

目 錄		頁 次
中文摘要.		i
英文摘要.		ii
誌 謝.		iii
目 錄.		iv
表目錄.		v
圖目錄.		v
第一章 緒 論		1
1.1 前言.		1
1.2 研究動機.		1
1.3 文獻回顧.		6
1.4 結論.		9
1.5 論文架構說明.		9
第二章 不考慮機台時之進給系統溫升熱變形測試與分析		11
2.1 前言.		11
2.2 進給系統簡介.		11
2.3 滾珠導螺桿與螺帽.		12
2.3.1 雙螺帽預壓方式.		13
2.3.2 單螺帽預壓方式.		14
2.4 支撐軸承.		15
2.5 聯軸器.		20
2.6 光學尺.		20
2.7 滾珠導螺桿溫升熱位移實驗設備.		21
第三章 考慮機台變形之立式切削中心機溫升熱變形測試與分析		22
3.1 前言.		22
3.2 立式切削中心機簡介.		22
3.3 立式切削中心機溫升熱變形量測.		24
3.3.1 立式切削中心機溫升熱變形實驗方法.		24
3.3.2 熱變形量測系統及測試儀器介紹.		25
3.3.3 溫度感測器量測設備及位置佈置圖.		27
3.4 立式切削中心機溫升熱變形補償數學模型建立.		30
3.4.1 理論基礎—齊次轉換模型.		30
3.4.2 相關係數.		41

第四章 實驗結果分析與討論	48
4.1 進給系統溫升熱位移測試數據分析.	48
4.1.1 滾珠導螺桿預拉溫升熱位移測試數據分析.	48
4.1.2 溫度控制測試數據分析.	51
4.1.3 位置回饋測試數據分析.	52
4.2 進給系統溫升熱位移實驗數據.	53
4.3 立式切削中心機溫升熱變形測試數據分析.	63
4.3.1 進給系統溫升熱位移測試方法.	65
4.3.2 進給系統溫升熱位移測試條件.	66
4.3.3 熱變形誤差模型之建立.	67
4.4 立式切削中心機溫升熱變形實驗數據.	71
第五章 結論與未來研究方向	77
5.1 結論.	77
5.2 未來研究方向.	78
參考文獻.	80



表 目 錄

	頁次
表 1.1 影響切削精度的層面	4
表 3.1 立式切削中心機結構名稱定義	23
表 3.2 溫度感測器貼附位置列表	29
表 3.3 二軸卡氏座標床軌移動系統的誤差矩陣表	41
表 3.4 立式切削中心機部分 X、Y、Z 方向熱位移迴歸變數相關特性 比較	44

圖 目 錄

	頁次
圖 1.1 熱發生關連圖	4
圖 1.2 熱變形引起之形狀及尺寸誤差	5
圖 1.3 研究流程圖	10
圖 2.1 以預壓片尺寸調整預壓方式	13
圖 2.2 以鋼珠尺寸調整預壓方式	14

圖 2.3	以導程偏移調整預壓方式	15
圖 2.4	軸徑和安裝距離相對於挫屈負荷之關係	16
圖 2.5	軸徑和安裝距離相對於臨界轉速之關係	17
圖 2.6	兩端固定	18
圖 2.7	一端固定另一端支撐	18
圖 2.8	兩端支撐	19
圖 2.9	端固定另一端自由	19
圖 3.1	立式切削中心機	23
圖 3.2	非接觸式位移計量測熱位移設備簡圖	26
圖 3.3	非接觸式位移計量測熱位移詳細構造圖	26
圖 3.4	非接觸式位移計量測熱位移位置代號圖	27
圖 3.5	溫度感測器位置圖	28
圖 3.6	剛體座標系統 ($X_n Y_n Z_n$) 與參考座標系統 ($X_R Y_R Z_R$)	31
圖 3.7	立式切削中心機主軸的旋轉誤差	34
圖 3.8	雙軸之座標系統示意圖	37
圖 4.1	軸座軸承施以冷卻	51
圖 4.2	光學尺裝置	52
圖 4.3	使用加工程式測試進給軸變異量曲線圖	53
圖 4.4	使用加工程式測試溫度變異量曲線圖	53
圖 4.5	滾珠導螺桿無預拉情形測試進給軸變異量曲線圖	54
圖 4.6	滾珠導螺桿無預拉情形測試溫度變異量曲線圖	54
圖 4.7	滾珠導螺桿預拉($40 \mu\text{m}$)情形測試進給軸變異量曲線圖.	55
圖 4.8	滾珠導螺桿預拉($40 \mu\text{m}$)情形測試溫度變異量曲線圖.	55
圖 4.9	滾珠導螺桿預拉($50 \mu\text{m}$)情形測試進給軸變異量曲線圖.	56
圖 4.10	滾珠導螺桿預拉($50 \mu\text{m}$)情形測試溫度變異量曲線圖.	56
圖 4.11	軸座冷卻方式測試進給軸變異量曲線圖	57
圖 4.12	軸座冷卻方式測試溫度變異量曲線圖	57
圖 4.13	光學尺測試進給軸變異量曲線圖	58
圖 4.14	光學尺測試溫度變異量曲線圖	58

圖 4.15	機台置於恆溫室測試 (往復運動) 進給軸變異量曲線圖 .	59
圖 4.16	機台置於恆溫室測試 (往復運動) 溫度變異量曲線圖 . .	59
圖 4.17	機台置於恆溫室測試 (使用加工程式) 進給軸變異量曲線圖	60
圖 4.18	機台置於恆溫室測試 (使用加工程式) 溫度變異量曲線圖	60
圖 4.19	軸座冷卻方式 + 光學尺測試進給軸變異量曲線圖	61
圖 4.20	軸座冷卻方式 + 光學尺測試溫度變異量曲線圖	61
圖 4.21	軸座冷卻方式 + 恆溫測試進給軸變異量曲線圖	62
圖 4.22	軸座冷卻方式 + 恆溫測試溫度變異量曲線圖	62
圖 4.23	立式切削中心機主軸溫升熱變形量測系統架構圖	66
圖 4.24	立式切削中心機主軸溫升熱變形補償系統架構圖	70
圖 4.25	測試條件 1 之時間與熱變形關係圖 (補償前)	71
圖 4.26	測試條件 1 之 T1~T8 時間與溫度上升關係圖 (補償前) .	71
圖 4.27	測試條件 1 之 T9~T16 時間與溫度上升關係圖 (補償前)	72
圖 4.28	測試條件 2 之時間與熱變形關係圖 (補償前)	72
圖 4.29	測試條件 2 之 T1~T8 時間與溫度上升關係圖 (補償前) .	73
圖 4.30	測試條件 2 之 T9~T16 時間與溫度上升關係圖 (補償前)	73
圖 4.31	測試條件 1 之時間與熱變形關係圖 (補償後驗證) . . .	74
圖 4.32	測試條件 1 之 T1~T8 時間與溫度上升關係圖 (補償後驗證)	74
圖 4.33	測試條件 1 之 T9~T16 時間與溫度上升關係圖(補償後驗證)	75
圖 4.34	測試條件 2 之時間與熱變形關係圖 (補償後驗證) . . .	75
圖 4.35	測試條件 2 之 T1~T8 時間與溫度上升關係圖 (補償後驗證)	76
圖 4.36	測試條件 2 之 T9~T16 時間與溫度上升關係圖(補償後驗證)	76