

热工测量和仪表

下

中国科学院
电子学研究所



19.85-
960
1

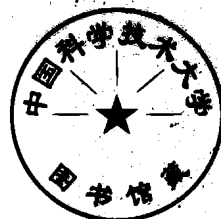
热工测量和仪表

下 册

苏联·维·波·普雷奥勃拉仁斯基著

陈珩 译

苏联高等教育部审定作为动力学院热力工程各系的教材



水利电力出版社

本书叙述热力工程各项重要数值的测量方法，介绍各种最常用的热工测量仪表的动作原理和构造、各式仪表的优点和缺点、测量的误差、测量的工作法和仪表装置方面的重要规则等基本知识。

原书除原序、绪论外，分为六部分，共十五章。译本分上下两册出版，下册包括原书的第二、三、四、五、六部分共九章。

本书系苏联高等学校热力工程各系“热工测量和仪表”课程的教科书。

В. П. ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ
ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1953

热工测量和仪表 下册

根据苏联国立动力出版社1953年莫斯科增订第2版翻译

陈 珩译

*
205 R 45

水利电力出版社出版（北京西郊科学路二里内）

北京市书刊出版业营业许可出字第105号

新华书店科技出版社印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行 各地新华书店经售

*

787×1092 $\frac{1}{16}$ 开本 * 12%印张 * 262千字 * 定价(第10类)1.70元

1955年7月北京第1版

1961年7月北京第8次印刷(17,931—25,456册)

目 录

第二部分 压力和负压力的测量

第七章 压力和负压力的测量	179
第1节 一般知識	179
第2节 液体压力表	181
第3节 彈簧机械式仪表	187
第4节 接触点式和能用电将指示值傳送到远处的仪表	195
第5节 活塞式压力表	198
第6节 电气式压力表	200
第7节 一般的工作法指示和裝置仪表的主要規則	204

第三部分 液体、气体、蒸汽的流量和热量的测量

第八章 速度式和容积式流量表	206
第1节 基本知識	206
第2节 速度式流量表	207
第3节 容积式流量表	210
第九章 用动压測定管来测量液体和气体的流速和流量	212
第1节 基本知識	212
第2节 动压測定管的构造	214
第3节 液体和气体的平均流速及流量的决定	216
第十章 用节流式測量設備来测量液体、气体和蒸汽的流量	219
第1节 理論基础	219
第2节 节流式測量設備的标准型式	224
第3节 在用标准节流設備測量流量时所用計算公式中的系數和改正因數	229
第4节 流过的物质重度的求法	236
第5节 計算的公式	240
第6节 流量測量的誤差	243
第7节 計算节流式測量設備孔徑和差压計刻度标尺的工作法	249
第8节 液体、气体和蒸汽流量測量的特殊情况	252
第9节 关于差压計的基本知識	260
第10节 便攜帶式差压計	261
第11节 机械式差压計	262
第12节 差压計的机械式計算器	268
第13节 能将指示值用电傳送至远处的差压計	271
第14节 用节流設備来測量物质流量的一般工作法指示	279
第15节 关于校驗与节流設備相配合工作的差压計的基本知識	288

第十章附录	294
第十一章 固定压力降的流量表	319
第1节 轉子流量表	319
第2节 IIII9 型流量表	322
第十二章 热量表	323
第1节 基本知識	323
第2节 热量表的构造	323

第四部分 液面的測量

第十三章 液面的測量	327
第1节 一般知識	327
第2节 鍋爐汽鼓內的水位測量	327
第3节 貯蓄器內的液面測量	330

第五部分 烟气的分析

第十四章 烟气的分析	333
第1节 一般知識	333
第2节 人工的和實驗室所用的化学式气体分析器	333
第3节 化学式自动气体分析器	338
第4节 机械式自动气体分析器	345
第5节 电气式自动气体分析器	348
第6节 用来分析氧分的磁力式自动气体分析器	353
第7节 供分析之用的气体試样的抽取和关于装置气体分析器的基本知識	355

第六部分 蒸汽、給水和炉水品質的檢查

第十五章 蒸汽、給水和炉水品質的檢查	359
第1节 基本知識	359
第2节 測量溶液导电率的理論基础	359
第3节 含盐計的构造	362
第4节 蒸汽的取样	367
第5节 关于含氧計构造的基本知識	368
参考文献	370
譯后記	371

第二部分 压力和負压力的測量

第七章 压力和負压力的測量

第1节 一般知識

液体、气体和蒸汽的压力，是由它們垂直作用在单位面积上的力来决定的。在測量压力时，我們可以採用絕對压力或表压力(即超大气压力)。在有些情况下，当不可以把大气压力的影响除外时，就必须知道絕對压力，例如：在决定液体的沸点时，在試驗各种不同种类的机組时等。在工程上，不管是在工业的或在实验室的工作条件下，大多数情况是和表压力发生关系的。

