

科學圖書大庫

工業過程之自動控制(三)

自動控制機構

編譯者 王洪鎧

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

工業過程之自動控制(三)

自動控制機構

編譯者 王洪鎧

徐氏基金會出版

編譯者序

早期在手工業時代，其工業產品多靠手藝配以簡陋的器械製造，產品之規格與品質難求一致，且無法作出精密而高品質之產品。降至現代，由於科技的進步，任何種類的生產製造，由原料到製成品，無不要經過一系列的生產線，在生產過程中每一階段都需要嚴格的自動控制，方能保證產品規格與品質之劃一，尤以近年來國家已將各項工業納入標準來管制，凡不合法定標準明文規定的產品，將不能開拓市場而必被淘汰。故自動控制在工業製造過程中的重要性可想而知。惟製造行業繁多，其控制儀器與系統更難以數計，一般技術人員及學生難欲研習而每感不易獲得合適的中文書籍以資參考。本人有鑑於此，決意將所獲得之有關工業過程控制原文資料譯編彙整，分冊陸續出版，並定名為“工業過程之自動控制”，第一冊着重說明美國Honeywell公司儀器之介紹，與其基本之作用原理，後續各冊，以Thomas Rhodes及Grady C. Garroll 二氏所著之“Industrial Instruments for Measurement and Control”為藍本，並參考取材於William G. Andrew 氏所著之“Applied Instrumentation in the Process Industries”，Austin E. Fribance 氏所著之“Industrial Instrumentation Fundamentals”，以及Bela G. Liptak等氏所著之“Instrument Engineers Hand Book”等書，將有關測量溫度，壓力，流量，級位，分析等的儀器，作用理論，以及自動控制系統之組成，和電子儀器系統在自動控制中的貢獻等予以簡要的講述，並多列舉各種圖片以供讀者參考。本套叢書均以訓練和教育用為目的，亦可能為專業人員之在職與進修參考。希望能在吾國進入現代化工業國家之際，拋磚引玉，略盡棉薄，尚祈博雅君子不吝指教。

王 洪 鎧 敬識

民國六十九年七月

工業過程之自動控制總目錄

第一冊——工業儀錶要義

第一章 甚麼是測量與控制

| | | |
|-----|----------|----|
| 第一節 | 名詞定義 | 1 |
| 第二節 | 測量工具基本特性 | 3 |
| 第三節 | 基本過程特性 | 10 |
| 第四節 | 自動控制基本特性 | 10 |

第二章 過程變量的測量

| | | |
|------|-------------|----|
| 第一節 | 壓力之測量 | 24 |
| 第二節 | 溫度之測量 | 33 |
| 第三節 | 濕度之測量 | 50 |
| 第四節 | 露點之測量 | 52 |
| 第五節 | 流量之測量 | 53 |
| 第六節 | 液位之測量 | 58 |
| 第七節 | 分析及電位測量 | 62 |
| 第八節 | 色層分離法測量 | 69 |
| 第九節 | 速率之測量 | 72 |
| 第十節 | 力與重量之測量 | 75 |
| 第十一節 | 運動及位移及電比之測量 | 76 |
| 第十二節 | 遙隔測量 | 77 |

第三章 過程變量的控制

| | | |
|-----|----------|----|
| 第一節 | 自動控制器的類型 | 80 |
|-----|----------|----|

| | | |
|-----|-----------|-----|
| 第二節 | 控制閥 | 89 |
| 第三節 | 程式控制 | 100 |
| 第四節 | 級聯控制 | 105 |
| 第五節 | 比率流動控制 | 107 |
| 第六節 | 縮型氣動控制系統 | 110 |
| 第七節 | 縮型電子儀器 | 118 |
| 第八節 | 計算機電腦控制系統 | 121 |
| 第九節 | 燃燒安全防護控制 | 125 |

