

工業噪音與職業性失聰之防範

王榮舫⁽¹⁾

Prevention of Industrial Noise and Occupational Deafness

Y. F. Wong

Abstract

In the content of this article, it describes briefly the definition of sound frequency and wave length. The relationship of intensity and pressure which is in turns of atmospheric pressure and watt. It also indicates the decibel as the unit of sound intensity. The effect of sound beyond MAC value may causes deafness, a description of ear function and its protection.

在工業革命以前，由於工業生產多以手工為主，工人與噪音接觸的機會很少，一般人對於它也就完全沒有注意，然而法國小說家雨果筆下却也產生了一個患職業性耳聾的角色，那便是「鐘樓怪人」，他因以終日鳴鐘為業而致失聰。工業革命後，機器逐漸地取

代了人力，工人在噪音環境下工作的機會逐漸地增加，職業性失聰的情形也日漸嚴重。終至到最近幾年，歐美各工業發達國家，不得不將此問題鄭重考慮，提供有效之對策，以免影響工人健康，間接地妨碍工廠生產。我國工業雖較落後，然此問題之嚴重性同樣存

在，除對舊有的不良環境應予改善外，設置新廠時，更需考慮到噪音問題，蓋工人職業病之導致，其責任全在工廠本身？

一、對噪音的基本認識

「噪音」一般的定義，可說是一種不為人接受的聲音，這定義當然並不嚴格，而且聲音之易為人接受或令人討厭，受環境與人為的影響也很大，因此對噪音先得有一個基本認識。

一、聲音與聲壓

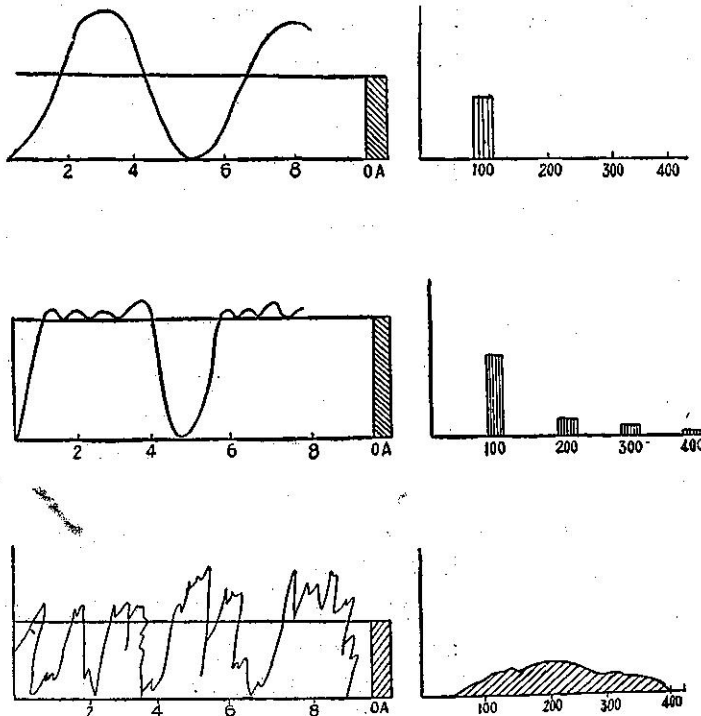


圖 1

1. 環境衛生實驗所第五組主任

聲音是由於空氣密度與壓力之改變而表現出來的。譬如以音叉敲擊，則音叉之來往震動而使周圍空氣產生運動，空氣之相對運動產生比大氣壓力或高或低的變異，此波動向各方傳遞而成聲波，因此聲波僅係空氣疏密波動，在空氣密集部份，壓力大於大氣壓力，而於空氣疏鬆部份，壓力低於大氣壓力，此二區域之壓力，與大氣壓力之差即為此聲波之聲壓，通常壓力以巴 (Bar) 來表示 1 (巴) Bar=1 大氣壓，然聲壓之數值過小，因此常以微巴 (Microbar) 表示，即大氣壓力之百萬分之一，簡寫為 M-bar。聲壓與頻率是沒有關係的，因在某一種頻率下之單純音 (Pure Tone) 可以有不同的聲壓，因此在表示一種聲音時，必需有聲壓與頻率二值方臻完全。

