

科學圖書大庫

工業過程之自動控制(二)

溫度、壓力和流量測量

編譯者 王洪鎧

徐氏基金會出版

73  
9

科學圖書大庫

工業過程之自動控制(二)

溫度、壓力和流量測量

編譯者 王洪鎧

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

中華民國六十八年七月十日二版

## 工業過程之自動控制(二)

溫度、壓力和流量測量

基本定價 1.40

編譯者 王洪鎧 中興電機公司工程師

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)局版臺業字第1810號

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

發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第15795號

承印者 千信照相製版有限公司 台北市環河南路2段90巷5弄4號  
電話：3061276

# 編譯者序

早期的手工業時代，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雖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”其第一冊已出版，著重在說明美國Honeywell公司工業儀器之介紹，與其基本之作用原理，本冊為第二冊，以Thomas Rhodes及Grady C. Carroll二氏所著之“Industrial Instruments for Measurement and Control”為藍本，並參考及取材於William G. Andrew氏所著之“Applied Instrumentation in the Process Industries”，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、及流量所用之工業儀器，和它們在自動控制系統上的組成與配置，作一番講解述敘。第三冊正編譯中，準備把自動控制理論、自動控制機構，和級位與界面測量及控制等作一研討。第四冊則偏重在電子儀器，各種分析性測量，以及比重測量等的講述。並計畫陸續添加各種新穎資料而為陸續之出版。各書均以訓練和教育用為目的，亦可作為專業人員之在職進修與參考用。希望能在吾國進入現代化工業國家之際，拋磚引玉，略盡綿薄，尚祈博雅君子不吝指教。

王洪鑑 敬識

民國六十七年元旦日

# 目 錄

## 編譯者序

## 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—未知壓力對抗—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  
比較…………… 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

## 工業過程之自動控制(三)一自動控制機構

### 第七章 自動控制理論

熱交換遲後之定義

因應過程與反應遲後的控制器機  
構型式

### 第八章 使用不同控制機構上的過程 特性

控制機構

控制問題的一般討論

過程特性之數學分析

### 第九章 自動控制閥特性

節流閥特性

流量控制

流量比控制

### 第十章 液位和界面測量與控制

浮子排量型元件

電氣接觸型指示器

壓差型儀器

電容探針型元件

液體界面

### 第十一章 自動控制機構

自動操作控制機構

溫度控制

壓力調整器

伺服操作控制機構

氣動控制器機構

## 工業過程之自動控制(四)一控制器與分析測量

### 第十二章 電動與電子控制器

電動控制儀器

電子控制儀器

### 第十三章 比重測量元件

液體比重

管式浮子排量型元件

伽瑪線型元件

氣體比重

浮子型元件

### 第十四章 分析測量

層析計

紫外線分析器

紅外線分析器

比色計

熱傳導分析器

折射計

氧分析器

pH 測量

濕度和露點感測器

氣體和液體樣品中之水份

固體中之水份

混濁度分析器

稠度測量儀器

分子量分析器

傳導度分析器

# 介 紹

所有的過程控制環 ( Process Control loop ) 包含如下的四部份：

- a. 感測元件 ( measuring elements )
- b. 控制器 ( controllers )
- c. 最後控制元件 ( final control elements )
- d. 監察硬體 ( supervisory hardware )

感測元件用以感測過程中的物體，並發出一對應的輸出信號。控制器則將此輸出信號與預先置定值 ( set-point ) 加以比較，產生一控制信號以求反對或消除二者間任何的偏差。而最後控制元件即受控制信號的大小去調整過程，如將一閥的開口，或泵速率加以改變等，以使被控制下的過程物體能返回到原來的預先置定值上。在現代化的工廠內，控制器的置定值或置定點並不是由操作人員個別來決定，而是經由電腦計算後而得出，以使在最經濟的狀況下獲得品質最高的優良產品。

上述任何控制環中的四個基本部份，最重要的就是感測元件。所以本書中除了首先講述感測原理與測量上的精確性外，然後才談到控制器的構造，以及介紹一些常用的各大廠商的有關產品，以符實際。

