



車削中心主軸組裝精度之 變異分析與公差調配

Variation Analysis and Tolerance Distribution for the Spindle of a Turning Center



蔡志成

國立中興大學
機械工程學系
副教授

黃政德

國立中興大學
機械工程學系
研究生

陳正達

國立中興大學
機械工程學系
研究生

張恩生

工研院機械所
智慧機械技術組
經理

關鍵詞

- 工具機主軸 Spindle of Machine Tool
- 精度變異分析 Analysis of Precision Variation
- 公差調配 Tolerance Distribution
- 重現性 Repeatability

摘要

主軸為工具機其最重要的關鍵組件，而零件公差則是影響其組裝精度的主要因素之一，本文探討車削中心主軸零件公差對該主軸組裝所造成之精度變異以及進行修配之設計方法。精度變異分析之方法包括建構主軸系統之產品架構、建構零件與主軸系統之公差網路以及主軸組裝所對應之零件公差累積所造成之精度變異，進一步分析透過零件之公差調配，利用負公差吸收因組裝之公差累積，調整組

裝之精度。研究顯示軸承、軸承座、間隔環等零件公差對於主軸組裝後之軸向精度影響甚鉅，但透過間隔環的公差調配，可適度吸收軸向的精度變異，提高主軸組裝精度之重現性。

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，我國該產業 2006 年為全球第六大生產國，但為全球第四大出口國，而 2007 年的出口繼續成長 18%，即使 2008 年遇到全球金融海嘯造成不景氣，我國工具機全年產值仍有 3% 的成長，保持為全球第四大出口國，顯示此產業長期以來一直是我國經濟發展的重要支柱，也是我國工業的重要基礎[1]。而工具機之精度穩定性為其性能最主要的重點，故如何有效地針對該課題探討其解決方案為一重要的課題，然而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。主軸是工具機的心臟，對於精度的要求非常嚴苛，也因此主軸零組件尺寸公差與幾何公差之設定常成爲一種經驗或各家廠商的重要技術，因此如何配置與分析主軸元件公差對於組裝後主軸系統之精度影響是爲極重要的工程技術。

公差技術是工業發展的重要基礎，並且爲產品品質與成本的指標，公差設計實則包涵產品功能、品質、製程、成本與產品性能等影響因素之間的取捨結果[2]。對於精密機械而言，精度即爲其品質的重要指標，尤其是重現性精度更是產品量產技術與品質穩定的指標。然而在產品設計時，公差範圍的設定是非常重要的工作，訂定公差的目的是希望製造者能按此規範加工各個零件，以期組裝後的產品能達到所需精度範圍內，因此如何分析零件在組裝後公差累積造成精度的變異是公差設計時極爲重要的一環，更進一步若能透過公差分析，調配重要零件之公差以調整組裝精度之重現性，更是公差設計與組裝技術的一大挑戰。

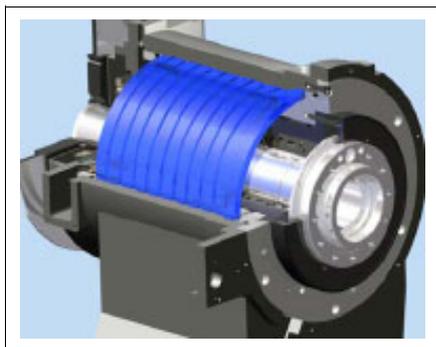
以圖一之 CNC 車削中心含 C 軸之工具機主軸爲例，該主軸需夾持工件進行車銑複合切削加工，其精度需控制在微米(μm)等級，然而該主軸由許多零件所組成，各零件之加工公差在組裝後將累積而造成主軸之精度變化，而此累積公差所造成之誤差可達數十甚至數百微米，顯示組件公差與組裝後所累積的公差對於該主軸所造成的型態誤差以及精度變化和可靠度的降低是影響工具機精度與性能可靠度

的重要因素，亦爲根本解決精度穩定性與可靠度的重要途徑[3,4]。本文針對圖一之工具機主軸系統進行公差配置與分析，透過系統化方法分析零組件公差對於組裝精度變異之影響，更進一步分析如何調配重要元件之公差以控制組裝後精度的變異。

主軸公差分析

公差分析方法有幾何法與代數法兩種，幾何法涉及繁瑣之幾何運算，一般較少採用，代數法則是將各幾何單元間之幾何尺寸與公差標註建立成代數式，計算幾何單元之累積變異量時，所需之運算較爲簡單，故較爲一般所採用。公差分析首先要考量如何有意義地表示公差規格，或稱爲公差表示法，表示法由早期將公差標註視爲物件曲面特徵(feature)上幾何拘束(geometric constraint)的集合，公差區間可以幾何變動量之 Minkosky sum 來表示[5,6]，這是幾何法的經典，可透過運算能力強大的計算機來完成，但此法牽涉繁複的計算而極爲繁瑣，一般並不採用。後來又陸續使用圖象(graph)表示法[7]、拘束網路(constraint network)[8]及公差網路(tolerance network)[9]，這些表示法以幾何特徵之座標爲節點(node)，幾何拘束爲連結線(link)來表示特徵之間的幾何拘束及公差關係，此公差網路有助於公差分析與合成複雜的累積計算。此後陸續有文獻發展以圖象作爲公差表示法架構據以發展區間與統計公差之計算方法，例如[9-11]等。

至於公差分析方法有最惡公差分析法(worst-case tolerance analysis)、統計公差分析法[13]與蒙地卡羅(Monte Carlo)公差分析法，對於工具機主軸之公差表示法，本文採用以圖象爲基礎的公差網路，以充分利用已發展完備之分析理論，再配合最惡狀況和統計兩種分析方法進行公差分析。由於公差網路是以幾何特徵爲節點，幾何拘束爲連結



圖一
本研究所分析
CNC 車削中心
含 C 軸之工具
機主軸



更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】324期・99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