



Chapter 2

道路噪音



2.1 噪音特性

- 2.1.1 噪音源
- 2.1.2 車輛噪音特性
- 2.1.3 道路噪音特性
- 2.1.4 車外加速噪音標準
- 2.1.5 高速公路兩側高層建築物噪音影響
- 2.1.6 隧道口噪音
- 2.1.7 有無隔音牆比較

2.2 噪音預測和評估

- 2.2.1 道路噪音預測
- 2.2.2 道路噪音評估

2.3 噪音控制

- 2.3.1 車輛噪音的控制
- 2.3.2 低噪音路面
- 2.3.3 隔音牆
- 2.3.4 隔音綠化帶
- 2.3.5 高架道路裡吸音設施
- 2.3.6 隔音罩
- 2.3.7 伸縮縫

習題



本章的道路噪音指高速公路、快速公路和隧道相關的交通噪音，但不包括鐵路、捷運和輕軌等軌道交通噪音。本章將介紹道路噪音的噪音源及其特性、測量、指標、標準、評估和預測方法，最後，提出道路噪音的常用控制方法及高速公路兩側高層建築物噪音影響範圍。

2.1 噪音特性

行駛中車輛是環境噪音主要污染源之一，影響面積最廣，時間最長，依據相關統計，通常都市受交通噪音影響的區域佔全市範圍的 30% ~ 70%。我國目前交通噪音污染 80% 的都市超過 70 dB(A)，甚至有超過 80 dB(A) 的。國外自 20 世紀 30 年代就開始了對道路交通噪音的研究，60 年代開始進了全面、系統的研究，不少國家的道路交通噪音已低於 65 dB(A)。隨著都市交通的不斷發展和加快，陸上交通噪音污染已變得日趨嚴重，成為引人注目的環境問題之一。交通噪音一般是 60 ~ 80 dB(A) 的中等強度噪音，而當聲音強度達到 50 dB(A) 以上時，開始影響腦力思考；80 ~ 90 dB(A) 時將明顯影響工作，使人談話須提高音量。

一般來講，交通噪音來源於交通工具自身及其與路面、軌道的相互作用。本章將對這些噪音的來源按交通工具分別討論。汽車工業界定義凡是不經過結構傳遞力至車身而產生之噪音為空氣噪音 (airborne noise)。常見的風切音、進排氣音、風扇噪音等都屬於空氣噪音。空氣噪音主要包含：

1. 振動體表面輻射的噪音，穿透車身的隔音材料而傳到乘坐艙。
2. 空氣吹打在汽車上，因空氣流場變化所造成之噪音 (例如氣流流經孔、縫隙及空氣流場變化而產生的噪音)。

因此，防制這類噪音時，除了檢查可能的噪音源外，尚須從隔音、吸音、消音及伸縮縫上著手。

2.1.1 噪音源

道路交通噪音主要是由於車輛在行駛時，車輛自身動力系統 (包括發動機系、變速箱、傳動系統及輪軸等) 以及輪胎與路面磨擦所產生的，汽車是一個包括各種不同性質噪音的綜合噪音源。汽車在公路上行駛時，輪胎與路面

之間的磨擦碰撞、汽車自身零件的運轉(如引擎、排氣管等)以及偶發的駕駛員行為(如按喇叭、煞車等)都是產生噪音的原因。由於汽車噪音源中，沒有一個是完全密封的，因此，汽車整車所輻射的噪音，就決定於各音源的噪音量、特性和它們的相互作用。道路交通噪音能量主要集中在 250 Hz ~ 1,000 Hz 頻率範圍內，而高速公路輪胎磨擦低頻噪音小時均能音量多在 50 dB(A) 至 60 dB(A) 之間。

一 動力系統噪音

車輛動力系統噪音(又稱驅動噪音)主要指動力系統輻射的噪音，包括發動機系統噪音及傳動系統噪音等。其中發動機系統是主要的噪音源，包括進氣噪音、排氣噪音、冷卻風扇噪音、燃燒噪音和機械噪音等。其中，燃燒噪音和機械噪音是通過發動機表面向空氣輻射的，而其餘幾種發動機系統噪音是直接向空氣輻射的。進氣噪音通常可高出燃燒噪音和機械噪音 5dB(A) 左右，而排氣噪音則高出燃燒噪音和機械噪音達 5dB(A) ~ 20dB(A)。當發動機高速運轉時，冷卻風扇也會成為發動機系統的主要噪音源。動力系統噪音的強度主要取決於發動機的排量及轉速，與車型及車速有直接關係。如大型車的動力系統噪音要大於小型車，車速增大及車輛爬坡時，動力系統噪音也會增大。

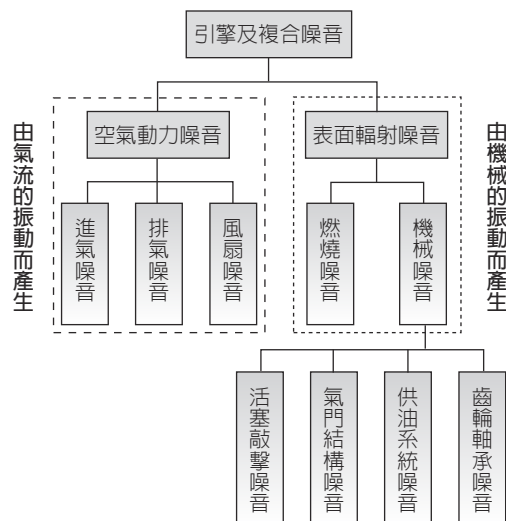


圖 2.1-1 引擎及複合噪音源分類示意圖

二 輪胎噪音

整體而言，在汽車噪音來源中，當車速較低或路面乾燥時，引擎噪音佔主要成分；而當車速較高或路面較濕時，輪胎噪音佔主要成分。一般車輛行駛速度 > 大於 55 km/h 時，以輪胎噪音為主，產生輪胎噪音的原理一是車輛與路面磨擦所產生的噪音，屬於低頻噪音，這種噪音是路面噪音；二是輪胎與路面之間輪胎紋路中空氣壓縮而產生的空氣動力系統噪音，屬於高頻噪音，這種噪音是胎紋噪音。車速一般 < 小於 55 km/h 時，以機械部分：包括引擎、風扇、進氣和排氣、傳動和輔助設備，汽車負載的上下跳動、煞車以及喇叭鳴號等噪音為主。當車輛高速行駛時 100 km/h，引擎噪音約 65 dB(A)，輪胎噪音約 78 dB(A)，合成噪音約 78 dB(A)，輪胎噪音佔約 100%。輪胎噪音的大小與輪胎花紋構造、胎壓、承載量、輪胎磨損、路面特性（材料構造、路面紋理）及車速有關，其噪音量隨車速的增大而增大。

輪胎噪音是指車輛在行駛過程中輪胎與路面的接觸噪音，又稱輪胎 - 路面噪音。它由輪胎直接輻射的噪音和由輪胎激勵車體振動產生的車內噪音兩部分構成。輪胎直接輻射的噪音，按其產生原理可分為以下幾類：

1. **輪胎表面花紋噪音（空氣泵噪音）**：由於輪胎的滾動，在接觸地面時花紋溝部容積變小，離開地面時容積恢復，這樣會導致空氣的壓縮膨脹從而產生爆破音（類似於空氣泵），其主要頻率範圍在 800 Hz ~ 5 kHz。
2. **道路凹凸噪音**：由於路面小的凹凸內空氣被壓縮，產生的排氣噪音。
3. **輪胎彈性振動噪音**：由於路面的凹凸不平和輪胎的不均勻性，引起胎面和胎側的彈性振動噪音。
4. **輪胎自激振動噪音**：當汽車急速啟動和急速制動、急速轉向時，輪胎胎面相對於道路表面發生局部自激振動，由此產生刺耳的噪音，又稱尖嘯噪音。自激振動噪音的頻率範圍大約為 500Hz ~ 1kHz。
5. **輪胎空氣紊流噪音**：由於輪胎的滾動，在輪胎周圍產生空氣的紊流誘發出的噪音。此類噪音一般比較小，可以忽略。

2.1.2 車輛噪音特性

在討論交通噪音時，通常將車輛分為大車、中車、小車三類，大型車是指大型客車和重型貨車，中型車是指中型客車和中型卡車，小型車是指小客車和輕型貨車，但交通噪音電腦模擬不同，只分為大車、小車二類。下面簡要介紹各類車輛的行駛噪音和輪胎噪音的強度、頻譜分佈及其影響因素。

一 車輛噪音強度

(一) 行駛噪音強度

經測量，在距行車線 7.5 m (參考點) 處的平均噪音值 L (dB(A)) 與車速 V (km/h) 之間有如下經驗關係式：

1. 小型車

$$\text{瀝青混凝土路面：} \quad L_s = 12.6 + 34.73 \log_{10} V \quad (2-1)$$

2. 中型車：

$$L_m = 8.8 + 40.48 \log_{10} V \quad (2-2)$$

3. 大型車：

$$L_l = 22.0 + 36.32 \log_{10} V \quad (2-3)$$

根據以上關係式繪製的車輛行駛噪音值與車速的關係見圖 2.1-2。影響行駛噪音強度的主要因素有載重量、路面材料、路面粗糙度、路面平整度及路面縱坡等。

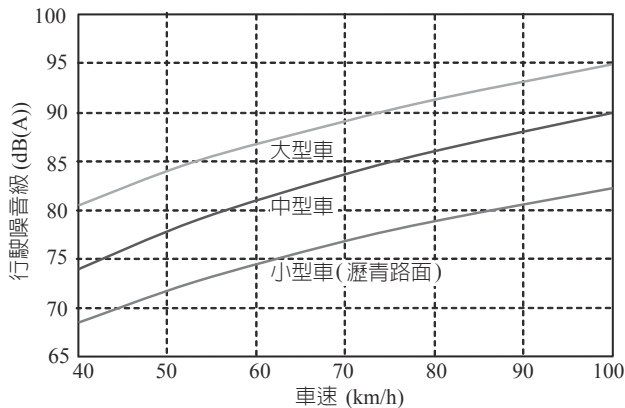


圖 2.1-2 車輛行駛噪音值與車速關係圖

(二) 輪胎噪音強度

1. 小型車

測量結果表明，路面材料對小型車的輪胎噪音影響很大。在剛性路面上，其強度隨車速增大而迅速增加（見表 2.1-1）。

表 2.1-1 小型車輪胎噪音值

車速 (km/h)	50	60	70	80	90	100	110	120
水泥混凝土路面 (dB(A))	69.8	72.6	75.1	77.4	79.4	81.3	83.0	84.6
瀝青混凝土路面 (dB(A))	69.1	70.9	72.5	73.9	75.2	76.3	77.4	78.3
噪音值差值 (dB(A))	0.7	1.7	2.6	3.5	4.2	5.0	5.6	6.3

當車速大於 80 km/h 時，行駛噪音中輪胎噪音佔主導地位。在柔性路面上，行駛噪音中輪胎噪音也略高於動力系統噪音。經測量，在距行車線 7.5 m 處，輪胎噪音值 $L(\text{dB(A)})$ 與車速 $V(\text{km/h})$ 的關係式如下：

$$\text{水泥混凝土路面：} \quad L = 29.5 \times V^{0.220} \quad (2-4)$$

$$\text{瀝青混凝土路面：} \quad L = 39.7 \times V^{0.142} \quad (2-5)$$

2. 中型車

據測量，中型車的輪胎噪音與路面材料關係不大，且在任何車速下其輪胎噪音值與動力系統噪音值十分相近。距行車線 7.5 m 處的輪胎噪音值 $L(\text{dB(A)})$ 與車速 $V(\text{km/h})$ 的關係式如下：

$$L = 28.77 \times V^{0.25} \quad (2-6)$$

3. 大型車

據測量，路面材料對大型車的輪胎噪音影響不大，且在任何車速下行駛噪音中動力系統噪音值均略大於輪胎噪音值，但載重量會增加輪胎噪音。距行車線 7.5m 處的輪胎噪音值 $L(\text{dB(A)})$ 與車速 $V(\text{km/h})$ 的關係式如下：

$$L = 32.12 \times V^{0.225} \quad (2-7)$$

二 車輛噪音頻譜

表 2.1-2 中所示為三種車型的噪音頻率範圍。由表可見，小型車的噪音以中高頻音為主，中型、大型車的噪音以中低頻音為主。另外，水泥混凝土路面 (cement concrete pavement) 上的噪音頻率比瀝青路面上的要高。

表 2.1-2 車輛噪音的頻率分佈

車型	車速 (km/h)	行駛噪音頻率 (Hz)		輪胎噪音頻率 (Hz)	
		瀝青混凝土路面	水泥混凝土路面	瀝青混凝土路面	水泥混凝土路面
小型車	60 ~ 120	500 ~ 2 k	630 ~ 2.5 k	630 ~ 2 k	800 ~ 2.5 k
中型車	40 ~ 80	80 ~ 800	125 ~ 1.6 k	160 ~ 1 k	315 ~ 1.6 k
大型車	40 ~ 80	80 ~ 1 k	250 ~ 2 k	250 ~ 1 k	315 ~ 2 k

2.1.3 道路噪音特性

道路交通噪音是由各種機動車輛行駛而產生的，因此具有連續性。當機動車輛駛近或遠離時，路側的環境噪音值會逐漸變大或逐漸衰減；並且，道路上行駛的車輛很多，類型眾多，各車載重情況及車間距又各不相同，因而噪音錯綜複雜；再之，道路上的交通量隨時、隨地變化，一般上午8～10點，下午17～19點交通量最大，在夜間車輛流量又大規模減少，這些都增加了道路交通噪音的複雜性。

一 道路噪音評估量

許多的實測資料及分析表明，道路交通噪音是一種典型的隨機非穩態噪音，道路暫態噪音值隨時間的變化情況較為複雜（如圖2.1-3所示），它與道路上車輛流量、各車型構成比例、行駛狀態及道路條件等多種因素有關。道路交通噪音的這些特點，使得它的評估不能用簡單的噪音值大小來衡量，應採

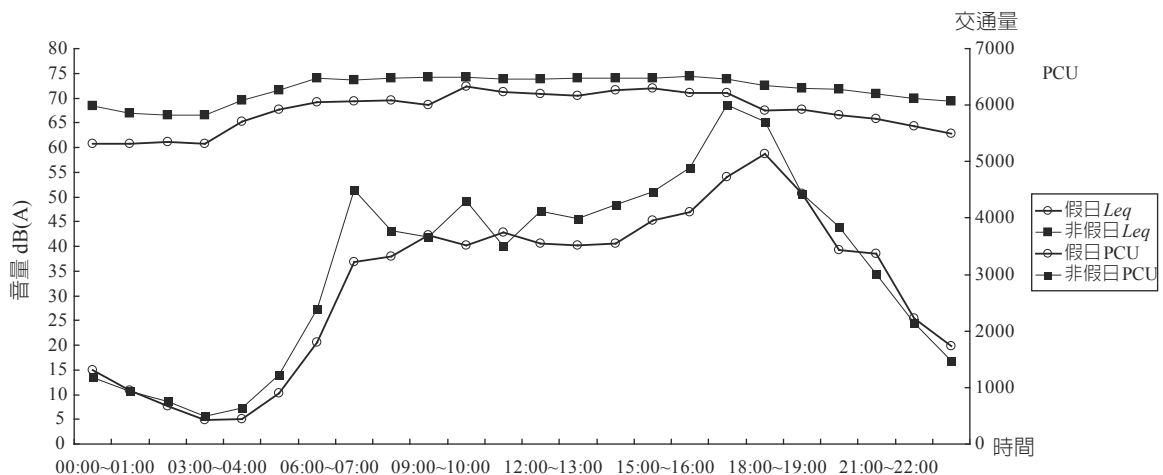


圖 2.1-3 典型的交通與噪音一日變化圖

用包含噪音值別、發生次數、持續時間、噪音變動幅度等內容的統計參數，這樣才能反應出交通噪音的特點和對人感覺上和心理上的影響。目前，國際上還沒有統一的道路交通噪音評估標準，常用的是累積百分比均能音量 L_x 和 A 加權均能音量 L_{Aeq} 。

