

國內建築環境振動噪音管制標準與 ISO 國際標準之適用性探討

盧威宇 1、王偉輝 2

1 宇泰威工程有限公司 總經理、系統工程博士候選人

2 國立臺灣海洋大學 系統工程暨造船學系 教授

網址: www.luweiyu.com.tw 電話: 0932-023-043 ; 02-2547-4975 E-mail: luweiyu6050@yahoo.com.tw
摘要

國內有關建築物環境振動及噪音管制標準，以居住環境噪音而言，多半由環保署噪音管制標準加以規範。關於環境振動對人體的影響，由於過去國內對建築物內裝設之相關機械及管路作隔振設計的要求不多，且無強制的法令條文明定建築物內的振動環境標準，頂多沿用過去勞安作業環境振動極限準則。因此，許多建築物由機械振動引起的低頻噪音或振動問題，長期會對人體身心產生相當程度的困擾。

本文係對層出不窮的住宅或廠辦大樓內，室內聲環境與環境振動公害問題，參考 ISO 最新國際標準中的振動與聲環境標準加以評量，並以兩項發生在國內因振動噪音公害陳情訴訟事件作為案例，進行深入探討，尋找一套符合國內環境振動噪音的管制標準。

關鍵詞: 低頻噪音、室內聲環境、環境振動公害

一、前言

儘管環保署早在七十七年擬訂了「振動管制法」草案，但由於國內環境的變動，噪音及其他相關法令架構及其內容也歷經數次修正，其與該草案架構及內容相去甚遠，為切合我國未來環境保護政策及施政方針，並配合國際環保法規最新修正趨勢，遂於八十六年由行政院函請立法院撤回該草案，但該草案仍持續由行政院列管追蹤環保署之修訂進度，日前環保署仍與學術單位合作研擬修訂該振動管制法草案。

本文擬以 ISO-2631 國際標準中相關建築環境振動影響指標，應用於工業區廠辦大樓、住宅臥房及飯店客房振動聲響環境，由陳情位置進行振動與噪音量測，比較是否超過相關國際標準，並進一步建立相關診斷追蹤振動噪音來源之方法。

二、ISO 2631-2 建築物內振動之國際標準

國際標準組織 (the International Organization for Standardization, ISO) 評估人類曝露在全身振動的環境中，所制定的標準 ISO 2631 內容，1989 年陸續改版後的標準分別有：

第一部份 一般規範 ISO2631-1:1997

Part 1 General requirements

第二部份 建築物內的振動(1 Hz to 80 Hz) ISO2631-2:1989

Part 2 Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)

第三部份 固定導軌之運輸系統上乘客及機組員對振動及旋(迴)轉感受之評估指引 ISO2631-4:2001

1989 加以介紹分析，並以國內幾類建築環境振動對人員造成困擾的案例探討 ISO2631-2 之適用性。

ISO 2631-2 主要提供人類對建築物振動感應之應用指引，其內容包括：

(一) 應用範圍

持續性的振動 (continuous vibration) 及間歇性的振動 (Intermittent vibration)，並考量建築物的使用時段及使用空間等因素作加權處理，其加乘因子如表 1 所示。

(二) 建築物振動的特性

1. 振動方向

人們在建築物內活動，或站或坐或臥或三者混合都有可能，人體振動之座標軸，如圖 1 所示。

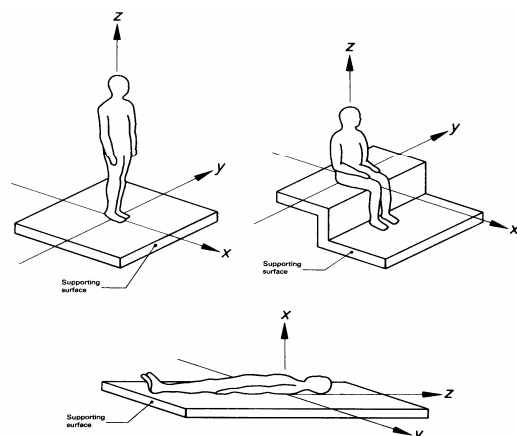


圖 1. 振動進入人體座標系統[1]

本研究將就與建築環境振動相關的第二部份：ISO2631-2：

2. 暫態與間歇性振動

暫態振動與間歇性振動是很難界定的，而 ISO2631 所言的暫態振動是指迅速達到尖峰，隨後緩緩衰減，可能包含幾個振動循環周期，歷時很短（少於 2 秒）；而間歇性振動是指一連串的偶發振動，可分離出小振幅的許多間隔區間，可能源自脈衝式振動源，如打樁機、車床、破碎機，或源自間歇性地作用振動源。一個事件可能包含一個主要的脈衝式振動或一群可以個別分離的暫態性振動（這一群振動持續時間不超過一分鐘）。

(三) 振動的量測

評估建築物振動的方式，應儘可能測量其加速度，雖然有些狀況會測量其速度或位移。評估持續性振動之 rms 加權加速度方法同 ISO2631-1。

表 1 建築物振動對應於人類反應之加乘因子[2]
【此加乘因子應用在圖 2、3、4 之基礎曲線】

場所	時段	持續性或間歇性振動 ²⁾	一天發生多次的暫態振動
敏感地區【如醫院、戲(劇)院、精密實驗室】	日夜	1	1 ^{2),3)}
住宅區	日	2 至 4 ⁴⁾	30 至 90 ^{4),5),6),7)}
	夜	1.4	1.4 至 20
辦公室	日	4 ⁸⁾	60 至 128 ⁸⁾
	夜		
工作場所 ⁹⁾	日	8 ^{8),10)}	90 至 128 ^{8),10)}
	夜		

