



低頻噪音對工作者健康效應之探討

大仁科技大學環安系副教授 / 趙寶強

關鍵字：低頻噪音、振動聲學病、聽力損失

摘要

上世紀 90 年代初，低頻噪音就已經悄悄地開始影響人們的生活，且低頻噪音具有『無殘留』特性，對人體健康的效應最早是由美蘇太空計畫中所發現的。世界各國對低頻噪音定義不盡相同，國內勞工主管機關對職場低頻噪音政策與規範尚無完整規範與準則，且噪音與其他暴露（如有機溶劑、重金屬等）的複合效應也非常複雜，許多文獻已證實大量長期暴露於噪音工作環境對職場工作者生理與心理之健康影響；如聽力損失與心跳血壓等等的健康效應，本文主要探討的是低頻噪音的工作環境對職場工作者生理心理之健康效應，尤其是心臟方面的問題。

研究方法採用職業衛生理論之作業環境監測法來分析低頻噪音頻譜及量測技術；以生物偵測法（勞工健康檢查）去剖析低頻噪音對人體之健康影響，資料收集後，再使用生

物統計方法作整理分析，以瞭解低頻噪音對人體之各種健康效應。結果在低頻噪音對人體健康效應上發現，航空低頻噪音暴露對作業員工其聽覺效應在高頻 4kHz、6kHz 損失較為嚴重，接近 40 分貝；在心臟狀況上，暴露於低頻噪音勞工在其心臟超音波檢測參數中，E 波 / A 波比例 (E/A Ratio) 值異常比例高達三成，遠高於對照組達統計上顯著差異；此驗證國外文獻指出長期大量低頻噪音暴露對人體所產的振動聲學症 (Vibroacoustic disease) 的心臟健康問題，目前台灣地區對於職場上工業製程所造成低頻噪音對人體生理效應與影響之研究與探討並不多見；基於維護職場工作者安全衛生與促進勞資兩方和諧互利的觀念；本文實有必要做更深入研究與探討。

一、前言

台灣地區對航空作業員工暴露於噪音對人體聽覺方面健康效應（如聽力損失等）已多



有探討，但對於低頻噪音對人體非聽覺效應如心臟健康效應似不多見，而積體電路產業（無塵室）與傳統產業工作環境有所不同，依據美國 1990 年代的職業病數據分析比較，半導體工業內每百工人的職業病發病率為全製造業的 3 倍；而職業病造成工作損失日的百分率比較，半導體工業亦為全製造業的 2.4 倍 [1]；由此數據顯示半導體工業職業危害不容忽視，國內勞委會勞工安全衛生研究所對半導體工業噪音狀況之調查，由頻譜分析之結果發現作業區域的噪音主要分布於低中頻率（1kHz 以下），依據 1991 年電工器材同業公會資料針對台灣地區 48 家半導體工廠員工人數 36741 人，在各種製造工程中，噪音作業的聽力檢查異常率為：18.7% [2]。由勞研所（90 年）研究指出：半導體廠無塵室內作業區各製程之噪音量皆小於 82dB(A) (65.5 dB(A)-79.0dB(A))，作業區各製程中以薄膜區之噪音量 (65.6 dB(A)-76.1dB(A)) 相較其他區為低；部分工廠有封裝測試作業區，其噪音量常達 78.9 dB(A) 以上 (71.9 dB(A)-81.2dB(A))。且勞工作業時間達 12 小時之久，各製程真空幫浦區與廠務機房之噪音量則高於 82dB(A)。分析結果 31.5Hz、63Hz、125Hz、250Hz、500Hz、1kHz、2kHz、4kHz 及 8kHz 共 9 個頻率，針對頻譜分析圖發現能量主要集中於中頻與低頻範圍，此外在廠務機房設備之噪音量皆極高（多超過 90dB(A)），其頻譜圖顯示能量分布於 125Hz-4kHz，對直接暴露於該區作業的員工，其生理心理健康評估值得吾人重視。高頻音因具較易阻隔、吸收之特性，能量可隨距離而快速遞減，故傳遞至作業區之能量較低；低頻噪音則可經由結構體之振動，將能量傳遞至較遠的場區。至於低頻噪音（20 Hz-200Hz）對作業員工健康效

應，在國內的研究報告並不多見。美國 SEMI (Semiconductor Equipment Material Institute) 半導體工業組織要求設備之設計在正常操作下，不得超過 80 分貝，若使用者要求時，則須提供其測試結果。而我國在勞工安全衛生法中，原則要求廠內設施設備不得超過 90 分貝，勞工之工作日八小時日時量平均不得超過 90 分貝，勞工作業環境現場音量 (TWA) 大於 85 分貝 (dB(A)) 就屬於特別危害健康作業；進入該作業場所工作之勞工應使用如耳塞、耳罩、耳盔等防音防護具，同時亦應依勞工健康保護規則實施勞工特殊健康檢查與管理。

