

數值控制工具機噪音檢測

◎王栢村*¹

李經緯*²

摘要

本文旨在討論 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啓，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 一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 一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。本文所建立 NC 工具機之 A 一加權均能音量音壓位準量測程序到聲音能量位準之求得，可對各量點間 A 一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。本文方法亦可用於其它機器噪音之量測與宣告。

Noise Measurement of Numerically Controlled Machine Tools

Bor-Tsuen Wang Ching-Wei Li

ABSTRACT

This paper is to determine sound power level for different operation conditions of Numerically Controlled 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 used for the evaluation of factory noise. 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.

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，

*1 國立屏東科技大學機械系 教授 *2 國立屏東科技大學機械系 講師

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，特別是一些高價值生產的精密工業。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〔 1-2， 5-7 〕。

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〔 8-12 〕，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較少了。過去顧清明、李新權〔 13 〕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〔 14 〕，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〔 15 〕也對 100kW 發電機做噪音評估改善。歐金池等人〔 16 〕也應用 PC 對噪音源作頻率分析。而汪志揚〔 17 〕也做過施工機械(裝載機、堆土機及挖土機)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〔 3 〕作為 NC 工具機聲音能量之檢測與評估，及 ISO/DIS 4871.2〔 4 〕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

本文中所使用之相關噪音分析計算公式是依據 ISO/DIS 3746.2〔 3 〕。

1.A - 加權全音域音壓位準， $L_{PA}(dBA)$

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

式中

L_{PA} : A - 加權全音域音壓位準

L_{PAi} : 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， $L_{eq}(dBA)$

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

式中

L_{eq} : A - 加權均能音量音壓位準

L_{PAi} : 第 i 秒之 L_{PA} 值

N : 總量測時間(sec)

3. 聲音能量位準， L_w

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

式中

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

\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 一加權均能音量音壓位準，(dBA)

N ：總量測次數

S ：測量表面積

$$S_0 = 1 \text{m}^2$$

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

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

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

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

K ：背景噪音修正因子

K_{1A} ：環境背景噪音影響之修正值

K_{2A} ：環境音場產生之反射及吸音影響修正值

ΔL_A ：A 一加權之量測聲壓位準平均值和 A 一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 [4] 當 K_{2A} 小於 5dBA 時， σ_R 等於 3dBA， K_{2A} 為 5dB - 7dB 時， σ_R 等於 4dB，具純音時 $\sigma_R = \sigma_R + 1\text{dB}$ 。

5. 噪音宣告值， L_d

根據 ISO/DIS 4871.2 [4]，當 $L_d < 75\text{dB}$ 時，僅標示音壓位準， $L_d > 75\text{dB}$ 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

本研究目的之一為建立一 NC 工具機 A 一加權均能音量音壓位準之量測步驟，以下分別以量測儀器、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

(1) 量測儀器：

本研究所使用之噪音計為 CEL-593 型 [18]，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。

(2) 測試場地

本系之 CNC 實驗室，為一長 13.3m、寬 11.2m、高 6.3m，內陳設部份桌椅、書櫃，依據 ISO/DIS 3746.2 [3]，吸音係數為 0.15。量測時除了測試之機器外，無其它之機器運作。

(3) 測試工具機

本研究是以 NC 車床、綜合加工切削中心機作為實際量測之工具機，其型號及規格如表 1 所示。

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	45~4500rpm
馬力	5kW(7.5hp)連續定格	
機械尺寸	機械高度	1660mm
	長×寬	1870 × 1950mm
	機械重量	2300kgs
年份	1992	
電源	AC220V	

(b) 綜合加工切削中心機規格型號

型號	WMC 550	
主軸	回轉數	45~4500rpm
馬力	7.5kW(10hp)	
機械尺寸	機械高度	3350mm
	長×寬	3100 × 3130mm
	機械重量	3500kgs
年份	1992	
電源	AC220V，3 相，60Hz	
氣壓源	5~8kg/cm ²	

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 [3] 規範進行量測，其步驟如下：

(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)麥克風架置於量測點位置如表 2 所示，示意圖如圖 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/DIS 3746.2 [3] 規範，建議為一米。在量測綜合加工切削中心機時，因麥克風架設置問題，量測面上方之 XY 平面之量測點忽略。
- (4)噪音計設定為 1/3ENV、A-加權取 Fast 時間常數，記錄每秒鐘 A-加權全音域音壓位準 L_{AP} ，每點每次量測 30-45 秒，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_{eqi} 平均值。
- (6)重覆 3-5 步驟，直到量測完畢。再由理論分析之第(3)式可計算聲音能量位準。

