

技工学校交流讲义

热工仪表

沈阳电力学院编

学校内部使用



中国工业出版社

目 录

第一章 热工测量的基本知识	1
第一节 发电厂的热工测量	1
第二节 热工仪表的分类及基本特性	4
第三节 测量的准确度	9
第二章 压力测定	14
第一节 压力测定的一般概念	14
第二节 液体式压力表	19
第三节 弹簧管式压力表	30
第四节 薄膜式风压表	40
第五节 真空表及大气压力表	43
第六节 压力表的安装、使用、校验和调整	50
第三章 流量测定	56
第一节 流量测定的一般概念	56
第二节 机械浮子式流量表	64
第三节 电气机械浮子式流量表	71
第四节 圆环式流量表	77
第五节 流量表的安装	80
第六节 流量表的校验和调整	87
第七节 改变流量表测量范围的方法	99
第八节 利用皮托管来测定流量的方法	103
第四章 水位测定	108
第一节 水位测定的一般概念	108
第二节 重液式水位计	110
第三节 远方传送式水位	112
第五章 温度测定的基本	116

第一节 温度和温度标尺的基本概念 16

第二节 温度表的分类和应用 19

第六章 膨胀式及压力式温度表 11

第一节 玻璃杆式温度表 11

第二节 水银温度表的装设和校验 17

第三节 弹簧管式温度表 13

第七章 热电偶温度表 13

第一节 热电偶的测温原理 13

第二节 热电极的材料 14

第三节 热电偶的型式和结构 14

第四节 热电偶的冷端补偿 15

第五节 毫伏表 15

第六节 补偿式仪表(电位计) 16

第七节 热电偶温度表的安装 17

第八节 热电偶温度表的校验和调整 17

第八章 电阻温度表 18

第一节 电阻测温原理及所用材料 18

第二节 感温件的结构 18

第三节 平衡测量电桥 18

第四节 不平衡测量电桥 19

第五节 比率表 19

第六节 电阻温度表的安装和校验 19

第九章 辐射式高温计 20

第一节 光学高温计 20

第二节 辐射高温计 20

第十章 烟气分析 21

第一节 手动化学分析器 21

第二节 自动化学气体分析器 21

第三节 电气式气体分析器 21

第四节	电气式气体分析器的指示仪表和记录仪表	227
第五节	自动气体分析器的附件及安装	231
第六节	磁力式自动气体分析器	236
第十一章	汽水品质测定	239
第一节	盐量表	239
第二节	氧量表	245
第十二章	电子式热工仪表的结构	250
第一节	电子仪表的基本概念	250
第二节	电子仪表的测量系统	252
第三节	可逆电动机	268
第四节	电子放大器	273
第五节	罩板式电动机	293
第十三章	各种电子式热工仪表	296
第一节	电子仪表的分类	296
第二节	使用长条记录纸的大型电子仪表	298
第三节	使用长条记录纸的小型电子仪表	309
第四节	使用圆形记录纸的大型电子仪表	321
第十四章	电子式热工仪表的安装、运行和检修	329
第一节	电子仪表的安装	329
第二节	电子仪表的运行和维护	332
第三节	电子仪表的检修和调整	334
第四节	电子仪表的校验	341
第十五章	其他测量仪表	350
第一节	转速表	350
第二节	轴向位移的测定	354
第三节	自动煤秤	358
主要参考书		363

第一章 热工测量的基本知識

第一节 发电厂的热工測量

在热动力装置中，热工測量是为了对设备的工作情况进行連續性的監視和檢查，因而也称为热工檢查。热工測量广泛应用在校正和科学研究中。

在火力发电厂中，是以燃燒燃料来生产热能和电能的。按其装置设备的特性，火力发电厂可分为两部分——热力部分和电气部分。

在热力部分中，主要是鍋炉和汽机两个分場，其中装置的主要设备是蒸汽鍋炉和汽輪机。在这些分場里，还有輔助设备，如煤粉制造设备、送风机、吸风机、給水泵、循环水泵、凝結水泵、凝汽器、蒸发器、除氧器、加热器、减温减压设备、水箱、管道等等。

