

隊名：精機獨立 This Mechanism Stands Out.(SA3-091)

作品名稱：你對準了嗎？新一代多功能刀具校正器！

Is it precise enough? The new multi-purpose cutter's calibrating instrument.

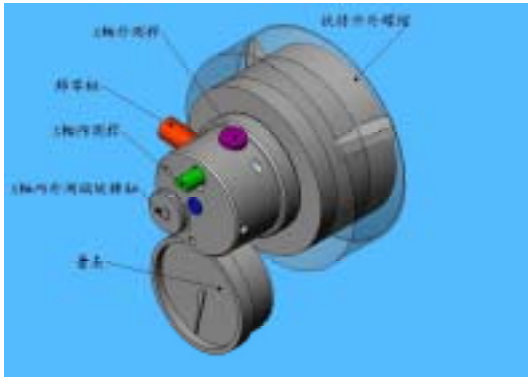
摘要

本隊來自於高級工業職業學校機械科，我們追求精密、快速及熟練的技術，也學習以理論與實務結合、強調實做的訓練目標。所以我們針對上實習課中，所面臨到的一些問題提出解決之方案。數值控制機械是目前加工母機的主流，全台灣有多達 70 多家工具機廠商，所以數控課程的學習及訓練是我們上課的重點，數值控制具有精度高、高速化之特性。精度控制需要有良好的工具及量具，如何更方便及更迅速完成工件加工，有賴於合適的工具及量具。

『如何對準』是很重要的一件事，在機械業、電子業、建築...等都需要『對準』的地方。我們的作品就是以機械中數控機械的校刀為方向，所謂校刀就是把每一把刀的位置告訴電腦(控制器)，才能使刀具依 NC 程式中的路徑來進行加工，完成工件尺寸的精度控制。我們的作品有下列之特色：

1. 能適用於數值控制銑床的 Z 軸刀長補正
2. 能適用於 CNC 車床上的校刀, 包含在不同的工件直徑下完成不同的車刀校刀
3. 能適用於內徑校刀，利用校正器上的測頭旋轉鈕來作的扭力大小及方向。
4. 能應用於傳統車床的車刀刀尖中心對正。
5. X、Z 軸及 X 軸內徑側頭上均經過熱處理後研磨，以避免車刀刀尖長期觸碰於側頭上而造成凹陷或損壞。

下圖為我們所設計及製作的校正器：



在本作品中有下列創意：

1. 利用斜面原理來完成校正器的固定，三爪夾頭的方式使校正器中心能對正工件中心。
2. 夾頭的挾持部分可分解出來，可設計兩組夾頭來挾持尺寸較大型的工件。
3. 利用 45 度錐度作用，使 Z 軸長度變化量能轉移至 X 軸上，再以量表讀出。
4. 利用扭力彈簧來完成 X 軸測頭彈力方向的選擇。

本作品之預期效果方面，依目前的設計實驗結果，尚有一些缺點需要改善，由於考量本身的專業技術能力及學校資源，校正器上乃有些誤差，如目視誤差、加工精度等，原本設計目標都能完成動作，但為達到更高的校刀精度，可利用三次元量測的檢驗，來使精度更加提升。

精密刀具定位系統是數控機械必須發展的一項技術，不管是接觸式或是非接觸式定位系統，都必須有精度高、操作容易之特性。本次的研發創作算是一個開始，在製作過程學習設計的經驗與加工的技巧，也更進一步了解國內工具機發展的趨勢。數控機械朝向高速化、高精度的方向發展，相對的技術也必須更加提昇，高職機械科也必須由電腦輔助設計與製造中出發，訓練出更多優秀的技術人員。

你對準了嗎？新一代多功能刀具校正器！(SA3-091)

Is it precise enough?

The new multi-purpose cutter's calibrating instrument.

一、研究動機

那一天上數控實習課時，看到老師在 M/C 數值控制切削加工中心機上校刀，老師利用「Z 軸校正器」將每把銑刀的刀長輸入控制器內，感覺好方便。可是當看到老師在 CNC 數控車床上校刀時，卻要耳聰目明地去聽車刀碰到工件的聲音、感覺車刀碰觸工件的狀態，有點可怕。這時就想到為什麼在數控銑床上 Z 軸校刀會那麼容易，而數控車床上校刀卻那麼複雜，有沒有什麼輔助工具可以使這個工作更容易些。所以就針對這個主題來設計一個校正器，可以廣泛應用在不同的加工機械上之刀具校刀。

二、研究目的

我們最初想的是製作出一個可廣泛使用的刀具校正器，設計上的目標為：

- (一)、可應用於 CNC 車床上校刀(刀具形狀補正)
- (二)、可應用於 M/C 數控銑床上之 Z 軸刀長校刀(G43)

在後來的設計過程中，發現這個系統也可以應用在傳統車床上，車刀高度的對正中心，所以也將本系統是否適用於傳統車床上校刀列為研究目的。

三、研究過程

(一)、研究可能的設計方式

翻開數值控制的課本，發現目前有電子式及量表式 Z 軸校正器，依照傳統的想法，機械式有堅固、壽命長之優點。經過討論後發現由於現在科技的發展，電子式的設計也能有非常久的壽命。但是考量本身的專業技術能力及學校資源，最後決定以機械式的設計為開始，實際製作出一組校刀系統。

