

## 巴士車廂內之噪音檢測評估 Bus Interior Noise Measurement and Evaluation

王栢村 1、林鴻裕 2、 李俊賢 3、李建興 3

1 屏東科技大學機械系教授

2 屏東科技大學機械系副教授

3 屏東科技大學機械系研究生

### 摘要

本文是針對巴士車廂內之噪音進行檢測，並建立車廂內噪音整體量測標準作業程序。首先定義各種不同行駛狀況下之車內噪音檢測，包括選擇感測器量測位置以及量測相關設定值，利用瞬時噪音頻譜分析儀進行量測，得到三分之一八音頻帶頻譜值。並以室內噪音評估模式，對巴士經隔音處理前後之噪音量測結果進行分析比較。結果顯示，各種行車狀況，包括定速、上坡、下坡、加速/減速以及不同引擎轉速於靜止狀態等，經過隔音處理後的巴士車廂內噪音值有明顯下降，又由室內噪音評估指標可藉以瞭解車內噪音品質狀況，可做為未來評估類似車輛內部噪音之參考。本文針對大巴士建立其車廂內噪音量測標準作業程序，未來可應用於車廂內噪音品質之改善工作。

**關鍵字：**巴士、車廂內噪音、三分之一八音頻帶、室內噪音評估指標

### Abstract

This work performs noise measurement for a bus and evaluates its interior noise quality. First, different running conditions of bus are defined and operated in order to carry out the noise measurement by a real-time sound spectrum analyzer. The microphone location is properly selected and used to obtain one-third octave band sound spectra. With the adoption of room noise rating indices, the measured interior noise spectra before and after insulation treatment are compared and found significant improvement of noise reduction for different running conditions, such as constant speed, up-hill, down-hill, acceleration/deceleration, and different engine speeds in-still. The room noise rating indices are also applied to study the bus interior noise quality and can be useful to other types of vehicles as well. This work establishes the standard operational procedures for bus interior noise measurement and can be informative to the improvement of vehicle interior noise.

**Keywords:** bus, interior noise, one-third octave band, room noise rating indices

### 壹、前言

隨著國內汽車工業發展進步與車廠製造技術的提昇，對於車輛的行駛性、安全性、耐久性與舒適性已達到相當的水準。就國內汽車製造廠而言，除了在設計生產能力的提昇外，對於消費者的需求重點，也是成為新車開發階段時所需考慮的因素。國內汽車市場的調查顯示，消費者對於車輛靜肅性的品質要求是相當高，且已成為評價汽車優劣的指標之一，因此，要如何降低車輛的噪音，又不會影響車輛安全與增加成本，將是各車廠在解決車輛振動噪音防制所要面臨的課題。

江等人[1]針對汽車車內噪音，進行量測分析，量測車輛在各種行駛狀況時的噪音，包括

不同車速行駛時的定速噪音、緩加速緩減速時的噪音、急加速時的噪音、定檔定速時噪音，以及定檔急加速時的噪音，量測點包括引擎室、前座、後座、行李箱等位置。陳[2]根據造成車內共鳴音的各項主要因素，針對這些方向來進行問題點的原因調查。首先量測車子加速過程中在哪些轉速下會產生令人不悅的共鳴音，發現車內噪音總量部分於 3000rpm 附近及 3600rpm 附近有明顯峰值存在，故針對在加速過程中發生車內共鳴音的問題點(引擎轉速 3000rpm 及 3600rpm 附近)進行探討。馬等人[3]利用振動噪音量測與頻譜訊號分析，進行艦艇裝備故障之診斷，將所量測到的訊號利用快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform)、功率頻譜(Power Spectrum)、功率倒譜(Power Cepstrum)分析及包絡訊號分析(Envelope Analysis)等方法進行處理及分析。王等人[4]針對軌道車輪聲音輻射與振動特性之關聯性進行探討，簡介鋼輪之有限元素分析及實驗模態分析，同時說明鋼輪之實驗模態特性，發現輪軌滾動噪音是由於輪軌接觸面交互作用產生，且輪、軌均會輻射出可觀的聲音，只是鋼輪輻射音與軌道輻射音在不同頻域下有不同貢獻量。

本文主要針對巴士車廂內之噪音進行檢測，評估隔音處理前後之噪音量，並建立車廂內噪音量測標準作業流程，未來可應用於車廂內噪音品質之改善工作。

## 貳、量測規劃分析

本文以巴士車型 BX-212 進行實驗，如圖一與圖二，而主要分析目標在建立車廂內噪音量測標準作業流程，並評估隔音處理前後之噪音量。使用儀器為瞬時噪音頻譜分析儀，型號為 CEL593.C1，圖三為儀器架設照片。

