

## 以音壓級測定值預估音源貢獻度研究

盧士一、葉文裕、于台珊

行政院勞委會勞工安全衛生研究所

台北縣汐止市橫科路 407 巷 99 號

電話：02-2660-7600 Fax：02-2660-7732

E-mail：sylu@mail.iosh.gov.tw

### 摘要

減少勞工因暴露於噪音作業環境以致聽力受損，作業場所進行工程改善時，如能針對影響最大之噪音源，則可發揮最大改善效果。在辨別最大噪音源時，最簡單的情況是每一噪音源均可被單獨控制開閉，量測各個噪音源分別開或閉時，對噪音變化之影響，便可確定何者為噪音最大之貢獻者。但是，並非所有噪音作業場所之噪音源都可被單獨開閉。本研究以噪音計量測之音壓級做為輸入之基礎數據，在假設噪音源為點音源且同時開啟情況下，由程式計算各位置之噪音，推估噪音源之貢獻量。

### Abstract

In order to reduce noise-induced hearing loss, it shall get better efficiency to work on the dominant source when we decide to proceed an engineering control in workplace. If each source can be turned on and off individually, dominant source shall be identified easily by comparing the difference of sound pressure level while turning source on and off. However, not all noise sources can be turned on and off for some reasons. During this study, a computer codes was written to calculate source contributions with sound pressure levels as inputs.

**關鍵字：**噪音評估、噪音控制、音源貢獻度

## 一、前言

對於作業場所之噪音問題解決的第一步就是作業環境測定，這包括作業場所噪音音壓級以及勞工之噪音暴露劑量等資料。如果作業場所噪音音壓超過 90dBA 或勞工暴露劑量超過 100%時，事業單位應運用噪音改善工程控制等方法，或減少作業勞工噪音暴露。以上的數據可直接由噪音計或噪音劑量計測得，或使用區域採樣數據與勞工工作暴露時間，經過計算後可得到噪音暴露劑量(Dose)或日時量平均音壓級(TWA)。當然，無論使用何種方式得到的數值均需與現行法令比較，決定暴露量是否符合規定。當確定噪音問題必須被改善時，管理人員考慮採用以下三種方式控制暴露量，1.工程控制 2.行政管理 3.防音防護具。當然，最好的方式為工程控制，它可能免除使用防音防護具、聽力檢測、以及限制暴露時間的需要，而且溝通更清晰，又能減低令人煩躁的聲音。

在一個多音源的作業場所從事噪音工程改善前，首先應辨別該場所的機械或設備何者是

主要的噪音發生源，再針對該噪音源著手進行改善應是最有效的方式。例如，一個噪音場所包括有三個噪音源分別是 90dB、95dB、101dB，假如進行工程改善時，90dB 的噪音源被消除後，95dB 與 101dB 兩個音源的總和仍有 102dB，假如 90dB 與 95dB 的噪音源被移除，仍有 101dB 的噪音。但是另一方面，假如 101dB 的噪音源被去除後，則噪音場所的噪音僅有 96dB (90dB+95dB) 因此，在噪音工程控制時，辨別最大噪音源並選擇適當位置裝設吸/隔音材，成為噪音改善過程中影響成效的重要關鍵。在辨別最大噪音源時，最簡單的情況是每一噪音源均可被單獨控制開閉，因此，在勞工固定的工作位置量測各個噪音源分別開或閉時，對噪音變化之影響，便可確定何者為噪音最大之貢獻者。但是，並非所有噪音作業場所之噪音源都可被單獨開閉。此時，則可能必須藉由聲強法測定噪音源之聲功率，或由電腦程式模擬音場分佈，進而評估各個噪音源之貢獻度(詳見本所研究報告 IOSH90-H326)。然而，上述方法必須使用特殊且昂貴之儀器設備，如聲強探頭、分析儀、或音場模擬軟體等，僅研究單位有能力執行，一般事業單位則無法以上述方法進行評估。

本研究運用事業單位普遍具有之噪音計作為量測工具，以測得之噪音音壓級為輸入數據，運用電腦軟體以最佳化之計算，推估各個噪音源之聲功率，以作為各噪音源改善順序的參考。

## 二、理論分析

### (一) 公式推導

等向性點音源的音能對周圍聲場產生之音壓級與距離可以下式表示

$$L_p = L_w + 10 \log \left( \frac{Q}{4\pi r^2} \right) \quad (1)$$

其中  $L_w$  為音源聲功率， $r$  為距離， $Q$  為音源方向係數。

請參考圖 1，噪音源  $s_1$ 、 $s_2$ 、...、 $s_m$  對各測點  $m_1$ 、 $m_2$ 、...、 $m_n$  之貢獻分量  $L_{pij}$  如下，

$$\begin{aligned} L_{p_{11}} &= L_{w_1} + 10 \log \left( \frac{Q_1}{4\pi r_{11}} \right) \\ L_{p_{12}} &= L_{w_1} + 10 \log \left( \frac{Q_1}{4\pi r_{12}} \right) \\ &\vdots \\ L_{p_{21}} &= L_{w_2} + 10 \log \left( \frac{Q_2}{4\pi r_{21}} \right) \\ &\vdots \\ L_{p_{mn}} &= L_{w_m} + 10 \log \left( \frac{Q_m}{4\pi r_{mn}} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

