

工具機鎖固結合面與地腳性能提升探討

Study on the Performance Improvement for Machine Tool's Bolt Joint Surface and Support Foot

黃韋倫、卓家軒、蘇春榮、林冠廷

財團法人精密機械研究發展中心

前言

目前國產工具機的精度、性能已接近國外領導廠家，但在機台精度壽命仍有較大的差距，對工具機而言，組配對其性能影響巨大，即使是同樣精度的組件，裝配過程的差池，品質和性能就會有很大差異，而以往易被廠家忽略的機台組件結合面、支撐地腳的剛性與精度都對工具機的精度壽命與穩定度有很大影響。

以組件間的結合面為例：由於結合面是機台性能最薄弱的環節，在接合面在鑄配鎖固過程中，當裝配精度達不到要求時，利用試誤法或者不恰當的螺絲鎖緊力等措施使連接件局部變形過大來保證幾何精度，造成較大的裝配應力，在使用時應力釋放導致導軌或底座等安裝基準產生變化；或是鑄配鎖固時結合面的接觸率不足，造成接觸剛性與阻尼的下降，會導致機台動態特性不佳使機台振動與切削顫振的發生，不僅加工品質不佳，也易導致機台精度的衰退與下降。

在支撐地腳方面，地腳由墊鐵支撐與床台底座鎖附的地腳螺絲組成，其作用是將機台固定在基礎上，支撐床身重量並承受機台切削力與移動件產生的傾覆力矩，防止床身位移；傳遞與吸收機台與外界振源的部分振動；且能調整機台的水平與維繫其基礎精度，顯示支撐地腳組配的剛性與精度對機台性能的維持有重要影響。不適當的設計、安裝會導致地腳模組的接觸剛性不足，除了影響機台切削性能與穩定性外，不均勻的地腳支撐負載，可能導致使螺絲鬆弛影響墊鐵的支撐力與接觸剛性，導致床身幾何精度發生變化，而影響機台的精度保持狀態。

為此，工基計畫高穩定整機組配基礎技術結合精機中心的組裝研發能量，在 FY107 年針對 (1) 工具機固定結合面剛性提升技術；(2) 地腳支撐剛性與精度提升技術等項目進行探討，以下說明相關研發成果：

計畫成果說明

1. 工具機固定結合面剛性提升技術

以提升工具機固定結構件結合面的性能為研究目標，發展固定接合面組裝穩定性分析技術與方法，發展提升結合面剛性與精度的參數，並進行分析與驗證，其研發實施說明如圖 1 所示。主要研發成果包括：

- (1) PMC 提出優化鎖固結合面應力錐面積，提昇結合面剛性的方法；以螺絲鎖固應力錐理論為基礎，透過優化結構件肋厚，螺絲、墊圈尺寸或形態等參數，讓鎖固結合面上有最大應力錐面積，當結合面壓應力面積越大，單位面積受力變形越小，結合面剛性也越高，因此，可預期當結合面處位在應力最大截面積位置時，有較佳的結合面剛性，而且應力分布狀態較為均佈，本方法可提供業界具學理性的鎖固方法，改善依經驗公式進行螺絲鎖的現況，進而強化結合面的性能。
- (2) 發展鑄花結合面鎖固後剛性鑑別分析技術；依所提出結合面鎖固優化方法，進行實驗驗證。由於結構結合面為確保其穩定接觸，會對接觸面進行鑄花，確保結構件間有適當的接觸率。本計畫設計製作業界常用的鑄花接觸率實驗載具，透過發展載具有限元素分析模型，並與動態響應試驗結果比對，進行結合面剛

性鑑別，本計畫所發展剛性鑑別方法優勢，在於可很快獲得不同鎖緊力矩下的結合面剛性，作為評估鎖固性能優化效果依據。

- (3) 合宜的結合面鑄花 + 鎖固優化設計，有效提升固定結合面的剛性；以往認為增加鑄花接觸率可提升結合面剛性，本計畫以 2 種約 POP=40% ~ 45%，55% ~ 60% 鑄花接觸率施加於相同試件，先以經驗公式鎖固後進行動態響應實驗，結果顯示當鎖緊扭矩較低時，較高接觸率試件有稍高的目標模態頻率（顯示結合面剛性較高），然而隨著扭矩持續增加，兩試件的目標模態頻率值幾乎一致。分析指出以經驗鎖固方式，在較大的鎖緊扭矩下，結合面在螺孔周圍造成明顯的應力集中與鎖固變形現象，使兩結合面間發生變形無法保持設定的接觸率，導致其剛性無法增加。但再以相同試件考慮鎖固優化設計後，實驗顯示結合面剛性則有效提升。因此要提升機台結合面剛性，除了增加鑄花接觸率，還要考慮螺絲鎖固後均化結合面應力分布。但需注意的是，當提升結合面剛性後，也會因結合