二、文獻回顧

研究報告指出，長期過量暴露（10 年）在低頻噪音（頻率 <500Hz）下會產生一種振動聲學疾病 (Vibroacoustic disease: VAD)[3]。

（一）噪音的健康效應

噪音 (noise) 是一種壓力波 (pressure wave)；這種聲學現象屬於一種波動，此聲學現象受到兩個重要參數影響；即『振幅』(Amplitude) 與『頻率』(Frequency)，波的振幅有高有低，在測量時使用 dB(Decibel) 來表示，當此聲學現象達到某種程度時，人耳方可聽到，另一重要參數『頻率』量測時我們使用赫茲 (Hertz)，人耳能聽到頻率為 20 Hz ~ 20K Hz 其中 500Hz ~ 8000Hz 是人耳較為敏感的頻率。

低頻噪音 (Low Frequency Noise: LFN) 一般是指頻率在中頻以下的聲音。在頻率低於 20 Hz 聲音稱之為次音波或超低頻 (Infrasound)；



高於 20000Hz 稱超音波 (Ultrasound)，人耳都無法聽到 [4]，低頻噪音則跨越超低頻及可聽覺頻率，通常考慮範圍在 10Hz ~ 200Hz [5, 6] (如圖 1)，各界對低頻噪音定義說法也不一致 [7]，第一屆的低頻與振動國際會議 (1978) 中，將 1Hz ~ 20Hz 之頻率的聲音稱為超低頻音；第二屆的低頻與振動國際會議 (1980 丹麥) 中，定義 1Hz ~ 100Hz 頻率的聲音稱為低頻音 (Low frequency)。而在此頻率範圍內所產生讓人不愉悅、不舒服的聲音，都可稱為低頻噪音。而我國環保署所訂定的低頻噪音範圍是 20Hz ~ 200Hz (中心頻率為 25Hz ~ 160Hz) 之間，而其中頻率在 10Hz ~ 100 Hz 是最被關切的範圍，雖然一般人耳朵感覺不出來，但卻嚴重危害人體健康 [8]。

工業噪音對人體生理心理健康效應中頻率是一項非常重要指標 [9]，一般性噪音對人體健康的效應大致來說可分為聽覺性效應與非聽覺性效應兩種，聽覺性效應是指長期或過度噪音暴露 [10]，導致毛細胞或柯氏器受損退化 [11, 12]，而造成聽力損失 [13, 14]，尤其以 4KHz 附近開始發生且較嚴重 [15]；非聽覺性效應，係指因噪音而引起身體其他器官或系統的失調或異常 [16]，其主要係透過對自主神經系統，網狀神經系統及大腦皮質的刺激而引起。非聽覺性效應一般會導致以下幾種情形發生：心跳加快 (謝琇惠 2010)、血壓升高 [17-19]、呼吸不順暢；腸胃蠕動造成不適反應、食慾不佳，嚴重者可能會造成胃潰瘍等；甲狀腺素、腎上腺素的分泌上升，荷爾蒙失調 [20]、對生長發育有明顯的影響等；肌肉反應收縮，造成疲勞等；適應光感度降低、色覺與色視野發生異常病變；對運動物體對稱平衡失靈等；工作效率

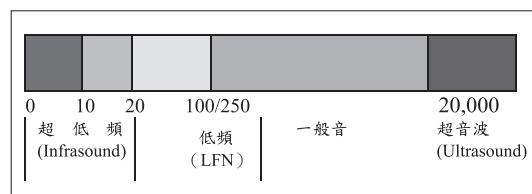


圖 1 聲音在頻率上分類法

降低、風險增加、注意力降低等等 [21]。所以噪音變成一種典型的環境壓力，其最為人類知曉的是會造成人體之聽力損失 [22]，噪音性聽力損失 (noise-induced hearing loss : NIHL) 之成因頗為複雜 [23]，通常造成聽力損失嚴重程度的因素有：1. 噪音量之大小：一般噪音暴露音壓級越大，造成聽力損失越大。2. 暴露時間的長短：噪音暴露時間越長，影響越嚴重。3. 噪音的頻率特性：一般頻率越高之噪音，危害性越大。4. 個人差異性：由於個人對於噪音的敏感度不一，對相同噪音所引起的反應亦有差異 [24]。美國研究顯示，雖然各方面實施之聽力保護計畫，還是有勞工持續發展成噪音性聽力損失 [25]；德國研究顯示 2 個月的新兵訓練隊員有在 4k 與 6k 赫茲高達 25dB (A) 的永久性聽力損失 (permanent hearing loss) [26]；在美國海軍及陸戰隊人員在其大半職業生涯中，其聽力閾值仍比美國職業安全衛生署 (Occupational Safety and Health Administration : OSHA) 所公布經過年齡校正後之聽力閾值要來的差 [27]。

