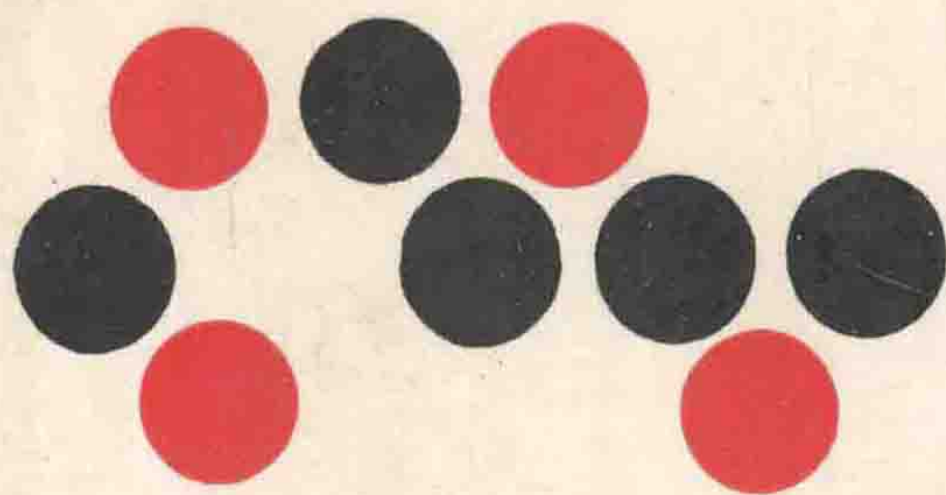


工業儀表

周澤川 著

科學技術叢書 / 三民書局印行



工業儀錶

周澤川著

江苏工业学院图书馆
藏书章

三民書局印行

行政院新聞局登記證 局版臺業字第〇二〇〇號

中華民國六十九年十月初版
中華民國七十二年二月再版

工業儀錶

基本定價肆元伍角陸分

版權所有
翻印必究

著者	周	澤	川
發行人	劉	振	強
出版者	三民書局股份有限公司		
印刷所	三民書局股份有限公司		

臺北市重慶南路一段六十一號
郵政劃撥九九九八號

工業儀錶 目次

第一章 概 論

第二章 壓力，差壓及真空之測量

2~1 壓力，差壓及真空測量之基本觀念·····	3
2~1~1 基本定義·····	4
2~1~2 壓力的種類·····	9
2~1~3 壓力測量的標度·····	12
2~1~4 氣體特性及氣體定律·····	13
2~2 測量壓力的儀器·····	18
2~2~1 開口U形管壓力計·····	19
2~2~2 封閉U形管壓力計·····	22
2~2~3 井型壓力計·····	23
2~2~4 兩流體壓力計·····	27
2~2~5 倒立U型壓力計·····	30
2~2~6 鐘型壓力計·····	31
2~2~7 環天平壓力計·····	36
2~2~8 活塞式壓力計·····	38
2~2~9 巴登管、螺旋管及蝸形管壓力計·····	40

2 工業儀錶

2~2~10 伸縮管壓力計·····	47
2~2~11 膜片壓力計·····	49
2~2~12 應變壓力計·····	53
2~3 微差壓計·····	57
2~4 差壓傳訊器·····	59
2~5 真空度的測量·····	62
2~5~1 絕對壓力測量儀·····	65
2~5~2 馬利莪得壓力計·····	67
2~5~3 努得申真空計·····	74
2~5~4 皮羅尼真空計與熱電偶真空計·····	76
2~5~5 旋轉式黏度壓力計·····	78
2~5~6 游離真空計·····	79
2~5~7 飛利浦真空計·····	81
2~5~8 總 結·····	82

第三章 液面之測量

3~1 浮子液面計·····	90
3~2 靜壓式液面計·····	98
3~3 導電式液面計·····	104
3~4 超音波液面計·····	106

第四章 流量之測量

4~1 流速計·····	112
4~1~1 皮托管·····	112

4~1~2	熱線流速計.....	118
4~1~3	風車流速計.....	119
4~2	流率計.....	119
4~2~1	銳氏流率計.....	119
4~2~2	文氏流率計.....	143
4~2~3	面積流量計.....	145
4~2~4	堰.....	151
4~2~5	電磁流量計.....	153
4~2~6	其他.....	155

