

中國
工程師手冊

機械類

上

第二十五篇

儀器測量及自動控制器

目 錄

頁

第一章 儀器測量

1•1	概述	25— 1
1•2	時間及速率之測定	25— 1
1•3	重量與力的測量	25— 2
1•4	位移及角移之測定	25— 5
1•5	面積之測定	25— 7
1•6	壓力及真空之測定	26— 8
1•7	溫度測量	25—20
1•8	液位之測定	25—30
1•9	流量之測定	25—34
1•10	功率之測定	25—39
1•11	常用理化儀器	25—41

第二章 自動控制器

2•1	控制器之種類	25—47
2•2	末端控制機構	25—58
2•3	過程及控制之特性	25—62
2•4	控制儀器之佈置	25—68
2•5	控制儀器之設計	25—70

第二十五篇

儀器測量及自動控制器

目 錄

頁

第一章 儀器測量

1.1	概述	25—1
1.2	時間及週率之測定	25—1
1.3	重量與力的測量	25—2
1.4	位移及角移之測定	25—5
1.5	面積之測定	25—7
1.6	壓力及真空之測定	26—8
1.7	溫度測量	25—20
1.8	液位之測定	25—30
1.9	流量之測定	25—34
1.10	功率之測定	25—39
1.11	常用理化儀器	25—41

第二章 自動控制器

2.1	控制器之種類	25—47
2.2	末端控制機構	25—58
2.3	過程及控制之特性	25—62
2.4	控制儀器之佈置	25—68
2.5	控制儀器之設計	25—70

第二十五篇

儀器測量及自動控制器

葉 聖 鐸

第一章 儀 器 測 量

1.1 概述

儀器是一種用來測量數據的工具，或是確定數量的多少，及變數的大小等。變數的主旨，是在命定一個主題、系統或程序。因此在製造操作中，其生產品質是與測量他的各項尺寸、硬度及表面光滑等有關係。在工業大量生產方法中，測量與控制溫度、壓力及流量等因素，是用以決定產品之品質及效率。

儀器之準確性，是根據儀器之範圍 (range) 及儀器之靈敏度而定。儀器之靈敏度 (sensitivity) 表示一個測量變數對儀器反應之最小變化，或可說輸出訊號對輸入變化之比率。

儀器之誤差，可分為系統誤差及隨意誤差二種，系統誤差又可分為靜誤差與動力誤差。儀器之靜誤差是不隨時間變化之確數與儀器之指示數間之差數。至於動力誤差 (dynamic error)，係假定在無靜誤差之條件下，隨時間變化之確數與儀器指示數間的差數。

1.2 時間及週率之測定

時間的測量是對時間及運動研究之基礎。有時間程序控制、速度之測量及週率之測量等。

a. 機械計時器 包括廣範圍之時鐘、精密時計及停錶 (stop watch)。這幾種時計，主要利用發條 (spring) 轉動一串齒輪，再轉動計時指針，而這串齒輪必須受游絲 (hair spring) 擺動週期之牽掣，以免受發條鬆緊之影響。因彈簧常數 (spring constant) 多少受溫度變化之影響，所以要常期保持時間正確，須應用補償元件之精密時件 (time piece) 以作游絲。

b. 電氣定時器 (electric timer) 應用簡單，價值低廉，採用為遠方控制之操作非常方便，大多數定時器是交流同步電動機，利用齒輪得到適當比率後，再轉動指針。電氣定時器的準確性，完全依賴線路電壓之週率而定，因此應用這些儀器的時候，必須注意祇能適用在短時測量上，否則就不準確。

c. 電子定時器 (electronic timer) 電子定時器的啟動及停止是受電氣脈動而生的，所以不受監察人反應時間的限制。這種定時器可以製成非常準確，能測量至小於百萬分之一秒。電子定時器之測量時間，是記錄由調諧震盪器 (tuned oscillator)、調諧音叉 (tuning fork) 及石英晶體等，發生高週波之訊號週數。

