



噪音危害改善實務

盧士一 博士
職業安全衛生系
中山醫學大學
108/5/10

1

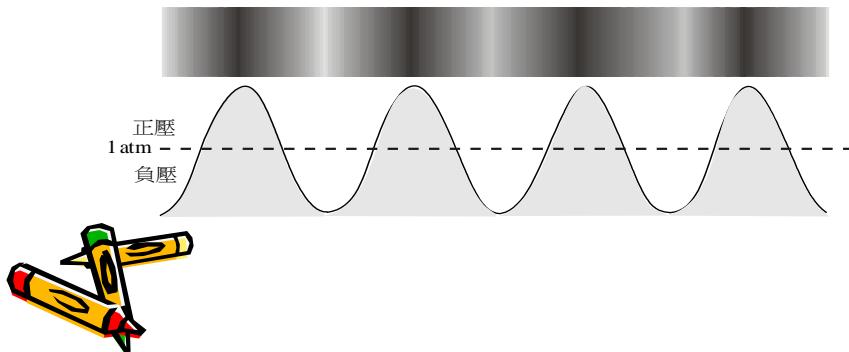


噪音危害的認知

2

聲音的性質

- 聲音是由物體振動或氣體擾動所造成，音波為縱波，經由介質（例如空氣），以波動型式將能量傳送至耳朵，真空中無法傳音。



何謂噪音

- 物理性質與聲音相同
- 令人厭惡的聲音
- 使人聽力受損的聲音



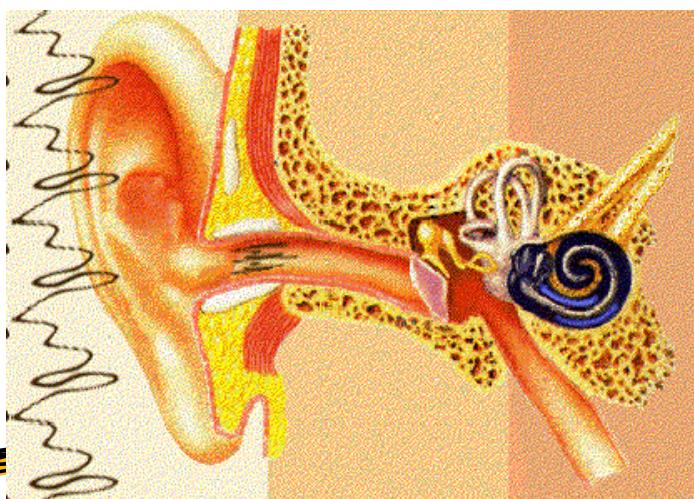
4

噪音的危害

- 心理的影響
 - 影響情緒、減低工作效率、意外事故增加等
- 生理的影響(非聽覺)
 - 血管收縮、肌肉緊張、食慾不振、腎上腺素等
- 聽覺器官的聽力損失
 - 傳音性聽力損失
 - 感音性聽力損失
 - 暫時性、永久性、老年性

5

耳部構造



6

外耳

- + 包括著耳廓與外耳道，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。
- + 由於外耳道由外至內直徑略減，以及人頭與身體驅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



7



中耳

- + 它包括耳膜與三根聽小骨（依序為錘骨、砧骨與鎧骨）。
- + 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。



8



內耳

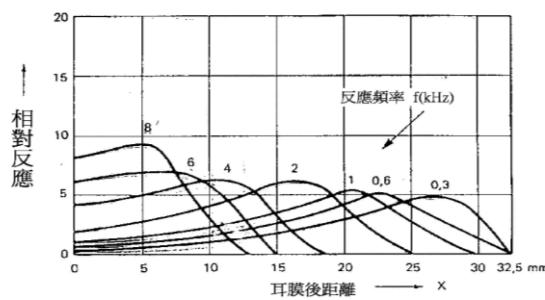
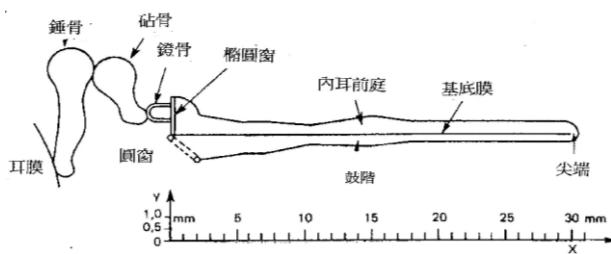
- 有一長約3.5cm，捲成2.5圈的耳蝸，其內部充滿液體。其截面積由底端（與中耳連接處）至尖端成不規則漸減。
- 耳蝸內的基底膜，約有內毛細胞3500個以及3~5排約12000個的外毛細胞。



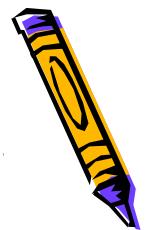
9



基底膜響應



10

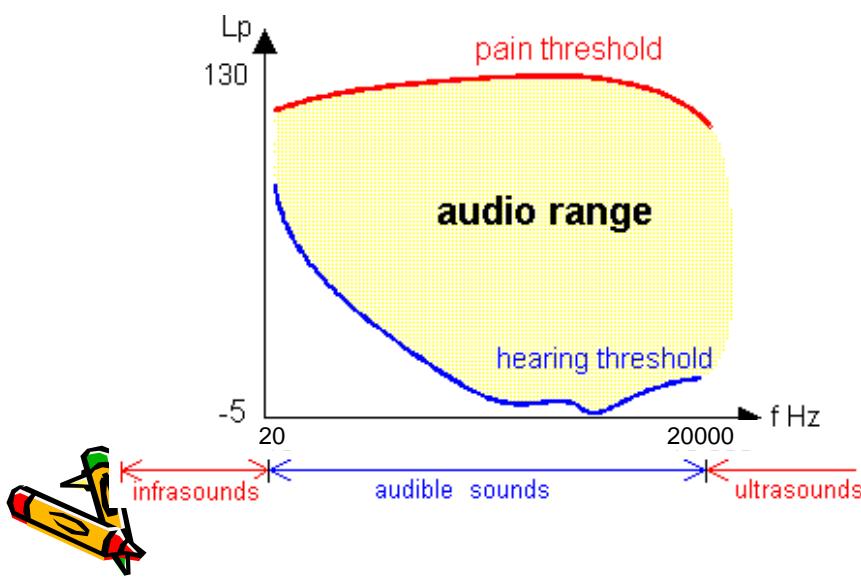


聲音的傳導

- 聲波經由外耳道碰撞到耳膜，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，再經由液體將能量傳遞至內耳。聽覺細胞產生電擊刺激神經，再傳至大腦。
- 氣導傳音：聲音經由上述過程，即經過耳廓、外耳道、中耳至內耳聽神經細胞
- 骨導傳音：經由骨骼組織直接傳遞至內耳或經由中耳傳至內耳聽神經細胞

11

人類聽覺範圍



12

人耳的特性

- 聽力的頻率範圍一般在20 ~ 20000 Hz
- 靈敏的聲音頻率範圍約在2000 ~ 6000Hz之間，以4000Hz左右為最。
- 語言帶則大約為500 ~ 1500(2000)Hz



13



聽力特性

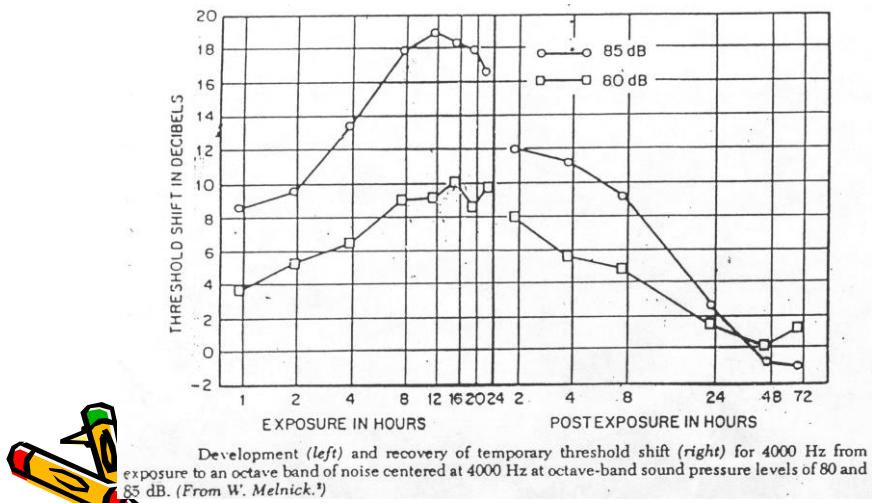
- 所謂聽力閾值（界限）是指在此閾值以上的聲音，人耳可聽到；在此閾值以下的聲音，人耳聽不到。人之聽力閾值並無明顯分界，通常以50% 可聽見之最小聲音之音壓級定義為聽力閾值。



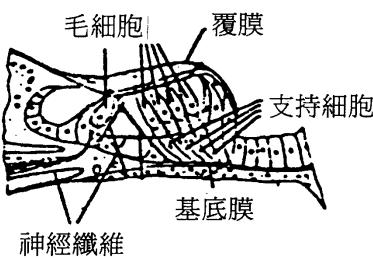
14



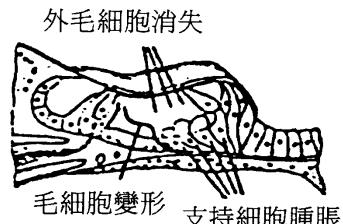
暫時性聽力損失與恢復



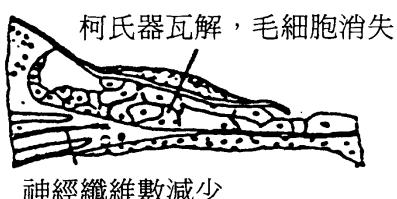
15



(a) 正常



(b) 部分受損



(c) 嚴重受損



(d) 完全退化

失聽等級

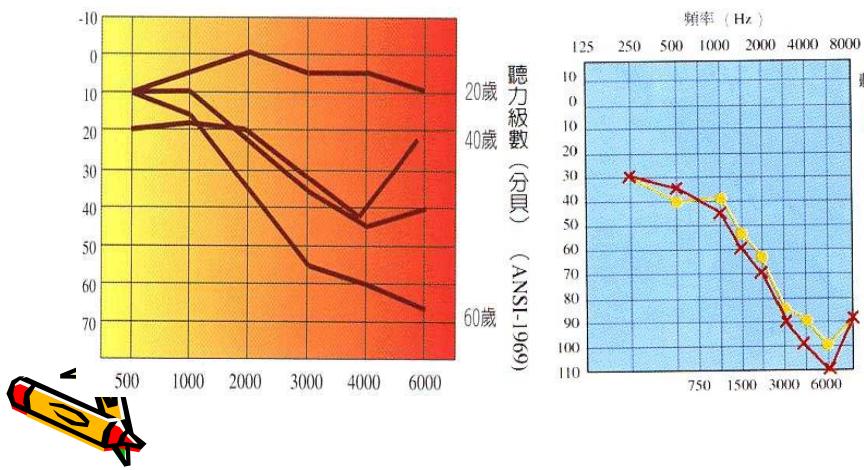
一般以500、1000、2000Hz三個純音聽力檢查的閾值平均來評估。

- (A)正常聽力：0~25 dB(A) ~ 輕聲交談沒有困難
- (B)輕微障礙：25~40 dB(A) ~ 輕聲交談會有困難
- (C)中等障礙：40~55 dB(A) ~ 正常語音交談常有困難
- (D)顯著障礙：55~70 dB(A) ~ 大聲交談常有困難
- (E)嚴重障礙：70~90 dB(A) ~ 喊叫或放大聲音才能了解
- (F)極嚴重障礙： ≥ 90 dB(A) ~ 已無法正常交談