二、聲音之功率與強度

功率係單位時間內能量之傳遞率，常用的單位是馬力，等於550呎磅每或馬力746Watt 聲音之功率，通常以瓦為單位，以功率來表示音源產生聲音之能力，遠較聲壓為合理。蓋聲壓大小隨測量者之地位而變，不如功率之穩定可靠。圖 3 表示熟知之聲源發出之聲音功率量。

聲音強度係單位面積所接受之聲音功率，如 1 瓦之功率分佈在 1 平方呎之面積上，則其強度為每平方呎 1 瓦，因此聲音強度即聲音功率分佈之表示方法。

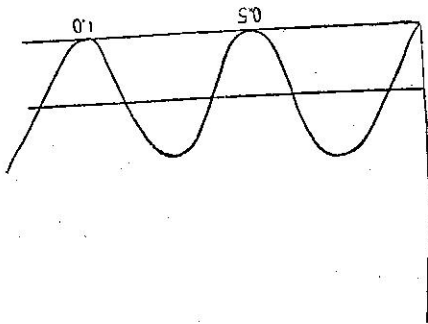


圖 2

如果不是接近聲源，或聲音反射面時，聲音強度與壓力之關係可以下式表示：

$$I = (1.52P)^2$$

I : 聲音強度以每平方呎微瓦 M

Watt/ft² 表示

P : 聲壓微巴 M-bar

1.52 常數

聲音強度隨時間起伏如圖 4 所示通常皆以平均強度來表示，在較複雜之聲音中，平均強度較極大強度

更有意義。

三、單音複音與噪音

單音: Pure tone是由一種頻率組成之穩定聲音，如音叉所出者，其強度隨時間而成正弦曲線。

複音: 通常存在之聲音鮮有單音者，即如小於琴所奏出之音係由各數不同頻率之單音組成，唯其頻率與最小頻率有簡單之整數比如圖 1。

b 表示之複音由100, 200, 300, 400CPS 四種單位組成其音調 (Pitch) 與100CPS 者相同，而較 100CPS 單獨存在時更充沛，而具有音樂感。

噪音: 為某單音之頻率與另一音之頻率無簡單之整數比例，則二者之合成永不能合諧，聽來即全然不會悅耳，噪音即由許多不諧和頻率之單音所組成如圖 1 所示

四、The Decibel

通常噪音之強度係各不同頻率單音強度之平均值其強度低者遠較強度為高，如此以強度作縱軸，頻率作橫軸作圖則無法正確地表現出來，因此乃有 Decibel 單位之產生，使強度低之部份擴大而強度大之部份縮小。

Decibel 是具有對數關係之單位如以 0 Decibel 為標準則 1db 為其強度10倍，2db 為其 100 倍 3db 則為其強度之1000倍。

由圖 3 可知在 Intensity-Frequency 圖中無法表示者，因 Decibel-Frequency 則可很清楚地表現出來，此即利用 Decibel 單位之優點，然其缺點則為其可能性之喪失，蓋 0.04 微瓦/平方呎之聲音與 0.04 微瓦之聲音相加則總強度為 0.08 微瓦/平方呎，然以 Decibel 表示時則為 56db 之聲與 56db 者相加，其則為 59db 而非 112db，此因其所具之對數性質使然，不可不注意；如 120db 與 110db 或 20db 與 10db 其差各為 10db 然前者在聲音強度之差却為其差之數千倍，此時不可不予注意。

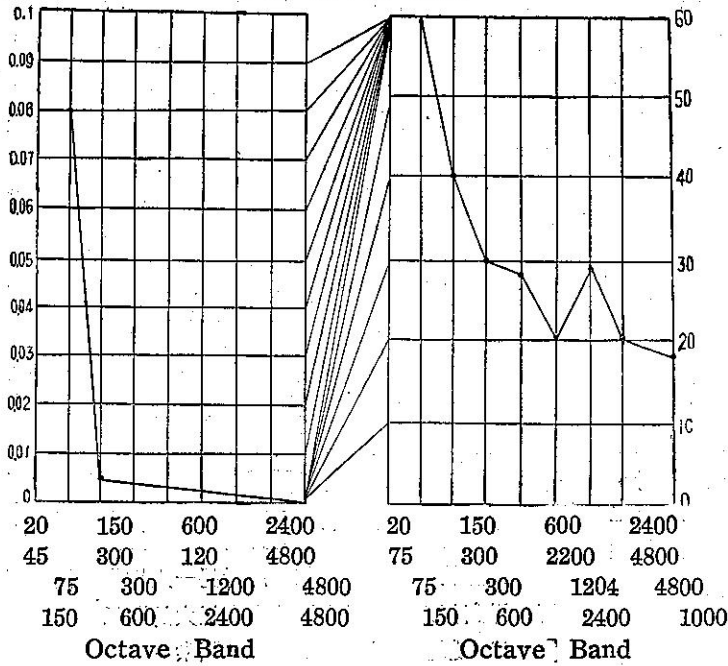
五、聲音之強度階與壓力階 (Intensity Level and Pressure Level)

