

## 機房的隔音與防火

徐廷珪(環工技師)、蔡佩樺、葉秀玲

一般建築物有噪音問題的機房有發電機房、空調主機房、送(排)風機房等場所，而機房的噪音防制一般做法為阻擋機房內的高噪音散出至機房外，而不致於影響周圍環境的安寧。

機房主要的噪音防制方式如下：

### 1. 阻擋聲音傳出

阻擋聲音傳出機房外是最典型的噪音防制方式，主要的噪音防制設備有隔音門、隔音窗等。

### 2. 吸收機房內聲音

一般聲音依照傳送的途徑可略分為直接音與反射音，其中直接音是由機器直接傳送到受體，反射音則是直接音撞擊堅硬物體(如牆壁、天花板等)造成反射而形成，若能在牆壁與天花處安裝吸音材質，則可以吸收反射音避免機房的聲音過大，同時也能降低機房外面的聲音。主要的噪音防制方式有吸音壁面，吸音天花。

### 3. 通風消音

一般機房有二種通風考量，一為不需通風、散熱(如冰水主機房以空調散熱)；另為需要通風散熱(如發電機房、送排風機房)，針對此類的機房，則需要設置通風消音箱，不僅利於機房的通風散熱，也達到消音(減音)的效果。

## 一、機房的防音處理

機房聲音的傳遞有二種方式，一為透過管路的傳遞，此部分為氣流噪音(aerosonic)的領域，在其他專文有討論<sup>(1)</sup>。另一為聲音透過空氣傳至鄰近房間，此為氣體音(Air Borne)。氣體音的傳遞有二種路徑，一為傳到室內(如與機房相鄰的走廊、辦公室)；另一為傳至戶外，此部分需符合環保法規<sup>(2)</sup>。現將機房噪音傳到室內與戶外的方式整理如下圖：



圖 1: 氣體音、固體音與氣流噪音示意圖

機房噪音 - 氣體音的改善步驟如下：

1. 計算音源室所有設備之聲功率  $L_w$

$$L_w = 10\log(10^{L_{w1} \cdot 0.1} + 10^{L_{w2} \cdot 0.1} + \dots)$$

$L_w$ ：聲功率

$L_{wi}$ ：各種設備的聲功率

2. 計算音源室吸音設備的減音量

$$NR = 10\log(\frac{S_1}{S_0})$$

$\alpha_1$ ：吸音材吸音率

$S_1$ ：裝上吸音材後，牆面(天花、地板)表面積

$\alpha_0$ ：原牆面(天花、地板)吸音率

$S_0$ ：原牆面(天花、地板)表面積

3. 轉換音源室的聲功率為聲壓位準

$$L_{pc} = L_w + 10\log(4/R) + 10\log(Q/4\pi r^2)$$

$L_{pc}$ ：合成音壓

$L_w$ ：聲功率

R:室常數( $R=S\alpha/1-\alpha$ )

Q：方向係數

r：音源到隔間牆邊的距離

$\alpha$ ：吸音係數

4. 計算出與音源室相鄰房間受音室(或中間室)的噪音值

$$L_{p2} = L_{p1} + 10\log S - \overline{SRI} - 10\log A \quad (\text{房間-房間})$$

$$L_{p2} = L_{p1} + 10\log S - \overline{SRI} - 20\log r - 14 \quad (\text{房間-外面})$$

$L_{p2}$ :受音室噪音值

$L_{p1}$ :音源室噪音值

S:音源室與受音室隔間牆或分隔地板面積

$\overline{SRI}$  : 隔間牆或分隔地板的平均隔音量

A: 受音室吸音能力 ( $A = \sum_1^6 S_i \alpha_i$ )

r : 受體距音源之距離

5. 重複步驟 4. 算出多次中間室到最後受音室的聲壓位準
6. 聲音的傳遞有分成固體音與空氣音，本計算只算空氣音，固體音牽涉的因素太多(如機器防振效率、樓板厚度、樑距、牆厚、吊架的防振、吊點的配置等)，不易由公式算出。但若防振與彈性懸吊妥善處理，對機房外要求 55 分貝以上的場合幾乎可以不考慮。