所謂“絕對压力”就是指在液体、气体或蒸汽所处地位上面的全部压力，它等于表压力 p 和大气压力 p_a 的和，即

$$P = p + p_a. \quad (7-1)$$

用来測量大气压力的仪表叫做气压表，而由气压表上所求得的大气压力往往被称为气压表压力。用来測量表压力(超大气压力)的仪表通称为压力表。表压力有时叫做压力表压力。

按方程式(7-1)解出 p 的数值，就可得到：

$$p = P - p_a, \quad (7-2)$$

也就是表压力等于比大气压力为高的絕對压力和大气压力之間的差。

这样一来，压力表所指示的，将始終是絕對压力与大气压力的差，因此对于后者是未予計及的。

假如絕對压力比大气压力低一个数值 p_s ，那末这个数值就叫做負压力(真空)。这样一来，所謂“負压力”就是指大气压力与比大气压力为低的絕對压力之間的差了：

$$p_s = p_a - p. \quad (7-3)$$

用来測量負压力的仪表叫做真空表。

接下去我們要討論測量压力时所用的单位。

在 CGS (厘米、克、秒)絕對单位制中，力的单位是达因(dyn)而面积的单位則是平方厘米(cm^2)，这样一来，压力的单位就将是达因/平方厘米(dyn/cm^2)了。这个单位叫做微巴或巴利，并用字母 b 来代表。

在 MTS (米、吨、秒)絕對单位制中，采用斯正(cn)为力的单位，而采用平方米为面积的单位，这样一来，压力的单位就是斯正/平方米(cn/m^2)了。这个单位叫做皮茲(ns)。因为皮茲本身太小，对于实际应用不方便，所以采用等于皮茲 100 倍的压力为单位，而称它为百皮茲(ins)或巴(B)。

在測量中广泛采用巴的分数为单位，即所謂毫巴(mb)，它等于巴的千分之一。

在工程上用的 MKfS (米、公斤力、秒)单位制中，采用公斤(kg)为力的单位，而采用平方米为面积的单位。因此，压力的单位就将是公斤/平方米(kg/m^2)了。这个单

位并没有特殊的名称。

上面所讨论的压力单位(OH/CM^2 、 CH/M^2 和 $\text{KГ}/\text{M}^2$)，由于过于微小，对于实际应用不大适用；至于说到它们的倍数单位(百皮兹或巴)，则因为 MTS 制没有得到普遍的推广，所以它也没有得到采用。

由于上述的原因，在科学和技术上引用了实用的压力测量单位：在最初的这一类单位中，有一种就是物理大气压，即当水银的重度为13.5951克/立方厘米而在标准重力加速度980.665厘米/秒²时，作用在底面上的压力等于760毫米水银柱。这个在当时曾普遍推广的单位，在目前已经不用了，而用通常称为工程大气压或简称大气压的压力单位来代替它。这个单位等于在每一平方厘米的面积上有一公斤力的压力；所谓“公斤力”就是指能使1公斤质量的物体发生980,665厘米/秒²加速度的力。

除了工程大气压以外，也采用米水柱(MBOД. CT.)，毫米水柱(MM BOД. CT.)和毫米水银柱(相当于1米、1毫米水柱和1毫米水银柱作用在底面上的压力)来作为测量压力的单位。当用液柱测量压力时，液柱应该是指：对于水为4°C、对于水银为0°C而且在标准重力加速度等于980.665厘米/秒²时的数值。

在英国的度量制度中，采用每平方吋(6.452平方厘米)面积上有1磅(0.4536公斤)力作为压力的单位。这个压力单位在苏联是不用的。

在以上所述的各种压力单位之间，存在着下列的关系：

1 公斤/平方厘米 = 980.665 达因/平方厘米	1 百皮兹 = 1 Б = 10.197 米水柱
1 公斤/平方厘米 = 0.9806 百皮兹	1 百皮兹 = 1 Б = 750.06 毫米水银柱
1 公斤/平方厘米 = 10 ⁴ 公斤/平方米	1 毫巴 = 0.75 毫米水银柱
1 公斤/平方厘米 = 0.9678 物理大气压	1 物理大气压 = 1.0332 公斤/平方厘米
1 公斤/平方厘米 = 10 米水柱	1 物理大气压 = 10.332 米水柱
1 公斤/平方厘米 = 735.56 毫米水银柱	1 磅/平方吋 = 0.0703 公斤/平方厘米
1 公斤/平方厘米 = 14.223 磅/平方吋	1 磅/平方吋 = 703 公斤/平方米
1 公斤/平方米 = 1 毫米水柱	1 磅/平方吋 = 51.715 毫米水银柱

下面我们再来讨论各种不同的压力和负压力的测量方法以及最普遍采用的仪表。随着用途的不同，它们全部按准确度分为各种等级。准确度的等级，是以相当于通常用仪表刻度标尺限值的百分数来表示的容许误差的数目来表征的。用来测量压力和负压力的仪表所采用的准确度等级相当于下列的次序：0.005；0.02；0.05；0.1；0.2；0.5；1.0；1.5；2.5；4。除此以外，还制造准确度等级为0.35的范型弹簧压力表和真空表。在用来测量压力和负压力的仪表中，采用准确度等级，大大地简化了仪表的选择，除此以外，并消除了在决定误差时可能的任意性。

用来测量压力和负压力的仪表，根据它们的用途可以分为三个主要的类别：标准的、范型的和实用的。

按照动作的原理，所有用来测量压力和负压力的仪表又可以分为五种主要的类型：液体的、弹簧的、综合的、活塞的和电气的。

在综合的一类仪表中，包括浮筒式、圆环式和钟罩式的，也就是包括所有具有混合特性的仪表^①。

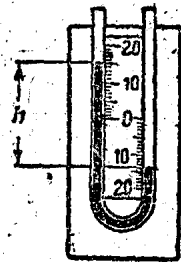
① 关于浮筒式、圆环式和钟罩式仪表的叙述见第十章。

彈簧的和綜合的仪表有做成機械式的，也有做成能將指示值用電傳送到遠處的；后者通常是和一個或兩個二級仪表共同工作的。

第2節 液體壓力表

基於液體靜力學作用原理的液體壓力表，廣泛地應用在壓力和負壓力的測量中雖然除了液體壓力表外還有足夠多的基於其他壓力測量方法的壓力表，但是在很長的時期中，直到現在為止，不管是在實驗室工作中或在各種不同的工業部門中，它們還是被廣泛地應用着。所以如此的原因，應該歸於它們的運用簡單，測量的準確度比較高，最後還有它們的價格低廉。

