科學圖書大庫

過程控制

譯者　徐萬椿

徐氏基金會出版

譯　序

本書過程控制，原名Process Control Instrumentation Technology，是休士頓大學寇悌斯強生氏（Curtis D. Johnson）所著。本書是電子技術系列中之一部佳作。全書共分十一章，和附錄四種。諸如過程控制之介紹，類比信號狀況校正，數位信號狀況校正，熱量轉換器，機械轉換器，光學轉換器，最後控制構件，控制器原理，類比控制器，數位控制原理，和控制迴環性質等，均有詳細分析敍述。本書有個特點，每章先提出教學目的，接著就有自行評值之問題，讀者在研閱之前，作一考驗。可促使讀者在進行研閱時有所警覺。另一個特點，圖說豐富，都是清晰之線圖。敍述之後，繼之以舉例演算，使讀者得到深入的瞭解。

本書係以平實之筆法譯述，力求與原意吻合和對原書做到信達。原書少數誤植，亦經代爲更正於譯文。本書所用之譯名，經參照國立編譯館出版之機械工程名詞，電子工程名詞，和電機工程名詞，愼爲翻譯。但是書成倉促，如有謬誤，尙請先進指正，是爲序。

徐萬椿謹序

中華民國六十九年七月七日

原　序

自從人類最早在地球上生存以來，一直就在調節環境因素，以適應其慾望。人類就靠經常奮鬥使自然界能適應需要，亦是人類與地球上其他動物之區別所在。由於知識之增高，調節問題之技術方能提高。如此，方能有較佳之調節。因之，就產生支持人類在地球上生存之甚多複雜製造過程。近代過程控制進化成爲一種獨立性之技術，當此種技術實現時，同一調節技術亦可提供爲甚多不同製造過程之用。因之，某人對製造方法過程控制方法學設計和應用只需少量過程性質知識之訓練已成爲可能。

誠如甚多其他規矩一樣，知識與技術兩者之進步，可導致過程控制專家之發展。今日，吾人可描述過程控制作業爲三類，就設備而言，每類有其一定之要求。過程控制系統工程師重視綜合過程控制系統之設計，而具有製造方法專家所指定之規則。此項作業，需要對穩定性，模式性質，及一般過程控制環動力性質，具有優良之理論瞭解。過程控制技師或應用工程師，對設計所需一定構件以設置系統所指定之綜合設計負有責任。以包括過程控制環中固有度量性質，電子性質，和氣力性質，及對優良設計位準之瞭解。過程控制技師或機械士則負責最後裝配和試驗過程控制環及整個系統之構件。此需對電子，氣力，過程控制環裝置之機械性能具有優良之工作知識。

本書原先之目的在滿足後兩類教學上之需要，亦即滿足應用過程工程師、技師、及高級技術員教學上之需要。現有甚多優良課本包含過程控制系統之穩定性和設計規範，通常包含拉普拉斯變換法。此等書籍常不包括系統設施，諸如度量方法、信號條件、及最後控制構件。實際上，確實嚴重缺乏含有較拉普拉斯變換數學精密度爲小之過程控制設施而

具有足夠之數學許可作迴環構件設計以滿足規格之書籍。本書將可滿足此項需要。其綜合目的在提供教材，以瞭解過程控制之性質，諸如構件，模式，和穩定性，以及度量技術，控制模式之設置，最後控制構件功用等詳細之知識。爲着保持與時代之進步，過程控制技術之數位特性特別予以強調。