在對環境噪音進行連續監測時，在監測時間內的噪音值超過某一噪音值的時間佔總監測時間的百分率為 x ，這一被超過的最低噪音值使用累積百分比均能音量 L_x 表示，常用的有 L_{10} 、 L_{50} 、 L_{90} 。例如， $L_{10} = 75 \text{ dB(A)}$ ，表示在整個監測時間內有 10% 的時間其噪音值超過 75 dB(A)； $L_{50} = 65 \text{ dB(A)}$ ，表示在整個監測時間內有 50% 的時間其噪音值超過 65 dB(A)； $L_{90} = 55 \text{ dB(A)}$ ，表示在整個監測時間內有 90% 的時間其噪音值超過 55 dB(A)。因此，累積百分比均能音量 L_{10} 常作為該噪音環境在監測時間內的「峰值」或「事件」噪音值； L_{50} 為中值噪音值，相當於平均噪音值； L_{90} 為「背景」噪音值。對於像交通噪音這種隨時間變化或不連續的噪音，採用噪音能量按時間平均的方法來評估噪音對人的影響更為確切，為此提出了 A 加權均能音量 L_{Aeq} 評估指標。

二 道路噪音影響因素

(一) 車輛行駛狀況

道路上的車輛行駛狀況對交通噪音的影響很大。一般隨行駛速度的增加或採用加速行駛時，道路交通噪音隨之增大；在同一行駛速度下，變速器所處檔位越低，交通噪音也越大。

(二) 交通量及車型比例

道路交通噪音與交通流量的關係實例如圖 2.1-4 及 2.1-5 所示。其中圖 2.1-4 為道路交通噪音 A 加權均能音量與交通量的關係，而圖 2.1-5 為累積百分比均能音量隨交通量的變化關係。從圖中可以看出，隨著交通量的增加，道路交通環境中的噪音源增多，均能音量和累積百分比均能音量都隨之增加。另外，交通量對累積百分比均能音量 L_{50} 、 L_{90} 影響較大，而對「峰值」或「事件」噪音值 L_{10} 影響相對較小。

道路交通噪音不僅和車流量有關，還與車流中各種車型所佔比例有關。圖 2.1-6 及 2.1-7 分別提出了車流中大型車比例對交通噪音均能音量和累積百分比均能音量 L_{10} 的影響。由圖可見，隨著噪音較大的大型車比例的增加，交通噪音值有較快的增長。因而，在都市道路噪音的控制中，必須減少駛入市區大型車的數量。

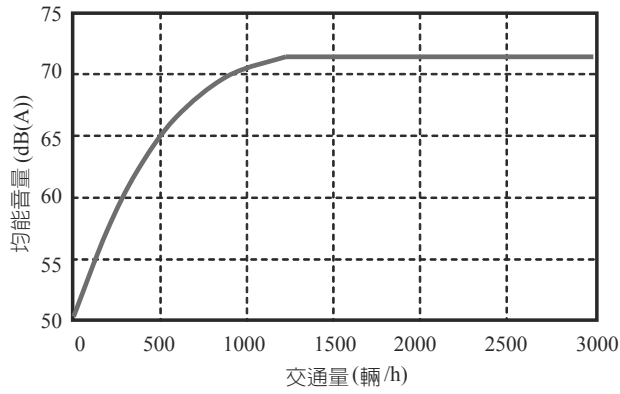


圖 2.1-4 道路噪音均能音量與交通量關係

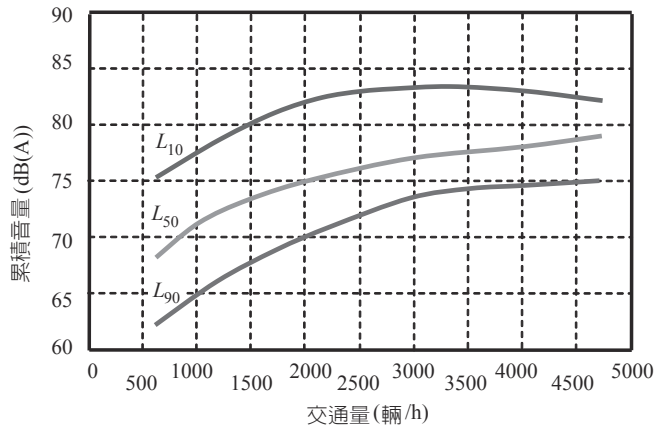


圖 2.1-5 道路噪音累積百分比均能音量與交通量關係

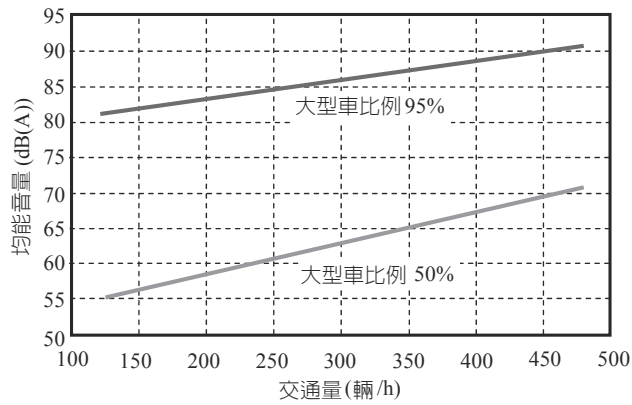


圖 2.1-6 大型車比例對道路均能噪音值的影響

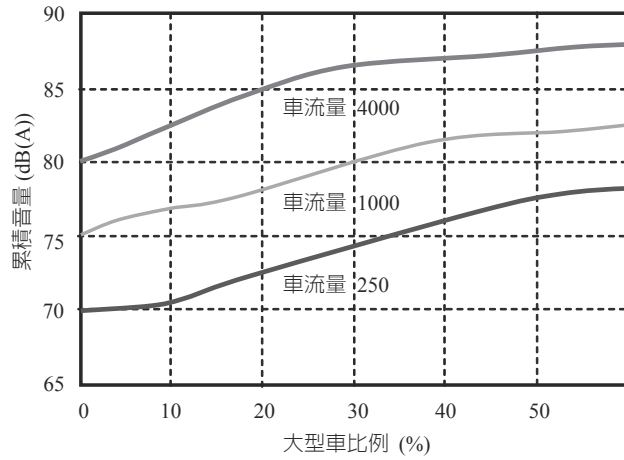


圖 2.1-7 大型車比例對道路累積噪音值 L_{10} 的影響

(三) 道路結構與路面狀況

影響道路交通噪音大小的道路因素有很多，如道路的縱橫斷面形狀、路面狀況、有無護欄（胸牆）和隔離設施、沿路建築物多少等等。

圖 2.1-8 所示為幾種道路結構對交通噪音的影響曲線。從圖中可以看出，不論是採用高架路段 (elevated road 或稱橋工段) 還是路塹段 (cutting road)，路堤段 (或稱路工段) 的交通噪音要低，其中路塹段的降低噪音效果最好。路塹段降低噪音原理主要在於路側壁面對噪音的阻隔 (或吸收) 作用，但在路側 10 m 以內，由於噪音在路溝中反射加強的緣故，使噪音有所增加。

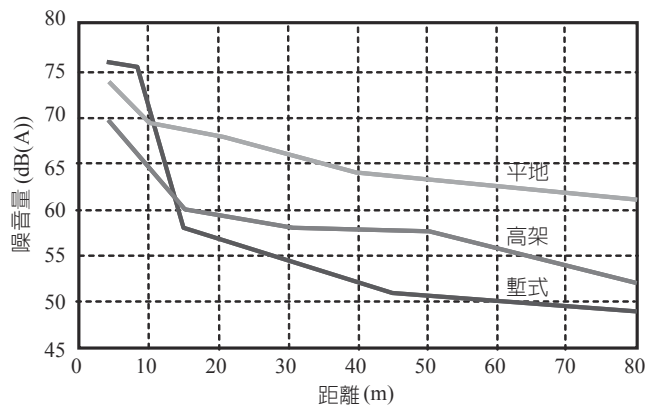


圖 2.1-8 道路結構對道路噪音的影響

加，因而坡道上的交通噪音也隨之增大，尤其是大型車輛的影響更為顯著。表 2.1-3 提出了不同大型車比例的車流在不同坡度的道路上行駛時均能音量的變化情況。

表 2.1-3 路面坡度對道路噪音的影響

路面坡度 (%)	5								7							
車流量 (輛/h)	1,000				4,000				1,000				4,000			
大型車比例 (%)	0	25	50	100	0	25	50	100	0	25	50	100	0	25	50	100
均能音量 (dB(A))	67	68.8	70	72	72.5	74.3	75.6	76.7	67.3	72.7	75	77.5	73.7	73.8	81	83.5

2.1.4 車外加速噪音標準

如果要把整車最大加速噪音降低到 80 分貝以下，應要求其主要噪音源在 8 公尺處低於下表 2.1-4 數值。

表 2.1-4 加速噪音降低到 80 分貝以下車輛噪音源要求 (距噪音源 8m 處)

噪音源	音量
引擎噪音 (包括齒輪箱)	75dB(A)
進氣噪音	66dB(A)
輪胎噪音	72 ~ 75dB(A)
傳動軸噪音	65 dB(A)
冷卻風扇噪音	65 dB(A)
排氣噪音	65 dB(A)

為了進一步降低噪音和減少排氣污染，在一些國家的大都市已經開始試用電動汽車，也有不少國家在研究新的能源車輛。控制機動車輛整車噪音控制主要為機動車輛主要噪音源的控制、設計生產各種低噪音的零件、機動車輛的綜合控制措施。發動機(引擎)噪音主要由燃燒噪音和機械噪音組成，在低轉速時，以燃燒噪音為主，高轉速時以機械噪音為主，機械噪音以活塞敲擊噪音和氣門機械噪音為主，排氣噪音以排氣口輻射噪音和排氣系統本身輻射噪音為主，進氣噪音是不可忽略的主要噪音源，特別是在高轉速時，冷卻系統的風扇噪音在高轉速時對其輻射音能佔總能的 26%，已是不可忽略的噪音源。要控制整車的噪音，必須採用綜合的控制措施，各種降低噪音措施的效果如表 2.1-5 所示。

表 2.1-5 車輛主要噪音源控制措施及其對整車降低噪音效果

音源	控制措施	整車降低噪音 /dB(A)
引擎	安裝引擎隔音裝置	3 ~ 6
	對引擎表面輻射噪音的隔音	2 ~ 4
	選用低噪音引擎	2 ~ 6
排氣系統	安裝高效消音器	2 ~ 3
	採用雙層複合結構的消音器和排氣管	1 ~ 2
	排氣管減振	0 ~ 1
進氣系統	合理設計空氣濾清器，使具有消音效果，或設計濾清 - 消音器	1 ~ 2
冷卻系統	採用低噪音風扇	1 ~ 2
	採用自動風扇離合器	2 ~ 3
傳動系統	提高齒輪精度，採用低噪音齒輪箱	1 ~ 2
輪胎噪音	採用低噪音的花紋結構和材料	高速時 2 ~ 6

不同類型汽車噪音的特性及各噪音源所佔整車噪音能量的比率差異很大。載重汽車、公共汽車等大型車輛的噪音在 90 ~ 92 分貝；而轎車、吉普車等輕型車輛噪音約有 80 ~ 85 分貝。同時，車速若提高 1 倍，噪音增加 6 ~ 10 分貝。

日本對汽車噪音控制較早，在 1951 年就制定了《道路車輛法》。那時對車輛等速行駛的排氣噪音就統一規定在 85 dB(A) 以下。1976 年頒布了《公害對策基本法》，把噪音正式列為公害。後來根據該法制定了《噪音控制法》，於 1968 年 6 月 1 日頒布。為進一步限制城市交通噪音，日本自 1970 年開始限制車輛的加速行駛噪音，在《機動車輛安全標準》中按車輛類型規定了限值。

美國的汽車噪音法規包括聯邦的和各州、市自立的。1972 年美國政府制定了《噪音法》(Noise Act of 1972)，對於新型中、大型載貨車和大客車 (gross vehicle mass, GVM > 4.5t) 規定了兩個階段的噪音限值：第一階段是 83 dB(A)，1978 年生效；第二階段是 80 dB(A)，原來規定 1982 年生效，但因技術和成本的原因，直到 1988 年才生效。目前，這個限值仍保持在此水平上。美國聯邦法規從來沒有對小客車和輕型載貨車噪音進行限制，只是州或市的地方法規對此有規定，有的把限值降到 80 dB(A)，一些地方 (如加州福利業等) 也採用或建議限值是 75 dB(A)，甚至低到 70 dB(A)。表 2.1-6 世界主要國家 (地區) 車外加速噪音標準。

表 2.1-6 世界主要國家(地區)車外加速噪音標準

車輛類型		車外最大加速噪音 /dB(A)							
		中國	美國	日本	歐洲經濟 委員會規 章 (ECE)	歐洲聯 盟指令 (EEC)	澳大利亞	法國	德國
轎車		82		78	80	77	81	77	77
乘 用 車	GVM ≤ 3.5t	83		78	81	78	82	78	78
	GVM > 3.5 t, P < 147 kW	86		83	82	80	86	80	80
	GVM > 3.5 t, P > 147 kW	86		86	85	83	88	83	83
載 貨 汽 車	GVM > 12t, P < 147 kW	86		83	85	83	88	83	85
	GVM < 3.5t	84		78	81	78	82	78	78
	GVM > 3.5 t, P < 147 kW	86		83	86	81		81	81
	GVM > 3.5t, P > 147 kW	86		83	86	84		84	84
	3.5 t < GVM ≤ 12t	86	83		86		87		
	GVM > 12 t, P ≤ 147 kW	89	83	83	86	81	87	81	81
	GVM > 12 t, P > 147 kW	89	83	83	86	84	89	84	84

1. GVM 為汽車總質量，中國噪音標準限定的車型是按載重量分級的，表中所列為大致數字。

2. P 為引擎額定功率。

當小車高速行駛時 100 km/h，引擎噪音佔約 8.9%，輪胎噪音佔約 91.1%。行駛中小車之引擎與輪胎噪音所佔百分比請詳表 2.1-7 說明。

表 2.1-7 行駛中小車之引擎與輪胎噪音所佔百分比

車速 (km/h)	百分比	引擎 (%)	輪胎 (%)
20		71.5	28.5
40		33.4	66.6
60		16.6	83.4
80		11.2	88.8
100		8.9	91.1

當大車高速 80 km/h 行駛時，引擎與輪胎噪音各佔約 50%。100 km/h 行駛時，引擎噪音佔約 38.7%，輪胎噪音佔約 61.3%。速度不同所佔百分比不同。行駛中大車之引擎與輪胎噪音所佔百分比請詳表 2.1-8 說明。

表 2.1-8 行駛中大車之引擎與輪胎噪音所佔百分比

車速 (km/h)	百分比	引擎 (%)	輪胎 (%)
20		96.2	3.8
40		79.9	20.1
60		66.6	33.4
80		50.0	50.0
100		38.7	61.3

2.1.5 高速公路兩側高層建築物噪音影響

高速公路興建後，除促進經濟發展及增加交通便利外，亦將造成鄰近既有住家受到高速公路引進車流之噪音影響，另有些新開發建築物亦會引進毗鄰而建。本節係為探討緊鄰高速公路旁高樓層之噪音防制策略，並界定高速公路噪音影響之範圍，同時分析不同車流量條件及高速公路結構形式下之法規符合度及影響程度。首先介紹高速公路兩側高層建築物後方住宅區遮蔽建築概念，與噪音源平行建造的住宅區可以對其他建築起到很好的隔音效果，如果其他條件允許得到採用，當然面臨高速公路第一排高層建築物當作遮蔽建築，自身也要求有很高的隔音性能。這種並非將環境噪音分散開來分別承擔，而是讓一部分建築來負擔噪音的措施作為方法論是成立的，但是在應用時需要有關成本負擔達成協定。圖 2.1-9 表示出了遮蔽建築的概念。建築用地四周和用地內部的圍牆、土堤等應盡可能地使用，上述構造可以給低層建築或是高層建築的較低的位置帶來很好的隔音效果，可以認為是相對來說比較容易實施的隔音措施。圖 2.1-10 表示出面向高速公路高架公路的場所的垂直方向噪音強度分佈。如果在設計中將非居住和停車場設置在靠近音源的地方，並且有隔音效果，對於建築規劃來說是值得期待的。因為這些都是必要的基礎設置，所以經濟負擔較少。水平距離方面，高速公路兩側夜間小時均能音量範圍為：距路邊 27.2 ~ 130.9 m。早、晚間小時均能音量範圍為：距路邊 21.1 ~ 96.7 m。日間小時均能音量範圍為：距路邊 18.1 ~ 78.1 m。即想要夜間小時均能音量也符合噪音管制標準，未來高速公路交通噪音管制區範圍在無任何防制措施下為約 130 m，與中國、美國高速公路兩側約 200 m 範圍內不等（中國為 200 m，美國為 150 m）相近。