計時儀器有不同的種類，有用作指示時間的，也有在特定時間作控制用的。如根據電容器充電時間來定的定時器，也有根據緩衝壺內，油流與噴嘴放出空氣的時間等。

d. 電子測速儀 (stroboscope) 計時儀器可以用標準儀器校正，或用標準週率儀校正。快速運動，可用電子測速儀來計算時間，這種儀器是利用一個氖光管或一迴轉圖片，在其圓周上有一個或數個等距離孔隙，而使照射之目標為均衡的時間增量 (increment)。觀察運動之週率，可由調整電子測速儀的週率，至系統呈現靜止狀態而測得。

其他尚有測量震動，或迴轉週率，如運動部份固定迴轉數或震動數之計時、震動週率儀，簧翼 (reed) 之震動數值，是當簧翼震動時，受到其本身自然週率之激發而形成。發電機式轉速計 (generator type tachometer) 其產生之電壓與其速度成正比。

1.3 重量與力的測量

重量是由地心吸力作用於質量 (mass) 而測得的數量。秤重量的器具或秤是用作決定重量或力的大小，一般秤重量的器具分別為平衡秤 (balance)，及撓度力 (force deflection) 二大類。這些器具可以分批秤重，或連續秤重、自動秤重及手動秤重。

a. 簡易天平 (simple balance) 如圖 1.1，包含懸掛在等長力臂上之秤盤，被秤之重量是靠另一端用標準重量來平衡，

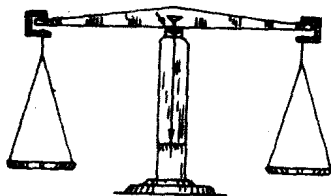


圖 1.1 簡易天平

兩端平衡後，標準重量就是被秤的未知重量。

b. 商業或工業用天平 係大型天平，作用原理與上述相同，但作用力臂不相等，以便得到秤錘與被秤重量有適當倍數。且天秤下面，包括平行四邊形作用臂，排列如圖 1.2。

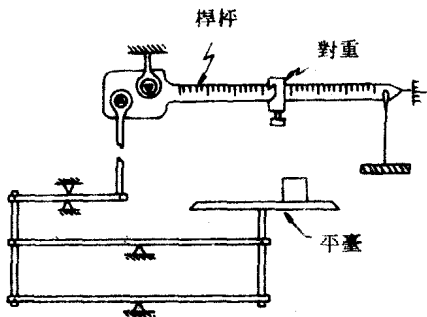


圖 1.2 商業用平秤

c. 針盤指示秤 (dial indicating scale) 如圖 1.3 被秤重量，放置在彈簧之自由端，彈簧所生之位移，傳動至帶及鼓形運動裝置，使指針動作，指示秤之準確性是賴彈簧之精密程度與複製性 (reproducibility)，通常採用之彈簧，多是溫度補償性的。

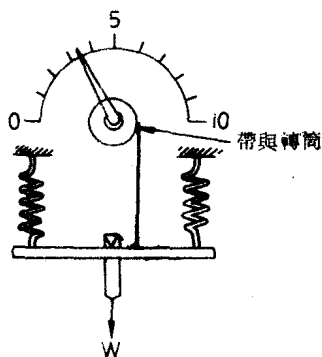


圖 1.3 針盤指示秤

d. 自動天平 (automatic balance) 如圖 1.4，秤錘 (balancing weight) 之位置是由往復電動機 (reversible motor) 轉動，力臂如有偏向，令電氣接觸點接觸，將電動機轉動，以移動秤錘，使恢復平衡，則電動機停止，即可得到欲秤重量之讀數。自動天平常用於試驗機器，及連續秤重設備。

其他尚有分批秤 (batch type scale)，適合於連續流量如液體或塊狀固體重量之測量。材料由飼給倉 (feed hopper) 經由調節門流至秤重倉而秤重。連續秤重器，則係一節運送皮帶機，在秤重力臂上平衡以求得重量。