## 測量精確度

測量上之誤差為在一物理變量上指示值與實際值之差量。我們已知在所有的物理測量上多少含有誤差，此不精確的來源至少有三種型式：

- a. 用以刻劃偵測器 ( detector , 或稱檢出器 ) 尺度之參考標準的精確限制程度。

## 2-2 工業過程之自動控制(一)溫度、壓力、和流量測量

b. 所包括之物理量之大小，要偵測之物理量愈小（例如極高度真空），在讀數上之誤差百分比愈大。

c. 感測器之誤差。

上述的前二項不需再作進一步的討論，但是最後一項感測器之誤差值得作更詳盡的檢討，它們會受如下諸因素的影響。

a. 周圍效應。

e. 騷擾。

b. 老化。

f. 可續性。

c. 摩擦。

g. 時間遲後。

d. 相互作用損失。

h. 傳遞。

周圍效應代表一嚴重的誤差來源，特別是那些以大氣作為參考值的儀器。如周圍空氣之溫度、濕度，與壓力有所變動時，就能影響讀出值。例如周圍空氣溫度起了變化，就影響了儀器內的彈簧常數，充填液體體積及電器電阻，還有其他的效應等。

老化指磨損或撕裂，尤指磁性及彈性之減弱，化學變質，電阻改變等。

所有的感測器含有活動部份者自動的會由於摩擦、慣性、遲滯等而喪失其精確度。

當操動偵測器（檢出器）的能量來自過程流體，能夠影響測量之大小。同樣的，如果感測器（sensor）被一外來能源所操動，過程變量值能夠被此能量所改變。

一信號不輸送有用的消息，但包括許多外來的干擾（無意義的或有系統的）者稱為騷擾（noise）。騷擾可來自過程本身，感測元件，傳遞系統或讀出器具上。

另外一項顯著的誤差來源是觀察者對近乎等量間分辨能力之限制。譬如在閱讀曲線圖或圖表時之目視誤差，如果他在讀出指示時目光不在紀錄器或指針的正上方，那麼讀出的數值就不精確，會產生視差誤差（Parallax error）之故。

又一項誤差來源包括儀器所測量者大都不是在靜止狀態下的過程狀況，而是過程物體中有動力的狀況下去測量，因之儀器本身的慣性，敏感性與時間反應將在時時瞬間的測量中引入誤差。在快速動作的



控制環中，偵測的時間遲後變成了無論在安定性上和控制品質上，一種重要考量的因素。

最後一項主要的誤差來源是信號傳遞頻道的本身。自偵測器送到遙隔讀出器的傳遞信號，由於衰減，或在通信頻道中被吸收而造成損失。它也會被傳遞頻道予以畸變或延遲。

一些上述的誤差來源趨使產生系統的（持續重覆）誤差。諸如老化、相互作用、可讀性、時間遲後，及傳遞損失等。系統的誤差來源較之一無意義的（random）誤差來源更易於隔離及消除。無意義的誤差來源包括周圍效應，摩擦及騷擾。

## 變量及測量信號

一種變量（variable）是指任一種現象，但不在穩定狀態下，而是持續不定的改變其狀態者。同樣的過程變量可以利用許多的物理變化來看出其結果上的改變。譬如一溫度的改變能在一雙金屬片上產生差別的膨脹；也能在一熱偶上產生一電動勢；或在一充氣的摺箱中產生壓力；或使一水銀溫度計中的水銀體積膨脹而使汞柱上升。

以下為一些能測得之物理變量，而可直接或間接測量過程之變量者。

加速度	密度	位置
可聽聲音	度元	壓力
卡路里值	排量	輻射熱
電容	延性	減低
化學組成特性	電氣量	反射
顏色	焓	電阻
可燃含量	熵	形狀
壓縮性	質量	比重
傳導性	含水份量	比熱
（如電傳導性，熱傳導性）	力矩	分光鏡的組成
濃稠度	核子輻射	速度
結晶特性	氧化	溫度
電流	pH 濃度	膨脹

## 2-4 工業過程之自動控制(二)—溫度、壓力、和流量測量

爆炸性	紅外線	黏度
流率	液位	可見光線
力	張力	電壓
頻率	厚度	體積
光澤	時間	重量
硬度	轉距	超聽聲音
濕度	混濁度	紫外光
阻抗	真空	
感應	速度	

表列的物理變量的改變，在許多情況下可以轉換成一些其他變量的改變，以直接作動一讀出機械，或在一傳達機（發送機）中再轉換成一傳遞信號。譬如一液壓水頭式的密度感測器即為一例。