(1)強度階 (Intensity Level)

Decibel 本為電機工程及聲學之單位，因此聲音之強度階亦以 Decibel 來表示其定義為：

$$\text{Intensity Level} = 10 \log_{10} (I/I_0)$$

圖 3
強度 (每平方呎微瓦)



I = 某聲音之強度

I₀ = 作標準之聲音強度 (Reference Intensity)
(通常用 0.1M Watts)

(2) 壓力階 (Pressure Level)

此為不同之表現方法，其單位亦用 Decibel 且同樣之聲音，不論以強度階力來表示，二者之 Decibel 數相同。蓋壓力階之定義為：

Sound Pressure Level

$$= 20 \log_{10}(P/P_0)$$

P = 某聲音之壓力

P₀ = 作標準之聲音壓力 (通常用 0.0002 ubors)

前曾述及聲壓與強度之關係概略為 $I = (1.52P)^2$ 則

Sound Pressure

$$= 20 \log_{10}(P/P_0)$$

$$= 20 \log_{10}$$

$$\left(\frac{\sqrt{I} / 1.52}{\sqrt{I_0} / 1.52} \right) = 20 \log_{10}$$

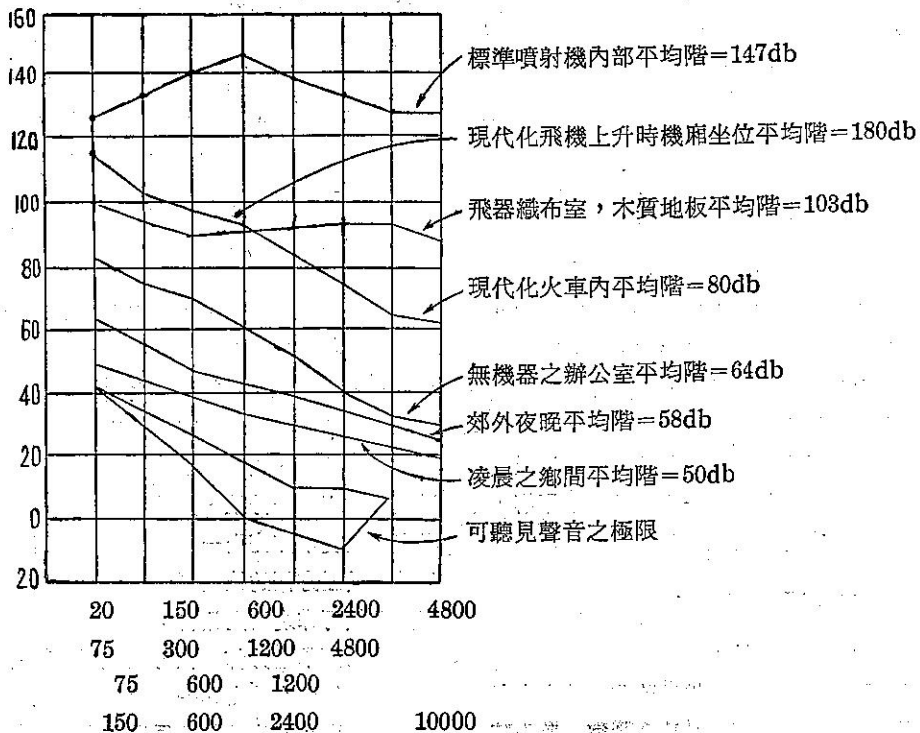
$$\left(\frac{I}{I_0} \right)^{1/2} = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

= Intensity Level

第三圖顯示出此二種單位之關係

縱然噪音之危害人類健康可以平均之 Decibel (Overall) 數值之大小表示，然它却不一定能完全地表

圖 4



示出在某數值以上一定有害於人，如需得出確實之資料則必研究其 Octave Band 與 Decibel 之關係例如 40db. 之聲音如聲音之能集中在低頻率範圍內，則很靜，但集中在高頻率範圍內則可達到相當之響度。

