



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

热力过程 自动化

李铁苍 主编
黄桂梅 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

热力过程 自动化

主 编 李铁苍
副主编 黄桂梅
编 写 史金铎 傅爱彬
主 审 韩 璞 张培华



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书介绍了热工测量的基本知识及温度、压力、流量、物位、氧量等常用参数的概念、测量原理和测量仪表。在此理论上,介绍了自动调节的基本知识以及调节规律,同时结合电厂实际介绍了集散控制系统、单元机组协调控制系统、炉膛安全监控系统、顺序控制系统、汽轮机数字电液控制系统。

本书可作为高职高专学校热动力工程专业和火电厂集控运行专业的教材,也可作为电力职工大学、高等院校成人教育、函授相应专业的教材,并可供有关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

热力过程自动化/李铁苍主编. —北京:中国电力出版社, 2006

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 7-5083-4034-5

I. 热... II. 李... III. 火电厂—热力系统—自动控制—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM621.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 158446 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 1 月第一版 2006 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.75 印张 394 千字

印数 0001—3000 册 定价 26.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

前言

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材，是根据教育部审定的电力技术类专业主干课程的教学大纲编写而成的，并列入教育部《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》。本书经中国电力教育协会和中国电力出版社组织评审，又列为全国电力高等职业教育规划教材，作为高等职业教育电力技术类专业教学用书。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标；符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求；具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学适应性；符合职业教育的特点和规律，具有明显的职业教育特色；符合国家有关部门颁发的技术质量标准。本书可以作为学历教育的教学用书，也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

本书在编写中努力贯彻理论联系实际，通过现场图片和录像、运行人员实际使用的操作软件、3D动画、幻灯片等来解释相关知识，力争将繁杂深奥的理论知识，通过以上手段，演绎成通俗易懂易于读者接受的概念。计算机技术进入到日常生活的各个领域，计算机控制技术在电厂中的应用更是无所不及，本书希望将计算机技术应用于我们传统教材，期望能抛砖引玉，使专业课教材能更多、更好地利用计算机技术，快速高效地进行专业知识介绍，以适应现代大容量、高参数机组控制技术培训要求。

为了兼顾中、小电厂的测量设备，本书保留了动圈仪表、电位差计等部分比较老的仪表原理，供读者选择使用。

本书共分十三章，第一章和第六章由保定电力职业技术学院史金铎编写；第二章~第五章由保定电力职业技术学院黄桂梅编写；第七章和第八章由山西电力职业技术学院傅爱彬编写；第九章~第十三章由山西电力职业技术学院李铁苍编写。全书由李铁苍主编。

本书由华北电力大学自动化学院博士生导师韩璞教授、山西阳光发电责任有限公司教授级高工张培华担任主审。二位审稿老师对本教材做了详细审阅，并提出许多非常宝贵的意见，在此编者表示真诚的感谢。

收集资料过程中，曾得到山西太原第一热电厂周尚周、王保良、刘永岩、大同二电厂秦志国、温源、李霞等师傅的大力支持和帮助，这里一并致谢。

由于编者水平有限，加之现场知识欠缺，疏漏之处在所难免，真诚欢迎读者批评指正。

编者

2005年10月

目 录

前言

第一章 热工测量的基本知识	1
第一节 测量的概念和测量方法	1
第二节 热工测量仪表的组成与分类	2
第三节 测量误差及其种类	4
第四节 测量误差的处理	5
第五节 仪表的质量指标及仪表的校验	7
复习思考题	10
第二章 温度测量	11
第一节 概 述	11
第二节 热电偶温度计	13
第三节 热电阻温度计	18
第四节 温度显示仪表	22
复习思考题	29
第三章 压力测量	30
第一节 概 述	30
第二节 液柱式压力计	31
第三节 弹性式压力计	33
第四节 压力(差压)变送器	37
复习思考题	45
第四章 流量测量	47
第一节 流量测量概述	47
第二节 差压式流量计	49
复习思考题	57
第五章 物位测量	58
第一节 概 述	58
第二节 连通式液位计	59
第三节 差压式液位计	63
第四节 超声波物位测量	66
第五节 核辐射式物位测量	69
复习思考题	71
第六章 氧化锆氧量计	72
第一节 氧化锆氧量计的测量原理	72
第二节 氧化锆氧量计的使用	74
复习思考题	79

