

科學圖書大庫

工業電子學原理及應用

譯者 劉兆全

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

中華民國六十八年四月二日初版

工業電子學原理及應用

基本定價 4.20

譯者 劉兆全 中正理工學院電機科主任

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)局版臺業第字1810號

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

發行者 負責人 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 15795 號

承印者 大原彩色印製企業有限公司 台北市西園路2段396巷19號
電話：3611986•3813998

序 言

電子，正如同我們這個時代的一種奇幻魔術，它的領域不斷地擴張，深入人類日益增加的各種活動中。比如說：娛樂事業的聲光效果、通訊設備、國防設備、科學研究、醫學診斷和治療使用的儀表、銀行界和保險業使用的電子計算機，和最受重視的工業界。僅僅廿年的歲月，由電晶體所帶動的電子技藝和應用，比過去由真空管在半世紀多所作的貢獻更往前跨了一大步。例如要安裝六支管子的接收機電路，真空管的技術就夠用了，但要製作電子計算機，和其他擁有成千上萬獨立裝置的複雜機構，就非靠電晶體來完成不可。最近，爲了設計裝配袖珍型電子計算機，以及建立工廠、太空船和其他複雜場所龐大的控制系統，遂有積體電路的發展，且此發展的趨勢更是一日千里。

電子的領域，一直在快速地增長和專門化，而且日趨複雜。許多優良的教科書和專題討論的論文，均有其利用價值，尤其是對那些想作深入探討的人，更是不可或缺。

然而想要一窺電子領域的全貌，是十分不簡單的，正可套用古人的話“身在廬山，不知廬山真面目”本書正爲您呈現出這廣大領域的全貌：工業電子學——大部份應用在工業技術的電子工程。本書並非爲任何可能發生的問題，提出解決的偏方，因爲問題實在不勝枚舉。我們強調的是對基本物理學事實的瞭解，而捨棄純理論材料和所牽涉的複雜計算。因此本書精選一些工業電子學的基本原理，並對所遭遇的問題提出實用的建議。

本書的前身，是“基本工業電子學”，於1962年由Gernsback library所發行，其中內容主要在於處理真空管線路。在本書中爲您提出半導體技藝。另外包括最新的積體電路技術和光電子學領域。

因此，本書不僅是1962版那本書的新改訂版，而是完全重新改寫的增訂版。本書中所包含的材料可說是全新的。

Alfred Haas

Hx2016/12 I

目 錄

序 言

第一章 工業電子學：目的和方法

1-1 電子學是什麼？	1
1-2 電子學——現代化工業的工具	2
1-3 可靠性	3
1-4 失效指明的平均時間	4
1-5 複 製	5
1-6 修理的簡易	6
1-7 連續和非連續控制	7
1-8 開迴路和閉迴路系統	10
1-9 調節器和伺服系統	13
1-10 伺服機構的暫態行爲	17
1-11 最佳控制系統的操作	20
1-12 對於處理變數的精確量度的零點方法	27
1-13 電 橋	29
1-14 電位計測電壓法	32

第二章 轉換器

2-1 可變電阻位置轉換器	34
---------------	----

2-2	應變計	37
2-3	電阻性溫度轉換器	46
2-4	液體傳導性和 pH 值測定	49
2-5	電容性的轉換器	51
2-6	電感性轉換器	59
2-7	角位置發射同步儀	64
2-8	用於旋轉計數的脈衝器	67
2-9	轉速計產生器	68
2-10	光電轉換器	71
2-10-1	真空和充氣管	72
2-10-2	固態裝置	76
2-11	驗光——電子學	81
2-12	光電控制	83
2-13	驗光電子交連或調變器	93
2-14	霍爾效應轉換器	98

第三章 系統結構方塊圖

3-1	放大器型式和特性	102
3-2	反回授	104
3-3	真空管放大器	105
3-4	直接耦合電子管放大器	107
3-5	電晶體	107
3-6	電晶體放大器	110
3-7	直接耦合電晶體放大器的熱補償	114
3-8	場效電晶體	115
3-9	微電子學	118
3-9-1	線性積體電路	121
3-9-2	典型線性 IC 的應用	124
3-10	載體電流放大器	127
3-11	截波調變器	130

