

氣氛、感應、降浴 熱處理能力 工作訓練教材  
認識溫度自動控制之方式

編號：PMG-TAC0502

編者：林柏弘

審稿者：黃紹雄、張薰計

主辦單位：行政院勞工委員會職業訓練局

刊製單位：中華人民職業訓練研究發展中心

刊製日期：九十一年十一月

## 單元 PMG-TAC0502 學習指引

在你學習本單元前，假如你對工業用溫度計之種類及應用還不熟悉，請先放下本教材，先取出編號 PMG-TME0501 教材學習；若你認為已熟悉，則請翻至下一頁開始學習。

## 引言

在熱處理作業時，為了使工件依照標準處理作業溫度達到熱處理的效果，並減低人為控制不良因素的影響，使用溫度自動控制方式是最理想的方法。而本篇則是介紹學員認識自動控制方式，來達到熱處理作業所需求穩定的溫控效果。

## 定義

### 定值控制

目標溫度固定之自動控制方式，控制方式有 ON-OFF、PID 控制，使目標溫度保持在一定偏差量之內。

### 程式控制

依設計之升溫曲線作控制，曲線為時間與溫度之關係式。控制方式有 P、P+I、P+I+D、P+D 動作組合。

### ON-OFF 控制

以設定溫度為目標值，在此溫度目標值上下反應動作。

### PID 控制

以比例動作 (P)、積分動作 (I)、微分動作 (D) 互相組合的控制動作，有 P、P+I、P+I+D、P+D 動作組合。

## 學習目標

- 一、在參考本單元資料下，你能說出溫度自動控制之方式。

## 學習活動

本單元之學習活動包括相關知識及應用方法，而你對溫度自動控制方式的認識及學習上可由下列途徑去學習。

- 一、閱讀本教材之第 6 頁至第 20 頁。
- 二、閱讀下列參考書籍：
  - (一) 鄭超元編譯，1990 年，工業儀表，文笙書局，253~279 頁
  - (二) 羅瑞銘編著，1997 年，程序控制概論，全華科技圖書股份有限公司，175~214 頁
  - (三) 羅瑞銘編著，1989 年，控制實習（四），雙日文化事業無限公司，96~109 頁
  - (四) 黃振賢著，2000 年，金屬熱處理，文京圖書有限公司，314~319 頁

**本教材的第一個學習目標是**

在參考本單元資料下，你能說出溫度自動控制之方式。

## 溫度自動控制之方式

溫度的自動控制依其爐的種類及使用的加熱設備而有不同方式，但所有的控制目標只有一個，那就是「溫度」；但就溫度自動控制方式我們則可以下列說明來了解。

- 一、溫度定值控制之自動控制法：目標溫度固定之自動控制方式，控制方式有 ON-OFF、PID 控制，使目標溫度保持在一定偏差量之內。例如有一熱處理爐其設定保持爐溫為  $650^{\circ}\text{C}$ ，其控制裝置使爐溫保持在  $650^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  之間，稱之為「定值控制」。
- 二、溫度程式控制之自動控制法：依設計之升溫曲線作控制，曲線為時間與溫度之關係式。控制方式有 P、P+I、P+I+D、P+D 動作組合，可做多段之溫度控制如圖 1 所示之熱處理作業程序。

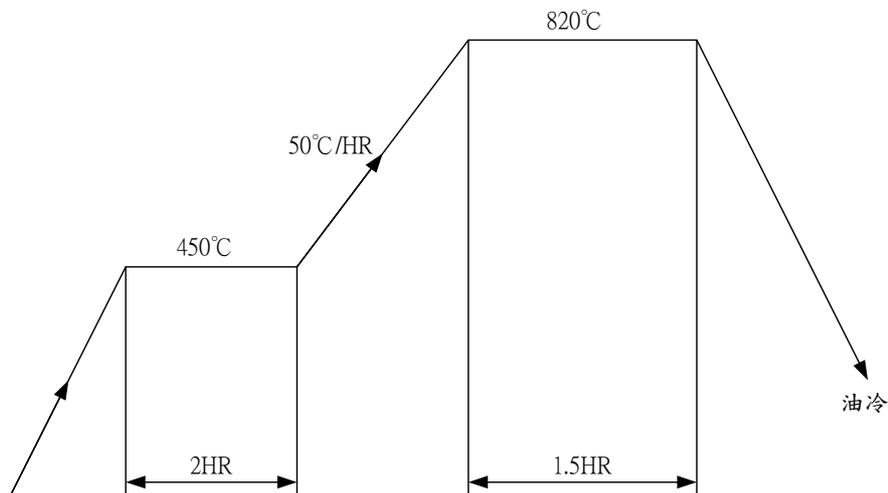


圖 1 熱處理作業程序升溫曲線

### 三、控制動作之說明：

#### (一) ON-OFF 溫度控制：（以下列例子說明）

使用設備：加熱爐、溫度開關、電磁開關（MC）、電熱棒

圖 2 為比較簡單型的加熱設備，僅需將溫度開關溫度設定在欲達到的溫度即可開始作業；其原理是利用物理原理，溫度開關的感溫棒受熱膨脹使開關設定接點閉或合來通知電磁開關通電控制電熱棒加熱。但溫度開關測溫範圍不大及感溫速度與精確度不佳，只適用於比較粗糙的控制方式。

