

PHẦN 2

AM HOC KIEN TRUC

I CÁC KHÁI NIỆM & CÁC ĐẶC TRƯNG CƠ BẢN CỦA ÂM THANH

I - CÁC ĐẶC TRƯNG CƠ BẢN CỦA ÂM THANH

1/ SÓNG ÂM :

Sóng âm sinh ra khi có vật thể dao động trong môi trường đàn hồi. Âm thanh là sự lan truyền của sóng âm trong không gian. Môi trường trường trong đó có sóng âm lan truyền gọi là trường âm.

Ví dụ: khi dây đàn dao động → các phần tử vật chất bên cạnh dao động theo, do môi trường đàn hồi có các phần tử vật chất liên kết nhau → dao động của các phần tử này kéo theo dao động của các phần tử khác bên cạnh → âm thanh sẽ lan xa dần. Khi các dao động truyền đến tai người, chúng sẽ tác động lên cơ quan thính giác và cho ta cảm giác âm thanh.

a/ Các loại sóng âm:

- Theo phương dao động:
 - Sóng dọc: khi các phần tử dao động dọc theo phương truyền sóng (khí, lỏng, rắn).
 - Sóng ngang: khi các phần tử dao động vuông góc với phương truyền sóng (rắn).
- Theo đặc điểm của nguồn:
 - Sóng cầu: khi mặt sóng là những mặt cầu (nguồn điểm).
 - Sóng trụ: khi mặt sóng là những mặt trụ (nguồn đường).
 - Sóng phẳng: khi mặt sóng là những mặt phẳng (nguồn mặt).

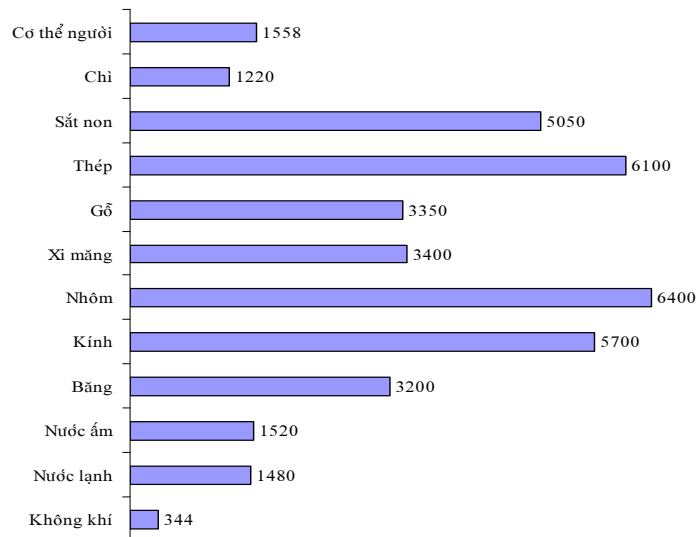
b/ Các đặc trưng cơ bản của sóng âm:

- Tần số âm: là số dao động trong 1 giây: f , Héc (Hz).
- Bước sóng âm: là khoảng cách gần nhất giữa 2 dao động cùng pha: λ , (m).
- Chu kỳ dao động âm: thời gian để thực hiện 1 dao động: T , (s).
- Biên độ dao động âm: khoảng cách lớn nhất của dao động so với vị trí cân bằng.

- **Vận truyền tốc âm:** là vận tốc lan truyền của sóng âm trong môi trường: c , (m/s). Với MTKK (1at, 20°C) → $c=340\text{m/s}$. Vận tốc âm trong không khí phụ thuộc vào nhiệt độ của không khí: $c = 331,5 + 0,61.t$, (m/s). Ở đây: 331,5 là vận tốc ở 0°C.

Mối quan hệ giữa các đại lượng của sóng âm: $\lambda = \frac{c}{f}$

Các môi trường khác nhau sẽ có vận tốc truyền âm khác nhau. Trong chân không, âm thanh không thể lan truyền.



Hình 1: Vận tốc âm trong một số môi trường

2/ ÁP SUẤT ÂM - CƯỜNG ĐỘ ÂM - MẬT ĐỘ NĂNG LƯỢNG ÂM :

a/ Áp suất âm (P):

Không gian có sóng âm lan truyền gọi là trường âm. Khi lan truyền → môi trường bị nén dãn liên tục → xuất hiện áp suất dư (phần thêm vào áp suất khí quyển) gọi là áp suất âm.

Áp suất âm được xác định bằng biểu thức:

$$p = \rho \cdot c \cdot v \quad , \quad [\text{N/m}^2], [\text{bar}].$$

ρ : khối lượng riêng của môi trường [kg/m^3].

c : vận tốc sóng âm, [m/s].

v : vận tốc dao động của các phần tử trong môi trường, [m/s].

Áp suất âm là một đại lượng biến thiên theo thời gian . Tại một thời điểm xác định của môi trường , cứ trong 1 chu kỳ, áp suất âm biến đổi từ giá trị cực đại (p_{\max}) xuống 0, rồi tăng từ 0 lên cực đại → thường lấy giá trị trung bình của áp suất cực đại: $p_{\text{TB}} = \frac{\sqrt{2}}{2} p_{\max}$ và gọi là áp suất âm có ích.

b/ Cường độ âm (I):

Cường độ âm là số năng lượng âm đi qua 1 đơn vị diện tích vuông góc với phương truyền âm trong 1 giây.

$$I = p.v = \frac{p^2}{\rho.c}, \quad [J/m^2s], [W/m^2].$$

Đối với sóng cầu: nguồn điểm phân bố đều trên mọi hướng trong không gian, do đó cường độ âm tại một điểm cách nguồn r [mét] bằng:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}, \quad [W/m^2]$$

P : công suất của nguồn âm, [W].

Trong thực tế nguồn âm bức xạ không đều theo mọi hướng trong không gian, nên biểu thị bằng hệ số có hướng F. Cường độ âm cách nguồn một khoảng r có giá trị:

$$I_r = \frac{P.F}{\Omega.r^2}, \quad [W/m^2]$$

Ω : góc vị trí của nguồn âm trong không gian:

$\Omega = 4\pi$: nguồn âm đặt trong không gian.

$\Omega = 2\pi$: nguồn âm đặt trong mặt phẳng.

$\Omega = \pi$: nguồn âm đặt trong cạnh góc nhị diện.

$\Omega = \pi/2$: nguồn âm đặt trong cạnh góc tam diện.

F : hệ số có hướng : $F = \frac{p_r^2}{p_{tb}^2}$

p_r : áp suất âm ở khoảng cách r tính cho một hướng nhất định.

p_{tb} : áp suất âm trung bình ở khoảng cách r tính cho mọi hướng.

c/ Mật độ năng lượng âm (E):

Mật độ năng lượng âm là năng lượng âm chứa trong 1 đơn vị thể tích của môi trường:

$$E = \frac{I}{c} = \frac{p^2}{\rho.c^2}, \quad [J/m^3].$$

3/ MỨC ÁP SUẤT ÂM - MỨC CƯỜNG ĐỘ ÂM - MỨC MẬT ĐỘ NĂNG LƯỢNG ÂM:

Trong thực tế, phạm vi âm thanh tai người nghe được thay đổi trong một khoảng rất lớn nên người ta không đánh giá chúng theo trị số tuyệt đối mà đánh giá tương đối theo thang logarit, gọi là mức âm, có đơn vị đo là dexiben, [dB].

a/ Mức áp suất âm (L_p):

$$L_p = 10.lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20.lg \frac{p}{p_0}, \quad [dB]$$

p_0 : áp suất ở ngưỡng nghe qui ước : $p_0 = 2.10^{-5} N/m^2$.

b/ Mức cường độ âm (L_I):

$$L_I = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0} , \quad [\text{dB}].$$

I_0 : cường độ âm ở ngưỡng nghe qui ước: $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$.

c/ Mức mật độ năng lượng âm (L_E):

$$L_E = 10 \cdot \lg \frac{E}{E_0} , \quad [\text{dB}].$$

E_0 : mật độ năng lượng âm ở ngưỡng nghe qui ước : $E_0 = 3 \cdot 10^{-15} \text{ J/m}^3$.

II - CÁC ĐẶC TRƯNG SINH LÝ CỦA ÂM THANH

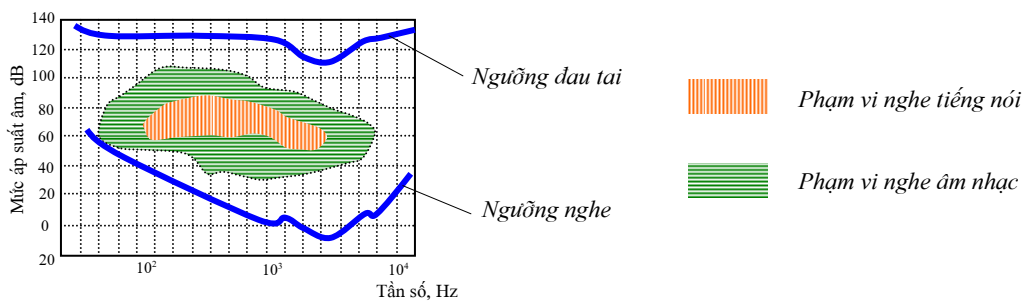
1/ ĐẶC ĐIỂM THU NHẬN ÂM THANH CỦA TAI NGƯỜI :

Tai người là bộ máy âm học rất phức tạp, tinh vi và hoàn thiện. Nó vừa đánh giá độ to của âm thanh ¹, vừa phân tích tần số ² để có cảm giác về độ cao và âm sắc của âm thanh, vừa xác định phương hướng và khoảng cách tới nguồn âm. Giữa những tiếng ồn hỗn độn, tai có thể phân tách ra những âm thanh có qui luật để nghe hiểu được tiếng nói.

Trong một âm phức tạp bao giờ cũng có một âm cơ bản (âm có cường độ mạnh nhất), các họa âm và các âm khác. Độ cao của âm thanh do tần số của âm cơ bản quyết định. Tần số càng lớn cảm giác âm thanh càng cao. Hai âm có độ cao bằng nhau nhưng ta có thể phân biệt được sự khác nhau là do số lượng và cường độ của các họa âm khác nhau. Nói cách khác, số lượng và cường độ của các họa âm quyết định *âm sắc* của âm thanh.

Tai người nghe được khoảng âm thanh : 16Hz → 20.000Hz.

