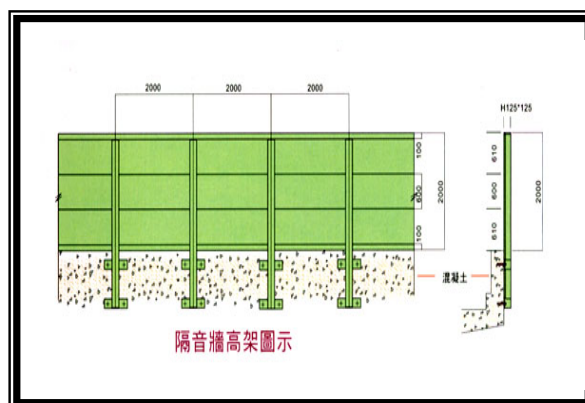


第 14 章 噪音防制

學習目標

研讀本章之後，學習者應能夠：

1. 了解隔音的原理。
2. 了解隔音罩和隔音牆的結構和降低噪音特點。
3. 吸音材料和吸音原理。
4. 各種吸音處理方式、吸音結構的選擇。
5. 消音器的消音性能評估。
6. 音器分類及消音方式。
7. 消音器的選型。



摘要

利用隔音設備將噪音源和受音者分開，以隔離噪音在介質中的傳播，而減輕噪音污染程度的技術稱為隔音技術。通常採用的隔音措施如隔音牆、隔音罩等，一般能降低噪音 20dB(A)~50dB(A)。

在實際生活中，同樣的噪音源所發出的噪音，在室內感受到的響度(Loudness)遠比在室外感受到的響度要大，這說明我們在室內所接收到的噪音除了有通過空氣直接傳來的直接音外，還包括室內各牆面多次反射(Reflection)回來的反射音(殘響音)。實驗表明，由於反射音的緣故，可以使室內噪音提高 10~12dB(A)。所以，必須採取吸音處理的措施降低殘響(Reverberation)聲音。

消音器是一種在允許氣流通過的同時，又能有效地阻止或減弱聲能向外傳播的設備。對於通風管道、排氣管道等噪音源，在進行降低噪音處理時，需要採用消音技術。一個性能好的消音器，可使氣流噪音降低 20~40dB(A)。

第一節 隔音

一、隔音原理

當具有一定能量的聲音入射到一個隔音材料上時，在聲波的作用下，隔音材料依一定方式導致振動，這部分聲能稱為透過音能，另外向外幅射噪音。對於大多數隔音材料來說，透過音能僅為入射音能的幾百分之一，或者更小，而絕大部分聲能被反射（Reflection）回去。

在噪音控制(Noise Control)技術中，常採用透過率(透過係數)來表示隔音材料的隔音能力，透過係數就是透過音強度 I_t 與入射音強度 I_i 的比值。透過率(透過係數)一般遠小於 1 約在 $10^{-1} \sim 10^{-5}$ 之間。

為了計算方便，通常採用透過損失 TL (Transmission Loss) 來表示一個隔音設備的隔音能力，利用各種材料，構造進行各種隔音。材料或構造本身的隔音能力以透過損失 TL 表示，單位 dB(A)。

$$TL = 10 \log_{10} \frac{1}{\tau} = 10 \log_{10} \frac{I_i}{I_t} \quad (\text{dB(A)})$$

式中， $\tau = \frac{I_t}{I_i}$ ：透過率(透過係數)

I_t ：透過音強度 (W/m^2)

I_i ：入射音強度 (W/m^2)

τ 越小，TL 數值越大，隔音效果越好；相反，則隔音效果越差。

隔音材料 (Acoustical Insulation Material) 分為若干種類，表 14-1 為常用主要隔音材料的分類。

表 14-1 隔音材料的種類

種類	代表性材料	
單層均質隔音板	均質、彈性性質無差異的合板、積層板等	
中空板 (雙層隔音板)	2 塊均質板的中間有空氣層的板	
三明治 隔音板	多孔材三明治	在中空板的空氣層充填多孔材的板
	彈性材三明治	在中空板的空氣層充填發泡材等的板
	剛性材三明治	中空板的空氣層介入剛性材而與表面材接著的板
	蜂巢三明治	在中空板的空氣層介入封巢心而接著表面材的板

二、隔音裝置

(一) 隔音罩

隔音罩是降低機器噪音較好的裝置。將噪音源封閉在一個空間內，以降低噪音源向周圍環境輻射噪音的罩形結構稱為隔音罩。

其基本結構如圖 14-1 所示。罩壁由罩板、阻尼塗層和吸音層組成。根據噪音源設備的操作、安裝、維修、冷卻、通風等具體要求，可採用適當的隔音罩型式。

常用的隔音罩有活動密封型、固定密封型、局部開放型等結構型式。

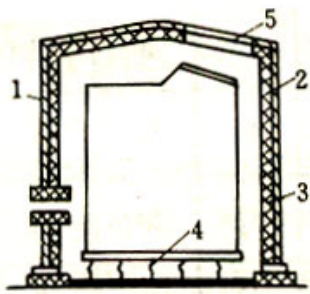


圖 14-1 隔音罩基本構造

1—鋼板；2—吸音材料；3—護面穿孔板；
4—減振器；5—觀測窗

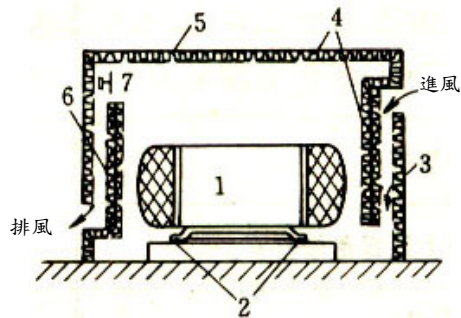


圖 14-2 帶有進排風消音

通道的隔音罩構造 1—機器；2—減振器；
3,6—消音通道；4—吸音材料；5—隔音板壁；7—排風機

隔音罩常用於如風機、空壓機、柴油機、鼓風機、球磨機等高噪音機械設備的降低噪音。其降低噪音量一般有 10~40dB(A)之間。

列舉如下：



圖 14-3 各種形式隔音罩

各種形式隔音罩降低噪音量約是：固定密封型為 30~40dB(A)；活動密封型為 15~30dB(A)；局部開放型為 10~20dB(A)；帶有通風散熱消音器的隔音罩為 15~25dB(A)，如圖 14-2 所示。選擇或製作隔音罩應注意的事項

1. 隔音罩應選擇適當的材料和形狀。罩面必須選擇有足夠隔音能力的材料製作，如鋼板、磚、混凝土、木板或塑膠等。罩面形狀宜選擇曲面形體，其剛度較大，利於隔音，儘量避免方形平行罩壁。隔音罩與設備要保持一定距離，一般為設備所占空間的 1/3 以上，內部壁面(隔音材料)與設備之間的距離不得小於 100mm。罩壁宜輕薄，宜選用分層複合結構。
2. 採用鋼板或鋁板製作的罩殼，須在隔音材料上加筋，塗貼一定厚度的阻尼材料以抑製共振和吻合（重合）效應的影響，阻尼材料層厚度通常為罩壁 2~3 倍。阻尼材料常用內損耗、內摩擦大的粘彈性材料，如瀝青、石棉漆等。
3. 隔音罩內的所有焊縫應避免漏音，與地面的接觸部分應密封。機器與隔音罩之間，以及它們與地面或機座之間應有適當的減振措施。
4. 隔音罩內表面須進行吸音處理，貼上多孔或纖維狀吸音材料層，平均吸音係數不能太小。
5. 隔音罩的設計必須便於安裝、檢修，也可做成可拆卸的拼裝結構。同時要考慮音源設備的通風、散熱等要求。

