

# 第一章 緒論

## 1.1 前言

隨著立式切削中心機 NC 化及自動化的演進，立式切削中心機精度的穩定性要求日益嚴苛。而其中影響立式切削中心機加工精度的主要誤差來源就是切削期間結構熱變形所產生的熱誤差。因此如何降低由溫升熱變形所引起之加工誤差乃成為立式切削中心機製造廠必須面對的重要課題。尤其當立式切削中心機朝向高速化發展後，由於高速化所伴隨之大量熱源使熱變形之變化將更為顯著。

熱脹冷縮為大多數金屬材料的溫度特性，一般以鋼或鑄鐵為結構的切削立式切削中心機對溫度的反應也不例外。進行切削加工時，由於各項內外熱源的影響會使立式切削中心機結構發生溫度上的變化，則其結果將影響到加工後工件尺寸及形狀上的偏差。因此，改善立式切削中心機加工精度及選擇良好加工製程，都是達成高品質產品的關鍵。

## 1.2 研究動機

立式切削中心機在運轉與加工過程中，受內、外熱源的影響(如

圖 1.1 所示)，各部份組件的溫度將發生變化。由於熱源分佈不均勻和結構的複雜性，導致所形成的立式切削中心機溫度場一般都是不均勻的，因此立式切削中心機將會產生不同程度的熱變形而喪失了原有的精度。在進行切削時，立式切削中心機因熱效應所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（如圖 1.2 所示），降低了加工精度。

至於立式切削中心機熱源的種類是在進行加工過程，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，而立式切削中心機因溫升所產生的熱變形即是由各種熱源所引起。這些熱量一部份由切屑和冷卻液帶走（切削摩擦熱）、一部份發散至周圍環境、一部份傳至工件，造成工件溫升。而大部份的熱量則殘留於立式切削中心機內，造成立式切削中心機機身內部的溫度變化。此外，立式切削中心機的溫度變化還有其外部原因，即環境溫度變化和日光的照射等原因。

立式切削中心機機身的溫度並非定值，有複雜的變化。在我們進行加工時，其溫度上升；加工結束後停機時，溫度則下降。加工另一批工件時，則溫度又上升；加工結束停機時，溫度再次下降。再以環境溫度而言，有日夜週期性的溫度變化、也有春、夏、秋、冬四季的交替變化。

此外，熱源亦會經由熱傳導、對流和輻射等傳熱方式，使立式切削中心機各組裝部位產生溫度差後，出現熱變形現象，降低工具機的幾何精度和定位精度；且由於工件溫度和量具的溫度不同，也因而降低了量測精度及量測的準確性。

再深入來探討影響立式切削中心機切削精度的層面，將立式切削中心機之各主要部位以及其產生的影響作一整合性的整理如表 1.1，會影響切削精度的層面區分為「即時」與「經時」兩種，前者表示在瞬間狀況下的誤差，而後者便代表長時間運轉下產生的變形量。通常來說，會影響即時精度的因素與立式切削中心機的動態特性息息相關，例如主軸運轉的偏擺狀態與主軸的動態迴轉精度與運轉震動脫離不了關係、而定位精度與進給系統的加減速特性有關聯、幾何精度與整體結構的動態特性又有密不可分的關係；至於經時精度與「熱源」有直接的關係，因為熱脹冷縮為金屬材料對溫度之特性，而以鋼或鑄鐵為結構材料的切削立式切削中心機對溫度的反應也不例外。進行切削加工時，各項內外熱源（馬達、主軸、刀具與工件的摩擦…等）會使立式切削中心機結構產生溫度上的變化，造成結構熱脹冷縮的效應，如果此熱脹冷縮的現象使得刀具與工件的相對位置產生了變化，則會引起加工件尺寸或形狀上的偏差。除此，由於各項內外熱源常會隨時間而變化，因此工件尺寸或形狀的偏差量也往往難以掌

握，這正是表示溫度效應會影響立式切削中心機精度的穩定性。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，因此經時精度所要探討的就是因為熱所產生的變位量如熱傾斜角度與熱位移量。

