

# 城市道路環境噪音控制

## 摘要

噪音防治並不是完全消除噪音，完全消除噪音是沒有必要的，也是不可能的，而是要用最經濟的方法把噪音限制在某種合理的範圍內。本文針對城市道路所產生之噪音，就低噪音路面、噪音傳播途徑控制與受音者防音設施三部分，論述相關的原理與控制技術進展，期透過適當措施之推廣以減輕城市道路噪音影響。

關鍵詞：環境音量標準、隔音牆（Barrier）、透過損失（Transmission Loss）。

## 一、噪音控制的原則

噪音自音源至受音者的過程是音源輻射→傳播途徑→受音者（Receiver）。由此，噪音控制的原則應是首先降低音源噪音輻射，其次控制傳播途徑，最後受音者防音設施。

### （一）降低音源噪音輻射

城市道路交通噪音主要由車輛動力噪音和輪胎噪音構成，隨著車速的提高和車輛動力噪音的降低，輪胎噪音的影響已舉足輕重。

### （二）控制噪音傳播途徑

控制噪音傳播途徑，是目前降低道路交通噪音的主要方式。

- 1.控制路線距學校、醫院、村莊及城鎮居民區等環境敏感點的距離，這是最有效的，也是最經濟的噪音防治措施。
- 2.在噪音傳播途中設置隔音牆使其產生衰減。

### (三) 保護受音者

對於道路交通噪音，採用受音者個人保護措施是不可行的，但可對受音者生活、工作的地點，如學校教室、醫院病房和居民住宅等建築物實施隔音措施。

而城市道路環境噪音(Ambient Noise)防制措施目標，應符合行政院環保署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」。<sup>【1】</sup>

## 二、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50km/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”(除鳴笛等突發噪音外)。據原聯邦德國的研究，從改進汽車輪胎來降低輪胎噪音源是十分有限的，僅可降噪約1dB(A)。因此，從噪音防治角度，鋪築低噪音路面降低交通噪音源無疑是有效的措施。

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。

### (一)低噪音路面理論

#### 1.輪胎噪音的物理現象

輪胎與路面接觸噪音的大小不僅與輪胎本身(如表面花紋)有關，更主要的取決於路面的表面特性。概括起來，輪胎噪音的物理現象有下列三方面：

(1)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。

(2)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，在輪胎噪音中占主要地位。

(3)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。

## 2.低噪音路面的原理

原先爲了行車安全，鋪築開級配透水瀝青混凝土面層，以使路面上的雨水由表面至內部連通的孔隙網迅速排出。就是由於面層具有互通的孔隙網，產生了驚人的降低交通噪音的功能，於是引發了多孔隙低(降)噪音路面的研究。低噪音路面的原理概括如下：

- (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界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，且使氣泵噪音的頻率由高頻變成低頻。
- (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)良好的平整度，降低了衝擊噪音。

### (二)低噪音路面的材料構造

低噪音路面分爲瀝青混凝土和水泥混凝土兩類，目前對瀝青混凝土低噪音路面研究較多。

#### 1.多孔隙瀝青路面

##### (1)單層多孔隙瀝青混合料面層路面

該路面的構造是在普通密級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，由測定及資料介紹，面層的厚度以4~5cm、孔隙率20%左右爲宜，該路面鋪築較簡單，也較經濟。【2】

##### (2)超厚多層多孔隙瀝青混合料面層路面

該路面的多孔隙瀝青混合料層厚度爲40~50cm，一般設四層排水瀝青混合料和4cm厚的多孔隙瀝青混凝土面層，每層的材料配級不同，其目的是可增加降低噪音效果。

#### 2.水泥混凝土低噪音路面

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降噪音委員會，他們收集匯總了各國的研究成果，水泥混凝土面層的降低噪音方式歸納如下：

- (1)路面應具有良好的平整度，不允許存在間距為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，還可降低衝擊噪音，在水泥混凝土中加入增塑劑，澆築刮平表面後再拉縱向條紋，不同的縱向條紋表面構造，降低噪音量之能力差別較大。
- (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，30cm厚的加氣混凝土面層，其孔隙為20%左右，對降低輪胎噪音有利，但其造價較高，表面強度較低，抗凍性也有問題。
- (5)粗糙面層，在新鋪築的水泥混凝土路面上(可不設封面層，但強度需足夠)，用環氧樹脂和礫石鋪設面層。該面層既有粗糙度，又有彈性，據報導，其降噪效果比多孔隙瀝青路面還要好。