此外，燃料管理、除尘、供水和化学水处理等方面也都装有特殊的设备，它們也属于发电厂的热力部分。

在主要的和輔助的设备上，装有大量的热工仪表。其中絕大多数是将讀数远距离傳送到值班人員所在的机組仪表盘上。

发电厂热力部分值班人員的主要任务是：管理各种设备，監視或調整这些设备，保証它們安全經濟地运行。为了順利执行这项十分重要的任务，以及实现各項设备和整个电厂工作的技术統計，如果不用热工測量仪表不断作有效的檢查，是不可能的。

热工檢查的目的是为了保証：

1. 設備运行的安全性与可靠性；
2. 設備在經濟上最有利的工况；
3. 各机組和整个电厂的技术統計工作正确。

发电厂意外事故的发生，在絕大多数情况下，是由于管理人員違反了技术操作規程，热工檢查仪表装置得不准确，或仪表本身不完善所造成。所以，热力設備的可靠安全运行，不仅决定于运行人員的操作熟练程度，也决定于設備的完善状况。

連續、正确地檢查工质（燃料、水、蒸汽、空气、烟气等）的压力、温度及流量，观察水位、汽机輪轉速、振动、軸向位移、水及蒸汽的品质等等，可以大大提高設備工作的可靠性和維護人員的安全性。例如檢查鍋炉蒸汽压力及汽鼓中的水位，可以保护鍋炉及其附件不致損坏。水位的过度降低，会引起管子的过热器和鍋炉的損伤；而水位过高，又会引起蒸汽帶水，以致損坏汽輪机。檢查鍋炉产生蒸汽的湿度和含盐量，可以預防在过热器、汽輪机調节閥和叶片上沉积盐类，不致造成过热器管的燒坏、汽机輸出力的减少及其运行經濟性的显著降低。

不断观察汽輪发电机、水泵、通风机及其他回轉設備的軸承油温，在很大程度上可以确定此类机組工作的可靠性。測定发电机綫圈及其冷却气体（空气或氩）的温度，可以使綫圈不致于过热器和損坏絕緣，从而可以避免发生重大事故。

为了保証設備可靠而安全地工作，在許多情形下，測量仪表和預告事故的信号設備同时并用，这样对于預防事故和消滅事故是有利的。

提高发电厂在运行上的經濟性，是依靠机組（鍋炉和汽輪机）中热損失的降低和厂用电及厂用热量的减少来达到

的。

鍋炉机組的热損失比較大，因此严重地影响到热力設備的經濟性，但在合理运行的情况下，这一損失可以大大减少。根据这个理由，在发电厂的檢查系統中，鍋炉分場的热工檢查是使发电厂达到經濟运行的主要环节。

蒸汽鍋炉的热損失主要包括烟气带走的热損失，漏煤或飞灰中所带走的机械热損失，以及燃料燃燒不完全的化学热損失。如在不同的負荷下，能对机組工况作适当的檢查和調整，以及观察受热面的清洁程度，磚衬的状态等，就可以把这些損失縮减到最小。檢查燃料的燃燒过程和正确地調节鍋炉設備的工作，都是一些最重要的任务。当鍋炉所产生的蒸汽的基本参数(压力和过热温度)已被指定时，它的調节工作就不外乎是維持蒸汽生产量、燃料消耗量、进入炉中的空气量和抽气量四者之間的最有利的配合。受热面内外表面上的污物会使傳热严重地恶化，并且引起出力下降，增加烟气带走的热損失，使燃料消耗增多。

