

475076

壓力與溫度之量測

工具機手冊 第五十一冊

金屬工業發展中心 編譯



壓力與溫度之量測

工具機手冊 第五十一冊

葉 于 鑑 譯

版權所有
不准翻印

中華民國七十年二月出版

工具機手冊之(五十一)

壓力與溫度之量測

(全一冊)

編譯者：金屬工業發展中心

發行者：經濟部國際貿易局

印刷：佳興印刷局企業有限公司

序

在工具機手冊第十一及第十二兩冊中，曾提出量測系統的特性、干涉學，表面光製的評估及尺寸及角度的量測、對於直接量測上提供了一些概念。

環境因素，如壓力、溫度對於精密量測的影響，有研討的必要，在本手冊第五十一冊裏敘述之。動力量測如時間、速度、加速度及功率之量測，在本手冊第五十二冊中討論之。以上對於量測的觀念初現一輪廓，希讀者由此瞭解尚待充實所在，進步更進步，從此我國產品品質得以提高而遍及全球。

本手冊承張以忠、葉子鏗兩位工程師抽暇趕譯，特此誌謝，工程量測涉及範圍，甚為廣泛，不週之處，尚祈見諒。

編者 章敬賢 謹識

民國70年1月30日

壓力與溫度之量測

目 錄

	頁次
第一章 壓力的量測.....	1
1.1 靜壓力量測.....	1
1.2 差壓量測.....	1
1.3 鉅壓力量測.....	11
1.4 絕對壓力量測.....	14
1.5 高真空量測.....	16
1.6 浮動壓力量測.....	24
第二章 溫度的量測.....	31
2.1 傳 導.....	31
2.2 對 流.....	31
2.3 輻 射.....	32
2.4 溫 度 計.....	32
2.5 絕對熱力溫標.....	33
2.6 國際實用溫標.....	33
2.7 量測溫度之儀器.....	35
2.8 玻璃管裝液體溫度計.....	36
2.9 金屬管裝液體溫度計.....	38
2.10 等容積的氣體膨脹溫度計.....	40
2.11 汽壓式溫度計.....	42
2.12 雙金屬條式溫度計.....	43
2.13 由固體狀態變更所作溫度的指示.....	46
2.14 熱 電 學.....	47
2.15 熱電高溫計.....	50
2.16 熱電偶高溫計的應用.....	52

壓力與溫度之量測

第一章

壓力的量測(Measurement of pressure)

壓力量測廣義地可分成兩方面：

(a)靜壓力量測。

(b)浮動壓力量測。

靜壓力一辭廣泛用於壓力，液面水平，及流率的量測。當在一過程中的流體是靜止的，則在流體中一點上的靜壓力是那一點以上流體高度所給予的壓力。如考慮一根水管充滿流動的流體，在管壁上水喉處的靜壓可由在嘴上上聯結一具適合的壓力量測裝置來求得。

當需要量測一迅速浮動的壓力時，（例如，內燃機汽缸的壓力）靜壓量測方法已不能適用。則應使用壓力轉換器將壓力變成可以紀錄的信號。

1.1 靜壓力量測：(Static pressure measurement)

靜壓力量測各項如下：

(a)差別壓力量測。

(b)錶壓力量測，在當地大氣壓力以上所量得的錶壓力。

(c)絕對壓力量測：是從零壓力作基準點所量得的總壓力。

當絕對壓力超過當地大氣壓力時，絕對壓力可認為是錶壓力與當地大氣壓力的總和。

(d)真空量測：在這情況時所量得的壓力小於當地大氣壓力。

1.2 差別壓力量測：(Differential pressure measurement)

量測差別壓最通用裝置之一是U形管液體壓力計（U-tube manometer）（圖1）。玻璃的U形管注入半滿的水或水銀的液體。一般而言，水是最普遍使用的量測介質，但如需要高壓或更精密一些

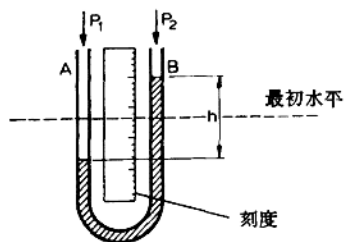


圖 1 U形管液壓計。

的鉅就要用水銀。

刻度固定在兩管的中間。而由於壓力差 ($P_1 - P_2$) 可量得 A 管與 B 管間的水平差。在管 A 施以較高壓力 P_1 而在管 B 受較低壓力 P_2 ，A 中液體因受較大的力而下降，致使 B 處之上升，這動作將繼續直到壓力 P_1 與由 P_2 及由於兩水平間液柱高度 h 的壓力的總和相平衡時為止。

