

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

※

※ 智慧型高速真圓度測定儀之設計與發展-總計畫 ※

※

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

執行期間：90 年 8 月 31 日至 91 年 7 月 31 日

計畫參與人員：張愷倫、張美雲、李志輝、陳穎真

☐赴國外出差或研習心得報告一份

☐赴大陸地區出差或研習心得報告一份

☐出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

☐國際合作研究計畫國外研究報告書一份

中 華 民 國 年 月 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

智慧型高速真圓度測定儀之設計與發展-總計畫

計畫編號：NSC 90-2213-E-002-055

執行期限：90 年 8 月 1 日至 91 年 7 月 31 日

主持人：顏家鈺

臺大機械系教授

計畫參與人員：李志中 陳永耀 顏家鈺

一.摘要

中文摘要

真圓度機所需要達成的精密度是各級幾何量測儀器中要求最高的。真圓度機量的是一個路徑，因此必須是動態的量測，在動態的量測中提供靜態的真圓度誤差資料必需靠精密的伺服系統予以達成。整體誤差的分析與量測結果的校正則需要光學對心與校正的技術來完成。本計畫希望從「機械設計」、「精密組裝」、「精密探頭設計」、「精密伺服」、到「開迴路補償」均由國內來完成，製作一台真圓度機。在我們的觀察中，國內的產業界要往前進一步，必需建立精密儀器設計的技術，而這個計畫就是希望培養這方面的技術。

關鍵詞：高速自動化量測、真圓測定、光機電整合、智慧型感應器

Abstract

The degree of precision reached by the roundness test machine is among the highest in the measurement equipments. The roundness test equipment measures a trace, thus it measures the data in the moving stage. This requires a precision measurement result from dynamically moving equipment. Therefore, high-performance precision servo is essential in this facility. In addition, the accuracy of the measurement result depends on high-precision optical centering and alignment technique. Our project will start from scratch and proceed

through all the necessary steps for a successful design. This includes: mechanical design, precision assembly, precision probe design, precision servo, and open-loop error compensation.

二.計劃緣由與目的

我國工業這幾年來不斷的升級，國內雖然在電子業有這麼雄厚的資金與企業實力，但是在配合設備維護的「機械零組件」產業方面，真正有精密加工技術的工廠非常稀少，在眾多削價求生存的小工廠中，想要藉較高級的加工技術維持較高的價格也是非常的困難。這樣的情形讓國內產業有一點不平衡，也讓電子產業缺乏堅強的工業結構（industrial infrastructure）實力做後盾。在機械工業部分，這種現象則更為明顯，我們在傳統加工機的製造上可以說是領先了許多開發中的國家。但是，講到最精密的加工機時，則我國不論在特殊材料的製造、在精密軸承的設計與製作，在高速運動組件的設計等方面都仍有一段路程需要努力。而我們的觀察，下一步擋在我們前面，或是說我們所缺的技術，正是所謂的「精密儀器」的設計與製作能力。精密儀器的關鍵技術在「精密量測」、「對心校正」、「軸承技術」、「精密伺服補償」等技術，這些技術所倚賴的已經不是一個單一的學門技術可以完全克服，需要跨領域的「光機電整合」技術才能達成。在我們的觀察中，選擇真圓度機可以說是在高級精密儀器中結構較為單純，但是又是各項技術都有需要「具體而微」的一個儀器。

真圓度機所需要達成的精密度是各級幾何量測儀器中要求最高的，它在機械設計本身的要求相對的就非常高。真圓度機量的是一個路徑，因此必須是動態的量測，也就是說精密伺服對於真圓度機而言成為最為關鍵的技術，如何「在動態的量測中提供靜態的真圓度誤差資料」是本計畫必需克服的另一個問題。整體誤差的分析與量測結果的校正更是需要光學對心與校正的技術來完成。本計畫將分為以下三個子計劃進行分工：

