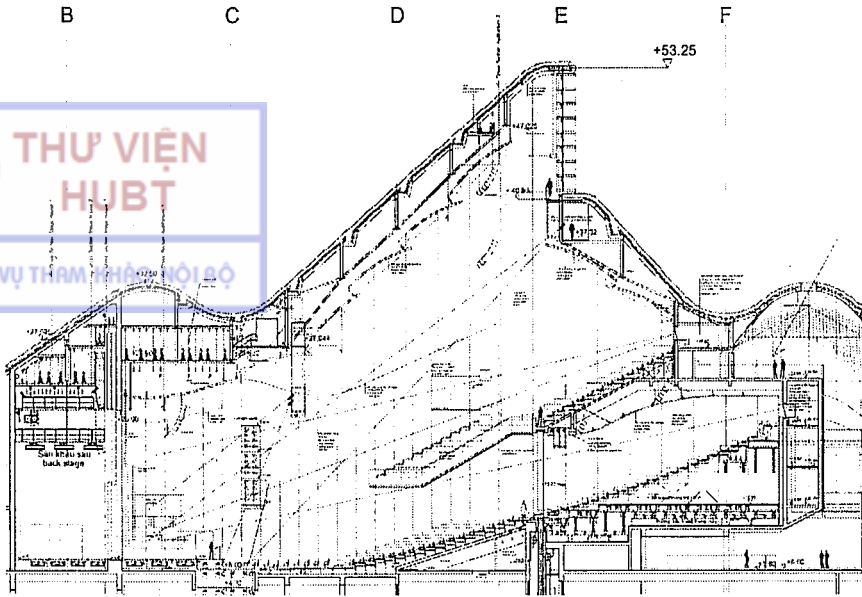
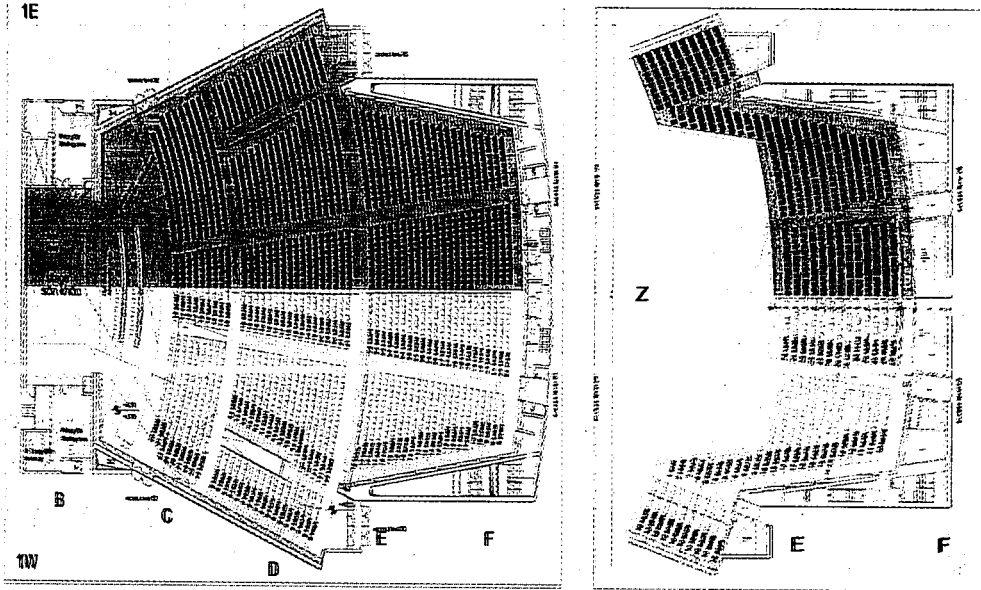
Nội thất phòng hòa nhạc quốc gia, Madrid, Tây Ban Nha



Nội thất phòng hòa nhạc của Trung tâm nghệ thuật Tokyo, Nhật Bản

**PLA.8. PHÒNG HỌP CHÍNH (MAIN MEETING HALL)
TRUNG TÂM HỘI NGHỊ QUỐC GIA, HÀ NỘI.**

Thiết kế: *GS. TS KTS Meinhard Von Gerkan & KTS. Nikolaus Goetze*



Mặt bằng và mặt cắt phòng họp chính 3770 chỗ ngồi.