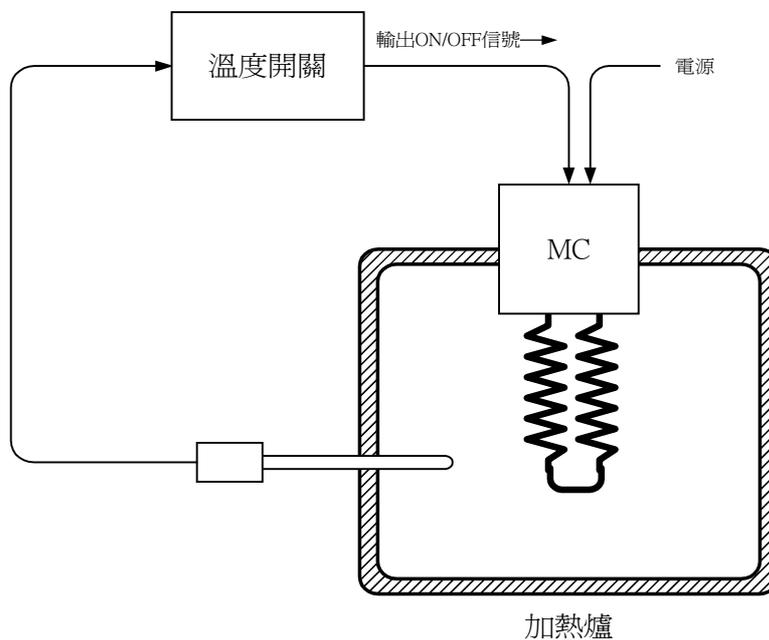


圖 2 加熱設備 (1)

若要做更準確的溫度控制則可將圖 2 更改為圖 3 的設備，使用感溫精確的熱電偶或測溫電阻及溫度控制器 (TIC) 來控制電磁開關作 ON-OFF 的控制動作，首先設定溫控器的設定點於目標值，當溫度低於設定點時 MC→ON 使電熱器加熱，當溫度高於設定點時 MC→OFF 使電熱器降溫。在溫度控制器 (TIC) 中可增加 ON 與 OFF 的時間比例來調整溫度傳導落差所造成的波浪曲線如圖 5 所示。(若沒有加時間比例其圖形如圖 4 所示)

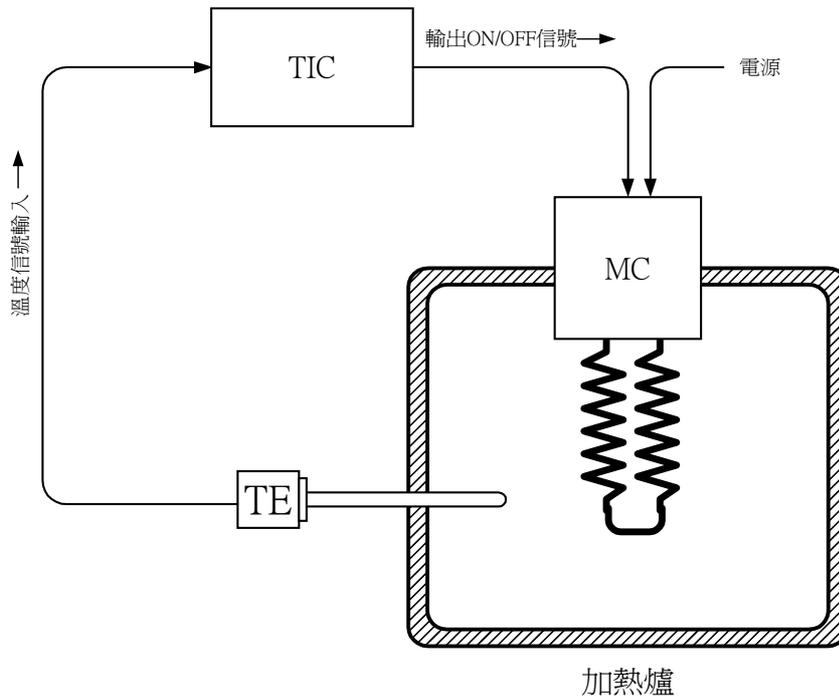


圖 3 加熱設備 (2)