$< 16\text{Hz} \rightarrow$ Hạ âm
 $> 20000\text{Hz} \rightarrow$ Siêu âm
 } → tai người không nghe được .



Hình 2: Phạm vi âm thanh tai người nghe được

¹ Năng lượng giữa âm lớn nhất và nhỏ nhất tai người nghe được khác nhau khoảng 10^{12} lần.

² Tai có thể phân tích tần số khoảng 1000 lần.

2/ MỨC TO - ĐỘ TO :

a/ Mức to:

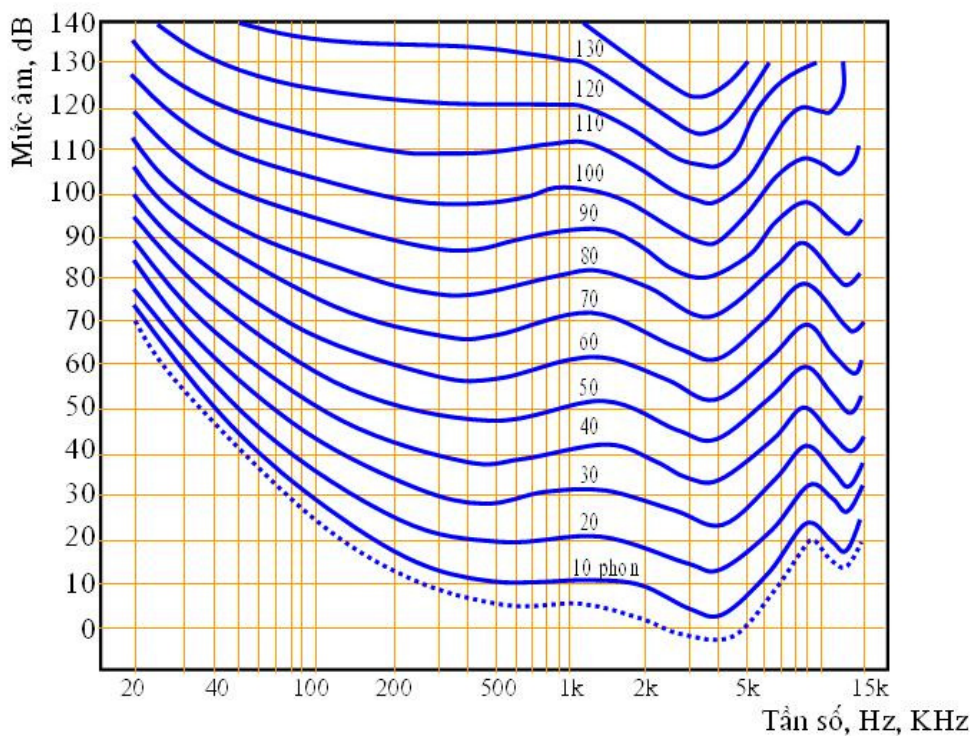
Cảm giác to nhỏ khi nghe âm thanh của tai người vừa phụ thuộc vào mức âm (dB) và phụ thuộc tần số âm (Hz). Nó được đánh giá bằng đại lượng *mức to* và được xác định theo phương pháp chủ quan âm cần đo so với âm tiêu chuẩn.

Theo qui ước quốc tế, âm tiêu chuẩn là âm hình sin dưới dạng sóng phẳng có tần số là 1000Hz.

Đơn vị mức to là **Fon**. Đối với âm tiêu chuẩn mức to có trị số bằng trị số của mức áp suất âm theo dB. Ví dụ, âm tiêu chuẩn có mức áp suất âm 50dB thì có mức to là 50Fon.

Mức to của âm bất kỳ có trị số bằng mức to của âm tiêu chuẩn (tính bằng Fon) nếu cảm giác nghe to 2 âm là như nhau.

Dựa vào kết quả so sánh rất nhiều âm đơn theo phương pháp đó, D.Robinson và R.Dadson đã lập được biểu đồ các đường đồng mức to. Mỗi đường cong trên biểu đồ là tập hợp những âm có tần số và mức áp suất âm khác nhau, nhưng đều nghe to như nhau nên có cùng một trị số mức to Fon.



Hình 3: Biểu đồ các đường đồng mức to của Robinson và Dadson

b/ Độ to:

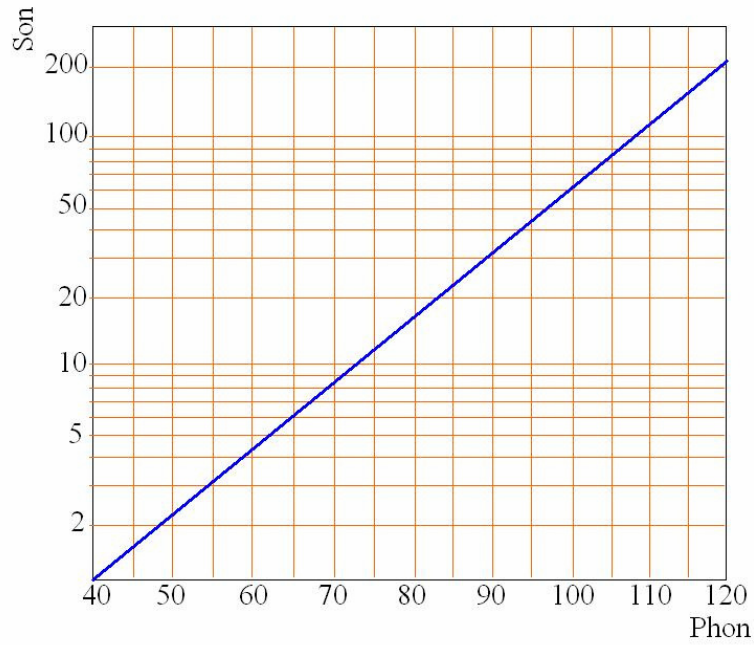
Độ to dùng để đánh giá âm này to hơn âm kia bao nhiêu lần, đơn vị đo là **Son**, nó tỉ lệ thuận với cảm giác độ to của âm thanh. Giữa độ to và mức to có quan hệ sau đây:

$$S = 2^{0,1(F-40)}$$

S : độ to, [Son].

F : mức to, [Fon].

Độ to 1 Son tương ứng với mức to 40 Fon. Khi mức to trên 40 Fon mỗi sự thay đổi mức to 9-10 Fon sẽ tương ứng với sự thay đổi độ to là 2 lần. Mối quan hệ này được thể hiện qua hình vẽ sau:



Hình 4: quan hệ giữa độ to và mức to



VẬT LIỆU & KẾT CẤU HÚT ÂM

I - HỆ SỐ HÚT ÂM - VẬT LIỆU HÚT ÂM

1/ HỆ SỐ HÚT ÂM :

Khi một nguồn âm truyền đến kết cấu (E_t) thì:

- Một phần xuyên qua kết cấu : E_x
- Một phần phản xạ trở lại : E_f
- Một phần bị kết cấu hấp thu : E_h

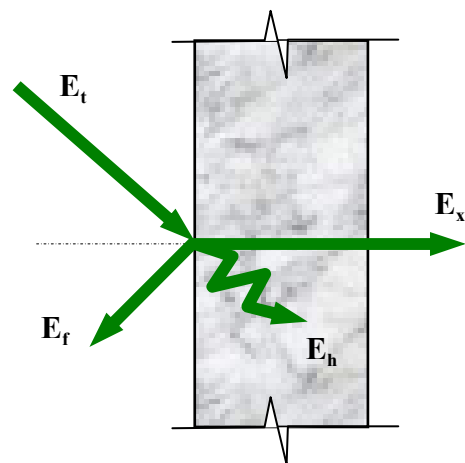
Với vật liệu hút âm thì E_x rất bé, được coi như chung với thành phần bị vật liệu hút (E_h).

Lúc này $E_t = E_f + E_h$.

Ta sẽ có hệ số hút âm của vật liệu:

$$\alpha = \frac{E_h}{E_t} = \frac{E_t - E_f}{E_t}$$

- Kết cấu bình thường $\rightarrow \alpha$ coi như không đáng kể.
- Không gian bao la (cửa mở) $\rightarrow \alpha = 100\%$.
- Hệ số α phụ thuộc vào góc tới θ của E_t :
 - Khi $\theta = 0^\circ$ ($E_t \perp$ bề mặt vật liệu) $\rightarrow \alpha = \max$.
 - Khi $\theta = 90^\circ$ ($E_t //$ bề mặt vật liệu) $\rightarrow \alpha = \min$.
- Hệ số α còn phụ thuộc vào tính chất vật lý của vật liệu, cấu trúc của vật liệu làm kết cấu. Hay còn gọi là phụ thuộc vào trở âm của vật liệu.



Hình 1: truyền âm qua kết cấu

2/ VẬT LIỆU HÚT ÂM :

Như hình vẽ trên miêu tả, ở đây thành phần E_f và E_x còn được cộng thêm một phần năng lượng do kết cấu dao động bức xạ ra. Vấn đề ở vật liệu hút âm là ta nghiên cứu E_h của nó. Thành phần này xảy ra chủ yếu do:

- ✚ **Ma sát trên bề mặt các thành lỗ của vật liệu:** do ma sát của các phân tử không khí với thành \rightarrow một phần năng lượng âm biến thành nhiệt.

- ✚ **Sự dẫn nhiệt của vật liệu:** sóng âm nén không khí trong các lỗ rỗng → bị nóng lên theo chu kỳ → nhiệt thoát ra các lỗ rỗng → áp suất không khí hạ thấp dần → kéo theo sự mất mát năng lượng âm.
- ✚ **Sự biến dạng khác nhau giữa các bộ phận của chúng:** vì vật liệu có cấu trúc khác nhau → khi nén, các thành mỏng bị nung nóng nhiều hơn do biến dạng lớn hơn → san bằng nhiệt độ không khí → hạ thấp áp suất → mất mát năng lượng âm.
- ✚ **Biến dạng dư của vật liệu:** khi áp suất giảm → vật liệu biến dạng dư → có quá trình mất mát năng lượng → phải bù bằng năng lượng âm.