### (三) 低噪音路面的效益

#### 1.可能減低的噪音量

從歐洲一些國家鋪築的開級配多孔隙瀝青路面試驗路段測得的結果，較傳統的密級配路面降低噪音3~6dB(A)，雨天可降低約8dB(A)。試驗路面層的孔隙率大多為20%左右，是否可再加大孔隙率進一步降低噪音，該課題正在德國卡爾斯魯爾工業大學進行研究。法國Rhone省聯合Michelin研究室，從1988年起對低噪音路面的理論進行研究，得出的結論是採用加厚多孔隙路面可以降低噪音10dB(A)以內，但最大不會超過10dB(A)。

#### 2.耐久性和可靠性

荷蘭、法國等試驗多孔隙瀝青路面在使用多年後(如法國使用6年)測試，其透水性和附著性仍令人滿意，對抗疲勞、老化等都表現出很好的耐久性。德國1986年起在萊茵地區對低噪音面層進行的長期觀察也表明，在透水性、耐久性、抗形變能力和使用性能等方面沒有發現任何

變化。也有一些國家，如日本研究認為，多孔隙瀝青面層的孔隙率隨使用時間下降，路面抗凍性差，表面空隙被泥沙堵塞導致透水性及降低噪音效果下降。

關於低噪音路面的材料構造、鋪築技術和養護管理等還需全面深入的研究，然而它的降低噪音效果是肯定的。

### 三、噪音傳播途徑控制

#### (一)區位防音規劃

合理的道路規劃和區域規劃，對噪音控制具有重要意義，道路規劃和區域規劃時應考慮以下問題：

- 1.交通幹線應避免穿越城市市區和鄉鎮的中心區。盡可能避讓學校、醫院、城鎮居民住宅區和規模較大的村莊等環境敏感點。
- 2.城市道路兩側應佈置商業、工貿、辦公等建築，以起如隔音牆作用。臨街如建住宅時，將臨路側佈置廚房、廁所等非居住用房，或採用封閉門、窗、走廊等隔音措施，以減小噪音干擾。(如圖1)
- 3.交通幹道與學校、住宅、醫院之間設綠地或其他非敏感性建築。

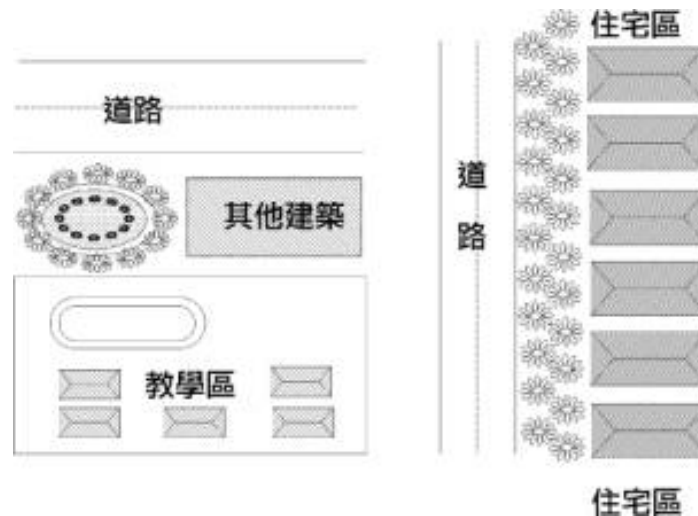


圖1道路與建築的合理佈置示意圖

## (二)路徑噪音控制措施

### 1.控制路線與環境敏感點的距離

噪音隨傳播距離的衰減和在傳播途中的吸收衰減是聲波的基本性質，利用基本性質控制路線與敏感點的距離，是交通噪音防治的根本途徑。由線音源模式，當距行車線的距離為2倍時，噪音級降低3dB；當為4倍時，噪音級降低6dB；……此外，如接受距地面高度小於3m時，因地面吸收的衰減也是十分顯著的。道路選線除應保證行車安全、舒適、快捷、建設工程量小等原則外，還應根據環境噪音允許標準控制路線與環境敏感點的距離，最大限度地避免交通噪音擾民。

