

## 29. 簡易型刀具幾何量測機台開發

李炳寅 教授、李廣齊 教授、陳照凱、謝其甫  
國立虎尾科技大學 機械與電腦輔助工程系  
自動化工程系、機電工程、創意工程研究所

### 摘要

隨著刀具研磨發展快速，其刀具尺寸精度的要求也越來越高，然而刀具研磨後有刀具精度的問題，而影像量測在目前工業上應用的範圍廣泛，可以量測微小尺寸的工件，符合刀具量測尺寸精度上的需求，如有量測儀器能有效的量測刀具幾何外形，便能大大提升生產效率以及刀具品質。

本研究編寫一套簡易型刀具幾何檢測系統，搭配 CCD 透過影像擷取卡擷取刀具外形、編碼器以及光學尺的輔助量測，建構出線上量測系統硬體架構，並且利用 Borland C++ Builder 開發軟體撰寫出簡單、方便、易操作的人機介面，能與量測機台做結合。以市面上泛用刀具(平銑刀、圓鼻刀、球刀)為基本刀形，便能簡單量測刀具基本幾何尺寸，其量測精度主要在影像量測技術與控制程式，經由影像的擷取、分析與書寫控制的程式，將所擷取到的影像與程式所分析出來的結果作反覆的比對以及修正，以得到精確的量測結果，其量測誤差值皆在 10%以內。未來進而可利用此基礎可發展出五軸 CNC 工具磨床線上量測刀具外形，取得此量測資訊後即可來進行適當的補償動作，使產品品質提升。

**關鍵詞：**幾何外形、量測平台、影像處理、人機介面。

### 1. 前言

工具機是利用刀具做切削加工，將素材切削成所需要的形狀，移除部份多餘的材料，而工具磨床是利用砂輪研磨出工具機加工時所需要的刀具，工具機產業台灣全世界排名前第五強，而且五軸工具機國內相關

研究蓬勃，經濟部與國科會亦已提供多項相關補助，反觀五軸工具磨床，由於目前國內之相關研究甚少，故國內在工具磨床產業的技術水準落後國外相當多。刀具研磨相關業者是相當保守且封閉，較詳細且實用刀具研磨技術文獻都是公司的 Know-How，不容易取得，目前整個刀具研磨技術均在國外的大廠，如 WALTER、ROLLOMATIC、ANCA、JUNGER、... 等等。而刀具研磨時，刀具外形輪廓檢測是相當必要配合五軸工具磨床的研發一起發展，如 2005 年德國 EMO 展 ANCA 公司推出利用影像技術線上檢測刀具外形輪廓為選項設備。刀具量測儀可量測刀具的幾何角度，而刀具外形輪廓檢測大部份是手動操控，國內可展機械公司的刀具量測儀應是國內較佳的，但是整機操控是純手動，而國外以 Zoller 刀具量測儀性能最好。

國內外有關刀具影像量測研究狀況如下: Prasad [1]利用影像處理技術分析刀具磨耗程度，Wang[2]利用二值化分析找出刀具邊緣而進行分析，馮信榮[3]建立一套線上非接觸式影像量測系統，以 CCD 攝影機為量測工具，配合挑選的 Optem70 鏡頭、影像捕捉卡及 08UMT -100M 自動控制移動平台，整合成一套影像量測處理系統，蕭裕昌[4]利用 CCD 及自動對焦鏡頭搭配三維運動機構建立一套微小外形尺寸的量測系統，並應用各種外形尺寸演算法，包括最小平方法、霍氏轉換(Hough Transfer) 且與立體成像原理作搭配，來評估應用於微小元件量測的準確性。對微小外型尺寸的量測系統主要使用變焦 CCD 擷取待測物影像，即可轉換出待測物的外型輪廓資訊，量測待測物體的外型輪廓尺寸。

國內外學者投入一般切削加工研究較多，對於端銑刀的刀具設計與研磨、利用數位影像檢測刀具等有相關文獻發表甚少，大部份是國外刀具設計與研磨公

司的 Know-How，投入此領域研究門檻甚高。

由以上的參考數據來看，隨著刀具研磨技術的快速發展，對各種類型刀具精度要求有相當地迫切需要，往往刀具研磨與刀具檢測必須是分開進行的，研磨業者必須將刀具研磨完成之後，再利用刀具量測軟體做檢測，其不但費時，且無法即時掌握刀具研磨精度問題，往往提高生產成本，其降低產品生產品質。

