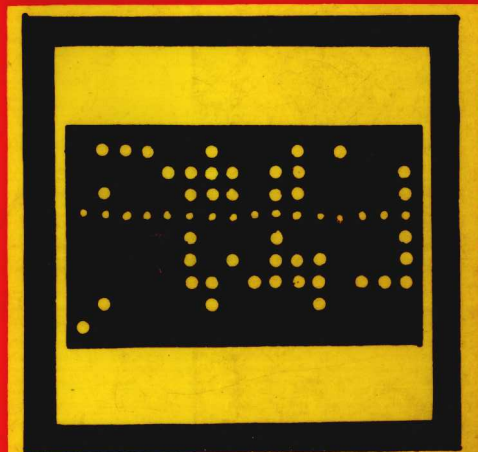


工具機的數值控制

NUMERICAL CONTROL OF MACHINE TOOLS

S.J.MARTIN 林同聖 林之傑 編譯



工具機的數值控制

版權所有



翻印必究

中華民國六十五年六月初版發行
中華民國七十年十一月修訂再版

平裝特價 104 元

著 作 者： S.J.MARTIN

編 譯 者： 林 同 聖 · 林 之 傑

發 行 者： 吳 主 和

發 行 所： 復 文 書 局

地址：臺南市東門路421巷28號

電話：(062)370003 · 386937

郵政劃撥帳戶32104號

No.28. LANE421 DONG-MEN ROAD
TAINA TAIWAN REPUBLIC
OF CHINA

電話：(062)370003 · 386937

行政院新聞局登記證局版台業字第0370號

原序

本書是專為由實用的觀點欲瞭解數值控制工具機的讀者而寫。

工業已面臨使用這種控制製造程序的有力機會同時也有許多人必須獲知下列問之解答——甚麼是 NC？它如何工作？它應用於何處？可以在我工廠中使用嗎？成本多少？其經濟性如何可與傳統方法比較？甚麼是程式設計？計算機如何幫助做程式設計？等等問題；當我們在工業中介紹新技術時所遇到之最大難題之一便是克服反對改變之強大的阻力，這些阻力有些來自“無知”，而我希望這本書有助於驅走部份圍繞著 NC 的陌生感，因而增進接受此一新而快速發展的技藝。

本書希望能使工學院工程製造科系之學生發生興趣，而應該在準備 CEI subject Production Technology, the Higher National Diploma and Higher National Certificate in Engineering, 以及 the City and Guilds Course No. 293 Part III 工程製造學科之考試有所助益，也希望那些從事於生產方法由傳統方法至 NC 方法之全盤轉變者——不管是在工作場、監管、技術或中間管理階級——都能從本書中獲得助益。

欲拘限課本於有限之篇幅之中，必須保持有限數目之論題，這些論題的主題是經過小心之選擇，也就是作者平常讀書時心中感覺最需要之資料的種類，這些主題可以特別專業之態度來討論。但是在目前 NC 發展階段，如果理論方面過於詳瑣之討論會減損本書的立即用處，故而書中所討論者只是提供應用上的資料。

論題有許多是已經擴充的論述或討論其優劣；例如，NC 在設計室中之潛能；由 Molins 系統 24 所啟發之機製觀念；適用性控制之發展，其能直接獲知刀具刃口的情況而使系統可以採取最佳速率及進給率；應用氬及氮氣式連續波雷射來作刀具及尺寸的控制，此亦是利用直徑、圓、推拔、及表面光製中誤差來連續作修正；一位作者，面臨如此引入勝的題材，會急於去追求它們，但欲從一個人隨心所欲的數頁中獲得

最大之益處，必須到處都寫上一重點，但是重點不可能寫成適合於每個人之情況，却是極為明顯的；我所希望達到者，是希望本書之大多數讀者能在閱讀本書大多數時間中將會覺得獲益不淺及愉快。

在此必須要提到兩件或三件特別之事情；在極短時間中，NC 方面已經發生許多事情，而即使本書正在被著作時，更進一步之發展也在進行——課文中某些較早寫下的部份在寫下時是正確的，而在最後一章完成前便被改訂了，新的 NC 機器被發展出來，老式的則被撤換——改變之速率非常快而工具機工業中之期望較從前更加殷烈，雖然有了這些改變，深信絕大部份課文在未來一段時間中仍是有效的。很清楚地，NC 原理及有關之工業技術將對工業產生極大之衝擊，而其完全之深遠影響實難以預見，至這地步，可很有趣地反映出，即使在目前，在工具機及電子工業中 NC 正被用來製造 NC 哩！