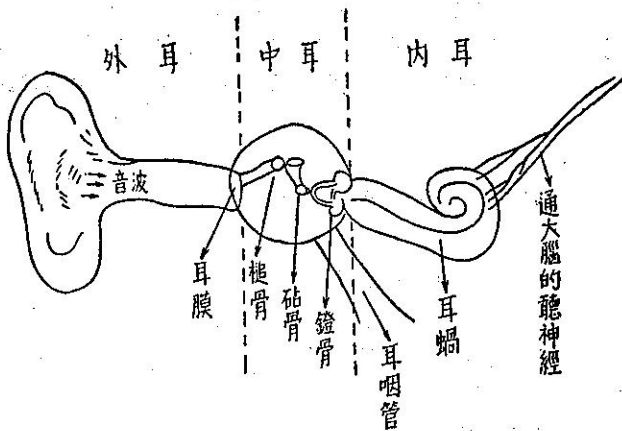
圖 4 為 Jeromer Rcox 根據人之聽覺經驗由低強度至高強度，由低頻率至高頻率之不同聲音之特性曲線

噪音對人體的影響

聲音係空氣之波動，如未經過人類聽覺器官之反應，不會覺得其存在，是以在了解噪音如何會導致職業性失聰之前，應先了解人類感受聲音之程度。

耳朵可分外耳、中耳、內耳三部份，聲波經耳廓之收集，隨外耳道而傳至耳膜，此即外耳、中耳之界限，耳膜隨聲壓大小作往復不同之振動，此振動由中耳內的三塊小骨傳至內耳，此三塊小骨依次為錘骨、砧骨、鐮骨，鐮骨之振動，使內耳中液體產生前後之波動刺激了內耳中近 20,000 個感覺細胞，在此纖細胞之根部，散佈有神經末梢，它接受了感覺細胞之信號而將之傳遞至神經中樞，引起了聽覺。

圖 5



長期曝露在強烈噪音下，會導致內耳中耳之液類失效，甚至因此而不受鐮骨之波動影響，聲波因此無法有效地甚至根本不能傳遞至神經，自然沒聽覺產生，同時內耳中之感覺細胞係極纖細的組織，正如極靈敏精細之儀器，如經過度之操作，其效率自會減低或甚至失却原有之能力，此係噪音對人類的生理影響，老年人的聽覺失靈，亦導因於此。

二、噪音與失聰

一、噪音導致失聰之特性：

在工業噪音影響下之失聰，早期除非以精密之單音測聽器，可測知外，一般都不易被人覺察。蓋失聰

之開始多在頻率 3000~6000CPS 之間，根本不影響到對話時之聽力，但經繼續的曝露於噪音下，情況漸形嚴重。失聰的頻率範圍，亦擴展至 2000, 1000 而至 500 CPS，如在這些頻率下失聰之情形相當嚴重時，很容易就感到了說話時聽覺的不靈，不過此種並非永久性的，如果立刻離開噪音環境後仍然可以復原，只是其靈敏度可能不如原有者而已，這與曝露於噪音環境下的期間長短，也有直接的關係。如以一短期曝露於噪音環境下之工人與另一長期曝露過的工人作比較，如其失靈之程度亦不相上下，則經過同樣時期的靜養後，前者聽覺靈敏度恢復，遠超於後者，是以短暫之區響如火炮之發射、雷鳴、或噴射機低空掠過其為害程度遠不如紡織廠機房中連續之噪音。

直至今日，對於某情況之噪音到底如何才影響到人之聽覺，仍沒有定論，事實上，也不能產生定論，因各人對於噪音之接受能力完全不同，往往一種強烈的聲音能使某人完全失聲，而對另一人則幾乎沒有影響，這與個人對聲音之抵抗力有很大的關係。

二、影響噪音嚴重性的幾個因素

噪音之嚴重性，受四種主要因素的影響，因此在估計某一噪音環境對某些工人之為害程度時，每一因素皆需仔細考慮。

(1)強度階：此係決定噪音嚴重性最重要的因素，不過我等切忌以此作為唯一標準，亦不可以作為工人之失聰與噪音影響之證據。此點如以火炮之爆炸說明，最為明顯，其強度階約在 160 db 左右，但因時間短暫，而不致為害。