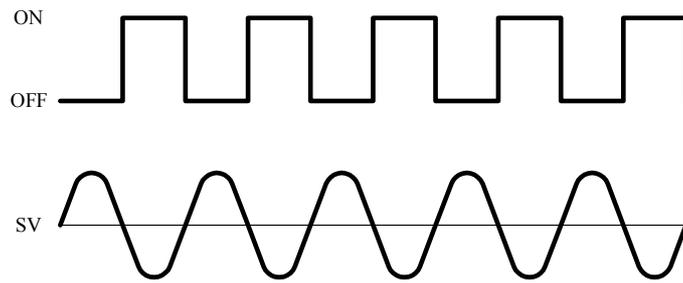


圖 4 無加時間比例

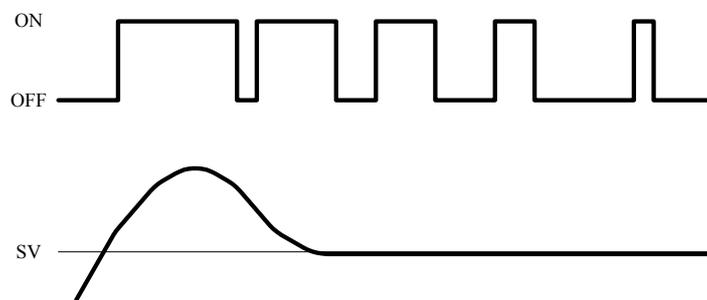


圖 5 有加時間比例

## (二) PID 程式溫度控制：

先解釋何謂 P 動作、I 動作、D 動作？

1. 比例動作 (P 動作)：為控制器最常用之動作，當我們設定一目標值或設定點 (SV：set value) 與控制器輸入的流程變數信號值 (PV：present value)，當  $PV=SV$  時則代表控制動作已達到目標，；若  $PV \neq SV$  時則  $SV-PV$  有一偏差量，依此偏差量來調整。輸出信號大小以達到所設定的目標值。可將其關係以一公式表示

$$y = K_p \times \varepsilon$$

$y$ ：控制器欲修正偏差量之信號。

$\varepsilon$ ：偏差量。

$K_p$ ：比例增益亦稱比例感度，控制器參數常以 Gain (G) 值表示。

若將  $K_p$  值倒數成為  $1/K_p$ ，其值以百分比表示稱為比例帶

$$1/K_p \text{ 值} = 1/G \text{ 值} = P \text{ 值}$$

若  $PV - SV$  等於正負 50% 時，輸出量從 0~100% 成比例變化（如圖 6），稱比例帶 100%（ $K_p=1$ ）；若  $PV - SV$  等於正負 25% 時，輸出量從 0~100% 成比例變化（如圖 1-1），稱比例帶 50%（ $K_p=2$ ）。