面接觸趨於穩定導致其阻尼降低，因此本計畫也進一步的增加結合面組尼措施，才能提升整體結合面的性能。

2. 地腳支撐剛性與精度提升技術

目前大多數國產的中、小型工具機，幾乎未設置固定地基。因此在暫不考慮地基影響下如圖 2 所示，本計畫探討地腳模組（地腳螺絲與墊塊）接觸剛性影響參數，作為改善其接觸剛性基礎。此外，並配合實驗機台進行地腳支撐調校對水平精度影響探討，尋求提升支撐精度的調校方案。主要成果包含：

(1) 地腳模組接觸分析與設計改善

業界使用的地腳模組，為便於機台基礎精度的調校，多數採用地腳螺絲與墊塊為點接觸的型態，但其幾何構型設計參數並無依據，墊鐵材質有使用鋼材或鑄鐵，螺絲與墊塊接觸面間的粗糙度也無要求。因此，本計畫以某型五軸機台地腳模組與負載條件為研究目標，採用赫茲接觸理論探討影響地腳模組接觸的參數，由分析結果可知，接觸剛性主要受螺

◆ 實施案例：PMC 鎖固性能優化方法，透過改變螺絲等組裝參數 + 合宜鑄花參數實施，結合面剛性較現行經驗公式提升 50% 以上。

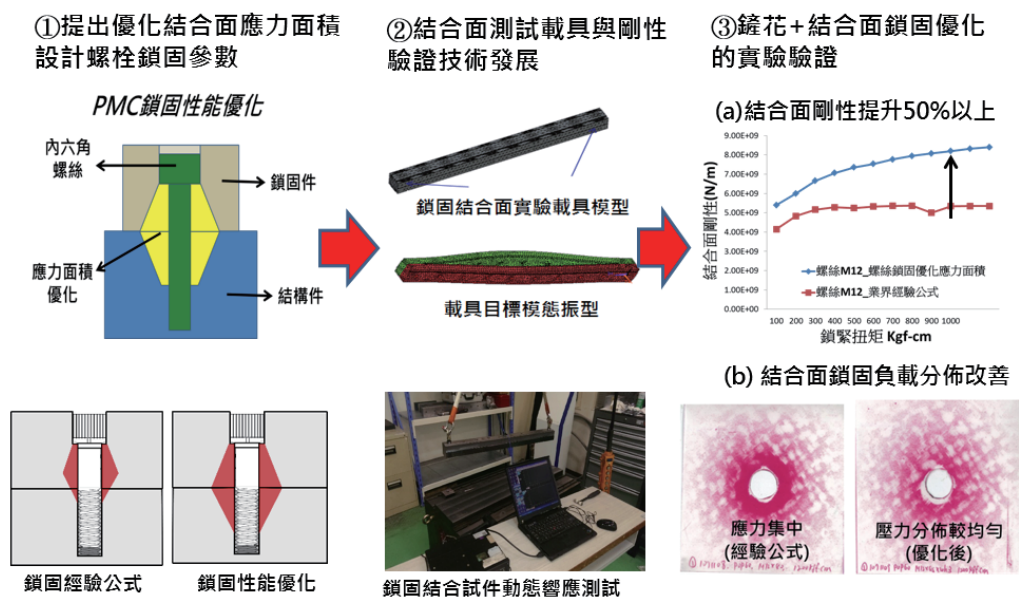


圖 1 工具機鎖固結合面剛性提升實施例

更完整的內容

詳見 | 機械工業雜誌 | • 433 期 • 108 年 4 月號

機械工業雜誌·每期 **220** 元·一年 12 期 **2200** 元

線上訂購網址：<https://www.automan.tw/magazine/orderMag.aspx>

付款方式

1. 郵局劃撥—戶名：財團法人工業技術研究院機械所 帳號：07188562
請於劃撥單的通訊欄寫明：購買期數、金額等
2. 匯款資料—兆豐國際商業銀行新竹分行(代號 017)
帳號：203-07-02288-0 戶名：財團法人工業技術研究院
3. 信用卡—請填寫信用卡 [訂購單](#)

麻煩您將 繳款收執 或 信用卡刷卡單 傳真至 (03)582-2011，我們會盡快處理您的訂單並開通權限，再次感謝您的支持與愛護。

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 機械工業雜誌·信箱：jmi@itri.org.tw

機械工業雜誌 優惠訂購單

訂閱一年 **12** 期

\$ 2200 / 續訂戶 \$ 2000

好禮二選一

- A** 史欽泰墨寶帆布袋
- B** 工研院機械所無人車USB (8G)

訂閱紙本+電子雜誌

\$ 3000 原價 \$ 4400

一年12期

贈送

- A** 史欽泰墨寶帆布袋

訂閱二年 **24** 期

\$ 4000 / 續訂戶 \$ 3600

好禮四選二

- A** 史欽泰墨寶帆布袋
- B** 工研院機械所無人車USB (8G)
- C** 工具機叢書任一本
- D** 智慧機械人叢書任一本

限量專屬精品送給您



A



B



C



D