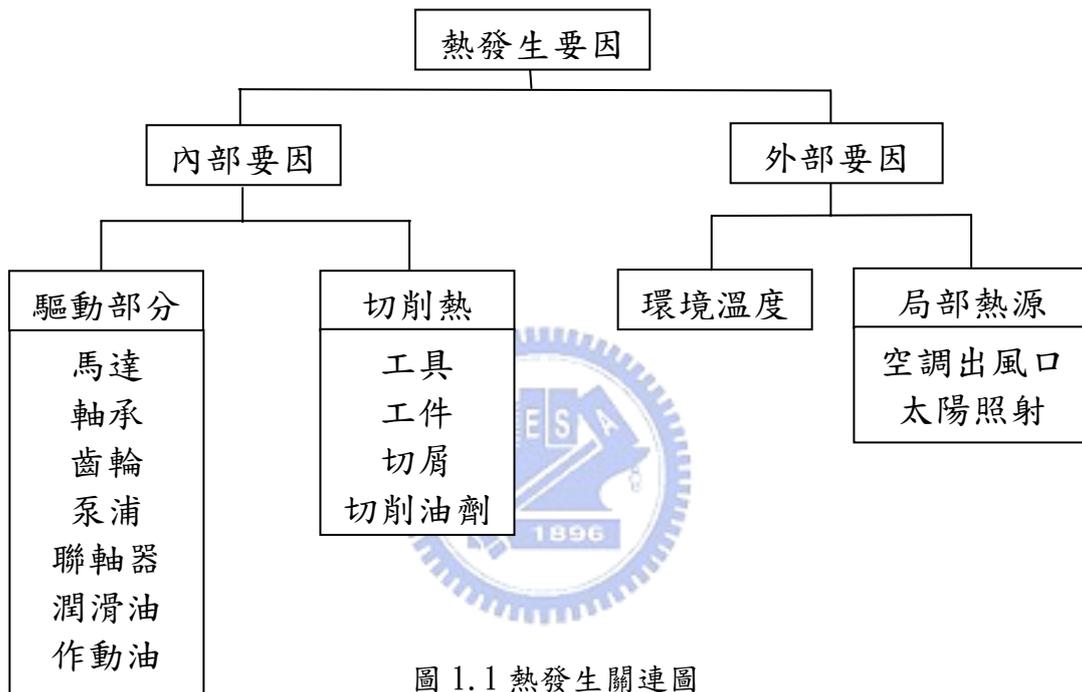
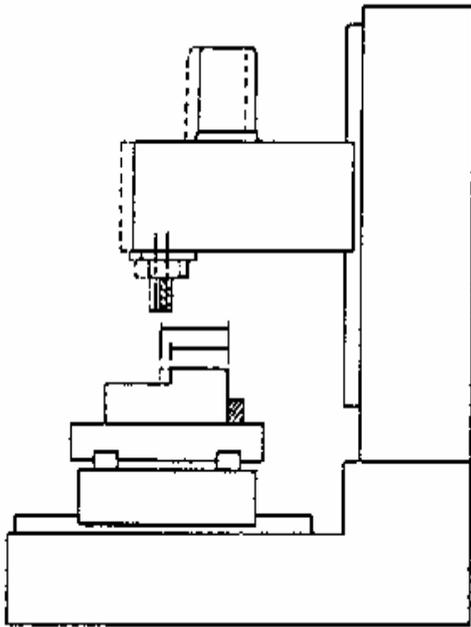


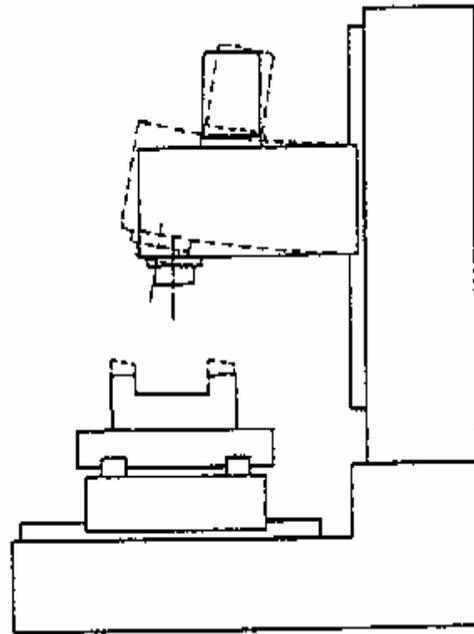
圖 1.1 熱發生關連圖

即時精度	經時精度	動態特性	相關部位
主軸偏擺	熱傾斜 熱位移	動態迴轉精度、運轉振動	主軸
定位精度		加速度	進給控制系統
幾何精度		結構模態FEA分析	結構
加工精度		動剛性切削性能	以上三者

表 1.1 影響切削精度的層面



熱變形引起之尺寸誤差



熱變形引起之形狀誤差

圖 1.2 熱變形引起之形狀及尺寸誤差



在近來 CNC(Computer Numerical Controller) 立式切削中心機使用的普及化及加工製程的自動化之下，尺寸精確的產品需仰賴良好的加工製程及精密的加工機器。因此，改善立式切削中心機加工精度及選擇良好加工製程，都是達成高品質產品的關鍵。所以，工業界對立式切削中心機加工精度的要求也隨之提升，製造廠商也承受著比以往更大的壓力，必須藉著改善立式切削中心機的加工精度以求在業界上有一定的競爭力。