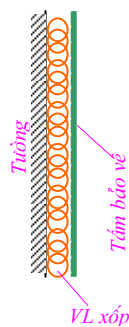
Theo đặc tính cơ lý của vật liệu, và theo sự mất mát năng lượng âm người ta chia vật liệu và kết cấu hút âm thành các dạng sau đây:

- **Vật liệu hút âm xốp:**
 - Loại có thành lỗ cứng không đàn hồi: bê tông bọt, gạch xốp, sa mốt,..
 - Loại có thành lỗ đàn hồi: bông khoáng, bông thủy tinh, sợi gỗ ép,...
- **Kết cấu dao động hút âm:** do biến dạng khi chúng bị dao động dưới tác dụng của sóng âm. Ở đây nội ma sát của vật liệu có ảnh hưởng to lớn đến sự mất mát năng lượng âm.
- **Kết cấu có tấm đục lỗ phía sau đặt vật liệu hút âm xốp:** là kết cấu hút âm phối hợp hai cơ chế hút âm trên. Vì vậy phạm vi tần số hút âm được mở rộng hơn và có thể áp dụng rộng rãi trong âm học các phòng cũng như trong chống tiếng ồn công nghiệp.
- **Kết cấu hút âm cộng hưởng:** hút âm chủ yếu do ma sát giữa không khí và thành kết cấu, nhưng làm việc theo nguyên tắc cộng hưởng và tính năng hút âm được tính toán trước.

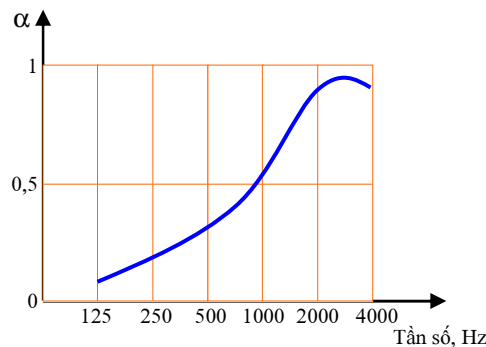
II - CÁC KẾT CẤU HÚT ÂM

1/ VẬT LIỆU HÚT ÂM XỐP :

Đó là vật liệu có nhiều lỗ rỗng thông nhau và thông ra ngoài, như sản phẩm dệt (vải, thảm len, thảm đay, thảm cói,...); bông thủy tinh; bông khoáng; xốp tổng hợp (tấm mút);... Nó có khả năng hút âm ở tần số cao.



Hình 2: vật liệu xốp hút âm



Hình 3: hệ số hút âm theo tần số

Khi sóng âm tới bề mặt làm việc → không khí trong lỗ rỗng dao động, một phần âm năng biến thành cơ năng và một phần biến thành nhiệt năng.

Khả năng hút âm của vật liệu xốp phụ thuộc vào đặc điểm của các lỗ rỗng. Nếu các vật liệu đủ xốp thì khi có độ dày thích hợp, nó có thể hút được 95% năng lượng âm tới ở các tần số cao.

Có thể đánh giá khả năng hút âm của vật liệu bằng đại lượng trở thối r (sức cản của không khí khi thối qua vật liệu). Trở thối r càng lớn thì khả năng hút âm của vật liệu càng nhỏ.

$$r = \frac{\Delta p}{v} \quad [\text{N.s/m}^3].$$

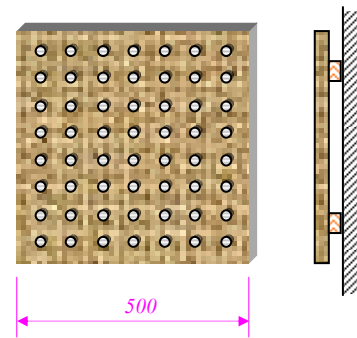
Δp : hiệu số áp suất ở 2 bên kết cấu, $[\text{N/m}^2]$.

v : vận tốc dòng không khí qua kết cấu, $[\text{m/s}]$.

Các tấm hút âm xốp có thể chế tạo thành các tấm ép nửa cứng (từ bông khoáng, bông thủy tinh, sợi gỗ, bã mía, rơm rạ,...); bề mặt có thể phủ một lớp sơn hoa văn trang trí. Khi sử dụng có thể đặt trực tiếp lên kết cấu hoặc tạo một khe hở không khí phía sau nó.

Vật liệu có thể ép thành các tấm mềm hoặc nửa mềm và đặt cách tường hoặc sát tường, có đục lỗ hoặc không.

- Khả năng hút âm của tấm đục lỗ lớn hơn tấm không đục lỗ.
- Khả năng hút âm (tần số thấp) tấm đặt cách tường lớn hơn tấm đặt sát tường.



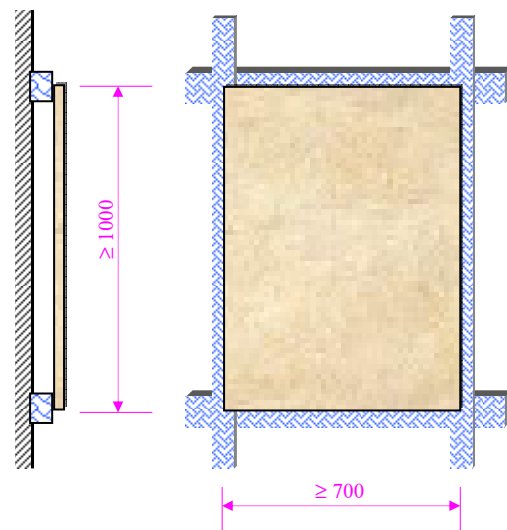
Hình 4: tấm ép vật liệu xốp hút âm

2/ TẤM DAO ĐỘNG CỘNG HƯỞNG HÚT ÂM :

Là tấm mỏng bằng gỗ ván, gỗ dán, chất dẻo, xi măng amiăng,... đóng lên hệ khung bằng gỗ hoặc kim loại.

Khi có sóng âm → có áp suất âm → tấm dao động nhờ một phần năng lượng âm biến thành cơ năng và một phần biến thành 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 tần số này.



Hình 5: tấm dao động cộng hưởng hút âm

Tần số cộng hưởng f_0 tương ứng với hệ số hút âm cực đại có thể xác định theo công thức:

$$f_0 = \frac{600}{\sqrt{md}}$$

m : khối lượng tấm mỏng, $[\text{kg}/\text{m}^2]$.

d : chiều dày của lớp không khí phía sau nó, $[\text{cm}]$.

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*.

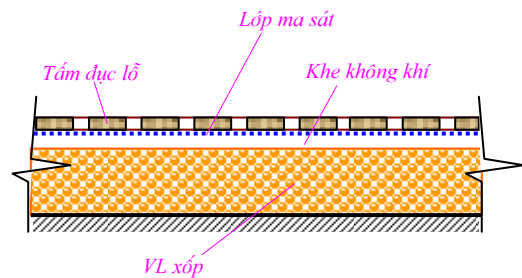
Kết cấu càng nặng càng cứng, khả năng hút âm càng yếu; kết cấu nhẹ và dẻo, khả năng hút âm tăng lên rõ rệt.

Để nâng cao hệ số hút âm \rightarrow đặt thêm lớp bông khoáng vào lớp không khí, hoặc tạo liên kết đàn hồi giữa tấm và khung.

Loại này có ưu điểm là bền và vệ sinh hơn vật liệu xốp, có thể chịu được các va chạm cơ học và có thể tạo được hình dạng bề mặt bất kỳ để làm phong phú nội thất và tăng tính khuếch tán của trường âm trong môi trường.

3/ VẬT LIỆU XÓP ĐẶT SAU TẤM ĐỤC LỖ :

Kết cấu gồm một lớp vật liệu xốp, ngoài che bằng một tấm mỏng có đục lỗ (hoặc xẻ rãnh). Mặt trong tấm đục lỗ thường được dán thêm một lớp vật liệu ma sát (vải thủy tinh, vải màn,...) để làm tăng sự mất mát năng lượng âm. Giữa tấm mỏng và vật liệu xốp có một lớp không khí. Lớp này có tác dụng làm phân bố đều năng lượng âm trên bề mặt vật liệu.



Hình 6: vật liệu xốp đặt sau tấm đục lỗ

Tấm đục lỗ thường làm bằng gỗ dán, kim loại, chất dẻo, xi măng amiăng, thạch cao,...

Đường kính đục: $d = 3 \div 10 \text{ mm}$.

Hệ số đục lỗ : $K = \frac{S_{lỗ}}{S} = 15 \div 20\%$

- K lớn \rightarrow tấm coi như lớp bảo vệ, kết cấu làm việc như chỉ riêng vật liệu xốp.
- K nhỏ \rightarrow làm việc tổng hợp, khả năng hút âm ở tần số cao giảm, còn tần số thấp thì tăng lên.

Do đó, khi thay đổi các thông số của tấm đục lỗ \rightarrow có thể thay đổi được đặc tính tần số hút âm của kết cấu. Theo kinh nghiệm, tấm đục lỗ không dày quá $6 \div 8\text{mm}$ với hệ số đục lỗ trên 20% không làm thay đổi tính chất hút âm của vật liệu xốp hút âm phía sau.

4/ LỖ CỘNG HƯỞNG HÚT ÂM :

Cấu tạo như hình vẽ, còn gọi là ống Helmholt. Khi kích thước của ống nhỏ so với bước sóng âm tới thì ống cộng hưởng có thể khảo sát như một hệ dao động có một bậc tự do, trong

đó khối lượng là không khí ở phần cổ và phần cạnh miệng ống (cùng dao động), còn phần đàn hồi là không khí ở trong ống.

Các cộng hưởng kiểu này hay được sử dụng trong các nhà thờ cổ để tăng cường âm vang. Chúng có kích thước khác nhau và thường được bố trí trên tường và vòm nhà.

Nếu trong phần cổ ống có đặt thêm vật liệu xốp (ví dụ dán vải lớp vải màn) thì sẽ hút âm mạnh hơn do ma sát tăng lên.

Kết cấu chỉ hút âm mạnh trong một phạm vi tần số hẹp quanh tần số cộng hưởng, xác định theo công thức:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{S}{l_k \cdot V}}$$

c : vận tốc âm trong không khí , [cm/s].

S : diện tích tiết diện cổ ống, [cm²].

V : thể tích không khí trong phần rộng của cổ ống, [cm³].

l_k : chiều dài hiệu quả cổ ống: $l_k = l + 1,57.r$.

l : chiều dài cổ, [cm].

