

勞工安全衛生技術叢書

防護具選用技術手冊

防音防護具

（修訂二版）

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

序言

確認噪音區域、評估個人噪音暴露及噪音控制等，均為執行聽力保護計畫之優先實施措施，尤其是作業場所之噪音控制應視為第一優先。當噪音控制不可行，或在控制設備安裝好之前，基於保護勞工聽力免於因職業噪音暴露而受損，防音防護具之佩戴使用即為執行聽力保護計畫時之重要項目。

防音防護具為藉由聲音衰減性能來減低噪音對聽力影響、避免聽力損失的一種個人保護裝備，藉由防音防護具的使用，配合每年實施聽力檢查、定期噪音監測、員工訓練及聽力保護資料庫記錄的分析等，皆為有效保護噪音暴露勞工免於聽力損失之方法。

為確保製造之防音防護具能符合原設計功能，同時也避免因使用不良之防音防護具或佩戴觀念與方法不正確而導致錯誤安全感之產生，以致於造成不可恢復之聽力受損，本所於84年度參考CEN prEN 458 (1991) Hearing protectors—Recommendations for selection, use, care and maintenance及相關文獻文件，編撰「防音防護具選用手冊」乙書，該手冊目的係提供使用者及管理階層一份完備且具體之參考資訊，並藉機宣導、強調防音防護具正確選擇、使用、維護及保養等注意事項之重要性，俾使各界能有所遵循，以確實保護聽力。該手冊編印付梓後，獲廣大迴響，本所於今(88)年度特參考各界應用之建議，作部分修訂，期使需使用防音防護具者對其相關事宜更能明確瞭解，進而降低因噪音暴露導致聽力損失之發生率。

感謝工業技術研究院量測中心陳興博士協助翻譯相關標準及提供之寶貴意見，以及本所勞工衛生組相關同仁之修訂，本手冊若有未臻完善之處，尚祈諸位先進不吝指教，是所至盼。

勞工安全衛生研究所 所長

中華民國八十七年八月

目錄

序言	i
目錄	ii
圖目錄	iv
第一章 緒論	1
第一節 前言	1
第二節 名詞定義	1
第二章 人耳聽覺特性與聽力損失	3
第一節 簡介	3
第二節 人耳聽覺的基本構造	3
第三節 人耳聽力的基本現象	6
第四節 聽力損失	11
第三章 防音防護具的種類與原理	19
第一節 基本原理	19
第二節 耳罩	20
第三節 耳塞	21
第四章 防音防護具的選用規範建議	24
第一節 正字標章（certification mark）	24
第二節 聲音衰減量的要求（sound attenuation requirement）	24
第三節 在實際工作環境中的聲音衰減值	33
第四節 使用者的舒適性與接受性	34
第五節 工作環境	34

第六節 醫療衛生	35
第五章 防音防護具的使用與佩戴	36
第一節 心理建設	36
第二節 佩戴時間	36
第三節 使用之便利性	38
第四節 頭部安全護具及衣物的配合	38
第五節 防音防護具的佩戴	38
第六節 現場警示信號與交談的可聽性	39
第六章 防音防護具的維護與保養	41
第一節 清潔與衛生	41
第二節 貯存	41
第三節 檢查與更換	41
第七章 防音防護具的性能測試	43
第一節 以測試防音防護具聲音衰減性能為主	43
第二節 以防音防護具的規格制定與規範測試說明為主	43

圖目錄

圖2-1 耳朵之基本構造	3
圖2-2 外耳道的共振效應	4
圖2-3 在受到音壓作用耳時耳蝸縱方向回應時之最大位置	5
圖2-4 在自由音場聲音正向入射雙耳的等響度級曲線	7
圖2-5 背景噪音相對於各頻率、各噪音量遮蔽現象	10
圖2-6 聽力閾值隨年齡增加而提高反應圖	12
圖2-7 因噪音所導致的聽力損失變化.....	13
圖2-8 不同研究人員對於衝擊性噪音的主觀感覺研究結果及標準的 噪音計特性和內耳響應特性的比較.....	14
圖3-1 噪音進入內耳的四種途徑	18
圖4-1 佩戴防音防護具後的聽力保護範圍	23
圖5-1 防音防護具實際佩戴時間與有效聲衰減值之變化情形	36
圖5-2 耳塞配戴方法.....	38

第一章 緒論

第一節 前言

防音防護具是個人安全防護具的一種，此一防護具因為對聲音有阻隔的能力，可以減低噪音對聽力的影響以避免聽力傷害。

在勞工安全衛生法施行細則第二十一條規定，勞工作業場所噪音在八十五分貝以上為特別危害健康之作業。又在勞工安全衛生設施規則第三百條規定，對於勞工八小時時量音壓級超過八十五分貝或暴露劑量超過百分之五十時，雇主應使勞工戴用有效之耳塞，耳罩等防音防護具。

在以往的研究中[1]，有充份的証據顯示暴露於高噪音環境中，對人會衍生生理與心理上之健康危害，其中最直接的危害就是勞工的聽力損失。美國聯邦與州政府於1984年調查[2]，對因工作造成的聽力損失賠償其總和估計高達伍仟陸佰萬美元，當可供國內相關單位以為借鏡。經由適當的執行聽力保護計畫[3]，並使勞工佩戴防音防護具[4]可有效保護暴露勞工之聽力。

在執行聽力保護計畫時，除需進行噪音區域之界定與劃分、個人噪音暴露量評估與噪音控制對策外，防音防護具的佩戴，亦為一聽力保護之要項。在無法經濟且有效的使用噪音控制的對策時，使用防音防護具則是必要的選擇。為了讓防音防護具的使用者明瞭佩戴防音防護具所需注意之相關事宜，使防音防護具具有的保護作用能夠確實發揮，本手冊內容包括了為什麼（why）要佩戴防音防護具（第2章），什麼是（what）防音防護具（第3章），什麼時候（when）與何處（where）要佩戴防音防護具（第4章）與如何（how）佩戴防音防護具。特別是在第4章之防音防護具挑選規範建議中，針對防音防護具聲音衰減值計算方法（現有歐美兩大系統中之4種方法：OB法、HML法、SNR法、NRR法）作一詳細介紹，以供聽力保護計畫負責人做為評估防音防護具之參考。

第二節 名詞定義

針對本手冊所使用的名詞，分別定義解釋如後：

1.2.1 行動標準（Action Level）：對個人所能容許的最大每日噪音暴露音壓級（ $L_{EP,d}$ ）或是峰值音壓級，凡是超過此一音壓級，就必須以法律慣例或是規範來強制規定提供及佩戴防音防護具。

1.2.2 維護（Care）：使用者每日對防音防護具的照料。

- 1.2.3 保養（Maintenance）：檢視及修補防音防護具的定期性工作，例如：更換耳罩上破損的耳朵護墊。
- 1.2.4 過度保護（Over-protection）：所選擇及佩戴的防音防護具，其具有過高的聲音衰減性能，如此將導致使用者有被孤立的感覺，並且不易接受外界來的聲音信息。
- 1.2.5 選擇（Selection）：選擇最適當的防音防護具的一個程序。
- 1.2.6 使用（Use）：被保護者每日佩戴的行為。

參考資料：

- [1]Kryster, K.D., The effects of noise on man, 2nd ed., Academic press, Inc., Orlando, Florida, 1985.
- [2]Page,J.C., A comparison of state and federal hearing loss compensation program". NHCA letter, 3(1), National Hearing Conservation Association, Des Moines, IA, 1986, p.4-7.
- [3]Lafgreen, H. and Weeks, D., "Bilson's hearing conservation program: Educational material and different types of hearing protectors", Pulp & Paper Conada, 87(9), September, 1986, p.T329-T332.
- [4]Edwards, R.G. and Green, W.W., "Effect of an improved hearing conservatoin program on earpulg performance in the cookplace", Noise Control Engineering Journal, 28(2), 1987, p.55-65.
- [5]CEN prEN 458:Hearing protectors-Recommendations for selection, use,care and maintenance.

第二章 人耳聽覺特性與聽力損失

第一節 簡介

當有過度的噪音產生時，除了造成談話干擾與令人煩惱外，最直接的傷害是對人耳聽覺細胞造成傷害。在生理上，過度噪音也會使人的內分泌異常、頭痛、易疲倦與高血壓，對於突發性的噪音也會令人過度緊張而導致心血管疾病。同時在學習上，妨礙學習、令人不專心；在工作上，噪音亦會妨礙思考、降低工作效率，以及妨害警告聲聽取導致危險產生。在夜晚，噪音亦會妨礙睡眠。但對於較單調的工作，音樂則會使人工作效率增加。以下則就人耳的基本聽覺構造、聽覺特性與聽力損失分別作一介紹說明。同時也可以讓我們瞭解為什麼要佩戴防音防護具，讓我們在選擇防音防護具時有更深入的瞭解，以及鼓勵佩戴防音防護具的動機。

第二節 人耳聽覺的基本構造

有關人耳聽覺的基本構造可概分為：外耳、中耳與內耳，參考圖2-1 [1]。今分述它們的構造與基本功能於後[2,3]：

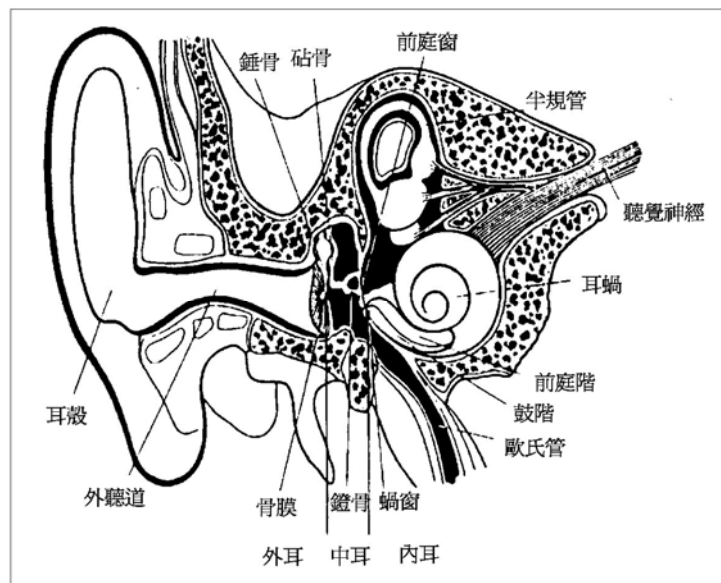


圖2-1 耳朵之基本構造

外耳：它包括著耳廓（pinna）與外耳道（auditory canal）。耳廓負責收集聲音的功能，外耳道負責傳導聲音。成人的外耳道直徑約0.7cm，長約2.5cm。由於耳廓與外耳道的特性（外耳道由外至內直徑略減），以及人頭與身體軀幹對聲音繞射的影響，使得在耳膜的聲

音壓級比在剛進入外耳道的音壓級高，且最靈敏的聲音頻率範圍約在2000~6000Hz之間，如圖2-2[5]所示。

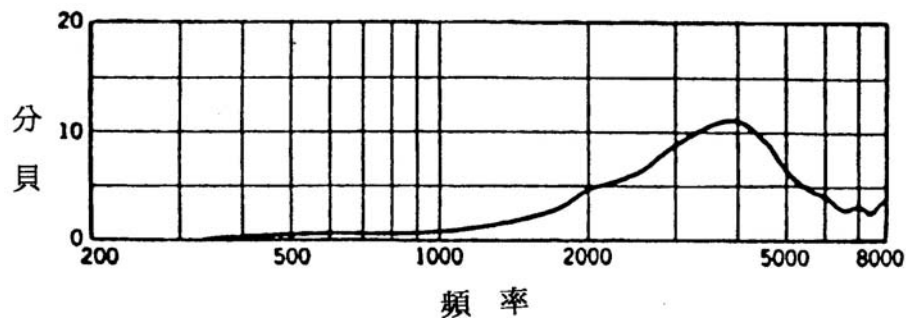


圖2-2 外耳道的共振效應（縱軸座標表示在耳膜與外耳道入口之間的音壓級差異）[11]

中耳：它包括耳膜與三根聽小骨（依序為錘骨、砧骨與鐙骨）。耳膜的功能是將空氣中的振動轉換成固體振動。三根聽小骨的功能則是放大聲音與改變肌肉張力以保護高噪音下的聽力。由耳膜傳至鐙骨，其面積縮小約17倍，且由錘骨傳至鐙骨的槓桿作用，力量約增加1.3倍，因此由耳膜傳至鐙骨的壓力增加約22倍，且在300~3000Hz的聲阻抗配合較佳。中耳另外有一功能是聲反射作用（acoustic reflex），也就是當很響的聲音經由耳膜與聽小骨傳至中樞神經後約40~80ms[2]（或40~160ms[3]）的時間，由於耳膜緊張肌與鐙骨神經會將聽小骨機構變硬，使得在1000Hz以下的低頻聲音會被衰減30~40dB，以保護耳蝸內的聽覺細胞（hair cell）。但是由於聲反射作用的反應時間至少需要40ms，因此對於突發且巨大的聲音（例如：槍聲），如果其發生的期間小於40ms，聲反射作用也將失去功能，如此由於突發的衝擊聲易造成聽覺細胞的傷害，亦即聽力損失。也因為聲反射作用的功能，使得人耳聽力對聲音的響度，與聲音壓力的大小以及與聲音持續時間都呈非線性的關係。