當  $SV > PV$  時控制量等於 100%、當  $SV < PV$  時控制量等於 0% 則相當於全開-全關的控制。

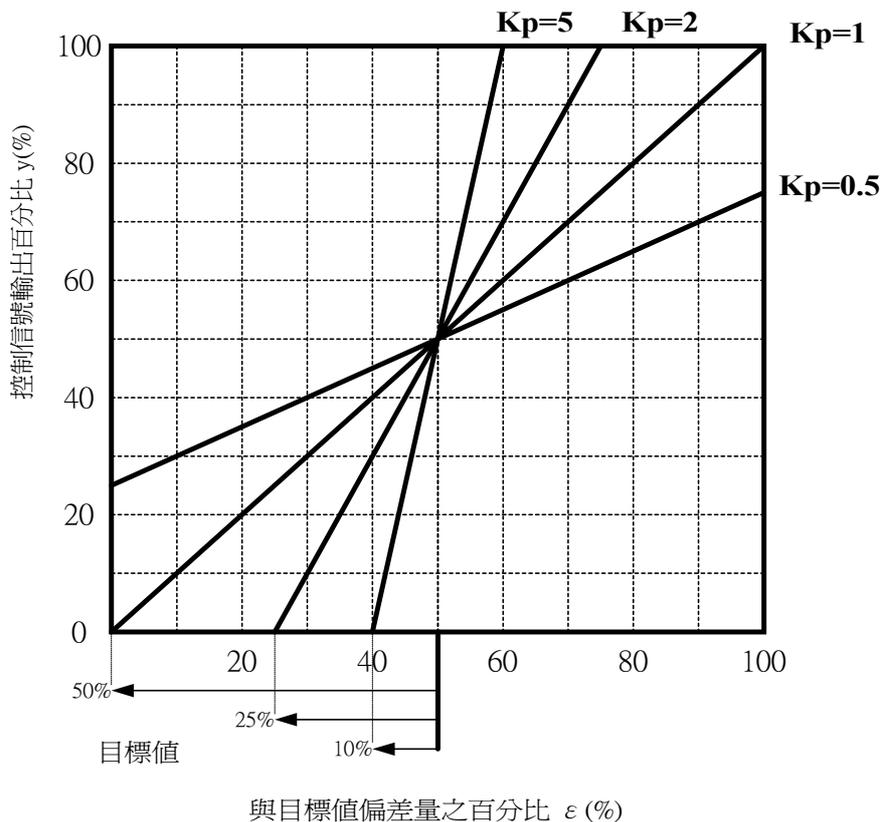


圖 6  $y - \varepsilon$  關係圖

(二) 積分動作 (I)：通常與比例帶 (P+I) (如圖 7 所示) 配合使用，在自動控制過程中因操作條件改變，而使 PV 偏離 SV 時，其偏差值以比例帶轉換成控制量，其控制量會因時間的變動而累積逐漸加大。例如溫度控制器控制矽控整流器 (SCR) 的電流，會因時間而累積加大或減小，將溫度拉回目標值即  $SP = PV$  時積分動作即刻停止。

積分 (I) = 重複一次控制量所需之時間 (單位為分鐘)

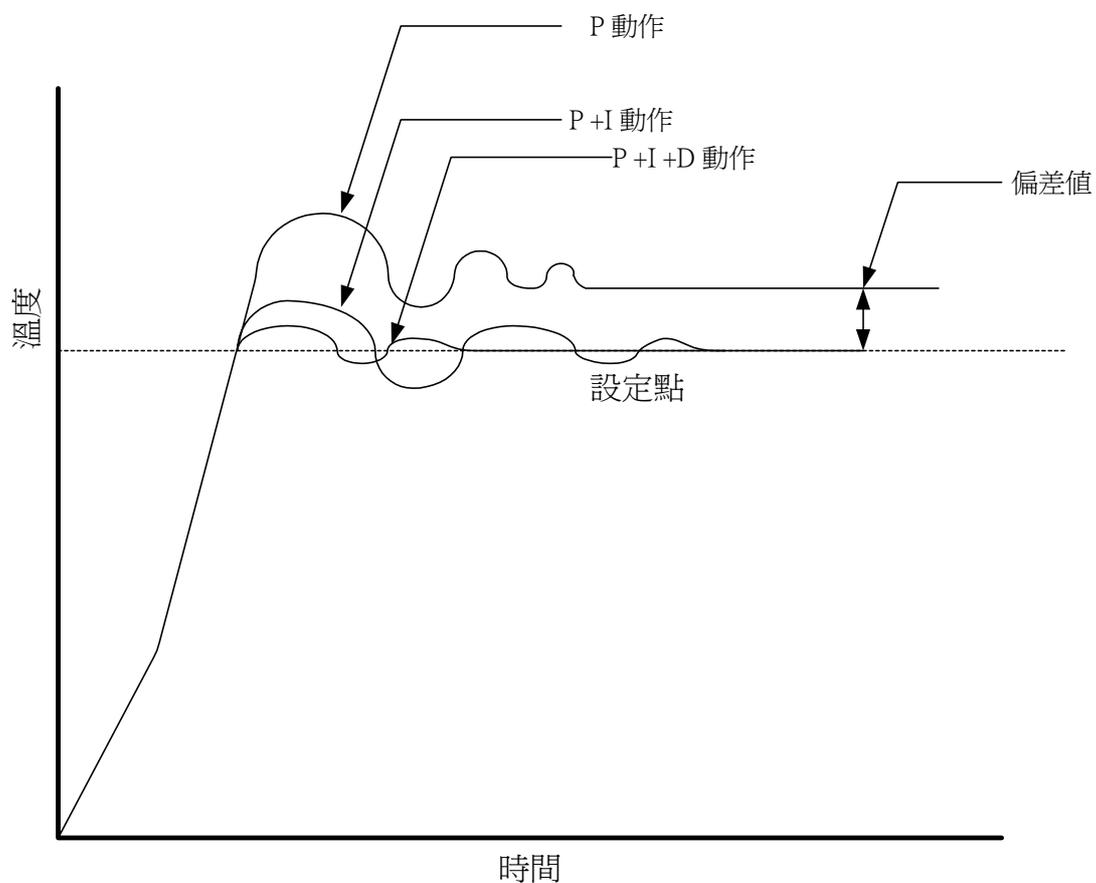


圖 7 控制動作溫控效果圖

(三) 微分動作 (D)：通常與比例帶 (P+D) 配合使用或比例+積分+微分 (P+I+D) (如圖 7 所示) 配合使用，微分動作為比例信號的微分值，對於傳導落後的流程變數 (如溫度檢出)，即時測得的溫度往往不是真正的現在溫度 (因為溫度還在導體中繼續緩慢上升中)，因此不易以即時值作適當的 P+I 控制，必須配合微分動作加以控制以求更快更精確的控制結果。微分動作為事先預測達到設定點所需的控制量，並在瞬間作較大的輸出後，再以微分時間 TD 逐漸拉回以減少因傳導落後所造成之控制偏差。微分時間 TD 愈大微分動作愈強，愈小微分動作愈弱。

