



Chapter

3



鐵路噪音

3.1 噪音特性

- 3.1.1 鐵路噪音的組成
- 3.1.2 鐵路噪音的特性
- 3.1.3 高架鐵路噪音的特性

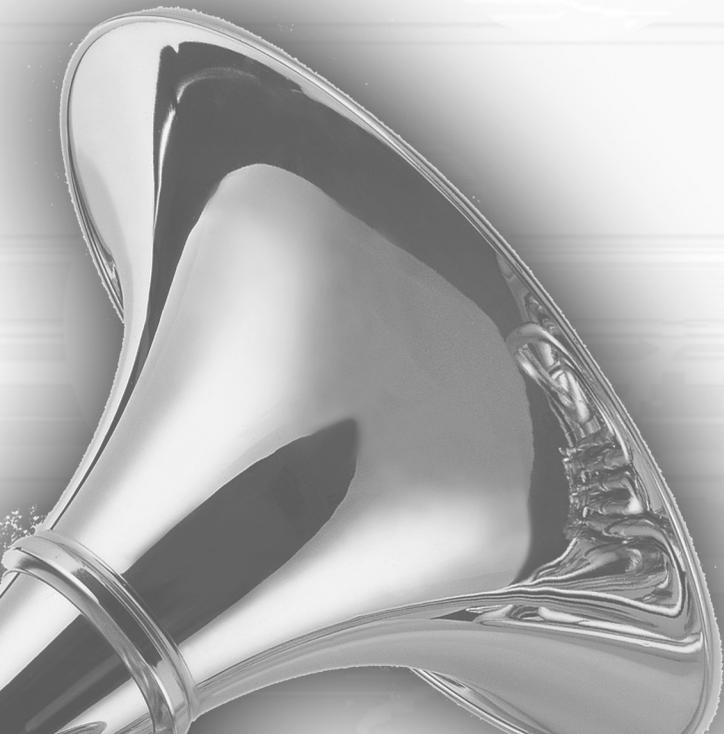
3.2 噪音預測和評估

- 3.2.1 噪音陳情案件
- 3.2.2 軌道系統交通噪音量測
- 3.2.3 鐵路噪音的預測
- 3.2.4 高速鐵路噪音預測
- 3.2.5 噪音的評估
- 3.2.6 複合性噪音

3.3 噪音控制

- 3.3.1 降低噪音源音量
- 3.3.2 控制傳播途徑降低噪音
- 3.3.3 控制敏感點

習題



軌道是鐵路系統的一部分，包括鋼軌、軌枕、聯結零件、道床 (foundation) 和道岔等，而軌道營運系統包括一般鐵路、高速鐵路、輕軌及大眾捷運系統。當一列火車在軌道上行走時，由於輪軌之間的相互作用，在小半徑曲線線路上就會產生強烈的尖叫音；當車輪經過鋼軌接縫處或鋼軌表面不平順處時，就會產生撞擊，引起振動；如果軌枕的基礎 - 道床在列車反覆作用下發生變形，就會影響縱、橫阻力，使軌枕縱、橫向移動，偏離軌道的正確位置，造成線路的不平順，引起噪音和振動。表 3-1 為各國營運高鐵路線、營運年期、營運時速及里程介紹。

表 3-1 各國高速鐵路比較表

國家	路線	營運年期	最高營運時速 (公里)	里程 (公里)
比利時	布魯塞爾—法國境內	1998	300	71
美國 Acela	波士頓—華盛頓特區	2000	240	736
中國	廣州—武漢	2009	341	1,068
日本 SKS	東京—新大阪(東海道線)	1964	270	515
	新大阪—博多(山陽線)	1972	300	554
	東京—盛岡(東北線)	1991	270	497
	大宮—新潟(上越線)	1982	275	270
西班牙 AVE	高崎—長野(北陸線)	1997	270	117
	馬德里—塞維利亞	1992	300	471
法國 TGV	巴黎—里昂(東南線)	1981	270	410
	巴黎—TOURS(大西洋線)	1989	300	280
	巴黎—CALAIS·FRETHUN	1993	300	333
	巴黎近郊(相互聯絡線)	1994	270	102
瑞典	里昂—瓦朗斯	1994	300	122
	台北—高雄	2007	300	345
德國 ICE	漢諾威—柏林	1998	250	264
韓國 KTX-II	漢城—釜山	2004	300	410
瑞典	Fleminsborg-Jarna	1995	250	31

除了上表中，中國新一代高速列車 2011 年底前後投入京滬高鐵營運，全程 1,320 公里，最高時速可達 480 公里以上。2008 年 8 月 1 日，京津城際高速鐵路開通營運，最高時速 350 公里；2009 年 2 月 26 日，武廣高鐵營運時

速 350 公里；2010 年 9 月 28 日，滬杭高鐵試運行最高時速達 416.6 公里，創下目前世界鐵路營運試驗最高速新紀錄。

3.1 噪音特性

鐵路噪音屬於流動污染源，具有線長、面廣、間歇性等特點，其污染程度隨列車速度的提高而加大。普通鐵路、輕軌及大眾捷運系統噪音的音源主要以軌道噪音為主，而高速鐵路，噪音包括橋梁結構的噪音、空氣動力噪音以及集電系統噪音。

3.1.1 鐵路噪音的組成

鐵路噪音通常包括列車鳴笛噪音、軌道噪音、橋梁結構振動噪音、空氣動力噪音以及集電系統噪音，下面分別就其噪音的特點進行介紹。

一 列車鳴笛噪音

列車鳴笛原因主要有兩個：一是為聯絡信號，主要為列車運行時司機與司機間及司機與車站值班員、扳道員、運轉車長間的聯絡，另一個為警告信號，列車經過彎道、信號機、平交道口時，警告突然橫跨軌道的人畜、車輛，或接近列車行走的人。因此，國際鐵路聯盟規定：列車風(汽)笛的噪音

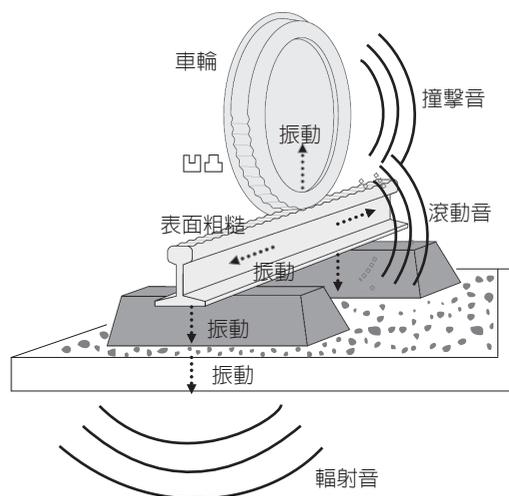


圖 3.1-1 軌道發生噪音及振動示意圖

在 5 m 處需達到 120 ~ 125 dB(A)，但也因此引起平交道附近居民的抗議。

二 軌道噪音

有研究發現軌道噪音通常是由 100 Hz 以上的輪軌系統的振動引起的。因而，能激起輪軌系統 100 Hz 以上振動的輪軌幾何不平順，均是軌道噪音的激擾源。通常將由於軌道結構和車輪的振動經由空氣傳播而產生的軌道噪音分為三類：撞擊音、滾動音與尖叫音。撞擊音是車輪經過鋼軌接縫處或鋼軌其他不連續部位及表面呈波紋狀鋼軌時所產生的噪音；滾動音是由於車輪和鋼軌接觸表面粗糙所造成的；尖叫音是列車沿小半徑曲線軌道運行時產生的強烈磨擦噪音。

軌道噪音是鐵路噪音的主要來源，我國鐵路的軌道噪音頻譜特性見圖 3.1-2。

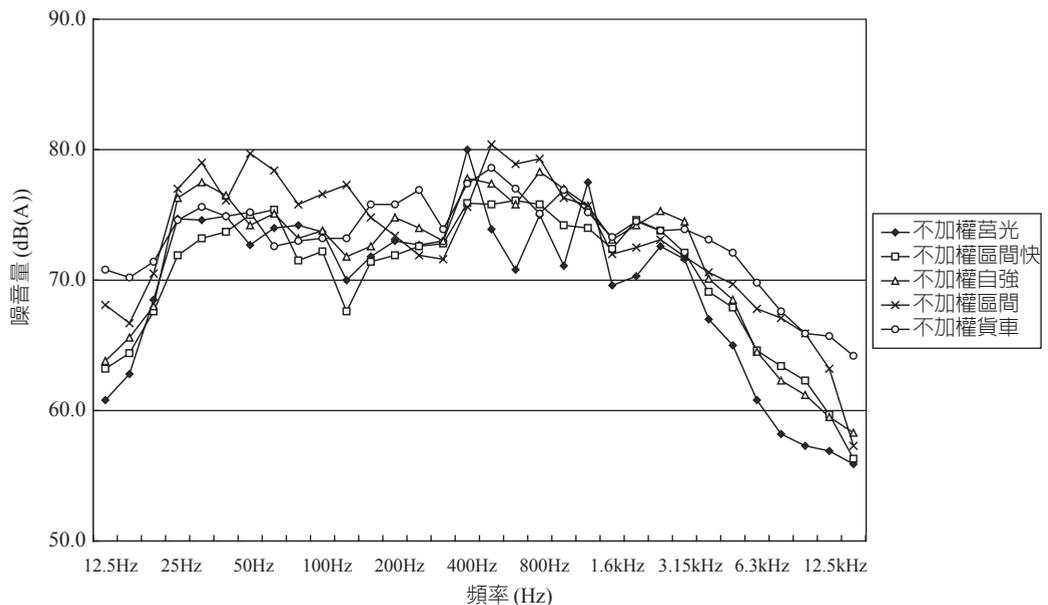


圖 3.1-2 我國鐵路噪音頻譜圖

三 橋梁噪音

橋梁噪音指列車運行通過橋梁時向橋梁的各個構件傳遞振動能量，產生橋梁各個構件振動，並形成二次結構振動噪音。橋梁噪音與普通路線比較的噪音增量見表 3.1-1 所示。

表 3.1-1 橋梁結構振動噪音與平面線路比較的噪音增加值

鐵路橋梁構造類型	噪音增量 /dB(A)
有碴道床的混凝土或混凝土板與鋼梁的混合結構	0 ~ 5
無碴道床的混凝土或混凝土板與鋼梁的混合結構	5 ~ 10
有碴道床鋼結構	5 ~ 10
無碴軌枕道床或鋼軌直接安裝在縱梁上的鋼結構	10 ~ 15
鋼軌直接固定在鋼板道床上的鋼結構	15 ~ 20