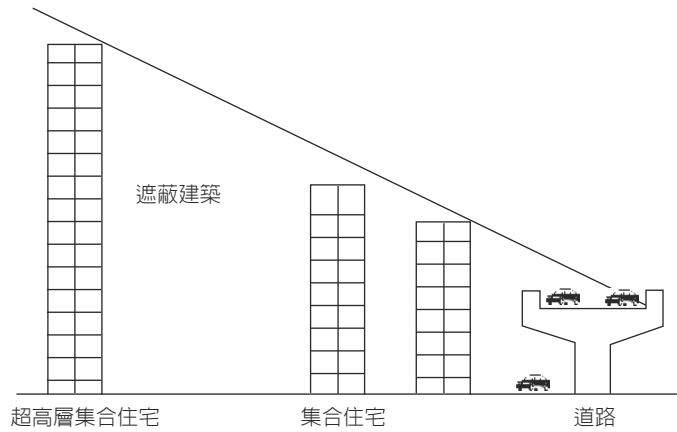


圖 2.1-9 遮蔽建築的概念

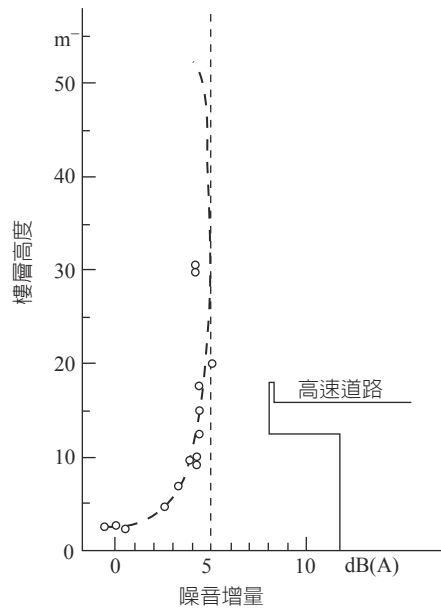


圖 2.1-10 樓層與噪音值的關係

2.1.6 隧道口噪音

聲音在隧道中會因不斷的在隧道內壁上反射傳播而增加音量，同樣的這種在密閉或半密閉空間所產生的多重反射現象 (multiple reflection)，亦會在高架橋下及街谷（兩旁大廈或住宅林立的街道）中產生。由於隧道內壁形狀係屬長形管狀的半封閉空間，因此除了與車流行進方向平行的音波可能直接傳播至隧道外，其他聲音將在隧道內壁不斷地反射傳播；再加上許多隧道並非筆直

而呈平曲線，則更使得噪音不易傳播至洞口外。至於隧道內噪音能量消失則有三種途徑：第一可經由隧道內壁不斷反射而傳達至洞口以外，第二種方式則是能量被隧道內壁所吸收，第三種方式係因噪音之能量由傳播距離的增加而衰減。另就隧道內任一點而言，其音量以車輛即將通過（通過前）與恰好通過時出現最大音量，因為車輛即將通過時，由於車輛移動時的都普勒效應使噪音頻率升高，人體易於感受；且車輛通過某一點時則為音源最接近時，由於隧道內為狹長管狀半封閉空間，因此噪音量極大，當車輛通過時，甚至可產生 100 分貝以上之噪音。以隧道噪音分佈而言，由於隧道中點距兩端洞口最遠其能量較不易傳播至洞口外，因此噪音值通常最大，噪音量另由中央向兩端依距離遞減；雖然隧道內噪音也有干擾現象，但因傳播方向不一且頻率範圍頗廣，因此不易產生抵消現象，一般如欲進行隧道噪音防制，多從隧道內壁吸收減音著手。

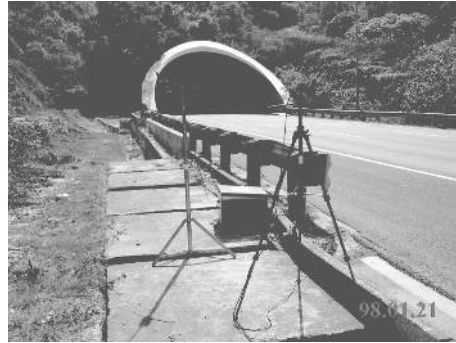
隧道內噪音對外側環境最大噪音發生在出口處；而且經 100 ~ 150 m 距離後衰減量漸明顯，因此隧道噪音影響附近居民以出口處最大，沿線次之。於國 3 北上中寮隧道口 1 m 處 (380.6 K) 及隧道口 50 m 處 (378.8 K) 進行實際量測，時段區分：早：指上午五時至上午七時。晚：指晚上八時至晚上十時。日間：指上午七時至晚上八時。夜間：指晚上十時至翌日上午五時。由量測結果知 $L_{早}$ 、 $L_{日}$ 、 $L_{晚}$ 、 $L_{夜}$ 、 L_{max} 、 L_{Aeq} 二者差約 3 ~ 4 dB(A)，即隧道口 1 m 處 > 隧道口 50 m 處約 3 ~ 4 dB(A)，影響頗大。

表 2.1-9 中寮隧道口噪音監測實測值

項目	測站	國 3 北上	國 3 北上	差值
		378.8K	380.6K(隧道口)	
日期		98.01.21	98.01.21	
$L_{早}$ dB(A)		74.8	77.7	2.9
$L_{日}$ dB(A)		76.3	79.9	3.6
$L_{晚}$ dB(A)		74.2	78.3	4.1
$L_{夜}$ dB(A)		70.6	74.3	3.7
L_{max} dB(A)		101.3	104.5	3.2
L_{Aeq} dB(A)		75.0	78.5	3.5



國3北上380.6 K



國3北上378.8 K

圖 2.1-11 中寮隧道口噪音監測作業照片

2.1.7 有無隔音牆比較

進行有無隔音牆交通噪音量測，測量位置距離護欄 1.6 m，由量測結果知，有無隔音牆減音量非假日介於 5.1 ~ 7.8 dB(A)，有無隔音牆減音量假日介於 3.1 ~ 7.3 dB(A)，有無隔音牆減音量平均介於 4.1 ~ 7.6 dB(A)。

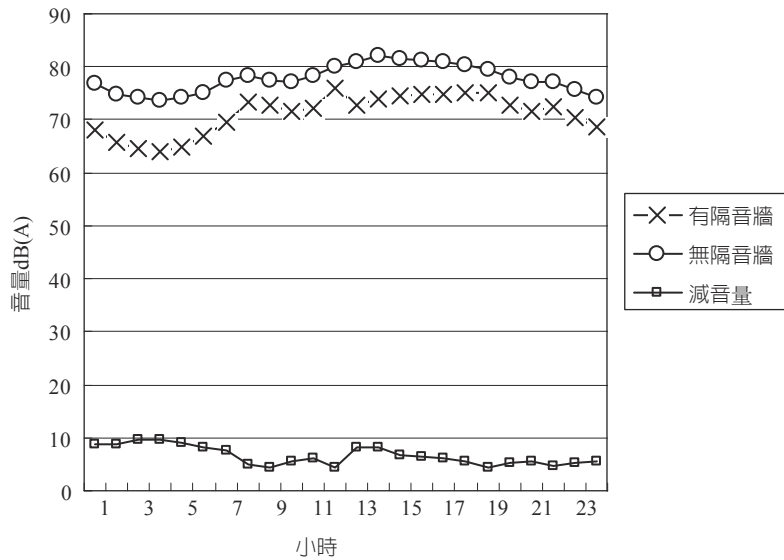


圖 2.1-12 有無隔音牆 L_{Aeq} (非假日)(平均減音量 6.6 dB(A)，距護欄 1.6 m)

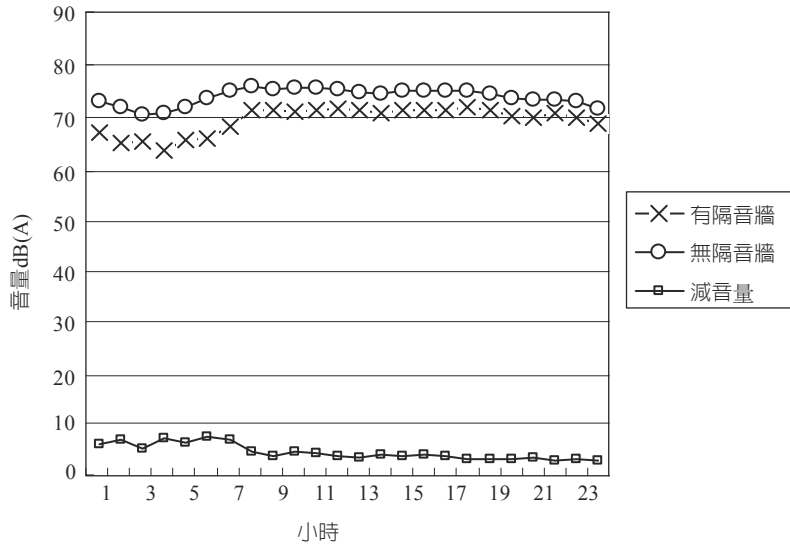


圖 2.1-13 有無隔音牆 L_{Aeq} (假日)(平均減音量 4.6 dB (A), 距護欄 1.6 m)

2.2 噪音預測和評估

2.2.1 道路噪音預測

道路交通噪音預測模型分為圖表模型、物理縮尺模型、理論計算模型三類。圖表模型要求手工從各類圖表上查找噪音計算中間值，計算過程十分煩瑣而且精度有限。物理縮尺模型造價昂貴，而且不可重複利用。因此現在最常用的是理論計算模型。由於影響道路交通噪音的因素主要包括兩大類：第一類因素決定音源的性質，例如車流量、車速、車型、路面材料以及道路的寬度、坡度和平整度等；第二類因素影響噪音傳播的路徑和強度，如接受點到音源的距離、接受點對音源的視角、地面植被狀況、各類隔音牆對噪音的阻擋作用、各類地面物體對噪音的反射以及空氣的溫度、濕度、風等。因此幾乎所有的道路交通噪音預測理論模式都具有相似的基本形式，預測點噪音是由車輛參考噪音值加上各類修正項得到。

一般情況下，當預測點到音源距離適中時，預測結果可以達到模式發佈時公佈的誤差精度。如果預測點太靠近交通道路，預測結果會比實測結果明顯偏高，系統誤差為正，因為預測模式並不考慮不同車道的車輛間相互遮避作用。如果噪音傳播受到地面植被吸收和隔音牆阻擋，預測結果也會比實測

結果偏高，系統誤差也為正，因為模式對地面植被吸收和隔音牆的阻擋都採用了簡化處理辦法，噪音衰減計算值會小於實際衰減值。如果預測點距音源太遠，複雜的音傳播環境會大大降低預測精度，使預測誤差可能達到 4.5 ~ 7.0 dB(A)。另外，道路車流的車型、車齡、車況、輪胎類型、路面狀況在不同地區、不同時間差異甚大，即車輛參考噪音值具有地區差異、時間差異，而預測模式一般沒有允許用戶自己設定不同車輛的參考噪音值的功能，這使得預測模式在離開其原產地後預測精度會有一定程度的降低，而且隔一定時間就需要修正。另外，現有的交通預測模式中，對空間三維實體的處理能力不足。若將預測模式和 GIS (geographical information system, 地理資訊系統) 等具有空間三維分析功能的技術系統相結合，便可準確模擬噪音傳播過程中的折射、反射、散射和吸收，從而提高模式的預測精度和效率。

美國 FHWA 公路交通噪音預測模式，以 A 加權均能音量 L_{Aeq} 為評估指標，自發佈以來經過數次改進，現已日趨完善。該模式將道路上的車輛假設為勻速的點音源，並按車種進行分類，先求出某一類車輛的小時均能音量。

英國的 CoRTN 模式以交通噪音峰值 L_{10} 為評估指標，該模式的假設為一個線音源和恆定速度交通流，適用於長的順暢的高峰交通流或距離觀察者有一定距離的交通音源。這個模式考慮了大小車比、車流量、車流速度、環境資料、傳播距離、反射和建造的隔音牆等對交通噪音的影響。

德國的 RLS 90 模式以均能音量 L_{Aeq} 為評估指標，包括音源模式和音傳播模式，考慮因素包括交通類型、車流量、停車場和道路、環境資料、傳播能量類型，允許簡單的交通中斷和未知交通流。

我國依據「開發行為環境影響評估作業準則」第四十九條規定訂定「道路交通噪音評估模式技術規範」。使辦理環境影響評估作業時，道路交通噪音評估模式之使用，評估模式考量開發行為及區位環境之特性、道路分類及交通條件、模式之限制條件，模式名稱如表 2.2-1 所示。

2.2.2 道路噪音評估

一 噪音管制法規

我國噪音管制法於民國 97 年 12 月 3 日總統華總一義字第 09700253151 號令修正公佈，第十四條第一項規定，將快速道路、高速公路、鐵路及大眾捷運系統等陸上運輸系統，納入陸上運輸系統噪音管制標準予以規範。「陸上運

輸系統噪音管制標準」：配合噪音管制法於民國九十七年十二月三日修正公佈施行，爰依據本法第十四條第二項規定訂定陸上運輸系統噪音管制標準，以管制快速道路、高速公路、鐵路及大眾捷運系統等陸上運輸系統內車輛行駛所發出之噪音。

表 2.2-1 道路交通噪音評估模式

道路分類	模式名稱
高速公路、快速公路	<ul style="list-style-type: none"> • RLS-90 : SoundPLAN • Cadna-A • ASJ • TNM • FHWA • CoRTN
主要幹道、次要幹道及地區公路	<ul style="list-style-type: none"> • RLS-90 : SoundPLAN • Cadna-A • ASJ • TNM • 施鴻志模式： $L_{eq} = 69.6 - 19.0 \log_{10} D + 0.55PT + 7.21 \log_{10} Q + 2.5RF$ • 張富南模式： $L_{eq} = 38.1 + 12.3 \log_{10} Q + 0.247PT + 2.22RF$

二 噪音指標

(一) 道路系統

除英國（以及大英國協會會員國）採用 L_{10} 指標外，世界其他國家多數採用 L_{Aeq} 指標，日本原本採用 L_{50} ，但近亦改為 L_{Aeq} 指標。

(二) 管制值訂定原則

有訂定室外音量標準，或同時訂有室內音量標準者。室外量測位置有訂在建築物表面者，或需遠離建築物反射者。兩者量測音量受反射音影響相差約 3dB(A)。

陸上運輸系統噪音管制標準自現行環境音量標準抽離後，其與其他噪音相關法規之關聯架構可示如圖 2.2-1 說明。

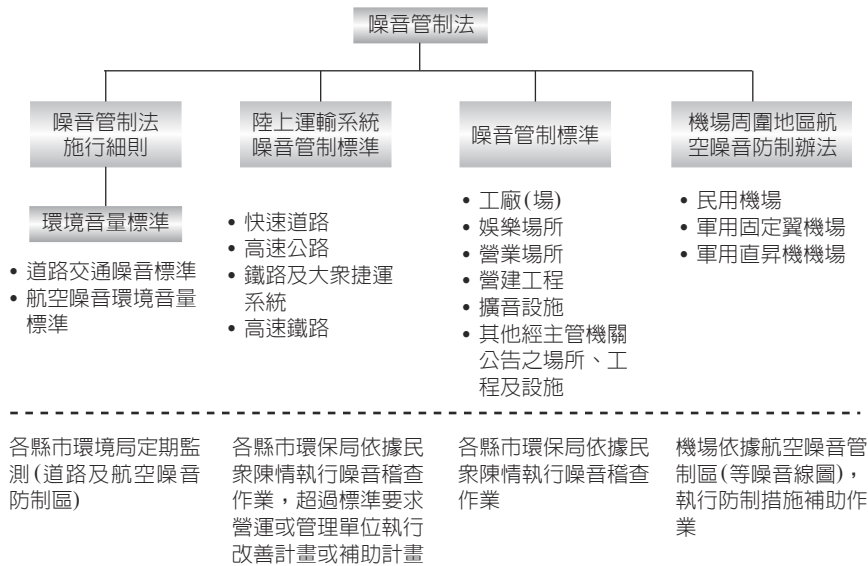


圖 2.2-1 陸上運輸系統噪音管制標準與相關法規之關聯架構

2.3 噪音控制

2.3.1 車輛噪音的控制

在低速行駛時，汽車的主要噪音源是引擎噪音，這是普通都市道路的主要噪音源；在高速行駛時，汽車的主要噪音源是輪胎及路面噪音，這是高速公路、快速道路、高架公路的主要噪音源。汽車引擎的噪音比較複雜，主要有燃燒噪音、機械噪音、風扇噪音、排氣噪音、進氣噪音等，而降低車輛引擎噪音的措施有以下七種，分別說明如後。

