

木工機械噪音檢測與作業員曝露量之評估

指導教授：王柏村

學生：陳志銘、陳啓陞、吳信章

國立屏東科技大學機械工程學系

摘要

本文旨在建立五種木工機械(砂光機、花槽機、帶鋸機、圓盤鋸、手壓鉋)之噪音量測步驟，包括靜止怠速時聲壓之測定，以及一個工作循環和單一操作型態之噪音測定。藉由量測木工機械怠速時，長方形測量面各測量點之聲壓，以求得該機械之聲能。又分別定義五部木工機械之工作循環，並實際測量木工機械一個工作循環之五分貝 A—加權均能音量音壓位準及單一操作型態之 A—加權均能音量音壓位準，用以計算木工廠中作業員的曝露量。本文所建構的五部木工機械之噪音量測程序，與聲能及曝露量之分析方法，可對環境噪音及作業員聽力之影響作評估，更可以提供為工業衛生法令的參考。

關鍵字：木工機械；噪音；砂光機；花槽機；帶鋸機；圓盤鋸；手壓鉋；平壓鉋；聲壓；聲能；工作循環；單一操作型態；曝露量；五分貝均能音量音壓位準；均能音量音壓位準。

一、前言

近五十年來，台灣地區工業快速發展，締造了經濟高度成長與社會繁榮，使我國逐漸由開發中國家邁向已開發國家。但過去工業界為了追求高利潤，對於環保未予以重視，導致許多糾紛發生，頻生自力救濟事件。政府為掃除這些影響經濟成長的絆腳石，故對於工廠要求必須具備污染防治計劃書或環境影響評估報告書。

工廠中有許多機械在運轉著，難免會產生噪音污染。為保護勞工權益與符合環保標準，故政府訂定眾多法規[1—4]。而歐美各國為提高工作品質，更制定了噪音量測方法與宣告標準[5—11]。回顧過去，國內有許多人士從事噪音相關研究，郭郁文[12]利用普樂速度儀與熱線風力計之多點取樣來研究送風機內氣流的狀況，以達到減音之目的。湯國裕[13]以噪音量測設備分析齒型皮帶噪音種類、聲場、波型、頻率以及數學表示式，並介紹各參數對噪之影響，以應用於降低噪音的強度。陳慶隆[14]介紹電腦箱體及事務機械的噪音控制，使其符

合日益嚴格之工作環境，並用來解決其噪音問題。陳泳沔[15]針對電動機的振動噪音問題，以檢測振動儀器、頻譜分析儀和噪音計等儀器，配合有限元素分析等，來探求其振動性質和噪音特性，以尋求改善和解決之方法。除此之外，亦有許多噪音防治及控制的書籍[16—19]可供參考研習之。

林產加工業中所使用的木工機械，可說是噪音程度相當“可觀”的機械。因此工作人員承受到相當大的噪音量，而造成職業傷害。為此，研究木工機械(手壓鉋、圓盤鋸……等)之聲音能量位準、單一操作型態之噪音量測、工作循環之噪音量測和作業員所受之曝露量，以改善木工機械之噪音和防止勞工職業傷害，為當前之重要課題。

二、理論分析

1、A-加權全音域音壓位準， L_{AP} (dBA)

$$L_{AP} = 10 \log_{10} \sum_{i=1}^N 10^{0.1L_{APi}} \quad (1)$$

式中

L_{APi} :第 i 秒之 L_{AP} (dBA), N:總量測時間(sec)。

2、A-加權均能音量音壓位準， L_{eq} (dBA)

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0.1L_{APi}} \right) \quad (2)$$

式中

L_{AP} :第 i 秒之 L_{AP} (dBA), N:總量測次數。

3、五分貝 A-加權均能音量音壓位準，

$$L_{eq(5)} \text{ (dBA)}$$

$$L_{eq(5)} = 16.6 \log_{10} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 2^{0.2L_{APi}} \right) \quad (3)$$

式中

L_{AP} :第 i 秒之 L_{AP} (dBA), N:總量測次數。

4、聲音能量位準， L_w (Bels)

$$L_w = \bar{L}_{eq} + 10 \log_{10} \frac{S}{S_0} - k \quad (4)$$

式中

$$\bar{L}_{eq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0.1L_{eqi}} \right) \quad (5)$$

\bar{L}_{eq} :長方體表面均能音量音壓位準 (dBA)。

L_{eqi} :第 i 個量測點之 A-加權均能音量音壓位準 (dBA)

