

滾珠導螺桿螺帽預壓失效之健康診斷模組

黃宜正／彰化師範大學 機電工程學系 教授

本計畫將利用聲紋及振動技術於自動化檢測系統，對實機進行量測與訊號分析，利用黃悒法與多尺度熵，提出一創新螺帽預壓失效之健康診斷的分析方法暨模組，利用經驗模式分解與黃悒法之時頻分析，用以建立滾珠導螺桿在運作過程中的特徵萃取訊號，利用多尺度熵來判定螺帽預壓失效之複雜度與規律性變化關連度，藉此提供在自動化生產機臺當中判定滾珠導螺桿其預壓是否失效的診斷依據，建立滾珠導螺桿合於健康操作範圍之認證資料庫依據，及對於滾珠導螺桿螺帽預壓失效提出一智慧型監控的分析工具。

關鍵字：自動化檢測技術、螺帽預壓失效、經驗模式分解、黃悒法、多尺度熵、特徵萃取、健康診斷

1. 前言

一般傳統上是以伺服馬達帶動滾珠導螺桿作為精密進給，其螺帽預壓力的設計係在某一範圍；然此預壓力與螺桿預拉會因溫度變化、元件老化、磨耗或是操作負載條件的變化而造成失效。以背隙與剛性問題來思考，背隙小的確對螺帽機械傳動精度較為穩定，增加預壓力能增加機械傳動結構剛性；而背隙增加將影響到軸向彈性位移，以使定位精度造成較多的誤差，即更影響整體進給軸之定位精度與剛性。預壓力的變化會影響到機台的多項特性如圖1所示，即如果提升預壓力會造成溫升、靜態剛性、動態剛性、傳動效率、自然頻率與磨耗，也因其影響甚鉅，因此在精密運動設備中螺帽預壓的健康診斷監測也成為一個目前工業界極欲解決而學術界顯少研究相當之課題。



(圖1) 預壓力變化於機台之影響示意圖

滾珠導螺桿使用一段時間後因運動磨耗而剛性減低，或預壓力降低，將造成定位精度下降；在目前沒有一套健康監測模組來了解與提早防止預壓力失效，故工廠常以螺桿運作時數作為計算，而為避免成品精度降低，超過設定工時的滾珠導螺桿則全面替換，此不符經濟效益；有許多設計被發展出，如台灣專利公開號TW200940852[2]、TW201002963[3]、美國專利公開號US20070068292[4]等提出可調預壓力的機構，以延長滾珠導螺桿的使用壽命，但仍要停機後花費很多的時間校正。

為能檢測出滾珠導螺桿是否正常，日本專利公開號JP2004361247[5]提出在滾珠導螺桿通以振盪的電壓，以偵測使用電壓差以偵測滾珠導螺桿是否損壞；美國專利公開號US20090171594[6]揭露位置的差異信號估測驅動力(driving force)、彈性變形(elastic deformation)等，與預設的數值(set threshold value)比較，藉以診斷機台是否損壞。

由於滾珠導螺桿的預壓力影響定位精度甚鉅，因此如何早期診斷滾珠導螺桿的預壓力失效問題。就控制機電系統方向去思考，所遇到之問題(簡用P代表)有(P1)控制系統不能補償過度的熱應力誤差(thermo stress error)。(P2)導螺桿的螺帽預壓失效後所產生的定位誤差與振動。(P3)動平衡離心力所造成的徑向與軸向定位之瞬時偏差。(P4)為解決熱誤差導入中空冷卻之溫控器其溫度調節機制與操作頻率誘發與造成定位之誤差。(P5)其他因素。

本研究計畫則將由振動訊號及音頻訊號透過經驗模態分解與黃悒法(EMD+HHT)做特徵頻率

之分析[6]，預期可以分析導螺桿的螺帽預壓失效的時頻特徵與時間點，以多尺度熵的複雜度觀念[7]來判斷螺帽預壓失效的健康診斷將是本研究極卻處理與理究的地方。是本研究欲提出的法則，在學術上具有創新性，同時此監控之功能對於工業應用而言是有其重大的價值與助益。