3-12	電晶體的開關行爲	136
3-13	阻抗變換器	140
3-14	回授振盪器和波形產生器	143
3-15	多諧振盪器和相關電路	147
3-16	其他重要的電路	153
3-17	定相電路	155
3-18	波形的轉換	159
3-19	熱陰極閘流管	161
3-20	冷陰極閘流管	164
3-21	閘流體和其他的固態交換裝置	167
3-22	單接面電晶體	176
3-23	非線性裝置	180

第四章 自動檢查、分類和計數

4-1	檢視系統的結構	186
4-2	程式規劃檢視的步級開關	188
4-3	多導體電纜的自動檢視	192
4-4	被動性元件的自動測試	192
4-5	測試機殼和副組件	197
4-6	自平衡電橋和電位器	198
4-7	檢流計式的放大器	201
4-8	自動尺寸檢視	204
4-9	自動品質控制	207
4-10	機電計數器	208
4-11	電子計數及數字顯示裝置	212
4-12	同線數字顯示器	215
4-13	預置電子計數器及數位延時產生器	218
4-14	單位時間所生事件計數器	221
4-15	數字式電壓表	223
4-16	二進位計數	226

4-17	十進位的Eccles — Jordan 計數器	230
4-18	二進碼十進數計數器	232
4-19	生產線計數	235

第五章 數位程序控制

5-1	邏輯運算	241
5-2	邏輯追蹤圖	247
5-3	固態的靜態開關	249
5-4	數位式積體電路	262
5-5	推動顯示器的解碼器	270
5-6	使用磁性裝置的靜態控制	274
5-7	類比到數位的轉換	280
5-8	程式控制	283
5-9	工具機的數字位置控制	286
5-10	適應控制	287
5-11	類比計算機	291
5-12	複雜程序的自動控制或自動性	299

第六章 電子加熱，熔接及製造

6-1	高頻率加熱	305
6-1-1	介電質加熱	307
6-2	感應加熱	310
6-3	電子束加熱	315
6-4	電阻熔接的電子控制	317
6-4-1	熔接計時器	321
6-5	低功率熔接的同步控制	323
6-6	超音波的處理及製造	325
6-7	超音波清理及液體處理	329
6-8	超音波的製造	329
6-9	超音波的銲接及熔接	331

6-10	火花製造	333
6-11	使用雷射束的蒸發鑽孔及熔接	335

第七章 電子安全裝置

7-1	衝壓機及剪機的安全裝置	339
7-2	使安全裝置安全	341
7-3	火焰——失敗保護	344
7-4	火警及煙霧探測器	346
7-5	防盜警報系統	348
7-6	為防止碰撞的近接開關	351
7-7	γ 及 X——射線輻射監測	353

第八章 功率轉換及控制

8-1	整流器形式及連接	358
8-2	被控制的整流器	367
8-3	調整的電源供給	375
8-4	定壓及定流電源	379
8-5	線電壓調整	379
8-6	反相器和變換器	383
8-7	充氣點火電子管	388
8-7-1	充氣點火電子管功率控制	395
8-8	可飽和電抗器	397
8-9	磁放大器	402
8-10	直流電動機控制	409
8-11	準確的直流電動機速度控制	417
8-12	鼠籠式兩相伺服電動機控制	422
8-13	華德黎翁那特驅動	429
8-14	倍功率旋轉放大器	430

第一章 工業電子學：目的和方法

在我們劃定什麼是工業電子學的範疇之前，首先必須解答一個十分基本的問題：

1-1 電子學是什麼？（WHAT IS ELECTRONICS?）

電子學起源於真空管的發明，雖命名較遲，然使用了一百年後，它成了物理學中電學的一支流。很顯然的，電子學是由於涉及電子而得名，但是在電動機和其他早為人熟知的裝置中流動的電流，亦是由電子造成，我們有必要區分這兩個不同的領域。兩者雖同樣涉及電子，但區別是基於所流經的介質（medium）不同：在普通電路中，介質幾乎總是金屬，大部份是類似銅的良導體；電子學的特性是於真空管區域那段時間內，介質是真空、或是燈泡中賴以傳導的氣體。

自從電晶體發明以後，半導體材料已成為典型的電子介質。另外在液體介質方面，一種傳導性很好的溶液——電解質（electrolytes），早就被用於電鍍上，它也被歸納在電學的範圍中。