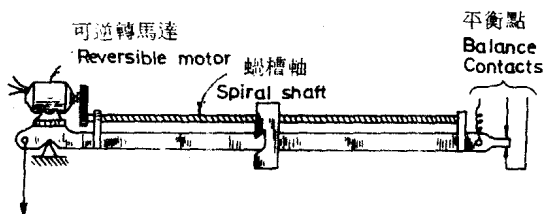


圖 1.4 自動天秤

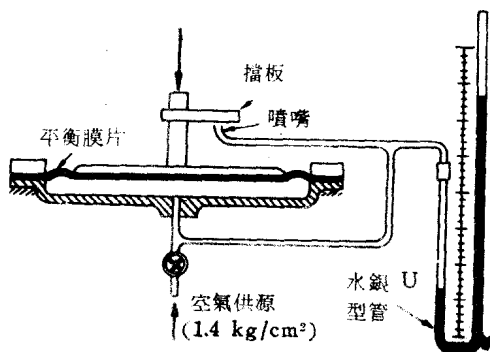


圖 1.5 氣體力計

e. 氣動力計 (pneumatic force meter) 如圖 1.5 所示，可變力 F 是由空氣壓力作用於膜片之有效面積，用其產生之向上力來平衡。力之大小由水銀柱之高度指示之。所以力之大小，是由膜片之有效面積與作用壓力來決定。這種氣動力計，可測量由數公斤之力到數公噸之力。

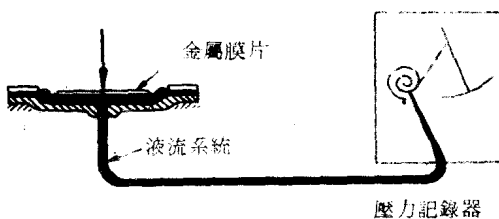


圖 1.6 液體靜壓力計

f. 液體靜壓力計 (hydrostatic force meter) 如圖 1.6 這種方式。力作用在膜片上，使膜片室產生一液壓，此液壓，等於作用力之大小，除以膜片之有效面積。這種壓力乃由布頓壓力計 (Bourdon pressure gage) 指示出來。

1.4 位移及角移之測定

距離及位移之測量，能用量尺或卷尺測得。測量公分以下之距離及位移能用針盤量規 (dial gage)、微分卡 (micrometer)、卡鉗 (caliper)、游標卡尺 (vernier caliper) 等測得。以上幾種方法，均屬於手動測量。但工業上多採用自動測量位移方法。

a. 氣動位移計 (pneumatic displacement gage) 如圖 1.7 所示。這種位移計最適於製造廠零件之檢查，以測量能通過，或不能通過，或適用於連續測量微小之位移，如測量移動薄片或帶狀物之厚度。氣動位移器之動作是靠一開口噴嘴，校正噴嘴背壓相當於噴嘴前端之阻礙距離。噴嘴尖端不應接觸到通過之物料，噴嘴背壓之變化，是由噴嘴之是否遮蓋而引起。其變化約在 0.1 至 1 或 1.5 kg/cm^2 左右。噴嘴背壓可由水銀液壓計 (mercury manometer) 或精密之布頓壓力計測得。位移指示錶通常可校正至 0.0025 公分。

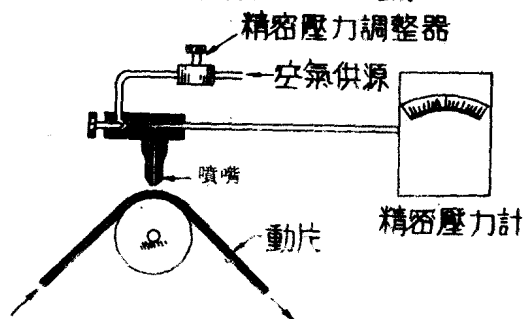


圖 1.7 氣動位移計

b. 電動位移計 (electric displacement gage) 如圖 1.8 所示，銕棒 (gage rod) 之末端，附着在移動之薄片上，接觸力約為 5 兩至 10 兩，當銕棒上下移動時，電樞因此移近一線圈或另一線圈，產生不平衡電路。結果此不平衡之交流電，經整流轉變為直流電，由微安培計 (micro ammeter) 指示出來。電流計則用移動薄片之厚度校正之。電動位移計可測量至 0.000,025 公分。