### 2.合理利用障礙物對噪音傳播的衰減

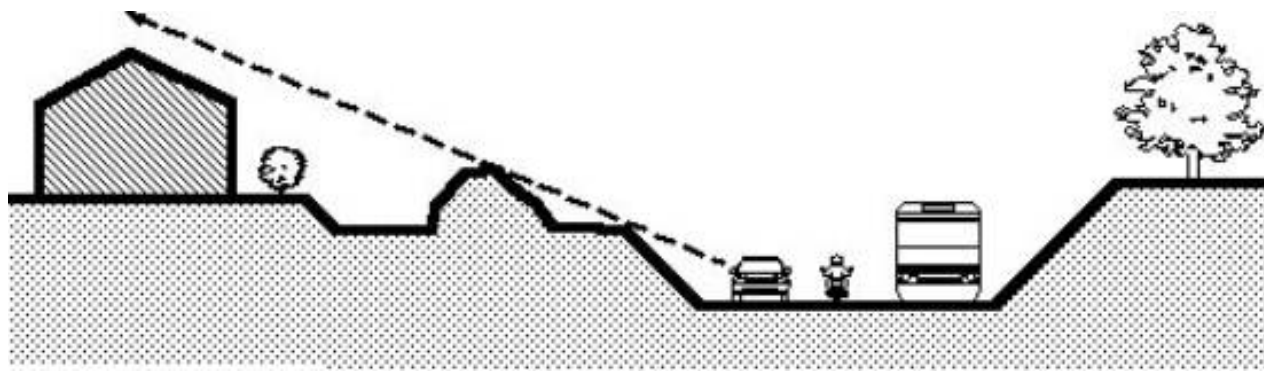
噪音傳播途中遇到隔音牆，會對聲波反射、吸收和繞射而產生衰減。

(1)利用土丘、山坡降低噪音。路線布設時，盡可能利用地貌地物當作隔音牆。將路線布設在土丘外側，使村舍處於陰影區（如圖2）。

(2)利用路塹邊坡降低噪音（如圖3）。

噪音傳播線

圖2利用土丘做隔音示意圖



噪音傳播線

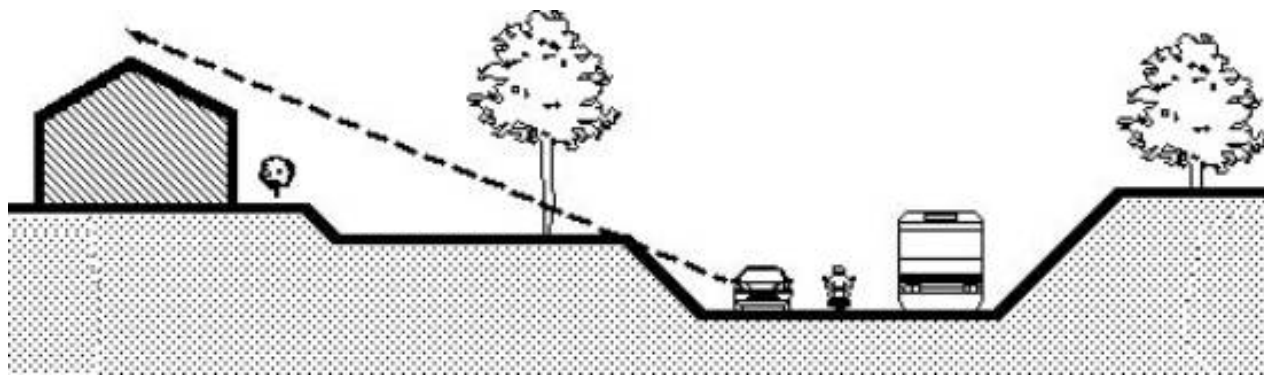


圖3 利用路塹做隔音示意圖

(3)利用構築物或建築物降低噪音。構築物如土壤、圍牆，沿街的商務建築和其他不怕噪音干擾的建築(如倉庫等)能起到很好的作用(如圖4)。

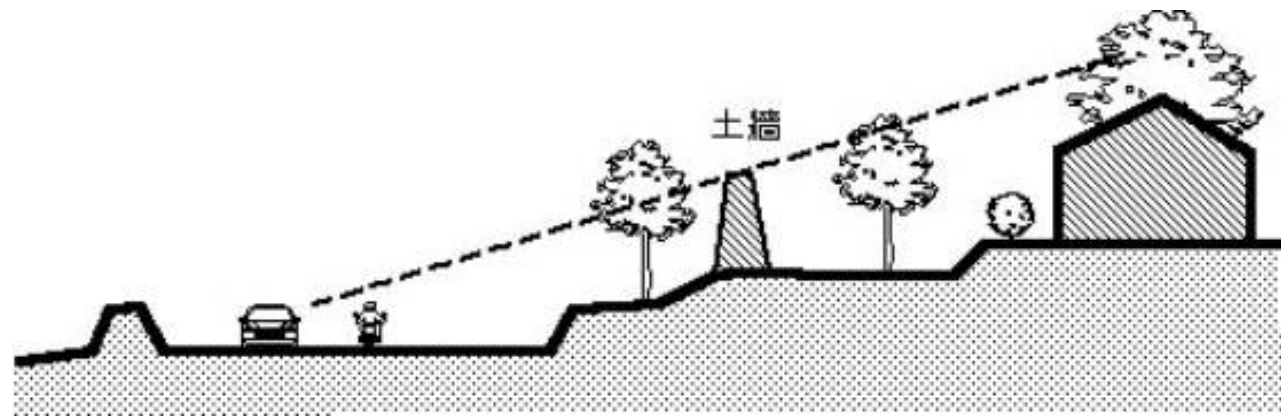


圖4利用建築物（土牆）降低噪音之平面佈置示意圖

(4)利用綠帶降低噪音。道路路線布設應儘量利用原有林帶的環保作用，還應加強道路周圍綠化，改善環境品質。

(5)改善城市道路設施，如路面加寬、增設慢車隔離帶、雙行線改單行、架設跨線天橋、建立交橋，或使快、慢車和行人各行其道，不僅改善了行車條件，而且使道路交通噪音有所降低。

上述設施路面加寬10m改善後噪音級約可降低5dB(A)，增設道路、慢車隔離帶改善後噪音級約可降低10dB(A)，雙行線改單行改善後噪音級約可降低5dB(A)，架設跨線天橋改善後噪音級約可降低4dB(A)，建立交橋改善後噪音級約可降低2dB(A)【3】。