第五章 溫度之測量

5~1	溫度之表示法.....	161
5~2	膨脹式溫度儀器.....	164
5~2~1	水銀溫度計.....	165
5~2~2	氣體膨脹溫度計.....	168
5~2~3	汽壓膨脹溫度計.....	173
5~2~4	液體膨脹溫度計.....	174
5~2~5	金屬膨脹溫度計.....	175
5~2~6	影響溫度計指示的效應.....	177
5~3	電阻溫度儀器.....	181
5~3~1	電阻溫度儀器之原理.....	181
5~3~2	工業用電阻式溫度儀器.....	184
5~3~3	偏轉式或不平衡式電阻溫度儀器.....	185
5~3~4	二線惠式登電橋式電阻溫度儀器.....	186
5~3~5	卡蘭達—格里斐斯電橋式電阻溫度儀器.....	188

4 工業儀錶

5~3~6	雙滑觸電阻式電阻溫度儀器.....	189
5~3~7	謬勒電橋式電阻溫度儀器.....	192
5~3~8	電容電橋式電阻溫度儀器.....	193
5~3~9	電勢差式電阻溫度儀器.....	194
5~3~10	電阻溫度儀器之優點.....	195
5~4	熱電溫度儀器.....	195
5~4~1	熱電偶.....	195
5~4~2	毫伏特計.....	204
5~4~3	電勢差計.....	206
5~5	光學高溫儀器.....	214
5~5~1	光學高溫儀器之原理.....	214
5~5~2	電流調節式輝線消失光學高溫儀.....	216
5~5~3	楔式輝線消失光學高溫儀.....	218
5~5~4	旋光式光學高溫儀.....	219
5~5~5	光電子式光學高溫儀.....	220
5~5~6	楔式光學高溫儀.....	221

第六章 其它工業測量及分析儀器

6~1	重量、密度、比重之測量.....	225
6~1~1	重量之測量.....	225
6~1~2	密度與比重之測量.....	233
6~2	黏滯度之測量.....	244
6~3	工業分析儀器、光譜分析儀器、氣體分析儀器.....	255
6~3~1	工業分析儀器.....	255
6~3~2	光譜分析儀器.....	276

6~3~3	氣體之分析.....	319
6~4	濕度、露點之測定，酸度之分析，電導度計.....	329
6~4~1	濕度、露點之測定.....	329
6~4~2	酸度之分析.....	341
6~4~3	電導度計.....	352

第七章 安全保護裝置及警報器

7~1	鬆壓設備.....	359
7~2	防火設備.....	388
7~3	喇叭警報器.....	392
7~4	發音警報器.....	395

第八章 自動控制儀器

8~1	自動控制的概念.....	399
8~2	指示器.....	407
8~3	記錄器.....	408
8~4	傳送器.....	409
8~5	控制閥及控制閥定位器.....	412

第九章 工業控制儀錶之應用

9~1	工業控制儀錶之安裝.....	431
9~2	工業控制儀器之選擇.....	433

第一章 概 論

工業儀器之歷史發展僅有約五十年左右，在這五十年來工業儀器有驚人的發展，從簡單的溫度等測量，到如今的整座工廠之自動化操作及電腦控制。工業儀器使用之範圍極廣，它不但使用於各類型的工廠，也使用於各種建築物、交通工具等，如飛機、車輛及輪船等。中船公司所建造之四十萬噸超級油輪，所使用之各種工業儀器不下數千種。這些儀器、管件、信號之傳送、組合及控制，都極其精緻，整條船的運轉及各種活動，集中於控制室之駕駛臺。又如中臺公司之己內醯胺工廠，全廠之運轉亦靠各種工業儀器之測量，再將各測得之信號，集中於一個控制室。因此工業儀器成爲今日發展工業極其重要之一環。工業儀器及其控制系統已成爲各工廠的神經系統。一個工廠的產品之品質，生產量之大小，完全靠工業儀器之巧妙應用。

工業儀器係利用工業生產過程中各種物質之物理性質及化學性質的變化，如壓力、溫度、膨脹、顏色、化學成分、酸鹼度、黏度等，設計出一種儀器加以測量。此種測量儀器稱爲工業儀器。各種工業儀器，測量的準確性由儀器的構造及被測物質的性質等而定。選擇工業儀器應以準確性大小，生產程序的特性來決定。使用儀器前，都應作校正，一般的校正都依據國家標準局所定的標準。美國國家標準局有全套之標準及儀器，可作爲其他量之測量及儀器使用之準繩。

