

PID 控制簡介

目前工業自動化水準已成為衡量各行各業現代化水準的一個重要標誌。同時，控制理論的發展也經歷了古典控制理論、現代控制理論和智慧控制理論三個階段。智慧控制的典型實例是模糊全自動洗衣機等。自動控制系統可分為開環控制系統和閉環控制系統。一個控制系統包括控制器、感測器、變送器、執行機構、輸入輸出介面。控制器的輸出經過輸出介面、執行機構，加到被控系統上；控制系統的被控量，經過感測器，變送器，通過輸入介面送到控制器。不同的控制系統，其感測器、變送器、執行機構是不一樣的。比如壓力控制系統要採用壓力感測器。電加熱控制系統的感測器是溫度感測器。目前，PID 控制及其控制器或智慧 PID 控制器（儀錶）已經很多，產品已在工程實際中得到了廣泛的應用，有各種各樣的 PID 控制器產品，各大公司均開發了具有 PID 參數自整定功能的智慧調節器 (intelligent regulator)，其中 PID 控制器參數的自動調整是通過智慧化調整或自校正、自我調整演算法來實現。有利用 PID 控制實現的壓力、溫度、流量、液位元控制器，能實現 PID 控制功能的可程式設計控制器 (PLC)，還有可實現 PID 控制的 PC 系統等等。可程式設計控制器 (PLC) 是利用其閉環控制模組來實現 PID 控制，而可程式設計控制器 (PLC) 可以直接與 ControlNet 相連，如 Rockwell 的 PLC-5 等。還有可以實現 PID 控制功能的控制器，如 Rockwell 的 Logix 產品系列，它可以直接與 ControlNet 相連，利用網路來實現其遠端控制功能。

1、開環控制系統

開環控制系統 (open-loop control system) 是指被控物件的輸出 (被控制量) 對控制器 (controller) 的輸出沒有影響。在這種控制系統中，不依賴將被控量反送回來以形成任何閉環回路。

2、閉環控制系統

閉環控制系統 (closed-loop control system) 的特點是系統被控物件的輸出 (被控制量) 會反送回來影響控制器的輸出，形成一個或多個閉環。閉環控制系統有正回饋和負反饋，若回饋信號與系



統給定值信號相反，則稱為負反饋 (Negative Feedback)，若極性相同，則稱為正回饋，一般閉環控制系統均採用負反饋，又稱負反饋控制系統。閉環控制系統的例子很多。比如人就是一個具有負反饋的閉環控制系統，眼睛便是感測器，充當回饋，人體系統能通過不斷的修正最後作出各種正確的動作。如果沒有眼睛，就沒有了反饋回路，也就成了一個開環控制系統。另例，當一台真正的全自動洗衣機具有能連續檢查衣物是否洗淨，並在洗淨之後能自動切斷電源，它就是一個閉環控制系統。

3、階躍回應

階躍回應是指將一個階躍輸入 (step function) 加到系統上時，系統的輸出。穩態誤差是指系統的回應進入穩態後，系統的期望輸出與實際輸出之差。控制系統的性能可以用穩、准、快三個字來描述。穩是指系統的穩定性 (stability)，一個系統要能正常工作，首先必須是穩定的，從階躍回應上看應該是收斂的；准是指控制系統的準確性、控制精度，通常用穩態誤差來 (Steady-state error) 描述，它表示系統輸出穩態值與期望值之差；快是指控制系統回應的快速性，通常用上升時間來定量描述。

4、PID 控制的原理和特點

在工程實際中，應用最為廣泛的調節器控制規律為比例、積分、微分控制，簡稱 PID 控制，又稱 PID 調節。PID 控制器問世至今已有近 70 年歷史，它以其結構簡單、穩定性好、工作可靠、調整方便而成為工業控制的主要技術之一。當被控物件的結構和參數不能完全掌握，或得不到精確的數學模型時，控制理論的其他技術難以採用時，系統控制器的結構和參數必須依靠經驗和現場調試來確定，這時應用 PID 控制技術最為方便。即當我們不完全瞭解一個系統和被控物件，或不能通過有效的測量手段來獲得系統參數時，最適合用 PID 控制技術。PID 控制，實際中也有 PI 和 PD 控制。PID 控制器就是根據系統的誤差，利用比例、積分、微分計算出控制量進行控制的。