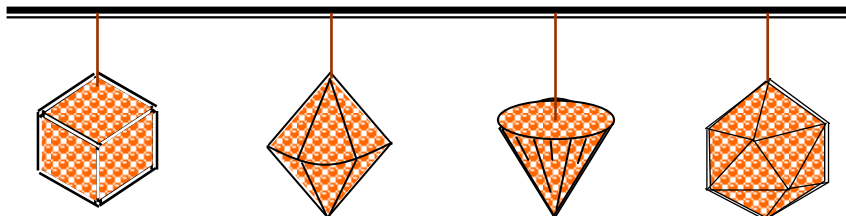
r : bán kính tiết diện cổ, [cm]: $r = d/2$.

Lượng hút âm tương đương cổ ống cộng hưởng có thể xác định gần đúng theo công thức:

$$A_0 = \frac{\lambda_0^2}{2\pi} = \frac{1}{6,28} \left(\frac{c}{f_0} \right)^2$$

5/ KẾT CẤU HÚT ÂM ĐƠN :

Đó là các kết cấu hút âm khối có dạng hình nón, hình hộp, hình cầu,... để chống tiếng ồn trong các nhà máy. Chúng được treo ngay phía trên các thiết bị máy móc phát sinh ra tiếng ồn.

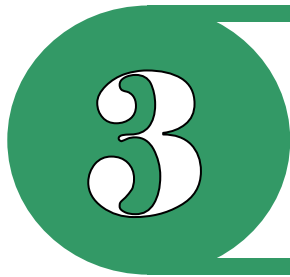


Hình 8: kết cấu hút âm đơn

Cấu tạo gồm các mặt đục lỗ (bằng gỗ dán, tôn, sắt tây, đồng thau,...) phía trong đặt một lớp vật liệu xốp dày 10 ÷ 25 mm.

Nếu kích thước của chúng nhỏ hơn hoặc xấp xỉ với bước sóng âm thì khả năng hút âm sẽ tăng lên nhờ hiện tượng nhiễu xạ. Vì vậy kết cấu này được mang tên là kết cấu hút âm nhiễu xạ.

Khả năng hút âm của các kết cấu hút âm khối được đánh giá bằng lượng hút âm tương đương. Người, đồ gỗ và các thiết bị trong phòng cũng có thể coi là các vật hút âm khối và đánh giá bằng lượng hút âm tương đương (xem phụ lục).



ÂM HỌC PHÒNG KHÁN GIẢ

I - YÊU CẦU CHẤT LƯỢNG ÂM HỌC PHÒNG KHÁN GIẢ

1/ ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG ÂM HỌC THEO CHỦ QUAN NGƯỜI NGHE :

Phòng khán giả là những phòng có thể tích lớn được dùng làm hội trường, giảng đường, nhà hát, ... đó là một không gian khép kín bởi các kết cấu xây dựng.

Có các loại phòng sau:

- *Phòng có âm vang tự nhiên* là những phòng nghe âm thanh trực tiếp từ nguồn âm.
- *Phòng chỉ nghe âm thanh qua hệ thống điện thanh* (rap chiếu bóng).
- *Phòng vừa nghe âm thanh tự nhiên, vừa nghe qua hệ thống điện thanh* (các phòng có sức chứa lớn, phòng vận năng,...)

Xét theo quan điểm âm thanh, có thể chia ra:

- *Phòng dùng cho tiếng nói* (giảng đường, hội trường, nhà hát kịch,...)
- *Phòng dùng cho âm nhạc* (nhạc dân tộc, nhạc giao hưởng,...)

Đối với phòng nghe tiếng nói, chất lượng âm chủ yếu đánh giá qua độ rõ của âm thanh nghe được. Độ rõ của tiếng nói không những phụ thuộc vào đặc điểm âm thanh của phòng, mà còn phụ thuộc vào đặc điểm tiếng nói, sự chú ý của người nghe đối với nội dung của bài nói,... Để loại trừ các nhân tố trên, người ta đánh giá độ rõ bằng tỷ lệ % của số âm tiết nghe được so với âm phát ra; âm phát ra là những âm hoàn toàn vô nghĩa, không liên quan gì tới nhau, người nghe ngồi ở các vị trí khác nhau và ghi lại. Kết quả:

- Nếu > 85%: rất tốt.
- Từ 75-85%: tốt.
- Từ 65-75%: đạt yêu cầu.
- Nếu < 65%: không đạt.

Đối với phòng nghe âm nhạc, chất lượng âm thanh chủ yếu được đánh giá bằng nghe "hay". Điều này khó định lượng vì nó phụ thuộc vào tâm trạng, khả năng thưởng thức, nội dung bản nhạc, trình độ biểu diễn,... Thường để đánh giá so sánh người ta chỉ dùng một dàn

nhạc, biểu diễn một tác phẩm và cho biểu diễn ở nhiều phòng khác nhau trước cùng một số người nghe là những người hiểu biết về âm nhạc để đánh giá.

2/ ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG ÂM HỌC THEO KHÁCH QUAN :

Phương pháp đánh giá chủ quan chỉ cho phép kết luận về chất lượng âm thanh các phòng để nghe tiếng nói và âm nhạc. Nhưng thực tế để tạo ra phòng có chất lượng âm thanh cao thì phải tìm ra các tiêu chuẩn vật lý (tiêu chuẩn khách quan) có liên hệ với các thông số của phòng (như hình dạng, thể tích phòng, đặc điểm hút âm của các bề mặt trong phòng,...) để đánh giá chất lượng âm thanh của các phòng khán giả và dùng chúng để thiết kế âm thanh cho phòng. Đây là bài toán phức tạp vì nó không chỉ liên quan đến các vấn đề vật lý - âm học, mà còn liên quan đến điều kiện cảm thụ âm thanh của con người. Để thực hiện điều đó người ta dùng 3 lý thuyết sau đây để nghiên cứu:

- ✚ **Lý thuyết sóng:** Coi thể tích không khí trong phòng khi chịu tác dụng của âm thanh như một hệ thống dao động 3 chiều với một phổ các tần số riêng rất phức tạp. Nó cho phép giải thích chính xác bản chất vật lý của quá trình âm thanh xảy ra trong phòng và xét ảnh hưởng của chúng đến các tính chất âm thanh của phòng. Nhưng vì phải sử dụng công cụ toán học phức tạp và cồng kềnh nên phương pháp này chỉ cho phép rút ra những kết luận định tính.
- ✚ **Lý thuyết thống kê:** Cho phép lý tưởng hóa các quá trình vật lý xảy ra trong phòng và hoàn toàn không nhìn nhận tính chất sóng của âm thanh. Theo lý thuyết này, năng lượng âm ở mỗi điểm trong phòng có thể tính bằng tổng năng lượng của các phản xạ đi đến điểm đó, không xét đến sự lệch pha giữa các sóng. Lý thuyết thống kê sử dụng toán học thống kê (lý thuyết xác suất) để nghiên cứu các phản xạ âm đi tới mỗi điểm trong không gian của phòng (khi coi chúng là những hiện tượng ngẫu nhiên), nó cho phép đưa ra những kết quả định lượng, có thể áp dụng dễ dàng trong thực tế, vì thế rất hay được sử dụng.
- ✚ **Lý thuyết âm hình học:** Trường âm được xét dưới dạng tổng cộng của các tia âm, dựng theo các qui luật quang hình học. Phương pháp này đặc biệt thích hợp để khảo sát phòng khi do một nguyên nhân nào đó, các phản xạ âm không còn là quá trình ngẫu nhiên (ví dụ như sự hội tụ âm từ các bề mặt phòng) và do đó, áp dụng lý thuyết thống kê sẽ cho kết quả thiếu chính xác.

II - THIẾT KẾ PHÒNG THEO NGUYÊN LÝ ÂM HÌNH HỌC

1/ NGUYÊN LÝ ÂM HÌNH HỌC & SỰ HÌNH THÀNH TRƯỜNG ÂM TRONG PHÒNG :

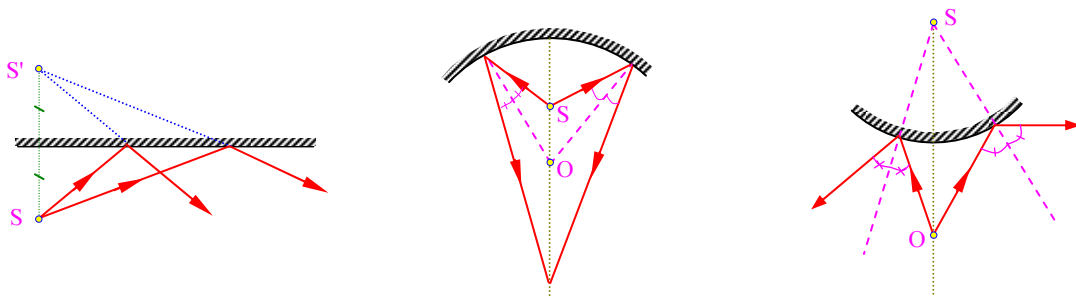
a/ Nguyên lý âm hình học:

Lý thuyết âm hình học cũng giống như quang hình học, cho phép nghiên cứu sự truyền âm dưới dạng các vectơ tia âm.

Khi âm thanh đi đến gặp một bề mặt kết cấu thì một phần năng lượng âm sẽ phản xạ trở lại, các phản xạ này có thể có hướng hoặc khuếch tán và chúng giữ một vai trò quan trọng trong việc hình thành các điều kiện âm thanh của phòng.

Hiện tượng phản xạ của âm xảy ra khi kích thước bề mặt phản xạ lớn hơn bước sóng của âm tới (ít nhất là 1,5 lần) và có thể nghiên cứu rất thuận tiện khi áp dụng nguyên lý âm hình học.

- Nguyên lý:
- Góc tới bằng góc phản xạ.
 - Tia tới và tia phản xạ nằm trong một mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng phản xạ.

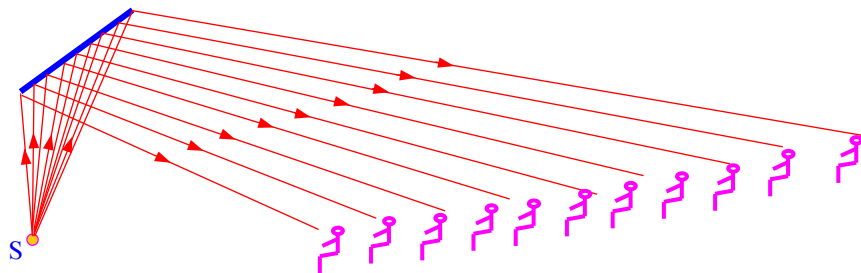


Hình 1: nguyên lý phản xạ âm

b/ Áp dụng nguyên lý hình học để thiết kế phòng:

Khi âm thanh lan truyền trong phòng, càng xa nguồn âm, năng lượng càng giảm đi. Sự mất năng lượng một phần do sự lan tỏa trong môi trường, một phần do các bề mặt hấp thụ bớt âm, phòng chứa đầy người cũng chính là một bề mặt hút âm. Kết quả người ngồi cuối phòng sẽ không đủ năng lượng để nghe nữa; khi đó cần bổ sung âm cho người ngồi phía sau bằng cách cho âm phản xạ lên trần và tường bên để truyền âm tới.