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 單位：mm

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

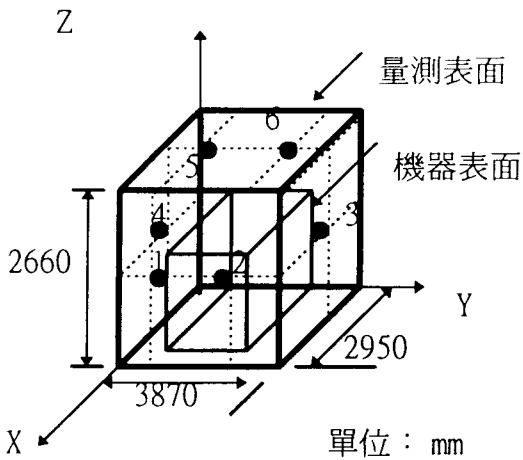


圖 1 NC 車床量測點示意圖

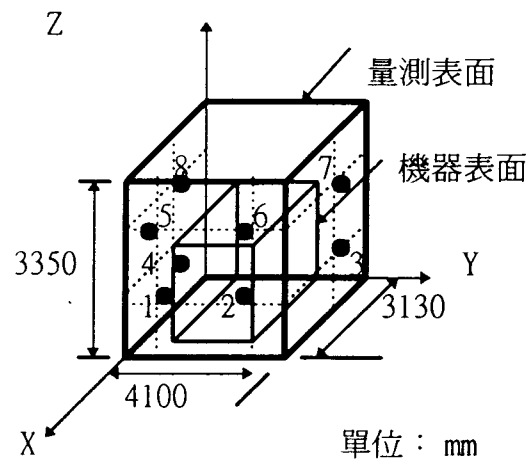


圖 2 綜合加工切削中心機量測點示意圖

3. NC 工具機操作型態之定義

本研究以 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啓。

(1) NC 車床操作型態之定義

A. 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 [3] 規範背景噪音至少低於本機噪音 10dB 以下，方可進行量測，量測時間為 30 秒。

B. 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 秒，而操作型態步驟如下：

- | | |
|--------------|--------------|
| a. 主軸正轉 10 秒 | c. 主軸逆轉 10 秒 |
| b. 主軸停止 5 秒 | d. 主軸停止。 |

C. 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，再跳至五號刀，最後回到一號刀，換刀之間各停留 2 秒，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 秒。

D. 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 秒。

E. 冷卻系統

純粹開啓冷卻系統，模擬車削時，冷卻系統開啓約佔工作循環時之 80%，冷卻系統開啓、停止、又重新開啓，比較其中噪音的差異，如此作三次循環模擬。量測時間為 30 秒，而操作型態步驟如下：

- | | |
|--------------|--------------|
| a. 開啓冷卻液 8 秒 | d. 關閉冷卻液 2 秒 |
| b. 關閉冷卻液 2 秒 | e. 開啓冷卻液 8 秒 |
| c. 開啓冷卻液 8 秒 | f. 關閉冷卻液。 |

(2) 綜合加工切削中心機之操作型態之定義

A. 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。先行暖機至穩態方可量測，進行量測時，根據 ISO/DIS 3746.2 [3] 規範背景噪音至少低於本體

噪音 10dB 以下，方可進行量測，量測時間為 30 秒。

B. 主軸空轉

主軸空轉根據常態運轉取最大轉速之 80%(4800rpm)，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。量測時間為 30 秒，而操作型態步驟如下：

- | | |
|--------------|--------------|
| a. 主軸正轉 10 秒 | c. 主軸逆轉 10 秒 |
| b. 主軸停止 5 秒 | d. 主軸停止。 |

C. 換刀動作

純粹作換刀動作，模擬切削時，不同刀具之切削。由一號刀漸序至三號刀，再跳至五號刀，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 秒。

D. 路徑模擬

純粹作刀具模擬路徑切削，作單一軸向移動，及 XYZ 三軸同動，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 秒。

E. 冷卻系統

純粹開啓冷卻系統，模擬切削時，冷卻系統開啓約佔工作循環時之 70%，冷卻系統開啓、停止、又重新開啓，比較其中噪音的差異，如此作三次循環模擬。量測時間為 30 秒，而操作型態步驟如下：

- | | |
|--------------|--------------|
| a. 開啓冷卻液 7 秒 | d. 關閉冷卻液 3 秒 |
| b. 關閉冷卻液 3 秒 | e. 開啓冷卻液 7 秒 |
| c. 開啓冷卻液 7 秒 | f. 關閉冷卻液。 |

四、量測結果與討論

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_{eqi} ，及其平均值 \bar{L}_{eq} ，及聲音能量位準 L_w 如表 3、表 4 所示。聲音能量位準以 Bels 為單位，為 1/10 分貝值。根據量測及計算的結果：NC 車床之靜止怠速為 7.9 Bels、主軸空轉為 8.3 Bels、路徑模擬為 7.9 Bels、換刀動作為 8 Bels、冷卻系統為 8.3 Bels。切削加工中心機之靜止怠速為 7.7 Bels、主軸空轉為 8.2 Bels、路徑模擬為 8.0 Bels、換刀動作為 8.7 Bels、冷卻系統為 7.8 Bels。根據機器馬力之聲音能量位準〔7〕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，故所測試之機器皆在標準範圍內。