一 降低燃燒噪音

降低引擎的燃燒噪音，主要有兩個方面的措施：一是控制引擎汽缸壓力，二是增加引擎結構對燃燒噪音的衰減：選用燃燒噪音低的燃燒室，採用引擎增壓，阻尼控制，這樣便不會輻射很大的噪音。另外，在骨架上緊固一些抑制共振的高阻尼面板，這樣就構成阻尼控制的引擎，剛度控制，用比重小的材料，在總重不增加的情況下製成特厚的壁面，以便大幅度增加引擎壁面的彎曲剛度和固有頻率。

二 降低機械噪音

1. 爲了降低引擎的活塞敲擊噪音，常用的方法有：減小活塞與汽缸壁的間隙。如將活塞製成直徑上小下大的階梯形或截錐形、採用低噪音的活塞。
2. 降低引擎的氣門結構噪音的方法有：採用新型凸輪、提高凸輪的加工精度和表面光潔度；採用液力挺桿及氣門液力驅動、減小氣門間隙。
3. 降低引擎供油系統的噪音主要措施有：減小噴針質量、在噴桿彈簧中附加阻尼、改進噴桿設計。

三 降低進氣噪音

降低進氣噪音最有效的措施是，設計合適的空氣濾清器，或採用進氣消音器，由於空氣濾清器具有一定的空腔容積和過濾材料，一般都有一些消音作用，對於噪音指標要求不高的車輛（如各種載重汽車、工程車等），通常是在空氣濾清器的設計過程中，既考慮它的濾清效果，同時又使它具有較好的消音效果，而對於噪音指標要求較高的客車和公共汽車等，往往另加進氣消音器，經常採用的進氣消音器有阻性、共振型和擴張型消音器。

四 降低排氣噪音

對於排氣噪音，通常使用排氣消音器。消音器的作用是，既能減少噪音的傳播，又可以使氣流順利的通過，對排氣消音器的要求有：消音性能好、空氣動力性能好、具有機械強度和結構剛度，汽車引擎排氣消音器，常採用多個單元組合的消音器。

五 降低風扇噪音

降低風扇噪音的主要方法爲降低風扇轉速，如在結構尺寸允許下，適當加大風扇直徑；研究高冷卻效率的風扇等。安裝風扇自動離合器。在汽車行駛中，需要風扇工作的時間，一般不到10%。因此，可以裝用自動離合器來控制風扇的風量。採用葉片非均勻分佈的風扇，當葉片非均勻分佈時，可以降低風扇噪音中突出的線狀頻譜成分，使噪音頻譜較爲平滑。採用形狀較好的導風罩及風扇擴散器，在風扇後部的適當位置，安裝擴散器，既可以增加氣流流量，減少風扇所需功率，有利於降低噪音。

六 採用隔音罩

爲了降低引擎整體噪音，另外一個非常重要的措施是加上引擎隔音罩，此隔音罩一般可採用 1 mm 左右的鋼板或鉛板，內部也可以飾一些多孔吸音材料，如玻璃棉等。吸音材料護面板可採用多孔金屬板，其穿孔率可在 25% ~ 35% 範圍。這種隔音罩在引擎的主要噪音頻率範圍 (500 ~ 8,000 Hz) 所具有的插入損失值約爲 20 dB(A)。

七 降低輪胎噪音

由於輪胎噪音主要是因胎面花紋中凹部空氣被擠壓而產生的，所以爲了控制和降低這種噪音，可採用改變節距花紋來實現，即在輪胎胎面上配置兩種以上不同節距長度的花紋。這樣，可使輪胎花紋噪音的突出峰值有明顯降低。特別是對於高速行駛的小客車、載重汽車等車輛，採用改變節距花紋的輪胎後，可顯著降低輪胎噪音。爲了減少間接噪音的產生，可在輪胎至車體的振動傳播途徑中，使用橡膠軸套和其他具有彈性的隔振材料。此外，還可以在車體上採用阻尼和吸音材料等措施。

2.3.2 低噪音路面

輪胎噪音是交通噪音中不可忽視的噪音源，當車速大於 50 ~ 60 km/h 時它起到舉足輕重的作用。又因輪胎噪音的頻率較高，夜間它是干擾人們睡眠的主要「兇手」(除按喇叭等突發噪音外)。20 世紀 80 年代起各國開始研究並採用多孔性低噪音瀝青鋪設城市路面，由於這種多孔性瀝青路面有若干連通的小孔，具有較強的吸音功能，所以能夠吸收外界噪音，同時輪胎滾動在路面上也不容易形成因空氣壓縮產生的噪音。隨著行駛速度的提高，輪胎噪音在汽車產生的噪音中的比例越來越大，因此修築降低噪音路面對於控制交通噪音具有重要的實際意義。現在普遍所採取的措施是在環境噪音要求嚴格的路段鋪築低噪音瀝青路面。

路面吸音能力四項因素：

1. 表面層的多孔性。
2. 表面層氣流阻力。
3. 孔隙連通之彎曲度。
4. 多孔隙層之厚度。

對低噪音路面的研究興起於 20 世紀 50 年代的歐洲。英國於 1950 年末開發了多孔隙瀝青路面，最早應用於機場跑道，並從 1960 年開始在公路上修築試驗路以研究其降低噪音特性。美國自 20 世紀 60 年代以來，已在幹線公路上鋪築了許多的多孔隙瀝青路面。由於低噪音路面與其他降低噪音措施（如隔音牆）相比，具有經濟合理、保持環境原有風貌、降低噪音效果好和行車安全等優點，目前世界上很多發達國家（如法國、荷蘭、德國、西班牙、日本等）都已對其廣泛研究與應用。2003 年在北京勁松路改造工程中，鋪築了一千多公尺長的多孔隙瀝青路面，這是低噪音瀝青路面在中國都市道路中的首次使用，經現場測量，它比普通瀝青路面平均可降低交通噪音 3 dB(A)~5 dB(A)。

一 低噪音路面的原理

在道路交通噪音源的相關分析已經指出，道路交通噪音主要音源為車輛動力系統噪音及輪胎噪音，車速較低時以動力系統噪音為主，車速較高時輪胎噪音為主。輪胎噪音有以下幾種產生原理：

（一）衝擊(振動)噪音(impulsive noise)

該噪音主要由路面的不平整度、橫向刻槽等引起輪胎振動（甚至連帶車身振動）而輻射噪音，該噪音的頻率較低。

（二）氣泵噪音(air pump noise)

輪胎在路面上滾動時，表面花紋槽中的空氣被壓縮後迅速膨脹釋放而發出噪音，噪音產生的過程類似於空氣泵壓縮 - 膨脹發出爆破音的現象。氣泵噪音的強度隨車速的增加而增加，且以高頻音為主，在輪胎噪音中佔主要地位。

（三）附著噪音(adhesive noise)

是由輪胎橡膠在路面上附著作用力而產生的類似於真空吸力噪音。

低噪音路面的降低噪音原理可概括如下：

1. 面層孔隙的吸音作用。除了吸收發動機和傳動機件輻射到路面的噪音外，還可吸收通過車底盤反射回路面的輪胎噪音及其他介面反射到路面的噪音。其吸音原理類似於多孔吸音材料的吸音作用。
2. 降低氣泵噪音。由於面層具有互通的孔隙，輪胎與路面接觸時表面花紋槽中的空氣可通過孔隙向四周逸出，減小了空氣壓縮爆破產生的噪音，且可使氣泵噪音的頻率降低。

3. 降低附著噪音。與密實路面相比，輪胎與路面的接觸面減小，有助於附著噪音的降低。
4. 路面材料的高彈性和大阻尼，使得低噪音路面具有吸收、衰減輪胎振動和衝擊的效果，因而大大降低了輪胎的振動噪音。
5. 良好的表面紋理也能吸收噪音，從而達到降低噪音的目的。
6. 良好的平整度，降低了衝擊噪音。

二 低噪音路面類別

低噪音路面可分為瀝青混凝土和水泥混凝土兩大類，目前各國對瀝青混凝土低噪音路面研究較多。

(一) 低噪音瀝青混凝土路面

1. 多孔隙瀝青路面 (porous asphalt pavement, PAP)

多孔性瀝青路面與普通瀝青路面相比較，區別在於它的空隙率高達 15% ~ 20%，甚至超過 20%，而普通瀝青路面的空隙率僅 3% ~ 6%。

- (1) 單層多孔隙瀝青混合料面層路面 (single-layer porous asphalt mixture pavement)：該路面的構造是在普通密集配的瀝青混凝土路面上，再鋪築一層開級配多孔隙瀝青混合料面層。大量實驗資料表明，面層的厚度以 4 ~ 5 cm、空隙率 15% ~ 25% 為佳。這種路面的鋪築較為簡單經濟。
- (2) 超厚多層多孔隙瀝青混合料面層路面 (ultra thick multi-layers porous asphalt mixture pavement)：該路面的多孔隙瀝青混合料面層厚度為 40 ~ 50 cm，一般設四層排水瀝青混合料和 4 cm 厚的多孔隙瀝青混凝土面層，每層的材料級配不同，其目的是增加降低噪音效果。

2. 密實骨架橡膠瀝青路面 (dense framework rubber asphalt pavement)

廢橡膠粉 (crumb rubber modified, CRM) 應用於瀝青路面的技術，主要分為濕法 (wet process) 和乾法 (dry process) 兩大類。濕法是指 CRM 先行與瀝青拌和，製成一種稱為橡膠瀝青 (asphalt rubber) 的改性瀝青膠結料，然後再與石料拌和；乾法是指將 CRM 作為一部分細集料先與石料乾拌，然後噴入瀝青拌製成廢橡膠粉 (或顆粒) 改性瀝青混合料 (rubber modified hot mix asphalt concrete)。用上述混合料鋪築的路面簡稱橡膠瀝青路面。

3. 瀝青瑪蹄脂碎石路面 (stone matrix asphalt, SMA)

瀝青瑪蹄脂碎石路面路面，產生於 20 世紀 60 年代的德國。當時爲了抵抗帶釘輪胎對路面的磨耗而在澆注式瀝青混凝土 (guss-asphalt) 的基礎上增加碎石用量而發展起來的，以後逐漸推廣應用到公路和都市道路。歐美許多國家，如荷蘭、瑞典、挪威、捷克、美國等鋪築了相當多的 SMA 路面。

4. 超薄瀝青磨耗層路面 (ultra thin friction course-new pavement)

一般來說，國際上通常稱瀝青混凝土 (asphalt concrete) 鋪裝層厚度 2.0 ~ 2.5 cm 的爲超薄瀝青磨耗層；厚度 3 cm 的爲薄層瀝青路面。超薄瀝青磨耗層是一種小粒徑、多碎石瀝青混合料，一般的攤鋪厚度爲 2.0 ~ 2.5 cm，這種瀝青混合料具有抗滑性能好、行車噪音低的特點，是一種很有應用前景的高等級路面。

5. 多孔彈性路面 (porous elastic road surface, PERS)

爲進一步提高道路的降低噪音能力改善交通環境，日本、瑞典及挪威首次引入了多孔彈性路面作爲低噪音路面。PERS 是指在瀝青混合料中摻入橡膠顆粒 (廢舊輪胎磨製而成)，並由聚氨酯樹脂固結而成。橡膠顆粒摻量一般爲混合料品質比的 1% ~ 3%，空隙率爲 30% ~ 40%，面層板的厚度爲 2 ~ 5 cm。

(二) 水泥混凝土低噪音路面

水泥混凝土低噪音路面相對多孔瀝青路面 (porous asphalt pavement) 而言，技術還不太成熟。國際常設公路協會 (PIARC) 的混凝土協會 1988 年設立了水泥混凝土路面 (cement concrete pavement) 降低噪音音委員會，他們負責收集匯總各國的研究成果，其成果表明低噪音水泥混凝土面層的降低噪音方式可以歸納如下：

1. 路面具有良好的平整度，不允許存在間距爲數釐米的橫向不平整度，以降低輪胎衝擊 (振動) 噪音。
2. 以縱向條紋代替橫向條紋。縱向條紋不但可降低輪胎的氣泵效應，還可降低衝擊 (振動) 噪音。
3. 表面鋪壓編織物 (如麻袋片)，或用水刷洗混凝土，以增加表面粗糙度，從而降低輪胎氣泵噪音的強度和頻率。
4. 加氣混凝土面層：30 cm 厚的加氣混凝土面層，其孔隙爲 20% 左右，對降

低輪胎噪音有利，但其造價較高，表面強度較低，抗凍性差。因此，只能在特殊場合使用。

5. 粗糙面層：在新鋪築的水泥混凝土路面 (cement concrete pavement) 上 (可不設封面層，但強度要足夠)，用環氧樹脂和礫石鋪設面層。該面層既有粗糙度，又有彈性，部分試驗表明其降低噪音效果比多孔隙瀝青路面還要好。

目前已發現的具有低噪音特性的水泥混凝土路面主要有露石混凝土路面 (exposed-aggregate concrete pavement) 和無細集料混凝土路面 (no fines concrete pavement) 兩種。

1. 露石混凝土路面

露石混凝土路面是一種將面層混凝土中的粗集料外露，形成粗糙表面的路面。目前，澳大利亞、德國、比利時、法國和英國等已經開始使用。露石混凝土路面由於具有隨機凸起集料的表面，使音波和壓力波在輪胎花紋下的空隙中自行消散，因此降低了噪音，快速道路的降低噪音效果尤為顯著。

2. 無細集料混凝土路面

無細集料混凝土是用水泥和水作結合料，將單一粒徑的粗集料粘結而形成的混凝土。如同多孔瀝青路面一樣，無細集料混凝土其集料為開級配的粗集料，它的結構不同於通常的密級配或半密級配水泥混凝土，而屬於骨架空隙結構，具有噪音低、排水快等特點。

2.3.3 隔音牆

在 60 年代就開始對道路隔音牆技術的研究，到 70、80 年代這些經濟發達國家已經在隔音牆的選材、設計、施工、維護方面積累了豐富的經驗，隔音牆成為控制道路交通噪音的主要的工程技術手段。

一 隔音牆概述

隔音牆是使音波在傳播中受到阻擋，從而達到某特定位置上的降低噪音作用的裝置。隔音牆擋住音源到聲音接受點的傳播，從而在隔音牆後面建立一個「音影區」，在音影區內，聲音的強度比沒有隔音牆時的衰減要大。頻率越高，音影區範圍越大。

噪音源輻射的噪音遇到隔音牆後，它將沿著四條途徑向外傳播，如圖 2.3-1 所示。首先，是直達音波直接傳給未被隔音牆遮罩的觀測點。該觀測點可躍過隔音牆頂部看見道路上的行駛車輛，因而，無論隔音牆吸音性能好壞，都不能阻止音波的傳播。噪音傳播第二條途徑是繞射至隔音牆遮罩區，音波繞射角越大，音影區中噪音值越低。第三，音波還可以直接透過隔音牆到達遮罩區。例如，在很大繞射角的音影區中，透射噪音將比繞射噪音要高。在這些場合中，必須完善隔音牆的隔音性能，如採用較重的結構材料等。第四，噪音在傳播時還存在反射，從而影響道路對面居民的生活。正是因為這種原因，一般隔音牆表面應具有吸音性能，以減少音波的反射。但這種反射不會降低音影區中的噪音值，因而，隔音牆的反射性能一般不是隔音牆設計時考慮的主要因素，隔音牆設計流程圖如圖 2.3-2 所示。

