

# 工具機主軸零件公差分析與調配

## Tolerance Analysis and Adjustment for High-Speed Spindle

<sup>1</sup> 蔡志成、<sup>2</sup> 陳冠文

<sup>1</sup> 國立中興大學 機械工程學系 教授

<sup>2</sup> 工研院智慧機械中心 智慧機械技術組工作機械技術部

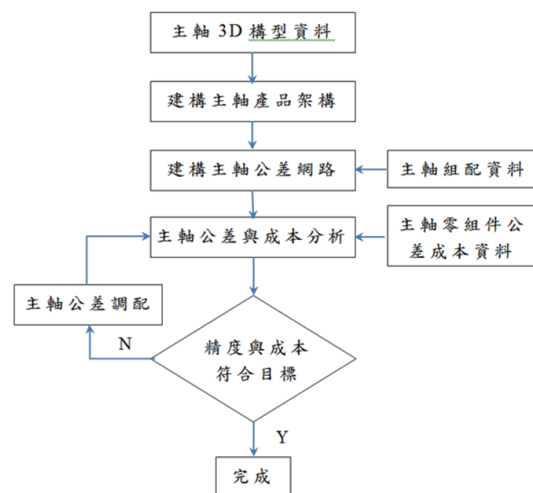
### 前言

工具機系統中，主軸是最關鍵的組件，對於最終工件呈現之精度扮演著極其重要的角色，故在其生產製造組裝的過程，對於精度穩定性的要求較為嚴苛，也因此主軸零組件公差之設定常成為一種經驗或各家廠商的重要技術，如何透過系統化的手法分析主軸元件公差對於組裝後系統之性能與精度影響是極為重要的工程技術。

工具機為製造產業中最基本的加工機械，也是性能要求最嚴峻的機器，我國該產業 2016 年的產值為全球第七大生產國，但出口為全球第四大出口國，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。而工具機系統中，主軸是最關鍵的組件，本計畫針對工具機高速主軸系統之零件進行公差配置與分析，透過學理的分析來探討零件公差及配合對於組裝精度及成本之影響，目的除了作為產品功能與公差設計以及製程規劃與公差控制的評估依據之外，更積極的是可以進一步作為調配公差規格的根據，希望在符合精度要求的條件下同時兼顧主軸製造成本。

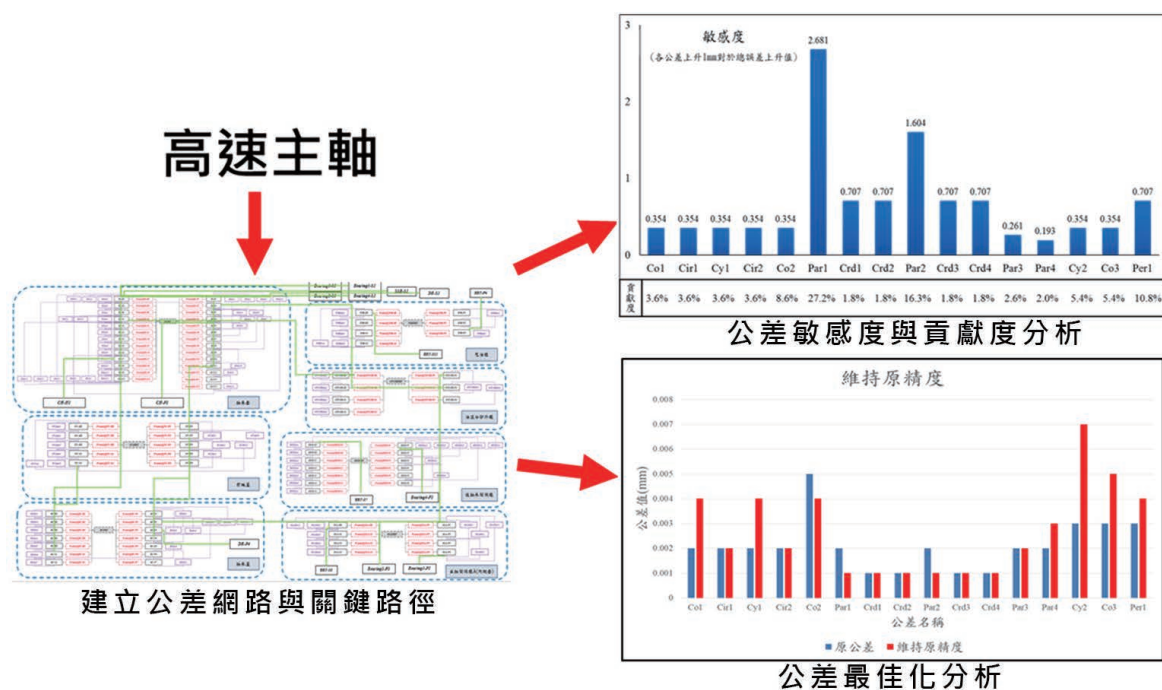
公差分析分為三個步驟如圖 1(a)，第一為建立產品架構，第二是建構公差網路並尋找公差累積路徑，第三為建立誤差模型與公差累積分析。建立產品架構的目的是要將公差資訊以圖像 (graph) 來表示，方便找出公差累積的路徑。方法簡述如下，先將整個機械產品由最大的組件開始做分解，分解出個別零件後，再分解為各個特徵。每個零件都可以分解出許多特徵，特徵是表示零件幾何形態的單元，如平面、圓柱面、孔等。最後將互相拘束的特徵相連，並標上依附在拘束上的公差，即為公差網路。接著根據零件設計標示之公差與

配合規格，將標示之公差與配合規格轉換為以圖像來表示的公差網路以及公差累積的路徑。在公差網路中，幾何尺度可視為特徵之間相對位置的拘束，而公差則限定其不能超過的範圍，因此幾何拘束等於兩個特徵物件座標間的轉換，而公差為其附屬的一種變異範圍，因此可將此變異量視



(a) 實施流程

圖 1(a) 主軸公差尺寸鏈優化實施流程



(b) 公差網路與最佳化分析

圖 1(b)：經由公差分析可得出各部公差的敏感度與貢獻度，可提供予設計工程師參考以訂定出適合的公差範圍

為特徵在該幾何拘束作用的自由度下所產生的誤差以差值轉換矩陣  $\Delta T(i)$  表示。因此兩個特徵關係的矩陣  $Treal(i)$  可表示為  $Treal(i) = Tideal(i) * \Delta T(i)$ 。公差累積路徑 P 的誤差為  $T(P) = [Tideal(P)] - 1 * [Treal(P)]$ ，如此可得出路徑 P 的累積誤差。

依功能端訂出公差目標，例如以主軸旋轉精度為公差目標，其旋轉精度影響其主軸加工精度，藉由公差路徑搜尋找出影響旋轉精度之關鍵路徑；計算得出此路徑上的公差堆疊結果後，可進一步計算出各部公差敏感度與貢獻度，公差貢獻度為單一公差對整體公差堆疊之貢獻，亦即其誤差區間佔總誤差之百分比；而公差敏感度則為調整單一公差對總誤差影響之大小，此項分析資料對於設計工程師具有相當大的參考價值如圖 1(b)。

接下來配置合適合理之公差，以利在一定品質之下可以使用較低之加工成本達成，作法是將上節所計算出之公差堆疊結果做成本最佳化，由廠商所提供之零件公差與成本關係，將各零件所經過的公差與成本之關係轉換成數學函數模型，

再若遇於各零件公差之限制條件下以最佳化方法配置合適之公差，以達到不改變精度的條件下降低製造成本或不增加成本的條件下提升主軸精度。