

科學圖書大庫

應用於工具機自動化的

數 值 控 制

譯者 郭友義 賴建業
校閱 鄭 堯 杵

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

應用於工具機自動化的

數 值 控 制

譯者 郭友義 賴建業
校閱 鄭 堯 杵

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有

不許翻印

中華民國六十七年十一月三十日再版

應用於工具機自動化的

數 值 控 制

基本定價 3.40

譯者 郭友義 國立政治大學統計研究所畢業

賴建業 國立師範大學教育系畢業

校閱 鄭堯梓 國立政治大學統計研究所教授

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 財團法人 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
7815250 號

發行者 財團法人 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 1 5 7 9 5 號

承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話 9719739

我們的工作目標

文明的進步，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成為事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，允為社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啟發，始能為蔚為大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啟導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尚有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員王洪鎧氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分為叢書，合則大庫。為欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於爲國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尙在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；

大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尙祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

校閱者序

二十年前電子計算機與製造業的結合可說根本談不上，那時候的電算機只用於科學的計算而已，但時至今日，不只是科學的研究，對商業資料處理，生產過程控制之應用已甚普遍，尤其應用於自動化工具機之操作更是一日千里。歐美及日本等工業先進國家都已大量製造並廣為應用，惟以我國此類機器尚仰賴進口，坊間介紹此種新知識的書籍更屬鳳毛麟角。郭、賴二君對數值控制一門素有興趣，並潛心研究，深知台灣目前之需要，今二人合譯此書，內容充實，對於工具機自動化、電腦化新知的推介深具價值，因而樂於協助校閱。

郭友義與賴建業二君同期畢業於國立師範大學數學系。郭君並獲國立政治大學統計研究所碩士，曾任交通部觀光局專員及台北商專講師，並曾奉派至夏威夷出席第三屆太平洋區科學會議，對電子計算及自動控制原理曾有深入研究。目前服務於新奇毛紡廠及家樂實業公司。賴君曾任教於景美女子高中，隨及轉入國泰人壽服務，目前為國泰人壽電腦中心科長，負責制度設計、程式設計及電腦管理，曾有譯著多本出版，兩位均為我國電腦及工具機自動化的青年才俊。

本書之問世，極具時代意義，相信必有益於我國工具機自動化的研究與發展，爰是為序。

鄭堯梓

譯者序

徐氏基金會本協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利的宗旨，鼓勵譯者將加拿大，Manitoba，紅河社區學院（Red River Community College）William J. Patton 教授所著的“Numerical Control”一書譯成中文，譯者以爲數值控制法乃目前工具機自動控制最經濟而有效的方法之一，是工業化國家所必須普遍應用的知識與技術，乃不揣譎陋而接受此一重託，譯成此書，題爲“應用於工具機自動化的數值控制”獻於讀者，期爲我國工業界略盡綿薄之力。

本書內容豐富，各種原理的介紹皆有實例配合應用，不失爲一本最佳的數值控制實用入門書籍，全書共十七章，大分爲三篇，第一篇爲處理數值控制的基本手法，包括程式設計卡片與紙（磁）帶。第二篇介紹二軸線的單字位址程式設計，定位銑床上的定輪廓操作，定組程式設計，三軸線的程式設計，基本定輪廓原理，數值控制式車床以及數值控制硬品等。第三篇包括 APT 語言及其幾何定義各章，刀具運動控制，再處理程式，APT 的多樣性，小型電腦，特殊語言以及不同的創意舉例。

本書內容深入淺出，極富啓發性，書中所討論的是一般學校裏最常用的數值控制機器，最適於作爲工業職校及大專院校有關科系的教科書，或業界及有志於自習此項新知讀者的參考書。尤以本書內容涵蓋廣泛，其應用已遠超出機具切削實際作業範圍。對於製圖，設計，數學，電腦各科系的學生及老師皆可由閱讀本書而獲得啓發與助益，譯者願特別強調數值控制並不只是一種機工的切削作業而已。