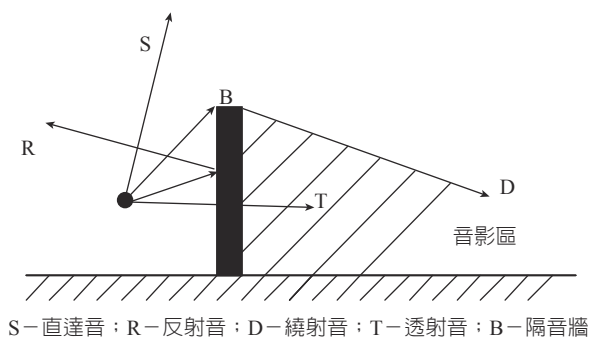


圖 2.3-1 隔音牆隔音原理

二 隔音牆類型

各式隔音牆詳見圖 2.3-3 所示。

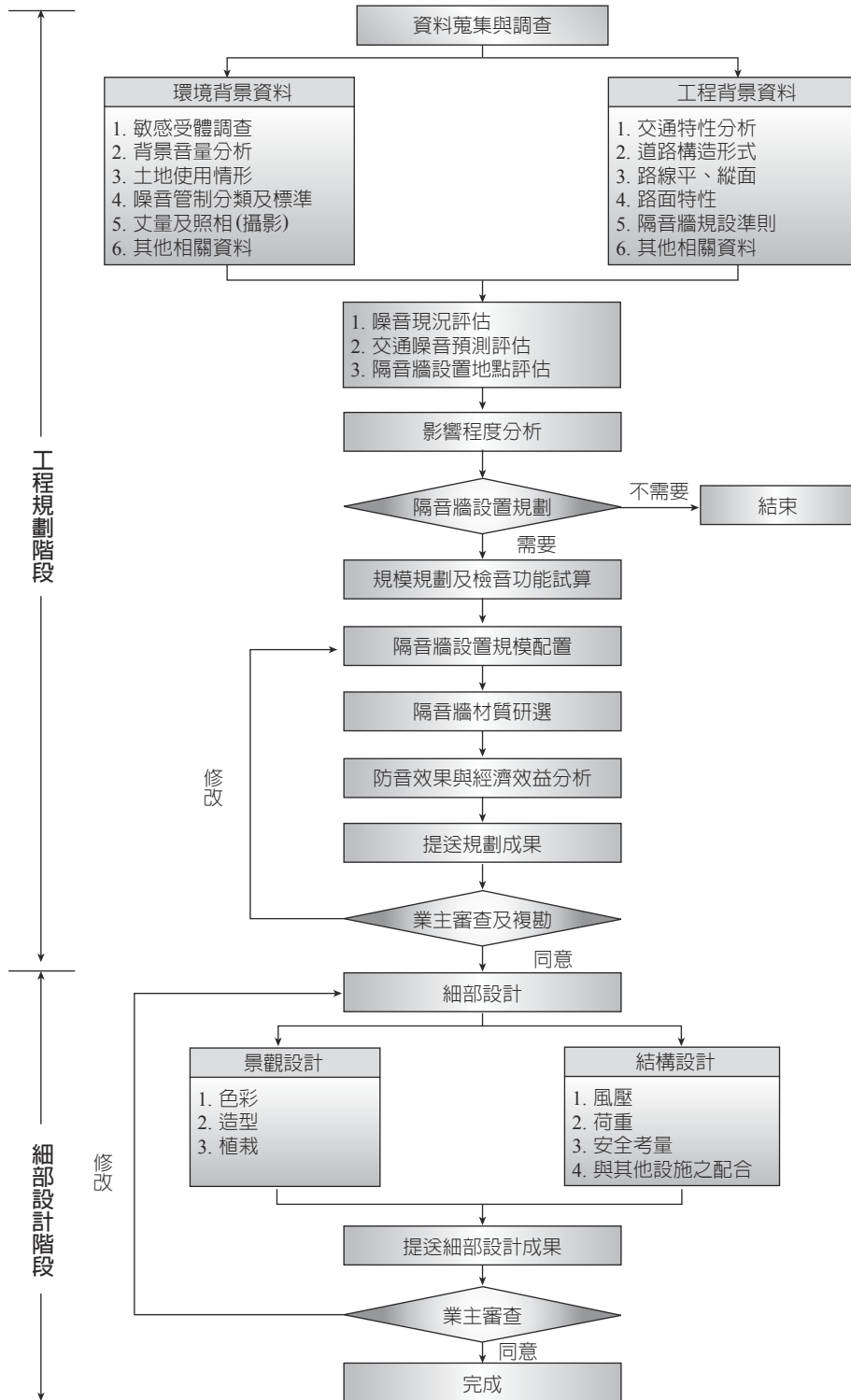


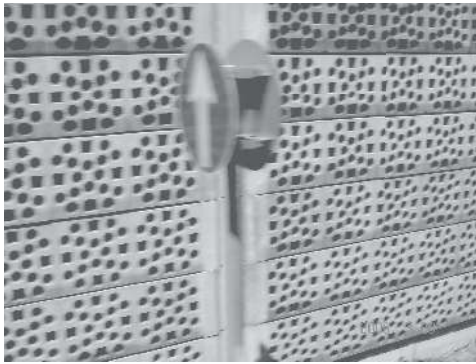
圖 2.3-2 隔音牆設計流程圖



日本高速公路支柱隱蔽型吸音隔音牆



日本高速公路透光型+吸音隔音牆



日本北九州都市高速公路隔音牆



德國慕尼黑高速公路吸音隔音牆



中國南京捷運吸音隔音牆



日本隧道內二側吸音隔音牆

圖 2.3-3 高速公路各式隔音牆

三 隔音牆理論

(一) 無限長隔音牆噪音衰減量

音接受點在隔音牆建造前後的噪音值差值稱為隔音牆的噪音衰減量。當隔音牆為無限長時(如圖 2.3-4 及 2.3-5 所示)，其噪音衰減量計算公式如下：

$$\Delta L = 5 + 20 \log_{10} \frac{\sqrt{2\pi N}}{\tanh \sqrt{2\pi N}} \quad (2-8)$$

$$N = \frac{2}{\lambda} \delta = \frac{2}{\lambda} (a + b - c) \quad (2-9)$$

式中：

ΔL ：音衰減量 (dB)

$N = \frac{\delta f}{170}$ 為菲尼爾數 (Fresnel number)，無因次，

$\delta = a + b - c$ 為噪音傳播的音程差 (m)，

f ：噪音頻率 (Hz)，

λ ：入射音波波長 (m)，

a ：音源至隔音牆頂端的距離 (m)，

b ：隔音牆頂端至接收者的距離 (m)，

c ：音源至接受者之間的直線距離 (m)。

當 $N \geq 1$ 時，(2-8) 式可簡化為

$$\Delta L = 10 \log_{10} N + 13 \quad (2-10)$$

由 (2-9) 式看出， N 值和波長成反比例的關係，當高度一定，波長越小， N 值越大，隔音牆越高， δ 值越大， N 值也就大。當 N 值在 $-0.2 \sim 0$ 之間，此時音衰減值在 $0 \sim 5$ dB 範圍內，在自由聲場中隔音牆的最大衰減量不超過 24 dB。工程上為了簡便，可查閱圖 2.3-4 進行隔音牆音級衰減的計算，該圖是將公式 (2-8) 轉換成座標計算圖。

(二) 有限長隔音牆噪音衰減量

實際使用的都是有限長隔音牆，由於有限隔音牆兩端漏音效應，使得它的噪音衰減量比同樣高度的無限長隔音牆要小。有限長隔音牆的噪音衰減量可由下式估算：

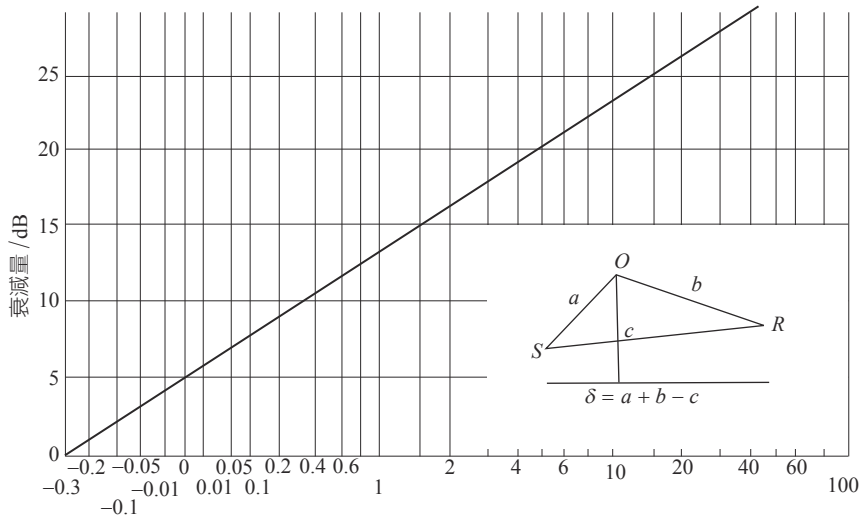
$$\Delta L = 10 \log_{10} \left(1 - \frac{\theta_2}{\theta_1} + \frac{\theta_2}{\theta_1} 10^{0.1\Delta L} \right) \quad (2-11)$$

式中：

ΔL ：無限長隔音牆的噪音衰減量，dB(A)，

θ_2 ：接受點對有限長隔音牆的張角，

θ_1 ：接受點對道路的張角。



$$N = \frac{2}{\lambda} \delta$$

註：負值表示隔音牆的高度低於音源與接收點的連線的高度。

圖 2.3-4 隔音牆音量衰減計算

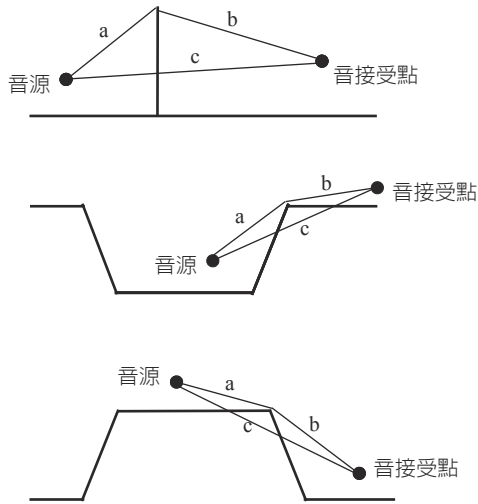


圖 2.3-5 無限長隔音牆噪音衰減量計算示意圖

四 隔音牆設計

(一) 設計噪音衰減量

接受點處的道路交通噪音值(實測值或預測值)與期望環境噪音值之差,稱為隔音牆的設計噪音衰減量。接受點處的期望環境噪音值應根據環境標準容許值和背景值來確定。當背景值(無道路時的環境噪音值)大於標準限值時,取背景值為期望環境噪音值;當背景值小於標準時,期望環境噪音值取為標準容許值。

(二) 隔音牆的位置

隔音牆的位置,應根據受保護物件與音源之間的地形條件綜合確定。一般情況下,當地形平坦,即受保護對象與音源處於同一高度,隔音牆越接近音源或接受點,其噪音衰減量越大。通常將隔音牆建於公路之側,為了行車安全,隔音牆應與道路保持一定的距離。該距離依路基結構不同而異,都市高架路一般將隔音牆設在防撞護欄上,而郊區公路則設在路肩外,一般距路邊緣應不小於 2 m,如美國規定隔音牆距行車道邊的最小距離約 9 m,日本規定隔音牆至少應架設在護欄(胸牆)外 1.5 m 或路塹坡頂外 1 m。

(三) 隔音牆的高度

在隔音牆的高度確定中,首先需要確定音源及接受點的高度。美國的統計資料顯示,常見機動車音源的高度是:小汽車為 0 m,卡車為 0.7 m,重型卡車為 2.44 m,典型接受點高度為 1.5 m。常採用的機動車音源平均高度為 1 m,接受點的高度為 1.2 m。當隔音牆的位置、音源及接受點的高度確定後,隔音牆與接受點、噪音源三者之間的相對距離及高度差便隨之確定。確定的設計噪音衰減量,計算出音程差,進一步便可算出隔音牆的高度。一般,隨著隔音牆的高度增加,音衰減量也增加,而且頂部越厚音衰減效果越好。但當衰減達到 24 dB(A) 時,隔音牆的高度再增加也不會使音衰減量有明顯地改善。在滿足噪音衰減的前提下,應努力使隔音牆的高度經濟合理。如鄰近居住區、學校和醫院等公共社區的高速公路上的隔音牆,其高度一般為 2 ~ 5 m。為了降低隔音牆的風荷載,隔音牆的高度不宜超過 5 m。若不得不超過 5 m,則可將隔音牆的上部做成折形或弧形,將頂端伸向道路側,以增大有效高度。如圖 2.3-6 所示,在設置 2 m 高隔音牆後之計畫路線範圍(水平距離 1 ~ 5 m 內)約可降低 8 ~ 9 dB(A),設置 3 m 高隔音牆約可降低 13 ~ 14 dB(A),設置 4 m 高隔音牆(或 3 m 高隔音牆加吸音圓筒)約可降低 16 ~ 17 dB(A)。

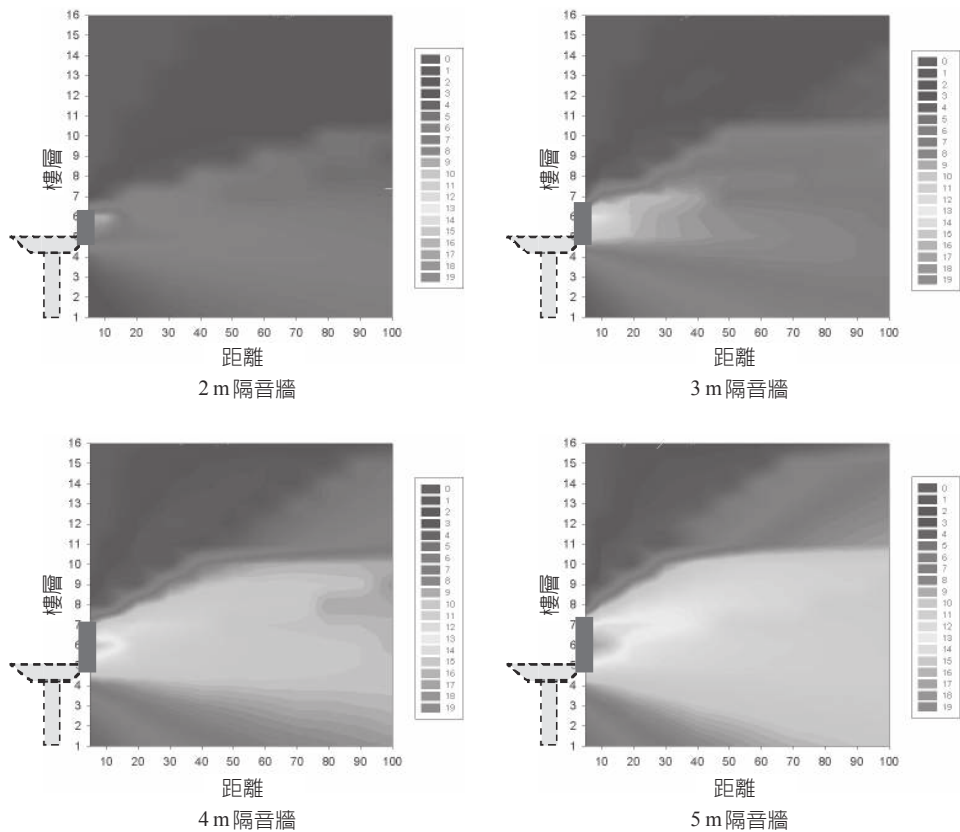


圖 2.3-6 設置不同高度隔音牆之減音成效示意圖

(四) 隔音牆的長度

隔音牆的長度應大於敏感點沿公路方向的長度，一般來講，隔音牆的長度應大於受保護對象到隔音牆距離的 2～3 倍。我國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 50 m。

(五) 隔音牆的材質

當具有一定能量的聲音入射到一個隔音材料上時，在音波的作用下，隔音材料依一定方式導致振動，這部分音能稱為透過音能，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，而絕大部分音能被反射 (reflection) 回去。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。當要求降低音量大於 10 dB(A) 時，要求隔音牆的透射音衰減量一般應大於 25 dB(A)，這