比例 (P) 控制

比例控制是一種最簡單的控制方式。其控制器的輸出與輸入誤差信號成比例關係。當僅有比例控制時系統輸出存在穩態誤差 (Steady-state error)。

積分 (I) 控制

在積分控制中，控制器的輸出與輸入誤差信號的積分成正比關係。對一個自動控制系統，如果在進入穩態後存在穩態誤差，則稱這個控制系統是有穩態誤差的或簡稱有差系統 (System with Steady-state Error)。爲了消除穩態誤差，在控制器中必須引入“積分項”。積分項對誤差取決於時間的積分，隨著時間的增加，積分項會增大。這樣，即便誤差很小，積分項也會隨著時間的增加而加大，它推動控制器的輸出增大使穩態誤差進一步減小，直到等於零。因此，比例+積分 (PI) 控制器，可以使系統在進入穩態後無穩態誤差。

微分 (D) 控制

在微分控制中，控制器的輸出與輸入誤差信號的微分 (即誤差的變化率) 成正比關係。自動控制系統在克服誤差的調節過程中可能會出現振盪甚至失穩。其原因是由於存在有較大慣性元件 (環節) 或有滯後 (delay) 元件，具有抑制誤差的作用，其變化總是落後於誤差的變化。解決的辦法是使抑制誤差的作用的變化“超前”，即在誤差接近零時，抑制誤差的作用就應該是零。這就是說，在控制器中僅引入“比例”項往往是不夠的，比例項的作用僅是放大誤差的幅值，而目前需要增加的是“微分項”，它能預測誤差變化的趨勢，這樣，具有比例+微分的控制器，就能夠提前使抑制誤差的控制作用等於零，甚至爲負值，從而避免了被控量的嚴重超調。所以對有較大慣性或滯後的被控對象，比例+微分 (PD) 控制器能改善系統在調節過程中的動態特性。

5、PID 控制器的參數整定

PID 控制器的參數整定是控制系統設計的核心內容。它是根據被控過程的特性確定 PID 控制器



雄展試驗設備有限公司

全國 24 小時免費服務熱線: 400 6655 830

<http://www.xionzhan.com> <http://www.xionzhan.net> <http://www.dgxiongzhan.com>

的比例係數、積分時間和微分時間的大小。PID 控制器參數整定的方法很多，概括起來有兩大類：一是理論計算整定法。它主要是依據系統的數學模型，經過理論計算確定控制器參數。這種方法所得到的計算資料未必可以直接用，還必須通過工程實際進行調整和修改。二是工程整定方法，它主要依賴工程經驗，直接在控制系統的試驗中進行，且方法簡單、易於掌握，在工程實際中被廣泛採用。PID 控制器參數的工程整定方法，主要有臨界比例法、反應曲線法和衰減法。三種方法各有其特點，其共同點都是通過試驗，然後按照工程經驗公式對控制器參數進行整定。但無論採用哪一種方法所得到的控制器參數，都需要在實際運行中進行最後調整與完善。現在一般採用的是臨界比例法。利用該方法進行 PID 控制器參數的整定步驟如下：(1) 首先預選擇一個足夠短的採樣週期讓系統工作；(2) 僅加入比例控制環節，直到系統對輸入的階躍回應出現臨界振盪，記下這時的比例放大係數和臨界振盪週期；(3) 在一定的控制度下通過公式計算得到 PID 控制器的參數。

