

第五章 結論與未來研究方向

立式切削中心機在長時間運轉時，無論馬達、液壓系統和機械摩擦都是在進行能量的轉換，不論轉換途徑為何，大多變成了熱，而立式切削中心機的溫升和熱變形即是由各種熱源所引起，因此產生的熱變形將會造成刀具與工件的相對位置發生變化，引起加工尺寸或形狀的偏差，降低了加工精度。

5.1 結論

1. 在 Y 方向螺桿的溫度量測點，實驗結果發現前軸承座的溫度高於螺帽座與後軸承座的溫度點，原因在於伺服馬達產生的熱量。但是值得注意的是進給軸伺服馬達非直接影響而是以熱傳效應的方式產生。
2. 實驗以立式切削中心機之預拉、預拉釋放及加大預拉值等三種情況進行，實驗結果發現預拉的大小確實會影響進給軸的熱變位，但效應並不是很大。
3. 實驗使用部份解決熱變位的方法，如軸座的冷卻、光學尺的加裝等方式進行測試。結果不論使用軸座冷卻或光學尺皆可將 Y 軸的變形量減低許多，可說效果相當良好。這兩種方式結果是改善了，

但是過程中確實有些差異，光學尺在整個過程中極易處於穩定狀態，不易受環溫或其他操作的影響。而軸座冷卻雖然有明顯的效益，但是穩定較慢，而且容易受環溫的影響的現象。

4. 實驗方法若以工作台往復運動的量測很容易看出當進給軸熱位移到達穩定後溫度亦跟著穩定，並不會受環溫的變動而變動。再者若在溫控室內進行則有降低熱位移的效果，主要原因在於類似定溫式與差溫式冷卻器的差異。
5. 若以環溫的控制、軸座冷卻及光學尺三種對策的使用下，仍還有熱位移產生，主要原因在於主軸運轉產生結構熱位移的問題及光學尺本身的誤差。因此精度需求較高者會以光學尺搭配溫升補償卡的方式建構。



5.2 未來研究方向

本研究僅針對軸向熱位移之改善，而熱位移量測之目的乃為了作為搭配及時補償之用，因此建議為來研究方向如下：

1. 目前一般改善方法是將熱源隔離在外或將熱帶走外，目前市面上有販賣定溫式與差溫式冷卻器，可進一步研究定溫式與差溫式冷卻器溫度控制的最佳參數研究，是否會對進給軸有所幫助。

2. 目前的立式切削中心機進給傳動系發展已經朝向線性馬達的發展，且已經發展完成。但因為其成本售價偏高，市場上仍未被大量接受，因此加以實驗測試分析，或許將會提高進給傳動系統加工精度。
3. 由實驗結果發現立式切削中心機進給傳動系的热位移與機械結構的热變形，主要由 X、Y、Z 三軸滾珠導螺桿與螺帽相互摩擦，以及 X、Y、Z 三軸伺服馬達及主軸馬達運轉所引起之熱源，因此在滾珠導螺桿方面可考慮在螺帽內通過經由強制冷卻之液體，已降低滾珠導螺桿操作運轉時之熱源產生與熱膨脹現象，以達到高精度的目的。而在 X、Y、Z 三軸伺服馬達及主軸馬達方面，可考慮在馬達板（motor bracket）內通過經由強制冷卻之液體，將伺服馬達及主軸馬達運轉時所產生之熱源透過強制冷卻之液體，將熱源隔離以避免將熱傳導至立式切削中心機之機身，影響結構變形而產生加工時的精度誤差。

參 考 文 獻

- [1] Okushima, k. , Compensation of Thermal Displacement by Coordinate System Correction, Annals of the CIRP, Vol. 24/1/1975, pp. 327-331 .
- [2] Moshe, Barash , Thermal Effects on the Accuracy of Numerically Controlled Machine Tools , Annals of the CIRP, Vol. 35/1, 1986, pp. 255-258 .
- [3] Optiz, H. and R. Noppen , A Finite Element Program System and its Application for machine Tool Structural Analysis, MTDR, Vol. 13, 1972, pp. 55-60 .
- [4] Bryan, j. , International Status of Thermal Error Research Annals of CIRP, Vol. 39/2/1990 .
- [5] Weck M. and L. Zangs. Computing the Thermal Behavior of Machine Tools Using the Finite Element Method Possibilities and Limitations, MTDR, Vol. 16, 1975, pp185-194 .
- [6] Aramaki et. al, The Performance of Ball Bearing with Silicon Nitride Ceramic Balls in High Speed Spindle for Machine Tools ASME Journal of Tribology, Vol. 110, 1988 .
- [7] Chen J. S. , Compensation of Thermal Displacement by Coordinate

System Correction Annals of the CIRP, Vol. 24, 1975, pp. 327-331。

- [8] Nakamura and Kakion A Performance Evaluation of Preload Switching Spindle Journal of JAPAN Society of Precision Engineering Vol. 60. No. 5, 1994, pp. 688-692。
- [9] Yun, W.S., Thermal Error Analsis for CNC Lathe Feed Drive System Int. J. Tools Manufact. Vol. 39, 1999。
- [10] 堀 三計、西脇信彦、石富克也， 工作機械の熱変形量推定に関する研究 ， 日本機械学会論文集（C編），63巻608号， 1997， pp. 353-358。
- [11] 森脇俊道、社本英二、河野昌弘， ニューラルネットワークに工作機械の熱変形予測 ，日本機械学会論文集（C編），61巻よる 584号，1995，pp. 427-432。
- [12] 王榮邦， CNC 工具機加工精度與熱誤差之研究 ， 國立台灣大學碩士論文， 1996。
- [13] 鄧應揚 ， 工具機進給系統之熱傳分析 ， 國立中正大學碩士論文， 2000。
- [14] 孟令人， 高精度工具機熱變形補償控制技術 ， 國立台灣大學碩士論文， 1997。
- [15] 廖子恩， 滾珠螺桿溫昇熱變位量測之研究 ， 國立中正大學碩士

論文， 2000。

- [16] 朱佑泰， 工具機結構溫昇熱變形測試與研究， 大業大學碩士論文， 2001。
- [17] 滾珠螺桿技術手冊， 上銀科技股份有限公司。
- [18] 126 期技術通報， 財團法人 精密機械研究發展中心。
- [19] 屈岳陵， 滾珠螺桿高速進給下熱抑制之探討， 機械月刊第二十八卷第四期。
- [20] 范光照， 工具機熱誤差補償技術， 機械月刊第二十五卷第三期。
- [21] 黃忠良， 新工作母機要素與控制， 復漢出版社， 1993。
- [22] 李碩仁、費業泰， 精密機械精度基礎， 高立圖書有限公司， 2003。