機械式機構設計是我們的基本構想，開始設計時就想要如何去做，有哪些限制？而且設計的方向必須要能以目前的技術完成零件加工。

(二)、設計

觀察了市售機械式的 Z 軸校正器，發現其構造非常簡單，利用量表來讀出長度變化，學校中量表取得容易，所以開始思考如何將量表及一些配件組配在一起。在研究老師校刀的過程中，發現車床校刀較為複雜，有外徑車刀的 X 軸及 Z 軸位置的校刀(圖 1，錄自數值控制實習 II，楊玉清)，及內徑刀的 X 軸及 Z 軸位置校刀。我們設計的校正器，其機構必須能將上述的校刀動作完成。再來的思考方向為車床上校刀時如何固定校正器。以下是我們的設計過程及設計的結果。

1.如何將校正器固定在車床工件上

圓柱物體的挾持方式有如筒夾、三爪夾頭等方式挾持，有一個原則就是對正中心，因此在設計挾持具時需考慮各種直徑之圓柱挾持，如果利用筒夾時其行程較少，當工件圓柱尺寸變化較大時，就無法挾持。所以我們想以三爪夾頭方式，作為固定之用。為了使挾持範圍更大，挾持部分可分解出來，可設計兩組夾爪以利不同之工件。而其測試頭則可作為 z 軸校正器使用。如下圖 2 及圖 3 所示。

