



龍門加工機主軸之結構 與公差設計分析

Structure and Tolerance Analyses of a Spindle
for a Double-Column Machine Tool

蔡志成

國立中興大學
機械工程學系
副教授

邱顯俊

國立中興大學
機械工程學系

吳尚融

國立中興大學
機械工程學系

黃冠鈞

國立中興大學
機械工程學系

陳昭亮

國立中興大學
機械工程學系

謝宏裕

高明精機工業
股份有限公司

關鍵詞

- 龍門加工機主軸 spindle, double-column machine tool
- 結構分析與調配 structure analysis and adjustment
- 公差分析與調配 tolerance analysis and adjustment
- 共振頻 resonant frequency
- 精度 precision
- 負公差 negative tolerancing

摘要

主軸為工具機中最重要的關鍵組件，故其結構與公差設計配置及分析極為重要。本研究針對龍門型加工機使用之大型主軸頭，分析其結構特性與組裝之精度，進一步調整其結構以及公差配

置以滿足設計要求之共振頻以及精度。結構設計分析利用建構的幾何模型以及有限元素法分析其結構共振頻，因結構共振頻過低，經調整主軸懸伸部位輕量化、斷面強化、增加中間支撐以及尺度加大後，提高結構剛性及其共振頻，以達成設計目標。公差設計分析則透過主軸頭系統之產品架構、零件分解與公差網路，分析主軸頭系統組裝所對應之公差累積造成之精度變異，因組裝累積之精度變異過大，經 IT6 精度等級之公差配置後，組裝累加之精度變異仍超過設計目標，故更進一步以負公差設計來吸收組裝公差累積，使組裝公差滿足設計目標。

Spindle is the most important component of a machine tool. Its structure design and tolerance design are therefore critical. This research is aimed to analyze the structure characteristics and assembly



tolerances of a large spindle used in a double-column vertical machine tool. Structure and tolerance adjustment based on these analyses is further conducted to satisfy the required specifications. Structure analysis, based on finite element method, is conducted to analyze its resonant frequency. While the results of original design is not acceptable, further modifications, including lightening overhang, strengthening spindle cross section, adding extra support to reduce span and increasing thickness of the structure body, are investigated to enhance the structure characteristics. Tolerance analysis, on the other hand, is conducted with product hierarchy and tolerance network to analyze the accumulated tolerance after assembly. As the assembly tolerance of the original design is over the target specification, tightening component tolerance with IT6 precision is employed to reduce the accumulated tolerance. While the result, though increasing manufacturing cost, is still unable to reach the target, negative tolerancing is then imposed to absorb the accumulated tolerance.

1. 前言

工具機為製造產業中最基本的加工機械，也是性能要求極為嚴峻的機器，台灣自 2006 年以來該產業已成為全球第六大生產國，全球第四大出口國，至 2011 年持續成長，長期以來此產業一直是我國工業的重要基礎，也是我國經濟發展的重

要支柱[1,2]。然而國內工具機業者長期以來在國際市場產品主要以立式三軸工具機為主，面對產品相近的中國與韓國工具機產品之雙進夾擊下，國內工具機業者對高階工具機技術的掌握更要深化，以與競爭者有所區隔。

此外，近年來隨著產業技術與市場需求的變化，高效率、高精度的工具機為該產業長期發展的方向，亦顯示工具機之精度穩定性與可靠度為最主要的發展重點，故如何有效地針對上述兩課題探討其解決方案為一重要的課題。而隨著綠能、航太、運輸以及大型複雜模具的發展，如風力發電設備零件、輪機零件、大型壓鑄模具等大型零件的加工需求亦日益增加，故發展適合大型工具機使用的主軸的技術也刻不容緩，而其技術則成為關鍵。

主軸是工具機的心臟，大型工具機使用的主軸對於精度的要求嚴苛，大型主軸的精度與切削性能常會有不如預期的表現，修改主軸零組件是一般產業常遇到的瓶頸，更是設計與組裝者揮之不去的夢魘，並且因大型主軸懸伸量長，容易產生剛性不足或引起結構共振，造成加工精度變差，也因此主軸結構設計分析以及零組件尺寸公差之設定常成為各廠商的重要經驗與技術，而主軸零組件的結構與公差設計和主軸的加工及製程成本相關，故在主軸性能能保持的條件下做到品質穩定又能有效地降低成本是一個重要的課題。

工具機之精度穩定性為其性能最主要的重點，故如何有效地針對上述課題探討其解決方案為一重要的課題。影響工具機之精度穩定性因素甚多，但治本之道需從機體結構與運動機構之誤差與穩定性著手，且主軸是工具機的心臟，對於

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】348期・101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