2. 滾珠導螺桿特徵訊號

2-1 振動與聲紋訊號匹配

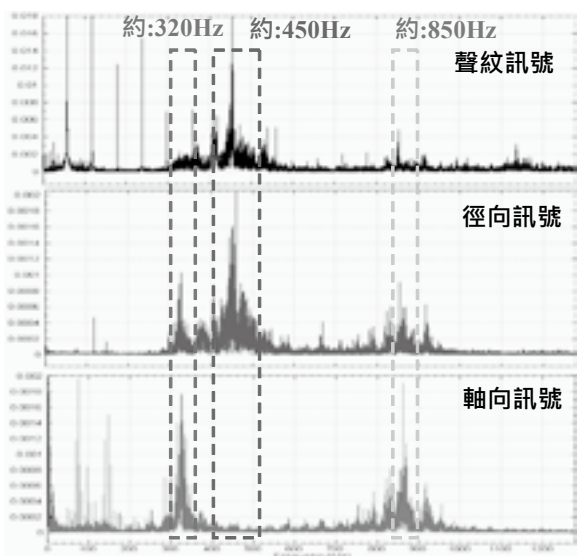
本研究藉由加速規及麥克風來診斷滾珠導螺桿預壓是否失效，但因麥克風屬非接觸式感測器，所擷取到的訊號包羅萬象，如不將聲紋及振動訊號作比對，將會降低數據可靠性。首先將先對實驗機台作設定，設定如表1所示，感測器佈點如圖2所示；接下來將所擷取訊號導入FFT進行訊號匹配，如圖3所示，可發現麥克風與加速規整體趨勢一致，唯有軸向振動無法激發出450 Hz，並初步推斷450 Hz可能為螺桿徑向特徵訊號，其他訊號如320Hz、850 Hz皆可匹配，而450 Hz僅於聲紋及振動徑向可相互匹配，由以上結果，可了解麥克風及加速規兩者匹配性優良。

(表1) 實驗參數設定表

實驗參數設定	
1.馬達:300rpm/1.5G	
2.平台往復距離:270mm	
3.取樣頻率: 麥克風:10k 加速規:5.12k	
4. 預壓螺桿:2%、4%、6%	