表 3 NC 車床之聲音能量位準量測結果

操作狀態	量測點	1	2	3	4	5	6
靜止怠速	L_{eqi} (dBA)	68.3	68.3	68.4	66.4	65.7	65.8
	\bar{L}_{eq} (dBA)	67.3					
	L_W (Bels)	7.9					
主軸空轉	L_{eqi} (dBA)	72.1	71.4	71.3	72.1	70.4	69.4
	\bar{L}_{eq} (dBA)	71.2					
	L_W (Bels)	8.3					
換刀動作	L_{eqi} (dBA)	69.0	68.2	69.8	66.8	70.3	66.5
	\bar{L}_{eq} (dBA)	68.7					
	L_W (Bels)	8.0					
路徑模擬	L_{eqi} (dBA)	68.2	68.1	68.7	65.8	66.3	66.2
	\bar{L}_{eq} (dBA)	67.4					
	L_W (Bels)	7.9					
冷卻系統	L_{eqi} (dBA)	73.6	70.1	71.7	69.4	72.0	67.6
	\bar{L}_{eq} (dBA)	71.2					
	L_W (Bels)	8.3					

表 4 切削加工中心機之聲音能量位準量測結果

操作狀態	量測點	1	2	3	4	5	6	7	8
靜止怠速	L_{eqi} (dBA)	65.3	65.8	65.7	65.3	66.3	66.5	66.7	66.1
	\bar{L}_{eq} (dBA)	66.0							
	L_W (Bels)	7.7							
主軸空轉	L_{eqi} (dBA)	70.1	69.3	69.9	70.2	71.3	70.6	71.5	71.1
	\bar{L}_{eq} (dBA)	70.6							
	L_W (Bels)	8.2							
換刀動作	L_{eqi} (dBA)	74.5	73.0	72.4	72.1	78.3	77.6	73.7	78.6
	\bar{L}_{eq} (dBA)	75.8							
	L_W (Bels)	8.7							
路徑模擬	L_{eqi} (dBA)	68.3	68.3	68.3	68.6	69.2	69.2	69.6	69.2
	\bar{L}_{eq} (dBA)	68.9							
	L_W (Bels)	8.0							
冷卻系統	L_{eqi} (dBA)	65.8	66.1	66.1	65.5	66.8	67.0	67.3	66.6
	\bar{L}_{eq} (dBA)	66.4							
	L_W (Bels)	7.8							

表 5 不同馬力最高聲音能量位準 [7]

Neb(kw)	<40	>40	>50	>65	>80	>100	>130	>160	>200	>250
		<50	<65	<80	<100	<130	<160	<200	<250	<350
L _w (Bels)	10.6	10.8	11.0	11.2	11.4	11.6	11.8	12.0	12.2	12.4

2. 機械噪音值宣告

本研究所測試之 NC 工具機之背景噪音修正值 K_{2A} 未超過 5dB，故其量測不確性修正值為： $\sigma_R \times 1.645 = 3 \times 1.645 = 4.935\text{dB}$ 。根據 ISO/DIS 4871.2 [4]， $L_d = L + 1.645\sigma_R$ ，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宜如表 6 所示。由表中可知 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(dBA)	A-weighted Emission Sound Pressure Level(dBA)
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 (dBA)	A-weighted Emission Sound Pressure Level (dBA)
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、謝誌

作者感謝行政院國家科學委員會專題研究計畫補助，計畫編號：NSC 87-2211-E-020-001。

七、參考文獻

- 1.Higginson, R. F.,1992, "Standards on Machinery Noise Needed to Support Europe an 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.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."
- 4.ISO/DIS 4871.2,1994,"Acoustics-Declaration and Verification of Noise Emission Values of Machinery and Equipment."
- 5.Jonasson, H. G.,1992, "Declaration and Verification of Noise Emission Values," *euro. noise 92*, pp 269-272.
- 6.Koton, J., and Pleban, D. 1992, "Noise Declaration of Machinery Equipment in Poland," *euro. noise 92*, pp. 293-297.
- 7.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.
- 8.中野有朋、黃忠良譯，1990，*噪音工學的基礎*，復漢出版社。
- 9.沈永寧，1992，*噪音控制技術*，文笙書局。
- 10.張柏成譯，1992，*噪音控制之原理及實務*，徐氏基金會出版。
- 11.賴耿陽，1990，*環境噪音防止技術*，復漢出版社。
- 12.蘇德勝，1993，*噪音原理及控制*，臺灣書店出版。
- 13.顏清明、李新欉，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。
- 14.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。
- 15.呂銘宏、余忠和，1990，「100kW 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。
- 16.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論文集*，第 148-158 頁。
- 17.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-C022-01-010E。
- 18.御風公司，1996，*CEL 593 噪音分析儀中文操作手冊*。