分別以不同行車狀況進行噪音量測，敘述如下：

- (1) 定速：行駛於高速公路(國道 3、88 號)上，分別在時速 60、70、80、90、100、110km/hr 進行量測，並記錄檔位。
- (2) 上坡：交流道、高雄大坪頂等。
- (3) 下波：交流道、高雄大坪頂等。
- (4) 啟動-加速-100km/hr-油壓煞車-停止：潮州戰備跑道
- (5) 靜止：不同引擎轉速，650，1000，1500rpm。附屬設備全開。



圖一、巴士外觀



圖二、巴士內部圖



圖三、噪音計量測位置

## 參、評估指標與分析方法

本文所採用之評估指標分為噪音評估模式與室內噪音評估指標 2 個部份，分別敘述如後。

### 一、噪音評估模式

#### (一) A-加權全音域音壓位準， $L_{AP}$ (dBA)

$$L_{AP} = 10 \log_{10} \sum_{i=1}^{N_f} 10^{0.1L_{APi}} \quad (1)$$

式中， $L_{APi}$  為第  $i$  個八音階中心頻率音壓位準(dBA)； $N_f$  為八音階頻率之  $N_f$  個中心頻率。

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

$$L_p = 10 \log \left[ \frac{p_i^2}{p_{ref}^2} \right] \quad (2)$$

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

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； $p_i$  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。本文  $T$  為 60 秒。

#### (三) 統計音壓位準(Statistical Sound Pressure Level)， $L_N$ (dBA)

$L_N$ ：用以顯示有多少時間，其噪音值超過此一音壓位準

$L_5$ ：指該時段內，有 5% 的時間超過此音壓位準

### 二、室內噪音評估指標

#### (一) 噪音準則曲線(NC Curve)

或稱噪音定規曲線，為美國廣泛應用於評估室內噪音問題，及達成規劃背景噪音目標之評估指標。噪音準則曲線評定室內噪音級步驟，簡述如下：

1. 量測八音頻帶音壓位準值
2. 將量測值套入噪音準則曲線
3. 曲線之最高值，即為該室內音場環境

#### (二) 較佳噪音準則曲線(PNC Curve)

評定室內噪音級步驟與 NC 曲線相同

#### (三) 噪音率定曲線(NR Curve)

評定室內噪音級步驟與 NC 曲線相同，通常利用測得之 1/3 八音頻譜分析值來評估噪音之吵鬧程度。

#### (四) 平衡噪音準則曲線(NCB Curve)

平衡噪音準則曲線評定室內噪音級步驟：

1. 計算語言干擾位準得XX(dB)，即為其音場環境。
2. 將量測所得頻帶音壓位準值各點數值連接。
3. 求NCB-YY，NCB-YY為NCB-XX+3。
4. 考慮以下3種狀況：
  - (1) Rumble：頻率在1000Hz以下的音壓位準值，超出Rumble這條曲線，此音場可能會有Rumble的問題，標註為NCB-XX(R)。
  - (2) Hiss：頻率在1000Hz以上的音壓位準值，若高於Hiss這條曲線，則顯示此音場可能會有Hiss的問題發生，標註為NCB-XX(H)。
  - (3) Vibration：當16、31.5、63Hz等低頻的音壓位準值位於A或B區域時，則此音場可能會有振動的問題，標註為 NCB-XX(A或B)。

#### (五) Mark II 室內準則曲線(RC Mark II Curve)

Mark II 室內準則曲線評定室內噪音步驟：

1. 計算優先語言干擾位準得 XX(dB)。
2. 求出 LF、MF、HF。

$$LF=10\log\left(\frac{10^{\Delta L_{16}/10} + 10^{\Delta L_{31.5}/10} + 10^{\Delta L_{63}/10}}{3}\right) \quad (4)$$

$$MF=10\log\left(\frac{10^{\Delta L_{125}/10} + 10^{\Delta L_{250}/10} + 10^{\Delta L_{500}/10}}{3}\right) \quad (5)$$

$$HF=10\log\left(\frac{10^{\Delta L_{1000}/10} + 10^{\Delta L_{2000}/10} + 10^{\Delta L_{4000}/10}}{3}\right) \quad (6)$$