（二）隔音牆

用來阻擋噪音源與受音者之間直達音的牆板或簾幕稱為隔音牆(簾)。

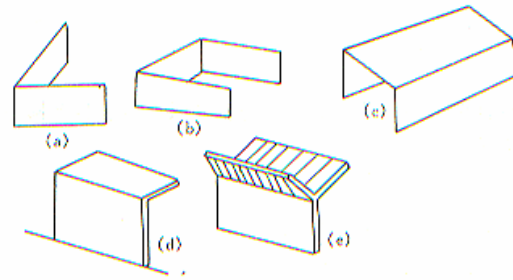
一般對於人員多、強噪音源比較分散的大車間，在某些情況下，由於操作、維護、散熱或廠房內有吊車作業等原因，不宜採用全封閉性的隔音措施，或者對隔音要求不高的情況下，可根據需要設置隔音牆。

此外，採用隔音牆減少交通車輛噪音干擾(Interference)，已有不少應用，如圖 14-5 為道路各式隔音牆所示，一般沿道路設置 2~4m 高的隔音牆，可選 10~20dB(A)的減噪效果。

1. 設置隔音牆的方法簡單、經濟、便於拆裝移動，在噪音控制(Noise Control)工程中廣泛應用。隔音牆常用的建築材料如磚、木板、鋼板、塑膠板、石膏板、平板玻璃等，都可以直接用來製作隔音牆，或是作為其中的隔音層。在結構上，可以做成基礎固定的單層實體，也可以做成裝配活絡的雙層或多層複合結構。結合採用不同材料的表面吸音處理，佈置時，可以是一端連牆或二端連牆的直立式，也可以是曲折狀的二邊形、多邊形屏障。可按照工廠車間的具體情況，因地制宜進行設計。隔音牆基本形式見圖 14-4。
2. 隔音牆的骨架可用 1.5-2.0mm 厚的薄鋼板製作，沿四周鉚上型鋼，以增加

隔音牆的剛度，同時也作為固定吸音結構的支座，吸音結構可用 50mm 厚的超細玻璃棉加一層玻璃布與一層穿孔板(穿孔率在 25%以上)或窗紗、拉板網等構成。

3. 在隔音牆的一側或兩側補貼的吸音材料，使用時應將佈置有吸音材料的一面朝向音源。



- a. 二邊型屏障；
- b. 三邊型屏障；
- c. 管道(隧道)式屏障；
- d. r(倒L)型屏幕帳；
- e. 遮檐式屏障

圖 14-4 隔音牆基本型式

4. 在放置隔音牆時，應盡量使之靠近噪音源處。活動隔音牆與地面的接縫應減到最小。多塊隔音牆並排使用時，應盡量減少各塊之間接頭處的縫隙。



Kazo Expressway ,Tokyo ，大塊混凝土牆



Yokohama, Japan ，透明板



Australia, Stacked Panels ，混凝土式



Pittsburgh, USA ，大塊磚牆式



Taipei, Taiwan ，透明+金屬混合式板



Taipei, Taiwan ，金屬板

圖 14-5 各式隔音牆



中山高彰化~王田段，金屬板



中山高新竹~員林段，空心磚隔音牆



上海延安路，透明板式



青島，透明+金屬混合式板



Bern, Switzerland，太陽能板

圖 14-5 各式隔音牆(續)

另吸音圓筒安裝在已有的隔音牆頂而進行現場試驗證明，在隔音牆原有減音效果之外還產生了三到四分貝的減音效果，其效果是因為吸音圓筒吸收了原隔音牆頂上被曲折的聲波，如圖 14-6 所示。



圖 14-6 吸音圓筒示意圖

另外介紹一種，隧道口的「隔音牆」，如圖 14-7 所示。



圖 14-7 隧道口「隔音」示意圖

資料來源：交通部高速鐵路工程局。

三、隔音設計

(一) 隔音牆的位置

隔音牆越接近音源(或受音點)，其噪音衰減量越大。通常將隔音牆建于靠近道路側，為了行車安全和道路景觀，隔音牆中心線距路肩邊緣應不小於 2.0m。美國規定，隔音牆距行車道邊的最小距離(包括路肩)約 9.0m。

(二) 敏感受體之選擇

隔音牆設計受音點應設在建築群中受噪音襲擊最大，或噪音敏感性最大的建築處。設計時，視具體情況而定，一般設計範圍為凡於計畫路線沿線兩旁附近有五戶以上之聚集住屋、醫療院所或學校等噪音敏感地點者，即進行隔音牆設置考量。

(三) 隔音牆的高度

當隔音牆的位置確定後，它與受音點、音源(等效行車線)三者之間的相對距離及高差便確定。設計時在滿足噪音衰減量的前提下，應努力使隔音牆的高度經濟合理。爲了降低隔音牆的風荷載，隔音牆的高度不宜起過 4m。如需超過 4m 時可將隔音牆的上部作成折形或弧形，將端部伸向道路，以使更接近音源。

(四) 隔音牆的長度

隔音牆的長度應大於其保護對象沿道路方向的長度。由於有限長隔音牆的噪音衰減量比無限長時要小，因此一般為避免隔音牆水平繞射音，隔音牆於噪音敏感點兩側之延伸長度，原則上建議為車道中心線到受音點距離之 2 倍以上，未滿 50 公尺者，以 50 公尺長度設置。

(五) 隔音牆的設計法令與準則

依據行政院環保署 1992 年 2 月 1 日第一次修正公佈之「噪音管制法」第十條及「噪音管制法施行細則」第八、十和十一條之規定辦理。隔音牆減音目標應綜合考量行政院環保署 1996 年 1 月 31 日發佈之「環境音量標準」第四條「道路交通噪音標準」、第五條「道路交通噪音經改善後應符合標準」及第十二條「一般地區環境音量標準」，判斷影響程度準則詳環保署技術規範「噪音影響評定作業流程」，在評定中度影響以上之區域應考量將其影響降低至輕微影響。

(六) 隔音牆的構造設計

牆的材料構造直接影響其技術性能、造價及壽命等，是隔音牆設計的關鍵之一。隔音牆的材料構造設計應滿足技術經濟合理、高強度、施工簡便、美觀、耐久、防火等性能。

隔音牆的構造因材料不同而各異，歸納起來可分爲：(1)混凝土(2)土堤式(3)磚牆式(4)金屬板式(5)透明板式(6)木料式(7)混合式(8)密植栽等。

混凝土構築的隔音牆具有堅固、牢靠、不需經常保養維護等優點，但其缺點為厚重，予人以壓迫感，需藉由植栽和造型等減輕此種感覺，較能為人所接受。

土堤式的隔音牆是國外較早的做法，其上亦可栽植花草樹木以達美化之效果，但因其所需的土地較多，因此在寸土寸金的台灣無法適用。牆式隔音牆因結構及構材尺寸限制，可塑性不佳，但有時亦配合景觀及造型上的設計而使用。

