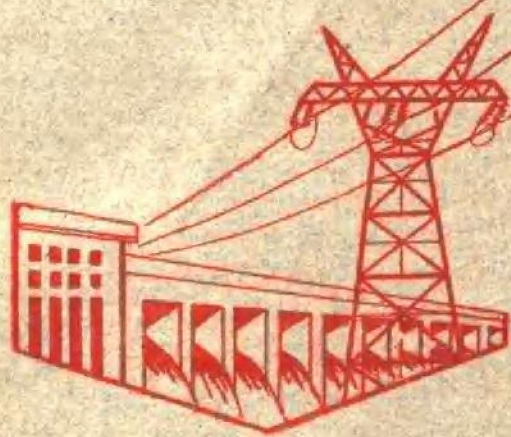


技工学校交流讲义

热工仪表及自动控制

沈阳电力学院合编
青山电力技工学校

学校内部使用



中国工业出版社

本书包括火力发电厂热力设备上常用的热工仪表及自动控制设备的基本原理、构造，以及一般使用和維護事項等內容。

本书可作为培訓发电厂汽輪机、鍋炉专业运行、檢修工人的試用教材，也可供发电厂汽輪机、鍋炉运行、檢修人員参考。

本书由沈阳电力学院蔣世激等和青山电力技工学校刘古襄編写和修訂；并經陕西省电业局电力研究所毛朝阳审查。

热工仪表及自动控制

沈阳电力学院合編
青山电力技工学校

*

水电技工教材編輯組編輯（北京阜外月坛南营房）

中国工业出版社出版（北京修德園路丙10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

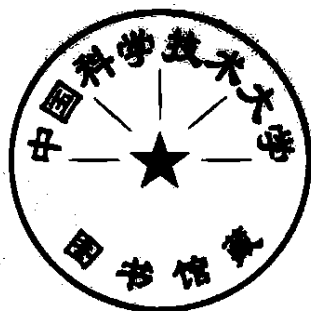
开本787×1092 $\frac{1}{2}$ ·印張4 $\frac{11}{16}$ ·字数99,000

1961年11月北京第一版·1961年11月北京第一次印刷

印数0001—4,900·定价(7-2)0.38元

*

統一书号：15165·1066(水电—172)



目 录

序言	1
----------	---

第一編 热 工 仪 表

第一章 热工仪表的基本知識	3
第一节 热工测量的目的和分类	3
第二节 测量仪表的性质	5
第二章 压力測定	8
第一节 压力測定的一般概念	8
第二节 液体压力表	9
第三节 彈簧机械式压力表	11
第四节 压力表的使用注意事項	17
第三章 流量測定	19
第一节 流量測定的一般概念	19
第二节 机械浮子式流量表	21
第三节 电气机械浮子式流量表	23
第四节 流量表的使用注意事項	26
第四章 水位測定	27
第一节 鍋炉汽鼓的玻璃水面計	28
第二节 重液式水位表	30
第三节 浮子压差式鍋炉水位表	31
第四节 除氧器水箱水位表	33
第五节 水位表的使用注意事項	34
第五章 溫度測定	35
第一节 溫度測定的一般概念	35
第二节 玻璃杆溫度表	36

79.85
237.1

第三节	热电偶温度表	39
第四节	电阻温度表	44
第五节	辐射式高温计	50
第六节	电子式温度表	53
第六章	烟气分析	56
第一节	烟气分析的一般概念	56
第二节	手动化学气体分析器	57
第三节	电气式自动气体分析器	60
第七章	蒸汽及给水品质的测定	65
第一节	蒸汽及给水品质测定的重要性	65
第二节	盐量表	66
第三节	氧量表	69
第八章	其他测量仪表	72
第一节	转速表	72
第二节	轴向位移的测定	74

第二編 自动控制

第九章	自动调节的基本知识	77
第一节	自动调节的作用	77
第二节	自动调节的过程	77
第三节	自动调节器的组成和种类	80
第十章	锅炉给水的自动调节	81
第一节	给水调节的一般概念	81
第二节	单冲力给水自动调节器	82
第三节	双冲力给水自动调节器	86
第四节	电子式三冲力给水调节器	91
第五节	给水自动调节器的运行和维护	92
第十一章	锅炉燃烧过程的自动调节	96
第一节	燃烧过程自动调节的一般概念	96