其中， $\Delta L_{16}$  指的是在16Hz的頻帶，將實際量測得到的數值和RC-XX曲線對應數值的差，其餘以此類推。

3. 找出 QAI(LF、MF、HF 相差之最大值)。
4. 求出QAI後，考慮以下3種狀況：
  - (1) 當QAI<5，表示此音場環境為最佳理想狀態，標註為RC-XX(N)。
  - (2) 當QAI為5-10，表示音場環境勉強可以接受。若HF比LF、MF大，則紀錄為RC-XX(HF)。
  - (3) 當QAI>10，表示音場環境極不理想。

本文以瞬時噪音頻譜分析儀量測得到噪音之線性頻譜，再將得到之數值帶入室內噪音指標，分析隔音前後之結果比較。

## 肆、結果與討論

### 一、隔音前後之均能音量音壓位準(dBA)結果比較

表3為均能音量音壓位準隔音前後結果比較表，綜合討論如下：

1. 在定速行駛中，可以看出確實有達到改善的效果，改善幅度在 1.4-4dBA 之間。在定速 110km/h 時隔音最多，達 4dBA。
2. V-70-1 隔音後的檔位為 4 檔 1800rpm，而 V-70-2 與 V-70-3 皆為五檔 1300rpm，此為 V-70-1 隔音後噪音量高的原因。高噪音值出現在 V-110-1 與上坡情況，經隔音處理後有明顯改善 3dBA 以上，但在高引擎轉速，如高速、上坡時，仍略高於目標值 70dBA。上坡時，隔音效果大約在 3.1dBA；下坡時，隔音效果大約在 1.9dBA。
3. 在靜止引擎不同轉速下，可看出在引擎轉速 650rpm 情況下，隔音效果較佳，達 2.4dBA；在引擎轉速 1500rpm 的隔音量，則為 0.8dBA。

表 3. 均能音量音壓位準隔音前後結果比較表

Case	L <sub>eq,T</sub>		平均		隔音結果	L <sub>5,T</sub>		L <sub>10,T</sub>		L <sub>50,T</sub>		L <sub>90,T</sub>		L <sub>95,T</sub>	
	前	後	前	後		前	後	前	後	前	後	前	後	前	後
V-60-1	71.1	70.7	71.7	70.3	-1.4	73.0	72.0	72.0	72.0	71.0	71.0	69.0	70.0	68.0	69.0
V-60-2	72.2	70.0				74.0	71.0	73.0	71.0	72.0	70.0	71.0	69.0	70.0	69.0
V-60-3	71.9	70.2				74.0	71.0	74.0	71.0	72.0	70.0	69.0	70.0	68.0	69.0
V-70-1	72.8	72.2	72.3	71.1	-1.2	74.0	73.0	74.0	73.0	73.0	72.0	70.0	71.0	69.0	71.0
V-70-2	72.6	70.5				74.0	71.0	73.0	71.0	73.0	70.0	71.0	70.0	70.0	69.0
V-70-3	71.5	70.5				73.0	72.0	72.0	71.0	72.0	70.0	70.0	70.0	69.0	70.0
V-80-1	72.1	69.9	71.8	70.1	-1.7	73.0	71.0	73.0	70.0	72.0	70.0	71.0	69.0	71.0	69.0
V-80-2	71.0	70.2				72.0	71.0	72.0	71.0	71.0	70.0	70.0	70.0	69.0	70.0
V-80-3	72.3	70.1				73.0	71.0	73.0	71.0	72.0	70.0	72.0	70.0	71.0	69.0

表 3. 均能音量音壓位準隔音前後結果比較表(續)

