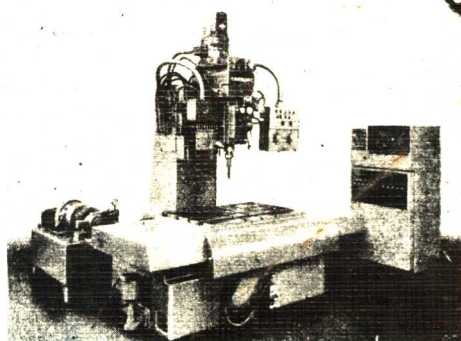


實用數值控制

陳昌榮 涂申春 王 相 合譯



師友工業圖書公司 印行

中華民國六十八年二月初版

編譯者 陳昌榮 涂申春 王相

出版者 師友工業圖書股份有限公司

臺北市重慶南路一段62號5樓

郵政劃撥第100538號師友工業圖書公司

電話：361-3832・314-7705

本公司登記證字號：行政院新聞局局版台業字第1231號

發行者 吳仲庚

台中市成功路44號二樓

印刷者 僑興彩色印刷公司

臺北市羅斯福路6段22號

電話：931-3502

特價  元

實用數值控制

作者：William J. Patton.

本書是數值控制 (Numerical Control) 的練習指南，數值控制是一門很複雜的課題。本書不但在說明和指導方面有著靈巧的處理，而且可以激發讀者的創造能力。

例如，利用各種數值控制方法將編排在本書中間部份的一整套零件圖加以解說，並且將全書所討論的觀念融匯為一體。

本書共17章，並分成三大部份。第一部份描述數值控制的基本入門，包括程式設計卡和孔帶。第二部份包括兩軸式機器之語址格式的程式設計 (Word Address Programming)，利用定位銑床之輪廓成形作業，定長格式 (Fixed Block) 之程式設計，三軸式機器之程式設計，基本的輪廓成形原理，數值控制車床，以及數值控制的硬體部份。第三部份包括 A P T 語言 (自動程式設計語言的簡稱) 和各種幾何定義，刀具移動之控制，後處理機程式，A P T 的多用途性，小型電算機，其他各種特殊語言以及各種極富創作性的實例。

為強調數控方法所構想的方式能擔負解決特殊困難的問題，因而本書最後一章舉出在簡單兩軸式銑床上進行精確地，勻稱地及重複地雕刻實際人工義肢的詳細情形。

作者序

在美國及加拿大的各專科學校，獨立學院以及技術學院均排上有關數值控制的課程，一般而言，這些課程均經過周密的籌劃。由於許多研究機構及讀者個人所提出的有關數值控制之工作特性，使本人獲致頗為深刻的印象，因此，有關數值控制的基礎書籍看起來似乎並沒有多大用處，而本書也沒有作過於深入的敘述，但它却能盡一本書之所能以提高讀者的學識與經驗，使讀者能有很深入的瞭解。

上述各校所講授的數控工具機，大部份在本書內均有討論到。本書有關數控的討論及應用多半超越切削作業，而對學習製圖、設計及數字的讀者及其教師亦有所幫助。作者並不喜歡過份地強調數控是一種機械加工之活動，因為這是一種過於庸俗的看法。

欲得A P T電算機程式設計作脫俗而靈活地介紹是非常困難的。本書包括許多A P T常式、定義及方法。本課程也必須告知讀者，許多看起來非常完美的A P T程式由電算機處理起來是件很輕鬆的事。有關A P T的各章只選用最有用並且令讀者最感興趣的一些定義和常式。

本書也對QUICKPOINT, UNIAPT以及AUTOSPOT等三種適用於較小型電算機的語言加以詳盡之解釋。但是做為學習課程而言，A P T在各方面係屬應用最廣泛的一種語言。

