

## 鐵路交通環境振動及噪音檢測與預測分析

王栢村<sup>1</sup> 黃國棟<sup>2</sup>

<sup>1</sup>屏東科技大學機械工程系教授

<sup>2</sup>屏東科技大學機械工程系研究生

912 屏東縣內埔鄉學府路一號機械系振動噪音實驗室

Tel : (08)7703202 轉 7036 FAX : 08-7740142

E-MAIL : Wangbt@mail.npust.edu.tw

### 摘要

本文擬探討鐵路交通之振動與噪音，針對不同列車經過所產生之振動及噪音進行檢測，了解火車經過對於環境的影響程度，並利用檢測所得之數據進行預測分析。首先回顧國內外學者對於鐵路交通環境振動及噪音所作之研究報告，說明選用之評估指標的理論基礎，並敘述檢測方法及其流程步驟。在選定之鐵路路段，利用未有火車經過時先行檢測環境之背景振動及噪音，接著就不同種類之列車經過時各進行三次檢測，求得各種列車所產生之平均振動與噪音量。將檢測所得之背景振動噪音以及各種列車經過產生之振動噪音量，查詢火車時刻表各種列車班次時段，預測此段鐵路在任一時段鐵路交通之環境振動及噪音量，並導入相關管制標準來進行評估比較。日後則可利用此量測模式，對於不同鐵路路段進行環境振動及噪音檢測以及預測分析。

關鍵字：鐵路交通之振動與噪音、評估指標、背景振動及噪音、管制標準、量測模式

## Environmental Noise and Vibration of Railway Traffic Measurement and Prediction Analysis

Bor-Tsuen Wang<sup>1</sup>, Kuo-Tung Huang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Professor <sup>2</sup>Graduate student

Department of Mechanical engineering

National Pingtung University of Science and Technology

### Abstract

This paper discusses environmental noise and vibration due to railway traffic. Noise and vibration measurement are carried out for different types of trains in pass-by condition to study their effects. Prediction analysis can then be performed by using the measured data. First, an extensive literature review on railway traffic noise and vibration is done. The evaluation indices are then introduced as well as the measurement method and procedure. At the selected railway site, background noise and vibration are measured, and the pass-by train noise and vibration are also measured three times for each type of train. The averaged noise and vibration level for background and pass-by conditions can be obtained. According to the train time schedule, the environmental noise and vibration for the site due to railway traffic can be predicted and compared with control criterion. The measurement and prediction methodology can be applied to various railway sites for noise and vibration evaluation.

Keywords: environmental noise and vibration of railway traffic, evaluation index, background noise and vibration, control criterion, measurement and prediction methodology

## 一、前言

環境振動及噪音乃是由日常生活中各式各樣的振動噪音源產生而成，振動是指一物體在一參考點上作來回擺動的運動，噪音則是令人不舒服之聲音皆可屬之。而振動與噪音幾乎都是伴隨而生的，很少有振動或是噪音單獨產生的情形。環境振動的傳遞媒介為地表，以波的形式傳遞，振動強度隨著距離增加而衰減。環境噪音的傳遞媒介則為空氣，噪音大小也會隨著距離增加而衰減。環境振動與噪音對於人類來說，人類首先感覺到的是環境噪音，對於環境振動的感覺則不像對環境噪音的感覺來得明顯，除非是很大的振動才會有所感應。根據國內外的研究顯示，環境振動及噪音會對人類造成生理與心理不同程度之影響。而環境振動還會經由地表傳遞到人類所居住之房舍等建築物，使其產生振動，輕則造成房屋內之家具門窗搖晃作響，影響居住品質，嚴重的話則危害建築物本體結構，造成房屋牆壁龜裂的情形。環境振動及噪音來源有很多種，像是交通工具(飛機、火車、汽車、機車等等)、工廠機台、營建工地工作機具以及軍事靶場火砲射擊所產生之振動噪音等等，都是日常生活中經常碰到的振動噪音源。

而對於鐵路交通所造成之環境振動及噪音，在國內外都有相關之研究文獻。Moriyama et al. [1]是對鐵路與道路交通噪音之間的響應關係作比較，探討距離的減輕作用，結果顯示靠近鐵路的地區所受到的打擾比遠離鐵路的地區要較為嚴重。Fitzgerald [2]則是描述城市鐵路噪音控制量測的發展與成果，分別就倫敦港區窄軌鐵路的北線以及西線路段作噪音控制檢測的說明。Yano et al. [3]乃是對不同類型的社區鐵路噪音打擾評估尺度作比較，討論四種藉由社會民調得來的鐵路噪音打擾反應類型尺度，並且比較在相同尺度下鐵路與道路交通噪音之間的響應關係。郭及盧[4]則是利用測定鐵路每班列車之最大音壓位準  $L_{p,max}$  來推算預測小時均能音壓位準  $L_{p,eq,1h}$ ，以供鐵路交通噪音評估之參考。沈及顏[5]則探討高速鐵路振動量測之儀器規格、量測設定及方法、資料分析及處理方式，同時概略說明應用高鐵振動量測於監測車體、結構安全之工程技術。