U形管壓力表 用來測量壓力、負壓力和壓力差的最簡單而同時又準確的仪表，就是U形玻璃管壓力表，在它里面的工作液體充滿到它高度的一半(圖7-1)。用這種仪表來測量壓力的原理，是基於直接對工作液體液面差 h 的觀察。通常是採用水銀或水來作為工作液體的。然而在精密的壓力測量中，由於水的毛細管性質，使它不能在用直徑小的玻璃管所做成的U形管壓力表內作為工作液體之用。在這種情況下，宜採用酒精或甲苯來作為工作液體。



假如U形管的一根管子和需要測量壓力的容器接通，而另一根管子在開放的狀態中，也就是和大气連通，那末要測量的壓力 p ，可以用下面的方程式求出：

$$p = h \cdot \gamma,$$

(7-4) 圖 7-1 U形管壓力表

式中 p ——表壓力，公斤/平方厘米；

h ——工作液體的液面差，厘米；

γ ——工作液體的比重，公斤/立方厘米。

假如用U形管壓力表測量壓力以該工作液體柱高度的毫米數來計數，則 $p = h$ 。

U形管壓力表，如上所述，也可用來測量負壓力，也就是用作真空表；同樣，它也可用作差壓計來測量壓力差。

假如按U形管仪表來讀液柱的高度用眼睛來進行，那末在測量液柱高度時的絕對誤差可以估計為1毫米。同時應當注意到，刻度標尺本身的誤差和求工作液體比重時所產生的誤差，都被我們略去不計了，因為這些誤差比起讀表的誤差來都是很微小的。由於在U形管壓力表中必須進行兩次讀表，所以在這種情況下，最大的絕對誤差可能達到2毫米。由此可知，用U形管仪表來測量壓力、負壓力和壓力差時的相對誤差，主要是隨工作液體柱的高度和它的讀數的準確度而定的。

為了提高工作液體柱高度讀數的準確度，范型的U形管壓力表裝置着帶有反射鏡的刻度標尺。在這種情況下，當刻度標尺的每一分格的數值為1毫米時，液體柱高度的讀數可能帶有0.25毫米的誤差。假如考慮到必須進行兩次讀表，則總的誤差將不低於0.5毫米。在作精密的測量時，進行兩次讀表是很不便的。因此，為了避免這些不便，同時又為了減少誤差，預先把U形管壓力表的管子的刻度校正好，借此就可以只進行一次讀表了。

在測量很小的壓力時，例如，以液體柱的高度來表示總共不過十分之几毫米的壓

力，U形管仪表就成为很粗陋，那就要用一种被称为微压计的仪表来代替它。U形管压力表对于测量比较大的压力是完全不适宜的。

杯形压力表 在图 7-2 中所示为杯形压力表的简图。它基本上就是一个 U 形压力表，但其中的一根管子做成了容器的形式，而且它的截面积比另外一根管子的截面积要大得多。所测的压力作用在面积较大的容器内的工作液体面上，迫使工作液体沿着测量的玻璃管向上升去。设在所测压力的作用下，测量管中的液面升高 h_1 ，而面积较大的容器内液面降低了 h_2 ，那时相当于所测压力的液柱高度将等于：

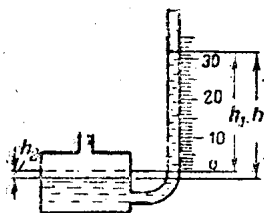


图 7-2 杯形压力表简图

$$h = h_1 + h_2 \quad (7-5)$$

假如 F_1 ——测量管的截面积，而 F_2 ——宽广容器的截面积，那末

$$F_1 h_1 = F_2 h_2 \quad (7-6)$$

这是因为在测量管中所增加的液体体积 $F_1 h_1$ ，应等于由宽广容器中流出的液体体积 $F_2 h_2$ 。

由方程式(7-5)和(7-6)解出 h ，可得到：

$$h = h_1 \left(1 + \frac{F_1}{F_2} \right) \quad (7-7)$$

也就是相当于所测压力的实际液柱高度要比由测量管中所读得的高度为高。所超出的数值为 $h_1 \cdot \frac{F_1}{F_2}$ 或 $h_1 \cdot \frac{d^2}{D^2}$ ，式中 d ——测量管的内径，而 D ——宽广容器的内径。

假如 γ ——工作液体的重度，公斤/立方厘米，而 h_1 用工作液体柱高度的厘米数来表示，那末由方程式(7-7)可得到：

$$p = h\gamma = h_1 \gamma \left(1 + \frac{d^2}{D^2} \right) \quad (7-8)$$

式中 p ——压力，公斤/平方厘米。

假如工作液体的重度是用克/立方厘米来表示，而 h_1 用毫米来表示，那末所得的压力就是以毫米水柱为单位的了。

杯形压力表比起 U 形管压力表来的主要优点是它可以只读一次表，因为在宽广容器内的工作液体高度差可以略去不计，也可以用加改正值的方法来予以计入。

这种现象，也就是只进行一次读表的可能性，使得由于读表可能造成误差减少了一半。

假如宽广容器的内径等于 80 毫米，而测量管的内径等于 4 毫米，那末，当测量管内的工作液体升高任何一个高度时，宽广容器内的工作液体面将降低这个高度的 $\frac{4^2}{80^2}$ ，也就是 0.25%。因而，假如在杯形压力表中要把宽广容器内的液面变更考虑在内的话，那末所测得的工作液体柱高度就必须增加 0.25%。