本書重複地使用一套零件藍圖作為舉例加以說明，這些編排於本書中間部分之圖集，係應用各種不同方法加以處理，希望藉它能對其他數控工作之觀念收舉一反三之效。

本書敘述的方式係意圖激發讀者運用他們的想像能力，而將數控方法應用於廣泛的活動領域裡。為達到此種目的，最後一章頗為詳細

地介紹使用簡單結構的二軸銑床以雕刻人工義肢之方法，它提供了一隻實際肢體的全部數據。數控單元提供給讀者有關機械設計及液力課程的有趣問題，而本書暗示部份此類問題，如讀者感興趣的氣動定位裝置，它係 IBM 公司的 D. Pittwood 先生所撰寫的完全氣力式孔卡或孔帶數位定位法 (Digital All-Pneumatic Positioning With Punched Cards or Tape)，刊載於 1971 年十月份的 *Hydraulics & Pneumatics* 雜誌之第 83 頁內。

由於作者之體驗，所以建議讀者應盡量自我學習數值控制，而教師則盡量少講課，讀者可經由非正式的討論和辯論來互相切磋教導，相信讀者或教師會喜歡這種教學方式。萬一任何讀者或教師需要幫助或需要電算機程式設計時，可以經由出版商向作者提出。

William J. Patton.

NUMERICAL CONTROL: PRACTICE AND APPLICATION

William J. Patton

*Red River Community College
Manitoba, Canada*

目 錄

第一篇 數值控制的基本門徑 1

第 一 章 數值控制（或簡稱“數控”或稱“N/C”）原理 3

第 二 章 軟體：卡片與孔帶..... 20

第二篇 手寫程式設計法 43

第 三 章 雙軸機器之程式設計..... 45

第 四 章 定位銑床..... 65

第 五 章 定長格式..... 76

第 六 章 三軸操作..... 85

第 七 章 輪廓成形之基本原則..... 105

第 八 章 N/C車床..... 150

第 九 章 數值控制之硬體..... 184

第 十 章 自動程式語言：A P T 藍領電算機語言..... 218

第十一章 A P T：幾何定義..... 238

第十二章 刀具運動的控制..... 254

第十三章 後處理機程式..... 277

第十四章 用途廣泛的 A P T..... 288

第十五章 小型電算機與特殊語言..... 302

第十六章	程式設計師有如雕刻師·····	337
第十七章	數值控制的創造性·····	371
習題解答	·····	380
英漢名詞對照	·····	394

第一篇

數值控制的基本門徑

2 實用數值控制

第一章

數值控制(或簡稱“數控”或稱“N/C”)原理

1-1 自動化及資料之程式設計

略為觀察今日所能提供給男男女女的工作機會大部份都跟資訊之處理有密切相關。將資料找出來，加以記錄、編輯、處理、最後作成決定並根據事實付諸行動，那就是說：資料就這樣被處理了。醫療的最初步驟是尋找適當的醫學事實，此種資料的處理過程就叫做診斷。同樣地，律師首先獲取資料以便進行訴訟。繪圖員把資料整理成為圖樣，而工程師則分析有關硬體（Hardware）的物理性質之資料，甚至一位顧客在他前往商店購買貨品之前，亦先搜集有關價格、款式及品質等等資料。

假如你希望一位機工使用工具機為你製作一項零件，他必先要求一張由資料編輯改換而成令機工容易看得懂的草圖或藍圖。然後他將資料重新處理轉化成他的特別術語：某種尺寸的圓棒材料、硬度、加工性、公差及表面光製，某種機器速度與進給，某種切削冷却劑，某種切削刀具材料及形狀等等。機工在他進行加工切削金屬之前必須加以思考，最優秀的機工是能夠使用他的專門術語以處理廣泛的資料者。

數值控制的工藝學很早就已發明而並非新的方法，數值控制僅是一種為了加工程序的需要而將資訊予以組織的新穎方法，也就是將所需資訊插入程序中的一種新方法。由於數值控制是一種自動化之型式，因此它所具之意義對目前以及將來在一般自動化的討論上將會日漸引

人注目。

目前正在使用的自動化之型式有下列四種，而且將來似乎很少有發展他種型式的可能。

1. 程序控制 (Process Control) :

程序控制跟包括流體之流動、壓力及溫度之化學與物理處理過程有密切關聯。普通的實例為鍋爐加熱之自動控制，建築物內之氣溫控制或油品精煉廠的煉油過程之控制。此為一種目前無需使用數值控制方法的自動化型式，故不予作更深入的討論。

2 電子資料處理 (Electronic Data Processing 簡稱EDP):