(二) 各國低頻噪音容許值

從我們現代都會生活環境中觀察，低頻噪音已成為都市城鎮居民生活中的部份，其來源多為人為因素所造成，包括：建築物之空調系統、交通工具 (貨車、巴士、火車、飛機等)。以航空噪音分析其發聲源來看可分



為二部份：一是排氣噪音 (jet exhaust noise)，其特徵為寬頻帶噪音，音能與排氣速度有關；另一為引擎噪音，由引擎外殼振動及引擎內部葉片轉動所造成之擾流 (turbulence) 噪音，其頻率分佈約在 2k ~ 4k Hz 之間。因低頻噪音之波長較長故能輕易穿透窗戶與牆壁，故在防制上也較一般噪音 (高頻音) 要困難許多 [12]。

另一方面，在我們工作職場與作業環境中也可能產生許多低頻噪音，其主要發生源包括：(1) 鍋爐 (boilers)；(2) 振動篩 (vibratory screens)；(3) 空氣壓縮機 (compressors)；(4) HVAC 系統 (heating, ventilation, air-conditioning systems)；(5) 風力發電機組；(6) 大卡車 (trucks)；(7) 揚聲器 (loudspeaker systems) 等。

目前世界各國對低頻噪音環境與職場容許值或建議值之規範也略有差異，多數國家僅定低頻噪音容許值範圍，並未明確劃分管制場所及管制對象，因此各國的容許值及建議值係用於瞭解量測點是否有低頻噪音的存在，其判定低頻噪音存在的依據則由 ISO 226 人耳 (20Hz ~ 200Hz) 聽力欲閾值而來 (見表 5)，其目的是希望可能受到低頻噪音干擾的民眾，有一套檢測作業程序，研判是否受到低頻噪音的干擾，以協助其改善受干擾狀況 (環保署 2005)。我國是唯一將低頻噪音納入管制之國家，分析國際組織 ISO 對低頻噪音的規範原理是在 20Hz-200Hz 頻率範圍設定最小閾值作為規範依據，此標準較接近我國環保署對低頻噪音管制範圍 20Hz ~ 200Hz A 加權均能音量 (Leq: Equivalent Continuous Noise Level)。

表 1 德國低頻噪音量標準建議值

1/3 八音度中心頻率, Hz	均能音量 dB
8	103
10	95
12.5	87
16	79
20	71
25	63
31.5	55.5
40	48
50	40.5
63	33.5
80	28
100	23.5

1. 德國

在 DIN45680：規定室內低頻噪音之測定及測定值 (表 1)

(1)測量地點：在室內距離牆壁 0.5 公尺以上之距離，日常生活場所中音壓位準最大之位置。

(2)評估方法：

德國使用用 C 權與 A 權 LFN，如果 C 比 A 權大於 20dB (即 $L_C - L_A > 20\text{dB}$) 以上時可以說此環境低頻噪音相當大。頻譜分析使用 1/3 音階頻譜分析，各頻率之音壓位準與其左右之音壓位準高出 5dB 以上時，再考慮有純音而與表 1 比較，在白天是以 16 小時為時間之基準，夜間時 (22:00 ~ 6:00) 是以 1 小時為時間基準。

2. 瑞典

瑞典對低頻噪音之規範在 SOSFS1996：內對低頻噪音之推薦方法為對各低頻頻率由 31.5Hz 到 200Hz 規範其均能音量 (Leq:



Equivalent Continuous Noise Level) 數值，其建議的均能音量值由 200Hz 的 32dB(最小) 到 31.5Hz 的 56dB (最大)：(參見表 2)。

3. 丹麥

丹麥對環境低頻噪音室內音量建議值分成日夜間、教室與辦公室及商業用途，音量從 20dB 到 35dB(如表 3)。

4. 日本

日本在低頻噪音也是採對各分頻使用建議值：各分頻頻率從 10Hz 建議值 92dB 最高；31.5Hz 為 64dB；63Hz 降為 47dB 到 80Hz 建議值為 41dB 最低，其各低頻頻率詳細建議值 (不加權) 參見表 4。

6. 波蘭

在 Polska Norma，PN-86,N-01338，中規定工作場所內對低頻噪音推薦基準值為 4Hz ~ 6Hz 時 SPL 為 85dB 以下，31.5Hz 時規範到 80dB 以下 (參見表 5)。

將世界各國現行低頻噪音環境暴露評估規範 (表 5) 繪製成參考曲線 (reference curve) (圖 2) [28]，由圖中可看出 ISO、德國、丹麥、日本、瑞士、波蘭等國家對低頻噪音規範其大致可分類為二；其一是：針對各頻率訂出其最大容許值；其二是：對所規範的低頻頻率範圍內各分頻頻率訂出總音量的容許值。由各國訂定低頻噪音頻率範圍大致介於 8Hz ~ 250Hz，其各頻率基準音量雖有不同，但從曲線走勢觀察則似乎也有一致性可尋 (r^2 質由 0.953 最小到 0.999 最大) (見圖 2)。