一般而言，以立式切削中心機從事高精密加工，影響加工產品精

度的因素。主要可分為三部份：

1. 機器因素：主要包括機器結構及元件本身的靜態幾何誤差和動態熱誤差，大約佔 90%以上，還有像進給軸伺服控制誤差等。
2. 切削加工因素：如刀具磨耗、機台熱變形、切削顫動、工件不均勻熱變形、殘留應力變形。
3. 環境變動因素：包括環境變動溫度、外來震動(地震及 Airborne)及地基剛性等。

在各種因素的相互作用之下，造成加工成品的精度不佳。尤其是靜態幾何誤差及動態熱誤差，幾乎決定了該立式切削中心機產品在市場上的價格及競爭力。



### 1.3 文獻回顧

針對結構熱變形所造成的誤差，在立式切削中心機容易產生熱量的位置例如主軸的軸承，安裝上溫度感測器，量取溫度變化，同時以非接觸式位移計量測立式切削中心機結構熱變形量，尋找出溫昇和熱變形之間的關係。1975年 Okushima[1]利用熱電偶及渦電流位移計量測立式銑床主軸空轉溫升與熱誤差之間的關係，並利用數位及類比的補償方法降低工具機熱誤差。Barash[2]曾對熱變形作深入的探

討，認為百分之六十到七十的加工誤差是來自熱變形，經由偵測工具機結構上一些位置點的溫度，可正確的預估熱變形，實驗中還包含對各軸向的三個角度誤差和三個旋轉誤差的量測。Optiz 和 Noppen[3]認為熱變形所引起的誤差與剛體運動誤差有相同甚至較高的影響。根據 Bryan 的實驗統計[4]，在精密加工中約有 50%~60%為工具機溫升熱變形所造成的。Weck 和 Zangs[5]環境溫度對工具機熱變形的影響亦不容忽視。Aramaki[6]使用低摩擦力、熱傳係數低的陶瓷軸承、空氣軸承及磁浮軸承以降低主軸及進給系統之摩擦熱。Chen[7]就切削中心機體積誤差及即時補償的方法作了詳細說明，以實驗證實三軸向的定位精度誤差、垂直度誤差、床台的偏角誤差及滾動誤差，及主軸頭在三軸向的偏位等受到溫度變化明顯影響，並以多變數非線性迴歸技巧及類神經網路的方法，建立誤差補償的參數函數，採用數位補償的方法進行補償。Nakamura 和 Kakion[8]控制主軸軸承預壓量以降低軸承溫升減少熱誤差。

Yun[9]等學者，利用有限元素分析進給系統的溫度分佈及熱變形，並實際量測機件溫升，來驗證分析的溫度分佈。堀 三計、西脇信彥、石富克也[10]研究工具機各內部熱源之發熱量與熱變形量之關係，並以數值解析方式檢討補償熱變形量之方法。指出內部熱源大多以正弦波或階梯波狀變動發熱，對由表面量測點作熱源位置之探查採

用與地震震央位置探查相同之方式。其應用熱傳導理論探查工具機結構內熱流量與溫度場變化之數學模型，對熱源近旁與遠端位置之溫度均加以探討。有多個熱源時之交互影響亦加以探討，並以 FEM 推算結構之熱變形量。森脇俊道、社本英二、河野昌弘[11]研究溫度之時間序列值為輸入向量的倒傳遞類神經網路，作為立式切削中心機主軸無負荷運轉時，預測刀具與工作物間之相對熱位移。王榮邦[12]利用有限元素法(FEM)模擬與實驗量測分析建立一套工具機的溫昇模型。但是對於實驗加工誤差並無法直接做改善。鄧應揚[13]針對實心滾珠導螺桿元件建立導螺桿預熱狀況下之二維暫態溫昇模式，以瞭解滾珠導螺桿預熱狀況下之暫態熱傳現象。並藉由固流耦合之分析模式探討具冷卻系統之中空導螺桿，其穩態熱傳現象與熱傳效果。此外利用有限差分法(Finite Difference Method)模擬計算上述建立模式之熱傳情形，進而提供冷卻型滾珠導螺桿元件概念設計時，所需之分析模式，以利具體設計(Embodiment Design)之進行。孟令人[14]實際量測工具機溫昇，在工具機上溫度感測器的最佳放置點量得溫昇且利用統計迴歸分析法，建立一套線上即時補償模型。