說明：

- 1) 上表所列之振動大小比民眾可能反應程度低（不考慮振動牆面產生的任何聽覺的噪音）。
- 2) 亦包含由重覆性震盪（repetitive shock）所產生的似靜態（quasi-stationary）振動。此震盪（shock）定義 ISO2041:1975，有時亦歸類於暫態（transient）或脈衝式（impulsive）振動。
- 3) 在醫院等敏感區之暫態（transient）振動大小係指手術或關鍵工作進行中的時段，其他時段則以住宅區（須雙方同意）視之。
- 4) 在住宅區內，對振動的容忍度差異很大，依其社會、文化、心理等因素而定。
- 5) 一天內事件次數及大小之間的代換尚未適當建立，當一天超過三次或以上事件時，可以用下列關係式：
 $F_n = 1.7 N^{0.5}$ ，其中 N 為一天發生的次數。
當數值低於使用持續性振動加乘因子所得的值時，此代換關係式不適用；事件大小範圍小（最大值的半值範圍內），使用算術平均數，否則只考慮最大值。
- 6) 對歷時超過 1 秒的離散（discrete）事件，加乘因子可以再乘以歷時因子 F_d ：
 $F_d = T^{1.22}$ ，水泥地板及 T 在 1 至 20 之間
 $F_d = T^{0.32}$ ，木質地板及 T 在 1 至 60 之間
其中，T 為事件歷時，單位：秒，可自整個運動時間歷程的 10%（-20dB）開始評估。
- 7) 在硬質岩層開鑿時，地層下擾動會造成高頻振動，有些國家使用之加乘因子會高達至 128 才能使住宅區居民滿意。
- 8) 在辦公室及工作場所區域之暫態（transient）振動大小應該考

慮干擾工作活動的可能性而加大。

- 9) 針對特定作業流程（如落錘鍛造、碎石機會振動工作地區）之工作場所，則不在此討論，而定義在 ISO2631-1。
- 10) 對持續性（continuous）或間歇性（intermittent）振動及重覆的暫態（transient）振動建議值加倍，可能反而會造成反對意見；如果乘以四倍的話（查閱反應曲線），反對意見可能更大。

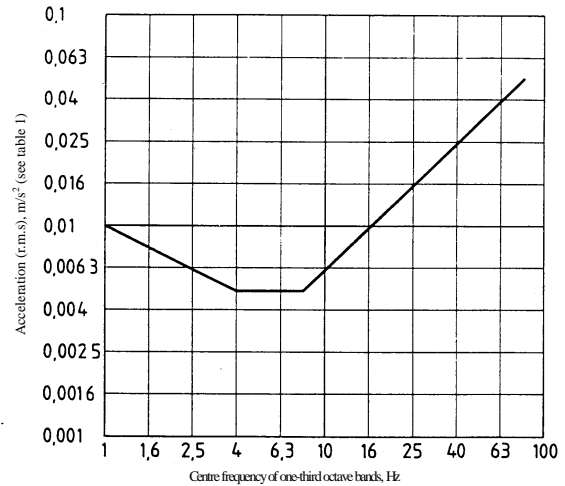


圖 2. ISO2631-2 建築物內垂直加速度的抱怨位準線[2]

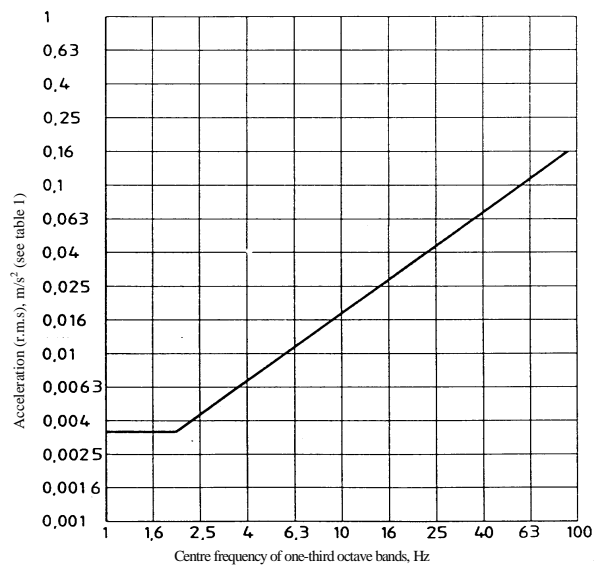


圖 3 ISO2631-2 建築物內水平加速度的抱怨位準線[2]

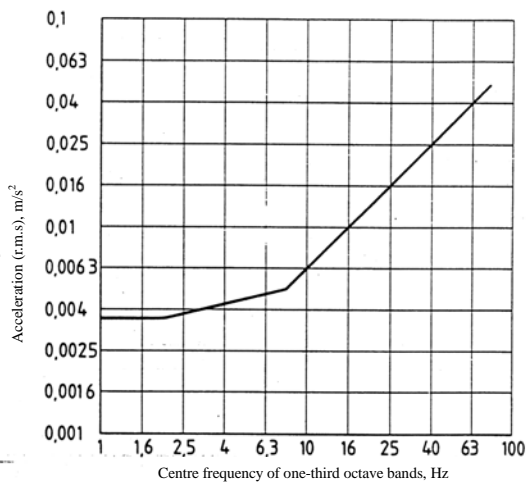


圖 4 ISO2631-2 建築物內水平垂直向加速度的抱怨位準基線[2]

