

第十五屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA15-314

作品名稱：精密二次元高度計的製作研究

姓名：張佳峻

關鍵字：高度計、精密測量、應力應變分析

目錄

摘要

壹、研究動機	1
貳、研究目的	2
一、文獻探討	
二、研究目的	
參、研究設備與器材	4
一、硬體設備	
二、標準零件	
肆、研究過程	6
一、研究流程規劃	
二、傳統雙柱式高度計的形變分析	
三、傳統雙柱式高度計的測量誤差	
四、精密二次元高度計的製作過程	
伍、結論	13
陸、討論及應用	14
柒、參考資料及其他	17

精密二次元高度計的製作研究

摘要

這篇研究是在探討三點結構應用在高度計的可行性，目的是希望透過結構變化，讓原本只有兩支柱子的雙柱高度計，可以變得更精密。此外，精密二次元高度計的設計，讓原本的高度計，不再只是一般的高度計，它除了可以節省工作空間外，同時具備畫線台與量測的功能。在實驗上，我們先透過Solidworks simulation 模擬軟體，分析傳統雙柱式高度計與三點結構高度計的形變差異，結果證實三點結構的新型設計，精度明顯優於傳統雙柱式高度計，變形誤差會縮小至0.01mm以下。實驗過程從鋸切下料、零件加工，到配合組裝，共分成14個步驟詳細記錄。在力學計算分析方面，高度計的最大彎曲應力約68.7MPa，約5倍安全係數，符合工業設計標準。針對製作的專題成品，最大垂直度誤差為0.004mm，旋轉平面的精度則為0.010 mm，兩項精度都遠優於傳統式高度計，證明新型設計是成功的。

壹、研究動機

我們是學校技能競賽的選手，在平常的練習時，我們會使用雙柱附錶高度計，來測量工件的平行度與垂直度。有次，我們借用學長的量具測量，發現，每一支雙柱式附錶高度計，測量出來的垂直度都有些許的誤差。而且，每次在測量時，都覺得工作空間狹小，不好操作。於是我們就找老師詢問這個問題，跟老師討論幾次後，我們發現，可能是因為我們收納的擺放方式，使雙柱式高度計因重力而造成變形的問題。再者，我們還發現，市售的高度計的樣式，幾乎都以單柱與雙柱為主，這樣的結構設計，讓擺放的方式受到侷限，而且很容易變形。因此，我們希望把高度計的結構重新設計，讓使用者在操作上，可以更精密、更容易使用、更好收納保存，這是我們的研究動機來源。

精密二次元高度計的製作研究，不管在學科或實習科目上，都與學校課程有很多單元相關聯。這個專題競賽運用到的知識與課程單元如表 1 說明。

表 1 實驗內容與課程相關單元

科目	單元	內容
機械製造 II	第七章-量測與品管	量具的測量原理及方法
機械力學 II	第九章-張力與壓力	應力、應變、彈性係數的計算
機械力學 II	第十二章-樑之應力	剪力與彎矩圖
機件原理 II	第十章-齒輪	齒輪機構
機械基礎實習	第十章-車削加工	零件加工、車刀研磨
機械基礎實習	第十二章-公差與配合	公差等級、零件配合

貳、研究目的

一、研究目的

- (一) 分析市售雙柱高度計的形變誤差
- (二) 探討不同的高度計結構對於幾何精度的影響
- (三) 設計製作一部更精密、更容易使用及收納的複合式高度計
- (四) 用數據比較新、舊高度計的精度差異

二、文獻探討

(一) 雙柱高度計的功能結構

游標高度計在 CNS 中稱為游標高度尺，一般俗稱高度計，如圖 1 所示，其規格則有 200-1000mm 等五種高度，公制精度 0.01mm，英制精度則為 0.001in，組成是由游標卡尺的一端，垂直裝在底座上，使游標卡尺與底座成垂直狀態，如在游尺上增加劃線規或槓桿量表，便可用來劃線與平行度、垂直度的測量[1]。細部構造如圖 2 所示，高度計的本尺部分是由兩支附有齒條的鋼柱製成，量錶旁邊有上下兩段式計數器，它是利用量錶內的小齒輪在兩支柱齒條上轉動，產生放大及計數和顯示數字的作用。量錶指針與裡面的小齒輪同軸，而且小齒輪受齒輪控制，故此種高度計除有整數值顯示外，還可以從量表指針偏轉，直接讀出小數尺寸值。這種樣式的高度計，最大的優點除了可直接讀出尺寸外，在計數器上還有一個歸零鈕，可在任何位置歸零，非常方便使用。我們的專題競賽，則預計設計成電子式數字尺的構造，增加使用的便利性。

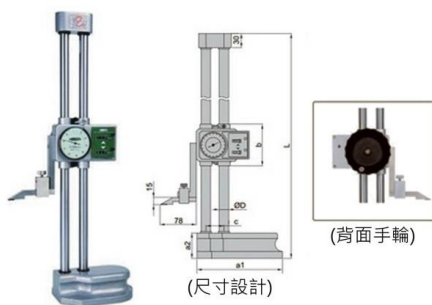


圖 1 市售雙柱式高度計[1]

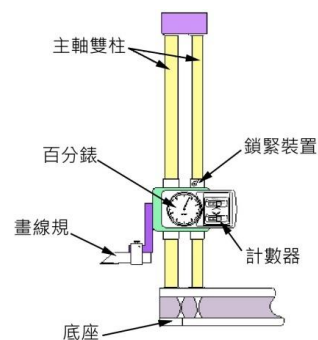


圖 2 高度計的組成構造

(二) 三點支撐結構

在雙柱式的高度計構造中，主軸雙柱是一個重要的構件，依柱子所在的位置不同，會具有不同的功能及承載作用。結構的穩定性則是結構在負載的作用下，維持原有平衡的能力。其中，三點支撐結構所形成的平面，可以達到最好的平面度，照相機三角架，即為常見的設計案例，如圖 3 所示。此外，腳踏車的單腳架也是運用三點支撐結構，如圖 4 所示，如腳踏車沒有了腳架的固定，