金屬板式隔音牆乃藉金屬的遮音特性反射 (Reflection) 音波(Sound Wave)而防音，此型隔音牆多正面開許多小孔或長條狀之孔，讓音波(Sound Wave)傳入隔音牆內後，經

內裝之吸音材料 (Absorptive material) (可為岩棉或玻璃纖維或蜂網狀結構等)將音能量吸收，至於穿過吸音材料的音能可經由背面的鋼板反射折回再經吸音材吸收，如此反覆吸音以達減音的目的，此種方式的隔音牆在台灣使用的相當普遍。

木料式的隔音牆在美國產木材較多的地方有採用，此型隔音牆因屬自然的產物因此較能結合當地之自然景觀，惟木材之耐久耐候性不良須塗防腐塗料，且在本省木材頗貴，故不太適用；以上所介紹的隔音牆皆屬非透明式的，即駕駛者無法看到隔音牆外景物，因此對駕駛者的心理上可能會造成影響，故需配合景觀及造型上的設計以減輕駕者的心理壓力。

在透明式的隔音牆部份，有壓克力、聚碳酸酯板等材質，其耐久及耐候性能佳，但易於表面累積灰塵而予人不清潔的感覺，且在清洗時較耗人力。

混合式隔音牆為各種不同材料的混合造型，其上方多採用透明式的材質，而下方則多採用金屬式吸音材質來加以配合；密植栽式的隔音方式，主要在考量於噪音影響不是很嚴重的地區，予人心理上的舒適感，除可達美化道路的功能外，亦可慰藉道路旁住戶的心理，但其實際上所能達到的減音效果十分有限。

(七) 隔音牆結構設計

隔音牆應配合照明、標誌、維護梯道、緊急電話等設施之設置、景觀植栽之維護及整體美觀之需求，並考慮行車視距之影響及其間標誌之辨讀效果而進行設計。設置長度凡連續超過 200 公尺以上路段，為顧及未來維修人員之進出，與考量隔音牆後方邊坡失火及車輛起火燃燒等之滅火對策，其位置以隔音牆任一點到維修門不超過 100 公尺為原則，但高架橋無法設置者除外。

隔音牆的荷載以風載和自重為主，必要時考慮冰雪載及側向土壓力等。結構形式上屬懸臂結構，其設計比較簡單，為了安全，結構設計時還應考慮防撞擊的措施，關於隔音牆荷載的取值及結構設計的計算等，請參閱相關的規範及資料。

另為顧及未來都市發展配合設置隔音牆之需要，橋梁胸牆和擋土牆不論有無必要設置隔音牆，均宜於設計時考慮隔音牆之荷重及承受風壓，隔音牆單位荷重依設計考量採用之材質核算，設計風壓大於或等於 390 公斤/平方公尺。

(八) 隔音牆的材質選擇

在材質透過損失的研選上，應選擇比較隔音牆所要達到的減音功能多 10 分貝透過損失的材質，各相關材料的穿透損失可詳表 14-2。

表 14-2 各種隔音牆材料的穿透損失

材料種類	厚度 (公分)	穿透損失 (dB(A)A)	備註
(一)金屬類			
鋁	0.16	23	
	0.32	25	
	0.64	27	
鋼	0.06	18	
	0.09	22	
	0.15	25	
鉛	0.16	28	
(二)混凝土及石材類			
混凝土塊	10	36	
	15	39	
磚	10	32	
(三)木材類			
杉木	2.5	18	
松木	2.5	19	
三合板	2.5	23	
(四)透明板類			
聚碳酸脂板	0.95	27	
壓克力板	1.5	30	
塑膠玻璃	0.5	25	

資料來源：FHWA-RD-76-58 "Noise Barrier Design Handbook"及廠商資料。

(九) 設計流程

於進行本設計工作時，係依據初步設計路線資料、地形圖及環境影響說明書報告，篩選出可能會受到通車後噪音影響之地點，並進行沿線噪音敏感地點之實地踏勘。接著經由背景噪音量的分析及通車後噪音量模式模擬，可計算出通車後之合成噪音量。經與環境音量標準及環境影響評估承諾比較後，擬定隔音牆之設置位置，而對於研判不需設置隔音牆的地點，於路堤段則考慮以植栽等方式來取代隔音牆，以減輕通車後的噪音影響，並兼有心理上安撫之功能。隔音牆設計流程詳見圖 12-8。

第二節 吸音

一、吸音原理

吸音是指吸收音的能量，亦即音能變為熱能而消失(Dissipation)。吸音材料與結構轉換入射音能為熱能，由於音波所具有之能量極小，所轉換的熱能極小，能量轉換為熱能損失包含二個機構：(1)黏滯流動損失(Viscous Flow Losses)及(2)內部摩擦(Internal Friction)。

1.黏滯流動損失：有效之吸音材料結構係含有很多互相連接的孔隙，音波傳入孔隙內時，音波之空氣分子速度與孔隙內之吸音材料造成相對速度，因此在孔隙內吸音材料表面產生邊界層損失(Boundary Layer Losses)。

2.內部摩擦：部分吸音材料具有彈性的纖維狀結構或彈性的多孔性結構，由於音波的傳入而造成纖維狀結構被壓縮、彈回，或造成多孔性結構的伸縮、鬆緊，因此在這些結構內，能量的損失除了黏滯流動損失外，尚含有吸音材料本身內部摩擦損失。吸音材料之特性廣泛決定於孔隙的大小、孔隙互相連接程度、材料厚度等。

吸音能力大的材料則稱為吸音材料(Absorptive Material)。

吸音係數 α 的定義：吸音材料之作用多為將聲音能量予以吸收，減少其反射、折射，故一般吸音材料為多孔(Porous)性物質(孔隙度大)，主要乃利用其表面多孔之特性，使音波(Sound Wave)進入後，能在各孔隙內形成較多次的折射、反射將能量相互抵消，以減少離開材質表面的能量，而達降音之效果。聲波在傳播過程中遇到各種材料時，一部份音能被反射，一部份音能進入到材料內部被吸收，還有很少一部分音能透射到材料另一側。我們常將 I_i (w/m^2)入射波強度， I_r (w/m^2)反射波的強度之比值稱為吸音係數，記為 α ，即：