為免於太過侷限，我們暫時如此陳述上面所提的問題：“電子學是論及電子在一般良導體以外的介質中移動的科學和技術”。

一個電子電路必須包括電子管、及（或）電晶體、二極體和積體電路這類的半導體裝置。大部份這些裝置是活性的（active），那就是說，具有放大的能力，或一般言之，能轉換電子信號。由於信號的放大和轉換方法既簡單又經濟，電子技術實在是很容易的。

電子學始終保持著是電學的一支，而不是一完全不同的領域。由電子控制的電流，經常起動一些屬於傳統的電學裝置如馬達和繼電器，因而使得工業電子學更是電學的一支。

1-2 電子學—現代工業的工具 (ELECTRONICS, A TOOL FOR MODERN INDUSTRY)

廿世紀最顯著的特色，在於工業上有驚人的進展。在其他經濟和社會因素之中，運輸和交通的進步，已使工業進入大量生產的進度以配合日益膨脹的市場需要。爲了要對付競爭及迎合顧客的消費心理，貨物生產也必須精打細算。另一方面，高生活水準使勞工昂貴，不容被浪費；更別提技術人員缺乏了。基於以上種種理由，工業必須不斷尋求新技術，使產品更多、更好、更便宜。

爲解決生產問題，電子學在許多方面可助其一臂之力。電子裝置使生產的物品尺寸精密穩固，對零件及成品加以審查、挑選、量度和計量；而且還保護了操作員和設備的安全。所有這些應用均可認爲是電子學對工業製造的助益。

進一步說，現今工作站間成品的傳送，可採取全自動化。更進一步，所有傳送的機構及各自控制的機械，能集合起來由一電腦來執行程序（產品）控制。這就是所謂的自動裝置（automation）。在此自動化的系統裡，幾乎或完全不需人的介入即可完成生產。因此，自動裝置可稱爲“電子生產控制”（electronic production control）。

除此之外，諸如加熱、熔融、焊接、切割和鑽穿、油漆的凝結沉澱、真空沉澱等等其他過程，也常借重電子技術。雖然電子技術昂貴點，但是比較方便，況且比傳統的方法更經濟。而且有時候，甚至只有電子技術才能勝任。例如對於非常精密昂貴如半導體裝置的裝備，通常需要一些電子裝備在特殊控制的環境下才能製造出來，這是傳統工具無法辦到的。我們稱此類應用爲“電子工具”（electronic tools）。

我們要注意，解決控制問題，也並非僅有電子控制一途。其他尚有純電學的、機械的、氣動的和水力的方法可資運用，他們往往也可得到較簡單、較便宜和更可靠的裝置。例如：爲安全計，在富爆炸性的周圍環境中，一般多採用空氣和水力的裝置，流體控制自然是爲此應用而設計的。一些遙控的運用上，由於電子信號是最容易被傳送的，所以大部份非電子的控制要比電子的控制體積爲大，造價也較昂貴些。

1-3 可靠性 (RELIABILITY)

如果你家的電視機出了毛病，通常沒什麼值得憂慮的，只要你有另一台，你仍不會錯過你最喜愛的節目。相反的，如果工業電子控制出了差錯，將使整個生產線停工、成本提高。那就是為什麼生產部經理和領班們，在考慮設立一電子控制裝置時，要求有關可靠性的問題。

這種疑惑在早期是合理的，因為那時的工業電子裝備被設計得很像收音機，使用同樣型式設計差勁的元件，結果，損壞時常發生。認清這缺點的嚴重性，工業必須引導至範圍廣泛的可靠性計劃。由於驚人努力的結果，元件、材料和裝備已使品質提高到使失效幾至完全消除的水準。因為太空技術的發展，可靠性極高的零件和系統已在市場銷售。過度苛求的使用者應記得：以電子控制取代人工操作，也沒有絕對的可靠性記錄。通常而言，電子系統是更值得信賴的。

其實，並沒有什麼特殊的可靠性技術，只不過在工程實際方面，有良好的應用罷了。舉個例：對一個零件的功能估計過高，往往會縮短它的使用壽命。就像一個一瓦特的電阻可能散熱 2 瓦特或者有時有更多的瓦特數，但是無可避免的，這樣做無異在加速它的損壞。另一方面，在額定值以下（那就是說，使用一個 2 瓦特的電阻工作於一瓦特散熱中）將能使電阻無限期的使用。注意，由製造廠所訂的額定規格，是在某特定且允許適度冷卻的條件下制定的。在高溫和通風設備不良中使用的電阻，將加速損壞。強迫通風式 (forced-air) 的通風設備，能增強可靠性。