故本文是研發一套簡易型刀具幾何量測系統，搭配 CCD 透過影像擷取卡以及光學尺的輔助量測，並且利用 Borland C++ Builder 開發軟體撰寫出簡單、方便、易操作的人機介面，可以使研磨業者在研磨過程中，掌握刀具研磨精度，利用量測所得的數據來進行精度補償動作，減少刀具拆裝的時間與檢測時間，提升生產速度與品質。

## 2. 硬體架構

本文所架設之簡易型影像量測系統硬體設備如圖 1 所示，主要硬體設備有：(1) CCD 攝影機 (2) 端子台 (3) 影像擷取卡 (4) P4 2.80GHZ 工業電腦一台 (5) 光學尺 (6) 研華 PCI-1784 卡。

其機台與電腦的溝通流程如圖 2 所示，光學尺主要透過端子台以及研華的 PCI-1784 卡做類比訊號轉換為數位訊號，經由影像量測軟體介面的整合，顯示於軟體介面上，供使用者量測幾何尺寸，然而 CCD 攝影機主要將 CCD 所擷取到的影像資訊，透過影像擷取卡將類比訊號轉換成為數位訊號，再經由影像量測軟體介面的輸出顯示，便能夠在量測軟體上看到 CCD 所擷取到的影像資訊，可以利用此資訊與光學尺的輔助量測來進行刀具的幾何尺寸量測。

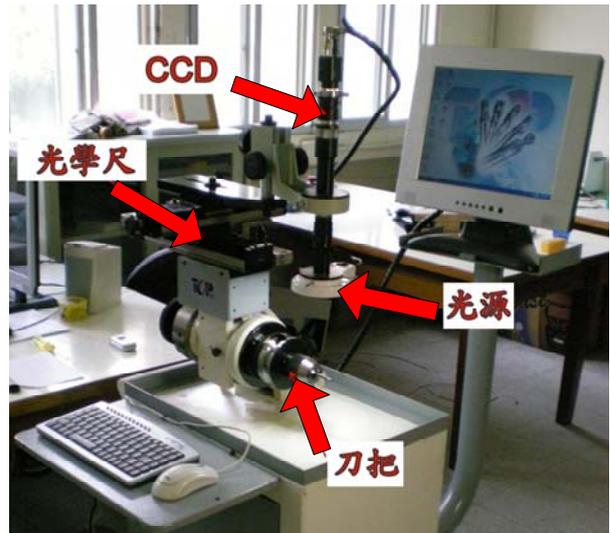


圖 1、刀具影像量測平台

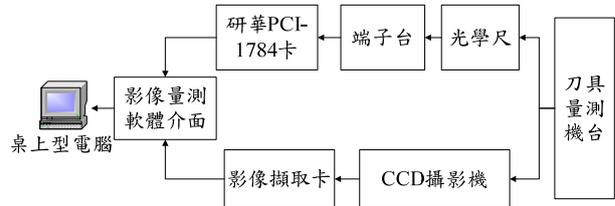


圖 2、硬體與軟體溝通方式流程圖

## 3. 影像量測系統開發

### 3.1 開發軟體介紹

本文量測系統所使用的開發軟體為 Borland C++ Builder 6.0，可提供開發人員一個穩固、高產值之 C++ 開發環境，C++ Builder 依循物件導向精神，建構以 VCL/CLX 軟體元件為基礎的開發架構，讓程式碼可重複使用的能力大幅提昇，縮短了整個軟體開發週期的時程。

### 3.2 刀具幾何檢測技術

在量測刀具前，必須先瞭解刀具研磨時，基本上要量測到的刀具幾何形狀參數有那些，才可確認刀具的精度要求。一般端銑刀的幾何形狀參數，有螺旋角、切削角、離（餘）隙角。如圖 3 所示。

