

NC 工具機噪音檢測

指導教授：王柏村

學生：姚寶順、劉永正

徐浩、曹宏昌

國立屏東技術學院 機械工程技術系

摘要

本篇報告主旨係在討論NC工具機操作時每一種狀態下，如靜止怠速、主軸空轉、換刀動作、工作路徑模擬和冷卻系統的開啟，求得該NC工具機之聲音能量位準。首先依據ISO/DIS 3746.2，定義出該NC工具機之測量表面，接著建立A-加權均能音量音壓位準量測步驟，然後模擬操作時之狀況，定義出該NC工具機之操作型態，最後藉由量測測量表面上各測量點之A-加權均能音量音壓位準，可以求得該NC工具機之聲音能量位準。本論文所建立NC工具機之A-加權均能音量音壓位準量測程序到聲音能量位準之求得，可對各量測點間A-加權均能音量音壓位準和聲音能量位準分別分析比較，亦可用於工廠噪音評估，及機器噪音值評估，以及可對該NC工具機噪音之時間域和頻率域有基本之瞭解。本文方法亦可用於其他機器噪音之量測與宣告。

一、前言

近年來，資訊技術之發展一日千里，電腦在製造業日漸普及，逐漸取代了傳統式工作母機。數值控制技術自1950年初期萌芽至今，已有一段時間，然而在二十世紀的今天，金屬工業的蓬勃發展數控機械扮演著十分重要的角色，利用數控機械可大量降低製造成本，可做零星加工，適於中量、多變化的高技術複雜工件製作，特別是一些高價生產的精密工業。因此數控機械定為發展之主流，它不僅代表一國工具機工業或機械工業能力的強弱，更代表著機械工業品質的等級。我國NC工具機產業以外銷為導向，歐

洲共同市場為一具潛力且待積極開發之市場之一，由於自由貿易的衝擊，歐市逐漸以嚴苛之機械規格取代關稅壁壘之限制，其中則要求所有輸往歐市之機械必須有機械噪音值之測定。而對於機械噪音值之測定及宣告，也有相關之技術報告【1-4】。

最近環保及勞工意識普遍的覺醒，工廠的環境也格外受到重視，針對噪音檢測評估與控制方面的書籍【5-9】，國內已有許多，然而在NC工具機聲音能量之檢測與評估方面之資料就比較少了。過去顧清明、李新權【10】量測聲能淨流量大小和方向，探討聲強量測基本原理與誤差。中油高雄總廠曾做過噪音總體評估計畫【11】，目的在了解廠內各噪音源對廠外地區的影響程度。呂銘宏、余忠和【12】也對100KW發電機做噪音評估改善。歐金池等人【13】也應用PC對噪音源作頻率分析。而汪志揚【14】也做過施工機械（裝載機、推土機及挖土機）之噪音檢測及與作業員曝露量評估。

本文主要參考ISO/DIS 3746.2【15】作為NC工具機聲音能量之檢測與評估，及ISO/DIS 4871.2【16】為噪音值宣告之依據。文中首先介紹相關之噪音理論，以及聲能計算和分析，其次介紹量測程序與步驟，再分別定義NC工具機之操作型態，最後對實際量測結果作討論與評估。

二、理論分析

本章介紹文中所使用之相關噪音分析計算公式依據ISO/DIS 3746.2【15】。

1、A-加權全音域音壓位準， L_{PA}

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

式中

L_{PA} ：A-加權全音域音壓位準

L_{pi} ：第 i 個八音階中心頻率之音壓位準(dBA)

N ：八音階頻率之 N 個中心頻率

2、A-加權均能音量音壓位準， L_{av}

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

式中

L_{av} ：A-加權均能音量音壓位準

L_{pi} ：第 i 秒之 L_{PA} 值

N ：總量測時間(sec)

3、聲音能量位準， L_w

$$L_w = \bar{L}_{av} + 10 \log_{10} \frac{S}{S_0} - K \quad (3)$$

式中

$$\bar{L}_{av} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0.1L_{wi}} \right) \quad (4)$$

\bar{L}_{av} ：長方體表面均能音量音壓位準，(dBA)