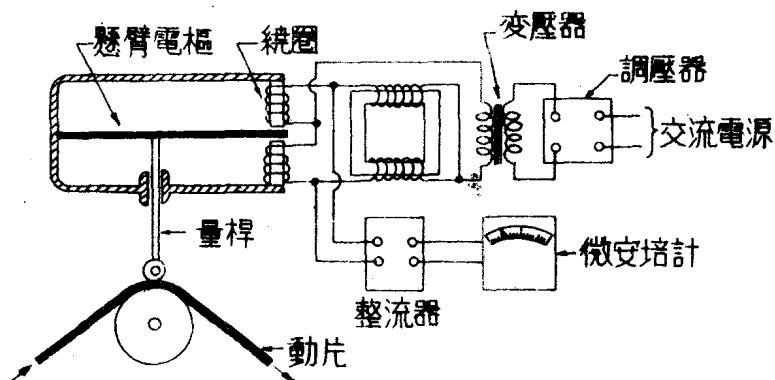


圖 1.8 電動位移計

c. 電位計 (potentiometer) 如圖 1.9 是一種比較價廉，而準確性能較高。在應用上有伸縮性的電位計，包括有一固定線電阻，在其上有滑動接觸，用鍵固定在輸入軸心上。在線端 1 與 2 間，經測得電阻或電壓（假定在端點 1, 3 間為定電壓）是與角度 A 成正比。

d. 可變差電壓變壓器 (variable differential transformer) 可變差電壓變壓器，是另一種電動位移計，如圖 1.10 所示。包括有一磁鐵心，可在雙重線圈內放置於任意位置。當交流電壓加在一次線圈上，而電樞位置在線圈之中部，則在輸出無電壓呈現出來，當鐵心移置後，其二次線圈之電抗 (reactance) 不能平衡。因此輸出之交流電壓與鐵心之位移成正比。差電壓變壓器尺寸較小，能測得由 0.0025 至 5 公分左右之位移。

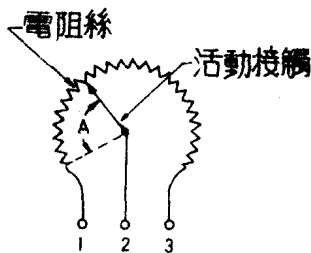


圖 1.9 電位計

e. 同步系統 (synchron system) 係利用同步發電機與同步電動機連接如圖 1.11。同步發電機含有一個二極轉子 (rotor) 及一單線圈，經過滑環 (slip ring) 連接於交流線路上，其靜子包括有三個線圈，分列成 120° 角度。

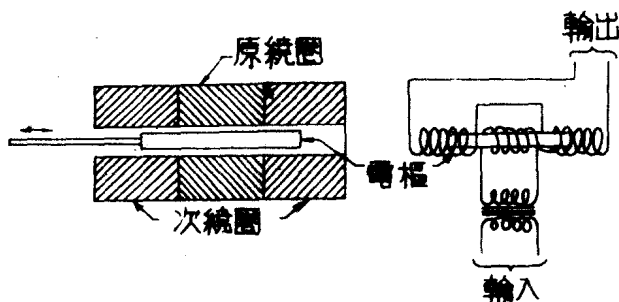


圖 1.10 可變差壓變壓器

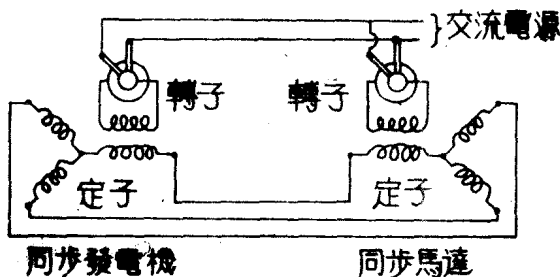


圖 1.11 同步傳遞系統

轉子電流使三個靜子線圈各自感應產生交流電壓，這三個電壓可用來識別轉子之角度位置。同步電動機動作與上述相似，其輸出軸之角度位置，是由靜子線圈之三個電壓來決定的。發電機與電動機必須連接於同一交流線路上，或至少連接之線路為同相及同一週率，利用同步系統，可以測量角度位移至 360° 。如加裝適當之齒輪，能測得更大角移 (angular displacement)。

