

工具機線性軸背隙快速檢測與補償方法

覺文郁¹、徐東暉²、紀慕丞¹、張祐維¹

¹國立虎尾科技大學 自動化工程系

²國立虎尾科技大學 博士後研究員

國科會計畫編號：100-EC-17-A-05-S1-188

摘要

由於傳統工業對於加工精度的要求提升，其中當機具在產生線性軸或旋轉軸正反轉的運作時，主動件齒輪和從動件齒輪在正反轉之間產生的空隙既為背隙(背隙誤差)，而實際改善方法，又在不更換零件的情況下，只能藉由機具本身控制器裡面的參數調整做為補正消除背隙，因現今販售之量測商品在架設上較費時，所以本文所使用的量測工具 NON-BAR 系統和進行量測的方式既能快速檢測與補償的方法，進行線性軸正反轉時所量出之誤差值藉著機械裡的控制器做參數補償，且可有效補償至 $\pm 1\mu\text{m}$ 之誤差範圍內。

關鍵字：五軸量測、背隙、NON-BAR、工具機

1.前言

隨著全球工業的迅速發展，特別是上游的機械工業，對於工作母機及工件的精度要求亦近乎苛求，故工作母機之檢測成為足以影響中下游工業的重要課題。然而，在工具機中有許多的誤差混和在一起，包括動態背隙與靜態背隙[2]，其中靜態背隙誤差係工具機的零組件的精度不佳、或各組件與機構的相互匹配不佳等一系列機械力傳遞不良疊加至工作空間所產生的誤差；而動態背隙誤差則屬伺服上的傳遞不佳，如驅動元件的編碼不匹配、動態參數調整不佳、或終端的進給率變化，加減速作動、換向作動或機械結構自重等疊加而成。在機具產生線性軸或旋轉軸正反轉的運作時，主動件齒輪和從動件齒輪在正反轉之間產生的空隙既為背隙(背隙誤差)，而實際改善方法，又在不更換零件的情況下只能藉由機具本身控制器裡面的參數調整做為補正消除背隙，目前雖有多項檢測儀器-雷射干涉儀[3]、球桿與格子編碼器[4]，可檢測機具背隙，但是皆採用雙軸循環檢測[5]的方式，不僅在架設上需要花費時間，此方式亦同時檢測機具其他之誤差，在誤差分離方面也較不易，所以使用現今的量測工具 NON-BAR 系統進行量測並藉著機械裡的控制器做參數補償。

2.量測架構與原理[1]

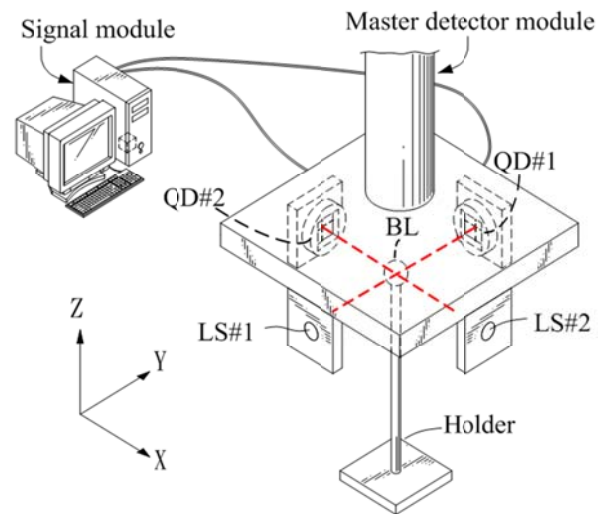
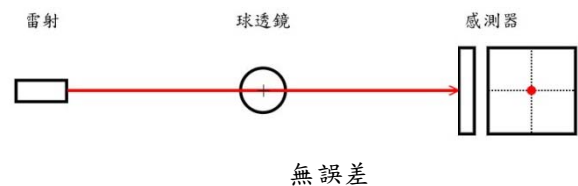


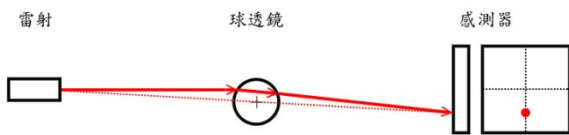
圖 1、NON-BAR 系統架構圖

此系統係利用光學元件量測三維空間之相對位置，並對多軸進行動態與靜態的檢測，裡面的設備有包括二組彼此相互正交的雷射模組-光電式感測器組，與球形透鏡(半徑 5mm)、球座組、訊號處理模組、電腦等，如圖 1 所示。

量測原理係當兩雷射光束正交當雷射光源射出一準直的光束，穿透球形透鏡，則雷射光點將落在四象限感測器上，可輸出其電流訊號，經放大器與 A/D 卡做訊號的放大與轉換後，則可獲得每單位時間內於三維空間中之各軸向誤差量。當工具機無誤差時，雷射光束穿透透鏡，經光學成像原理聚焦並成像，雷射光點將落在四象限感測器之中心點上，如圖 2 所示；若工具機有誤差時，經光學成像原理聚焦並成像，雷射光點將落在四象限感測器感測範圍之上、下或左、右之相對位置，如圖 3 所示。