L_{wi} ：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 = 測量表面積

$$S_0 = 1m^2$$

$$K = K_{1A} + K_{2A} \quad (5)$$

$$K_{1A} = -10 \log(1 - 10^{-0.1K_A}) \quad (6)$$

$$K_{2A} = 10 \log \left(1 + 4 \frac{S}{A} \right) dB \quad (7)$$

$$A = \alpha \times S_v \quad (8)$$

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影響修正值

ΔL_A ：A-加權之量測聲壓位準平均值和

A-加權之背景聲壓位準平均值之差，若兩者相差10dBA，則 K_{1A} 可忽略不計

A ：房間吸音力

S ：測量面面積

α ：房間材料之吸音係數

S_v ：房間內之表面積

4、量測不準確性標準差， σ_R

所謂量測不準確性標準差係指因環境及操作過程中可能產生之隨機誤差需加以控制，但不涵蓋量測儀器之不準確性標準差。根據ISO/DIS 3746.2

【15】當 K_{2A} 小於5dB時， σ_R 等於3dB， K_{2A} 為5dB-7dB時， σ_R 等於4dB，具純音時 $\sigma_R = \sigma_R + 1dB$ 。

5、噪音宣告值， L_d

根據ISO/DIS 4871.2【16】，當 $L_d < 75dB$ 時，僅標示音壓位準， $L_d > 75dB$ 時，需標示音壓位準及聲能位準。

$$L_d = L + 1.645\sigma_R \quad (9)$$

三、量測程序與步驟

本專題目的之一為建立一NC工具機 A-加權均能音量音壓位準之量測步驟，以實際量測儀器、量測場地及測試工具機作一介紹，並以模擬操作時之狀況對NC工具機定義出操作型態。

1、量測儀器、測試場地、測試工具機

a. 量測儀器

本專題所使用之噪音計為 CEL-593 型【17】，作為現場噪音量測，麥克風為 MK5，以一外接蓄電池 12V，提供電源。

b. 測試場地

(1)本系之CNC實驗室，為一長13.3m、寬11.2m、高6.3m，體積為938.45m³，長方形，內有部份傢俱，依據ISO/DIS 3746.2

【15】，吸音係數取 0.15。

- (2) 量測時除了測試之機器，無其他機器運作。

c. 測試工具機

本專題以 NC 車床、綜合加工切削中心機作為實際量測之工具機，其型號規格如表 1 所示。

2、聲音能量位準之量測步驟

聲音能量位準之量測，係根據 ISO/DIS 3746.2 【15】 規範進行量測，步驟如下：

- (1) 先作背景噪音之量測。
- (2) 開機後，暖機五分鐘，方才開始進行量測。
- (3) 麥克風架設於量測點位置與適當高度，量測點位置如表 2 所示，示意圖分別如圖 1、圖 2 所示，yz 平面靠牆，量測表面與工具機量測距離，根據 ISO/DIS2 【15】 規範，建議為一米。在量測綜合加工切削中心機時，因麥克風架設問題，量測面上方之 xy 平面之量測點忽略，如圖 3 所示。
- (4) 噪音計設定為 1/3ENV、A 加權、取 Fast 時間常數，記錄每秒鐘 A 一加權全音域音壓位準 L_{AP} ，每點每次量測 30-45 sec，以計算 A-加權均能音量音壓位準。
- (5) 每一量測點量測五次，取每一量測點之 A-加權均能音量音壓位準 L_{eq} 平均值。
- (6) 重複 3-5 步驟，直到測量點全部量測完畢。由理論分析之式(3)可計算得聲音能量位準。

表 1、NC 工具機之規格型號

(a) NC 車床之規格型號

型號	TC-1	
主軸	回轉數	45-4500 rpm
馬力	5kw(7.5HP) 連續定格	
機械尺寸	機械高度	1660 mm
	長 X 寬	1870x1950 mm
	機械重量	2300 kgs
年份	1992	
電源	14KVA	

(b) 綜合加工切削中心機規格型號

型號	VMC 550	
主軸	回轉速	45-4500 rpm
馬力	7.5 kw (10 HP)	
機械尺寸	長 x 寬	3100x3130 mm
	高	3350 mm
	機械重量	3500 kg
年份	1992	
電源	AC 220V, 3 相, 60Hz	
	氣壓源	5-8 kg/cm.