則， $P_1 = P_2 + \rho gh$ 。

上式 P_1 及 P_2 均為絕對壓力（牛頓/公尺²或拍）。

h = 水平差（公尺）。

ρ = 壓力計液體的密度（公斤/公尺³）。

g = 重力加速度（公尺/秒²）。

或變成，

$$P_1 - P_2 = \rho gh。$$

上式 $P_1 - P_2$ 為壓力計直接連到兩壓力 P_1, P_2 所得的壓力差。

如液體壓力計中的 B 管開放於大氣中，則此情形 P_2 為大氣壓力。所以上式成為，

$$P_1 - \text{大氣壓力} = \rho gh。$$

因而在這情形液壓計是量測絕對壓力與當地大氣壓力間的差異，稱之為鉅壓力。

簡單U形管壓力計的範圍：(Range of the simple U-tube manometer)

簡單U形管液體壓力計，通常用於 10×10^{-3} 公尺水柱及0-1.25公尺水銀柱(0-162,000牛頓/公尺²或0-162千帕)之間。

工業上發展的量測高壓簡單U形管液壓計的如圖2所示。此處其中一根管的直徑比另一根大得多。又管子通常為鋼材。

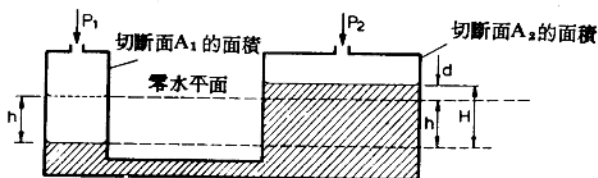


圖2 工業的U形管液壓計。

差別的壓力液壓計，低壓力 P_2 在寬管，與高壓力 P_1 則在窄管方面。窄管中下降與寬管中的液體上升直至達成下列壓力的平衡為止。

$$P_1 = P_2 + \rho g H = P_2 + \rho g (h + d)$$

上式， H = 水平的總差數(公尺)。

h = 小直徑管水平與零水平間的差數(公尺)。

d = 大直徑管水平與零水平間的差數(公尺)。

又由A管(窄管)流出液體的體積必等於流入B管(寬管)者即，

$$A_1 h = A_2 d, \quad \text{則 } h = A_2 d / A_1。$$

上式， A_1 = 小直徑管的斷面積(公尺²)

A_2 = 大直徑管的斷面積(公尺²)。

代入得，

$$P_1 = P_2 + \rho g d (1 + A_2 / A_1)。$$

或，

$$P_1 - P_2 = \rho g d (1 + A_2 / A_1)。$$

或，

$$d = \frac{P_1 - P_2}{\rho g (1 + A_2/A_1)}。$$

所以在寬管中上升液體的距離與差壓 ($P_1 - P_2$) 成正比。這種型式的多項工業的液壓計，在寬室中含有一金屬浮子，浮子經連桿機構與一指針或一筆記錄器相聯結。所以當液體水平隨壓力差變更時，浮子會在液體表面浮動，因而紀錄水平的變異或壓力差。

水箱式液體壓力計：(The cistern manometer)

如圖 3 所示將窄管直接插入寬管中，仍不影響上述的儀錶的作用。

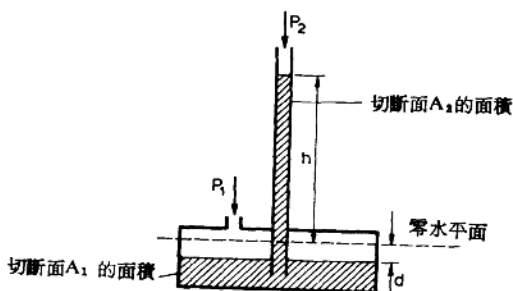


圖 3 水箱式液體壓力計。

如差壓 ($P_1 - P_2$) 施諸液壓計，

則， $P_1 - P_2 = \rho g (h + d)$ ，

又， $A_1 d = A_2 h$ ，因而 $d = A_2/A_1 h$ 。

或， $P_1 - P_2 = \rho g h (1 + A_2/A_1)$

如 A_2/A_1 之值，小得可忽略不計時，則 $P_1 - P_2 = \rho g h$ 。所以僅由量測窄管中上升數即得差壓。

實用上，水箱直徑 (寬管) 比窄管直徑大得多，因此從水箱零水平面所降下的距離 d ，可以略而不計的。

斜管式液壓計：(The inclined tube manometer)