第七章 自动调节基本知识	80
第一节 自动调节系统基本概念	80
第二节 环节特性表示方法	90
第三节 典型环节特性	97
第四节 现场对象的动态特性	109
复习思考题	118
第八章 调节器调节规律及其对过程影响	119
第一节 自动调节器典型调节规律及调节过程分析	119
第二节 典型调节系统原理	129
复习思考题	137
第九章 集散控制系统及其设备	138
第一节 DCS 的通信技术	138
第二节 DCS 系统概述	153
第三节 常用集散控制系统 (DCS)	156
第四节 控制系统中的执行机构	174
复习思考题	177
第十章 单元机组协调控制系统	179
第一节 协调主控	179
第二节 燃烧控制系统	187
第三节 给水控制系统	193
第四节 主蒸汽温度控制系统	199
复习思考题	205
第十一章 炉膛安全监控系统	207
第一节 概述	207
第二节 炉膛爆燃的原因及防止措施	209
第三节 炉膛吹扫	211
第四节 油枪组程序	214
第五节 火焰检测	220
第六节 主燃料跳闸	223
复习思考题	227
第十二章 顺序控制系统	228
第一节 SCS 系统的实现手段	228
第二节 PLC 结构组成	229
第三节 PLC 的编程与控制原理	231
第四节 SCS 系统分析	233
复习思考题	235
第十三章 汽轮机数字电液控制系统	236
第一节 概述	236
第二节 DEH 系统的基本功能	237
第三节 DEH 系统的基本组成	246
复习思考题	250
附表	251
参考文献	254

热工测量的基本知识

“测量技术”是研究测量原理、测量方法和测量工具的一门科学。人类在从事科学研究、工程技术以及其他一切生产活动时，为了取得各种事物之间的定量关系，就必须进行测量。测量是人们认识事物的本质所不可缺少的手段。

不同的科技和生产领域，有不同的测量项目和测量特点。热工测量是指在热工过程中对各种热工参数，如温度、压力、流量、物位等的测量（热力发电厂中，有时也把成分分析、转速、振动等列入其中）。

在热力发电厂中，通过热工测量可以及时地反映热力设备以及热力系统的运行工况，为运行人员提供操作的依据，并且为热工自动控制准确地、及时地提供所需的信号。因此，热工测量是保证热力设备安全、经济运行及实现自动控制的必要手段。

第一节 测量的概念和测量方法

一、测量的定义

所谓测量，就是利用特定的仪表或设备，通过实验的方法将被测量与同性质的标准量（即测量单位）进行比较，以确定出被测量是标准量多少倍数的过程。所得到的倍数就是被测量的值，即

$$L = \frac{x}{b} \quad (1-1)$$

式中 x ——被测量；

b ——标准量（测量单位）；

L ——所得到的被测量的值，即得到的测量结果。

从式中可知，被测量的值与所选用的测量单位有关。测量单位人为规定，并得到国家或国际公认。以往，各国、各地区的测量单位各不相同，同类被测量比较时，必须进行单位换算，很不方便，且有些测量单位制订的科学性和严密性较差。随着科学技术的发展和国际科技、经济交往的加强，人们迫切要求制订统一的测量单位。1960年，第十一届国际计量大会通过了“国际单位制”，代号为SI，它对长度、质量、时间、电流和热力学温度等七种基本单位作了统一规定。其他的物理量单位，可以由这七种基本单位一一导出。实践证明，国际单位制具有科学、合理、精确、实用等优点，给生产建设和科技发展带来很大方便。我国于1984年2月27日由国务院发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》。法定计量单位是以国际单位制为基础，结合我国实际情况增加了一些非国际单位制单位构成的。在热工测量中应积极推广使用。

二、测量方法

测量是一种实验工作，为了及时获得准确可靠的数据，必须根据行业的要求及被测对象的特点，选择合理的测量方法。

根据获得测量结果的程序不同, 测量可分为:

(1) 直接测量。就是将被测量直接与所选用的标准量进行比较, 或者用预先标定好的测量仪表进行测量, 从而直接得出测量值的方法。如用尺测长度, 用玻璃管水位计测水位等。

(2) 间接测量。通过直接测量与被测量有确定函数关系的其他各个变量, 然后将所得的数值代入函数式进行计算, 从而求得被测量值的方法称为间接测量。例如, 用平衡容器测量汽包水位; 通过测量导线电阻、长度及直径求电阻率等。

(3) 组合测量。组合测量是在测量出几组具有一定函数关系的量值的基础上, 通过解联立方程来求取被测量的方法。例如, 在一定温度范围内铂电阻与温度的关系为

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$$

式中 R_0 ——铂电阻在 0°C 时的电阻值;

R_t ——铂电阻在 $t^\circ\text{C}$ 时的电阻值;