同時探討鐵路交通之環境振動及噪音的研究方面，Ohrstrom [6]對於鐵路交通的振動及噪音暴露效應作研究，比較有振動及無振動兩個地區之間的差異。Jutulstad [7]則是敘述挪威奧斯陸到新機場之間新高速鐵路幹線發展之振動與噪音的問題。王等人[8]分析比較國外的管制方法，針對高鐵噪音振動之物理特性，找出適合國內情況的評估指標與環境影響量表，作為訂定管制標準之參考依據。中華民國振動與噪音工程學會[9]建立高速鐵路振動與噪音的標準量測方法、推估模式以及評估指標，擬定高速鐵路之振動噪音管制措施、對策及規範。本文之目的主要是針對鐵路交通所產生之環境振動及噪音進行檢測，了解火車經過對於環境的影響程度，並將檢測所得之數據作預測分析，預估鐵路交通在任一固定時間內所產生之振動噪音量。

## 二、評估指標之選用與理論基礎

進行環境振動及噪音檢測工作完畢後，之後便要分析檢測之數據，將檢測所得之原始數據換算成環境振動及噪音之評估指標，在此所謂的評估指標乃是比較評定環境振動及噪音大小的一種標準，環境振動與環境噪音所採用之評估指標略有不同，配合管制標準來加以控管振動噪音源對於環境的影響。國內外對於各種振動噪音源所產生之環境振動及噪音，都訂有相關之評估指標與管制標準，隨著國情的不同，所訂立之標準也有所差異。表 1 為世界各國對於各類型振動噪音源所產生之環境振動及噪音所採用之評估指標的比較，分為環境振動及環境噪音兩個部份，由於我國尚未制定振動管制法，唯有在勞工安全衛生方面[10]有規定勞工於振動環境作業時之振動暴露量限制，以最大加速度為評估指標，另外表中所列我國對

於環境振動所採用之評估指標乃是崔[11]所建立環境振動之量測與管制技術所使用之指標。

噪音的單位為分貝，寫為 dB。為模擬人耳對不同頻率的敏感度，必須對不同中心頻率之音壓位準取加權函數，表 1 所述之噪音評估指標皆取 A 加權函數，單位為 dBA。振動主要有三個方向，分為垂直(z 軸)方向以及水平(x、y 軸)方向，以垂直(z 軸)方向之振動對於人體的影響較大。振動的單位同噪音一樣為分貝，寫作 dB，並且需要作加權。

對於不同類型之振動噪音源，所需之評估指標也有所不同。根據表 1 所列之評估指標，配合環境振動及噪音的種類與實驗室所擁有之檢測儀器的功能，選擇適合並可利用分析工具運算獲得之評估指標，作為本文對於環境振動及噪音評估所用。以下主要對所選用之環境振動及噪音評估指標的公式原理以及定義作一敘述，並且說明各評估指標所代表之符號。

## (一)環境噪音

### 1. 均能音壓位準(Equivalent Energy Sound Level) $L_{P,eq,T}$

$$L_P = 10 \log \left[ \frac{p_t^2}{p_{ref}^2} \right] \quad (1)$$

$$L_{P,eq,T} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{P_i}}{10}} \Delta t_i \right] \quad (2)$$

在  $T$  時間內，聲音能量之平均值。其中， $L_P$  為音壓位準(Sound Pressure Level)，單位為 dBA； $p_t$  為測定音壓，單位為 Pa； $p_{ref}$  為參考音壓， $20\mu\text{Pa}$ ； $T$  為總量測時間，單位為秒； $L_{P_i}$  為第  $i$  個時間區間內之音壓位準，單位為 dBA； $\Delta t_i$  為第  $i$  個時間區間。

### 2. 最大音壓位準(Maximal Sound Level) $L_{P,max,T}$

在  $T$  時間內，音壓位準之最大值。

### 3. 聲音暴露位準(Sound Exposure Level)SEL

$$SEL = 10 \log \left[ \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{P_i}}{10}} \Delta t_i \right] \quad (3)$$

SEL 乃是將噪音事件之時程與能量大小，壓縮事件發生時間到 1 秒時的噪音值。其中， $L_{P_i}$  為第  $i$  個時間區間內音壓位準，單位為 dBA； $\Delta t_i$  為第  $i$  個時間區間。

## (二)環境振動

### 1. 均能振動位準 $L_{V,eq,T}$

$$L_{VA} = 10 \log \left[ \frac{a^2}{a_{ref}^2} \right] \quad (4)$$

$$L_V = 10 \log \left[ \frac{a_c^2}{a_{ref}^2} \right] \quad (5)$$

$$L_{V,eq,T} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{V_i}}{10}} \Delta t_i \right] \quad (6)$$

在  $T$  時間內，振動能量之平均值。其中， $L_{VA}$  為未經垂直或水平振動感覺修正(或稱為未加權，該修正值是為配合人類對振動感覺所作之修正數值)之振動加速度位準，單位為 dB； $L_V$  為經過垂直或水平振動感覺修正(或稱為加權)之振動位準，單位為 dB； $a$  為檢測所得未經加

權之振動加速度，單位為  $m/s^2$ ； $a_c$  為經過加權之振動加速度，單位為  $m/s^2$ ； $a_{ref}$  為參考加速度， $10^{-5} m/s^2$ ； $T$ ：總量測時間，單位為秒； $L_{V_i}$  為第  $i$  個時間區間內之振動位準，單位為 dB； $\Delta t_i$  為第  $i$  個時間區間。