內耳：有一長約3.5cm，捲成2.5圈的耳蝸（coclea），其體積約為0.05cm³，其內部充滿液體。其截面積由底端（與中耳連接處）至尖端成不規則漸減。耳蝸內的基底膜（basilar membrane）有四排的聽覺細胞（hair cell），約有20000~30000個。當受到聲音作用時，聲波經由外耳道碰撞到耳膜，然後將能量傳遞至中耳內的三根聽小骨，同時將聲波信號放大傳遞至內耳中的液體，在經由液體將能量傳遞至內耳的聽覺細胞。因為聽覺細胞的壓電作用（piezoelectric effect），聽覺細胞產生電擊刺激神經，再傳至大腦，因而聽到聲音。如果負責聽力的聽覺細胞受到過度的噪音壓力作用因而斷裂，將造成聽力永久損失且無法復原。由於基底膜上的聽覺細胞，由底端至尖端方向時，其長度由0.04mm漸增至

0.5mm且直徑漸減，因此聽覺細胞的勁度也漸減約100倍。耳蝸在捲曲時,其直徑由底端至尖端成漸減趨勢，因此聽覺細胞的質量負載也由小而大。由於以上兩個作用（勁度漸減與質量負載漸增），使得基底膜上的聽覺細胞有著不同的共振頻率，且共振頻率由底端至尖端成漸減趨勢。當頻率(f)大於200Hz時，基底膜最大振幅位置（x：至底端距離cm）可由下式概略估算[4]：

$$\log f = 4 - 0.72x + \log 2.5 \quad (f > 200\text{Hz})$$

對不同聲音頻率時，基底膜的振動響應，如圖2-3所示[1]。對於高頻音，基底膜的響應多集中在底端，而基底膜的尖端響應則很小；對於低頻音，基底膜的響應雖然多集中在尖端，但是基底膜的底端亦有相當響應。換句話說，不論是高頻音或是低頻音，基底膜底端的聽覺細胞皆受到外力的作用。且如果背景噪音是較低頻的話，則可以造成基底膜較廣泛的響應，造成較大的談話干擾效應。

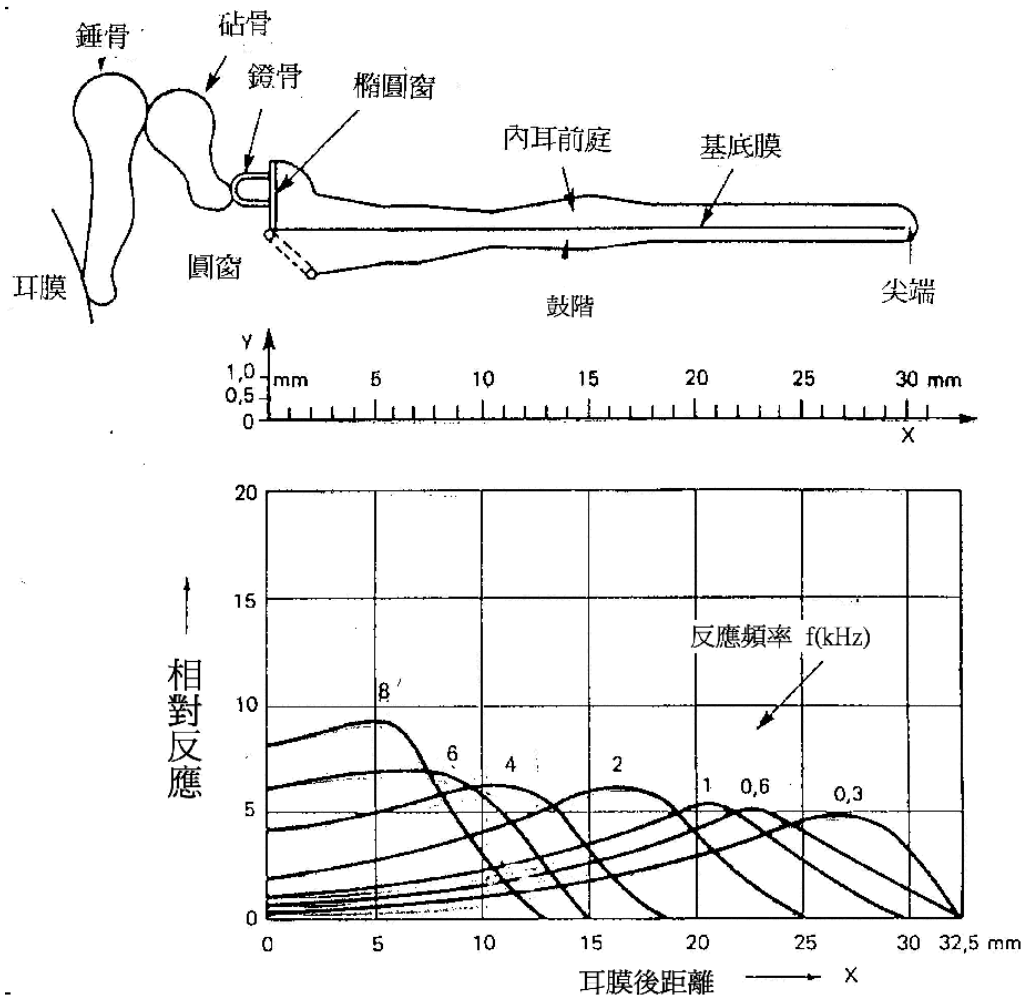


圖2-3 在受到音壓作用耳時耳蝸縱方向回應時之最大位置[1]

聲音經由上述過程，即經迴耳廓、外耳道、中耳至內耳，我們稱之為氣導音，但是聲音亦可以經由骨骼組織直接傳遞至內耳或經由中耳傳至內耳，此時我們稱這種傳遞方式的聲音為骨導音。

第三節 人耳聽力的基本現象

2.3.1 響度與振幅

所謂響度（loudness）是指人耳主觀地對聲音振幅（amplitude）的感覺，與物理學上對聲音的振幅定義是不相同的。雖然振幅與響度基本上兩者有一定的關連，例如：聲音振幅愈大，則響度愈大，但是由於人耳本身對聽力的非線性特性，導致兩者之間有相當的差異性。人耳對聲音響度的決定，根據研究有以下幾個因素[2]：

- (1)當聲音振幅變大時，耳膜與聽覺細胞的振幅也增加，導致末梢神經被較快速的激發。
- (2)當聲音振幅增加時，有更多的聽覺細胞被激發，使得更多的神經被刺激。
- (3)某些聽覺細胞只有在基底膜受到很大聲音振幅時，才會被刺激，而這些被刺激的聽覺細胞使得神經系統認為聲音很大聲或很響。

聲音響度除了上述幾個與振幅有關的原因，聲音響度與聲音的持續時間亦有某種程度的關連。耳音響度在聲音持續時間(T)小於0.3s時，基本上，聲音響度隨著時間的減少而減小；但當 $T > 3s$ 時，聲音響度則隨著T的增加而變小，其原因乃在於聲音作用時間長，導致聽力閾值的提高。又同樣的聲壓位準下，寬頻音比窄頻音較響，其原因為在寬頻音下，基底膜上有較多的聽覺細胞被激發。

所謂壓電作用，是當一材料受到外力（壓力、拉力、扭力）作用時，會在材料表面產生電荷與電壓，這種材料我們把它稱為壓電材料，這種作用我們把它稱為壓電作用。壓電材料可以是天然的，如內耳的聽覺細胞，骨骼與石英等；壓電材料同時也可以是人工製造的，如壓電陶瓷（PZT）等。

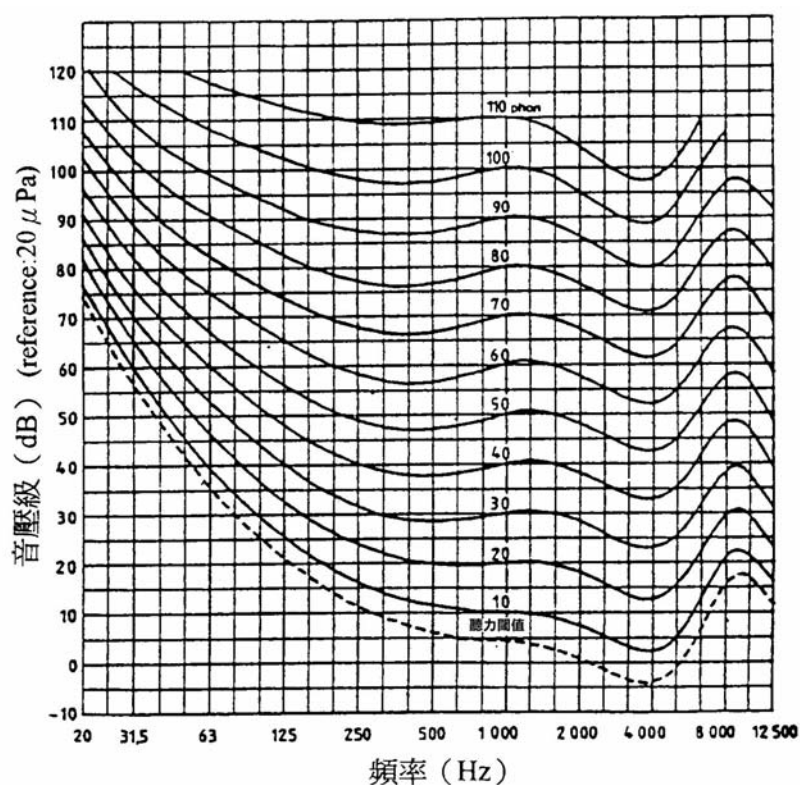
2.3.2 等響度級曲線（equal loudness level contours）

由於人耳對聲音的響度與聲音的振幅、頻率、作用持續時間等有關，因此在進行聲音的等響度級測試時，對於聲音的信號（純音或是不同頻寬帶的聲音）、測試的環境（自由聲場或是迴響聲場）、測試信號

施於受測者的單耳或雙耳、使用耳機或不使用耳機、受測者頭部是否固定等因素，均必須加以說明。基本上，一般所看到的等響度級曲線，是在測試一群年齡在18~25歲且具有正常聽力的年輕人的等響度級後，經過平均與統計的分析後所得到的。目前在國際上被公認的等響度級曲線[6]，如圖2-4所示，是在自由聲場下，使用純音測試得到的結果。在圖2-4中，橫軸座標是頻率，縱軸座標是音壓級，圖中的曲線即是等響度級曲線。每一條曲線代表相同的響度級，在曲線旁的數字代表響度級的大小，等響度級曲線其測試的基本過程如下[1]：

步驟1：以1000Hz的聲音當做參考信號，音壓級為40dB時，聲音響度級為40phon；音壓級為70dB時，聲音響度級為70phon。在1000Hz時，音壓級與聲音響度級有相同的數值，phon為聲音響度級的單位。

步驟2：對一給定的聲音頻率與音壓級下，受測者感受到一聲音響度級，然後給一可改變音壓級之1000Hz參考信號，直到受測者認為與原給定的聲音有相同的響度，對應之音壓級即為其響度曲線。



聽力閾值：相當於4.2phon的位置

圖2-4 在自由音場聲音正向入射雙耳的等響度級曲線

在等響度級曲線上，對於不同頻率而言需要不同的音壓級。例如：在等響度級等於70phons時，在聲音頻率1000Hz的音壓級即等於70dB（與phon的數值相同），在聲音頻率100Hz的音壓級等於75dB，在聲音頻率

4000Hz音壓級等於62dB。基本上，對於相同的音壓級而言，響度級在低頻範圍與高頻範圍都會掉落，但在人耳最靈敏的4000Hz附近，則有最大的響度級。在較大聲壓級時，因為中耳的聲反射作用（acoustic reflex）提高了聽力閾值，導致等響度級曲線對所有頻率幾乎都差不多。由於對音壓級的非線性關係，響度級每增加10phons（loudness level），對聲音主觀的感覺響度（loudness）則增加約2倍。響度與響度級之間的關係，可表示如下：

$$S=2^{0.1(L_N-40)}$$

S：響度（sone）

L_N ：響度級（phon）

在實際複雜的噪音環境中量測響度與響度級，比上述純音的響度與響度級量測複雜多了。有關實際複雜的噪音環境中量測響度與響度位準，可參考標準ISO 532 Loudness level calculation[7]。關於phon或sone的使用，多見於美國AMCA協會中，相關的辦公室與家電用品噪音測試標準。

2.3.3 音高與頻率

對聲音頻率（frequency）的主觀直接感覺我們稱之為音高（pitch），也就是聲音聽起來有多高，音高與在物理學上所定義的聲音頻率是不相同的。雖然音高與聲音頻率有很密切的關係（基本上頻率愈高，音高愈高）；但是音高也和聲音強度與波形有關。它們通常有以下的關係[3]：

- (1) $f < 500\text{Hz}$ 時，聲音愈響，音高愈低（ f ：頻率）。
- (2) $500 < f < 4000\text{Hz}$ 時，音高與響度較無關。
- (3) $f > 4000\text{Hz}$ 時，聲音愈響，音高愈高。
- (4) 頻率愈高，音高愈高。
- (5) 複合波形的音高與調諧波（harmonics）有關。
- (6) 純音持續時間(T)小於0.01s，音高無法感覺，在0.01～0.1s間音高則隨時間增加而增加。

音高的決定通常有兩個原則[2]，一個是位置準則（place principle for determination of pitch），另一個是頻率準則（frequency principle）。位置準則就是在內耳的基底膜上被刺激最大的位置來決定音高，但在較低頻聲中，由於基底膜尖端部份皆被刺激，則是使用頻率準則來判定音高。通常對很低或很高頻率的聲音，音高與頻率是有相當差異的。