本文所使用之單位是遵照工業的米制及 SI 單位，在過渡時期中，這導致某些困難；在寫本書時，我對工業界在處理壓力問題時是否將採用 N/m^2 以取代 lbf/in^2 並不太清楚，故保留了英國度量衡單位作為參考直到處理壓力時能建立 SI 或米制單位為止。

最後，容我向我的朋友、同事之合作以及我太太之幫助致謝，對他們全部，我衷心表示謝意；課文中因政府部門及工業機構之提供資料而列有謝詞，但要特別感謝 Engineers' Digest 之出版者，因他們准我在附錄 C 中列出他們在 1969 年九月及十月發表之 NC 控制術語總目錄；尤其，我也須提出我對下列諸位先生之感激之心意：Mr. N. F. Freeland, C. Eng, F. I. Mech. E, 生產工程經理，Dowty-Rotol 公司，Mr. R. J. Spector, B. A. (Cantab)，曾在聯合國及 UNESCO 服務，因他們閱讀本書並對它做了許多有價值之評註及建議；Mr. I. Rogerson, A. L. A., Gloucestershire 工學圖書館員，及 Mr. C. Oldhan, F. L. A., A. L. C. M., 曾是圖書館員，North Gloucestershire 工學院及其工作人員，因他們對我許多請求之熱烈維繫及在保護出版資料中許多令人感激之努力；並容我說我是何等感激 Mrs. E. M. Harris，她準備圖表，以使我課文中之解說得以獲得例證。

我已盡所有力量以避免課文及圖表產生錯誤，然而，假使發現任何錯誤，本文非常高興接受通知，同樣地，針對改進課文之詳論或建議將為作者所感激。

S. J. 馬丁

譯 序

NC 科學乃計算機科學與機械製造工程二大科學結合而成之充滿創造性之新興科學，尤其於精密機件製造之範疇中，NC 更是最具突破性成就之利器；在歐美，尤其英國，NC 早已行之有年，其它工業先進國中，亦已逐漸普遍，而在我國，則僅立於起步之地位，迎頭趕上之舉實端賴所有明智之士共進共勉之努力。

本書所有內容，涉及學理並不算深入，且實例對照極多，清楚明顯，詳而不煩，除適合大專學生閱讀外，亦極適宜做為製造工廠中實務工作人員之參考進修資料。

本書大部完成於暑假，雖譯者不敢草率從事，但疏漏錯譯之處，再所難免，尚祈專家業者不吝教正。

欣聞工業技術研究院已着手 NC 工業之具體研究發展，可賀！

林之傑 識于 台大機研所
林同聖 交通大學計科系
64.10.25

目 錄

序言

1. 自動控制之基本原理 (Basic Principles of Automatic control) 1

- 1.10 自動控制..... 1
- 1.11 控制迴圈..... 2 1.12 溫度控制..... 2
- 1.20 輸入之種類..... 5
- 1.21 階梯函數輸入..... 6 1.24 阻尼..... 9
- 1.22 斜率函數輸入..... 7 1.25 過渡反應..... 10
- 1.23 獵位..... 8
- 1.30 伺服機構..... 10
- 1.31 伺服機構之操作..... 12 1.33 系統中之回饋..... 14
- 1.32 增益..... 13

字彙

2. 自動控制對工具機之應用 (The application of automatic control to machine Tools) 18

- 2.10 工具機之作用..... 18
- 2.11 附屬作用..... 18 2.13 滑座位移..... 19
- 2.12 控制系統執行之工作..... 19
- 2.20 滑座位移之習慣命名..... 20
- 2.21 Z 軸..... 21 2.23 Y 軸..... 22
- 2.22 X 軸..... 21
- 2.30 NC 工具機滑座之控制系統..... 23
- 2.31 命令訊號..... 24 2.33 穩態誤差..... 26
- 2.32 閉合迴圈控制..... 24 2.34 速度回饋..... 27
- 2.40 NC 工具機之設計..... 27

2. 41 傳統設計對NC 工具 機之不適宜性..... 27	2. 44 定性電動率率轉換器 4 之位置..... 30
2. 42 機器結構..... 28	2. 45 傳輸及滑座定位 元件 33
2. 43 滑槽..... 29	