## 2. 最大振動位準 $L_{V,max,T}$

在  $T$  時間內，振動位準之最大值。

## 3. 振動暴露位準(Vibration Exposure Level)VEL

$$VEL = 10 \log \left[ \sum_{i=1}^n 10^{10 \frac{L_{V_i}}{\Delta t_i}} \right] \quad (7)$$

VEL 乃是將振動事件之時程與能量大小，壓縮事件發生時間到 1 秒時的振動值。其中， $L_{V_i}$  為第  $i$  個時間區間內振動位準，單位為 dB； $\Delta t_i$  為第  $i$  個時間區間。

# 三、檢測方法

本文主要是對於不同列車行駛時所產生之振動噪音作評估，於屏東西勢至竹田路段之鐵路進行振動噪音檢測，由於此段鐵路屬於南迴鐵路，尚未電氣化，因此列車採用柴油車頭拖曳，鐵軌為單線路段。列車種類為自強號、莒光號、復興號以及普通號四種，將檢測數據進行分析，評估不同列車之振動噪音對於環境之影響。在選定之檢測鐵路段，在無列車經過時，檢測該處背景振動及噪音。接著分別就不同的列車經過時檢測其振動噪音，每種列車各進行三次檢測。其後由檢測而得之數據利用分析工具進行分析，求得各種列車對於環境之振動噪音影響，配合我國對鐵路振動噪音管制標準是以一小時為評估標準，因此以各列車經過所量測而得之振動及噪音量，以此預估此段鐵路在任一小時內之振動及噪音量。檢測方法分為環境噪音與環境振動兩方面，以下分別就兩方面之檢測點選擇、檢測儀器設定以及檢測時間等部份作說明。量測儀器架設如圖 1(a)、(b)所示。

## (一)環境噪音

根據環保署環境音量標準[14]之條文，對於一般鐵路之管制標準以及檢測噪音之方法有明確的規定，因此參考其條文中之檢測方法作為檢測工作之依據。

### 1. 檢測點選擇

- (1) 測定高度：聲音感應器應置於離地面或樓板 1.2 至 1.5 公尺之間。
- (2) 測量地點：距離外側鐵軌中心線 15 公尺處。但一般鐵路邊有建築物者，應距離最靠近之建築物牆面線向外 1 公尺以上。
- (3) 測定點特性：
  - a. 無緩衝物，且腳踏十分堅固、堅硬之地點
  - b. 無傾斜及凹凸之水平面地點
  - c. 未受到溫度、電氣、磁氣等外在條件影響之地點
- (4) 氣象條件：測定時間內須無雨、路乾且風速每秒 5 公尺以下

### 2. 儀器設定

- (1) 檢測模式：1/3 ENV
- (2) 頻率範圍：LIN
- (3) 階數 Q：3
- (4) 動特性：FAST
- (5) 加權因子：A 加權

- (6) 取樣時距：1 秒
- (7) FUNCTION：LEQ
- (8) Ln：L<sub>5</sub>、L<sub>10</sub>、L<sub>50</sub>、L<sub>90</sub>、L<sub>95</sub>

### 3. 檢測時間

- (1) 背景噪音：1 分鐘
- (2) 列車經過之噪音：每班列車經過之時間

## (二)環境振動

因為環境噪音及環境振動之檢測是同步進行，檢測儀器放置於同一處，所以在環境振動檢測方面，檢測點的選擇以及檢測時間大致與環境噪音方面相同，唯在儀器設定上有所差異。

### 1. 檢測點選擇

- (1) 測量地點：距離外側鐵軌中心線 15 公尺處。但一般鐵路邊有建築物者，應距離最靠近之建築物牆面線向外 1 公尺以上。
- (2) 檢測方向：垂直方向
- (3) 測定點特性
  - a. 無緩衝物，且腳踏十分堅固、堅硬之地點
  - b. 無傾斜及凹凸之水平面地點
  - c. 未受到溫度、電氣、磁氣等外在條件影響之地點

(4) 氣象條件：測定時間內須無雨路乾

(5) 儀器設定

- (1) 擷取頻寬：100Hz
- (2) Record Length：256
- (3)  $\Delta f$ ：1Hz
- (4) 取樣時距：1 秒
- (5) TRIGGER：Free Run

### 2. 檢測時間

- (1) 背景振動：1 分鐘
- (2) 列車經過之振動：每班列車經過之時間

## 四、結果與討論

將檢測所得之結果分為背景振動及噪音、各列車經過之振動及噪音兩個部分，探討列車經過對於環境的影響，並以此結果利用預估公式來預測此段鐵路在任一小時鐵路交通所產生之振動噪音量，導入對應的管制標準與之評估比較。

### (一)背景振動及噪音

#### 1. 背景噪音

表 2 為背景噪音之檢測數據，由於版面關係在此只列到 1000 Hz，並將背景噪音檢測結果繪製噪音值於時間域以及頻率域之分布圖，如圖 2(a)、(b)所示。在時間域的圖形中，有些秒數之噪音值為零，這是因為噪音值低於噪音計的動態範圍所致，在無明顯振動噪音源時，其變動範圍不大，約在 15 dBA 之間。而在頻率域的圖形中，低頻 12 Hz 的位置噪音值最大，之後持續下降，在 1250 Hz 的位置噪音值為最小，其後則為上升的情形。