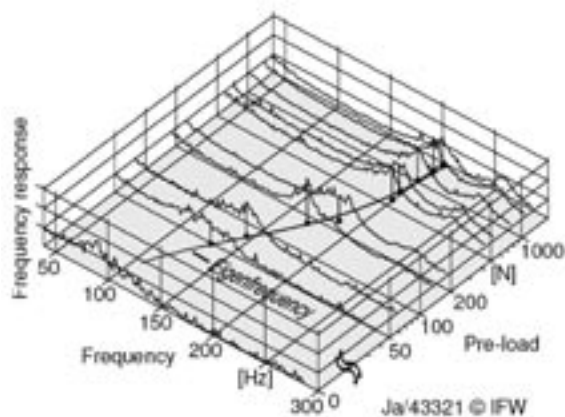
(圖2) 麥克風及加速規軸徑向佈點圖



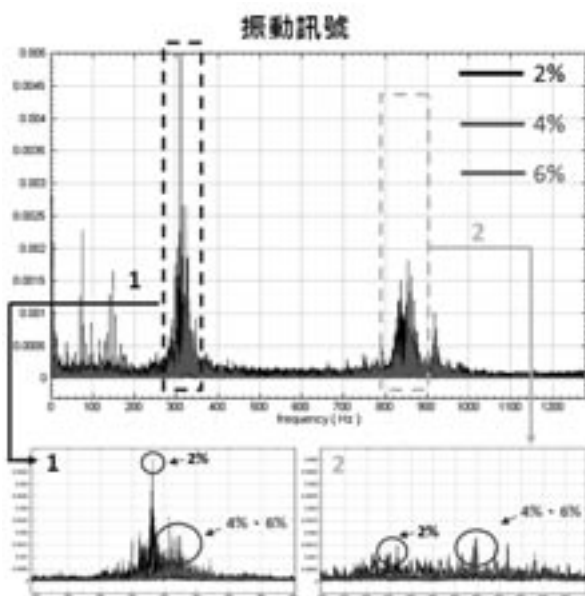
(圖3) 麥克風及加速規軸徑向比對圖

2-2 螺桿剛性比較

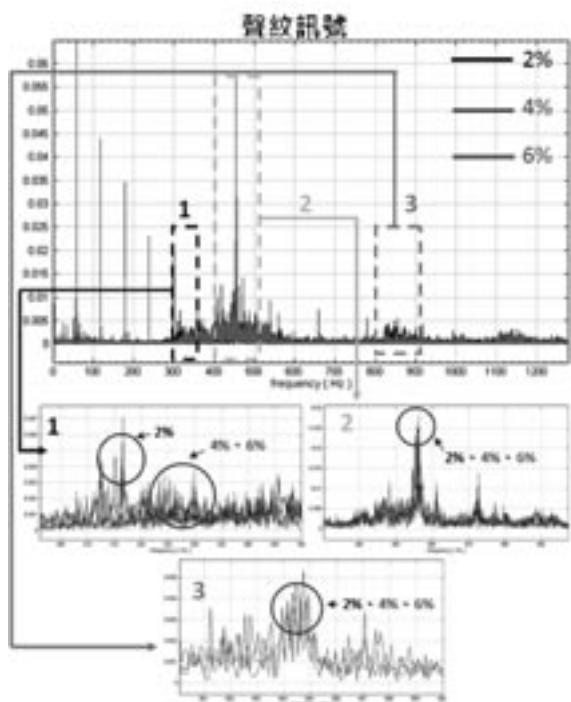
首先為了解當不同預壓量時之滾珠導螺桿在振動與聲紋量測中，其訊號是否會有不同的特徵頻率變化，因此本研究首先經由改變不同螺帽預壓量之滾珠導螺桿透過加速規與麥克風感測器，擷取機台往覆運動時的振動訊號與音頻訊號，而在將所擷取出來的訊號轉至FFT去比對其不同預壓量的螺桿之剛性特徵。因此由文獻[8]了解到螺帽預壓量大小將會影響頻率響應，但當螺帽預壓量到定值時其頻率響應差異量低，如圖4所示由圖5、6經振動與聲紋訊號比對後發現輕預壓(2%)與標準預壓(4%)的訊號上會有明顯的位移，並進一步由圖5、6中發現其過預壓(6%)與標準預壓(4%)訊號上差異確不是很明顯。藉此由上述研究發現將可藉由振動剛性之量測提供給滾珠導螺製造供應商找出最佳化之預壓力值。