表 2、NC 工具機量測點座標位置

(a) NC 車床 單位：mm

NO	X	Y	Z
1	2950	967.5	1300
2	2950	2902.5	1330
3	1475	2902.5	1330
4	1475	0	1330
5	1475	967.5	2660
6	1475	2902.5	2660

(b) 綜合加工切削中心機

NO	X	Y	Z
1	3130	1025	837.5
2	3130	3075	837.5
3	1565	4100	837.5
4	1565	0	837.5
5	3130	1025	2512.5
6	3130	3075	2512.5
7	1565	4100	2512.5
8	1565	0	2512.5

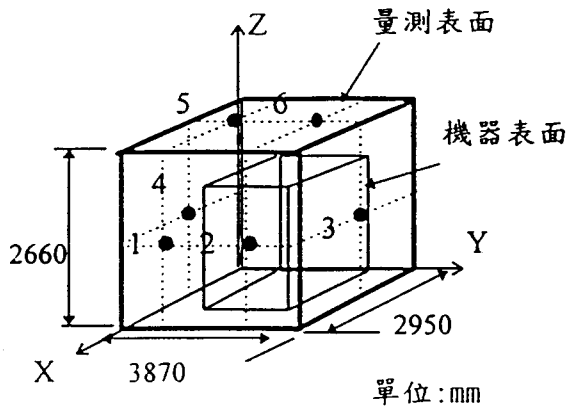


圖 1、NC 車床量測點示意圖

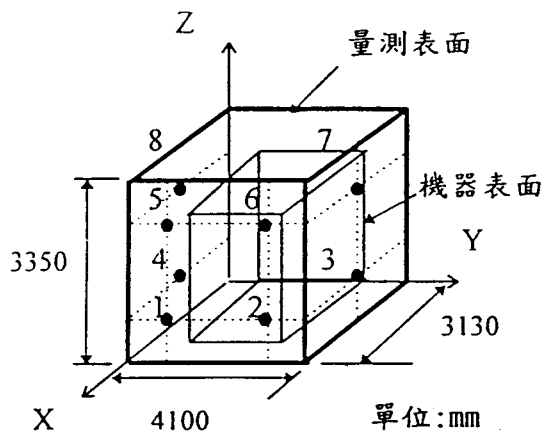


圖 2、綜合加工切削中心機量測點示意圖

3、NC 工具機操作型態之定義

本專題以 NC 車床、綜合加工切削中心機作為量測之工具機，並以模擬操作時之狀況對 NC 工具機定義出操作型態，分別為靜止怠速、主軸空轉、換刀動作、路徑模擬和冷卻系統的開啟。

a. NC 車床操作型態之定義

(1) 靜止怠速

純粹啟動機器，只有馬達運轉，而其餘皆不動作。先行暖機至穩態，方才量測，進行量測時，根據 ISO/DIS 3746.2【15】規範背景噪音至少低於本體噪音 10dB 以下，方才進行量測，量測時間為 30 sec。

(2) 主軸空轉

主軸空轉根據常態運轉取最大轉速之 80% (3600rpm)，模擬車削時，主軸轉動約佔工作循環時間之 60%，主軸正逆轉、停止，又重新轉動，比較其中噪音的差異，如此作了兩次循環模擬。量測時間為 30 sec，而操作型態步驟如下：

- A. 主軸正轉 8sec。
- B. 主軸停止 5sec。
- C. 主軸逆轉 8sec。
- D. 主軸停止。

(3) 換刀動作

純粹作換刀動作，模擬車削時，不同刀具之切削。由一號刀漸序至八號刀，再回到一號刀，再跳到五號刀，最後回到一號刀，換刀之間各停留 2sec，藉著換刀，刀具庫轉動距離不同，比較其中噪音的差異。量測時間為 40 sec。

(4) 路徑模擬

純粹作刀具模擬路徑車削，XZ 方向斜向移動及 Z 方向單一方向移動，比較其中噪音的差異，如此作了兩次循環模擬。量測時間為 30 sec。

(5) 冷卻系統

純粹開啟冷卻系統，模擬車削時，冷卻系統開啟約佔工作循環時間之 80%，冷卻系統開啟、停止，又重新開啟，比較其中噪音的差異，如此作了三次循環模擬。量測時間為 30 sec，而操作型態步驟如下：