讀者之程度，假定已達到兩年制工程技術之二年級或四年制之大三。因之，物理之基本知識，類比與數位電子已在大代數中取得，惟具有微積分之知識，自屬更爲有利。

本書包括十一章，可分七類研究。首先三章介紹過程控制，並提供過程控制儀器設置中類比與數位信號改善法之共同基本知識。

第四章至第六章普通轉換器，用以度量熱量變數，機械變數，及光學變數。轉換之機構，轉換器之性能，及典型信號改善之要求，均予討論。

第七章檢討最後控制構件功用並舉例。

第八章至第十章則討論控制器功用和操作。首先討論操作之性質，此必需作有效控制，然後指出此等操作何以必需設置類比技術和數位技術。

最後一章則討論在過程控制中閉環反應性質。迴環穩定性和諧調之簡單意念，使讀者能熟悉此項操作之主要性能。

作者對納安哂克拉特，茉莉蘭強生，靜格羅倍茲之耐心繕打原稿，海倫勃拉克提供複雜之圖說和精神支援，表示感謝。對顧茲遜博士與休斯頓大學理工學院之指導和支持，使本書能夠成功順利出版，特致謝意

寇悌斯強生

(Curtis D. Johnson)

目　錄

譯　序

原　序

第一章　過程控制之介紹……1

教學目的……1
自行評值之問題……1
1-1　導　言……2
1-2　過程控制之定義……2
1-3　過程控制之因數……4
1-4　過程控制之評值……8
1-5　類比處理與數位處理……13
1-6　單位、標準、及定義……20
摘　要……29
習　題……30

第二章　類比信號狀況校正……33

教學目的……33
自行評值之問題……33
2-1　導　言……34
2-2　類比信號狀況校正之原理……34
2-3　電橋與電位表電路……37

2-4 運算放大器…… 51
2-5 在儀器設置之運算放大器電路…… 57
2-6 時間反應…… 66

第三章 數位信號狀況校正…… 72

教學目的…… 72
自行評值之問題…… 72
3-1 導 言…… 73
3-2 數位基本原理…… 74
3-3 變換器…… 80
摘 要…… 95
習 題…… 95

第四章 熱量轉換器…… 98

教學目的…… 98
自行評值之問題…… 98
4-1 導 言…… 99
4-2 溫度之定義…… 99
4-3 金屬阻力溫度設施……104
4-4 熱阻器……113
4-5 熱電偶……116
4-6 其他熱量轉換器……125
4-7 設計考慮……127
摘 要……131
習 題……133

第五章 機械轉換器……136

教學目的……136
自行評值之問題……136
5-1 導 言……137

5-2 機械原理……137
5-3 位移轉換器……147
5-4 應變規……150
5-5 加速度計……157
5-6 壓力與流量轉換器……165
摘 要……170
習 題……170

第六章 光學轉換器……174

教學目的……174
自行評值之問題……174
6-1 導 言……175
6-2 電磁輻射之基本原理……176
6-3 光檢波器……188
6-4 測高溫術……200
6-5 光 源……206
6-6 應 用……212
摘 要……216
習 題……217

第七章 最後控制構件……220

教學目的……220
自行評值之問題……220
7-1 導 言……221
7-2 最後控制操作……222
7-3 引動器……229
7-4 控制構件……234
摘 要……245
習 題……246

第八章　控制器原理……249
教學目的……249
自行評值之問題……249
8-1　導　言……250
8-2　定　義……250
8-3　控制系統參數……253
8-4　控制器操作模式……258
8-5　合成控制模式……276
摘　要……285
習　題……286
第九章　類比控制器……288
教學目的……288
自行評值之問題……288
9-1　導　言……289
9-2　電子類比控制器……289
9-3　氣力控制器……307
9-4　設計考慮……313
摘　要……317
習　題……318
第十章　數位控制原理……320
教學目的……320
自行評值之問題……320
10-1　導　言……321
10-2　基本數位法……321
10-3　電腦資料記錄……326
10-4　電腦監視控制……330
10-5　直接數位控制……334

10-6 直接數位控制操作……338
10-7 直接數位控制組織……342
摘 要……349
習 題……349

第十一章 控制迴環性質……352

教學目的……352
自行評值之問題……352
11-1 導 言……353
11-2 控制系統之型式……353
11-3 多變數控制系統……359
11-4 控制系統品質……362
11-5 穩定性……370
11-6 過程迴環諧調……373
摘 要……385
習 題……386

