

# 科技部工程司109年度熱流學門成果發表會

2020年11月20日 虎尾科技大學

計畫名稱：智能化磨床加工優化分析與檢測技術開發  
計畫編號：108-2622-E-167-026-CC3  
執行單位：國立勤益科技大學精密製造科技研究所博士班  
主持人：汪正祺  
參與廠商：普發工業股份有限公司  
學門歸屬：熱流學門

## 摘要

近年來由於工業4.0的發展趨勢已使得智能化磨床加工優化分析與檢測技術逐漸受到重視並應用於高精度及高品質需求之精密製造程序。雖然目前國內工具機智能化的研究主題數量不少，內容廣泛，但就工具機種類而言，多數仍聚焦在銑床工具機，有關磨床加工機智能化部分則是相對稀少，因此本計畫針對磨床將先導入理論分析包含採用分數階混沌系統分析主軸相關非線性行為，同時分析研磨過程中工件表面的熱傳行為以監測材料加工的熱分布情形；另外利用可拓工程模型加以進行智慧故障診斷，並引入Meta-Learning結合可拓類神經理論及類神經網路強化系統故障的辨識率，即在進入可拓理論進行判別前，先進入Meta-類神經網路學習之，以避免重蹈覆轍地誤判。本計畫期望能以最低的成本、最高的成效為目標，開發具人工智慧之國產磨床加工機包含加工優化模組與檢測系統，藉由感測器擷取訊號、後端訊號處理及AI智慧演算法為大腦進行學習，準確即時地使磨床加工系統具有完善自主能力。同時，透過田口方法規劃測試平台及相關實驗，由磨床主軸在容許轉速下量測其運動軌跡、振動頻率等，以求得磨床加工時之最佳化參數組合，並檢測主軸轉子在正常或異常情況下的音頻。再與理論模分析之結果進行比對，驗證非線性運動的參數條件及不穩定的範圍，以避免在加工時落入該區間。而後再透過確認實驗與修正設計使磨床能符合實際產業需求以達到系統優化目的。同時最重要能確保系統降低混沌現象的發生機率，以減少系統因不規則的振動所造成的損失，並期望能作為智能化磨床設計時重要的依據，進而提昇產業界的競爭力。

## 研究方法

首先採用分數階混沌系統分析主軸及砂輪相關非線性行為，在非線性系統中，混沌現象乃解的其中一種形式，其最主要的特色就是對於初始條件非常地敏感，只要稍有改變，經過時間的迭代，將會有截然不同的結果。藉由混沌系統所產生之訊號會受到混沌吸引子的影響，使其出現一個有序但無固定週期之運動軌跡(如圖1)，此運動軌跡具有高度敏感之特性，會因微小的變化而對結果造成劇烈的影響。主軸內部軸承與砂輪在正常狀態與瀕臨故障、實際故障狀態或是需要砂輪修整時的訊號均有細微差異，實際上並不易於分辨其歸屬，本研究計畫針對此點，期望藉由混沌系統對於初始條件具高敏感之特性，來分析量測到之主軸感測元件訊號的差異，利用主僕混沌系統分別承載兩種訊號，如(1)式所示，使其產生動態誤差，並利用此動態誤差建立各狀態間的特徵向量。本計畫第二部份將以最佳化實驗規劃(田口法Taguchi method)與檢測平台之建立為主，並與第一部份理論結果進行結合與驗證，進而建構磨床異常及動態行為資料庫，詳細執行程序如圖2所示。

$$\dot{X} = \delta X + f(X) = \begin{bmatrix} \alpha & -X_3 & 0 \\ X_3 & \beta & 0 \\ \frac{1}{3}X_2 & 0 & \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix}, \dot{Y} = \delta Y + f(Y) + \psi = \begin{bmatrix} \alpha & -Y_3 & 0 \\ Y_3 & \beta & 0 \\ \frac{1}{3}Y_2 & 0 & \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{bmatrix} + \psi \quad (1)$$

為符合實際工況及運作情形，同時配合上述實驗規劃將建置一實驗平台包含加速規、雷射位移感測器、轉速計及普發所提供的磨床(型號PFG-3060AH)等。由實驗所獲得的資料再經過PLC控制及訊號擷取模組進行分析，可以完整瞭解軸承系統的振動量與轉子位移量，進而確立主軸穩定與非穩定區域，同時透過控制智慧演算模組可以即時進行加工參數的調整，而達到主動即時控制的功能，最終建立主軸與砂輪的動態行為資料庫。其他相關實驗材料及檢測設備如下：