## 二、 機房防火考量

針對整個隔音過程與防火較有關係的有步驟 2 與步驟 4，其中步驟 2 吸音棉所用的材質須為耐燃二級(CNS 6532)以上的吸音防火材料，而步驟 4 所採用的平均隔音量與防火有密切的關係，特說明如下：

典型吸音壁面的效果：

$$NR = 10 \log \frac{\overline{\alpha}_1 S_1}{\overline{\alpha}_0 S_0}$$

其中 NR：減音量

$\overline{\alpha}_0$  ,  $S_0$ ：未安裝吸音壁面時機房的平均吸音係數與面積。

$\overline{\alpha}_1$  ,  $S_1$ ：安裝吸音壁面後機房的平均吸音係數與面積。

$$\overline{\alpha} = \frac{\sum S_i \alpha_i}{\sum S_i}$$

$\overline{\alpha}$ ：平均吸音係數

$S_i \alpha_i$ ：房間各面的面積與吸音係數。

舉例而言，未安裝吸音壁面時的平均吸音係數約為  $\overline{\alpha}_0 = 0.1$ ，安裝吸音壁面後的平均吸音係數  $\overline{\alpha}_1$  約為 0.5，整體減音量  $NR = 10 \log(5/1) = 7$  分貝左右。

一般而言，隔間的減音計算包含二種情形，一為機房對走廊、機房對房間，屬室內音場；另一為機房對戶外，屬於開放空間半自由音場。今將此二種情形說明如下：

### (一) 機房對房間(或機房到走廊)

$$Lp_2 = Lp_1 - \overline{SRI} + 10 \log S - 10 \log A$$

$L_{p2}$ =接收室的音壓位準

$L_{p1}$ =音源室的音壓位準

$S$ =相鄰隔間牆面積(含隔間牆上的設備如門、窗 )

$A$  =受體區的總吸音力=0.16 V/T

$V$  : 為受體室的總體積  $m^3$

$T$  為受體室的殘響時間  $s$

或  $A=Si^* i$

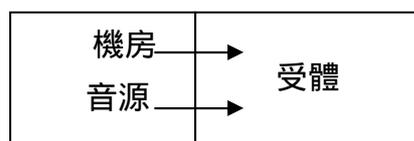
其中  $S_i$  為受體各面的表面積

$i$  為受體各面的吸音係數

針對平均隔音量( $\overline{SRI}$ )又可分成單一性質隔間材料與組合式隔間材料的隔音計算：

### 1. 單一性質隔間：

舉例而言，某機房現在的音壓位準為 72 分貝。鄰室為走廊，二者以輕隔間方式分開，其中輕隔間的平均隔音量為  $SRI=35dB$ ，機房與走廊隔間面積  $S=10m^2$ ，走廊的體積  $V=30m^3$ ，走廊的殘響時間為  $RT=1(s)$ ，請問走廊的音壓位準？