Ảnh nội thất phòng họp chính nhìn từ sân khấu

Thể tích $\sim 60.000\text{m}^3$, sức chứa 3770 chỗ ngồi, thể tích riêng $v \approx 16\text{ m}^3/\text{người}$, thời gian âm vang $T_{250-4000} \approx 1,4\text{ s}$. Sử dụng đa năng: hội nghị (chính), ca, múa, nhạc. Hệ thống điện thanh chính sử dụng 3 chuỗi loa (Line-array) đặt phía trước, cạnh miệng sân khấu và 3 chuỗi loa treo giữa phòng (bổ sung âm thanh cho phần khán giả cuối phòng), kết hợp các loa đặt trên trần dưới ban công. Không gian dưới ban công có thể được ngăn bằng tường di động tạo thành phòng 1000 chỗ ngồi, thể tích 5500 m^3 , thời gian âm vang $T \approx 1\text{ s}$. Hoàn thành xây dựng năm 2006.

TÀI LIỆU PHỤC VỤ THAM KHẢO NỘI BỘ

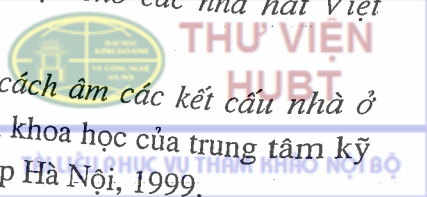
TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. C.A. 8-1996-7. *Cultural Building. Bimonthly Journal of Contemporary Architecture. Published by Kuchukdoseo Co. Issue/july, 1996.*
2. Conturie L. *L'Acoustique dans les bâtiments.* Paris, 1955.
3. David Egan M. *Concepts in architectural Acoustics.* Mc Graw - Hill book Company.
4. Dendal J. *Acoustique appliquée.* Université de Liège.
5. Ernst Neufert. *Les éléments des projets de construction.* 6^e édition Dunod.
6. Ginn K.B. *Architectural Acoustics.* Brüel & Kjaer, 1978.
7. Heinrich Kuttruff. *Room Acoustics. Elsevier applied Science.* London & New York 3rd édition, 1991.
8. Jean Puiolle. *La pratique de l'isolation acoustique des bâtiments.* Moniteur, Paris, 1978.
9. Josse R. *Notions d'acoustique à l'usage des architectes, ingénieurs, urbanistes.* Eyrolles. Paris, 1977.
10. J.G. Migneron. *Acoustique Urbaine.* Masson. Paris et les Presses de l'Université Laval Québec. Canada, 1980.
11. Lamoral R. *Acoustique et architecture.* Masson. Paris, 6^e 1975
12. Leipp El. *Acoustique et musique.* Masson et C^{ie} Editeur. Paris, 1976.
13. Leslie L., Doelle, Eng. M. Arch. *Environmental Acoustics.* Mc. Graw-hill Book Company, 1972
14. Loïc Hamayon et Claude Michel. *Guide d'acoustique pour la conception des bâtiments d'habitation.* Moniteur. Paris 1982.
15. Mathias Meisser. *La pratique de l'acoustique dans le bâtiment.* Edition Eyrolles. 1978.
16. Mc Mullan R. *Environmental Science in Building.* Macmillan. Third Edition

17. Ministère de l'environnement et du cadre de vie. *Moins de bruit dans la ville*. 1979.
18. New Architecture. *Places of Entertainment*. V.9. Salas de espectáculos. Atrium. Spain 1992.
19. Parkin P.H., Humphreys H.R. *Acoustics, Noise and Buildings*. New York, 1958.
20. Ramsey/Sleeper. *Architectural Graphic Standards*. 9th edition. The American Institute of Architects.
21. RCF. *Sound Systeme Design and Installation Guide*. 1992.
22. Rettinger M. *Acoustic Design and Noise Control*. Chemical Publishing. New York 1973.
23. TOA Corporation. *Acoustic design Textbook, fundamental Course for professional audio Systemes*. Kobe Japan,
24. Zeller W. *Technique de la défense contre le bruit*. Paris, 1954.
25. James Cowan. Senior consultant. *Architectural Acoustics - Design Guide*. Mc Graw - Hill, 2000.
26. Алексеев С.П. *Акустика зрелищных и концертных залов*. Стройиздат, Москва, 1969.
27. Ватсон Ф.Р. *Архитектурная акустика*. Издательство иностранной литературы. Москва, 1948.
28. Гаклин Д.И. *Стереофоническая звукопередача*. В сборнике "Стереофония" Издательство "Связь", 1964.
29. Гусев Н.М. *Основы строительной физики*. Стройиздат. Москва 1975
30. Ингерслев Ф. *Акустика в современной строительной практике*. Госстройиздат. Москва, 1957.
31. Карагодина И.Л., Осинев Г.Л., Шишкин И.А. *Борьба с шумом в городах*. Издательство "Медицина". Москва, 1972.
32. Качерович А. *Акустика зрительного зала*. Издательство "Искусство". Москва, 1968.
33. Кнудсен И. И. *Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах*. Издательство "Судостроение". Ленинград, 1971.