以上所談的強調了一點：我們有必要定出那些各不相同的特殊操作情況的極限。很顯然地，把寒帶使用的裝備拿來用於一般的工廠，是沒有必要也太過昂貴。另一方面，對一個連在易振動機器上的裝置，就必須知道振動的振幅和頻率特性以便設計所需的裝備。

有一些設計堅固特別可靠的電子管，足以抵抗高度的震動和振動；也有一些類型的電子管以擁有均勻一致的特性曲線為特色，並且具有長久壽命的期望值。生產此類電子管需要特殊謹慎的處理和檢驗。如此一來，提高了這些管子的成本，但却能獲得較長的使用時限和較少的操作

損壞機率，這難道不值得嗎？二極體、電晶體和其他固態裝置本來就是較可靠的，因為它們沒有燈絲損壞之慮；且緊密堅固的結構，使它們比真空管更耐震動和振動。再說，使用電晶體造成少量到可忽略的散熱，使得操作溫度較低也較可靠。然而，半導體裝置僅適用於中等溫度，但真空管能忍受高溫。更進一步說，電晶體甚易受到暫態電壓和短路電流的損壞，真空管可以忍受此情形。因此，真空管仍有其利用的價值。

大部份被動性元件有可靠的副本。例如，在電視機中一般的電位器和類比電腦中線繞式精確電位器之間，就有一些差別。陶瓷（potting）和浸漬（impregnating）可以免於濕度、腐蝕氣體和生物損壞（黴菌）。良好的焊接接點對可靠性是很重要的。甚至“冷”焊接點也顯然地要修正，如果想要使銲接容易，使用太活性（酸）的松香當做心的銲錫，將使一良好焊接點被腐蝕。因為此理，對於較嚴格應用的裝配，常應用熔接（welded）而不使用軟焊（soft-soldered）。積體電路以埋入連接（built in connections），大大地減低了裝配時的接點數目，因此增加了可靠性。（當然，這些內接點在裝配前已經謹慎測試過了）。

1-4 失效指明的平均時間（MEAN TIME BETWEEN FAILAURE SPECIFICATIONS）

因為無限制的可靠性因素可想而知是無法存在的，所以製造商會詳加指明一特定裝備失效的平均時間（MTBF）比如在某特定的溫度、濕度、震動、振動和腐蝕環境條件下有 2000 小時，這並不意味著在 2001 小時時，此裝備即將損壞，事實上，它也許可以使用 10,000 小時仍不會損壞。但據可靠性的研究已經證實，無誤的操作並不能保證超過 2000 小時以上。（一台計時器可以總計出有效的工作時間）。

在失效平均時間的末期，維護單位將徹底地檢驗所有零件和元件，特別是一些易遭磨損的繼電器和開關。將測試性能差的真空管換裝新品。（要求較嚴的，甚至不管測試結果是否性能差，所有的真空管一律換新）如果維護工作是依照廠商指定的方法去實行，它會像以前的使用一樣，重新擁有一段新的可靠性週期。

以固態裝置和藉靜態控制的低功率繼電器取代大部份電子管，將會使得更少的零件易受機械損壞。因此，MTBF 大大地增長，維護工作也隨之簡化了。

1-5 複製 (REDUNDANCY)

我們已說過，在規格下操作和訂較寬的範圍，是基本的可靠性觀念。另外還有一個是：因為每一零件皆可能引起失效，要提高可靠性最確定的方法，就是儘可能減少零件的數目。為此，並非想省幾文錢，許多工業電子裝備是直接從幹線 (mains) 或從隔離變壓器取得交流電電源，因而為省去整流器 (rectifiers)、濾波電容 (filter capacitors) 和鐵心抗流圈 (iron-cored choke)，一個良好濾波的直流電源供應器，在所有使用的電子裝置中是必要的。但是此處也難以避免一種很強的交流聲 (hum)。