1.5 面積之測定

測量面積之目的在求得一物體表面積，或一封閉曲線內面積。有關所需之物理數量、面積之大小以長度之平方來表示。如平方公厘，平方公尺等。簡單形狀的面積，可以用公式計算得到，比較複雜之面積，可以分割成簡單面積求得，不規則曲線之面積，可用辛柏生 (Simpson) 規則求得。

a. 極面積儀 (Amsler polar planimeter) 如圖 1.12 所示之面積儀

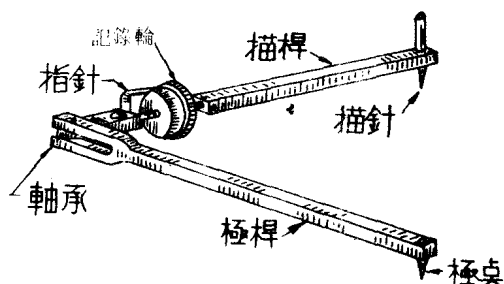


圖 1.12 Amsler 極面積儀

包括二個剛性臂桿，有軸樞連繫，可以互相轉動，一個記錄輪 (record wheel) 可自由迴轉。記錄輪之軸心，與描圖臂桿軸心平行。應用面積儀時，將極柱 (pole) 固定在未知面積平面內之一點，移動描圖尖端，沿面積四週描測一遍，記錄輪迴轉總數，即是測得面積，可於記錄輪刻度上讀得。其測得面積準確度在 1 % 以內。

b. 滾子面積儀 (roll planimeter) 其原理與極面積儀相同，特別適用於測量面積狹長的形狀。

c. 流積儀 (flow integrating) 是特殊面積儀，適用於工業記錄儀器上之圓形圖表面積用。

1.6 壓力及真空之測定

壓力的測量比較重要，其測量方法較溫度流量等為簡單，但測量機件，常與測量壓力之流體相接觸，因之常有使測量機件腐蝕，及阻塞等情形發生。如應用於此種狀態時，測量機件應與流體隔離，其方法是將測量機件與流體間有密封液體之設置。

a. 液體壓力計或稱液柱壓力計 (liquid column manometer) 液體壓力計是最簡單的、直接的、也是最準確的測量壓力方法之一種。常用者，有“U”型管式，井槽式 (well type)，及傾斜管式 (inclined tube type) 等。

1. U 型管液體壓力計 如圖 1.13 所示，立式管子在其底部，用金屬接頭任意連接，U 型管裝置部份灌注液體壓力計用之液體，如水銀、油，或水等。

液體壓力計能測量壓力差 (pressure differential)、測量錶壓力、測量絕對壓力，或真空等。當測量時，如流體壓力高過液體壓力計，而流體有相當密度，則此高出之液壓頭 (fluid head) 必須計算在內。

2. 井槽式液體壓力計 如圖 1.14 所示。這種液體壓力計，是將井槽內液面之變化，可以約略省去，液壓頭可以直接由簡單之刻度表上讀出，不必如 U 型管液壓計，須要減去兩邊距離之讀數。

3. 傾斜管式液體壓力計 (inclined-tube manometer) 如圖 1.15 所示。傾斜管之目的，是用以擴大刻度，使較低壓力差可以容易讀出。這種液體計內，多灌注加顏色之油料。

b. 常用壓力計測量元件 可測量 1400 公斤/平方公分以下之壓力有壓力彈簧 (布頓管)、伸縮管、bellow 膜片式 (diaphragm) 三種。

1. 壓力彈簧計 (pressure-spring gage) 壓力彈簧計，多用渦旋形管，螺旋形 (helix) 管或布頓管，最常用的為布頓管。這種壓力計，包括一彎成圓形之金屬扁管，一端與管座相連，另一端密封，如圖 1.16 所示。由一連桿連接一扇形齒輪，此扇形齒輪與小齒輪相啮合，金屬受壓力變形，即帶動扇形齒輪，再轉動小齒輪，傳動指針，由刻度盤上將壓力指示出來。布頓管壓力計，其金屬管用青銅材料製造，使用壓力可達 42 公斤/平方公厘。如用鈹銅合金 (beryllium-copper) 材料做，使用壓力可高至 700 公斤/平方公厘，此種壓力計，其大小可由 5~35 公分直徑。