3. 字碼、字帶及讀帶機 (Code, Tapes and Tape Readers) 38

3. 10 為何用二進制? 38	
3. 11 二進碼..... 40	3. 12 一些其它的數位碼... 41
3. 20 打孔字帶..... 44	
3. 21 “節塊”之結構..... 47	3. 23 準備打孔字帶..... 48
3. 22 節塊中資料之排列順序..... 48	3. 24 檢查字帶..... 49
	3. 25 修飾或改正打孔字帶... 50
3. 30 讀字帶機..... 51	
3. 31 讀帶機之操作..... 52	3. 33 氣動式讀帶機..... 54
3. 32 機械式讀帶機..... 53	3. 34 光學讀帶機..... 55
3. 40 磁帶..... 56	
3. 41 磁錄之基本原理..... 57	系統..... 59
3. 42 磁帶之優點..... 59	3. 44 磁帶之應用 : 數位 系統..... 60
3. 43 磁帶之應用 : 類比	

4. 工具機之數值控制 (Numerical Control of machine Tools) 62

4. 10 何以要數值控制..... 62	
4. 11 歷史背景..... 64	4. 12 降低機製小批機件之 成本..... 64
4. 20 NC 工具機之優點..... 67	
4. 21 NC工具機優點之摘要 67	4. 22 NC之組織化..... 69
4. 30 NC 工具機之種類及設備..... 70	
4. 31 以滑座控制為參考之機器分類..... 71	

4. 40	定位性 (點對點) NC 工具機	74
4. 41	定位性工具機之若干特徵	76
4. 50	平行軸 (直線) NC 工具機	78
4. 51	直線銑床上之一些可得設備	80
4. 60	連續路徑 NC 工具機	84
4. 61	插值	85
4. 62	連續路徑控制中之滑座關係	87
4. 70	操作一部 NC 銑床	88
4. 71	操作週期	89
4. 72	剩餘函數	91
4. 73	機器指示台	91
4. 74	操作機器	93
5.	滑座之定性控制及刀具改換系統 (Positional Control of Slides and Tool Changing Systems)	95
A 部份	滑座定位系統	
5. 10	滑座位置之控制	95
5. 20	利用光柵以測量滑座位移	96
5. 21	光柵之原理	96
5. 22	定位控制之測量系統	96
5. 23	連續路徑控制之光柵系統	98
5. 24	光柵應用至連續路徑 NC 工具機	99
5. 30	定位控制之氣動/液壓系統	100
5. 31	Hydra-Point 引動器之操作原理	101
5. 32	引動器之操作	101
5. 33	液壓系統中之順序	102
5. 40	定位控制之電動-機械系統	103
5. 41	機械驅動	106
5. 42	整流器總成	106
5. 50	電磁類比定位電功率轉換器	108
5. 51	同步儀及同步分解器	108
5. 52	同步儀及分解器之應用	109
B 部份	擇優輸出及自動刀具改換器之裝置	

5.60 從 NC 工具機擇優輸出之方法.....	111
5.61 預置刀具.....	113
5.62 雙生台機器.....	116
5.70 自動刀具改換器 (ATC)	118
5.71 NC 刀具轉塔.....	119
5.72 NC 鼓輪型刀具庫.....	121
5.63 機製中心.....	116
5.73 NC 鏈條型刀具庫.....	124
5.74 NC 蛋盒型刀具庫.....	129
6. NC 工具機 (NC machine Tools)	130
6.10 Herbert Co-ordatrol 自動轉塔型鑽床.....	130
6.11 Co-ordatrol 之一般規格.....	131
6.12 自動轉塔工作頭.....	133
6.20 Wick man Lang Numericon 車床.....	140
6.21 Numericon 之一般規格.....	142
6.22 Numericon 控制單元.....	143
6.30 Churchill-Redman Red Century 350 NC 車床.....	145
6.31 機器控制單元.....	147
6.32 Red Century 之操作.....	149
6.33 標準機製順序.....	150
6.40 HPE Contourmatic 銑床.....	152
6.41 Contourmatic 之結構.....	153
6.42 Contourmatic 上之生產.....	154
6.50 Marwin MIN-E-中心.....	155
6.51 Min-E-中心之基本結構.....	158
6.52 基本結構上之衍變.....	159
6.53 Min-E-中心之特點.....	160
7. NC 工具機之經濟性 (Economics of NC machine Tools)	163
7.10 經濟上之比較.....	163