Nguyên tắc của nguyên lý âm hình học là lựa chọn các bề mặt phản xạ âm sao cho nó có thể đưa các tia âm phản xạ cần thiết tới vùng khán giả cần nghe. Vì vậy: kích thước, hình dáng và độ nghiêng của kết cấu phản xạ quyết định đến sự phân bố trường âm trong phòng.

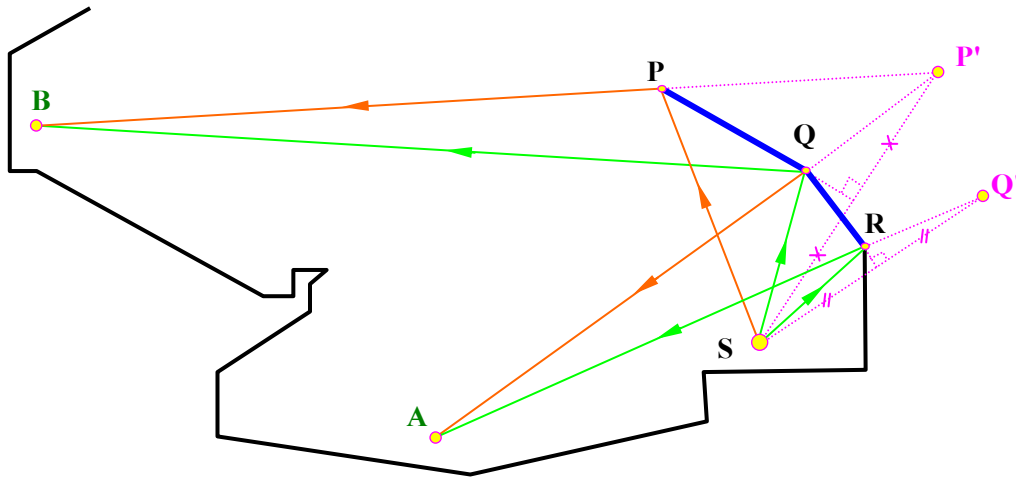


Hình 2: phân phối đều âm phản xạ đến khu vực khán giả

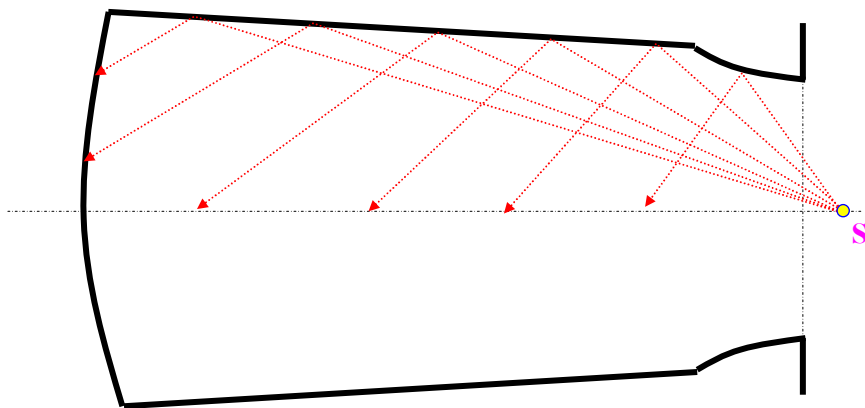
Với nguyên tắc như trên, ta có thể xác định được kích thước và độ nghiêng của các tấm trần phòng khán giả để phân bố trường âm đồng đều trong phòng như hình vẽ ở dưới.

Chọn điểm P tùy ý trên không gian của phòng cạnh sân khấu. Xác định mặt PQ để đưa âm phản xạ tới chỗ ngồi trong phạm vi AB. Sau đó tiếp tục xác định mặt QR,... Theo kinh

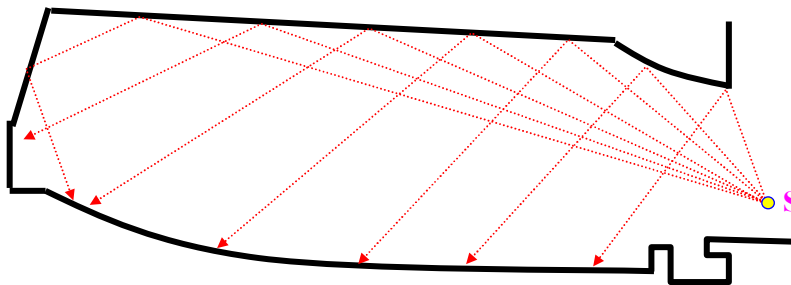
nghiệm thì các mặt phản xạ phải có kích thước không nhỏ hơn 2m và có trọng lượng không dưới vài kg/m^2 mới có thể phản xạ tốt các âm tần số thấp.



Hình 3: cách thiết kế các tấm phản xạ trần phòng khán giá



Hình 4: Phân phối trường âm đều bên tường bên phòng khán giá



Hình 5: Phân phối trường âm đều trên trần phòng khán giá

2/ TRÁNH CÁC HIỆN TƯỢNG XẤU TRONG TRƯỜNG ÂM :

Trong thực tế thường xảy ra những hiện tượng làm giảm chất lượng âm thanh trong phòng khán giả, một trong những công cụ hữu hiệu để xác định nguyên nhân gây ra và đưa ra biện pháp khắc phục các hiện tượng đó là nguyên lý âm hình học.

a/ Hiện tượng tiếng dội:

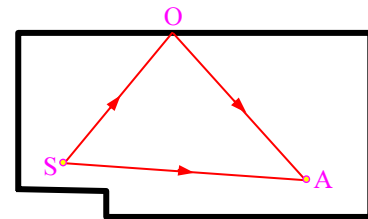
Khi âm thanh phát ra, thính giả nghe được cả âm trực tiếp từ nguồn và cả âm phản xạ qua các kết cấu. Âm trực tiếp và âm phản xạ đến tai người có những khoảng chênh lệch về thời gian nhất định. Nếu các khoảng thời gian này chênh lệch nhỏ hơn một khoảng giới hạn thì tiếng nói được tăng cường thêm và độ rõ tăng lên, nếu chúng vượt quá khoảng giới hạn thì sẽ tạo thành tiếng dội (âm bị ngắt quãng, nghỉ), làm xấu chất lượng âm nghe được.

Khoảng thời gian giới hạn phụ thuộc vào dạng của âm vang phát ra có thể lấy bằng: 50ms (1/20s) đối với tiếng nói là; 100-200ms đối với âm nhạc.

Tương ứng với thời gian 50ms âm thanh lan truyền được một quãng đường là 17m. Từ đó chúng ta có thể kiểm tra sự tạo thành tiếng dội trong các phòng khán giả. Để tránh tiếng dội, cần thỏa mãn các điều kiện sau đây:

$$SA + 17 \geq SO + OA$$

Trong phòng khán giả lớn, tiếng dội có thể tạo thành ở các chỗ ngồi gần sân khấu do âm phản xạ từ trần, tường bên, tường sau phòng khán giả hoặc từ lan can ban công.



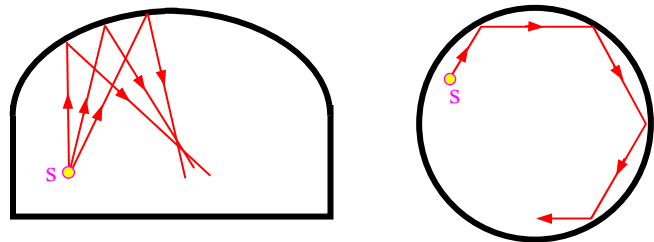
Hình 6: kiểm tra hiện tượng tiếng dội

Để tránh tiếng dội có thể hạ thấp trần (bằng cách dùng các mặt phản xạ treo trên sân khấu), nâng cao độ dốc sàn, tạo khuếch tán âm thanh hoặc dùng vật liệu hút âm.

Một hiện tượng đặc biệt của tiếng dội là tiếng dội lặp lại (nhiều lần), có thể tạo thành trong các phòng có các bề mặt cứng song song với nhau. Lúc đó âm thanh phản xạ nhiều lần từ các bề mặt đối diện rồi quay trở về điểm xuất phát, tạo ra hàng loạt tiếng lặp lại sau những khoảng thời gian xác định.

b/ Hội tụ âm:

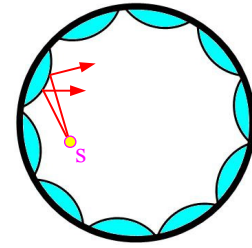
Là hiện tượng sau khi âm thanh phản xạ từ các bề mặt cong tập trung tại một điểm hoặc một vùng trong phòng. Trong các phòng có các mặt bằng hình tròn hoặc elip, ngoài việc tạo thành tiêu điểm âm, còn xuất hiện hiện tượng âm đi ven phòng. Nếu tường được gia công nhẵn và cứng âm thanh có thể truyền theo suốt chu vi với cường độ khá lớn.



Hình 7: hiện tượng hội tụ âm và âm đi ven phòng

Hiện tượng hội tụ âm và âm đi ven phòng phá vỡ sự đồng đều của trường âm, làm giảm chất lượng âm thanh của phòng.

Để khắc phục hiện tượng này cần chọn bán kính cong của các bề mặt hợp lý, sao cho vùng hội tụ không rơi vào vùng khán giả, hoặc tạo phản xạ có hướng khuếch tán bằng cách sử dụng các mặt phân chia dạng cong lồi.



Hình 8: khắc phục hội tụ âm và âm đi ven phòng

c/ Méo âm sắc:

Là hiện tượng phổ âm thanh đến người nghe bị thay đổi nhiều so với phổ âm thanh do nguồn phát ra. Lúc đó âm thanh nghe được bị sai lệch, mất tính chân thực, ảnh hưởng đến cảm giác hay khi cảm thụ âm thanh.