2.3.4 閾值

以下綜合敘述幾個有關人耳聽力閾值（thresholds），以瞭解人耳的聽力特性：

- (1)聽力界限或聽力閾值（threshold of audibility or threshold of hearing）：所謂聽力界限是指在此界限上的聲音，人們可聽到；在此界限下的聲音，人們聽不到。如圖2-3所示，在 $f < 4000\text{Hz}$ ，頻率愈低，聽力界限漸高，在 $f > 4000\text{Hz}$ ，頻率愈高，聽力界限也漸高。在 1000Hz 時，聽力界限約為 0 dB ，而在 4000Hz 時，聽力界限最低（亦即最靈敏位置）。
- (2)感覺閾值（threshold of feeling）：如圖2-3所示，其值約為 120 dB ，在此界限上，人耳對聲音已失去大小分辨能力。
- (3)疼痛閾值（threshold of pain）：如圖2-3所示，其值約在 140 dB ，此時中耳感到疼痛且內耳聽覺細胞將被破壞。
- (4)聽力閾值改變（shift of threshold of audibility）：由於聲反射作用的影響，依據聲音強度的大小與持續的時間長短，聽力閾值會漸漸向上改變增加。如果當外界聲音停止後一段時間，聽力界限又會逐漸恢復到原先的位置，此一現象稱為暫時聽力界限改變或暫時聽力損失（temporary threshold shift, TTS）。如果聽力界限無法恢復到原先狀態，則此一現象為永久聽力界限改變或永久聽力損失（permanent threshold shift, PTS），此時內耳的聽覺細胞已因巨大的聲音或長久暴露在高噪音下遭受破壞。
- (5)分辨閾值（differential threshold）：對於音壓級大小的辨別，在可聽見頻率的兩端（ 20 Hz , 20000Hz ）附近，其可分辨的差異最小為 2 dB ；在可聽見頻率範圍中間附近（ 1000 Hz ），其可分辨的最小差異為 1 dB 。通常人耳對音壓級 1 dB 的差距勉強可分辨，對於 3 dB 的差距則可清楚分辨。對於頻率分辨的閾值，其最小差異約在 0.14% [4]。

2.3.5 交談的干擾

人耳的基底膜基本上就像是一個平行的濾波器，每一段的基底膜聽覺細胞基本上都有它特定的喜好頻率響應範圍。對於一隱藏在噪音中的純音，如果純音與噪音是屬於不同頻帶濾波器且噪音位準並非很大，純音則可能被清楚地聽到。但是如果外在的噪音激發了基底膜大多數的聽覺細胞，導致聽力閾值的提高，則使得原來聽得清楚的交談聲，變得不清楚，因而必須提高聲音超過新的聽力界限，人耳才能聽清楚談話內容。此一現象稱為遮蔽（masking）現象，如圖2-5所示。在圖2-5中，以

1200Hz為中心頻率的窄頻帶噪音，在不同噪音級下對一 4000Hz，50dB（以+為記號）的純音干擾情形，如果遮蔽的噪音級小於90dB，純音可被聽到；如果噪音級大於100dB，則純音就被遮蔽。亦即有一中心頻率於1200 Hz之窄頻帶背景噪音，其數值小於90 dB時，則在4000Hz的一個50 dB的純音（有+字標示位置），可以被清楚的聽到；但是如果此一背景噪音超過100 dB時，此一純音則被遮蔽了。由於低頻聲音會刺激基底膜大部分的聽覺細胞（如圖2-3所示），因而遮蓋了基底膜底端的部分（響應高頻聲音的聽覺細胞）。換言之，低頻的聲音易遮蓋高頻音，而高頻音不易遮蓋低頻音。由於交談的聲音多在500 Hz～4000 Hz，因此在評估一環境噪音對交談所造成的干擾程度，就用四個1/1八音幅（octave band）的算術平均音壓級來評估，稱為SIL（speech interference level）指標[8]：

$$SIL=(L_{500}+L_{1000}+L_{2000}+L_{4000})/4 \text{ dB}$$

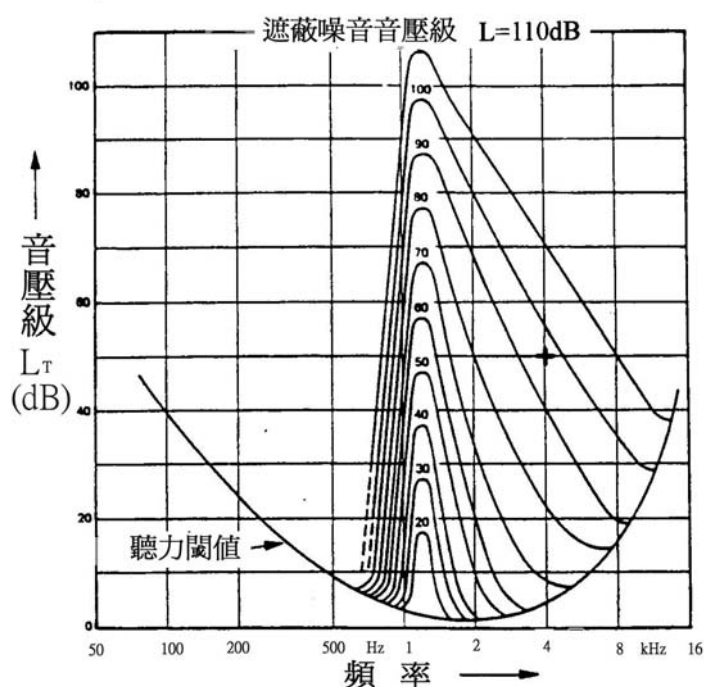


圖2-5 背景噪音相對於各頻率、各噪音量遮蔽現象[1]

當在不同背景噪音的遮蔽（SIL）環境下，對交談影響的程度可概略表示如下[8]：

SIL(dB)	在正常交談下可聽清楚的最大距離(m)	在大聲交談下可聽清楚的最大距離(m)
35	7.5	15.0
40	4.2	8.4
45	2.3	4.6
50	1.3	2.6

55	0.75	1.5
60	0.42	0.84
65	0.25	0.50
70	0.13	0.26

2.3.6 聲源辨位

聲源方向的辨位 (sound localization) [2]，基本上是辨識到達雙耳聲音的時間差，也就是聲壓相位差與音壓級大小差距（靠近聲源的聲音較響）。在頻率低於3000 Hz的聲音，時間差是辨識聲源方位重要的因素，而在3000 Hz以上的聲音辨位，響度則是重要的因素，其原因為人頭對高頻音有較佳的聲阻隔功能。由於外耳略向前傾，使得從正面來的聲音品質與背面來的聲音品質不同。

2.3.7 耳蝸的非線性現象

耳蝸一如許多機械或電子結構，在大負荷下極易產生非線性現象，階波被激發出來。導致人耳對聲音的感覺有多重的變化。當響度很大時，耳蝸會有以下非線性現象[4]：

(1)聽覺階波頻率 (aural harmonics)：

$$f_n = n f_1; n=1,2,3,\dots$$

其中 f_1 為聲波頻率， f_n 為耳蝸非線性振動後，產生的頻率。

(2)組合頻率 (combination tones)：

f_1, f_2 為聲波頻率， f (combination)為耳蝸非線性振動後產生的頻率：

$$f = | m f_2 \pm n f_1 |; m, n=1,2,3,\dots$$

因此當喇叭很大聲時，某些被電子線路濾波的基本頻率，可經由此種組合再生，為人耳所聽見。

(3)節拍 (beating)：

當兩頻率很接近且進入同一耳朵時，聲音聽起來會忽大忽小的。

第四節 聽力損失

2.4.1 因噪音所導致的聽力損失

人耳的聽覺機構是相當精密的，因為對於只有 $1/5$ 氫分子直徑的振動量 (10^{-11}m)，對於一聽力正常的人耳亦可察覺其變化。人耳的聽力損失

（hearing loss）其基本原因可概分為因疾病、年齡增長與噪音暴露等。因年齡增長所導致的聽力損失，基本上是年齡愈增加，損失愈嚴重，且高頻損失比低頻損失來得快[12]，如圖2-6。

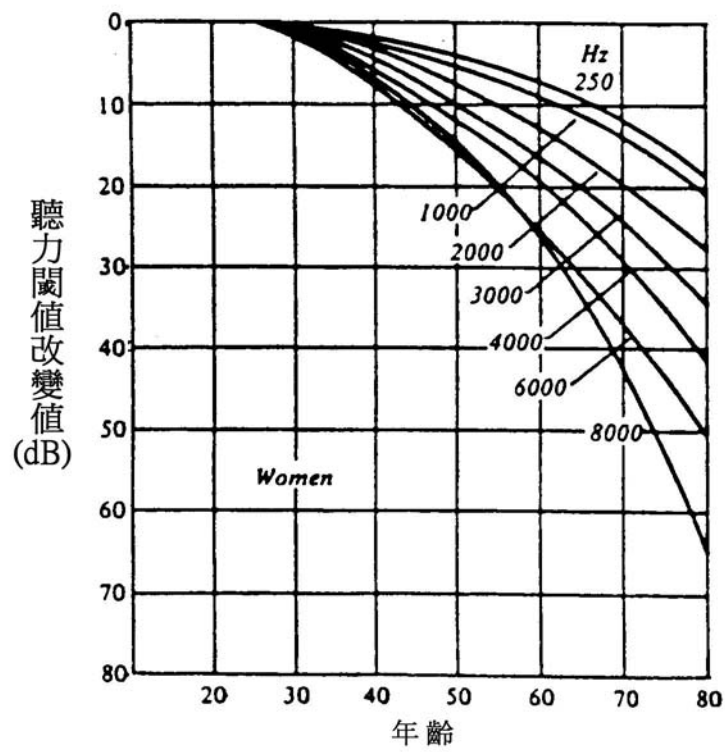
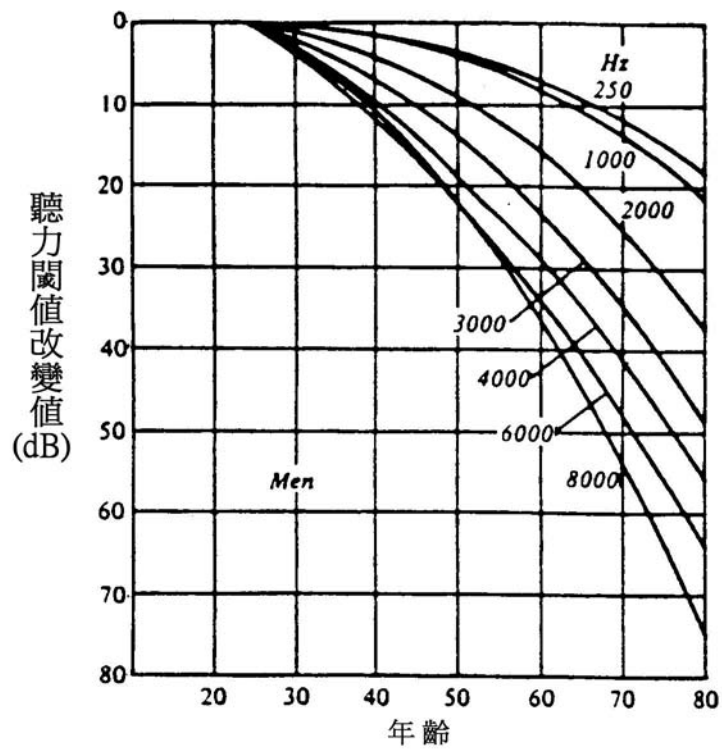


圖2-6 聽力閾值隨年齡增加而提高之反應圖[12]

但在其它的研究中[5]，在一很少受噪音影響的高山地區居民，居民因此一年齡增長而造成聽力損失的現象非常緩慢。且在比較工業社會與低噪音社區的年輕人聽力時，兩者聽力並無明顯的區別；在低噪音社區的男人與女人，他們的聽力損失也並無不同，但在高噪音工業社會，男人聽力比女人聽力則較早衰減且高頻音比低頻音衰減較顯著[5,12]。因此 presbycusis 對聽力的影響，並非與年齡有絕對密切關係而是與生活在噪音環境中有密切關係。噪音對聽力的損失，基本上分為暫時聽力損失（TTS）與永久聽力損失（PTS）。暫時聽力損失，是因為短時間處在高噪音區域，由於聲反射（acoustic reflex）保護作用，導致聽力閾值（threshold of hearing）的提高，此時回到低噪音區域時，一般的交談聲即無法聽清楚，而需要一段回復時間（recovery time），等待聽力閾值回復到正常狀態後，聽力即回復到常態。因噪音所導致的聽力損失是永久性的聽力損失，因為內耳的聽覺細胞被破壞了以後被疤痕所取代，但是此一疤痕對聲音卻無響應。基本上，此一聽覺細胞破損過程是漸進、無痛、易令人忽略地，但是此種聽力損失一旦發生，是無法復原的。大部份接收高頻的聲音的聽覺細胞首先被噪音所破壞，導致高頻的聽力較低頻的聽力先失去。永久性的聽力損失，多因暴露於過高的噪音環境或暴露時間過久。在工廠高噪音作業環境中，工人的聽力損失另有一特色，即在4000 Hz的聽力損失最嚴重，圖2-7[1]，4000 Hz也是人耳聽力最靈敏的頻率。