N:總量測次數, S=量測表面積,

$$S_0 = 1 \text{ m}^2 \quad (6)$$

$$K = K_{1A} + K_{2A} \quad (7)$$

$$K_{1A} = -10 \log(1 - 10^{-0.1\Delta L_A}) \quad (8)$$

$$K_{2A} = 10 \log \left(1 + 4 \frac{S}{A} \right) \text{ dB} \quad (9)$$

K:背景噪音修正因子。

K_{1A} :環境背景噪音影響修正值。

K_{2A} :環境音場產生之反射及吸音影響修正值。

ΔL_A :A-加權之量測聲壓位準之平均值和。

A-加權之背景聲壓位準平均值之差，若相差 10dBA,則 K_{1A} 可忽略不計。

$$A = \alpha \times S_v \quad (10)$$

A: 房間吸音力。

α : 房間材料之吸音係數。

S_v : 房間內之表面積。

砂光機、花槽機、圓盤鋸、帶鋸機和手壓鉋係四周無遮蔽物，其計算公式如下：

$$a = 0.5 I_1 + d \quad (11)$$

$$b = 0.5 I_2 + d \quad (12)$$

$$c = I_3 + d \quad (13)$$

$$d_0 = \sqrt{\left(\frac{I_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{I_2}{2}\right)^2 + I_3^2} \quad (14)$$

$$s = 4(a \cdot b + b \cdot c + a \cdot c) \quad (15)$$

其中 I_1 、 I_2 、 I_3 及 d 之表示如圖一，以上之公式均參照 ISO/DIS 3746.2 [5]。

5、木工機械噪音曝露量， $L_{eq(5) machine}$ (dBA)。

$$L_{eq(5) machine} = 16.6 \log \left(\frac{\%t_w}{100} 2^{0.2L_{machine}} + \frac{\%t_A}{100} 2^{0.2L_A} + \frac{\%t_B}{100} 2^{0.2L_B} \right) \quad (16)$$

其中

$L_{eq(5) machine}$: 任一木工機械之噪音曝露量。

$\%t_w$: 工作循環作業之時間百分比。

$\%t_A$ 、 $\%t_B$: 單一操作型態 A 或 B 之時間百分比。

$L_{eq(5)W}$: 工作循環作業之五分貝 A-加權均能音量音壓位準。

$L_{eq(5)A}$ 、 $L_{eq(5)B}$: 單一操作型態 A 或 B 之五分貝 A-加權均能音量音壓位準

6、作業員曝露量，E(dBA)

$$E = 16.6 \log \left[A_1 (2^{0.2L_{machine1}}) + A_2 (2^{0.2L_{machine2}}) + \dots + B_1 (2^{0.2L_{w1}}) + B_2 (2^{0.2L_{w2}}) + \dots \right] \quad (17)$$

其中

E: 作業員曝露量，(dBA)

A_i : 木工機械 A_i 之實際工作時間比。

$L_{eq(5) machine A_i}$: 木工機械 A_i 之噪音曝露量，(dBA)。

B_i : 曝露於其他噪音源 S_i 之時間比例。

L_{eq_i} : 其他噪音源 S_i 之噪音曝露(dBA)

7、量測不準確性標準差， σ_R (dBA)

當 $K_{2A} < 5\text{dB}$ 時，則 $\sigma_R = 3\text{dB}$ 、而

$K_{2A} = 5\text{dB} \sim 7\text{dB}$ 時，則 $\sigma_R = 4\text{dB}$ ；且當聲源具純音時， $\sigma_R = \sigma_R + 1\text{dB}$ 。

8、噪音宣告值， L_d (dBA)