附錄A－1 單 位……390

附錄A－2 數位復習……394

附錄A－3 熱電偶表……401

附錄A－4 機械復習……405

第一章　過程控制之介紹

教學目的（ Instructional Objectives ）

本章將討論綜合過程控制環，其功用和描述。當讀者研閱之後，即能進行下列諸行：

1. 能繪製描述每一構件之過程控制環方塊圖。
2. 列舉三個動力變數。
3. 描述三個動力變數。
4. 定義類比信號處理。
5. 描述兩種數位過程控制。
6. 定義精度，遲滯性，及靈敏度。
7. 列舉長度，時間，質量，電流度量之公制單位。
8. 換算公制物理量單位至英制單位，或英制換算成公制單位。

自行評值之問題（ Self-Evaluation Questions ）

本書各章中均有一簡單考試，是自行詳值之問題置於每章之首。此等問題應在研讀本章之前和研讀本章之後作答，以作讀者研讀本章內容之尺度。下面各個問題均與本章內容有關。

1. 試爲一過程控制環繪製方塊圖，以指出每一構件。
2. 在度量功用中，試指出兩種必需操作。
3. 列舉三個動力變數。
4. 爲調定點之名詞下定義。
5. 若一過程控制環受到一過度輸入，試敍述迴環最小面積反應之意義。
6. 試以讀者自己之語氣敍述殘餘誤差之意義。

7. 若一個信號以每一字元 0.1伏編碼，則數位字語 110應以若干伏予以編碼？
8. 動力變數與轉換器輸出之間之類比關係是否必需爲直線之關係？試解釋之。
9. 英制中任一單位與公制之焦耳相當？此是何種度量單位？
10. 若干牛頓之力相當於 180磅？
11. 精度與靈敏度之對比定義表式爲何。

1-1 導 言（ Introduction ）

欲有效研究過程控制之因素，則必需對過程控制之原理應有一綜合性之瞭解。有了此種瞭解，某些影響綜合控制問題之特別因素方能充分指述。本章將提供過程控制一般性介紹，而偏重於工業上之應用。本章中另一同樣重要的一面，則爲普通名詞之定義和度量之單位，此等係研究任何主題所必需者。

若整個系統之操作首先予以考慮，則一複雜系統之因素就較易瞭解。若首先未有注意到汽車是具有某種性能之運輸工具，則研究汽車之每一構件顯然將遭致失敗。將此項意念存諸胸中，本章是討論綜合過程控制迴環，其功用和描述。

1-2 過程控制之定義（ Definition of Process Control ）

自從最早在地球有生物開始，自然界就存有過程控制之作業。此種過程控制之意識，可能遍及宇宙之某一角落。吾人予以確認，自然界之過程控制是一種調節內在物理性質之作業，此等內在之物理性質對生活機構極爲重要。因之，自然調節量之普通舉例可爲體溫，血液，視網膜光線強度，身體血液流動率，以及甚多其他舉例。

人類發現必需調節在其環境中之外在物理參數，以維持生命，因而產生人工過程控制。此項調節係以參數之觀察，與若干所欲之值比較，以及必需之作用使此參數達到所欲之值所完成之。此種控制之舉例，可在火作爲光與熱，蒸煮食物，簡單之嗅覺，等等得之。

過程控制之實際名詞，是人類在更有效之產品製造中採用自動調節程序所發展者。此種程序在意義上係自動，人不再是調節之整體部分。吾人所重視者爲此種自動調節應用於各種工業製造過程之瞭解。原始目標則在提供過程控制之正式定義，及用以描述之名詞。首先考慮下列諸種名詞。

動力變數（Dynamic Variable）　任何物質參數，可以自然變更或外在影響變更者，是一種動力變數。動力是表示由若干不定或未知影響所致之時間變化意念；變數則指自此等影響變化相關之能量。在過程控制中，吾人只對需要調節若干工業應用之動力變數具有興趣。典型之舉例爲：溫度，壓力，流量率，位準，力量，光線強度，及濕度。

