

系統機構及六自由度位置誤差量測 (3/3)

System Mechanism and 6 Degree-of-freedom Error Measurement

計畫編號：NSC 87-2212-E-002-003

執行期間：86/08/01 - 87/07/31

主持人： 范光照 台灣大學 機械工程學研究所

共同主持人：張所鈺 台灣大學 機械工程學研究所

鍾添東 台灣大學 機械工程學研究所

一、中文摘要

本研究報告為國科會整合研究計劃「高精密機械定位平台」中之子計劃二「系統機構及六自由度位置誤差量測」的第三年研究成果，第一年度已完成系統架構靜動態特性分析與單運動軸的光學量測測試。第二年度已完成系統架構的性能測試，包括雙軸運動平台的設計及其誤差量測系統的規劃與性能的評估。本年度之研究主題為完成系統機構之製造與組裝、大行程平台和微動平台與六自由度誤差量測系統之整合，以及與其他二子計畫共同完成之高精密定位平台進行整機功能測試、系統校正與整機成效檢討。

本年度之報告結合其他二子計畫之研究成果。研究成果包括完成整機組件的設計圖與組合圖，大平台機構方面完成了整機架構、空氣軸承的安裝機構及相關零組件的製作。並組合大平台、微動平台及雙運動軸之六自由度誤差光學量測系統，完成本子計畫的測試。此部份已發展出一可同時量測雙運動軸的六自由度誤差量測系統，本量測系統可量取X軸定位、Y軸定位、垂直方向的直線度、水平方向的直線度、滾動度誤差偏搖度及俯仰度誤差。最後並結合其他二子計畫完成此高精密定位平台的系統機構及六自由度位置誤差量測。

關鍵詞：結構最佳化、誤差預算分析、微定位平台、X-Y定位平台、雷射都卜勒位移量測、六自由度誤差、運動精度。

System Mechanism and 6 Degree-of-freedom Error Measurement (3/3)

Abstract

This project proposes research results on the "System Mechanism and Six-Degree-of-Freedom Error Measurement" that is the second sub-project of the group research topics "High Precision Positioning Stage". In the first year, we had done the static and dynamic analysis for the total structure frame, and performed the tests of the optical measurement system for single-axis motion. In the second year, we had done the static and dynamic analysis for the total structure frame, and performed the tests of the optical measurement system for dual-axis motion. In this year, the topics are to fabricate the system mechanism and integrate the coarse stage, the fine stage and the six-degree-of-freedom system. This project is fully cooperative with other two sub-projects to ensure its integrity during the development.

In this year, the detail design of the stage had done. The fabrication and assembly of the total structure frame, the air-bearing and the components had accomplished. The six-degree-of-freedom measurement system had been mounted on the dual-axis moving stage. Such system has the capability to measure simultaneously six motion errors of an X-Y stage, including two linear positioning errors, a vertical straightness error, a horizontal straightness error, a yaw error,

a pitch error, and a roll error. Finally, by integrating the other sub-projects, the system mechanism and six-degree-of-freedom measurement system for the high precision stage have been achieved.

Keywords: structural optimization, error budget analysis, micro-positioning stage, X-Y stage, six-degree-of-freedom error, laser Doppler displacement measurement, motion accuracy

二、計畫緣起與目的

本計劃負責總計劃「高精密機械定位平台」中平台機構製造和組裝，及位置量測之回授與誤差量測，研究內容分為大行程移動之大平台、微細運動之微動平台、及位置誤差量測之光學量測系統。系統定位範圍為兩軸200mm，定位精度之目標為0.05 μ m。

在計劃整合方面，范教授負責六自由度位置誤差量測系統之設計及控制系統之介面，並支援子計劃三之空氣軸承氣隙定位。張教授負責精密微動平台之機構設計。鍾教授負責整個系統之機構設計、系統特性與誤差分析。

本計劃在第一年已完成系統架構靜動態特性分析與單運動軸之光學量測測試[1]。第二年已完成系統架構性能測試，包括雙軸運動平台的設計及其誤差量測系統的規劃與性能的評估。第三年之執行進度為：系統機構之製造與組裝、大行程平台和微動平台與六自由度誤差量測系統之整合、以及整機功能測試。

系統機構及六自由度位置誤差量測之成果為：

1. 大行程定位平台之最佳化設計及製作，以及基台及平台水平的調整。
2. 花崗岩導軌及空氣軸承之安裝，以及應用所發展之量測系統進行系統機構中之空氣軸承的軸承面間隙的微調。
3. 大行程精密定位平台及微動定位平台的組裝與調整。
4. 本定位平台二軸之間正交度的調整，可在平台上放置光學直角鏡，並