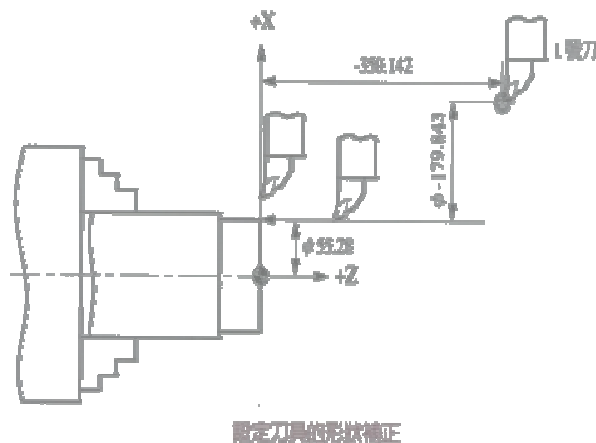


圖 1、CNC 車床刀具校刀示意圖

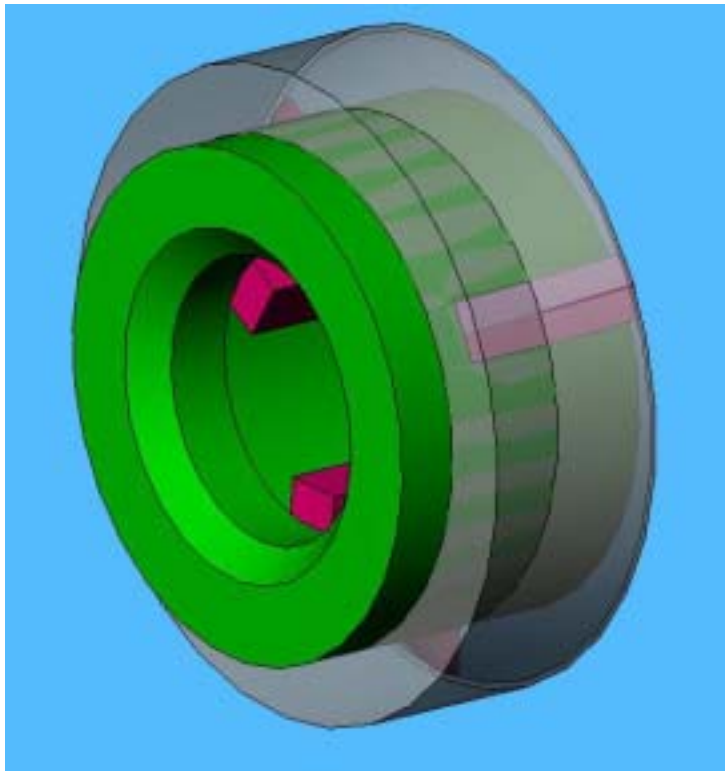


圖 2、夾持件設計構造

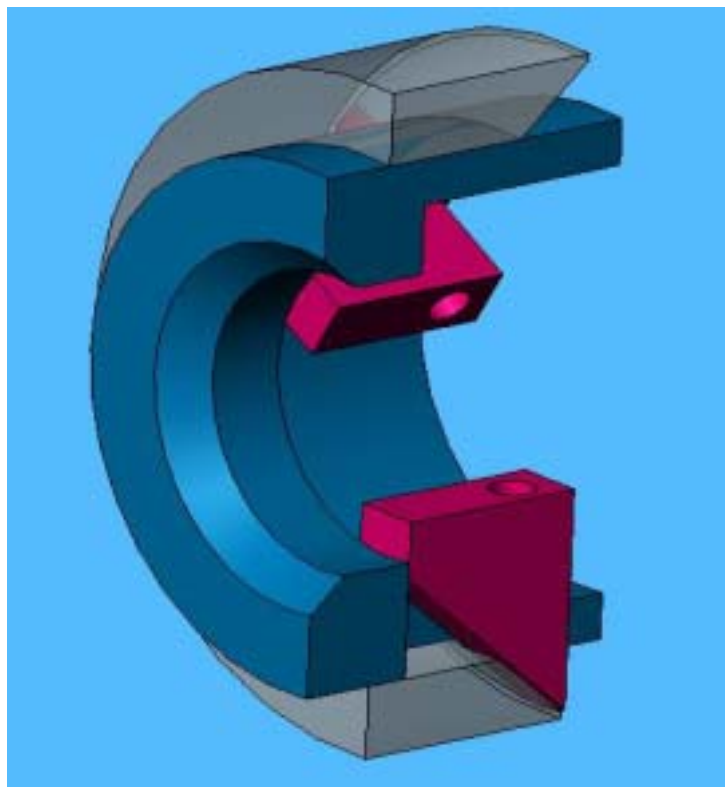


圖 3、夾持設計立體剖面圖

2.測頭機構設計

本系統結構設計示意圖如下圖 4，Z 軸測頭為尖端 45 度之錐度設計，可以使 X 軸外測桿產生等距離之動作。歸零鈕之動作為一定位裝置，在零件加工過程中，使歸零鈕動作後，再利用固定螺絲來固定 X 軸測頭，這樣就可以加工測頭之外側為一圓弧，加工完成後使 X 軸外測頭之歸零位置剛好在直徑 55.00mm 處。同樣內測桿亦需加工內側使其成為一圓弧面，而且剛好在歸零 30.00mm 的位置上。同樣地為使量測精度提高，Z 軸部分亦須作系統精度加工，歸零鈕動作後將 Z 軸測頭壓緊 X 軸測桿之內 45 度接觸線上，固定後研磨端面至底部為 55.00mm 之高度即可，當歸零桿放鬆後即可量測 Z 軸高度。

3.整體架構設計

測試頭設計主要以量表為讀出裝置，設計機構使 X 軸及 Z 軸之動作能帶動同一量表讀出長度變化值。在 X 軸的測頭設計上主要為一直徑 12mm 的圓桿，置放於直徑方向，如圖 5 中 X 軸外測桿。在 X 軸測桿的另外一側為一指示量表，可測量測桿的位置變化量。在內徑刀的校刀則由圖 4 中之 X 軸內測桿完成，其固定在外測桿上，同樣由指示量表讀出位置變化量。由於內外側量測方向不同，其測桿上之彈簧力方向不同，由圖 5 中之 X 軸內外測頭旋鈕達成不同之需要。此旋鈕可調整出適當之彈簧壓力，以適應不同之使用方式，避免壓力太大造成刀尖損壞。

在 Z 軸測定上藉由斜度的作用，可使得 Z 軸方向的位置變化量轉移之 X 軸方向之變化量，由指示量表讀出。在歸零設計上有一歸零鈕，將此鈕按下時，X 軸外測桿的位置即為直徑 55.00mm 處，同樣內測桿為 30.00mm 處，及 Z 軸為 55.00mm 處。此時可將指示量表表面刻度作歸零之旋轉，完成歸零動作。此測試頭可單獨應用於銑床的刀長設定，也就是傳統 Z 軸校正器之應用。