7.11 可比較性之範圍···164	7.13 估計時所考慮到之因素·····166
7.12 NC 處理與傳統處理之比較·····164	
7.20 製造成本之實際估量·····168	
7.21 準備生產之成本···168	7.23 有關之成本·····170
7.22 生產成本·····169	
7.30 工具機之操作成本·····170	
7.31 貶值·····171	7.33 工具機利用·····174
7.32 過時性·····173	
7.40 成本比較：傳統處理對NC 機器處理·····178	
7.41 對分點·····178	7.43 小批處理之經濟益處
7.42 對分點之決定·····179	·····183

8. 字帶準備及程式設計 (Tape preparation and programming) ····· 188

A 部份

8.10 字帶準備之一般程序·····188	
8.20 定位性及平軸工作之字帶準備·····189	
8.21 字帶之人工準備···189	8.22 工作件程式設計(沒有利用計算機) ····· 190
8.30 打孔字帶之碼·····191	
8.31 EIA 打碼系統···192	
8.40 打碼之方法·····192	
8.41 順序編號·····193	8.43 載明指定座標·····194
8.42 節塊終端·····193	8.44 準備函數·····195
8.45 主軸速率函數·····198	8.47 剩餘函數·····199
8.46 進給率函數·····198	8.48 刀具補償·····202

B 部份

8.50 計算機協助下之工作件程式設計·····209	
8.51 程式之種類·····211	8.53 後部處理器之作用···214

8.52 後部處理器.....	212
-----------------	-----

9. 計算機協助下之程式設計 I (Computer- aided programming I) 215

9.10 NC 之計算機支援下之程式.....	215
9.11 Romance 程式... 216	9.12 計算階段..... 218
9.20 永久資料庫.....	218
9.21 材料庫..... 220	9.23 刀具分類庫..... 222
9.22 刀具資料庫..... 221	9.24 刀具選取庫..... 223
9.30 計算機之作用.....	223
9.31 計算機之便利及 Romance 程式.....	225
9.40 工作件程式設計之程序.....	226
9.41 Romance 程式之打碼紙..... 227	9.42 處理 Romance 程序..... 228
9.50 使用 Romance 工作件程式設計例子.....	229

10. 計算機協助下之程式設計 II (Computer- aided programming II) 237

10.10 連續路徑機製操作之程式設計.....	237
10.11 2 CL 系統.....	238
10.21 2 CL 工作件程式設計.....	239
10.21 工作件程式之各部份.....	240
10.30 使用 2 CL 之工作件程式設計之例子.....	240
10.31 標題語句..... 243	10.32 幾何語句..... 244
10.33 動作語句.....	244

附錄：

A. 估計 NC 機製成本之圖表.....	258
B. Romance 工作件程式所用之表格.....	263
C. NC 機器術語總集.....	264

1. 自動控制之基本原理

(Basic Principles of Automatic Control)

1.10 自動控制 (AUTOMATIC CONTROL)

近年來，“自動控制”這術語在工程界已變得顯著；許多有能力和有經驗的工程師可能會跟一些人一樣地認為這學科充滿高等數學，我們必須充分自由地使用高等數學，以瞭解自動控制之目的，但是，以事實觀點，根本不需使用高等數學技術，便能夠很快地了然使用自動控制的目的，但有句話倒是說得不錯，爲了獲得實用且完全理解之控制工程知識，數學是很重要的，因爲介紹本書中這學科之目的是在於對那與工具機數值控制有關之自動控之基本原則提供一洞察，故而採用的是非數學性的趨勢。

有一個我們很熟悉而簡單的自動控制的例子可以在一般家庭用貯水槽之球形閥 (ball-valve) 操作中發現到，另一個常見例子是電鍋或電加熱系統之溫度控制，還有其他許多可以隨時想得到的，但無論如何，目前這兩個例子提供了我們一個方便之出發點，而將用以說明一些自動控制系統之原理。

現考慮貯水槽之球形閥；水從主要來源流經洞開而且未受拘限的活門而注入空水槽中，當槽中水位上升時，球浮於表面，以此改變其桿臂位置而減少經過活門之水流，當球達於預定位置時，活門將關閉而水之

供給則被切斷，能夠進入貯水槽中之水量已以浮子浮於水表面的方法自動地被控制。

這種自動控制之直接應用可以例示一種控制系統的形式，並且顯示出控制工程並非一門新科學——雖然許多自動控制最新而廣佈之發展及運用確是介紹了新穎而先進的技術；假使控制工程中一般所用之術語被運用以描述在注滿水槽時發生了什麼，那個程序本身聽起來將尤加簡單，雖然它並沒改變，因為目前對控制工程所用名詞不熟悉，遇到一些困難是難以避免的（本章末之字彙可以幫你瞭解其中一些），一旦你熟悉了術語之後，便不難瞭解其與自動控制系統操作有關之用法，讀者將會領悟為了傳達與特殊說明有關之事件之簡明意義，在任何特殊化活動中，的確必須要有一些特殊術語。