本書之成有賴於恩師鄭堯梓教授詳爲校閱，鐵路局電腦中心張秀棋小姐代爲編製中英名詞對照表，以及梁麗俐、黃梅芳、邱麗華、林麗華諸小姐幫忙謄稿，衷心感謝。

譯者才疏學淺，謬誤之處恐有難免，尤其有關電腦與機械名詞之翻譯，雖參照部頒名詞對照表，仔細推敲，然或有不當，尙企諸方先進專家不吝賜正，以便來日再版時及時更正，是爲至盼。

郭友義、賴建業 謹識

中華民國六十五年十二月二十日

目 錄

校閱者序

譯者序

第一篇 數值控制的基本手法

第一章 數值控制原理

- 1.1 自動化與資訊設計..... 1
- 1.2 數值控制的一般步驟... 6
- 1.3 機器的軸線..... 8
- 1.4 定位及定輪廓..... 10
- 1.5 直接數值控制..... 12
- 習題..... 12

第二章 軟品：卡片與紙帶

- 2.1 磁帶..... 14
- 2.2 打孔卡片..... 15
- 2.3 電腦..... 15
- 2.4 紙帶..... 17
- 2.5 打孔帶代碼..... 20
- 2.6 紙（磁）帶格式..... 24
- 2.7 單字位址格式..... 24
- 2.8 列表循序格式..... 28
- 2.9 定組格式..... 28
- 2.10 雜函數..... 29

習題..... 29

第二篇 人工設計法

第三章 兩軸線的程式設計

- 3.1 數值控制程式設計的基本知識..... 31
- 3.2 Cintimatic 立軸銑床..... 32
- 3.3 裝定工作件..... 34
- 3.4 資訊組..... 35
- 3.5 序號..... 36
- 3.6 雜函數..... 37
- 3.7 零件程式..... 38
- 3.8 Z 軸方向運動的人工控制..... 39
- 3.9 預備函數..... 40
- 3.10 程式設計上的考慮... 42
- 3.11 列表循序程式設計... 42
- 習題..... 44

第四章 定位銑床的定輪廓操作

- 4.1 定位銑床的銑槽作業..... 46
- 4.2 角切削..... 47

4.3	圓的一般情況·····	48	7.6	刀具偏位之計算·····	90
4.4	O - 環槽的資料設計 ·····	50		習題·····	96
4.5	準備與核對紙帶·····	51	7.7	紙帶的閱讀速度及處理 資訊組所需之時間 ·····	97
	習題·····	52	7.8	數值控制用的標準位 址碼·····	97
第五章	定組資料設計		7.9	定輪廓機器的預備函 數·····	98
5.1	定組格式·····	54	7.10	定輪廓機器·····	99
5.2	Moog Hydra- Point 83- 1000 MC 型機器·····	54	7.11	Gorton Tapemas- ter 2—30 定輪廓銑 床·····	100
5.3	資訊組·····	55	7.12	進刀率數字·····	101
5.4	資料設計之例·····	58	7.13	Gorton Tapemas- ter 程式設計之例···	103
	習題·····	60	7.14	在 Milwaukee- Matic 第二型機器 上的切線及弧線切削 ·····	104
第六章	三軸操作		7.15	Cintimatics 系的 數值控制機器 ·····	105
6.1	三軸銑床·····	62	7.16	Cintimatics 之設 計·····	107
6.2	Milwaukee-Matic Model II 型的程式設 計·····	65	7.17	轉塔式鑽床的 Z 軸運 動·····	109
6.3	Model II 的坐標軸···	68	7.18	轉塔式鑽床之單元操 作·····	111
6.4	零件設計的定位控制 ·····	69	第八章	數值控制之車床	
6.5	程式設計紙·····	72	8.1	N/C 車床的使用慣例 ·····	115
	習題·····	77	8.2	刀具路徑之尺寸·····	117
第七章	定輪廓之基本原則				
7.1	定輪廓之計算·····	79			
7.2	以線插值法定輪廓···	80			
	習題·····	83			
7.3	圓插值·····	84			
7.4	拋物線性插值·····	85			
7.5	曲線之配合·····	86			