A 、 B ——温度系数 (常数)。

为了求出温度系数 A 、 B , 可以分别直接测出 0°C 、 $t_1^\circ\text{C}$ 、 $t_2^\circ\text{C}$ 三个不同温度值及相应温度下的电阻值 R_0 、 R_{t1} 、 R_{t2} , 然后通过解联立方程来求得 A 、 B 的数值。

根据检测装置动作原理不同, 测量可分为:

(1) 直读法。被测量作用于仪表比较装置, 使比较装置的某种参数按已知关系随被测量发生变化, 由于这种变化关系已在仪表上直接刻度, 故直接可由仪表刻度尺读出测量结果。例如, 用玻璃管水银温度计测量温度时, 可直接由水银柱高度读出温度值。

(2) 零值法 (平衡法)。将被测量与一个已知量进行比较, 当二者达到平衡时, 仪表平衡指示器指零, 这时已知量就是被测量值。例如, 用天平测量物体的质量, 用电位差计测量电势都是采用了零值法。

(3) 微差法。当被测量尚未完全与已知量相平衡时, 读取它们之间的差值, 由已知量和差值可求出被测量值。用不平衡电桥测量电阻就是用微差法测量的例子。零值法和微差法测量对减小测量系统的误差很有利, 因此测量准确度高, 采用较为广泛。

根据仪表是否与被测对象接触, 测量可分为:

(1) 接触测量法。仪表的一部分与被测对象相接触, 受到被测对象的作用才能得出测量结果的测量方法。例如用玻璃管水银温度计测温度时, 温度计的温包应该置于被测介质之中, 以感受温度的高低。

(2) 非接触测量法。仪表的任何部分都不必与被测对象直接接触就能得到测量结果的测量方法。例如用光学高温计测温, 是用被测对象所产生的热辐射对仪表的作用而实现测温的, 因此仪表不必与对象直接接触。

第二节 热工测量仪表的组成与分类

一、组成

热力发电厂中的热工参数多数不能直接测量, 一般总是借助于一些物质的物理、化学性质的关联性把测量参数转变为其他便于测量的相关量, 以间接得出被测参数的数值。因此, 各种测量仪表尽管工作原理、结构外型等有所不同, 但从其各部分结构的功能和作用上看, 总不外乎由三部分组成, 即感受部件、传输变换部件及显示部件, 如图 1-1 所示。

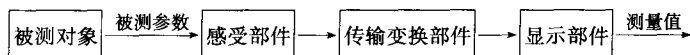


图 1-1 测量仪表组成方框图

1. 感受部件

感受部件也称一次仪表，它是测量仪表的感受部分，直接与被测对象相联系（但不一定直接接触）。它的作用是感受被测参数的大小和变化，并且必须随着被测参数变化产生一个相应的信号输出到传输变换部件。

仪表能否快速、准确地反映被测参数的大小，很大程度上取决于感受部件。对感受部件的具体要求是：

(1) 输出信号与被测参数的变化之间呈单值函数关系，最好呈线性关系，并有较高的灵敏度，即有较小的被测量变化时，输出信号就有较显著的变化。

(2) 感受部件对被测量的影响越小越好。

(3) 反应快、延迟小。

感受部件要完全满足上述条件一般比较困难，因而通常在仪表内部采取一些措施加以弥补。例如设置中间放大环节以弥补感受件灵敏度的不足，设置补偿环节以克服非被测量的影响以及采用线性化环节克服非线性等。

2. 传输变换部件

传输变换部件也称中间件，它的作用是，将感受件输出的信号，根据显示件的要求传送给显示件，因此有的连接件只是单纯起传递作用；有的则可放大感受件发出的信号；还有的在感受件输出信号不便于远距离传送，或者因某些特定要求需要变为某种统一的信号时，中间件可以根据要求将感受件的输出信号变换为相应的其他输出量，如电流、电压等，再送到显示部件。这种传输变换部件往往构成一独立完整的器件，通称为“变送器”。

3. 显示部件

显示部件也称二次仪表，其作用是接受传输变换部件送来的信号并将其转换为测量人员可以辨识的信号。

根据显示方式不同，仪表一般可分为模拟显示仪表、数字显示仪表和屏幕显示仪表。模拟显示仪表通过指针、液面、光标或图形图像等形式，反映被测量的连续变化；数字显示仪表则用数字量显示出被测量值的大小；屏幕显示仪表通过液晶屏或 CRT 显示屏以图形、数字等多种形式显示被测量的大小。