在過程中，密度的改變轉換成差壓的改變，可任為作動一讀出機或在一傳達機（發送機）中再轉換以產生一氣動或電子的傳遞信號。

實際上，實用的測量信號數量遠較少於物理的變量數量。一些測量信號與其典型的應用列表如下：

- 電流（電子傳達機）
- 力〔力平衡偵測器（檢出器）〕
- 頻率（輪機或排代流量錶）
- 阻抗（電子感測器）
- 光或電子束位移（示波器，電流計）
- 液體排代（氣壓計，溫度計）
- 位移（位移平衡感測器）
- 壓力（氣動傳遞，液體充填毛細元件）
- 脈衝期間（遙隔測定）
- 脈衝電碼（計算機，資料紀錄器）
- 伏特（電位計）

換能器的發展能將許多種的物理變量轉換成可測量及可傳遞的信號。當然，仍然有很多的物理變量迄未發明出適當的換能器，以將這

些變量的改變轉換成可測及可讀的信號，在這方面我們也希望讀者能多下工夫研究，以發展出適用的換能器（transducer）。

# 定 義

在工業過程自動控制範疇裏，免不了有許多專門的名詞述語，它們各代表某一特定的意義。現在讓我們把常用的名詞敘述如下，以備讀者作研讀以後資料之參考。

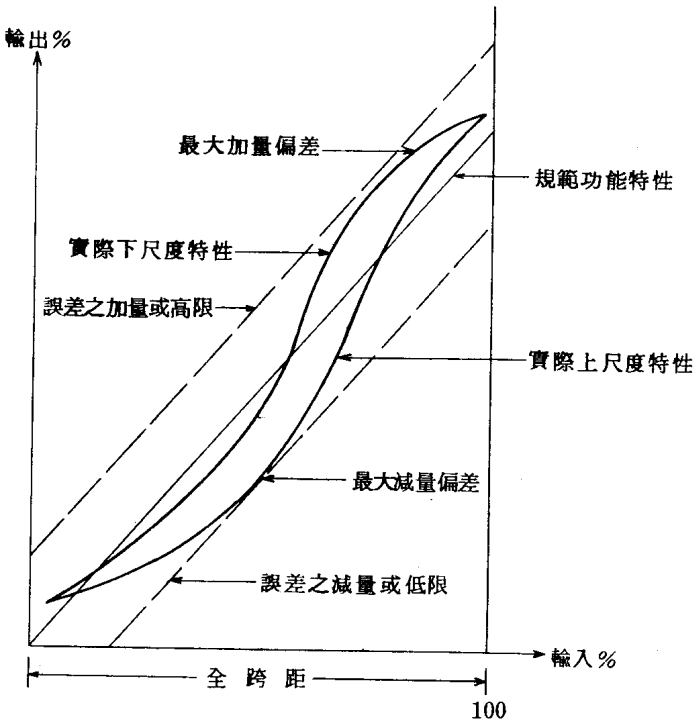


圖 1 精確度

**精確度 ( Accuracy )** 一過程性質的示出值可能與其真實值在一限制範圍內有所差異。一般以全尺度的百分比來表示。(例如：一 0-100 GPM 範圍的流量的士 1% 全尺度精確度，意指無論在流量為 100 GPM 或 10 GPM 時，指示的準確性有士 1 GPM 的差異。精確度包括遵從性、遲滯性、和重覆性誤差。(見圖 1。)