## 2. 背景振動

表 3 為背景振動之檢測數據，頻率為 1/3 octave band，範圍到 80 Hz，並將背景振動檢測結果繪製振動值於時間域以及頻率域之分布圖，如圖 3(a)、(b)所示。在時間域的圖形中，在火車未經過時的背景振動量相當穩定，變動很小。而在頻率域的圖形中，在頻率 63 Hz 振動值特別高，此原因可能跟儀器本身之雜訊有關。

## (二) 列車經過時振動及噪音

### 1. 列車經過之噪音

表 4 為自強號、莒光號、復興號以及普通號四種列車經過時噪音之均能音壓位準  $L_{p,eq,t_k}$ 、最大音壓位準  $L_{p,max,t_k}$ 、噪音暴露位準  $SEL$  以及列車經過時間  $t_k$  的數值。此結果是根據檢測所得之列車經過每一秒之音壓位準，擷取噪音值較大之時間區域當作  $t_k$ ，計算出每班列車經過時間  $t_k$  內  $L_{p,eq,t_k}$ 、 $L_{p,max,t_k}$  以及  $SEL$  之值，並且求出每種列車三個班次數值之平均值。均能音壓位準是我國對於鐵路噪音所採取之評估指標；而日本乃是取 20 班列車經過之  $L_{p,max,t_k}$  值來作能量平均，以此當作評估標準；美國則是採用  $SEL$  作為評估標準。

由表 4 可以看出各列車之平均  $L_{p,eq,t_k}$  值以自強號為最小，最大之平均  $L_{p,eq,t_k}$  值則為普通號所產生。每種列車各班次經過所產生之噪音量，大都相接近，而復興號第 2 班次以及普通號第 1 與第 3 班次列車經過所檢測到之噪音量，則比同種類其他班次之列車高出甚多。此原因乃是因為此段鐵路檢測地點，較接近屏東竹田火車站，如果遇到停靠竹田將要北上開往屏東市之列車，會於離開竹田車站北上時開始加速，因此所產生之噪音量會比南下之列車還要來得大。而此三班列車正是從竹田車站出站加速往北上之列車，因此所產生之噪音量比起同類型之車種班次列車要高。自強號與莒光號北上往屏東市之列車並無停靠竹田車站，因此並無此問題產生。

### 2. 列車經過之振動

表 5 為自強號、莒光號、復興號以及普通號四種列車經過時振動之均能振動位準  $L_{v,eq,t_k}$ 、最大振動位準  $L_{v,max,t_k}$ 、振動暴露位準  $VEL$  以及列車經過時間  $t_k$  的數值。計算方式與列車經過之噪音的部分相同，根據檢測所得之列車經過每一秒之振動位準，擷取與噪音相同之時間區域與時間長度當作  $t_k$ ，計算出每班列車經過時間  $t_k$  內  $L_{v,eq,t_k}$ 、 $L_{v,max,t_k}$  以及  $VEL$  之值，並且求出每種列車三個班次數值之平均值。

由表 5 可以看出各列車之平均  $L_{v,eq,t_k}$  值以復興號為最小，最大之  $L_{v,eq,t_k}$  值則為莒光號所產生。每種火車各班次列車經過所產生之振動量，也都相當接近，而在列車出站影響因素方面，復興號第 2 班次以及普通號第 1 與第 3 班次列車經過所檢測到之振動量，並未如同噪音部分一樣，高於同車種其他班次之列車，反而呈現略低之現象，此原因可能與列車行車速度，車廂數目以及載客量有關。

## (三) 一小時振動及噪音量預估

經由查詢火車時刻表，了解火車經過此段鐵路之車種、班次以及經過時段，配合表 4 與表 5 所求得之數據，依據我國對於鐵路振動及噪音所採取之評估時間是以一小時為評估基準，因此利用預估公式來預估此段鐵路在任一小時之噪音及振動量，以利與管制標準作比較評估。

## 1. 環境噪音

根據背景噪音之均能音壓位準以及表 4 所得到各種列車經過時之均能音壓位準  $L_{P,eq,t_k}$ ，以此預估此段鐵路在任一小時之噪音量。預估公式如下所示：

$$L_{P,eq,T} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_{P,eq,j}}{10}} \Delta t_j \right] \quad (8)$$

$$T = \sum_{j=1}^n \Delta t_j \quad (9)$$

其中， $\Delta t_j$  為各列車種類行駛時間； $L_{P,eq,j}$  為各列車種類經過時之均能音壓位準，等同於  $L_{P,eq,t_k}$ ； $j$  為列車種類， $j=1$  為自強號， $j=2$  為莒光號， $j=3$  為復興號， $j=4$  為普通號， $j=5$  為背景噪音； $T$  為總預估時間。

表 6 為此段鐵路 17 到 18 時此一小時內各種列車經過之噪音情形，莒光號在此一時段並未有列車經過，因此  $\Delta t_j$  為零，將自強號、復興號、普通號以及背景噪音之數據，依據噪音預估公式，預估此段鐵路於這一小時之均能音壓位準  $L_{P,eq,1h}$ 。圖 4 為各列車均能音壓位準於此一小時時間域之分布，由於火車經過時間都很短，並且班次不密集，因此均能音壓位準在時間域之分布範圍很小，其後則是背景噪音之分布，紅線則為此一小時所預估之  $L_{P,eq,1h}$  值。