Nguyên nhân xảy ra méo âm sắc có thể do:

- Sự hút âm không đều giữa các tần số của vật liệu trong phòng, một số tần số bị hút quá mạnh gây nên thiếu hụt năng lượng âm.
- Sự phản xạ và khuếch tán âm khác nhau từ các bề mặt trong của phòng (do quan hệ giữa kích thước bề mặt và bước sóng âm khác nhau). Ví dụ: mặt cong lõm kích thước lớn gây hội tụ âm ở các tần số thấp, trong khi các mặt lồi nhỏ trên mặt lồi đó lại gây phản xạ khuếch tán âm ở tần số cao. Do đó tại nhiều chỗ trong trường âm sẽ bị tổn thất âm tần số thấp.

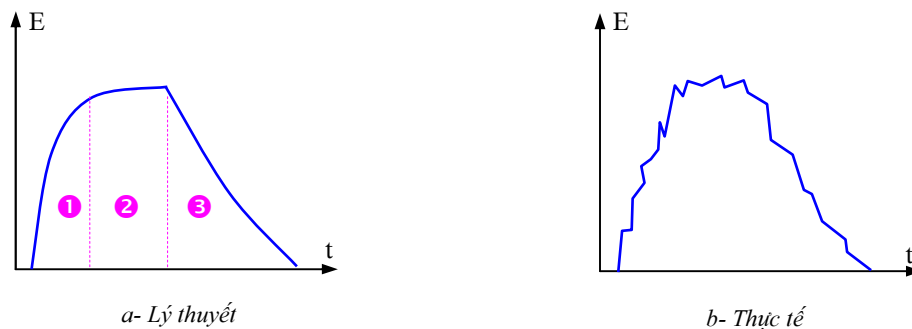
Hiện tượng méo âm sắc cần đặc biệt lưu ý khi thiết kế các phòng dùng cho âm nhạc, nó có thể được pháp hiện và xử lý theo nguyên lý âm hình học.

III - THIẾT KẾ PHÒNG THEO THỜI GIAN ÂM VANG

1/ THỜI GIAN ÂM VANG :

Khi nguồn âm phát tín hiệu trong phòng, âm thanh tới người nghe trước hết là âm trực tiếp từ nguồn, sau đó là các âm phản xạ từ các bề mặt trong phòng, số lượng các phản xạ càng về sau càng tăng lên, âm tới càng dày đặc.

Quá trình thu nhận âm thanh trong phòng có thể phân thành 3 giai đoạn:



Hình 9: quá trình âm vang trong phòng

- *Giai đoạn thứ nhất*: năng lượng âm tăng lên dần do được bổ sung bằng các âm phản xạ tới liên tiếp. Đến một lúc nào đó sẽ đạt tới giá trị cân bằng, khi đó năng lượng âm sẽ không tăng lên nữa.
- *Giai đoạn hai*: là giai đoạn cân bằng, ổn định âm thanh.
- *Giai đoạn ba*: Khi tắt nguồn âm, năng lượng âm giảm dần vì các phản xạ sẽ tắt dần lần lượt (phản xạ nào tới trước sẽ tắt trước), gọi là giai đoạn tắt dần.

Các quá trình tăng và tắt dần của âm thanh trong phòng tuân theo qui luật hàm số mũ và có thể biểu diễn bằng công thức sau:

$$\text{Đối với quá trình tăng: } E_t = E_o \left[1 - e^{-\frac{CS}{4V} \ln(1-\alpha)t} \right]$$

$$\text{Đối với quá trình giảm: } E_g = E_o \cdot e^{-\frac{CS}{4V} \ln(1-\alpha)t}$$

E_t : mật độ năng lượng âm trong quá trình tăng.

E_g : mật độ năng lượng âm trong quá trình giảm.

E_o : mật độ năng lượng âm ở trạng thái ổn định.³

S : tổng diện tích các bề mặt trong phòng, [m²].

V : thể tích của phòng, [m³].

α : hệ số hút âm trung bình của các bề mặt trong phòng.

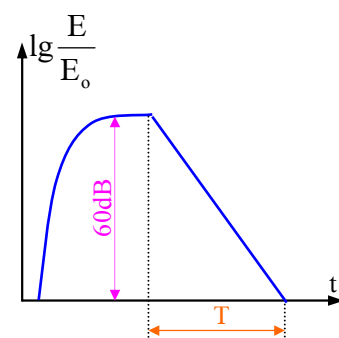
t : thời gian, [s].

Quá trình tăng của âm thanh xảy ra khá nhanh (trong vài phần mười giây), còn quá trình tắt dần xảy ra chậm hơn và ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng thu nhận âm thanh trong phòng, người ta gọi nó là quá trình âm vang. Thời gian âm thanh tắt dần trong quá trình đó gọi là *thời gian âm vang*.

Để đánh giá định lượng thời gian âm vang người ta định ra 2 giới hạn của mật độ năng lượng âm chênh lệch nhau một phần triệu (10⁶) lần, và gọi thời gian tắt dần tự do của âm thanh trong phòng giữa 2 giới hạn đó sau khi tắt nguồn âm là *thời gian âm vang* (T), đo bằng giây.

Như vậy thời gian âm vang của phòng cho biết tốc độ tắt dần của âm thanh trong phòng đó (sau khi tắt nguồn âm) là nhanh hay chậm.

Vì mật độ năng lượng giảm 10⁶ lần, mức năng lượng giảm được 60dB, nên thời gian âm vang có thể xác định như thời gian cần thiết để mức âm giảm được 60dB.



Hình 10: Thời gian âm vang

³ $E_o = \frac{4P}{CA}$

P : công suất nguồn âm.

C : vận tốc âm thanh trong không khí , C=340m/s.

A : lượng hút âm của phòng.

2/ CÔNG THỨC TÍNH THỜI GIAN ÂM VANG :

Thời gian âm vang của phòng phụ thuộc vào tần số âm, kích thước hình học của phòng đó, lượng hút âm và cả vị trí của các vật liệu hút âm trong phòng. Sabine đã đưa ra công thức tính toán thời gian âm vang như sau:

$$T = \frac{0,162V}{A}$$

T : thời gian âm vang , [s].

V : thể tích phòng, [m³].

A : tổng lượng hút âm của phòng, [m²]

Đối với các phòng ít hút âm (hệ số hút âm trung bình $\alpha_{TB} = \frac{A}{S} < 0,2$, với S là tổng diện tích các bề mặt trong phòng) thì công thức trên cho kết quả khá phù hợp với thực tế. Nhưng khi lượng hút âm tăng lên thì Eyring⁴ (1930) đưa ra công thức tính như sau:

$$T = \frac{0,164V}{-S \cdot \ln(1 - \alpha_{TB})}$$

hay chuyển sang logarit thập phân:

$$T = \frac{0,071V}{-S \cdot \lg(1 - \alpha_{TB})}$$

Các công thức trên còn chưa kể đến sự hút âm của không khí trong phòng, vì vậy khi thể tích phòng lớn đối với các tần số cao ($f > 1000\text{hz}$) cần phải kể thêm lượng hút âm này. Lúc đó công thức sẽ có dạng:

$$T = \frac{0,162V}{A + n \cdot V}$$

$$\text{và } T = \frac{0,164V}{-S \cdot \ln(1 - \alpha_{TB}) + n \cdot V}$$

n : hệ số xét đến lượng hút âm của không khí , đơn vị m⁻¹, (xem phụ lục).

Lượng hút âm của toàn phòng A lúc này xác định theo công thức:

$$A = \sum \alpha_i S_i + a_1 N_1 + a_2 N_2 + \alpha_p S$$

α_i : hệ số hút âm của bề mặt có diện tích tương ứng là S_i .

a_1 và N_1 : lượng hút âm của một người và số người có mặt trong phòng.

a_2 và N_2 : lượng hút âm của một ghế và số ghế không có người ngồi trong phòng.

$\alpha_p S$: lượng hút âm phụ thêm do các khe hở, lỗ đèn và sự dao động của kết cấu trong phòng, trong đó α_p là hệ số hút âm phụ lấy như sau:

$$- \text{ Ở tần số thấp : } \alpha_p = 0,07.$$

⁴ Khác với Sabine cho rằng sự hút âm trên các bề mặt của phòng xảy ra liên tục, Eyring giả thiết sự hút âm ở đó xảy ra gián đoạn, có những bước nhảy.

- Ở tần số trung bình và cao: α_p

Các trị số này có thể tăng hoặc giảm 30% tùy theo các phòng thực tế giống nhiều hoặc ít với các điều kiện kể trên.

Cuối cùng cần lưu ý rằng phương trình âm vang đã được thành lập dựa trên 2 giả thiết cơ bản sau đây:

- Âm thanh truyền theo tia âm và năng lượng âm là tổng năng lượng của âm trực tiếp và các phản xạ tới điểm tính toán (không xét đến sự lệch pha).
- Các phản xạ âm đi tới mỗi điểm trong phòng phải đủ lớn và là một sự kiện ngẫu nhiên, nghĩa là trường âm trong phòng là hoàn toàn khuếch tán.

3/ THỜI GIAN ÂM VANG TỐT NHẤT :

Thời gian âm vang dài hay ngắn sẽ ảnh hưởng đến chất lượng âm thanh trong phòng:

- Thời gian âm thanh ngắn → nghe không hay, khô khan.
- Thời gian âm thanh dài → nghe không rõ, vì xảy ra hiện tượng chồng âm.

Sabine cho rằng mỗi phòng tùy theo chức năng sử dụng và thể tích của nó có một trị số thời gian âm vang được coi là tốt nhất, ở đó chất lượng thu nhận âm thanh đạt được cao nhất. Có nhiều nghiên cứu về thời gian âm vang tốt nhất, sơ lược như sau:

✚ **Thời gian âm vang tốt nhất phụ thuộc vào thể tích phòng:** do công suất nguồn âm có hạn nên khi thể tích phòng tăng lên, mật độ năng lượng âm trong phòng giảm đi, vật thời gian âm vang lại có thể sinh ra hiện tượng chồng âm làm giảm độ rõ. Như vậy thời gian âm vang tốt nhất có thể xác định như là trị số thời gian âm vang nhỏ nhất mà chưa bắt đầu gây ra sự giảm độ rõ do giảm mức to của âm. Trong phòng hòa nhạc, thời gian âm vang ít phụ thuộc vào thể tích phòng, khi thể tích tăng từ 10-30 lần, thời gian âm vang tốt nhất chỉ tăng 30-50%.