(圖4) 振動訊號之不同預壓螺桿訊號比較圖



(圖5) 振動訊號之不同預壓螺桿訊號比較圖

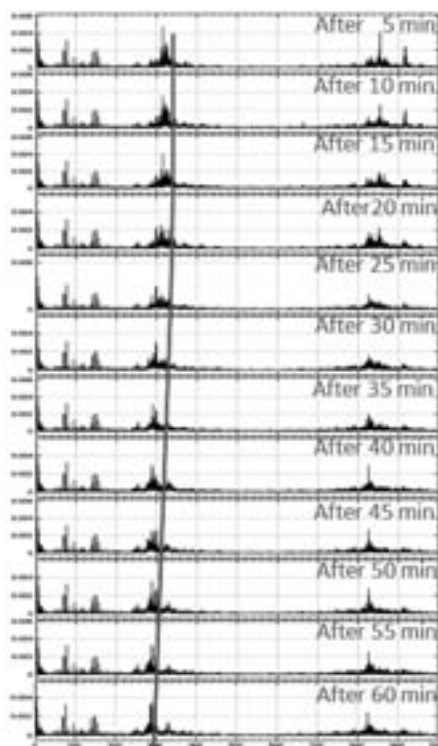


(圖6) 聲紋訊號之不同預壓螺桿訊號比較圖

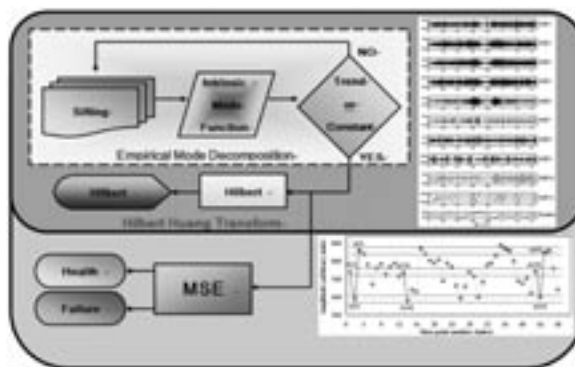
2-3 熱溫升之預壓失效

藉由2-2章節的剛性特性比較，可以發現到當預壓較小時其特徵頻率也相對降低，因此本研究為了仿業界實際加工進給情形，於是將此平臺進行長時間往覆作動，藉由不開油冷系統以每五分鐘進行振動量測直至熱溫升平衡後，而在將所擷取到訊號轉至FFT圖去觀測其滾珠導螺桿因溫升時所造成的熱變位進而對預壓力之影響，如圖7發現經長時間進給運動後預壓力會隨溫度上升而漸漸失效，因此為能在後續預壓失效分析判斷上能減少誤差，為此將對研究分析上需的預壓特徵訊號進行濾波，並藉由圖5、6與文獻[6]了解到傳統傅利葉頻譜對於微小訊號與非平穩訊號的局限性，於是對於預壓失效時所產生的特徵訊號是無法有效診斷出來。因此藉文獻[6]由黃愕所提出之希爾伯特-黃轉換(Hilbert-Huang Transform, HHT)裡的經驗模態分析法對於微小故障特徵訊號與非平穩訊號中可以進行自適應性地濾波以來克服傳統分析法的局限。因此本研究藉由圖8希爾伯特-黃訊號分析流程對整個振動訊號進行濾波成多個內稟模態函數(Intrinsic Mode Function, IMF)然後再將拆解後的各個內稟模態函數訊號轉換成傅利葉頻譜在並與圖9滾珠導螺桿結構自然頻率進行比對，以及選取含有預壓特徵的IMF轉至時頻圖來觀測在時間序列中所發生的頻率與振幅大小，如圖10所示。最後再將圖七各時間點的螺帽特徵訊號轉至多尺度熵來判斷訊號之複雜度。圖11中可了解螺帽因長時間往復作動後，預壓力漸漸失效以至於複雜度也隨之增加；本研究