1.11 控制迴圈 (Control Loops)

水槽中水位之控制可以用代表每一事件而且以鏈環連繫起來的方塊來表示，圖 1.1，從方塊圖中可見，鏈環接合在一起而形成一密閉迴圈，這術語是用以描述如貯水槽之控制條件的系統，而攸關於條件的資訊被當做回饋 (feedback) 送回給儀器運動控制；開放迴圈也被用到了，而在開放迴圈控制中，接受控制的數值並不須測量，因為沒回饋；當開放迴圈系統被用以將數值控制的工具機之滑座定位時，工具機的成本要遠較使用密閉迴圈時為少，雖然這樣滑座定位之準確度較不精確，但對許多機製操作言，却是可令人滿意的——例如，滑座位移之誤差為 $\pm 0.05 \text{ mm}$ 。

在一密閉迴圈控制系統中，回饋不斷地影響控制器之行動，因此，這系統可以叫做誤差引動 (error-actuated) 系統，就拿貯水槽為例，可看出假使真正水位與所要水位之間有一偏差，則誤差存在，浮子 (ball-float) 則將促使球閥讓水流入水槽，反之，當實際水位與所要水位吻合，誤差為零，而球閥關閉。

1.12 溫度控制 (Temperature Control)

一部電鍋之溫度調節器主要包括一帶有以 C 或 F 為標尺讀數之控制球；一個電子接點，當控制球被撥至所需溫度，它就接上；以及一個包含揮發性液體的凸球，當烤箱溫度增加時，它就膨脹，一條毛細管則將該液體傳至膨脹的摺箱 (bellow)，見圖 1.2

當烤箱中之溫度上升時，液體體積增加而摺箱膨脹，使得壓力匣移向可動連接器，到達預定溫度後，電子接點開啓，加熱元件之電源供應斷絕；當烤箱溫度下降時，液體收縮，風箱往後退縮，壓力匣復使接點能關上而電流再度流入加熱元件。(圖 1.2 所示磁鐵僅用以保證接點開或閉時一明確之動作)

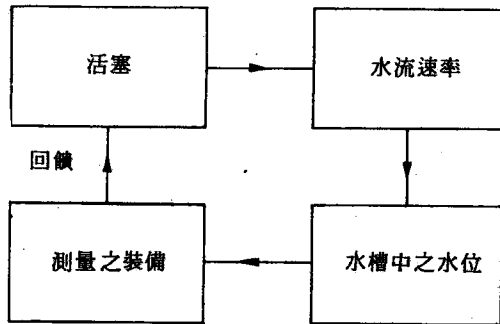


圖 1.1 水位之控制—密閉系統。

自動溫度調節器之溫度控制系統的作用表示在圖 1.3 之方塊圖中。使用的是自動控制系統所用之 BS 1523 所規定的符號，所要之烤箱溫度 (r_i) 是命令訊號，以輸入裝置來記錄 (自動溫度調節器之標度盤)，而旋轉標度盤的動作調整了壓力匣之位置，現在溫度是以壓力匣及可動接觸器間之線性距離 (θ_i) 來表示，烤箱溫度 (r_o) 是以含有揮發性液體之凸球來監查，其回送至隨液體溫度會膨脹了一線性距離 (θ_o) 的摺箱，假如 θ_o 小於 θ_i ，接點繼續關閉而電流繼續供應給加熱元件，只要 θ_o 一等於 θ_i ，壓力匣促使接觸器打開，而加熱元件變為 OFF；當溫度下降時，接觸器可以再關閉，而加熱元件又轉為 ON，以符號表示：