表 2 瑞典低頻噪音標準建議值

1/3 八音度中心頻率，Hz	均能音量 dB
31.5	56
40	49
50	43
63	41.5
80	40
100	38
125	36
160	34
200	32

表 3 丹麥環境低頻噪音室內音量上限值 (A 加權)

住宅 - 晚間及夜間	20dB
住宅 - 日間	25dB
教室、辦公室等	30dB
其他商業用途房間	35dB

表 4 日本低頻噪音建議值

1/3 八音度中心頻率，Hz	建議值，dB
10	92
12.5	88
16	83
20	76
25	70
31.5	64
40	57
50	52
63	47
80	41



表 5 各國低頻噪音各分頻閾值

1/3 八音度 中心頻 率, Hz	ISO dB	德國 dB	丹麥 dB (A)	日本 dB	瑞士 dB	波蘭 dB	挪威 dB
8		103					
10		95	90.4	92		80.4	
12.5		87	83.4	88		73.4	
16		79	76.7	83		66.7	
20	78.5	71	70.5	76		60.5	74
25	68.7	63	64.7	70		54.7	64
31.5	59.5	55.5	59.4	64	56	49.3	55
40	51.1	48	54.6	57	49	44.6	46
50	44	40.5	50.2	52	43	40.2	39
63	37.5	33.5	46.2	47	41.5	36.2	33
80	31.5	33	42.5	41	40	32.5	27
100	26.5	33.5	39.1		38	29.1	22
125	22.1		36.1		36	26.1	
160	17.9		33.4		34	23.4	
200	14.4				32	20.9	
250	11.4					18.6	

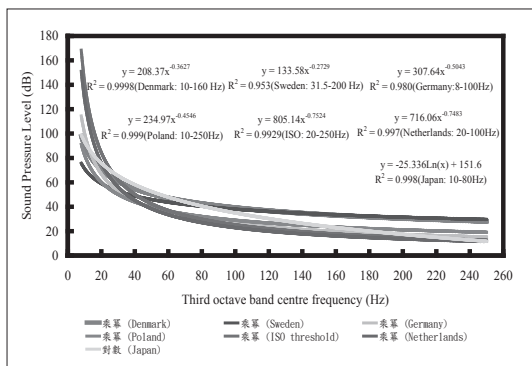


圖 2 各國低頻噪音評估基準

三、我國低頻噪音規範與管制標準

94 年 1 月 31 日行政院環境保護署發佈噪音管制標準，訂定的低頻噪音的管制範圍為 20 Hz 至 200 Hz，評估方式取 A 加權並於七月一日正式實施，成為全世界第一個將低頻噪音納入法令管制的國家 (見表 6)。

(一) 時段區分

日間：第一、二類指上午六時至晚上八時。第三、四類指上午七時至晚上八時。

晚間：第一、二類指晚上八時至晚上十時。第三、四類指晚上八時至晚上十一時。

夜間：第一、二類指晚上十時至翌日上午六時。第三、四類指晚上十一時至翌日上午七時。

(二) 音量單位

分貝 (dB(A)) 括號中 A 指在噪音計上 A 權橫位置之測定值。

(三) 測量儀器

使用我國國家標準 CNS 7129 規定之噪音計、紀錄器、分析器、處理器等。但自中華民國九十四年七月一日起，測量 20 Hz 至 200 Hz 範圍之噪音計使用我國國家標準 CNS 7129 規定之一型聲度表，且應符合國際電工協會 IEC 61260 (1995) 規範。

(四) 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，接近人耳之高度為宜。



表 6 工廠(場)噪音管制標準

管制區	頻率	20 至 200 Hz (94 年 7 月 1 日施行)			20 Hz 至 20 kHz		
	時段	日間	晚間	夜間	日間	晚間	夜間
第一類		42	42	39	50	45	40
第二類		42	42	39	60	55	50
第三類		47	47	44	70	60	55
第四類		47	47	44	80	70	65

(五) 動特性

噪音計上動特性之選擇，原則上使用快(fast)特性，但音源發出之聲音變動不大時，例如馬達聲等，可使用慢(slow)特性。

(六) 背景音量的修正

1. 除欲測定音源以外的聲音之音量，均稱為背景音量。
2. 測定場所之背景音量，最好與欲測定音源之音量相差 10 dB(A) 以上，如不得已相差在 10 dB(A) 以下，則依下表修正之。
3. 背景音量之修正

L1-L2	≤ 3	4	5	6	7	8	9
修正值	-3	-2			-1		

(單位：dB(A))