透過兩感測器動態地接收各自光束的位移特徵來感測光束與該感測接收面之間的相對移動，即可獲得多軸工具機於空間中各軸向的誤差。





有誤差

圖 2 成像原理示意圖

量測時僅需將感測器組裝置於多軸工具機之主軸端，並將球座固定於工作平台上，再經簡易地校正以消除架設誤差，則可執行一系列地量測動作，如圖 3 所示。



圖 3 實際系統架設圖

量測路徑為進行線性軸 $\pm 50\mu\text{m}$ 的檢測路徑，量測過程中，誤差訊號的擷取是動態且即時的。

3. 線性軸背隙[1]

當機械在進行線性軸或旋轉軸運動時，不論是蝸桿蝸輪(Worm-Gear)、滾珠螺桿(Ball-Screw)、滾子凸輪(Roller gear-Cam)等，在組裝與配合上均會產生一微小的間隙，此間隙將在機械力傳動換向的瞬間產生影響，如圖 4-1 所示，一簡單的齒輪傳動機構如圖 4-1 所示，左為主動齒輪，右為被動齒輪。

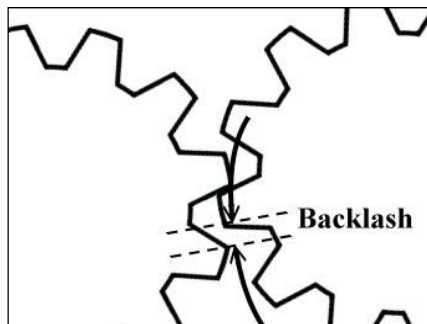


圖 4、背隙誤差示意圖

本文為了讓讀者更了解背隙，在這裡以時間軸的方式解釋背隙現象，如圖 5 所示。假設於 T_0 時，兩齒輪為完美啮合，即無任何背隙誤差，此時主動齒輪開始順時針並等角速度旋轉 360° ，主動齒輪將在 T_1 時回到原點，並隨即反向旋轉 360° ，在此時因齒輪啮合不佳而產生背隙誤差，導致於 T_1 時，主動齒輪已即時反轉，但被動齒輪因未即時反應而在一極短的時間內沒有被主動齒輪帶動到，待於 T_2 時，被動齒輪才與主動齒輪順利啮合而反向旋轉，導致主動齒輪於 T_3 回到原點並停止後，被動齒輪因旋轉角度的落後而未返回其原點，其最終停留相對 T_0 時的角位移，即該齒輪傳動機構的背隙誤差。

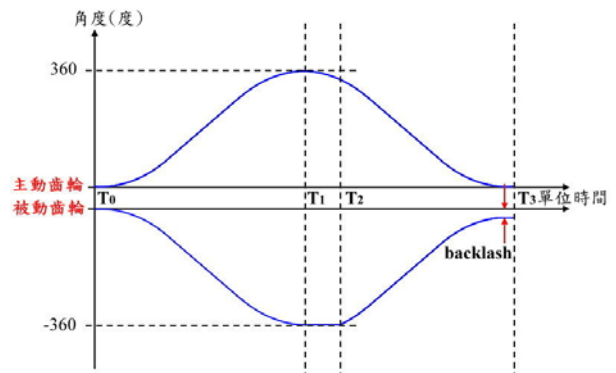


圖 5 背隙誤差時間軸

上面敘述為單一傳動機構所造成的背隙誤差，但由於控制命令經一系列的訊號轉換、驅動，以及機械力的傳遞，過程中將累加無數個部件的背隙誤差，若欲將此誤差逐步分離將會非常困難，故本文乃針對控制命令傳遞至終端，即累加至工作空間的背隙誤差作檢測，並可根據量測數據分析該線性軸的機械背隙值，輸入至控制器內建的機械參數表，即能有效地補償個線性軸的背隙誤差。

工具機線性軸的傳動機構雖然相對上述複雜許多，但關於背隙誤差的產生大致上是相同的，本文以 NON-BAR 做為主要量具，執行一簡單的單軸移動路徑，即可量測得各線性軸在終端所呈現的背隙誤差，最後將所測得的背隙誤差輸入至控制器的背隙誤差參數進行補償。

4. 線性軸背隙檢測與補償[1]

線性軸的背隙誤差在線性軸與旋轉軸反向作動的瞬間，控制器補償效果不佳或未補償所致。本論文以 NON-BAR 作為主要量具，所檢測的背隙誤差係所有傳動機構疊加至最末端，即工作空間(workspace)的背隙誤差，故檢測時僅需檢測線性軸往復運動後所停留的位置與初始位置之間的位移即可。承上所述，本論文以一簡單的單軸運動作為線性軸背隙誤差的檢測路徑，此檢測路徑適用各種形式的工具機，NC-code 以 G-code 表示之，如下：

```
G91 G01 X/Y/Z0.05 F10.;
G4 X1;
```