三、振動相關陳情案件發生原因探討

民眾對有關振動或因振動引起的噪音陳情內容可概分為：

1. 室內裝潢物件部份：門、窗戶、分間牆、天花板產生搖動現象產生而發生喀啦啦響聲，該振動亦造成燈具櫥櫃共振產生噪音問題，如圖 5 及圖 6 所示。



圖 5. 分間牆骨架振動傳遞

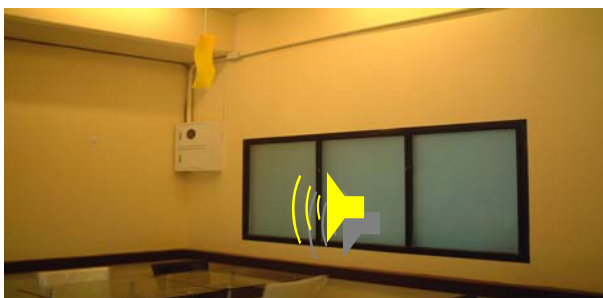


圖 6. 窗戶振動輻射噪音

2. 心理方面：睡眠受到妨害、影響思考及讀書、周遭氣氛有壓迫感。
3. 生理方面：頭痛或頭重感覺、耳鳴、耳朵有壓迫感、胸部或腹部有壓迫感、喉嚨有振動感覺或感覺乾燥、鼻子癢癢的、吸氣苦苦的或咳嗽、呼吸不順暢、腸胃不適、血壓升高。

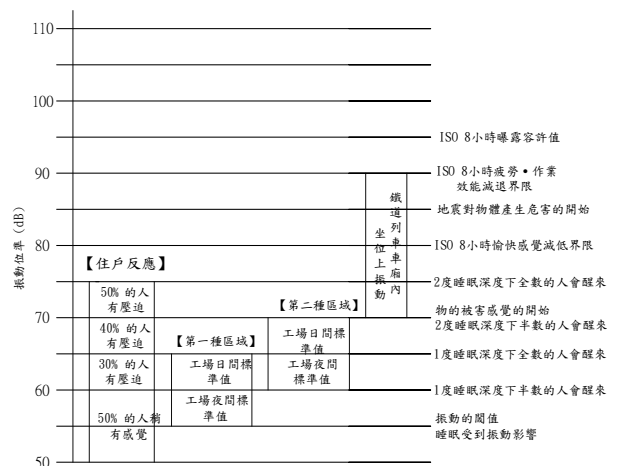
日本研究文獻[14]指出，在機械設備運轉時，往往同時有振動加速度及低頻振動的影響，圖 7 表示 50~60dB 的振動量，約有 50

% 的居民會感受到，65dB 時有 30% 的居民有壓迫感，至 75dB 時會有 50% 的居民感受到壓迫感；表 2 是振動對睡眠的影響，當地表面振動達 55 分貝（振動台床上振動達 60 分貝）時，睡眠即開始被影響，至地表面振動達 74 分貝（振動台床上振動達 79 分貝）時，對 3 度睡眠狀態亦會有較強的影響。

表 2 振動對睡眠的影響[14]

垂直振動位準 (dB)		睡眠及其影響
地表面	振動台的床上	
55	60 (5)	開始產生影響
60	65 (10)	1 度睡眠被打擾；2 度睡眠有半數被打擾
64	69 (14)	1 度睡眠被打擾，2 度睡眠以上略有影響
69	74 (19)	1 度睡眠及 2 度睡眠被打擾，3 度睡眠略有影響
74	79 (24)	1 度睡眠及 2 度睡眠均會被打擾，3 度睡眠影響增強

說明：振動的增量為地表面的 5 分貝換算，睡眠時間以 8 小時計。



註：睡眠的影響係以地面值換算而來。

圖 7 振動影響與振動位準[13]

表 2 振動對睡眠的影響[14]

垂直振動位準 (dB)		睡眠及其影響
地表面	振動台的床上	
55	60 (5)	開始產生影響
60	65 (10)	1 度睡眠被打擾；2 度睡眠有半數被打擾
64	69 (14)	1 度睡眠被打擾，2 度睡眠以上略有影響
69	74 (19)	1 度睡眠及 2 度睡眠被打擾，3 度睡眠略有影響
74	79 (24)	1 度睡眠及 2 度睡眠均會被打擾，3 度睡眠影響增強

說明：振動的增量為地表面的 5 分貝換算，睡眠時間以 8 小時計。

JIS 調查結果發現人體對垂直向振動量須至 VL55dB 起，才會有感覺，此與日本以 55dB 為振動干擾評估標準結果相同。

但振動若以 L_{eq} 值表示時其值偏低，無法反應其環境公害之意義，以一般陳情案所造成的振動而言，人體較在意的是暫態與間歇性振動，這類振動會使人體器官瞬間產生激發效應，各器官之共振頻率如圖 8 所示，表 3 則是表示低頻噪音與結構振動，長期將