四 集電系統噪音

集電系統噪音主要是集電弓和接觸網的高頻噪音，高速時常發生的弓網脫離和導線波磨等引起的。它主要表現為三種形式：滑動音、電弧音、集電弓的氣動噪音。隨著滑板導線間的滑動引起的高頻波振動而產生滑動音；列車在高速運行時集電弓容易發生脫離而產生電弧噪音；集電弓突出在車頂上，幾乎受到與列車速度相同的風速作用而產生磨擦而引發集電弓的氣動噪音。其中電弧噪音可達 100 dB(A)。日本新幹線在電動車組車速為 200 km/h，所測得的集電系統噪音在中高頻區 1,000 Hz、2,500 Hz 和 5,000 Hz 有三個峰值，1,000 Hz、2,500 Hz 兩峰值是由車頂面音波反射引起的，而電弧噪音是一種寬頻帶噪音，其峰值約在 5,000 Hz 處。集電弓與集電系統圖如圖 3.1-3 所示。



圖 3.1-3 集電弓與集電系統示意圖

五 空氣動力噪音

空氣動力噪音主要是因為在高速鐵路上行駛的列車，會使車體表面出現

空氣流分離，並因此引起渦流，從而產生空氣動力噪音，這種噪音與列車的行駛速度、車體表面的粗糙程度以及車體前端是否流線化等因素有關。一般而言，鐵路線路各噪音值隨列車的速度的提高而增加，圖 3.1-4 為鐵路噪音值與列車速度的關係。據日本測試結果，高速鐵路的軌道噪音、橋梁結構的噪音、空氣動力噪音、集電系統噪音四種噪音源的強度及其點噪音的比重見表 3.1-2，測試條件：未磨軌的板式軌道、混凝土高架橋、垂直式隔音牆、測點距線路中心線 25 m，高於地面 1.2 m。

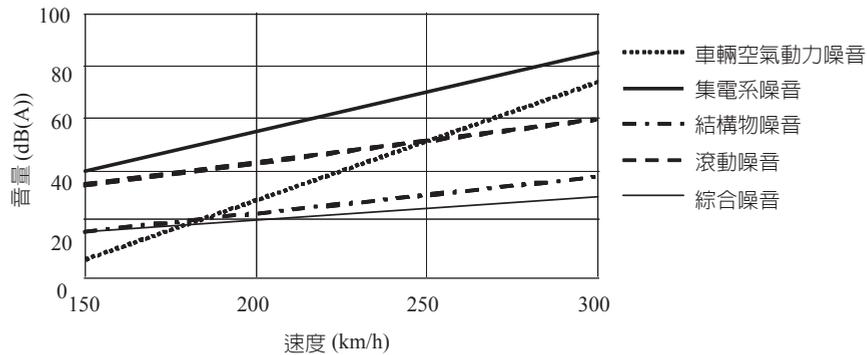


圖 3.1-4 噪音值與速度的關係

表 3.1-2 鐵路噪音主要噪音源強度及其所佔比重

噪音及 比重	速度					
	190 (km/h)		210 (km/h)		230 (km/h)	
音源種類	噪音 (dB(A))	比重 (%)	噪音 (dB(A))	比重 (%)	噪音 (dB(A))	比重 (%)
集電系統噪音	71.5	18	73	23	77.5	35
軌道噪音	77	63	78	58	79	50
建築物噪音	70	13	71	11	72	10
空氣動力噪音	<67	<6	<70	<8	<73	5
總噪音	79		80.3		82	

3.1.2 鐵路噪音的特性

一 頻譜特性

圖 3.1-5 是針對我國高速鐵路列車，速度 250 km/h 時，麥克風距高速鐵路水平距離約 22 m，與軌道面垂直距離約 18 m 處，所量測的噪音頻譜。由圖可看出，其音能量主要集中在頻率 $f = 500 \sim 3,500$ Hz 範圍。

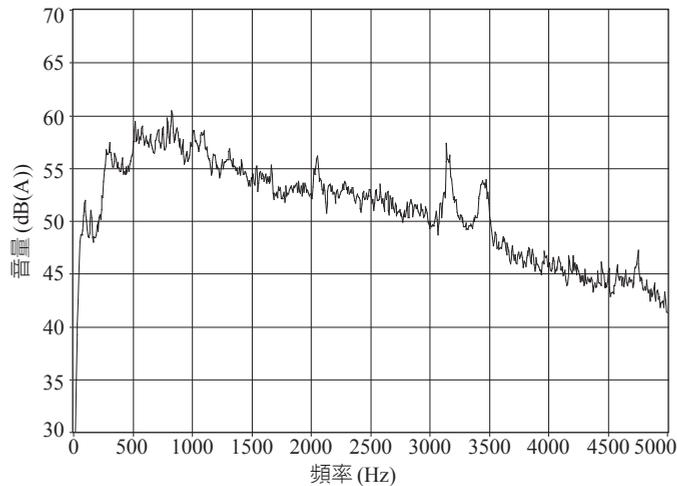


圖 3.1-5 我國高速鐵路噪音頻譜

台灣捷運系統的軌道噪音頻譜特性見圖 3.1-6，超過 70 dB(A) 之軌道噪音頻率範圍為 800 ~ 3 kHz，超過 80 dB(A) 之軌道噪音頻率範圍為 3 kHz 附近。

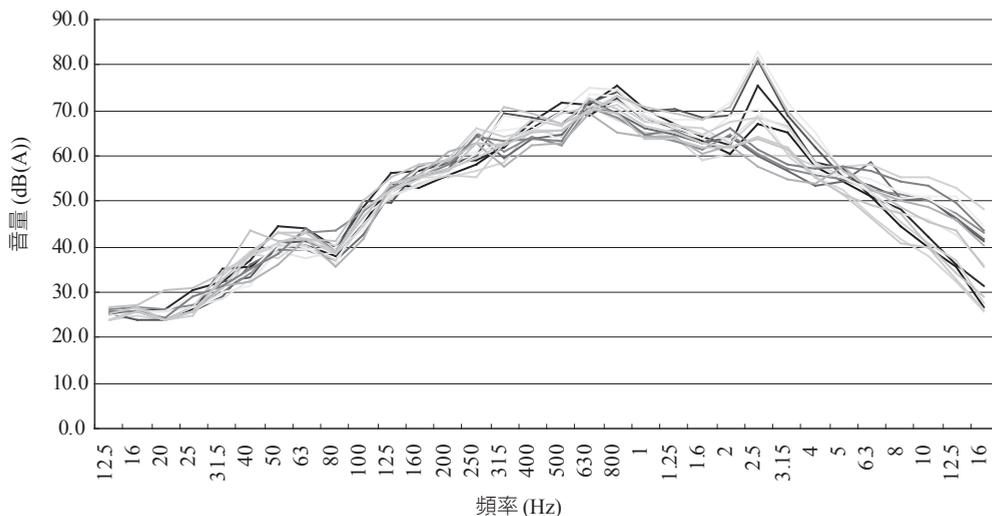


圖 3.1-6 我國捷運系統軌道平面段噪音頻譜

二 速度特性

車速對列車噪音有一定程度的影響，車速提高一倍，噪音約增大 8 dB(A) 左右，所以當列車提高速度後會嚴重惡化鐵路兩側的音環境。國外測得的高速鐵路噪音與列車速度的關係見表 3.1-3。

表 3.1-3 國外高速鐵路環境噪音與列車速度的關係

國家	關係式	測試條件
德國 ICE	$L_p = 33.6 \log_{10} u + 6.4$	到軌道中心距離 25 m 距軌面高度 3.5 m
法國 TGV	$L_p = 40.7 \log_{10} u - 6.9$	到軌道中心距離 25 m 距軌面高度 3.5 m
日本	$L_p = 58.2 \log_{10} u - 66.9$	到軌道中心距離 25 m 距軌面高度 1.3 m

三 距離特性

噪音的距離衰減和音源的種類、位置、傳播途徑等各種因素有關，國外高速鐵路做了一些測試，法國 TGV 東南線的測試結果見表 3.1-4，日本在北陸新幹線環境影響評估的噪音預測中採用的距離衰減量見表 3.1-5 所示，而我國一般鐵路，如果 $L_{\max, \text{mean}, \text{lh}}$ 為 96 dB(A) 左右時，至少隔離綠帶需 46 m 才可符合我國管制標準。

表 3.1-4 法國 TGV 東南線噪音隨距離衰減量

距軌道距離 (m)	25	50	100	200	300
峰值噪音量 (dB(A))	97.3	93.6	91.8	85.9	80.9
倍距離衰減量 (dB(A))		3.7 (0 ~ 50 m)	1.8 (50 ~ 100 m)	5.9 (100 ~ 200 m)	5.0 (200 ~ 300 m)

表 3.1-5 日本北陸新幹線噪音隨距離衰減量

距軌道距離 (m)	25	50	100	150	200
峰值噪音量 (dB(A)) (7m 高路堤、2m 高隔音牆)	77	75	72	68	/
峰值噪音量 (dB(A)) (7m 高架橋、2m 高隔音牆)	79	77	73	71	69
倍距離衰減量 (dB(A))		2 (0 ~ 50 m)	3 (50 ~ 100 m)		5 (100 ~ 200 m)