工業儀器種類繁多，主要的包括流量、溫度、壓力、位高（即容積）及各種分析儀器。目前流量的測量儀器，其準確性可到達 ± 0.5 至 $\pm 1.0\%$ 。雖然有各種新型的流量計，漸漸被設計出，但尚未到達

2 工業儀錶

使用階段。近數年來溫度的測量並無太大的改變，主要的乃是水銀溫度計，熱電偶及輻射高溫計等。壓力的測量乃以應用巴登管，螺旋組件等。位高的測量，最近有許多新技術。如標準浮子，微壓差，輻射及超立波等。新的壓力計在某些特殊情況，已被廣泛地應用。工業上分析儀器有 *PH* 酸鹼測量儀、氧氣分析儀器，碳氫化合物測量儀器。濕度計種類多，應用於石化、煉油等工業，有許多種物性及成分之分析儀器。

將來之工業儀器，必走向高精密度，而自動電腦來控制這些儀器。因此工業儀器的發展必須偏重於高準確性，及自動傳送信號給電腦。再由電腦來發出命令，指揮各儀器的操作。

第二章 壓力，差壓及真空之測量

2-1 壓力，差壓及真空測量之基本觀念

工業上或工廠，甚至任何的生產程序過程中，壓力是最常用的變數之一，本章將略述壓力，差壓及真空的基本觀念及其物理特性，同時敘述測量壓力，真空之各儀器的應用原理及操作方法，更希望能啟發讀者設計改良更新穎的儀器。

當水龍頭打開時，水就源源流出，這是因為管內與出口的壓力不同之故。使水流動的作用力決定於管內的壓力。水由高處流向低窪處，這也是壓力引起的現象。風或颱風的形成也是壓力引起之另一例。假設有兩個橫截面積不同的玻璃容器，以一玻璃管連通，如圖 2-1 所示。當水注入某一容器時，水就流經連通管到第二支容器；若

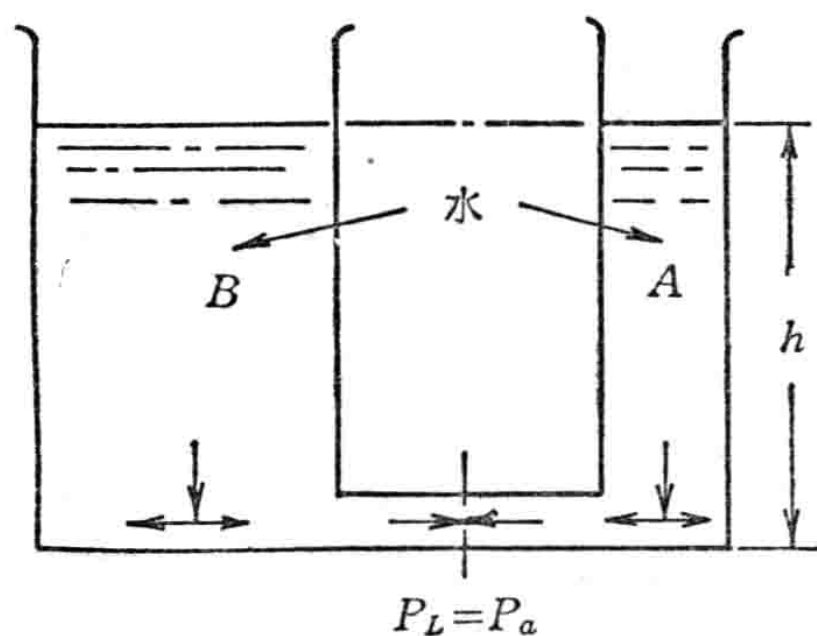


圖 2-1 壓力的平衡

停止注水入容器時，兩容器內的水位是同高的。爲什麼重量較重的 B 不能推動水到 A 容器呢？雖然 B 容器內的水重量較 A 者爲重，但是承受 B 水重量的面積也比較大，因此 B 容器每單位面積所承受的力量是相當於 A 的。此每單位面積所承受的力量謂之壓力強度 (*intensity of pressure*)。換句話說，在 B 底面的壓力強度，簡稱爲壓力，與 A 底面的壓力強度相等。根據巴斯噶原理 (*Pascal's law*) 壓力是向四面八方傳送的。因此，兩不同底面積的容器 A 與 B ，其水位同高即兩者於底部之壓力強度相等時，由 A 容器壓向底部連通管之壓力恰爲 B 容器壓向此管之壓力所平衡，因此 B 容器的水不能再向 A 流動而保持兩者相同的水位。

