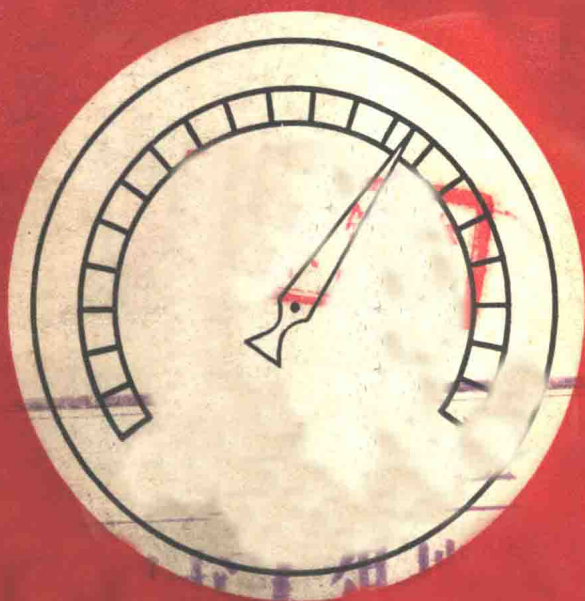




苏联 С. Ф. 契斯加柯夫著

热工仪表与调节器的 使用和调整

电力工业出版社

热工仪表与調節器的 使用和調整

苏联С. Ф. 契斯加柯夫著
崔家彪 陈來九 鍾史明譯
錢 鍾 韓校訂

電力工業出版社

內 容 提 要

本書討論了普通采用的热工仪表和自动調節器的使用与調整，詳細地敘述了測量中可能發生的誤差，同时也研究了如何把自动調節器校整到最好的工作情况。

本書主要供热工測量中間熟悉热工測量原理、仪表主要类型和調整热力过程一般概念的人員应用。

本書也可作为从事热工控制和調整工作的工程技术人员提高業務水平的参考書。

С. Ф. ЧИСТЯКОВ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И НАЛАДКА
ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ И РЕГУЛЯТОРОВ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1953

热工仪表与調節器的使用和調整

根据苏联国立动力出版社1953年莫斯科增訂第2版翻譯

裴家彪 陈来九 鍾史明譯

錢 鍾 韓校訂

528R126

电力工業出版社出版(北京府右街26号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第082号

北京市印刷一厂排印 新华書店發行

787 × 109: 1/32 开本 * 1 1/4 印張 * 153 千字 * 定价(第10类)1.00元

1957年3月北京第1版

1957年3月北京第1次印刷(0001—8,600册)

原 序

在編写本書时，作者假定讀者已熟知了热工測量的原理、測量仪表的基本式样以及热工过程調节的一般概念；因此对仪表及自动調节器的敘述，仅涉及了为研究其調整和使用所必需的部分。

不能把本書当作調整与使用仪表的通用手册。在很多情况下，还需要利用工厂的說明書。在本書中尝试着对仪表及調节器的調整与使用作了一般性的敘述，以求其适用于基本的和最通用的仪表型式。特別对于測量中可能發生的誤差給予了極大的注意。

在自动調节器方面考虑了最复杂的問題之一——把調节器校整到最好的工作情况。在實質上，調节器中測量部分的調整与使用与測量仪表的調整与使用是毫無区别的。然而調节器的放大件(加强件)及执行机构，即使在同一类調节器的範圍內，也極為多样化。因而敘述其調整与使用將导致本書篇幅的大量增加。

研究仪表的安裝，主要是因为由于不正确的安裝会产生額外誤差。本書不涉及仪表的修理、重划刻度及校驗的細節，因为这已超出了基本主題的範圍。

与本書的第一版比較，現在的第三版，在敘述的結構上有些改变：正文部分完全修改，大大地增加了插圖部分，并补充研究了在本書第一版出版后被广泛采用的新仪表的調整与使用。

作者并不認為本書是沒有缺點的。因此所有對本書缺點的指教，作者預先表示衷心的感謝。

作者

目 录

原序

緒論 4

1. 选择仪表的一般考虑(4)
2. 度量学基本术语与定义(6)

第一章 测定压力的仪表 11

3. 低压的测定(11)
4. 测定低压时的額外誤差(18)
5. 薄膜式風压表的刻度(20)
6. 高压的测量(22)
7. 测压仪表的校驗(24)
8. 压力表的刻度(25)