車身一定會左右傾倒。在這個專題競賽上，高度計會因為本身重量與擺放的方向，導致變形，造成測量上的誤差。因此，我們希望將三點結構的原理，運用在高度計的設計上，讓高度計的剛性可以更好，測量精度可以更精密。



圖 3 相機三點支撐結構



圖 4 腳踏車三點支撐結構

(三) 齒輪介紹與研究

齒輪的種類很多，通常都根據齒輪軸的情況區分成平行軸與不平行軸兩大類型，下列我們將針對其中較常用的幾種齒輪做介紹。圖 5 所示「平行軸齒輪」，包括正齒輪、螺旋齒輪、齒條與齒輪及人字齒輪。圖 6 則為「不平行軸齒輪」，包括直角斜齒輪、蝸線斜齒輪、軋齒輪、蝸桿與蝸輪以及交錯螺旋齒輪[2]。我們第一代作品的設計，即是使用的是齒條與齒輪，做為高度計的升降旋轉機構。

1. 正齒輪：容易加工，因此在動力傳動上使用最廣泛。
2. 螺旋齒輪：比正齒輪強度高且運轉平穩，轉動時會產生軸向推力。
3. 齒條與齒輪：與正齒輪咬合的直線條狀齒輪，用於有位移傳動的場合。
4. 人字齒輪：兩個左、右旋的螺旋齒輪組合而成，不會產生軸向的推力。
5. 直角斜齒輪：具有直齒和傘形齒輪的特徵，受力情形與傘形齒輪相同。
6. 蝸線斜齒輪：適用於高速及重負荷的傳動，常用在貨車的差速機構上。
7. 軋齒輪：在交錯軸間傳動的圓錐形齒輪，常用在汽車子加速器的機構。
8. 蝸桿與蝸輪：可以傳動大的負荷且噪音很小，用於大轉速比的場合。
9. 交錯螺旋齒輪：適合用在交錯軸間傳動，運轉平穩但不耐重負荷。

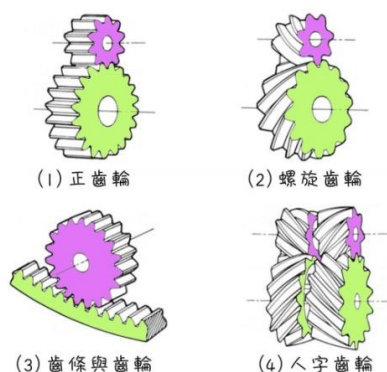


圖 5 平行軸運動

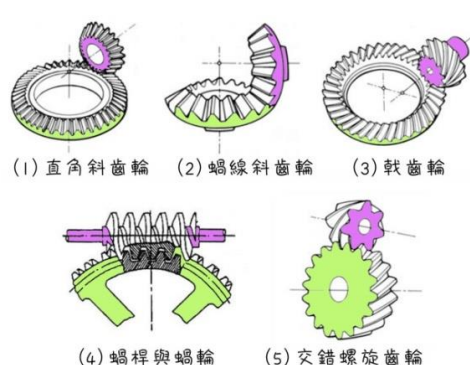


圖 6 不平行軸運動

參、研究設備及器材

在這個專題競賽的製作上，除了標準零件外，我們都會使用學校實習工場既有的機器設備進行加工。下述以硬體設備與標準零件進行分類，使用的機器包括立式銑床、車床、鑽床與磨床等，標準零件則是以控制升降旋轉動作所需要的零件。

一、硬體設備

銑床是在工科學校裡是一個很重要的工具機，它工作範圍很廣能做到平面、階級、角度、溝槽、甚至齒輪、螺旋、鑽孔等多項的加工，工作效率高，是機械行業與職業學校不可缺少的加工設備。銑床依構造、用途和加工角度等不同，可分成砲塔式銑床、柱膝式銑床、龍門式銑床與數值控制中心切削機等類型[3]。而在本次作品所使用的機型是，它的主軸頭上方有電動機與皮帶塔輪做為主軸動力及變速機構，在操作上方便、靈活、快速，適合於較輕型切削之加工，圖 7 即為本次使用的銑床機器，我們是用來銑削這次「精密二次元高度計」的底座部分。而另一種工具機，車床是最早被發明的工具母機，許多的新型工具機設計，皆是以車床的加工原理為基礎。隨著工業的發展，車床也發展成多種不同功能與樣式，以適應產業界的多樣化要求。其中，又以普通車床使用最為平凡，其主軸以齒輪系傳動，構造精密，是當今機械工廠、學校及訓練單位使用最多的設備[4]。這次車床的使用，我們則用來製作精密二次元高度計上的軸承座與主軸的套管，用到的車床工具有百分量表、外徑車刀、切槽刀、倒角刀以及成型車刀等，圖 8 所示為學校的車床機器。



圖 7 實驗硬體_砲塔式銑床



圖 8 實驗硬體_高速車床

鑽床的種類很多，依照結構不同，常用的鑽床機械有靈敏鑽床、立式鑽床、懸臂鑽床、成排鑽床、多軸鑽床等[5]。本次使用的是靈敏鑽床，通常用於一些組合孔的鑽削，主軸與馬達以三角皮帶來傳動，鑽床常用在小型工件的鑽孔，是機械工廠與學校必備的機器。在這個作品上，則用於鑽削組合件的螺絲孔、沉頭孔，以及圓孔的倒角加工，圖 9 是我們使用的鑽床設備。磨床加工屬於精