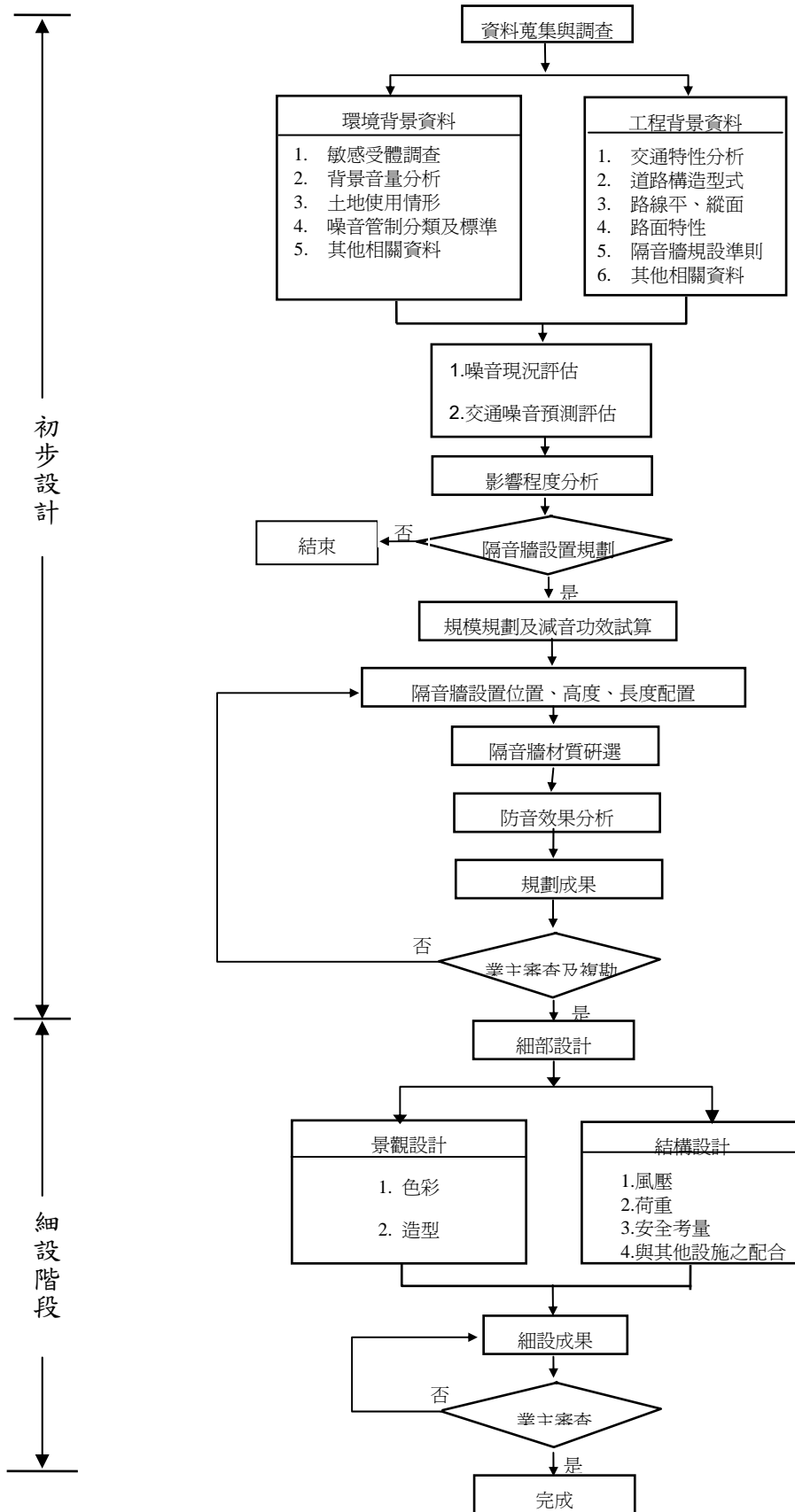
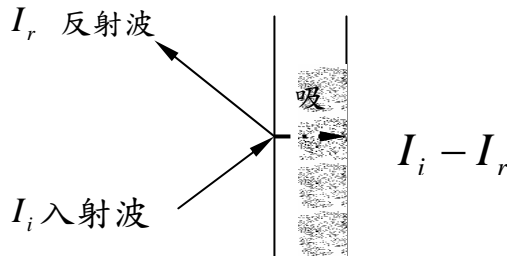


圖 12-8 隔音牆設計流程圖

$$\alpha = \frac{I_i - I_r}{I_i} = 1 - R, \text{ 式中 } R \text{ 稱為反射率, } R = \frac{I_r}{I_i}$$



多孔性吸音材料之特性是以吸音 α 係數(率)來表示， α 吸音係數愈大表示吸音效果愈好，吸音係數 α 的值在 0~1 之間。當 $\alpha = 0$ 時，表示音能全部反射，材料不吸音； $\alpha = 1$ 時表示材料吸收全部音能，沒有反射。吸音係數 α 的值愈大，表明材料(或結構)的吸音性能愈好。一般 α 在 0.2 以上的材料被稱為吸音材料， α 在 0.5 以上的材料就是理想的吸音材料。

(一) 多孔(Porous)吸音材料 (Absorptive Material) 的吸音原理

多孔材料一直是主要的吸音材料，有玻璃棉、礦渣棉、無機纖維、合成高分子材料等，把玻璃纖維等作成棉狀，成形為板狀的玻璃棉、岩棉等高分子物質發泡物中，氣泡互連的連續氣泡材等稱為多孔質吸音材料，在這些材料中，氣泡的狀態有兩種；一種是大部分氣泡成為單個閉合的孤立氣泡，沒有通氣性能；另一種氣泡相互連接成為連續氣泡，噪音控制(Noise Control)中所用的吸音材料，是指有連續氣泡的材料，而多孔質吸音材料為最廣用的代表性吸音材料。

(二) 開孔板共振吸音(板模振動吸音 Membraneous)結構的吸音原理

薄的板材如鋼板、鋁板、膠合板、塑膠板、草紙棉線、石膏板等按一定的孔徑和穿孔率，在背後留下一定厚度的空氣層，就構成開孔板共振吸音(板模振動吸音 Membraneous)結構。

薄的板狀材料或膜狀材料，如合板、石膏板、甘蔗板、鑽泥板或帆布等，藉由音能量入射至材料，引起板或膜的振動，消耗能量而吸音。其吸音特性以低頻音為主，對高頻音的吸音則必須仰賴與多孔質型的材料合用才有效果。

如圖 14-9 所示為這類結構的示意圖。

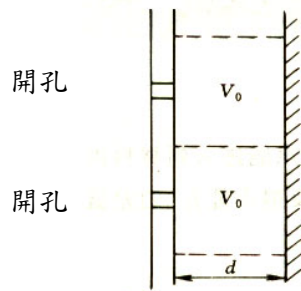


圖 14-9 開孔板共振吸音結構示意圖

目前廣泛使用的微開孔板吸音結構的吸音原理也屬於這種類型。

(三) 薄板（板狀）共振(共鳴 Resonator)吸音結構的吸音原理

將薄的塑膠板、金屬或膠合板等材料的周邊固定在框架(龍骨)上，並將框架與剛性板壁相結合，這種由薄板與板後的空氣層構成的系統稱為薄板共振吸音結構。圖 14-10 為薄板共振吸音結構示意圖。