就需要使用密度高的材質，相應的材料要求面密度大於 10 kg/m^2 。一般像玻璃鋼及 20 mm 厚木板等實體材料都可滿足要求。常用的隔音牆材料有磚、混凝土塊及輕質材料等。爲了減少反射噪音，可在隔音牆表面採取吸音措施。

(六) 隔音牆的結構材料

隔音牆的荷載以風載和自重爲主，必要時考慮冰雪載等。結構形式上常使用懸臂結構，其設計比較簡單。爲了安全，結構設計時還應考慮防撞擊措施。隔音牆的結構材料是支撐聲學材料的結構或部件。它必須保證本身具有足夠的強度和剛度，同時保證與聲學材料結合處盡可能緊密貼合，最大減少噪音的透射量。通常，結構材料包括安裝隔音牆體結構的框架構件如預埋件、立柱、彈性固定件、螺栓連接件等及地基基礎。結構材料的選擇主要考慮材料本身在任何情況下都能支撐隔音牆，能抵抗當地出現的最大風力，耐腐防鏽，經濟上的合理性，與聲學材料配合的可行性，施工安裝方便，同時還要考慮日後養護維修方面的因素。

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，但其缺點爲厚重，予人以壓迫感，需藉由植栽和造型等減輕此種感覺，較能爲人所接受。

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音波而防音，此型隔音牆多正面開許多小孔或長條狀之孔，讓音波傳入隔音牆內後，經內裝之吸音材料 (absorptive material) (可爲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，且在台灣木材頗貴，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駛者的心理壓力。在透明式的隔音牆部分，有壓克力、聚碳酸脂板等材質，其耐久及耐候性能佳，設置透光型隔音牆及植栽綠化降低對景觀衝擊，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。表 2.3-1 中所示為一些不同材質類型的隔音牆適用範圍及其隔音降低噪音效果。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 2.3-2。

(七) 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。

(八) 隔音牆的設計法令與準則

1. 依據行政院環保署民國 97 年 12 月 3 日公佈之「噪音管制法」第十四條及民國 97 年 5 月 19 日「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民國 99 年 1 月 21 發佈之

表 2.3-1 不同材質隔音牆適用範圍及效果比較

類型	適用範圍及效果
土堤結構	適用於公路與受保護物件之間有充足空間可以利用的場合，是經濟有效的降低噪音辦法，降低噪音效果依土堤高度而異。
混凝土磚石結構	適用於郊區和農村區域，易與周圍自然環境相協調，價格便宜，且便於施工與維護，降低噪音效果約 10 ~ 13 dB(A)。
木質結構	適用於農村、郊區個人住宅或院落且木材資源比較豐富的地區的噪音防護，降低噪音效果約 6 ~ 14 dB(A)。
金屬和複合材料結構	目前世界各國普遍使用的結構形式，材料易於加工，便於安裝，可加工成各種形狀，易於景觀設計和規模化生產，降低噪音效果也很好。
組合式結構	根據現場條件、周圍環境、景觀要求和經濟條件因地制宜。

表 2.3-2 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))	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 Hand Book” 及廠商資料。

「環境音量標準」第四條「道路交通噪音環境音量標準」、民國99年1月21日發佈之「陸上運輸系統噪音管制標準」第四條「快速道路交通噪音管制標準」及第五條「高速公路交通噪音管制標準」，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。

2. 隔音牆減音目標應綜合考量以下相關環保規定及環評承諾(如果有環評)。行政院環保署民國99年1月21日公告之「陸上運輸系統噪音管制標準」第五條高速公路交通噪音管制標準。行政院環保署訂定「道路交通噪音評估模式技術規範」中之「噪音影響等級評估基準」。環境影響評估書件噪音防制承諾事項、歷次審查意見及結論(如果有環評)。
3. 路肩外側約100公尺範圍內密集住宅或醫院、學校等敏感受音處得考量設置隔音設施，並應配合現場地形、勘查、當地民眾陳情及噪音管制區分

類等，進行研判及評估隔音牆設置之位置、長度及高度。

4. 隔音牆之型式、材質、景觀美化、防音效果及經濟效益等，應依各區路段之背景環境特性及相關規定個案評估考量，並配合附近隔音牆配置，考慮其整體景觀美化進行設計。
5. 隔音牆應配合其他設施如照明、標誌、維護梯道、緊急電話、景觀植栽等之維護及整體美觀之需求，並考量行車視距之影響及其間標誌之視讀效果（參照交通工程設施佈設原則）而進行設計。隔音牆設置之位置、長度應在道路平面配置圖上標示，俾相關設施配合施工。設置長度凡連續超過 200 m 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火燒車等之滅火對策，其位置（除高架橋外）以隔音牆任一點到維修門不超過 100 m 為原則。
6. 為顧及未來都市發展而配合設置隔音牆之需要，本工程之橋梁護欄、擋土牆及鋼筋混凝土護欄等不論有無必要設置隔音牆，均應於設計時考慮隔音牆之荷重及承受風壓。（設置隔音牆路段，應以實際規劃牆高加載設計；其餘路段，設計時均應予以三公尺牆高加載。）
7. 隔音牆單位荷重：依設計考量採用之材質核算。
8. 若路線兩側均屬高層建築或雙側隔音時，得考慮採用吸音型板材，以避免兩側多重反射影響。
9. 隔音牆設計風壓： $\geq 390 \text{ kg/m}^2$ （風力約 12 級風）。
10. 隔音牆材質音響特性（吸音係數及穿透損失）及其他材料性能應參照公共工程會制定之「公共工程施工綱要規範第二篇現場工作第 02863 章隔音牆」相關規定進行設計，必要時得考量加設隔音牆頂端減音設施。

五 日本隔音牆實例

日本針對隔音上之需要，早已使用 4 公尺以上之隔音牆。但國內由於隔音牆抗風壓規定為 390 kg/m^2 ，遠較日本道路公團高架道路的 200 kg/m^2 及路工段的 150 kg/m^2 為嚴，導致使用上要注意結構上的負荷和經費的增加。此外超高隔音牆尚有日照、電磁干擾及景觀上的問題，一般為降低隔音牆設置對景觀衝擊或對駕駛人產生的壓迫感，可採用透光型隔音牆及植栽綠化以降低其影響，但在國內因空氣中粒狀物污染嚴重，未來維護時需耗費頗多人力以定期清洗，建議使用上仍需謹慎。至於一般 4~5 m 高隔音牆，約可較 3 m 高隔音牆多出 1~3 dB(A) 的減音量，半密閉式隔音牆（圖 2.3-7）總體減音量約在 15~20 dB(A)，全密閉式（圖 2.3-8）隔音牆則約在 25~30 dB(A) 左右，但



圖 2.3-7 日本半密閉型隔音牆

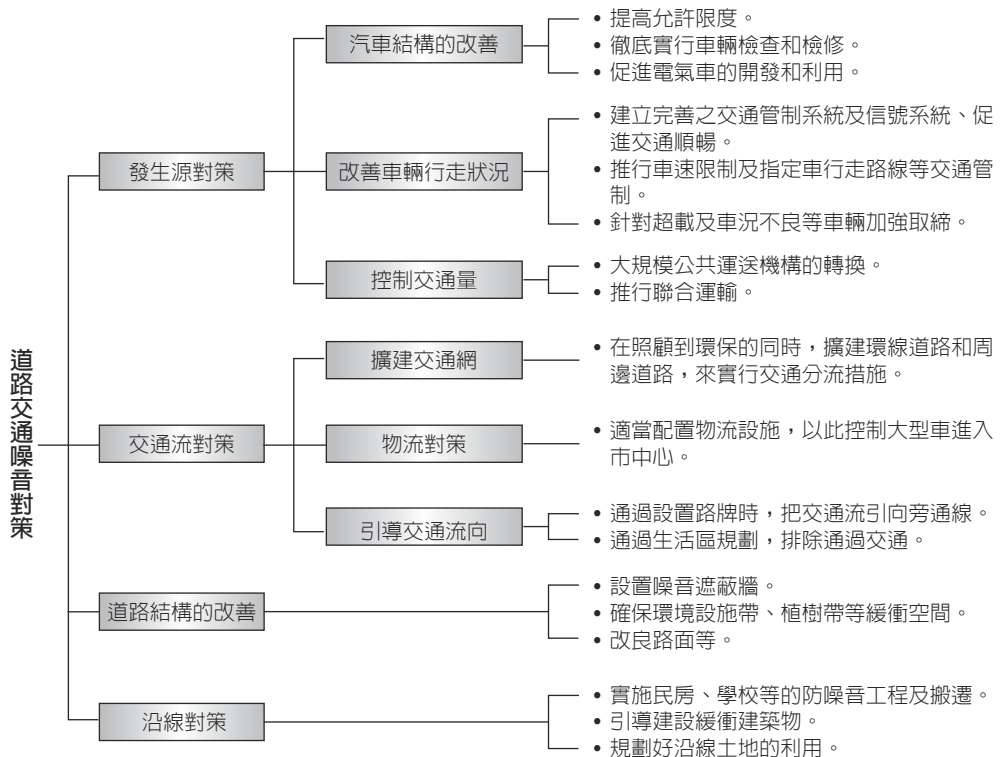


圖 2.3-8 日本全密閉型隔音牆

仍需視結構配置、敏感點位置及背景噪音量而變動。

我們很容易就想到，要完全防止噪音，只要把道路全部遮蔽就行了。例如，把道路全部做成隧道(全密閉型、隔音罩)，或者把其中的一部分弄成隧道形式(半密閉型、雙弧型)。這樣的話，噪音問題就可以基本解決了。可是我們不僅要考慮環境，也要注意道路的安全性和預防災害的能力，因此在制定計畫的時候要結合技術、財政等問題綜合考慮。實際上，隧道型道路的實例極其少見，只有在下面的情況才會用到：在穿過道路兩邊，單靠隔音牆無法解決問題的時候，不過另一方面，考慮到徵用土地的困難程度以及防制環境污染對策的提高，另外是半地下構造的道路，一部分道路在地下，道路的上方是部分露天部分設有頂棚的，這種形式就是半地下構造的道路。這種形式也可認為是水渠式的道路，上面兩側有突出的頂棚構造。突出的頂棚部分可以超過整個的 1/2，如圖 2.3-10。

有關日本道路交通噪音對策請詳圖 2.3-9 說明。



(備考)作為其他對策還有：(1) 在新建或改建道路時，實施環境影響評估；(2) 強化實施監測系統；(3) 推進防止噪音技術的開發研究；(4) 開發新交通系統；(5) 進行正確使用汽車的宣導活動等。

資料來源：行政院環保署，83年6月，中日工程技術研討會道路鐵路捷運交通噪音防治對策。

圖 2.3-9 日本道路交通噪音對策圖

這種形式的特點是，汽車發出的噪音可以經過側壁、頂棚、路面的多次反射，反射面如果具有吸音性，那麼沿途的噪音就會減少。並且，路面低於地面，在視覺上不會有損地域景觀。在市區和郊區的住宅地，這種兼顧環境的道路形式是很有趣的，這樣的道路，可以在主幹道路通過市區的地方常常看到。即使不是半地下構造，我們也可以把道路兩邊有廣闊的環境設計為綠帶，兼顧環境的道路形式。我國與日本的道路都是在比較狹窄的地方建設的，所以這種綠化帶道路很難實施，然而減少噪音的基本方法就是把住宅區和道路物理性的分開，在環境綠帶可以設置隔音牆，牆後面可以栽樹，樹木不但可以減少噪音而且還具有視覺上的美感。

(一) 低層隔音牆

低層隔音牆在國內尚無使用實例，主要在於國內一般道路規劃時並未預

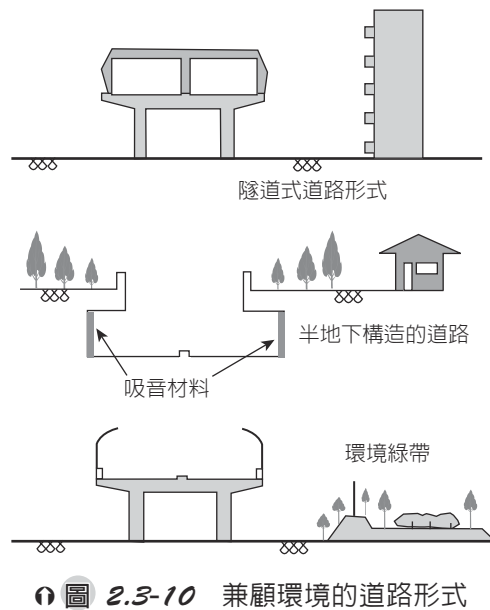


圖 2.3-10 兼顧環境的道路形式

留環境設施帶，導致對平面道路的噪音防制，無法設置隔音牆阻隔音量，故國內大多數的隔音牆均設置在高架道路的胸牆或路堤上，但低層隔音牆之設置為避免太高阻礙視線造成壓迫感，一般高度多僅在 1 公尺左右，其隔音牆背後 2 公尺高度以下之減音量在 3 ~ 5 dB(A) (日本各式低層隔音牆詳圖 2.3-11 所示)，主要仍在保護步道及沿街低層住宅的安寧，在日本使用的實例亦不多，實際應用仍待進一步研究。

(二) 頂端改良型的隔音牆

頂端改良型的隔音牆國內外皆有應用實例 (詳圖 2.3-12 所示)，日本使用實例相當多。其原理係應用音波在尖銳物體表面容易聚集，當音波欲繞經隔音牆頂端時，則設置吸音圓筒予以吸音衰減。一般而言，其效果可達到 3 ~ 5 dB(A) (高架橋段)，相當於再加高 2 公尺高隔音牆之設置效果，但也有日本實例資料顯示其效果僅在 1 ~ 3 dB(A) (平面段)。顯示其效果因道路結構的不同而有差異，由於其原理係利用音波繞經隔音牆頂端時予以吸音衰減，故對直接音大的案例效果不大 (如道路平面段隔音牆)，而若屬繞射音較大的案例 (如道路高架段隔音牆) 則其效果較大。

為了減少道路交通噪音，近年來大型的隔音牆開始設置起來，不過這卻引起弊端，比如電波輻射，日照受阻，美感不足，安全性能不夠等等。我們需要研究一種隔音牆，不是依賴高度而要使其隔音效果與其巨大的牆體相適



日本金屬吸音式低層隔音牆



日本混凝土吸音式低層隔音牆



日本金屬組合式低層隔音牆



日本金屬共鳴吸音式低層隔音牆

圖 2.3-11 日本各式低層隔音牆

應。基於這種需求，近十年來，對隔音牆頂端形狀以及隔音特性的改善方法的研究正急速發展。

頂端改良型的隔音牆的研究，在海外，最初是由加拿大的 May 和他的同事發起的，問題的關鍵如下。例如，在道路兩邊建 3 公尺高的頂端改良型的隔音牆，這種情況與在原有的 3 公尺高的牆壁上再加高 3 公尺的情況相比，顯然前者更有優勢，即頂端改良型的隔音牆的設置效果每單位高度是 5 dB(A)/m，而加高卻只有 1.5 dB(A)/m。如果是在原有的 3 公尺高的牆壁上再加高 3 公尺的情況，即加高的情況，用同樣的材料可以有更好的效果。因此，用改變隔音牆頂端的形狀來增強隔音功效，也就是說同樣高度的隔音牆用什麼樣的形狀更有隔音效果。那時考慮到的頂端形狀有下列三種，即 Y 型 T 型和箭頭型。如圖 2.3-13 所示。而在日本有藤原氏進行這方面的研究，他把隔音材料塗在隔音牆頂端，這樣隔音牆後面的音壓就會大幅度減少。關於這方面的研究正在飛速進展。



日本京都高速公路(笠型)



日本兵庫現芦屋市(ASE)



日本小田急線鐵路(消音箱型)



日本京都高速公路(吸音筒)