EDP 係利用電算機 (Computer) 將資料加以處理的一種方式，通常是電子機械式，但一般將其指為電子式，像資料之自動處理經常需要準備複雜的數控程式，因此本書對此種程式設計將加以討論。

3 定型自動化 (Fixed Automation) :

也叫做 Detroit 自動化，雖然一般汽車裝配不一定完全採用，但是却被廣泛地用來生產汽車零件。此種自動化的型式基本上較適合長期性的生產工作。

4. 數值控制 (Numerical Control 簡稱N/C) :

此為一種甚具彈性的自動化方法，適合於短期生產製造甚或單件零件之製造。

定型自動化很適於任意之零件需要大量生產者，像汽車引擎之汽缸體、火星塞、電話零件、自動照相機之照相軟片捲筒、報紙、飲料、電子開關以及自動調溫器等等。讓我們舉自動車床為例來說明定型自動化，由於藉著凸輪及其他裝置之助，自動車床上之各種刀具即按照固定順序進刀並加工零件，並且此種加工的順序不會改變。因為刀具按著相同的使用順序進行加工，結果製出成百成千的相同零件產品。然而自動車床必須重新設定刀具以及凸輪等裝置使符合所需之新的加工順序才可以變更以生產不同零件，為了生產他種零件所做的機器設定工作，可能需費時半天至數天時間，而較複雜的自動機器其設定

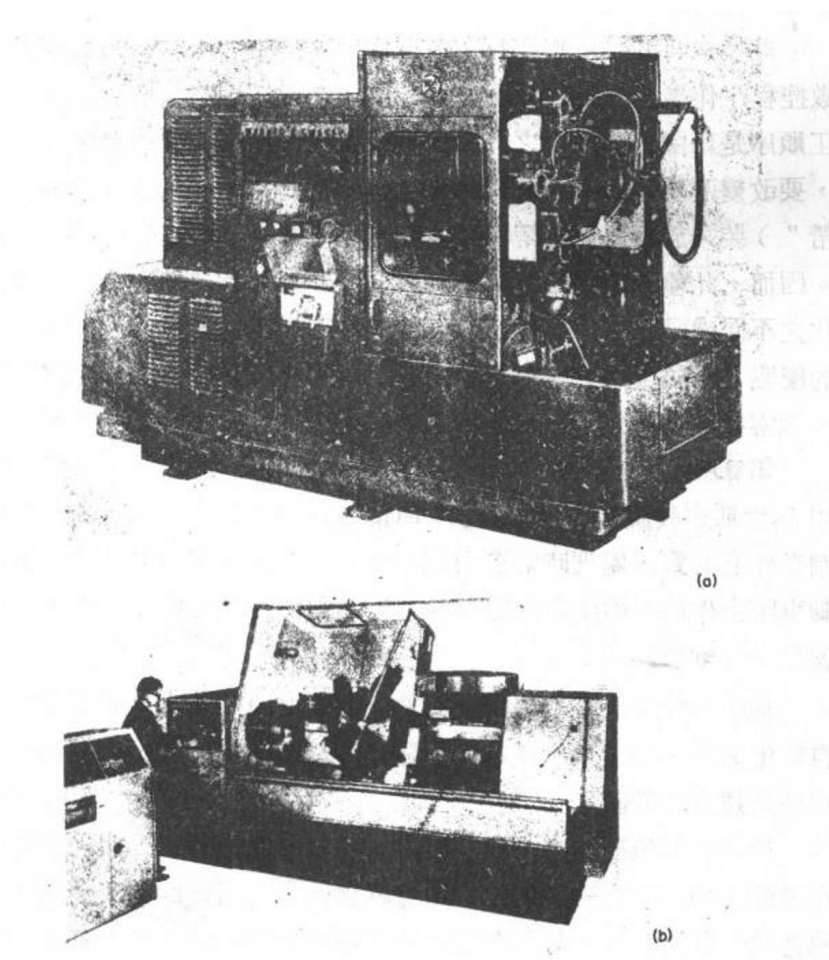


圖 1. Warner 與 Swasey 車床，(a)，單軸自動車床，其心軸上部設有六角刀具轉塔，圖示之轉塔內沒有裝上切削刀具。(b) N / C 車床，設有六角刀具轉塔，（注意比較其較簡單的刀具準備之外形與自動車床上者之區別）。在左方為機器控制單元，其內包含有孔帶閱讀器及電子計算與控制之電路。