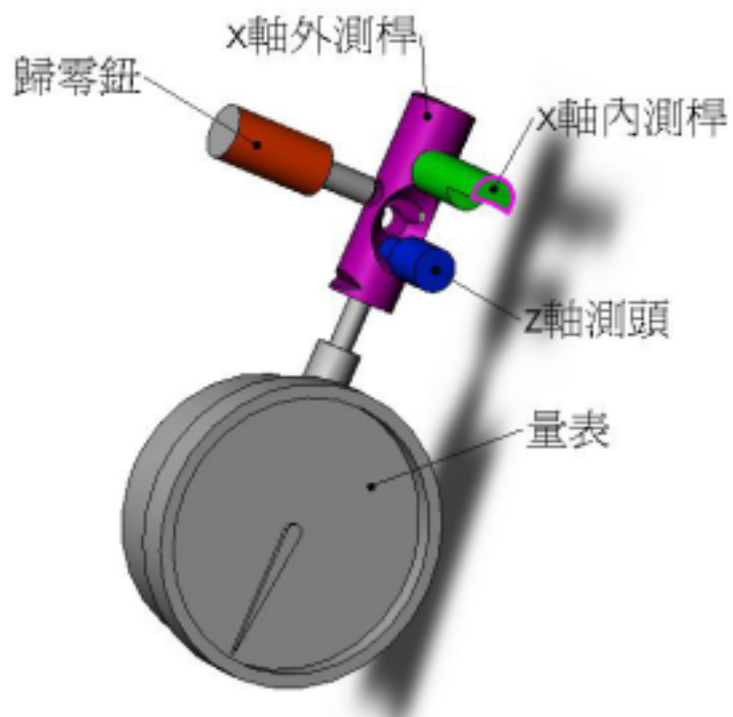


圖 4、機構設計示意圖

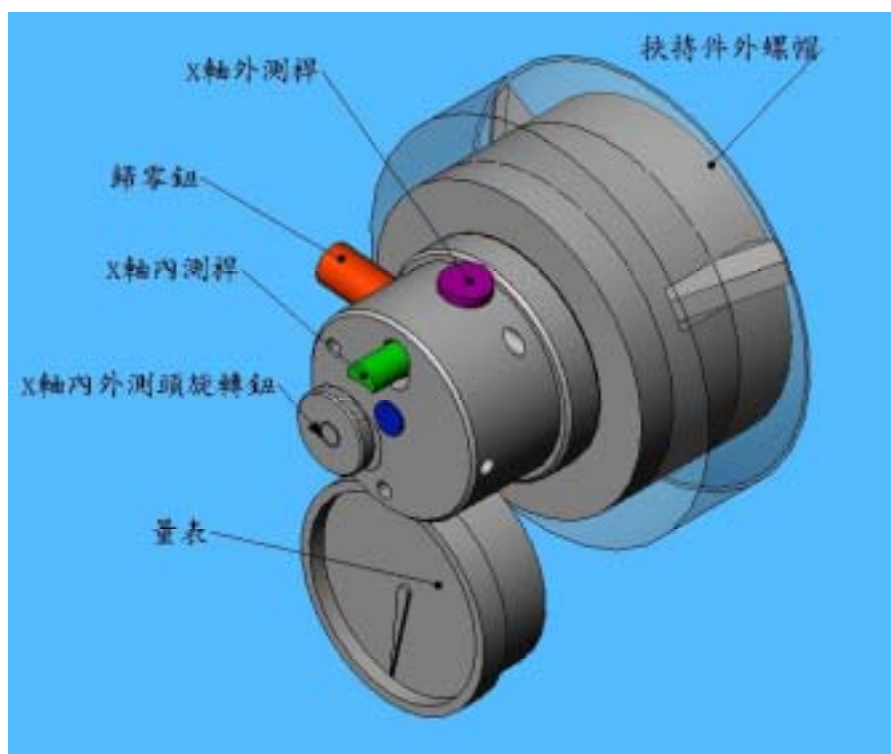


圖 5、整體設計架構模型

4.測頭精度加工設計：

為使得各測頭之量測精度能達到我們的要求,因此各測頭之加工均須在零件組立完成,並經熱處理後再研磨而成,須要精度加工的零件有 X 軸外測頭之外圓弧面(直徑 55mm)、X 軸內測桿之內圓弧面(直徑 30mm)、及 Z 軸測桿長度(距離底部 55mm)。

5.校刀設計：

圖 6~圖 7 為校刀的設計

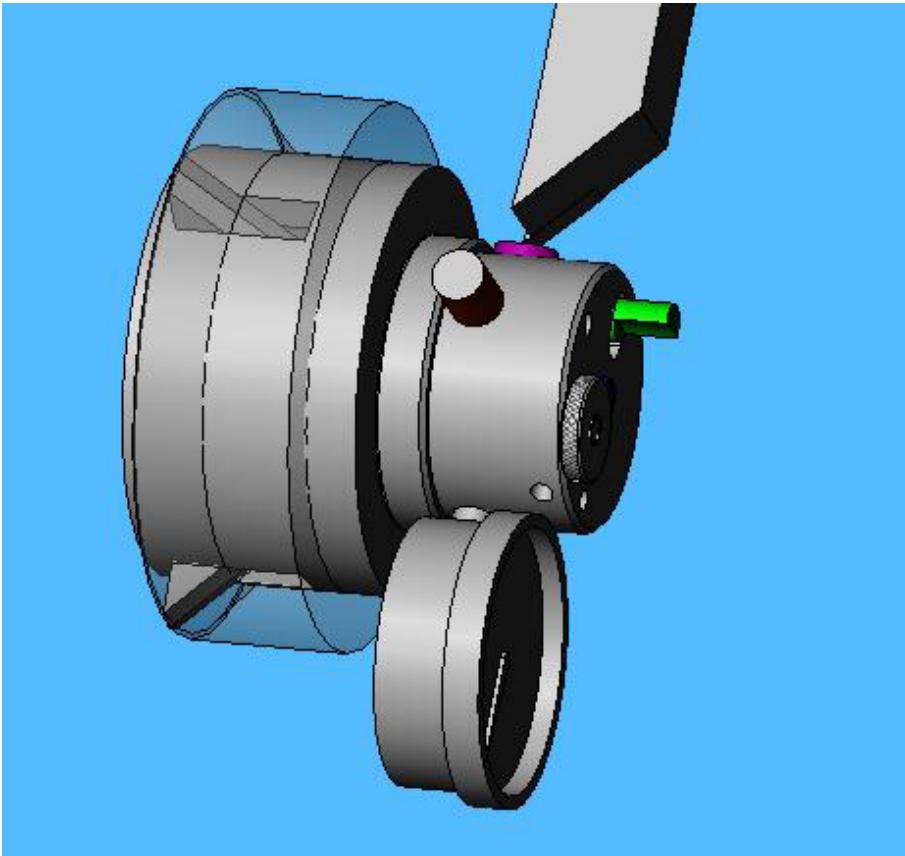
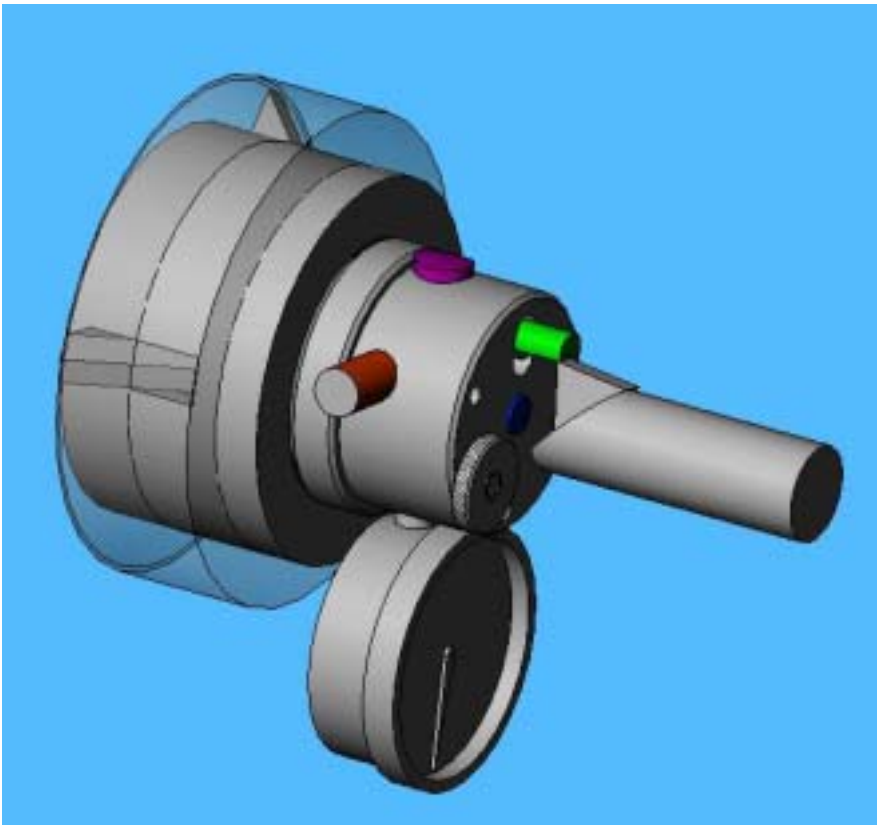