34. Кнудсен В. О. *Архитектурная акустика*. Научно - техническое издательство. Харьков. Киев, 1936.
35. Ковригин С.Д. *Передача звука через ограждающие конструкции и расчет звукоизоляции*. *Архитектурная акустика*. В "Архитектура гражданских и промышленных зданий". Том II. Основы проектирования. Стройиздат. Москва, 1976.
36. Ковригин С. Д., Захаров А. В., Герасимов А.И. *Борьба с шумом в гражданских зданиях*. Стройиздат. Москва, 1969.
37. Маньковский В. С. *Акустика студий и залов для звуковоспроизведения*. Издательство "Искусство". Москва, 1966.
38. Осипов Г.Л. *Защита зданий от шума*. Стройиздат. Москва, 1972.
39. Осипов Г.Л., Прутков Б. Г., Шишкин И. А., Карагодина И.Л. *Градостроительные меры борьбы с шумом*. Стройиздат. Москва, 1975.
40. Самойлюк Е. П. *Борьбы с шумом в градостроительстве*. Издательство "Будивельник". Киев, 1975.
41. Фридрих Эйхлер. *Борьбы с шумом и звукоизоляция зданий*. Издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам. Москва, 1962.
42. Юдин Е. Я. (Ред). *Борьбы с шумом*. Издательство литературы по строительству. Москва, 1962.
43. Gleb Anfilov. *Vật lý và âm nhạc*. Nxb Khoa học và kỹ thuật. Hà Nội, 1978.
44. Karl Hanus. *Âm học kiến trúc. Thiết kế âm học các nhà hát và phòng hòa nhạc*. Nxb Khoa học và kỹ thuật. Hà Nội, 1977.
45. Môrôdôp V. *Âm sinh học lý thú*. Nxb. Mir Moxkva và Nxb Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội. 1987.
46. Thanh Hoa đại học. *Các vấn đề âm học trong kịch viện*. Bản Trung văn của đại học Thanh Hoa. 1960
47. Tử An (Nhật Bản). *Vật liệu hút âm dùng trong kiến trúc*. Bản Trung văn của Trung Quốc kiến trúc công nghiệp xuất bản xã. 1975.

48. Trần Công Chí. *Âm thanh lập thể. Nguyên lý và công nghệ*. Nxb Khoa học và kỹ thuật. Hà Nội, 1999.
49. Phạm Ngọc Đăng, Phạm Đức Nguyên, Lương Minh. *Vật lý xây dựng. Quyển II, Phần 3: Âm học trong kiến trúc và xây dựng*. Nxb Xây dựng, Hà Nội, 1982.
50. Nguyễn Tố Huy, Nguyễn Văn Phê. *Thiết bị Studio âm thanh*. Nxb Văn-hoá-thông tin. Hà Nội, 1995.
51. Nguyễn Đức Thiêm. *Nguyên lý thiết kế kiến trúc nhà dân dụng*. Nxb Khoa học và kỹ thuật. Hà Nội, 1999.
52. Phạm Đức Nguyên. *Truyền âm qua cửa sổ vào phòng*. Tạp chí khoa học kỹ thuật 3(87). 1973.
53. Phạm Đức Nguyên. *Yêu cầu tiêu chuẩn về cách âm cho các kết cấu phân cách nhà dân dụng*. Tạp chí khoa học kỹ thuật 4 (130). 1977.
54. Phạm Đức Nguyên. *Chống tiếng ồn và chấn động trong sản xuất*. Trong sách "Kỹ thuật bảo hộ lao động". Nxb Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Hà Nội, 1979.
55. Phạm Đức Nguyên và cộng sự. *Nghiên cứu các giải pháp tổng hợp chống tiếng ồn vùng Đông - Nam bộ đến năm 2000*. Báo cáo tổng kết đề tài cấp nhà nước 280104. 1984.
56. Phạm Đức Nguyên. *Về các chỉ tiêu âm học cho các nhà hát Việt Nam*. Tạp chí khoa học kỹ thuật 12/1987.
57. Phạm Đức Nguyên. *Trở lại tiêu chuẩn cách âm các kết cấu nhà ở Việt Nam*. Trong tuyển tập các công trình khoa học của trung tâm kỹ thuật môi trường đô thị và khu công nghiệp Hà Nội, 1999.
58. Phạm Đức Nguyên. *Môi trường tiếng ồn thành phố: Phương pháp đánh giá và tiêu chuẩn*. Trong tài liệu "Hội thảo khoa học môi trường đô thị, công nghiệp và nông thôn". Hà Nội 4/2000.