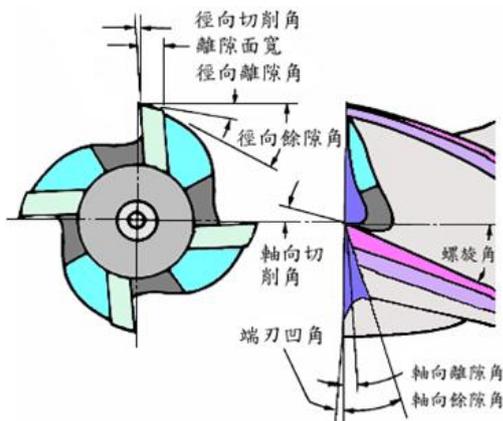


圖 3、平端銑刀各部位名稱

本文所建構的刀具量測系統由於 CCD 架設位置為軸向移動，故其能夠量的刀具檢測部位主要針對端銑刀的軸向切削角、軸向離隙角、軸向餘隙角以及外形輪廓(外徑、半徑)作量測分析，如圖 4、圖 5 所示，為量測軟體可以量測的所有幾何位置名稱。

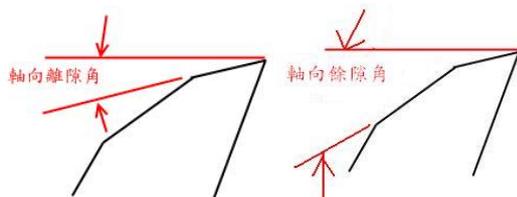


圖 4、刀具軸向離隙角、軸向餘隙角

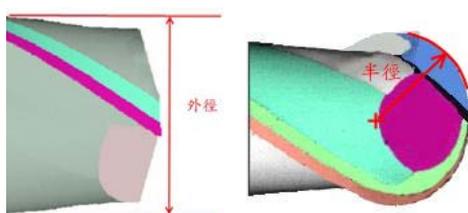


圖 5、刀具外徑、圓弧半徑

### 3.3 量測功能理論公式

本文所寫的軟體功能有：(1) 兩點距離量測 (2) 兩線夾角量測 (3) 圓的半徑量測 (4) 點到直線距離量測。其主要量測公式理論如下：

#### a. 兩點直線距離公式

兩點  $P(x_1, y_1)$ 、 $Q(x_2, y_2)$  利用畢氏定理求得 PQ 線段距離值：

$$\overline{PQ} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (1)$$

#### b. 兩直線夾角公式：

兩直線  $L_1: a_1x + b_1y + c_1 = 0$ 、

$L_2: a_2x + b_2y + c_2 = 0$  相交於一點，令  $\theta$  為其夾角，則公式如下：

$$\theta = \pm \cos^{-1} \left( \frac{a_1a_2 + b_1b_2}{\sqrt{a_1^2 + b_1^2} \cdot \sqrt{a_2^2 + b_2^2}} \right) \quad (2)$$

#### c. 圓的半徑

座標平面上有  $P_1(X_1, Y_1)$ 、 $P_2(X_2, Y_2)$  與  $P_3(X_3, Y_3)$

三點，則線段 PQ 中垂線方程式：

$$(X_1 - X_2)x_c + (Y_1 - Y_2)y_c = (X_1^2 + Y_1^2 - X_2^2 - Y_2^2)/2 \quad (3)$$

線段 QR 中垂線方程式：

$$(X_2 - X_3)x_c + (Y_2 - Y_3)y_c = (X_2^2 + Y_2^2 - X_3^2 - Y_3^2)/2 \quad (4)$$

分別由 (3) 和 (4) 算出 PQ 和 QR 的中垂線方程式，並做聯立即可算出圓的中心位置座標，將中心位置對 P、Q、R 其中一點做兩點距離計算即可算出圓的半徑值。

#### d. 點到直線的距離：

點  $P(x_0, y_0)$  到直線  $L: ax + by + c = 0$  的距離為：

$$\frac{|ax_0 + by_0 + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (5)$$

### 3.4 操作介面

由於傳統刀具研磨與刀具尺寸外形的量測工作是分開進行的，其不但耗時耗工，且往往刀具研磨精度不能夠即時研磨中進行適當的精度補償，進而使生產成本的提升，往往生產品質若不理想且人力的損失也相對的提升。