4. 各場所與設施負責人應配合進行背景音量之測定，並應修正背景音量之影響；若負責人不配合進行背景音量之測定，即不須修正背景音量，並加以註明。

(七) 測定時間

選擇發生噪音最具代表之時刻，或陳情人指定之時刻測定。

(八) 測量地點

1. 量測 20 Hz 至 20 kHz 頻率範圍時，除在陳情人所指定其居住生活之地點測定外，以距營業場所、娛樂場所周界外任何地點或騎樓下建築物外牆面，向外一公尺處測定之。前述周界，有明顯圍牆等實體分隔時，以之為界。無實體分隔時，以其財產範圍或公眾不常接近之範圍為界。
2. 量測 20 Hz 至 200 Hz 頻率範圍時，於陳情人所指定居住生活之室內地點測定，並應距離室內最近牆面線一公尺以上。門窗除陳情人要求打開外，應以關閉狀況測定之。室內其他噪音源若影響量測結果者，得將其關閉暫停使用。
3. 前目自中華民國九十四年七月一日施行。

(九) 評定方法

依下述音源發聲特性，計算均能音量 (Leq 或 Leq, LF) 或最大音量 (Lmax)，其結果不得超過規定之數值。

1. 噪音計指針呈週期性或間歇性的規則變動，而最大值大致一定時，則以連續五次



變動之最大值 (L_{max}) 平均之。若為規則性變動的聲音，其變動週期一定。若為間歇性的規則變動聲音，其最大值大致一定，以讀取每次最大值，共五次平均之。

2. 其他情形則以均能音量表示：20 Hz 至 20 kHz 之均能音量以 L_{eq} 表示，20 Hz 至 200 Hz 之均能音量以 $L_{eq, LF}$ 表示。其取樣時間須連續八分鐘以上。取樣時距不得多於 2 秒，在噪音計指示一定時，或指針變化僅 1-2 dB 之變動情形，以均能音量表示。若聲音的大小及發生的間隔不一定之情形，亦以均能音量表示之。

四、低頻噪音評估方法

頻率是影響聲波之重要因素，也就是說當環境中低頻噪音混合其他音頻（非低噪音）時，則低頻噪音會顯得不那麼明顯，所以當我們在測量低頻噪音時應特別注意頻率與振幅因素。目前工作職場內低頻噪音評估技術與標準，隨電子科技儀器進步也有所改變，如精密噪音計內八音幅頻帶分析器 (octave band filters) 可快速瞭解職場工作環境低頻噪音大小與分佈，目前各界對室內低頻噪音評估指標有下列方法：

- (一) NC (Noise Criteria Curves): NC 曲線是美國的 Beranek (1957) 發表，在歷史上屬最早一種方法在考慮人耳感受下室內背景噪音位準之設計曲線指標，其原理是使用數字分級來表示室內聲音安寧程度，每一條 NC 曲線代表著某一背景之設計音量的最高允許噪音值，為等響度曲線的另一種表示方式。NC 曲線其原

先目的是為了規範室內許噪音位準，頻率範圍由 63Hz 到 8kHz，常用於辦公室空調 (HAVC) 與背景噪音評估 [29]。

- (二) NR (Noise Rating Curves): Helsinki (1959) 在歐洲提出，特別是應用於社區居民對噪音之反應上，NR 曲線是從人類聽力保護觀點上，對於室內場所之背景噪音對吾人交談與厭煩 (annoyance) 程度的分類。ISO 國際組織也認同 NR 曲線其頻率範圍由 16Hz 到 4kHz，NC、NR 此兩曲線最大差異在於後者對高頻較為嚴格而對低頻標準比較寬鬆。

- (三) PNC (Preferred Noise Criteria)；此曲線是 Beranek 在 1971 將 NC 曲線修正後發表，稱為 PNC 曲線，其推出理由是之前的 NC 曲線在高頻與低頻噪音在修正上呈現不夠的缺點，故產生 PNC 曲線。

- (四) RC (Room Criteria Curves)：常用於評估室內機械設備所產生背景噪音頻率範圍 16Hz 到 4kHz (見圖 3)，到 1981 年 Blazier 將其使用於冷凍空調系統上，其後被美國冷凍空調協會 (American Society for Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers: ASHRAE) 使用於分類室內通風系統噪音，並分析各頻譜特性 [30, 31]；RC 值計算 $LMF = 1/3 (SPL_{500} + SPL_{1000} + SPL_{2000})$ 。

Room Criteria Mark II (RC Mark II)：Blazier (1997) 年提出，其後被美國冷凍空調協會 (ASHRAE) 使用，其優點是較容易在曲線圖中看出高頻、低頻的貢獻與判斷此現場作業環境是否有振動問題，並考慮低頻噪音問題。



ASHRAE (1999) 已不用 NC 標準，目前多使用 RC Mark II 指標 [32]，RC Mark II 對評估 LFN 是否有隆隆聲 (Rumble) 特別適合。