$$L_{p2}=L_{p1}-\overline{SRI}+10 \log S-10 \log A$$

音源室的音壓位準 $L_{p1}$	72 dB
-------------------	-------

$\overline{SRI}$	-35 dB
------------------	--------

$10 \log S$	10
-------------	----

接收室吸音	-10 $\log A$
-------	--------------

$$= -10 \log (0.16 \times 30 / 1)$$

$$= -7$$

$$40 \text{ dB}$$

### 2. 組合式隔間的隔音量：

一般而言，隔間系統會有門、窗與隔音板的組合，面對此類型的組合，隔音量計算如下：

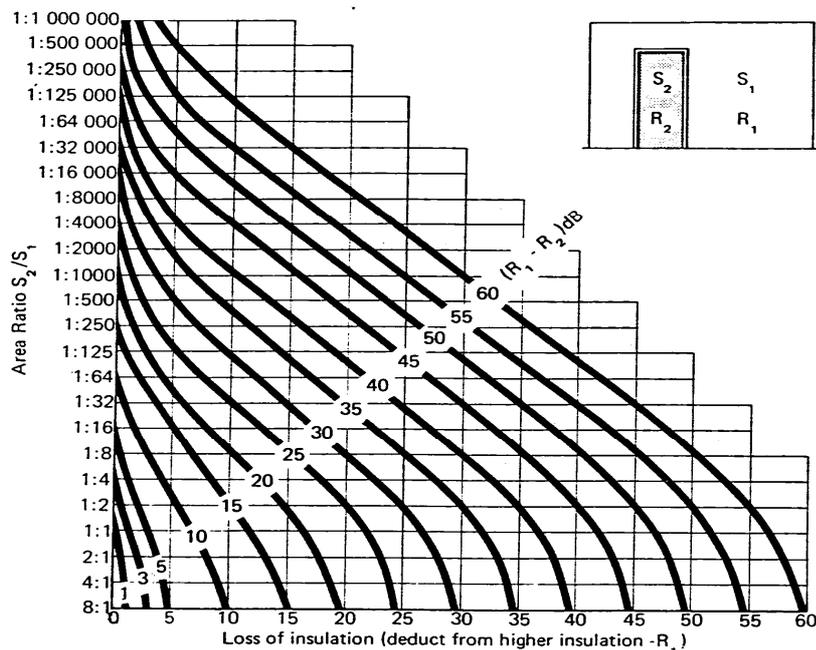


圖 2: 不同隔音等級材質組成的隔音效果

資料來源：Sound Research Laboratories Ltd

隔間面積  $10\text{m}^2$ ，當有下列 3 種材質：

門：SRI=20dB， $S=2\text{m}^2$

窗：SRI=27dB， $S=4\text{m}^2$

隔音板：SRI=35dB， $S=4\text{m}^2$

(1) 由窗與隔板先行判斷組合隔音量

$$S_2/S_1=1:1 \text{ (縱座標)}$$

$$R_1-R_2=35-27=8 \text{ (圖面曲線)}$$

由此可以判讀窗與門二者組成後的隔音損失量(Loss of insulation)是 6 分貝(橫座標)，換句話說因為門的隔音較差(20 分貝)，雖然隔音板的隔音較好(35 分貝)，但亦使整體的隔音量下降，而且降了 6 分貝的隔音量，所以窗與牆板組合後的平均隔音量係為  $35-6=29 \text{ dB}$

(2) 門與 (窗+牆板) 的組合平均隔音量

$$S_2/S_1=2:(4+4)=1:4 \text{ (縱座標)}$$

$$R_1 - R_2 = 29 - 20 = 9 \text{ (圖面曲線)}$$

對表得隔音損失量(Loss of insulation)為 4 dB

所以平均隔音量為  $29 - 4 = 25 \text{ dB}$

由此可見，隔間的加強需妥善考量較弱隔音量的部份，如本例若加強隔音門的隔音量，若隔音門的隔音量從 20 dB 提升至 40 dB

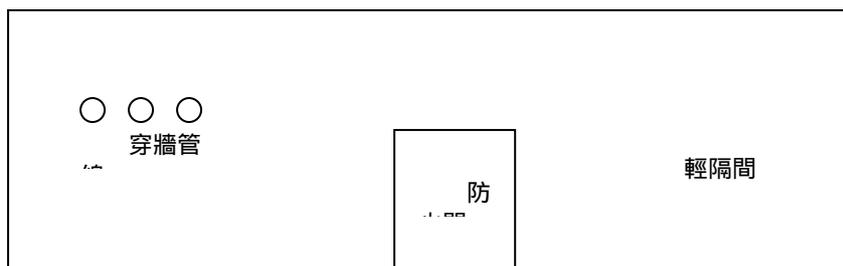
$$S_2/S_1 = 1 : 4$$

$$R_1 - R_2 = 40 - 29 = 11$$

可對出隔音量損失量(Loss of insulation) 為 9 分貝， $40 - 9 = 31$ ，所以可以提昇整體隔音量至 31 分貝，優於原先的 25 分貝。