四 高度特性

圖 3.1-7 為距軌道中心線 30 m 處，傳聲器(麥克風)在不同高度所測得

的列車輻射噪音量。一般隨測點高度的升高，開始時列車輻射噪音量增加較快，當測點到一定高度後增長減緩，直至不增加。

軌道交通與一般鐵路噪音在聲學特徵上既有相同之處又有其特有的特徵。例如軌道交通一般為 2～8 輛編組的電動車組，採用全動車或部分動車，一般運行於隧道和高架橋上。它沒有鐵路噪音經歷時間（一次通過）長，但行車頻率卻比鐵路高，一般 2～5 分鐘出現 1 次。它又不同於道路交通的噪音，道路交通往往是由無數連續點音源構成線音源。而城市軌道交通噪音除軌道噪音為線音源外，其餘（如輪軌牽引電機、齒輪傳動及空壓機噪音等）均為點音源。

列車運行時的車體噪音包括兩部分，一是機車、車輛車體因振動而輻射的結構噪音以及牽引噪音經機車車體做二次輻射噪音，此類噪音呈中、低頻特徵；另一是列車表面與空氣作用，氣體黏滯性在列車表面引起附面層壓力變化，激發表面振動；同時產生氣流渦旋和磨擦衝擊，形成高頻氣流噪音。

牽引動力系統噪音為機車所特有，指機車動車組、各種輔助裝置、設備（冷卻風扇、齒輪箱、架空接觸網與集電弓之間產生的磨擦音等）在運作時所產生的機械性噪音、電磁噪音和空氣動力噪音。

煞車 (braking) 噪音與機車、車輛採用的基礎煞車的形式關係很大。目前機車、車輛基礎煞車仍為閘瓦抵壓車輪踏面（閘瓦，brake shoe，煞車來令片，俗稱煞車皮）。低速時，踏面的粗糙引起閘瓦壓力振動，輪輻與閘瓦壓力的激勵使輪輻成為音輻射體，輻射窄帶 (3.5～5 kHz) 高頻尖叫噪音，其噪音量可達 90～105 dB(A)（測點距車輪 6.5 m）。

列車通過高架橋梁時，輪軌作用除了使車輪和軌道直接向外輻射噪音之外，還要向橋梁的各個構件傳遞振動能量，激發橋梁的各個構件產生振動，並形成噪音的二次輻射。由於採用高架結構，音源位置提高，噪音影響範圍擴大。許多實測結果說明，一般情況下高架橋梁噪音要比普通線路上增加約 2～10 dB(A)。

五 實際量測分析

捷運系統的輪軌之間的相互作用而引起的振動回應沿軌道結構通過岩層和土壤層向臨近的建築物傳播，其產生的聲學效果是引起低頻轟響音。地基振動的頻率是 10～200 Hz，這種低頻音的傳播距離遠，影響範圍廣，使臨近建築物的牆體、地板和天花板產生振動的感覺，並由此產生低頻音，即二次輻射噪音。

噪音隨距離衰減與周圍的地形、建築物等許多因素有關。量測我國淡水線捷運，整體環境音量約介於 60.0 dB(A) ~ 70.0 dB(A) 之間，平均最大音量約介於 65.0 dB(A) ~ 75.0 dB(A) 之間，其中背景音量約介於 60 dB(A) ~ 70 dB(A) 之間，捷運噪音約介於 55 dB(A) ~ 65 dB(A) 之間，如圖 3.1-7 所示。

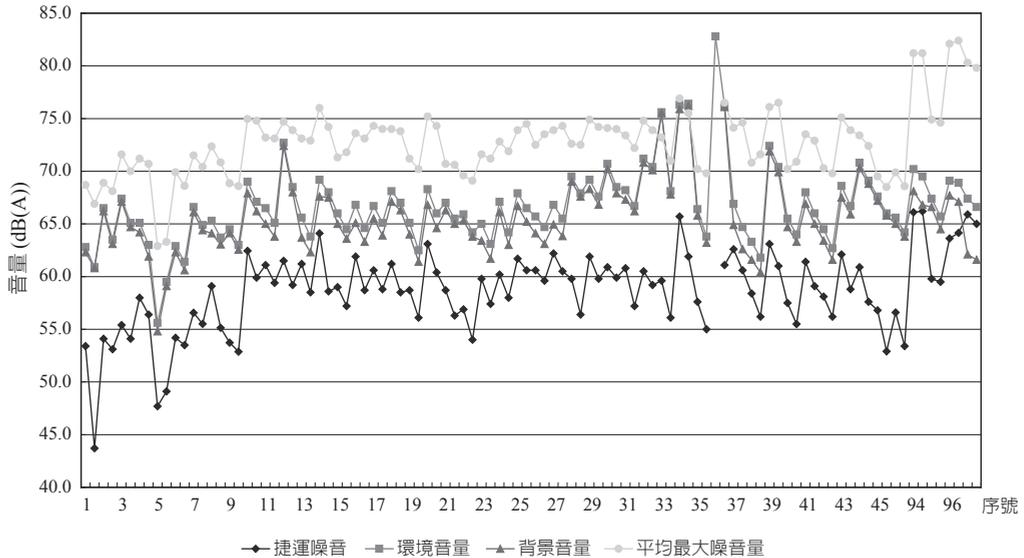


圖 3.1-7 台北捷運淡水線各站監測結果

而木柵線捷運整體環境音量約介於 65 dB(A) ~ 75 dB(A) 之間，平均最大音量約介於 70 dB(A) ~ 80 dB(A) 之間，背景音量約介於 65 dB(A) ~ 75 dB(A) 之間，捷運噪音約介於 50 dB(A) ~ 60 dB(A) 之間，如圖 3.1-8 所示。

一般情況下，在 100 m 範圍內及 100 ~ 200 m 範圍內，距離加倍，噪音約衰減 3 dB(A)；200 ~ 300 m 範圍內，距離加倍，噪音約衰減 8 dB(A)；300 m 以上時，距離加倍，噪音約衰減 10 dB(A)，我國高速鐵路板橋車站方面，在列車停止時量測月台最大值約 75.0 dB(A)，辦公室於列車進站停止時之音量曲線圖，深色曲線為列車停止音量約 60.6 dB(A)，如圖 3.1-9 所示。

而桃園車站方面，在列車進站、出站及停止時之量測月台最大值約為 82.0 dB(A)、82.2 dB(A)、81 dB(A)。當然列車速度快的均能音量比速度慢的高，班次多的均能音量比班次少的高。

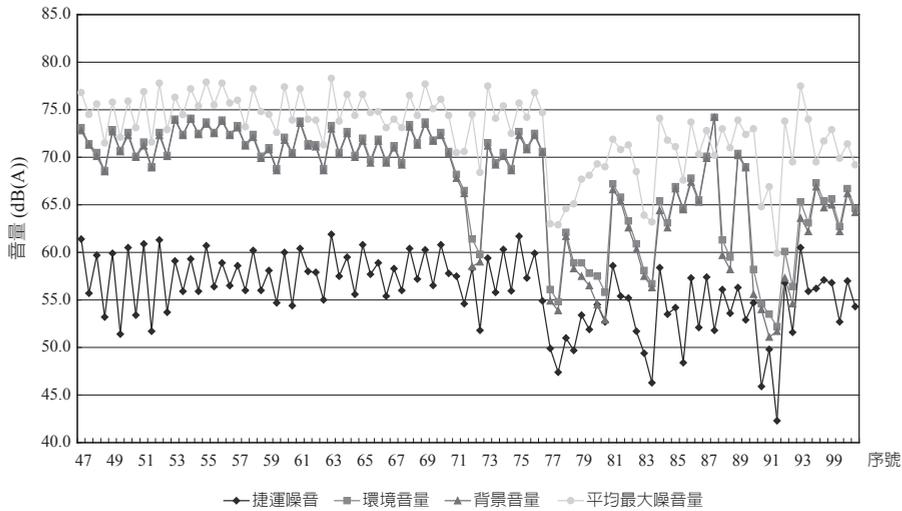


圖 3.1-8 台北捷運木柵線各站監測結果

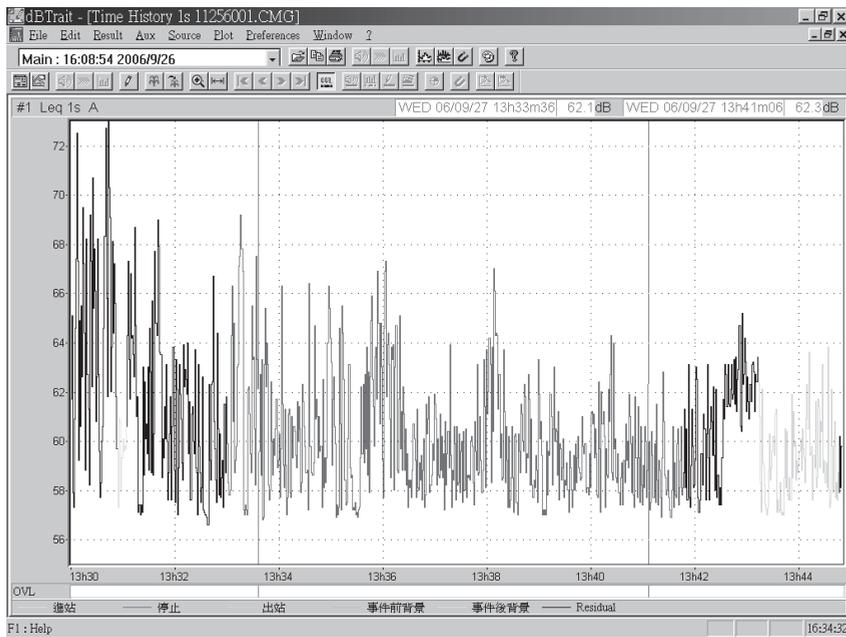


圖 3.1-9 深色曲線為列車停止時辦公室音量示意圖

另台灣一般鐵路噪音特性，由量測結果知， $L_{eq, 1h}$ 量測結果多符合法規標準， $L_{max, mean, 1h}$ 大多不符合法規標準，如圖 3.1-10 及圖 3.1-11 所示。