2-1-1 基本定義

壓力強度：

所謂壓力強度就是每單位面積所承受的力即，

$$P = \frac{F}{A} \quad (2-1)$$

其中；

P = 壓力強度 (磅/平方吋，即 *psi*，或克/平方公分)。

F = 所承受的力

A = 面積

於液體中，壓力是隨其深度而增加的，並且向四面八方傳送。於圖 2-2 所示，一長玻璃圓筒充滿水，其旁挖有兩個孔，我們發現作用於較低口之力大於較高口者，即由較低口射出之速度較上孔射出者爲急且遠。這證明了壓力是隨液體深度而增加。換言之，深度較深的

低口受了較重的水柱壓力，使得它承受了較上口的壓力大。此實驗也說明了水柱管產生的壓力不僅向下且向旁。

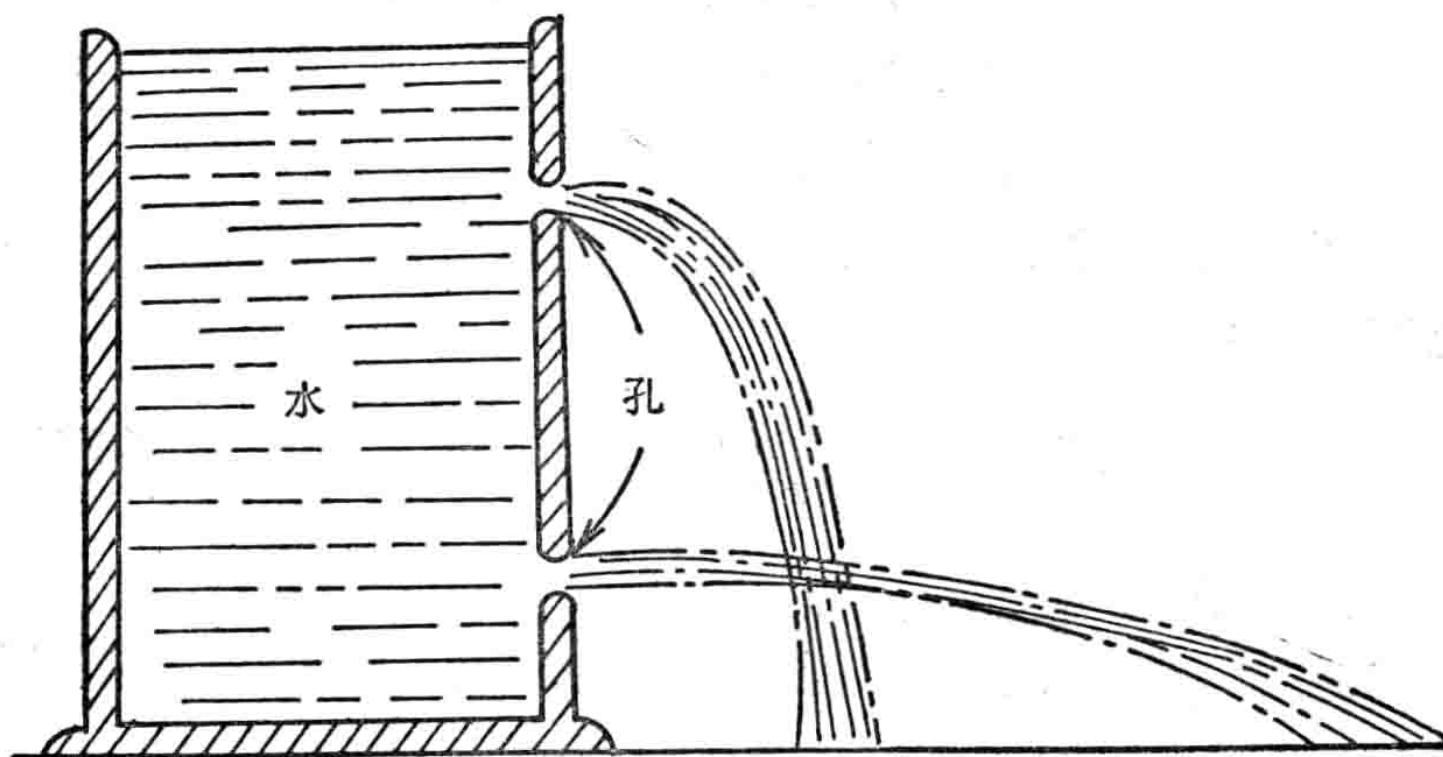


圖 2-2 壓力與液柱深度關係

巴斯噶原理 (*Pascal's law*):

巴斯噶原理說明在液體中，壓力是向四方均勻的傳送。若將挖有多孔的皮球浸入水中充滿水後，放在桌上，用手指用力壓皮球，則雖然只在單方向作用力，但水即從四面八方噴出。這證明壓力向四面八方傳送的原理。

壓力位高 (*pressure head*):

壓力位高表示某均勻液體柱欲產生相當於已知壓力強度所須的高度。設此高度為 h ，則此液柱所產生的壓力強度 P 為：

$$p = h \cdot \rho \cdot \frac{g}{g_c} \quad (2-2a)$$

$$= h \cdot \rho_w \cdot s \cdot \frac{g}{g_c} \quad (2-2b)$$

其中，

ρ = 該液體的密度

ρ_w = 水的密度

g = 該地的重力加速度

g_c = 轉換因子，於公制中， $g_c = 1$ ，於英制中

$g_c = 32.174$

s = 該液體的比重

因此，由式 (2-2a) 知壓力強度是與液體深度成正比。根據上述壓力位高的定義：

$$\text{壓力位高 } h = \frac{P \cdot g_c}{h \cdot P \cdot g} \quad (2-3)$$

轉換因子 g_c (conversion factor)：

於公制 (C.G.S. 或 M.K.S. 制中) 單位內，其基本三要素為質量 (mass)，長度 (length)，時間 (time)。力則由下式導出：