第二冊——溫度，壓力和流量測量

介紹

| | |
|---------|-----|
| 測量精確度 | 2-1 |
| 變量及測量信號 | 2-3 |

定義

符號與縮寫

第一章 溫度測量儀器

| | |
|---------------------|------|
| 組成所有壓力引動的溫度計之基本工作部份 | 2-23 |
| 現代化的自動平衡的電位器紀錄器 | 2-28 |
| 傳達溫度儀器 | 2-29 |

第二章 壓力測量儀器

| | |
|------------------------|------|
| 靠平衡一個未知壓力對抗一個已知壓力來測量壓力 | 2-45 |
| 液柱壓力計 | 2-45 |
| 重碼壓力計 | 2-45 |
| 布頓管壓力計 | 2-47 |
| 靠一彈性膜片之變形來測量壓力 | 2-47 |
| 金屬摺箱壓力錶 | 2-54 |

第三章 差壓流量計主要測量元件

| | |
|-----------------|------|
| 推理上的流量計型式 | 2-61 |
| 文氏管 | 2-62 |
| 流量噴嘴 | 2-63 |
| 孔口板 | 2-65 |
| 差壓流量計主要測量元件之皮氏管 | 2-75 |
| 皮氏管 | 2-78 |

第四章 差壓流量計輔助測量與紀錄元件

| | |
|--------|------|
| 紀錄型流量計 | 2-81 |
| 傳達電氣儀器 | 2-82 |
| 傳達氣動儀器 | 2-92 |

第五章 面積型流量計

| | |
|---------|-------|
| 浮沉流量計 | 2-103 |
| 活塞型面積儀錶 | 2-106 |
| 可變面積型元件 | 2-107 |

第六章 體積型流量計

| | |
|-------------|-------|
| 活塞型 | 2-112 |
| 搖擺盤型 | 2-115 |
| 體積測量元件 | 2-115 |
| 體積流量計的優點與缺點 | 2-126 |

第三冊——自動控制機構

第七章 自動控制理論

| | |
|-------------------|-----|
| 熱交換遲後之定義 | 3-1 |
| 因應過程與反應遲後的控制器機構型式 | 3-2 |

第八章 使用不同控制機構上的過程特性

| | |
|-----------|------|
| 控制機構 | 3-30 |
| 控制問題的一般討論 | 3-35 |
| 過程特性之數學分析 | 3-38 |

第九章 自動控制閥特性

| | |
|-------|------|
| 節流閥特性 | 3-50 |
| 流量控制 | 3-58 |
| 流量比控制 | 3-61 |

第十章 液位和界面測量與控制

| | |
|----------|-------|
| 浮子排量型元件 | 3-189 |
| 電氣接觸型指示器 | 3-196 |
| 壓差型儀器 | 1-199 |
| 電容探針型元件 | 3-203 |
| 液體界面 | 3-208 |

第十一章 自動控制機構

| | |
|----------|-------|
| 自動操作控制機構 | 3-290 |
| 溫度控制 | 3-290 |
| 壓力調整器 | 3-293 |
| 伺服操作控制機構 | 3-294 |
| 氣動控制機構 | 3-295 |

第四冊——控制器與分析測量

第十二章 電動與電子控制器

| | |
|--------|------|
| 電動控制儀器 | 4-1 |
| 電子控制儀器 | 4-16 |

第十三章 比重測量元件

| | |
|----------|------|
| 液管比重 | 4-41 |
| 管式浮子排量元件 | 4-41 |
| 伽瑪線型元件 | |
| 氣體比重 | 4-62 |
| 浮子型元件 | 4-62 |

第十四章 分析測量

| | |
|-------------|-------|
| 層析計 | 4-87 |
| 紫外線分析器 | |
| 紅外線分析器 | 4-127 |
| 比色計 | 4-128 |
| 熱傳導分析器 | 4-143 |
| 折射計 | 4-148 |
| 氧分析器 | 4-155 |
| pH測量 | 4-167 |
| 濕度和露點感測器 | 4-182 |
| 氣體和液體樣品中之水份 | 4-191 |
| 固體中之水份 | 4-204 |
| 混濁度分析器 | 4-211 |
| 稠度測量儀器 | 4-213 |
| 分子量分析器 | 4-219 |
| 傳導度分析器 | 4-241 |