第二节	电气机械式燃烧过程自动调节器	98
第三节	电气机械式燃烧过程调节系统的运行和维护	111
第四节	电子式燃烧过程自动调节器	114
第十二章	过热蒸汽温度的自动调节	119
第一节	过热蒸汽温度的调节特点	119
第二节	过热蒸汽温度的自动调节系统	119
第十三章	机炉附属设备的自动调节	121
第一节	制粉系统的自动调节	121
第二节	减温减压器的自动调节	128
第三节	凝汽器水位的自动调节	130
第四节	除氧器压力的自动调节	132
第十四章	技术信号装置	134
第一节	技术信号装置的一般概念	134
第二节	技术信号的原理接线	141
第十五章	自动联锁装置	141

序 言

火力发电厂热力生产过程的自动化设备，通常是指热工仪表和自动控制设备(以自动调节器为主，包括远程控制、联锁、自动保护、程序控制和工艺信号等)两大部分。

热工仪表被广泛地装置在汽轮机、锅炉设备和管道系统上，用以检查和监督机组的运行，它们是汽轮机和锅炉运行人员的最可靠的助手，所以人们常说：“仪表是机、炉操作人员的眼目”。通过仪表的指示，不仅可以预防和正确判断事故的发生，保证机组的连续安全运行，而且可借仪表的记录和积算来分析机组的经济性，从而改进机组的操作、运行方式，提高机组的经济出力。

热力设备生产过程采用自动控制设备，特别是在锅炉分场采用各种自动调节器后，不仅能提高热力设备的经济性，而且能提高热力设备的可靠性，减少运行人员因误操作而造成的事故，同时还可以减轻运行人员的劳动强度以及节约劳动力。例如，在改手操作为自动控制后，锅炉的效率可提高0.2~1.5%；中压锅炉自动控制后，汽压波动由 $\pm 0.1 \sim 1.5$ 公斤/厘米²降到 ± 0.5 公斤/厘米²以内；高压锅炉汽压波动由 ± 2.0 公斤/厘米²降到 ± 1.0 公斤/厘米²以内，这样不但可以降低煤耗，而且还可保证进入汽轮机的蒸汽的质量合乎要求。

随着科学技术的向前发展，火力发电厂亦日趋高度自动化，因此对于火力发电厂的每一个机、炉操作人员来说，不仅应该学会熟练地掌握机组的操作技能，而且对于常用仪表

和自动控制设备的名称、作用和一般构造原理亦应有所了解，并要求能正确地进行读数、使用和维护。

热工仪表和自动控制设备，种类繁多，型式多样，牵涉到的技术知识也非常广，因此要求我们在学习本课程时，应密切结合和运用所学过的电工学、工程力学、机炉设备及运行等课程的知识；在教师的教导下，充分结合实际，努力钻研，学好本课程内的知识，为培养自己成为又红又专的电力技术工人而努力。

第一編 热工仪表

第一章 热工仪表的基本知識

第一节 热工测量的目的和分类

一、热工测量的目的

1. 保証设备运行的安全性和可靠性;
2. 提高设备的經濟性, 保証设备在最有利的 工 况 下 运行;
3. 便于对发电厂各机組的运行进行統計;
4. 改善劳动条件和节约人力。

热力设备的可靠和安全的运行, 主要决定于设备的完善状况和正确的操作。发电厂中意外事故的发生, 在絕大多数的情况下, 不是由于操作人員違反了操作規程, 就是由于热工仪表安裝不合理或仪表不完善所造成的。

經常檢查工质(燃料、水、空气、蒸汽、烟气)的质量, 观察水位, 測定汽輪机轉速等等, 可以帮助操作人員合理地操纵机、炉设备, 可以很好的提高设备的可靠性和安全性。例如檢查鍋炉汽鼓中的水位, 就可以防止因水位过高而使过热蒸汽的湿度增加所造成的事故以及防止因水位过低而引起的过热器管子过热或燒干鍋所带来的危害。又如不断地观测汽輪发电机、水泵、风机等的軸承温度和发电机綫圈温度, 就可以避免这些设备的损坏, 从而提高这些设备的可靠性和安全性。此外在发电厂的一些主要分場和主要设备上还有各