檢查蒸汽鍋炉工作的經濟性是按照測量仪表的讀数来进行的。根据这些讀数可以确定：燃燒室中和鍋炉烟道中气体的温度和压力(負压)，烟气的成分，蒸汽和給水的品质等等。

汽輪机組的热損失主要是和凝汽設備的工作效能有关。因此，檢查凝汽器冷却面的状态(光洁程度)，真空系統的严密性和真空泵(抽气器)的工作质量有重大的实际意义。观察加热器、蒸发器、除氧器和热水設備的工作也起着很重要的作用，它可以使能量生产的煤耗率降低。为此目的，就利用測量方法来檢查蒸汽、凝結水和給水的压力、温度和流量，凝汽器中的真空度和冷却水的温度等等。

热力发电厂工作的定期(每月每年)技术统计按下列各项主要的技术经济指标进行: 发电量和供热量, 生产每一千瓦时及供热一百万大卡的标准煤耗率; 锅炉分场、汽轮机分场主要机组和整个发电厂的效率; 厂用电的消耗量。依各种运行指标来完成技术定额是每班都应检查的, 并且依照这些数据每天做成日报表。

发电厂的技术统计主要依靠自动记录的(记录式)仪表和积数的仪表(计数器)来完成。此外, 最重要的一些仪表读数, 每隔一小时由值班人员登入日报表中(工作日志)。

为了作出锅炉分场各机组的技术统计, 需要进行下列各项测定: 蒸汽的压力、温度、流量; 在锅炉本体后及锅炉设备后的二氧化碳(CO_2)的含量; 在空气预热器前后的空气温度; 在省煤器前后的给水温度; 烧去燃料的数量, 它的发热量、湿度、灰分和煤粉细度; 煤渣中和烟气中带走的可燃物的含量。

在汽轮机分场中所要统计的数字是: 在汽轮机前面和抽汽处蒸汽的数量、压力和温度; 凝汽器的真空度; 在凝汽器前后的冷却水温度; 凝结水、给水、热力网中的水和化学净水的数量和温度。

第二节 热工仪表的分类及基本特性

凡是用来直接或间接受将被测量的数值和测量单位作比较的设备, 就叫做测量仪表。

热工测量仪表可按照它们的用途和结构特征从几方面来分类。

依仪表所用以测定的量的种类来分:

1. 温度测定:

2. 压力测定；
3. 流量测定；
4. 烟气成分测定；
5. 水、蒸汽和空气的品质测定；
6. 水位测定；
7. 机器转速测定。

按照被测量的种类来进行分类是仪表分类的基本方法。

此外测量仪表还可依下列特征来进行分类：

依用途来分：

1. 工程用的或运行用的(工作的)；
2. 检查用的；
3. 试验室用的；
4. 标准的；
5. 原始标准的。

依读数的特性来分：

1. 指示式的；
2. 自动记录式的(记录式)；
3. 积算式的。

依作用原理来分：

1. 机械的；
2. 电气的；
3. 液压的；
4. 化学的。

依使用的特性而分：

1. 操作用的；
2. 统计用的。

依装置的地方分：

1. 現場的；
2. 远距离傳送讀数的。

依工作条件分：

1. 固定的；
2. 便携的。

几乎每种热工测量仪表都可属于以上所述的任何一类；例如溫度計可以是工程用的，自动記錄的，电气的等。

工程用的測量仪表比檢查用的或試驗室用的仪表在結構上較簡單、坚固，而准确度則較低；它們可在較差的条件下（有灰尘、湿气，設備的振动等）工作，其上有大字的清晰刻度和箭头形的指針。檢查用的，試驗室用的和标准的仪表是用以檢驗較低級的仪表，在校正工作和研究工作中也常被采用。为了提高准确度，它們有利用鏡子进行讀数的刻度标尺和刃形指針。原始标准的測量仪表是专用于对其他精密度較低的仪表进行校驗和刻度。

在指示式仪表的刻度尺上，可讀出被測量的瞬时数值；而自动記錄式仪表，則可以在时钟机构或小型同步电动机带动的矩形或圓盘形图紙上自动記下讀数。积算式仪表可指出在一段工作時間內被測量的总值。