第十五章 附錄——分析測量參考圖片 4-246

目 錄

第七章 自動控制理論

| | |
|------------------------|---|
| 熱交換遲後之定義..... | 1 |
| 因應過程與反應遲後的控制器機構型式..... | 2 |

第八章 使用不同控制機構上的過程特性

| | |
|----------------|----|
| 控制機構..... | 30 |
| 控制問題的一般討論..... | 35 |
| 過程特性之數學分析..... | 38 |

第九章 自動控制閥特性

| | |
|-------------|----|
| 節流閥特性..... | 50 |
| 流量控制..... | 58 |
| 流量比例控制..... | 61 |

第十章 液位和界面測量與控制

| | |
|--------------|-----|
| 浮子排量型元件..... | 189 |
| 電接觸型指示器..... | 196 |
| 壓差型儀器..... | 199 |
| 電容探針型元件..... | 203 |
| 液體界面..... | 208 |

第十一章 自動控制機構

| | |
|---------------|-----|
| 自動操作控制機構..... | 290 |
|---------------|-----|

| | |
|---------------|-----|
| 溫度控制..... | 290 |
| 壓力調整器..... | 293 |
| 伺服操作控制機構..... | 294 |
| 氣動控制器機構..... | 295 |

第七章 自動控制理論

自動控制可被定義為在一控制的過程下，自一次 (primary) 感測儀器，如前數章中所述者，所獲得的反應予以集合，並產生經計算後之相對反應，俾使能維持一內部平衡狀況之機械技術。對那些有關於在化工上，冶金上，或聯合工業上的過程工作而言，任何機械上的措施足能維持在一過程系統中，有穩定的內部平衡狀態者，均有巨大的價值。譬如在一連續性的化工過程中，非常依賴控制用感測儀器所獲得的資訊，如果這些控制儀器缺乏或不精確，就不能夠把化工製造過程的操作行為控制在一所欲之狀態下，也就很難能夠生產出物美價廉的產品。如把自動過程控制的優點項目列出，就如同列出連續化工過程中身的項目一樣多。我們在此暫緩討論這方面。

熱交換遲後之定義

所有前述的因素站在控制的觀點上來看都是很有意義的，因為它們對遲後上具有一特定的影響，而遲後 (lag) 現象又是熱交換器所固有的因素。圖 7-1 中示於上方的第一種遲後冠以“需求側貯存遲後”，並代表充滿了被控制溫度的媒介的熱交換器的總體積的一部份。所謂“遲後”一詞係指前述中不明顯的時間元素。為求明瞭這一觀念，讓我們假定通過熱交換器的物體在需求上有突然的改變。如在熱交換器輸出側對某種特定溫度變動偵檢所需的時間取決於該熱交換器需求側 (demand side) 的容量而定。我們可用一電熨斗和一電燈絲來作類似的比喻，使它們用於相等熱量即熱平衡之下，若突然中斷電源，燈絲幾乎立即喪失熱，而熨斗要繼續保留熱一段時間。這種差別在達到新的熱平衡所需的時間上視二系統在熱貯存容量之差而定。