在了解 PID 解釋後，現在則以下列例子說明：

使用設備：加熱爐、溫度控制器 (TIC)、溫度計 (熱電偶或 RTD)、矽控整流器 (SCR)、電熱棒

圖 8 為可執行溫控變化的加熱設備，利用溫度計量得的溫度信號送入溫控器判斷後，送出控制信號通知矽控整流器 (SCR) 調整電流出力大小，電流大時電熱器加熱效果強，電流小時電熱器加熱效果弱，依此來控制溫度達到設定點，而控制的精確性及穩定性則可透過溫度控制器 PID 的良好設定來達成。通常使用的控制動作有 P 動作、P+I 動作、P+I+D 動作其動作原理則如前述所示，依所需要選擇其動作方式。

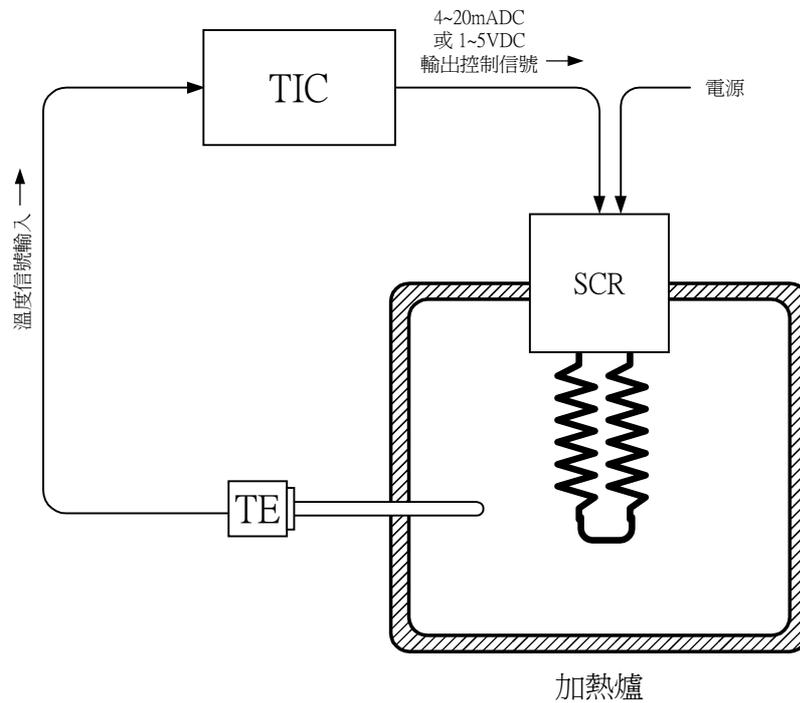
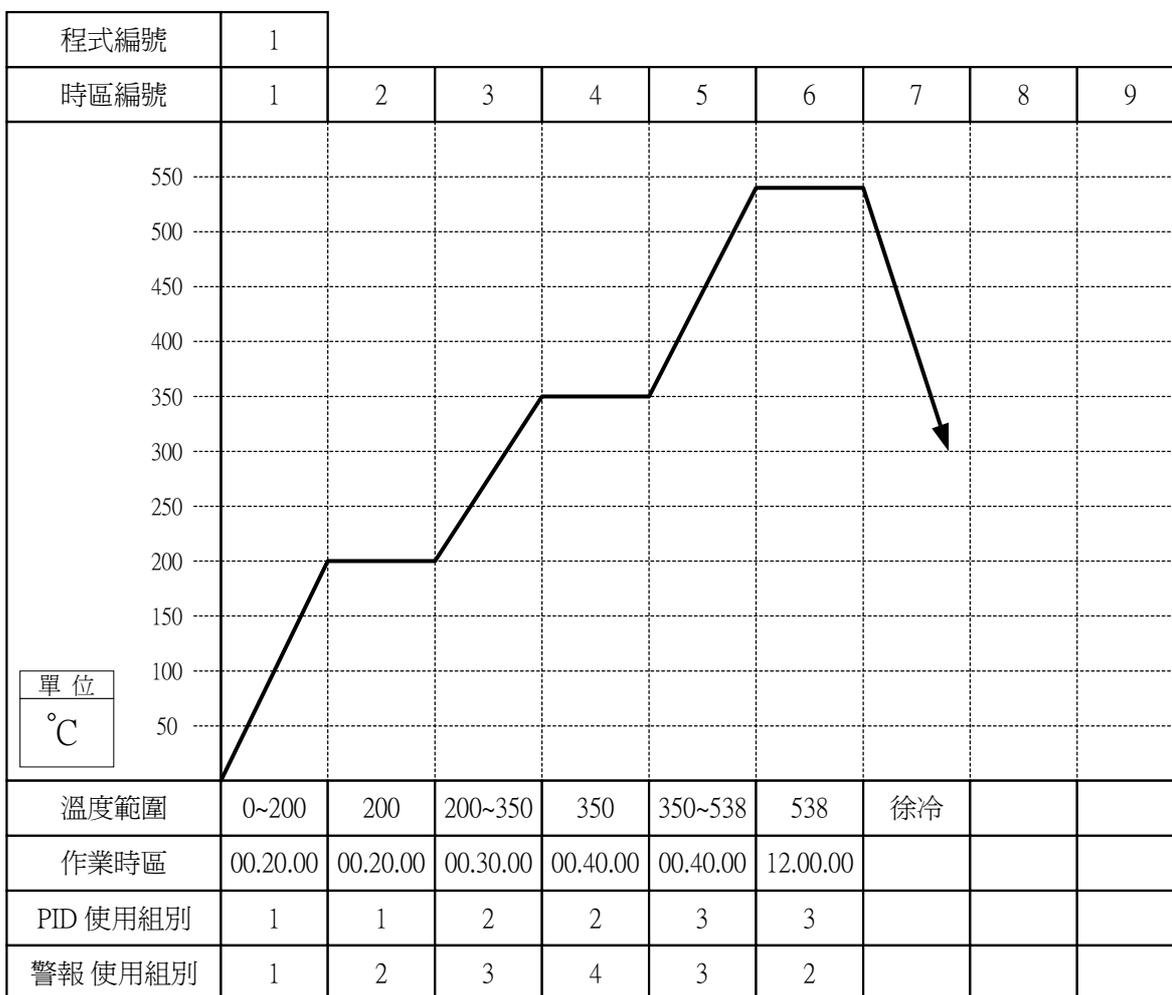