MỤC LỤC

	<i>Trang</i>
<i>Lời nói đầu</i>	3
<i>Lời nói đầu cho lần xuất bản năm 2008</i>	5
Các ký hiệu sử dụng trong sách	7
Chương 1. Các khái niệm cơ bản về âm thanh	9
1.1. Bản chất vật lý của âm thanh	9
1.2. Tai người và đặc điểm cảm thụ âm thanh	18
1.3. Đo âm thanh	30
1.4. Truyền âm ở ngoài trời	40
1.5. Truyền âm trong phòng kín	49
Chương 2. Đặc điểm trường âm trong các phòng thính giả	56
2.1. Các phương pháp nghiên cứu âm học phòng	56
2.2. Phân loại và đánh giá các phòng thính giả	58
2.3. Nghiên cứu âm học phòng theo lý thuyết thống kê	61
2.4. Nghiên cứu âm học phòng theo lý thuyết âm hình học	78
2.5. Nghiên cứu âm học phòng theo lý thuyết sóng	86
Chương 3. Vật liệu và kết cấu hút âm	95
3.1. Tính chất hút âm của vật liệu và kết cấu	95
3.2. Các loại vật liệu và kết cấu hút âm	99
Chương 4. Thiết kế âm học trong các phòng thính giả	110
4.1. Hình dạng phòng thính giả	110
4.2. Thiết kế phòng theo âm vang	128
4.3. Đánh giá độ rõ tại các chỗ ngồi và lập cấu trúc các phản xạ có ích	137
4.4. Đặc điểm và các giải pháp âm học cho các phòng thính giả khác nhau	140
	361

Chương 5. Sử dụng hệ thống điện thanh trong các phòng thính giả	179
5.1. Phân loại các hệ thống điện thanh	179
5.2. Các yêu cầu đối với hệ thống điện thanh	185
5.3. Đặc điểm trường âm trong phòng khi sử dụng hệ thống điện thanh	190
5.4. Thiết kế sơ bộ hệ thống điện thanh	196
Chương 6. Âm học đô thị	206
6.1. Nguồn ồn trong đô thị và phương pháp đánh giá chúng	206
6.2. Ảnh hưởng của tiếng ồn đối với con người và tiêu chuẩn mức ồn cho phép	220
6.3. Tính toán lan truyền tiếng ồn giao thông trong đô thị	231
6.4. Các biện pháp chống tiếng ồn trong các đô thị	243
Chương 7. Cách âm cho các kết cấu phân cách nhà cửa	258
7.1. Sự lan truyền âm trong nhà cửa và phương pháp đánh giá cách âm	258
7.2. Tiêu chuẩn chất lượng cách âm	265
7.3. Cách âm không khí của các kết cấu	269
7.4. Cách âm va chạm cho sàn nhà	301
Chương 8. Chống tiếng ồn của các thiết bị và trong nhà công nghiệp	311
8.1. Giảm tiếng ồn của các hệ thống điều hoà không khí	311
8.2. Chống tiếng ồn trong nhà công nghiệp	318
Phụ lục 1. Hệ số hút âm của các vật liệu và kết cấu	327
Phụ lục 2. Tiêu chuẩn chỉ số cách âm cho các kết cấu phân cách nhà dân dụng (Theo TCXDVN 277:2002)	334
Phụ lục 3. Đặc tính tần số khả năng cách âm (dB) của các loại kính	335
Phụ lục 4. Một số công trình trên thế giới và Việt Nam có áp dụng tốt các giải pháp âm học kiến trúc	342
Tài liệu tham khảo	357

ÂM HỌC KIẾN TRÚC ÂM HỌC ĐÔ THỊ

(Tái bản)

Chịu trách nhiệm xuất bản :

TRỊNH XUÂN SƠN

Biên tập :

TRẦN CƯỜNG

Chế bản :

ĐÌNH THỊ PHƯỢNG

Trình bày bìa :

VŨ BÌNH MINH

Sửa bản in :

MINH TUẤN



**THƯ VIỆN
HUBT**

TÀI LIỆU PHỤC VỤ THAM KHẢO NỘI BỘ



In 300 cuốn khổ 17 x 24cm tại Xưởng in Nhà xuất bản Xây dựng. Giấy chấp nhận đăng ký kế hoạch xuất bản số 120-2014/CXB/745-04/XD ngày 16-01-2014. Quyết định xuất bản số 265-2014/QĐ-XBXD ngày 11-12-2014. In xong nộp lưu chiểu tháng 12-2014.