$$\theta = \theta_i - \theta_o$$

其中：

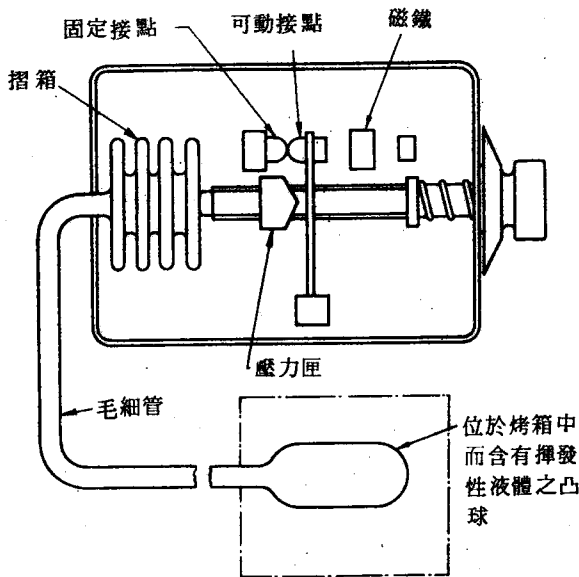


圖 1.2 自動溫度調節器之原理。

θ_i = 所要情況 (即, 輸入之溫度改變成線性距離),

θ_o = 實際情況 (即, 輸出之溫度改變成線性距離),

θ = 誤差。

關於這例子, 方塊圖的價值是很明顯的, 因為我們可看出, 烤箱溫度之自動控制系統可用代表系統每一部份的“方塊”很快地表示出, 而勿須詳細深入每一方塊所代表的設置。以這種方法, 以電子裝置為基礎之自動控制系統之操作, 便可為, 比方說, 一位機械工程師所瞭解, 或同樣地, 一水壓系統可為電子工程師所看懂, 這種以連接的“方塊”來敘述一系統的方法很方便。圖 1.4 所示為密閉控制之一般形狀; 假使我們特別對其中一“方塊”之操作模式感興趣, 則可以詳細地探討實際的裝備, 這將在後面幾章中見到——例如, 5.20 中, 探討了關於支配工具機滑座位之繞射光柵設備。方塊的另一好處是它並不將裝置限制至某一特殊的操作原理, 例如, 裝備可以是電子的、氣動的、液壓的或光學的, 同樣地, 它可能極其便宜而簡易, 或者它可能複雜而昂貴——

不管裝備之種類或其複雜性，方塊圖的表示法都是這麼簡單的。

其他自動控制系統的例子可從熟悉而非常普通的來源中獲得；那些裝置在操作上許多都是很簡單（且很緊湊），自調唱片制動機便是這樣一個例子，很有趣地，我們發現在百餘年前在某種紡織機上已使用了一種應用類似原理的裝置，那種裝置的構造可由汽車標準課本中得到其細節，或從探討汽車特殊製造的工廠手冊中也可得到，其機械裝置的原理是剎車墊如所需地自動前進，用一個止爪與一棘輪啣接，以補償其磨損，當駕駛者一剎車，止爪位移了，而當墊子磨損得足以讓止爪與棘輪另一個齒啣合，則輪子稍為旋轉而剎車墊總成往前推進一螺紋距，經由對這簡單設置的介紹，剎車被保持於合理之調整狀態，汽車及其上面的人之安全保障增加了，而且花費在維護上的時間減少了。

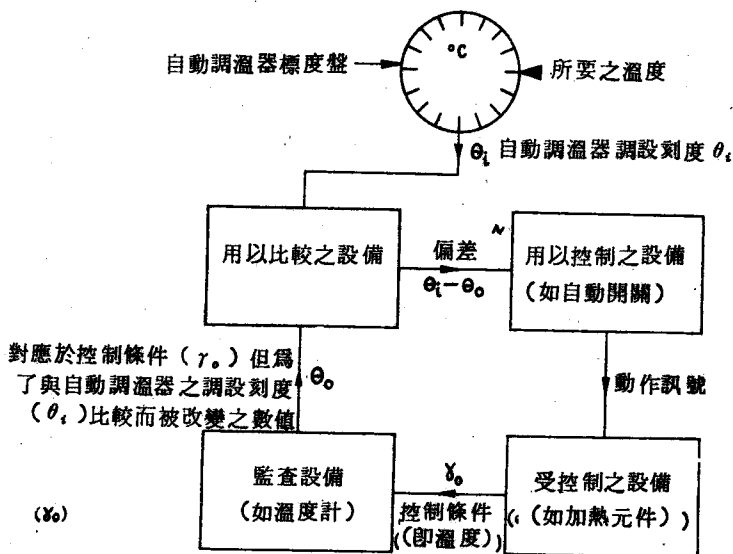


圖 1.3 方塊圖用以代表用自動溫度調節器以行溫度控制之密閉系統

1.20 輸入之種類 (TYPES OF INPUT)

上面所詳細敘述之自動控二例子，即注入水槽之水量控制及溫度自動控