圖8 加熱設備 (3)

若使用功能較強的控制器可做程式控制，可設定好幾組的升溫、保溫、降溫參數，而要使用較複雜的控制曲線時，筆者則建議事先繪製熱處理作業的溫度曲線圖及控制器的參數設定，如此能更加清楚表示出來也不易造成錯誤。（實用舉例如表1）

至於PID數值之最佳設定雖非操作人員須了解的範圍，於後說明之章節僅供參考或提供給有興趣人員研究之用非本單元之重點。

表 1 熱處理作業控制設定表



PID 設定表					警報 設定表					
PID No.	1	2	3	4	Alarm 1	高點偏差值警報				
P(%)	2	3.5	5	4	Alarm2	低點偏差值警報				
I(sec)	250	250	500	520	Alarm No.	1	2	3	4	5
D(sec)	50	60	100	120	Alarm 1	15	10	8	5	
					Alarm2	10	10	8	5	

#### 四、如何求出最佳的PID 參數設定

在自動控制系統中，要求得系統變數穩定的控制，儀器操作人員往往需在控制儀器設定參數，而影響控制之穩定度則與 PID 設定適當與否有很大關係，若求得穩定的控制不但可使工件處理品質精準，加工件不易傷害設備並延長使用壽命。而目前經常為人使用 PID 設定的方法有 一. 臨界感度法、二. 反應曲線法，是由 Ziegler 及 Nichols 氏所發展出來。

例舉下列設備器材來實際操作計算 PID 數值 請參考裝置圖（圖 9）

需求設備器材：

1. 溫度控制器
2. 溫度檢出裝置
3. 溫度記錄器
4. 加熱爐及加熱控制裝置

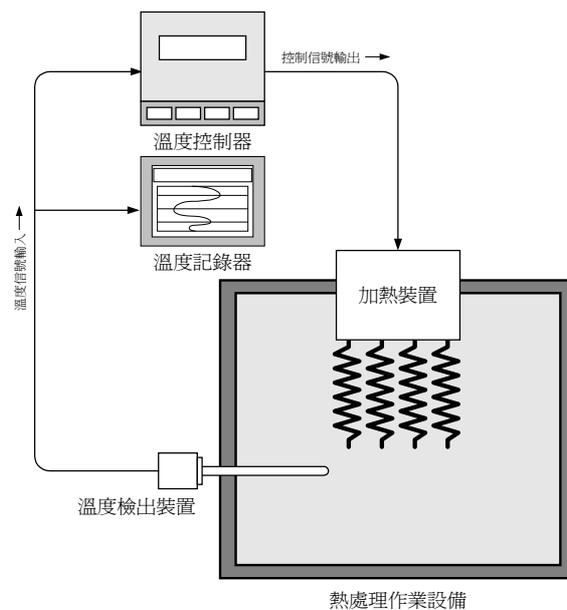


圖 9 設備裝置圖

(一) 臨界感度法 (或稱極限週波法, PID 最適值調整的結果溫度變化曲線符合 1/4 振幅衰減標準如圖 10, 最後之溫度控制點會穩定在目標值之直線上。)

