

# 工具機熱流固耦合分析基礎技術

## Multiple Physical Coupling Analysis Technology for Machine Tool

廖彥欣<sup>1</sup>、李坤穎<sup>2</sup>、羅世杰<sup>2</sup>、魏士傑<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 工研院智慧機械科技中心 智慧機械技術組 工作機械技術部 副工程師

<sup>2</sup> 工研院智慧機械科技中心 智慧機械技術組 工作機械技術部 工程師

### 前言

結構熱變位是工具機加工過程最難以預測的的誤差成因之一，據統計工具機加工時約有40~70%的誤差是由熱變位所導致，可見熱誤差問題已是工具機技術邁向國際水準所必需解決的重要課題。本文介紹運用有限元素法 (Finite Element Method, FEM) 多重物理耦合分析 (Multiple Physical Coupling Analysis) 結合實驗設計方法 (Design of Experiment, DOE) 最佳化設計手法針對工具機冷卻模組進行設計，透過學理方法來提升冷卻系統效率，減少機台熱生成，降低加工熱變位。

### 本文

讓工具機產生變位的熱源有很多，本文以主軸軸承為例，介紹軸承冷卻流道設計流程。

主軸由於安裝法蘭面位置的侷限，由法蘭面一路向前延伸到主軸鼻端之間的發熱元件對軸向變形量的貢獻度最高，此部分最主要熱源為前軸承的摩擦熱，因此降低前軸承溫度可以直接有效的減少主軸軸向熱變位量，在此，冷卻系統直接針對發熱元件進行熱源移除是最好的設計方式，這樣除了可以有效降溫外，亦可避免熱源轉移到其他結構當中，造成更難預測的變位。因此我們知道，良好的主軸前軸承流道設計可以有效降低前軸承溫度且避免將熱傳導至機體結構，較低的前軸承溫升亦可降低主軸軸向熱變位。為得到最佳之冷卻流道關鍵尺寸，本文使用 DOE 最佳化設

計方法來進行，在要求的流量範圍內挑選出最佳尺寸與流量的組合，其設計流程可分三階段：

#### 1. 關鍵設計參數

在主軸的設計流程裡，通常會先依照規格決定主軸幾何外型尺寸及軸承規劃，而後才進行冷卻流道配置，由於設計順序總落於後段班，因此在尺寸上會有較多限制。圈選出可供設計的範圍後，決定適用的流道形式，統整出數個設計關鍵尺寸，在此要說明的是，不同水道形式在關鍵尺寸的設定可能會有少許不同，但仍舊不會偏離其主要核心 - 流道截面積，縮短水道與發熱元件的距離會有較佳冷卻效果，但該尺寸通常受限於系統配置與機件強度考量，大多數是不會去變動的，或者說該距離的設定通常已是可容許的最接近距離，是故將其由關鍵尺寸內排除。本文以並聯式水道設計為例，關鍵尺寸分別設定為水道截面寬度  $W(P1)$ ，水道截面高度  $H(P2)$ ，另外加入冷卻流量變數  $Q(P3)$ ，觀察該 3 項參數對於前軸承表面溫度  $T_{Target}(P4)$  的影響，請參考圖 1(a) 之參數說明。

#### 2. 設計參數變化的性能變化

透過 3D 製圖軟體繪製簡化模型並定義標記出關鍵設計參數，匯入商用 Ansys Workbench 軟體進行布林修整及網格化，設定好分析參數即可進行 Ansys DOE 最佳化設計流程，設定各別關鍵參數尺寸的變化區間，Ansys DOE 使用兩水準中心點方法於參數設計範圍內自動產生關鍵尺寸參數集及組合列表，依照組合列表進行批次分析計算，

## 更完整的內容

詳見 ■ 機械工業雜誌 ■ · 432 期 · 108 年 3 月號

---

機械工業雜誌 · 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

匯款帳號：兆豐國際商業銀行新竹分行(代號 017)，帳號/ 203-07-02288-0

訂書專線：03-591-9339

傳 真：03-582-2011

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

機械工業雜誌 · 信箱：[jmi@itri.org.tw](mailto:jmi@itri.org.tw)