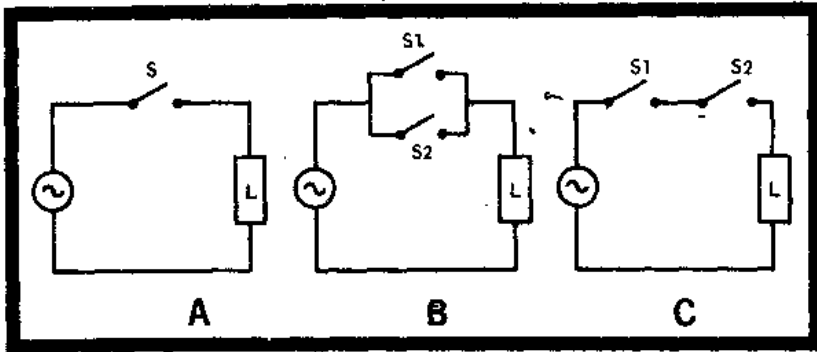


圖 1-1 並聯開關 (B) 增加單一開關 (A) 的可靠性，但同時操作的串聯開關 (C) 有較高的斷路可靠性。

“複製”是典型的可靠性技巧。在圖 1-1 A 中，開關 S 接通負載線路。很不幸地，開關通常有一限定的可靠性記錄。如果 S 接不通，負載 L 是無法激勵的。這或許不是最重要的問題，開關幾乎一直在工作。但如果我們絕對要求開關的閉合，為安全計，開關 S_1 可並聯 S_2 且同時操作 (圖 1-1 B)。因此 S_1 或 S_2 接通都可滿足結果，可靠性是

兩倍於單個開關操作；而事實上 S_1 和 S_2 同時損壞的可能性是很小的。

並聯式開關雖有上述的優點，但是當我們必須打開開關，比如發生了緊急事件時，問題就來了：如果兩個連接器同時插著，線路無法中斷的機會就似乎增加了二倍。所以我們採取（圖 1-1 C）的串聯接法，一旦一個（ S_1 ）開關插著，另一個（ S_2 ）幾乎確定可以打開以切斷負載線路。

爲了避免廣播發射機（broadcast transmitters）和通信連鎖（communication links）發生不合時宜的停工，一台備用的發射機通常在待命，以便一旦操作中的發射機損壞時取而代。如果甚至連自動轉換（automatic changeover）所必要的短暫停工時間（down-time）都無法忍受，這些管子就可以並聯成像圖 1-1 B 的開關一樣。一旦一個損壞，另一個仍可繼續負起使命，雖然減低了功率，至少發射機仍可向空中發射。

這種“複製”技術很明顯地花費較大，但是在重要的控制線路中，無誤而連續地操作是重要的，價錢因素還在其次。其實，對於主要元件和附件裝配，“複製”也許反而經濟呢！週期性的查驗不可忽略以確定並聯兩元件工作正常，因兩者之一有損，往往由於另一個取代工作而使我們無法得知。

1-6 修理的簡易（EASE OF SERVICING）

因爲機件很難保證能無限制使用和不出問題，而一旦有差錯又要馬上修復以免停工太久，所以工業上的裝備都是盡量設計得易於使用或（和）置換。裝在架上的裝配通常設有極精細的滑動裝置，以便底盤易於拉轉到適當的位置。電纜要具有彎曲性和足夠的長度，以便利引用操作電壓來作測試。主要的元件必須明確地標示，以利修護手冊中電路和幾何圖的參考。設計良好的裝置，可以在例行的維護工作中節省時間，並可在緊急停工狀態時減少生產損失。

電力（power）裝置除外，現代的固態電子學研究緊密和低度的散熱，以適應高密度的線路包裝。元件被裝在印刷線路上（printed circuits）或裝入單模中（modules）。甚至中等複雜的齒輪也使用許

多這類副件 (subassemblies)。爲了易於裝配、檢驗和置換，印製卡、抽屜和箱子均適合叉形以便插入連接有線底板和框架。這些插入式線路通常太過擁擠而無法由工場服務員修理；摸索這些微小的裝置可能出現生產線受阻。所以丟棄損壞的而簡單地置換一備用的。如此簡潔而免維護的備用物，能很方便地供應置換。

如此之系統中，指示燈可迅速辨認故障線路以便置換。在複雜的系統中，爲求迅速的修理，需要大量測試和顯示故障的裝置。許多的警報裝置，和所有機器及控制裝備的保護線路（例如防止電源突然中斷或冷卻水中斷），使得電子控制系統梗概圖顯得很擁擠。權宜之計是：不考慮所有的保護線路和警報裝置，重劃這難以辨認的圖形；然後梗概圖將清楚地顯示出來。

1-7 連續和非連續控制 (CONTINUOUS AND DISCONTINUOUS CONTROLS)