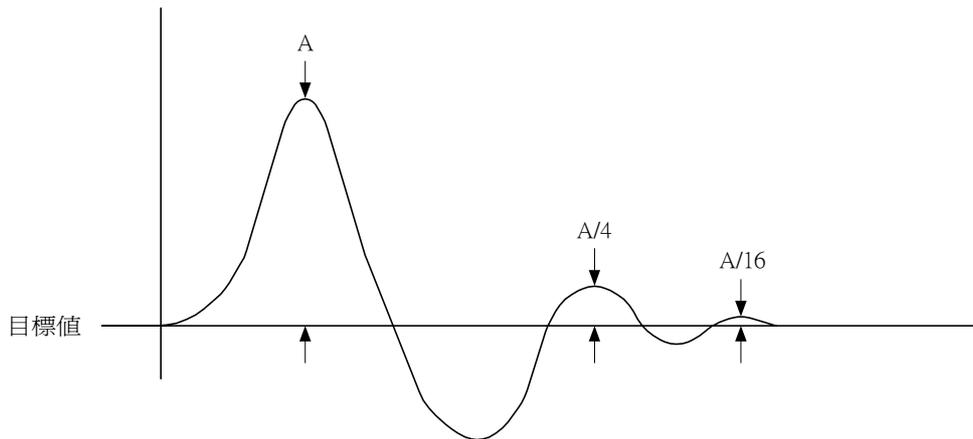


圖 10 1/4 振幅衰減標準

PID 最適值之測試步驟如下：

1. 設定控制器目標值，例如：300°C。
2. 設定 P、I、D 參數，Gain 值開始設定為 1 (若為 P 值則為 100 %； $P=1/G$ )；TI=最大值、TD=最小值 (即積分、微分動作停止)。
3. 手動升溫到 300°C，控制器切至 AUTO 位置，使控制器自動運作。
4. 逐漸調大 Gain 值直到發生波動，此時 Gain 之值設為  $P_{Gu}$ 。
5. 量測曲線一週期所需時間為多少，此時之值設為  $T_u$ 。
6. 利用表 2 的公式計算控制器的 PID 設定值。

7. 若求得之 PID 數值輸入所控制記錄之反應曲線未符合需求；例如所求為  $300^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  但實際為  $300^{\circ}\text{C} \pm 6^{\circ}\text{C}$  則未達標準。
8. 將之前控制器計算所得之 Gain 值重新設為  $PG_u$ 。
9. 量測第一次計算輸入控制所得之反應曲線週期所需時間之值設為  $T_u$ 。
10. 重新帶入公式計算，再輸入控制器運作。
11. 若所求之記錄曲線仍無法達到所求，則繼續再重複步驟計算。

表 2 PID 參數設定表

控制模式	P	PI	PID	PD
Proportional Gain (PG)	$0.5PG_u$	$0.45PG_u$	$0.6PG_u$	$0.71PG_u$
Integral (TI-minutes)	×	$0.83T_u$	$0.5T_u$	×
Derivative (TD-minutes)	×	×	$0.125T_u$	$0.15T_u$

## (二) 反應曲線法

步驟如下：

1. 將控制器設定為手動。
2. 手動輸入更改一目標值（若為閥開度可增加5~10%）。
3. 此時觀察記錄器反應曲線趨於平穩為止。（如圖11）
4. 求出圖11  $\Delta C$  及  $L$  之值。（ $\Delta C$  可由切線斜率 $\times L$ 來求得）
5. 計算： $PG_u = 2 \times (\Delta V / \Delta C)$ ； $\Delta V =$ 所增加之變化量、 $Tu = 4 \times L$   
帶入表2即可求出PID之值。