- A. 開啟冷卻液 8sec。
- B. 關閉冷卻液 2sec。
- C. 開啟冷卻液 8sec。
- D. 關閉冷卻液 2sec。
- E. 開啟冷卻液 8sec。
- F. 關閉冷卻液。

b. 綜合加工切削中心機之操作型態之定義

(1) 靜止怠速

純粹啟動機器，只有馬達運轉，以及啟動氣壓系統，而其餘皆不動作。先行暖機至穩態方才量測，進行量測時，根據 ISO/DIS 3746.2 【15】規範背景噪音至少低於本體噪音 10dB 以下，方才進行量測，量測時間為 30 sec。

(2) 主軸空轉

模擬切削時，主軸轉動約佔工作循環時間之 50%，主軸正逆轉、停止，又重新轉動，比較其中噪音的差異，如此作了兩次循環模擬。主軸空轉根據常態運轉取最大轉速之 80% (4800 rpm)，量測時間為 30 sec，而操作型態步驟如下：

- A. 主軸正轉 10sec。
- B. 主軸停止 5sec。
- C. 主軸逆轉 10sec。
- D. 主軸停止。

(3) 換刀動作

純粹作換刀動作，模擬切削時，不同刀具之切削。由一號刀至二號刀，再到三號刀，再跳到五號刀，最後回到一號刀，藉著換刀，刀具庫轉動距離不同，比較其中噪音的差異。量測時間為 45 sec。

(4) 路徑模擬

單純作刀具模擬路徑切削，Z 方向、X 方向、Y 方向單一方向移動，及 XYZ 三方向同時移動，比較其中噪音的差異，如此作了兩次循環模擬。量測時間為 30 sec。

(5) 冷卻系統

純粹開啟冷卻系統，模擬切削時，冷卻系統開啟約佔工作循環時間之 70%，冷卻系統開啟、停止，又重新開啟，比較其中噪音的差異，如此作

了三次循環模擬。量測時間為 30 sec，而操作型態步驟如下：

- A. 開啟冷卻液 7sec。
- B. 關閉冷卻液 3sec。
- C. 開啟冷卻液 7sec。
- D. 關閉冷卻液 3sec。
- E. 開啟冷卻液 7sec。
- F. 關閉冷卻液。

四、量測結果與討論

本章就實際量測結果，計算各聲音能量位準，並比較其中 A-加權均能音量音壓位準差異。

1、聲音能量量測結果

NC 車床六個量測點及綜合加工切削中心機八個量測點之 A-加權均能音量音壓位準 L_{cp} ，及其平均值 \bar{L}_{cp} ，及聲音

能量位準 L_w 分別顯示於表 3~表 4。聲音能量位準以 Bels 單位表示，為 1/10 分貝值以有別於音壓位準 dBA 之單位。而量測及計算的結果：NC 車床之靜止怠速為 7.9 Bels、主軸空轉為 8.3Bels、路徑模擬為 7.9Bels、換刀動作為 8 Bels、冷卻系統為 8.3 Bels。切削中心機之靜止怠速為 7.7 Bels、主軸空轉為 8.2Bels、路徑模擬為 8.0Bels、換刀動作為 8.7Bels、冷卻系統為 7.8 Bels。根據【18】聲音能量位準依機器馬力，有聲音能量位準之標準如表 5 所示，NC 車床為 11.0 Bels，綜合加工切削中心機為 11.2 Bels，故 NC 車床、綜合加工切削中心機皆在標準範圍內。圖 3 為 NC 車床之時間域分佈圖，圖 4 為綜合加工切削中心機之時間域分佈圖。

表 3、NC 車床之聲音能量位準量測結果

(a) 靜止怠速

量測點	L_{eq} (dBA)	\bar{L}_{eq} (dBA)	L_w (Bels)
1	68.3	67.3	7.9
2	68.3		
3	68.4		
4	66.4		
5	65.7		
6	65.8		

(b) 主軸空轉

量測點	L_{eq} (dBA)	\bar{L}_{eq} (dBA)	L_w (Bels)
1	72.1	71.2	8.3
2	71.4		
3	71.3		
4	72.1		
5	70.4		
6	69.4		