### (三)道路隔音牆設計

#### 1. 隔音牆噪音衰減量計算

建造隔音牆的材料及構造形式較多，不論何種材料構造，其透過損失值必須滿足基本要求，其原理係利用不同之頻率來阻絕空氣中聲音的傳播，將大部份的聲波反射回去，一般所謂良好的隔音材料(Acoustic Insulation Material)，其質量都較大且密度偏高（如：混凝土、鐵等常見重質材料），由於質地密度、聲波因傳遞介質改變而容易被反射；反之質地輕盈之保麗龍、紙張類之輕質材料則無此隔音特性。空氣中聲音傳至隔音牆背後接收點的噪音，有繞過隔音牆和透過隔音牆的兩部分聲能。隔音牆噪音實際衰減量為：

$$\Delta L = 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{(10^{-0.1 \Delta L_d} + 10^{-0.1 \Delta L_r})} \right] = \Delta L_d - 10 \log_{10} [1 + 10^{-0.1(\Delta L_r - \Delta L_d)}]$$

式中： $\Delta L$ —隔音牆的實際噪音衰減量，dB；

$R$ —隔音牆對噪音透射的隔音量，dB；

$\Delta L_d$ —噪音繞過隔音牆產生的衰減量，dB，即為隔音牆的設計噪音衰減量。

由上式知，當 $\Delta L_d - \Delta L \leq 0.5\text{dB}$ 時，解得 $R - \Delta L_d \geq 10\text{dB}$ 。這就是說，當隔音牆自身的透過損失值比其噪音衰減量大10dB時，透射音對衰減量的影響小於0.5dB。因此，隔音牆壁體的透過損失值至少應比其設計噪音衰減量大10 dB (對於實體材料構造通常是滿足的)。即： $R \geq \Delta L_d + 10$