斜管式液壓計是由U形管的液體壓計的特殊發展而來。這項裝置的優點是比較相同差壓的簡單U形管，提供了增長的刻度長度。一根管由與水平（或垂直）傾斜成角度的玻璃管，而另一個是寬室或水箱所組成。靠近斜管附有刻度。典型的斜管式裝置如圖4所示。

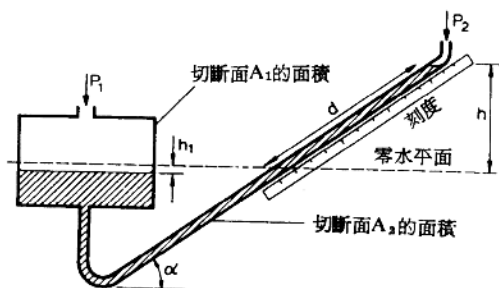


圖4 斜U形管液壓計。

$$P_1 - P_2 = \rho g (h_1 + d \sin \alpha),$$

$$A_1 h_1 = A_2 d; \text{ 即, } h_1 = A_2 / A_1 d;$$

$$P_1 - P_2 = \rho g d (A_2 / A_1 + \sin \alpha)。$$

同理，如 A_1 比 A_2 大，則 A_2 / A_1 亦可忽略不計。

$$\text{則, } P_1 - P_2 = \rho g d \sin \alpha$$

$$\text{或, } d \sin \alpha = h$$

h 則為以上所使用正常的U形管讀數的高度。

如斜管對水平線成 30° 角時，則， $\sin \alpha = \frac{1}{2}$ 。

$$\therefore d \times \frac{1}{2} = h, \text{ 或, } d = 2h。$$

所以管對水平線傾斜成 30° 時，則可得兩倍長正常的刻度值，因此讀數則更為正確。

密封流體對於液壓計的作用：

雙液式U形管液壓計 (The use of sealing fluids with manometers : the two liquid U-tube manometer) 。

當使用一U形管液壓計量測某一液體的壓力時，可能必需使用密封的流體液壓計中的液體分隔開。例如若兩種液體混合時會發生化學反應時，就要藉密封的流體，而這密封的流體必須是與液壓計內的流體不混合也不起作用的，又有使其與被量測的流體相隔離的機能，所以密封液體必須較液壓計的流體輕但又較所量測的流體重（參看圖5）。液壓計的兩個等直徑的管中，要加入確實同量值的密封流體，因此方可相互抵消其對壓力的影響。

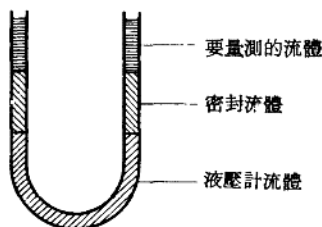


圖5 有密封流體的U形管液壓計。

密封室通常使用密封流體。室為一具有比液壓計管子更大直徑的簡單容器，因此當施壓時密封流體的水平面乃不致有顯著的變異。圖6顯示一具備有與密封流體及密封室，典型的U形管液壓計。

$$P_1 + \rho_1 g h_2 = P_2 + \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h,$$

所以，

$$\begin{aligned} P_1 - P_2 &= \rho_1 g (h_1 - h_2) + \rho_2 g h, \\ &= -\rho_1 g h + \rho_2 g h = (\rho_2 - \rho_1) g h. \end{aligned}$$

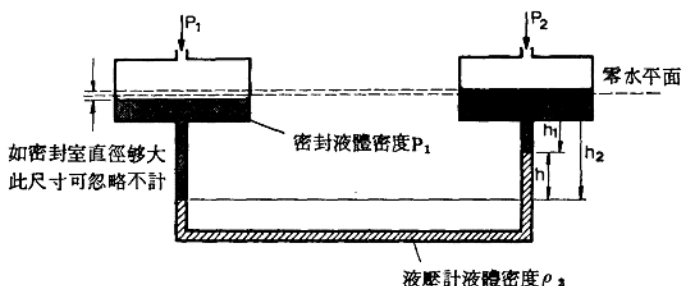


圖 6 具有密封流體與密封室的U形管液壓計。

隔膜式，隔膜架式，及風箱式錶：(Diaphragms, diaphragm stacks, and bellows gauges)

最簡單形式的單隔膜 (Simple diaphragm) 是一塊繞著圓形邊緣固定的薄平片。片兩邊的差壓使片撓曲如圖 7 所示。祇有在相當微小的運動時，壓力與撓曲間才有直線的關係；不過儀錶量測上，對這種簡單情況尚須作若干的修飾。