人耳對 100Hz 以下聲音較不敏感，故在量測時應與一般測量噪音方法有所區隔，一般噪音多使用 A 權來評估，但 1000 Hz 以下聲音其 A 權曲線急遽，到 10Hz 時其修正值達 70dB，C 權曲線由 30Hz 到 8000Hz 比 A 權衡較為平坦 (見圖 4)；所以世界衛生組織 (WHO) 建議改用 C 權衡評估對人體效應，當使用 A 權評估低頻噪音對人體產生的『厭煩』(annoyance) 效應會遠低於預期效果 (Broner and Leventhall 1980; Kjellberg and Goldstein 1985; Persson and Björkman 1988) [33]。

有學者認為用 D 權評估低頻噪音要比 A 權衡佳 (Kjellberg and Goldstein 1985)，另有學者指出使用 A 權評估低頻噪音 (及超低頻) 對人體厭煩效果是無法達成 [34]，Kjellberg 贊同使用 C 權與 L_C 與 L_A 差值評估低頻噪音；但當室內低頻噪音低於 250Hz 時較不易達到人類聽覺閾值，尤其是風扇聲 (Landström et al. 1995) 則從經驗上證實 $L_C - L_A > 25$ dB 會讓人產生厭煩，但當 $L_C - L_A$ 差異值過大時，則對低頻噪音評估則應謹慎些，因當 L_A 測值較低時有部分為人耳不易感知的噪音，但在 L_C 與 L_A 的差值中表現出來 ($L_C - L_A$ 數質變大)，但對人體厭煩上卻感受不到 [35]，Alberta EUB(2007) 建議 $L_C - L_A$ 值應降至 20 dB(A)，另有學者認為 $L_C - L_A > 15$ dB 較好 [35]，Broner 建議評估低頻噪音時，工廠日間低頻噪音 L_C 以 75 dB (C) 為標準 [36, 37]，測量時一般建議誤差值為 ± 5 dB。

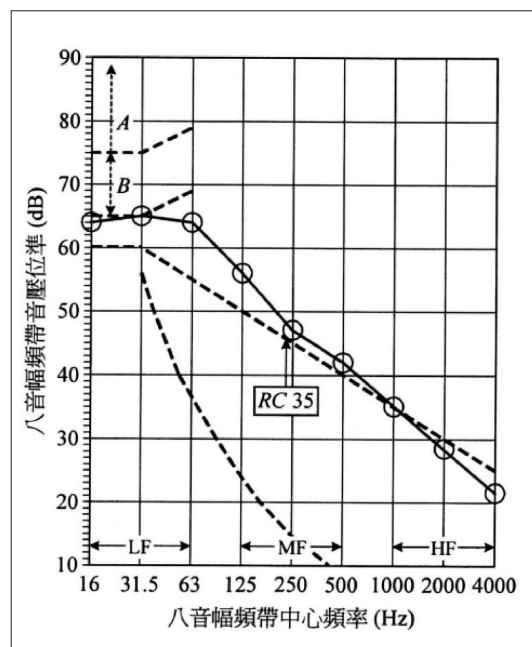


圖 3 RC 曲線圖

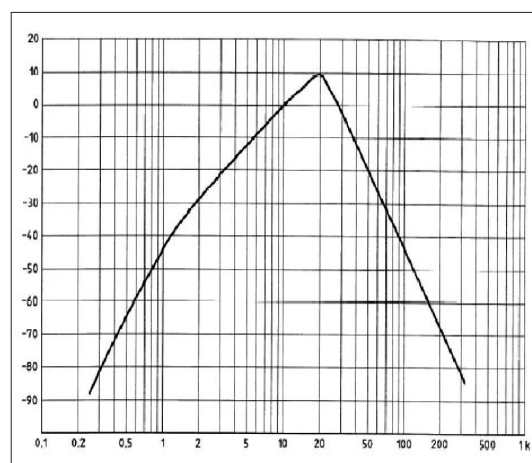


圖 4 G 權加曲線

五、結論

研究指出，長期過量暴露 (10 年) 在頻率 < 500 Hz 下會產生一種振動聲學疾病



(Vibroacoustic disease: VAD)，此症最早是在航空技師身上獲得證實 [3]，文獻顯示，在患有振動聲學疾病的病患身上，其心臟器官之心包膜 (pericarditis) 部份有增厚情形，但很特別地方是振動聲學症之患者生前卻沒有任何發炎狀況，其心臟舒張功能正常 (即血壓舒張功能看不出有任何改變)，這也是振動聲學疾病與一般心臟病患不同之處 [38]，此症最早是在一些航空技師身上獲得證實；其後也有學者在海軍人員 (Branco et al., 2001)、商業飛行員、空勤組員身上亦有發現此症 (Araujo et al., 2001)。另外也有因環境中低頻噪音 (LFN) 造成一般民眾身上被發現此振動聲學症 (Torres, 2001)。Branco 觀察懷孕及出生暴露在低頻噪音的老鼠，在停止暴露後經過一年時間，可發現這些老鼠的呼吸上皮細胞仍有明顯受損。其他文獻報導低頻噪音使得實驗動物顯示出呼吸道纖維病變 [39]，日本 Matoba 在鋸木業員工身上也發現有此狀況 [40]。有國外學者依據低頻噪音暴露之年限將振動聲學疾病 (VAD) 分成輕度 (1-3) 年、中度、重度 (10-15) 年等三期，輕度的狀況包括消化不良、支氣管炎，及中度的狀況包括疲勞、皮膚感染，重度狀況包括靜脈曲張、神經障礙、關節痛等等。