經由查詢火車時刻表，了解列車經過情形，即可運算出此段鐵路一天中每一小時預估之  $L_{P,eq,1h}$  值，並且與我國環境音量標準[14]裡對於鐵路噪音所規定之管制標準作比較，評估此段鐵路噪音之影響。此量測點依照管制區之分類劃分為第二類管制區，供住宅使用且需要安寧之地區，表 7 為此段鐵路每一小時預估之  $L_{P,eq,1h}$  數據與第二類管制區之管制標準，在凌晨 1 到 5 時並未有火車經過，因此噪音值為背景噪音，而在晚上 22 到 23 時此一時段之噪音值達到最大，為 67.1 dBA，不過所預估全天之噪音值並未超出我國之環境音量標準。圖 5 則為預估之  $L_{P,eq,1h}$  值與管制標準之比較，由圖所示所預估之  $L_{P,eq,1h}$  值並未超過管制標準。

## 2. 環境振動

根據背景振動之均能振動位準以及表 5 所得到各種列車經過時之均能振動位準  $L_{V,eq,t_k}$ ，以此預估此段鐵路在任一小時之振動量。其預估公式如下所示：

$$L_{V,eq,T} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_{V,eq,j}}{10}} \Delta t_j \right] \quad (10)$$

$$T = \sum_{j=1}^n \Delta t_j \quad (11)$$

其中， $\Delta t_j$  為各列車種類行駛時間； $L_{V,eq,j}$  為各列車種類經過時之均能振動位準，等同於  $L_{V,eq,t_k}$ ； $j$  為列車種類， $j=1$  為自強號， $j=2$  為莒光號， $j=3$  為復興號， $j=4$  為普通號， $j=5$  為背景振動； $T$ ：總預估時間。

表 8 為此段鐵路 17 到 18 時此一小時內各種列車經過之振動情形，各列車班次、列車經過時間  $t_k$  以及  $\Delta t_j$  都與噪音部分相同，依據此數據以及振動預估公式來預估此段鐵路於這一小時之均能振動位準  $L_{V,eq,1h}$ 。圖 6 為各列車均能振動位準於一小時時間域之分布，同噪音一般，由於火車經過時間都很短，而且班次不多，因此均能振動位準在時間域之分布範圍很小，其後則是背景振動之分布，紅線則為此一小時所預估之  $L_{V,eq,1h}$  值。

利用於噪音部分查詢火車時刻表所得到之各列車經過此段鐵路的資訊，即可運算出此段鐵路一天中每一小時預估之  $L_{V,eq,1h}$  值。由於國內尚未制定振動管制法，並無振動管制標準可供

參考，因此參考崔[11]對於鐵路振動所提出之管制建議值。此建議值乃是採用最大振動位準  $L_{V,max,T}$  作為評估指標，四種管制區與各時段之管制標準皆相同，最大振動位準皆為 70 dB。表 9 為此段鐵路每一小時預估之  $L_{V,eq,1h}$  數據與管制標準。圖 7 則為預估之  $L_{V,eq,1h}$  值與管制標準之比較，所預估  $L_{V,eq,1h}$  值並未超過管制標準。

## 五、結論

本文主要是對於火車經過時所產生之振動噪音進行檢測，了解鐵路交通所產生之振動噪音對於環境的影響程度，並進一步建立鐵路振動及噪音之預測模式。綜合結果討論如下：

1. 各列車平均均能音壓位準  $L_{P,eq,t_k}$  值以自強號為最小，最大之  $L_{P,eq,t_k}$  值則為普通號所產生。而各列車平均均能振動位準  $L_{V,eq,t_k}$  值則以復興號為最小，最大之  $L_{V,eq,t_k}$  值則為莒光號所產生。
2. 列車經過所產生之振動及噪音量，並未對應。在噪音方面，噪音值大小為自強號 < 莒光號 < 復興號 < 普通號，而在振動方面，振動值大小為復興號 < 普通號 < 自強號 < 莒光號。原因可能跟列車種類、行車速度、車廂數量、載客量有關。
3. 日後選擇鐵路檢測點時，如果在火車站附近，應該區別火車於進出站時減速或是加速情形，以正確評估鐵路交通所產生之環境振動及噪音影響。
4. 由於噪音計動態範圍之限制，低於動態範圍之噪音值輸出皆為零，噪音值於時間域之分布在某些秒數時呈現為零，這將會造成檢測結果的誤差，未來進行噪音量測工作前，需考慮噪音源之種類，設定適當之動態範圍，以提高檢測結果的準確性。
5. 在火車未經過時，背景振動於時間域之分布相當平穩，未有過大之變動。而在頻率域之分布，由圖 3 可以觀察到在 63 Hz 的位置振動值特別高，此原因可能是來自於量測儀器本身的雜訊所致，在未有明顯之振動源時，此因素可能會影響檢測結果。
6. 本文在進行列車經過之振動噪音檢測時，對於火車經過時間之設定過短，如此會忽略到火車經過檢測點前後對於環境振動及噪音之影響，造成檢測結果可能會與實際火車經過之影響產生誤差。未來在設定火車經過時間時，需考慮列車經過檢測點之前置影響，設定足夠之量測時間，在火車即將接近檢測點時開始進行檢測，其後再由檢測數據中擷取適當之時距作為火車實際經過之時間，才能更正確地求得列車經過之振動及噪音的影響。
7. 由預估公式所預估之  $L_{P,eq,1h}$  與  $L_{V,eq,1h}$  值，與管制標準比較皆未超出標準，原因是因為此段鐵路火車班次較少所致。未來可前往火車經過較為密集之鐵路路段進行檢測，按照所建立之量測方法與預估模式，即可預估選定之鐵路段的振動及噪音量。
8. 未來可以針對電氣化鐵路幹線之列車進行環境振動及噪音之檢測，以比較與南迴線鐵路列車之差異。