(c) 換刀動作

量測點	L_{eq} (dBA)	\bar{L}_{eq} (dBA)	L_w (Bels)
1	69.0	68.7	8.0
2	68.2		
3	69.8		
4	66.8		
5	70.3		
6	66.5		

(d) 路徑模擬

量測點	L_{eq} (dBA)	\bar{L}_{eq} (dBA)	L_w (Bels)
1	68.2	67.4	7.9
2	68.1		
3	68.7		
4	65.8		
5	66.3		
6	66.2		

(e) 冷卻系統

量測點	L_{eq} (dBA)	\bar{L}_{eq} (dBA)	L_w (Bels)
1	73.6	71.2	8.3
2	70.1		
3	71.7		
4	69.4		
5	72.0		
6	67.6		

表 4、切削中心機之聲音能量位準量測結果

(a) 靜止怠速

量測點	L_{eq} (dBA)	\bar{L}_{eq} (dBA)	L_w (Bels)
1	65.3	66.0	7.7
2	65.8		
3	65.7		
4	65.3		
5	66.3		
6	66.5		
7	66.7		
8	66.1		

(b) 主軸空轉

量測點	L_{eq} (dBA)	\bar{L}_{eq} (dBA)	L_w (Bels)
1	70.1	70.6	8.2
2	69.3		
3	69.9		
4	70.2		
5	71.3		
6	70.6		
7	71.5		
8	71.1		

(c) 換刀動作

量測點	L_{eq} (dBA)	\bar{L}_{eq} (dBA)	L_w (Bels)
1	74.5	75.8	8.7
2	73.0		
3	72.4		
4	72.1		
5	78.3		
6	77.6		
7	73.7		
8	78.6		

(d) 路徑模擬

量測點	L_{eq} (dBA)	\bar{L}_{eq} (dBA)	L_w (Bels)
1	68.3	68.9	8.0
2	68.3		
3	68.3		
4	68.6		
5	69.2		
6	69.2		
7	69.6		
8	69.2		

表 4、切削中心機之聲音能量位準量測結果(續)

(e) 冷卻系統

量測點	L_{eq} (dBA)	\bar{L}_{eq} (dBA)	L_w (Bels)
1	65.8	66.4	7.8
2	66.1		
3	66.1		
4	65.5		
5	66.8		
6	67.0		
7	67.3		
8	66.6		

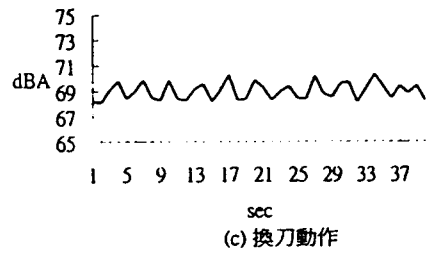


表 5、不同馬力最高聲音能量位準

Neb (kW)	<40	>40 <50	>50 <65	>65 <80	>80 <100
L_{11} (Bels)	10.6	10.8	11.0	11.2	11.4
Neb (kW)	>100 <130	>130 <160	>160 <200	>200 <250	>250 <350
L_{11} (Bels)	11.6	11.8	12.0	12.2	12.4

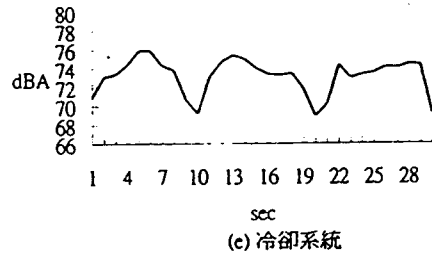
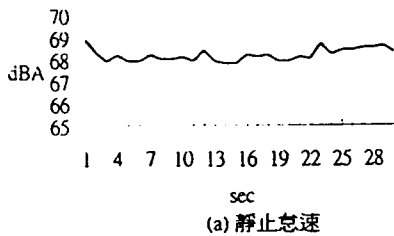
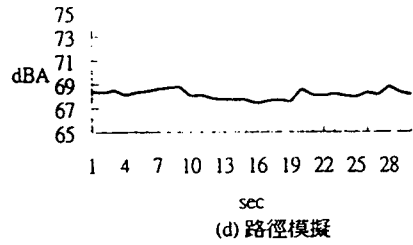


圖 3、NC 車床之時間域分佈圖(續)