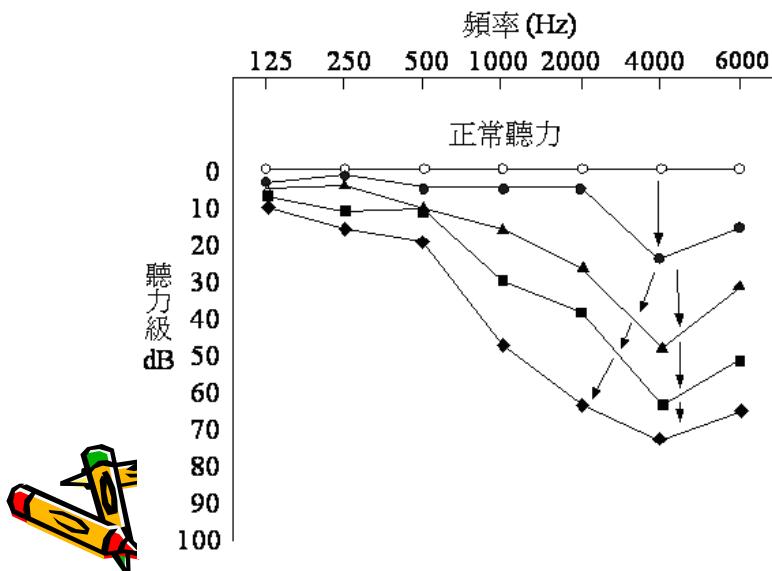
17

聽力損失及聽力檢查

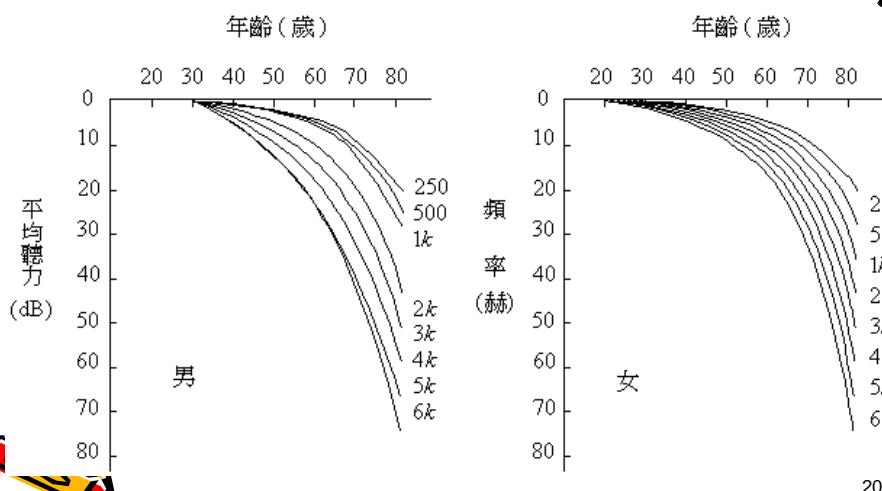


18

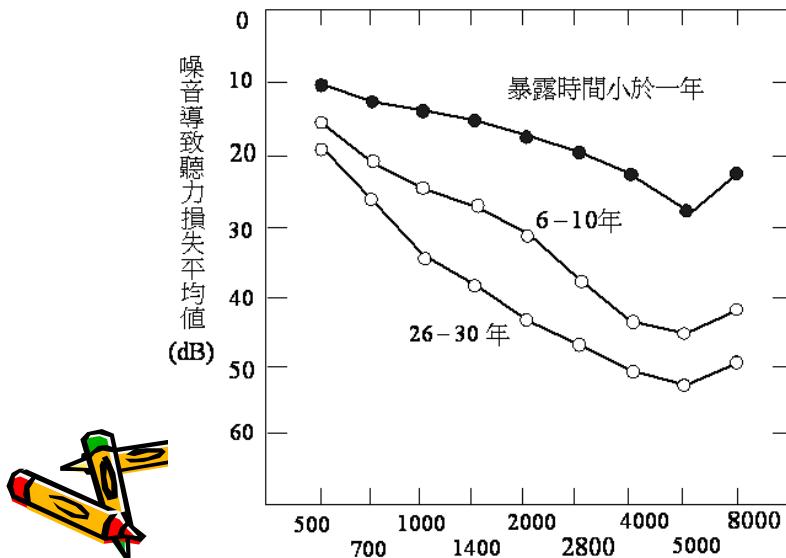
聽力圖及噪音性重聽



老人性重聽



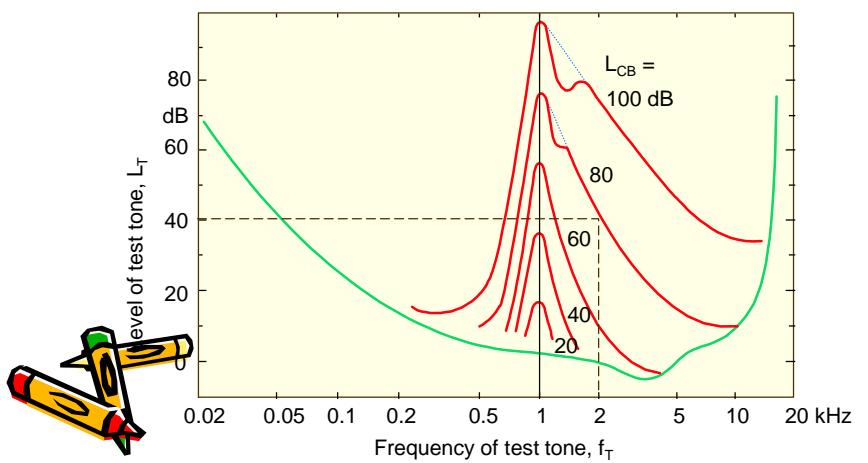
衝擊性噪音研究結果



21

頻率遮蔽效應

- 頻率遮蔽效應是單一頻率的聲音訊號，在聽覺感受上會遮蓋此頻率附近頻帶內的聲音。



22

預防勝於治療

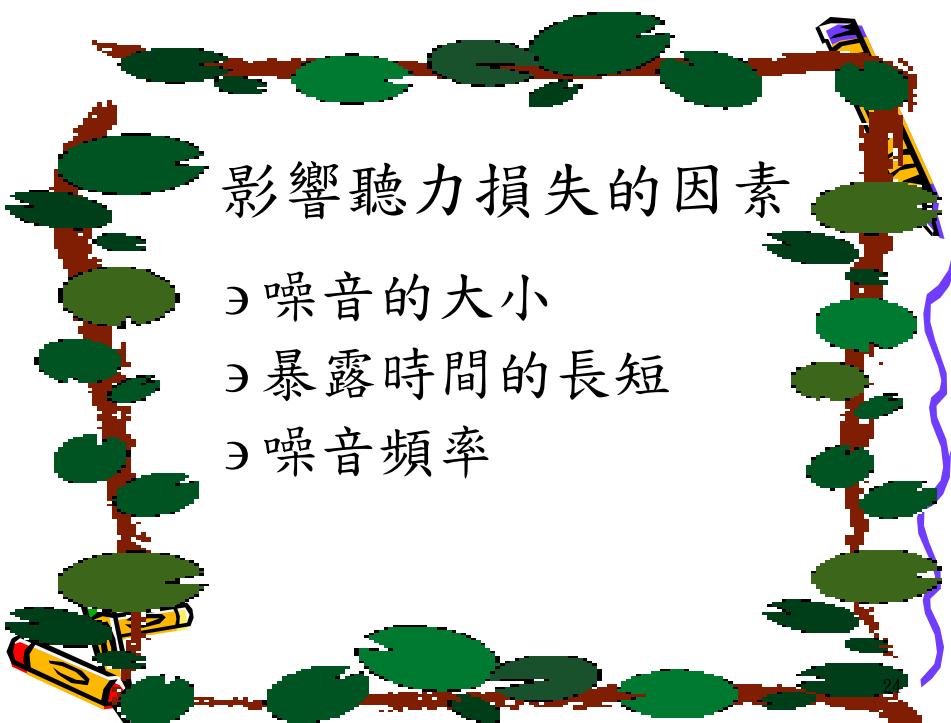
- 永久性聽力損失的特色即是「**不可逆**」「**不可復原**」。
- 長期暴露於噪音環境引起的聽力損失目前**還沒有方法治療**，只有預防才是最好的方法。



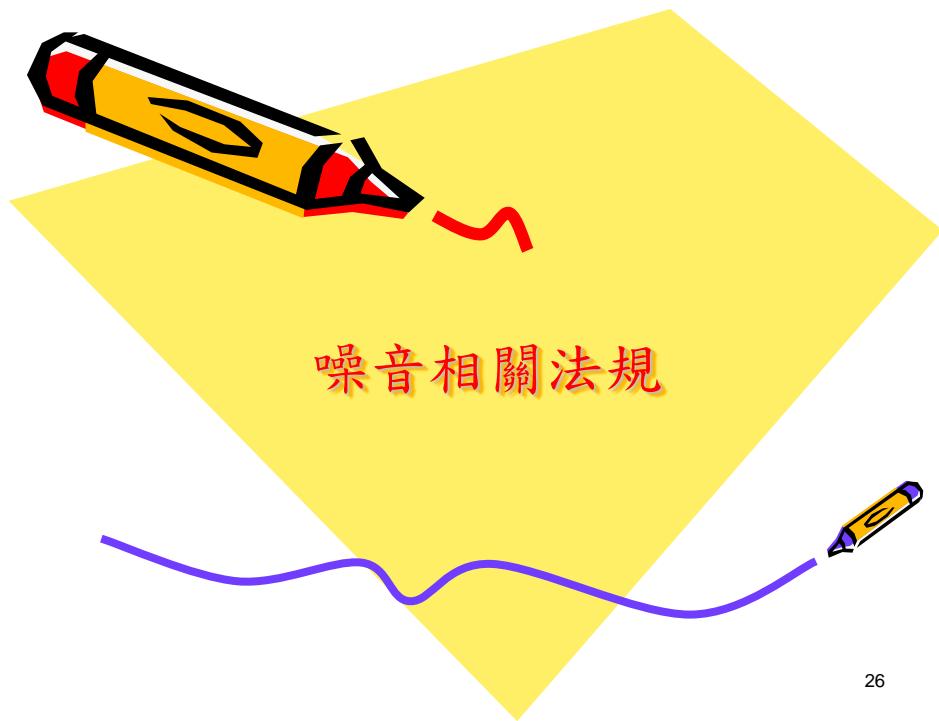
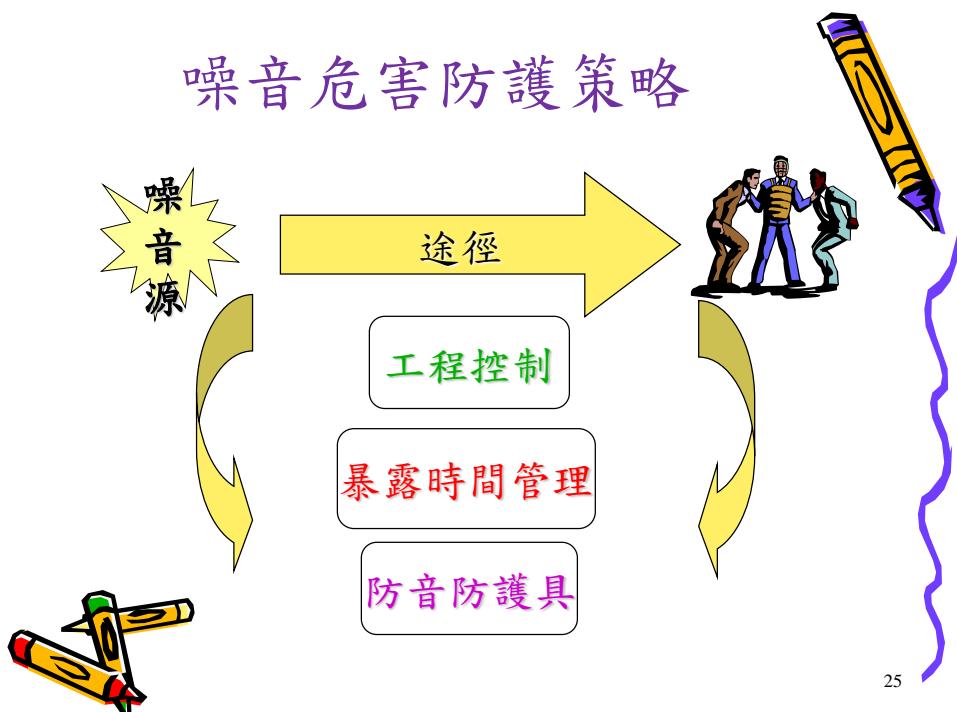
23

影響聽力損失的因素

- ⌚ 噪音的大小
- ⌚ 暴露時間的長短
- ⌚ 噪音頻率



噪音危害防護策略



26

職業安全衛生法規

- ⊕ 職業安全衛生法
- ⊕ 職業安全衛生法施行細則
- ⊕ 職業安全衛生設施規則
- ⊕ 勞工作業環境監測實施辦法
- ⊕ 勞工健康保護規則
- ⊕ 職業安全衛生教育訓練規則

• *<http://www.iosh.cla.gov.tw>

27

勞工聽力保護相關法規

- 職業安全衛生法
 - 第6條：雇主對下列事項應有符合規定之必要安全衛生設備及措施：
 - 八、防止輻射、高溫、低溫、超音波、噪音、振動或異常氣壓等引起之危害。
 - 第12條：雇主對於經中央主管機關指定之作業場所，應訂定作業環境監測計畫，並設置或委託由中央主管機關認可之作業環境監測機構實施監測。
- 職業安全衛生法施行細則
 - 第17條：本法第12條第三項規定應訂定作業環境監測計畫及實施監測之作業場所如下：三、顯著發生噪音之作業場所。

職業安全衛生設施規則
第三百條

28

勞工聽力保護相關法規

- 勞工作業環境監測實施辦法
 - 第7條：三、勞工噪音暴露工作日八小時日時量平均音壓級**八十五分貝以上**之作業場所，應每六個月監測噪音一次以上。
- 職業安全衛生法施行細則
 - 第28條：本法第二十條第一項第二款所稱特別危害健康作業，指下列作業：二、噪音作業。
- 勞工健康保護規則
 - 第2條：本規則所稱特別危害健康之作業，依本法施行細則第28條規定之作業（如附表一）。
一、勞工噪音暴露工作日八小時日時量平均音壓級**在八十五分貝以上**之噪音作業。

29

職業安全衛生設施規則第三百條：雇主對於發生噪音之工作場所，應依下列規定辦理：

勞工工作場所因機械設備所發生之聲音超過**九十分貝**時，雇主應採取工程控制、減少勞工噪音暴露時間，使勞工噪音暴露工作日八小時日時量平均不超過表列之規定值或相當之劑量值，且任何時間不得超過**一百四十分貝**之衝擊性噪音或**一百十五分貝**之連續性噪音；對於勞工八小時日時量平均音壓級超過**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。

30

我國法定容許暴露時間

工作日容許暴露時間 (小時)	A 權噪音音壓級 (dBA)
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1	105
1/2	110
1/4 或更少	115

◆職業安全衛生設施規則第300條

31

勞工工作日暴露於二種以上之連續性或間歇性
音壓級之噪音時，其暴露劑量之計算方法為：

第一種噪音音壓級之暴露時間
----- + ----- >
該噪音音壓級對應容許暴露時間
----- + ... = 1
----- <
該噪音音壓級對應容許暴露時間

*其和大於一時，即屬超出容許暴露劑量。

*測定勞工八小時日時量平均音壓級時，應將八十分貝
以上之噪音以增加五分貝降低容許暴露時間一半之方
式納入計算。

32

職業安全衛生設施規則 第300-1條

- 雇主對於勞工八小時日時量平均音壓級超過八十五分貝或暴露劑量超過百分之五十之工作場所，應採取下列聽力保護措施，作成執行紀錄並留存三年：
 - 一、噪音監測及暴露評估。
 - 二、噪音危害控制。
 - 三、防音防護具之選用及佩戴。
 - 四、聽力保護教育訓練。
 - 五、健康檢查及管理。
 - 六、成效評估及改善。
- 前項聽力保護措施，事業單位勞工人數達一百人以上者，雇主應依作業環境特性，訂定**聽力保護計畫**據以執行；於勞工人數未滿一百人者，得以執行紀錄或文件代替。