密、小量的加工方法，是利用磨輪旋轉來對工件表面進行研磨的，主要使用在精密工件的製作[6]。在這次作品上，我們則是用來研磨「精密二次元高度計」的底座，以確保其組裝的精密度與平行度，圖 10 是學校的磨床機器。



圖 9 實驗硬體_靈敏鑽床



圖 10 實驗硬體_高速磨床

二、標準零件

除了上述說明會使用的機械設備外，這個題目也用到了很多精密的標準零件，在我們的專題競賽上，預計會使用到的組裝零件包含內六角螺絲、轉動手輪、標準桿、齒條、齒輪、軸承、槓桿量表與定位銷等，如圖 11 所示。內六角螺絲主要是用來固定各個零組件；標準桿做為滑動的主軸，材質為硬化鋼，除了耐磨外，也可以增加結構剛性；螺桿與螺紋配合讓高度計能上升下降。軸承則是選用軸向軸承與徑向軸承並用，以兼顧兩方向的轉動精度；定位銷是作為精密孔的定位



圖 11 標準零件

肆、研究過程

在研究過程與方法上，我們分成「研究流程規劃」、「形變模擬分析」、「測量誤差實測」、以及「精密二次元高度計的製作」四個部份說明。

一、研究流程規劃

在確定了研究題目後，我們將「精密二次元高度計」的製作，分成作品說明書、CAD 設計、零件製作等三個階段，並將工作細項進行分配，如圖 12 所示。我們從電腦繪圖、上下底座製作、小手輪、下料到零件的加工，都會在學校自行設計加工。在機構設計上，細分精密螺桿與螺帽設計、旋轉槓桿量表設計、升降設計以及結構強度分析。完成精密二次元高度計的設計後，我們會逐步拍攝製作的過程，並撰寫成文章，最後再交由老師修稿，然後參加全國競賽。

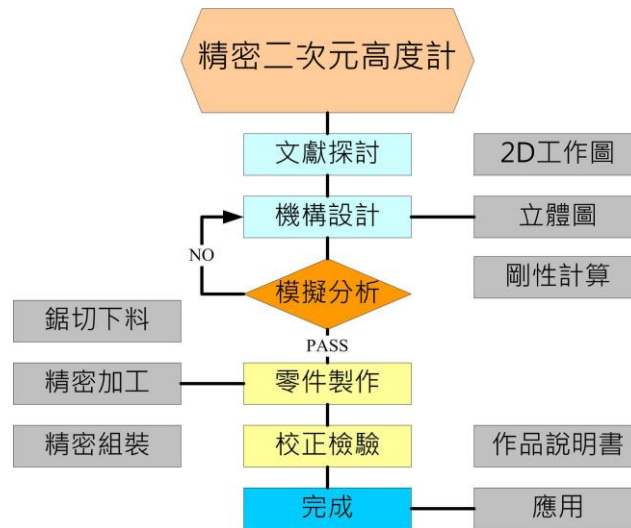


圖 12 實驗流程

二、傳統雙柱式高度計的形變分析

雙柱式高度計的結構為細長狀，直立擺放收納不易，側向擺放則有變形的疑慮，長時間放置，可能會造成永久性的變形。因此，我們透過 Solidworks simulation 軟體，分析其擺放方式，對於高度計變形的影響。經過模擬分析，我們發現，在直立擺放時，雙柱式高度計的最大變形約為 0.03mm，發生在最外側，如圖 13 所示。但，礙於空間的影響，過去我們一直將高度計以橫式擺放的方式收納，經由圖 14 實驗得知，這種方式的擺放，會讓高度計發生約 0.48 mm 的形變，也是造成精度偏差的最主要的原因。這個實驗的目的，就是希望透過模擬，知道兩種擺放方式的形變誤差。後續實驗，將設計一個新的機械結構，讓其剛性更好、精密度更高，且不受擺放方式造成測量誤差，這是這個專題競賽研究的重點。

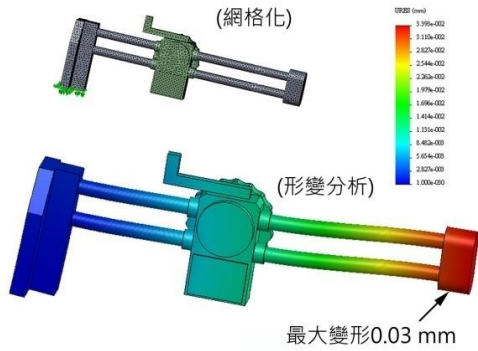


圖 13 直式變形模擬

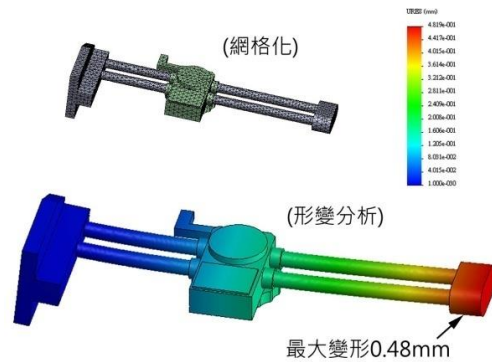


圖 14 橫式變形模擬

三、傳統雙柱式高度計的測量誤差

我們組員來自機械科，都是全國技能競賽的選手，在實作方面所需要的精密度較高，只要測量工具有些微的偏差都有可能對成品的精度造成影響。以下是我們經過多次的實驗後，所發現的問題。我們使用精密 V 型枕做為垂直度測量的依據，如圖 15 所示。實驗從 0-10mm 開始測量，偏差僅約 0.02mm。但，當測量長度到達 100mm 時，偏差量已經有 0.40mm，如圖 16 所示，與上節模擬分析的結果符合。因此，改變高度計的結構設計，增加使用的便利，確實有其必要性。