公式中  $L_{wi}$  為各音源之聲功率， $Q_i$  表各音源方向係數， $r_{ij}$  為音源  $I$  與測點  $j$  之距離。

因此各測點之音壓計算值  $L_{pi}$  為各音源對各該測點貢獻分量之總和，如下列各式

$$\begin{aligned} L_{p1} &= 10\log(10^{0.1L_{p1}} + 10^{0.1L_{p2}} + \dots + 10^{0.1L_{pm}}) \\ L_{p2} &= 10\log(10^{0.1L_{p1}} + 10^{0.1L_{p2}} + \dots + 10^{0.1L_{pm}}) \\ &\vdots \\ L_{pn} &= 10\log(10^{0.1L_{p1}} + 10^{0.1L_{p2}} + \dots + 10^{0.1L_{pm}}) \end{aligned} \quad (3)$$

假設各測點之音壓級實測值為  $L_{p1}'$ 、 $L_{p2}'$ 、 $\dots$ 、 $L_{pn}'$ ，則各測點之計算值與實測值之差為  $\varepsilon_1$ 、 $\varepsilon_2$ 、 $\dots$ 、 $\varepsilon_n$

$$\varepsilon_i = |L_{pi} - L_{pi}'|$$

當  $\sum \varepsilon_i^2$  最小時的一組  $L_{wi}$  解為最佳解。

## (二) 程序與步驟

本研究於已知噪音源位置之多音源場所估算噪音源聲功率之步驟如下

### 1. 決定噪音源的位置座標

計算過程中假設噪音源為點音源，噪音源位置以  $x, y$  平面上的點表示。選取平面上任一點作為參考原點，將每一噪音源位置以  $(x, y)$  座標表示。

### 2. 決定噪音源的方向係數

除了對於吊掛在高處之無方向性的點音源，其方向係數  $Q=1$ ，對於絕大多數置放於地面的點音源因音能呈半球體輻射，方向係數  $Q=2$ 。

### 3. 決定量測點位置座標與音壓級

使用一般事業單位常用的噪音計量測各測點之音壓級  $L_{pi}'$ ，並決定各測點相對於參考原點的座標  $(x_j, y_j)$ ，因此，每個音源至各測點之距離均可依此計算。

### 4. 計算各量測點音壓級的理論值

依據(一)中方程式(2),(3)計算各測點從各個噪音源而來的貢獻分量，再將各貢獻分量加總得到各測點音壓級之理論值。

### 5. 尋找一組聲功率的最佳解

由電腦程式計算各種聲功率組合，找尋其中一組使得各測點音壓級之理論值與量測值的平方差總和為最小，作為聲功率之最佳解。

## (三) 程式驗證

為了測試程式編撰正確性，假設音場有三個噪音源與六個量測點，並已知噪音源位置與聲功率以及量測點位置與音壓級測定值，以五種不同之組合情況進行測試。將位置座標與音壓測定值輸入程式，由程式運算找出噪音源之聲功率，結果如表 1 所示。測試結果顯示程式運算無誤，透過程式運算基本上可由輸入座標與測點音壓級計算得到噪音源預設之聲功率。