8.3	推拔切削時刀具位移 尺寸之決定	120
8.4	Monarch Turn / Center R 75型兩 軸線車床	123
8.5	例一：直車削	128
8.6	程式	130
8.7	弧偏位	133
8.8	直接進刀率	134
8.9	例二：設計一座位插 銷	134
8.10	螺紋切削	135
8.11	螺紋切削之例	142
8.12	n/c車床設計之實例	142
第九章 數值控制的硬品		
9.1	紙帶的讀入法	143
9.2	紙帶資訊的處理過程	144
9.3	線插值與圓插值	146
9.4	開放與關閉迴路控制	146
9.5	Slo-Syn 裝置的 程式設計	148
9.6	Slo-Syn 的定位 程式設計	150
9.7	Slo-Syn 的定輪 廓銑床操作 習題	153
9.8	液壓油的污染	153
9.9	工具準備	155
9.10	檢驗	157

9.11	繪圖	158
9.12	火焰切割與熔接	159
9.13	沖床操作	159
9.14	機器規格指定	160
9.15	修正控制與資訊系統 習題	160 162

數值控制的應用

數值控制練習用零件藍圖目 錄	164
-------------------	-----

第三篇 電腦程式設計與其 在數值控制的創造力

第十章 APT：工人階級的電 腦語言

10.1	APT 及其數值控制	172
10.2	O - 環槽之說明	174
10.3	APT 程式設計之順 序	174
10.4	刀具運動之考察	178
10.5	程式的印出結果	178
10.6	準備 APT 程式稿	181
10.7	一般性的資訊語句	183
10.8	APT 幾何語句的結 構	185
10.9	APT 編譯常規的作 業系統 習題	187 187

第十一章 APT：幾何性之定義

11.1	面 (SURFACE) 定義法的一般概念	191
11.2	點 (POINT) 的各種定義法	191
11.3	線 (LINE) 的各種定義法	192
11.4	平面 (PLANE) 的各種定義法	195
11.5	圓 (CIRCLE) 的各種定義法	196
11.6	圓柱 (CYLDR) 之定義	198
11.7	程式設計之建議	200
	APT 練習題	200

第十二章 控制刀具的運動

12.1	第一個原則	202
12.2	G0T0/ 及 G0DLTA/	203
	練習題	204
12.3	ZSURF/	204
12.4	定輪廓作業的刀具運動控制	205
12.5	起動 (START-UP) 語句	206
12.6	G0 運動語句	208
12.7	刀具運動的特例	208
12.8	程式的印出結果	211
12.9	APT 程式設計過程的一些研究及建議	212
12.10	套套式定義	212
	習題	213

第十三章 再處理程式

13.1	一般概念	219
13.2	MACHIN/ 語句 (機器語句)	221
13.3	SPINDL/ 語句 (心軸語句)	221
13.4	C00LNT/	221
13.5	FEDRAT/	222
13.6	TRANS/ 或 0RIGIN/ (轉換語句或原點語句)	222
13.7	SEQN0/ (序號語句)	222
13.8	MCHT0L/ (公差語句)	223
13.9	STOP	223
13.10	END	223
13.11	LEADER/ (帶頭語句)	223
13.12	AUXFUN/ (輔助功能語句)	223
13.13	CLEARP/ 及 RE TRCT (餘隙面及縮回語句)	223
13.14	CYCLE/ (循環語句)	224
13.15	PREFUN/ (預備函數語句)	224
13.16	DELAY/T (暫留語句)	224
13.17	L0ADTL/ (刀具安裝語句)	224