使人身心造成不適等傷害之症狀。

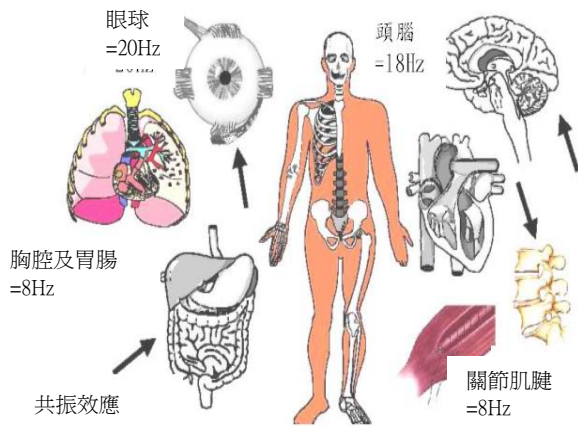


圖 8 人體器官共振自然頻率示意圖

表 3 結構振動傳音與低頻空氣音對生理與心理影響作用[15]

低頻空氣傳音	搖動感覺、振動感覺、發聲困難、呼吸紊亂、耳朵有壓迫感、眼睛振動或閃爍、頭痛、噁心、疲勞感、麻痺、失眠。
結構傳遞振動	搖動感覺、振動感覺、感到不愉快、壓迫感、疼痛、呼吸障礙、循環障礙、難以忍受、喉嚨乾燥、視覺障礙、疲勞感、失眠。

建築內的異音診斷，要以音響頻譜法配合振動頻譜法，由振源頻譜分析技術中找出主要音源與振動源，以釐清噪音振動來源及決定出改善先後順序。音響法中，以噪音計量測異音鑑定敏感點 NC-CURVE 值，先量測該位置 NC 曲線頻譜走勢，初步鑑定影響該 NC 值權重最大的頻率先後順序，由該順序表可判斷異音來源之主要貢獻量頻域。再分析該異音敏感位置各牆面樓板的振動頻譜圖，由振動頻譜圖與聲壓頻譜作相關性分析，判斷異音是否由振動所引起，如圖 9 所示。

為釐清陳情案件屬於噪音或振動所引起的原因，先由陳情位置之 NC 值對照表 4 的背景噪音參考標準[16]：

1. 初步判斷是否該區聲環境有超過限值

超過限值時，追蹤空氣傳音源，於該空間內所有開口處(門、窗、通風管道、縫隙及懸吊燈具處)量測音壓頻譜，並研判與陳情位置處之相關性，證實噪音源後則進行改善，若無法查證則由振動量測步驟進行診斷，應屬結構振動幅射噪音源。若未超過限值時，則進行樓板振動量量測。

2. 診斷振動量是否超過 ISO-2631-2 建築環境標準

若超過標準限值時，量測與陳情位置樓板銜接之分間牆面、骨架、鄰近運轉機械之振動頻譜，找出主要峰值頻率範圍與陳情位置振動量測值之相關性，確認振動源位置後進行減振措施。若未超過限值時，則確認該區振動噪音符合相關標準。

表 4. 室內不同環境之背景噪音建議值[16]

第一型 禮堂與播音室	NC/NR 聲學指標	小型會議室、高級職員辦公室、接待室	30-35
音樂廳、歌劇院	20-25	開放式辦公室	35
教學視聽室、電影院	25-30	製圖室、辦公室	35-45
電視播放觀眾棚	25	第六型 公共建物	
一般廣播室、電視播放室及錄影棚	20	法庭	25-30
廣播室	15	會議廳(議場)	25-35
第二型 醫院		圖書館、銀行、博物館	30-35
聽力檢查室	20-25	洗滌室、廁所	35-45
手術房、單人病房	30-35	游泳池、體育館	40-50
大眾病房、接待室	30	停車間、停車場	55
走廊、實驗室	35-40	第七型 學校建物或教會	
廚房、洗滌室、廁所	35-40	教室	25-30
職員辦公室、育樂室	30-40	教室、教學視聽室	25-35
第三型 旅館		試驗室、實習廠房	35-40
單人房、套房	20-30	走廊、健身房	35-45
舞池、喜慶宴會室	30-35	第八型 工業	
走廊、大廳	35-40	倉庫、保養場	45-50
廚房、洗衣間	40-45	工廠(輕工業)	45-55
第四型 餐廳、商店與百貨公司		工廠(重工業)	50-65
餐廳、與百貨部(高層)	35-40	第九型 私人住宅(都市)	
夜總會、公共場所、咖啡廳、餐廳及門市專櫃(底層)	40-45	臥房	25
第五型 辦公室		客廳	30
董事會議室、大型會議室	25-30		

四、陳情案例鑑定分析

案例一

位於廠辦大樓內之一樓辦公室，因受到二樓電子製造業之 SMT 製程機台振動，導致開放辦公區與主管辦公室出現有明顯振動噪音問題，因此依圖 9 步驟進行診斷及改善工作。

4.1 量測陳情辦公室 NC 值

經量測辦公室之 NC 值為 27.5，如圖 10 所示，遠低於表四中 NC35 之辦公室背景噪音標準，但我們可在 63Hz 及 125Hz 附近發現到該頻帶音能較其它頻帶有明顯偏高現象，因此在後續振動源追蹤時應一併考慮任何可能引致該頻帶音能之結構振動幅射噪音。

4.2 量測樓板振動量頻譜

經量測辦公室樓板振動量，如圖 11 所示，並繪入圖 12 之 ISO-2631-2 建築物振動加速度垂向抱怨標準比較，可知在 17.5Hz 至 11Hz 頻率範圍附近之振動量均超過標準約二倍振動量，因此本案主要應由振動問題追蹤考慮。