表 1 程式測試結果

測試	噪音源			量測點						計算結果			
	1	2	3	1	2	3	4	5	6	1	2	3	
測試一	座標	(0, 0)	(6, 0)	(6, 6, 5)	(2, 1, 4)	(8, 0, 5)	(8, 3, 2)	(5, 6, 4, 9)	(2, 6, 3)	(4, 3, 2)			
	測值	100	80	92	84.4	75.4	76.0	80.9	77.2	79.0	100	80	92
測試二	噪音源			量測點						計算結果			
	1	2	3	1	2	3	4	5	6	1	2	3	
測試二	座標	(0, 0)	(6, 6, 0)	(6, 6, 10)	(-2, 2, 8)	(3, 2, 1)	(8, 2, 5, 4)	(3, 2, 6, 8)	(5, 8, 11, 2)	(0, 11, 2)			
	測值	94	88	84	75.5	76.4	69.5	70.3	73.5	66.7	94	88	84
測試三	噪音源			量測點						計算結果			
	1	2	3	1	2	3	4	5	6	1	2	3	
測試三	座標	(0, 0)	(0, 6)	(6, 6, 6)	(3, -1)	(-2, 2)	(4, 6, 2)	(8, 6, 5)	(2, 8, 7)	(-3, 7)			
	測值	98	81	85	80.1	81.0	76.3	73.1	73.7	73.0	98	81	85
測試四	噪音源			量測點						計算結果			
	1	2	3	1	2	3	4	5	6	1	2	3	
測試四	座標	(0, 0)	(2, 8, 2, 9)	(5, 6, 5, 8)	(3, 6, -1, 2)	(5, 6, 1, 8)	(8, 2, 5, 2)	(3, 6, 6, 8)	(0, 6, 5, 2)	(-1, 4, 1, 8)			
	測值	83	89	93	71.8	75.3	76.8	78.7	74.2	72.5	83	89	93
測試五	噪音源			量測點						計算結果			
	1	2	3	1	2	3	4	5	6	1	2	3	
測試五	座標	(0, 0)	(6, 6, 0)	(6, 6, 10)	(-2, 2, 8)	(3, 2, 1)	(8, 2, 5, 4)	(3, 2, 6, 8)	(5, 8, 11, 2)	(0, 11, 2)			
	測值	85	88	83	67.6	71.1	67	66.1	72.2	62.3	85	88	83

#### (四) 現場測試

最有趣的問題是該計算程式運用在實際的音場環境，可有何種精準度？本次現場測試選定兩間會議室(如圖 2 與圖 3)作為實驗場所，為了解會議室之迴響效應強度，首先進行殘響時間測定，在室內選定平均分佈的五點進行量測， $T_{60}$  測定結果以 1/3 八音度頻帶表示，如圖 4 所示。另外，使用十二面體喇叭、吸塵器、吹風機作為三個噪音源，並將三個噪音源均分別放置於地面上，在每個實驗室任意選取 10 個測點。為測定每個噪音源聲功率的精確值，另將三個音源分別置於半無響室以符合 ISO 3744 標準的方法完成音源之聲功率測定。測定時，首先架設一將噪音源包含於其中之立方體量測框架作為量測面之假想空間，每一噪音源各有五個量測面。三個噪音源之聲功率測定與計算結果如下：噪音源 A 為 94.0dB、噪音源 B 為 86.8dB、噪音源 C 為 76.3dB，各音源聲功率之 1/3 八音度頻帶分布情況，如圖 5-7 所示。將音源與測點之座標與音壓級輸入電腦，由程式運算求解三個音源聲功率(如表 2)，該結果再與半無響室之測定值比較。

表 2 噪音源聲功率在 Room 501 與 Room 502 的推估結果

測試場所	音場模式	十二面體喇叭	吸塵器	吹風機
Room 501	方程式(1)	94dB	89dB	80dB
	方程式(4)	90dB	82dB	80dB
Room 502	方程式(1)	91dB	90dB	87dB
	方程式(4)	87dB	86dB	85dB

註：半無響室測定結果— 十二面體喇叭 94.0dB，吸塵器 86.8dB，吹風機 76.3dB

### 三、結果與討論

本研究編寫計算程式之目的，希望提供一簡單方法推估音場環境中之最大噪音源，但運用自由音場模式作為計算基礎，推估的精確度完全取決於音場的特性，基本上，愈接近自由音場預估準確度愈高。因為室內環境中有許多複雜的聲音擴散機制，例如室內表面與物件的反射等，均使得在室內音場環境中預估音壓級變得很困難。在本次研究現場測試發現，Room 501 的音場特性有較佳的預估值(表 2)，然而，無論在 Room 501 或 Room 502 的音場環境，對於聲功率較小且與其他音源相差較大(如 10dB 以上)的噪音源，預估值之準確度降低，此乃由於音源聲功率小，其對於音場各量測點之音壓級之貢獻分量小，音場之音壓級由聲功率大的音源所支配。

室內環境的音場可視為來自直接音(Direct sound)與迴響音(Reverberant sound)，自由音場僅考量直接音之影響。為了加入迴響音的影響效果，在實驗過程中利用擴散音場(Diffuse field)理論與殘響時間  $T_{60}$ ，嘗試透過室常數  $R$ (Room constant)將迴響音的效果納入考量，預估模式如方程式(4)所示。雖然目前實驗發現對於推估準確度的提升並無助益，但由於擴散音場理論的精準度因室內尺寸(長寬高)比例、表面吸音率、表面反射率、物件分布情況等複雜因素之影響，其影響程度仍有待進一步探討。