$$L_d = L + 1.645 \sigma_R \quad (18)$$

L: 均能音量音壓位準或聲音能量位準

當 $L_d < 75\text{dB}$ 時，標示均能音量音壓位準；當 $L_d > 75\text{dB}$ 時，標示均能音量音壓位準及聲音能量位準。

三、量測程序與步驟

(一)、量測儀器、測試場地、操作員、測試木工機械

1. 量測儀器

本文所使用之噪音計為 CEL-593 型，麥克風為 MK5，以 12V 之外接蓄電池提供電源。

2. 測試場地

(1) 為長 80.2m, 寬 20.6m, 高 5.9m 之木材加工場。

(2) 除被測機器外，量測時無其他機器運作。

(3) 環境背景噪音低於機器噪音 7 dB 以下。

(4) 其他溫度、濕度、風速等條件均合於規範(10)要求。

3. 操作員

僅操作員可在量測範圍內，且其身高應在 160cm-175cm 之間(11)。

4. 測試木工機械

本文針對五種木工機械，圓盤鋸、手壓鉋、帶鋸機、花槽機、砂光機，其型號規格如表一。

(二)、聲音能量位準 L_w 之測量

聲音能量位準之量測步驟，係根據 ISO/DIS 3746.2 規範 (5) 進行量測，步設於驟如下：

1. 暖機一分鐘後，才開始進行量測。
2. 將機器轉速定為最高轉速，麥克風架量測點位置與指定高度。量測點示意圖如圖一所示。長方形測量面分割標準以 $L/3d$ 為分割格數標準 (L 為量測表面之各長度)
3. 噪音計設定為 A-加權，1/3ENV，Range 為 25-100dBA，記錄每秒鐘 A-加權全音域音壓位準 (L_{PA})，各點各次皆 30 秒，以計算 A-均能音量音壓位準 (L_{eq})。
4. 每點量測 3 次，取 L_{eq} 平均值。
5. 重複 1-4 步驟，以量測所有量測點。
6. 由於木工機械過於高大，故頂面各點不予測量。

(三)、木工機械工作循環定義

1. 手壓鉋

- (1). 暖機一分鐘。
- (2). 以全轉速鉋削，進刀量 5mm，行進 255mm，手動進給，速率 8.5mm。
- (3). 關機且退回原點，完成一循環。

2. 砂光機

- (1). 暖機一分鐘。
- (2). 以全轉速砂磨一平面，行進 255mm，手動進給，速率 8.5mm。

- (3). 關機且退回原點，完成一循環。

3. 圓盤鋸、帶鋸機

- (1). 暖機一分鐘。
- (2). 以全轉速鋸割一長方形木塊，行進 255mm，手動進給，速率 8.5mm。
- (3). 關機且退回原點，完成一循環。

4. 花槽機

- (1). 暖機一分鐘。
- (2). 以全轉速鑽削一長方形木塊之邊緣，行進 255mm，手動進給，速率 8.5mm。
- (3). 關機且退回原點，完成一循環。

(四)、工作循環測量步驟

1. 暖機一分鐘後進行測量。
2. 將麥克風置於操作員耳朵旁 60mm 處，麥克風面向工具機。
3. 噪音計設定為 A-加權，1/3ENV，Range 為 25-100dBA，記錄每秒鐘 A-加權全音域音壓位準 (L_{PA})。
4. 依上述定義之工作循環作噪音量測，以計算每一工作循環五分貝 A-加權均能音量音壓位準 (L_{eq})。
5. 每一木工機械工作循環測量 3 次取 L_{eq} 平均值。

(五)、單一操作型態之測量步驟

木工機械之單一操作型態為開機—怠速—關機。測量步驟類似於工作循環測量，其操作條件如表二，但噪音值計算取 A-加權均能音量音壓位準 (L_{eq})。

四、量測結果與討論

本部份就實際測量結果，分別就聲音能量位準、工作循環及單一操作型態作結果分析與討論，同時對工作循環時間域圖與頻譜圖作一分析。

1、聲音能量位準量測結果

砂光機、花槽機、圓盤鋸、帶鋸機和手壓鉋各點之均能音量音壓位準(L_{eq})，以及其平均值(\bar{L}_w)，和聲音能量位準(L_w)分別顯示於表三。

2、工作循環 $L_{eq(5)}$ 量測結果

表四顯示五部工具機依前述工作循環量測步驟所得之結果。

3、單一操作型態 $L_{eq(5)}$ 量測結果

表五顯示五部工具機單一操作型態(怠速、開機-怠速-關機)量測步驟所得之結果。

4、作業員暴露量計算實例

假設一作業員操作圓盤鋸 2 小時、手壓鉋 1 小時、花槽機 1 小時、砂光機 1 小時、帶鋸機 1 小時，曝露於其他音源 1 小時，又圓盤鋸作業中，工作循環佔 40%，單一操作型態怠速佔 40%，單一操作型態開機-怠速-關機佔 20%。手壓鉋作業中，工作循環佔 40%，單一操作型態怠速佔 40%。花槽機作業中，工作循環佔 60%，單一操作型態怠速佔 20%，單一操作型態開機-怠速-關機佔 20%。砂光機作業中，工作循環佔 60%，單一操作型態怠速佔 20%，單一操作型態開機-怠速-關機佔 20%。帶鋸機作業中，工作循環佔 40%，單一操作型態(怠速)佔 40%，單一操作型態(開機-怠速-關機)佔 20%。