33

噪音場所標示(設施規則 300條)



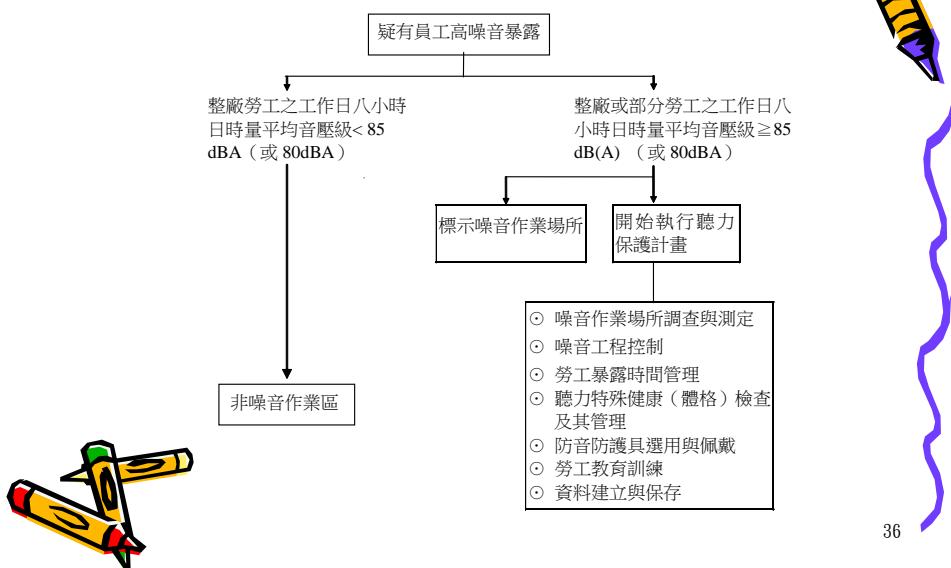
噪音超過九十分貝之工作場所，應標示並公告噪音危害之預防事項，使勞工周知。

34



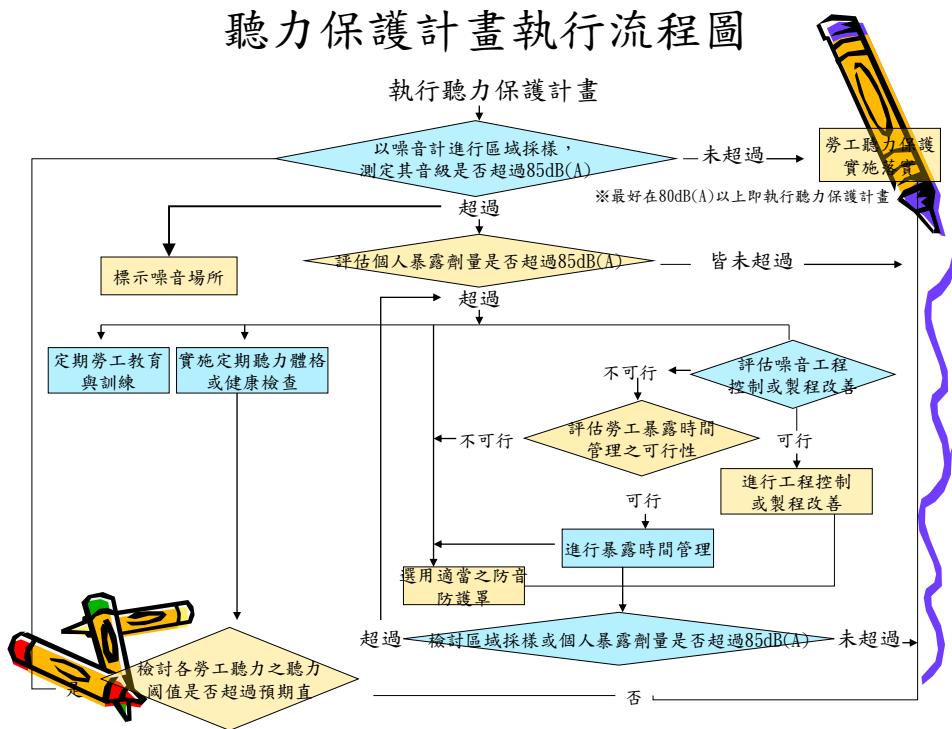
35

HCP執行判斷流程



36

聽力保護計畫執行流程圖



作業場所噪音調查 與測定

噪音測定的目的(一)

- 1、判定是否有噪音危害的因素存在及作業環境噪音量與噪音分布情形。
- 2、選定需納入執行聽力保護計畫的噪音暴露勞工群。
- 3、決定噪音暴露勞工群進行噪音控制，建立執行聽力保護的優先順序。
- 4、判定環境噪音是否影響交談，與警告信號的聽取與判定。



噪音測定的目的(二)

- 5、量測環境噪音音壓級與頻譜資料，作為防音防護具之參考。
- 6、特定噪音源的診斷作為噪音控制的參考。
- 7、瞭解勞工於噪音環境下之暴露劑量是否符合法令標準。
- 8、評估實施噪音控制的成效，並作為噪音控制對策研擬、執行之參考。





噪音測定之規劃

- 依調查目的的不同，測定使用的儀器、方法、受測點皆有不同，並於進行測定前，需先至現場瞭解勞工暴露狀況，參考以前作業環境相關資料，才可規劃測定之策略，建立每一暴露勞工之噪音暴露資料。

噪音量測儀器

- 簡單型噪音計
- 積分型噪音計
- 頻譜分析儀
- 噪音劑量計





勞工暴露狀況測定



- 為確定作業現場噪音音壓級與勞工暴露是否符合法令規定，可以**區域採樣測定**與**個人暴露劑量測定**兩方法進行量測，主要在建立噪音作業勞工之職業暴露史(occupational exposure history)。

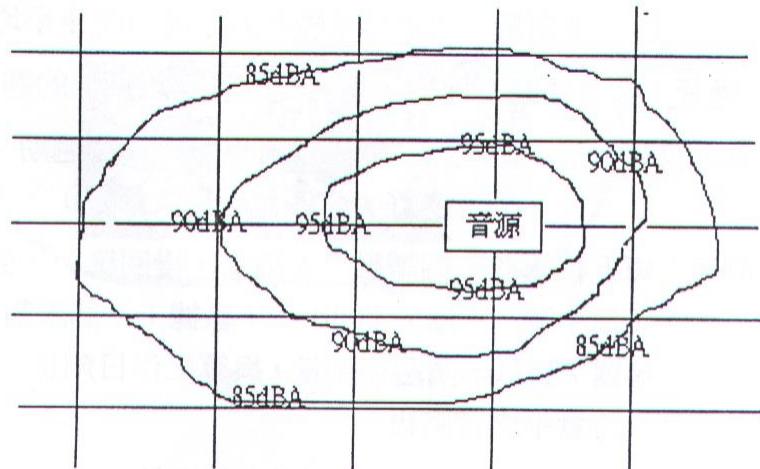


(1) 區域採樣測定

將作業場所以等間距畫縱橫線，於其交點離地面120-150公分(耳部)高度進行測定。

- 同時，可將測定結果畫出作業現場之噪音分佈圖(noise map)，來表示作業場所不同噪音的音壓級。

作業場所噪音等音壓級曲線示意圖



(2)個人暴露劑量測定

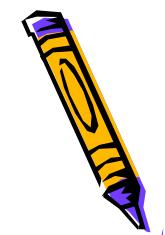
- 如果區域採樣測定無法獲得勞工個人暴露劑量值時，應使勞工佩戴噪音劑量計 (noise dosimeter)進行個人暴露劑量測定，以瞭解勞工整個工作日噪音暴露劑量。



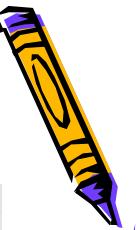
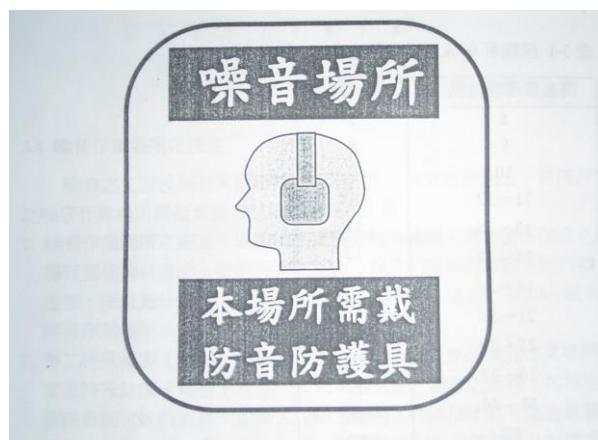
(2)個人暴露劑量測定

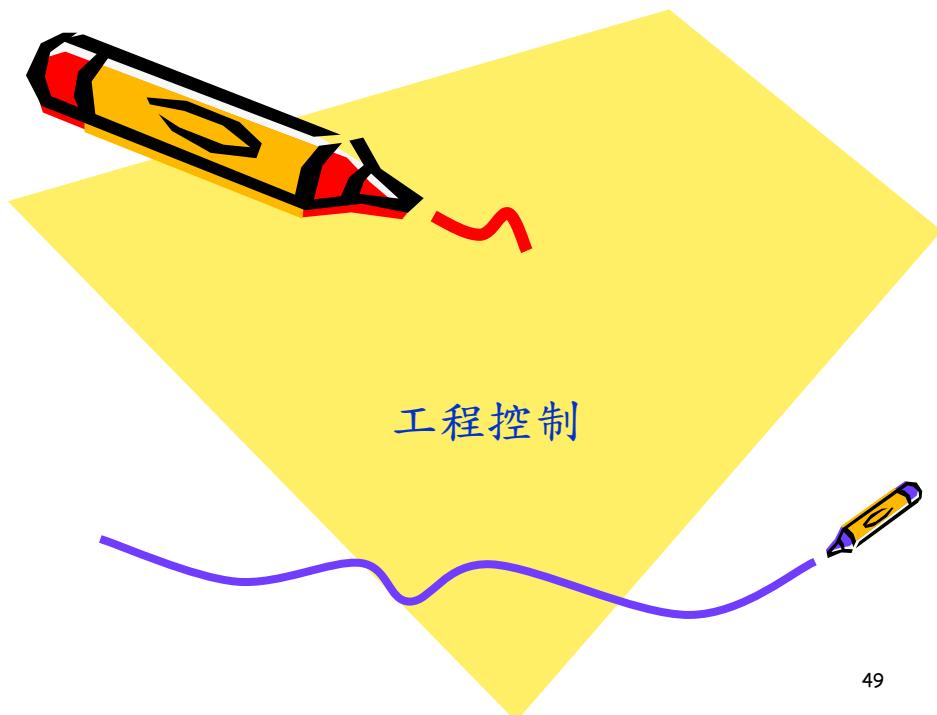


- 當單位作業場所任一測點噪音音壓級或勞工暴露量**超過85分貝**時，除應儘速檢討改善外，並應於明顯易見之場所標示高噪音場所。



高噪音場所之標示

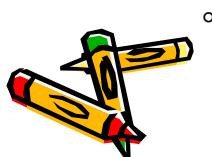




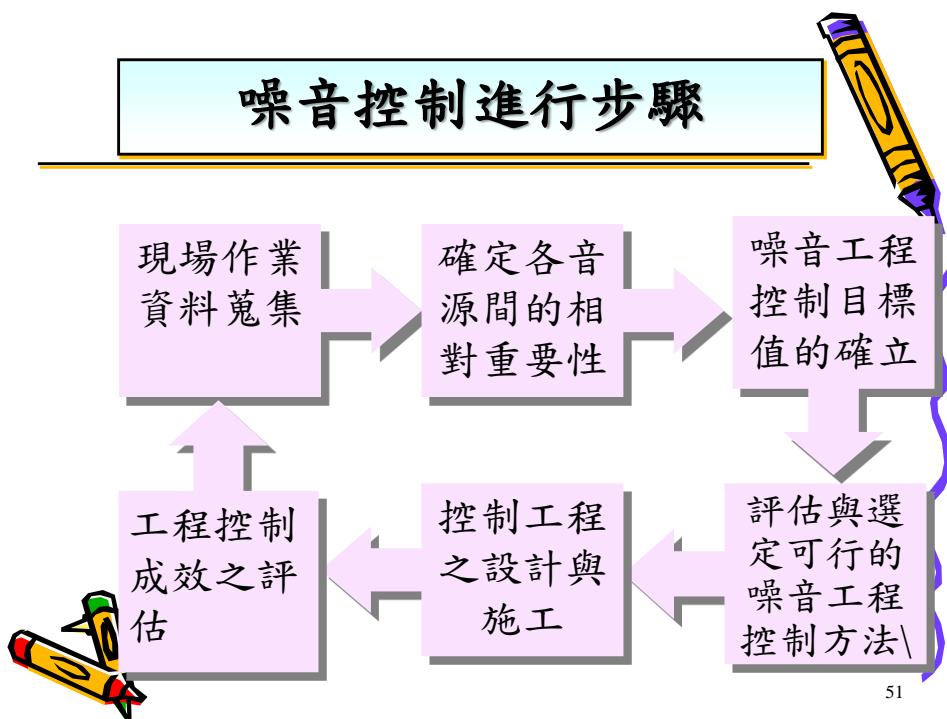
49

噪音工程控制目的

1. 降低噪音源之噪音量，使作業環境之音量合於法令標準。
2. 阻絕噪音傳播途徑，減少受音者耳朵之音壓級，降低聽力受損的風險



噪音控制進行步驟



暴露時間管理

52

暴露時間管理

■ 輪班

— 減少暴露時間

■ 工作輪調

— 減少高暴露時間

■ 製程作業自動化

— 減少暴露時間



53



勞工輪班制

◆ 實施原則：

每日工作量仍為八個小時，但將勞工於低噪音與高噪音場所的**工作時間**相互搭配，可使工作日時量平均暴露量在容許限量下，避免造成聽力損失





舉例

虹邦工廠製作模具區之噪音量高達100dB(A)，而產品包裝區噪音量則為50dB(A)，故可將模具區白天上班八個小時，分為二個以上的人輪班，以減少噪音暴露劑量的累計