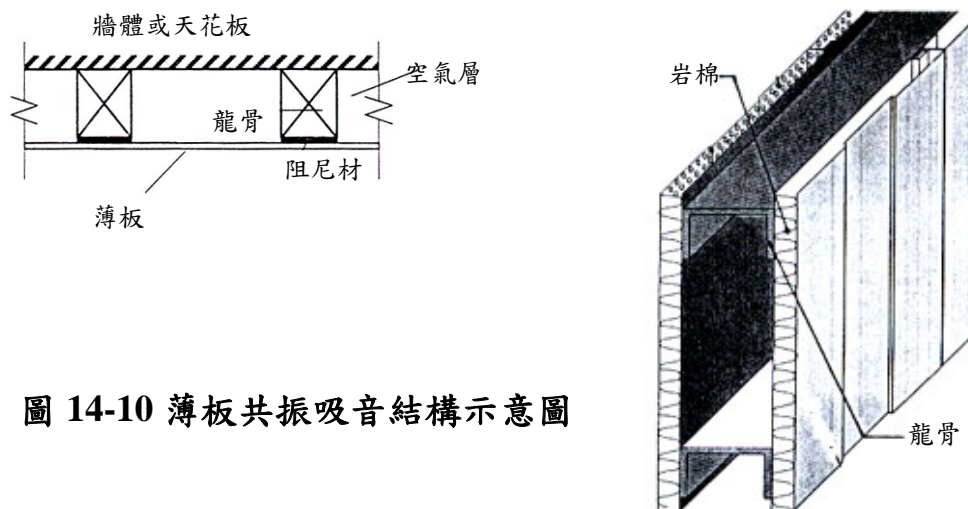


圖 14-10 薄板共振吸音結構示意圖

當聲波入射到薄板上時，將激起板面振動，使板發生彎曲變形，由於板和固定支點之間的摩擦，以及板本身的內阻尼(Damping)，做一部分聲能轉化為熱能損耗，聲波得到衰減。

此種構造是板的質量、背後空氣層、關連板剛性的彈簧組成振動系，有共鳴周波數。此共鳴周波數也關連板的安裝方法，安裝部的構造等，通常無法簡單求得，若有周

波數與此一致的音入射，板會引起共鳴振動，其振動顯著增大，此周波數附近的能量損失增大，亦即與開孔板構造同樣，藉共鳴吸收使音被吸收。當入射聲波頻率與薄板共振(共鳴 Resonator)吸音結構的固有頻率一致時，產生共振(共鳴 Resonator)，消耗聲能最大。

設計者在使用上，活用三種材料之特性，可達到理想的吸音目的；對於高頻音使用多孔質型的材料，若對象頻率中某頻率特別突出，則使用共鳴吸音楔型材料或開孔板，而低頻率的聲音應使用板模振動型材料。

二、吸音材料 (Absorptive Material)

吸音材料最常用多孔(Porous)性吸音材料，有時也可選用柔性材料及膜狀材料等。在工程中，我們還常將多孔性吸音材料做成各種幾何形狀來使用，吸音材料依吸音機構分為若干種類，表 14-3 常用的吸音材料。

表 14-3 吸音材料的種類

種類	代表性材料
多孔質材料	玻璃棉、岩棉、熔渣棉、發泡塑膠(連續氣泡)、噴吹纖維材料、燒成岩材料、木屑水泥板、木片水泥板、吸音用軟質纖維板、織物、植毛裝品
開孔板材料	開孔石膏板、開孔石棉水泥板、開孔合板、開孔硬板、開孔鋁板、開孔鐵板
板狀材料	合板、石棉水泥板、石膏板、硬板、塑膠板、金屬板

三、吸音設計

(一) 設計原則

1. 應盡量先對音源進行隔音、消音等處理，當噪音源不宜採用隔音措施，或採用隔音措施後仍達不到噪音標準時，可用吸音處理做為輔助手段。只有當房間內平均吸音係數 $\bar{\alpha}$ 很小時，吸音處理才能取得良好的效果，單獨的風機房、控制室等房間面積較小，所需降低噪音量較高，宜對天花板、牆面同時作吸音處理；車間面積較大時，宜採用空間吸音體，平頂吸音處理；音源集中在局部區域時，宜採用局部吸音處理，並同時設置隔音牆障；噪音源比較多而且較分散的生產車間宜做吸音處理。

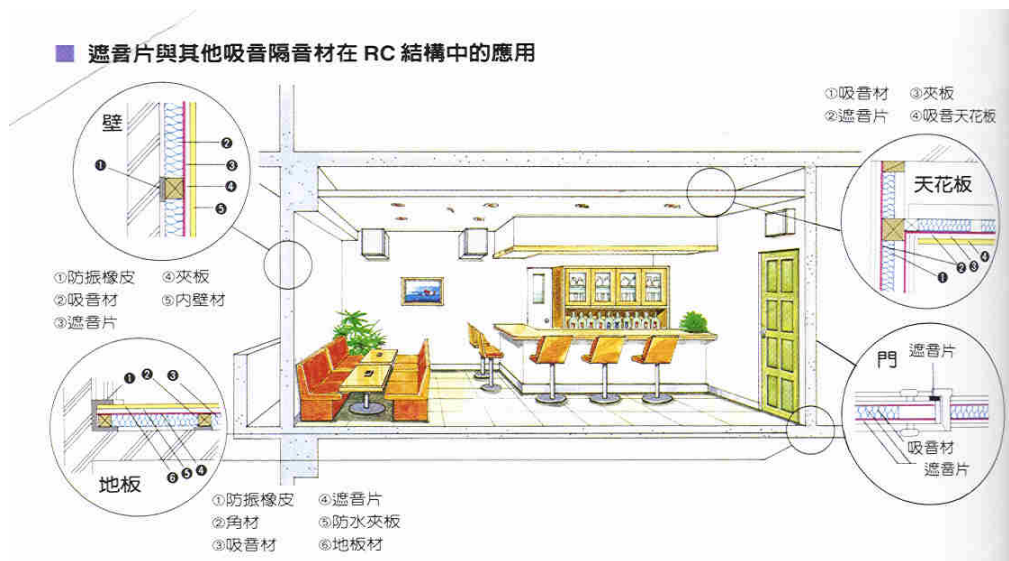


圖 14-11 房間吸音處理方式示意圖

2. 對於中、高頻噪音，可採用 20~50mm 厚的常規成型吸音板，當吸音要求較高時可採用 50~80mm 厚的超細玻璃棉等多孔(Porous)吸音材料，並加適當的護面層；對於寬頻帶噪音，可在多孔材料後留 50~100mm 的空氣層，或採用 80~150mm 厚的吸音層；對於低頻帶噪音，可採用開孔板共振吸音結構，其板厚通常可取 2~5mm，孔徑可取 3~6mm，穿孔率小於 5%。
3. 對於濕度較高的環境，或有清潔要求的吸音設計，可採用薄膜複面的多孔材料或單、雙層微開孔板共振吸音結構，開孔板的板厚及孔徑均不大於 1mm，穿孔率可取 0.5%~3%，空氣層深度可取 50~200mm。
4. 進行吸音處理時，應滿足防火、防潮、防腐、防塵等流程與安全衛生要求，還應兼顧通風、採光、照明及裝修要求，也要注意埋設件的佈置。