操作用的仪表是按照它的讀数来对热力机組的工作进行管理的。这些仪表造成指示式或自动記錄式。統計用的仪表則主要造成自动記錄式或积算式。

現場的仪表在測量地点直接进行讀数。远距离傳送讀数仪表是将被測情况傳送到远离被測点的地方进行讀数，通常傳送距离可达300~500米。

进行測量所需用的全套部件称之为測量設備，其中測量仪表是它的基本部分。这些部件的种类及型式虽然很多，但

从它们的作用看，絕大多数的測量設備是由三个主要元件所組成，即：一次仪表、二次仪表及連接部件。

一次仪表也称感受件，它是測量設備的感受部分，放置在被測地点，并且直接受到被測“量”的冲力。

二次仪表也称作用件，它是測量設備的量計部分。它将一次仪表所感受的冲力变成指針、記錄笔或积数器的相应移动，将一次仪表所測得的情况变化，指示出来或記錄下来。二次仪表装在值班人員邻近地方的仪表盘上。

連接部件也称測量設備的传达件（連接导綫及連接管件）。它是用来把一次仪表所感受的冲力（或讀数）傳送到二次仪表上。

在大多数情况下，一次仪表的感受件直接与被測对象相接触，将所測情况的变化轉变成相应的物理或化学性质的变化。例如玻璃杆温度表的水銀球直接浸入被測热水中，其体积随水温而变化。

为正确反映被測情况，对感受件有下列要求：

1)必須有高度的选择能力。測量对象中往往有很多因素在同时变化，对于那些与被測“量”无关的因素若同样对感受件也发生作用，势必引起測量的不准确。因此，感受件应具备选择性能，即具有对于那些与測量无关的因素不受其影响的能力。例如温度表的感受件只應該反映温度的变化，不应受压力或流速的影响；压力表的感受件只应反映压力的变化，不应受温度的影响等等。

2)必須正确反映指定区域内被測对象的变化情况，不受其他地点带来的影响。測量对象中各部分的情况可能很不均匀，有时需要測量的是局部情况，如炉膛某一点的温度，有时需要測量的是綜合或平均情况，如烟道烟气的总流量。因

此，感受件应能反映所测区域的变化而不受其他区域的影响。

通常即根据上述要求来选择与设计感受件。实际上，在选择性方面往往难于满足要求，还必须从使用条件（即在什么条件下使用为合适）来加以注意，方可得到准确的读数。

一次仪表有时还有附加的设备，用来把仪表发生的机械冲力变为电的冲力，再用连接导线传送到二次仪表上。这种设备称为发讯器。具有发讯器的一次仪表可能带有量计器具（刻度和指针），作为二次仪表读数的复本，但大多数带有发讯器的一次仪表是没有刻度的。

测量仪表的品质主要由测量的准确度、仪表的灵敏度和测量设备读数的时滞来决定。

所谓仪表的准确度，是指用该仪表来进行测量所得结果的准确程度。

仪表指示器（指针或笔尖）的直线位移或角位移，与引起这种位移的被测“量”的变化之间的比例，称之为测量仪表的灵敏度。仪表所能指出的被测“量”的变化愈小，则灵敏度愈高。

当指示器的位移与被测“量”的变化成正比时，灵敏度 S 可用下式表示：

$$S = \frac{\Delta L}{\Delta A} \quad (1-1)$$

式中 ΔL ——指示刻度总长；

ΔA ——刻度量度范围。

例1-1 体温计的刻度范围是 $35 \sim 42^\circ\text{C}$ ，刻度总长 5 厘米，求它的灵敏度。

解：从(1-1)式可得

$$S = \frac{5}{42 - 35} = 0.7 \text{ 厘米}/^{\circ}\text{C}$$

提高仪表的灵敏度，是为了能清楚地看出被测“量”的微小变化。但从定义及前例可知，灵敏度越高，仪表的测量范围就愈小。因此，为了方便、适用，对于并不需要指出很小变化的一般仪表，不要求过高的灵敏度。愈精密的仪表，其灵敏度也愈高。灵敏度的高低随设计制造而异。