工作調整輪調



實施原則：

勞工於噪音場所中工作，為避免因長期暴露於噪音環境下導致聽力損失，**可每隔一段時間調整勞工的工作性質**，輪調不同產業地區之勞工，變換其工作環境，以降低其聽力嚴重受損之發生率



舉例



阿雄第一週(或月)負責噪音高達90dB(A)之成品加壓區，為避免阿雄長期接受過量之噪音暴露劑量，經由計畫執行人員調配，待第二週(或月)則將他轉至噪音60dB(A)的貨物包裝區，以減少長期的高噪音暴露



以自動化作業替代



實施原則：

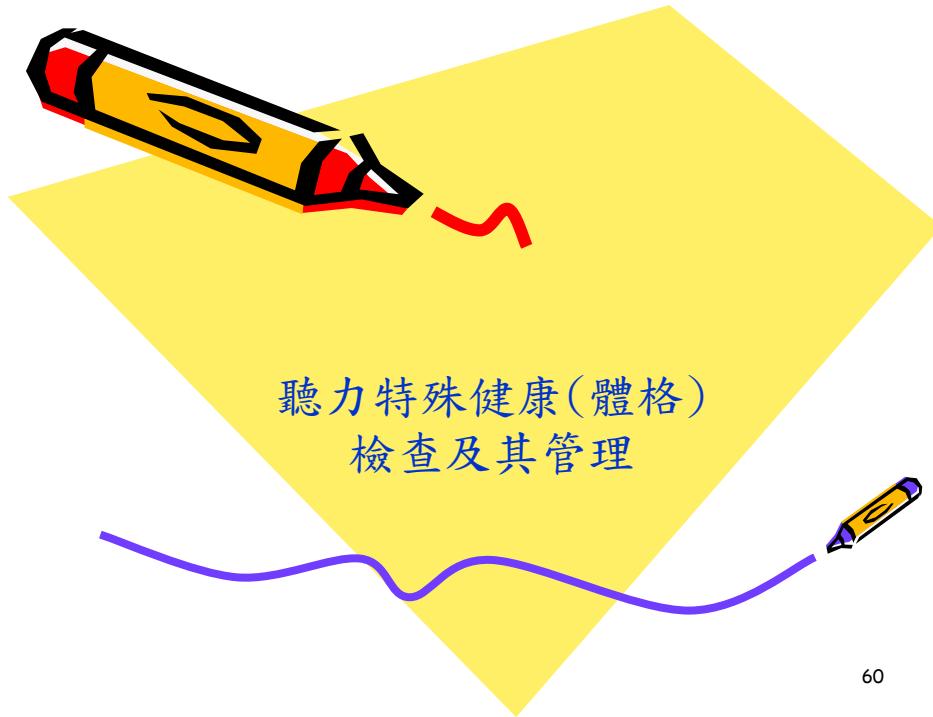
於高噪音作業環境下，應儘量以自動化機械作業取代人工作業，使勞工減少至噪音場所的時間，並減少暴露之勞工人數





舉例

阿峰公司因生產線噪音值高達100dB(A)，經雇主與計畫執行人員商量後，將部份生產線改為自動化作業，以減少勞工噪音作業時間，及暴露之勞工人數



目的

建立勞工基準聽力圖：

1. 作為評估勞工噪音暴露對聽力影響的依據。
2. 提供日後勞工聽力變化之比對基準。
3. 作為聽力保護計畫執行成果之稽核

創造勞資雙贏：

1. 提供雇主選工、配工的參考。(適才適所)
2. 預防勞工聽力損失。(勞工健康)

61

分級健康管理

(勞工健康保護規則第13條)

- 第一級管理：特殊健康(聽力)檢查結果全部正常，或部份項目異常，但經醫師綜合判定為無異常者。
- 第二級管理：特殊健康(聽力)檢查結果部份或全部項目異常，但經醫師綜合判定為異常者，但可能與職業原因無關者。
- 第三級管理：特殊健康(聽力)檢查結果部份或全部項目異常，但經醫師綜合判定為異常者，但可能與職業原因有關者。

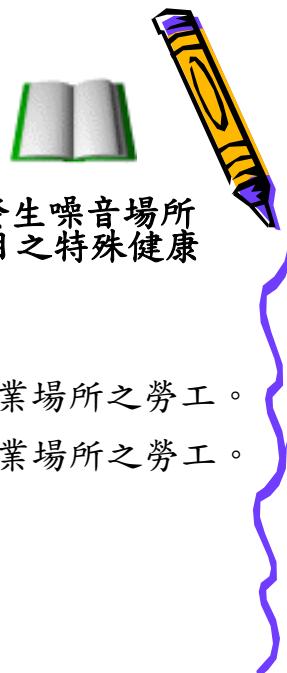
第四級管理：特殊健康(聽力)檢查結果部份或全部項目異常，但經醫師綜合判定為異常者，且與職業原因有關者。

62

確定需實施勞工特殊體格 及健康檢查的勞工

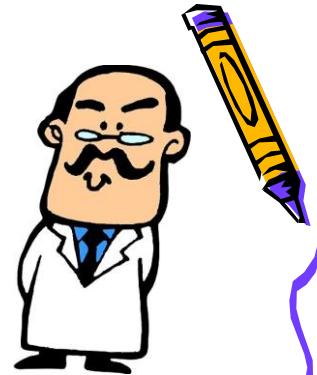
 依法令規定，雇主對於顯著發生噪音場所作業之員工應實施體格檢查及定期項目之特殊健康檢查。

1. 新進勞工。
2. 新調職到噪音特別危害作業場所之勞工。
3. 調職離開噪音特別危害作業場所之勞工。
4. 離職勞工。
5. 在職勞工。



選擇合格之健檢醫院

由部分噪音工廠歷年聽力檢查結果發現，各年聽力測值變異極大（甚至出現由差→好等不正常現象）。



為求得準確之聽力檢查結果，事業單位應針對造成不準確之原因，要求執行聽力檢查之醫療院所、安全衛生管理人員與勞工等注意與避免。



聽力檢查前的注意事項

- 員工於聽力檢查前一天應睡眠充足，且勿酗酒
- 檢查前的14小時內勿暴露在80分貝以上的噪音下，包括吵雜的音樂、射擊或電鑽工具…等。
- 若真的無法避免接觸噪音，則接受測試的勞工需設法降低接觸噪音的時間至最少，並在噪音級大於等於85分貝時，確實佩戴防音防護具。
- 若有耳朵疾病者，可先至醫院診治後，再進行檢查。



65



當天測試前注意事項

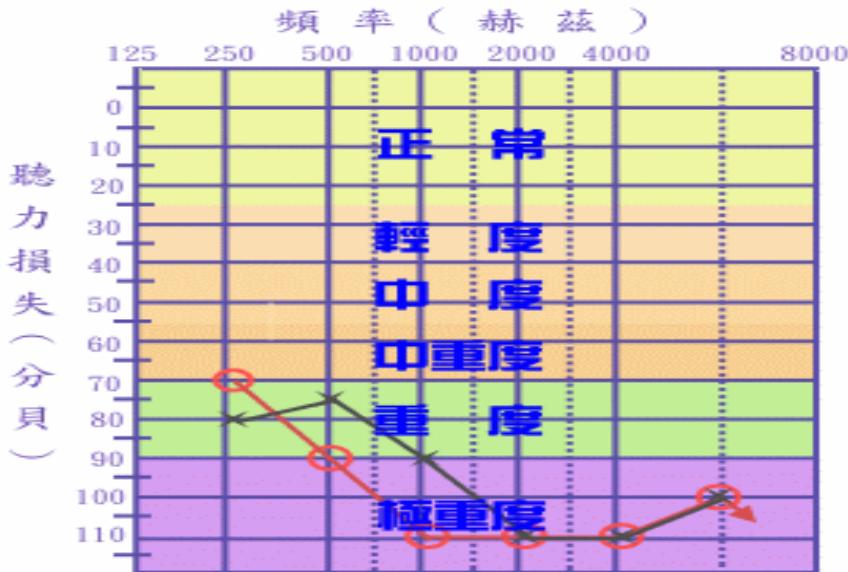
- 5分鐘前抵達檢查地點
- 由醫師或聽力師詢問病史和瞭解其溝通能力
- 耳道物理檢查—清除耳垢
- 勿吃東西、嚼檳榔、口香糖



66



聽力損失之聽力圖



聽力檢查結果→聽力圖

- 聽力測定計畫中的聽力圖有兩種：
 - **基準聽力圖**(聽力基準線)是指勞工第一次測得的聽力圖
 - **年聽力圖**則是用來監控聽力的變化，做成記錄建檔，同時作為未來聽力保護計畫的績效考核的參照。

附表 3-2 定期聽力檢查之結果

聽力結果 (dB)	左耳(Hz)						右耳(Hz)					
	500	1000	2000	3000	4000	6000	500	1000	2000	3000	4000	6000
職前	5	0	0	10	10	5	0	5	5	10	10	10
第一年	0	0	0	10	10	10	5	5	5	10	15	11
第二年	5	5	0	10	15	10	0	5	5	15	20	15
第三年	0	5	5	15	15	15	5	5	5	15	25	10
第四年	5	5	10	15	20	20	0	5	5	20	25	15
職前與第四年比較	0	+5	+10	+5	+10	+15	0	0	0	+10	+15	+5
2K/3K/4KHz 之平均			8.3							8.3		

2K, 3K, 4KHz 平均閾值 > 10dB為聽力閾值變差

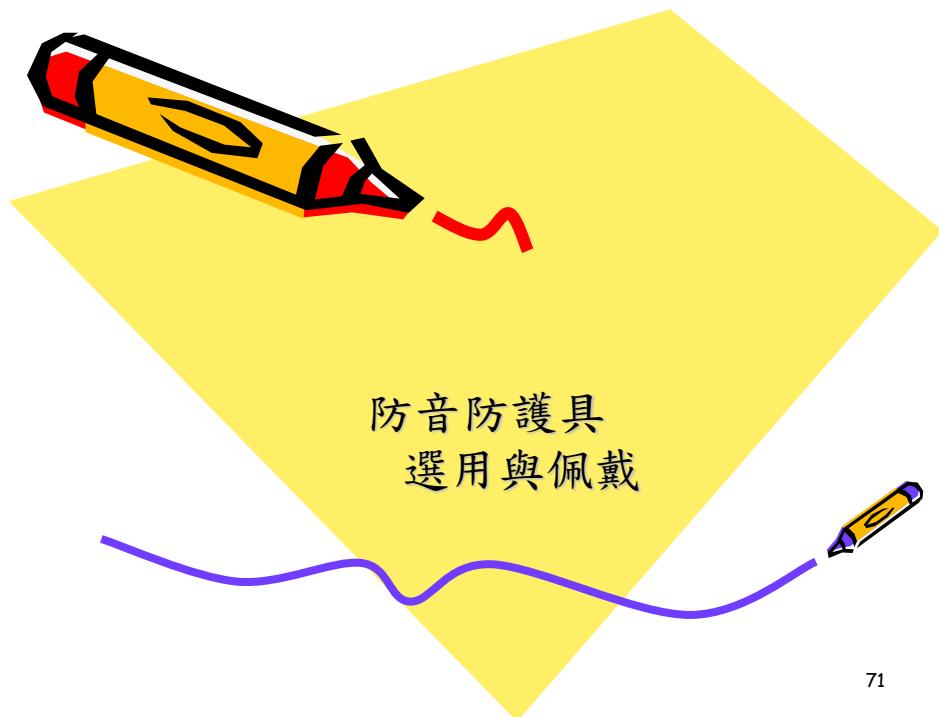
69

年齡校正

單位 : dB

	頻率(Hz)	500	1k	2k	3k	4k	6k
(1)	基準聽力閾值 ^{*1}	8.2	6.1	3.6	4.9	5.8	6.7
(2)	入廠五年年聽力閾值	12.7	14.6	15.5	22.4	29.6	20.9
(3)	入廠後聽力閾值 變化值=[(1)-(2)]	4.5	8.5	11.9	17.5	23.8	14.2
(4)	20 歲男性聽力閾值常模值 ^{*2}	-	7.0	3.0	4.0	6.0	6.0
(5)	25 歲男性聽力 閾值常模值	-	9.0	6.0	8.0	11.0	13.0
(6)	年齡導致之 聽力衰減值=[(4)-(5)]	-	2.0	3.0	4.0	5.0	7.0
(7)	職業暴露導致之聽力 衰減值=[(3)-(6)]	4.5	6.5	8.9	13.5	18.8	7.2

70



71

防音防護具之種類

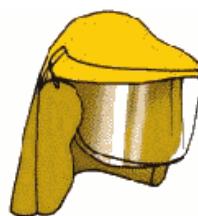
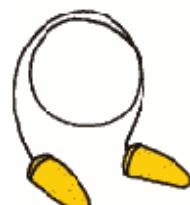
依遮音性能、方便性與實用價值
考量，並視現場狀況而作選擇