$$F = Kma \quad (2-4)$$

其中，

F = 力

m = 質量

a = 加速度

而 K 乃一任意常數，於公制單位中，定 $K = 1$ ，無單位。因此，力之單位為 [質量] [長度] / [時間]²。若質量單位為克，長度為公分，時間為秒，則力之單位為 (克) (公分) / (秒)²，即又叫達因 (dyne)。

於英制單位中，其基本要素為四種而非三種，即力，質量，長度及時間。其單位為：力 (force) 為磅力 (pound-force)，簡寫為 *lbf*，質量為磅 (pound-mass)，簡寫為 *lbm*，長度為呎 (foot)，時間為秒，所以式 (2-4) 之 K 變成有單位的常數。其值為 $1/g_c$ ， g_c 為 32.174。 g_c 的單位為 (呎) (磅) / (磅力) (秒)² 或簡寫為 (*ft-lbm lbf-sec²*)。 g_c 稱為牛頓定律轉換因子。

綜合以上的討論，總結如下：

$$F = K m a = \frac{ma}{g_c}$$

公制中：

$K=1$ ，所以， $g_c=1$ ，無單位。

英制中：

$$K = \frac{1}{g_c} = \frac{1}{32.174} \text{ , } g_c = 32.174 \text{ 單位爲 } \left[\frac{ft \cdot lbm}{lbf \cdot sec^2} \right]$$

前述，壓力為每單位面積所承受的力，即：

$$\begin{aligned} P &= \frac{F}{A} \\ &= \left(\frac{ma}{g_c} \right) / A \\ &= \frac{m}{\left(\frac{V}{h} \right)} \cdot \frac{a}{g_c} \\ &= \rho \cdot h \cdot \frac{a}{g_c} \end{aligned}$$

其中，

V = 體積

$\rho = \frac{m}{V}$ = 密度

若 a 為重力加速度 g ，則式 (2-5) 變成式 (2-2)。

單位換算 (*conversion of unit*):