主計畫：智慧型高速真圓度測定儀之設計與發展

子計畫一：機械設計與誤差分析

子計畫二：座標定位系統之智慧型複合式伺服設計

子計畫三：智慧型探頭設計

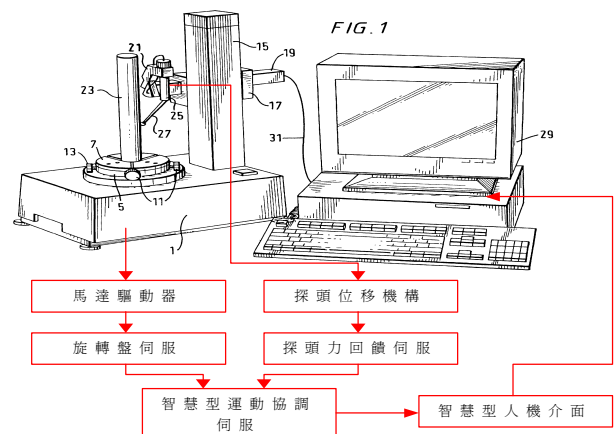
這個規劃的希望就是要從「機械設計」，「精密組裝」，「精密探頭設計」、「精密伺服」、到「開迴路補償」均由國內來完成，由於目前產業技術能力的問題，其中有一項技術——即精密氣墊軸承的部分將向國外採購，其餘的部分則儘量由計畫人員設計安裝。我們覺得這個計畫的執行，不單純的只為學術研究的興趣，這個計畫的完成可以讓參與的人員從最初步的「系統化精密機械設計」到「精密對心組裝」、「精密伺服補償」、一直到「量測數據準確度的建立」整個過程建立完整的設計製造經驗。可以直接提昇國內工業界儀器製作的能力。

三.研究方法

真圓度測定儀除了機構設計必需達成所需要的精密度要求以外，其機電部分也須包含伺服子系統：

第一個伺服子系統是旋轉盤角度定位的伺服系統，其中定位的伺服困難主要是由於驅動的減速機所產生的摩擦力所造成的，對於摩擦力的探討有許多的文獻可考，因此克服摩擦力以建立精密的角度定位準確度伺服可以有許多的方法嘗試。

第二個伺服子系統是探頭座前後和上下位移—x-z 軸的伺服，在 z-軸的伺服方面，由於只提供不同高度的固定，若是以導螺桿等高剛性的驅動機構來達成的話，此伺服系統只要能夠達成對系統 z-軸要求的解析度就可以。x-軸的伺服方面較為複雜，一方面，x-軸的伺服要提供循圓所產生的位置變化，一方面，x-軸的伺服也要提供量測所需要的解析度，藉著對圓心位置不變的假設，配合 x-軸位置的變化，我們可以得到所需要量測的半徑變化，另一方面，x-軸伺服的輸入較為複雜，x-軸伺服是以智慧型探頭為維持對工件的穩定接觸力所產生的位置變化要求做反應，因此，x-軸伺服雖然是位置控制迴路，實際上，它更是力回饋控制的一部份。要 x-軸的位置迴路的反應來提供探頭的力回饋迴路的動作要求，有兩種可能——增加位置迴路的反應速度或是降低探頭部分力回饋迴路的反應速度。前者有可能因為高頻響應的緣故，引起結構的共振，後者則會對整體系統量測數據所需要的時間造成延遲，前一種方法如果引起共振對於精密儀器而言，是絕對無法接受的，而後一種方法犧牲量測的速度也不是我們喜歡的結果。本計畫的重點就在於從整體系統的眼光來分析這個現象，在這兩者之間如何取得一個平衡，利用智慧型系統提高位置迴路的反應速度，同時壓抑可能引起的共振。同時調整力回饋迴路的響應，可以容許位置回饋迴路有足夠的安定時間。再者調整的過程中儘量提高整體系統量測的速度。真圓度機架構如圖一。



圖一 真圓度機架構

還有一個伺服子系統等於是已經討論過了一智慧型探頭的伺服力回饋迴路，這個迴路藉本身微量的位移與力回饋回朔維持探針與被測物之間的接觸，這個迴路一方面要維持探針接觸被測物，一方面不可以讓探針切入被測物中造成刮痕影響量測準確度，同時，這個迴路也要壓制探針因為磨過被測物不平整的表面所造成的振動。為達成這幾個迴路之間的分工，本計劃之工作分為三大部分三個子計劃進行：

第一個子計劃負責儀器之機構設計的部分，伺服迴路的分工與介面則在第二、第三子計劃間做分工，這兩個子計畫分別負責：(二)一移動工件做精密旋轉動作與移動探頭建立工件週圍的智慧型座標伺服系統與(三)一探頭部份以力回饋維持探針與工件之間的連續接觸而不致由於探針的振動產生量測上的誤差。