种信号装置(如联系信号、事故信号、技术信号等)以帮助运行人员及时、正确的操作和处理事故。

检查设备的经济性,是按照仪表的读数来进行分析的。如锅炉的烟气分析器就可测定出烟气的成分,这样就使我们根据它来分析出锅炉燃烧的好坏;此外对汽水品质、凝汽器真空等,也可根据仪表的指示来进行分析。

发电厂的技术统计,主要依赖于自动记录式仪表和带积分器的仪表来完成。此外一些重要的数据,也还由值班人员根据仪表指数在规定的时间内所作的记录来得到的。我们根据这些技术资料,就可以对机、炉的运行情况进行分析,找出原因,寻求更合理、更经济的运行方法。

二、热工仪表的分类

热工仪表可按照它们的用途、结构特征分为许多类型,我们在这里仅就热力设备实用的习惯分为如下三大类。

1. 依仪表所测定的量来分

- (1) 压力表;
- (2) 流量表;
- (3) 水位表;
- (4) 温度表;
- (5) 烟气分析器;
- (6) 蒸汽和给水品质的测定仪表;
- (7) 转速表。

2. 依读数的特性分

- (1) 指示式;
- (2) 自动记录式;
- (3) 积算式(计数器)。

3. 依安装方式分

- (1) 嵌入式(仪表盘式);
- (2) 突出式(就地安装式)。

嵌入式仪表是专为装在仪表盘上的，在板面上只露出仪表的正面。突出式的仪表则装置在各机组和管道的附近，适合于任何安装形式。

第二节 测量仪表的性质

一、仪表的组成部分

仪表的种类型式虽然很多，但从构成部分的功用来看，任何仪表都是由三个主要部件组成的。

1. 感受元件

仪表的感受元件，在大多数的情况下，直接与被测介质接触，并将被测介质的变化变为相应的物理或化学性质的变化。例如玻璃杆温度表水银球直接浸入被测物体中，其体积随物体温度的升降而膨胀。

2. 作用元件(或称二次仪表)

仪表的作用元件是将感受元件所测得的情况变化指示或记录下来。如指针、记录笔、刻度盘等。

3. 辅助元件

仪表的辅助元件是将感受元件所发出的信号输送给作用元件，通常是经过机械或电气的传送。

使用仪表进行测量的过程是：被测情况或被测“量”首先作用于仪表的感受元件，感受元件再将被测“量”转换为物理量或化学量，并经仪表的辅助元件传送到仪表的作用元件，作用元件便指示出结果或把结果记录下来。譬如热力设备上安装的主蒸汽温度表(假设是热电偶温度表)，通常观察到的是指示数值，实际上它是感受元件(热电偶)将所测得的温度量

改变为电气量，經輔助元件(电气綫路和电磁毫伏表机构等)的放大，而由作用元件(指針)反映出来的。

图1-1示测量过程的示意图。

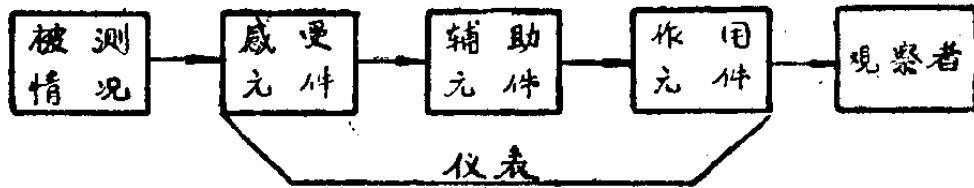


图 1-1 测量过程的示意图

二、测量仪表的准确度

用仪器测定某一个量时，其所得的讀数，不可能与被测量的实际数值绝对相等，这样就使所测得的数值与实际数值之間有一些偏差。如测量仪表的准确程度越高，則这个偏差越小，反之則越大。

测量仪表讀数的准确程度，与下列因素有关：

1. 仪表本身的性能

任何仪表，依它的制造质量以及构造情况，总存在着不同程度的缺点，致使仪表的指示不准确。此外，仪表經長時間应用，内部零件变形，例如摩擦部分的磨損，机构的污秽和損伤等，就使它的指示不准确的程度越来越大，因此就有必要对仪表进行定时的校驗和檢修。