4.3 二樓電子廠機台底座振動量測

於二樓振源機台隔振器底座量測機台運轉時振動頻譜，如圖 13 及圖 14 所示，由該振動頻譜值確認其振源相關性，因此由電子廠業者進行隔振改善工程。

4.4 一樓辦公室懸吊燈具振動量測

由於陳情處平日會不定時聽到燈具發生喀啦啦響聲，因此本次診斷過程亦將燈具懸吊支承處安裝振動計進行量測，如圖 15 所示，以觀察樓上振動是否透過樓頂板傳遞至吊掛燈具引起共鳴現象，經量測後證實該燈具會受到樓頂板振動引起共振而輻射出音能，如圖 16 所示，因此須在燈具吊掛處安裝適當隔振器以降低燈具所產生之二次噪音。

經由二樓機台更換部分隔振裝置及一樓吊掛燈具安裝隔振墊措施後，一樓辦公室樓板振動量已符合 ISO-2631-2 建築物振動標準限值範圍內。

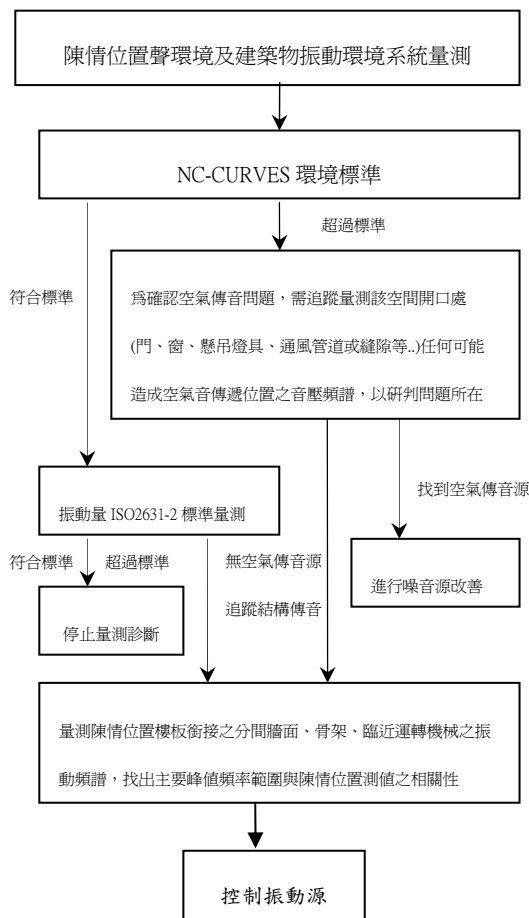


圖 9.噪音振動源陳情異音診斷及判別步驟圖

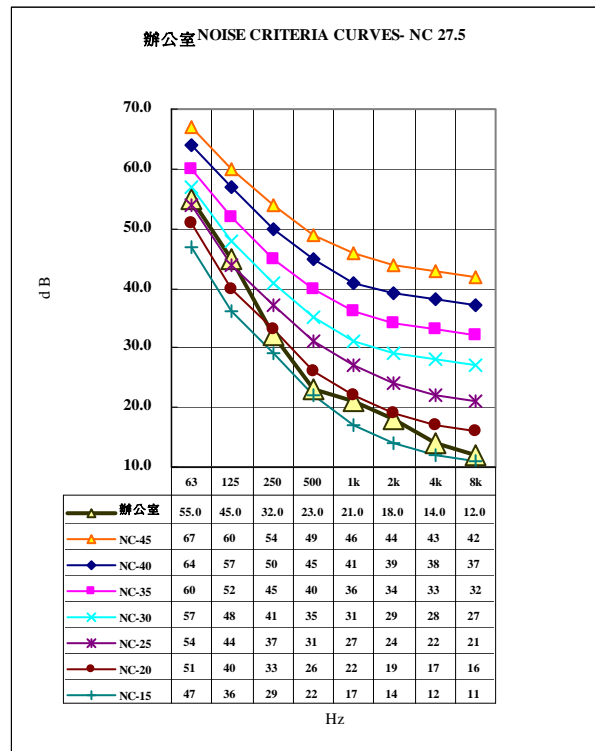


圖 10、辦公室 NC 值量測頻譜圖

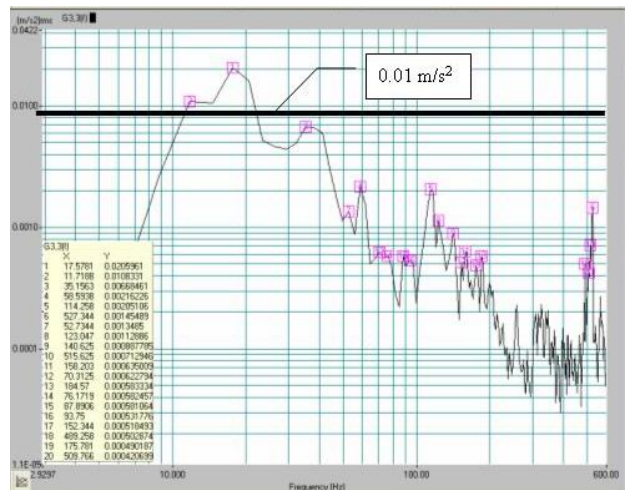


圖 11 辦公室樓板振動頻譜圖

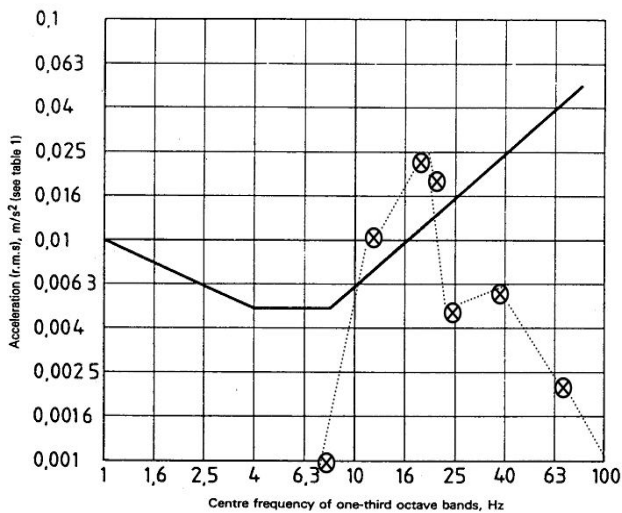


圖 12 辦公室樓板振動量與ISO 2631-2 抱怨曲線比較

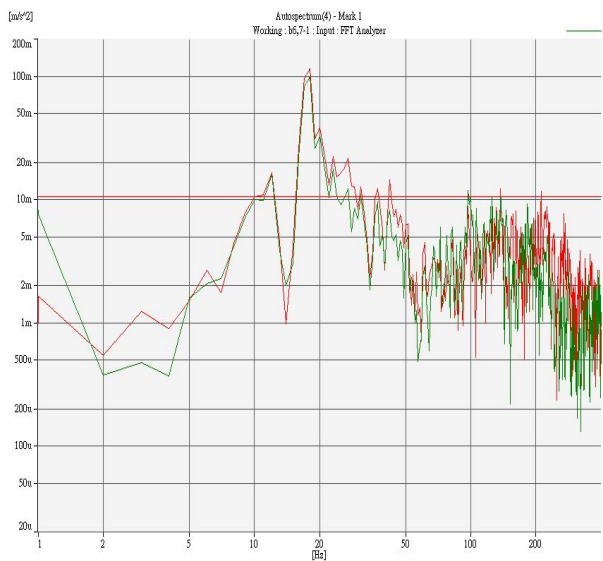


圖 13 二樓電子廠機台下方樓板振動量頻譜圖

量測位置	CP2									
	頻率(Hz)									
加速度(m/s²)	10	12.5	17.5	20	30	40	60	80	90	100
B1-up(未隔排)	0.0105	0.01545	0.0285	0.0131	0.0148	0.0212	0.00284	0.00103	3.33E-07	0.00289
B1-down(隔排後)	0.00975	0.01445	0.0168	0.00943	0.0122	0.0189	0.00191	0.00208	0.00193	0.00235
隔排量(dB)	0.47665218	0.58121278	4.45247168	2.8519206	1.67803769	0.99748114	3.44569946	-6.1045222	-75.362262	1.79659961
B2-up(未隔排)	0.00964	0.01215	0.01295	0.00678	0.01	0.02602	0.00157	0.00182	9.93E-07	0.00588
B2-down(隔排後)	0.00942	0.01225	0.0117	0.00222	0.0109	0.00289	0.00176	0.00104	8.66E-07	0.00259