**空氣消耗 ( Air Consumption )** 當在穩定狀態的信號狀況下，一器具在其操作範圍內，所消耗的最大空氣率。

**警號 ( Alarm )** 一器具當在異常狀況的信號下，能夠發出可見之辨別現象，或可聽聞之辨別現象，或二者均發出，以吸引人員之注意者。

**分析器 ( Analyzer )** 一不需照管的儀器，能夠持續監查一過程中，一或多項之化學組份者。

**衰減 ( Attenuation )** 在兩點之間，或兩頻率之間，在信號振幅上之減少。

**儀錶盤 ( Board )** 一構造上安裝了一組儀錶，而每種儀錶或儀器有其特定之功能者。儀錶盤上能包括一或多個分盤，儀錶盒、儀錶桌、或儀錶架等。

**儀錶安裝 ( Board-Mounted )** 一應用在儀錶上的名詞，當儀錶或儀器在安裝時應能在正常使用下，操作人員易於接近者。

**電容 [ Capacitance ( Electrical ) ]** 一種能夠聚積電能荷量的特性。其大小係決定於在一指定電位差下，能夠貯存入多少的電荷量。

**電容抗 ( Capacitive Reactance )** 一交流電路上阻抗的一部份，係由於電容所產生。它等於電流的角頻率乘以電容的倒數，並以歐姆作單位表示。

**補償溫度範圍 ( Compensated Temperature Range )** 在某溫度的範圍內感測器被補償，使在所設定的限制內維持跨距及零度平衡者。

**計算繼電器 ( Computing Relay )** 一繼電器 (電驛)，能夠作出一或多種計算，或邏輯上的功能，或二者兼俱者，並送出一或多

## 2-8 工業過程之自動控制(一)溫度、壓力、和流量測量

種的結果輸出信號。

電導〔Conductance (Electrical)〕 一物質導電的能力，以施加的電動勢與所發生的電流之比測量之。

遵從性(一曲線的)〔Conformity (of a curve)〕 相似一特定的功能曲線之接近程度。(例如對數曲線、拋物線、立方拋物線等。)見圖2。

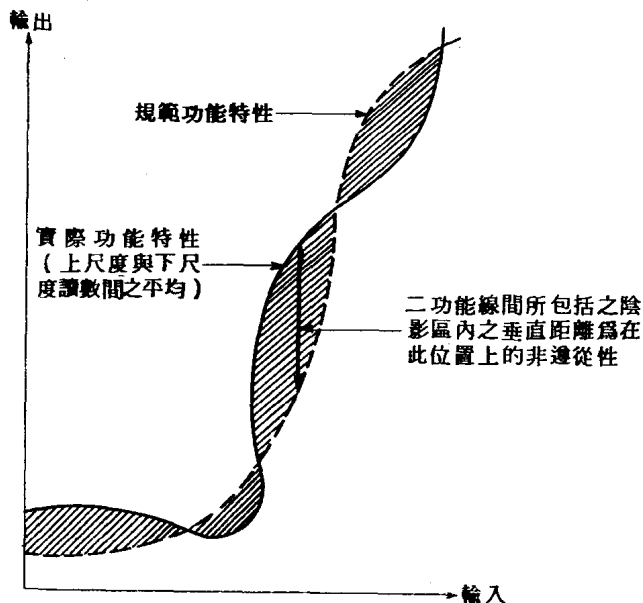


圖2 - 遵從性

控制器 (Controller) 一控制器具，它的輸出可以變動，以維持一控制變量在一特定值或在一特定限制內，或使變量在一特定的方式下轉變。

控制模式 (Control Mode) 使一控制器抵制自置定點發生偏差的方式。

控制站 (Control Station) 一人工的裝填站，也提供一控制環中，人工和自動控制模式間的開關行爲，也可稱之爲一自動和人

工站，以及一自動選擇站。

**控制閥 ( Control Valve )** 一壓力散逸器具，可操縱一或多個過程流之流動。

**轉化器 ( Converter )** 一器具接收一以儀器信號形式的消息，改變消息的形式，並送出一結果的輸出信號。一轉化器是一特別形式的繼電器。它同時也能稱之為換能器，雖則換能器為一種普通名詞，也不止只用在信號的轉化上。

**阻尼 ( Damping )** 當一輸出經歷一可測信號的改變後，其值減落到其穩定狀態下之值的方式。當對一突發性刺激的時間反應足夠快且不會過度時，其反應被認為是被“臨界阻尼”；當過度發生，就需要“不足阻尼”；而當反應較慢於臨界時，則需要“過度阻尼”。