至於螺旋管及渦形壓力計，此二種壓力管，主要為增加金屬末端之移動距離，使能作更準確之指示。此二種金屬管多用於記錄儀器內。

2. 伸縮管壓力計 (bellow pressure gage) 如圖 1.17 所示，



圖 1.13 U 型管液體壓力計

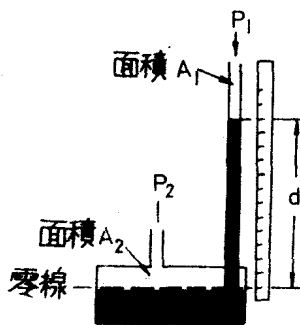


圖 1.14 井槽式液體壓力計

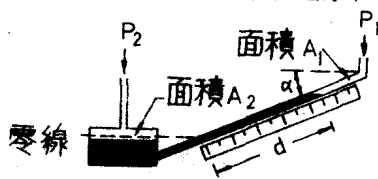


圖 1.15 傾斜管式液體壓力計

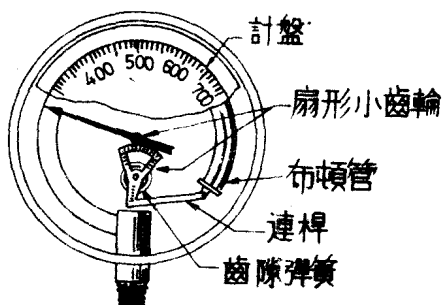


圖 1-16 布頓管 (Bourdon tube) 壓力計

普通金屬伸縮管 (metallic bellows)，一面受壓力的作用，另一面受彈簧的影響，而系統的壓力範圍，主要由伸縮管之有效面積，及彈簧強度差來決定。

伸縮管式壓力計之構造，大致為伸縮管之移動部份，由連桿接至指針，或記錄筆臂。若所用之刻度盤為圓形者，須加用扇形齒輪組。若測量絕對壓力時，須用二個伸縮管之壓力計。其中一個伸縮管，被抽成近乎真空狀態，另一個伸縮管，連至欲測壓力之處。伸縮管之金屬材料，多用黃銅或磷青銅，為防腐蝕起見，

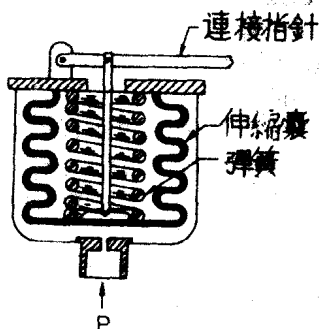


圖 1-17 伸縮管壓力計

內部再鍍鋅，其他尚有用不銹鋼、鉬、銅或蒙尼爾 (monel) 合金材料。此種型式之壓力計，專為測量低壓由 12 公厘水柱至 7 公斤/平方公厘壓力用。

3. 金屬膜片壓力計 (metal diaphragm pressure gage) 如圖 1-18 所示，此壓力計之主要構造，為一可撓曲性金屬膜片，其一邊承受流體壓力作用於膜片有效面積上，使膜片撓曲，另一邊為大氣壓力。撓曲之膜片，由連桿接至一指針，將流體壓力指示出來，在其他情形下，除膜片外，另加一彈簧以限制膜片之撓曲。膜片壓力計依照其構造，測量範圍頗廣，經常應用在低壓測量方面，可由真空至 0.35 公斤/平方公厘。