第二章 测定流量的仪表 28

9. 直接测量式流量表(29)
10. 直接测量式流量表的校驗(37)
11. 用节流装置来間接測量流量(38)
12. 节流件的安裝(45)
13. 間接测量式流量表刻度盤的 选择(48)
14. 浮子式机械傳动流量表的连接、調整和 运行(49)
15. 具有电气傳送器的浮子式流量表的 连接、調整及运行(54)
16. 手風琴式薄膜流量表的连接、調整和运行(59)
17. 間接测量式流量表的計数器的运行(62)
18. 连接管路与冷凝容器对流量表工作的影响(65)
19. 节流式流量表的可能測量誤差(69)
20. 間接测量式流量表的一般檢驗(73)
21. 間接测量式流量表讀数的校驗(75)
22. 間接测量式流量表在工作中的一般毛病(83)

第三章 低位水位計 85

23. 液柱式低位水位計(85)
24. 用液柱式低位水位計測量水位的誤差(89)
25. 变相的液柱式低位水位計(91)
26. 压力表式和气压式低位水位計(94)

第四章 测量温度的仪表 97

27. 由于輻射散热的影响而引起的測溫誤差(97)
28. 由于热傳导的影响而引起的測溫誤差(106)
29. 在高速气流中測量温度的誤差(109)
30. 用玻璃溫度表測量温度的特点(111)
31. 用压力表式溫度表測量温度的特点

(113) 32.用电阻式溫度表測量溫度的特点(115)
 33.用热电偶測量溫度的特点(117) 34.用輻射式高溫計測量溫度的特点(123) 35.高溫計式毫伏計的連接、調整和运行(125) 36.比率表的連接、調整和运行(130) 37.电动式自动电位計和自动平衡电桥的連接、調整和运行(133) 38.电子式自动电位計与电子式自动平衡电桥的連接、調整及运行(145) 39.与輻射式高溫計联合使用的仪表的連接、調整及运行(150) 40.測溫仪表讀数的校驗(154)。

第五章 檢查燃燒質量的仪表..... 157

41.人工气体分析仪及其应用特点(153) 42.化学式自动气体分析仪(气体容积式)的应用特点(160) 43.化学式自动气体分析仪調整的一般規則(166) 44.机械式自动气体分析仪的应用特点(167) 45.电气式自动气体分析仪的应用特点(170) 46.电气式自动气体分析仪調整及运行的一般規則(175) 47.自动气体分析仪正常工作的条件(178) 48.应用蒸汽空气(流量)表以估計燃燒过程的質量(182)

第六章 測量含鹽量的仪表..... 187

49.用导电度方法測定含鹽量的一般概念(188) 50.苏联中央鍋爐汽輪机研究所式鹽量計的应用特点(189)
 51.A.A.摩斯托芬式鹽量計的特点(192)

第七章 自动調節器..... 197

52.自动調節器的一般特性(193) 53.無反饋与硬反饋調節器中的校整因素(200) 54.再調式調節器的校整因素(205) 55.双脉动式自动調節器的校整因素(211) 56.校整因素对調節过程的影响(215) 57.关于对象的調節特性的概念(221) 58.按对象的調節特性对調節器进行校整的方法(225)

第八章 几种实用的葯方..... 228

59.自动記錄式仪表用的墨水(223) 60.浮子式差压計密封联軸器的填料(231) 61.用于調節閥填封的材料(232) 62.在仪表的金屬外壳上安裝玻璃用的油灰(232)

緒 論

热能动力裝置的經濟与安全运行，只有按照測量仪表的讀数不断进行檢查才能达到。

但在錯誤的安裝、不准确的調整、以及不良的使用下，測量仪表可能給出很大的讀数誤差。这些仪表的讀数可能使运行人員發生誤会，以致造成事故。因此仪表讀数的誤差不应超出其許可範圍。

自动調節器是測量仪表的一种較完善的形式，它对生产过程进行積極的而又十分客觀的干涉。自动調節設備的利用从根本上改善了运行条件。因此这些設備的采用年年增多。

只有在正确的調整和校整之后，自动調節器才可得到指定的技术經濟效果，以及保證設備的安全运行。調節器的校整应与調節对象的性質相配合。

如上所述，为了达到預期的效果，仪表与自动調節器应正确地安裝与調整，此后并应組織其正确地使用。

1. 選擇仪表的一般考虑

热工測量仪表通常包括測量下列数值的仪表：液体、蒸汽或气体的流量，压力，温度，液体水位，气体混合物中各种成分的含量，溶解在水或蒸汽中的鹽分，蒸汽或气体的湿度。采用仪表有兩個主要目的：热工过程的分析与机組的管理。