隔排量(dB)	0.37888391	-0.0711962	0.45906584	9.69753439	-0.74803	0.382182	-0.9922603	4.86076997	0.64727503	7.12155124
B3-up(未隔排)	0.00491	0.0124	0.0079	0.00102	0.00847	3.31E-07	4.78E-07	0.00153	5.93E-07	0.00219
B3-down(隔排後)	0.00465	0.01045	0.004615	0.00129	0.00992	5.35E-07	2.17E-07	0.00107	0.00139	0.0046
隔排量(dB)	0.47227078	1.48610789	4.66910772	-2.0979908	-1.0591318	-4.1705158	6.85996326	3.10615306	-67.599022	-6.4462743
B4-up(未隔排)	0.00381	0.01265	0.0086	0.00131	0.00995	0.00188	0.00121	4.96E-07	0.00137	7.09E-07
B4-down(隔排後)	0.00357	0.0112	0.00548	5.12E-07	0.00973	0.00121	2.44E-07	0.00122	0.00972	0.0054
隔排量(dB)	0.56515519	1.05745006	3.91435786	68.1600267	0.49776528	3.82744958	73.9079109	-67.76261	-8.6764475	-77.63495
B5-up(未隔排)	0.00358	0.0147	0.01225	0.00788	0.00926	0.0272	0.00771	7.36E-07	0.00645	0.00626
B5-down(隔排後)	0.00234	0.0107	0.0121	0.00602	0.00438	0.0179	0.00512	9.99E-07	0.00859	0.00246
隔排量(dB)	3.6934338	2.75967114	0.10701437	2.33859452	6.92079752	3.63431746	3.55568834	-2.1157556	-2.68669	8.11278452
B6-up(未隔排)	0.0107	0.0164	0.114	0.0378	0.00623	0.00262	0.00338	0.00157	0.0028	0.00238
B6-down(隔排後)	0.0101	0.0158	0.0984	0.0523	0.00681	0.00278	0.00237	0.00109	0.00457	0.00898