緣此，機房考慮防火與隔音的效果可說明如下：

以機房對走廊而言，整面牆有一個防火門( $2\text{m}^2$ )，管線貫穿牆壁( $0.5\text{m}^2$ )，其餘為輕隔間牆，其面積與隔音量如下：



### 3. 一般未考慮隔音的防火區劃之隔音效果

防火門	$2\text{m}^2$	$\text{SRI}=20$
管線發泡填充	$0.5 \text{ m}^2$	$\text{SRI}=10$
牆(輕隔間)	$20 \text{ m}^2$	$\text{SRI}=35$

(1) 由管線發泡填充( $R_2, S_2$ )與輕隔間牆( $R_1, S_1$ )先行判斷組合隔音量

$$S_2/S_1 = 0.5/20 = 1:40 \text{ (縱座標)}$$

$$R_1 - R_2 = 35 - 10 = 25 \text{ (圖面曲線)}$$

由此可判斷二者組成後的隔音損失量是 9 dB

所以管線發泡填充與輕隔間牆組合後平均隔音量是  $35 - 9 = 26 \text{ dB}$

(2) 門與(管線發泡填充+輕隔間牆)的組合平均隔音量

$$S_2/S_1=2/(20+0.5)=1:10.25 \text{ (縱座標)}$$

$$R_1-R_2=26-20=6 \text{ (圖面曲線)}$$

對表得隔音損失量為 1 dB

所以平均隔音量為 26-1=25 dB

#### 4. 考慮隔音的防火區劃之隔音效果

防火門	2m <sup>2</sup>	SRI=35
管線加防火泥或防火填充	0.5 m <sup>2</sup>	SRI=30
牆	50 m <sup>2</sup>	SRI=35

##### (1) 由管線防火泥與牆先行判斷組合隔音量

$$S_2/S_1=0.5/50=1:100 \text{ (縱座標)}$$

$$R_1-R_2=35-30=5 \text{ (圖面曲線)}$$

由此可判斷二者組成後的隔音損失量是 0 dB

所以管線加防火泥與牆組合後平均隔音量是 35-0=35 dB

##### (2) 防火門與(管線防火泥+牆)的組合平均隔音量

$$S_2/S_1=2/(0.5+50)=1:25.25 \text{ (縱座標)}$$

$$R_1-R_2=35-35=0 \text{ (圖面曲線)}$$

由此可判斷二者組成後的隔音損失量是 0 dB

所以整體平均隔音量為 35 dB

由此可知，妥善的隔音考量可使防火區劃的隔音效果增加 10 分貝的隔音量。

## (二) 機房對外傳遞噪音

同上之機房，其噪音值 72 分貝，機房對外隔間牆面積  $S=30\text{m}^2$ ，求距離廠房外 5m 的住家的音壓位準為何？

機房隔間牆  $\overline{SRI} = 20 \text{ dB}$

$$Lp_2 = Lp_1 - \overline{SRI} + 10 \log S + 10 \log (Q/4r^2) - 6 \text{ dB}$$

$Lp_2$  = 住家的音壓位準

$Lp_1$  = 機房反射音壓位準

$S$  = 隔間牆表面積 ( $\text{m}^2$ )

$Q$  : 方向係數 (1, 2, 4, 8)

$r$  : 隔間牆至受音者距離

同上例

$Lp_1$	72dB
$-\overline{SRI}$	-20dB
$10 \log S$	$10 \log 30 = +15$
$10 \log (Q/4r^2)$	$10 \log (2/4 \cdot 5^2) = -22$
-6	-6
<hr/>	
39dB	

## 三、 使用隔音防火設備

一般而言，常用於機房的防音設備有以下幾種：

### 1. 消音百葉

最常用於進排氣機房，由於消音百葉的單位長度減音量較高，但壓損相對較大，所以非常適合通風機房的使用，一般使用消音百葉需注意以下幾點：

(1) 壓損  $\leq 12.5\text{mm}$  水柱高

面速度 (face Velocity) = (總流量 / 百葉的截面積)  $\leq 3.5\text{m/s}$

(2) 可取代耐候百葉

(3) 使用防鳥網 (Bird Guard)