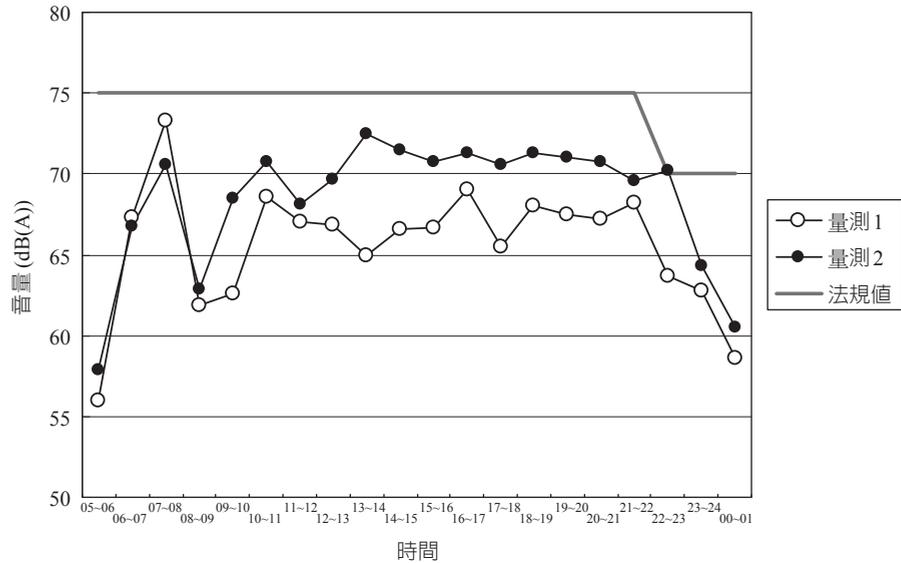


圖 3.1-10 台灣一般鐵路 $L_{eq,1h}$ 量測結果示意圖

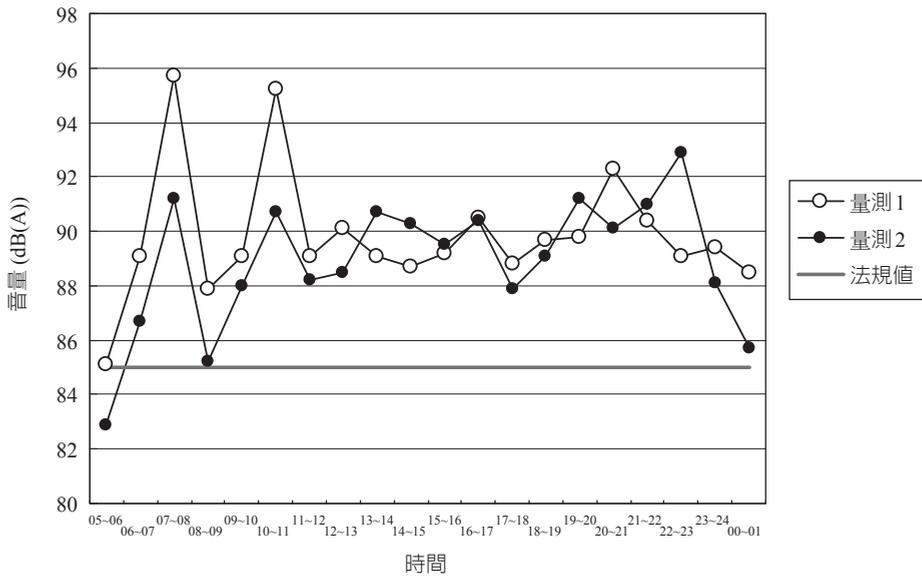


圖 3.1-11 台灣一般鐵路 $L_{max, mean, 1h}$ 量測結果示意圖

3.1.3 高架鐵路噪音的特性

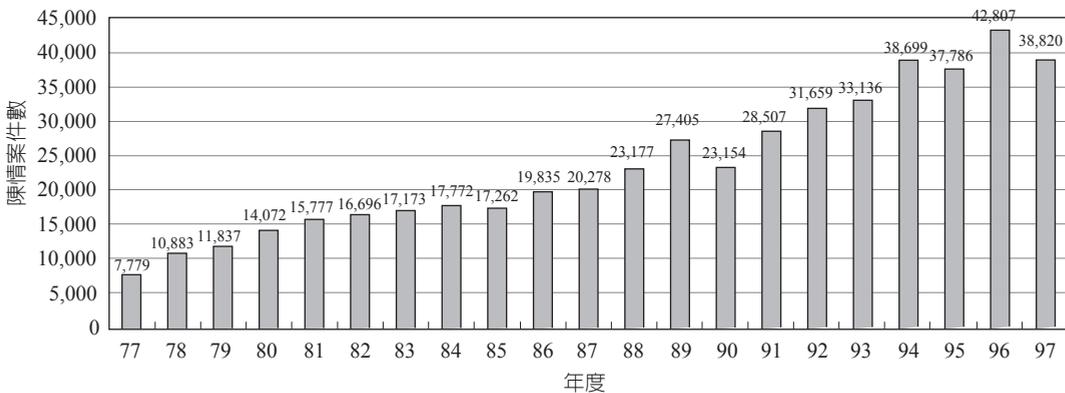
100 km/h 以下中低速行駛軌道列車的噪音源主要是輪軌，列車噪音的主要成分以中低頻率為主。歐洲標準化委員會還公佈了交通噪音標準的 A 加權 1/3 倍頻譜。由於高架軌道交通的車型、道床等與一般鐵路及捷運系統有

很大不同，噪音的頻率特性也會有所不同。高架軌道交通噪音的頻率範圍主要是中低頻，其中 1,000 Hz 以下部分是最主要的頻率範圍，列車通過時，對於鋼軌和橋面的振動而言，主要頻率成分均低於 500 Hz；低頻時振動速度最大，隨著頻率的增大，振動速度會下降，此規律會導致噪音以中低頻成分為主，因為列車運行通過橋梁形成二次結構振動噪音。捷運系統高架段（橋梁）之二次結構振動噪音頻譜特性，頻譜曲線較平面捷運系統平坦，均能音量較平面捷運系統低，但大部分音量集中於低頻音（頻率 1,000 赫茲 (Hz) 以下之聲音）範圍。

3.2 噪音預測和評估

3.2.1 噪音陳情案件

根據行政院環保署「噪音陳情案件現況」統計分析結果 (<http://ivy1.epa.gov.tw/noise/AA/A-04.htm>) 顯示：自民國 77 年起至 97 年止陳情案件總計 494,514 件，圖 3.2-1 為歷年噪音陳情案件統計圖。



資料來源：<http://ivy1.epa.gov.tw/noise/AA/A-04.htm>。

圖 3.2-1 我國歷年噪音陳情案件統計圖

針對交通噪音部分進行統計，其中軌道系統陳情案件計有 260 件（鐵路佔 8%、捷運佔 5%、高鐵佔 5%），一般道路（含其他）陳情案件計有 1,126 件（佔 82%），總計 91 年至 97 年交通噪音陳情案件共 1,386 件（詳如表 3.2-1 所示）。

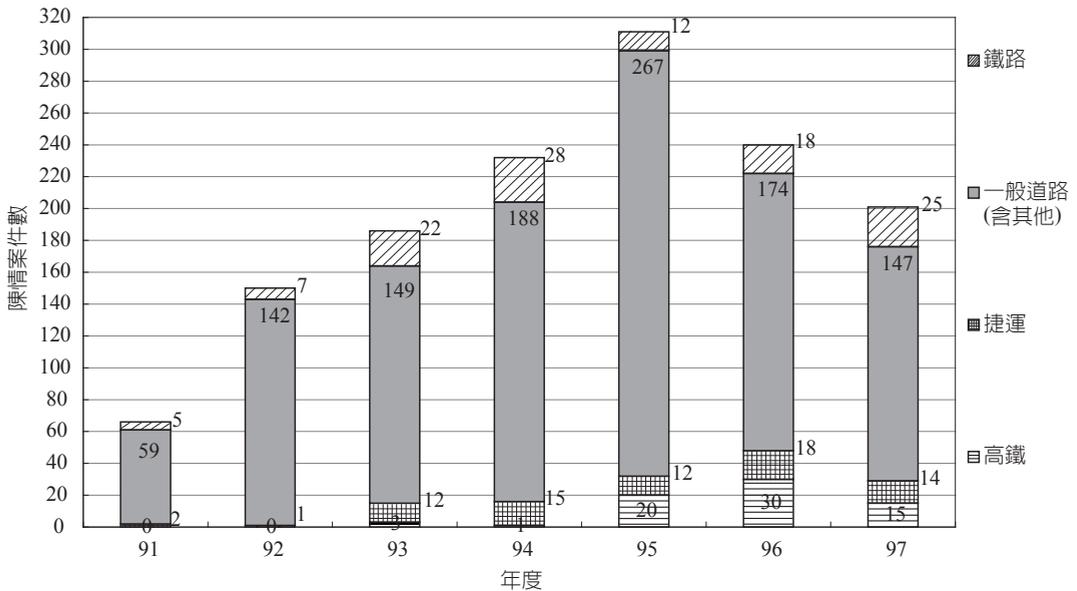


圖 3.2-2 我國91年至97年交通噪音陳情案件統計圖

表 3.2-1 我國91年至97年度交通噪音陳情案件統計表

年度	軌道系統			一般道路 (含其他)	年度統計
	鐵路	捷運	高鐵		
91	5	2	0	59	66
92	7	1	0	142	150
93	22	12	3	149	186
94	28	15	1	188	232
95	12	12	20	267	311
96	18	18	30	174	240
97	25	14	15	147	201
小計	117	74	69	—	—
合計	260			1126	1386

3.2.2 軌道系統交通噪音量測

一 量測方法

依據環保署99年1月21日公佈「陸上運輸系統噪音管制標準」辦理交通噪音量測，軌道系統小時均能音量 ($L_{eq,1h}$)：指特定時段內一小時所測得軌道

系統交通噪音之能量平均值，其計算公式如下：

1.

$$L_{eq,1h} = 10 \log \left(\frac{1}{3600} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{p,T(i)}}{10}} \right)$$