(2)曝露期間：此另一極重要之影響因素，在強烈噪音下工作時間愈久，則聽覺受損愈鉅，其恢復之時間也愈長，時間過久，甚至會導至永久失聰。

又曝露時間與間隙時間之短暫，對噪音之嚴重性亦有很大的影響，如一工人在八小時之工作中，有一小時連續地曝露在噪音下，而另一工人則每八分鐘內進入噪音環境一分鐘，其總時間雖同為每日一小時，噪音之程度階亦完全一樣，但其影響則迥然不同。但目前對於這方面的比較（間隙之噪音）與（連續之噪音）尚無可靠之研究報告。

(3)頻率之分佈：在可以聽到之聲音中，其頻率範圍大致在 16~20,000 CPS 間，但其中能使耳部細胞受損的程度，全然不同。根據長期

研究結果，頻率在 3000~6000 CPS 間的噪音，最易使耳朵產生永久性的失聰，然而如果噪音的能量集中，在 3000 CPS 以下 3000 CPS 以上之頻率範圍時，其影響人的聽覺效能是集中於高頻率範圍者更為嚴重。因此對高頻率的失聰，並不影響到對平日說話所需的聽覺，蓋這是由於平日根本不需聽到高頻率的聲音。又如噪音的能量集中於低頻率範圍，則對聽覺亦不會有多大影響。由以上之討論，可知對於預防失聰之控制，應特別注意頻率在 300~2400 CPS 噪音，而尤以 300~600 CPS 最為重要。

此外，對複合噪音的頻率範圍，亦需大致知道。一種單音一種頻率範圍很小的複音與一種頻率範圍較大的複音加以比較，如三者強度階完全相等，則危害程度以單音最大，頻率範圍較大之複音最小，是以頻率分佈之廣濶與否，及能否集中於那些頻率範圍，對危害程度皆有直接影響。

(4) 個人對噪音之感受程度：不同的人對於噪音的感受程度常有極大的差異。在強烈之噪音下，有些人長期地工作其中，却全然不受影響，但有些人却工作不久即嚴重失聰，此種感覺程度，可以精細之測聽儀器測出。一個易於失聰的人，在離開了噪音環境後，其復原的能力也較差。

因此對於多大之噪音，才會影響聽覺的這個問題，就很難下定論了，同時聽覺的失靈也並非完全是受了工業噪音的影響，因為根據統計，即使一個很安靜的工作環境中，仍然有部份的人導致聽覺失靈，它們可能是由於中樞神經系之受損；某些其他疾病的影響，遺傳性的失聰，頭部受傷，或者是年老性失聰，當然這些因素只影響到很小的一部份，但它的存在使得最大而無害的噪音強度，永遠無法得到一肯定的標準，它使得統計數字，失去可靠性，蓋不論因噪音而失聰或起於因其他原因，其症狀是無法區別的同時在改善工業噪音環境時，如瞭解了這一點，即知如需達到完全沒有失聰現象是不可能的。而且它的價格也是驚人的，因此，比較合理的方法，是根據統計資料，減少失聰的人數至一相當的百分率以下即可。

三、噪音控制的工業標準

決定噪音的工業標準方法，通常稱為 DR 法 (Damage-risk criteria)。由此所得到的結果，雖

無嚴格之科學根據，却極為實用。其標準訂定之方法為利用頻率範圍很廣的噪音，使工人在其中每週五天每天八小時地連續工作，其目的必須維持工人不使導致顯著的失聰，當然無法令全部的工人不受噪音的影響。尤其是某些感受噪音特別靈敏者，經過聽力測驗後，把他轉至較安靜處工作。如果噪音強度過大，而使一相當部份的工作者，產生顯著失聰時，此噪音環境即為超過了工業標準，因此噪音控制之工業標準不使一相當部份之工人導致失聰為原則，其暴露時間，可長達十年。

由此種方法決定之聲音壓力階 (Sound pressure level) 必需在 95db 以下，其頻率範圍中之 300~600, 600~1,200, 1,200~2,400 CPS 各階皆須低於 95db，而尤以 300~1,600CPS 之範圍為最重要，當然在 300~2,400 CPS 以外之高壓力階聲音仍然有害，但就一般而言，極端之低頻率對聽覺之影響，仍屬次要。

如需使非常敏感的人也不產生顯著之失聰，則在 300~2,400CPS 之頻率範圍中之聲壓階必需低於 85db (按以每週五天每天連續八小時計) 此高達 105db，則幾乎每一個工人都會導致顯著的失聰 (每天八小時，每週五天)。

