

# 工具機機電響應動態分析模擬基礎技術

## Design and Analysis of Machine Tools Dynamic Response Through Servo Control Loop Simulation Technology

王仁傑<sup>1</sup>、廖建智<sup>2</sup>、何筱晨<sup>2\*</sup>、林政傑<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 工研院智慧機械科技中心 智慧製造技術組 智能化機器技術部 經理

<sup>2</sup> 工研院智慧機械科技中心 智慧製造技術組 智能化機器技術部

工具機數位設計分析基礎技術可對準機台使用者所在意的加工效率與切削異常振紋為設計目標，在機台開發階段即可透過模擬修正結構設計並準確預測成品之切削穩態圖及機台運動時的刀尖點振動和循跡誤差表現，有效幫助設計者縮短開發時程並降低傳統以打樣原型機進行實驗所支出的成本與風險。

近年來，國內工具機產業雖已漸漸導入 CAE 電腦模擬分析技術於機台開發，但大部分仍以靜態剛性分析為主，分析結果尚且無法與加工使用者所在意的切削效率與切削精度有直接關聯，導致經常發生機台開發完成後加工效率不符合客戶預期或模具表面加工紋路異常現象，工具機數位設計分析基礎技術自開始執行以來即針對上述問題進行探討，並積極整合切削加工與伺服控制相對應的技術於工具機結構開發上，希望藉由整合切削與控制的理論模型來有效提升機台結構的強度與動態響應。而工具機機電響應動態分析模擬基礎技術則著重於以模具機之精加工需求為主，並針對此加工需求說明本模擬技術之架構。

工具機本質即為一機電整合系統，包含了機台結構與伺服驅動控制模組，因此要藉由 CAE 分析技術來模擬機台動態特性，就需整合機台結構與伺服驅動控制模組，建構完整機電整合多體動力學數位模型，其中每一個子系統模型的正確性，均會影響到整機動態模擬分析的結果。建立工具機機電整合模型主要包含：機台結構與伺服驅動

控制模組，而於伺服驅動控制模組方面，目前已針對 FANUC 系統之常用馬達型號進行伺服迴路之建構，已完成 FANUC 系統單馬達之位置、速度、電流伺服迴路鑑別，包含：馬達型號有 aiF8、aiF12、aiF22、biS22 及 biS30，於此伺服模型中主要修正傳統常用之伺服迴路模型的時脈問題，常用之伺服驅動控制迴路一般皆未考慮位置、速度、電流之時脈問題，通常三層迴路皆使用連續模型建置，本技術針對位置、速度、電流之時脈序對伺服驅動控制迴路進行修正，修正後之模型其模擬與實驗之波德圖於 200 Hz 內振幅與相位的比對誤差 <5%。於機台結構部份，以立式綜合加工機為主要標的，建立完整工具機整機有限元素及多體動力模擬模型，而工具機整機有限元素及多體動力動態特性分析之準確性，不僅受每個鑄件的材料特性與機台地腳特性之影響，更受到鑄件與鑄件之間及機台進給系統組裝結合面介面之接觸行為之影響，故在模擬時必須準確地掌握組裝結合介面剛性之特性，比對以工具機整機之自然頻率及模態振型實驗為依據，比對誤差 <5%。整合馬達伺服迴路與工具機整機機台結構響應即可進行頻域及時域的模擬預測，於頻域部份進行速度及位置波德圖實驗與模擬之比對，比對誤差 <15%，而於時域分析中主要比對工具機各軸於直線及雙軸循圓軌跡運動之跟隨誤差 (Following Error) 與路徑誤差 (Path Error) 實驗與模擬之比對，比對誤差 <15%，如圖 1 所示，本技術能整合應用