，可在平台上放置光學直角鏡，並沿導軌放置塊規，藉助於二台自動視準儀分別放置於X及Y運動軸之二側，以微調Y軸之花崗岩之導軌。

5. 完成量測系統之線性與角度精度的校正。
6. 完成量測系統中反射鏡單元與雷射頭單元的精度考量。
7. 安裝量測系統於高精密定位平台上及進行光學系統之對準。
8. 與其他二子計畫進行整機功能測試。
9. 進行系統調機。
10. 完成一個創新的雙運動軸之六個自由度誤差量測系統，經測試結果已可使用於同時一次量取雙運動軸的六自由度誤差。

三、研究方法與研究結果

圖1及2為應用本系統安裝及測試一高精度定位平台的情形。本平台分為大行程運動平台與PZT壓電微動平台。大平台結構係以花崗岩為基礎及導軌，導軌與運動件之間採用空氣軸承之設計。細部設計採結構最佳化設計(Structural Optimization)[2-4]。圖3為大行程運動平台和微動平台之量測及驅動系統圖。大行程平台可分為X平台及Y平台，其結構採用空氣軸承及花崗岩導軌為線性運動的導引基準，並以線性馬達作為驅動動力。

微動平台為一個三自由度之微動機構，採用PZT壓電致動器使結構作微小彈性變形，可用來作為定位誤差的補償[5,6]。本定位平台放置於一恆溫恆溼的環境中，以減少溫度及溼度變化對量測誤差的影響[7,8]。量測系統可以提供大平台進行X軸及Y軸定位控制的訊號，大行程平台可在200mm \times 200mm的X-Y平面上作快速運動，微動平台可作10 μ m以內的線性誤差及偏搖度補償運動。

本量測系統的訊號擷取及處理架構如圖4。每一台雷射都卜勒尺(Laser Doppler scale)的訊號經由22-

r Doppler scale)的訊號經由22-bit的計數卡計算半波長的訊號，並使用8-bit的A/D轉換進行半波長之細分割訊號的擷取。每一個四象限光感測器由四個10-bit A/D轉換器進行訊號的擷取[8,9]。系統程式同時送出一觸發訊號鎖住四支雷射都卜勒尺及四象限光感測器的訊號，以求在同一基準時間擷取所有訊號。雖然高精度平台放置在恆溫恆溼環境中，然而為了提高系統的精度，並以軟體進行溫度和濕度對雷射波長的補償。同時，也可輸入光學失對準及平鏡面平面度等參數。為了提升量測系統的精度，可將系統誤差納入補正[9]。系統誤差的來源主要有光束的平行度、鏡面的直線度或平面度誤差、直腳鏡組之直角度、運動軸的正交度誤差、鏡組的正交度誤差、光學對準誤差及環境的誤差[10-12]。因此可將這些誤差以軟體方式進行補正。考慮光源之平行度和鏡片之直線度，以期更精確的計算六自由度誤差。

6-6 高精度定位平台六自由度誤差檢測與數據分析

當大行程平台到達定位後，本量測系統可量取此一位置狀態的六個自由度誤差。同時並以 HP5528A 雷射干涉儀量測定位、俯仰度與偏搖度，以電子水平儀量測滾動度。由於當大行程平台運動時，整個平台的重心位置會被改變，亦即花岡岩底座將會有些微的轉動變動量。由於本量測系統之參考平台為花岡岩底座，因此變動量並不會影響本量測系統。然而，就電子水平儀及 HP5528A 雷射光源而言，其光源之參考座標座分別為地心或地面。因此其量取的數值需要扣除花岡岩底座的俯仰度或滾動度的變動量。因此在實驗中，另以一電子水平儀來量取花岡岩底座的轉動變動量。圖 5 至 8 所示為此平台沿 Y 軸或 X 軸運動時的某些各定位點的誤差。

四、結論與討論

1. 結論

第一年度已完成系統架構靜動態特性分析與單運動軸的光學量測測試。大平台使用 ANSYS 軟體為分析工具，並發展介面程式以進行幾何實體模擬和最佳設計，決定平台之主要幾何尺寸及相關參數。微動平台經實驗量測，已測試出靜態、動態特性、最小位移解析能力、各軸間干涉及加上阻尼材料後平台之減振效果等性能。量測系統部分所發展出一個創新的單運動軸之六個自由度誤差量測系統。改善傳統量測僅可一次量測單項或某幾項幾何誤差的限制。第二年度執行期間，本計劃團隊完成了大平台的設計及精密微動平台之設計、製造、及測試，以及雙軸運動平台的設計及其誤差量測系統的規劃與性能的評估等工作項目。第三年度相關的研究設計與製作出的大平台和微動平台，並結合已發展的量測原理及架構為基礎，完成「高精度機械定位平台」的各研究主題。