测量仪表读数的时滞，表现为它的惯性。也就是说，从被测“量”开始变化的时候起，到仪表指出这一变化的时候止，其间所经历的时间。这个滞延的时间愈小，则测量仪表的品质愈好。

热工检查仪表必须尽可能的具有较简单的结构，有清楚易读的刻度和读数器（指针、液体面等），以及不需要工作人员的繁复照顾。

第三节 测量的准确度

仪表测量结果的准确程度，实际上就是仪表读数对被测“量”的真实值的接近程度，读数愈接近真实值，表明测量得愈准确，即准确度愈高。因此，仪表准确度可进一步定义如下：仪表读数接近被测实际值的程度，称之为准确度。

仪表准确度常采用误差来衡量。误差一般有三种表示法，即：

1. 绝对误差；
2. 相对误差；
3. 容许误差。

绝对误差 a ，用仪表的刻度单位来表示；相对误差 δ ，用百分数来表示。它们可由下列公式求出：

$$a = A_2 - A_1 \quad (1-2)$$

和

$$\delta = \frac{a}{A_1} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 A_1 —— 被测“量”的真实数值；

A_2 —— 测量仪表的讀数。

例1-2 如溫度計的讀数和溫度的真實数值各为 197 和 200°C，試決定物质溫度的絕對測量誤差和相對測量誤差。

依照式(1-2)和(1-3)得：

$$\begin{aligned} a &= 197^\circ\text{C} - 200^\circ\text{C} = -3^\circ\text{C}, \quad \text{和 } \delta = \frac{-3}{200} \times 100\% \\ &= -1.5\% \end{aligned}$$

为了決定真實数值，应在測量仪表的讀数上加上校正数 C ，校正数在絕對数值上等于絕對誤差，但取相反的符号，即

$$C = A_1 - A_2 = -a. \quad (1-4)$$

容許誤差表明仪表在正常工作条件下可能发生的最大誤差；或者說，在实际使用中所允許发生的最大誤差。它是依据仪表的用途、性质和測量范围事先确定好了的。这种誤差又可分为絕對的与相對的。

絕對容許誤差是指在正常工作条件下，仪表讀数偏离真實数值的最大差額。

相對容許誤差是指在正常工作条件下，絕對容許誤差与仪表上、下限差額的百分比。

相對容許誤差 δ' 与絕對容許誤差 a' 的关系，可按下式定出：

$$\delta' = \pm \frac{a'}{A_s - A_n} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 A_s ——仪表刻度的上限；

A_n ——仪表刻度的下限。

可以看出，在以上各种誤差中，最能表明仪表的使用特性的是相对容許誤差。因此，各种类型仪表一般都是采用这一誤差作为衡量仪表准确度的通用标准。在各种热工仪表中，所采用的相对容許誤差的范围一般约为：

1) 工程中仪表 $\pm 1 \sim 3\%$ ；

2) 检查用仪表 $\pm 0.5 \sim 1\%$ ；

3) 試驗室用的、标准的和原始标准的仪表 $\pm 0.5\%$ 和 $\pm 0.5\%$ 以下。

根据相对容許誤差的数值，可以定出仪表准确度的等級（或叫精密度等級，简称精密級）。精密級的慣用記号与相对容許誤差的百分数相同，例如某几种仪表的相对容許誤差分别为 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1.5\%$ 、 $\pm 2.5\%$ ，則它們的精密級也就依次是 0.5、1.5、2.5。精密級是仪表的重要規格之一。