調節（Regulation）　過程控制之主要目的則在導致某種動力變數以保持一定（或近乎）所欲之值。由於變數本身是一種動力，吾人必需經常提供校正作用以保持常數變數。調節之名詞，可定義爲保持此值之操作。吾人可說過程控制是調節動力變數。

欲爲過程控制作定義，可參照一簡單舉例，以例示過程控制調節之主要特性。此舉例如圖1-1所示，人是控制在一槽內液體位準控制之一部分，吾人可經由系統之調節程序作業。

此處之過程，爲液體，槽，液體進口，及出口之總體。動力變數爲在槽內液體位準，調節則爲保持自槽底某--預定之高度H。就操作而言，吾人可看出出口閥A控制液體損失率。茲假定流入於槽之流量率並非在吾人之控制下。若系統只有左邊部分，則液面位準可採用流入與流出同量之任何H值。若液體之黏度或其他參數影響其進口變化，即發生一新的位準。此是一未調節或開環系統。欲提供調節，則必需返饋液體位準資料於控制構件，在此情形則返饋資料於出口閥A，以校準由於外在影響所致之位準變化。以此種返饋，吾人已產生一種閉環或調節法。在此舉例中，吾人命人工操作者提供所需之返饋而使閉環。因之，瞄準管T，許可操作者對槽之液體位準作目視度量。此時彼在其腦筋中評值液面位準是高，是低，或正好。如有不對，則可以其手臂調節控制構件閥

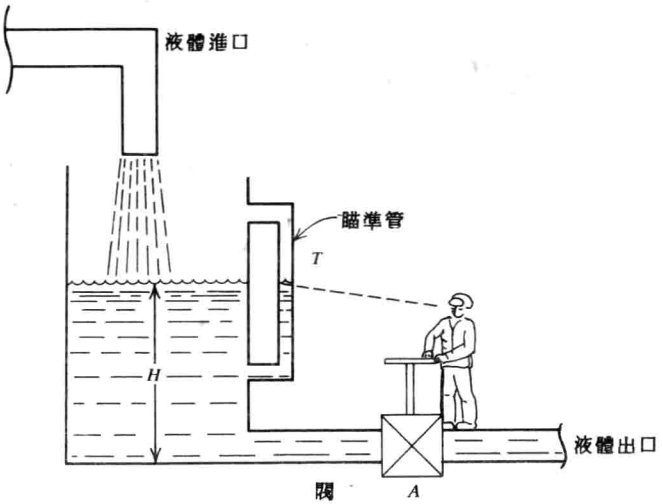


圖 1-1 調節槽內液體位準之基本過程控制系統

A，連續正確調節液體位準。上面所述之三個名詞，度量，評值，和控制，形成過程控制迴環正式描述之基本。

1-3 過程控制之因素（Elements of Process Control）

欲爲過程控制提供一實際工作描述，最好描述包括基本名詞之操作。此種描述應可獨立特別之應用（如上節中所提供之舉例），使能用以應用於所有控制狀況。應用代表迴環中每一顯著之因素製成一種模式。迴環操作之性質，然後可以考慮此等因素性質與界面而發展之。在過程控制描述歷史中已應用過無數之模式，吾人可應用一個最適宜者以描述新型而發展中之過程控制技術。

1-3.1 因素之鑑別（Identification of Elements）

鑑別一過程控制環因素之最早方法則爲研究如圖 1-1所提供之舉例。吾人可鑑別及描述下列諸種因素。

過程（Process）　液體之流入貯槽和自貯槽流出，貯槽本身和液體，就構成一種過程，而將對液體位準予以控制。一般而言，一過程可含有複雜而與某種製造順序有關之集合現象。此一過程可包含甚多動力變數，在同一時間控制所有此種變數有其需要。控制過程可有單個變數過程，只有一個變數予以控制；亦有多個變數過程，此可有甚多個變數，甚至相互有關係之變數，需要調節。