作業員暴露量之計算如下：

a. 首先將前述量測之工作循環

$L_{eq(5)}$ 及單一操作型態 L_{eq} 值，及其相關作業時間百分比整理如表六所示。

b. 以式(5)計算圓盤鋸之曝露量

$$L_{eq(5)machine} = 16.6 \log_{10} \left(\frac{40}{100} 2^{0.2(84.07)} + \frac{40}{100} 2^{0.2(80.69)} + \frac{20}{100} 2^{0.2(83.11)} \right) = 81.63 \text{dBA}$$

c. 以式(5)計算手壓鉋之曝露量

$$L_{eq(5)machine} = 16.6 \log_{10} \left(\frac{40}{100} 2^{0.2(87.06)} + \frac{40}{100} 2^{0.2(85.49)} + \frac{20}{100} 2^{0.2(78.94)} \right) = 91.98 \text{dBA}$$

d. 以式(5)計算花槽機之曝露量

$$L_{eq(5)machine} = 16.6 \log_{10} \left(\frac{60}{100} 2^{0.2(83.72)} + \frac{20}{100} 2^{0.2(78.39)} + \frac{20}{100} 2^{0.2(77.12)} \right) = 83.47 \text{dBA}$$

e. 以式(5)計算砂光機之曝露量。

$$L_{eq(5)machine} = 16.6 \log_{10} \left(\frac{60}{100} 2^{0.2(80.99)} + \frac{20}{100} 2^{0.2(71.59)} + \frac{20}{100} 2^{0.2(76.59)} \right) = 79.59 \text{dBA}$$

f. 以式(5)計算帶鋸機之曝露量

$$L_{eq(5)machine} = 16.6 \log_{10} \left(\frac{40}{100} 2^{0.2(82.99)} + \frac{40}{100} 2^{0.2(77.79)} + \frac{20}{100} 2^{0.2(74.85)} \right) = 79.86 \text{dBA}$$

g. 以式(6)計算作業員工作 8 小時之曝露量

$$E = 16.6 \text{Log} \left[\frac{2}{8} 2^{0.2(81.63)} + \frac{1}{8} 2^{0.2(91.98)} + \frac{1}{8} 2^{0.2(83.47)} + \frac{2}{8} 2^{0.2(79.59)} + \frac{1}{8} 2^{0.2(79.86)} \right] = 83.03 \text{dBA}$$

此例作業員曝露量為 83.03dBA 並未超過我國勞工安全衛生法[1]規定之 90dBA。

5、噪音值宣告

本文五部木工機械之噪音宣告值如表九所示，無論從聲音能量位準或從均能音量音壓位準來看，圓盤鋸之 dBA 值均為五部之首，故為

日後最需改善之木工機械。

五、結論與建議

本文旨在建立五種木工機械，砂光機、花槽機、圓盤鋸、帶鋸機和手壓鉋之噪音量測步驟，包括聲音能量位準之量測，工作循環五分貝均能音量音壓位準之噪音量測，以及三種單一操作型態之量測：(1)怠速(2)切削(3)開機—怠速—關機。木工機械之聲音能量位準可用以評估對環境噪音之影響，工作循環及單一操作型態量得之噪音值，透過一實例分析可用以計算木工機械作業員之曝露量，並可進一步計算作業員每日曝露量。本文所建立五種木工機械之噪音量測程序，以及聲音能量位準與曝露量之分析方法，可對環境噪音及作業員聽力之影響作評估，更可提供工業衛生法令之參考。

未來研究建議如下：

- (1)依本文建立之量測方法與步驟，訂定木工機械相關噪音量測之本土化標準。
- (2)除了砂光機、花槽機、圓盤鋸、帶鋸機和手壓鉋五種木工機械外，也可推廣作其他類型機械如平壓鉋、立軸機等之噪音量測規範。
- (3)本文所作之噪音暴露量量測，可配合實地之暴露量量測進一步探討研究。
- (4)本文對木工機械之頻率域作簡單分析，將來可進一步作噪音改善及因應對策之依據。