## 六、參考文獻

1. Morihara, T., Sato, T., and Yano, T., 2004, "Comparison of Dose-Response Relationships Between Railway and Road Traffic Noise: the Moderating Effect of Distance," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 277, pp. 559-565.
2. Fitzgerald, B. M., 1996, "The Development and Implementation of Noise Control Measures on an Urban Railway," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 193, No. 1, pp. 377-385.
3. Yano, T., Yamashita, T., and Izumi, K., 1997, "Comparison of Community Annoyance from Railway Noise Evaluated by Different Category Scales," *Journal of Sound and Vibration*, Vol.



205, No. 4, pp. 505-511.

4. 郭宏亮，盧天鴻，2001，「鐵路噪音  $L_{Aeq(1hr)}$  預測之檢討」，中華民國音響學會第 14 屆學術研討會論文集，台北，第 57-62 頁。
5. 沈怡君，顏彬任，2002，「高速鐵路振動量測及監測技術探討」，中華民國振動與噪音工程學會第 10 屆學術研討會論文集，台北，第 19-27 頁。
6. Ohrstrom, E., 1997, "Effects of Exposure to Railway Noise- a Comparison Between Areas With and Without Vibration," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 205, No. 4, pp. 555-560.
7. Jutulstad, H., 1996, "Challenges on the Issues of Noise and Vibration During the Development of a New Railway Link," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 193, No. 1, pp. 407-410.
8. 王偉輝，劉德源，盧威宇，呂鴻光，謝燕儒，莊訓城，周禮中，2003，「高速鐵路噪音振動之管制標準研究」，中華民國振動與噪音工程學會第 11 屆學術研討會論文集，基隆，第 135-144 頁。
9. 中華民國振動與噪音工程學會，2003，「高速鐵路噪音振動之研究」，行政院環境保護署，EPA-92-U1F1-02-102。
10. 行政院勞工委員會，1994，「勞工安全衛生設施規則」，行政院勞工委員會，台勞安二字第 42071 號令。
11. 崔廣義，1998，「環境振動量測與管制技術之建立」，行政院環境保護署，EPA-87-E3L1-03-03。
12. 王栢村，2004，「噪音檢測、分析與防制」，教育訓練教材，屏東科技大學，屏東。
13. 新鼎系統股份有限公司，2002，「高架道路、環境振動量測及防振技術之研究」，行政院環境保護署，EPA-91-U1F1-02-120。
14. 行政院環境保護署，1996，「環境音量標準」，行政院環境保護署，環署空字第 01467 號令。

## 七、附錄(圖、表)

表 1、各國環境振動及噪音評估指標之比較

類別	國家	適用環境	評估指標
環境噪音	日本	道路、一般地區	$L_{P,eq}$ 、 $L_{P,N}$
		機場	WECPNL
		新幹線鐵路	$L_{P,max}$
	德國、法國	高速鐵路	$L_{P,eq,pass}$ 、 $L_{P,eq,1h}$
	歐洲各國	鐵公路	$L_{P,eq}$ 、 $L_{P,max}$
	美國	高速鐵路	$L_{P,eq,1h}$ 、 $L_{P,dn}$ 、 $SEL$
中華民國	道路、鐵路、高速鐵路、捷運、一般地區		$L_{P,eq}$ 、 $L_{P,eq,1h}$
		機場	EPN、 $L_{P,max}$ 、 $SEL$
	工廠、娛樂營業場所、營建工程、擴音設施		$L_{P,eq}$ 、 $L_{P,max}$
環境振動	日本	JIS	$L_{VA}$ 、 $L_V$ 、 $L_{V,X}$
		特定工場、建設作業、道路	$L_{V,eq}$
	國際標準組織	ISO	均方根加速度
	中華民國	勞工安全衛生	最大加速度
一般環境		$L_{V,eq}$ 、 $L_{V,max}$ 、 $L_{V,10}$	

表 2、背景噪音檢測數據

頻率(Hz)	總時間 $T(60s)$ $L_{P,eq,60s}$
Broadband(dB)	79.3
Broadband(dBA)	36.8
12	58.4
16	58.0
20	56.4
25	53.5
32	52.2
40	49.4
50	47.0
63	44.9
80	42.8
100	40.6
125	38.0
160	35.5
200	33.1
250	30.6
315	28.5
400	26.9
500	24.0
630	21.0
800	20.2
1000	12.1
$L_{P,max,60s}$	46.1 dBA
$SEL$	54.6 dBA

表 3、背景振動檢測數據

頻率(Hz)	總時間 $T(60s)$ $L_{V,eq,60s}$
未加權 $L_{V,eq,T}$ (dB)	48.8
加權 $L_{V,eq,T}$ (dB)	36.9
1	39.0
1.25	36.1
1.6	31.2
2	19.6
2.5	-1.5
3.15	1.4
4	4.2
5	6.4
6.3	8.1
8	10.3
10	13.3
12.5	13.6
16	14.2
20	16.3
25	16.0
31.5	14.9
40	16.6
50	19.2
63	48.0
80	22.7
$L_{V,max,60s}$	37.1 dB
$VEL$	54.7 dB