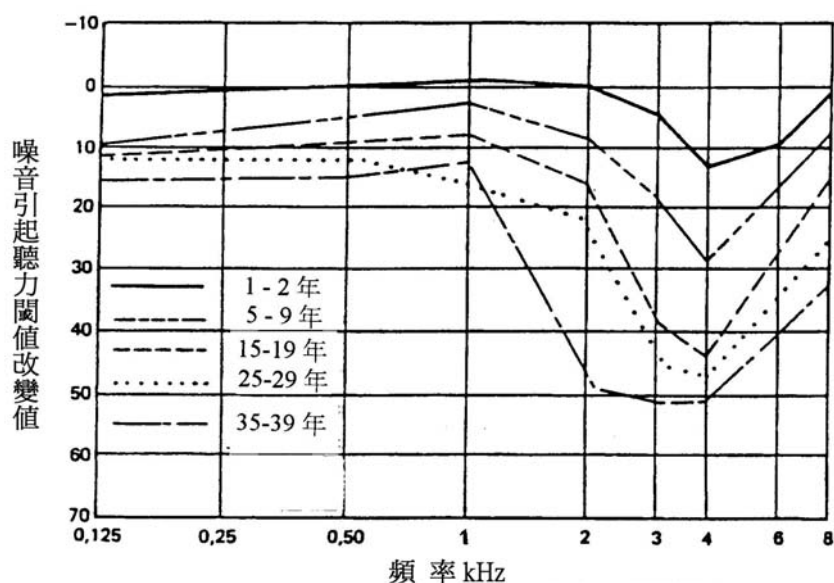


圖2-7 因噪音所導致的聽力損失變化[1]

※衝擊性噪音

先前討論到當聲音持續時間(T)小於0.3s時，聲音響度隨著時間的減少而減小。因此如果要達到相同的響度而言，衝擊性噪音的音壓級(L_p)將

比穩態噪音的音壓級(L_D)大很多。在圖2-8中，當衝擊的持續時間逐漸增長至 $(L_I - L_D) = 0$ 時，表示衝擊性噪音與穩態噪音在相同的音壓級下有相同的響度。當一衝擊噪音其持續作用的時間很短時，它的響度聽起來很小，因此反而易於令人忽略衝擊噪音的危險性，但是它對聽力的傷害性依然很大，因此近年來亦有諸多研究與法令注意到此一危害性。由於人耳的聲反射保護作用時間至少需要40ms的時間，因此對持續時間小於40ms之衝擊性噪音，其保護功能將喪失。由於人的內耳響應時間極短，因此如果要量測噪音的峰值位準以評估衝擊噪音對人耳聽力的傷害，噪音計的上升常數應小於 $50 \mu s$ [9]。因此對於一般型式的噪音計，如果未配備有量測峰值噪音的線路，而用一般的快（或慢）時間特性來量測衝擊噪音，則會遠遠低估了衝擊噪音的危險性。

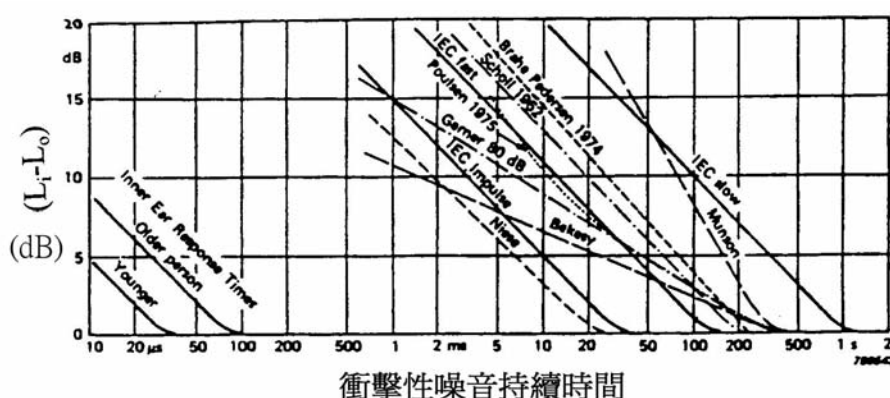


圖2-8 不同研究人員對於衝擊性噪音的主觀感覺與標準的噪音計特性和內耳響應特性的比較[1]

2.4.1 您的聽力已經受損了嗎

因噪音而導致聽力損失的人而言，對於較高頻的虫鳴鳥叫或是較微弱的摩擦高頻聲音將聽不清楚，但對於遠方火車發出的微弱低頻音則可如同正常人般一樣聽見。對於因噪音而導致聽力損失的人而言，許多字都聽起來非常的相似，因此常碰到“有聽沒有懂”的情況，進而在社交生活中與人溝通時，產生諸多般的誤解。由於人耳的可聽見頻率範圍與人們一般交談的頻率範圍有相當大的不同，因而襄人忽略了自己的聽力是否已受損。以下是數種有關人類聲音頻率的大致範圍，可以讓我們進一步瞭解，雖然我們在一般交談中並無任何困難，但是我們的聽力卻有可能早已經受損了[10]：

- 人耳可聽見頻率範圍 (Audible range)：20 Hz～20000 Hz。
- 人類可發聲的頻率範圍 (Human voice range)：100 Hz～10000 Hz。
- 人類發聲清晰的頻率範圍 (Speech articulation range)：200 Hz～6000Hz。

- 人類交談的頻率範圍 (Speech intelligibility range)：500 Hz～2500Hz。

聽力是否受損失，可以經過聽力檢查得知。人耳聽力損失的等級，依其損失程度（聽力閾值）可分為以下6個等級[10]，其中 $L_{ave} = (L_{500} + L_{1000} + L_{2000}) / 3$ ，為在500 Hz，1000 Hz與2000 Hz三個頻率下經過聽力檢查後，聽力損失的平均值：

等級	L_{ave} (dB)	與人交談的瞭解能力
A	$L_{ave} < 25$	無困難地可聽見耳語
B	$25 \leq L_{ave} < 40$	僅對耳語有困難
C	$40 \leq L_{ave} < 55$	對一般交談常有困難
D	$55 \leq L_{ave} < 70$	對大聲交談常有困難
E	$70 \leq L_{ave} < 90$	僅可瞭解放大的聲音
F	$90 \leq L_{ave}$	無法聽到放大的聲音

除了可已經由實際的聽力檢查與現場噪音量測，亦可藉著以下的問卷可以很簡易的判斷您的聽力是否已經受損，以及簡易的判斷你是否已經處在高噪音環境中：

1. 您的聽力已經受損了嗎？

- (1) 您是否常要他人重複他剛才所說的話？ ☐是 ☐否
- (2) 與人交談時，您是否覺得有聽沒有懂？ ☐是 ☐否
- (3) 是否常有人向您抱怨，您答非所問？ ☐是 ☐否
- (4) 分別在您的雙耳旁邊，輕輕地用姆指與中指摩擦，此時您是否能聽到沙沙聲？ ☐是 ☐否
- (5) 您覺得鳥叫依然很清脆嗎？ ☐是 ☐否

如果你在上面的回答不是（否、否、否、是、是），即代表您可能需要進行聽力檢查了。

2. 您已暴露在高噪音的環境嗎？

- (1) 您是否常要他人重複他剛才所說的話？ ☐是 ☐否
- (2) 工作時您必須大聲喊叫以使在一公尺外的人瞭解您所說的話？
☐是 ☐否
- (3) 在工作場所中使用電話，您必須要大聲喊叫與他人通話？
☐是 ☐否

- (4)您所在工作場所的噪音如同或比在交通繁忙下的噪音更高？
☐是 ☐否
- (5)經過暴露於噪音一段時間後，許多平日的聲音聽起來都變的不同了？
☐是 ☐否
- (6)經過一段時間的噪音暴露後，您有耳鳴的現象或在您的耳朵中聽到其他噪音？ ☐是 ☐否
- (7)在一天工作回家後，您必須將電視或收音機音量開大？☐是 ☐否
- (8)在一天工作回家後，您的家人向您抱怨，您時常不太瞭解他們所說的話？ ☐是 ☐否
- (9)在一天工作回家後，您的家人常向您抱怨，您時常很大聲的向他們說話？ ☐是 ☐否

如果你在上面任何一題中的回答是“是”，即代表你可能需要進行聽力防護計畫了。

參考資料

- [1]Hassall, J.R. and Zaveri, k., "Acoustic Noise Measurement", 5thed., Bruel & Kjaer, Naerum, Denmark, June 1988, Chapter 3.
- [2]Guyton, A.C., "Textbook of Medical Physiology", 6th ed., W.B. Saunders, 1981, Chapter 61-the sense of hearing.
- [3]Ganong, W.F., "Review of Medical Physiologh", 12nd ed., Lange Medical Publication, 1985, Chapter 9-hearing & equilibrium.
- [4]Kinsler, L.E., Frey, A.R., Coppens, A.B., sanders, J.V., "Fundamentals of Acoustics", 3rd ed., John and Wiley, 1982, chapter 11.
- [5]Kryter, Karl D., "The Effects of Noise on man", 2nd ed., Academic Press, Oriando, USA, 1985.
- [6]ISO 226 Acoustics-Normal Equal Loudness Level Contours
- [7]ISO 532 Acoustics-Method for Calculating Loudness Level
- [8]ISO/TR 3352 Acoustics-Assessment of Noise with Respect to its Effect on the Intelligibility of Speech.
- [9]IEC 651 Sound Level Meters

- [10]Lord, H., Gatley, W.S. and Evensen, H.A., "Noise Control for Engineers", McGraw Hill, 1980, Chapter 2.
- [11]Wiener, Francis M., "On the Diffraction of a Progressive Sound Wave by the Human Head", J.Acoust. Soc. America, vol 19, no.1, Jan. 1947, pp.143-146.
- [12]Spoor, International Audiology, vol.6, no.1, July 1967.

第三章 防音防護具的種類與原理

第一節 基本原理

就目前在市面上所使用的防音防護具，雖然種類繁多，但是按照其基本性能可概分為以下三大類：耳罩 (ear muffs)、耳塞 (ear plugs)、與特殊型防音防護具 (Special types)[1]。由於隔音效果的不同與佩戴的方便性等實用價值之差異，在不同的場合中將視環境的需要而選擇不同的單獨的防音防護具或其組合來使用。

一付好的防音防護具除了具有方便、佩戴舒適、不刺激皮膚等基本性質外，最重要的一個特性就是要有較高的隔音值。佩戴防音防護具後的保護效果，與聲音傳遞至內耳的路徑有關。依據聲音傳遞至內耳的路徑，基本上可以分為以下四種途徑 [2]，如圖3-1所示：

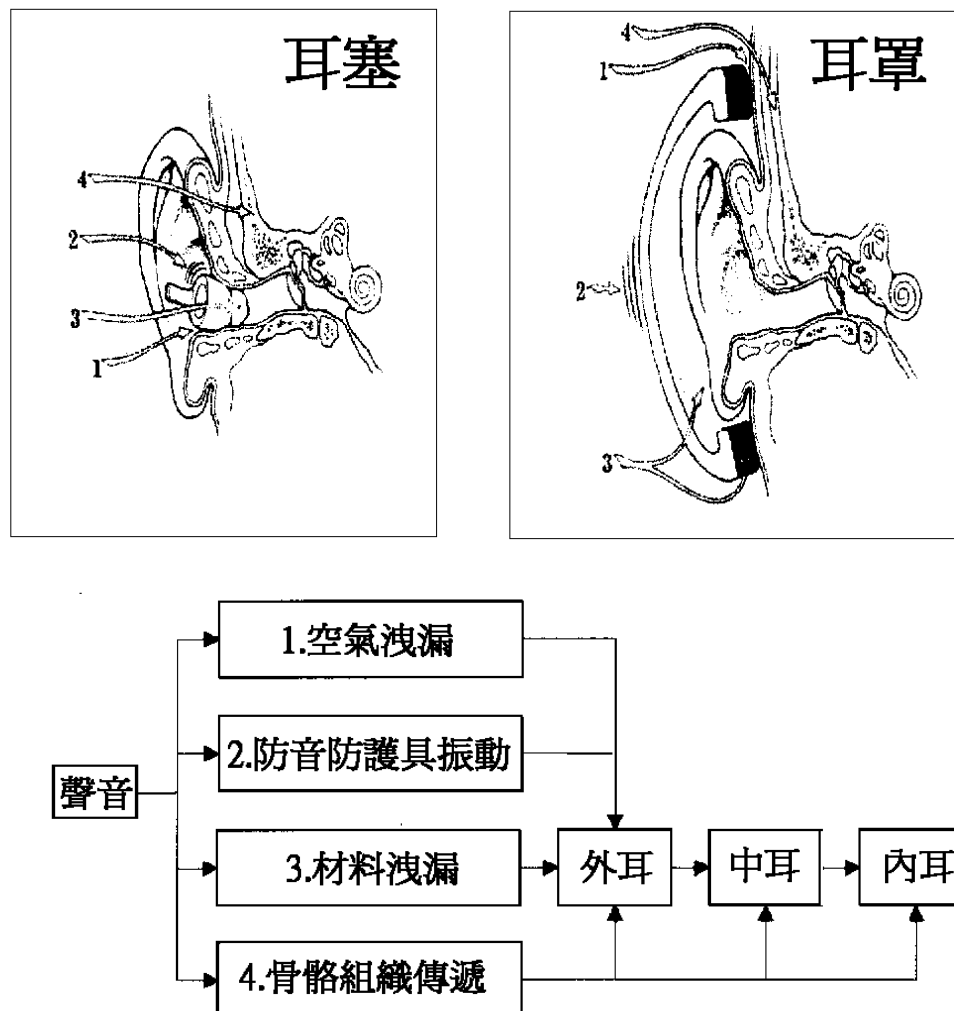


圖 3-1 噪音進入內耳的四種途徑[2]