**寂靜帶 ( Dead Band )** 是一個輸入信號能夠變動，但不致觸發起反應作用的範圍。寂靜帶常以跨距的百分比表示之。分解敏感性和終極敏感性被定義為一半寂靜帶。當輸出在寂靜帶的中心，它們指示出去觸發反應在所需測量上的最小變化。

**下游 ( Downstream )** 儀器的輸出側。

**漂移 ( Drift )** 在輸出上歷經一段時刻的不意欲變動，它的改變與輸入，工作狀況，或負荷並無關係。在固定的輸入及工作狀況下，漂移常以在輸出上歷經一指定時刻的變動量來表示。

**洗提 ( Elute )** 沖洗出法或靠溶解法去除清某一物質。

**誤差 ( Error )** 失誤的程度能確實由一過程變量的大小表示，或者是一過程變量的真實值和示出值之間的差別量。一正值的誤差代表儀器的指示較大於真實值。

**最後控制元件 ( Final Control Element )** 在一控制環中，能直接操縱變量使其改變量值的器具。

**閃蒸點 ( Flash Point )** 為一最低溫度，在該溫度時，一液體在其液面上能揮發足夠的蒸氣，形成可燃性的蒸氣空氣混合體。

**功能 ( Function )** 一器具的動作表現之目的。

**遲滯性 ( Hysteresis )** 在一特定過程特性值的測量信號差量，當自一零負荷首先接近該差量，然後自全尺度接近時。見圖 3。

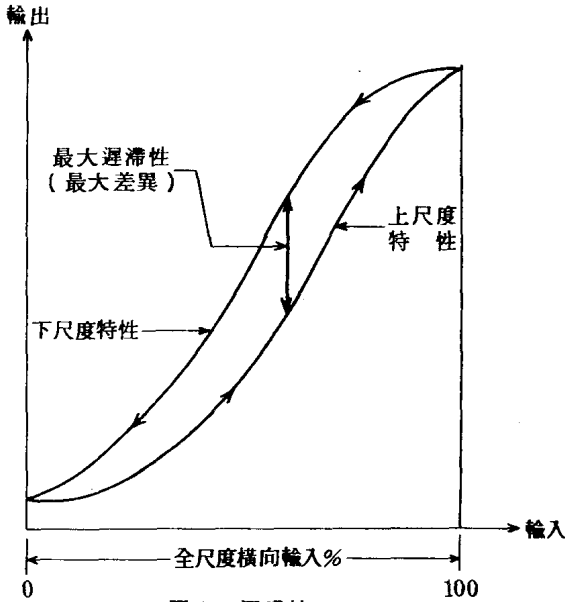


圖 3 遲滯性。

百分比遲滯 =  $(100 A) / (B)$  其中：A = 測量信號在開始校準時於增加行程或減少行程間的最大差異。及 B = 在全尺度的測量信號。

識別 ( Identification ) 依字母或數碼的順序來標定一個別的儀器或控制環。

浸入長度 ( Immersion Length ) 由感溫球或護管井套的自由端量起，到浸入媒介體表面上之一點止的長度，而該媒介係欲測量其溫度者。

阻抗 ( Impedance ) 對於交流電流，電路上所呈現的總反對力。它包括電路中電阻的平方與電抗的平方和，再加以開方所得之值，以歐姆作單位。

感應 ( Inductance ) 交流電路的特性之一，在電路中的交流產生交變的磁場，而該磁場又會在同一的電路上，或其鄰近的電路上，又感應出一個電動勢。它以亨利 ( Henrys ) 作單位。



**感抗 ( Inductive Reactance )** — 交流電路中阻抗的一部份，這部份是由感應所造成。它等於電流的角頻率。乘以自感應，並以歐姆表示之。

**儀器 ( Instrument )** — 一器具直接或間接法測量或控制一變量，或二種功能均俱。本名詞包括控制閥、釋壓閥、及電氣器具如電動喚人裝置，及按鈕等。本名詞不適用於零件，如一接收摺箱，或一電阻等，因為這些屬於儀器內的構組件。

**儀器法 ( Instrumentation )** 儀器之應用。

**干涉，普通模式 ( Interference , Common Mode )** 在測量電路終端和地之間，所出現的一種干涉形式。

**干涉 ( 電的 ) [ Interference ( Electrical ) ]** 任何由外界來的擬似的電壓或電流，出現於一器具的電路中者。

**干涉，靜電場 ( Interference Electrostatic Field )** — 電器的電路上由於存在一靜電場，誘導出一種干涉的形式。它可能在測量電路上出現一種普通模式或通常模式的干涉。

**干涉，磁場 ( Interference , Magnetic Field )** — 電器的電路上由於存在一磁場，誘導出一種干涉的形式。它可能在測量電路上出現一種普通模式或通常模式的干涉。

**干涉，通常模式 ( Interference , Normal Mode )** 一種呈現在測量電路終端間干涉的形式。

**線性 ( Linearity )** 線性之定義為自一直線之最大偏差，而此直線係連接於在零負荷下之測量信號值及在額定負荷下之測量信號值者，見圖 4。

非線性百分比 =  $( 100 A ) / ( B )$  其中：  $A$  = 自上述直線之最大漸擴。  $B$  = 全尺度測量信號之值。

**局部 ( Local )** — 儀器的安裝位置，它既非在儀錶盤上，亦非在其後。局部儀器常設在一主要元件或一最後控制元件的附近。

**局部盤 ( Local Board )** — 儀錶盤它既非一中央控制盤，又非一主儀錶盤。局部盤常裝設於一系統之分系統或分區域處。

**環 ( Loop )** — 一或多種有關連的儀器之組合，安排得能測量或