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

### 四、結論

本研究已初步完成一種使用簡單的噪音計，在音場環境中量測音壓級，以最小平方差的概念，求解主要噪音源，建議一種方法協助技術人員在多音源場所判斷最吵的噪音源。然而，許多工業噪音問題之所以複雜的原因之一，因為室內牆壁、天花板、地板、設備所造成之反射，形成複雜的音場。由於本研究的推導基於自由音場環境，因此對於吸音率較差之反射效果強的環境，仍有待進一步的探討。但基於自由音場模式的推估亦能初步提供事業單位利用簡單型噪音計進行音源貢獻度評估之運用。

## 五、誌謝

本研究感謝國立聯合大學環境與安全衛生工程系文懷菁與蔡宏儒兩位同學協助完成。

## 六、參考文獻

1. Charles E. Wilson, Noise Control, Harper & Row, New York.
2. Berger, E. H., Ward, W.D., etc. Noise & Hearing Conservation Manual, AIHA, Fairfax, Virginia.
3. 洪銀忠，作業環境控制工程，台北，揚智文化股份有限公司(2000)。
4. 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，作業場所噪音源識別技術研究先期計畫，IOSH90-H326(2001)。
5. ISO 3744; Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources – Engineering methods for free-field conditions over reflecting plane, ISO (1981).

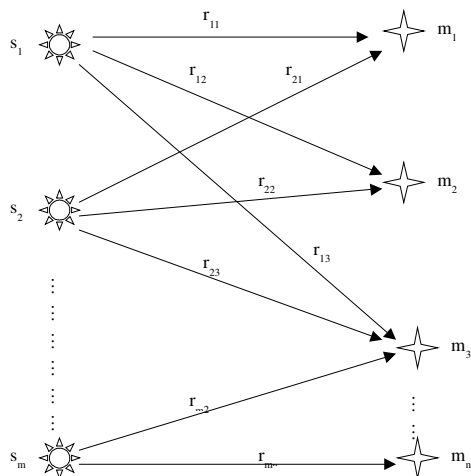


圖 1 音源與測點之配置示意圖



圖 2 Room 501 室內配置圖



圖 3 Room 502 室內配置圖

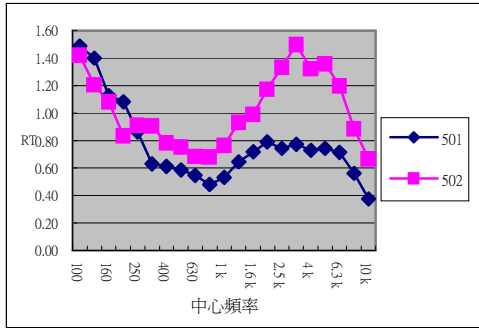


圖 4 Room501,502 殘響時間(T<sub>60</sub>)測定結果

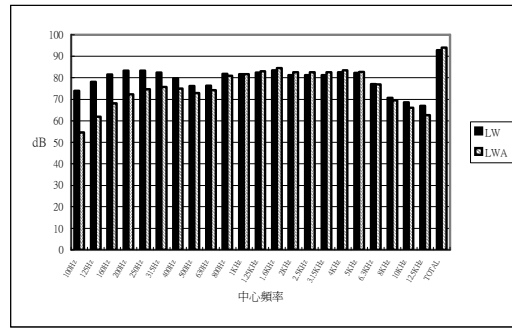


圖 5 12 面體喇叭聲功率測定結果

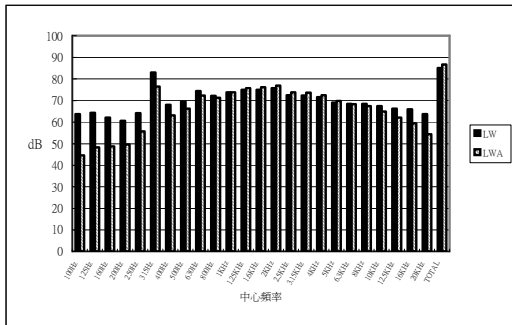


圖 6 吸塵器聲功率測定結果

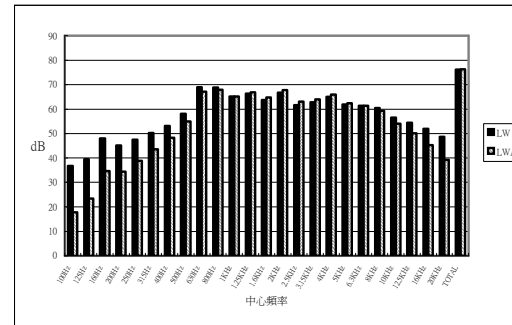


圖 7 吹風機聲功率測定結果