1 吋水計度 (*water gauge*) 簡寫為 1 *m.w.g.*,

= 1 吋的水壓力位高

$$= 1 \text{ in.} \times \frac{62.4 \text{ lbf/ft}^3}{1728 \text{ in}^3/\text{ft}^3}$$

$$= 0.0361 \text{ lbf/in}^2 \text{ 或 } 0.0361 \text{ psi}$$

$$1 \text{ 呎水計度 } (1 \text{ ft.w.g.}) = 0.0361 \text{ lbf/in}^2 \times 12 \text{ in} \\ = 0.433 \text{ lbf/in}^2 \text{ 或 } 0.433 \text{ psi}$$

$$1 \text{ 吋汞 } (\text{in.Hg}) = 0.0361 \times 13.6 = 0.491 \text{ psi}$$

$$1 \text{ psi} = \frac{1}{0.491} = 2.036 \text{ 吋汞 } (\text{in. Hg})$$

$$1 \text{ psi} = \frac{1}{0.0361} = 27.7 \text{ 吋水計度 } (\text{w.g.})$$

$$1 \text{ 標準大氣壓 } (\text{standard atmosphere})$$

$$= 760 \text{ mm Hg. } (^\circ\text{C})$$

$$= 29.92 \text{ Hg. } (32^\circ\text{F})$$

$$= 14.7 \text{ psi}$$

$$= 1.033 \text{ kg/cm}^2$$

表 2-1 氣壓單位換算

1 氣壓 (atm.)	= 14.7 磅/(吋) ²	psi
	= 29.92 吋汞	in.Hg
	= 76 釐汞	cmHg
	= 34 呎水	ftH ₂ O
	= 1.013 × 10 ⁵ 牛頓/米 ²	Newtons/m ²

參閱表一。

例 1 若有一位潛水夫，其橫截面積為 10 cm^2 的盔，剛好位於海面下 100 米處，求此盔受壓力多少？（海水密度為 1 g/cm^3 ）。

解

於盔上，100 米高的水柱壓着一平方公分的盔，此水柱重為：

$$100 \times 100 \times 10 \times 980 = 9.8 \times 10^7 \text{ 達因}$$

所以其壓力強度為：

$$9.8 \times 10^7 \text{達因}/10\text{cm}^2 = 9.8 \times 10^6 \text{達因每平方公分}$$

$$= 9.8 \times 10^5 \text{牛頓}/\text{米}^2$$

但是海面上尚有大氣壓力即 $1.013 \times 10^5 \text{牛頓}/\text{米}^2$ 所以作用於盞上的總壓力等於水柱壓力與大氣壓力之和，即

$$\begin{aligned} \text{總壓力} &= \text{水柱壓力} + \text{大氣壓力} \\ &= 9.8 \times 10^5 + 1.013 \times 10^5 \\ &= 10.813 \times 10^5 \text{牛頓}/\text{米}^2 = 59.1 \text{psia} \end{aligned}$$

其中，*psia* 表示絕對壓力強度 (*absolute pressure intensity*)。

2-1-2 壓力的種類

真空 (*vacuum*):

絕對真空是指沒有任何原子或分子存在的空間。但是，實際上不可能找到絕對真空。因為任何物體皆具有其蒸汽壓。通常，所謂真空，是指低於大氣壓力的空間。

大氣壓力 (*atmospheric pressure*):

空氣在 68°F 和標準氣壓下之密度為 $0.0012\text{g}/\text{cc}$ 或 $0.0752\text{lb}/\text{ft}^3$ 。即表示空氣有重量，所以能對任何在空氣中的物體作用力，而此每單位面積承受或作用的力即為大氣壓力。於標準條件下，一大氣壓相當於 14.7psi 。以實例來說明大氣壓力的作用大小：一商店的玻璃窗，約為 100ft^2 面積，則窗的一面所承受的總力為：

$$\frac{100 \times 144 \times 14.7}{2000\text{lb}/\text{ton}} = 106\text{tons} \text{ (噸)} = 9.429 \times 10^5 \text{牛頓}$$

此力量是相當驚人的，但此力恰為窗的另一面所承受的力所平衡，即大小相同，方向相反的力，故玻璃能保持完整。若有暴風出現，窗外壓力突降，若此屋為完全密封狀態，則有爆炸之危險，所以，暴風來