2. 討論

1. 精密定位平台的設計問題需要針對精密定位平台結構在共振頻率及暫態反應限制下進行最佳設計，同時也需要降低整個運動體的重量及慣性以利速度控制。
2. 組合微動平台、大行程定位平台與光學量測系統時，本定位平台二軸之間正交度的調整，以及座標軸一致性可藉助本研究提出的一些光學對準技術進行精密調整。
3. 本研究發展了一個全新的單軸六個自由度誤差量測系統與一個雙軸的六個自由度誤差量測系統。此二種量測系統可突破以往無法同時精確量取所有六自由度誤差的技術瓶頸，並提出多項光學對準的原理及方法。
4. 雙運動軸之六個自由度誤差量測系統，經測試結果已可使用於同時一次

量取高精密氣浮定位平台之雙運動軸的六種誤差。改善傳統量測僅可一次量測單項或某幾項幾何誤差的限制。本系統可應用於線性平台、X-Y 平台之六種自由度誤差的精度校正，且可安裝在精密 X-Y 平台以提供六自由度的即時誤差訊號。

參考文獻

1. K.C. Fan, M.J. Chen and W.M. Huang, "Development of A Six Degree-of-Freedom Measurement System for the Motion Accuracy of Linear Stages," Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol.38, pp.155-164, 1998.
2. C.A. Brebbia and S. Hernandez, "Computer Aided Optimum Design of Structures : Recent Advances", Computational Mechanics Publications, 1989.
3. C.A. Brebbia and S. Hernandez, "Computer Aided Optimum Design of Structures : Applications", Computational Mechanics Publications, 1989.
4. V.B. Venkayya, "Structural Optimization : A Review and Some Recommendation", Int. J. Num. Meth. Engng, Vol.13, pp.203-228, 1978.
5. E. Furukawa, M. Mizuno and K. Terada, "Magnifying for Use on Piezo-Driven Mechanisms", Int. J. Japan Soc. Prec. Eng., Vol.25, pp.315-320, 1991.
6. E. Kouno, Y. Tanaka, J. Iwata, Yoshiyuki Tasaki, "10 nm Resolution X-Y Stage and Alignment System for System for Synchrotron Radiation X-ray Stepper", NEC Res. & Develop., pp. 70-76, 1988.
7. S. Hosoe, "Highly Precision and Stable Displacement Measuring Laser interferometer with Differential Paths," Precision Engineering, Vol. 17, pp.258-265, 1995.
8. Y. Tanimura, "A New Differential Laser Interferometer with a Multiplied Optical Path Difference," Annals of CIRP, Vol. 32, pp.449-452, 1983.
9. C.P. Wang, "Laser Doppler Displacement Measurement," Lasers & Optronics, No.9, pp.69-71, 1987.
10. C.J. Evans, Robert J. Hocken and W. Tyler Ester, " Self-Calibration: Reversal, Redundancy, Error Separation, and Absolute Testing," Annals of CIRP, Vol. 45, pp.617-634, 1996.
11. N. Bobroff, "Critical Alignments in Plane Mirror Interferometry," Precision Engineering, Vol.15, pp.33-38, 1993.
12. N. Bobroff, "Recent Advances in Displacement Measuring Interferometry," Meas. Sci. Technol, Vol.4, pp.907-926, 1993.