- 試驗材料:中碳鋼S45C(含碳量0.2%以上,0.45%以下)/硬度HRC40-46度
- 砂輪型號尺寸:1-A-355-38-127-C-46-J-7-V
- 修整器:40mm/coarse/v40g1-wd/v40a1/v40m1(Korea)
- 表面粗糙度量測儀器:三豐SJ-210(測量標準ISO 1997)

## 結果與討論

- 由於混沌系統自同步必須存在主系統與僕系統之訊號，本計畫先採用磨床主軸外加加速規振動訊號當成主僕系統乘載訊號，進行混沌自同步動態誤差訊號分析。為了將此訊號進行分解，本研究將主軸所量測到訊號 Vin轉換成兩個訊號 VA與 VB，此兩個訊號做為主僕系統之乘載訊號。再將訊號導入混沌系統後，可以將主軸訊號不同狀態(正常、磨耗期、損壞期)的混沌動態誤差圖形畫出，並計算該圖形中重心分布情形之絕對值且利用分數階Chen-Lee 混沌同步系統對讀取到的主軸振動訊號進行分析。先將主軸空轉訊號擷取下來作為混沌同步系統主系統的基礎訊號，將即時的主軸運轉訊號作為待測訊號並導入到僕系統中，根據主/僕系統中的動態誤差平面進行重心點的判別。其中，由於主軸的監控狀態包含了正常的磨削狀態與顛振狀態。磨削行為正常與顛振現象發生時的重心分布圖，兩者分布的位置相當明顯。
- 由實驗結果得知，最佳參數為轉速1500rpm，Z方向進給7.5mm，加速規位置為右方，X方向進給為每分鐘42次。
- 變異分析表中的貢獻度顧名思義就是每項因子對實驗的影響力。由此實驗得知左右進給貢獻度最高佔84%，加速規擺放位置為其次，轉速貢獻度為第三高，最後則是Z方向進給貢獻度最低。表中ERROR所代表的是實驗的誤差，由實驗結果得知實驗誤差影響為0.02%，趨近於零，實驗誤差極小，準確度高。
- 由實驗得知此磨床若左右進給固定每分鐘42次，則其他參數影響不大可於切削時做調整。
- 由變異分析表可觀察數據得出若每分X方向進給次數越多，可達到振動量越小。轉速與前後進給之貢獻度極小，切削時影響不大。此方法可適用其他加工機，找出最小振動的參數，使加工效果更好。

表2、變異數分析

因子	SS(差值平方和)	DOF(自由度)	貢獻度(%)
轉速	7.54987E-05	2	2.97%
Z方向進給	6.10237E-05	2	2.40%
加速規位置	0.000266268	2	10.50%
X方向進給(次/分鐘)	0.002134514	2	84.10%
ERROR	6.26713E-07	9	0.02%
TOTAL	0.002537931	17	100%