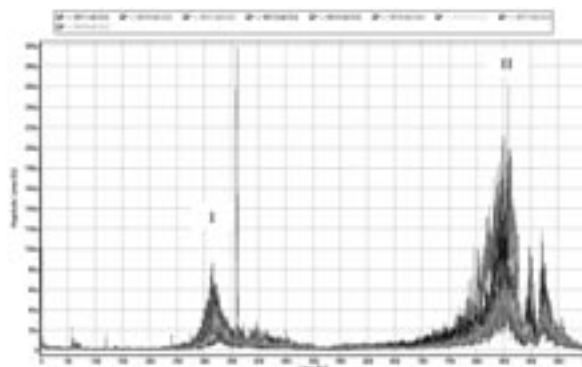
所提出的多尺度熵複雜度模式將可提供使用者診斷螺桿預壓力是否失效。



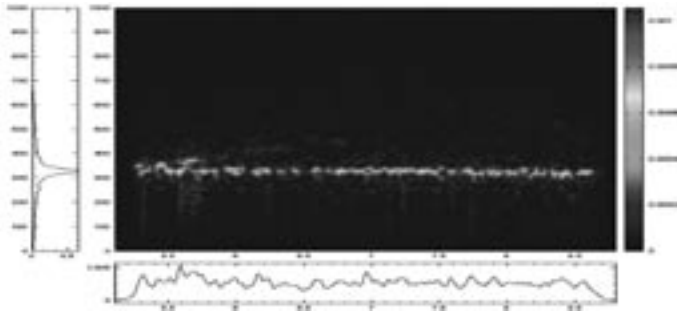
(圖7) 一小時螺桿溫升之訊號特徵變化圖



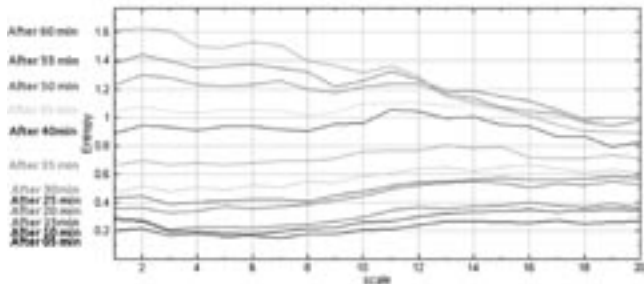
(圖8) 希爾伯特-黃訊號分析流程



(圖9) 滾珠導螺桿結構頻率



(圖10) 含有預壓力之特徵訊號時頻圖



(圖11) 螺桿複雜度比對圖

3. 結論

於振動聲紋量測中，滾珠導螺桿運轉時之振動的主要來源為滾珠週期性撞擊螺帽、螺桿，系統因滾珠撞擊而激發之自然頻率，滾珠與滾珠或軌道間的摩擦，而這些振動的產生都與滾珠之剛性相關。於2-1章節本研究的振動及聲紋訊號比對相對匹配，以及2-2章節不同剛性之比對與文獻[8]所提出的觀點一致，最後2-3章節將螺桿

因溫升所造成螺桿剛性下降數據也與2-2不同剛性比對數據趨勢一致，藉由第二章所提出的三種方式相互印證，本實驗對於監控機台之螺桿預壓是否失效，有十足的把握，未來不僅可監控螺桿壽命，還可評估平台定位精度並降低螺桿更換成本。

4. 產業效益

本研究可診斷一種滾珠導螺桿預壓力失效裝置模組的產業效益，其中該感測單元進一步包含一無線傳輸模組，該無線傳輸模組可將滾珠導螺桿運動時所產生的訊號如加速規振動訊號、麥克風聲音訊號等，以無線傳輸方式傳送至該訊號前處理單元；如此可為中央監控的實施方式之一，在多台的機台設備上分別裝設具有無線傳輸模組之感測單元，各感測單元分別將訊號傳送至訊號前處理單元，由一個訊號前處理單元及其他單元可分別處理各感測單元所傳送的訊號，構成中央監控的實施方式，方可有效對滾珠導螺桿健康作即時監測。

參考文獻

1. 台灣專利公開號TW200940852 “具可調整預壓結構之滾珠螺桿ADJUSTABLE SPACER FOR A BALL SCREW SPACER FOR A BALL SCREW”，上銀科技股份有限公司,(2009)
2. 台灣專利公開號TW201002963 “滾珠螺桿之可調式預壓裝置ADJUSTABLE PRE-PRESSING DEVICE FOR A BALL SCREW”，上銀科技股份有限公司,(2010)
3. 美國專利公開號US20070068292 “PRELOAD ADJUSTING DEVICE FOR A BALL SCREW”，上銀科技股份有限公司,(2007)
4. 日本專利公開號JP2004361247 “BALL SCREW INSPECTION DEVICE AND ITS INSPECTION METHOD”，NSK,(2004)
5. 美國專利公開號 US2009017159 “MACHINE DIAGNOSING METHOD AND DEVICE THEREFOR”，上銀科技股份有限公司,(2009)
6. N. E. Huang, Z. Shen, S. R. Long, M.C. Wu, H. H. Shih, Q. Zheng, N. C. Yen, C. C. Tung & H. H. Liu, “The Empirical Mode Decomposition and The Hilbert Spectrum for Nonlinear and Nonstationary Time Series Analysis”，Proceedings of Royal Society of London Series A, vol 454, pp. 903-995, (1998)
7. M. Costa, A. L. Goldberger, and C.-K. Peng, “Multiscale Entropy to Distinguish Physiologic and Synthetic RR Time Series, Computers in Cardiology”，vol. 29, pp. 137-140, (2002)
8. Denkena B., Harms A., Jacobsen J., Möhring H.-C., Lange D. and Noske H., “Life-cycle Oriented Development of Machine Tools,” CRIP, pp. 693~698, (2006)