有些测量仪表根据不同的需要，还具有记录、累计、报警及调节等功能，有些还可以巡回检测多个不同的参数。

二、仪表的分类

根据仪表的用途、原理及结构等不同，热工仪表可分为多种类型：

(1) 按被测参数不同，可分为温度、压力、流量、物位、成分分析及机械量（位移、转速、振动等）测量仪表。

(2) 按仪表的用途不同，可分为标准用、实验室用及工程用仪表。

(3) 按显示特点和功能不同，可分为指示式、记录式、积算式、数字式及屏幕式仪表。

(4) 按工作原理不同，可分为机械式、电气式、电子式、化学式、气动式和液动式仪表。

(5) 按安装地点不同,可分为就地安装式及盘用仪表。

(6) 按使用方式不同,可分为固定式和便携式仪表。

在热工生产现场,大多采用结构牢固,能适应较为恶劣环境的工程用仪表,标准仪表则常作为实验室校验工程用仪表以及作为标准传递之用。

第三节 测量误差及其种类

一、测量误差及其表示方法

由于测量工作是一种实验工作,所以在进行测量工作时,由于仪表本身不完善、测量人员操作不当,测量时客观条件的变化以及受人类自身认识水平的局限等原因,都会使得测量结果与被测量的真实值之间出现不符的现象,即存在测量误差。

测量误差一般有以下三种表示方法:

1. 绝对误差

绝对误差是指仪表的测量值与被测量的真实值之间的差值,即

$$\delta = x - x_0 \quad (1-2)$$

式中 δ ——绝对误差;

x ——测量值;

x_0 ——被测量的真实值(真值)。

应该指出,在测量过程中测量误差的存在是不可避免的,任何测量值都只能近似反映被测量的真实值。也就是说, x_0 也只能是理论上的真实值,在实际的热工测量中,绝对准确的真实值是得不到的。因此,在常规的测量中,我们一般把比所用的测量仪表更精确的标准表的测量结果作为被测量的真实值。

2. 相对误差

相对误差是仪表的绝对误差与被测量的真实值之比,用百分数表示,即

$$\text{相对误差} = \frac{x - x_0}{x_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

相对误差比绝对误差更能反映测量的准确程度,相对误差越小,测量的准确性越高。

3. 折合误差

绝对误差和相对误差的表示形式都不能用于判断测量仪表的质量,因为,两只仪表如果绝对误差相同,但仪表的量程不同,显然量程范围大的那只仪表准确度更高些。

所以,判断仪表的质量时一般不采用绝对误差和相对误差的表示形式,而采用折合误差。折合误差也称为引用误差,是指仪表的绝对误差与该仪表的量程范围之间的百分比,即

$$\gamma = \frac{x - x_0}{A_{\max} - A_{\min}} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 $A_{\max} - A_{\min}$ ——仪表的量程。

无论如何,误差的存在对于测量工作来说都是不利的。为了减小测量误差,得到更接近于真实值的测量结果,有必要对测量误差产生的原因及变化规律进行分析。

二、测量误差的分类

根据误差的性质不同,可分为以下三个大类:

1. 系统误差

在相同条件下多次重复测量同一被测量时，如果每次的测量值误差基本保持不变或者按一定规律变化，则这种误差被称为系统误差。

系统误差通常是由于仪表的测量方法或测量系统本身不够完善，或者仪表使用不得当，以及测量时外界条件变化等原因造成的。例如，仪表的零位变化或者量程未调整好，仪表未在规定的温度下使用，仪表的安装不符合要求等等。

由于系统误差的出现一般是有规律的，其产生原因往往是可以掌握的，所以应尽可能设法预见到各种系统误差的具体来源，并尽力消除其影响，以提高测量的准确程度。

系统误差的大小表明了测量结果偏离真实值的程度，即“正确度”的大小。系统误差越小，测量的正确度越高。

2. 随机误差

在设法消除了系统误差之后，在相同条件下，对同一量值进行多次反复测量（亦称等精度测量）时，也会出现绝对值和符号不确定的微小误差，这种误差称为随机误差，也称为偶然误差。

随机误差大多数是由于测量过程中大量彼此独立的微小因素对测量的影响造成的。这些因素往往是尚未知道和难以控制的。随机误差表面看好像无任何规律，但仔细研究却可以发现，随着重复测量的次数增加，随机误差的出现还是有规律可循的，即绝对值越小的误差出现的机会越多，正负误差出现的机会基本相同。

随机误差的大小表明了一个测量系统的测量“精密度”。如果在一组等精度测量中，绝对值小的随机误差出现率越高，也就是说随机误差越小，则表明该测量系统的测量“精密度”越高，即多次测量值的一致性越好。