耳罩



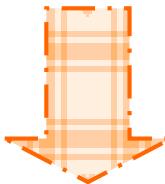
特殊型

耳塞



防音防護具之佩戴目的

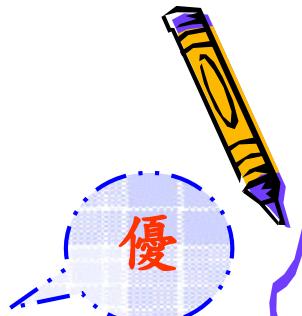
最主要目的



對聲音有阻隔作用，降低
外界噪音對聽覺細胞的影
響，有效避免聽力損失。



耳罩之優點



1. 可重複使用
2. 體積大，不易遺失
3. 保養清潔容易、不易發生感染
4. 耳疾患者可適用
5. 易於查核勞工佩戴情形



耳塞之優缺點

1. 便宜，可隨時替換
2. 體積小、重量輕、易攜帶
3. 不影響頭部活動
4. 可搭配其他防護具使用
5. 適合高溫、高濕、灰塵多之環境使用

優

缺

耳塞會因說話、吞口水等動作而漸漸
被擠壓脫落，使得一段時間後，需取出重
戴；且耳疾患者不適用。

75

佩戴方法

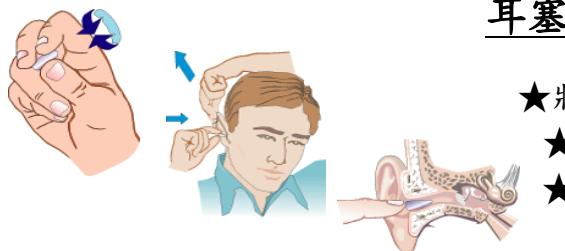
耳罩

- ★ 將頭髮撥離耳朵
- ★ 拇指與中指調整頭帶
至緊貼頭部
- ★ 檢查耳墊確定有良好
氣密性



注意 莫用力拉扯頭帶

76



耳塞

- ★ 將耳塞揉捏成細長條狀
- ★ 一手將耳朵向外向上拉高
- ★ 另一手將耳塞插入耳道

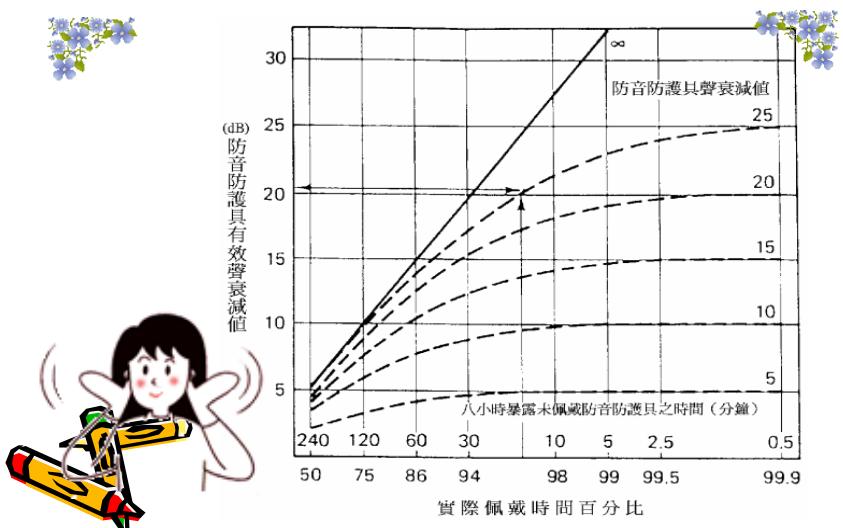


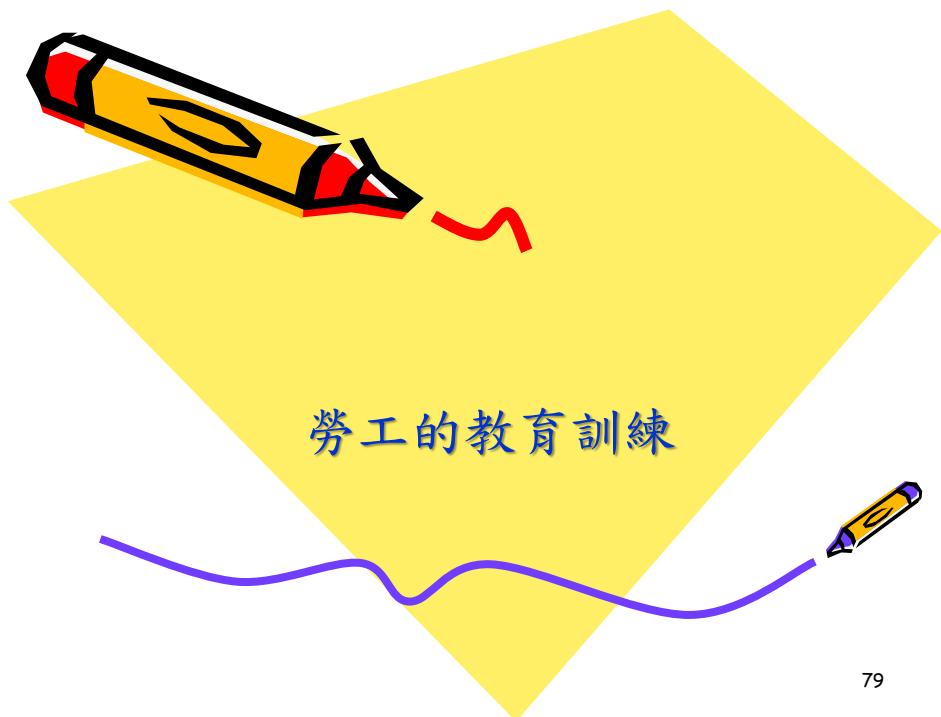
- 1、柔捏耳塞時，手指需保持乾淨，勿有油脂灰塵
- 2、取耳塞時宜緩慢，以免傷害耳朵



77

佩戴時間與防音防護具 有效聲衰減值變化情形





79

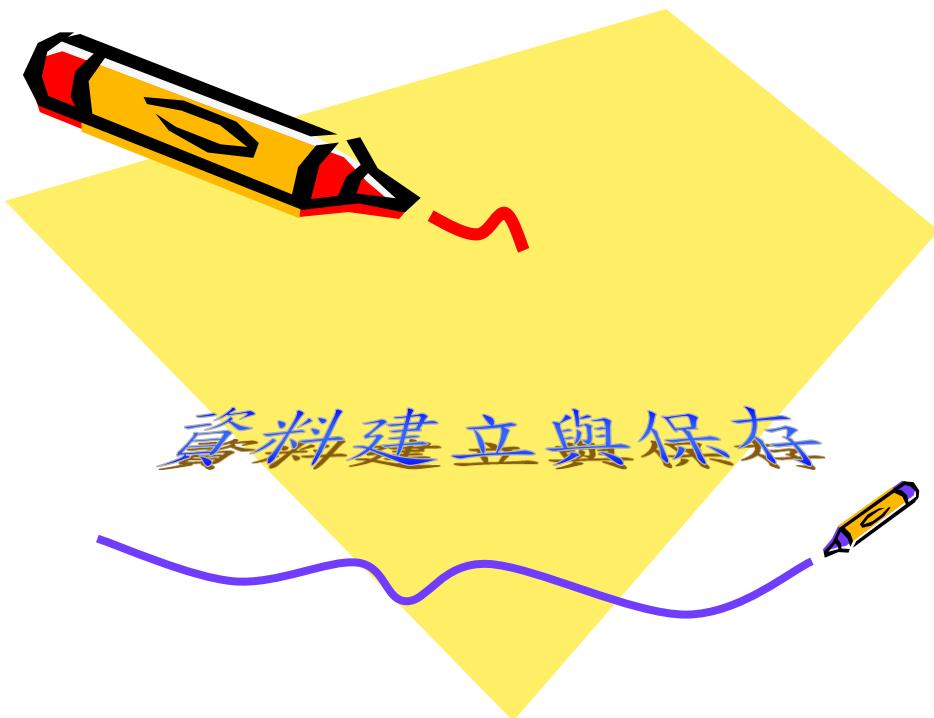


80

教育訓練方式



資料建立與保存



資料建立與保存的目的



聽力保護計畫
績效評估

績效評估之目的

● 檢討計畫執行成效



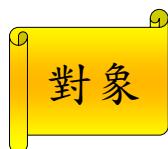
● 藉評估結果適時對計畫執行進行修正



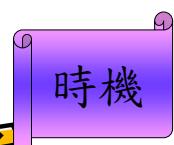
最終目的 → 保護勞工聽力健康



勞工個人層面



所有暴露於85分貝以上噪音
作業勞工



每年聽力檢查時實施



勞工個人層面

評估

勞工有聽力損失即表示計畫對勞工而言是失敗的

OSHA 規定



任一耳在2000、3000、4000Hz之平均聽力閾值變差達10dB以上者，稱為標準聽力閾值改變（STS）。

計畫整體層面

比較噪音暴露組
與
未暴露對照組
的聽力損失發生率

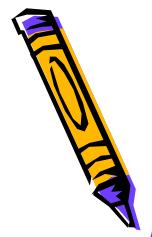
評估聽力檢查資料正確性

若兩組發生率相近，表示整體聽力保護計畫績效良好。

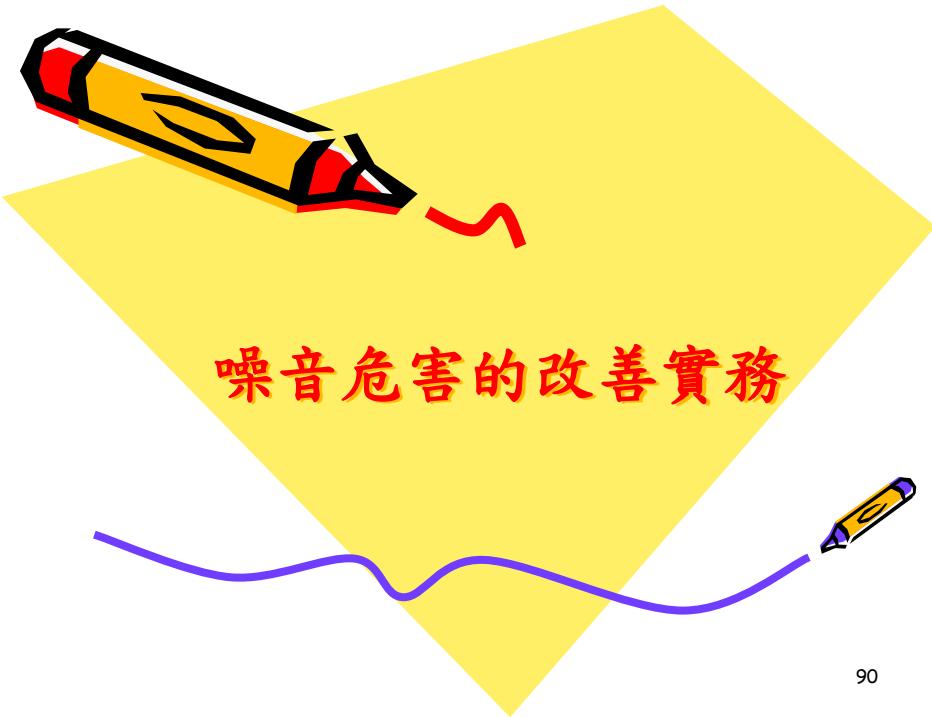


評估聽力檢查資料

►以各年間群體聽力閾值的變異性來評估聽力監視計畫的適當性，若連續兩年聽力閾值變異性很大，表示聽力檢查過程有瑕疵不當。



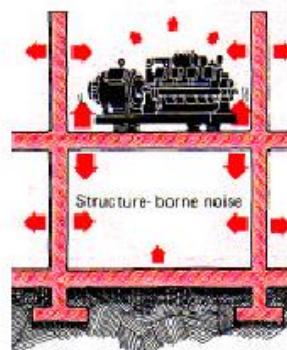
噪音危害的改善實務



噪音防制策略

Solving Noise Problems:

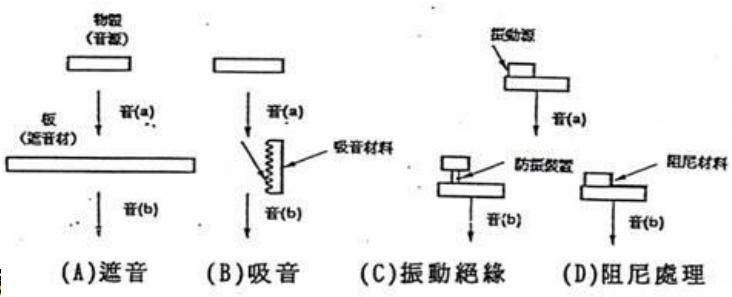
Any noise producing system can be broken down into three separate elements:



91

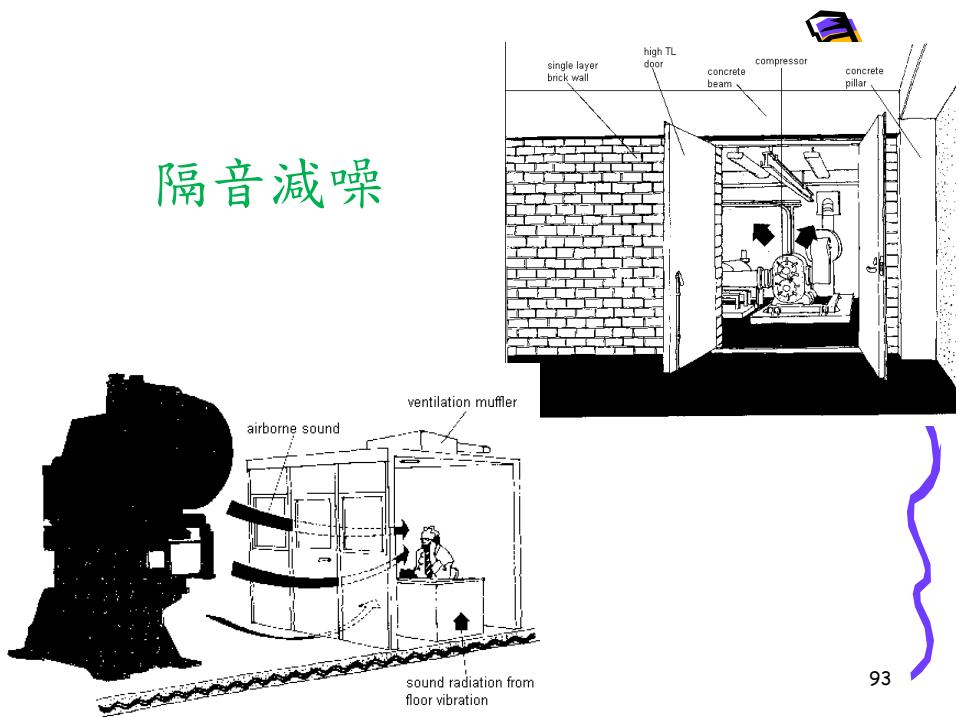
噪音控制方式

- 隔音(sound insulation)、吸音(sound absorption)、阻尼(damping)、振动隔绝(vibration isolation)