對低壓的量測，需要特殊可撓的隔膜。隔膜組織中含有風琴般的纖維環，環中央連接金屬或其他剛性材料的盤。纖維或有鬆緊的隔膜型差壓錶如圖 7 所示。

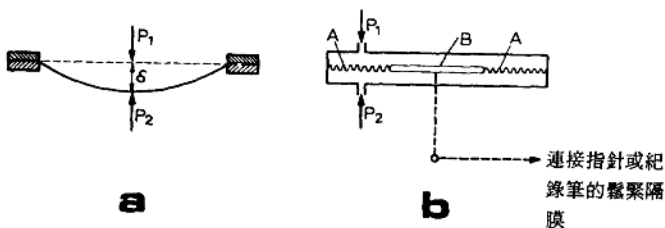


圖 7 a, 單隔膜：差壓 = $P_1 - P_2$ 。 b, 鬆緊的隔膜差壓錶。

A 爲纖維的，而 B 爲與指針或紀錄筆連結的剛性的中心片狀膜。
鬆緊的隔膜鉞之隔膜組成，並不需求一定要成爲圓形，因爲通常是被拉伸了。有多種材料製成之鬆緊的隔膜，最常用的有皮革、塑膠、橡膠布、尼龍及絲綢。這項原理操作的鉞，可用於高達 1 公尺水柱或約 10 千拍的壓力。

另一型壓力量測儀器是金屬密閉容器（Metallic capsule）。此儀器包含一對圓形金屬隔膜，背對背相連形成一個彈性密閉容器如圖 8a 所示。在密閉容器之內部施壓，而其外部則受另一壓力所包圍。假如運動量不太大，則密閉容器的撓曲與壓力乃成線型變化。密閉容器或儀鉞所用的隔膜，一般有盤形、平形、或波浪形（圖 8b）。

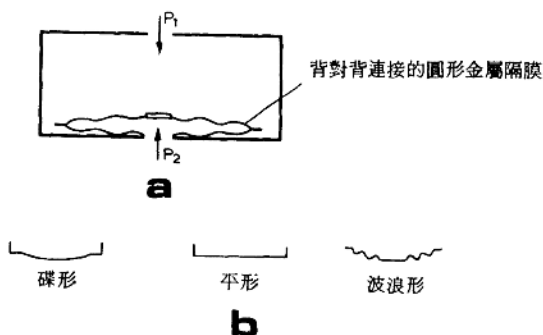


圖 8 a, 金屬密閉壓力鉞。
b, 典型的隔膜形式。

如圖 9 所示，一串聯的波浪形金屬隔膜，隔膜中央有孔，內外都施以防漏的連結，如此可得到比簡單密閉容器大很多倍的撓度。如 $P_1 > P_2$ ，則串聯隔膜受壓縮。所用隔膜數可從二個（密閉容器）高達至二十個或以上。

金屬風箱在形式上與串聯隔膜相似，但構造方法則完全不同。最

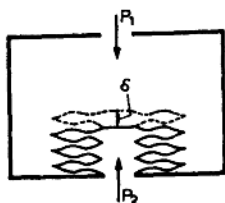


圖 9 可鬆緊的隔膜差壓 $P_1 > P_2$ 作用可鬆緊的串聯隔膜變到 δ 的壓縮量。

初用液壓機將薄管子壓成波浪形如圖 10 所示。風箱可製成高達約 300 公厘或更大的直徑。不過，這大的尺碼主要用於控制氣閥而不是應用在壓力量測儀錶上。

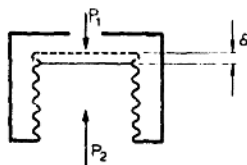


圖 10 金屬風箱單元。在差壓 $P_1 > P_2$ 的作用下風箱單元撓曲量為 δ 。

典型工業用差壓量測錶如圖 11 所示。在左邊的雙風箱裝置經聯桿

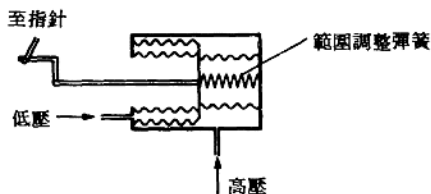


圖 11 量測差壓工業用的風箱型儀錶。

組與紀錄筆或指針聯結，而右邊的風箱作為調整範圍彈簧的密封元件。

製造隔膜最普遍使用的材料是鋼、磷青銅，鍍化銀及鍍化銅。又風箱材料大多包含80—20黃銅（80%銅與20%鋅）、磷青銅，不銹鋼及鍍化銅。

環秤：(The ring balance)