圖 6、外徑刀 X 軸校刀



內徑刀 X 軸校刀

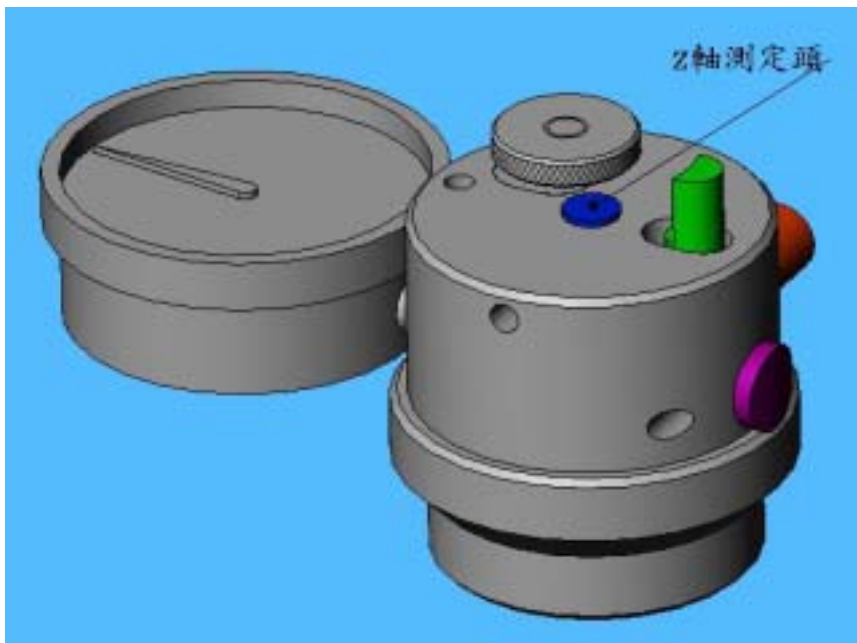


圖 7、銑床 Z 軸校刀

(三)、加工及組立

圖 8~圖 12 為零件加工及組立成品圖



圖 8、本體加工成品



圖 9、各零件加工成品



圖 10、本體組立成品



圖 11、挾持件組立成品



圖 12、整體組立成品

(四)、實驗測試

下圖 13~圖 18 為各種刀具校刀之方式實驗圖。



圖 13、M/C 銑床刀長校刀



圖 14、M/C 銑床刀長校刀驗證



圖 15、CNC 車床外徑刀校刀



圖 16、CNC 車床外徑刀 Z 軸校刀

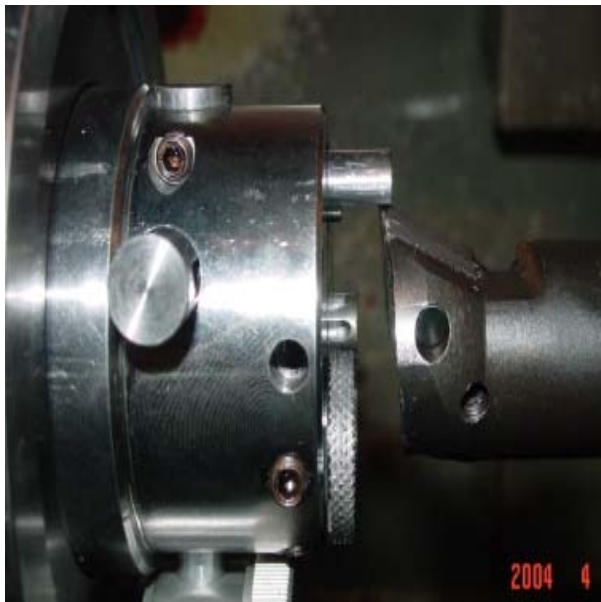


圖 17、內徑刀 X 軸校刀



圖 18、內徑刀 Z 軸校刀

(五)、測試結果

1. 在 M/C 數控銑床上之刀長校刀測試：

測試結果如下表(單位：mm)：

實驗次數	銑刀推動校正器量表至歸零點之 Z 軸座標	輸入之刀長補正值	銑削深度	檢驗量表讀出之誤差值	備註
1	247.02	300.02	3.0	0.12	原始設計之歸零鈕
2	246.98	299.98	5.0	0.1	原始設計之歸零鈕
3	247.01	300.01	10.0	0.09	原始設計之歸零鈕
4	247.1	300.10	3.0	0.01	改使用標準圓桿為歸零鈕
5	247.09	300.09	5.0	0.008	改使用標準圓桿為歸零鈕
6	247.1	300.10	10.0	0.011	改使用標準圓桿為歸零鈕