動物與人體實驗顯示，在振動聲學原理之刺激下低頻噪音會導致心瓣膜構造之增厚，而這種心包的增厚並無發炎的過程與舒張機能障礙 (即在血壓舒張功能、血壓測量值看不出有任何改變) (Holt, 2000)，這也是 VAD (Vibroacoustic disease) 的臨床特徵之一。此外如抑鬱、特別過度敏感易怒、自我隔絕傾向、思考靈活性的降低也是其特徵 (Maschke, 2004)

六、未來展望

希臘神話中海上女妖，半身為女人半身為鳥的怪物，用絕美歌聲誘惑水手，使他們心智迷亂葬身大海，由此可知聲音對人類影響，頻率對聲音來說扮演一非常重要之角色，吾人五官中聽覺器官無法關閉且為無方向性的接收特性，所以好的聲波變成樂音，不好的聲音則成噪音。愛因斯坦曾說：「我的許多科學成就，就是從音樂中啟發而來的」。從另一觀點看，大自然環境與工業革命後所產生各種低頻噪音困擾人類許久，且低頻噪音 (頻譜) 中又有一部份是人耳 (20Hz-20000Hz) 聽不到，此外具有低頻噪音環境或場所內，往往還具有振動之特性，更是令吾人值得深入瞭解。一般來說當有非低頻音混入低頻噪音時，往往使得低頻噪音讓人感覺不是那樣明顯，基於此原因，低頻噪音對人體之健康之負面影響極易為吾人所忽視，反而造成人體各種健康負面影響，另一方面低頻噪音在量測上要特別留意其頻譜、振幅等因素，尤其是當低頻噪音產生振動時所衍生問題更是複雜，需做多方面考量與規範。綜和以上，低頻噪音對人類正面與負面問題值得學者專家更深一步研究與探討。 ◆

參考文獻

1. 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，半導體業健康與職業傷病資料分析。2001：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所。
2. 石東生，黃文玉，國內半導體製造業潛在危害暴露之初步探討，勞工安全衛生簡訊第 24 期。
3. Branco, N., The clinical stages of vibroacoustic disease. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 1999. 70(3): p. A32-A39.
4. Jung, S.S., et al., Spectrum of Infrasound and Low-frequency Noise in Passenger Cars. *Journal of the Korean Physical Society*, 2009. 55(6): p. 2405-2410.