Một số nghiên cứu sau này cho thấy:

- Với phòng lớn hơn 2000m³ thời gian âm vang không phụ thuộc thể tích phòng và là một trị số cố định đối với mỗi loại nhạc:
 - + Nhạc hiện đại: 1,48s.
 - + Nhạc cổ điển: 1,54s.
 - + Nhạc lãng mạn: 2,07s.

Trung bình 3 loại nhạc là 1,7s.

- Với các phòng nhỏ (200-300m³) thời gian âm vang tốt nhất theo kinh nghiệm là 1s.

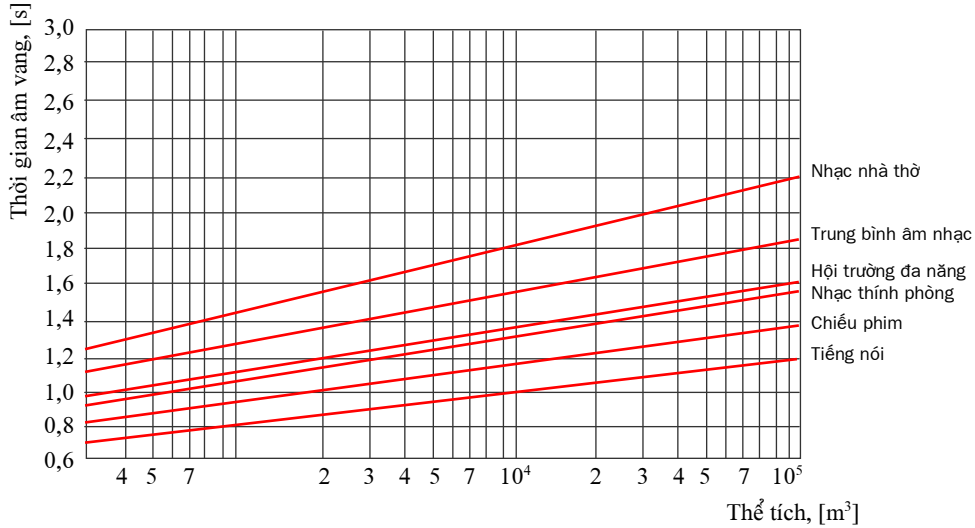
Như vậy, khi thể tích thay đổi từ 300 đến 2000m³ thời gian âm vang tốt nhất phải thay đổi từ 1,0 đến 1,7s theo công thức kinh nghiệm sau đây:

$$\lg T_m = -0,374 + \frac{1}{6} \lg V$$

✚ **Thời gian âm vang tốt nhất phụ thuộc vào chức năng của phòng:** Các phòng khác nhau có yêu cầu chất lượng âm thanh khác nhau. Nếu đối với phòng nghe tiếng nói

nếu phải cần độ rõ cao, thì đối với phòng nghe âm nhạc độ rõ có thể thấp hơn, nhưng phải tạo được cảm giác ấm cúng, du dương. Như vậy phòng nghe tiếng nói phải có thời gian âm vang nhỏ hơn phòng nghe âm nhạc.

Có thể lấy thời gian âm vang tốt nhất của phòng căn cứ vào biểu đồ sau:⁵



Hình 11: Thời gian âm vang tốt nhất ở tần số 500 - 1000 Hz

☞ Công suất nguồn âm càng lớn thì thời gian càng phải dài hơn.

☞ Nhạc chậm (khoan thai), long trọng, du dương cần có thời gian âm vang lớn hơn loại nhạc nhanh, nhạc nhẩy. Nhịp điệu nhạc càng nhanh phải giảm thời gian âm vang để đảm bảo sự trong trẻo và rõ ràng của âm thanh.

📌 **Thời gian âm vang tốt nhất phụ thuộc vào tần số âm thanh.** Bởi vì:

- khả năng hút âm của các vật liệu khác nhau theo tần số.
- mức âm của nguồn khác nhau khi tần số khác nhau.

Nguyên nhân thứ nhất có thể loại trừ khi chọn vật liệu hút âm để gia công âm học phòng.

Nguyên nhân thứ hai cần phải xét đến vì không phải loại trừ được.

Đặc tính tần số của thời gian âm vang tốt nhất phải đảm bảo cho âm vang của mỗi tần số riêng không bị che lấp hoặc lấn át các tần số khác.

Có thể xác định thời gian âm vang tốt nhất ở các tần số khác theo thời gian âm vang tốt nhất ở tần số 500hz (T_{500}^m) theo công thức sau: $T_f^m = k.T_{500}^m$

T_{500}^m : lấy theo biểu đồ trên.

k : hệ số xét đến sự phụ thuộc của thời gian âm vang tốt nhất theo tần số, tra bảng:

Loại phòng	Hệ số k theo tần số, Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
Nhà hát vũ kịch và phòng hòa	1,4	1,15	1	0,9	0,9	0,9

⁵ Biểu đồ được tạo bởi nhiều tác giả nước ngoài thành lập.

nhạc						
Nhà hát kịch, phòng họp, giảng đường	1,1	1	1	1	1	1

4/ THIẾT KẾ PHÒNG THEO THỜI GIAN ÂM VANG :

Hai yêu cầu chính trong thiết kế âm vang:

✚ *Thời gian âm vang theo tính toán của phòng phải đạt xấp xỉ trị số tốt nhất*: yêu cầu này được thực hiện theo 6 dải tần số 1 octa, có các tần số trung bình là 125, 250, 500, 1000, 2000 và 4000Hz, vì các tần số này đặc trưng cho phạm vi âm thanh thường gặp nhất trong tiếng nói và âm nhạc⁶. Sai số giữa trị số tính toán và trị số tốt nhất thời gian âm vang không vượt quá 10% của trị số tốt nhất. Yêu cầu này có thể biểu diễn theo công thức:

$$T_f = T_f^m \pm (10\% \cdot T_f^m)$$

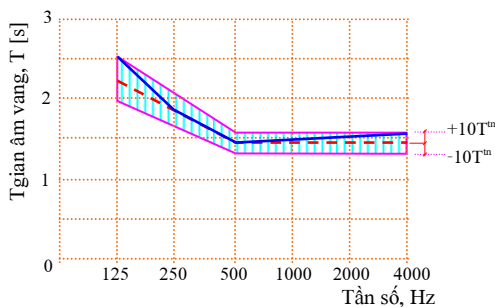
T_f : thời gian âm vang tính toán của dải tần số.

T_f^m : thời gian âm vang tốt nhất của dải tần số đó.

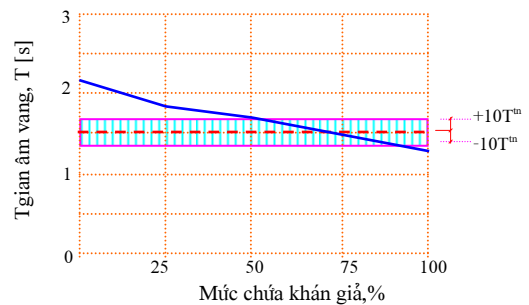
✚ *Sự thay đổi âm vang của phòng theo số lượng thính giả có mặt phải được tính toán trước*:

Số lượng khán giả trong phòng cũng ảnh hưởng đến thời gian âm vang, vì mỗi một người được coi như bộ phận hút âm, do đó người ta thường thiết kế ghế mềm để giống sự hút âm của người. Nhưng thực tế vẫn phải xét đến sự thay đổi này phụ thuộc vào mức chứa của phòng, khi mức chứa khán giả 0%, 50%, 70% và 100% ở tần số trung bình (500hz).

Hai yêu cầu nói trên có thể biểu diễn dưới dạng biểu đồ đường đặc tính thời gian âm vang và thời gian âm vang theo mức chứa thính giả của phòng:



Hình 12: Theo tần số phòng khi chứa 70% khán giả



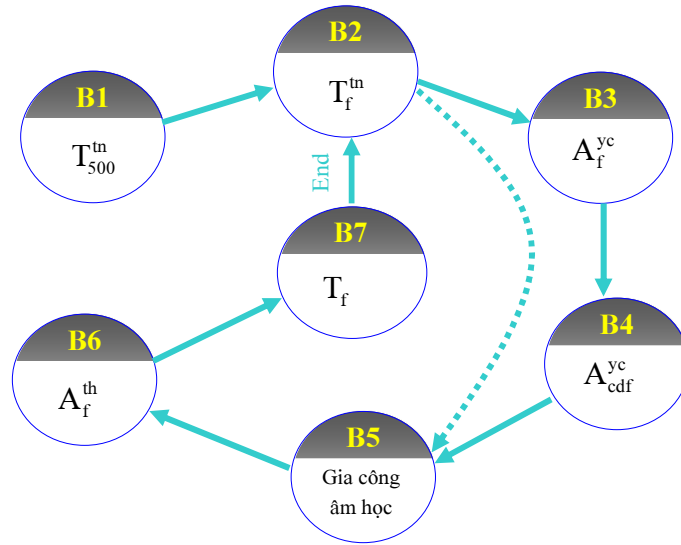
Hình 13: Theo các mức chứa khán giả khác nhau (ở tần số 500Hz)

- Thời gian âm vang tốt nhất, T^n
- Thời gian âm vang tính toán, T''

⁶ Phòng yêu cầu chất lượng âm thanh cao thì có thể tính cho nhiều dải tần số.

Với phòng mà chất lượng âm thanh chủ yếu nghe rõ (giảng đường) có thể chỉ tính cho tần số 500hz.

❁ **Các bước thiết kế thời gian âm vang:**



Hình 14: Các bước thiết kế thời gian âm vang

➤ **Bước 1:** Xác định T_{500}^{tn} theo biểu đồ trên.

➤ **Bước 2:** Xác định thời gian âm vang tốt nhất theo dải tần số tính toán: $T_f^{tn} = k.T_{500}^{tn}$

➤ **Bước 3:** Xác định lượng hút âm yêu cầu của phòng theo dải tần số âm: A_f^{yc}

Từ công thức Eyring : $T_f^{tn} = \frac{0,164V}{-S \cdot \ln(1 - \alpha_{TB})}$ ta suy ra α_{TB}

Do đó: $A_f^{yc} = \alpha_{TB} \cdot S$

➤ **Bước 4:** Xác định lượng hút âm yêu cầu của các bề mặt trong phòng theo dải tần số âm:

$A_{cd,f}^{yc}$

$$A = \sum S_i \alpha_i + \sum a_m N_m$$

Gọi $A_{cd} = \sum S_i \alpha_i$ là lượng hút âm cố định (của các bề mặt trong phòng).