圖 14 二樓機台各機座隔振效能測定



圖 15 一樓辦公室吊掛燈具振動量測

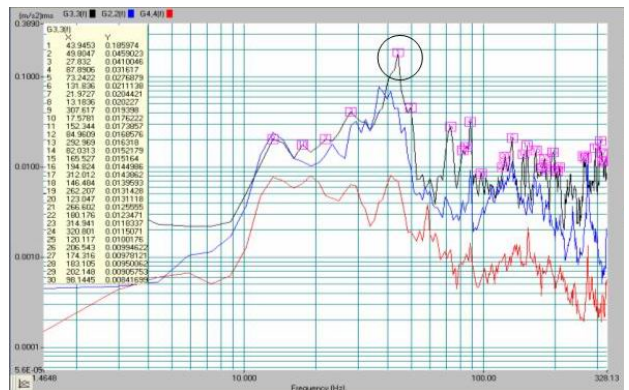


圖 16 一樓辦公室吊掛燈具振動量測頻譜圖

案例二

一大樓住宅住戶臥房，因臨地下室游泳池抽水機房旁，住戶因感覺抽水機台運作對居家臥房有干擾，先前以振動困擾問題經由訴訟程序要求業主退屋，但此案經診斷後，於該臥房內之樓板振動量遠低於 ISO-2631-1 建築物振動量標準，如圖 17 所示。但就聲環境而言，NC 值已超過 30 之標準，如圖 18 所示。但現場因還未裝潢，有些管路輻射噪音將會因天花板完成後而隔離，如圖 19 所示，不致引致空間迴響共鳴音，因此未來經由建材傢俱之材料吸音後應可降低至 NC 臥房標準範圍內。