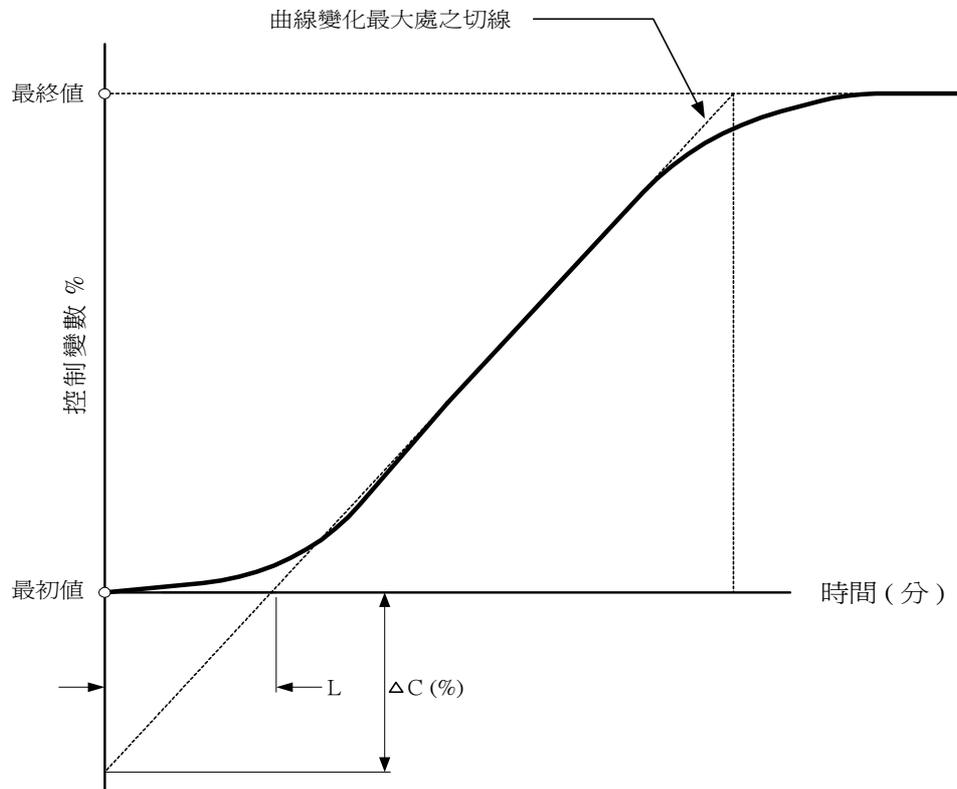


圖 11 反應曲線圖

## 【範例一】

有一熱處理爐使用溫度控制器來控制溫度變化，當  $Tl = \max$ 、 $Td = \min$  時，逐漸增加比例增益值直到發生波動；此時 Gain 值為 5，由記錄器得知週期為 15 分鐘，試利用臨界感度法來求 PID 之適當設定值？  
(採用 P+I+D 控制法)

$$PG_u = 5 \cdot Tu = 15 \text{ 分}$$

帶入表 2 的公式

$$PG = 0.6PG_u = 0.6 \times 5 = 3$$

$$TI = 0.5Tu = 0.5 \times 15 \text{ 分} = 7.5 \text{ 分}$$

$$TD = 0.125Tu = 0.125 \times 15 \text{ 分} = 1.875 \text{ 分}$$

## 【範例二】

有一自動控制系統，設定在手動狀態下，快速改變控制閥位置 5% 開度，此時發生如圖 11 之曲線，並求出  $\Delta C=10\%$ 、 $L=5$  分鐘用反應曲線法來決定 PID 之適當設定值？

(採用 P+I+D 控制法)

$$\Delta C=10\%$$

$$L=5 \text{ 分鐘}$$

$$\Delta V=5\%$$

$$PG_u=2 \times (\Delta V/\Delta C) = 2 \times (5\%/10\%) = 1$$

$$Tu=4 \times L=4 \times 5=20 \text{ (分)}$$

帶入表 2 的公式

$$PG=0.6PG_u=0.6 \times 1=0.6$$

$$TI=0.5Tu=0.5 \times 20 \text{ 分}=10 \text{ 分}$$

$$TD=0.125Tu=0.125 \times 20 \text{ 分}=2.5 \text{ 分}$$

## 學後評量

請參閱資料或書籍，求出下列各題之正確答案。

### 一、是非題

- 1. 溫度 PID 控制模式有 P、P+I、P+I+D、P+D。
- 2. 溫度自動控制方式有定值控制及程式控制。
- 3. ON-OFF 動作可用於定值控制。

### 二、選擇題

- 1. ON-OFF 溫控動作適用於那種控制方式？ (1)程式控制 (2)比例控制 (3)定值控制 (4)追值控制。
- 2. 可以把 P 動作的殘留偏差值修正的動作為？ (1)P (2)PI (3)I (4)D 動作。
- 3. 溫度自動控制所稱 I 為？ (1)開關 (2)比例 (3)微分 (4)積分動作。

### 三、問答題

(一) 簡述溫度自動控制方式定值控制及程式控制。

(二) 簡述溫度自動控制 PID 有那些動作方式？

**學後評量**

自我評量表

題 別	每 題 分 數	答 對 題 數	得 分	備 註
是非題	5			答錯不倒扣
選擇題	5			答錯不倒扣
問答題	35			
合 計				評等：

評等標準：A=90 分以上、B=80 分以上、C=70 分以上、D=60 分以上、E=60 分以下。

**教師評量**

教師評量表

評 量 項 目	評 分	百 分 比	得 分	備 註
學後評量得分		80%		
學習態度		20%		
合 計				評等：

若你獲得 A、B 評等，請繼續下一個單元；若為 C、D 評等，建議自行溫習本單元一次；若為 E 評等，請從頭依序再學習本單元一次。

## 參考書目

- 一、鄭超元編譯，1990年，工業儀表，文笙書局
- 二、羅瑞銘編著，1997年，程序控制概論，全華科技圖書股份有限公司
- 三、羅瑞銘編著，1989年，控制實習（四），雙日文化事業無限公司
- 四、黃振賢著，2000年，金屬熱處理，文京圖書有限公司