Case	L <sub>eq,T</sub>		平均		隔音結果	L <sub>5,T</sub>		L <sub>10,T</sub>		L <sub>50,T</sub>		L <sub>90,T</sub>		L <sub>95,T</sub>	
	前	後	前	後		前	後	前	後	前	後	前	後	前	後
V-90-1	72.6	69.8	72.8	70.3	-2.5	73.0	71.0	73.0	70.0	73.0	70.0	72.0	69.0	72.0	69.0
V-90-2	73.3	70.9				74.0	72.0	74.0	72.0	73.0	71.0	72.0	70.0	72.0	70.0
V-90-3	72.5	70.2				75.0	71.0	74.0	71.0	72.0	70.0	71.0	69.0	71.0	69.0
V-100-2	72.8	70.3	72.8	70.3	-2.5	74.0	71.0	74.0	71.0	73.0	70.0	72.0	69.0	72.0	69.0
V-110-1	75.7	71.7	75.7	71.7	-4.0	76.0	72.0	76.0	72.0	76.0	72.0	75.0	71.0	75.0	71.0
T-1(上坡)	75.7	73.3	76.5	73.4	-3.1	79.0	77.0	78.0	76.0	75.0	73.0	72.0	69.0	69.0	67.0
T-2(上坡)	75.5	73.8				78.0	76.0	77.0	76.0	75.0	74.0	74.0	70.0	73.0	68.0
T-4(上坡)	77.9	73.6				80.0	77.0	79.0	77.0	78.0	73.0	76.0	70.0	73.0	68.0
T-6(上坡)	76.9	72.7				79.0	75.0	78.0	74.0	77.0	73.0	74.0	69.0	74.0	68.0
L-3(下坡)	72.6	70.8	72.6	70.7	-1.9	75.0	74.0	75.0	73.0	72.0	71.0	69.0	67.0	68.0	66.0
L-4(下坡)	72.6	70.5				77.0	73.0	75.0	73.0	71.0	70.0	69.0	67.0	68.0	63.0
S-0-0650-01(靜止)	62.3	59.9	62.3	59.9	-2.4	63.0	60.0	63.0	60.0	62.0	60.0	62.0	59.0	62.0	59.0
S-0-1000-01(靜止)	66.2	66.8	66.2	66.8	+0.6	67.0	67.0	67.0	67.0	66.0	67.0	65.0	66.0	64.0	66.0
S-0-1500-01(靜止)	73.1	72.3	73.1	72.3	-0.8	74.0	73.0	74.0	73.0	73.0	72.0	73.0	72.0	72.0	71.0

## 二、隔音前後之噪音計轉室內噪音指標結果比較：

表 4 為隔音前後之室內噪音指標結果表，綜合討論如下：

1. 在定速行駛中，隔音後之指標曲線大部分都是降低的情況。V-80-3 隔音後之 NCB 值高於隔音前，是由於在高頻 3150Hz 出現高噪音值的緣故。表 5 為 V-80-3 隔音前後

均能音量音壓位準比較表。

2. 隔音前後的 QAI 值幾乎都大於 10，表示音場環境高、低頻音量差異大，LF 表示低頻是主要原因，VA 表示有引發振動之虞慮；NCB 值則普遍介於 50-60 之間，代表可接受說話及講電話的程度，並不適合辦公或是溝通。
3. 利用室內噪音指標作為車內噪音評估的依據，先前並無相關規範使用於車廂內噪音評估，在此除作為參考之外，則提供了對於特定頻帶之改善方向。