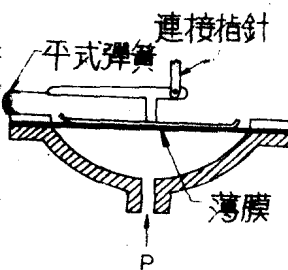


圖 1-18 金屬膜片壓力計

8. 活塞式壓力計 (piston type pressure gage) 活塞式壓力計所測壓力可高達 352 公斤/平方公厘以上。此種壓力計，通常係在儀器試驗室內，用以校正其他壓力計之用。在工業應用上，有三種較為常用之活塞式壓力計，(1)彈簧壓掣式活塞壓力計 (spring opposed piston gage)，(2)蓓雷電力作用靜重活塞壓力計 (Bailey power operated piston gage)，(3)滑錘式活塞壓力計 (slide poise piston gage)。

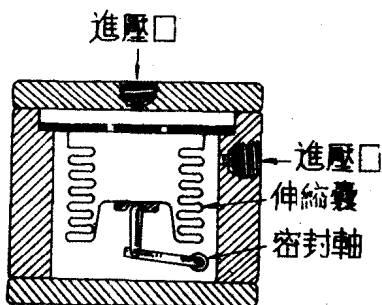


圖 1.21 伸縮管差壓壓力計

c. 壓力計指示元件 (pressure gage indicating element) 一般測量元件所產生之位移，直接連結至指針，或記錄筆。在機械方法來說，利用差壓壓力計的浮子、鐘或伸縮管等遞送運動，是由壓力油密封軸承 (pressure tight bearing)，及扭矩管 (torque tube) 來擔任。

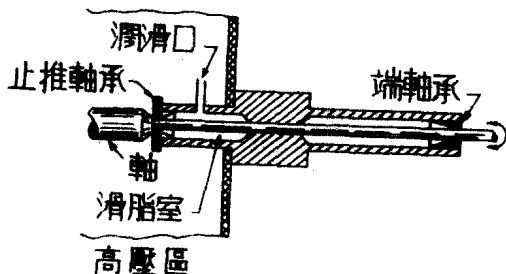


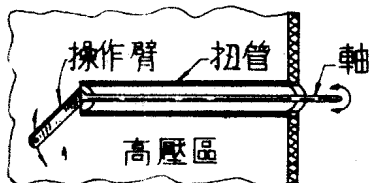
圖 1.22 壓力油封軸承用於差壓壓力計

1. 壓力密封軸承 壓力密封軸承，可以用在幾乎各式壓力計，如圖 1.22 所示。軸心須磨光，可以精密配合。而軸承做成數寸長，以便有較長的漏洩道。潤滑劑之主要作用為密封，這是非常重要的。當這種軸承經過適當的保養，潤滑劑即在極高的壓力下不會漏出，而磨擦阻力亦極小。

2. 扭矩管 其斷面如圖 1.23 所示。是常用於伸縮管壓力計，其外面管子是用較薄的金屬管子製成，並夾緊在壓力計外殼，其內部軸心極堅固。伸縮管產生之力，足以引起扭矩管自由端之扭轉，其內部軸心，依同一方向迴轉扭矩

管，亦可用作彈簧。因此伸縮管之動作，可以經由外殼傳遞，不須密封軸承。

也可用電氣方法，來擔任差壓壓力計中之浮子、鐘形、伸縮管等之傳遞運動。其中幾種，是電感線圈系統 (inductance coil)、電阻棒系統、及電磁離合器 (magnetic clutch)。