圖 2.3-12 新型隔音牆應用實例

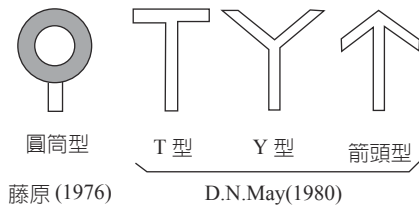


圖 2.3-13 1990 年以前的新型隔音牆研究例子

D.H.Crombie 等人於 1994 年指出：利用多重反射可以得到比加高單層牆壁更大的插入損失量。也就是說，使用相同的材料，與單純的加高一層牆壁相比，把材料分散開建幾道牆，使得音波發生多重反射，這樣有利於提高效率減少費用。只是，分散的多道牆的形式會佔用更多的土地，這是它的缺點。因此就出現了在隔音牆的頂端弄幾個分支來實現多重反射的形式。這就是 Multi-Edge 型隔音牆，圖 2.3-14 表示的是它的橫斷面，圖中，杯子狀的 c 圖的性能相對較好，這種形狀和後面的 1/4 影響管型很相似。

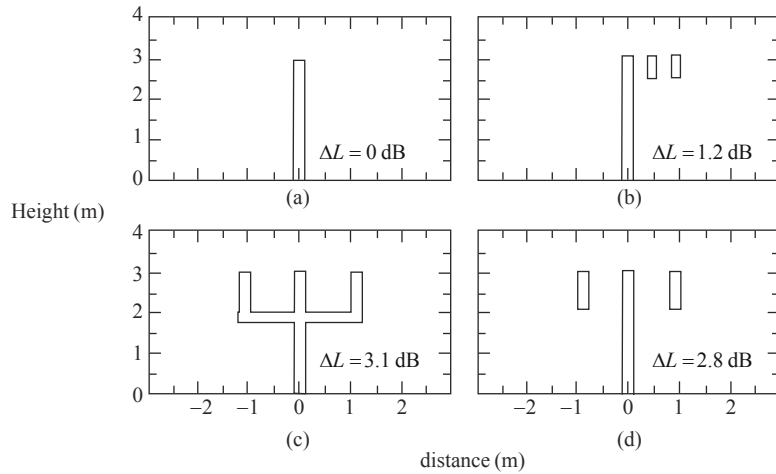


圖 2.3-14 D.H.Crombie 等人的 Multi-Edge 型隔音牆

(三) 圓筒型及其變形

在日本藤原等人在 1987 年提出圓筒型隔音牆之後，與 1990 年前後開始了道路用隔音牆的實際建設階段，最初考慮到視覺的美感因素，出現了蘑菇型隔音牆。現在在城市的 고속公路上可以看到圓筒形隔音牆和蘑菇型隔音牆，這種隔音牆的設置效果最大是 2.5 dB(A)，直徑達到 0.5 m。

藤原的研究不僅僅是把隔音牆的頂端做成圓筒狀，還把圓筒的表面弄得比較柔軟，這樣可以顯著降低隔音牆背面的音壓。柔軟的表面可以降低反射率，用英語說就是 pressure release，這個柔軟的表面就相當於音響管入口的部分。藤原在 1995 年的共同研究者大久保把音響管的入口排成圓周，從而實現了圓筒型的表面。其橫斷面的形狀如圖 2.3-15a 所示，是一個水車型。圖 2.3-15b 所示的，是金等人在 T 型的隔音牆上面的水平面的表面加上了音響管的入口，從而形成一個柔軟表面 (1996 年)。兩者的調諧頻率設置在 400 ~ 500 Hz 之間，通過模式進行試驗。結果，調諧頻率得到一個超過 10 dB(A) 的插入損失。如圖 2.3-15c 所示，頂部出現分叉的 Y 型隔音牆是渡邊等人開發的。這種隔音牆還有一個別名，叫馴鹿型 (鹿角型) 隔音牆。牆的頂端有樹枝狀的分叉，就像鹿角，現在日本第二東名公路的隔音牆就是採用的這種形式。

它是 Crombie 所設計的 Multi-Edge 型隔音牆的一種，也可以認為是音響管型隔音牆的一種。噪音非常嚴重的高等級公路，因為限制建築的規則很少，所以其上部的寬度可以達到 1 ~ 2 m。牆壁增高有利於減小噪音。在更早的時候，1982 年，水野等人開發了一個帶有像天窗一樣的開口的箱子，稱為干涉型控制音波裝置，如圖 2.3-15d。該裝置可以在相位上延緩進入箱子的音

波，使得從箱子上產生的繞射波受到影響，從而達到減少噪音的目的。新幹線的隔音牆採用的就是這種方式。英國的 G.R.Watts 等人也把它作為減少噪音的方法進行過計算和試驗，證明它的功效。

如上所述，關於新型隔音牆的研究開發，國外正進行著研究，實際應用也有一些例子。比如：藤原氏的圓筒型隔音牆，莊野的蘑菇型隔音牆，Y 型隔音牆的變形（就是馴鹿型隔音牆）圖 2.3-16，水車型隔音牆的變形（詳圖 2.3-17 所示），其設置效果由牆與道路的距離和繞射角的不同而不同，大體上說，噪音可以減少 2 ~ 3 dB(A)。

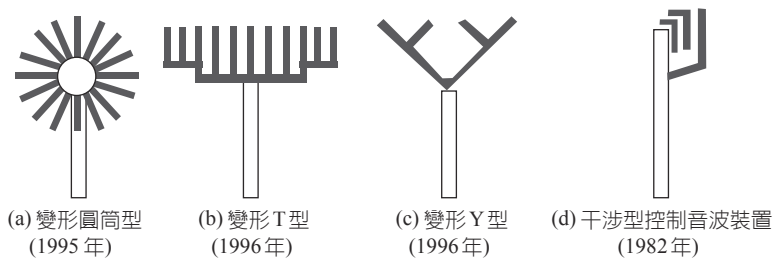


圖 2.3-15 各種變形隔音牆



圖 2.3-16 第二東名高速公路應用的變形 Y 型隔音牆

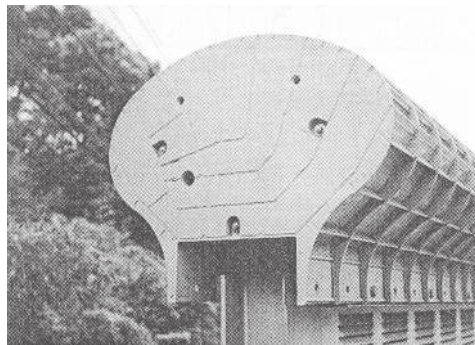


圖 2.3-17 大久保等人設計的變形水車型隔音牆

2.3.4 隔音綠化帶

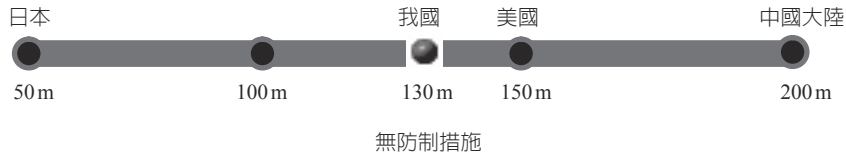
隔音綠化帶，也稱為隔音林帶，是指道路兩旁人工栽植的成行列分佈，以喬木、灌木為主的林帶。

推估高速公路交通噪音管制區範圍如：

- 早、晚間 21.1 ~ 96.7 m

- 日間 18.1 ~ 78.1m
- 夜間 27.2 ~ 130.9m

以夜間標準 (73 dB(A)) 判定，影響範圍約為道路邊起算 30 m ~ 130 m 以上；以早、晚間標準 (75 dB(A)) 判定，影響範圍約為道路邊起算 20 m ~ 100 m；以日間標準 (76 dB(A)) 判定，影響範圍約為道路邊起算 20 m ~ 80 m。在設計車流量條件下，車道數越多，衍生的車流噪音越多，故其影響範圍越大，以車流量較少的單向 2 車道而言，即使設置 4 m 高隔音牆後，高架段之影響範圍仍可達 40 m。以車流量最多的雙向 6 車道而言，即使設置 4 m 高隔音牆後，路堤段之影響範圍更可達 80 m 以上。經設置不同高度隔音牆後，受影響區域則有明顯減少現象。



綠化帶降低噪音原理在於當音波通過高於音線 1 m 以上的密集植物時，植物的吸收效應，即會因植物阻擋而產生音衰減。綠化帶的降低噪音效果因音波頻率、樹林密度和寬度而異，要得到綠化降低噪音的良好效果，樹要種得密，林帶要寬，而且要種植常綠闊葉林。一般道路的行道樹最多僅 1 dB(A) 的衰減，不同的樹種降低噪音的效果相差較大，但最大的效果也只是 0.3 dB(A) / m 左右，一般是 0.1 ~ 0.3 dB(A) / m，40 m 寬的林帶，可降低噪音 10dB(A) ~ 15dB(A)；30m 寬的林帶，可降低噪音 6 dB(A) ~ 8 dB(A)，20 m 寬的多層行道樹可降低噪音 8 dB(A) ~ 10 dB(A)，多少也包含了距離衰減的因素成分在內，窄的綠化帶的實際降低噪音效果並不明顯，僅有心理作用。

音波通過森林時產生的衰減量近似公式為：

$$\Delta L = 0.01 f^{1/3} r \quad (2-12)$$

音波通過灌木叢及草地時產生的衰減量近似公式為：

$$\Delta L = (0.18 \log_{10} f - 0.31) r \quad (2-13)$$

上二式中：

f : 音波頻率，Hz，

r : 音波在森林及灌木叢和草地上傳播的距離，m。

隔音綠化帶的設計宜遵守以下原則：

1. 選用樹冠矮、分枝低、枝葉茂密的灌木與喬木上下搭配，複層植栽，構成隔音林帶。
2. 林帶位置應盡量靠近公路，水平距離宜在 6 ~ 15 m 之間，林帶寬度不小於 15 m，一般為 20 ~ 30 m。
3. 林帶高度宜在 10 m 以上。
4. 林帶可以分層，在車道近旁可栽種灌木綠籬帶，稍遠處可種植草地，再遠處可栽種喬木林帶。

隔音綠化帶適用於滿足下列條件的環境敏感點的保護：

1. 公路營運中未來噪音超標。
2. 受保護的敏感點噪音超標量較小。
3. 公路與受保護物件之間有足夠的空間。

隔音綠化帶除了具有降低噪音功能外，還具有吸收 CO、NO₂ 等氣體，濾除灰塵，美化景觀，調節氣候，防風固沙，防止水土流失，涵養水源，淨化地表逕流等功能，因此在公路設計中應充分利用公路邊坡及路界內區域進行植樹綠化。在通過人群居住區域時，可適當增加路邊至路界寬度，進行植樹綠化。例如在日本，對於新建公路，當其通過居民區時，通常設計有 20 m 寬的綠化帶；在各國的一些高速公路環保設計中，對一些路旁有學校和醫院等環境敏感建築的路段，亦設計有綠化帶以降低噪音除塵。圖 2.3-18 是落葉樹和常綠樹混合的濃密樹林中的音衰減量。

總而言之，要靠一兩排樹木來降低噪音，其效果是不明顯的，特別是在城市中，不可能有大片的樹林，但如果能種上幾排樹木，開闢一些草地，增大道路與住宅之間的距離，則不但能增加噪音衰減量，而且能美化環境。另外，有關研究表明，綠化帶的存在，對降低人們對噪音地主觀煩惱度，有一定的作用，在穿越市區的路段，營造寬度較大的（如 15 ~ 20 m 以上）綠化帶，對降低噪音有較大的作用。

樹木和灌木叢被認為是很差的隔音牆，由於遮面的關係，它們提供的降低噪音效果非常有限，雖然樹葉可以提供不錯的視覺遮面，但由於音散射作用，它們只能對高頻噪音（通常為 2,000 Hz 以上）提供明顯的降低噪音效果。這些噪音的波長與樹葉尺寸差不多，如果樹木的樹枝或樹幹光禿，就更難有降低噪音效果了。

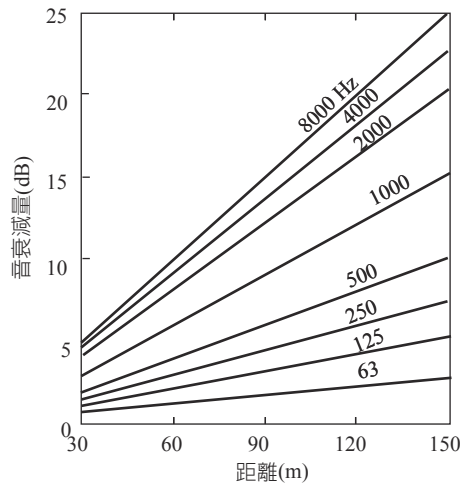


圖 2.3-18 視線可達 2.5m 的濃密樹林中的音衰減值

觀葉植物和樹木對低頻噪音的主要作用在於提高地面的降低噪音效果，因為它們的根部可以增加地面孔隙。地面的降低噪音效果產生於從噪音源到受體的直接音線與地面反射音線之間的音干擾。地面吸收取決於地表類型。在典型狀況下，地面吸收對數百赫茲的頻率效果最大。在某種程度上，變更地面狀況可以改變最大衰減的頻率，而利用植樹以外的其他方式，也可以達到此一效果。頻率在 100 Hz 以下時，穿過高大濃密草叢或灌木叢的音衰減為每公尺 0.01 dB(A) 以下，100 m 的地面覆蓋地帶而言，可期待之低頻噪音衰減還不到 1 dB(A)。

如果觀葉植物的濃密程度像個樹籬、灌木叢或樹林，頻率在 100 Hz 以下時，穿過這片觀葉植物的額外音衰減不超過每公尺 0.02 dB(A)。此外，如果樹林帶寬度超過 200 m，或甚至未達 200 m，其衰減效果將大打折扣。因此，就低頻噪音而言，可期待之額外衰減不會超過 4 dB(A)。為了提供降低噪音效果，樹木的高度必須高於從音源到受體路徑 10 m (30 呎) 以上，密集生長的深度也要超過 10 m 於風速和溫度垂直梯度 (音折射) 在樹林上方產生之曲線路徑的作用，儘管在樹頂高度的梯度減少，樹木的降低噪音效果可能更低。

在道路沿線兩側及路肩以外道路用地範圍內種植樹木和花草，不僅可以美化環境、穩定路基、防止道路邊坡受雨水沖刷，而且可以通過樹木枝葉搖擺和樹葉的生長方向來削弱噪音的傳播；路邊的草皮可以減少噪音的反射，從而衰減交通噪音，樹木對噪音的衰減在高頻範圍內效果較好。從樹木種類來看，樹冠矮的喬木比樹冠高的喬木降低噪音效果好；闊葉類樹木比針葉類樹木降低噪音效果好，在公路布局時，最好選用喬木、灌木相結合種植，闊葉樹

與針葉樹結合種植，樹木與花草結合種植的方案。值得注意的是，儘管樹木並無可測得的降低噪音效果，但人們卻仍然相信，樹木有助降低噪音。可能的原因是：人們喜歡樹木、樹木能夠「柔化」環境、或微風吹過樹梢的聲音很順耳，可能是樹木遮住了機場的視線，如「眼不見為淨」之心態，有助於減輕噪音的厭煩感。

2.3.5 高架道路裡吸音設施

高架裡面吸音板係日本新開發之道路噪音防制技術，其配置位置同如圖 2.3-19 所示，其主要原理係利用高架橋裡面敷設吸音板或吸音圓筒之方式，降低車輛噪音在高架橋，兩旁建築物及地面間之多重反射 (multiple reflection)。由日本模式實驗結果顯示，其效果約在 2 ~ 3 dB(A) 左右，其設置又可分為吸音板及吸音圓筒兩種不同的形式。表 2.3-3 為高架裡面吸音板比較表。

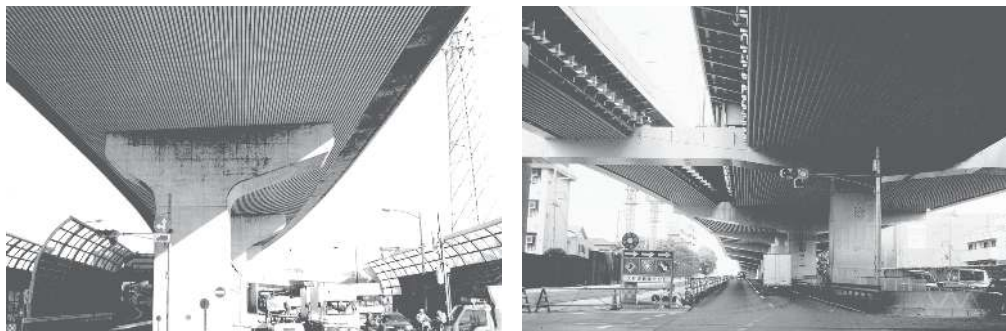


圖 2.3-19 日本高架裡面吸音板防制技術示意圖

表 2.3-3 高架裡面吸音板比較表

形式	特性	(NT/m ²)
多孔質 + 表面處理材料	適用於中、高頻率噪音，如發泡水泥、岩棉、噴結棉、玻璃纖維等材料，一般需加表面處理以增加其耐候性。	2,000 ~ 4,000
共振構造材料	適用於中、高頻率噪音，結構單純，清理維護較易固定性佳，但吸音範圍較窄。	3,000 ~ 6,000
混合式吸音材	將上述兩種綜合使用可得到廣頻率之吸音能力且具有較佳之耐候及固定能力。	4,000 ~ 7,000