N ：一小時內通過測量地點之軌道機車車輛數，即為小時班次數。

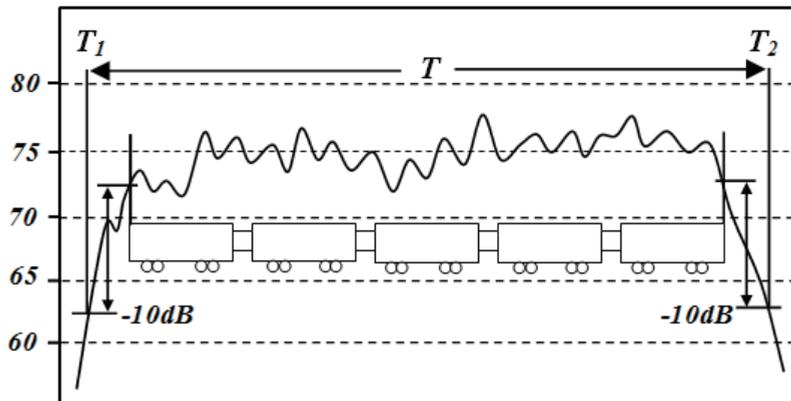
$L_{p,T}$ ：指單一班次軌道機車車輛通過測量地點於事件歷時時間 (T) 內，所測得軌道系統交通噪音之事件音量，其計算公式如下：

$$L_{p,T} = 10 \log \int_{T_1}^{T_2} \left(\frac{P_t}{P_0} \right)^2 dt$$

P_t ：測定音壓，單位為巴斯噶 (Pa)。

P_0 ：基準音壓為 $20 \mu\text{Pa}$ 。

T ：軌道機車車輛通過測量地點之事件歷時時間 (T_1 至 T_2)，單位為秒，參見下圖。



T_1 ：軌道機車車輛接近測量地點時，低於整體音量 10 dB(A) 之時間點。

T_2 ：軌道機車車輛離開測量地點時，低於整體音量 10 dB(A) 之時間點。

2. 無法依前目規定決定 T_1 、 T_2 時，依下列原則之一計算事件歷時時間 T ：

- (1) 依據該小時其他班次之 T_1 、 T_2 計算其平均時距，作為事件歷時時間 T 。
- (2) 依據軌道機車車輛之長度加一百公尺除以車速，以計算該班次事件歷時時間 T 。
3. 背景音量之計算由 T_1 往前計算 T 時間之事件前背景音量，及由 T_2 往後計算 T 時間之事件後背景音量，再取二者之算數平均值。前述事件前、後背景音量之計算公式與事件音量相同。
4. 軌道機車車輛之音量與前日背景音量相差小於 10 dB(A) 者，應依第三條第七款規定進行背景音量修正。

平均最大音量 ($L_{\max, \text{mean, 1h}}$)：指一小時內所測得軌道機車車輛各班次交通噪音最大音量 (L_{\max}) 之能量平均值。

$$L_{\max, \text{mean, 1h}} = 10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{p \max(i)}}{10}} \right)$$

$L_{p \max}$ ：軌道機車車輛交通噪音 A 加權測定之最大音量。

N ：一小時通過測量地點之軌道機車車輛數，即為小時班次數。

二 監測診斷系統建置

在噪音事件的監測中，傳統的監測方式是以噪音計記錄的每秒噪音值，再過濾出符合條件的噪音事件。但是，只有記錄每秒的噪音值，這樣的方式，無法瞭解噪音事件發生當時，現場的狀況，如果有噪音事件發生的照片、錄音檔、錄影帶，同時記錄下來，就可以輔助噪音資料的分析，瞭解造成噪音事件的原因。得到了噪音事件發生當時所拍攝的照片（錄音檔、錄影）後，可以依照時間對應當時的噪音事件，並可以依照片判斷，此噪音事件是否與所監測的噪音來源有關，藉以確認噪音事件的有效性，可以提升噪音監測的可靠度及正確性。但是照片（錄音檔、錄影）與噪音事件的配對分析，非常不方便，費時費力，因此，具有自動噪音事件分析及事件照片自動配對顯示的功能之軟體或系統，方便噪音事件分析員處理噪音資料，可以有效的增進噪音資料處理的效率及正確性。

系統架構說明（圖 3.2-3）如下：

1. 系統的核心是一台噪音事件攝影記錄器（以下簡稱記錄器）。

2. 記錄器可以透過連接線連接噪音計，當噪音計偵測到超過觸發位準的噪音值時，會送出觸發信號給記錄器。
3. 記錄器接收到觸發信號後，會馬上抓取攝影鏡頭所拍到影像，並儲存照片在記錄器內的 SD 記憶卡，以 JPG 的格式儲存。

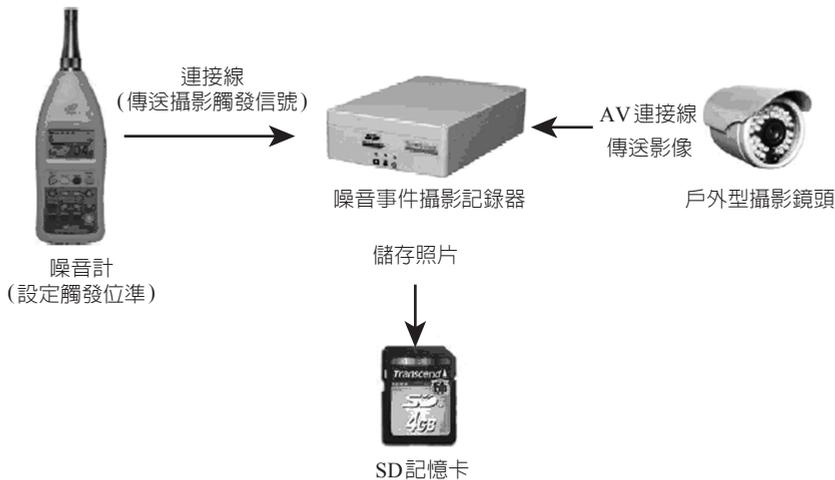


圖 3.2-3 噪音事件攝影記錄系統架構圖

可以自動就噪音資料中，初步分析並統計噪音事件的功能之外，並且可以自動找尋，顯示噪音事件發生當時的照片，以供分析人員判斷噪音事件的有效性，可以有效的減輕分析人員的負擔，並可以提升分析的效率。噪音事件後處理程式畫面如圖 3.2-4 所示。

3.2.3 鐵路噪音的預測

近年來，鐵路噪音一直是國際上鐵路研究的熱點課題，在日本及歐美國家都已經開展了一系列廣泛的研究，並且開發了一些預測鐵路噪音大小的理論模型和軟體。其中有代表性的是由歐洲鐵路研究所 (European Railway Institute, ERRI) C163 委員會組織有關人員 (來自英、美、法、德、荷蘭及眾多的歐洲鐵路部門) 開發的一個預測鐵路噪音大小的力學模型及軟體 TWINS (track-wheel interaction noise software)。這個模型軟體已得到許多現場測試的驗證，在歐洲已成為預測鐵路噪音大小、開發減振降低噪音產品、指導新線設計和舊線路改造的主要理論工具。

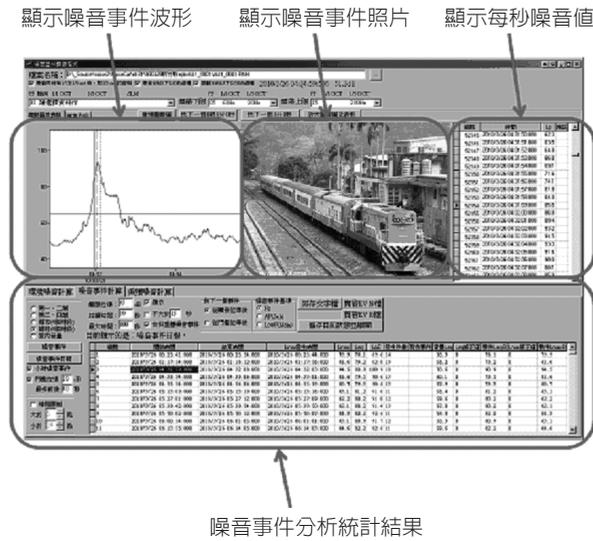


圖 3.2-4 噪音事件後處理程式預期畫面

3.2.4 高速鐵路噪音預測

高速鐵路噪音預測研究是學術界和各國政府關心的一項重要課題。在歐美國家，高速鐵路噪音早已引起各國政府、鐵路運輸部門、研究機構和高等院校的高度重視。美、日、法、英、德等國都建立了適合本國情況的高速鐵路環境噪音預測模型，並將模型應用於高速鐵路既有線的噪音評估和新建鐵路設計中的噪音預測。如德國鐵路噪音預測標準 Schall03，是德國鐵路噪音預測的標準方法，在歐盟國家中有很大影響。國外一些聲學公司開發的噪音預測軟體，如 SoundPLAN、CadnaA 等，都引入了 Schall03 方法。Schall03 方法將鐵路線劃分為若干小段，每一段簡化為點音源，形成有限長的系列點音源，分別計算所有點音源對受音點作用的噪音量後，按能量疊加合成總的 A 加權噪音量。依據聲學基礎理論對其主要計算方法進行了理論推導，核對總和分析了其方法的合理性。

3.2.5 噪音的評估

一 高速鐵路噪音評估

高速鐵路噪音評估標準中採用的評估噪音響度和煩惱度，包括 A 加權噪音量和以 A 加權噪音量為基礎的均能音量 L_{eq} 、暴露噪音量 L_{se} 、最大噪音

量 L_{\max} 和日夜均能音量 L_{dn} 等另可參考本書 5.2.2 節說明。

(一) A 加權音量 (L_A)

A 加權噪音量就是用 A 加權網路測得的噪音值。由於 (1) A 加權噪音量較容易測量；(2) A 加權噪音量測得的結果與人耳對聲音響度的感覺基本一致；(3) A 加權噪音量與煩擾調查的一致性好過其他噪音基本單位；(4) 自從 20 世紀 30 年代以來，A 加權噪音量就一直在應用中；(5) 世界各國的聲學界和醫學界都將 A 加權噪音量作為理想的聲學基本單位。所以，通常選 A 加權噪音值作為基本噪音單位。

(二) 均能音量 (L_{eq})