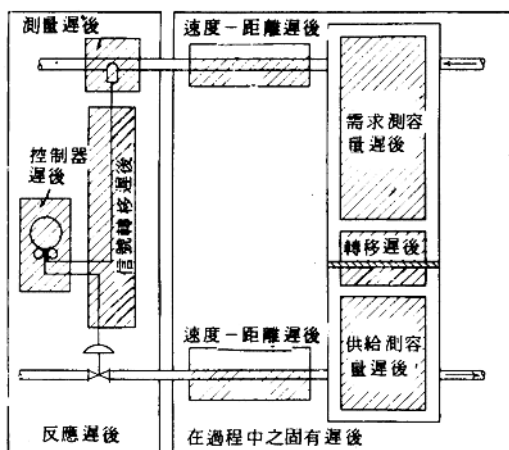


圖 7-1 在溫度控制系統中固有的遲後來源

在上述情況下熨斗有相當大的貯存遲後。

因應過程與反應遲後的控制器機構型式

以前的章節中清晰指出自動過程控制問題的複雜性。在一過程控制回路內存在着不少於七種的遲後來源。在特殊的過程裏可能還有別種的遲後，因為它具有較標準過程為異的情形。在考量一控制問題時僅有的適當方法是先研究其全部。因為單討論一控制器的型式而不論及它在整個控制系統上的用途實殊少價值，控制器是否能發揮效果完全在於它在一特定的過程控制上是否適合，及有否正確的配當而定。同樣，任何對控制整體上數學的分析研究必需先要對整個過程狀況有確切的了解，然後分析才有價值。如果不是這樣作，單作部分性的分析常能誤入歧途。

所有迄今遲後上來源的分析為組成控制系統設備上所固有的，雖然它們在任何特定過程上遲後因素並非全部都存在，但其中數種是確定的。良好的設計能夠限制這些遲後到一所欲的比例，但却不能完

全消除它們。一旦過程設計好後，剩下的問題就在選用一控制器機構，其特性要能維持使過程狀況離控制點的偏差量最小，而且控制設備的裝置費用要在能獲得成功的過程下為最少。如果在過程中有愈複雜和愈不意欲的遲後，那麼需裝置的控制器設備也必需愈精細及昂貴。但一件事實不容忽視，即是，良好控制的設計就看你控制機構的簡單性如何，簡單的設備才能減小裝置費用及維護費用。如果把控制設備系統設計得太複雜，超過了過程所需要的，並不是一種良好的設計。

如果我們假定一過程已經設計適當，那麼就要去選用一控制機構，其功能要能減少存在的遲後所發生的影響。由於我們對一過程有不同的控制方式，所需要的控制機構也有不同的型式和組配。每一控制機構型式有它不同的特性和應用範圍，設計時應能讓它發揮出最大功效。因為只有它們才能改善在一連續過程中具有的不穩定現象。目前可用的控制方式可有如下數類。

1. 二位置控制
2. 比例控制
 - a. 窄控制帶
 - b. 寬控制帶
3. 浮動控制
4. 比例及浮動控制
5. 具有閥定位器的比例及浮動控制

二位置控制

二位置控制 (off and on) 為最簡單亦且最常用的一種控制方式，它的功用由其名稱即可得知。如果控制的對象是一個閥，則該閥不是全開就是全關，而不論過程的溫度如何，雖則閥之構造可能在全開與全關 (兩極端) 之間調整到另一位置，但在自動控制時，它是不停留在中間位置的。

閥之開關動力可為電力，或壓縮空氣，或液壓力，或可由感測到的流體溫度直接引動。然而不論那種方法，閥之特性是移動迅速並正量的自一極端位置至另一極端位置，視過程的溫度是高於或低於某一預定值而定。當閥開時，加熱率會太高；尚關閉時，加熱率又太低，

故為避免控制閥完全關閉供給而發生過大的擾亂結果，常常再使用一旁路閥，以至少能提供一最小已知的所需加熱量，及使二位置閥能提供額外所需的控制變量。惟此法可能導致麻煩，將在稍後討論。

若二位置閥能夠再增加一個中間位置，就等於擴大了閥之控制能力。閥通常位於中間位置，視溫度變動的方向移至全開或全關位置。此類似於開和關控制的旁路型式，只是需要有更精巧的控制機構以提供此三個控制位置。

比例控制

自簡單基本的二位控制加以改良所造成的控制機構能夠使控制閥的開關位置比例於自控制點的溫度的偏差量。在這種控制方式下，控制閥對每一在範圍內溫度的變化都有一個對應的位置。這種溫度範圍謂之“控制帶”(control band)，示如圖7-2中。