3. 電感線圈系統差壓壓力計 圖 1•23 扭短管軸心用於差壓壓力計

如圖 1•24 所示。液體壓力計一側之浮子支持一電樞於無磁性管內，這無磁性管係密封液體壓力計的浮子端，一個分度電感線圈固定在無磁性管外面。在儀器

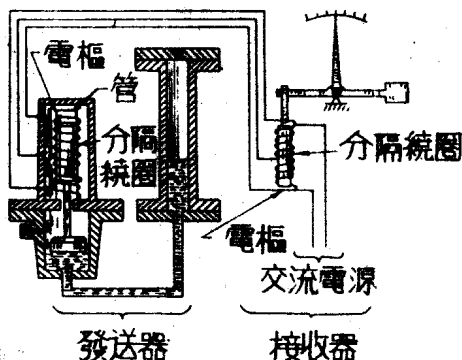


圖 1•24 電感線圈差壓壓力計

或接收器內，包括有一個相同的分度電感線圈，內懸掛一個均衡重 (counter-balanced) 的電樞，於平衡情形下，電樞在各個線圈內，是在相同位置，則在各線圈流動之電流亦相同。當電樞在傳達儀 (transmitter) 移動一新位置，則傳達儀線圈每邊之電抗 (reactance) 不同。上述情形致令各分路上引起不同的電流流動，於是在接收儀上之磁場重再分配，而淨力 (net force) 作用於電樞上，使系統達到平衡。因此在傳達儀內，電樞之每一個位置，必定在接收儀內電樞上，有一符合之位置，於是浮子之移動，傳達至接收儀指針上。

4. 電阻棒方法 (resistance method) 如圖 1•25 所示，係共和流量計製造廠 (Republic flow meter co.) 採用。水銀液壓計，計劃與接觸棒 (contact rod) 裝置在液壓計之一側，接觸棒裝置包括 100 根直立懸掛電阻線，而電阻線之長度，依照差壓為零時之水銀面，排成渦旋形之接觸點。當水銀面

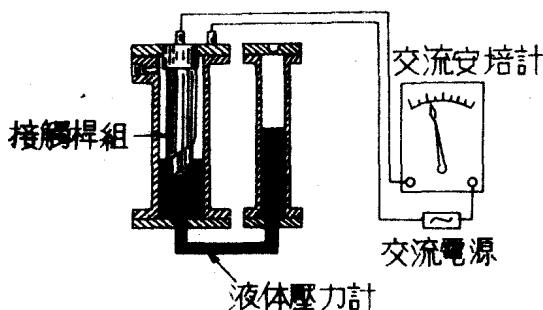


圖 1-25 電阻棒差壓壓力計

向上移動時，則電阻線與水銀面成連續不斷的接觸。因此在接觸棒端，與液體壓力計室 (manometer chamber) 間之總電阻由最大——「沒有一根接觸棒接地」變至零——當全部接觸棒均接地，於是儀器僅用一只電流表，即可作記錄或指示用。接觸棒裝置是用壓力密封，不須密封軸承。

5. 電磁離合器方法 係由海斯公司 (Hays corp.) 採用，如圖 1-26 所示。在無磁性管內，鋼球的位置是由水銀液體壓力計內的浮子來決定。永久磁鐵隨從者 (permanent magnet follower) 可以由鋼球而自動調整中心，玻璃球則再另增些浮力。浮子的移動，使電磁臂產生一相當之迴轉度數，於是在刻度表上可由墨水筆或指針指示出來，不須用壓力密封軸承。

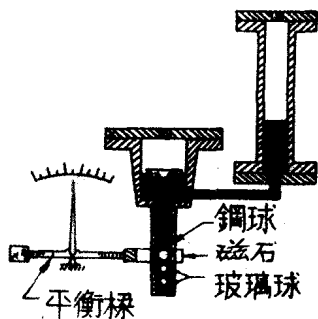


圖 1-26 電磁離合器差壓壓力計

6. 電力壓力計 (electric pressure gage) 如圖 1-27 所示。包括一伸縮管，及一電力位移計。伸縮管將壓力轉變為位移，此位移計則測量此位移。這種壓力計，可測量至 0.00075 公分之位移。這種型式之壓力計可以測量絕對壓力或差壓。在測量絕對壓力時，可將伸縮管抽至真空狀態測量差壓時，可將伸縮管之兩端同時施以壓力，指示壓力之儀器可為電橋式或感應線圈式。

d. 真空或絕對壓力之測量 普通測量絕對壓力，在 3.5 公斤/平方公厘間，可用錶壓力測量並校正誤差數，即得極正確之要求。如絕對壓力在 3.5 公斤/平方公厘以下，最好直接求得絕對壓力，不要依賴錶壓力的讀數。