在規定的時間內，某一連續穩態音的 A 音壓，具有與隨時間變化的噪音相同的均方 A 音壓，則這一連續穩態音的噪音就是此時噪音的均能音量。

(三) 暴露噪音量 (L_{se})

一般將在某段時間內或某個事件的累計噪音量稱為暴露噪音量。在高速列車噪音中，「暴露」代表一輛列車通過時段內某一定點接收到的音能量總和，暴露噪音量定量描述單列高速列車噪音的大小。

由於，(1) L_{se} 隨著噪音源持續時間的增加而增大，這與人們的主觀反應是一致的；(2) 對於不同類型的高速列車， L_{se} 為一種統一的噪音評估量；(3) L_{se} 可以用於計算 1 h 或一日夜噪音累計值。所以，通常將 L_{se} 作為一趟高速列車噪音源的測量指標。

(四) 最大噪音量 (L_{\max})

隨著一輛列車靠近、通過、漸行漸遠，A 加權噪音值增大，達到一個最大值，然後，融入環境噪音中。一輛列車通過時的最大 A 加權噪音量稱為「最大噪音」，這裡記做“ L_{\max} ”。對於在光滑軌道量測列車時，把噪音計動特性置於“FAST”特性，可以測出，這時 L_{\max} 是 0.125 秒內的平均值。對於連續變化或靜止音源，通常更適用於使用“SLOW”開關，此時 L_{\max} 是一秒鐘內的平均值。當置於“SLOW”開關時，噪音測試儀略去了某些非常短暫的瞬間波動，這對於人們總體評估噪音的影響並不大，我國測量道路系統交通噪音使用快特性 (FAST)，而測量軌道系統交通噪音使用慢特性 (SLOW)。

(五) 日夜噪音 (L_{dn})

表示所有音源一日夜累計暴露量的是一日夜噪音，簡記為“ L_{dn} ”。 L_{dn} 表

示一日夜所有音源共合成的隨時間變化的 A 加權噪音值。

日夜均能音量 L_{dn} 為評估噪音指標的一種，依據均能音量 (L_{eq}) 在日夜發生不同的位置，加以考慮發生時間，及夜間位準的加權 (10分貝)，建立日夜均能音量如下：

$$L_{dn(24\text{小時})} = 10 \log \left(\frac{1}{24} \right) [m \times 10^{L_d/10} + n \times 10^{L_n+10/10}]$$

L_d ：日間平均均能音量，dBA

L_n ：夜間平均均能音量，dBA

m ：日間時數 (都市為 07:00 ~ 23:00，鄉村為 07:00 ~ 22:00)

n ：夜間時數 (都市為 23:00 ~ 07:00，鄉村為 22:00 ~ 07:00)

式中：

$$L_d = 10 \log \left[\frac{1}{m} \left(\sum_{i=1}^m 10^{0.1 \log(i)} \right) \right]$$

$$L_n = 10 \log \left[\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n 10^{0.1 \log(i)} \right) \right]$$

$$\begin{aligned} L_{dn} &= 10 \log \left[\frac{1}{24} (m \times 10^{0.1 L_d} + n \times 10^{0.1(L_n+10)}) \right] \\ &= 10 \log \frac{m \times 10^{0.1 L_d} + n \times 10^0}{24} \end{aligned}$$

(六) L_X 統計性噪音量(statistical noise level)、時間累積分佈 L_N

統計性噪音量為噪音發生時間之累積分佈 (cumulative distribution)，是表示噪音量與時間性最有效的方法，亦則顯示在某一地區有多少時間發生噪音超過某一位準值。 L_X 常應用於交通噪音指標，尤其是交通噪音評估模式。

L_{10} 表示某時段內有 10% 的時間，噪音超過指示標準，又視為「事件」噪音。

L_{50} 表示某時段內有 50% 的時間，噪音超過指示標準。

L_{90} 表示某時段內有 90% 的時間，噪音超過指示標準，又視為「背景」噪音。

二 噪音評估技術規範

我國軌道系統（一般鐵路、高速鐵路及大眾捷運系統）指標為小時均能音量 ($L_{eq, 1h}$) (指特定時段內一小時所測得軌道系統交通噪音之能量平均值) 及平均最大音量 ($L_{max, mean, 1h}$) (指一小時內所測得軌道機車車輛各班次交通噪音最大音量 (L_{max}) 之能量平均值)。

噪音評估依據「開發行為環境影響評估作業準則」第四十九條規定訂定「鐵路交通噪音評估模式技術規範」進行評估工作。於辦理環境影響評估作業時使用之模式如表 3.2-2。

表 3.2-2 鐵路交通噪音評估模式

鐵路分類	模式名稱
一般鐵路	郭宏亮鐵路交通噪音預測模式 SoundPlan 噪音評估模式 Cadna-A 噪音評估模式 MITHRA 噪音評估模式
大眾捷運系統	SoundPlan 噪音評估模式 Cadna-A 噪音評估模式 MITHRA 噪音評估模式 Peterson 修正模式

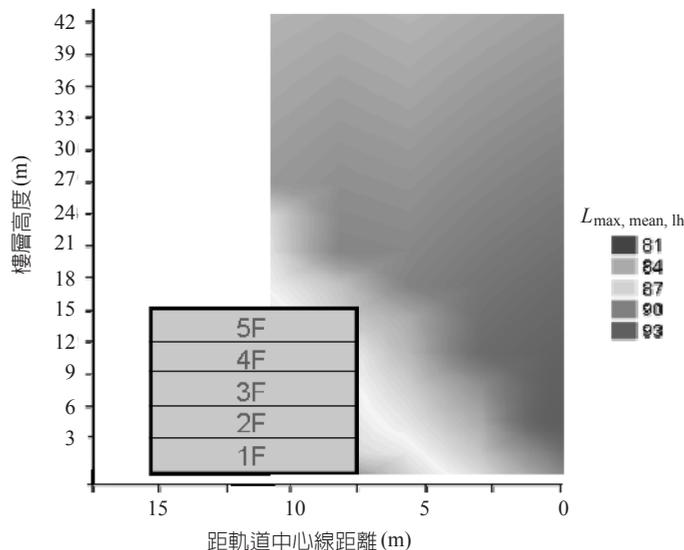


圖 3.2-5 SoundPlan 音場模擬剖面示意圖

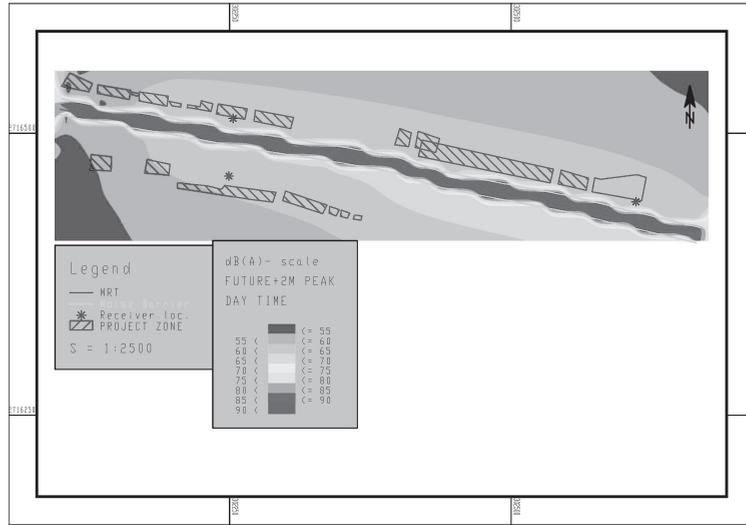


圖 3.2-6 SoundPlan 音場 $L_{eq,1h}$ 模擬平面示意圖

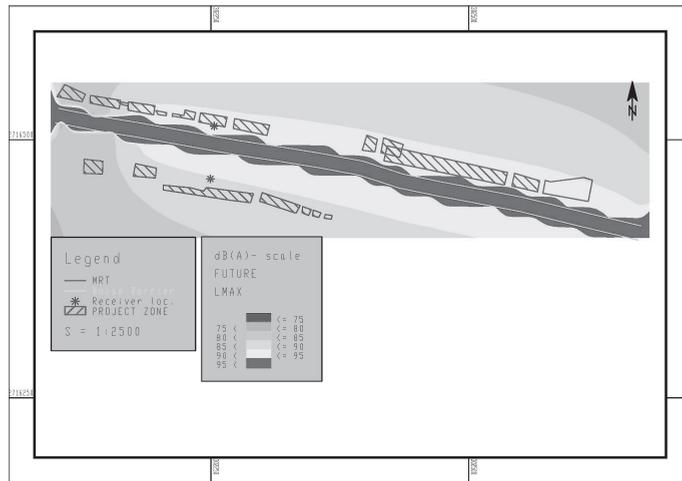


圖 3.2-7 SoundPlan 音場 $L_{max, mean, 1h}$ 模擬平面示意圖

陸上運輸系統噪音管制標準

環保署將道路、鐵路交通細分為快速道路、高速公路、鐵路及大眾捷運系統，我國現行噪音管制標準如下，單位 dB(A)。

表 3.2-3 第六條一般鐵路交通噪音管制標準

管制區	時段與音量	小時均能音量 ($L_{eq,1h}$)			平均最大音量 ($L_{max, mean, 1h}$)
		早、晚	日間	夜間	
第一類、第二類		73	73	70	80
第三類、第四類		75	75	70	85

表 3.2-4 第七條高速鐵路交通噪音管制標準

管制區	時段與音量	小時均能音量 ($L_{eq,1h}$)			平均最大音量 ($L_{max, mean, 1h}$)
		早、晚	日間	夜間	
第一類、第二類		65	70	60	80
第三類、第四類		70	75	65	85

表 3.2-5 第八條大眾捷運系統交通噪音管制標準

管制區	時段與音量	小時均能音量 ($L_{eq,1h}$)			平均最大音量 ($L_{max, mean, 1h}$)
		早、晚	日間	夜間	
第一類、第二類		65	70	60	80
第三類、第四類		70	75	65	85