度量（Measurement）　顯然，爲着有效控制一過程中之一動力變數，吾人必需具有變數本身之資料。此種資料，可自變數之一種度量得之。一般而言，此一度量是將變數轉換成某種變數之當量類比，諸如一氣體壓力，一電氣電壓，或一電流。轉換器是進行最初度量和將一動力變數之能量換成類比電氣資料或氣力資料之設施。欲完成度量功用，可能需要再度轉換或信號改善。此種度量之結果是動力變數變換成有用而爲過程控制迴環其他構件所需之一種型式。

評值（Evaluation）　在過程控制順序中之次一步驟則爲檢驗度量和決定應採取何種作用。迴環之此部份可有甚多名詞，不過控制器最爲普通。吾人將指此項操作爲一控制器之評值。此種評值，可如前面舉例以操作者所進行，以電子信號處理，以氣信號處理，或以電腦處理，或以電腦處理。電腦之應用在過程控制之領域中已經迅速成長，因爲電腦易於適應過程控制之決策操作和具有處理多變數系統控制之能量。控制器需要代表動力變數度量和代表所欲變數值之一個輸入，以相同單位表示之度量值。此所欲之動力變數值，則指調定點。因之，評值含有(1)變數度量與調定點之比較，及(2)決定所需之作用，使動力變數達到調定點之值。

控制構件（Control Element）　在過程控制迴環中之最後構件是過程中受到直接影響之設施，亦即提供動力變數中所需之變化以使達到調定點之狀況。此構件自控制器接收一個輸入，然後變成在過程中所

進行之某種比例操作。在前面之舉例中，控制構件爲閥，此閥調節貯槽中液體自外之流量。此構件亦稱爲最後控制構件。

1-3-2 方塊圖（Block Diagram）

過程控制迴環中之因素常如圖 1-2所示，每種因素則以一方塊所表示。圖 1-2之方塊圖係以上節所定義之因素所構成。在過程中控制之動力變數，在圖中以 C 指出之，而控制之動力變數之度量，則以 C_M 所表示。控制之調定點則以 C_{SP} 表示，並且必需以度量功用所提供相同之比例表示。

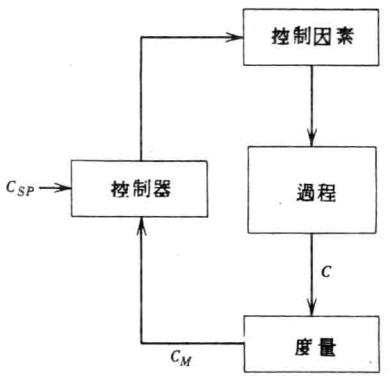


圖 1-2 一過程控制迴環方塊圖指出四種基本因素。

在甚多情形，控制器方塊係代表自電子返饋或伺服分析所引渡之一種型式。此代表評價操作之總和點，此輸出一個誤差信號 $\epsilon = C_{SP} - C_M$ 至控制器，以作比較和發生作用。圖 1-3所示爲應用迴環構件最普通之表示所繪製之迴環。

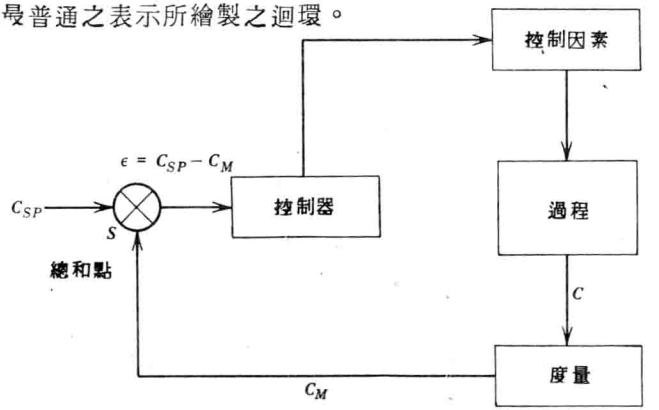
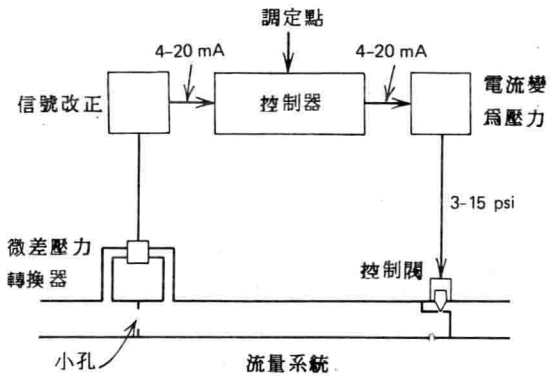