另隔音牆噪音衰減量計算方面，國內多採用之電腦模式包括德國SOUNDPLAN、法國MITHRA及德國CADNA噪音評估模式，詳細內容請參考環保署之「道路交通噪音評估模式技術規範」<sup>【4】</sup>。

## 2. 隔音牆設計

### (1) 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。

### (2) 設計受音點

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。

### (3) 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。為了降低隔音牆的風荷載，隔音牆的高度不宜超過5m。如需超過5m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。

### (4) 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50m者，以50m長度設置。

### 3. 隔音牆構造設計

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，歸納起來可分為：(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。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3~4dB(A)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繞射的聲波。設置長度連續超過200m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 m為原則，但高架橋無法設置者除外。

隔音牆的荷載以風荷載和自重為主，設計風壓大於或等於 $390\text{kg/m}^2$ 。【1】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。-

### 四、受音者防音設施

綜合目前各國在防音設施的使用經驗整理歸類下列五大項：

(一) 窗戶：窗戶是主要的噪音侵入處，常見的是單層玻璃及鬆動的外框，使窗戶成為噪音侵入的關鍵點，而窗戶遮音效果常小於20dB。建議改善方式：

- (1) 使用厚層玻璃來阻隔低頻噪音。
- (2) 使用雙層玻璃。
- (3) 使用獨立而厚重的窗框。
- (4) 在玻璃邊緣加裝合成橡膠襯墊。
- (5) 填塞窗戶縫隙。

(二) 門：噪音由門縫中洩漏所致，加強門縫及門與門框之氣密是改善門噪音穿透的第一步。建議改善方式：

- (1) 增加門的面密度。
- (2) 使用實心門。
- (3) 在空心的金屬門中填充玻璃纖維。
- (4) 更換門及門框。
- (5) 在門底部採用密合設施。

(三) 牆：常用牆材是鋼筋水泥或磚造，鋼筋水泥的噪音隔離度很高（遮音效果可大於50dB），所以鋼筋水泥牆一般是不需要改善的，老舊建築如使用木造牆或其他材料如壓克力塑膠片、金屬牆面板等則有必要加裝第二道牆。

(四) 屋頂：常用的屋頂大都是輕質鋼筋水泥，並已有適度的噪音衰減度（遮音效果大於35dB），如要進一步加強噪音改善的效果，應由屋頂及牆柱之結構負載，聲音穿透的路徑量測，增加質量或於屋內上方加石膏板等方式著手。

(五) 空調：噪音的改善只有在窗或門關閉時有效，這意味著必須有空調設備但又不能讓噪音進入，最需要注意的部份係如何運用窗型或分離式冷氣，以達到空調效率又不會讓空調設備產生之噪音進入。而進步國家都採用換氣消音箱來避免噪音傳入，又兼具通風效果，此方式為國內可借鏡參考。

綜合上述各主要防音設施之特色，就目前之建物多數以鋼筋混凝土而言，強調精緻的施工品質，為完成良好防音工程的最重要關鍵；再優良的隔音材料都須以技術與細心作後盾。

## 五、結語

目前城市道路交通噪音問題不能單靠重鋪（低噪音）路面就可以解決，還需要其他的適當措施，例如設置隔音牆、隔音罩…，各種防制技術之落實與被接受，皆需全面考量工程、安全、環境、觀瞻、維修和設計成本等因素，以最經濟的方法把噪音控制在某種合理的範圍內，解決現有道路的噪音問題。

## 參考資料：

1. 劉嘉俊等著（1999），「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，台灣台北。
2. 張玉芬（1993），「低噪聲路面材料構造吸聲性能試驗研究」，西安公路交通大學學報，中國西安。
3. 車世光等（1988），「建築聲環境」，清華大學出版社，中國北京。
4. 行政院環保署（2002），「道路交通噪音評估模式技術規範」，台灣台北。