为了分析热工过程就需要能自动記錄被觀察量的数值的仪表，以及具有計数器(积算器)自动測量被測物質流量

的仪表。

为了管理机组的运行，可以采用指示式仪表。但自动记录式仪表更宜用于管理机组的运行。这样可减少仪表的数目，因为同一仪表能用于记录和管理两种目的。采用自动记录式仪表可以增加由同一操作人员所照管的机组数目。最后，仪表图纸上的记录可用以估计在任何时间内机组的工作，以及指出被测数量的未来变化的方向。

在用自动调节器所管理的装置中使用自动记录式仪表更为适宜。因为同一操作人员所照管的机组数目增加了，用许多指示仪表来进行检查就变得更加困难。除此以外，有了自动记录式仪表使调节器的调整也简化了。

如果调节器与测量仪表装在同一个壳子里，则测量仪表常用自动记录式。

通常认为自动记录式仪表的缺点是刻度不够清楚，以及机构比较复杂，不适宜在车间环境中应用。苏联出品的自动记录式仪表的最新式样，具有很清楚的刻度和很简单的机构。

具有圆形与长方形图纸的电子式电位计(图1及图2)，其外形有新式仪表的特点。在这些仪表上，有自动记录设备，也附有清楚的指示刻度^①。

电子式仪表具有简单的机构。此外，我们知道，由于恶劣的生产条件使仪表运行质量的低劣，首先表现在基本的测量件上，这在指示式和自动记录式仪表中同样存在。

这样，具有清晰的指示刻度的新式自动记录式仪表，可以同时用于记录和运行管理。因此，把自动记录式仪表

① 计划出品的新式流量表及压力表亦有相类似的外形。

另外排在特殊的“記錄板”上就不恰当了。

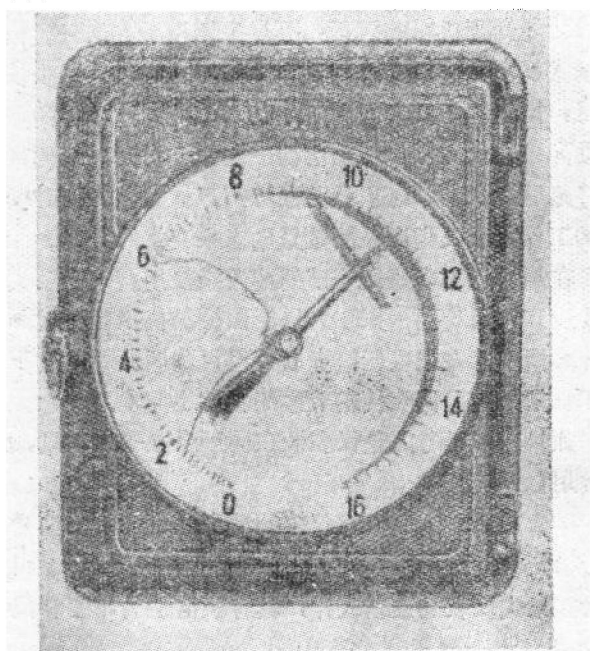


圖 1 具有圓形圖紙的电子式电位計的外形

自动化裝置的运行人員有限，如采用轉接开关，以求用一个指示仪表来測出設備中各不同点的数值，則將不必要地加重运行人員的負担。因此采用轉接开关应加以限制。

运行时所用仪表的数目不应太多。在自动化裝置中，多余的仪表是特別有害的。自动化裝置中应裝有工艺信号設備，以減少測量仪表的数目。

2. 度量学基本術語与定义

測量仪表。將度量單位直接或間接地与被測数量进行比较的設備，称为測量仪表。在自动調節器中的測量設備也

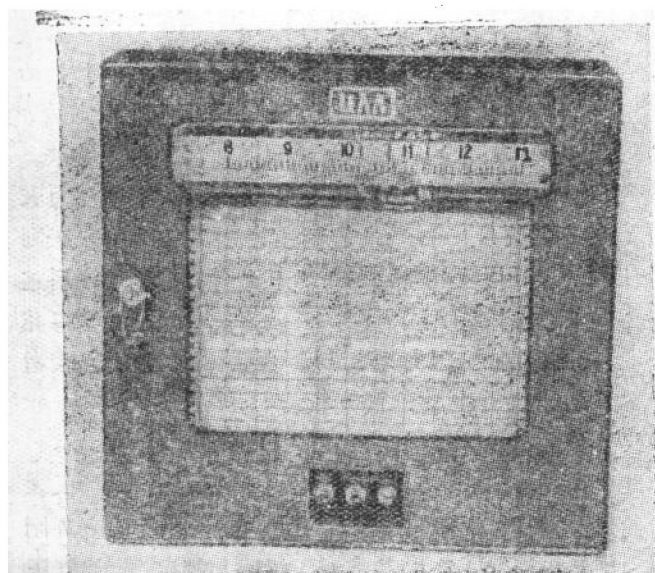


圖 2 具有長方形圖紙的电子式电位計的外形

具有同样的用途。正确使用测量仪表和自动調節器中的測量設備的任务，就是保證在容許誤差限度以內进行測量。

誤差。仪表讀数与被測数量真實值之間的差数，称为仪表讀数的誤差。誤差可能是正的或負的。例如，假定在測定温度时，所用仪表上讀出 105°C ，而真实的温度等于 108°C ，則仪表的誤差就等于 -3°C 。

測量仪表的質量通常不是按絕對誤差而是按折合誤差来判断的。