圖 15 垂直度測量實況

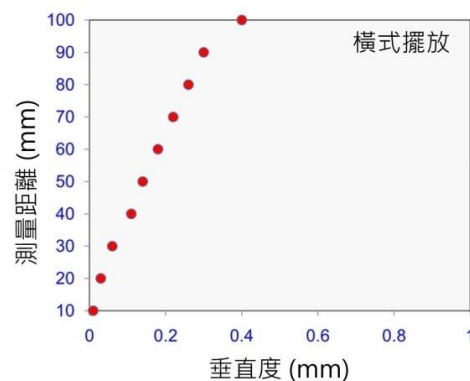


圖 16 垂直度誤差

四、精密二次元高度計的製作過程

(一) 底座車削

為了讓設計的高度計精度可以提高，增加穩定性，在材料的選擇上，我們使用中碳鋼的圓棒，最大直徑是 $\phi 100\text{mm}$ ，如圖 17 所示。但是在製作的過程中，我們發現切斷刀沒有那麼大把，無法切下 $\phi 70\text{mm}$ 以上的工件，所以為了切斷底座我們設計在底座挖了一個孔，讓底座的半徑減少，但最後發現還是不夠，為了讓刀子能切得更多，我們特別將切斷刀的刀腹往後磨，讓切削的深度可以增加。圖 18 是高度計底座的車床加工。



圖 17 準備材料



圖車削底座

(二) 滑動游尺製作

在滑動游尺車削的部分，為了組裝起來不要太鬆，尺寸控制很重要，我們將槽 30mm 的地方做成+0.05mm，而槽的直徑 $\phi 68$ 要做成-0.01mm，都是為了跟內部滑塊精密配合，最後切斷的時後我們發現因為工件實在太大，如果直接切斷，工件恐怕無法接住，會掉落撞傷，所以我們想了一個辦法就是拿大盒子裡面塞布防止工件受傷，來接住工件，如圖 19 所示。圖 20 是車床加工的實況。



圖 19 工件切斷的保護



圖 20 滑動游尺車削

(三) 固定環製作

在固定環的車削中，如圖 21 所示，由於內孔要車到 $\phi 80\text{mm}$ 非常大，為了減少鑽頭靜點阻力，我們先用定位鑽頭完成導引孔，再用 $\phi 38\text{mm}$ 的大鑽頭鑽通材料，如圖 22。在內孔粗車時，剛開始的直徑小，切削速度比較慢，轉速需要比較快，約 900rpm。當孔徑越大時，轉速要越慢，在 $\phi 60\text{mm}$ 時轉速調至 600rpm。最後，精車內孔時，尺寸要控制的很準，才能與滑動游尺精密配合。

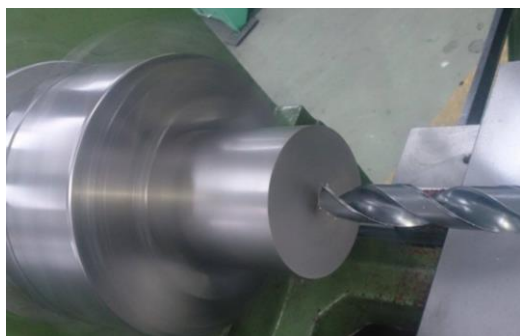


圖 21 固定環鑽孔



圖 22 車削固定環內孔

(四) 滑動游尺精密配合

在滑動游尺內部，我們有設計兩個槓桿量錶支架，它可以在滑動游尺與固定環形成的軌道內 360°自由滑動，圖 23 所示。滑動游尺精密配合，固定環的功用就是要固定內部滑塊，上下各一個固定環，裝上去後，能讓內部滑塊沿著滑動游尺的槽內自由滑動。我們將尺寸做成+0.01mm，並且在車削時，利用分厘卡與塊規配合測量，這樣才能讓滑動游尺達到精密配合，組裝後，測量的滑動間隙約為 0.02mm。圖 24 為滑動游尺組裝後的實體。

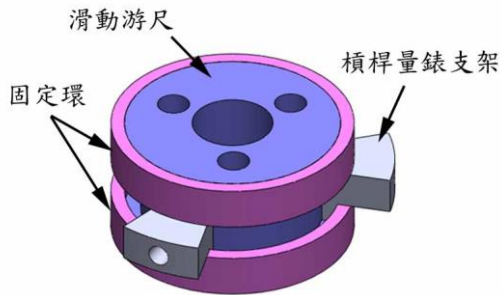


圖 23 滑動游尺設計圖

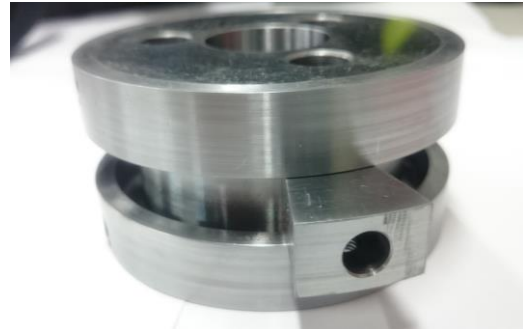


圖 24 滑動游尺精密配合

(五) 數字尺的銜接塊

在精密高度計的設計上，我們希望同時具高精度與便利性，因此，我們在主體的外側，會加裝一個電子式的數字尺，與滑動游尺連接後，就能即時顯示高度位置。電子式數字尺是否準確與它的垂直度有直接關係，所以，我們在頂座外，設計了一個精密的銜接塊，如圖 25 所示，讓數字尺鎖上去的時候，會與標準圓棒完全平行，與底座完全垂直，如圖 26 所示。