本研究撰寫之量測軟體介面搭配所設計之機構平台，能夠符合線上刀具量測需求，其量測軟體主要結合 CCD、光學尺、編碼器以及電腦設備於一身。

其量測功能為刀具量測較常用的基本功能。量測軟體分為光學尺量測模式(圖 6 所示)與滑鼠量測模式(圖 7 所示)，兩種模式其功能相同，光學尺量測模式主要為線上量測，其擷取座標基準以顯示畫面的十字線中心點為擷取座標位置，經由鍵盤的操作控制擷取光學尺座標值，其中軟體會在操作使用者點選座標的過程中，在訊息列顯示其提示訊息方便使用者操作，在點選完座標點之後，軟體會自動進行計算以得到刀具量測數據。

Mouse 量測模式與光學尺量測模式的差別在於必須先利用 CCD 先做影像刀具輪廓的擷取，然後以離線的方式透過滑鼠的點選座標得到所需的刀具尺寸，當點選完座標點之後，量測畫面便會顯示黃色的線或點來讓使用者得知剛剛所點選座標點相關位置，如不是想要的位置便能立即做更改。如圖 7 鍵頭所示，即是直線量測點選結果所畫出來的黃線位置。

其軟體的量測流程如圖 8。軟體使用者可以選擇需要的模式進行量測，如是光學尺模式，即選擇所需的量測功能後，利用鍵盤快捷鍵的操作來擷取想要的座標點，擷取完後便得到想要得量測數據，而 Mouse 模式，經由影像擷取刀具輪廓外徑後，選擇 CCD 的放大倍率以及所需的量測功能後，進行 Pixel 值的校正，利用滑鼠點選想要擷取的座標位置，點選完後便能得到想要得量測數據。

### 3.5 Pixel 值校正

在量測軟體的滑鼠模式下，是以點選圖片上座標來計算刀具尺寸，而圖片上的座標是以 Pixel 值來顯示，然而想要得到刀具真正尺寸必須將 Pixel 值乘上一校正值來轉換成真實尺寸，其校正值為：

$$\text{校正值} = \text{真實距離} / \text{Pixel 值} \quad (6)$$

由於本研究所選購之 CCD 攝影機有五個放大倍率值分別為 0.75X、1X、2X、3X、4X、4.5X，其校正值會隨著 CCD 攝影機的放大與縮小而跟著改變，故當要選擇量測時，必須先在量測軟體上選擇放大倍率，其軟體才能準確計算其值，軟體計算方式為：