折合誤差。就是將讀数誤差表示为仪表最大測量限值的分数或百分数(如果仪表的刻度从零开始的話)。如果是双向刻度的仪表(例如由 -50 到 $+150^{\circ}\text{C}$)，則將讀数誤差与最大和最小限值的总和(在本例中为 200°C)相比。对于

沒有零点刻度的仪表(例如刻度自400至900°C),則將讀數誤差与刻度上最大限值与最小限值的差数(在本例中为500°C)相比。

容許誤差。正常的容許的最大誤差,称为容許誤差。一般的容許誤差常用折合数值来表示。例如,假如压力表刻度为0—100公斤/公分²,容許誤差为 $\pm 1.5\%$,那末在刻度上任何一点的絕對誤差約为 ± 1.5 公斤/公分²。在用这只压力表来測定較低的压力时,仪表讀数就相对的变得非常不准确。例如,当压力为5公斤/公分²时,压力表会指出由3.5至6.5公斤/公分²的讀数。

仪表讀数的容許誤差,一般就是所謂基本誤差。

基本誤差。仪表在正常工作条件下的誤差,称为仪表讀数的基本誤差。所謂正常工作条件,通常是指仪表周圍介質温度为+20°C。在某些情况下更附加規定了大气压力,电源电压等等。在不正常的工作情况下,由于外界条件的影响会引起額外誤差。

如果仪表的温度系数是已知的,則周圍介質温度的改变所引起的額外誤差可以預先确定。在周圍介質温度改变一度时,仪表讀数的相对改变称为温度系数。

仪表的温度系数一般小于基本誤差的0.1。这样,对一个基本誤差为 $\pm 1.5\%$ 的仪表來說,温度系数 $\alpha \leq$ 每度0.15%。

某些仪表的工作質量是以精确度的等級来表示的。仪表的精确度等級等于以百分数表示的容許誤差。例如,假設容許誤差为 $\pm 1.5\%$,則仪表的精确度等級就等于1.5。

为了使仪表讀数更为准确,特别是对實驗室用的仪表,要引用校正值。測量仪表的讀数,必須加上(或減去)

一个数值才能得到被测数量的真实值（即仪表的正确讀数），这个加上的数值叫做校正值。校正值就是仪表讀数的誤差，但符号相反。例如，假设仪表讀数为 105°C ，而真实的温度是 108°C ，則誤差为 -3°C ，而校正值为 $+3^{\circ}\text{C}$ 。

在估計仪表的工作質量时还需要考虑到仪表讀数的变易性。当外部条件不变，对同一被测数量的真实值重复进行测定时，各次讀数間实验所得的最大差数称为变易性。例如，当压力为 760 公厘水銀柱时来测定水的沸点（等于 100°C ），假如仪表第一次量得 100.5°C ，第二次量得 99.8°C ，而第三次量得 99.6°C ，則仪表讀数的变易性为 0.9°C 。仪表的容許变易性常以仪表最大限值的分数或百分数来表示。

对于装有計数机构，并且它的計算又不能重复的仪表，变易性就是各次誤差間实验所得的最大差值，而这各次誤差是在其它条件相同的情况下测量同一被测数量的值所得的。例如，在校正流量表时，如流量一定，而各次誤差为 $+1.2\%$ 、 $+0.7\%$ 与 $+1.3\%$ ，則讀数的变易性为 0.6% 。