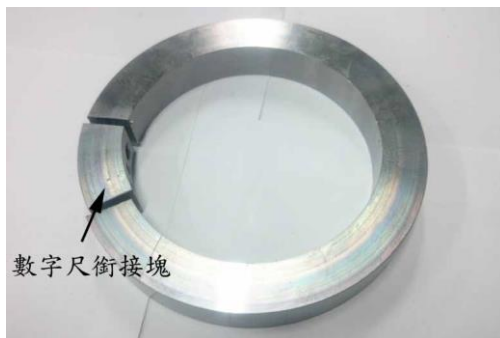


圖 25 數字尺銜接塊

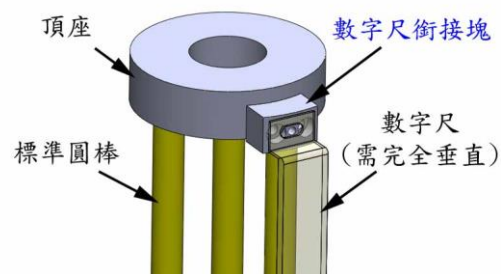


圖 26 數字尺組裝示意

(六) 孔位精密定位

高度計的精度，決定於三根標準圓棒是否有完全垂直並平行，因此，在頂座、游尺、底座孔位的定位上，要非常精準。我們製作的方法，先用繪圖軟體，算出孔的相關尺寸，如圖 27 所示。再利用銑床機器尋邊，如圖 28 所示。圓形尋邊的方法，是先尋 X 軸外側任意兩點，座標相加除以二就會找到 X 軸的中心，此時再換邊尋 Y 軸方向，其座標扣掉尋邊器與工件的半徑，就是圓的中心。

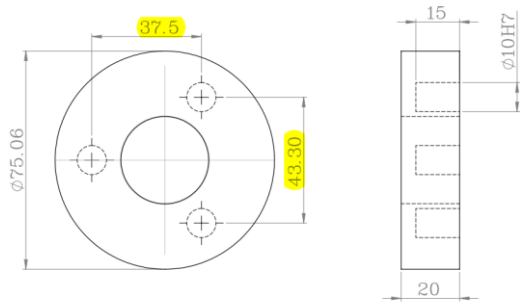


圖 27 孔與中心的相關尺寸

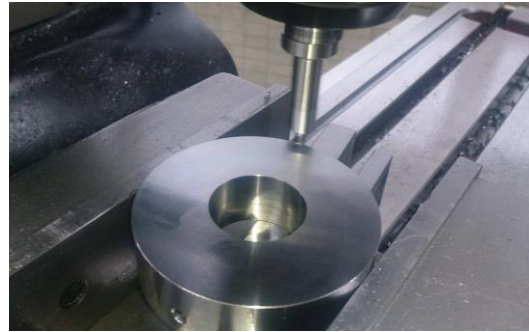


圖 28 機械尋邊

(七) 鑽孔與鉸孔

為了確保孔精確度，尋好邊之後，我們先用定位鑽頭鑽出一個定位點，如圖 29 所示。之後用 $\phi 5.8\text{mm}$ 的小鑽頭先鑽出導引孔，鑽孔時要多加切削液，否則鑽頭很容易過熱頓化，導引孔完成，再用 $\phi 11.7\text{mm}$ 的鑽頭鑽到足夠的深度，然後倒角。倒角後，就可進行 $\phi 12\text{H}7$ 的精密鉸孔，如圖 30 所示。

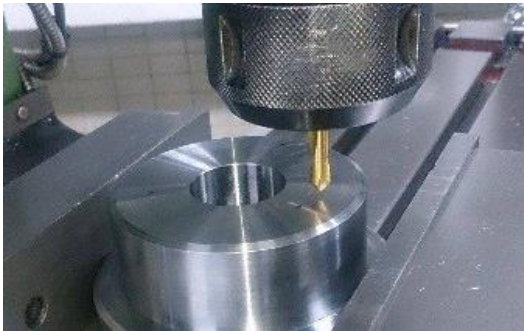


圖 29 定位鑽孔



圖 30 精密鉸孔

(八) 滑塊鋸切

先把手工鋸裝上鋸條後，在線的旁邊先輕輕鋸出一條線，再沿著之前的線來回鋸切，由於這塊料厚度有 30mm 所以鋸切起來費力，如圖 31 所示。鋸下來之後要上銑床所以要留一些方便之後加工，鋸切時也要注意鋸片是否維持一直線，要小心不能去鋸到線。圖 32 為內部滑塊的雛形。



圖 31 內部滑塊鋸切

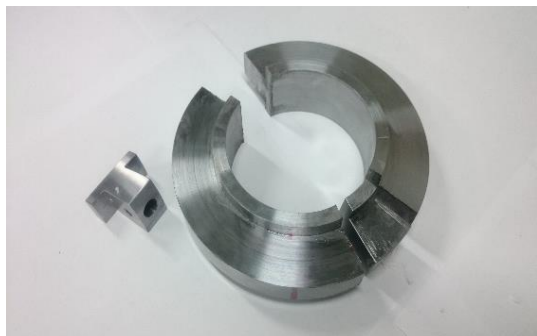


圖 32 滑塊雛形

(九) 滑塊銑削

內部滑塊鋸下來後，表面是凹凸不平的，需要利用銑床銑銷表面，使其平整，如圖 33 所示。由於內部滑塊不是平整的面，所以要用軟槌微調夾持的角度，確保工件幾何形狀是對稱的。銑銷內部滑塊時，因為夾持量很少，也要注意不能一次銑削太深，否則容易夾持變形或工件飛出，銑削成品如圖 34 所示。