- (1)骨導音：正如在第二章所述，聲音的傳遞除了可經由外耳、中耳至內耳的途徑，同時可經由骨骼組織直接傳遞至內耳。因為當人體暴露於噪音環境下時，實際上人體是受到噪音的撞擊，並且產生振動能量的傳遞，只是其傳遞的能量與經由氣導通過外耳傳遞至內耳的聲音能量比較之下，其比例較小，較不易為常人所注意。
- (2)防音防護具的振動：當噪音撞擊到防音防護具，導致防音防護具產生微弱的振動，進而產生聲能傳遞至外耳。通常此一部分的能量，可以藉著耳罩的軟護墊設計以減低此一振動能量的傳遞。
- (3)氣導洩漏：在佩戴防音防護具時，由於防音防護具與外耳道之間無法完全的密閉，導致噪音漏至外耳道。例如：在佩戴耳罩時，頭髮或眼鏡的影響導致氣導洩漏。氣導洩漏會極其嚴重的影響一個防音防護具的隔音值（聲音衰減值）[3]。
- (4)材料洩漏：此處所謂的材料洩漏指的是製造防音防護具材料的傳遞損失（transmission loss）有一定的數值，噪音經由材料傳遞至外耳道。因此如果材料本身據有較高的傳遞損失，則可以增加防音防護具的隔音值。如果耳罩護蓋有任何破洞，則此耳罩將幾乎完全喪失其隔音性能[3]。

第二節 耳罩

耳罩型式的防音防護具，其構造可分為：具有隔音功能與包覆外耳朵的硬質護蓋（cups）或稱為耳罩，具有與耳朵密合的軟墊（cushions），在軟墊內通常都內襯有吸音材料以吸收聲音。兩個耳護蓋通常是由一具有彈性的金屬或者是塑膠製的頭帶（head band）互相連接利用頭帶夾緊的力量，使軟墊與耳廓四周密合以阻絕外界與外耳道聲音的傳遞。同時為了使耳護蓋的支撐更加穩固，在耳護蓋的上方，頭帶的內側有一具有彈性的頭繩（head strap）可支撐耳護蓋，尤其是當頭帶置於頸後或者是置於下顎處時使用，以支撐耳護蓋。

在耳罩上的頭帶，有時是只具有一個固定在頭部的位罝，有時頭帶則可置於頭頂（head band）、頸後（neck band）、與下顎處（chin band），此種可以調整位置的頭帶稱為萬用型（universal type）頭帶。當頭帶置於頸後或下顎處時，則可以配合頭部安全護具共同使用。某些型式的耳護蓋是直接附於頭部的安全護具上共同使用，例如：頭盔、焊接面罩。在使用耳罩時，基本上我們必須使用符合個人頭型的耳罩，且頭帶的夾緊力必須鬆緊適中，因為夾緊力太鬆，耳罩易在工作中鬆脫；夾緊力太緊，雖然可減少氣導洩漏的噪音，但是在佩戴時會令人感覺不舒

適。如果適當的增加耳護蓋的厚度，則可以減少材料的洩漏，增加耳罩的隔音值，但是亦不可以增加太多重量，以免佩戴時感覺不舒適。

與耳塞相比較，耳罩除了可阻絕氣導噪音外，亦可以隔絕部份的骨導音，因此耳罩比耳塞獲得較高的隔音值。

第三節 耳塞

耳塞型式的防音防護具，是用於外耳道中或者是外耳道入口，以阻止聲音（氣導音）經由外耳道進入內耳。依使用次數分類，耳塞基本上可分為丟棄型與重複使用型：拋棄型耳塞只使用一次即丟棄，例如：可壓縮耳塞；重複使用型耳塞則可多次重複使用，例如：模壓型耳塞。

如果依照耳塞製造的方式，可分為以下方式：

(1)模壓型耳塞（premolded ear plug）：

模壓型耳塞通常由軟矽膠、橡膠或塑膠等可模壓型材料製造而成，它們可以不經由壓縮變形，而可直接插入外耳道內。通常它們有不同的尺寸大小，使用者可依據個人的外耳道尺寸大小，來選擇適當的模壓型耳塞。模壓型耳塞，有時會用頭帶或者是繩子互相連接，可防止耳塞掉落或遺失。

(2)可壓縮耳塞（formable ear plug）：

可壓縮型式的耳塞是由如泡綿等可壓縮較軟材料製造而成。此種耳塞在使用前，經過用手壓縮後再放入外耳道中。耳塞放入外耳道後，耳塞會膨脹在外耳道中形成氣密的功能。有些利用岩綿製造的耳塞，在使用時，可不需用手壓縮，而可直接插入耳道中使用，如此可避免因使用手造成耳塞的污染。

(3)個人模壓型耳塞（custom moulded ear plug）：

這類型的耳塞與模壓型耳塞極其類似，所不同的是，模壓型耳塞是適用於大眾，而個人模壓型耳塞則是根據個案的耳道形狀所灌模壓鑄的。此類型的耳塞由於與個人耳道可以有較佳的密閉功能減少氣導洩漏，可增加隔音值。

耳塞的隔音值增加，除了必須與外耳道有較佳的氣密功能，同時亦可適當增加耳塞質量，以增加高頻隔音值。但是如果質量太大，會帶給佩戴者不舒適的感覺。

第四節 特殊型防音防護具

除了上述所介紹最常用的耳罩、耳塞防音防護具，尚有以下數種特殊目的與功能的防音防護具[1]：

(1)振幅感度防音防護具（amplitude sensitive protectors）：

振幅感度防音防護具是被設計成，當外界噪音量增大時，隔音的效果也增加；當外界噪音量減小時，隔音的效果也跟著減小。換句話說，對於較低的談話聲音量，此時由於防音防護具的隔音效果小，談話聲可以聽的較清楚，但對於外界較高的噪音量，此時防音防護具的隔音效果變高，可以對聽力有較佳的保護。

就一般使用的防音防護具而言，其隔音值多是固定不隨噪音量而變，而振幅感度防音防護具多係應用電子技術於耳罩上[4]。

(2)主動噪音控制耳罩（active noise control earmuff）：

由於數位電路的快速發展，及計算速度的增加與價格降低，使得主動式噪音控制耳罩變為商品化的可能性已實現了。主動噪音控制耳罩是應用電子線路產生人為聲音與既有的噪音互相結合後，應用相位的差異，可將噪音抵消，以達到噪音減量的目的。以目前的技術而言，主動噪音控制耳罩適用於穩定且低頻的噪音消除，此一特點正好彌補了傳統防音防護具對低頻噪音隔音較弱的缺點，因此此類型耳罩非常適合使用於以低頻噪音為主的工作環境中，例如：飛機機艙、鍋爐房、冰水主機房、船舶、工場等。

(3)通訊用耳罩（communication earmuffs）：

在防音耳罩上，可利用有線或者是無線的裝置，讓使用者除了達到防音的功能，尚可清楚的接收通訊、娛樂與緊急信號的功能。防音頭盔上有時亦會加裝上此一通訊功能。

(4)防音頭盔（acoustic helmet）：

防音頭盔與一般工業用安全頭盔最大的不同點在於其防音效果的加強，通常多使用在極高噪音的環境中，防音頭盔將頭的大部份都包覆起來，除了可減少聲音經由耳道進入內耳，同時減少空氣聲音經由頭部骨骼傳遞至內耳的骨導音，因此防音的效果遠大於耳塞、耳罩。例如：飛行員所使用的頭盔，在爆破、飛彈發射時均需使用此種防音頭盔。使用防音頭盔時，應選用配合個人頭型尺寸的頭盔減少氣導洩漏，以得到最佳的防音效果。

參考資料：

[1]CEN prEN 458: Hearing Protectors-Recommendation for selection, use care and maintenance.

[2]唐志文、胡正元，“個體噪聲防護器的應用”，聲學技術，第11卷1，2期，1992，第29—32頁。

- [3]Paakkonen, R., "Effects of cup, cushion, band force, foam lining and various design parameters on the attenuation of earmuffs", Noise control engineering journal, 38(2), 1992, p.59-65.
- [4]Damongeot, A. and Kusy, A., "A Procedure, Combining Objective and Subjective Techniques, to Measure the Level-Dependent Attenuation of Electronic Amplitude-Sensitive Ear muffs", Applied Acoustics, Vol. 33, 1991, pp.181-198.

第四章 防音防護具的選用規範建議

防音防護具的種類繁多，不同的工作環境適合於使用不同的防音防護具。因此針對不同的工作環境選擇適當的防音防護具，是有其必要的。選擇的方法可參考以下的項目：正字標記、聲音衰減量的要求、配戴者的舒適性與接受性、工作環境、醫療衛生、與頭部安全護具的配合性[1,2]，現在分別敘述於後：

第一節 正字標章（certification mark）

對於一個所謂合格的防音防護具，是指此一防音防護具經過認可的測試實驗室以國家標準或國際標準測試的防護具，然後給予此一防音防護具適當的認可標章，例如：正字標章、或CE標章，如此的選擇至少可以得到最基本的保障。

第二節 聲音衰減量的要求（sound attenuation requirement）

防音防護具的選擇中，最重要的一個參數就是聲音衰減的功能，因為如果防音防護具的聲音衰減過低則會導致聽力受損；但是如果防音防護具的聲音衰減過高，則會妨害警告信號的聽取，或者妨害交談，或者佩戴時會較不舒服。如果工作環境中的噪音超過了規定標準，且必須要佩戴防音防護具時，我們所選用的防音防護具的聲音衰減值是否恰當，得依據我們要採取聽力保護計畫行動方案的音壓級（Lact）來判定，如果[1]：

L'A > Lact	聽力保護不夠
L'A = Lact (85dBA)	執行聽力保護計畫行動
.....	聽力保護可接受範圍
L'A = Lact - 5dB (80dBA)	
.....	聽力保護恰當範圍
L'A = Lact - 10dB (75dBA)	
.....	聽力保護可接受範圍
L'A = Lact - 15dB (70dBA)	
.....	聽力保護過度.....
L'A：佩戴防音防護具後耳朵暴露於噪音的音壓級	
Lact：採取聽力保護計畫行動方案的音壓級，台灣現行規定為85dBA	

圖 4-1 佩戴防音防護具後的聽力保護範圍

這裏所使用的音壓級指的是經過A權衡電網的音壓級。此處L'A為佩戴防音防護具後耳朵暴露於噪音的音壓級，採取聽力保護計畫行動方案的音壓級Lact，也就是工作環境噪音的暴露量，歐洲國家如瑞典、挪威等國是以85dBA為其Lact，美國等多數工業國家現亦以85dBA為其Lact，在台灣法令標準規定日時量平均90dBA以上為噪音作業，於本手冊建議以85dBA為保護勞工免於聽力因噪音暴露之Lact。

在計算L'A值時，首先我們必須要知道防音防護具在各個頻帶的聲音衰減值，而此一聲音衰減值是依照國家標準（例如：ANSI S12.6）或國際標準（ISO 4869-1）的主觀測試法所測試得到的。有關防音防護具的性能測試詳細內容請參考第七章。

防音防護具的選擇中，最重要的一個參數就是聲音衰減的功能。聲音衰減值測試標準中又可以分為主觀法與客觀法兩種，主觀法是以真人當作測試媒體，故又稱為真人法或人耳法，所測試出來的防音防護具聲音衰減性能稱為聲音衰減或人耳衰減，以ANSI S12.6, ISO 4869-1, JIS T8161, SAA AS1270, ANSI S3.19為代表。客觀法則是以金屬製成的假人（acoustic test fixture, ATF）當作測試媒體，測試出來防音防護具之聲音衰減性能稱為插入損失(insertion loss)。以假人所測試出來的結果不可作為聽力保護計畫中評估防音防護具對聲音阻隔的能力，但因客觀法測試速度較快，且測試成本較低，故主要用於產品品質檢驗為主，以ISO/TR4869-3為代表。

防音防護具聲音衰減的性能與噪音頻譜一般，為頻率的函數，同時也與一般隔音材料的特性類似，基本上隔音值（聲音衰減值）隨著頻率的增加而變大，也就是低頻的聲音衰減值較小，而高頻的聲音衰減值較大。以八音度頻帶法（octave band method；OB法）計算佩戴防音防護具後對耳朵暴露於噪音的音壓級時，各頻率的聲音衰減值皆予以考量計算，可以客觀、正確且有效的來評估防音防護具的聲音衰減值。但由於八音度頻帶法的計算步驟稍多，對於非專業人士而言可能稍嫌繁雜。因此在防音防護具聲音衰減性能的代表上，就有了一些簡化的指標，相對地也因為其簡化而喪失了個別頻率減音效果的特性。如果使用的指標愈少（例如：單一指標），喪失的資訊愈多，有時會與實際現況發生有很大的差距[5]，而過度樂觀估計防音防護具的隔音功能。

在歐美的兩大系統中，常使用的簡化指標有：高、中、低頻指標法（high, medium, low；HML法[9]）、單一評估法（single number rating；SNR法[9]）及噪音減低評估法（noise-reduction rating；NRR法[3]）三個指