註：施工費用不含高空鷹架搭設作業費用。

降低 (高架橋 - 地面) 複合型道路交通噪音對周圍環境影響的主要措施是隔音牆及於橋面板底部安裝吸音材料。如果增加高架橋及橋下公路側的隔

音牆的高度，可有效地增大音影區面積，從而減小交通噪音對周圍環境的影響。而由圖 2.3-20 可知，高架橋板面底部反射音對附近較低處的影響較為嚴重。而抑制這種反射音的最好方法就是在高架橋板面底部加裝吸音材料。

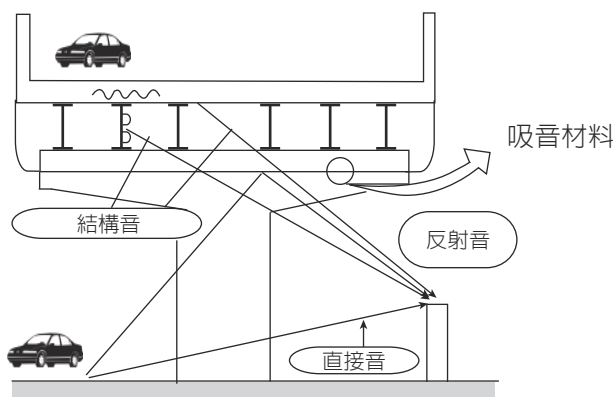


圖 2.3-20 高架橋 - 地面複合型道路防制噪音措施示意圖

如圖 2.3-20 所示，高架橋下方道路上的交通噪音在通過板面底部反射時，被覆蓋在橋面板底上的吸音結構消耗掉大部分音能，從而使反射音減弱；同時高架橋上方的交通噪音在透射途中經過吸音結構時，也被吸收掉部分音能。如果再在道路兩側設置合適的隔音牆，可使高架橋交通噪音對附近區域的影響降到最低。

圖 2.3-21 中所鋪設的吸音結構剖面圖。它是雙層結構，每層吸音結構的構造基本一致，即均由 PVF 材料構成外表面，並在其內部填充多孔吸音材料（玻璃棉）。同時，其內部還留有空氣層以構成空腔。通過合適的調整吸音結構各參數（包括玻璃棉特性、吸音結構尺寸形狀、空氣層厚度等），可使其在交通噪音能量集中的中高頻段內吸音性能最佳，以達到降低噪音的目的。

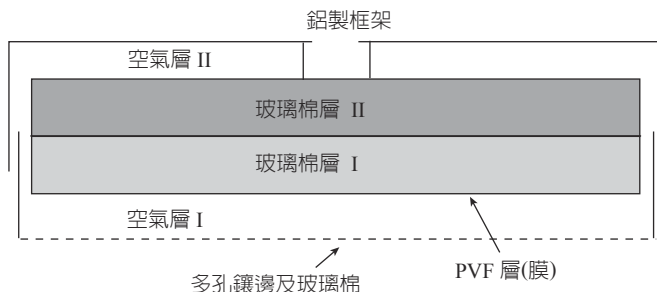


圖 2.3-21 某吸音結構示意圖

在半消音室中用微縮高架橋 - 地面模式 (縮尺模型) 並在其板面底部鋪設該吸音結構，所測得的吸音效果曲線如圖 2.3-22 所示。

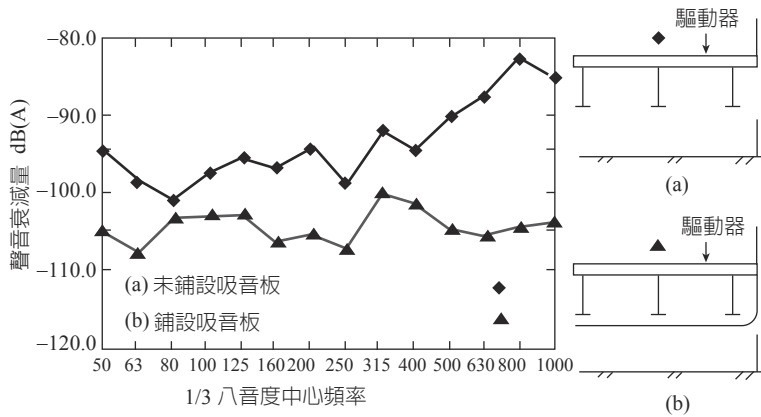


圖 2.3-22 某吸音結構吸音量測量曲線

菱形曲線是未鋪設吸音材料時的交通噪音量曲線；三角形曲線是鋪設吸音材料後的交通噪音量曲線。由這兩條曲線之差可以明顯地看出，該吸音材料對中高頻噪音的吸音量較大，可達 10 ~ 20 dB(A)，這是因為多孔吸音材料對中高頻音能吸收較大。同時高架橋上的車速較普通城區道路的車速更快，交通噪音能量主要也集中在中高頻部分，因此該吸音結構能夠有效地吸收交通噪音能量，減小高架橋 - 地面複合型道路結構的交通噪音對周圍環境的影響。

同時，應當在高架橋的設計中，充分考慮自身的綠化 (植栽) 來降低噪音問題，可因地制宜地在橋下種植灌木，灌木下種草。橋上兩側的檔欄要隔段設置能栽種下垂植物的永久性構築物，種植一些能抗旱、耐寒、抗廢氣污染的往下生長性植物及橋梁上爬藤類植物。

2.3.6 隔音罩

以隔音罩方式就是把整個道路都用隔音設施 (隔音牆) 全封閉起來，就如同隧道一般，使車輛與外界隔離，幾乎沒有噪音 (反射、繞射) 逸出，其降低噪音效果非常好，國外實有案例 (圖 2.3-23)。惟設置包覆隔音 (隔音罩) 方式的隔音設施 (隔音牆) 造價高，結構設計要求較複雜；另全封閉隔音罩使採光性降低，即使採用透明式隔音罩也效果有限，如果隔音罩較長，對駕乘人員也產生較大壓抑感，易產生疲勞。另外，全封閉的隔音罩內空氣不易流通，汽車排放之廢氣及造成之揚塵不易於隔音罩內擴散，影響隔音罩內之空氣品

質。但除了隔音罩之設置對高架段結構荷重須另外審慎考量計算外，針對高架段之路面以上兩旁住戶之減音效果對策中，仍以包覆隔音（隔音罩）方式效果最好，惟在考量上述相關造價、結構、廢氣、駕乘人壓抑……等因素，要審慎考量。



中國北京高架段半封閉式隔音罩



日本阪神高速公路（神戶線）隔音罩

圖 2.3-23 封閉式與全封閉型隔音罩

2.3.7 伸縮縫

伸縮縫噪音峰值頻率發生於 72 Hz 與 106 Hz，並針對一般小型車與休旅車做探討，得知小型車於 80Hz 時瞬間之最大噪音量為 78 dB(A)，休旅車為 87 dB(A)，比小轎車高出 9 dB(A)，可知此頻帶所產生之最大噪音量與車種或車重有關，另外將單一小型車、單一休旅車與混合車流做比較，其峰值頻率都發生在 80 Hz 與 315 Hz。量測數據顯示伸縮縫所產生之噪音為空腔共鳴之低頻噪音，且因低頻音無方向性，較不受遮蔽物之阻絕，因此若欲從音源外部隔絕噪音，可預期其效果必然不彰，較有效之解決方案須從音源本身著手，譬如以適當之方法填充除去伸縮縫下方之空腔體積。

高速公路伸縮縫而代之以的鋸齒型伸縮縫不但維修較簡便，對駕駛者的危險性也更低，而車輛在通過模組式伸縮縫時所產生之「鏘鏘」的彈跳聲，車速每降低 10 km/h 音強約會減少 1.8 至 2.5 dB，音壓約會減少 1.3 至 2.2 dB。不同種類輪胎（一般轎車胎）會有 1.1 dB(A) 至 2.3 dB(A) 之差異，且在同一種車速下越野胎較一般轎車胎音壓高出約 4.1 至 5.0 dB(A)。因此從國道高速公路之減噪對策來看，在對噪音敏感之路段，以小型車而言，如果車速可以降低 20 km/h（譬如從 110 km/h 降低至 90 km/h），配合安靜之輪胎與低噪音之柔性路面，則保守地估計，行車噪音約可降低 6 ~ 8 dB(A)。此外對於大型車輛而

言，降低車速亦能降低其動力系統的噪音，故若能降低大型車輛之車速，其所能降低之行車噪音就更不止於此。伸縮縫噪音源及振動源特性須先量測頻譜，伸縮縫處所量得之頻譜中的峰值頻率約 160 Hz 左右，此頻率之噪音即為民眾陳情之低頻噪音。改善噪音方式可使用低噪音伸縮縫如豎齒型伸縮縫，如圖 2.3-24 所示，或以吸音填充物除去伸縮縫下方之空腔體積或再包覆，如圖 2.3-25 所示。伸縮縫不同加權，典型之噪音頻譜詳如圖 2.3-26 所示。

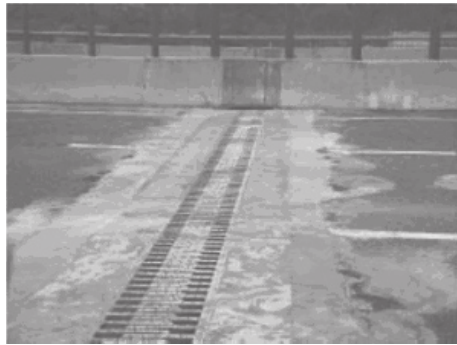


圖 2.3-24 豎齒型伸縮縫形式



圖 2.3-25 伸縮縫包覆形式

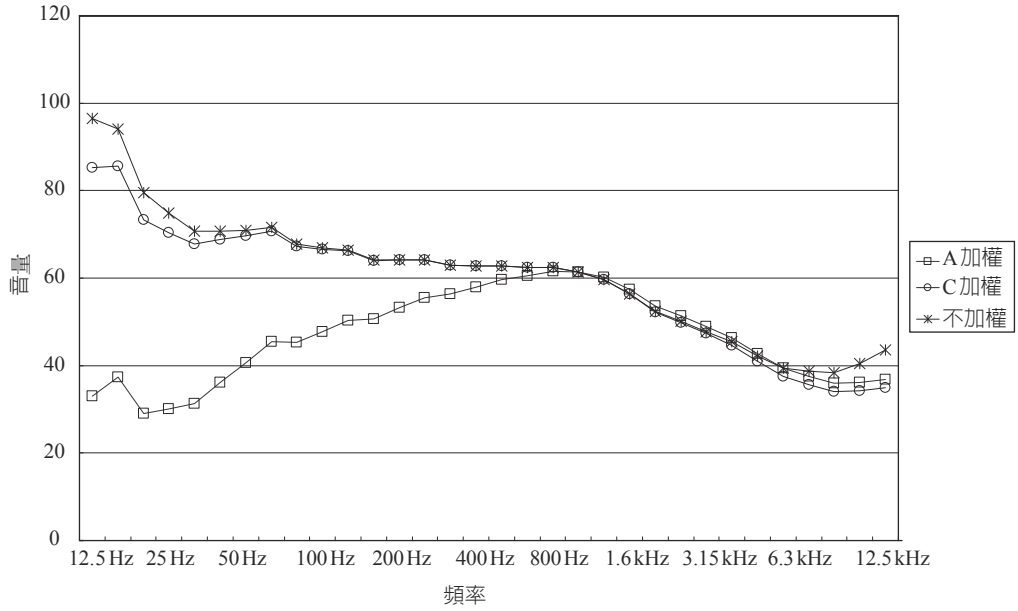


圖 2.3-26 伸縮縫不同加權頻譜圖



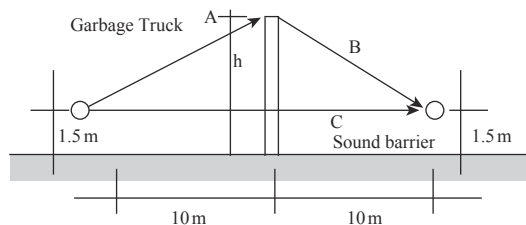
習題

一、問答題

1. 請說明道路噪音評估方法？
2. 請說明「環境音量標準」？
3. 請說明隔音牆設計流程？
4. 請說明隔音牆設計準則？

二、計算題

1. 請說明噪音量測中均能音量 (L_{Aeq}) 及最大音量 (L_{max}) 的採樣方法。
2. 有一遊樂場的馬路對面有一垃圾堆，每日環保局的垃圾車來收集垃圾並當場壓縮，此操作所發出的噪音達 80 dB，其頻率為 1,000 Hz。今欲建一隔音牆使遊樂場所受之噪音干擾減少 15 dB，聲音通徑差 $\delta = A + B - C$ (m)， λ 為聲波長 (m)， f 為聲波頻率 (赫茲)， c 為音速 (340 m/sec)， $\lambda = c/f$ (m)， N 為 Fresnel No, $N = \delta/\lambda$ 。其他細節請見下圖。請問此隔音牆須建多高？註：減少 15 dB 相當於 $N = 4$



3. 有一距地面 0.5 m 之點音源，其音響輸出功率位準為 110 dB，此音響之主控頻率為 2,000 Hz。有一觀察者距此音源 30 m，距地面 2 m。假如在音源與觀察者水平距離中間設置一無限長，3 m 高之擋音牆，假設為自由音場，音速為 343 m/s，試求在觀察者位置擋音牆設置前設置後之音壓位準。
4. 有一隔音牆，其點音源之頻譜分析結果如表中所列數據，音速為 340 m/s，試計算隔音牆之噪音衰減值？

八音階頻帶 中心頻率 (Hz)	127cm 處 音壓位準 (dB)	254cm 處 音壓位準 (dB)	波長 λ (m)	Fresnel N	衰減值 A (dB)	音壓位準 L_p (dB)
63	78	72	5.44	0.11	8	72-8=64
125	86	80	2.72	0.22	9	80-9=71
250	88	82	1.36	0.44	10	82-10=72
500	88	82	0.68	0.87	13	82-13=69
1,000	89	83	0.34	1.75	15	83-15=68
2,000	78	72	0.17	3.5	18	72-18=54
4,000	68	62	0.085	7.0	21	62-21=41
8,000	58	52	0.042	14.0	24	52-24=28
對數和	94.1	88.1				76.6

5. 一機器置於隔音牆後 4 m 處，且其位置較地面高 1 m，假設其頻率為 500 Hz，試問隔音牆高度應為何，方可使位於隔音牆後面，距該牆 8 m 較地面高 1.5 m 之接受者能減少 13 dB ？
6. 有一距地面 0.5 m 之點音源，其音響輸出功率位準為 110 dB(re1pw)，此音響主控頻率為 2,000 Hz。有一觀察者距音源 30 m，距地面 2 m。假如在音源與觀察者水平距離設一無限長，3 m 高之擋音牆，假設為自由音場，音速為 343 m/s，試求擋音牆設置前與設置後觀察者位置之音壓位準。插入損失 (IL) 可由下式求得：

$$IL = 0 \quad \text{當 } N < -0.1916 \quad IL = 5 + 20 \log \left(\frac{\sqrt{-2\pi N}}{\tan \sqrt{-2\pi N}} \right) \quad \text{當 } -0.1916 \leq N$$

$$IL = 5 + 20 \log \left(\frac{\sqrt{2\pi N}}{\tanh \sqrt{2\pi N}} \right) \quad \text{當 } 0 < N < 5.03 \quad \text{當 } IL = 20 \quad \text{當 } N \geq 5.03$$

N 為 Fresnel number。