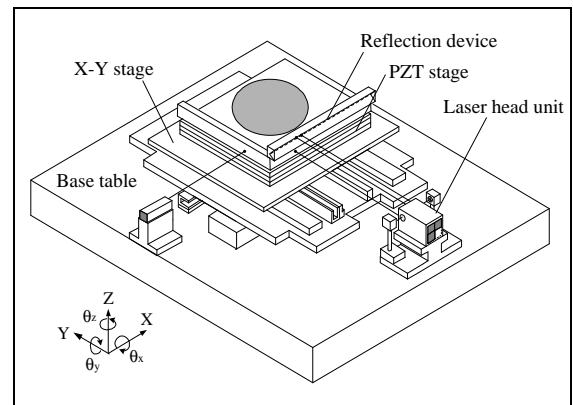


圖 1.高精密定位平台及雙軸平台量測系統的示意圖

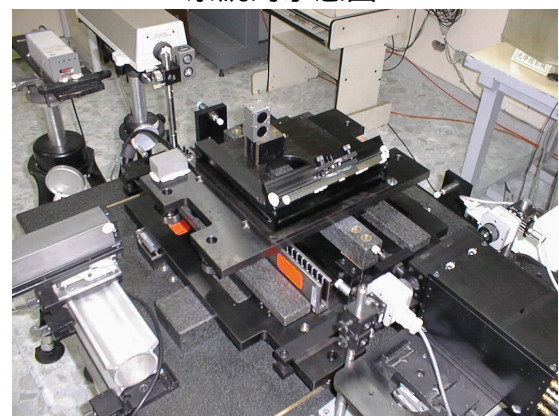


圖 2.六自由度誤差量測系統於高精密

定位平台的應用

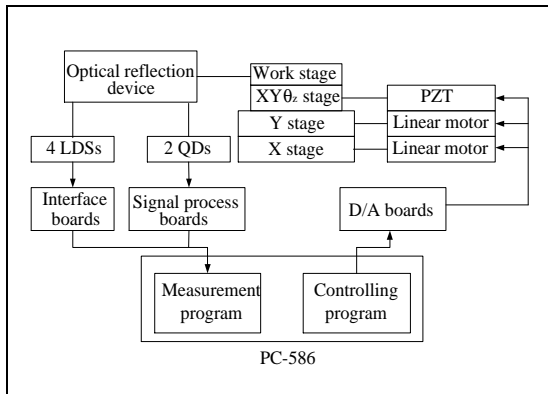


圖 3. 大行程平台和壓電微動平台之量測及驅動系統圖

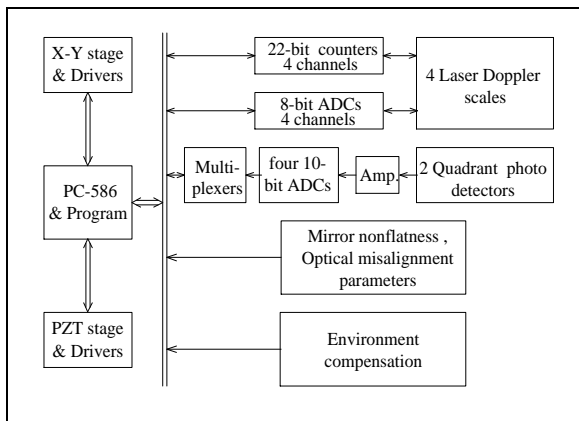


圖 4. 量測系統訊號處理架構

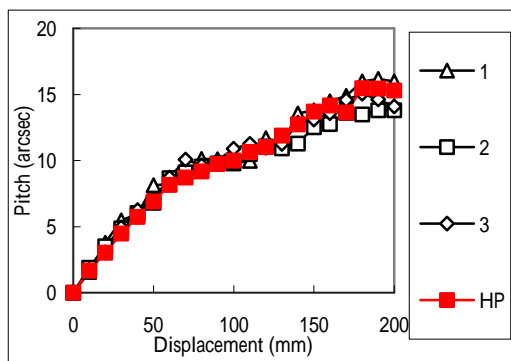


圖 5. 氣浮平台沿 Y 軸之俯仰度誤差

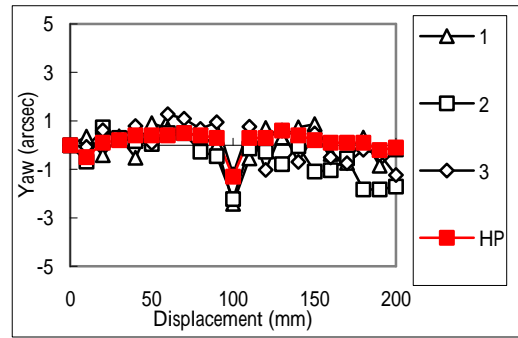


圖 6. 氣浮平台沿 Y 軸之偏搖度誤差

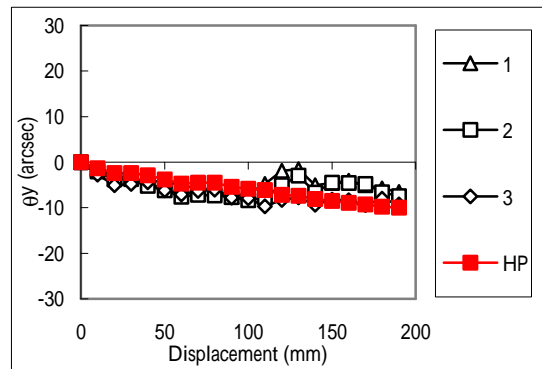


圖 7. 氣浮平台的沿 X 軸的俯仰度誤差

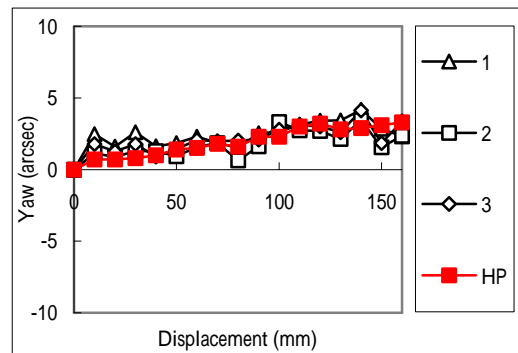


圖 8 氣浮平台沿 X 軸之偏搖度誤差