標。在使用這些簡化指標時，基本上是以經驗公式來決定，在此一經驗公式中考慮了防音防護具在不同噪音頻譜下的性能差異、使用中的配合性差異、以及聲音衰減的平均值及標準差等[3]。後序將依次介紹 L'_A 的計算方法：OB法，HML法、SNR法，NRR法。OB法、HML法與SNR法中所使用的聲音衰減值是依據ISO 4869-1（主觀法）所測試得到的，而NRR法中的聲音衰減值則依據ANSI S12.6或ANSI S3.19(主觀法)(舊版)測試而得的。

4.2.1 符號名詞解釋與計算方法：

(一) $APV_{f(k)}$ (assumed protection value)：防音防護具各頻帶的假設保護值

$$APV_{f(k)} = M_{f(k)} - \alpha S_{f(k)}$$

k ：表示八音度頻帶中心頻率(f)的編號

$f(1)=63\text{Hz}$ ， $f(2)=125\text{Hz}$ ， $f(3)=250\text{Hz}$ ，……， $f(8)=8000\text{Hz}$ 。

$M_{f(k)}$ ：防音防護具各頻帶的平均聲音衰減值（依據ISO 4869-1的測試）

$S_{f(k)}$ ：防音防護具各頻帶的標準差（依據ISO 4869-1的測試）

α ：防音防護具確實可達保護功效百分比之防護係數

不同 α 之防護係數表

確實保護功效百分比 $x(\%)$	α 值
75	0.67
80	0.84
84	1.00
85	1.04
90	1.28
95	1.64
98	2.00

計算 $APV_{f(k)}$ 範例：

八音度頻帶的中心頻率 f (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
平均聲衰減值 $M_{f(k)}$ (dB)	7.4	10.0	14.4	19.6	22.8	28.6	38.8	34.1
聲衰減值之標準差 $S_{f(k)}$ (dB)	3.3	3.6	3.6	4.6	4.0	6.2	7.4	5.2
$\alpha \cdot S_{f(k)}$ (dB)， $\alpha=20$	6.6	7.2	7.2	9.2	8.0	12.4	14.8	10.4
$APV_{f98} = M_{f(k)} - \alpha S_{f(k)}$ (dB)	0.8	2.8	7.2	10.4	14.8	16.2	24.0	23.7

(二) $PNR_{f(k)}$ (predicted noise level reduction)：預估噪音減量值

$$PNR_{xi} = 100 - 10 \log \sum_{k=1}^8 10^{0.1(L_{Af(k),i} - APV_{f(k)})}, \text{dB(A)}$$

計算 $PNR_{f(k)}$ 範例：

A 權音壓級為 100dB(A) 之八個參考噪音¹各頻帶之音壓級 L_{afi} , ($L_C - L_A$) 與常數 d_i 值

指標值	八音度頻帶的中心頻率 f (Hz)								差值	常數
I	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	($L_C - L_A$)	d_i
1	51.4	65.6	70.8	81.0	90.4	96.2	94.7	92.3	-1.2	-1.2
2	59.5	68.9	78.3	84.3	92.8	96.3	94.0	90.0	-0.5	-0.49
3	59.5	71.1	80.8	88.0	95.0	94.4	94.1	89.0	0.1	0.14
4	65.4	77.2	84.5	89.8	95.5	94.3	92.5	88.8	1.6	1.56
5	65.3	77.4	86.5	92.5	96.4	93.0	90.4	83.7	2.3	-2.98
6	70.7	82.0	89.3	93.3	95.6	93.0	90.1	83.0	4.3	-1.01
7	75.6	84.2	90.1	93.6	96.2	91.3	87.9	81.9	6.1	0.85
8	77.6	88.0	93.4	93.8	94.2	91.4	87.9	79.9	8.4	3.14

防音防護具八音度頻帶各 APV_{f98} 值之範例：

八音度頻帶的中心頻率 f(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
APV_{f98} 範例	0.8	2.8	7.2	10.4	14.8	16.2	24.0	23.7

計算於八個參考噪音下佩戴防音防護具後各頻率之音壓級 ($L_{afi} - APV_{f98}$)

八音度頻帶的中心頻率 f(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{Af1} - APV_{f98}$	50.6	59.8	63.6	70.6	75.6	80.0	70.7	68.6
$L_{Af2} - APV_{f98}$	58.7	66.1	71.1	73.9	78.0	80.1	70.0	66.3
$L_{Af3} - APV_{f98}$	59.0	68.3	73.6	77.6	80.2	78.2	70.1	65.3
$L_{Af4} - APV_{f98}$	64.6	74.4	77.3	79.4	80.7	78.1	68.5	65.1
$L_{Af5} - APV_{f98}$	64.5	74.6	79.3	82.1	81.6	76.8	66.4	60.0
$L_{Af6} - APV_{f98}$	69.9	79.2	82.1	82.9	80.8	76.8	66.1	59.3
$L_{Af7} - APV_{f98}$	74.8	81.4	82.9	83.2	81.4	75.1	63.9	58.2

¹八個參考噪音：NIOSH 於 1970 年間收集不同的工廠噪音頻譜，發展出之 NIOSH100 噪音，並將其重新整理為 8 種不同頻譜分佈的參考噪音

$L_{A\bar{f}8}-APV_{f98}$	76.8	85.2	86.2	83.4	79.4	75.2	63.9	56.2
---------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------

八個參考噪音 $PNR_{i,98}$ 值的計算：

$$PNR_{1,98} = 100\text{dBA} - 10\log(10^{0.1 \cdot 50.6} + \dots + 10^{0.1 \cdot 68.6}) = 17.7\text{dB}$$

$$PNR_{2,98} = 100\text{dBA} - 10\log(10^{0.1 \cdot 58.7} + \dots + 10^{0.1 \cdot 66.3}) = 16.5\text{dB}$$

$$PNR_{3,98} = 100\text{dBA} - 10\log(10^{0.1 \cdot 59.0} + \dots + 10^{0.1 \cdot 65.3}) = 15.6\text{dB}$$

$$PNR_{4,98} = 100\text{dBA} - 10\log(10^{0.1 \cdot 64.6} + \dots + 10^{0.1 \cdot 65.1}) = 14.4\text{dB}$$

$$PNR_{5,98} = 100\text{dBA} - 10\log(10^{0.1 \cdot 64.5} + \dots + 10^{0.1 \cdot 60.0}) = 13.2\text{dB}$$

$$PNR_{6,98} = 100\text{dBA} - 10\log(10^{0.1 \cdot 69.9} + \dots + 10^{0.1 \cdot 59.3}) = 12.1\text{dB}$$

$$PNR_{7,98} = 100\text{dBA} - 10\log(10^{0.1 \cdot 74.8} + \dots + 10^{0.1 \cdot 58.2}) = 11.3\text{dB}$$

$$PNR_{8,98} = 100\text{dBA} - 10\log(10^{0.1 \cdot 76.8} + \dots + 10^{0.1 \cdot 56.2}) = 9.4\text{dB}$$

L_C ：在C頻率加權下的音壓級。

L_A ：在A頻率加權下的音壓級。

L'_A ：佩戴防音防護具後耳朵暴露於噪音的音壓級。(在A加權之下)。

$A_f(k)$ 為依據IEC 651中C頻率加權對A頻率加權的修正值，如下表：

八音度頻帶中心頻率(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$A_f(k)$, dB	-26.2	-16.1	-8.6	-3.2	0	+1.2	+1.0	-1.1

4.2.2. 聲音衰減值測試方法與範例：

(一)OB法：參考ISO 4869-2(1992)，各別計算八音符頻帶的聲音衰減值後，再求得防音防護具的聲音衰減值。

1.計算方法

$$L'_A = 10\log \sum_{k=1}^8 10^{0.1(L_{f(k)} + A_{f(k)} - APV_{f(k)})} \text{dB(A)}$$

2.範例：

八音度頻帶的中心頻率	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
步驟1：工作環境噪音音壓級(dB)	85.2	84.1	85.6	87.2	97.0	98.8	97.0	93.9
步驟2： $A_{f(k)}$	-26.2	-16.1	-8.6	-3.2	0	+1.2	+1.0	-1.1
步驟3： $M_{f(k)}$	9	10	14	19	22	28	37	34
步驟4： $S_{f(k)}$	4	3	3	3	3	4	4	4
步驟5： $APV_{f(k)} = M_{f(k)} - S_{f(k)}$	5	7	11	16	19	24	33	30
步驟6：步驟1 + 步驟2 - 步驟5.	54	61	66	68	78	76	65	65
步驟7： $L'_A = 10\log(10^{5.4} + 10^{6.1} + 10^{6.6} + 10^{6.8} + 10^{7.8} + 10^{7.6} + 10^{6.5} + 10^{6.5}) = 80.8\text{dB(A)}$								
步驟8： $L'_A = 81\text{dB(A)}$ ，將步驟7的 L'_A 四捨五入取整數。假設 $L_{\text{act}} = 90\text{dB(A)}$ ，則此防音防護具屬聽力保護恰當範圍。								

(二)HML法：參考ISO 4869-2(1992)，提供三個數值來計算高頻(H)、中頻(M)與低頻(L)之聲音衰減值。

1.H、M、L 值的計算方法

$$(1) H_x = 0.25 \sum_{i=1}^4 PNR_{xi} - 0.48 \sum_{i=1}^4 (d_i \cdot PNR_{xi})$$

$$(2) M_x = 0.25 \sum_{i=5}^8 PNR_{xi} - 0.16 \sum_{i=5}^8 (d_i \cdot PNR_{xi})$$

$$(3) L_x = 0.25 \sum_{i=5}^8 PNR_{xi} - 0.23 \sum_{i=5}^8 (d_i \cdot PNR_{xi})$$

使用HML法需同時量測C加權下的音壓級(L_C)與A加權下的音壓級(L_A)之聲音位準值，當L_C與L_A差值小於2dB，則以H值與M值計算防護具保護後之噪音暴露值： $PNR = M - \frac{(H-M)}{8} \cdot (dBC - dBA - 2dB)$ ；當L_C與L_A差大於或等於2dB時，則以M值與L值計算防護具保護後之噪音暴露值： $PNR = M - \frac{(M-L)}{8} \cdot (dBC - dBA - 2dB)$

2. 範例：

步驟1：依上述 PNR_{i,98} 範例計算出八個參考噪音各別之PNR_i值。

步驟2：步驟1.計算求的PNR_i值代入HML公式分別求值：

$$H_{98} = 0.25 \cdot (17.7 + \cdots + 14.4) - 0.48 \cdot (-1.20 \cdot 17.7 + \cdots + 1.56 \cdot 14.4) = 18.3dB$$

$$M_{98} = 0.25 \cdot (13.2 + \cdots + 9.4) - 0.16 \cdot (-2.98 \cdot 13.2 + \cdots + 3.14 \cdot 9.4) = 13.5dB$$

$$L_{98} = 0.25 \cdot (13.2 + \cdots + 9.4) + 0.23 \cdot (-2.98 \cdot 13.2 + \cdots + 3.14 \cdot 9.4) = 8.6dB$$

步驟3：計算環境噪音音壓級A加權及C加權下的差值 (L_C - L_A)。

步驟4：根據下列公式決定PNR值(Predict noise level reduction)

$$\text{如果}(L_C - L_A) < 2 \text{ dB, 則 } PNR = M - \frac{H - M}{4} (L_C - L_A - 2) \text{ dB}$$

$$\text{如果}(L_C - L_A) \geq 2 \text{ dB, 則 } PNR = M - \frac{M - L}{8} (L_C - L_A - 2) \text{ dB}$$

$$\text{假設 } L_C - L_A = -1 \quad PNR = 13.5 - (18.3 - 13.5) / 4 \cdot (-1 - 2) = 17.1 \text{ dB}$$

步驟5：L'_A = L_A - PNR L'_{A98} = 104dB - 17.1dB = 86.9dB

即表示當防音防護具被不同的人於104dB的噪音環境下以正確的方法佩戴時，98%的情況可確定其噪音暴露音壓級等於或低於86.9dBA。

(三)SNR法：參考ISO 4869-2(1992)，為一單一指標之聲音衰減值。其為於100dB(C)之粉紅背景噪音下進行測試所得之值。

1.SNR值的計算方法

$$SNR_x = 100\text{dBC} - 10\log \sum_{k=1}^8 10^{0.1(L_{Af(k)} - APV_{f(k)})}, \text{dB(A)}$$

2.測試方法：

八音度頻帶的中心頻率	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Log Sum
步驟1：粉紅噪音音壓級(dB)	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	91.5	100dBC
步驟2： $A_f(k)$	-26.2	-16.1	-8.6	-3.2	0	+1.2	+1.0	-1.1	
步驟3： $L_{Af(k)}$	65.3	75.4	85.9	88.3	91.5	92.7	92.5	90.4	98.5dBA
步驟4： APV_{f98} 範例	0.8	2.8	7.2	10.4	14.8	16.2	24.0	23.7	
步驟5： $L_{Af(k)} - APV_{f98}$	64.5	72.6	75.7	77.9	76.7	76.5	68.5	66.7	83.5dBA
步驟6： $SNR_x = 100\text{dBC} - 83.5 = 16.5\text{dB}$									

3. 範例：

步驟1：工作環境的C加權音壓級（ L_C ）為103dBC

步驟2： $L'_{Ax} = L_C - SNR_x$ ， $SNR_{98} = 16.5\text{dB}$

步驟3： $L'_{A98} = 103\text{dB} - 16.5\text{dB} = 86.5\text{dB}$ ；即表示當防音防護具被不同的人於此噪音環境下以正確的方法佩戴時，98%的情況可確定其噪音暴露音壓級等於或低於86.5dBA