13.18 RAPID (快速語句)	224
13.19 SELECTL/(刀具選擇語句)	225
13.20 RØTABL/(旋轉工作語句)	225
13.21 PLUNGE/(直進切削語句)	225
13.22 FLAME/(火焰語句)	225
13.23 DRAFT/(繪圖語句)	225
13.24 不用處理程式手冊的再處理	226

第十四章 APT程式的多樣性

14.1 慣性距及表面積	227
14.2 MACRO特性	229
14.3 PØCKET/常規(槽溝常規)	231
14.4 洞孔模式的PATTERN/語句	235

第十五章 小電腦與特別的程式語言

15.1 ADAPT	239
15.2 UNIAPT	239
15.3 Quickpoint 語言	240
15.4 Quickpoint 的定輪廓設計	242
15.5 Quickpoint 程式設計之例	244

15.6 AUTØSPØT	245
15.7 AUTØSPØT 的幾何語句	245
15.8 AUTØSPØT 語句的型式	248
15.9 規格語句	248
15.10 基準點	249
15.11 模式定義	251
15.12 切削語句	252
15.13 模式的運用	255
習題	257
15.14 AUTØSPØT程式的再處理	257
15.15 刀具語句	257
習題	259
15.16 銑床操作	260
習題	264

第十六章 程式設計師有如雕刻師

16.1 QADRIC	265
16.2 GCØNIC	266
16.3 QADRIC 例題：刨製擠扁模	268
16.4 TABCYL	282
16.5 TABCYL 的應用：離心式風扇的渦形殼	282
16.6 TABCYL 之分析	288
習題	291

第十七章 數值控制的創意性

17.1 技術的新境界：人造	
----------------	--

X

義肢.....	294
17.2 雕塑 BK 模型.....	295
習題.....	300
習題解答.....	302

G函數、M函數、電腦詞彙索引

G函數索引.....	312
M函數索引.....	312
電腦詞彙索引.....	312
中英名詞對照索引.....	313
英漢名詞對照索引.....	319

第一篇 數值控制的基本手法

第一章 數值控制原理

1.1 自動化與資訊設計(Information programming)

稍為觀察一下今日男女從事的各種行業就可明白，大部分的職業均與資料的處理有密切關聯。資料經過搜集、然後記錄、編輯、整理，最後根據此一“事實”——即經過處理的資料——做成決定，採取行動。醫療的第一步就是尋找適當合用的醫學事實，這種資料的處理叫做診斷。同理，律師首先收集資料以便進行訴訟。製圖師將資料整理成為圖樣，而工程師則分析硬品（hardware）的實際資料，甚至商店的顧客在買東西之前也要蒐集價格、規格及品質方面的資料。

如果你要讓機工在工具機上製出一零件，他首先會要一張藍圖或草圖。這張藍圖就是經過編輯整理，使機工容易了解的資料。然後機工才將這些資料重新整理成為他的專門術語：某種物質製的某種棒的尺寸、硬度、可用機器加工的程度、容許之誤差、表面加工處理、使用某種機具的速度及進深（feed）、應採用何種切削冷却劑、切刀之質料及形狀等。機工在開始車金屬材料之前，必須是一個會動腦筋的人，最好的機工就是能將範圍極廣的資料整理成為他那行專門技術的人。

數值控制（Numerical control）的技術並不是什麼新的處理過程，數值控制只不過是一種將生產過程所需的資料加以組織的嶄新方法，而且也是將資料插入生產過程的新方法而已。因為數值控制是自動化的一種，所以它在目前及未來的重要性，在一般自動化的討論中已日漸受人注意。

目前使用的自動化形態有四種，要發展研究出其他形態的自動化的機會

也不大。

1. 過程控制 (Process control) 過程控制大部分與化學或物理製造程序有關，這些程序牽涉到液體的流動、壓力及溫度。常見的例子是鍋爐的自動控制、建築物內的氣溫控制、石油提煉的過程等等。這是到目前為止還用不上數值控制方法的自動化，無需進一步討論。