杯形压力表的外貌示于图 7-3 中。对于这种仪表，因数 $\left(1 + \frac{d^2}{D^2} \right)$ 等于 1.00173；由此可见，由于不考虑这个因数(乘数)而生的误差，不超过 0.173%。对于一定的工作

液体(通常是酒精—— $\gamma=0.8\text{克/立方厘米}$)，杯形压力表的刻度标尺是按毫米水柱来刻度的。

在范型的杯形压力表中，为了提高讀工作液体柱高度的准确度，装置了带反射鏡的刻度标尺。

微压計 微压計是一种实验室用的仪表，供測量微小的压力、負压力以及不大的压力差之用，所測量的压力都以十分之一毫米水柱来計数。在这里要用前面所述的液体仪表来測量是不可能的，因为这些仪表的誤差太大。

为了减少誤差，在这种仪表內采用了特殊的光学設備，或者使杯形压力表的測量管子成傾斜的状态。

当进行工程上的測量工作以及要求迅速讀表的測量工作时，最好采用带傾斜管子的微压計，因为装置着光学設備的微压計在这种情况下是不方便的。

图 7-4 所示为带傾斜管的微压計簡图。当測量压力时，需要測量压力的空間和寬广容器相連通，而当測量負压力时則与傾斜管相連通。在測量压力差的情况下，則把較高的压力和寬广容器接通，而把較低的压力和傾斜管接通。

設在所測压力的作用下，与水平綫之間有傾斜角度 α 的管子內的工作液体面在垂直方向升高了一个高度 h_1 ，

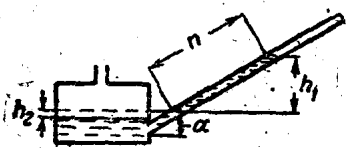


图 7-4 带傾斜管子的微压計簡图

而在寬广容器內的液面下降了 h_2 ，那时在仪表內工作液体面的高度差将等于：

$$h = h_1 + h_2, \quad (7-9)$$

$$\text{式中} \quad h_1 = n \sin \alpha. \quad (7-10)$$

假如 F_1 ——管子的截面积，而 F_2 ——寬广容器的截面积，那末

$$nF_1 = F_2 h_2, \quad (7-11)$$

也就是在傾斜管內所增加的液体体积 nF_1 ，等于寬广容器內所减少的液体体积 $F_2 h_2$ 。

把由方程式(7-10)和(7-11)所算出的 h_1 及 h_2 的数值代入方程式(7-9)中，可得到：

$$h = n \left(\sin \alpha + \frac{F_1}{F_2} \right) \quad (7-12)$$

或

$$p = h\gamma = n\gamma \left(\sin \alpha + \frac{F_1}{F_2} \right). \quad (7-13)$$

假如在公式(7-13)中的重度 γ 以克/立方厘米来表示而 h 以毫米来表示，那末所得出的 p 就将用工作液体柱高度的毫米数来表示了。

寬广容器，也象在杯形压力表中的情况一样，做成比較大的截面积，借此，在它里面的工作液体面变动可以略去不計，而且可以不加改正值。在这种情况下，

$$h = n \sin \alpha$$

或

$$p = h\gamma = n\gamma \sin \alpha. \quad (7-14)$$

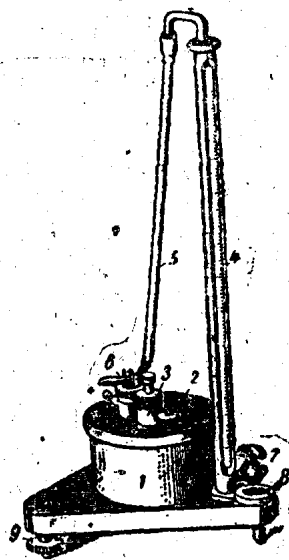
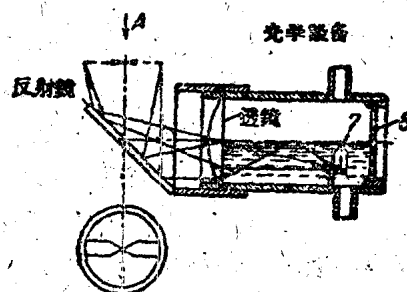
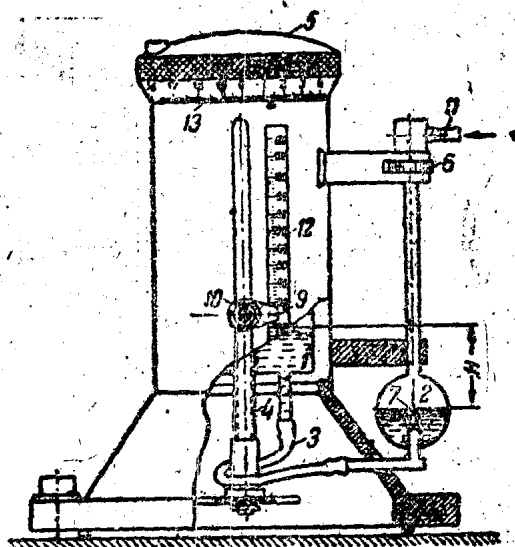