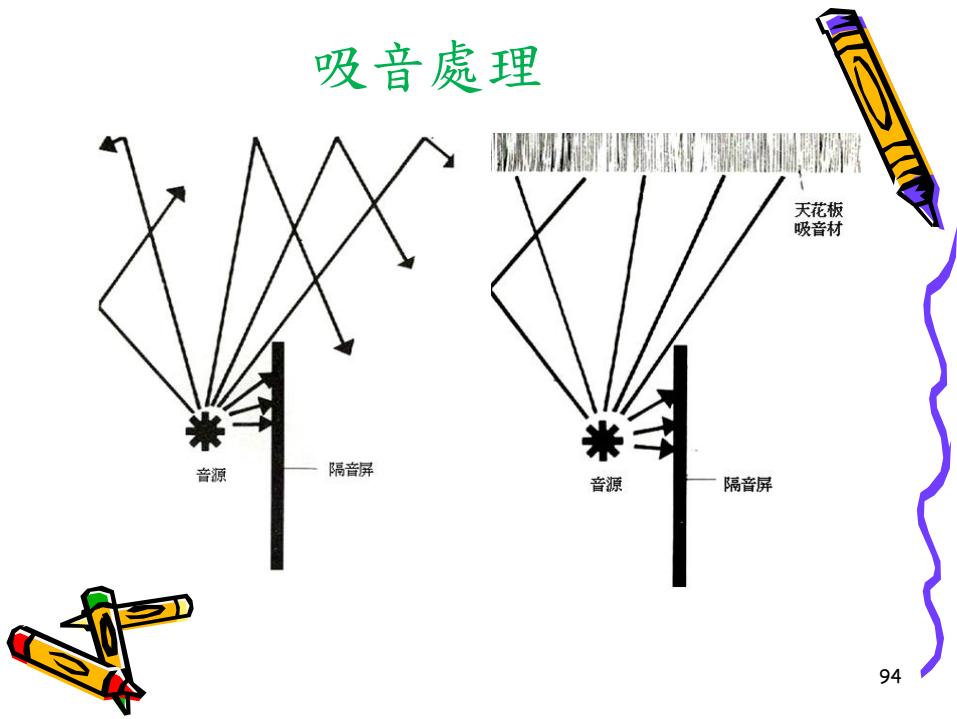


92

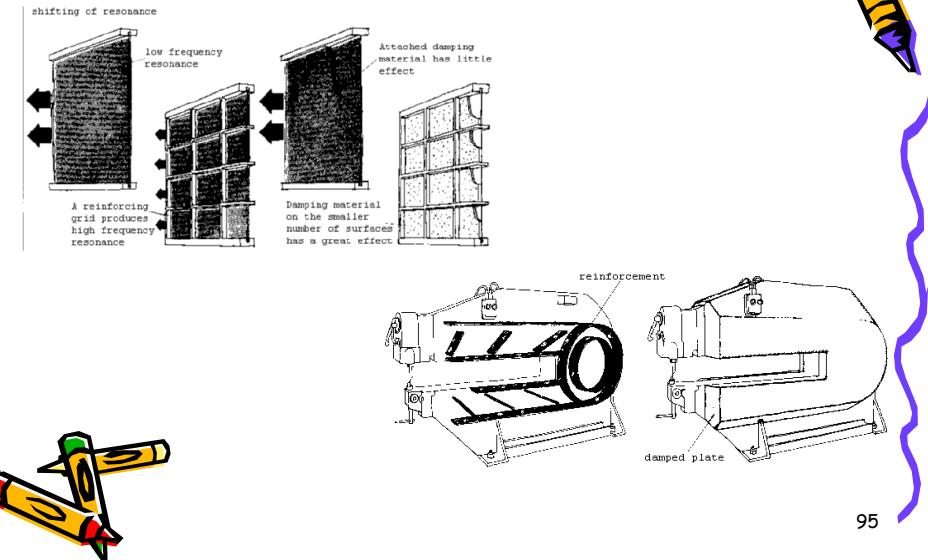
隔音減噪



吸音處理

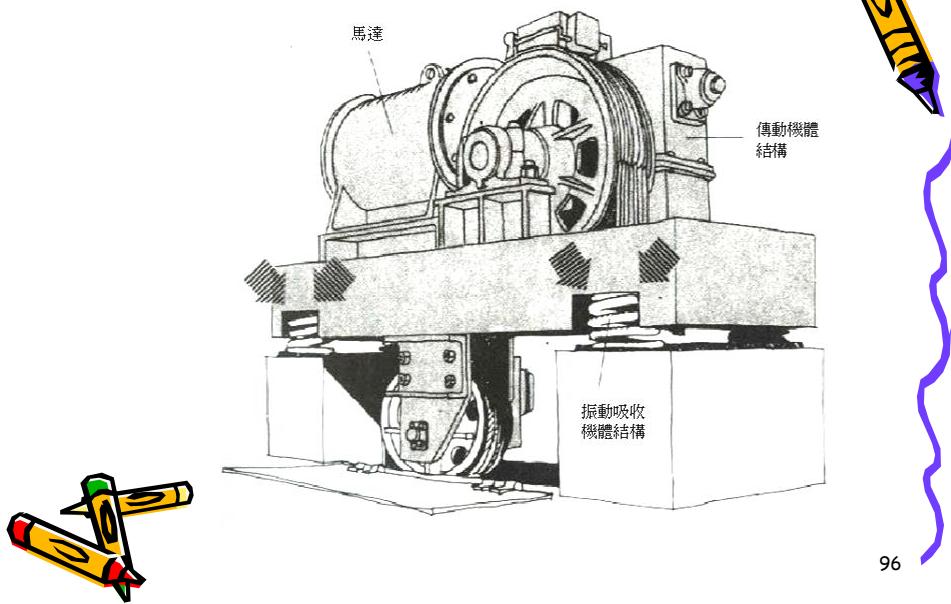


阻尼處理

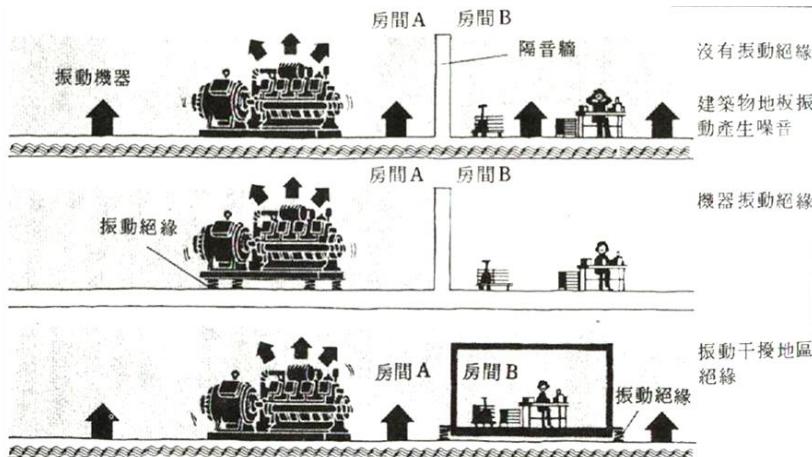


95

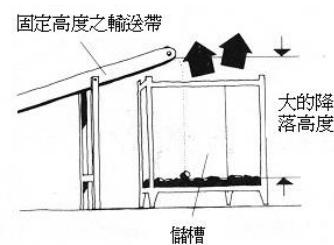
振動隔離



96



97



降低物體降落之高度



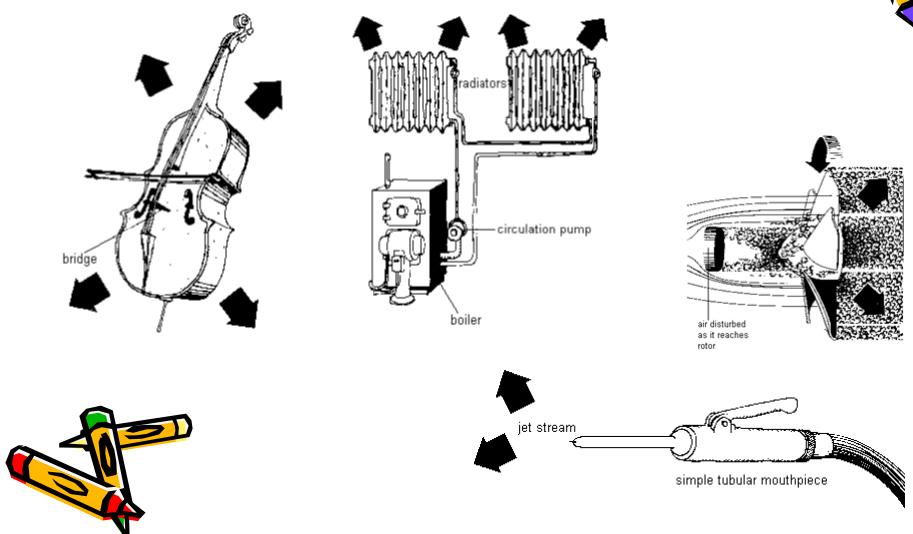
98

噪音控制

- 一個噪音問題可從噪音源、傳播途徑、受音者三方面考量控制措施，其中噪音源為問題主要部份，如果音源產生的聲音能降低，則環境中較無噪音的問題。
- 音源聲音的降低，主要仍在機台製造商的設計與製造階段。如從使用者進行改善，主要採取隔音、消音、隔振、阻尼、潤滑、平衡等措施。
- 噪音問題藉由將噪音源密閉、阻擋、與吸收，以減少空氣音傳播是常用的方法。