表 4、各列車之  $L_{P,eq,t_k}$ 、 $L_{P,max,t_k}$ 、 $SEL$  與  $t_k$  數據

車種	班次	$L_{P,eq,t_k}$ dBA	$L_{P,max,t_k}$ dBA	$SEL$ dBA	列車經過時間 $t_k$ (s)	備註
自強號	1	79.2	82.6	88.3	8	
	2	78.8	82.1	88.8	10	
	3	79.9	82.0	89.4	9	
	平均	79.3	82.2	88.9	9	
莒光號	1	85.6	90.3	93.4	6	
	2	83.2	88.4	92.2	8	
	3	85.2	89.6	95.2	10	
	平均	84.8	89.5	93.8	8	
復興號	1	80.6	83.1	91.7	13	
	2	90.4	95.9	102.1	15	出站
	3	79.7	83.0	91.2	14	
	平均	86.4	91.6	98.0	14	
普通號	1	90.1	92.8	100.1	10	出站
	2	80.2	84.7	89.2	8	
	3	87.4	90.8	97.0	9	出站
	平均	87.5	90.5	97.3	9	

表 5、各列車之  $L_{V,eq,t_k}$ 、 $L_{V,max,t_k}$ 、 $VEL$  與  $t_k$  數據

車種	班次	$L_{V,eq,t_k}$ dB	$L_{V,max,t_k}$ dB	$VEL$ dB	列車經過時間 $t_k$ (s)	備註
自強號	1	59.2	62.5	68.8	8	
	2	58.8	62.4	68.8	10	
	3	60.1	62.4	69.6	9	
	平均	59.4	62.4	69.1	9	
莒光號	1	62.7	66.0	70.5	6	
	2	61.0	64.8	70.1	8	
	3	60.3	63.7	70.3	10	
	平均	61.5	64.9	70.3	8	
復興號	1	55.1	59.5	66.2	13	
	2	53.9	58.7	65.7	15	出站
	3	55.0	62.0	66.4	14	
	平均	54.7	60.3	66.1	14	
普通號	1	55.7	58.6	65.7	10	出站
	2	57.1	61.4	66.1	8	
	3	55.7	59.5	65.2	9	出站
	平均	56.2	60.0	65.7	9	

表 6、17 到 18 時此小時各列車經過之噪音情形

	班次	列車經過時間 $t_k$ (s)	$\Delta t_j$ (s)	$L_{P,eq,j}$ dBA
自強號	2	9	18	79.3
莒光號	0	8	0	84.8
復興號	1	14	14	86.4
普通號	2	9	18	87.5
背景噪音			3550	36.8
總時間			3600	$L_{P,eq,1h}=66.9$

表 7、每一小時預估之  $L_{P,eq,1h}$  數據與管制標準

時段	預估 $L_{P,eq,1h}$ dBA	管制標準 dBA
0~1	61.5	68
1~2	36.8	68
2~3	36.8	68
3~4	36.8	68
4~5	36.8	68
5~6	61.5	71
6~7	64.5	71
7~8	64.9	72
8~9	64.7	72
9~10	64.8	72
10~11	58.3	72
11~12	63.2	72
12~13	65.9	72
13~14	62.3	72
14~15	65.4	72
15~16	63.2	72
16~17	65.8	72
17~18	66.9	72
18~19	65.4	72
19~20	66.2	72
20~21	64.9	71
21~22	62.1	71
22~23	67.1	68
23~24	53.4	68

表 8、17 到 18 時此小時各列車經過之振動情形

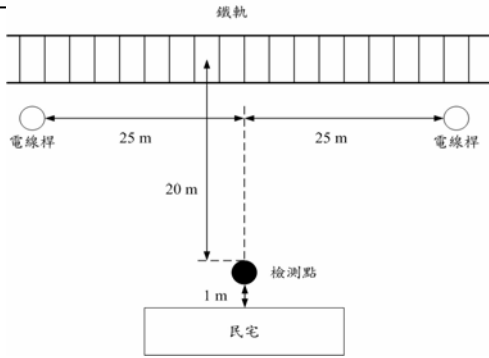
	班次	列車經過時間 $t_k$ (s)	$\Delta t_j$ (s)	$L_{V,eq,j}$ dB
自強號	2	9	18	59.4
莒光號	0	8	0	61.5
復興號	1	14	14	54.7
普通號	2	9	18	56.2
背景振動			3550	36.9
總時間			3600	$L_{V,eq,1h}=40.9$

表 9、每一小時預估之  $L_{V,eq,1h}$  數據與管制標準

時段	預估 $L_{V,eq,1h}$ dB	管制標準 dB
0~1	37.7	70
1~2	36.9	70
2~3	36.9	70
3~4	36.9	70
4~5	36.9	70
5~6	37.7	70
6~7	38.4	70
7~8	38.5	70
8~9	41.5	70
9~10	39.6	70
10~11	39.0	70
11~12	39.6	70
12~13	41.6	70
13~14	37.8	70
14~15	40.0	70
15~16	39.6	70
16~17	40.1	70
17~18	40.9	70
18~19	40.0	70
19~20	41.2	70
20~21	38.5	70
21~22	39.1	70
22~23	40.5	70
23~24	38.5	70