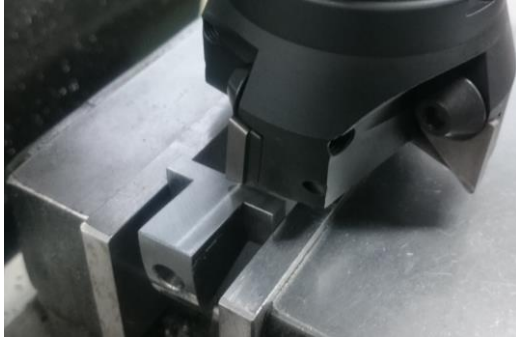


圖 33 滑塊銑削

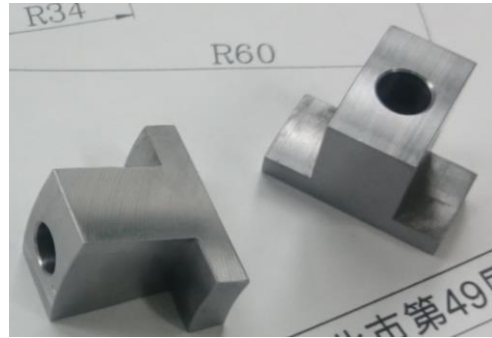


圖 34 滑塊成品

(十) 滑塊鑽孔

將已經銑好的內部滑塊，拿虎鉗固定鑽孔 $\phi 7.8\text{mm}$ ，這個步驟要特別小心，因為夾持的位置很少，如果直接鑽下去，工件很容易洞歪掉，如圖 35 所示。為了避免鑽削力過大，我們會先鑽個 $\phi 4.3\text{mm}$ 的導引導後，再鑽 $\phi 7.8$ 的孔。完成後，並在滑塊側邊攻 M5 的螺絲孔，做為槓桿量錶固定的螺絲孔，如圖 36。

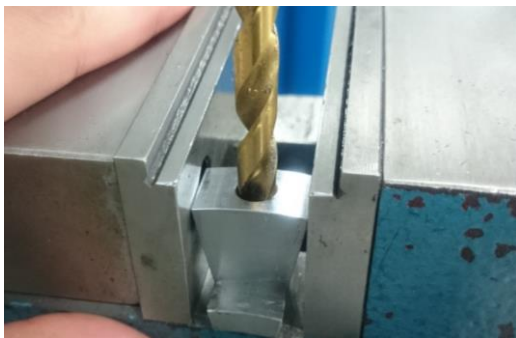


圖 35 滑塊鑽孔



圖 36 槓桿量錶固定螺紋

(十一) 砂紙精修固定環內孔

上下蓋在鑽孔的時候，因為鑽孔關係，毛邊往出口方向產生，我們可以在快鑽通孔的時後，放慢進給速度，讓內部毛邊盡量減少。鑽孔後環內剩下的毛邊，這時就先用小支的銼刀，粗略的把毛邊修除，如圖 37 所示。最後再拿砂紙把內圈磨到平整就可以了，如圖 38 所示。

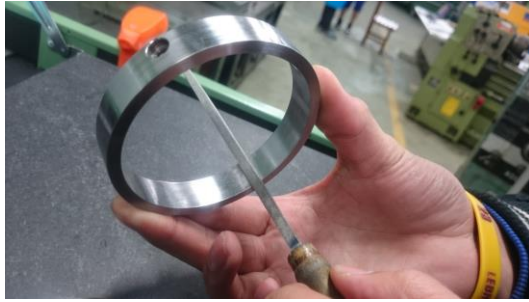


圖 37 銼刀粗修

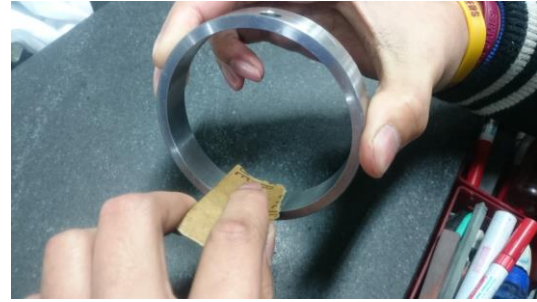


圖 38 砂紙精修

(十二) 主軸固定螺絲孔

為了讓螺絲孔準確的鑽在中心線上，我們利用精密 V 型枕，算出孔的真實高度，如圖 39 所示。畫好線後，先用中心沖打定位點，再用中心鑽定位後，鑽出 $\phi 4.3\text{mm}$ 的通孔，並攻 M5 螺紋，最後內孔會有一些毛邊，需要再用 $\phi 12\text{H7}$ 的鉸刀，再鉸一次，清除孔內的毛邊，如圖 40 加工實況。



圖 39 精密 V 型枕劃線



圖 40 鑽主軸固定孔

(十三) 精密研磨

為了確保每一個接觸面的幾何精度，所有的零件都會進行表面精密研磨，如圖 41 所示。其工作的方法是在停機的狀況下，先用砂輪來接觸工件表面，之後砂輪離開工件表面 0.02mm，啟動磨床，以每次研磨深度 0.02mm 開始粗磨，直到整面已經都是磨削紋路後，再以研磨深度 0.005mm 進行精磨，連續三個循環。並在最後一次的精磨，噴上潤滑油，以增加表面光度與防鏽，成品如圖 42。



圖 41 表面精密研磨



圖 42 研磨後的完成品

(十四) 游尺機構組裝

上下固定環、滑動游尺、內部滑塊都完成後，就可以開始組裝游尺機構，如圖 43 示意。為了讓滑塊能夠在滑動游尺與固定環所形成的軌道內，精密的滑動，上下固定環組裝的時候，我們會在兩個環之間，固定兩組 14.005mm 的塊規，確保固定環的間距是等寬的，組裝後的位移平行度在 0.005mm 以內。圖 44 所示為游尺機構組成的所有零件。