於工具機設計開發領域，連結伺服端與結構端的能量，快速分析進給軸與結構的動態響應特性，即可快速對客戶的產品路徑進行預測分析，在開發端就可以先確認機台與伺服控制搭配後產生的路徑誤差是否符合客戶精度上的需求，電控調機人員在開發流程中也可快速嘗試不同的伺服控制參數與結構的整合效應；透過本技術建立的分析平台，快速將機構、電控、製程...等不同專才的

人員整合進機台開發初期已提高產品的開發效率，期望藉由設計技術的導入深化藉以提高產品附加價值，使台灣工具機廠擺脫跟隨者的角色，開發屬於台灣本土技術之高階機種。

設計端應用\_機台響應模擬

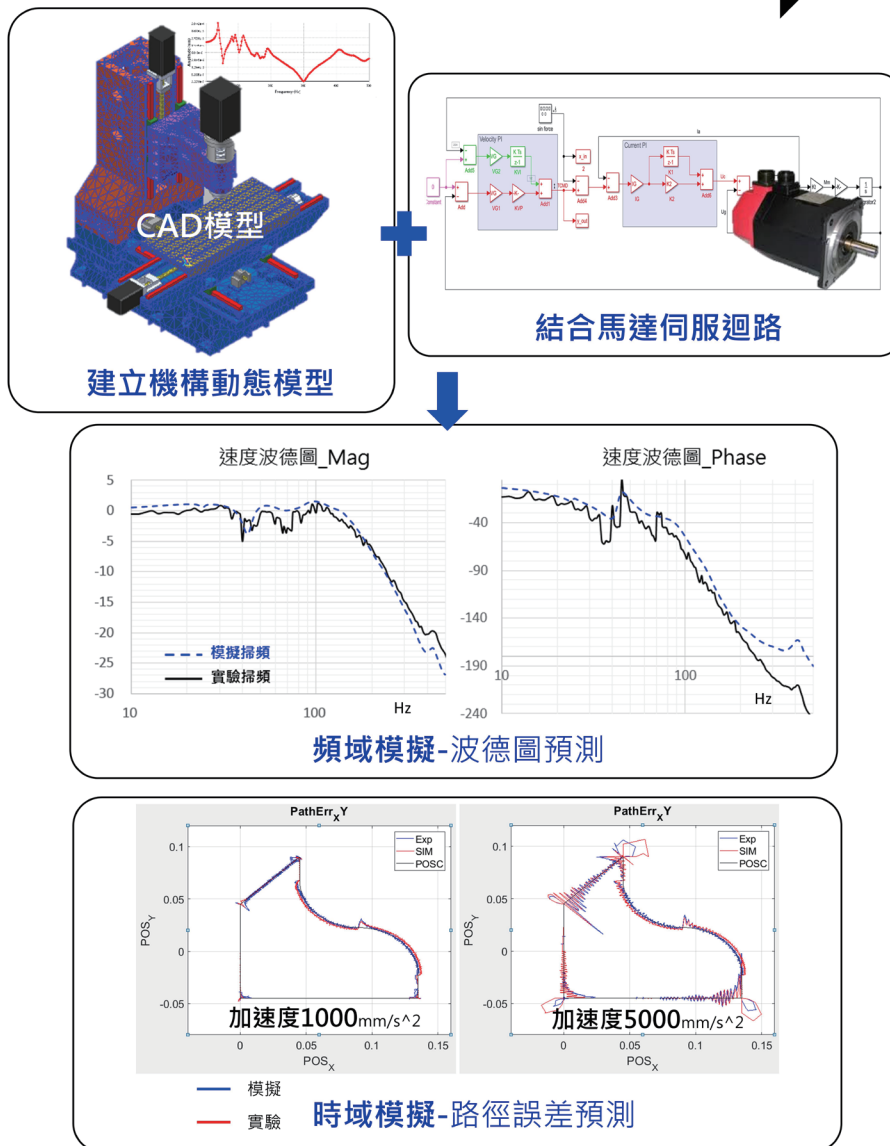


圖 1 工具機機電響應動態分析模擬基礎技術之應用