根據以上試驗，可得一般之工業標準。

一、以中間頻率範圍 (Mid-Frequency octave band) 為準，壓力 85db 以下時，工人每日八小時每週五天地連續工作十年，僅會有極少部份導致顯著的失聰。

二、如壓力階在 85~95db 之間，失聰之比率還是很小。

三、如壓力在 95~105 db 間則失聰的比率還是相當大的噪音的控制方法。

最初幾年所有的科學家，皆以在聲源之出口處控制噪音，視為最有效率的方法。而自聲學觀點而言，這個固然是很有效的，只是由於工廠機器之漸漸由小型變成巨型，生產由低速變為高速，欲在噪音之出口處控制它，自然產生了實際上的困難。因此代替它的新方法是如何減少工人對此類噪音之接觸，如果在聲源控制噪音也算一種方法時，則噪音的控制方法可分三種：即在聲源處控制，在聲傳遞中控制及在頭上控制。

今日在工業噪音的控制方面，主要的難題是對於噪音控制原理的了解，甚為缺乏。工廠的設計者及機器的設計保養者多半是事先沒有充分想到作噪音之控

制，以致問題一旦發生，而無法再作有效的改進。因此在今後的教育計劃中，必需增加使工程人員對噪音的了解一項。唯有對噪音先有充分的認識後，才能作出合於需要的設計，雖然亡羊補牢，猶未為晚，但到底還是防患於未來更合於科學的原則。

在工業噪音的控制上，除了對噪音本身認識不夠外，另一個很大的難題是起因於「控制噪音是否合算的問題？」辦工廠的目的大部份在賺錢，而控制噪音所化費的代價似乎遠超過它所能收到的利益，一般有關控制聲音的設備，多很昂貴，而且在裝置它時，常導致生產之減速或停頓，此代價不為不大。相對的，控制噪音之利益則幾乎不易察覺，而員工聽覺之保存等於是一種長期的投資，必需經過很多年才能收到實惠，因此負責控制噪音者，必需針對此等事實而釐定計劃，否則鮮有成功的機會。

在各種不同的情況下，噪音需減少之程度也不同，原則上只要減少到合乎工業標準即可，如此可免價格過高或不必要的安靜，同時到底需減少多少程度之噪音以達到需要的標準，也直接地影響著控制噪音的方法，如需減少 5 db 則可能只改變一些不重要的設備，即可達到目的，但如需減少 25 db 則可能要將整個的操作方式重新作一番調整才行。

當然有時要達到噪音的充分控制，往往要化太大代價而不實際，在此情形下只有盡量地減少至使其接近標準，因噪音之減少一分也就是減少了一些人聽覺的受損。

四、在聲源處控制噪音

與其他兩種噪音控制法相比較，它在實際操作上往往困難些，但如有妥善的計劃與設計，此法可收最高的效果。一般在聲源處減低噪音之壓力階，係利用較安靜的方法來取代原有的方法，C. R. Willams 及 F. C. Tyzzer 二位專家提供了許多此類取代法之實例：

- (一) 用銲接方法代替釘接方法。
- (二) 壓力釘接 (Compression riveting) 代替空氣釘接 (Pneumatic riveting)。
- (三) 機械化的熔煨代替鏈打式的熔煨。
- (四) 用研磨法代替切碎法。
- (五) 用電力操縱之工具代替氣類推動之工具。
- (六) 用輸送帶代替直上直下之輸送。
- (七) 在金屬之處理中以高溫狀況代替常溫。
- (八) 以輪帶式帶動裝置代替齒輪。

由上幾個實例可得兩個減少噪音之通則，其一為清除金屬碰撞的機會，其二為減少空氣之高速流動，根據此二原則對其他噪音問題也可有適當的對付方法了。

五、隔絕法控制噪音

為了達到生產的目的，往往無法不產生相當的噪音，有一種很好的噪音控制法，就是設計外殼，將產生噪音之機器整個包圍起來，則噪音雖然產生，却不能向外傳播，因而得以不影響工人之健康。