过去亦采用过刻度誤差^①一詞。此值就是基本誤差的绝对值与变易性之半的差数，即

$$\delta = \Delta - \frac{\nu}{2}, \quad (1)$$

式中 δ ——刻度誤差；

Δ ——基本誤差（用实验决定的最大值）；

ν ——变易性。

① 这个名詞曾在苏联国家标准 3951-47 内。

在多次觀察下，可求出誤差的平均值。更正確的不是用算術平均誤差，而是用平方平均誤差。

平方平均誤差 f_m 可按下式計算

$$f_m = \sqrt{\frac{\sum f_1^2}{m}}, \quad (2)$$

式中 f_1 ——每次測量結果與真實數值的個別差數；

m ——觀察次數。

往往是只知道一串觀察的結果，而不知被測量數值的真實值。此時平方平均誤差按下式計算

$$f_m = \sqrt{\frac{\sum f_2^2}{m-1}}, \quad (2a)$$

式中 f_2 ——每次測量結果與其算術平均值的個別差數；

m ——觀察次數。

或然誤差等於上面算出的平均誤差值的 0.6745 倍（根據或然率理論）。

對於儀表工作質量的評價還採用了兩個名詞：儀表的靈敏度和靈敏度階限。

指針的直綫位移或角位移對於引起此項位移的被測值變化量之比，稱為測量儀表的靈敏度。例如，在某一型式的壓力表上靈敏度為每 1 公斤/公分² 轉動 6°，而在另一型式的壓力表上則為每 1 公斤/公分² 轉動 10°，那末第二種型式的壓力表就有較高的靈敏度。

不能把靈敏度的定義引用到積算式儀表，因為它的讀數不能重復。

能引起測量儀表讀數極小改變的被測值的最小變化，稱為測量儀表的靈敏度階限。“靈敏度階限”一詞常被簡稱為“靈敏度”，這顯然是錯誤的。

儀表的精確度一詞，自 1948 年起已不通用了。

使用儀表的度量學工作共有三種基本方式：校驗、試驗與分度。

為了確定某一儀表的誤差，而將其讀數與標準儀表的讀數進行比較的工作，叫做儀表的校驗。下列工作也屬於校驗的範圍，即對被校驗的儀表進行調整，使其符合於規定標準的要求。

測量儀表的試驗包括在正常工作條件下測量儀表的校驗，也包括不正常工作條件下對各種不同因素的影響的研究。

在測量儀表的刻度綫上加上數值，以表示選定的度量單位，這一工作叫做測量儀表的分度。划出基點以作出全部刻度，亦叫作分度。

第一章 測定壓力的儀表

用於測定壓力的儀表最常用的有兩類。

(1) 用以測定不超過 500 公厘水柱的壓力、真空度及差壓力的微壓表。風壓表也包括在這一類中。

(2) 用以測定高壓的壓力表^①。

3. 低壓的測定

測定低壓，採用直接讀數移動液面位置的液柱式儀表，也採用有指針或自動記錄機構的較複雜的儀表。常有人認為具有 U 形管的液柱式壓力表的測量誤差很小，這樣假定不一定正確。

① 風壓表一詞有時亦用於刻度在 2500 公厘水柱高以下的儀表，此時亦屬於壓力表一類中。

使用 U 形管压力表时，其測量誤差由下列基本因素所決定：顯示液面差的讀數誤差；周圍介質溫度的影響及被測量介質溫度的影響。

在正常情況下，顯示液面差的讀數誤差約在 $\pm 1-2$ 公厘的範圍內。在良好的條件下，讀數誤差可以減少到 ± 0.5 公厘。在測定低壓時，由於液面差讀數不準確所引起的誤差特別嚴重。例如，在測定相當於 100 公厘水柱的壓力時，由於讀數不準確所引起的誤差通常等於 $\pm 2\%$ 。而在測定 20 公厘水柱的壓力時，由於讀數不準確所引起的誤差即達 10%。