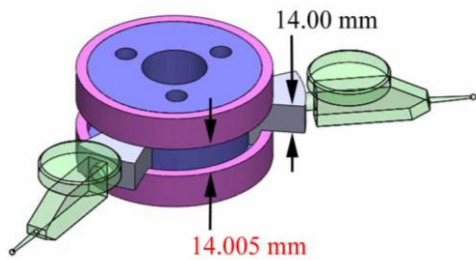


圖 43 游尺機構設計

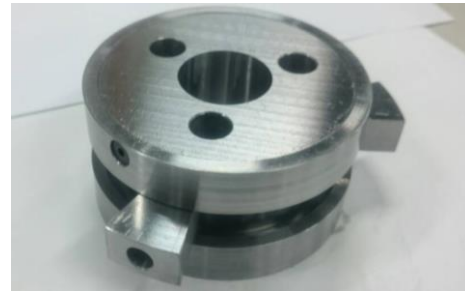


圖 44 游尺機構成品

伍、結論

這個專題競賽題目，已經完成的具體成果有三個部分，如下條列。

- (1) 針對傳統雙柱式高度計擺放方向，所造成的變形誤差進行模擬分析。實驗發現，橫式擺放的變形誤差約為 0.48mm，直式擺放的變形誤差則有 0.03mm，這和直觀上材料變形的認知相同。但，這樣的變形誤差，不管對於精密量測，或現在國際/全國技能競賽 H/h7 的公差等級而言，仍屬不足，所以傳統的高度計結構，確實有在改進的空間。
- (2) 經由模擬軟體分析，這個題目所提出的三點結構設計，如圖 45 所示，讓高度計的剛性可以更好，量測精度可以更高。分析成果如圖 46 所示，其三點結構的設計，在相同的受力情況下，變形誤差會縮小至 0.01mm 以下。
- (3) 在成品的製作上，我們已經製作完成三點結構高度計的雛形，如圖 48-50 所示。所有的實驗過程，從鋸切下料、零件加工，到配合組裝，共分成 14 個步驟詳細拍照記錄。三點結構的新型設計讓傳統的高度計，變的更便利、更精密。除了可以節省工作空間外，更同時具備畫線台與量測的功能。

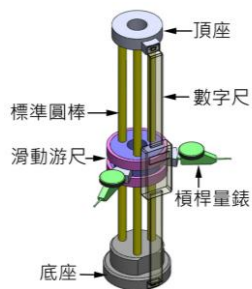


圖 45 新型三點設計

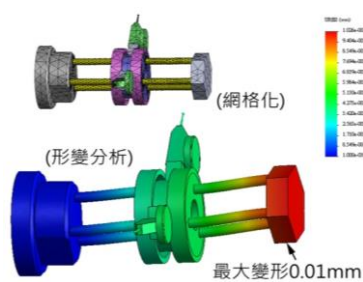


圖 46 形變分析

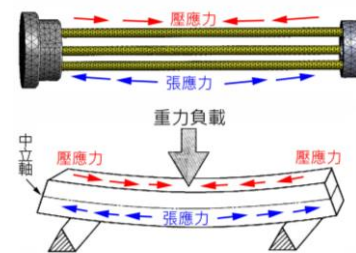


圖 47 彎曲應力分布



圖 48 加工的零組件



圖 49 滑動游尺機構



圖 50 專題製作成果

陸、討論與應用

- (1) **幾何精度檢驗**：除了結論的三項研究成果外，我們也針對製作的專題成品，做了垂直度檢驗與旋轉平面精度的檢驗，如圖 51-52 所示，在 100mm 的測量高度，最大垂直度誤差為 0.004mm，旋轉平面的精度則為 0.010 mm，兩項精度都遠遠優於傳統式高度計，證明三點結構的設計是成功的。

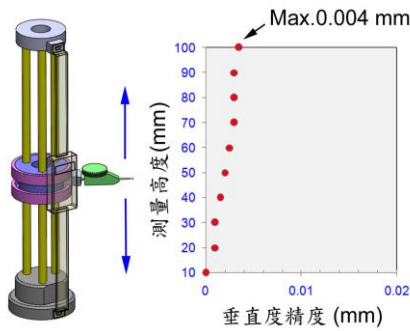


圖 51 垂直精度驗證

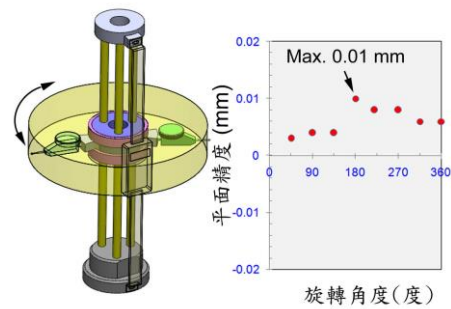


圖 52 旋轉平面度驗證

- (2) **應力計算分析**：高度計主軸的材質為硬化模具鋼，經由如圖 53-54 的剪力彎曲力矩圖，與彎曲應力公式計算，得知，精密二次元高度計的最大彎曲應力約 68.7MPa，約 5 倍安全係數，符合工業設計標準。

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (\text{式 1})$$

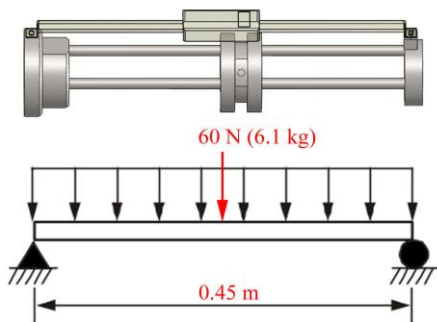


圖 53 自由體圖

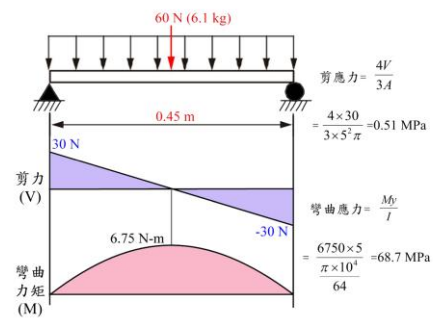


圖 54 剪力與彎曲力矩圖

(3) **後續研究**：這個專題作品在完成初賽說明書投稿後，這段時間，我們在結構設計上，更進一步做了改善。如圖 55-56 的傳動螺桿設計，改用以銅鋅合金做為螺母配合，因其具有良好的自潤滑、耐磨損、低摩擦的機械性能，常用於精密儀器的零件製作。圖 57-58 則是高度計底座的細部修改，除了減少面積約 45% 外，接觸表面也做了手工鏟花，來矯正機械加工所留下的誤差，以達到更好的機械精度。綜合比較效果，如表 2 說明。