PID 參數的設定：是靠經驗及工藝的熟悉，參考測量值跟蹤與設定值曲線，從而調整 P\I\D 的大小。

PID 控制器參數的工程整定, 各種調節系統中 P. I. D 參數經驗資料以下可參照：

溫度 T: P=20~60%, T=180~600s, D=3~180s

壓力 P: P=30~70%, T=24~180s,

液位 L: P=20~80%, T=60~300s,

流量 L: P=40~100%, T=6~60s。

書上的常用口訣：

參數整定找最佳，從小到大順序查

先是比例後積分，最後再把微分加

曲線振盪很頻繁，比例度盤要放大

曲線漂浮繞大灣，比例度盤往小扳



雄展試驗設備有限公司

全國24小時免費服務熱線: 400 6655 830

<http://www.xionzhan.com> <http://www.xionzhan.net> <http://www.dgxionzhan.com>

曲線偏離回復慢，積分時間往下降

曲線波動週期長，積分時間再加長

曲線振盪頻率快，先把微分降下來

動差大來波動慢。微分時間應加長

理想曲線兩個波，前高後低 4 比 1

一看二調多分析，調節品質不會低

這裡介紹一種經驗法。這種方法實質上是一種試湊法，它是在生產實踐中總結出來的行之有效的方法，並在現場中得到了廣泛的應用。

這種方法的基本程式是先根據運行經驗，確定一組調節器參數，並將系統投入閉環運行，然後人為地加入階躍擾動（如改變調節器的給定值），觀察被調量或調節器輸出的階躍回應曲線。若認為控制品質不滿意，則根據各整定參數對控制過程的影響改變調節器參數。這樣反復試驗，直到滿意為止。

經驗法簡單可靠，但需要有一定現場運行經驗，整定時易帶有主觀片面性。當採用 PID 調節器時，有多個整定參數，反復試湊的次數增多，不易得到最佳整定參數。

下面以 PID 調節器為例，具體說明經驗法的整定步驟：

【1】讓調節器參數積分係數 $S_0=0$ ，實際微分係數 $k=0$ ，控制系統投入閉環運行，由小到大改變比例係數 S_1 ，讓擾動信號作階躍變化，觀察控制過程，直到獲得滿意的控制過程為止。

【2】取比例係數 S_1 為當前的值乘以 0.83，由小到大增加積分係數 S_0 ，同樣讓擾動信號作階躍變化，直至求得滿意的控制過程。

【3】積分係數 S_0 保持不變，改變比例係數 S_1 ，觀察控制過程有無改善，如有改善則繼續調整，直到滿意為止。否則，將原比例係數 S_1 增大一些，再調整積分係數 S_0 ，力求改善控制過程。如此



反復試湊，直到找到滿意的比例係數 S1 和積分係數 S0 爲止。

【4】引入適當的實際微分係數 k 和實際微分時間 TD，此時可適當增大比例係數 S1 和積分係數 S0。和前述步驟相同，微分時間的整定也需反復調整，直到控制過程滿意爲止。

注意：模擬系統所採用的 PID 調節器與傳統的工業 PID 調節器有所不同，各個參數之間相互隔離，互不影響，因而用其觀察調節規律十分方便。

PID 參數是根據控制物件的慣量來確定的。大慣量如：大烘房的溫度控制，一般 P 可在 10 以上, I=3-10, D=1 左右。小慣量如：一個小電機帶

一水泵進行壓力閉環控制，一般只用 PI 控制。P=1-10, I=0.1-1, D=0, 這些要在現場調試時進行修正的。

我提供一種增量式 PID 供大家參考

$$\Delta U(k) = Ae(k) - Be(k-1) + Ce(k-2)$$

$$A = K_p(1 + T/T_i + T_d/T)$$

$$B = K_p(1 + 2T_d/T)$$

$$C = K_p T_d/T$$

T 採樣週期 Td 微分時間 Ti 積分時間

用上面的演算法可以構造自己的 PID 演算法。

$$U(K) = U(K-1) + \Delta U(K)$$