四.研究結果

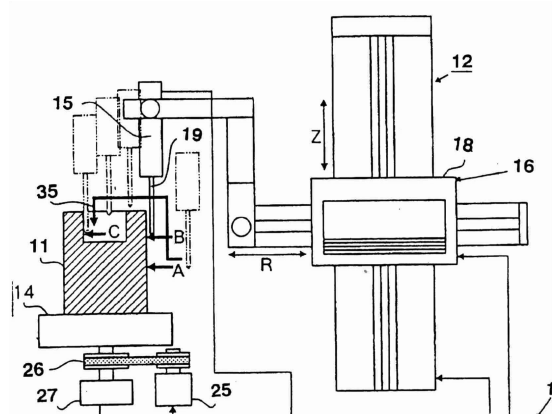
子計畫一：

氣靜壓軸承旋轉平台之規格定義與其設計：
本計畫中所使用氣靜壓軸承旋轉平台的規格如下：

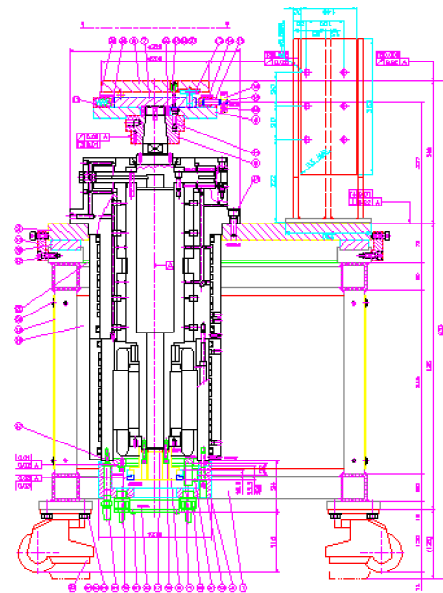
主軸最高轉速	： 6 rpm
軸向剛性	： 15 kgf/ μ m
徑向剛性	： 3 kgf/ μ m
軸向最大負載	： 約 100kgf
徑向最大負載	： 約 20kgf
迴轉精度	： 0.3 μ m/1000 rpm
供氣壓力	： 6 bar(2) PT1/8
馬達電壓	： 三相 220V
空氣流量	： 50 NL/min (壓力 6 bar)

探頭移動機構之設計與開發：

此部分之機構即為提供探頭可以水平及垂直方式移動之機構。探頭自動移動部分的架構，一般而言類似一直角座標式之取放機器手，如圖二所示。



圖二 探頭移動機構



圖三 真圓度儀機構設計



圖四 真圓度儀雛型機

線性滑軌的選用：

本計畫中 Z(垂直)所使用的滑軌為人機公司的 GL20 型，R(水平)所使用線性滑軌為日本 THK 公司的 LM 導軌引動器 KR33□□A 型，主要是由 LM 導軌及滾珠螺桿所構成。作為線性行走導軌的 LM 導軌和作為驅動機構的滾珠螺桿組合在一起。此整體型結構能節省空間，並具有高剛性和高精度特性。

馬達：

使用於 R(水平)及 Z(垂直)兩導軌的馬達為 AC 伺服馬達，用於 R(水平)的為 S-Line 公司 SPR20B10-05P 型馬達，Z(垂直)的則為 YASKAWA 公司的 SGM-02B314 型馬達。

子計畫二：

旋轉模擬系統之建立：

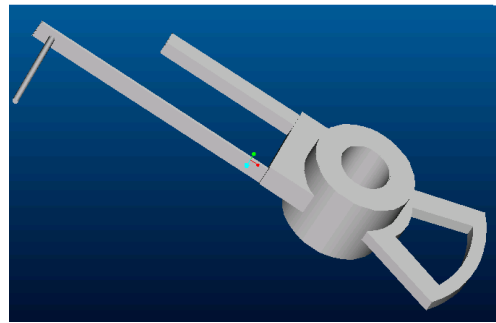
為了能夠取得工件之量測訊號以及驗證真圓度演算法之正確性，旋轉模擬系統之建立是必要的。由於實際的真圓度量測儀的量測方法為固定探針的 Z 軸高度，利用伺服馬達帶動迴轉載物臺上的旋轉盤，進而使旋轉盤上的工件旋轉一圈來量測訊號。故本計畫建立之旋轉模擬系統採用的方式為探針旋轉的方式。藉由此旋轉模擬系統之建立，只須再給定工件之方程式，可以隨使用者放置工件的誤差，例如偏心與傾斜角度，然後經由模擬探針量測訊號，利用所得到的資料去計算工件軸心方程式，再利用線性內插的方法來推測正切圓的資料，這些資料才是用來計算真圓度比較可靠的數據。

在人機介面方面，由於旋轉模擬系統皆是利用 Matlab 這一套軟體所完成，所以 GUI 介面已完成，不過由於最後程式須與真圓度測定儀之硬體搭配，所以預計以另一套軟體再做介面，期望能符合真圓度儀之硬體規劃，同時人機介面之設計能夠與真圓度測定儀之硬體結合，達到精密量測的目的。