$$\text{刀具真實尺寸} = \text{校正值} \times \text{放大倍率} \quad (7)$$

由於為手動刀具尺寸量測，故本軟體採取每改變其 CCD 攝影機焦距時，就必須做 Pixel 值得校正，以提高軟體量測精度值。

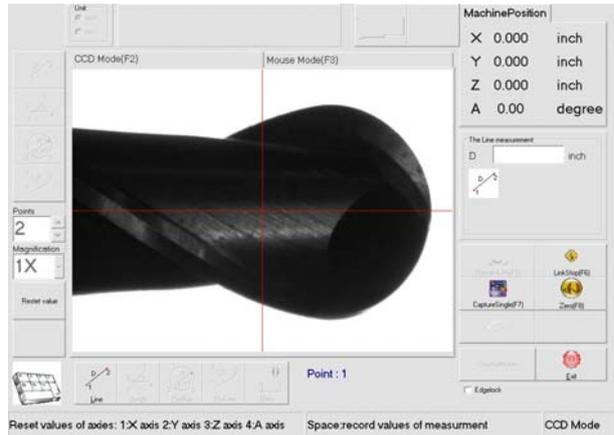


圖 6、影像量測介面光學尺模式

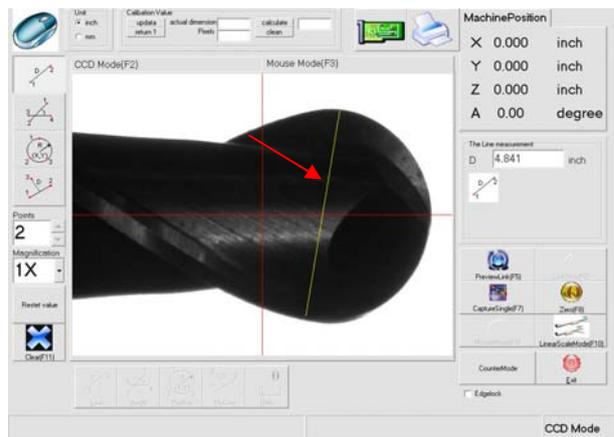


圖 7、影像量測介面 Mouse 模式

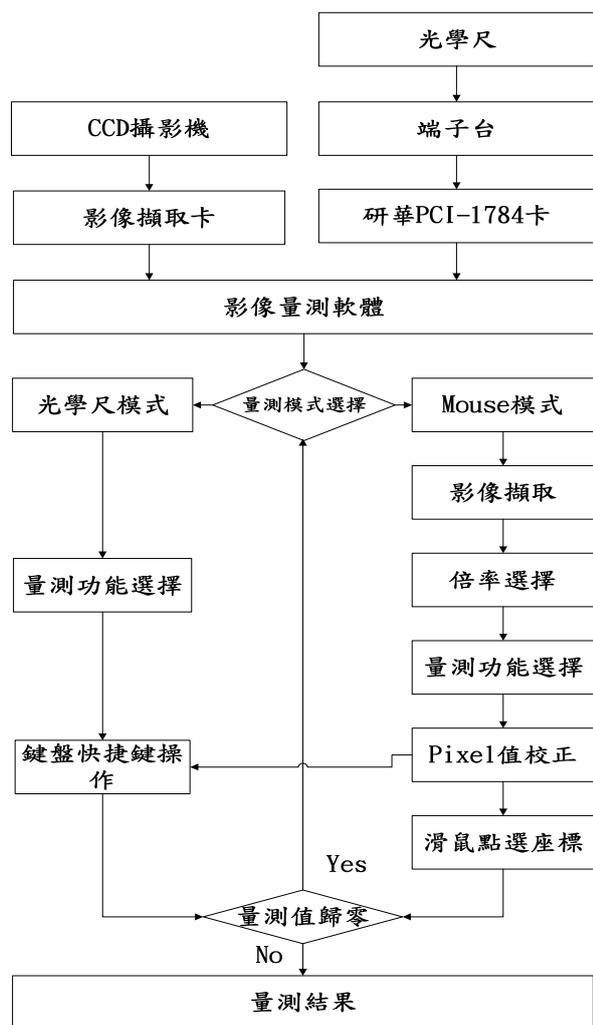


圖 8、刀具影像量測流程圖

#### 4. 實驗結果與討論

本實驗對四刃圓鼻刀(圖 9)跟兩刃球刀(圖 11)作量測，得到的量測數據如下：

表 1 為四刃圓鼻刀在光學尺模式下所做的量測數據，其量測刀具部位示意圖如圖 10，由於計算的數值都是由光學尺的值來做計算，所以其量測精度非常高，其誤差值大都在 10%以內，由於是手動量測，刀具外緣邊界不易清楚看到，其超過 5%的量測值大多都是邊界焦距問題所造成的。而在 Mouse 模式下所做的量測數據，由於 Mouse 模式為擷取 CCD 攝影機上的影像，其精度取決於 Pixel 數和校正值，本研究所做的校正值為每更換一次焦距便做一次 Pixel 校正，能改善 CCD 焦距影響使刀具邊緣模糊，當焦

距固定時，其校正值都是一致的，故如果將影像放大顯示，其誤差會相對提高。

表 2 為兩刃球刀在光學尺模式下所做的半徑量測，其量測刀具部位示意圖如圖 12，由於量測軟體可以選擇多點量測，故當使用者選擇超過三點量測時，其圓的中心點會取平均值當作最後的圓心位置，進而算出圓的半徑值，其誤差值皆在 5%以內。而在 Mouse 模式下所做的半徑量測，其誤差值皆在 5%以內，在受到手動調整焦距的影像下，其誤差範圍比光學尺還要大，故如能改善其焦距問題，未來量測精度便能更精準正確。