5. Leventhall, H.G., Low frequency noise and annoyance. *Noise Health*, 2004. 6(23): p. 59-72.
6. Berglund, B., P. Hassmen, and R.F. Job, Sources and effects of low-frequency noise. *J Acoust Soc Am*, 1996. 99(5): p. 2985-3002.
7. Bengtsson, J., K.P. Waye, and A. Kjellberg, Evaluations of effects due to low-frequency noise in a low demanding work situation. *Journal of Sound and Vibration*, 2004. 278(1-2): p. 83-99.
8. 郭宏亮, 噪音 (含低頻噪音) 對人的影響, in 2009 低頻噪音振動糾紛處理法律實務與改革工程技術研習會 98 年 4 月: 台北。
9. Mahendra Prashanth, K.V. and V. Sridhar, The relationship between noise frequency components and physical, physiological and psychological effects of industrial workers. *Noise Health*, 2008. 10(40): p. 90-8.
10. 張寧家, 影響台灣勞工噪音性聽力障礙易感性相關因子之研究, in 高雄醫學大學醫學研究所學位論文 2011, 高雄醫學大學。
11. Lataye, R., P. Campo, and G. Loquet, Combined effects of noise and styrene exposure on hearing function in the rat. *Hearing Research*, 2000. 139(1-2): p. 86-96.
12. 蘇德勝, 噪音原理及控制, ed. 第十版。2003: 臺隆出版社, 台北。
13. Konings, A., L. Van Laer, and G. Van Camp, Genetic Studies on Noise-Induced Hearing Loss: A Review. *Ear and Hearing*, 2009. 30(2): p. 151-159.
14. Daniel, E., Noise and hearing loss: A review. *Journal of School Health*, 2007. 77(5): p. 225-231.
15. McBride, D.I. and S. Williams, Audiometric notch as a sign of noise induced hearing loss. *Occup Environ Med*, 2001. 58(1): p. 46-51.
16. King, R.P. and J.R. Davis, Community noise: Health effects and management. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2003. 206(2): p. 123-131.
17. Lusk, S.L., et al., Chronic effects of workplace noise on blood pressure and heart rate. *Arch Environ Health*, 2002. 57(4): p. 273-81.
18. Penney, P.J. and C.E. Earl, Occupational noise and effects on blood pressure: exploring the relationship of hypertension and noise exposure in workers. *AAOHN J*, 2004. 52(11): p. 476-80.
19. Tominsek, J. and M. Bilban, The influence of noise on cardiovascular diseases. *Zdravniški Vestnik-Slovenian Medical Journal*, 2011. 80(5): p. 395-404.
20. 劉宇翔, 噪音與有機溶劑暴露對飛機檢修人員皮膚障壁功能之影響, in *Skin barrier function alteration induced by noise and organic solvent exposure among aircraft maintenance workers 2009*, 中國醫藥大學。
21. 賴俐月, 背景音樂影響國小學童閱讀理解能力之研究 - 以五年級為例, in 國立臺北教育大學音樂學系學位論文 2011, 臺北教育大學。
22. Stansfeld, S.A., Noise, noise sensitivity and psychiatric disorder: epidemiological and psychophysiological studies. *Psychol Med*, 1992. Suppl 22: p. 1-44.
23. 林政佑, 噪音暴露勞工抗氧化能力與環境因子對噪音引起的聽覺影響, in 成功大學環境醫學研究所學位論文 2010, 成功大學。p. 1-101.
24. Osguthorpe, J.D. and A.J. Klein, Occupational hearing conservation. *Otolaryngol Clin North Am*, 1991. 24(2): p. 403-14.
25. Borchgrevink, H.M., Does health promotion work in relation to noise? *Noise Health*, 2003. 5(18): p. 25-30.
26. Joachims, Z., et al., Oral magnesium supplementation as prophylaxis for noise-induced hearing loss: results of a double blind field study. *Schriftenr Ver Wasser Boden Lufthyg*, 1993. 88: p. 503-16.
27. Bohnker, B.K., et al., U.S. Navy and Marine Corps Hearing Conservation Program, 1995-1999: mean hearing thresholds for enlisted personnel by gender and age groups. *Mil Med*, 2002. 167(2): p. 132-5.
28. Pawlaczyk-Luszczynska, M., et al., Proposed criteria for assessing low frequency noise annoyance in occupational settings. *Int J Occup Med Environ Health*, 2006. 19(3): p. 185-97.
29. Bradley, J.S., Annoyance caused by constant-amplitude and amplitude-modulated sounds containing rumble. *Noise Control Engineering Journal*, 1994. 42(6): p. 203-208.
30. Schomer, P.D. and J.S. Bradley, A test of proposed revisions to room noise criteria curves. *Noise Control Engineering Journal*, 2000. 48(4): p. 124-129.
31. Ayr, U., E. Cirillo, and F. Martellotta, Further investigations of a new parameter to assess noise annoyance in air-conditioned buildings. *Energy and Buildings*, 2002. 34(8): p. 765-774.
32. Schomer, P.D., Proposed revisions to room noise criteria. *Noise Control Engineering Journal*, 2000. 48(3): p. 85-96.
33. Berglund, B., P. Hassmen, and R.F.S. Job, Sources and effects of low-frequency noise. *The Journal of the*



- Acoustical Society of America, 1996. 99(5): p. 2985-3002.
34. Leventhall, G., A Review of Published Research on Low Frequency Noise and its Effects, 2003, Department for Environment, Food and Rural Affairs.: London.
 35. Kjellberg, A., et al., Evaluation of frequency-weighted sound level measurements for prediction of low-frequency noise annoyance. *Environment International*, 1997. 23(4): p. 519-527.
 36. Broner, N., A Simple Criterion for Low Frequency Noise Emission Assessment. *Journal of Low Frequency Noise Vibration and Active Control*, 2010. 29(1): p. 1-13.
 37. Broner, N. and H.G. Leventhall, A criterion for predicting the annoyance due to higher level, low frequency noise. *Journal of Sound and Vibration*, 1982. 84(3): p. 443-448.
 38. Branco, N.A. and M. Alves-Pereira, Vibroacoustic disease. *Noise Health*, 2004. 6(23): p. 3-20.
 39. Castelo Branco, N.A.A., J.R. Ferreira, and M. Alves-Pereira, Respiratory pathology in vibroacoustic disease: 25 years of research. *Revista Portuguesa de Pneumologia (English Edition)*, 2007. 13(1): p. 129-135.
 40. Matoba, T., et al., Increased left ventricular function as an adaptive response in vibration disease. *The American Journal of Cardiology*, 1983. 51(7): p. 1223-1226.