## 1.4 結論

綜觀以前有關熱變形的參考文獻可以發覺，以往的研究大多針對油氣潤滑軸承，或是簡易的測試用主軸進行分析，而且測試的結果並不完整。在進給系統方面，以往文獻很少探討搭配相關元件方式與預拉量改變時，運動軸的定位精度與滾珠導螺桿的溫昇熱位移之關係。針對立式切削中心機之研究係以刀具與工作物之相對位置為目標，因此，本研究將改善立式切削中心機溫昇影響精度之熱位移量進行進給傳動系與結構件熱變形實驗研究。



## 1.5 論文架構說明

本文第一章說明熱誤差在立式切削中心機切削加工上的重要性，並將研究動機及實驗計畫作一概略說明；第二章介紹進給系統相關元件與測試實驗設備；第三章介紹立式切削中心機相關組件與測試實驗設備；第四章為實驗結果分析與討論；第五章結論與未來研究方向；整體研究流程圖（如圖 1.3 所示）。

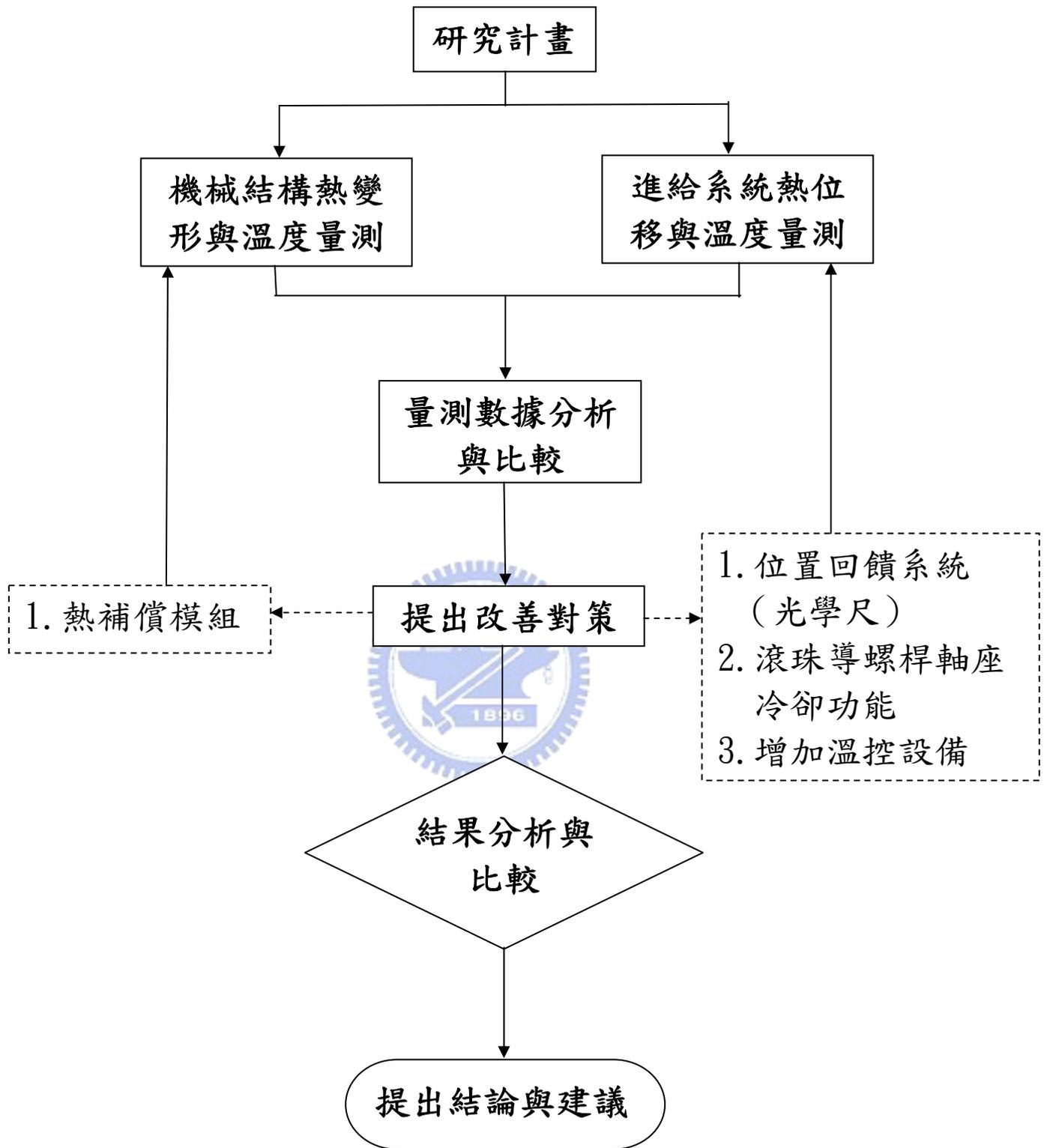


圖1.3 研究流程圖