四 日本高鐵(新幹線)噪音管制環境基準

目前日本高鐵(日本稱之新幹線)所使用的鐵路是在舊有的鐵路系統外再另行興建的,但此鐵路系統所經過之區域大部分是人口密集的住宅區,因此日本政府亦針對新幹線增訂比一般鐵路更為嚴格的管制標準,有關管制標準以及預計達成改善目標時間之說明如表 3.2-6 至表 3.2-7 所示。

表 3.2-6 日本新幹線鐵路噪音管制標準表

地區類型	符合地區	管制值 (dB(A))
I	第一種低層住宅專用區、第二種低層住宅專用區、第一種中高層住宅專用區、第一種中高層住宅專用區、第一種住宅區、第二種住宅區以及準住宅	70 以下 *
II	商業地區、準工業區以及工業區	75 以下 *

說明：*：以最大音量 L_{Amax} 作為評估指標。

表 3.2-7 日本新幹線鐵路沿線區域噪音改善達成目標期間表

新幹線鐵路沿線區域的區分		達成目標期間			
		既設新幹線鐵路相關期間	工程中新幹線鐵路相關期間	新設新幹線鐵路相關期間	
A	80dB(A) 以上的區域	3 年以內	開業時	開業時	
B	超過 75 dB(A) 未達 80 dB(A) 的區域	a	7 年以內		開業時起 3 年以內
		b	10 年以內		
C	超過 70dB(A) 未達 75dB(A) 的區域	10 年以內	開業時起 3 年以內		

說明：

1. 新幹線鐵路沿線區域之區分欄 B 中的 a 就是相當於表 2 的 I 類區域，而 b 則是指 a 以外的區域。
2. 所謂達成目標期間欄位中之既設新幹線鐵路、工程中新幹線鐵路以及新設新幹線鐵路則是相當於下列各項的新幹線鐵道：
 - (1) 既設新幹線鐵路：東京及博多間的新幹線鐵路。
 - (2) 工程中心幹線鐵路：東京及盛岡間、大宮、新潟間以及東京與成田間的新幹線。
 - (3) 新設新幹線：指除 (1) 與 (2) 以外的新幹線。

日本新幹線用以評估噪音之指標為最大音量 L_{Amax} ，其量測範圍應包含南下與北上的列車，原則上應連續對 20 班列車進行量測，而此最大音量 L_{Amax} 之計算方式則為：所量測 20 班列車中之前 10 大 (半數) 的最大噪音量的平均值。

五 德國高鐵 (新幹線) 噪音管制標準

目前德國高鐵 ICE 是與舊有的鐵道互為共用，因此並未再有針對高鐵噪音制定管制標準，而是直接沿用現有的鐵路管制標準來管制高鐵周邊的環境音量，以現有管制鐵路噪音標準而言，主要是依據 DIN18005 所制定，而 DIN18005 之規範內容所包含的準則項目有：(1) 土地使用性質；(2) 評估時段 (日間與夜間)；(3) 噪音源 (交通運輸或工業噪音等)；(4) 都市計畫發展類型。DIN18005 規範再提出一噪音評估表 (如表 3.2-8)，以作為城市在發展規劃之際，對於環境噪音的評量準則，因此現有的鐵路噪音管制標準即是參考上述 DIN18005 所提之原則，而制定出管制交通噪音 (含一般鐵路、高速鐵路及道路) 之相關規定，有關德國鐵路噪音管制標準如表 3.2-9。

表 3.2-8 DIN18005 城市環境噪音評估說明表

評估時段 土地使用性質	日間 (A.M.6 : 00~P.M.10 : 00)	夜間 (P.M.10 : 00~A.M.6 : 00)
	(dB(A))	(dB(A))
純住宅區	55	45
特定住宅區	60	45/40
混合區	60	50/45
市中心地區	65	55/50
工業區	65	55/50

表 3.2-9 德國鐵路噪音管制標準表

高鐵路沿線區域之土地使用性質	評量時段	
	日間 (A.M.6 : 00~ P.M.10 : 00) , (dB(A))	夜間 (P.M.10 : 00~ A.M.6 : 00) , (dB(A))
醫院、學校、療養院以及老人安養中心	57	47
純住宅、住宅社區以及村落集結區	59	49
市中心、村落以及混合住宅區	64	54
工業區	69	59

表 3.2-8 所規定之管制標準可適用於鐵路與一般道路，但於評估鐵路噪音時應將管制值再減 5 dB(A) 才可，這是因為鐵路噪音與一般道路噪音兩者在相同的均能音量 (L_{Amax}) 位準下，考慮人耳對於此兩者噪音的吵鬧感覺與等響曲線之間的關係而採行的計算方式。(例如：於純住宅區 A.M.6 : 00 至 P.M.10 : 00 所測得的鐵路噪音 L_{Amax} 值為 55 dB(A)，依表 3.2-9 規定，純住宅區管制值為 59 dB(A)，但因為所量測的噪音是鐵路噪音的緣故，所以 59 dB(A) 減 5 dB(A) 所得的數值作為鐵路噪音管制值，因此本案例純住宅區之鐵路噪音管制值為 54 dB(A)，可知此區域所測得的鐵路噪音是高於管制值)。

六 法國高鐵噪音管制標準

目前法國高鐵 (TGV) 路線雖是與舊有鐵路路線並非共軌，而是採以新建獨立軌道的方式。但現行法國高鐵 (TGV) 所通過的沿線區域大部分多為地廣人稀，因此噪音問題的影響並非甚多，故目前法國政府單位仍採用現行的鐵路管制標準 (NF S 31-110) 作為管制高鐵噪音的依據，此管制標準所使用的評估指標為時段均能音量 (L_{Aeq} (A.M.8 至 P.M.8))，且 NF S 31-110 規範也是以

ISO 1996 規範作為制定的參考依據，因此 NF S 31-110 的量測方法及技術與 ISO 1996 差距並不大，有關法國鐵路噪音管制標準如表 3.2-10。

表 3.2-10 法國鐵路噪音管制標準表

現況噪音量, L_{Aeq} (A.M.8 至 P.M.8) (dB(A))	高速鐵路噪音量, L_{Aeq} (A.M.8 至 P.M.8) (dB(A))
$L_{eq} < 65$	$L_{eq} < 65$
$65 \leq L_{eq} \leq 70$	同現況音量
$L_{eq} > 70$	$L_{eq} < 70$

說明：

1. 此管制標準僅適用於鐵路。
2. 此管制標準適用評量時間為 A.M.8:00 至 P.M.8:00。
3. 現況噪音量意指在高鐵未興建之前的 L_{Aeq} 值 (A.M.8:00 至 P.M.8:00)。

3.2.6 複合性噪音

隨著經濟蓬勃發展，民眾生活品質提升，對高環境品質之要求日益殷切，交通噪音之改善實有必要與提升。近來民眾常陳情數個交通噪音源於同一地點（如高速公路與捷運系統、一般鐵路與一般道路），其共同產生之合成音量效應，影響環境安寧。

例如國道一號高速公路係通過台北地區且緊鄰住宅區，沿線多處居民感覺高速公路交通噪音甚大及不舒適，加上如有地方平面道路或捷運通過（如國道一號高速公路與淡水捷運系統），共同產生之合成音量更大（圖 3.2-8）。



圖 3.2-8 複合性音源示意圖

建議陸上運輸系統管制標準第四條第七項規定訂定複合性音源鑑定分離方法，適用於測量地點之整體音量包括二個以上交通系統音量，且各交通系統之音量相差數值小於10dB(A)時之複合性音源鑑定分析及分離作業。

需使用符合環境噪音量測方法 NIEA P201.93C 所規定之麥克風及記錄器。麥克風數量為複合性音源數目加一，進行複合性音源之整體音量量測，三支麥克風之相互距離不得超過2公尺(如圖3.2-9所示)。



圖 3.2-9 集音盤示意圖

3.3 噪音控制

軌道交通降低噪音可採用多種措施和方法，是一項涉及多種專業領域的綜合技術，複雜度也高。總而言之，包括三種：一是針對噪音源研究降低噪音強度的辦法，使其向外產生的音波能量盡可能的低；二是在噪音的傳播途徑上採取措施，盡可能增加噪音強度的衰減；三是敏感點的控制。

3.3.1 降低噪音源音量

一 軌道噪音的控制

軌道交通中軌道結構的設計原則應確保少維修、高彈性、減振降低噪音。一方面，通過最佳化軌道結構，減少激振源達到減振降低噪音的目的；另一方面，還可以通過改變軌道結構的振動參數來控制振動，從而產生降低軌道噪音的作用。具體控制方法如下：

(一) 輪軌表面不平的控制

軌道噪音的根源是輪軌接觸表面的不平順，因此多以磨軌方式來降低軌道噪音。

(二) 車輪噪音的控制

1. 阻尼措施

增加輪對 (wheelset, wheel-axle assembly of a railroad car) 阻尼是一項有效的降低噪音措施，例如 ICE 高速列車增加了阻尼措施，對高達 200 km/h 的 ICE 列車速度，能將整體噪音大小降低 5 ~ 8 dB(A)。

2. 車輪形狀的最佳化

車輪的橫截面形狀對噪音的產生具有重要的影響。在不影響其他指標 (如強度) 的要求而對車輪形狀進行最佳化，以使噪音最小。據報導，TU Berlin 在對 1:3 模型的實驗室測試的基礎上，開發出一個最佳化車輪，如圖 3.3-1 所示。該車輪的噪音性能由德國聯邦鐵路公司 (Deutsche Bahn, DB) 進行了實際測試。該車輪沒有採用任何阻尼措施，但其噪音性能與經過阻尼處理的車輪的噪音性能相差無幾。車輪形狀最佳化前後的音功率可相差達 6 dB(A)，最佳化效果對高頻尤其明顯。



圖 3.3-1 各種形式的最佳化車輪橫截面形狀

3. 彈性車輪

彈性車輪的輪轂 (wheel hub) 與輪輻 (spoke) 之間含有橡膠材料隔離層。隔離層不但將輪轂和輪輻的振動隔開，而且為整個車輪提供阻尼。為使隔振效果和阻尼效果明顯，隔離層的剛度必須很低，存在一個範圍內，使鋼軌的音功率降低，而使總的音功率降低了大約 2dB(A) (與全鋼車輪相比)。