測試步驟：

1. 將所需校刀之刀具及面銑刀安裝於刀倉內。

2. 挾持工件於虎鉗上，並利用面銑刀銑削表面。
3. 將要校刀之刀具換刀置主軸上。
4. 將已完成歸零之校正器放置於於工件表面上。
5. 移動刀具至校正器上方，並接觸 Z 軸測頭。
6. 繼續移動刀具至使量表顯示歸零點位置。
7. 輸入刀長補正偏移量(直接讀出 Z 軸之值輸入 OFFSET 補正欄位)
8. Z 軸原點復歸，移開校正器。
9. 主軸旋轉，並利用(G90 G00 G43 Z50.0 H01)程式移動刀具至工件表面 50mm 位置。
10. 利用手動方式加工工件表面一深度 5mm 的槽，完成後刀具復歸。
11. 裝置一量表於主軸上，並移至工件表面使其接觸工件表面，量表歸零及機台 Z 軸相對值歸零。
12. 移動量表使其接觸加工槽之底部，此時即可讀出誤差值，若量表顯示在 5.00 處，表示校正器 Z 軸具有足夠精確度，若有誤差表示需改善。

在刀長校正的檢驗中，起初的幾次校刀誤差皆在 0.1mm 左右，針對此問題提出檢討，發現歸零鈕之精度有問題。當壓下歸零鈕時，測頭部分應該不能有任何的移動，可是發現原始設計會有約 0.3mm 的間隙移動量。因此重新製作歸零鈕，其中直徑 5mm 之圓柱改用標準高速鋼圓棒。經修正後 Z 軸刀長校刀的誤差可達到 0.01mm 內。

2. 在 CNC 數控車床上測試

將校正器裝置於已車削外徑及端面之工件上，將要校刀之刀具完成校刀後，將校正系統取下，即可進行試車檢驗。首先測試 X 軸，先以手動輸入方式輸入 T0707(校刀刀號)

G00 X64.0 Z20.0

到達定位點後以手輪進給方式加工外徑，加工完成後以外徑分厘卡量測直徑值。

在 Z 軸測試方面，先以手動方式輸入

T0707

G00 X68.0 Z-1.0

到達定位點後以手輪進給方式加工部分端面，加工完成後以深度分厘卡量測階級長度值。

為了解檢測精度重現性，以及考量三個夾爪之中心是否對正工件中心，在測試直徑加工時以校正系統上不同編號之夾爪挾持於工件上同一點，並試車兩次以了解校刀之結果是否正確。測試結果如下表 1、圖 19。

表 1、外徑車削所得結果

外徑車削	對正夾爪	車削直徑	實得尺寸
1	1	63	62.65
2	1	62	61.64
3	2	61	60.55
4	2	60	59.58
5	3	59	58.65
6	3	58	57.62

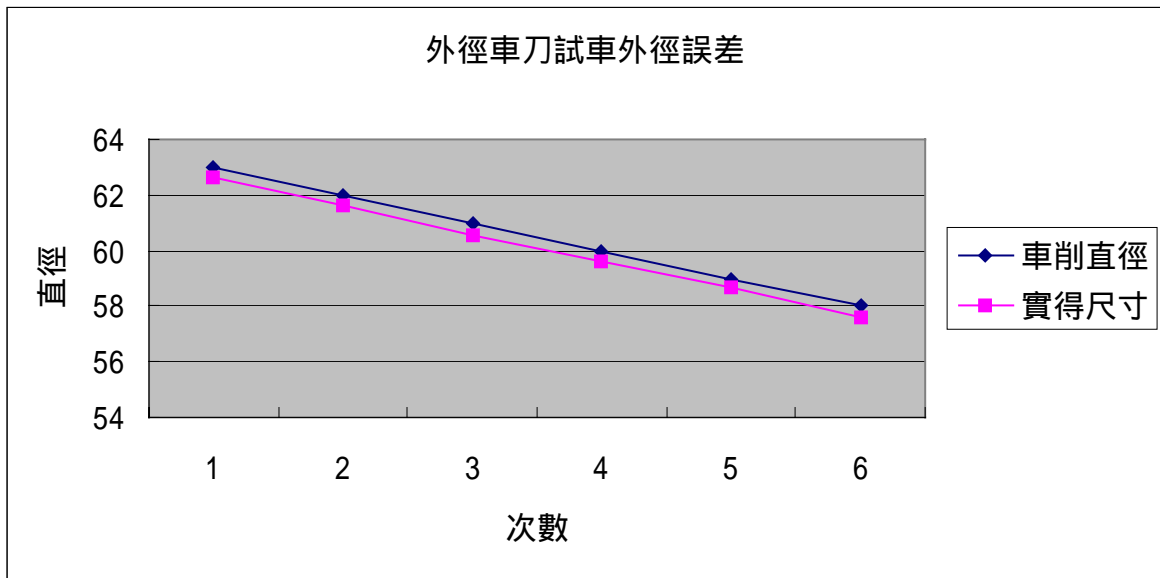


圖 19、外徑車削誤差圖

由上述實驗結果，發現直徑車削時誤差頗大，但是在夾爪挾持在同一個位置時，其誤差都為 0.6mm。討論原因發現，外測桿部分之加工是利用車床加工而成，原本加工之設計是同時加工本體 55mm 處之外徑及外測頭之端面，使測頭外端面圓弧直徑為 55mm。這個誤差量應為加工上之誤差。另外一個原因為刀尖並沒對正測頭之中心，導致實際量表位移較多，所以有過切情況而使得加工後尺寸變小。在 Z 軸測定方面，由於在銑床上已有修正，所以在實測上誤差也為 0.01mm 內。