图 7-3 杯形压力表的外貌图

1—容器；2—将加工作液体到仪表內去的开孔封閉的塞子；3—調整仪表零位的裝置(参看图7-5中的类似裝置)；4—帶有刻度标尺的玻璃管；5—橡皮連通管；6—多向閥；7—放空液体的閥門；8—水平指示器；9—螺旋支脚。

置。当架子位于液体曲面的水平时，那时通过放大鏡(向箭头A所指的方向看)不但可以看見液体曲面本身，而且可以看見它在凹面反射鏡內的象3。当直立的和倒的象剛好相接触时，就可以进行讀表了。

按照图 7-6, a 的簡图所做成的仪表，实际有好几种型式。在其中我們要进行討論的，是耶·弗·多林斯基(Е.Ф. Долинский)所建議的全苏測量科学研究所(ВНИИ-ИМ)的АЛЛ型微压計。这个仪表具有(图7-6, б)带旋柄的导杆式螺絲1，在旋轉它时，可以把带有放大鏡和凹面反射鏡的活动架子2搬移位置。在管子3內的液柱高度，是由架子移动的多少来决定的，这个数值可在直立的刻度标尺4和刻在导杆式螺絲头上的刻度盘5上面讀出。按分格为由0到200毫米的标尺4讀出的，是以毫米来表示的整数部分，而按刻度盘5讀出的則是毫米的小数。刻度盘5共分为40格，而导杆式螺絲的节距为2毫米，因而，刻度盘5的每一分格代表的数值相当于0.05毫米。当АЛЛ型微压計內盛着酒精时，测量的上限等于160毫米水柱。



沿箭头A所示的方向视图

图 7-7 补偿式微压計

下面接着要討論的是图7-7中所表示的微压計。它是补偿式的仪表，可供测量120毫米水柱以下的压力、负压力和压力差之用。补偿式微压計包括两个容器1和2，中間用橡皮管連通。在容器1的中心，有个螺絲帽，通过这个螺絲帽穿着分厘卡式的螺絲4。分厘卡式螺絲的下端以鉸鏈的方式和仪表的底座相連，而它的上端則固定地和头子5連牢。这样一来，在旋轉头子5时，容器1就可以沿着螺絲4的軸綫向上或向下移动。移动容器1，直到容器2內的水平面停在視察釘7的尖鋒上为止。借通过侧面玻璃8所射入的光綫，就可能用特殊的光学設備来观察視察釘尖鋒和它在水面上影子的接触，如图7-7中所示。

在开始进行工作时，先用水平指示器把仪表位置整定好，并使指针9和头子5都指在刻度标尺的零点。然后在容器內注入蒸餾水，使在反射鏡內所看到的視察釘尖鋒和它自己的象相接触。

为了准确地校正零点的位置，要旋轉螺絲帽6，把容器2向上或向下移动。在测量負压力时，待测量的部分是和接头13相連的，而在测量压力时則和接头11相連。假如需要测量压力差，那末压力高的部分要和接头11相連而压力低的部分則和接头10相連。

在压力或压力差的影响下，容器1內的水面就要升高，而容器2內的水面則要降低。轉动头子5，使容器1升高，直到反射鏡內的視察釘頂端和它自己的象相对为止。以毫米水柱为单位的被测压力讀数，可以直接在两根刻度标尺上讀出来：整数部分按标尺12的格数讀出，而小数部分則由刻度盘13讀出。刻度标尺12每一分格为2毫米，而刻度盘13則分为200个等分，每一等分相当于0.01毫米。

这种仪表的准确度，由于存在着螺絲的齿紋間隙，所以不会超过0.02~0.05毫米水柱。

在液体压力表上应加的改正值 在討論供测量压力用的液体压力表时已經指出，有

必要考虑由于不能正确地讀出液柱高度而产生的不可避免的誤差。

在进行精密的測量工作时，除了上述的以外，还必须考虑由于温度和重力加速度的影响所造成的誤差。

前面已經說过，在用液体压力表測量压力或負压力时，采用液柱高度 h 作为压力的度量，这个高度通常用毫米水柱或毫米水銀柱来表示；同时液柱的高度，对于水要化为 4°C ，而对于水銀要化为 0°C ，并且都要化到标准重力加速度 $g=980.665$ 厘米/秒² 时的数值。实际上，压力表上的这个高度是在其他的温度和重力加速度下讀得的。因此，在压力表上直接讀出的讀数必須加以校正，就是說把它化为前述状态下的指示值。同时，液体仪表刻度标尺的长度通常化为 20°C ，因为标尺的分格都是在这个温度下刻成和校准的。