3. 疏忽误差

疏忽误差是由于测量人员在测量过程中疏忽大意、仪表的误动作等原因造成的测量误差，也称为粗大误差。

疏忽误差一般数值较大，严重影响测量结果的真实性，所以含有疏忽误差的测量值也被称为坏值。因此，测量人员在测量过程中应有高度的责任感和熟练的操作技术，尽量避免坏值的出现。

坏值对测量是没有意义的，应该从测量结果中剔除。鉴别和剔除坏值也要遵循一定的准则。

很显然，一个好的测量系统，应该尽量减小测量的系统误差和随机误差，并避免疏忽误差的出现。这就要求不断完善测量仪表的工作原理，不断提高测量工作人员的技术素质。

第四节 测量误差的处理

一、系统误差的消除

由于系统误差一般有规律可循，其产生的原因一般也是可预见的，所以系统误差一般可通过改进测量技术、对测量结果加修正值等手段来减小。通常处理系统误差的方法有以下几种：

(1) 消除系统误差产生的根源。测量时环境条件尽量符合仪表规定的使用条件，熟悉仪

表性能, 正确安装和调整测量仪表等等, 来减小测量的系统误差。

(2) 在测量结果中加修正值。在测量前用标准仪表确定出测量仪表的修正值; 对各种外界因素对测量的影响, 确定出较为准确的修正公式、修正曲线或修正表格, 以便修正测量结果。

(3) 在测量过程中采取补偿措施。在测量过程中增加补偿设备, 以在测量过程中自动消除系统误差。例如在用热电偶测温时, 采用冷端温度补偿器或冷端温度补偿元件来消除由于热电偶冷端温度变化所造成的系统误差。

(4) 采用可以消除系统误差的典型的测量技术。如采用零值法、微差法等等。

二、随机误差的处理

通过对大量的等精度测量的结果进行观察和分析后可知, 随机误差具有如下性质: 大小相同符号相反的误差出现的概率相同; 当测量次数足够大时, 全体误差的代数和为零; 绝对

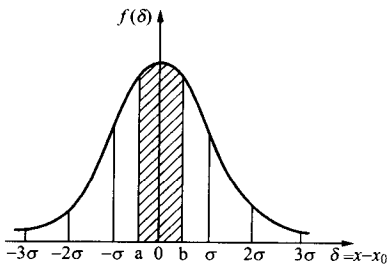


图 1-2 正态分布曲线

值小的误差比绝对值大的误差出现的概率大; 绝对值非常大的误差基本不出现。因此, 当重复测量的次数足够多时, 随机误差的分布规律服从于数学的概率统计理论中的正态分布规律。所以, 我们可以根据这种分布规律, 从一系列重复测量值中求出被测量值的最可信值作为测量的最终结果, 并给出该结果以一定概率存在的范围, 此范围称作置信区间, 被测量的随机误差出现在该置信区间的概率称为置信概率。严格地说, 一个测量结果, 必须同时附有

相应的置信区间和置信概率的说明, 否则该测量结果就是无意义的。

随机误差概率密度的正态分布曲线如图 1-2 所示: 曲线的横坐标为误差 $\delta = x - x_0$, 纵坐标为随机误差的概率密度 $f(\delta)$, 概率密度 $f(\delta)$ 与误差 δ 之间的关系为

$$f(\delta) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}} \quad (1-5)$$

$$\delta = x - x_0 \quad (1-6)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_0)^2}{n}}$$

式中 δ ——测量值的误差;
 x ——测量值;
 x_0 ——被测量的真实值;
 σ ——标准误差 (均方根误差)。
 n ——重复测量的次数。

由图可见, $f(\delta) d\delta$ 即为测量误差落在 δ_i 与 $\delta_i + \Delta\delta$ 之间的概率。如 $\delta = x - x_0$, 并给出误差区间 $[a, b]$, 则随机误差 δ 出现在区间 $[a, b]$ 上的概率为

$$P\{a \leq \delta \leq b\} = \int_a^b f(\delta) d\delta \quad (1-7)$$

其数值等于图 1-1 中阴影部分的面积。

由计算可以得出, 在一组等精度测量中, 随机误差出现在 $\pm\sigma$ 、 $\pm 2\sigma$ 、 $\pm 3\sigma$ 区间的概率

分别为 0.6827、0.9545 和 0.9973。由此可见,对于一组重复测量值中的任意一个测量值来说,随机误差超出 $\pm 3\sigma$ 的概率仅有千分之三。对于概率如此小的事件,实际上可近似认为是不可能发生的事件,即在进行测量时,其随机误差的最大值不会超过 $\pm 3\sigma$ 。因此,通常把 $\pm 3\sigma$ 称作最大误差或极限误差。如果随机误差超出了 $\pm 3\sigma$ 的范围,则该测量值则视为坏值,应予以剔除。