(二) 設計要點

1. 必要的吸音材料

依據空間使用需求不同，以及空間音響屬性及使用目的，來選擇必要的吸音材料，如機械室以吸音材料降低噪音，設計者必須了解使用機械所產生的噪音頻譜特性，依據頻譜特性來選擇必要的吸音材料。一般吸音材料以吸音特性來分類，分為低音域吸音型、中音域吸音型、中高音域吸音型、高音域吸音型與全音域吸音型等五種。

2. 使用場所條件之考慮

吸音構造於室內裝修場合使用，除了吸音特性外，必須考慮其耐火性、強度及不飛散以免造成室內空氣污染，對於室外則考慮其耐水性及耐候性。

(三) 施工要點

1. 使用指定的吸音材料

設計者選擇吸音材料的種類、面積與配置地點後，施工時不應任意變更。

2. 確保指定空氣層厚度及材料厚度

多孔質型材料如玻璃棉等，材料的厚度及背後空氣層厚度，會影響材料吸音性能的好壞，另外開孔板等材料，背後空氣層的厚度亦會影響到吸音性能，因此，確保設計時指定的材料及空氣層厚度成為施工時的重點之一。

3. 表面處理

多孔質型材料直接暴露於室內，材料的飛散易造成室內空氣污染，如果在表面上加覆無孔隙的表面才又會影響到材料的吸音性能，因此，表面處理必須兼顧不影響材料的吸音性能及防止污染兩種目的。

第三節 消音

一、消音器性能評估

消音器是安裝在空氣設備（如鼓風機、空壓機）氣流通道上或進、排氣系統中的降低噪音裝置，消音器能夠阻擋聲波的傳播，允許氣流通過，是控制噪音的有效工具，而消音器的性能主要從以下三個方面來評估：

(一) 消音性能

消音性能即消音的消音量和頻譜(Spectrum)特性。消音器的消音量通常用傳聲損失和插入損失來表示。現場測試時，也可以用排氣口（或進氣口）處兩端音級來表示。消音器的頻譜特性一般以倍頻 1/3 頻帶的消音量來表示。

(二) 空氣動力性能

空氣動力性能即阻力損失，消音器的阻力損失通常是用消音器入口和出口的損失來表示計算出來。

在氣流通道上安裝消音器，必然會影響空氣動力設備的空氣動力性能。如果只考慮消音器的消音性能而忽略了空氣的動力性能，則在某種情況下，消音器可能會使設備的效能大大降低，甚至無法正常使用。

例如，某內燃機廠柴油試車上的消音器，由於阻力太大，使得發動機的功率損失過大，以至開不動車，爲了不影響生產，工人們只得將消音器拆掉，仍舊在強噪音環境中工作。

(三) 結構性能

結構性能對於具有同樣的消音性能和空氣動力性能的消音器有十分重要的現實意義。一般地，幾何尺寸越小，價格越便宜，使用壽命越長，則該消音器結構性能就越好。

二、消音器分類及消音方式

消音器的種類很多，但究其消音方式，可以把它們分為 6 種主要類型：

1. 阻性消音器、
2. 抗性消音器、
3. 阻抗複合式消音器、
4. 小孔消音器。

(一) 阻性消音器

阻性消音器主要是利用多孔吸音材料 (Porous Absorptive Material) 來降低噪音的。把吸音材料固定在氣流通道的內壁上，或使之按照一定的方式在管道中排列，就構成了阻性消音器。當聲波進入阻性消音器時，一部份音能在多孔材料的孔隙中磨擦而轉化熱能耗掉，使通過消音器的音波(Sound Wave)減弱。

阻性消音器一般有管式、片式(開板式)、蜂窩式、折板式(彎曲式)和音流式等幾種 (如圖 14-12)。

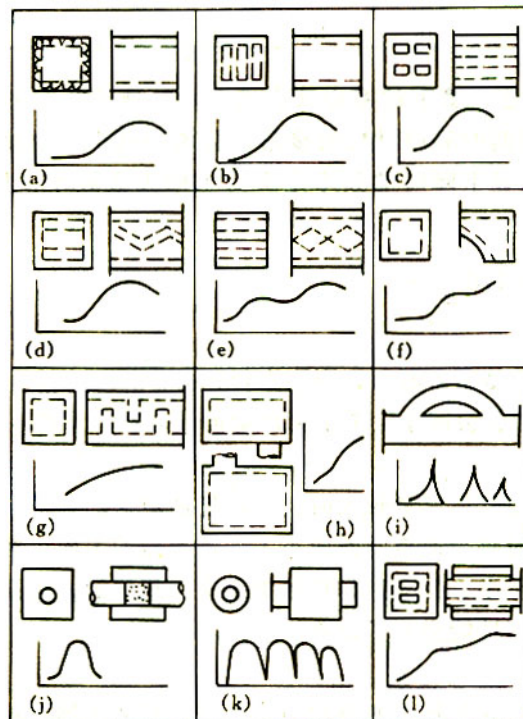


圖 14-12 幾種消音器及其頻譜特性

- (a)直管式；(b)片式(開板式)；(c)蜂窩式；(d)折板式(彎曲式)；(e)音流式；(f)彎頭；
 (g)室式；(h)消音箱；(i)干涉型；(j)共振式；(k)擴張室式；(l)阻抗複合式

1.管式消音器

管式消音器是將吸音材料固定在管道內壁上形成的，有直管式和彎管式，其通道可以圓形的，也可以是矩形的。管式消音器，加工簡易，空氣動力性能好，適用於氣體流量較小的情況。