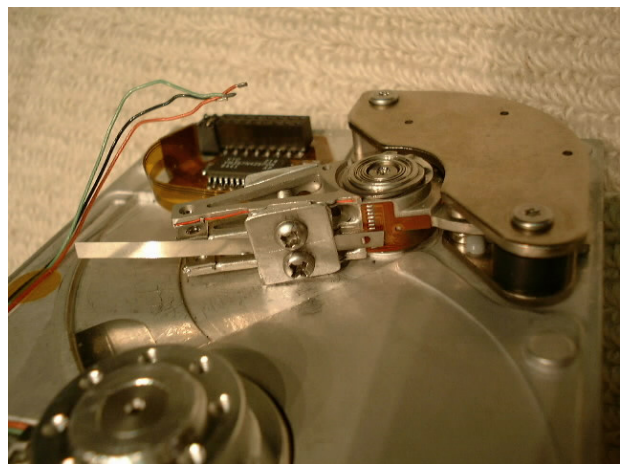
子計畫三：

探針結構規劃與設計

完成量測端的硬體規劃、探針的設計(圖三和圖四)及模擬分析，並針對整個量測機構設計出符合要求的控制流程(圖七)，並針對探頭與力回受感應器的部分做了許多相關的測試實驗。



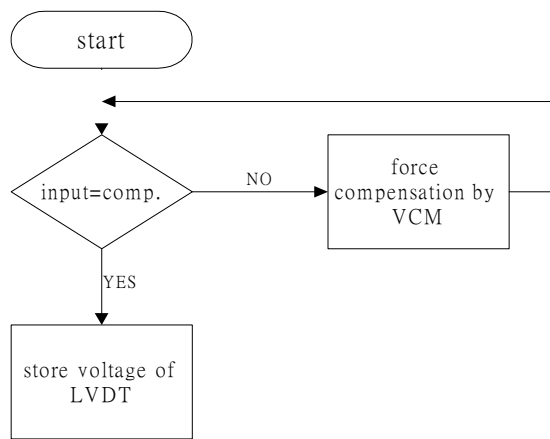
圖五 探針結構示意圖



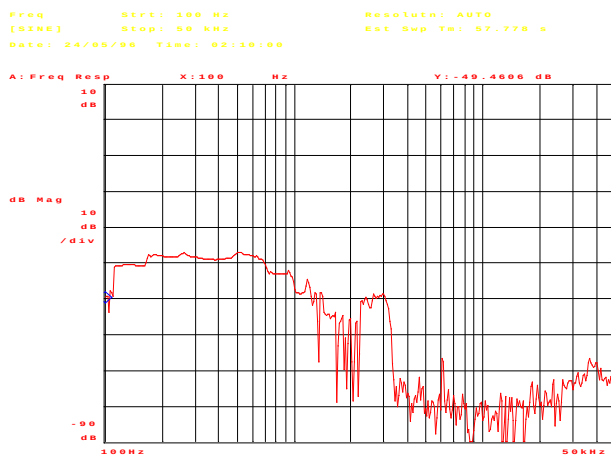
圖六 加工探針實體圖

針對整個探針結構，透過物理模型的建立，可推導出系統動態方程式，配合雷射干涉儀和動態訊號分析儀（Dynamic Signal Analyzer---hp 35665A），模擬分析所得的系統 Bode Plot 如圖八所示。

透過對系統建立的動態方程式以及完成的系統識別，我們對整個探針架構已有了初步認知，並且可以從模擬的結果看出整個控制規劃之可行性。在硬體方面，探針結構中的應變規及線性差動放大器（LVDT）的線性度測試已完成初步的裝配，接下來要將探針架構的部分整合到真圓度機台，並利用數位訊號處理器（DSP）實現力回授控制流程當中的精密量測。



圖七 控制流程圖



圖八 系統波德圖

五.參考文獻

- [1]. http://www.mitutoyo.com/product/product_c_3.html
- [2]. Taylor/Hobson accessories catalogue.
- [3]. U.S.Patent No. 5,694,339.
- [4]. Russel, R. Andrew and Parkinson, Simon, "Sensing surface shape by touch," *IEEE Trans. On Robotics and Automation*, pp.423-428, 1993.
- [5]. Chetwynd, D.G., Liu, X. and Smith, S.T., "A controlled-force stylus displacement probe," *Precision Engineering*, No.19, pp. 105-111,

1996.

- [6]. Kiyono, S. and Gao, W., "On-machine measurement of large mirror profile by mixed method," *JSME Journal, Series C*, Vol.37, No.2, pp.300-306, 1994.