控制帶的寬度隨控制機構的型式而變，可分為兩類，即(1)窄帶控制器，及(2)寬帶控制器。

控制帶的範圍相對於控制器溫度測量器具的總範圍常以一百分比或比率表示。在這種分類下窄帶型控制器常具有一約為控制器的全尺度的10%範圍。至於寬波帶型的節流範圍可能為儀器溫度範圍的100%，或者等於該範圍的百分之數百。在後者情況下，所有時間內閥均在開啓，在一正常溫度變動下只能作小量之移動。所謂“節流範圍”(throttling range)為一常用的控制術語，示於圖7-2的溫度帶中。此為一敘述名詞，因為比例控制閥事實上也是一“節流”閥。

甚多的比例控制機構上具有一調整，允許在全部節流範圍內，控制帶的寬度可以變動。有關於控制運作的置定點(set point)也是在整個的儀器溫度範圍中變動。如果在控制上只需要一窄帶，那麼只需裝置一窄帶控制機構即可，費用較為節省。但若對窄帶的工作能力有疑問時，也可以採用寬帶控制器，因為過程若需要一窄範圍時，

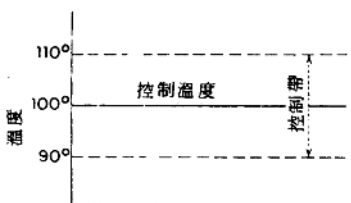


圖 7-2 控制帶的寬度

它也能調整到可滿意運作此窄範圍之內。上述兩種窄帶和寬帶型控制器並無功能上的差異，雖則稍後我們將談到在機構上需要有一改變以獲得此寬帶上的特性。

浮動控制

第三種控制機構，稱之為“浮動”控制 (floating)，即閥之移動是獨立於溫度自控制點的偏差量。當溫度高於控制點，閥以穩定的速率關閉並且持續關閉，直到溫度降至控制點以下為止。在該點閥反轉其動作並向另一方向移動直到再通過控制點。這種形式的控制主要是一種循環控制，並傾用於閥之移動能夠作得非常慢的場合。

這種形式的控制可加以改良，成為兩種速度的操作，即在控制帶中一窄的部份閥的移動很慢，但若溫度在任一方向超過了這個部分閥的移動速度就較快。這種動作增加了控制上的效果，因在所欲的溫度範圍內閥是慢速移動，但若溫度偏差發生過大，閥能作較快的改正。

浮動控制的第二個改良如上述一樣是提供了一寂靜區 (dead zone)，或溫度帶，在該區中閥不移動。在這種情況下，當某一設定的偏差發生後閥僅在“浮着”狀態，有助於減少循環動作，否則只要有一小的干擾閥循環動作即會發生。

第四種形式的浮動控制更為複雜，稱之為“比例速度浮動”控制。在此閥會朝某一方向或另一方向穩定移動，視溫度高於或低於控制點而定，但是移動的速度却比例於溫度離開控制點的偏差量。這種形式的控制也能使移動率成為其他異於正常溫度偏差的函數。然而，通常閥之移動率是直接比例於溫度偏差量的。

這種形式的控制頗具有意義，不僅是一種常用的控制方式，而且它的這種動作導源出另外一種常用的控制機構，稍後即將討論。

所有的這些浮動控制適用於系統中之遲後現象小，而反應又迅速的場合。在這種控制下即使需求側的貯存遲後也不意欲，因為它能促成循環的發生。

浮動控制更進一步的使用是控制溫度控制點的位置，即在過程中必須計及額外的變量者。這種作為當然僅在不尋常的裝置下且必須要獲得最大的控制精確度者。

比例及浮動控制

把控制機構作更進一步之組配結果得出一比例位置控制（剛才敘述者）和浮動控制之組合控制。在比例位置控制上對運作之控制帶內，每一溫度之存在只有一種閥的位置。我們稍後即可看到這種狀況將產生一自動控制點不意欲之過程溫度偏差，爲了修正它，控制機構之配置要同時反抗對兩個力量的脈動性。