這項裝置由間隔B與密封流體將一個空心或環形圓環分成兩部份所組成（圖12）。間隔的任一端至各自的兩個壓力來源相聯結。環中

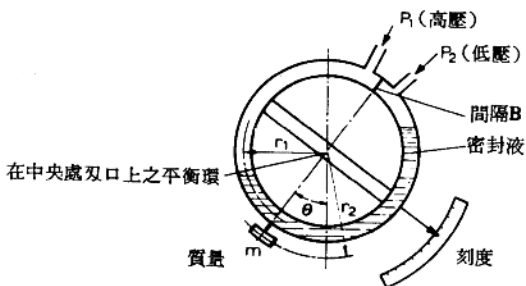


圖 12 環秤。

心樞軸頂在一双口上，當通過間隔之差壓力所施出一轉動力矩。環開始以遠離較高壓力的方向旋轉，直到與由環足處質量M產生的相反力矩與轉動力矩平衡時為止。得，

$$\text{轉動力矩} = (P_1 - P_2) A r_1。$$

上式， $P_1 - P_2 = \text{差壓}$ ，

$A = \text{管的切斷面積}$ ，

$r_1 = \text{環的平均半徑}$ 。

又， $\text{復原力矩} = m g r_2 \sin \theta$ ，

上式， $m = \text{質量}$ 。

$r_2 = \text{質量作用點的半徑}$ 。

θ = 轉動角。

g = 重力加速度。

所以， $(P_1 - P_2) A r_1 = m g r_2 \sin \theta$ ，

或， $P_1 - P_2 = \frac{m g r_2}{A r_1} \sin \theta$ 。

所以加於環秤的差壓與轉動角成正比，即可以轉動角為量測差壓當量。此儀器的典型使用範圍規定在0—300公厘水柱極限內。

1.3 錶壓力量測：(Gauge pressure measurement)

近世紀來對靜壓力的精密測定都應用靜重自由活塞錶 (Dead-weight free-piston gauge) 為之。該錶 (如圖 13 所示) 包含一個

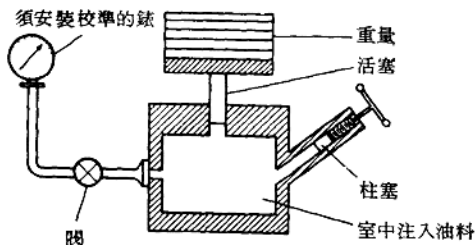


圖 13 靜重壓力試驗器。

機製準確的一已知重量活塞，插入一緊的配合汽缸內，兩者的切斷面積均為已知。多個已知重量的質量先放在自由活塞的一端，另一端施流體壓力，直到發生足夠的力舉起這活塞重量組件。當活塞在汽缸內自由地浮動時，活塞就與系統壓力平衡。所以得：

$$P (\text{靜重壓力}) = F_p / A_p$$

上式 F_p 為活塞重量組件的當力，而 A_p 為活塞汽缸組件的當面積。

從系統漏出經過活塞汽缸空隙的流體膜，提供了潤滑作用，而活塞也會旋轉進而減低成為滾動摩擦。

錶壓力量測所使用的錶，通常都是 Bourdon 管式的。這種錶包含一個近似橢圓切斷面，由特種機器形成 C 形的金屬管。管子固定的一端為開口，以接受所測定的壓力，但自由的另一端為密閉的。當管內壓力增加時，管的切斷面有成為圓形而整個管亦有伸直的趨勢。因此管的自由端乃有動作，而此項動作與管內外之差壓成正比。自由端的運動可經由一槓桿與齒條及小齒輪裝置放大並傳送至指針（參閱圖14）。應用於 Bourdon 管差壓計中的基準壓力通常是大氣壓力，所以指針表示的為錶壓力。

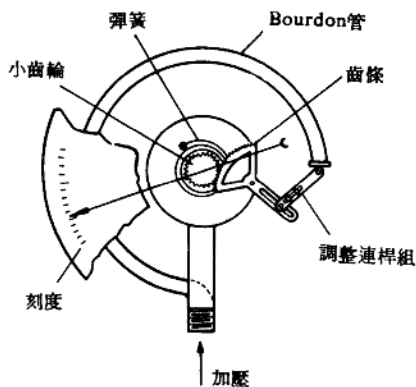


圖 14 Bourdon 管壓力錶。

Bourdon 管的兩種變通形式是螺旋式 (Helical type) 及平螺旋式 (Flat spiral)。這兩種錶的操作原理與 C 型者一樣，即管的一端密封，但允為自由可動，另一端仍為固定。現如施予管內的壓力大於管外時，則自由端乃撓曲而將這運動轉換成如以往指針的擺動。