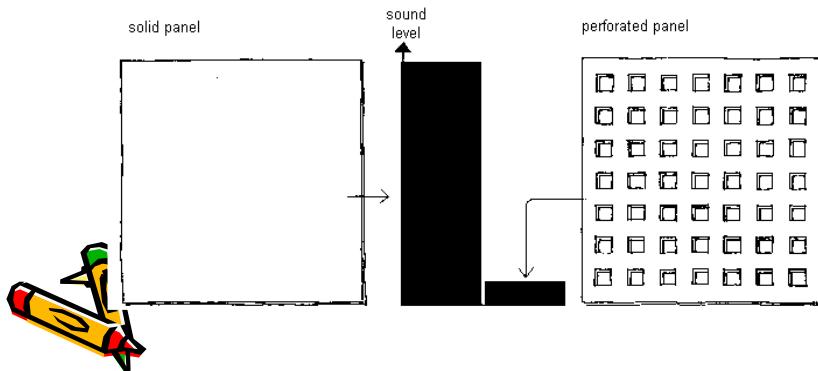
99

噪音的產生



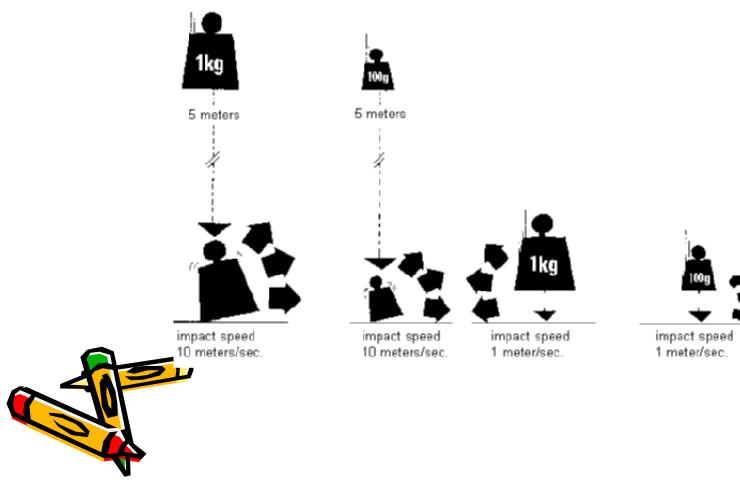
孔板產生較少噪音

大面積的振動面在現場很難避免，平面振動如同幫浦來回推擠空氣，產生聲音。假如平面有孔洞則幫浦推擠效應變差，因此產生較小的聲音。

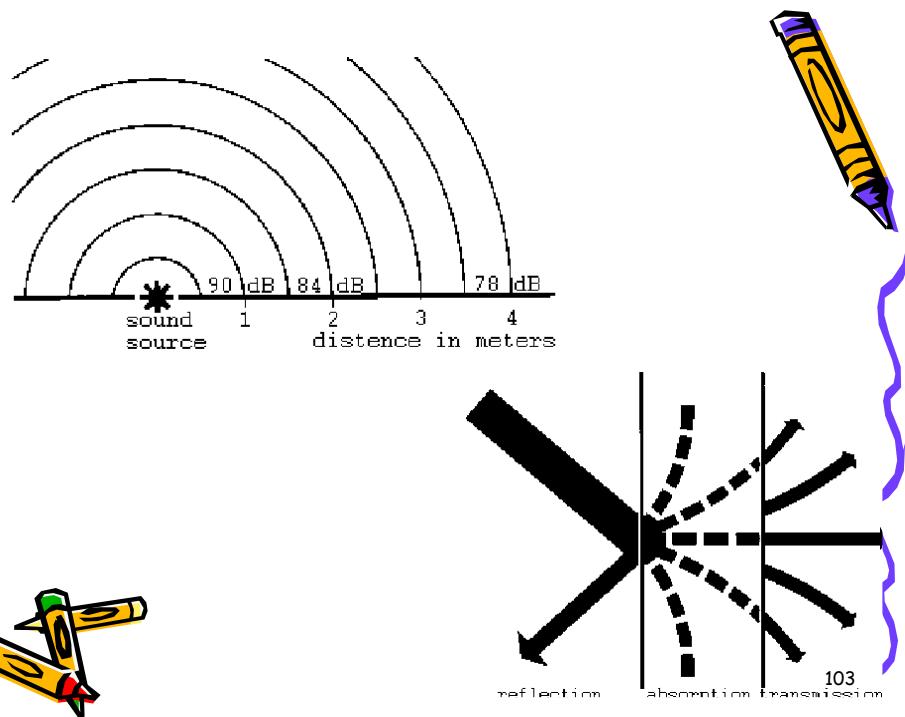


101

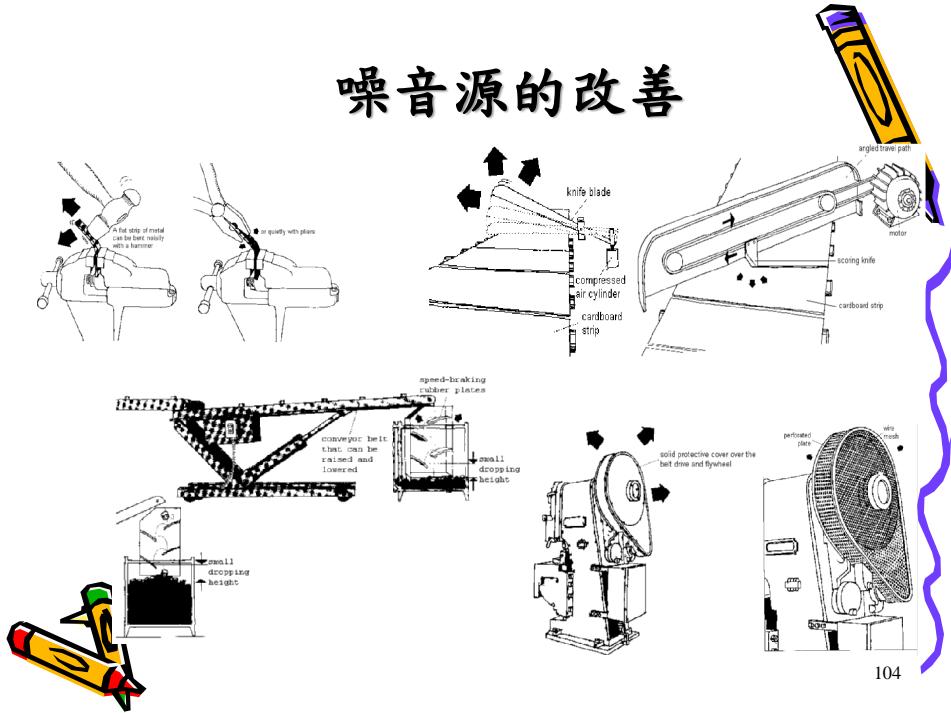
低速重量輕的物體產生最小的衝擊噪音



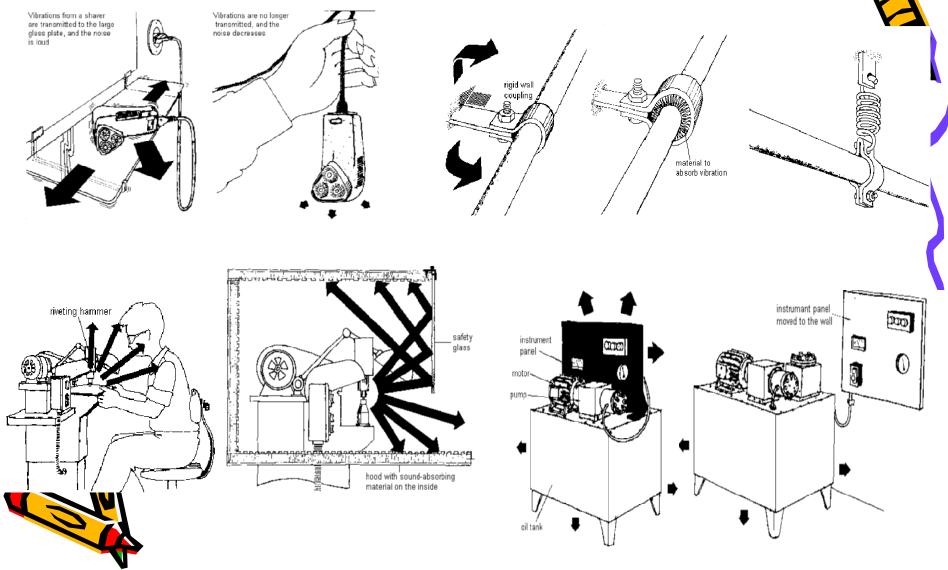
102



噪音源的改善



傳播途徑改善

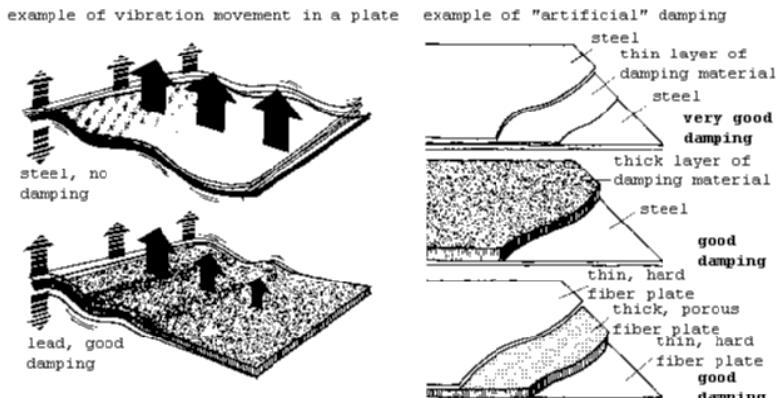


降低噪音暴露的方法

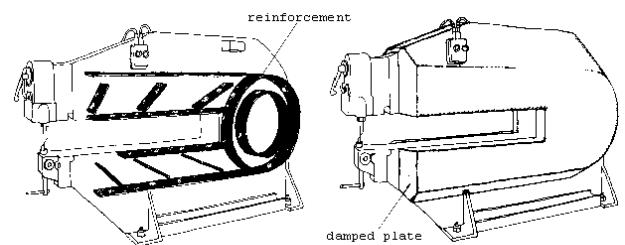
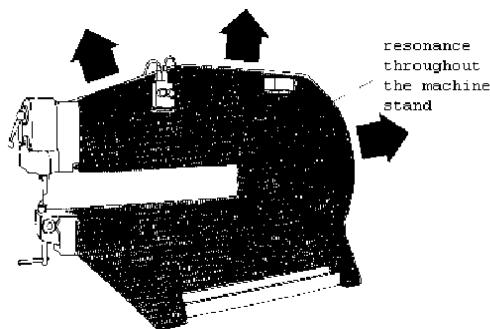
- 較不需更改機械設備的控制方法
 - 適當的維修與保養、改變勞工操作習慣、更換設備、振動零件的隔絕與減振、改變噪音設備的位置等
- 需增加裝置至機械設備上的控制方法
 - 裝設防音屏障、裝設包圍式隔音裝置(半包圍式與全包圍式)、鋪設包覆式隔音(風管與管路等)、加裝消音器、鋪設吸音材、增加房間的吸音力等
- 變更設計的控制方法
 - 物件墜落容器裝設軟性材質或減少墜落高度、以滑落代替墜落，減少撞擊發生、改變凸輪曲線減少產生衝擊狀況、使用軟性材料或緩衝裝置減少機械衝撞、更換金屬材質的輸送設備等

使用個人防護具

阻尼面產生較小聲響



107



108

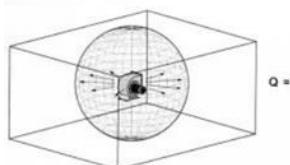
音功率級與音壓級

$$L_p = L_w + 10 \log \left[\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right]$$

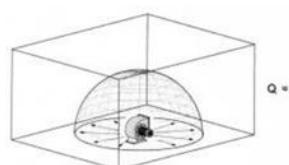
- L_p ：音壓級 (dB)，參考值 = 2×10^{-5} Pa；
- L_w ：音功率級 (dB)，參考值 = 10^{-12} W；
- Q：音源方向因子；
- r：音源距離 (m)；
- R：室常數 = $\frac{S\alpha_{av}}{1 - \alpha_{av}}$ ；
- S：室內總面積 (m^2)；
- α_{av} ：室內平均吸音係數。

109

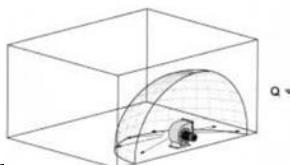
音源方向因子



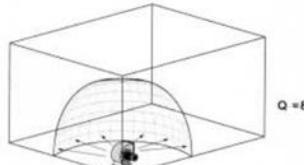
$Q = 1$



$Q = 2$



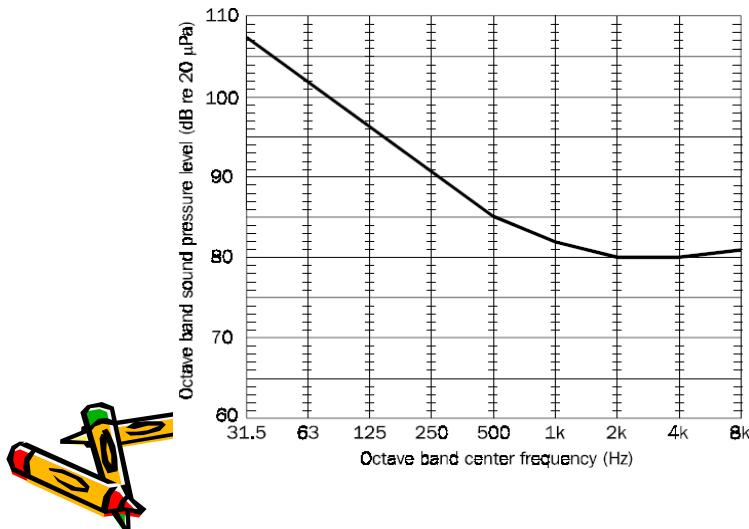
$Q = 4$



$Q = 8$

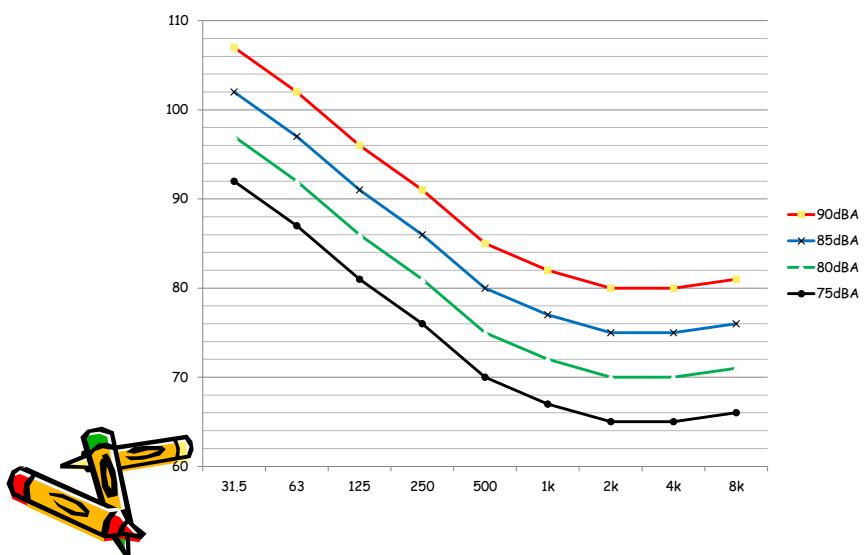
110

OSHA的目標線圖(90dBA)



111

目標頻譜圖



112

隔音箱選材計算

		31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	備註
1	距離音源0.5米	80	82	84	87	86	93	88	80	81	
2	目標值(90dBA)	107	102	96	91	85	82	80	80	81	查圖表
3	降低量					1	11	8			
4	變動容許量					3	3	3			安全係數
5	迴響效應					15	15	15			計算所得
6	隔音箱TL值					19	29	26			

$$L_p = L_w + 10 \log \left[\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right] \quad R = \frac{S\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$$

改善前 R1與改善後 R2

$$L_p = L_w + 10 \log \left[\frac{2}{4\pi(0.5)^2} + \frac{4}{R_1} \right] = L_w + 1$$

$$L_p = L_w + 10 \log \left[\frac{2}{4\pi(0.5)^2} + \frac{4}{R_2} \right] = L_w + 16$$

迴響效應增加15分貝

113



材料	面密度 kg/m ²	隔音量(dB)					Material	lb/sq ft	Frequency					
		125	250	500	1000	2000			125	250	500	1000	2000	4000
鋁板 ^o	2.6 ^o	13 ^o	12 ^o	17 ^o	23 ^o	29 ^o	33 ^o		22	24	29	33	40	43
鋁板 ^o	5.2 ^o	17 ^o	18 ^o	23 ^o	28 ^o	32 ^o	35 ^o		19	20	24	27	33	39
鋼板 1mm ^o	7.8 ^o	19 ^o	20 ^o	26 ^o	31 ^o	37 ^o	39 ^o		20	24	27	33	39	43
鋼板 1.5mm ^o	11.7 ^o	21 ^o	22 ^o	27 ^o	32 ^o	39 ^o	43 ^o		21	25	29	34	40	47
鋼板 2mm ^o	15.6 ^o	24 ^o	26 ^o	29 ^o	34 ^o	42 ^o	45 ^o		21	26	30	35	42	49
鋼板 2.5mm ^o	19.5 ^o	29 ^o	31 ^o	32 ^o	35 ^o	41 ^o	43 ^o		20	25	29	34	41	48
鋼板 3mm ^o	23.4 ^o	28 ^o	31 ^o	32 ^o	35 ^o	42 ^o	42 ^o		19	23	27	32	39	46
鋼板 4mm ^o	31.2 ^o	31 ^o	34 ^o	36 ^o	37 ^o	41 ^o	33 ^o		19	23	27	32	39	47
紙面石膏板 ^o	8.8 ^o	14 ^o	21 ^o	26 ^o	31 ^o	30 ^o	30 ^o		11	17	23	25	26	28
無紙石膏板 ^o	24 ^o	29 ^o	27 ^o	30 ^o	32 ^o	30 ^o	40 ^o		23	28	34	37	40	43
加氯鈣塊牆(抹灰) ^o	70 ^o	30 ^o	30 ^o	30 ^o	40 ^o	50 ^o	56 ^o		25	28	32	36	40	47
加氯鈣板牆(噴漿) ^o	80 ^o	33 ^o	32 ^o	32 ^o	40 ^o	48 ^o	60 ^o		23	28	33	37	40	46
加氯鈣塊牆(抹灰) ^o	140 ^o	29 ^o	36 ^o	39 ^o	46 ^o	54 ^o	55 ^o		23	28	33	37	40	47
加氯鈣板牆(噴漿) ^o	160 ^o	31 ^o	37 ^o	41 ^o	45 ^o	51 ^o	55 ^o		48	29	35	43	44	50
									36	33	34	35	38	46