2. 仪表的装置方法与測量設備的工作条件

即使仪表是充分准确和灵敏的，但是在不正确装置或不好的工作条件下，所得到的結果亦是不正确的。

3. 观察者的个人特点

在測量同一量时，由于观察者讀数的方法的不同，所得結果亦是不一致的。关于这点，对机炉运行人員来說，应特別注意。

任何仪表，在测量时都不可避免地要发生或大或小的偏差，结果就使读数不能与被测量的真实数值一致，这种读数与被测量读数间的差别，称为仪表的测量误差，它可以用绝对误差或容许(相对)误差表示，并可以是正值或负值。

绝对误差 a 用仪表的刻度单位来表示，容许误差 δ 用百分数来表示，两者可由下列公式求出：

$$a = A_2 - A_1 \quad (1-1)$$

$$\delta = \frac{a}{A} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 A_1 ——被测量的真实数；

A_2 ——测量仪表的读数；

A ——测量仪表的刻度范围。

通常为了决定真实数字，测量仪表的读数必须加上校正数 C 。校正数在数值上等于绝对误差，而取相反的符号。

例 一支测量范围为 100°C 的玻璃杆温度表在校正时，标准表与被校表的读数分别为 50°C 及 48°C ，求绝对误差、校正数和容许误差。

解：依照前面的公式得

$$a = 48^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C} = -2^\circ\text{C};$$

$$C = 2^\circ\text{C};$$

$$\delta = \frac{-2}{100} \times 100\% = -2\%。$$

正因为仪表在测量时，总有不可避免的误差发生，所以一般热力设备上的仪表，根据制造的精密程度由厂家规定了一定的容许误差数值，这个规定通常就叫仪表的精密等级。从 0.5、1.0、1.5、2、2.5 到 4 不等，符号标志用 δ 表示，刻划在仪表的刻度盘上。我们可以根据需要在不同场合下选用

不同精密度級的仪表。同时我們也可以从精密度級的数值，基本上确定仪表的准确度。

复 习 題

1. 举例說明热工测量在热力設備生产过程上的重要性。
2. 仪表由哪几部分組成？它在測定时为什么会有誤差？
3. 有一个最大刻度范围为100公斤/厘米²的压力表在校正时，标准表和它的讀数分別为80公斤/厘米²和83公斤/厘米²，試确定其絕對誤差、校正数和容許誤差。
4. 上題中仪表的精密等級为②，問誤差超过規定沒有？

第二章 压力測定

第一节 压力測定的一般概念

垂直作用在单位面积上的力叫压力。一般工程上常用的压力单位是“工程大气压”，其值为1公斤/厘米²。在測量压力时，一般以絕對压力或表压力示出。

所謂絕對压力，就是在液体(或气体、汽体)所在地位上的全部压力，其大小等于表压力 P_u 和大气压力 P_a 之和，即

$$P = P_u + P_a. \quad (2-1)$$

用来測量大气压力的仪表叫气压表，用来測量表压力(超大气压力)的仪表通称压力表。

按公式(2-1)可得：

$$P_u = P - P_a. \quad (2-2)$$

就是說，表压力等于絕對压力和大气压力之差。

如果絕對压力低于大气压力一个数值 P_v ，則这个数值

就叫負压力(真空度)。換一句話說, 負压力就是大气压力与小于大气压力的絕對压力之差, 即

$$P_v = P_a - P_u. \quad (2-3)$$

用来測量負压力的仪表, 叫做真空表。

压力的大小亦可用毫米水柱或毫米水銀柱的高度来表示。10米水柱高或735.56毫米水銀柱高相当于一个工程大气压。

第二节 液体压力表

一、U形管压力表

U形管压力表(图 2-1)是压力表中最簡單而又准确的一种, 它里面的工作液体充滿高度的一半, 这种压力表的工作原理是利用液柱高度与其中的液体比重的乘积等于压力的这一原理。U形压力表的工作液体通常是水或水銀。在精密的压力測量中, 由于水的毛細管現象, 使得在直徑較小的玻璃管中不能使它作为工作液体, 在这种情况下, 常采用其它液体作为工作液体。