(四)NRR法：參考ANSI S12.6(1984)，為一單一指標之聲音衰減值。其為於八頻帶噪音中每一頻帶能量皆為100dB(C)之粉紅背景噪音（總能量為107.9dBC）下進行測試所得之值。

1.NRR值的計算方法

$$NRR = 107.9\text{dBC} - 10\log \sum_{k=1}^8 10^{0.1(L_{A_{f(k)}} - APV_{f(k)})} - 3 \text{ dB(A)}$$

2.測試方法：

八音度頻帶的中心頻率	125	250	500	1000	2000	4000	8000
步驟1：假設的粉紅噪音位準（dB）	100	100	100	100	100	100	100
步驟2："C"頻率加權修正量（dB）	-0.2	0	0	0	-0.2	-0.8	-3.0
步驟3：（步驟1＋步驟2）	99.8	100	100	100	99.8	99.2	97.0
步驟4：將步驟3的聲壓位準，以dB＋dB的方法相加 $L_{PC} = 10\log(10^{9.98} + 10^{10} + 10^{10} + 10^{10} + 10^{9.98} + 10^{9.92} + 10^{9.7}) = 107.9 \text{ dB(C)}$							
步驟5："A"頻率加權的修正量(dB)	-16.1	-8.6	-3.2	0.0	+1.2	+1.0	-1.1
步驟6：（步驟1＋步驟5）	83.9	91.4	96.8	100	101.2	101.0	98.9
步驟7：防音防護具平均聲音衰減值 $M_{f(k)}$	21	22	23	29	41	45	38.5
步驟8：防音防護具聲音衰減標準差 $S_{f(k)}$	3.7	3.3	3.8	4.7	3.3	3.4	6.3
步驟9： $S_{f(k)}$ 值×2	7.4	6.6	7.6	9.4	6.6	6.8	12.6
步驟10：APV198步驟6－（步驟7－步驟9）	70.3	76.0	81.4	80.4	66.8	62.6	73.0
（其目的在進一步保證其聲音衰減性能，因此以平均值減去兩個標準差）							
步驟11：將步驟10的音壓級，以dB＋dB的方法相加 $L'_{PA} = 10\log(10^{7.03} + 10^{7.6} + 10^{8.14} + 10^{8.04} + 10^{6.68} + 10^{6.26} + 10^{7.3}) = 85.1 \text{ dB(A)}$							
步驟12：（步驟4－步驟11－3*）dB=107.9－85.1－3=19.8 dB *此處的3為噪音頻譜的不確定度							
步驟13：將步驟12的數值四捨五入取整數，NRR＝20 dB							

3. 範例：

步驟1：工作環境的A加權音壓級（LA）為104dBA

步驟2： $L'_{AX} = LA - NRR_{98}$ LA=104dBA， $NRR_{98}=20\text{dB}$

步驟3： $L'_{A98}=104\text{dB}-20\text{dB}=84\text{dB}$ ；即表示當防音防護具被不同的人於此噪音環境下以正確的方法佩戴時，98%的情況可確定其噪音暴露音壓級等於或低於84dBA

4. NRR 概念說明：

- 1.NRR 法是以單一指標值來表示防音防護具的聲音衰減性能，作業現場安全衛生人員選用判斷較為簡易。
- 2.NRR 值考量佩戴者的個體差異，故將計算之保護平均值減去二個標準差，以確定佩戴此防音防護具有 97%的佩戴者可達 NRR 值的防音性能。
- 3.NNR 法於計算聲音衰減值時，因考量由 C 權衡電網換算佩戴防音防護具後耳內 A 權衡電網值差異，故將聲音衰減值多減了 3dB。基於保護勞工聽力免於因暴露而受損之考量，事業單位應依作業現場狀況選用標示有測試之聲音衰減值之防音防護具提供給勞工佩戴。

第三節 在實際工作環境中的聲音衰減值

根據上述介紹的四種方法中所使用的防音防護具聲音衰減值，基本上都是在實驗室中按照一定的規範測試得來的。雖然在測試這些防音防護具時，安排了數個樣品與經過數位人員的測試，但是這些聲音衰減數據都是在環境良好的實驗室中，佩戴者經過訓練且遵守一定的規範，而且在測試時是安穩的坐在實驗室中。但是在真實的環境中，由於使用狀況與測試狀況的改變，例如：長頭髮、戴眼鏡、佩戴後未適當調整，導致防音防護具的聲音衰減值比在實驗室中所測試得到的聲音衰減值要來得小很多，有時可能只有一半不到 [4,5,6]。另外在使用時，由於工作時的身體動作，也會導致防音防護具的隔音性能減低 [7]。這是我們在評估選擇防音防護具時必須要特別謹慎的事項，即是不可完全依賴實驗室數據。

在噪音很高的環境中工作時，有時僅使用一種防音防護具尚不足以保護聽力，而必須同時使用兩種防音防護具時，對於這種組合式的防音防護具，其組合聲音衰減值，除非經過實際的檢測，否則不可以任何的方式做出過份的樂觀概估組合聲音衰減值。在以往32個研究案例中 [8]，其耳罩與耳塞組合聲音衰減值雖然平均值有7dB，但是其分佈範圍卻在0.6

~12dB。因此任何的事前臆測認為耳罩與耳塞的共同使用，就可以明顯增加聲音衰減值，是一件極其危險的事情。

在選擇防音防護具中，雖然聲音衰減值要高，但是亦不以太高，導致有聽力過度保護的現象發生如圖4-1所示。因為在有聽力過度保護的情形下，雖然大幅度減少了對聽力的傷害，但是可能會造成不舒服，也就是說佩戴者可能會減少佩戴的時間與減低佩戴的意願，反而導致聽力無法得到適當的保護。由於傳統所使用的防音防護具（非電子線路型式），其聲音衰減性能幾乎與振幅無關，也就是說不論外界噪音量的高低其聲音衰減值都一樣，因此如果在有聽力過度保護的情況發生，將導致交談上的困難，這也就是為什麼有些特殊型防音防護具要被設計成振幅感度的型式；當外界噪音量高時（此時可能對聽力有害），其聲音衰減值就高；就外界噪音量低時（此時可能對聽力無害），其聲音衰減值就低。

第四節 使用者的舒適性與接受性

在挑選防音防護具時，可由防護具的舒適性、重量、材料、造型、夾緊力、調整性、壓力、脫戴的容易程度等方面來考量，但很重要的就是要讓佩戴者對所挑選的防音防護具有較高接受程度。因此，宜在儘可能的情況下，讓使用者在合格的防音防護具中自行選用。

第五節 工作環境

在特殊的工作環境中，或者是在工作環境中有特殊的要求，此時在不同的場合中，則各有其適用的防音防護具。例如：

- (1)在高溫、高濕度環境中：宜使用耳塞、或耳塞軟墊內有液體裝置具清涼效果者、或使用易吸汗的軟墊套子（但是此時必須非常謹慎，避免氣導洩漏，最好是經過聲音衰減性能測試較安全）。如果僅單獨使用耳罩，則易在軟墊下流汗令人不舒服。
- (2)塵土較多的環境中：宜使用後即丟棄式耳塞、或使用附有可更換軟墊套子的耳罩。如果僅使用耳罩，則在軟墊與皮膚之間殘留的塵土可能會刺激皮膚。
- (3)常常進出高噪音環境：宜使用易脫戴的耳罩或附有頭帶的耳塞。
- (4)高頻信號、警告信號或交談信號聽取：由於防音防護具的聲音衰減特性大多是在低頻時數值較低，而在高頻時數值較高，如果為了聽取上

述高頻的信號、警告信號或交談信號，則宜儘量挑選防音防護具的聲音衰減在頻率範圍內儘量是平均分佈的，也就是說在低頻有較高的聲音衰減值，而在高頻有較低的聲音衰減值。

(5)噪音源方位的辨別：此時宜使用耳塞，可有較佳的方位辨認感。

第六節 醫療衛生

如果工作人員曾經或現在患過任何有關耳朵的疾病，應尋求有關專家對醫療的指示，再進行挑選適合的防音防護具。

參考資料：

- [1] CEN prEN 458 Hearing Protectors-Recommendations for Selection, Use, Care and Maintenance.
- [2] Behar, A. and Jackson, R. A.; "Selection of Hearing Protectors", Applied Acoustics, v22, 1987, p.25-34.
- [3] Environmental Protection Agency, 40CFR, ch.1 (7-1-91 edition), part 211-Product noise labeling.
- [4] Casali, J. G. and Par, M.-Y.; "Laboratory versus Field Attenuation of Selected Hearing Protectors", Sound and Vibration, Oct. 1991, p.28-38.
- [5] Berger, E. H., "Using the NRR to estimate the real world performance of hearing protectors", Sound and Vibration, 17(1), 1983, p.12-18.
- [6] Park, M.-Y. and Casali, J. G., "A controlled investigation of in-field attenuation performance of selected insert, ear muff and canal cap hearing protectors", Human factor, 33(6), 1991, p.693-714.
- [7] Casali, J. G. and Park, M.-Y.; "Attenuation Performance of Four Hearing Protectors under Dynamic Movement and Different User Fitting Conditions", Human Factor, v32, n1, 1990, p.9-25.
- [8] Behar, A.; "Sound Attenuation from Combinations of Earplugs and Earmuffs", Applied Acoustics, v32, 1991, p.149-158.
- [9] ISO 4869-2 Acoustics-Hearing protectors-Part 2: Estimation of effective A-weighted sound pressure levels when hearing protectors are worn.

第五章 防音防護具的使用與佩戴

第一節 心理建設

為了要鼓勵工作人員佩戴防音防護具及減低他們抵制佩戴防護具的行為，實有必要對工作人員施以佩戴前的教育訓練，例如：人耳生理、噪音對聽力的傷害及聽力的損失對生活的影響，讓工作人員自己覺得他們確實有佩戴防音防護具的需要。同時充份告知與教導工作人員有關防音防護具任何相關的資訊，讓他們熟悉防音防護具及其使用的方法。例如：或許有人會問“把耳塞插入耳道中會有任何危險嗎？”可回答“由於在使用耳塞時，僅係將耳塞插入外耳道中，因此不會對耳朵造成任何傷害，但是如果此時你正患有耳疾，就必須先請教相關專家，再選擇適當的方式以保護聽力”。

由於佩戴防音防護具後，耳塞或耳罩對於不同頻率聲音的阻絕能力不同，因此對於以往熟悉的噪音世界，會覺得有些陌生、不習慣，這是佩戴者必須事先要有心理準備，學習適應的。

第二節 佩戴時間

佩戴者對使用之防音防護具有較高佩戴意願為挑選防音防護具主要重點之一。佩戴防音防護具可藉由噪音暴露量的降低來減少聽力的傷害，但若佩戴者因不舒服等因素而減少佩戴的時間，將使防護具之遮音性能降低，導致聽力無法得到適當的保護。

因噪音對聽力的損傷是具有累積性的，以能量的累積來評估聽力傷害，防音防護具的遮音性能會因未佩戴時間的增加而快速降低，防音防護具的有效聲衰減值 ΔL_E 與防音防護具於高噪音區域的佩戴時間 T_w 之關係，於下列公式表示：

防音防護具佩戴前音壓級 L_{P2} (音壓為 P_2)

防音防護具佩戴後音壓級 L_{P1} (音壓為 P_1)

防音防護具的聲衰減值 $\Delta L = (L_{P2} - L_{P1})$

防音防護具的有效聲衰減值 ΔL_E

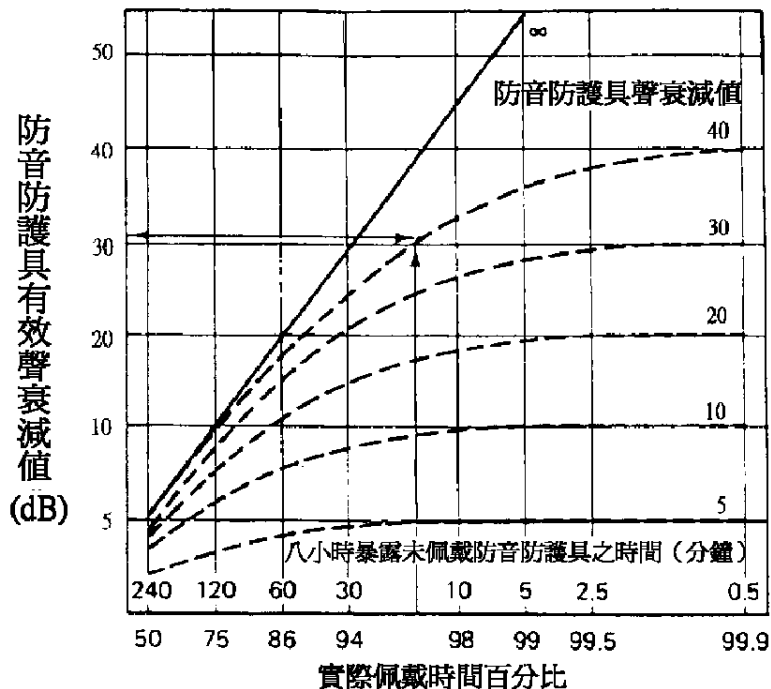
防音防護具之佩帶時間 T_w

假設工作時間以一天 8 小時計算：

$$\text{噪音暴露劑量 } E = P_1^2 T_W + P_2^2 (8 - T_W)$$

$$\begin{aligned} \Delta L_E &= 10 \log \left(\frac{P_2}{P_{ref}} \right)^2 \cdot 8 - 10 \log \frac{E}{P_{ref}^2} \\ &= 10 \log \frac{8 P_2^2}{P_1^2 T_W + P_2^2 (8 - T_W)} \\ &= 10 \log \frac{8}{\left(\frac{P_1}{P_2} \right)^2 T_W + 8 - T_W} \\ &= 10 \log \frac{8}{\frac{T_W}{10^{0.1 \Delta L}} + 8 - T_W} \end{aligned}$$