假如 h_t ——在温度为 t 时讀出的仪表內的工作液面差，那末在标准温度 t_0 下的液面差 h_0 ，以一般的形式来表示将等于：

$$h_0 = h_t \frac{1 + \alpha(t - 20)}{1 + \beta(t - t_0)}, \quad (7-15)$$

或
$$h_0 = h_t \{1 - [\beta(t - t_0) - \alpha(t - 20)]\}, \quad (7-16)$$

式中 β ——工作液体在接近 20°C 时的平均膨胀系数（对于水銀等于 0.00018 ，水—— 0.0002 ，乙醇—— 0.0011 度⁻¹）；

α ——标尺所用材料的綫膨胀系数（对于黃銅等于 0.000019 ，銅—— 0.000012 ，玻璃—— 0.000008 度⁻¹）。

求出在标准温度 t_0 和一定測量地点的重力加速度 g_0 时的数值 h_0 以后，就可以按下列公式求出适当于标准重力加速度 g 时的液柱高度 h_n 来。

$$h_n = h_0 \frac{g_0}{g}, \quad (7-17)$$

式中 g_0 ——当地的重力加速度，亦即对于地理上的緯度 φ 而言的重力加速度（对于莫斯科 $g_0=981.56$ 厘米/秒²）；

g ——标准重力加速度，等于 980.665 厘米/秒²。

把由公式(7-16)算出的 h_0 数值代入公式(7-17)中，就可得到：

$$h_n = h_t \frac{g_0}{g} \{1 - [\beta(t - t_0) - \alpha(t - 20)]\}. \quad (7-18)$$

例。在温度为 30°C 和 $g_0=981.56$ 厘米/秒² 时，按 U 形管压力表所測得的压力 $h_t=800$ 毫米水銀柱。系数 β 和 α 各等于 0.000182 及 0.000012 度⁻¹。求 h_n ，也就是把 h_n 化为标准条件时的数值：

$$h_n = 800 \frac{981.56}{980.665} [1 - (0.000182 \times 30 - 0.000012 \times 10)] = 796.7 \text{ 毫米水銀柱 (当温度为 } 0^\circ\text{C 和 } g=980.665 \text{ 厘米/秒}^2 \text{ 时)}.$$

这样一来，实际的压力要比按仪表測量出来的压力低 0.41% 。

水銀气压表 气压表是用来測量大气压力的。在工程上，主要在求绝对压力时需要应用它們。水銀气压表通常分为两大类：杯形的和虹吸管式的。最普遍采用的是杯形的气压表。

在图 7-8 中所示为杯形水銀气压表。在这种型式的气压表中，玻璃的容器和管子都是封閉在金属的壳子 3 里面的。在这个壳子的上部有一条貫穿的槽口 1，供观察水銀柱

的曲面之用。沿着槽口在壳子上刻着标尺的分格，用来计算在容器 2 内的液面变更。在壳子的槽口内放着特殊的瞄准器 5，在它上面装置着游标尺，可借螺丝 4 来移动。用这个螺丝来实现瞄准器对水银柱曲面顶点的准确瞄准工作，借此保证读表的必要准确度。气压表应当位于垂直的位置，为此目的，它是自由地支持在圆环 6 上面的。在仪表的外面装着一个温度表 7，用它可以检查水银柱和刻度标尺的温度。

这种气压表的标尺按毫米水银柱或毫巴来刻度。

我們都知道，气压表压力是采用在 0°C 及标准重力加速度 $g = 980.665$ 厘米/秒² 时、以毫米计数的水银柱高度或毫巴来作为度量的。实际上，水银柱的这个高度，都是在其他数值的温度和重力加速度之下读出的。因此，就必须把由气压表直接读出的读数加以校正，也就是把这个读数化算为标准条件下的指示值，为此目的就要用下面的方程式

$$h_n = h_0 [1 - (\beta - \alpha)t] \frac{g_0}{g}, \quad (7-19)$$

式中 h_0 ——在温度为 t 时按气压表读出的水银柱高度，毫米；

β ——水银的膨胀系数，等于 $0.000180^{\circ}\text{C}^{-1}$ ；

α ——黄铜的线膨胀系数(气压表的标尺是用黄铜做的)，等于 $0.000019^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

其余的代号相当于公式(7-17)中所采用的。

重力加速度 g_0 可以用下面的公式来求出：

$$g_0 = g[1 - 0.026 \cos 2\phi - 0.0000002H] \text{ 厘米/秒}^2, \quad (7-20)$$

式中 ϕ ——地理上的纬度(对于莫斯科， $\phi = 55^{\circ}45.3'$)；

H ——海拔的高度，米。

在用水银气压表来作精确的气压测量时，还需要考虑到：(a) 水银在管子内的毛细管作用降低与管子直径及水银曲面高度有关；(b) 在气压表管子内的真空不完全。这些改正值在校验实用的水银气压表时，通常包括在仪表的改正值以内。