材料名稱	頻率Hz					
	125	250	500	1 k	2 k	4 k
32k·50mm 厚玻璃棉	0.24	0.63	0.99	0.97	0.98	0.99
240k·60mm 厚礦棉	0.25	0.55	0.78	0.75	0.87	0.91
2" 厚山型吸音泡棉	0.15	0.17	0.49	0.73	0.66	0.68
3" 厚 CSI 水泥發泡吸音板	0.23	0.60	0.99	0.97	0.95	0.96
6" 檻縫空心吸音磚	0.62	0.84	0.36	0.43	0.27	0.50
普通玻璃	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
1.3mm 木板，背後25mm空氣層	0.30	0.30	0.16	0.10	0.10	0.10
混凝土牆、磨石子地面等	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02



114

某機械裝置在50x30x10m室內，房屋地板/天花板為混凝土且牆為磚造構成，運轉噪音達93dB，如使用鋼板建造3x3x3m之隔音箱將機械噪音隔離，使室內噪音降至85dB，請問如何選擇隔音材？

• 決定所需材料的TL

1.先算屋內 L_{p1}

$$\alpha = \frac{(50 \times 30 \times 2 \times 0.02) + (30 \times 10 \times 2 \times 0.04) + (50 \times 10 \times 2 \times 0.04)}{3000 + 600 + 1000} = 0.027$$

$$R = \frac{4600 \times 0.027}{1 - 0.027} = 128m^2$$

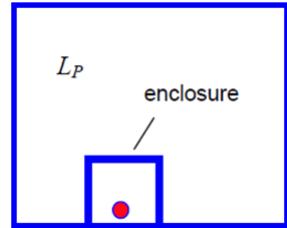
$$L_{p1} = L_w + 10 \log \left[\frac{2}{4\pi(1.5)^2} + \frac{4}{128} \right] = L_w - 9.9dB$$

2.再算箱內 L_{p2}

$$R = \frac{54 \times 0.02}{1 - 0.02} = 1.1m^2$$

$$L_{p2} = L_w + 10 \log \left[\frac{2}{4\pi(1.5)^2} + \frac{4}{1.1} \right] = L_w + 5.7dB$$

決定TL
 $L_{p2} = 8 + 5 + 15.6 = 28.6dB$



115

承上例:如在隔音箱內鋪設吸音材，有何差異？

假設選用吸音係數為0.9的吸音材料，

則隔音室內平均吸音係數變為

$$R = \frac{54 \times 0.9}{1 - 0.9} = 486m^2$$

$$L_{p2} = L_w + 10 \log \left[\frac{2}{4\pi(1.5)^2} + \frac{4}{486} \right] = L_w - 11dB$$

$$TL = 8 + 5 - 1 = 12dB$$



使用吸音材降低環境噪音

- 在反射效應較強的聲場環境，如以吸音材料改善，理論上達到的降噪效果，可以下式估算：

$$NR = 10 \log \left(\frac{A_2}{A_1} \right)$$

式中 A_1 為改善前室內總吸音力(米沙賓)

A_2 為改善後室內總吸音力(米沙賓)

NR 為噪音降低量(dB)



117



室內之聲音總吸收(吸音值)

$$\begin{aligned} A &= \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i \\ &= \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n \\ &= \bar{\alpha} S \end{aligned}$$



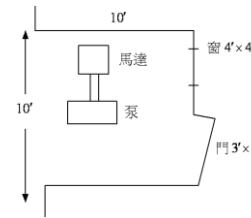
118

$$S = \sum_{i=1}^n S_i$$

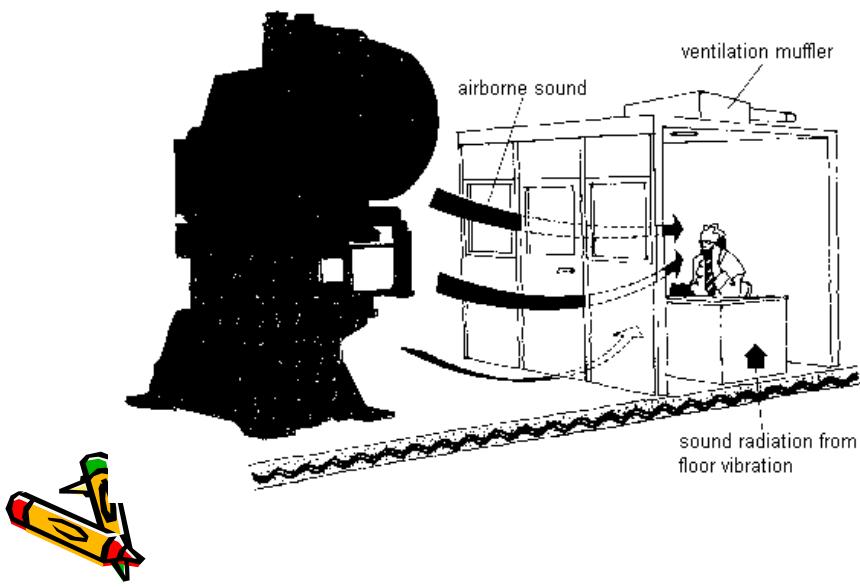


吸音材改善案例

- 有一 $10' \times 10' \times 8'$ 混凝土與磚牆構造小屋，內有馬達與抽水泵。小屋有一面牆為對外開放，另一面有玻璃窗與鐵門，如圖示。
- 在兩牆與天花板加鋪 $1'$ 厚 $3\text{lb}/\text{ft}^3$ 玻璃纖維板改善
- 改善前
 - $81(125\text{Hz})$ 、 $88(250\text{Hz})$ 、 $92(500\text{Hz})$ 、 $95(1\text{kHz})$ 、 $92(2\text{kHz})$ 、 $91(4\text{kHz})$ dBA
- 改善後
 - $81(125\text{Hz})$ 、 $86(250\text{Hz})$ 、 $88(500\text{Hz})$ 、 $90(1\text{kHz})$ 、 $87(2\text{kHz})$ 、 $86(4\text{kHz})$ dBA
- 噪音減少
 - 0 、 2 、 4 、 5 、 5 、 5 dBA



119



120

隔音室(Enclosure)

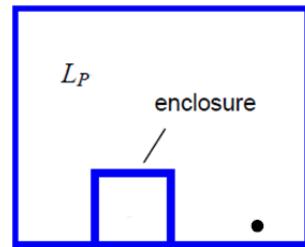
$$NR = TL - 10 \log \left(\frac{S_w}{R} + \frac{1}{4} \right)$$

式中 NR 為隔音室內外的音壓級差(dB)

TL 為隔音室傳送損失(dB)

S_w 為隔音室外部的暴露面積(m^2)

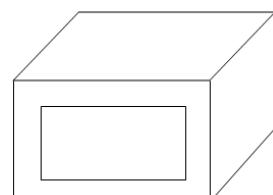
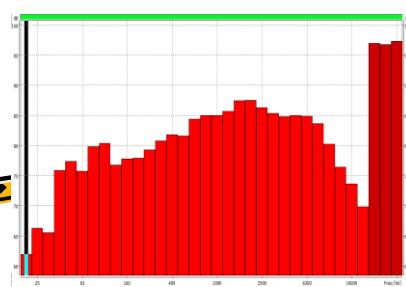
R 為隔音室內部的室常數(m^3)



121

隔音室改善案例

- 某作業場所噪音高達97dBA，在該區域內建造隔音室($15' \times 10' \times 8'$)做為中控室或休息室，並使室內噪音在75dBA以下，以改善作業人員噪音暴露劑量。



122

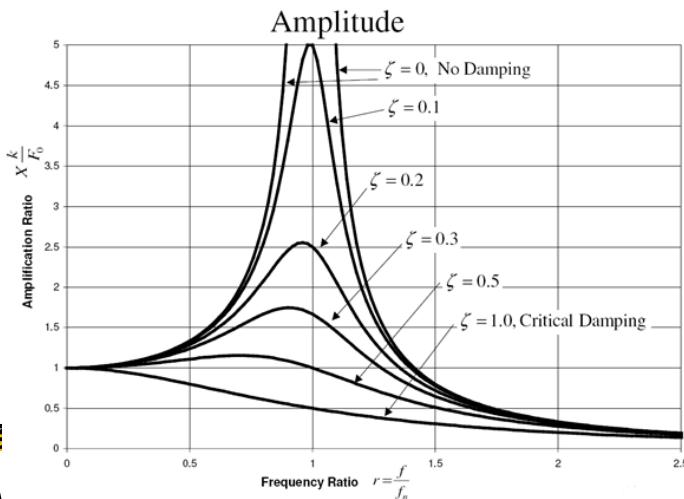
- 中控室在500Hz之平均吸音係數(假如
泥地板 $\alpha=0.02$ 、泡棉天花板 $\alpha=0.60$ 、合板
牆壁 $\alpha=0.17$ 、玻璃窗 $\alpha=0.04$) 計算如下：

- 平均 $\alpha = [(15 \times 10 \times 0.02) + (15 \times 10 \times 0.60) + (10 \times 8 \times 2 \times 0.17) + (15 \times 8 \times 0.17) + (10 \times 4 \times 0.04) + (80 \times 0.17)] / (240 + 160 + 300) = 0.22$
- $R = (700 \times 0.22) / (1 - 0.22) = 197$
- $22 = TL - 10 \log(1/4 + 550/197) = TL - 4.8$
- $TL = 26.8 \text{ dB}$



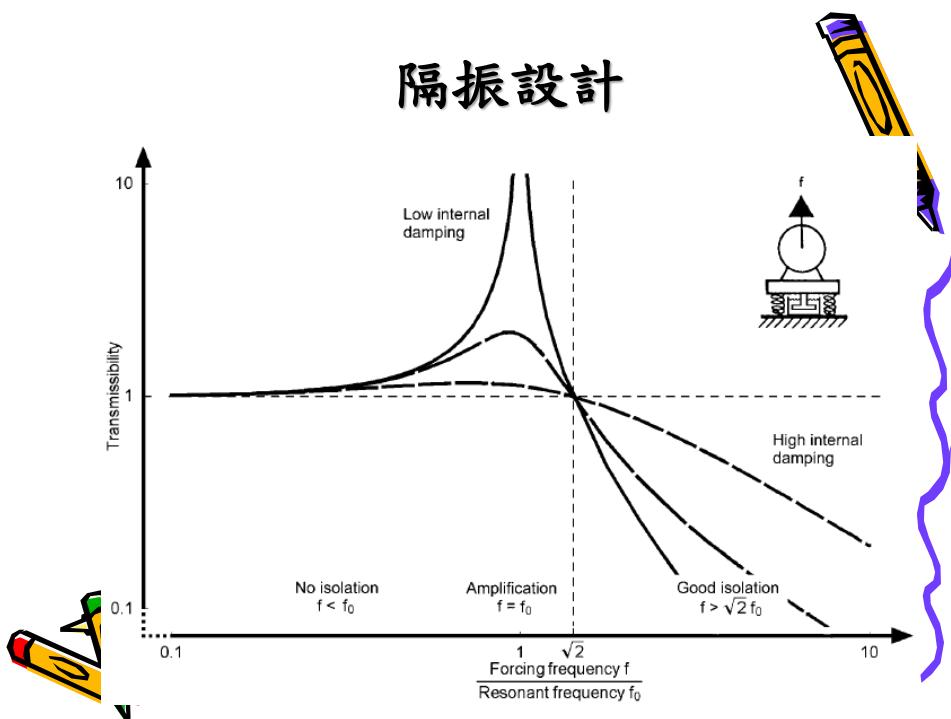

		125	250	500	1k	2k	4k	8k
1	目前噪音頻譜	83	83	87	89	90	90	88
2	改善目標(75dBA)	81	76	70	67	65	65	66
3	降噪分貝數	2	7	17	22	25	25	22
4	噪音變動量	5	5	5	5	5	5	5
5	NR需求值	7	12	22	27	30	30	27
6	中控室內反射增加量 (計算過程如下)		4.6	4.8	4			123
7	TL需求值		16.6	26.8	31			

阻尼強迫振動系統的反應

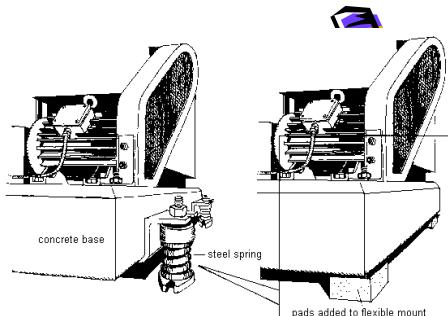
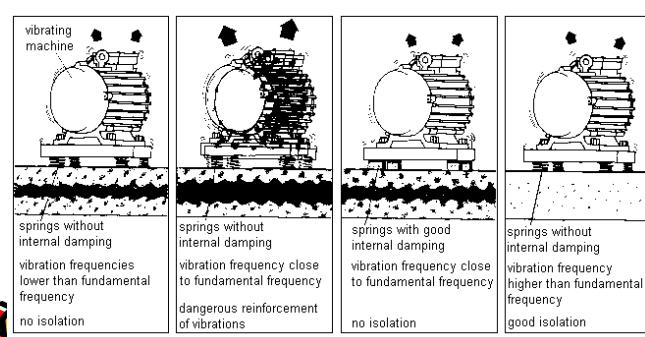


124

隔振設計



錯誤的選擇 將擴大振動





127