(4)注意是否需防水，而考慮防雨唇的設計

(5)可考慮 250 ，1 小時不變形

## 2. 隔音門

用於所有的機房，需考慮以下幾點：

(1)防火性，防火時效 1 小時(發電機房特別需要)

(2)單開、雙開

(3)鉸鏈的耐久性

(4)隔音量 STC30 以上

(5)門框與門扇的一體性

## 3. 吸音壁面

吸音壁面需考量的因素如下：

(1)吸音材：岩棉、玻璃棉，符合耐燃二級以上(CNS 6532)。

(2)保護材：沖孔板、鋁箔、玻璃布，符合防焰一級以上(CNS 10285)。

(3)防火考量：吸音材符合耐燃二級以上，保護材符合防焰一級。

## 4. 消音箱

需考慮防火隔音的要求如下：

(1)250 1 小時不變形要求

(2)面速度 7.5m/s

(3)消音量(dB)與壓損(mmAq)

(4)計算書

# 四、 幾種機房的隔音與防火處理方式

機房內的設備所產生的噪音，或穿透牆壁或隨風管傳送到鄰近的公共空間，使之受干擾，為此擬定防音的策略如下：

## 1. 機房的隔音處理

此部份包含了牆壁，天花，門、窗的隔音處理，以 RC 牆、磚牆或雙層輕隔間牆，搭配隔音門、窗以確保聲音被阻隔在機房內側。此部分需

考量防火時效 1~2 小時要求。

## 2. 機房的吸音的處理

機房內部可能由於機械設備產生較大的噪音，需以壁面吸音來吸收反射音，使機房內的聲音可以再降低一些，此部份吸音材料需考慮防火、吸音與美觀整齊的需求。此部分需考慮吸音材與保護材的耐燃等級與防焰等級。

## 3. 機房的消音處理

由於設備的運轉產生熱量(如冰水主機)，或設備需空氣冷卻與燃燒(如發電機)或設備以管路傳遞空氣，都需要在機房做開口，以利空氣流通。若沒有妥善處理此開口，機房的聲音由此逸出，會使周遭空間的安寧受到打擾。妥善的考慮通風與隔音的需求，需要採取消音設備來阻止聲音的穿透，消音設備以吸音閘板與空氣走道交錯配置，以達到通風減音的效果。此部分需考慮 1 小時 250 不變型的要求。

## 4. 穿牆防音的處理

完整的牆面有優良的隔音效果，但在機房的使用上，不容易有完整不被貫穿的牆面，機房內的 cable-tray, piping, ducting, panel 都使機房原來的隔音受到破壞，傳統灌發泡做法不僅無法達到防音效果，在防火區劃上，亦有不盡理想之處。配合吸音棉填塞牆壁穿孔處(如 cable tray, piping, ducting) 並在二側牆面輔以隔音板(如鐵片)的隔音處理，或採防火泥的處理方式可使整體的隔音不受破壞，並達到防火時效的要求。

### 幾種設備機房的防音做法

設備名稱	隔音牆	吸音(耐燃一級)	消音箱(百葉)	隔音門、防火門	穿牆防火防音
發電機房	RC 磚牆	48K 吸音棉	進排氣消音箱	STC38 等級	ducting
冰水主機房	RC 磚牆	48K 吸音棉	可不需要	STC50 等級	piping
空調箱機房	輕隔間磚牆	48K 吸音棉	出迴風消音箱	不需要	ducting
鼓風機房	RC 磚牆	48K 吸音棉	進排氣消音箱	STC50 等級	piping
變壓器機房	RC 磚牆	48K 吸音棉	進排氣消音箱	STC50 等級	Cable-tray

環協工程顧問有限公司

Tel:04-23584334 Fax:04-23584500

### 參考文獻

1.Noise Control in Industry, E.&F.N. Spon, Sound Research Laboratories Ltd,3rd.1991

2.噪音管制標準,環保署,2006.11.08 修正