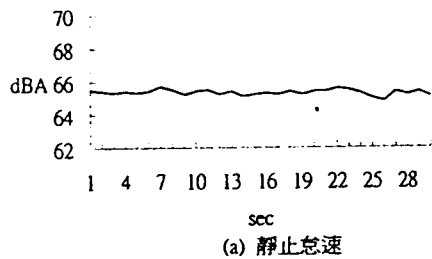
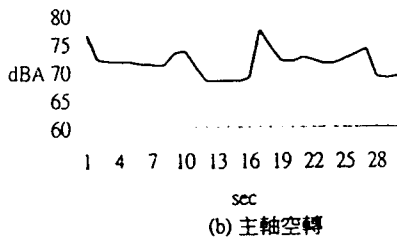


圖 3、NC 車床之時間域分佈圖

圖 4、綜合加工切削中心機之時間域分佈圖

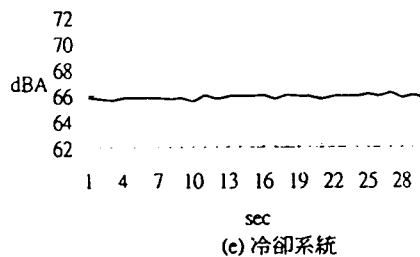
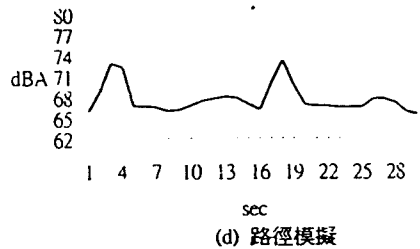
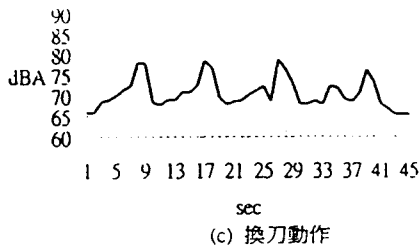
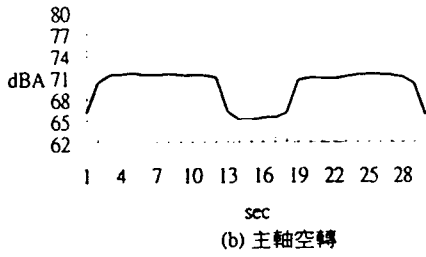


圖 4、綜合加工切削中心機之時間域分佈圖(續)。

2. 機器噪音值宣告

本專題所測試之 NC 工具機之背景噪音修正值 K_{2A} 未超過 5 dB ，故其量測不準確性修正值為：

$$\sigma_R \times 1.645 = 3 \times 1.645 = 4.935\text{ dB}$$

根據 ISO/DIS 4871.2 【16】，

$L_d = L + 1.645\sigma_R$ ，當 $L_d < 75\text{ dB}$ 時標示音壓位準， $L_d > 75\text{ dB}$ 時標示音壓位準及聲能位準。NC 車床及綜合加工切削中心機之噪音值宣告如表 6 所示。由表中可得知 NC 車床之 L_{PA} 值約在 72 dBA - 76 dBA 之間， L_W 值為 84 dBA - 88 dBA 之間，其中以主軸空轉和冷卻系統之 dBA 值較高，為日後改善之方向。綜合加工切削中心機之 L_{PA} 值約在 71 dBA - 81 dBA 之間， L_W 值為 82 dBA - 92 dBA 之間，其中以主軸空轉和換刀動作之 dBA 值較高，亦為日後改善之方向。在 NC 車床及綜合加工切削中心機各種操作型態之 L_{PA} 值和 L_W 值比較，只有綜合加工切削中心機在換刀動作之 dBA 值比 NC 車床高出 7 dBA ，以及 NC 車床之主軸空轉比綜合加工切削中心機高出 5 dBA ，其餘相差不大，約在 2 dBA 內。

表 6、噪音宣告值

(a) NC 車床

	A-weighted Sound Power Level	A-weighted Emission Sound Pressure Level
靜止怠速	84	72
主軸空轉	88	76
換刀動作	85	74
路徑模擬	84	72
冷卻系統	88	76

(b) 綜合加工切削中心機

	A-weighted Sound Power Level	A-weighted Emission Sound Pressure Level
靜止怠速	82	71
主軸空轉	87	76
換刀動作	92	81
路徑模擬	85	74
冷卻系統	83	71