準備可能需費時數星期之久。

此種複雜的設定程序對數值控制而言是不必要的，由於本書將對數控程序作廣泛的討論，所以在此僅作簡要地說明；即數控操作此加工順序是藉由打進紙帶之孔碼作為傳給機器之指令予以控制者。因此，要改變所生產的零件，只需簡單地將已打孔之所需紙帶（簡稱“孔帶”）裝入於機器之孔帶閱讀器內，則機器就已準備完成可以使用了。因而，此種設定程序是基於程式之計劃與紙帶之打孔，與定型自動化之不同處為此種加工順序的設定工作不在機器上進行，而此為明顯的優點，因為當一次一零件之程式正在設計時，此台機器乃可繼續加工一個零件。對照之下，自動車床就必須停工以作設定準備工作。

電算機程式及語言、打孔卡片、磁帶、紙帶以及其他類似的資訊處理用品均稱作軟體（Software）。與定型自動化之方法不同的是數值控制在作它的資訊處理時需要用到軟體。（有人或將辯稱，爲了要在自動車床上作加工順序之設定準備，也必須使用到軟體，至少零件藍圖就是一件軟體云云）。

那麼，什麼是定型自動化與數值控制之間的基本差異呢？在定型自動化方面，加工順序或程序是建立於硬體上，而在數值控制中此種程序是建立於軟體上。

如同在數值控制中一般，將程式設計與操作硬體分開也許是本世紀最偉大的發明之一，的確是由於社會的傾向而使此種原理之使用更為擴展。定型自動化使製造成本降至最低水準，使所謂“富裕的社會”成為可能，然而低成本的不便處是顧客必須購買如同別人所購買的相同之產品。使用定型自動化所製造的產品，能變化的範圍極為有限，因為要變化的話，其價格就更為高昂。然而對使用數值控制方法而言，按照各別顧客所希望的變化樣式製造，僅僅是重製一小段打孔帶之不便而已。確實地，在消費市場上反映出一種強烈的傾向，即要求更多的不同產品樣式以供選擇，而數值控制可以使此種選擇易以實現。我們應在未來少談工程“效率”，因為它在到達某種程度時就會有

“失去人性”的可能，相反地，我們應該希望當我們有所需求時取我們所要的東西，數值控制即屬於此種世界之中。

因此，研究數值控制大部份是在研究資訊程式設計常式（Information Programming Routines），這些跟使用於電算機程式設計之常式有些相似。因此給人的最初印象是除了一種可在兩小時至兩星期內（基於數控機器之複雜性而定）學得的標準程序以外，有關數值控制的知識已沒有什麼可供學習的了，因為將孔帶裝進了機器控制單元，就可以將零件自動地製造完成。

作者記得在一次售賣數控銑床之發表會上，演說者很熱衷地預言：因為數控操作不需要機工的技巧，所以機工有很快被淘汰的改變傾向。在我們將消失的機工交付給歷史並且改程式設計師及無人照應的數控工具以代替機工工作之前，或許我們應該稍為在數控程式所需之操作方面加以細心地觀察，確實地，已不需要機工的手工技巧，當N/C 機器已具有這些技巧時，但是，假如正確的速率與進給必須包含於數控程式中的話，我們就仍然需要機工的知識與經驗。而且假如使用不當的速率與進給，致使生產時造成許多銑頭碎片，則數值控制就失去其優越的價值了。因此要設計更複雜的工作之程式時，就更加需用及機工的知識，並且利用N/C 機器以製造零件時，其所需的技巧並不完全靠程式設計，程式通常不從事將工件固定於機器之工作台上，也不能將它定位於適當的地方，此外，程式設計師無法預見所有可能情況。假如零件是鐵鑄件，程式設計師可能會按照切削軟性灰鑄鐵之常用數字來設定速率與進給。根據操作員無需具備機工的技巧與知識之理論而言，現在假設我們僱用一位辦公室小姐做N/C 機器操作員，此鑄胚件可能附有一些造模砂（Molding Sand），這位辦公室小姐絕不知道所含的砂應視作加工之有關資料。假使我們把她換成一位有經驗的機工，他知道造模砂對刀具將造成什麼影響，或許他會不使用孔帶的指令而將機器上之開關板至手工操作之位置並以手工完成此工作，他能夠矯正刀具震顫作聲的困難，或者程式設計師可能造