G01 X/Y/Z -0.05 F10. ;
G4 X2;
G01 X/Y/Z -0.05 F10. ;
G4 X1;
G01 X/Y/Z 0.05 F10. ;
M30;

此檢測方法已在許多不同型式的工具機上得到驗證，並於補償後獲得極佳的效果，其檢測結果如下圖所示：

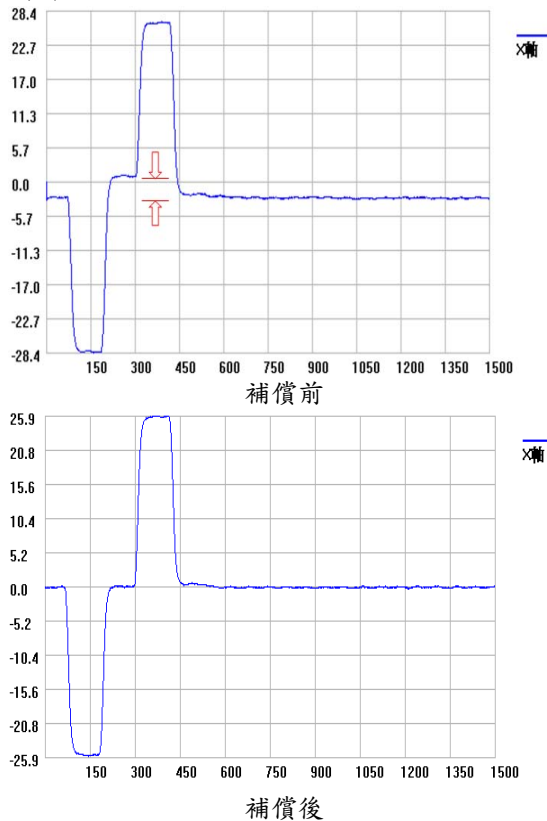


圖 6 線性軸背隙檢測

如上圖所示，X 與 Z 軸的量測結果測得其背隙誤差，Y 軸則無。經補償後各線性軸執行相同的量測路徑，檢測結果顯示該背隙誤差已被顯著地降低，甚至得以完全補償，證明本論文所提出之線性軸背隙誤差檢測與補償方法是快速且有效的。

5. 結論

由上述實機檢測結果可知，本論文所提出之線性軸背隙檢測與補償方法，執行小行程的單軸慢速往返移動，可迅速且精確地檢測得到工具機各線性軸的背隙誤差。此檢測與補償方法已實際應用在國內各大工具機組配廠與加工廠，經實機切削測試後均有效證明本檢測與補償方法之適用性與有效性。

6. 致謝

感謝國科會(100-EC-17-A-05-S1-188)補助，並感謝建德工業裡的揚登宇副總協助夾治具製作，讓本文可以順利完成，特此致上感謝之意。

7. 參考文獻

1. 國立虎尾科技大學工具機精密量測與鑄配之工業基礎技術四年計畫第一年度第一期計畫
2. M. Sharif Uddin, Soichi Ibaraki, Atsushi Matsubara, Tetsuya Matsushita, "Prediction and compensation of machining geometric errors of five-axis machining centers with kinematic errors", Precision Engineering 33 (2009) 194-201.
3. K. Lau, Q. Ma, X. Chu, Y. Liu and S. Olson, An advanced 6-degree-of-freedom laser system for quick CNC
Renishaw://www.renishaw.com.tw/tw/1030.aspx
4. M. Tsutsumi and A. Saito, Identification and compensation of systematic deviations particular to 5-axis machining centers, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 43 (2003) 771-780.
5. W. T. Lei and Y. Y. Hsu, Accuracy test of five-axis CNC machine tools with 3D probe-ball, part II : errors estimation, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 42 (10) (2002) 1163-1170.

The linear axis machine tools backlash rapid detection and compensation method

Wen-Yuh Jywe¹, Tung-Hui Hsu²,
Mu-Cheng Ji¹, Cheng Huang Pai¹

¹Department of Automation Engineering,
National Formosa University.
NSC Project : 100-EC-17-A-05-S1-188

Abstract

As traditional industries processing accuracy requirements enhance, When the equipment in the generating operation of the linear or rotary axis Reversible, Active gear and follower gear voids produced between the forward and reverse both of Backlash (backlash error), The actual improvement methods, Only by the equipment itself, the parameters of the controller inside the adjustment as a correction to eliminate backlash, due to the measurement of goods spend a lot of time set up sold today, Both fast measurement tools used NON-BAR system and measurement methods of detection and compensation, Linear axis reversing measure out the error value by mechanical controller parameter compensation, And effective compensation to the error range of $\pm 1 \mu\text{m}$.

Keywords : 5-axis measure、backlash、NON-BAR、Machine Tools