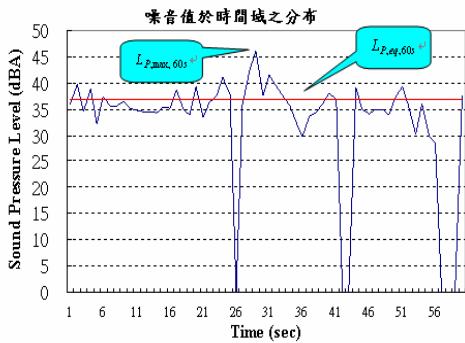


(a)儀器架設

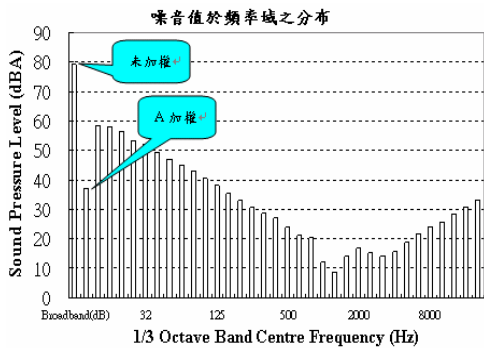


(b)鐵路量測位置

圖 1、量測儀器架設

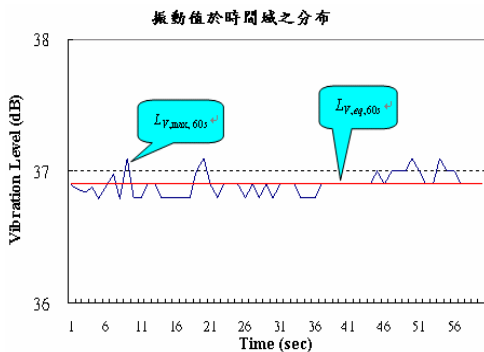


(a)時間域之分布

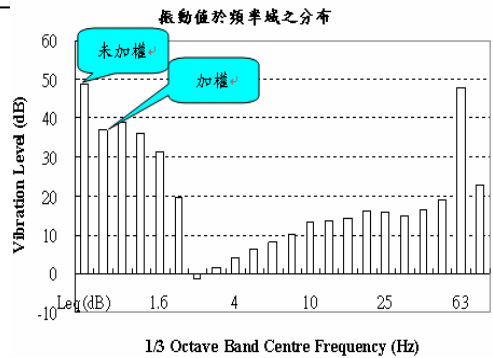


(b)頻率域之分布

圖 2、背景噪音分布圖



(a)時間域之分布



1/3 Octave Band Centre Frequency (Hz)

(b)頻率域之分布

圖 3、背景振動分布圖

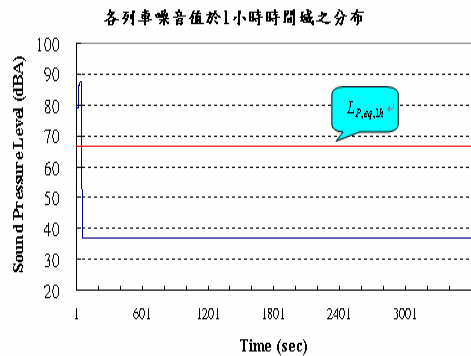


圖 4、各列車均能音壓位準於一小時時間域之分布

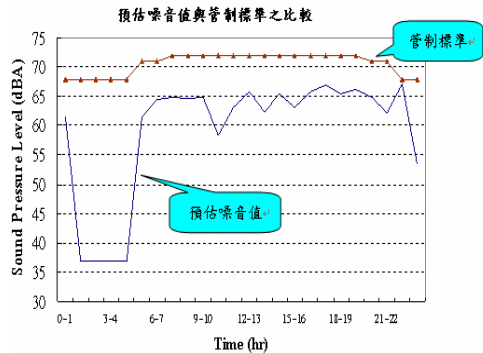


圖 5、預估之  $L_{p,eq,1h}$  值與管制標準之比較

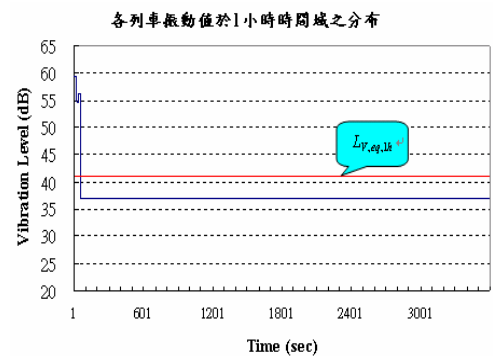


圖 6、各列車均能振動位準於一小時時間域之分布

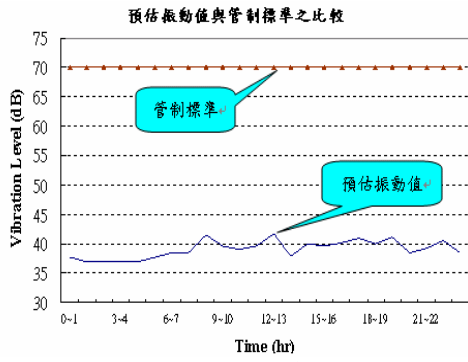


圖 7、預估之  $L_{V,eq,1h}$  值與管制標準之比較