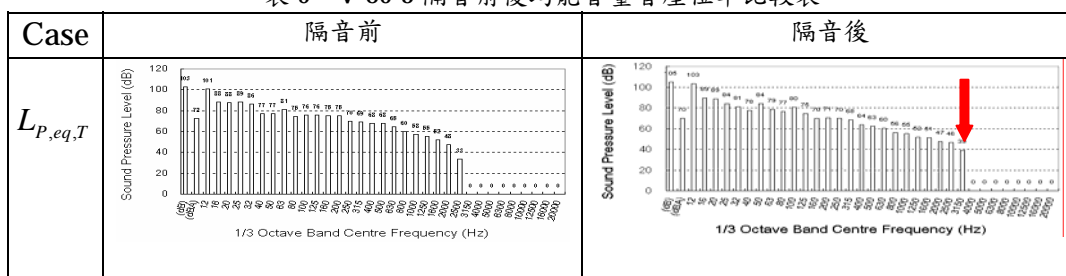
表 4. 噪音計轉室內噪音指標隔音前後結果比較表

case	NR		RC						NCB				NC				PNC	
			RC		QAI		特殊		NCB		RUM		SIL		TAN			
	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後
V-60-1	69	69	62	61	14	15	LFVA		57	58	A		71.3	71	79.1	81.1	92.2	94.3
V-60-2	69	68	62	61	11	16	LFVA		58	57	A		72.4	70.1	80.9	80.9	90.8	95.1
V-60-3	69	68	63	60	14	15	LFVA		60	56	A		72.1	70.3	81.0	80.2	94.5	92.8
V-70-1	70	70	64	62	15	14	LFVA		61	59	A		73.0	72.5	81.6	82.8	96.8	94.7
V-70-2	71	71	64	59	14	16	LFVA		58	55	A		72.9	70.8	80.9	81.1	94.7	93.3
V-70-3	69	71	62	59	14	16	LFVA		54	53	A		71.7	70.8	80.2	81.5	93.1	92.7
V-80-1	70	70	62	59	13	17	LFVA		54	55	A		72.4	70	81.4	81.2	92.8	94
V-80-2	68	71	62	60	12	18	LFVA		56	56	A		71.2	70.4	79.9	81.7	92.3	95
V-80-3	70	69	63	60	13	17	LFVA		48	55	A		72.6	70.2	81.5	81	93.2	94.2
V-90-1	70	68	63	59	14	16	LFVA		56	55	A		72.8	70.1	82.9	80.6	95.3	93.1
V-90-2	71	72	64	60	18	19	LFVA		60	55	A		73.6	71.3	84.4	82.2	99.5	96.1
V-90-3	69	69	64	60	15	14	LFVA		61	57	A		72.8	70.5	82.9	81	98.0	92.9
V-100-2	70	69	65	61	12	13	LFVA		62	58	A		73.0	70.4	82.5	81.8	96.6	93.6
V-110-1	74	71	66	62	10	14	LFVA		63	59	A		76.1	72.1	85.1	82.7	96.2	94.7
T-1	72	72	66	63	12	12	LFVA		63	59	A		76.0	73.2	85.0	82	96.6	93.2
T-2	73	76	66	72	14	5	LFVA		63	71	A		75.8	80.5	84.2	88	97.3	98.8
T-4	75	72	68	63	10	12	LFVA		64	60	A		78.2	73.9	86.0	83.1	96.4	94.1
T-6	74	71	68	63	11	13	LFVA		65	61	A		77.1	73.2	85.2	83	97.6	95.3
L-3	70	69	64	62	12	14	LFVA		61	59	A		72.8	71.1	81.2	81.6	94.7	95.1
L-4	71	78	64	69	16	9	LFVA		61	68	A		72.9	77.3	81.6	83.5	97.7	96.7

表 4. 噪音計轉室內噪音指標隔音前後結果比較表(續)

case	NR		RC						NCB				NC				PNC	
			RC		QAI		特殊		NCB		RUM		SIL		TAN			
	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後
S-0-0650-01	57	55	54	46	7	5	LFVA		54	46	A		62.3	58.8	74.6	70.9	86.4	80.9
S-0-1000-01	65	64	56	58	7	4	LFVA	N	54	56	A		66.4	67	78.3	77.6	87.4	86.5
S-0-1500-01	74	69	62	64	8	5	MF		59	60	A		73.1	72.5	83.5	79.8	91.2	86.2

表 5、V-80-3 隔音前後均能音量音壓位準比較表



## 伍、結論

本文針對巴士車廂內之噪音進行檢測，並建立車廂內噪音整體量測標準作業程序，可瞭解確有一定之隔音效果，有助於未來量測規劃以及進一步隔音改善之參考依據，綜合討論如下：

1. 結果顯示，各種行車狀況，包括定速、上坡、下坡、加速/減速以及不同引擎轉速於靜止狀態等，經過隔音處理後的巴士車廂內噪音值有明顯下降。
2. 在定速行駛中，可以看出確實有達到改善的效果，改善幅度在 1.4-4dBA 之間。在定速 110km/h 時隔音最多，達 4dBA。
3. 先前並無相關規範使用室內噪音指標於車廂內噪音評估，此除作為參考之外，則提供了對於特定頻帶之改善方向。
4. 隔音處理後的噪音值都有下降，但在高引擎轉速下普遍都高於 70dBA，尚有改善空間。
5. 本文針對大巴士建立其車廂內噪音量測標準作業程序，未來可應用於車廂內噪音品質之改善工作。

## 陸、誌謝

感謝成運公司經費支持以及鄭鏞豪廠長與陳新正課長大力幫忙，使得量測進行順利，特此致謝。

## 柒、參考文獻

1. 江文旺，何展效，簡惠子，「小客車車內噪音改善研究」，中華民國第十三屆振動與噪音工程學術研討會，彰化，第 19-22 頁(2005)
2. 陳柏徵，「車內加速共鳴音之改善應用」，第十三屆中華民國振動與噪音工程學術研討會，彰化，第 13-18 頁(2005)
3. 馬志高，周錫明，戴中傑，洪建文，「船艦振動噪音診斷與防治之研究」，第十四屆中華民國振動與噪音工程學術研討會論文集，宜蘭，第 1-10 頁(2006)
4. 王栢村，李英傑，「軌道車輪聲音輻射與振動特性之關聯性探討」，中華民國音響協會第十七屆學術研討會論文集，高雄，第 189-196 頁(2004)