



# CNC工具機進給驅動伺服機構 之靜摩擦力量測與分析

Measurement and Analysis of Static Friction  
for Feed Drive Servomechanisms of CNC Machine Tools

鍾孟良

國立台北科技大學  
機電整合研究所  
研究生

葉賜旭

國立台北科技大學  
機電整合研究所  
副教授

張萬坤

工業技術研究院  
機械所  
智慧機械技術組  
資訊與資源部

## 關鍵詞

- 靜摩擦力 Static Friction
- 進給驅動伺服機構 Feed Drive Servomechanism
- CNC 工具機 Computer Numerical Control, CNC

## 摘要

一般而言，靜摩擦力(Static Friction)普遍存在於進給驅動伺服機構(Feed Drive Servomechanism)，並且會影響電腦數值控制(Computer Numerical Control, CNC)工具機的平台運動。在本研究中，利用分離實驗(Breakaway Experiment)，量測 CNC 銑床工具機進給驅動伺服機構之靜摩擦力；並且，藉由快速傅立葉轉換

(Fast Fourier Transformation, FFT)，以頻譜分析方式，分析分離實驗所獲得靜摩擦力的頻率特性。本研究以多個實驗執行於三軸數值控制銑床工具機，可說明所發展應用之測量與分析方法的可行性；並且，多項實驗結果證明，CNC 工具機進給驅動伺服機構的靜摩擦力顯然與伺服機構傳動系統的位置/角度相關，並且亦與機械零件間的相互作用特性有關。

Static friction generally exists in feed drive servomechanisms and usually affects the motions of CNC machine tools. In this study, the breakaway experiment is applied to measure the static friction of a feed drive servomechanism generally used in CNC machine tools, and the spectral analysis using the fast Fourier transformation algorithm is applied to analyze the frequency characteristics of the obtained static friction. Several experiments were



carried out on a three-axis CNC milling machine so as to illustrate the feasibility of the developed measurement and analysis methods. The experimental results indicate that the static friction of a feed drive servomechanism is clearly position-dependent and the physical interaction of the mechanical parts in the transmission system used by the feed drive servomechanism significantly affects the characteristics of the static friction.

---

## 1. 簡介

---

靜摩擦力是一種實際的物理現象，普遍存在於機械系統中，並且通常會施予些許不利因素，影響著這些機械系統的運動。為了減緩這些不利因素的影響，實現機械系統的高精密運動，以模式化基礎(Model-based)之摩擦力補償方法[1]被廣泛應用於設計數值控制工具機的運動控制系統[2-6]，並且設計過程中亦必須考慮進給驅動伺服機構的靜摩擦力特性。通常，分離實驗可使用於機械系統靜摩擦力的鑑別程序(Identification Process)，以量測獲取機械系統靜摩擦力的數據值[7]。該分離實驗的步驟包含：允許機械系統的移動部件至確切位置定住，伺服機構驅動力矩以斜坡方式緩慢提升，然後測量移動部件起步移動所需的扭矩。由此，分離實驗的過程與結果，可以適當的空間頻率取樣/測量靜摩擦力，並且發展摩擦力補償表，可供作運動控制系統設計時摩擦力補償使用。

在本研究中，主要利用分離實驗[7]進行數值

控制銑床工具機之進給驅動伺服機構的靜摩擦力測量。此外，使用快速傅立葉轉換(FFT)演算法[8]，對量測獲得的靜摩擦力進行空間頻譜分析，可分析進給驅動伺服機構的靜摩擦力位置頻率特性，以建立摩擦力補償表；本研究尚分析靜摩擦力 FFT 空間頻譜成分，可說明靜摩擦力的可能起因與來源。由於所獲得的靜摩擦力包含隨機摩擦成分(Random Friction Component)，根據頻譜分析的結果設計低通濾波器可濾過隨機摩擦力部份，且過濾後的靜摩擦力曲線可用於開發摩擦力補償表。最後，本研究於三軸數值控制銑床工具機進行多次實驗，以證明本研究所發展之測量和分析方法的可行性。

---

## 2. 實驗設計和測量說明

---

在本實驗研究中，使用三軸數值控制銑床工具機，其組成包括：工業電腦(Industrial PC)、以數位信號處理器(Digital Signal Processor, DSP)為基礎之運動控制卡、和配備有泛用型交流伺服馬達組的機械系統。圖 1 顯示本研究所採用之實驗裝置的系統示意圖和照片。這裡，配有 Pentium IV 2.8 GHz CPU 的工業電腦主要用來提供各式系統功能，其中包括：銑床工具機人機操作介面、測量與鑑別方法的實現、記錄各項實驗數據值。搭載著德州儀器(TI)高性能 DSP TMS320F2812 的運動控制卡用於連接泛用型交流伺服馬達組與工業電腦，並以 1.0 毫秒的採樣週期從伺服馬達組發送運動命令和接收反饋信號。銑床工具機的機械系統主要由垂直軸和平面移動的工作台所構成。在

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】337期・100年4月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌官方網站：[www.automan.tw](http://www.automan.tw)