应当指出,在实际测量工作中,被测量的真实值 x_0 通常是不知道的,只能对其作出最佳估计,即求出其最优概值。通常,在直接测量中,如果重复测量的次数足够多(一般在 60 次以上)时,其最优概值就是全部测量值的算术平均值 $\bar{x}$ 。

此时,标准误差的估计值可由贝塞耳公式求出,即

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1-8)$$

也就是说,测量结果应表示成

$$\bar{x} \pm zS \quad (\text{置信概率})$$

其中 z 为置信系数。

而在对测量仪表进行校验时,被测量的真值则可用标准表的测量值来代替。

三、疏忽误差的剔除

在一系列测量数据中,可能会包含个别的坏值,这些坏值会严重影响测量结果的可靠性和真实性,所以应当加以剔除,但在剔除之前应鉴别其是不是坏值。鉴别的原则,就是设置一定的置信概率,看这个可疑值的误差是否在相应的置信区间内,如果不在,则判其为坏值,并加以剔除。鉴别坏值的标准很多,“拉依达检验准则”就是其中之一。

拉依达准则也称 3σ 判据。由前面的分析可知,在多次重复测量中,误差的绝对值大于 3σ 的测量值出现的概率只有 0.3%。因此,就把 3σ 作为检验的临界值,当某次测量值 x_i 的残差 $|x_i - \bar{x}| > 3\sigma$ 时,即认为 x_i 为坏值,将其剔除后再重新计算剩余测量值的算术平均值 $\bar{x}$ 和标准误差 σ ,然后再用上述表达式对剩余的测量值进行检验,直到没有坏值为止(实际测量中,可用标准误差的估计值 S 来代替标准误差 σ 进行判别)。

此判据简单方便,所以常被测量工作者使用。但应注意的是,此判据是建立在重复测量次数为无穷多次的基础上的,当测量次数较少时,则此判据并不十分可靠,即有些被判为坏值的测量值其实并非坏值,使得剔除后的测量结果有虚假的较高准确度。

第五节 仪表的质量指标及仪表的校验

一、仪表的质量指标

仪表的质量指标是评估仪表质量优劣的标准,它与仪表的设计和制造质量有关,是正确选择和使用仪表的重要依据,也是仪表工校验仪表,判断仪表是否合格的重要依据。

1. 仪表的准确度(精确度)等级及允许误差

准确度是正确度和精密度的总称。正确度表征系统误差的大小;精密度表征随机误差的大小。因此,仪表的准确度是表示测量结果与被测真值之间的综合的接近程度。

国家根据各类仪表的设计制造质量不同,对每种仪表都规定了正常使用时允许其具有的

最大误差，即允许误差。允许误差是一种极限误差，在仪表的整个量程范围内，各示值点的误差都不能超过允许误差，否则该仪表为不合格仪表。允许误差一般用折合误差的形式表示。

允许误差去掉百分号后取绝对值，就是该仪表的准确度等级，又称精度等级。我国目前规定的准确度等级有 0.005, 0.01, 0.02, 0.04, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 4.0, 5.0 等级别。仪表准确度等级一般都标志在仪表标尺或标牌上，如 $\diamond 0.5$ 或 $\bigcirc 1.5$ 就表示该仪表的准确度等级为 0.5 级。数字越小，准确度越高。

由此可见

$$\text{仪表的允许误差} = \pm \text{准确度等级} \%$$

【例 1-1】 对某机组进行热效率试验，需用 0~16MPa 压力表来测量 10MPa 左右的主蒸汽压力，要求相对测量误差不超过 $\pm 0.5\%$ ，试选择仪表的准确度等级。

解：仪表的允许绝对误差 $= 10 \times \pm 0.5\% = \pm 0.05 \text{MPa}$

$$\text{仪表的允许折合误差} = \frac{\pm 0.05}{16-0} \times 100\% = \pm 0.313\%$$

所以该仪表的准确度等级应选为 0.2 级。

2. 仪表的基本误差和附加误差

在规定的技术条件下（一般就是标准条件），仪表在全量程范围上各示值点的误差中，绝对值最大者叫做该仪表的基本误差。如某仪表在全量程上各示值点的误差分别为 0.1、0.15、-0.2、-0.1，则该仪表的基本误差为 -0.2。