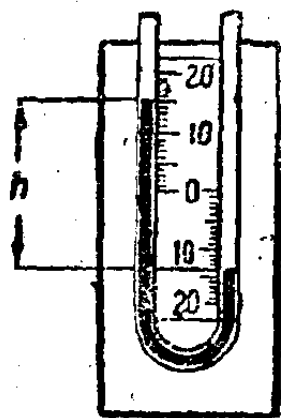


图 2-1 U形管压力表

U形管压力表可用来測量較低的压力, 負压力和压力差。

将 U形管压力表的一端与需要測量压力的容器接通, 而另一端让其开放, 亦即与大气連通, 則所測量的压力为

$$P = h \cdot r \quad (2-4)$$

式中 P ——所測压力, 公斤/厘米²;

h ——工作液体的液面差, 厘米;

r ——工作液体的比重, 公斤/厘米³。

如果要用液柱高度的厘米数来表示所测压力的大小，则 $P = h$ 。

在精密的压力测定中，例如测量风速造成的压差时，如果用 U 形管压力表，则因需要两面读数而使误差增大，在这种情况下，必须采用杯形压力表或微压计。

二、杯形压力表

图2-2所示为杯形压力表原理图。杯形压力表和 U 形管

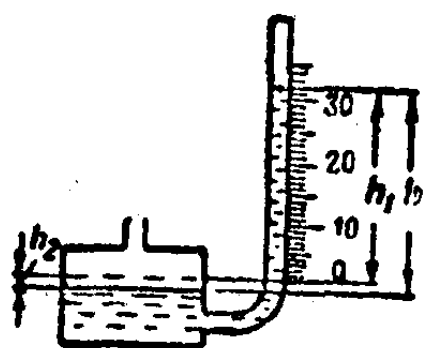


图 2-2 杯形压力表原理图

压力表非常相似，所不同的是一端作成容器的形状，截面较另一端大许多。被测的压力作用在容器内的工作液体上，迫使工作液体沿另一端测量玻璃管向上升高。假设在被测压力的作用下，截面积较小的测量管中的液面升高 h_1 ，而截面积较大的容器内的液面降低了 h_2 ，则被测压力的液柱高为：

$$h = h_1 + h_2. \quad (2-5)$$

由于 h_2 极小，可以忽略不计，因此只需读取 h_1 的数值即可知被测压力的大小。

这种压力表可用来测量锅炉的二次风压等。

三、微压计

如果把杯形压力表的测量管倾斜一个角度来放置，那么

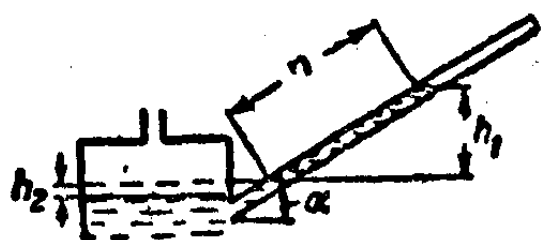


图 2-3 微压计的原理图

就变成了微压计。微压计的原理图如图2-3所示。

和杯形压力表同样的道理，由于左面的容器面积很大，它所下降的 h_2 高度同

样可以忽略不計。但是 h_1 的高度在傾斜一个 α 角度后，我們所取的讀数不再是 h_1 ，而是 n 的傾斜长度了。从图上可以看出 n 是一个斜边，而 h_1 是一条直角边，因此， n 的数值就大于 h_1 的数值，这个关系可用下面的一个简单三角公式来表示：

$$h_1 = n \sin \alpha. \quad (2-6)$$

如果傾斜角度 $\alpha = 30^\circ$ 时， $\sin \alpha = \frac{1}{2}$ ，也就是說：讀数 n 的数值为杯形压力表讀数 h_1 的两倍，这样就可以放大讀数范围，提高測量的精密度，也就是說可以測量微小的压力。在作鍋炉热效率試驗时，往往要測量风速，而风速所生成的压差往往很小，因此一般就常常采用微压計。