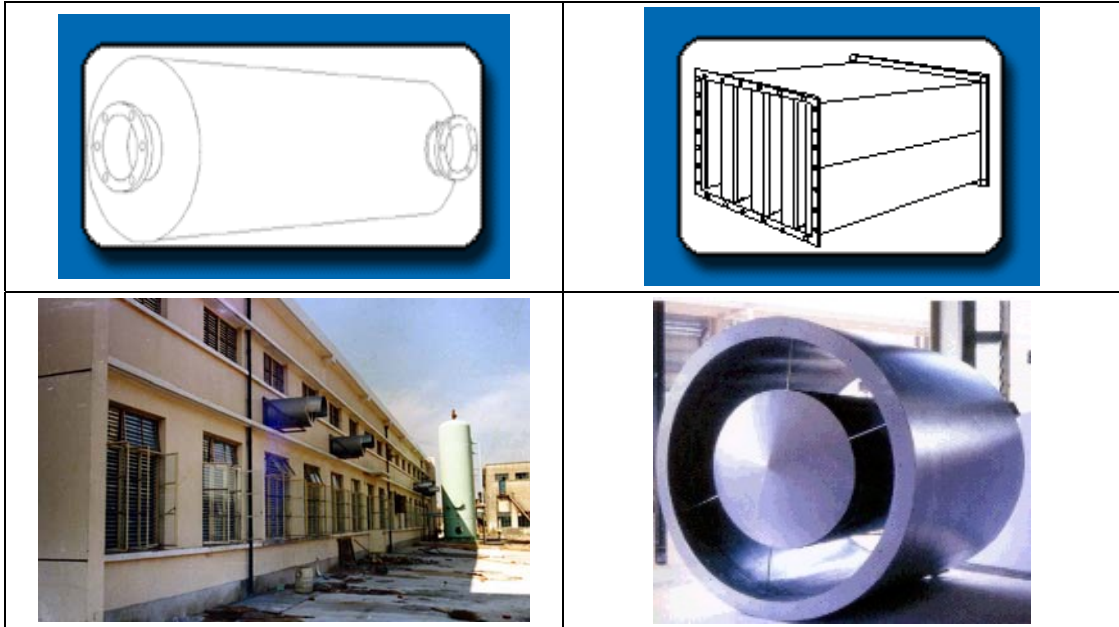


圖 14-13 管式消音器

2.片式(開板式)消音器

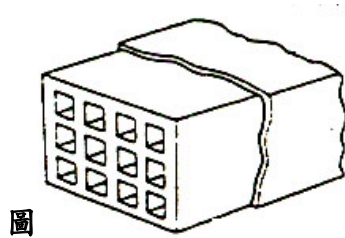
片式(開板式)消音器是由一排平行的消音片組成，它的每個通道相當於一個矩形消音器，這種消音器的結構不複雜，中高频消音效果好，消音量一般為15~20dB(A)/m，阻力係數較小，約為0.8，如圖14-14所示的結構。



圖 14-14 片式(開板式)消音器

3. 蜂窩式消音器

蜂窩式消音器是由許多平行的小管式消音器並聯而成的，見圖 14-12 中的(c)。



圖

蜂窩式消音器適用於控制大型鼓風機的氣流噪音，在要求阻力嚴格的情況下不宜採用。

4. 折板式(彎曲式)消音器

折板式(彎曲式)消音器是由片式(閘板式)消音器演變而來的，見圖 14-12 中的(d)。爲了提高高頻區的消音性能，把消音片做成彎折狀。爲了減小阻力損失，折角應小於 20 度。聲波在折板式(彎曲式)消音器內往復多次反射，可以增加音與吸音材料的接觸機會，因此使消音效果得到提高。但折板式(彎曲式)消音器的阻力損失比片式(閘板式)的大，阻力係數一般在 1.5~2.5 之間，適用於壓力和噪音較高的噪音設備，低壓通風機則不適用。

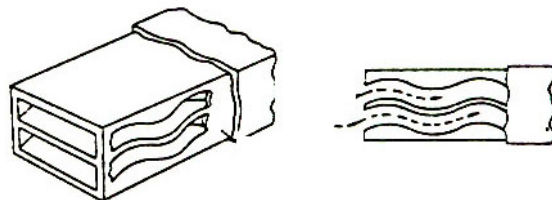


圖 14-16 折板式(彎曲式)消音器

5. 迷宮式消音器

在通風管系統中，可利用管道沿途的箱或室作成迷宮式消音器（也稱室式消音器），見圖 14-12(g)，在隔音罩或音室的頂部，可設計沿頂部的室式消音器，見圖 14-17。

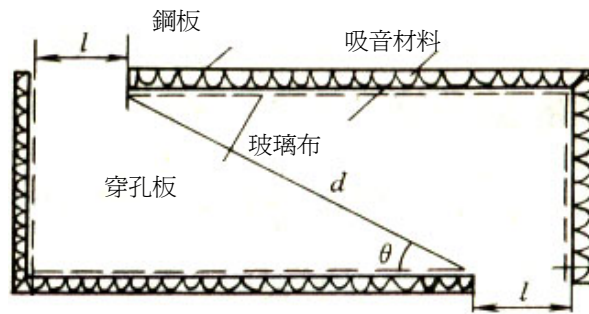


圖 14-17 室式消音器

圖 14-12 中 (g) 所示消音器是用內隔板分割而成的，一般為 3~5 室，內壁敷設吸音材料。這種消音器使聲波多次射入，並來回反射，因而消音量較大。

6. 音流式消音器

音流式消音器是由片式(閘板式)和折板式(彎曲式)發展而成的，見圖 14-12 (e) 中。這種消音器把吸音材料作成正弦波狀，或流線和菱形，這樣不但使聲波由於反射次數增加和對某些頻率產生吻合效應從而改善吸音性能，而且還使氣流能較為通暢地通過，從而可達到高消音、低阻損的要求。

(二) 抗性消音器

抗性消音器與阻性消音器的消音原理是完全不同的，它的特點是沒有裝設吸音材料，因而不能直接吸收音能。

抗性消音器是採不同界面的「管」和「室」組合而成的，好像是一個音學濾波器，與電學濾波器相似，每一個「室」是濾波器的一個網孔，如圖 14-18 所示。

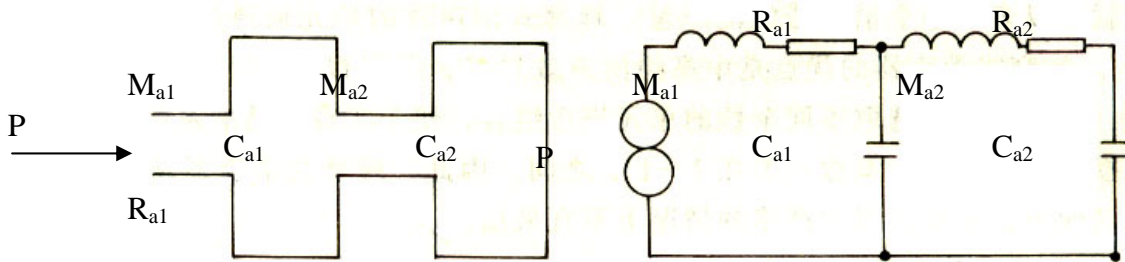


圖 14-18 抗性消音器的音聲類比

「管」中的空氣質量相當於電學中的電感和電阻，用 M 和 R 表示。

「室」中的空氣質量相當於電學中的電容，稱為音順，用 C 表示。

不同的管和室組合，相當於不同的音質量、音阻和音順組合。與電學濾波器類似，每一個帶管的小室都有自己的固有頻率。當包含有各種頻率成分的音波(Sound Wave)進入第一個短管時，只有在第一個網孔固有頻率附近的某些頻率的聲波才能通過

網孔到達第二個短管口，而另外一些頻率的聲波則不可能通過網孔，只能在小室中來回反射，因此我們稱這種對聲波有濾波功能的結構稱為音學濾波器，選取適當的管和室進行組合，就可以濾掉某些頻率成分的噪音，從而達到消音的目的。

(三) 阻抗複合式消音器

阻性消音器在中高頻範圍內有較好的效果，而抗性消音器可以有效地降低中頻噪音。若取這兩種消音器結構的優點，就能夠獲得在較寬的頻率範圍內令人滿意的消音效果。

把阻性結構和抗性按照一定的方式組合起來，就構成了阻抗複合消音器。根據阻性和抗性兩種消音原理，可以組合出各式各樣的阻抗複合式消音器。

圖 14-19 給出幾種阻抗複合消音器。圖 14-19 (a) 所示的消音器是典型的阻—抗複合式消音器。

阻抗複合式消音器具有寬頻帶、高吸收的消音效果，主要用於消除各種風機和空壓機的噪音。但由於阻性段有吸音材料，因此阻抗複合式消音器一般都有不適於在高溫和含塵等的環境中使用。