內徑刀 X 軸測試檢驗，操作亦如外徑刀。內徑車刀車削試驗結果如下表 2、及圖 20。

表 2、內徑車削誤差

內徑車削	對正夾爪	車削直徑	實得尺寸
1	1	33	33.55
2	1	34	34.53
3	2	35	35.47
4	2	36	36.45
5	3	37	37.52
6	3	38	38.48

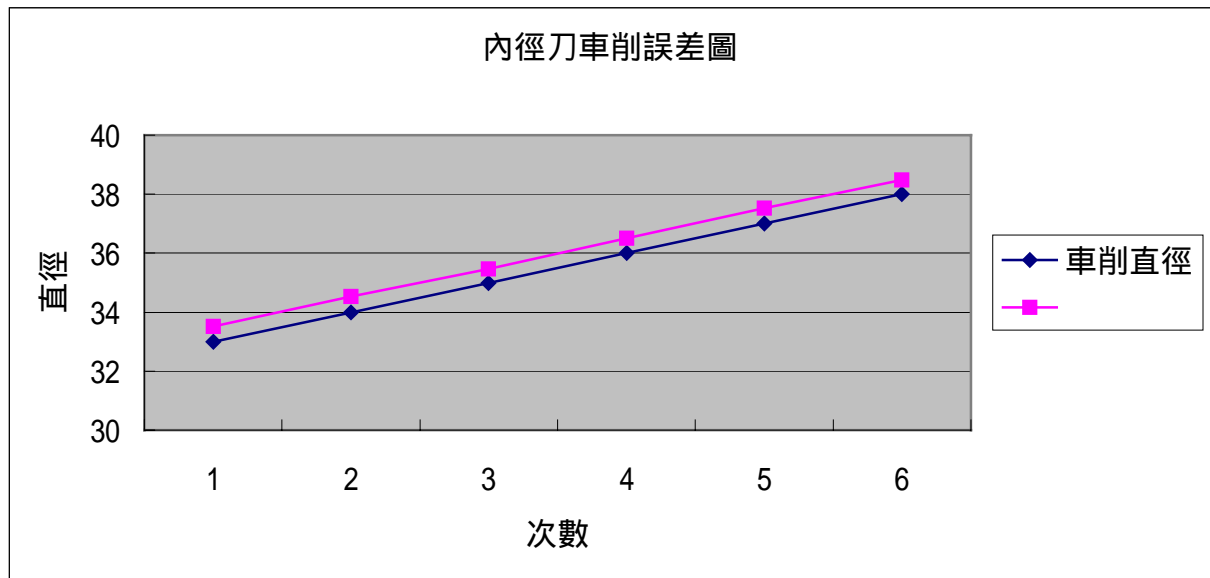


圖 20、內徑車削誤差圖

在測試的結果上發現內徑測頭的誤差較外徑刀多，考量其原因為刀尖對正測頭中心不易，易導致誤差。所以在測頭的加工上需要精度更高的外圓、內圓之研磨，並配合三次元量測儀的使用，可使本系統達到設計之目標。