按绝对误差的表示形式，仪表的基本误差可表示为

$$\delta_i = \pm |x - x_0|_{\max} \quad (1-9)$$

式中 x ——测量值；

x_0 ——标准表的示值。

按折合误差的表示形式，仪表的基本误差可表示为

$$\gamma_i = \frac{\delta_i}{A_{\max} - A_{\min}} \times 100\% \quad (1-10)$$

式中 $A_{\max} - A_{\min}$ ——仪表的量程。

显然，仪表的基本误差应小于或等于允许误差，否则为不合格。

仪表未在规定的正常工作条件下工作，或由外界条件变动引起的额外误差，称为附加误差。若影响量的偏离在极限条件之内，则附加误差有时可以估算。制造厂家有时也给出极限条件时的附加误差大小。

对于实验室用仪表，往往将其标尺上各点的实际误差测出，然后在使用时对该仪表的读数引入一个校正数：

$$\text{校正数} = \text{标准值} - \text{读数}$$

对于工业用仪表，由于附加误差的来源很多，做出校正曲线或表格是没有意义的。因为它的准确度等级也较低，所以一般只规定一个允许误差，同时规定定期校验的时间间隔，只要仪表标尺上各点的读数误差都在仪表的允许误差范围内，就不必修正读数。

3. 变差

在规定的使用条件下，使用同一仪表进行正行程和反行程测量时，在相同示值点上，正

反行程测量值之差的绝对值称为此刻度点的变差。在全量程范围内, 仪表各刻度点的变差中的最大者称为仪表的变差。变差一般是由于仪表的机械传动系统的摩擦、间隙以及弹性元件的弹性滞后等原因造成的, 如图 1-3 所示。

如用折合误差的表示形式, 仪表的变差可表示为

$$\gamma_b = \frac{\delta_b}{A_{\max} - A_{\min}} \times 100\% = \frac{|x_{\text{正}} - x_{\text{反}}|_{\max}}{A_{\max} - A_{\min}} \times 100\% \quad (1-11)$$

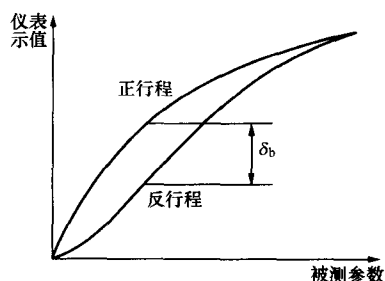


图 1-3 变差示意图

变差是反映仪表精密程度的一个指标, 仪表的变差应小于或等于仪表的允许误差, 否则该仪表视为不合格。

4. 重复性

在同一工作条件下, 按同一方向对同一被测量进行多次重复测量时, 所得的多个测量值的一致程度称为重复性。重复性是以全量程上最大的不一致值相对于量程范围的百分数来表示的。

5. 灵敏度和不灵敏区

灵敏度是指仪表感受被测参数变化的灵敏程度, 或者说是对被测量变化的反应能力, 是在稳态下, 输出变化增量 ΔL 对输入变化增量 Δx 的比值, 即

$$S = \frac{\Delta L}{\Delta x} \quad (1-12)$$

仪表能响应的输入信号的最小变化则被称为仪表的分辨率, 也称灵敏度限。

不能引起仪表输出变化的输入信号的范围, 即缓慢地向增大或减小方向改变输入信号时, 仪表输出不发生变化的最大输入变化幅度相对于量程的百分数, 称为不灵敏区。

分辨率和不灵敏区从不同的角度来描述了仪表的灵敏性。一般来说, 仪表的灵敏度越高其分辨率也越高, 读数时也越容易准确。测量仪表的灵敏度可以用增大放大系统的放大倍数的方法来提高。但必须指出, 单纯加大灵敏度并不改变仪表的基本性能, 即仪表准确度并没有提高, 相反有时还会出现振荡现象, 造成输出不稳定。这时可能出现灵敏度很高, 但准确度却下降的现象。为了防止准确度的下降, 常规定仪表标尺上的分格值不能小于仪表允许误差的绝对值; 仪表灵敏度的数值应大于仪表允许误差绝对值的一半。

6. 漂移

在环境及工作条件不变的前提下, 保持一定的输入信号, 经过一段时间后, 输出的变化称为漂移。它是仪表全量程上输出的最大变化量对量程的百分比来表示的。

漂移是表示仪表稳定性的一个重要指标, 它通常是由于元件的老化、磨损、污染及弹性元件失效等原因造成的。

二、仪表的校验

在工业生产中, 为了确保测量结果的真实性和可靠性, 对使用了一定时间之后以及检修过的仪表, 都应进行校验, 以确定仪表是否合格。仪表校验的步骤一般包括外观检查、内部机件性能检查、绝缘性能检查及示值校验等。示值校验一般是判断仪表的基本误差、变差等是否合格。示值校验方法通常有以下两种。