表 2 初賽後續的研究

項目	初賽	決賽	效果
1. 傳動螺桿	螺桿：S45C 中碳鋼 螺帽：S45C 中碳鋼	螺桿：S45C 中碳鋼 螺帽：銅鋅合金	降低摩擦係數
2. 底座設計	實心設計	局部掏空處理	減少接觸面積
3. 鏟花加工	無鏟花	表面鏟花	增加潤滑性 提高精密度

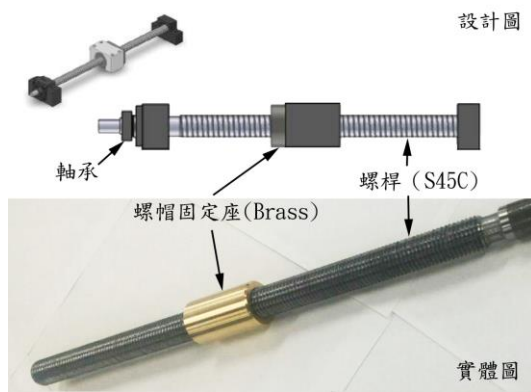


圖 55 傳動螺桿設計

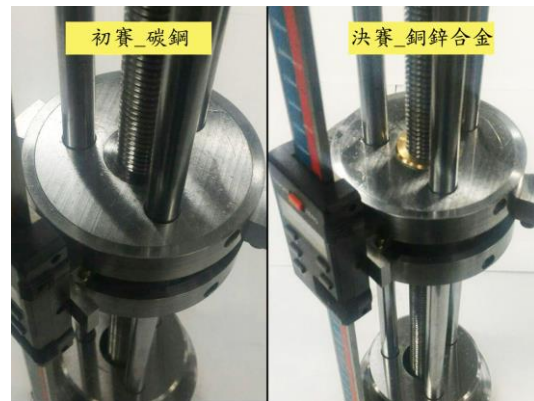


圖 56 螺帽固定座材質



圖 57 減少底座的接觸面積



圖 58 手工鏟花加工

- (4) **實際應用**：在精密二次元高度計的應用上，我們以下列兩個實際操作當作範例。圖 59 是軸承座、軸承與固定塊的配合組裝，組裝後，軸承中心與固定塊的垂直精度，就需要用高度計來檢驗測量並校正，如圖 60 所示。

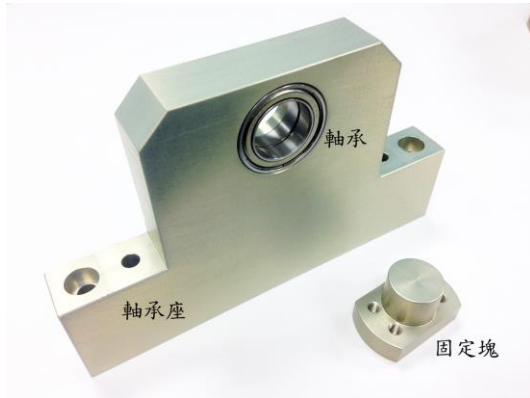


圖 59 軸承組裝



圖 60 組裝精度檢驗

『工欲善其事，必先利其器』，有好的測量儀器，才能做出精密的尺寸公差。第二個應用，則是在測量全國技能競賽的比賽作品。高度計在競賽中的應用，通常是在零件的尺寸與幾何精度的測量上，如高度、深度、垂直平行度等等，這些都是機械加工的基本要求項目。如圖 61 所示，即為今年度鉗工的比賽題目，技能要點在於精密量測、精度控制等切削加工的技术能力整合，圖 62 為這個專題作品-精密二次元高度計的實際操作照片。

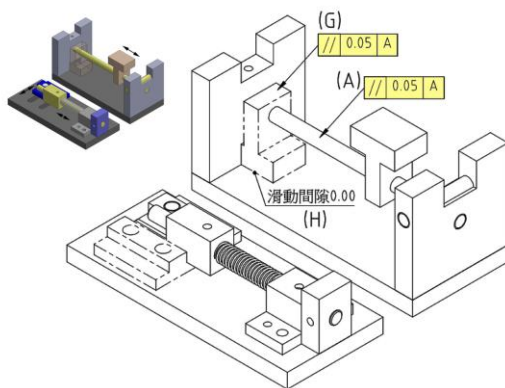


圖 61 全國技能競賽題目-鉗工



圖 62 精密二次元高度計的實際操作

柒、參考資料及其他

- [1] 高度計-維基百科。取自 <https://zh.wikipedia.org/>
- [2] 小原齒輪工業株式會社(民 103 年)。齒輪技術入門篇。台北市。1-12 頁。
- [3] 莊錫欽(民 90 年)。銑床選用。中華民國職業訓練研究發展中心，1-8 頁。
- [4] 陳順同(民 102 年)。機械基礎實習。新北市：全華。158-173 頁。
- [5] 鄭志賢(民 95)。機械製造 II。新北市：台科大。44-48 頁。
- [6] 陳順同(民 102 年)。機械基礎實習。新北市：全華。90-110 頁。