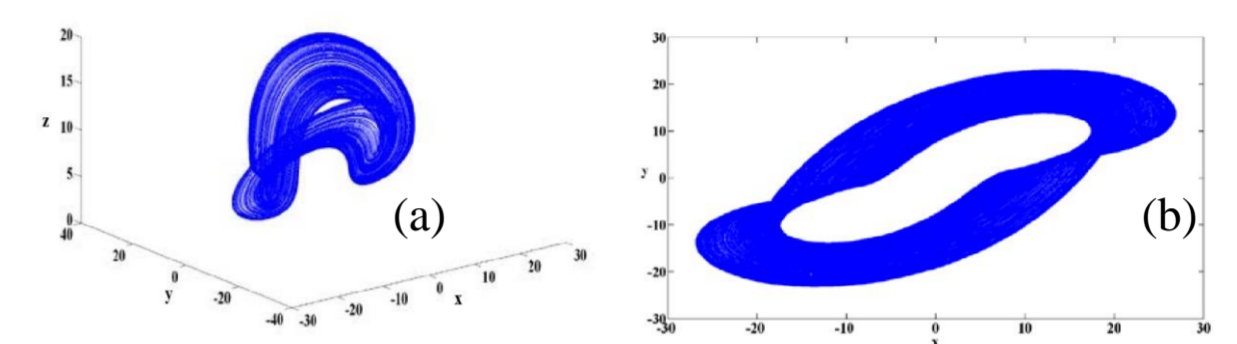


圖1、Chen-Lee 混沌系統(a)為三維示意圖(b)為二維示意圖

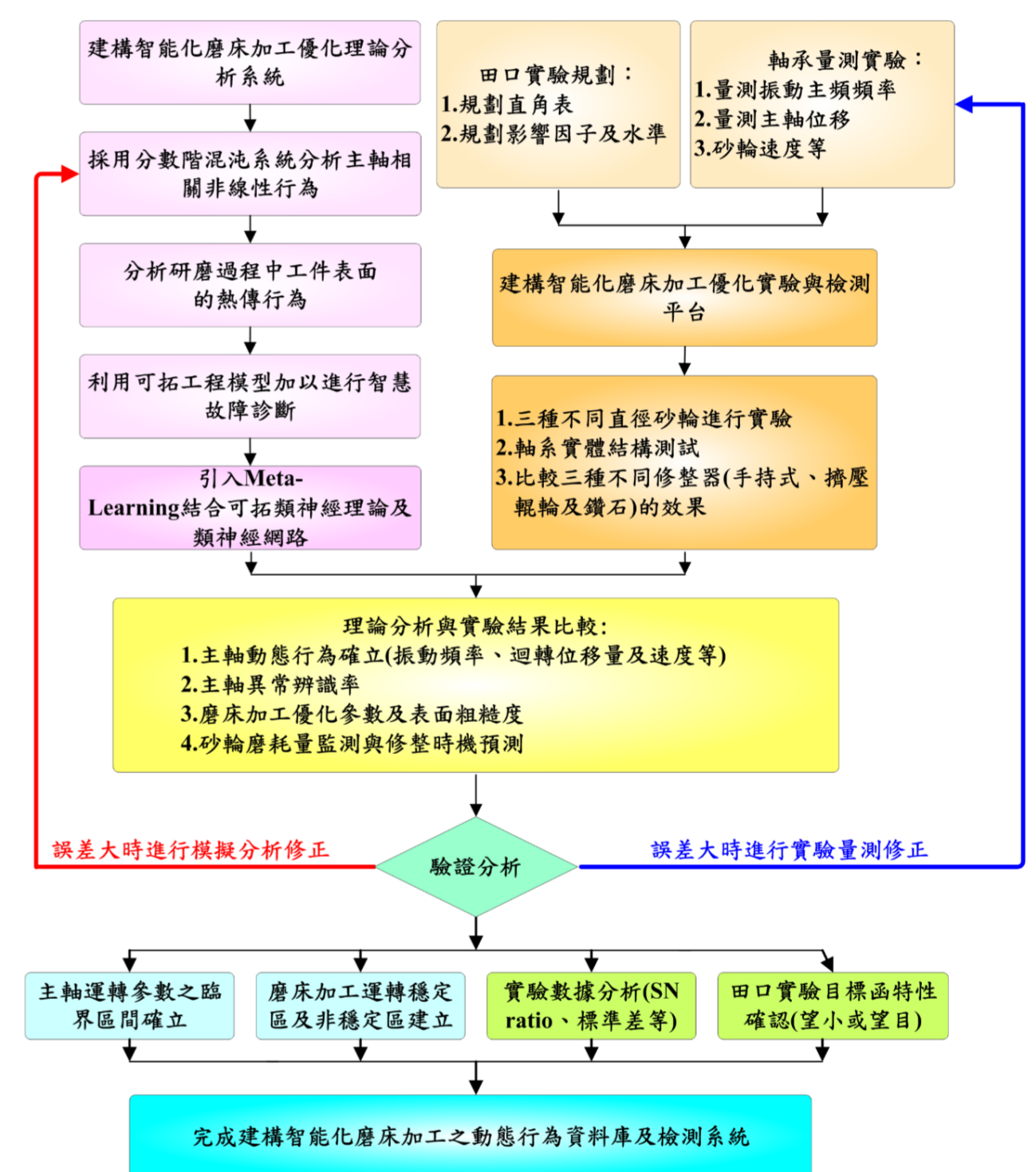


圖2、實驗流程

表1、田口實驗結果

	A.轉速	B.Z方向進給	C.加速規位置	D.X方向進給(次/分鐘)	RMS(實驗一)	RMS(實驗二)
1	1200rpm	7.5mm	下方	42次	0.012014	0.012331
2	1200rpm	5.0mm	右方	35次	0.0272	0.027915
3	1200rpm	2.5mm	上方	28次	0.039369	0.039162
4	1500rpm	7.5mm	右方	28次	0.026674	0.026671
5	1500rpm	5.0mm	上方	42次	0.012147	0.012203
6	1500rpm	2.5mm	下方	35次	0.039126	0.039046
7	900rpm	7.5mm	上方	35次	0.039789	0.039908
8	900rpm	5.0mm	下方	28次	0.039004	0.03972
9	900rpm	2.5mm	右方	42次	0.01213	0.01238