由上所述可知，在按水银气压表读出的数值 h_0 上，应当引入下列的各项改正值。

C_1 ——在气压表检验证书上指出的改正值；

C_2 ——把气压表的指示值化为 0°C 时的数值应加的改正值(按表 7-1)；

C_3 ——把气压表的指示值化算到纬度为 45° 而在海面上的数值(也就是化为标准重力加速度时的数值)应加的改正值(表 7-2)。

这样一来，气压表压力的实际数值 h_n 可由下面的方程式求出：

$$h_n = h_0 + C_1 + C_2 + C_3. \quad (7-21)$$

假如只要知道在一定地方的气压表压力大小，则改正值 C_3 是不要引入的。



图 7-8 杯形水银气压表

第 3 节 弹簧机械式仪表

基本知识 基于各种不同弹性元件变形原理的弹簧机械式仪表，做成通风表、风压

表 7-1 把帶黃銅刻度標尺的水銀气压表指示值化算到 0°C 時的數值應加的改正值

溫 度 (°C)	当气压表压力为下列数值(毫米水銀柱)時的改正值, 毫米水銀柱								
	700	710	720	730	740	750	760	770	780
10	-1.14	-1.16	-1.18	-1.19	-1.21	-1.22	-1.24	-1.26	-1.27
11	-1.26	-1.28	-1.29	-1.31	-1.33	-1.35	-1.36	-1.38	-1.40
12	-1.37	-1.39	-1.41	-1.43	-1.45	-1.47	-1.49	-1.51	-1.53
13	-1.48	-1.51	-1.53	-1.55	-1.57	-1.59	-1.61	-1.63	-1.65
14	-1.60	-1.62	-1.64	-1.67	-1.69	-1.71	-1.74	-1.70	-1.73
15	-1.71	-1.74	-1.76	-1.79	-1.81	-1.83	-1.86	-1.88	-1.91
16	-1.83	-1.85	-1.88	-1.90	-1.93	-1.96	-1.98	-2.01	-2.03
17	-1.94	-1.97	-2.00	-2.02	-2.05	-2.08	-2.11	-2.13	-2.16
18	-2.05	-2.08	-2.11	-2.14	-2.17	-2.20	-2.23	-2.26	-2.29
19	-2.17	-2.20	-2.23	-2.26	-2.29	-2.32	-2.35	-2.38	-2.41
20	-2.23	-2.31	-2.35	-2.38	-2.41	-2.44	-2.48	-2.51	-2.54
21	-2.39	-2.43	-2.46	-2.50	-2.53	-2.56	-2.60	-2.63	-2.57
22	-2.51	-2.54	-2.58	-2.62	-2.65	-2.69	-2.72	-2.76	-2.79
23	-2.62	-2.66	-2.70	-2.73	-2.77	-2.81	-2.85	-2.88	-2.92
24	-2.73	-2.77	-2.81	-2.85	-2.89	-2.93	-2.97	-3.01	-3.05
25	-2.85	-2.89	-2.93	-2.97	-3.01	-3.05	-3.09	-3.13	-3.17
26	-2.96	-3.00	-3.05	-3.09	-3.13	-3.17	-3.21	-3.26	-3.30
27	-3.07	-3.12	-3.16	-3.21	-3.25	-3.29	-3.34	-3.38	-3.43
28	-3.19	-3.23	-3.28	-3.32	-3.37	-3.41	-3.46	-3.51	-3.55
29	-3.30	-3.35	-3.39	-3.44	-3.49	-3.54	-3.58	-3.63	-3.68
30	-3.41	-3.46	-3.51	-3.56	-3.61	-3.66	-3.71	-3.75	-3.80

表 7-2 将气压表压力化算到緯度45°海面上的數值時, 也就是化算到标准重力加速度時的數值應加的改正值

(a) 由于把氣压表压力化算為緯度45°處的數值應加的改正值

地理上的緯度	当气压表压力化为0°C后为下列数值(毫米水銀柱)時應加的改正值, 毫米水銀柱			
	650	700	750	800
30°	-0.8	-0.9	-1.0	-1.1
35°	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7
40°	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4
45°	±0.0	±0.0	+0.0	±0.0
50°	+0.3	+0.3	+0.3	+0.3
55°	+0.6	+0.6	+0.6	+0.7
60°	+0.8	+0.9	+1.0	+1.1
65°	+1.1	+1.2	+1.2	+1.3

(b) 由于把氣压表压力化為海面上的數值時應加的改正值

拔 海 高 度, 米		改 正 值, 毫米水銀柱
由	至	
0	500	+0.0
500	1200	+0.1
1200	1500	+0.2

表、气压表、压力表、真空表和压力-真空表等各种形式。这些仪表应用在广阔的测量范围中，可由十分之几毫米水柱直到好几千公斤/平方厘米的压力，既可用在实验室的工作条件下，又可用在工业的条件下。原因是它们的构造简单、可以搬移、应用简单以及价格低廉。

在弹簧仪表中，是采用鼓膜、鼓膜式匣子、手风琴式弹簧（手风琴管）以及弯成圆弧形或螺旋弧形的管子弹簧来作为弹性元件的。弯成圆弧形的管子弹簧，通常简称为管子弹簧或波登管，而弯成螺旋弧形的则称为螺旋形管子弹簧。

应该指出，用在弹簧仪表内的弹性元件的原理和计算方法，是由维·伊·菲奥多西夫（В.И.Федосьев）充分完善地研究成功的〔见参考文献第22项〕。

弹簧仪表按它们的用途可以分为范型的和实用的两大类。实用的仪表，不管是指示式的或是自动记录式的，都依据它们的构造特征和用途按规定的标准制成由第1级到第4级四种准确度等级。在实用的仪表中，我们要加以注意的是准确度为第1级的检查压力表。这些仪表，是用来周期性地各种型式的实用压力表装置地点就地进行校验工作的，在个别的情况下，它们也可用在按照锅炉监察规则进行锅炉或其他类似设备校验时所做的水压的试验中。

范型的弹簧压力表，有0.2、0.35和0.5三种准确度等级，做成压力表和真空表的形式。范型仪表是用来进行各种不同弹簧压力表、真空表和压力-真空表的校验和刻度工作的。除此以外，有时它们还被直接用来测量压力和负压力。

膜式通风表和风压表 这些在工业中广泛应用的仪表，是用来测量不大的压力、负压力的，也可以用来测量比较小的压力差。例如：在锅炉设备中、熔铁炉中、工业的加热炉中以及很多其他情况下利用通风表来测量通风力和用风压表来测量空气压力等。

膜式通风表和风压表做成带侧面刻度标尺的和带同心刻度标尺的两种。同时，它们的构造在原理上是相同的，只是有个别传动的元件以及外壳的形状不同而已。带有侧面刻度标尺的仪表是较为紧凑的，所以它们更适于装在控制板上。