為此，在測定低壓力與低真空時，專門採用斜管式液柱壓力表。

周圍介質溫度影響所造成讀數的不準確性，是由於封閉液體重度的改變以及儀表刻度受熱增長所致。

用 U 形壓力表測出的壓力值可按下列式算出

$$p = H \times \gamma \text{ 公斤/公尺}^2, \text{ 或公厘水柱,} \quad (3)$$

式中 H ——顯示液面差，公尺；

γ ——封閉液體的重度，公斤/公尺³。

如封閉液體的重度採用公斤/公分³或克/公分³，而顯示液面差則用公厘，那末在第(3)式內表示的壓力也是公厘水柱或者是公斤/公尺²。

在表 1 中列出了各種常用的封閉液體。

U 形壓力表上裝有玻璃的、黃銅的或鋼的刻度。紙做的刻度對於重要的測定是不適宜的。

刻度的溫度膨脹係數 $\alpha(1/^\circ\text{C})$ 可用：

玻璃 $\alpha = 0.000008,$

黃銅 $\alpha = 0.000018,$

銅 $\alpha = 0.000011$ 。

用于 U 形压力表的封閉液体

表 1

液体名称	化学分子式	在+20°C时的重量 度 γ , 克/公分 ³	在温度近于+20 °C时的容积膨胀 系数 β 1/°C
水銀	Hg	13.547	0.00018
溴乙烷	C ₂ H ₄ Br ₂	2.147	0.00220
四氯化碳	CCl ₄	1.594	0.00191
水	H ₂ O	0.998	0.00021
甲苯	C ₆ H ₅ CH ₃	0.864	0.00110
火油	—	~0.8	0.00095
乙醇	C ₂ H ₅ OH	0.790	0.00110

如果仪表的刻度是在 20°C 的温度下划定的，則当周圍介質温度为 t 时，被测量的压力 P 可按下式求得

$$P = H \times \gamma \frac{1 + \alpha(t - 20)}{1 + \beta(t - 20)} \quad (4)$$

假定 U 形压力表充以酒精，具有玻璃刻度，并且在 +5°C 温度下工作。在此情况下，决定测量不准确性的校正系数 K 等于：

$$K = \frac{1 + \alpha(t - 20)}{1 + \beta(t - 20)} = \frac{1 - 0.000008 \times 15}{1 - 0.0011 \times 15} = 1.0166$$

因此得出誤差等于——1.66%。

在有些情况下，当連接管的温度与周圍介質的温度有显著差別时，則發生額外的測量誤差。

假定在平面 1-1 上(圖 3)被測介質的压力与大气压相同。在此情况下流体静力学的平衡方程式为

$$(H - h) \times \gamma_c + h \times \gamma = H \times \gamma_a, \quad (5)$$

式中 $\gamma_c, \gamma_a, \gamma$ ——連接管內被測介質、空气(周圍介質)

及封閉液的重度，用同一單位表示。

显示液面差

$$h = H \times \frac{\gamma_0 - \gamma_c}{\gamma - \gamma_c} \quad (6)$$

假使 $H = 10$ 公尺，空气的重度 $\gamma_0 = 1.20$ 公斤/公尺³（在温度 $t_0 = 20^\circ\text{C}$ 时），在同一温度下封閉液体的重度 $\gamma = 998$ 公斤/公尺³，以及在連接管内（温度为 200°C 时）的被測介質的重度 $\gamma_c = 0.75$ 公斤/公尺³，則在 U 形管内造成的液面差为

$$h = 10\,000 \times \frac{1.20 - 0.75}{998 - 0.75} \approx 4.5 \text{ 公厘}.$$

要决定連接管内的真实温度实际上是困难的。因此，如必須以最小的誤差測定压力，可从压力表的右臂上裝上通往大气的第二根补偿管子直至 1-1 平面（圖 3）。介質温度的影响將被抵消，而因此發生的額外測量誤差亦就不存在了。

在精确地測定与大气压力相差不远的低压力或低真空度时，建議尽可能地采用較大直徑的連接管与补偿管。在

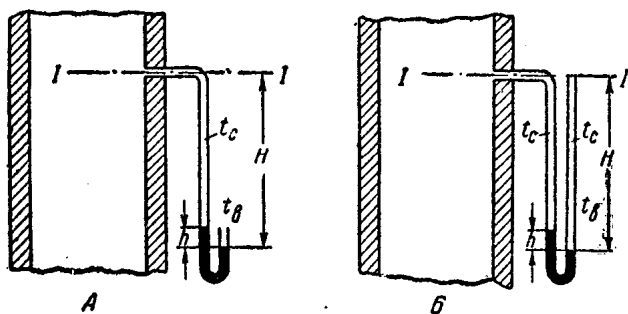


圖 3 用于測定压力的仪表裝置示意圖

A——一般情况；B——用于精确測定。