



# 高速鑽孔加工中心機之 底座熱溫昇量測 與模擬分析

Temperature Measurement and Thermal Error Simulation  
for the Base of Tapping Center Machines

**李坤穎**

工研院機械所 智慧機械技術組  
工作機械技術部

**曾世昌**

國立雲林科技大學  
機械系 教授

**陳冠文**

工研院機械所 智慧機械技術組  
工作機械技術部

**蕭錫鴻**

工研院機械所 智慧機械技術組  
工作機械技術部 經理

**羅世杰**

工研院機械所 智慧機械技術組  
工作機械技術部

## 關鍵詞(Keywords)

- 熱誤差 thermal error
- 模擬技術 simulation technology
- 熱抑制 thermal suppression

## 摘要(Abstract)

熱誤差是超精密加工機最主要的誤差來源，而在切削加工過程中所產生的溫昇造成的熱變位往往使得加工精度降低及品質不佳。由於近來精密模具、生醫應用、消費性電子...等產業之精微加工需求，溫度變異對於機台精度之影響更是不容忽視，發展有效且可靠的熱誤差因應技術，已

是成為主要課題。就目前而言，工具機廠除了發展高精度五軸加工機外以及加值軟體之外，最主要還是會針對工具機熱誤差相關課題去做研究。針對現今最熱門的高速鑽孔機做熱溫昇量測建立熱分析模擬技術，並概述熱誤差抑制手段、熱行為的分析，並列出主要影響熱誤差的關鍵因素。

The main source of ultra-precision machining error is thermal error. The temperature rise during the cutting process caused by heat generated often lowers quality and results in poor accuracy. The needs of industries where temperature variations impact the accuracy of the machine cannot be ignored, and the development of technology for thermal suppression is currently a main issue. In addition to the development of high-precision 5-axis



machining and intelligent software, thermal error is very important and is a primary research topic for the machine tool. In this paper, temperature measurement and thermal error simulation are demonstrated to build the technology of thermal error suppression for tapping center machine.

## 1. 前言

一般而言，工具機熱源種類可分為外部與內部熱源。外部熱源主要包括外在環境與人為影響所造成的溫度變異；內部熱源則是包括機械本體運轉與切削過程中產生的熱，機械本體熱源主要有各軸向馬達、主軸、冷卻系統、導軌或螺桿等運動介面所產生的熱量，而切削過程產生的熱主要是由刀具與工件之間相對運動以及其所產生之切屑所造成。不管是外部或是內部熱源，上述各種熱源會以傳導、對流、或是輻射的方式來改變機械結構的熱狀態，致使刀具尖點產生位移而造成所謂之熱誤差。

工具機加工總誤差量約有 40-70 %是由熱誤差所貢獻[1]，可見其對於工具機加工精度之影響，扮演著絕對關鍵的角色。過去，針對工具機熱誤差的因應策略主要可分為兩種方式，一種是採用主動抑制方式，於設計階段即設法讓誤差產生量降低，其目的在於控制或避免熱誤差的生成；另一種策略則是採用被動補償方式，針對機台進行溫度與誤差的量測，萃取工具機之熱行為資料，進行補償動作。關於主動抑制與被動補償之研究與技術概況，分別歸納如表 1 與表 2 所列。

表 1 工具機熱誤差主動抑制

採取手段	內涵與代表文獻
熱流控制	1.外部熱源：環境恆溫控制與結構熱隔絕[2]、結構主動冷卻[3,4] 2.內部熱源：零組件主動冷卻[2,5,6]與熱源溫度控制[7]
結構最佳化設計	1.其他材料選擇[8] 2.誤差分析與對稱構型設計[5,9,10] 3.熱源配置與硬體補償設計[11,12]

表 2 工具機熱誤差被動補償

採取手段	內涵與代表文獻
回歸分析補償模型	數學統計模型，適合穩態熱誤差的補償[13,14]
人工神經網路模型	數學統計模型，適合穩態熱誤差的補償[13,15]
有限元素分析模型	模型蘊含工具機結構之物理資訊，實際應用仍具困難度[13]
動態模型	可適應不同運作條件或環境變異的誤差模型[16-19]
業界技術	OKUMA 熱親和概念[5]、MAZAK 智慧熱防護[10]、MIKRON 智慧熱控制[20]、FANUC 人工智慧熱補償[21]

對於國內工具機業者而言，因產品之市場印象屬於中低階品級，具有高功能價格比之優勢，故若直接採取主動抑制手段來改善熱誤差，將使得成本大幅增加，不適合國內業者於誤差改善之短期策略，應列為長期發展的深化技術項目。因此，相較於主動熱抑制的設計方式，採取熱誤差軟體補償之手段更具有便利性且符合經濟效益，屬於適合先行發展之技術。然而，從過去之研究成果發現，對於工具機穩態的熱誤差問題，採用數學統計之靜態補償模型雖可獲得不錯之效果，但是對於暫(動)態之熱誤差問題，卻是相當棘手、

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】372期・103年3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)