第三节 彈簧机械式压力表

一、彈簧管式压力表

为了測量比大气压力为高的压力，彈簧管式压力表已經得到最广泛的采用。它有简单而又足够坚实的結構。这种压力表与液柱式压力表比較，有下列优点：較大的測量范围，可以远距离傳送讀数，以及易于被測压力的自动記錄。

彈簧管式压力表的作用原理是基于特別形式的彈簧管，在被測介质的压力作用下的彈性变形。这种变形的大小傳到仪表的指示元件或記錄元件上，指示出压力数值的多少。

常用彈簧管式压力表有下列几种：

1. 单圈彈簧管式压力表

这种压力表应用很普遍，其简单結構如图2-4所示。在外壳1中，装有压力的敏感元件——彈簧管2，它是圓弧形的扁平椭圆空心管，彈簧管的自由端是封閉的。扇形齿輪3与

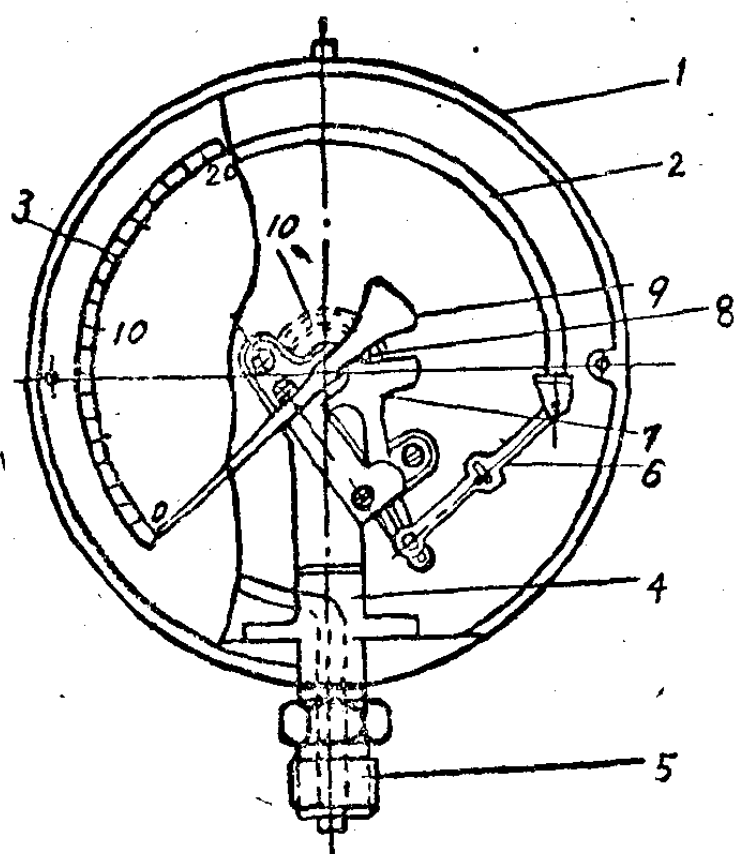


图 2-4 弹簧管压力表结构图

1—外壳；2—弹簧管；3—标尺；4—支撑物；
5—螺絲管接头；6—拉杆；7—扇形齿輪；8—
軸齿輪；9—指針；10—游絲。

拉杆6相連，扇形齿輪与軸齿輪8咬合在一起。在軸齿輪的軸上連接着指針。为消除齿輪間隙，还装有游絲10。

弹簧管的另一端焊牢在支撑物4上。螺絲管接头5用来接到被测压力的傳压管上。当弹簧管受到压力的作用时，有伸直的趋势，使弹簧管自由端向上移动。这个动作借拉杆及齿輪的傳动，使指針旋轉一个角度，角度的大小与弹簧管的移动有关，而与压力成正比。

弹簧管式真空表的构造和压力表相同，但其作用原理則相反。在被測介质的真空作用下，弹簧管按比例地收縮，同时真空表的指針即示出負压力数值。

弹簧管式真空表的刻度以毫米水銀柱表示，其測量上限为760毫米水銀柱(1物理大气压)。

当被测介质的压力既可以高于又可以低于大气压力时，即采用压力——真空表(通常叫联成表)。这种仪表和压力表构造一样，只不过指針按置在刻度盘的中央，刻度为零；自中央向右，表示压力的公斤/厘米²数；向左表示毫米水銀柱的真空数值。