在图7-9, a 中简略地表示着用来测量压力的带水平侧面刻度标尺的仪表。在这里面采用了由两片起凹凸纹的膜片所合成的鼓膜式匣子2来作为弹性元件。这个匣子是借管子1来和需要测量压力的空气或气体所在的空間相連通的。随着所测空間内介质压力的变更，鼓膜式匣子也弯曲了，这时，它的容积就将增大或缩小。由于鼓膜式匣子弯曲，焊在膜片2中心的梢钉3就把曲柄的杠杆4推转，此杠杆转而又借拉杆6和杠杆7的帮助把指针5推转某一个角度。为了消除指针轴的活动间隙，装置了螺旋形的游丝12。

鼓膜式匣子的动作行程并不是和压力的变化成正比的。因此，为了得到均匀的刻度标尺，在仪表中装置了特殊的附件，这附件是由板形弹簧8和带有调整螺丝的支架9所组成的。当弹簧升高时，就会被调整螺丝顶住，因此随着压力的升高弹簧的有效长度也就要缩短了，同时也就增加了它的刚度。

这样一来，所测压力就借弹簧和鼓膜式匣子两者的作用而达到平衡。同时应当指出，鼓膜式匣子的弯曲，在相同的条件下差不多要比一片有凹凸纹的膜片的弯曲大一倍。

把仪表的指针调整到刻度标尺上的零点，是用螺丝10（零位校正器）来进行的。当把这个螺丝沿顺时针方向旋转时，螺丝的锥形尖端就进入了杠杆11的环内把它向上顶起，

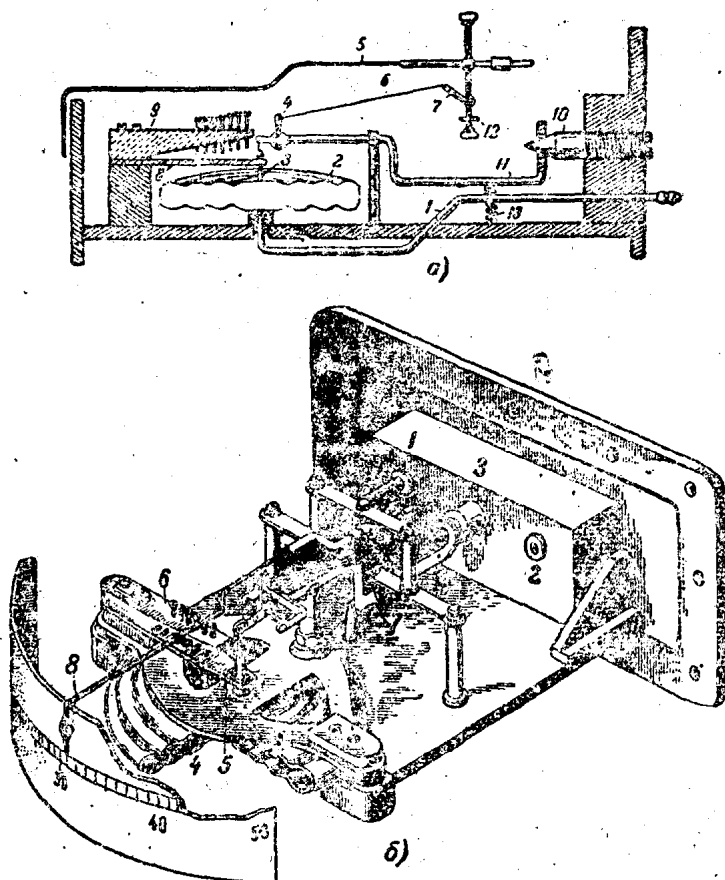


图 7-9

а—带水平侧面刻度标尺的膜式风压表简图；б—带水平侧面刻度标尺的膜式风压表内部构造图；1—用来连接风压的管子；2—用来使仪表和大气接通的管子接头；3—零位校正器；4—鼓膜式匣子；5—弹簧；6—带有调整螺丝的支架；7—螺旋形弹簧；8—指针。

仪表的指针就沿着刻度标尺向右移动了。当把螺丝10沿逆时针方向旋转时，杠杆11在弹簧13的作用下向下降，仪表的指针就向左移动了。图7-9，б中所示为带水平侧面刻度标尺的膜式风压表内部构造情况，为了观察方便起见，这个仪表的外壳已经被除去了。

在运用的条件下装置膜式通风表和风压表时，必须注意到由于仪表周围介质温度变更可能引起的误差。当周围的介质温度升高时，仪表的指示值也要变更，而且这些变更，即使对于完全相同的带有用同样材料做成的鼓膜式匣子的通风表和风压表，也可能是各不相同的。根据姆·克·若霍夫斯基(М. К. Жуковский)的资料〔见参考文献第21项〕，这种型式仪表的温度系数，在由30到55°C的温度范围内，约在每1°C由0.0007到0.0043之间变动。

用来测量压力和负压力的膜式仪表制成的测量范围为由16到1,600毫米水柱。除此以外，这些仪表还有制成零点在刻度标尺中央，而测量范围为由±20到±500毫米水柱的。

零点在刻度标尺中央的仪表和图7-9中所示仪表的不同处，在于另外还有一个弹簧和一个支架，支架装在弹簧的下面。通风表也和风压表一样，有一个弹簧和一个支架，但支架是放在弹簧下面的。