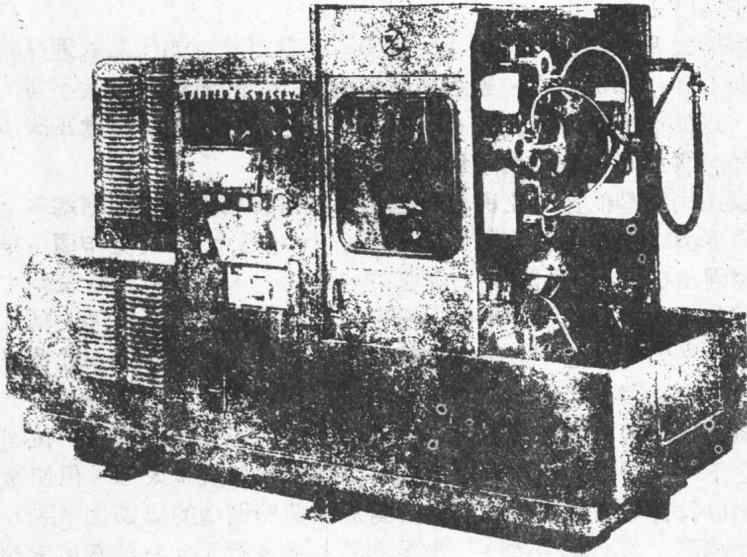
2. 電子資料處理 (Electronic data processing, 簡寫為EDP) EDP指的是用電腦處理資料。這種自動的資料處理，常常準備複雜的數值控制程式，所以也是本書必要的題材。

3. 固定型的自動化 (Fixed automation) 亦稱為底特律自動化 (Detroit automation) 雖然通常它並不用於裝配汽車，但却普遍採用於製造汽車組件。這種形態的自動化本質上適於長期的生產作業。

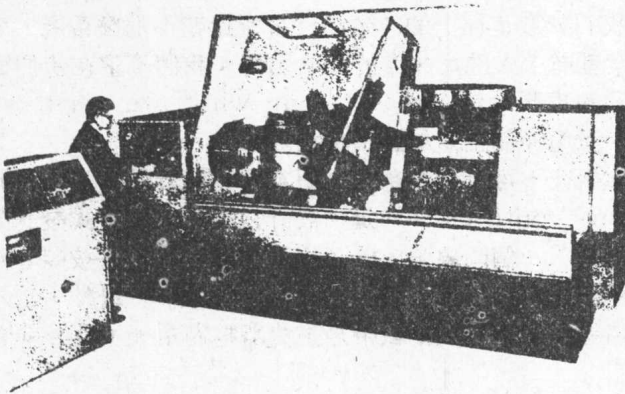
4. 數值控制 (Numerical control, 簡寫為 n/c) 一種較富彈性的自動化方法，適於短暫的生產作業，甚至“只製一次 (one-off)”的零件。

固定型的自動化適於任何需要量龐大的零件的製造，像汽車的引擎箱、火星塞、電話零件、自動相機軟片捲筒、報紙、飲料及電開關、自動調溫器等。今以自動車床為例來說明固定型的自動化。利用凸輪及其他裝置，自動車床上各種不同的割削工具按照順序排好，然後依照固定的順序割削工具接近並車製該零件，而這種順序是不能有變更的。結果製出的是數百個或數千個完全相同的零件，完全相同的原因是每一零件都歷經相同順序的刀具操作。自動車床當然能夠改做其他不同的零件，但必須重新裝定 (resetting) 刀具或凸輪使它具備所需的新的操作程序。設定 (setting up) 這種自動機器作為生產作業之準備，常需耗費半天甚或二、三天，更複雜的自動機器，可能需要數星期的設定準備。