3. 在傳統車床上測試

傳統車床校刀動作示意圖(圖 21) 及實驗(圖 22) , 將橫向進刀量 2mm 與量表讀出值 B 比較計算即可得知刀尖低於中心位置距離為值。其公式如下

$$\cos A = \frac{\text{橫向進刀值}(2\text{mm})}{\text{量表讀出值}(B)}$$

$$X = 22.5 \times \sin A$$

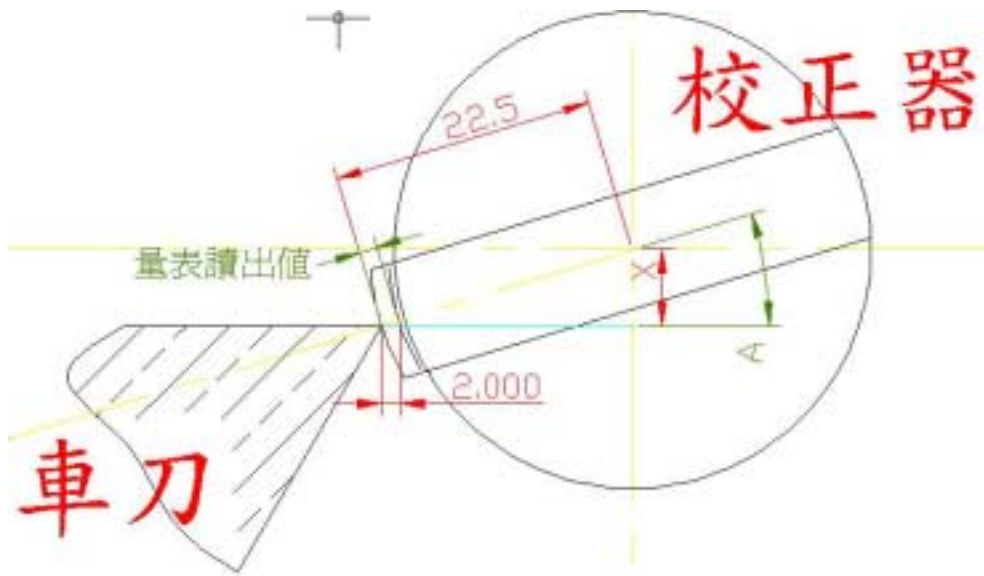


圖 21、傳統車床校刀示意圖

公式中

A 為車刀刀尖接觸點至工件中心點連線與過刀尖水平線之夾角

B 為指示量表動作距離讀出值

X 為刀尖高度位置偏差量



圖 22、傳統車床校刀實驗

四、討論及應用

(一)、不精確之原因

1. 加工精度及組立上的誤差

加工上若 Z 軸測頭的錐度精度有誤差時，如不為 45 度，則 Z 軸方向的位移轉移到 X 軸時會有不相等距離的位移。零件加工及組立上的誤差亦可能造成誤差產生。

2. X 軸誤差原因討論

由於目前設計之外徑 X 軸校刀是以目測方式對正刀尖於測頭中心，因此容易發生目視上的誤差，亦會造成校刀精度的誤差。如圖 23 所示。

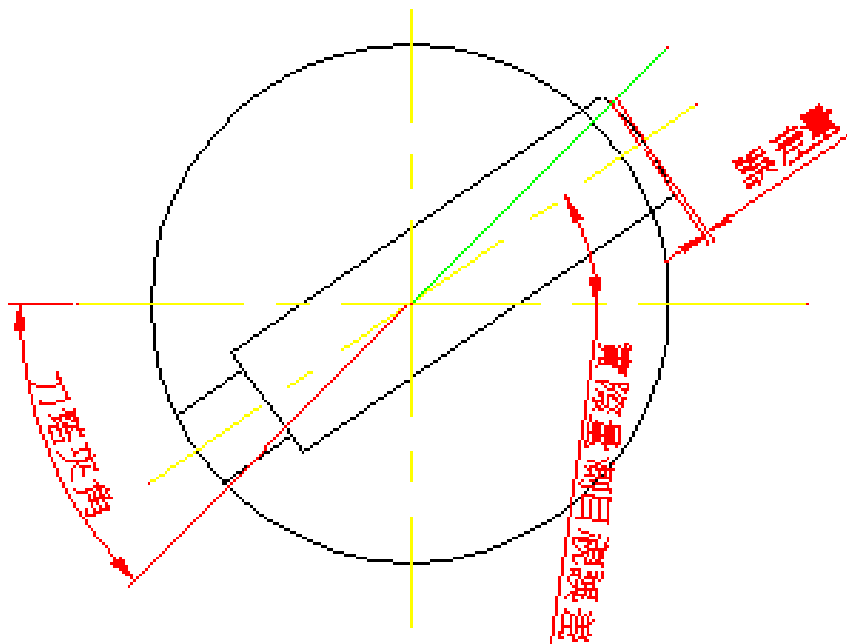


圖 23、CNC 車床校刀 X 軸誤差圖

(二)、應用

在實際操作上，由於 M/C 數控銑床的刀長校正只有單方向校正，所以較容易完成。而 CNC 車床的校刀則因為有外徑、內徑車刀，各有兩個方向需要校刀，因此其工作較為繁瑣。通常 CNC 車床校刀完畢後，不會再更動刀具 X 軸形狀補正，除非有較大工作物之更換，一般只有做基準刀之 Z 軸補正。在操作上若一次須校正多把車刀，則此系統有可用之處，若僅有一至兩把刀，則只須以傳統校刀方式即可完成動作。

五、結論

- (一)、在研製的過程中發現部分的零件加工不易，尤其是測頭本體的加工手續繁複，加工過程需要考慮甚詳，否則精度無法達到要求。另外內外測頭彈簧旋轉鈕可設計於本體內，減少 Z 軸校刀時之干涉。
- (二)、在製作過程中發現挾持部位設計有改善空間，在實際使用上操作並不甚方便。
- (三)、傳統車床校刀的設計算是一個創新，在實際應用上仍有其不方便性。如何更快對正刀具高度及如何更快校正工件中心的設計方向，仍然有思考的空間。
- (四)、在最後的測試結果上發現，X 軸的誤差皆為 0.5mm，討論後為加工上之誤差。為了解本系統的精度，可利用三次元座標量測儀來作各測頭的位置量測，了解測頭的中心位置，及各相關點之位置度，做為未來修改的方向。

精密刀具定位系統是數控機械必須發展的一項技術，不管是接觸式或是非接觸式定位系統，都必須有精度高、操作容易之特性。本次的研發創作算是一個開始，在製作過程學習設計的經驗與加工的技巧，也更進一步了解國內工具機發展的趨勢。數控機械朝向高速化、高精度的方向發展，相對的技術也必須更加提昇，高職機械科也必須由電腦輔助設計與製造中出發，訓練出更多優秀的技術人員。

六、參考資料

1. 楊玉清著，數值控制機械實習 II，高雄，昱網科技股份有限公司，頁 4-68 至 4-79，民 91 年。
2. 趙崇禮等，民 88 年，非接觸式精密刀具定位系統之研製，中正嶺學報/27:2，頁 31-41。
3. 王繼正著，CNC 銑床與切削中心，台北，全華科技圖書股份有限公司，頁 93-94，民 80 年。
4. 井澤 實著，杜光宗編譯，精密定位技術及其設計技術，台北，建宏出版社，頁 92-108，民 81。