1. 示值比较法

用标准仪表与被校仪表同时测量同一参数, 以确定被校仪表各刻度点的误差。校验点一

般选取被校表上的整数刻度点，包括零点及满刻度点不得少于五点（校验精密仪表时校验点不得少于七点），校验点应基本均匀分布于被校仪表的整个量程范围。各校验点的误差不超过该仪表准确度等级规定的允许误差则认为合格。

校验仪表时所用的标准仪表，其允许误差应不大于被校表允许误差的三分之一（绝对误差值），量程应等于或略大于被校仪表的量程。

2. 标准状态法

利用某些物质的标准状态来校验仪表。例如，利用一些物质（如水、各种纯金属）的状态转变点温度来校验温度计，利用空气中含氧量一定的特性来校验工程用氧量计等。

复 习 思 考 题

- 1. 测量仪表主要由哪几部分组成？各部分的作用是什么？
- 2. 测量误差有几种表示方法？各代表什么意义？
- 3. 测量误差的种类有哪些？它们是如何产生的？如何对这些误差进行处理？
- 4. 何谓仪表的允许误差、准确度等级、基本误差和变差？
- 5. 评价仪表质量优劣的标准有哪些？怎样才算是合格的仪表？

6. 对某精度等级为 1.5 级、量程范围为 0~1.6MPa 的弹簧管压力表进行示值校验，所得校验数据如下表所示：

校验点 (MPa)		0	0.4	0.8	1.2	1.6
标准表示值 (MPa)	正行程	0	0.39	0.81	1.22	1.61
	反行程	0.01	0.40	0.79	1.19	1.60

试求该压力表的允许误差、基本误差和变差，并判断该仪表是否合格。

温 度 测 量

第一节 概 述

温度在生产过程中是一个既普遍而又重要的物理量。生产过程中都伴随着物质的物理和化学性质的改变,都存在有能量的转换和转化,这些变化都是在一定的温度范围内进行的。在电力生产过程中,最普遍的交换形式是热量的交换,因此,温度测点高达数百个,温度是最重要的被测量之一。在化工生产过程中,温度对许多产品的质量和产量都有很大影响,要严格地测量和控制温度才能完成化工产品的生产。可见温度的测量与控制是保证生产过程正常进行,实现安全、经济、优质生产的关键之一。

一、温度的概念

温度是衡量物体冷热程度的物理量,我们对周围环境或物体冷热的感觉,以及自然界中的热效应,都是用温度这个物理量来描述的。温度高称为热,温度低称为冷。物体的冷热是由物体内部分子平均动能的大小所决定的,分子运动越快,平均动能越大,物体越热;运动越慢,平均动能越小,物体越冷。

应当注意,热量和温度是两个不同的物理量,温度相等的两个物体可能具有不同热量,相反,具有相同热量的两个物体,其温度不一定相等。热量的计量单位为焦耳(J),温度则为摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。

两个温度不同的物体,在仅能发生热交换的条件下互相接触,热量将由温度高的物体传给温度低的物体,经过一定时间后达到热平衡状态,表现出相同的温度。人们利用这一原理,用已知物质的物理性质和温度之间的关系,设计出各种接触式温度测量仪表,如利用物质热胀冷缩制成玻璃温度计;利用物质的电阻值随温度变化制成电阻温度计;利用物质的热电效应制成热电偶温度计;利用热辐射原理制成辐射式温度计等。

二、温标的概念

用来度量温度高低的标尺称为温标,它是用数值来表示温度的方法,不同温标对同一定点的温度表示的数值是不同的。

1. 摄氏温标 ($^{\circ}\text{C}$)

摄氏温标也叫百分温标,它是利用水银等物体体积热膨胀的性质建立起来的,标准大气压下,冰的熔点为 0°C , 水的沸点为 100°C 的一种温标,在 0°C 到 100°C 之间分成一百等分,每一等分为一摄氏度,即 1°C 。

2. 华氏温标 ($^{\circ}\text{F}$)

华氏温标定义在标准大气压下,冰的熔点为 32°F , 水的沸点为 212°F , 中间分成 180 等分,每一等分为一华氏度,即 1°F 。摄氏温标与华氏温标之间的关系为

$$\text{华氏温度} = (1.8 \times t + 32)^{\circ}\text{F}$$

式中: t 代表摄氏温标的温度示值。

华氏温度单位在我国法定计量单位中已被淘汰,如需引用时应换算为法定单位。