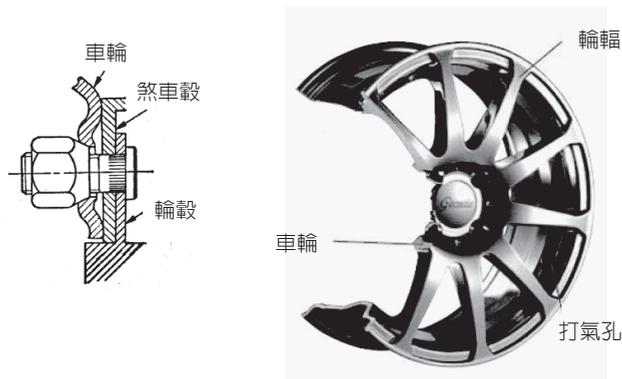


圖 3.3-2 輪轂 (wheel hub) 與輪輻 (spoke) 示意圖

4. 降低車輪的音輻射效率

另一個可能的措施是設法降低車輪振動的音輻射，透過在輪輻的裡外兩面之間造成「聲學短路」來減少音輻射效率，其減音效果取決於孔洞的大小和孔洞之間的距離。由於其他因素對孔洞大小和孔洞之間的距離的限制，穿孔車輪只對低頻有效，能達到 6 ~ 9 dB(A) 的降低噪音效果；而對高於 1 kHz 的頻率，效果則不明顯。

(三) 隔音裙

使用隔音裙是降低軌道交通噪音污染的有效途徑，在安裝隔音裙時，要保證隔音裙不會產生過大的振動，即隔音裙要彈性安裝，並在連接處有足夠的阻尼。同時在軌枕上安裝低矮的隔音牆。對於速度為 150 km/h 的列車，這種辦法可以降低噪音 5 ~ 8 dB(A)。



圖 3.3-3 隔音裙

二 車體噪音的控制

利用結合面間摩擦阻尼和材料內摩擦阻尼抑制機車、車輛車體結構振動，阻止噪音發生。一般可採用損耗因數較高的阻尼漿噴塗於車體內壁，可抑制並部分吸收車體振動能量並減弱車體二次輻射噪音。另為減少列車高速運行時外表空氣動力性噪音，設計採車頭流線型，如圖 3.3-4。此外，列車外表面盡量平滑並無突出部分，同時也要確保門窗等的穩固，以避免因安裝不穩固而產生噪音。

三 牽引動力系統噪音的控制

採用直線電機牽引。使動力系統不需要從旋轉運動轉換成直線運動，省去齒輪箱等一系列傳動機構，從而減少噪音；否則要提高設備的加工精度和結構剛度，並施以消音、隔振、阻尼等措施，以減少噪音。盡量減少集電弓的數量，安裝集電弓罩（圖 3.3-5）。

四 煞車 (braking) 噪音的控制

閘瓦 (brake shoe, 煞車來令片, 俗稱煞車皮) 煞車會使車輪踏面週期性地變得粗糙 (車輪前後的兩片閘瓦將車輪夾緊, 達到停車的目的), 甚至出現局部熔結, 使踏面出現所謂的波狀磨耗 (corrugation), 由此加劇了輪軌的噪音。採用盤形煞車 (碟式煞車, disc brake) 代替閘瓦煞車, 改善了踏面狀態, 消除了波狀磨耗 (corrugation), 可降低軌道噪音約 8 dB(A)。還可在煞車零件上加減振裝置, 裝設彈性衰減振動阻尼器, 或裝阻尼環, 可使煞車噪音約下降 20 dB(A)。



中國上海磁懸浮列車



台灣高鐵



法國 TGV(Train à Grande Vitesse)



中國武廣高鐵

圖 3.3-4 車頭流線型設計



圖 3.3-5 集電弓罩

五 高架軌道噪音的控制

高架橋梁的輻射噪音音場分佈複雜，控制措施要根據橋梁結構不同採取不同的策略，否則不會奏效。國外輕軌高架橋結構大多採用箱形樑形式，據日本在山線對各種構造形式、斷面形式、跨度的橋梁進行對比試驗結果，說

明空板形式噪音最低，故盡量採用箱形梁，少採用鋼梁；橋梁支座採用橡膠支座；線路應採用有碎石道碴以降低噪音。

六 地面承載噪音的控制

捷運系統隧道上方建築物的基礎可設置彈性裝置（如橡膠墊塊等）能有效降低振動。

軌道裝設彈性的「浮動板面」的軌道路基，即在鋼軌與和混凝土軌道基板面之間設置一層彈性墊板，稱之為浮動道床（圖 3.3-6）。



圖 3.3-6 浮動道床

我國如捷運新莊線與蘆洲線，這種結構可以降低被傳遞到隧道牆壁的振動噪音約 10 ~ 20 dB(A)，可以完全隔離道床板與隧道仰拱等土建完成面，阻絕振動傳遞；進而調整支承墊彈性係數，以降低軌道自然頻率，進而達到隔振、減低噪音功能。圖 3.3-7 為浮動式道床減振支承墊產品圖。

預估以墊片隔絕道床上的列車行駛振動，避免傳導至地面或捷運結構，將可大幅減少近五成噪音。為了降低噪音，捷運蘆洲線，部分民宅密集或轉彎噪音較大、共約 520 公尺長的路段，即採用浮動道床工法，新莊線也有長約 4 公里路段會採用，這是全國首次使用浮動道床的交通工程。台北捷運信義線、松山線也在規劃中，浮動道床有如將道床懸空設置，工程難度高，每公尺造價約為傳統道床的四至六倍，我國三鶯線、香港地鐵馬鞍山支線、德、韓新捷運均採用。



底部支承墊



縱向支承墊



橫向支承墊



橫向支承墊



端部支承墊



端部支承墊

資料來源：萬和有限公司 (<http://www.winhor-bearing.com.tw/index.htm>)

圖 3.3-7 浮動式道床減振支承墊產品圖

在路基採用碎石構成的道床(圖 3.3-8)，可以起到衰減從鋼軌向路基傳遞的振動和噪音，一般而言碎石的粒徑越小，減音效果越好，這種道床還可以降低車內噪音量，但採用這種道床要求有較大的隧道半徑，且在軌道上鋪設防音墊亦可有效減小噪音(圖 3.3-9)。另對防振要求很高的建築物，如精密儀器實驗室、晶圓廠等，路線應盡可能繞避。



圖 3.3-8 以碎石構成的道床示意圖



圖 3.3-9 軌道道床噪音防制示意圖

3.3.2 控制傳播途徑降低噪音

一 隔音牆降低噪音

設置隔音牆是控制傳聲途徑的重要措施。隔音牆的主要功能是阻擋聲音的傳播，將大部分音能反射回去，僅使部分音能繞射過去，在隔音牆的後面形成一個音影區，從而降低噪音，還可以採用路塹段佈置，也可以起到有如隔音牆的效果。

二 綠化降低噪音

對道路兩側地面進行植栽綠化。包括樹木綠化和地面綠化，不僅可以有效改善城市生態環境，而且有利於減低交通噪音。綠化降低噪音主要是植物對音波的反射和吸收作用，植物本身是一種多孔材料，具有一定的音吸收功能，由於植物的吸收，可以減少音波的能量，使噪音減弱。為充分發揮綠地降低噪音效果，應採用蔓藤類複層種植結構，使種植立面的每個層次都有茂密的植物層。有條件的路口可以建人工地形景點來降低噪音，在條件許可的路段，可以大力發展垂直綠化，還可以把綠籬植物與人工隔音牆相結合。

三 其他降低噪音措施

設置車輪隔音罩和在車輛兩側設置下「車裙」邊並在內側設置吸音材料；採用密封車體設計，減少噪音進入車內；在隧道內、車內以及隔音牆靠近音源的一側採用吸音塗層，減少音反射；加大噪音敏感點與鐵路間的距離，可使噪音的擴散衰減和附加衰減增加，從而有效減緩不良環境影響；以噪治噪，國外已有過報導，利用噪音降低噪音，即根據交通噪音的頻譜分析情況，在利用一個反相位衰減頻率，以達到主動（有源）控制降低噪音的目的。

3.3.3 控制敏感點

在許多情況下，當環境條件受到限制，也可以考慮建築物隔音，特別是將面向線路的門、窗、敞開式走廊改造成全封閉隔音門、窗並加設通風及空調裝置，一般的隔音量也能達到 20 ~ 30 dB(A)。對於結構較薄弱的敏感建築，加強其本身的吸音、隔音能力。例如在面向線路的牆體外表面設吸音

層，提高其吸收線路噪音的能力，同時加厚牆體以提高其面密度，使其隔音能力增強。調整建築物功能，例如將學校內對噪音較敏感而離線路又較近的教學大樓改成相對不太敏感的實驗室使教學大樓遠離線路，從而起到減小線路噪音對敏感設施的干擾。



習題

一、問答題

1. 請說明鐵路噪音的噪音特性？
2. 請說明鐵路噪音的組成？
3. 請說明鐵路軌道噪音的特點？
4. 請說明鐵路噪音的特點？
5. 請說明高架鐵路噪音的特點？

二、計算題

1. (1) 解釋均能音量 (L_{eq}) 及其計算方法。
(2) 某一連續性噪音測定共連續 10 分鐘，取得 40 個讀數，其中 dB(A) 為 65 者出現 10 次，dB(A) 為 70 者出現 20 次，dB(A) 為 80 者出現 10 次，試求此時段之均能音量為多少分貝？
2. 某工廠附近，其 24 小時 A 加權之噪音量測資料如下表所示，試求 L_{10} ， L_{50} ， L_{90} ， L_{eq} ， L_{dn} 。

Lp(A) 範圍	總共時數 (hr)	白天時數 (hr)	夜間時數 (hr) (晚上 10 時~早上 7 時)
90~95	0.75	0.75	0.00
85~90	2.00	1.50	0.50
80~85	4.00	2.00	1.00
75~80	9.00	8.00	1.00
70~75	5.00	1.00	4.00
65~70	2.75	1.75	2.00
60~65	0.50	0.00	0.50
	24.00	15.00	9.00