佩戴時間與防音防護具有效聲衰減值變化情形見圖 5-1。圖中有 5dB、10 dB、20dB、30dB 與 40dB 五種不同聲衰減值之防護具，由圖可知，只要防音防護具佩戴的時間稍有減少，其有效聲衰減值（遮音效果）即大幅降低。如：NRR 值為 40dB 之防音防護具，如勞工於八小時暴露中有約 30 分鐘未佩戴，其實際聲衰減值及降低至約 25dB。



附註：防音防護具如其聲衰減值為 40dB 時，在工作八小時內 15 分鐘未佩戴防護具時，其效果僅相當於聲衰減值為 20dB 佩戴八小時。

圖 5-1 防音防護具實際佩戴時間與有效聲衰減值之變化情形

第三節 使用之便利性

為了讓使用者瞭解未佩戴防音防護具時，不可以進入高噪音區域，例如：在噪音區域入口處張貼明顯高噪音區域標示。同時也要讓使用者可以很容易的就取得防音防護具，例如：在噪音區域的入口處放置耳罩或者是用後即丟棄式耳塞，供人使用。

第四節 頭部安全護具及衣物的配合

在使用防音防護具時，我們亦常常會面臨到必須與其它的安全護具（護目鏡、眼鏡、面罩、頭套、安全頭盔、呼吸防護具、防護衣）共同使用，這時候我們必須特別注意，否則防音防護具的聲音衰減值極易因氣導洩漏而導致隔音性能降低。在與上述安全護具共同使用時，耳塞可說是一個最佳的選擇，如果不得已必須要使用耳罩或附有頭帶的耳塞，則必須要極力避免氣導洩漏，例如：軟墊下不宜有任何物件影響其氣密功能，或使用較大的軟墊。為了安全起見，此類特殊使用組合最好要優先使用與附有聲音衰減測試數據的安全護具。

第五節 防音防護具的佩戴

在第四章中，雖然介紹了4種不同的方法來評估防音防護具的聲音衰減值是否恰當。但也同時指出了防音防護具在工作環境中的聲音衰減值將明顯的低於防音防護具在實驗室中所測試的聲音衰減值—即廠商所宣告標示的聲音衰減值。雖然如此，但是如果經過適當的佩戴訓練，則可以顯著的增加防音防護具的聲音衰減功能。在以往的研究報告指出 [2]，經過訓練後的佩戴（trained-fit）此依照製造商的使用說明後自行佩戴（subject-fit），防音防護具的聲音衰減值可增加約2.6dB~4dB。因此除了選擇適當的防音防護具外，如何加強防音防護具的佩戴訓練，以使得現場的聲音衰減更接近實驗室中的聲音衰減值，在聽力保護的計畫中亦是重要的項目之一。以下提供耳罩與耳塞的佩戴方法，以供參考：

1. 耳罩的佩戴方法

- (1)分辨耳護蓋的上下端（如有左右之分的耳護蓋，亦應區分）。
- (2)調整頭帶至最大位置。
- (3)儘量將頭髮撥離耳朵。
- (4)戴上耳罩，確定耳朵在耳護墊之內。
- (5)用在拇指，向上、向內用力固定耳護蓋，同時用中指調整頭帶，使得頭帶緊貼住頭頂。
- (6)檢查耳墊四周，確定耳護墊有良好的氣密性。

(7)如不合用，選擇其它的耳罩或耳塞。

注意事項：

※工作時，耳罩可能會移位，需要再重新定位。

※切莫用力拉扯頭帶，使其失去彈性。

2. 耳塞的佩戴方法（圖6-1所示）

(1)如果耳塞為可壓縮型，將其柔捏成細長條狀

(2)另一手繞過頭部，將耳朵向外向上拉高，使得外耳道被拉直。

(3)將耳塞插入耳道中，並由外往內壓住數秒（待耳塞確實與耳道密合後放開，以防止耳塞被擠壓出來）。

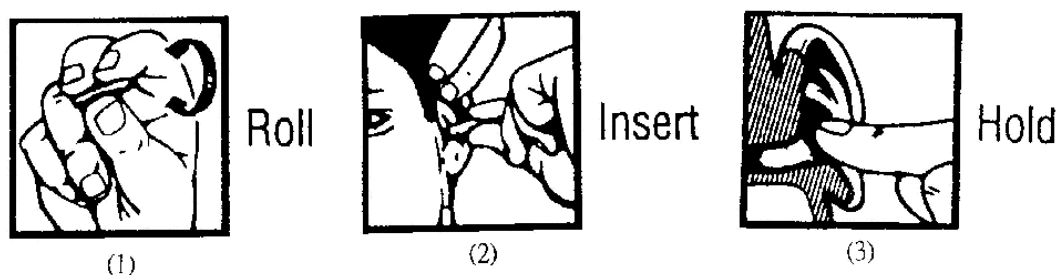


圖5-2 耳塞佩戴方法

注意事項：

※如果耳塞為可壓縮型式，柔捏耳塞時，手指必須保持乾淨，不要有油脂、灰塵。

※取下耳塞時宜緩慢，可避免吸力傷害耳朵。

※工作時，耳塞可能會移位，需要再重新定位。

第六節 現場警示信號與交談的可聽性

在佩戴防音防護具後，對於在噪音現場所發出來的警告與危險信號，必須要加以特別選擇，否則可能會聽不見。同時為了確保安全，必須要在現場各種作業情況下加以測試佩戴防音防護具後的最大可聽見範圍。另外，亦可加裝視覺警示信號，以輔助危險狀況的表示。在現場交談傳遞信息時，亦應注意適度提高音量，以確保信息的確實傳遞。

參考資料：

[1]CEN prEN 458 Hearing Protectors-Recommendations for selection, use, care and maintenance.

[2]Casali, J. G. and Park, M.-Y., "Laboratory versus field attenuation of selected hearing protectors", Sound and Vibration, October, 1991, p.28-38.

第六章 防音防護具的維護與保養

由於防音防護具被經常的使用，因此定期的維護與保養防音防護具，以避免防音性能的降低、避免皮膚過敏及其它耳朵疾病等現象是必要的。維護與保養的資訊必須要定期傳遞給所有將來需要佩戴防音防護具的人員。

第一節 清潔與衛生

當防音防護具被液體、灰塵等外來物污染時，很有可能會刺激皮膚造成皮膚過敏或是減低防護具的防音功能。這些污染物有可能是在工作時產生的，也有可能是在佩戴時雙手的不潔所造成的。因此在佩戴防音防護具時必須要保持雙手的清潔，尤其是在使用可壓縮式耳塞時，更須注意雙手的衛生與清潔。對於使用過的耳罩，應依照製造商的建議予以清潔，尤其是對於耳護墊的衛生更須特別注意。對於可重複使用的耳塞，尤須注意清潔衛生的要求，且洗淨後更應妥當的置於盒子或櫃子中。為了提醒與鼓勵佩戴人員清潔耳塞或耳罩，相關的清潔設備，例如：酒精、超音波洗淨機，應讓佩戴人員易取易用。

基於衛生的要求，防音防護具是屬於個人防護具，不適宜大家共同使用，尤其是耳塞更不可與他人共用，不得已須使用他人耳罩時，應注意耳護墊的清潔或使用衛生襯墊，但此時必須注意耳罩防音功能是否有減低。

第二節 貯存

對於未使用的防音防護具，應有適當的貯存環境，以維護耳塞與耳罩的清潔與衛生，其存放環境的溫濕度，也應遵照製造商的建議。這些貯存物可以是貯存耳罩用的袋子，貯存重複使用型耳塞的乾淨櫃子或盒子，貯存時尤應注意，不可將頭帶拉長及將護墊變形。在提供用後即丟棄型耳塞的處所，應隨時保持耳塞在可供應使用之狀態。

第三節 檢查與更換

當耳罩長期使用或不當使用時，軟墊會有過期、老化等現象時，會影響耳罩的防音性能，如果發現軟墊有破損或護蓋有破洞時則應立即停

止使用該耳罩或立即以新品更換破損部分。如果對耳罩頭帶夾緊力有任何的疑慮，則應與未使用過的新品互相比對，以確認頭帶未變形。

參考資料：

[1]CEN PREN 458: Hearing Protectors-Recommendations for Selection, use, care and maintenance.

第七章 防音防護具的性能測試

一個防音防護具，其最重要的一個特性就是對聲音阻絕的能力，但是除了此一特性，尚有其它的一些性能測試，例如：耐燃、落下等試驗，以保證防音防護具有基本品質的保證。而這些性能測試，基本都是按照某些國家或國際標準，依照一些規定的程序進行測試的。因此，當我們在選擇防音防護具的時候，如果此一防音防護具的性能是按照某一些標準測試的，那麼我們在選擇此一防音防護具時，也就有了基本的保障。

目前全世界，經過統計大約有21份與防音防護具相關的標準 [1]，在這些標準中，基本上可以被區分為兩大類：

第一節 以測試防音防護具聲音衰減性能為主

在這些測試標準中，又可以分為兩大類：主觀法（subjective method）與客觀法（objective method）。所謂主觀法就是真人當作測試的媒體，又稱真人法或人耳法，所測試出來的防音防護具的聲音衰減性能，稱它為聲音衰減（sound attenuation）或是人耳衰減（real-ear attenuation）。此一數值也就是在聽力保護計畫中，評估防音防護具防音性能時所採用的測試數據。在這些主觀法中以ANSI S12.6，ISO 4869-1 [2]，JIS T8161，SAA AS1270，ANSI S3.19（為ANSI S12.6 [3]的舊版）為代表。在主觀法的測試中，因係以真人為測試媒體，其所需的測試時間也較多。

所謂客觀法，則是以金屬製成的假人（acoustic test fixture，ATF）當作測試媒介，此時所測試出來的防音防護具聲音衰減性能，稱之為插入損失（insertion loss）。以假人所測試出來的結果是不可以作為聽力保護計畫中來評估防音防護具對聲音阻隔的能力，但是因為客觀法其測試速度較快，且測試設備成本較低，其主要目的是用於產品品質檢驗為主，其測試標準，當以ISO/TR 4869-3 [4]為代表。

在這些測試標準中，為了保證測試結果的再現性與正確性，都有非常詳細的測試規定要求，例如：測試環境、測試設備、測試程序、受測人員或ATF。

第二節 以防音防護具的規格制定與規範測試說明為主

在這些標準中，除了規定防音防護具必須依照何種標準進行聲音衰減（或插入損失）測試，尚包括以下多種測試項目：耐燃、落下、耳罩夾緊力、耳護墊壓力與洩漏、溫度、耐振、耳護蓋旋轉、頭帶耐久、調整試驗等。在這些標準中，以CEN prEN 352-1[5]，CEN prEN 352-2[6]，

CEN prEN 352-3[7]，分別針對著耳罩、耳塞與附帶耳罩的頭盔做了相關的規定。因此當一個產品宣稱它是符合EN 352-1時，表示該耳罩已經過了上述測試項目，當然也包括其聲音衰減值測試（按照ISO 4869-1）。

參考資料：

- [1] 陳興、周永樂、孫宏川、高立怡、陳秋蓉，“防音防護具性能測試規範”，勞委會勞工安全衛生研究所，ISOH83-344，民國83年，第7－15頁。
- [2] ISO 4869-1 Acoustics-Hearing Protectors-Part 1: Subjective Method for the Measurement of Sound Attenuation.
- [3] ANSI S12.6 Measurement of Real-Ear Attenuation of Hearing Protectors.
- [4] ISO/TR 4869-3 Acoustics-Hearing Protectors-Part 3: simplified Method for the Measurement of Insertion Loss of Ear-Muff Type Protectors for Quality Inspection Purposes.
- [5] CEN pr EN 352-1 Hearing Protectors-Safety Requirements and Testing-Part 1: Ear-Muffs.
- [6] CEN pr EN 352-2 Hearing Protectors-Safety Requirements and Testing-Part 1: Ear-Plugs.
- [7] CEN pr EN 352-1 Hearing Protectors-Safety Requirements and Testing-Part 1: Ear-Muffs Attached to an Industrial Safety Helmet.

防護具選用技術手冊—防音防護具

中華民國八十七年八月

(修訂二版)

編印者：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

地址：台北市民生東路3段132號4樓

電話：(02)8770-1550

印刷者：印刷有限公司

地址：台北市民生東路3段132號4樓

電話：7197260

經銷者：正中書局

地址：台北市衡陽路20號3樓

電話：(02)382-1394

三民書局

地址：台北市重慶南路1段61號2樓

電話：(02)361-7511

五南文化廣場

地址：台中市中山路2號

電話：(04)226-0330

青年書局

地址：高雄市復興二路91號3樓

電話：(07)216-2073

定價：每本新台幣壹佰伍拾元正