五、結論

本文宗旨在建立 NC 車床及綜合加工切削中心機之 A-加權均能音量音壓位準量測步驟，依一般狀況定義出操作型態，藉由聲音能量位準（靜止怠速、主軸空轉、路徑模擬、換刀動作、冷卻系統）之求得，以及噪音值的宣告，便可將 NC 車床及綜合加工切削中心機各視為點音源，就可評估 NC 車床及切削中心機對環境噪音之影響。

六、參考文獻

1. Higginson, R. F., 1992, "Standards on Machinery Noise Needed to Support Europe and Community Directive," *euro.noise 92*, pp. 257-261.
2. Hubner, G. 1992, "How to Prepare Noise Emission Test Codes for A Specific Machinery Family," *euro.noise 92*, pp. 273-278.
3. Jonasson, H. G., 1992, "Declaration and Verification of Noise Emission Values," *euro.noise 92*, pp. 269-272.
4. Koton, J. and Pleban, D. 1992, "Noise declaration of Machinery Equipment in Poland," *euro.noise 92*, pp. 293-297.
5. 中野有朋、黃忠良譯，1990，*噪音工學的基礎*，復漢出版社。
6. 沈永寧，1992，*噪音控制技術*，文笙書局。
7. 張柏成譯，1992，*噪音控制之原理及實務*，徐氏基金會出版。
8. 賴耿陽，1990，*環境噪音防止技術*，復漢出版社。
9. 蘇德勝，1993，*噪音原理及控制*，臺灣書店出版。
10. 顏清明、李新樞，1989，「聲強量測技術在聲功率與聲源鑑別上之應用」，*中華民國音響學會第二屆學術研討會論文集*，第 149-155 頁。
11. 繆爾培、方德凱、趙以諾、吳泰昌，1990，「中油高雄煉油總廠噪音整體評估規劃」，*中華民國音響學會第三屆學術研討會論文集*，第 127-135 頁。
12. 呂銘宏、余忠和，1990，「100W 發電機噪音改善實例」，*中華民國音響學會第三屆學術研討會論文集*，第 55-62 頁。
13. 歐金池、衛祖賞、杜勇進、葉倍宏，1993，「應用 PC 對噪音源作頻率分析之方法」，*中華民國音響學會第六屆學術研討會論文集*，第 148-158 頁。
14. 汪志揚，1995，「施工機械噪音檢測與作業員曝露量之評估」，國立屏東技術學院，機械工程技術系，NSC 85-2815-C020-01-010E。
15. ISO/DIS 3746.2, 1995, "Acoustics-Determination of Sound Power of Noise Sources Using Sound Pressure-Survey Method Using an Enveloping Measurement Surface over a Reflecting Plane." ISO/DIS 4871.2, 1994, "Acoustics-Declaration and Verification of Noise Emission Values of Machinery and Equipment."
17. 御風公司，*CEL 593 噪音分析儀中文操作手冊*，1996。
18. Shiyan, C., and Chonghou, C., 1990, "Case History: A Study on the Noise Control for Wheel Loaders," *Noise Control Engineering Journal*, Vol. 35, No. 3, pp. 85-94。

NC Machine Tools Noise Measurement

Student : Bao-Shuenn Yau
Yeong-Jeng Liu
Shyu Haw
Fong-Chang Chao
Adviser : Bor-Tsuen Wang

Understand the noise emission characteristics of the NC machine tools. Finally, the NC machine tools noise level can be declared. The developed evaluation method in this work can be applied to other machineries for noise measurement and declaration.

Department of Mechanical Engineering
National Pingtung Polytechnic Institute

ABSTRACT

This paper is to determine sound power level for different operation conditions of NC machine tools, including NC lathe and NC machine center. In accordance with ISO/DIS 3746.2, the measurement surface is first defined. The measurement procedures for determining the A-weighted time-averaged sound pressure level is then presented. Several operating conditions, such as idling, spinning, tool change, path simulation and cooling system cycles, are also defined. The sound pressure level measurement are made at each measuring point on a rectangular surface. The sound power level can then be calculated and use for the evaluation of factory noise. The sound pressure level both on time domain and frequency domain distributions at different measuring points are also compared to unde-