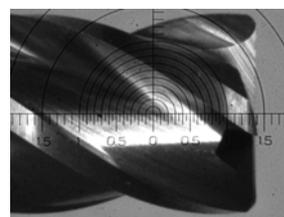


圖 9、四刃圓鼻刀

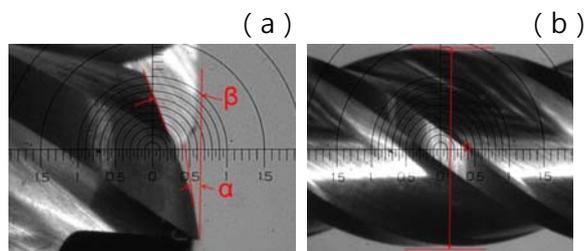


圖 10、四刃圓鼻刀 ( a ) 軸向離隙角 $\alpha$ 、軸向餘系角 $\beta$  ( b ) 四刃圓鼻刀外徑 D



圖 11、兩刃球刀

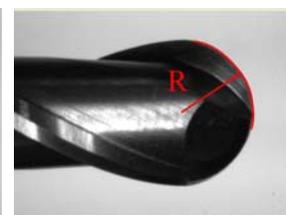


圖 12、兩刃球刀半徑 R

#### 5. 結論

本研究撰寫之刀具幾何量測系統，針對其市面上泛用刀具(平銑刀、圓鼻刀、球刀等刀具)作量測，

在光學尺模式下與 Mouse 模式下的量測誤差百分比皆在 10%內，證明此量測軟體準確度是可行的。

### 參考文獻

1. Prasad Niranjana, K.; Ramamoorthy, B., Tool wear evaluation by stereo vision and prediction by artificial neural network, Journal of Materials Processing Technology, May 3, pp. 43-52, 2001.
2. Wang, W.H.; Hong, G.S.; Wong, Y.S., Flank wear measurement by a threshold independent method with sub-pixel accuracy, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume: 46, Issue: 2, February, pp. 199-207, 2006.
3. 馮信榮，二維影像於三維輪廓重建之研究，國立台灣大學機械工程研究所，碩士論文，2001。
4. 蕭裕昌，應用影像量測技術於微小元件之外型尺寸量測之研究，淡江大學航空太空工程學系，碩士論文，2004。

表 1、四刃平端銑刀量測結果

功能	Zoller量測結果	光學尺模式		Mouse模式	
		量測尺寸	誤差百分比(%)	量測尺寸	誤差百分比(%)
外徑D	7.995 mm	8.001 mm	0.06%	8.151 mm	2.0%
	7.994 mm	8.033 mm	0.49%	8.232 mm	3.0%
	7.995 mm	8.110 mm	1.44%	8.110 mm	1.4%
	7.993 mm	8.030 mm	0.46%	8.089 mm	1.2%
	7.996 mm	8.077 mm	1.01%	8.097 mm	1.3%
軸向離隙角 $\alpha$	7.87°	7.5°	-4.7%	8.1°	2.9%
	8.06°	7.7°	-4.5%	8.8°	9.2%
	8.17°	8.4°	2.82%	7.8°	-4.5%
	7.95°	8.2°	3.1%	7.6°	-4.4%
	7.88°	7.9°	-0.25%	7.4°	-6.1%
軸向餘隙角 $\beta$	20.22°	21.1°	4.4%	21.3°	5.3%
	20.01°	20.8°	3.9%	21.9°	9.4%
	19.93°	19.2°	-3.7%	18.4°	-7.7%
	20.12°	21.3°	5.9%	20.5°	1.9%
	19.89°	21.7°	9.1%	19.5°	-2.0%

表 2、兩刃球端銑刀半徑量測結果

功能	Zoller量測結果 (mm)	光學尺模式		Mouse模式	
		量測尺寸(mm)	誤差百分比(%)	量測尺寸(mm)	誤差百分比(%)
半徑R	3.998	3.9434	-1.4%	3.9568	-1.0%
	3.997	4.0917	2.4%	3.9303	-1.7%
	3.998	3.9466	-1.3%	3.8579	-3.5%
	3.996	3.9965	0.13%	4.0918	2.4%
	3.995	4.0220	0.68%	4.0153	0.508%