$A_{td} = \sum a_m N_m$ là lượng hút âm thay đổi (của thính giả).

Ta có $A_f^{yc} = A_{cd,f}^{yc} + A_{td,f}$. Do đó $A_{cd,f}^{yc} = A_f^{yc} - A_{td,f}$

$A_{td,f}$ xác định theo số lượng thính giả có mặt và số ghế trống (mức chứa 75% hoặc 100%).

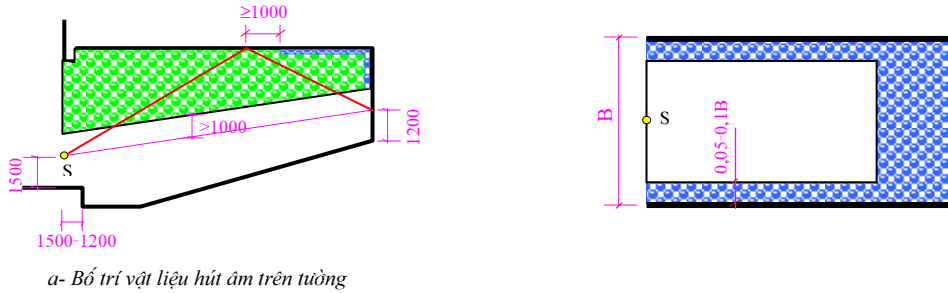
➤ **Bước 5:** Gia công âm học cho phòng. Cần phải chọn và bố trí vật liệu hút âm trong phòng cho đạt được bằng với lượng hút âm yêu cầu đã xác định ở bước 4.

Việc bố trí vật liệu hút âm trên bề mặt phòng có ảnh hưởng đến mức âm tại mỗi chỗ ngồi của khán giả, đến mức độ khuếch tán trường âm trong phòng, đến sự hình thành các hiện tượng xấu về âm thanh trong phòng,... Do vậy khi bố trí vật liệu hút âm có thể tuân theo hướng dẫn sau:

☞ Trên trần và phía dưới tường bên, đặc biệt các phần trần và tường sát sân khấu, nên bố trí vật liệu phản xạ âm mạnh.

☞ Phần trên của tường bên và phần sau của trần bố trí vật liệu tạo khuếch tán âm, hoặc xen kẽ hút âm và khuếch tán âm.

☞ Trên các tường sau (ở độ cao $\geq 1,2m$ trên mặt sàn), tường lan can ban công bố trí vật liệu hút âm mạnh.



Hình 15: Cách thức bố trí vật liệu hút âm cho phòng khán giả

➤ **Bước 6:** Xác định lượng hút âm thực của phòng sau khi gia công âm học theo 6 dải tần số :

$$A_r^{th} = \sum S_i \alpha_i + \sum a_m N_m$$

➤ **Bước 7:** Xác định thời gian âm vang của phòng tại 6 dải tần số theo công thức Eyring, và so sánh với trị số tốt nhất tương ứng. Nếu sai số $< 10\% T_r^m$ là đạt yêu cầu, nếu không phải thực hiện lại bước 5 cho tần số chưa đạt và tiếp tục.

IV - THIẾT KẾ PHÒNG ĐẢM BẢO TRƯỜNG ÂM KHUẾCH TÁN

Tạo sự khuếch tán âm sẽ tăng thêm tiện nghi âm thanh cho phòng, âm thanh nghe càng sinh động và hấp dẫn.

Muốn đạt được độ khuếch tán cao của trường âm, các mặt phản xạ phải có khả năng tạo cho người nghe nhận được nhiều âm phản xạ nhất, các phản xạ tới từ mọi hướng với xác suất như nhau và âm nọ nối tiếp sau âm kia.

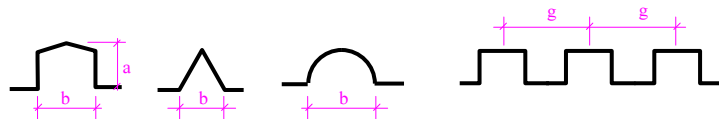
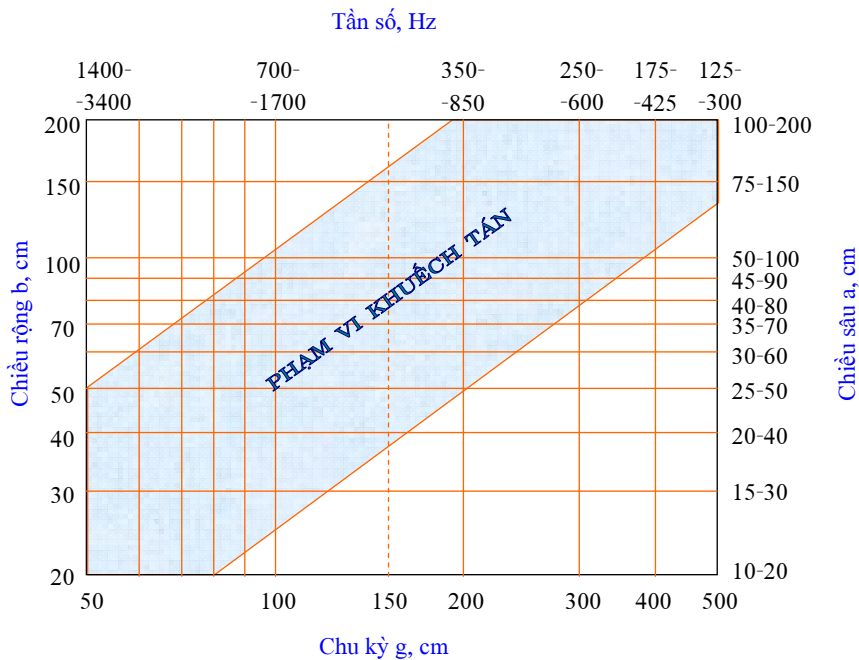
Để tạo trường âm khuếch tán có thể thực hiện theo một trong các giải pháp sau:

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



Hình 16: Tạo khuếch tán âm từ cột, dầm,...

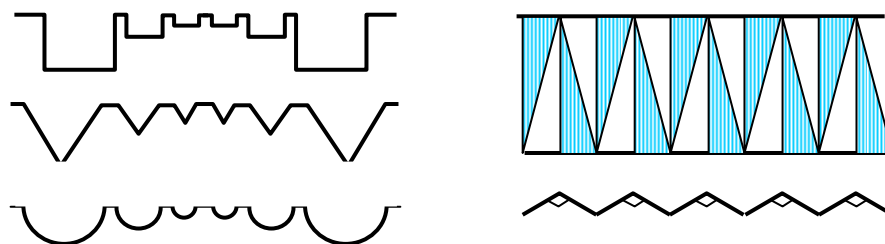
► **Giải pháp 2:** Xử lý các bề mặt không gian chính phòng khán giả bằng các cấu tạo phân chia chu kỳ. Cấu tạo phân chia dạng chu kỳ vừa đạt hiệu quả cao về trang trí nội thất vừa đạt hiệu quả cao về âm học. Tuy nhiên, các cấu tạo phân chia muốn đạt được hiệu quả khuếch tán cao phải có kích thước xấp xỉ với bước sóng âm tới. Các cấu kiện có kích thước nhỏ (vài cm) không tạo được khuếch tán âm ngay cả ở các tần số cao và nó có tác dụng như mặt phẳng. Kinh nghiệm cho thấy kích thước các mặt phân chia phải lớn hơn vài chục cm. Kích thước tốt nhất của các bề mặt phân chia có thể chọn theo biểu đồ dưới đây:



Hình 17: Biểu đồ để chọn kích thước mặt phân chia chu kỳ

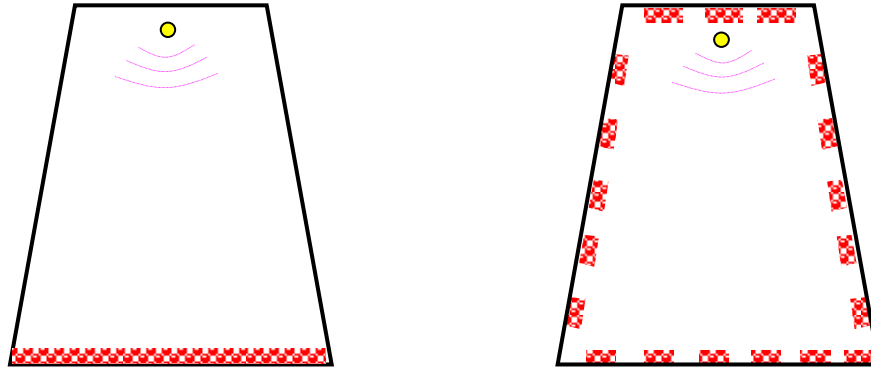
Trong kiến trúc thường hay sử dụng cấu tạo phân chia dạng chu kỳ hình chữ nhật, lăng trụ, bán trụ. Loại lăng trụ và bán trụ cho hiệu quả khuếch tán cao hơn ở các tần số trung bình và cao. Ngược lại, loại hình chữ nhật tạo khuếch tán tốt trong phạm vi tần số thấp.

Các loại cấu tạo vừa nói trên đều có kích thước cố định nên mới chỉ đạt được hiệu quả khuếch tán trong một phạm vi tần số nhất định. Nếu các thông số của chúng thay đổi nhiều hơn thì hiệu quả khuếch tán sẽ đạt được trong phạm vi tần số rộng hơn.



Hình 18: Cấu tạo phân chia có kích thước thay đổi theo 2 chiều và 3 chiều

► **Giải pháp 3:** Tạo trường âm khuếch tán trong phòng bằng cách bố trí vật liệu hút âm phân tán thành các dải nhỏ, xen kẽ với các vật liệu phản xạ âm trên các bề mặt của phòng. Những bề mặt hút âm có kích thước lớn không có lợi về mặt khuếch tán âm, sự tắt dần của âm thanh không đều bằng trường hợp bố trí phân tán.



Hình 19: **Bố trí vật liệu hút âm phân tán âm thanh sẽ khuếch tán đều hơn bố trí tập trung**