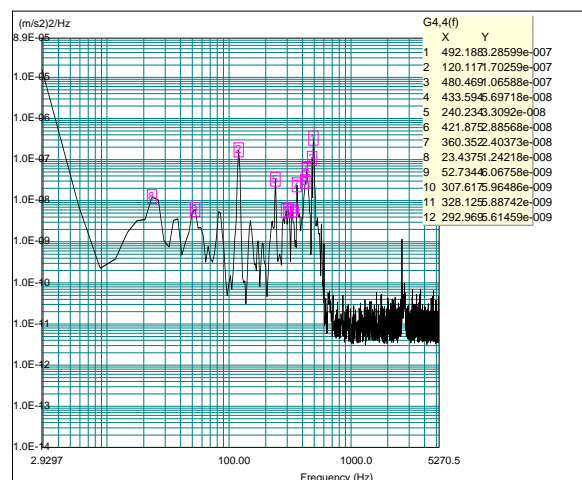


圖 17 住戶內樓板振動加速度頻譜圖

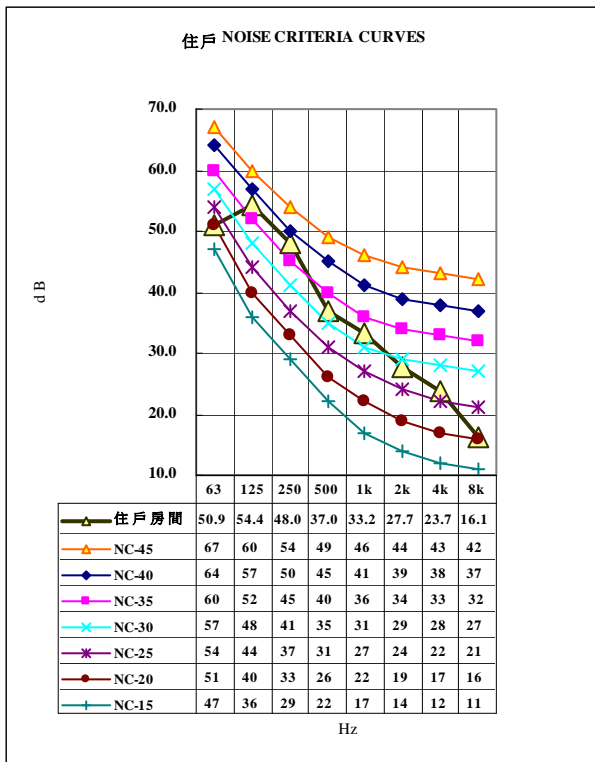


圖 18 住戶內聲環境背景 NC 值

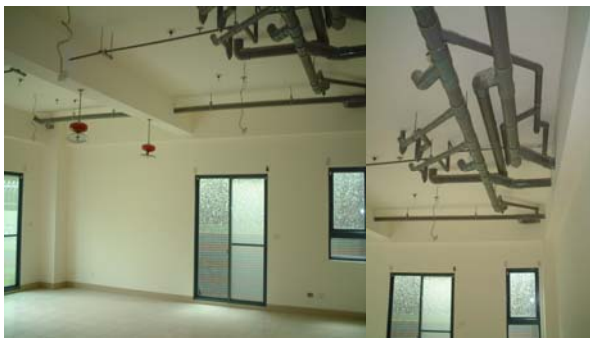


圖 19 住戶內管路輻射音導致室內迴響共鳴音

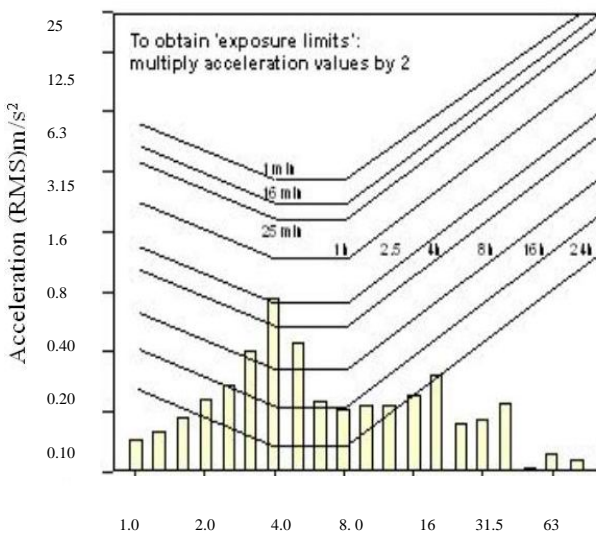


圖 20. 1/3 倍頻 環境背景振動加速度標準

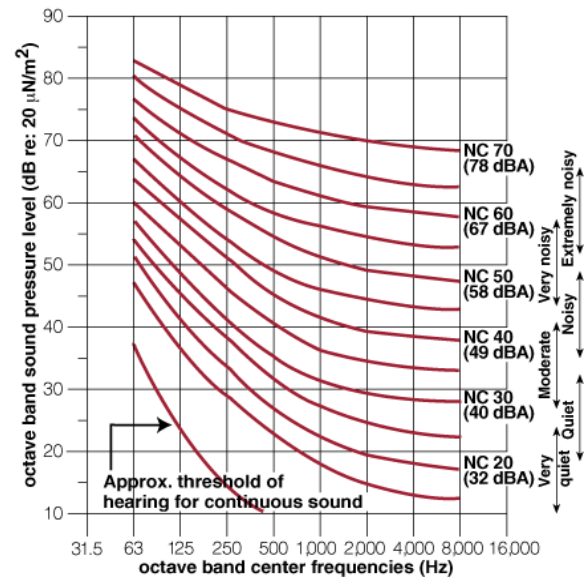


圖 21. 環境背景音壓 NC-CURVE 圖

五、結論與建議

1. 振動噪音物理量與測定值的關係

就噪音與振動的測定值而言，目前物理意義及理論至為完備，已可由板或管路的振動量推算出遠場輻射音能之轉換關係。因此當確定噪音源是由某結構板或管路所輻射出的音能時，對於控制振動量所能降低的噪音值，已能具體的量化控制。

2. 計算及推估模式的確立

聲環境或振動問題的產生，影響傳播的因素很多，能經由建立完善的診斷鑑定流程，才能中立客觀找出實際陳情抱怨之原因現況。過去國內對噪音與振動的推估模式，大多應用國外的既成公式或應用軟體，事實上並不恰當。本文特整理一套系統化的噪音振動診斷鑑定流程，如圖9，期能提供噪音及振動防制工作者一套有效的診斷改善設計之參考。

3. 法令修正的落實

為落實振動噪音有效的管制，避免徒具形式而無法真正約制對人產生身心傷害的振動噪音問題，須由過去陳情案件中，逐步釐清符合國人感受度的國際振動噪音衡量標準，以 ISO-2631-2 建築物振動標準為國內振動管制依據，如圖 20 所示，再配合應用空間聲環境 NC 指標來作初步判定，如圖 21 所示，如此噪音振動問題之鑑定工作可系統化的考量，才能真正提昇民眾對環境的滿意度。

六、參考文獻

1. ISO Technical Committees, ISO 2631-1, the International Organization for Standardization, 1997。
2. ISO Technical Committees, ISO 2631-2, the International Organization for Standardization, 1989。

3. ISO Technical Committees , ISO 2631-4 , the International Organization for Standardization , 2001 .
4. H.J. Saurenman , J.T. Nelson and G.P. Wilson , Handbook of Urban Rail Noise and Vibration Control , National Technical Information Service , 1981 .
5. T.M. .Dawn and C.G. Stanworth , Ground Vibration from Passing Trains , Journal of Sound and Vibration , Vol.66 , No.3 , 1979 .
6. D.D. Barkan , Dynamics of bases and foundations , McGraw-Hill Book Co.(New York) , 1962 .
7. R.D. Woods , Screening of surface waves in soils , J. Soil. Mech. Found. Div. , ASCE , Vol.94 , 1968 .
8. R.D. Woods , N.E. Barnett and R. Sagesser , Holography , a New Tool for Soil Dynamics , Proc. ASCE , Vol.100 , No.GT11 , 1974 .
9. Yeong-Bin Yang , Hsiao-Hui Hung , A parametric study of wave barriers for reduction of train-induced vibrations , International Journal for Numerical methods in engineering , Vol.40 , 1997 .
10. Segol , G. , Lee , C.Y. , and Abel. J.F. , Amplitude reduction of surface waves by trenches , J. Eng. Div. , ASCE , Vol.104 , No.3 , 1978 .
11. S.E. Kattis , D. Polyzos and D.E. Beskos , Modeling of pile wave barriers by effective trenches and their screening effectiveness , Soil Dynamics and Earthquake Engineering , Vol.18 , 1999 .
12. T.M. AL-Hussaini and S. Ahmad , Design of wave barriers for reduction of horizontal ground vibration , J. Geot. Eng. , ASCE , Vol.117 , No.4 , 1991 .
13. 中野有朋 , 環境振動 , 技術書院 , 平成 8 年 3 月 .
14. 日本騒音制御學會 , 地域の環境振動 , 技報堂 , 2001 年 3 月 .
15. 齊騰正男 , 低周波空氣振動對人體的影響 , 日本騒音制御工學會 , 騒音制御 , Vol.4 , No.4 , 1980 年 8 月 .
16. 經濟部工業局工業污染防治技術手冊 N036 工業振動與噪音之基本防制方法 , P82 , 1995 .