成錯誤，有經驗的機工會將它檢查出來。因此我們必須承認，不管將資訊放進加工程序的方法如何，機製操作依然是機製操作（Machining Operation）。

的確，程式設計是使用N/C 機器從事製造時之主要工作。但本書將試予說明某些在硬體管理及數控操作方面較為實際的困難。數控程式設計之學者無需將每一個程式放進N/C 機器內試跑，但是一個最佳的程式設計課程應該儘可能發費受訓者之很多時間以觀察他所製作的程式之執行情況，否則他可能遺漏很多應該學習的東西。程式設計甚或數控電算機程式設計並非特別困難，但也不很容易。

大部份數值控制皆應用於機製操作，而且主要用於鉗孔與銑切，無論如何數控方法亦已被很廣泛地應用於畫圖、塗漆、砂洗、熔接、火焰截割、衝孔、材料處理、黏著結合，電子設備之裝配以及其他方面。

有些是不適合應用數值控制的，因為數值控制是一種資訊處理的方法，它的效用是隨著所處理的資訊之數量而增加或隨著所要處理的資訊率而增加。假如一位機工欲將12吋長 1 吋直徑之圓桿車削至 $\frac{7}{8}$ 吋直徑，則資訊處理之量很少，因此使用複雜的N/C 車床之孔帶讀入及控制裝置就不很適合。但是假如機工在車床上所製造的是複雜外形的人造義肢，就非使用數值控制無以為功了。它在機製操作方面應用得較為廣泛僅是因為機械工場之工作較其他方面之操作所要處理的資訊為多而已。

假如希望更快速地處理資料或者假如確定資料會被改變，則使用數值控制是很適當的。可能有時需要製作模型用以試驗或者在試驗之後再予修改，在這些情況下很適於使用數值控制。因為修正工作時僅需將控制孔帶略加改變即得，而此種改變用其他方法可能費用很高，特別是在所準備之工具與夾具要予修改時為然。

就大點而論，下列情況好像需要使用數值控制：

- 1 小量生產，通常少於一千件或者少到只有一件。

- 2 需要高度技巧之複雜而困難的操作，例如：人造義肢的製作。
- 3 難於製造的公差尺寸。
- 4 使用他種方法會造成百分比甚高的廢品及再製品，特別是在材料很昂貴時為然。
- 5 替換零件。
- 6 模型工作，或常要加以修改的零件。
- 7 使用他種方法製造時需要昂貴的工具準備之零件。
- 8 急需交貨之產品製造，因為數值控制不需要進行設計之時間與費用，也不需要製造昂貴的夾具以及其他的工具準備。

1-2 數值控制之一般程序

數控操作之程式設計可用人工或藉由電算機之幫助來完成。

多數的程式設計是人工所製作的，圖 2 所示是人工製作程式的流程圖。程式設計師（Programmer）在列成表的程式原稿（Program Manuscript）上之資料欄內寫出機器指令。然後在適當的紙帶打孔機（Tape Punch）上將這些指令打成控制孔帶。之後，控制孔帶被裝進於N/C 機器之孔帶閱讀器（Tape Reader）內，機器每次讀入一組的資訊並且執行此組內之指令，而後再讀入下一組資訊。設若是鑽孔操作，所需鑽的每一個孔的位置都在各別的資訊語組內。機器讀入下一組的位置，而將工件定位於鑽孔之位置然後鑽孔。之後再讀入下一組資訊，如此繼續操作下去。

圖 3 是電算機製作數控程式的流程圖。例如，一個船體輪廓之數控繪圖程式或一個齒輪齒形之數控程式是需要電算機的幫助才能完成。

在此種情況下之零件程式設計與人工程式設計大不相同。N/C 機器之孔帶閱讀器仍須讀入資訊語組，因為它的孔帶閱讀器及電子邏輯系統是被設計以接受資訊的，只不過是電算機而非程式設計師準備好孔帶所需的資訊而已。程式原稿並不包含那些資訊語組而是包含某