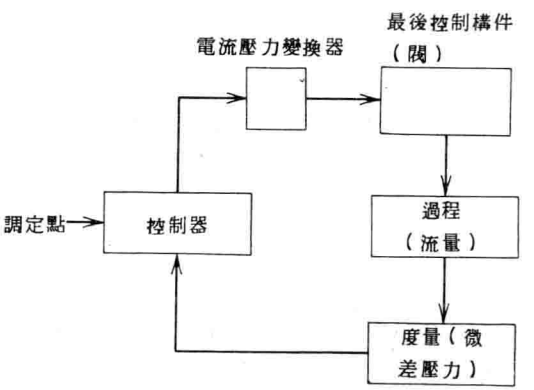
圖 1-3 以總和點 S 與誤差信號 ϵ 爲單位之過程控制迴環方塊圖

爲更進一步例示方塊圖之意念起見，圖 1-4指出典型之流量控制系統，而以方塊表示之。在此舉例中，讀者可以看出，動力變數爲流量率，此然後換成電流作爲一個類比。

方塊圖方法之目的在許可過程控制系統可以較小和較簡單之副系統之相互關係予以分析。其整體爲各部之和。若迴環中每一因素之性質能夠



a）過程控制迴環之物理圖



b）過程控制迴環之方塊圖

圖 1-4　一過程控制系統以調節流量和當量方塊圖。注意電流與壓力傳輸信號之應用

決定，則綜合迴環之性質能以分析此等副系統之結合而建立之。系統方法在技術上之歷史發展係以實際特性所決定：首先指定總系統所欲之性質，然後，表示提供綜合準據之副系統發展。

顯然，過程控制系統之規格係在指定之限度以內調節一個變數C，及在指定時間反應，以決定度量系統必需具有之性質。同一套系統規格可反應於控制器與控制構件之設計。

由此項觀念，吾人可作結論，一過程控制系統之分析，需要瞭解綜合系統性能，和反射此項性能於系統構件之性質。多數發現各部分之瞭解可對整體得到較佳之瞭解。吾人將以此項假設作爲引導觀念進行。

1-4 過程控制之評值（Evaluation of Process Control）

在考慮構件性能對綜合過程控制系統反應之效應之前，先考慮系統與構件兩者評值如何決定，當屬合理。用以進行評值此等性能之各種名稱和狀況之基本必需具備。

1-4.1 系統評價準則（System Evaluation Criteria）

系統性能之評價可簡單反應過程控制迴環進行調節過程中若干動力變數功用之程度。此種調節係經由兩種準則予以指定。第一種準則爲系統保持控制之動力變數C於調定點C_{SP}所指定之一個值之系統誤差。第二個準則爲系統對過程之任何擾動或過程控制迴環調定點變化之動力反應。

系統誤差（System Error） 系統誤差是系統調定點之值與系統所保持之動力變數之實際值之間固有誤差之一種度量。此種誤差可以實際C值對調定點C_{SP}值偏差之百分數表示。又，此種誤差並非系統調節或校準之函數，或系統構件之函數，只是代表整個系統在調節動力變數之綜合不確定性。只有系統構件在品質上之改良方可減少系統誤差。

調定點（Setpoint） 在過程中所欲之動力變數值，稱爲調定點。