在控制問題中，最簡單的方法即是以開一關方法操作的非連續控制，因它僅須一個單極單投 (SPST) 繼電器或開關就可以去操作這裝置了。圖 1-2 中的電磁閥 (electromagnetic valve)，就是典型的開一關控制，因它僅能完全開或者完全閉合。當線圈 C 被激勵時，活塞 P 被吸入，將揚瓣 (poppet) Q 向上提起讓流體通過；若中斷電源，揚瓣落回原位使流體流動中止。（有許多閥的形式，激勵線圈可以操縱流體的流動和停止）因爲它是基本的二進位，這種開一關控制，在數字系統及邏輯中是很自然的形式。

在化學工業方面，此種遙控閥被廣泛應用於保持一種處理流體的規定成份。使用簡單的電磁閥，可以禁止流量大小的變動予以節制。圖 1-3 由馬達驅動的活門，允許連續變動的流量控制；因爲在完全開和完全閉之間，有無數個中間位置。在這種活門中，揚瓣的上下，是藉著一根由馬達、齒輪帶動的軸轉動來得到。（這圖形僅用於說明的目的，商業上的活門可能有不同的設計）。

最初，你會以爲這種連續的控制，比圖 1-2 那種簡單的開一關裝置要複雜。你必須有其他的方法使得馬達在所需方向轉動，並在揚瓣到

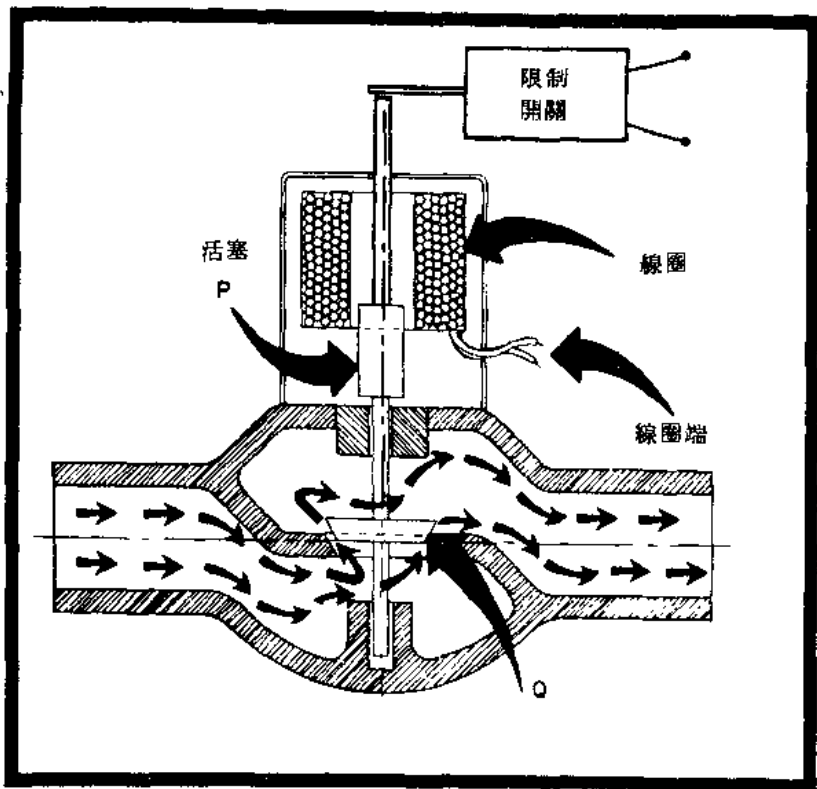


圖 1-2 螺線管活門是非連續開—關控制。

達預定位置時停止。一個雙極雙投 (DPDT) 繼電器反轉一台串聯馬達的磁場而使前述之馬達發生反轉 (圖 1-4) ; 但還是以靜態、連續可變的馬達反轉控制為較優。揚瓣位置藉多匝電位器得知 (圖 1-3 中 P) 它藉螺旋轉軸驅動, 並且連接在一零點追蹤電橋中 (null-seeking bridge) ; 經過一功率放大器激勵馬達, 直到揚瓣達到預定位置的平衡點。

此外, 這樣一個由馬達控制的活門, 必須加以保護以免過速及損壞機械零件。這可用上述的電位器線路來完成, 但是只要控制線路發生些微故障, 保護便告失效。良好安全之計, 需要使控制和安全線路完全獨立。因此, 最好還是使用簡單的限制開關 (limit switches) 。圖