這種複雜的設定程序在數值控制這一門中是用不着的。因為數值控制的程序是本書的廣泛題材，我們目前可將其極度簡化而解釋為：在數值控制的操作中，機具操作的順序是靠打孔紙帶所打洞孔的代碼 (code) 給與機器的指令來控制的，所以如要改製其他零件，該機器的紙帶閱讀器 (tape reader) 只須改裝所需的打孔紙帶，機器就可以使用了。因此設定的程序是靠打紙帶及資訊設計 (programming, 雖然是同一回事，但與電腦無關的 programming 本書譯為資訊設計，與電腦有關的 programming 本書譯為程式設計，以示區別)，與固定型的自動化不同之處在於這種設定的準備工作是在機器之外進行的，顯然這有很大的好處，因為機器可以繼續製造某一零件，而另一零件亦已進行資訊設計。普通的自動車床正與此相反，在進



(a)



(b)

圖 1. Warner 及 Swasey 車床，(a)單心軸式自動車床，在車床轉軸上附有一六角架，刀架上沒有裝上切刀，(b)數值控制式車床，亦有六角刀架（可看出這種數值控制式車床的刀具結構比普通自動車床簡單），左邊為機器控制單元，包括紙帶閱讀器及電子計算控制電路。

行設定作業時必須停止生產。

電腦程式及語言、打孔卡片、磁帶、紙帶以及諸如此類處理資訊的工具稱為軟品（software），數值控制型與固定型的自動化方法不同，它需用到軟品，以便從事其資訊處理。（有人也許會辯稱，設定自動車床也照樣要用到軟品，譬如說，至少要用到零件的藍圖）。

那麼，固定型的自動化與數值控制型的自動化到底有什麼基本上的差別呢？在固定型的自動化裏，其資訊設計（program）及操作順序是與硬品合為一體固定在那兒，而數值控制型的自動化中，程式是在軟品裏。

資訊的程式設計與操作的硬品分開，就像數值控制所做的一樣，可說是本世紀最偉大的發明之一。作者確信本原理的採用確已推廣到社會學方面。固定型的自動化將生產成本降至最低的水準，使所謂“富裕的社會”成為可能。這種低成本的代價就是每個顧客必須買和別人一樣的產品。在固定型的自動化之下，能變化的範圍極為有限，因為變化的成本太高。但使產品能多樣性變化以符合個別消費者的願望，對於數值控制型的自動化來說，只是很少的不便而已；打孔紙帶的一小部分重新打過就行了。在消費市場的確有一股很強的趨勢，要求產品有較大的多樣性以供選擇。數值控制法使這種選擇成為可行。未來，我們對於工程上的“效率”可能比較不那麼重視，因為這種效率達到某種程度就有“人性消失”的危險影響。我們希望在我們需要的時候能得到我們想要的東西（we shall want what we want when we want it），數值控制正是屬於這種世界。

所以數值控制的研究，可以說大部分在研究資訊設計常規（information programming routines）。這種設計常規與電腦程式設計的常規有點類似。所以給人的第一個印象是，除了一套標準程序——按照 n/c 機器的複雜程度，一種可以在二小時或二星期學會的程序——以外，根本不需學什麼 n/c （數值控制）。只要把紙帶放進機器控制單元，零件就會自動製造出來。

作者記得有這麼一次數值控制型的鑽床銷售發表會。發言人相當熱心的預測，機工很快的就會被淘汰，因為 n/c 機器的操作不需要機工的技巧。在我們將被遺棄的機工交給歷史使他們成為歷史名詞，而以程式設計師及一座無人照料的 n/c 工具機來代替他們之前，也許我們應該稍微細心一點看看 n/c 程式對於作業的功能何在。顯然，機工手工的技巧已不需要，因為 n/c 機器已有這種功能，但我們需要機工的知識和經驗。如果 n/c 程式也必須包括機具的適當操作速度及進深的話，那麼機工的知識和經驗是必須