第一是浮動控制力量，它是一個支配力量產生閥之移動。它使閥之移動定位確切和剛才所述的浮動控制情形一樣。但加到此種移動上的第二種比例控制力量却有一種趨向，即溫度下降時增加閥之開度，而溫度上升時減小閥之開度。這種第二修正動作在閥定位上並無永久影響，而係完全靠浮動控制來決定。

爲求使控制器能夠應付過程的變動性，我們可以提供調整，以分別變動這兩個修正力量的強度。有時並另有一調整能同時變動這兩個調整，使得一力增強時，另一力自動而比例的降低其量。

具有閥定位器的比例及浮動控制

使用了更複雜型式的控制機構，任何由摩擦所導致的在控制器中的可變遲後，或任何缺少去操作控制閥的正確力量均能嚴重干涉了控制器的動作。受控制閥中的摩擦會產生一遲滯的動作，即小力不足以移動閥直到一足夠大的力加到閥機構上才能克服這種摩擦阻力。結果在過程中又成了一額外的遲後而導致麻煩，且其大小，不能預知，和可變化的，均視閥迫緊的鬆緊度，機構中的油，及溫度等而定。

要克服上述缺點，要加用一額外的機構，允許在閥機構上施加額外的力量以克服摩擦，但却不改變閥之終極位置，該終極位

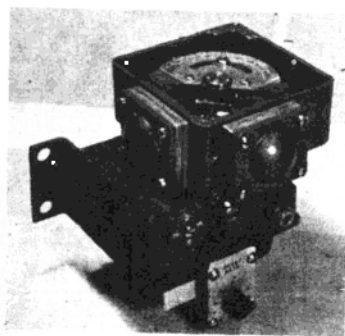


圖 7-3 溫度控制器
(Beekman Instrument
Company)

置，係全在控制着眼上所決定者。通常這個額外機構常作成比例及浮動控制機構的一部份，合裝在一起。

圖 7-3 代表一典型的控制器，能夠產生前述的任何反應。開始的過程信號施予控制器的感測元件上，由一槓桿傳達到一控制器的嚮導閥上，以調整至控制閥的輸出直到過程返回至其所欲的位置為止。

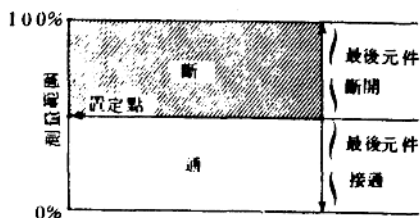
以下我們討論一下有關各種控制的概念，我們知道除了對工業過程中之變量加以測量，指示，或記錄之外，還要廣用一種過程儀器術，作為測量變量之自動控制。一自動控制就好像四大元件之組合團隊中包括了初次元件（測量變量用），測量元件（指示或記錄數值），控制元件（調整動力），及最後元件（作改正動作）。初次元件是一種感測或檢出單位，最後元件為機械器具，諸如閥，節氣閘（風門），百葉窗，泵，及其他的引動器等，至於控制元件，為至這些引動器的調整，動力器具。將在以下的諸圖說中加以討論。

四種常用控制元件之型式如上述，它們名稱之決定是基於最後元件之改正動作型式而定，當測量之變量值高於或低於所欲值，或置定點（set-point）時。在二位置（通一斷）動作中，最後元件只有二個位值，即測量之變量之值高於置定點時，最後元件的位置與當變量之值低於置定點時最後元件的位置是相對的。

二位置控制

控制元件型式：

1. 二位置
2. 比例
3. 積分（亦稱為再置）
4. 微分（亦稱為率）



二、

用恆溫器來控制一室的暖氣系統就是一個典型的二位置控制的例子，在此系統中，若