六、誌謝

感謝本校林產系葉民權教授及其助理張桂英小姐之技術指導並提供相關資料及實驗用木材，給予本專題相當大的幫助，謹申謝誠。

七、參考文獻

- 1.行政院勞工委員會，1981，「勞工安全衛生法」，行政院勞工委員會印行。
- 2.行政院勞工委員會，1990，「作業環境測定—噪音測定」，行政院勞工委員會印行。
- 3.行政院勞工委員會，1990，「勞工健康管理規則」，行政院勞工委員會印行。
- 4.行政院勞工委員會，1991，「噪音管理法—噪音管制標準」，行政院勞工委員會印行。
- 5.ISO/DIS 3746.2,1995,"Acoustics-Determination of Sound Power Levels of Noise Source Using Sound Pressure Survey Method Using an Enveloping Plane."
- 5.ISO/DIS 4871.2,1994,"Acoustics Detetmination And Verification Of Noise Emission Values of Machinery and Equipment."
- 6.ISO/DIS 11202,1993,"Acoustics-Noise Emitted by Machinery and Equipment Measurement of Emission Sound Pressure Positions-Survey Method in Situ."
- 7.SAE J1805 Apr87,1987,"Sound Power Level Measurement-Earthmoving

- Machinery(Dozer,Loader,Excavator, An dB Ackhoe)-in Place Dynamics-Sound Pressure Level or Sound Intensity Method.”
- 8.SAE J1372 Jun83,1983, ”Sound Power Determination-Earthmoving Machinery-Static Condition.”
 - 10.SAE J1166 Jun87,1986, ”Sound Measurement-Earthmoving Machinery Operator-Work Cycleingular.”
 - 11.SAE J919 Jun86,1996, ”Sound Measurement Earthmoving Machinery-Operator-Singular.”
 - 12.郭郁文，民 81，「空調送風機之噪音改善」，技術與訓練，p72-77。
 - 13.湯國裕，民 80，「齒輪皮帶的振動與噪音」，機械工業，p215-230。
 - 14.陳慶隆，民 81，「電子儀器裝備噪音的設計與評估」，電腦與通訊，p33-39
 - 15.陳泳沔，民 85，「電動機振動噪音原因簡介」，機械月刊，p251-259。
 - 16.中野有朋，黃忠良譯，1990,噪音工學的基礎,復漢出版社。
 - 17.張柏成譯，1992，噪音控制之原理與實務，徐氏基金會出版社。
 - 18.沈永寧，1992，噪音控制技術，文笙書局。
 - 19.賴耿陽，1990，環境噪音防治技術，復漢出版社。
 - 20.蘇德勝，1991，噪音原理及控制，臺隆出版社。
 - 21.張錦松、韓之榮，1995，噪音振動控制，高立出版社。
 - 22.乾全計劃主持，1993，噪音劑量與暫時性聽力損失之關係探討，行政院勞委會勞工安全衛生研究所。
 - 23.徐萬椿譯，1995，噪音與振動控制，行政院勞委會勞工安全衛生研究所
 - 24.1992，Beranek Leo Leroy, Wiley, “Noise and Vibration Control Engineering”.
 - 25.1980，Gen Rad, Peterson Arnold P.G, “Handbook of Noise Measurement”.
 - 26.1984，Feirer,John Louis, Bennett Pub. Co. , ”Woodworking for Industry”.
 - 27.1978，夏星，華聯書局， ”Woodworking Machinery”.
 - 28.1980，Hamncond,James J, Mcknight Pub. Co. , ”Woodworking Technology”.
 - 29.1980，Walker Philip,Shire Publications, ”Woodworking Tools”.

Noise Measurement and Operator's Exposure Evaluation for Wood Working Machine

Student: Xin-Zhang Wu
Chee-San Chan
Zhi-Ming Chan
Advisor: Bor-Tsuen Wang

Department of Mechanical Engineering
National Pingtung University of Science and Technology

Abstract

This paper presents the noise measurement for five types of wood working machine including Circular Saw, Hand Jointer, Dege Belt Sander, Router, and Band Saw. The sound pressure level measurements are made for static condition, work cycle and singular types. As the wood working machine is running at idle for static condition, sound pressure level at several measuring points on a reference box are measured so as to calculate the sound power level of the wood working machine. Work cycle for the five types of wood working machine are defined respectively. The A-weighted sound pressure level on the 5-dB increase in level for halving of time is calculated for work cycle measurement, and the sound pressure level is calculated for singular type measurement. These values can be used to determine the operator's exposure of the wood working machine, and so forth the operator's daily exposure can be calculated. This work establishes the noise measurement procedures for the five types of wood working machine. The sound power level and operator's exposure can be obtained and used to study the environmental noise and operator's hearing influence. The evaluation procedures can also be adopted for legislation.