在噪音傳達的通道中，如有物體阻擋物之不同而有很大之差別。

- (一) 利用吸音物質作為噪音的阻擋物，此類物質多係質鬆的多孔物，中間有許多通達的空氣小孔，則巨大影響經過時，其波動受到阻礙，聲壓降低，縱有部份波動通過，其強度亦大為減低，反射的聲波亦因物質表面的不平滑不同，不過為數甚少。
- (二) 利用堅固粗重物質作噪音的阻擋物，此類物質如金屬、石塊或堅木，其傳播音響之方式不同，音波不能直接透過阻擋物，而只能使其產生震動，而傳至鄰近的空氣，是以此種阻擋物的效果與其體積，重量成正比，但由於此類物質表面堅固，噪音幾乎全部被反射而產生回音，因此不是很理想的阻擋物。
- (三) 吸音物質與堅固之阻擋物合併使用，此法乃利用吸音物質以減少回音之反效果，同時利用不透音之硬板以減少聲音的傳播，如此之複合使用，可使隔絕法控制噪音達到最高的效果。

唯需注意此種隔絕之完全與否對噪音減少之程度影響很大，些許之大小口都能使效果低，是以在設計噪音阻隔物時，對門、窗、通道，以及入料，出料輸送管之裝置都需有週詳的考慮，通常階鑿孔道略大於管子之直徑，孔道之週圍嵌以吸音物質，使與管子密切接合，對於門窗之邊緣亦皆塞以填充物，同時該注意的是地板，如它並非極佳之阻隔物，則機器下之房間一樣會受到噪音的侵害。

綜合而言，用隔絕法控制噪音的原則有下列四種：
(1) 選擇適當的隔絕音響的材料。
(2) 盡量可能使機器與外界隔絕，不留多餘的小孔。
(3) 在必需之門口處加以適當的填料，以免日久而漏音。
(4) 注意地板的設計，使配合隔絕的效果。

六、利用護耳器材料控制噪音

利用護耳器時產生的種種問題和弊害，使其成爲三種噪音控制法中最不得已時才應用的方法，工廠中經常有許多噪音，既無法在聲源處加以控制，如設法將其與外界隔絕，所費又過鉅，此時護耳器則爲唯一貫用的方法，茲將各種護耳器的特性簡介如下：

護耳器因構成物之不同，可分幾類，或爲塞於耳道中不同種類的耳塞或爲套於耳外部的耳罩、及耳帽，前者正如吸音器材僅將噪音過濾後傳入耳中一樣，其效果不高，且受到放置技術的影響，一個未經訓練者由於無法妥善地放置耳塞，往往使效果相差 5~10 db。護耳器可分：

- (一) 棉花：與一般觀念完全不同，乾棉花對耳朵之保護幾乎沒有效果，由實驗可知它對噪音減低的效果，只在高頻率範圍有效，此點更易使工人導致中頻率範圍聲音之失聰。蓋頻率之噪音減低後，用者在感覺上會很舒服，但舒服並不一定達到保護的效果，此爲應用乾棉時所應嚴加注意的事。
- (二) 含蠟的棉花：此種耳塞係 $\frac{1}{2}$ 吋直徑 $\frac{3}{4}$ 吋長的圓柱體，用時須先微熱，使其軟化，而以手搓捲成適當的大小塞入耳中，且需注意使其剛好塞滿耳道，此耳塞兼有吸附髒物之特性，用時每日換一次，並不太貴，唯於熱帶天氣石蠟易熔，不宜使用，其減少噪音之能力

如使用以其他黏液浸後的棉花，效果雖較差，也比用乾棉花爲強。

三、軟橡皮耳塞：此種耳塞重約 $\frac{1}{2}$ 克，其形狀剛好適合於耳道分大、中、小三種以供不同大小耳朵之用，其外端有凸出的小柄，以便塞入取出，此耳塞價格便宜，且效果最高，可惜在感覺上不太舒適。

四、耳罩與耳帽：耳罩係罩於外耳之外的護耳器，其減少噪音的效果比過濾式的耳塞較佳，但不如固體耳塞，然而不易作嚴密之封口，以致對低頻率噪音的減低效能不高，如以堅而緊之鬆緊帶封口，則頭部甚不舒服不宜久帶，耳帽較舒服但效果差。

此類護耳器裝卸甚便，是以最適於在經常需卸下之環境使用，如需要時，它可與耳塞合併使用，則可發揮護耳器的最高效能。

七、結 論

噪音是科學日漸進步而引起的問題，是以一般人士，甚至是負責工廠人士往往對它都沒有深切的了解，因此除了治標地積極改善目前既有之噪音環境外，更必需治本地作一全盤之教育計劃，使有關人士都能了解噪音的重要性，與控制的方法，以便將來設計新廠時，將噪音之防制也列入計劃中，而不致使工人無謂地受到傷害。