測量仪表讀数的准确度不仅和仪表的品质有关，并且与測量时一系列的因素有关，在一般情况下，影响測量准确度的有下列諸因素：

1) 所用仪表的性质；

2) 安装或放置仪表的方法；

3) 測量設備的工作条件；

4) 观察者的个人特性。

測量准确度用仪表讀数的誤差来表示。

即使是充分准确和灵敏的仪表，但在不正确的装置或不好的工作条件下，以及由于刻度时的条件不同，也会得到显然不正确的結果。在这种情形下，仪表的讀数就要用实验或計算的方法定出适当的校正数。由于观察者的个人特点所产

生的測量誤差主要是因為讀數不準確，這種誤差是無法用數字來計算的。

與儀表的性質有關的測量誤差稱為量具誤差。任何儀表，即使是新的，也依它的準確度等級和製造的質量，有它自己的量具誤差。當儀表工作較久後，由於其彈簧的殘余變形、摩擦部分的磨損、機構的污穢和損傷等，它的誤差就會逐漸增大。因此就產生了周期地校驗和檢修儀表的必要性。

校驗儀表的过程，即是將被校儀表的讀數和準確度等級較高的儀表的讀數進行比較的过程。校驗時，首先使被測的數量增加，然後再沿相反方向進行，即逐步減少被測數量。在增加、減少過程中，隨時將被校點的标准表讀數和被校表的讀數記錄下來。

在正反方向測量時，在同一校驗點（以所用标准表為依據）上，被校表兩次讀數的差值稱之為變差。根據各點變差的大小，可以決定需要調整或檢修的部位。變差的產生，普通是由於儀表運動部分的摩擦過大，連接件存在着余隙等緣故。

如果校驗的結果是，整個刻度上的誤差都不超過容許值，那末這個表可認為合用。否則，就需進行整修或者重新刻度。

例1-3. 當校驗 $0 \sim 20$ 公斤/厘米² 的壓力表時，在全部刻度範圍中的絕對測量誤差不大於 0.4 公斤/厘米²，這壓力表的相對容許誤差為 $\pm 1.5\%$ 。試比較測量誤差和容許誤差。

解：按公式(1-5)，分別代入題中所給 B' 、 A_n 、 A_n 的數值，得到該表的絕對容許誤差為：

$$a' = \frac{1.5(20-0)}{100} = 0.3 \text{ 公斤/厘米}^2.$$

可見該表的絕對測量誤差比絕對容許誤差 a' 大0.1公斤/厘米²，此壓力表不合使用，須加調整或修理，然後再進行校驗。

每次校驗均需作出記錄，並根據最後校驗結果再摘錄在儀表的檢驗證書中。在記錄及檢驗證書中說明：儀表型式和它的編號，校驗日期，刻度範圍和分度值（最小的分格），並對刻度上所校驗的各點列出它的真實數值和校正數。

有時依據校驗的數據作出在儀表全部刻度範圍內的校正曲線（圖1-1）：

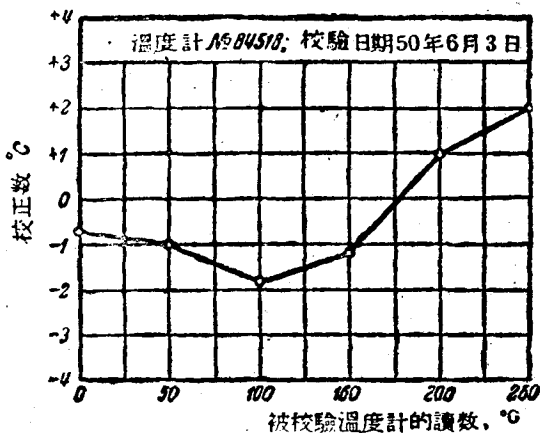


圖 1-1 溫度表的校正曲線

復習題

1. 試述熱工檢查的目的和意義。
2. 什麼叫做測量儀表？說明儀表的一般組成及各組成部件的作用。
3. 根據作用和技术要求，儀表可分為哪幾類？