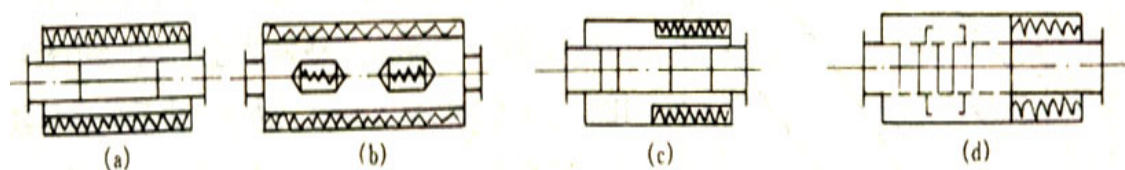


圖 14-19 幾種阻抗複合式消音器

(四) 小孔消音器

小孔消音器是一根直徑與排氣管直徑相等、末端封閉的管子，管壁上鑽有很多小孔，是降低氣體排放時產生的噪音的一種消音器。

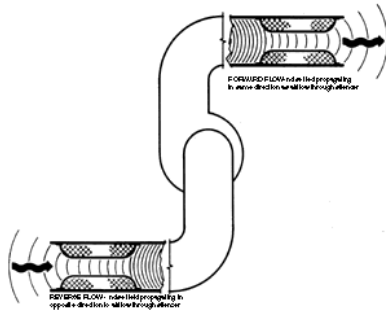


圖 14-20 小孔消音器

其原理是以噴氣噪音的頻譜為依據的，如果保持噴口的總面積不變而用很多個小噴口來代替，則當氣流經過小孔時，噴氣噪音的頻譜就會移向高頻或超高頻 (Ultrasonic frequency)。使頻譜中的可聽音成分顯著降低，從而減少噪音對人的傷害。

三、消音器的選用

消音器的選用一般應考慮以下五個因素：

(一) 噪音源特性分析

在具體選用消音器時，必須首先弄清楚需要控制的是什麼性質的噪音源，是機械噪音、電磁噪音，還是空氣動力性噪音。

消音器只適用於降低空氣動力性噪音，對其他噪音源是不適用的。

空氣動力性質不同，可分為低壓、中壓和高壓；按其流速不同，可分為低速、中速和高速；按其輸送氣體性質的不同，可分為空氣、蒸汽和有害氣體等。應按不同性質、不同類型的噪音源，有針對性的選用不同類型的消音器。

一般根據噪音源的頻譜特性和消音器的消音特性，使兩者互相對應，換句話說，噪音源的峰值頻率應與消音器最理想、消音量最高的頻段相對應。這樣，安裝消音器後，才能得到滿意的消音效果。

另外，對噪音源的安裝使用情況，周圍的環境條件，有無可能安裝消音器，消音器裝在什麼位置等等，事先應有個考慮，以便正確合理地選用消音器。

(二) 噪音標準確定

在具體選用消音器時，還必須弄清楚應該將噪音控制 (Noise Control) 在什麼水平上，即安裝所選用的消音器後，能滿足何種噪音標準的要求。因此，在設計消音量時，必須參照有關標準。

(三) 消音量計算

按噪音源測量結果和噪音允許標準的要求來計算消音器的消音量。消音器的消音量，過高過低都不恰當。

過高，可能達不到，或提高成本，或影響其他性能參數；過低，則達不到要求。在計算消音量時要考慮因素的影響：

第一，背景噪音的影響，有些待安裝消音器的噪音源，使用環境條件較差背景噪音很高或有多種音源干擾(Interference)。這時，對消音器產量的要求不一定太苛刻，噪音源消音器的噪音略低於背景噪音即可。

第二，自然衰減量的影響，聲波隨距離的增加而衰減。例如，點音源 (Point source)、球面聲波、在自由聲場，其衰減規律符合反平方律，即離音源倍，音壓級減小6dB(A)。在計算消音量時，應減去從噪音源控制區沿途的自然衰減量。

(四)選型與適配

正確地選型是保證獲得良好消音效果的關鍵。如前所說，應按噪音源性質、頻譜(Spectrum)、環境的不同，選擇不同類型的消音器。例如，風機類噪音，一般可選用阻性或阻抗複合音器；空壓機、柴油機等，可選用抗性或以抗性為主的複合型消音器。

消音器一定要與噪音源相匹配，例如，風機安裝消音器後既要保證設計要求的消音量能滿足風量、流速、壓力損失等性能要求。一般來說，消音器的額定風量應等於或稍大於風機的實際風量。若消音器不是直接與風機進風管道相連，而是安裝與密封隔音室的進風時消音器設計風量必須大於風機的實際風量，以免密封隔音室內形成負壓。消音器的風速應等於或小於風機實際流速，防止產生過高的再生噪音。消音器的阻力應小於或等於的允許阻力。

(五)綜合治理、全面考慮

安裝消音器是降低空氣動力性噪音最有效的方法，但不是唯一的措施。如前所說，消音器只能降低空氣動力設備進排氣口或沿管道傳播的噪音，而對該設備的機殼、管壁動機等輻射的噪音無能為力。因此，在選用和安裝消音器時應全面考慮，按噪音源的分佈傳播途徑、污染程度以及降噪要求等。採取隔聲、隔振、吸音、阻尼(Damping)等綜合治理措施，才能獲得較理想的效果。

關鍵詞彙

隔音	隔音設計	吸音係數
透過音能	阻抗複合式消音器	入射音強度
透過率	透過音強度	透過損失

自我評量題目

1. 隔音原理？
2. 單層均質板和雙層隔音板的隔音原理是什麼？

3. 隔音罩和隔音牆的基本結構如何？各有什麼特點？
4. 選擇或製作隔音罩應注意什麼？
5. 設置隔音牆應注意哪些事項？
6. 什麼叫透過損失？
7. 什麼是吸音原理？多孔(Porous)吸音材料 (Absorptive material) 的吸音原理是什麼？
8. 常用的吸音材料 (Absorptive material) 有哪些種類？各有什麼特點？
9. 列表說明各種噪音控制材料之結構、主要原理及其代表性用途？
10. 吸音材料之定義及意義？
11. 選用吸音材料應考慮那些因素？
12. 消音器的評估性能參數包括哪幾方面？
13. 消音器可分為幾類？
14. 消音器的選用應考慮哪幾個因素？

參考文獻

1. 蘇德勝，「噪音原理及控制」，台隆書店，民國 84 年。
2. 李耀中，「噪聲控制技術」，北京化學工業出版社，民國 90 年。
3. 習良孝、王志遠、劉嘉俊，「噪音模式於環境工程上之應用」，中興工程顧問股份有限公司，民國 88 年。
4. 劉嘉俊，「城市道路環境噪音控制」，環保月刊第 17 期 P.159，民國 91 年。