



普通高等教育“十一五”国家级规划教材 (高职高专教育)  
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI

REGONG CELIANG JI YIBIAO

# 热工测量及仪表

(第二版)

潘汪杰 文群英 主 编



中国电力出版社

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



普通高等教育“十一五”国家级规划教材 (高职高专教育)  
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI

REGONG CELIANG JI YIBIAO  
**热工测量及仪表**  
(第二版)

主 编 潘汪杰 文群英  
编 写 黄桂梅 史金铎  
主 审 李国光 李学明

江苏工业学院图书馆  
藏书章



中国电力出版社

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

## 内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材（高职高专教育）。

本书从实用角度出发，对目前热工过程正在使用的和将要使用的热工仪表进行了全面系统的阐述，介绍了仪表及传感器的基本原理和基本结构，着重介绍了仪表及传感器的使用方法、校验方法、安装方法等。反映了近年来检测领域中的新技术、新方法和新发展，注重实用性和先进性的统一，力求做到理论与实践相结合。

本书可作为高职高专电力技术类火电厂集控运行、电厂热能动力装置，自动化类检测技术及应用、生产过程自动化技术等专业“热工测量及仪表”和同类课程的教材，也可供其他专业学生或工程技术人员参考。

## 图书在版编目（CIP）数据

热工测量及仪表/潘汪杰，文群英主编. —2版. —北京：中国电力出版社，2009

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 高职高专教育

ISBN 978-7-5083-8636-2

I. 热… II. ①潘…②文… III. ①热工测量-高等学校：技术学校-教材 ②热工仪表-高等学校：技术学校-教材 IV. TK31

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 044595 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>）

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2005 年 5 月第一版

2009 年 6 月第二版 2009 年 6 月北京第十次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 11.5 印张 276 千字

定价 18.80 元

## 敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

# 前 言

本书在第一版的基础上,申报成为“十一五”国家级规划教材(高职高专教育)。本书保持了第一版的特色,紧扣高职高专的培养目标,坚持以“应用为主,够用为度,学有所用,用有所学”的定位原则,遵循“拓宽基础、培养能力、重在应用”的宗旨,根据高职高专教育的特点,本着理论够用、应用为主、注重实践的编写思想来完成修订任务。

第一章删除了原第四节的内容,增加了第五节仪表设备的防护,增加了第七章仪表安装与识图概述。其他章节的内容在原有基础上,尽量删繁就简,加强基本概念、基本原理、基本分析方法的训练和培养。在分析问题时,突出主要矛盾和主要问题,忽略次要因素,注重应用性及概念的清晰。贯彻理论与实践相结合,以应用为目的,理论够用的原则,突出高职高专的教学特色。

本书在重点介绍了一些发展成熟的仪表及传感器的基本原理和基本结构,使用方法、校验方法及安装方法等知识的基础上,在内容上也力求反映近年来检测领域中的新技术、新方法和新发展,并注重实用性和先进性,力求做到理论与实践相结合。

本书由武汉电力职业技术学院潘汪杰、文群英主编。保定电力职业技术学院史金铎编写了第一章第一~四节,第六章第一、四、五节;文群英编写了第一章第五节,第六章第二、三节,第七章;潘汪杰编写了第二、五章;保定电力职业技术学院黄桂梅编写了第三、四章。

全书由华北电力大学李国光教授和大唐发电集团公司襄樊水电开发公司李学明博士主审。在编写过程中,得到了湖北汉川电厂、湖北荆门电厂、河北电力公司等单位的支持和帮助,谨表感谢。

由于编写时间仓促,加之编者水平所限,书中难免有疏漏及不足之处,恳请广大读者不吝赐教。

编 者

2009年6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    | 3  |
| 第三节 测量误差及其种类        | 4  |
| 第四节 仪表的质量指标及仪表的校验   | 6  |
| 第五节 仪表设备的防护         | 9  |
| 本章小结                | 14 |
| 复习思考题与习题            | 14 |
| 第二章 温度测量及仪表         | 16 |
| 第一节 温度测量的基本知识       | 16 |
| 第二节 热电偶             | 19 |
| 第三节 热电阻             | 34 |
| 第四节 模拟显示仪表          | 39 |
| 第五节 数字显示仪表          | 45 |
| 第六节 温度变送器           | 48 |
| 第七节 非接触式测温仪表        | 50 |
| 第八节 光纤传感器           | 57 |
| 本章小结                | 62 |
| 复习思考题与习题            | 64 |
| 第三章 压力测量及仪表         | 67 |
| 第一节 压力的概念及压力测量仪表的分类 | 67 |
| 第二节 液柱式压力计          | 68 |
| 第三节 弹性式压力计          | 69 |
| 第四节 压力表的选择与安装       | 73 |
| 第五节 压力(差压)变送器       | 75 |
| 第六节 压力取样及管路敷设       | 81 |
| 第七节 压力测量系统故障分析      | 82 |
| 本章小结                | 84 |
| 复习思考题与习题            | 85 |
| 第四章 流量测量及仪表         | 86 |
| 第一节 流量测量概述          | 86 |
| 第二节 差压式流量计          | 88 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第三节 其他流量计 .....              | 96  |
| 本章小结 .....                   | 100 |
| 复习思考题与习题 .....               | 101 |
| 第五章 水位测量及仪表 .....            | 103 |
| 第一节 就地水位计 .....              | 103 |
| 第二节 差压式水位计 .....             | 106 |
| 第三节 电接点水位计 .....             | 117 |
| 第四节 其他物位测量仪表 .....           | 122 |
| 本章小结 .....                   | 128 |
| 复习思考题与习题 .....               | 129 |
| 第六章 其他参数测量及仪表 .....          | 131 |
| 第一节 氧化锆氧量计 .....             | 131 |
| 第二节 电子皮带秤 .....              | 137 |
| 第三节 机械位移量测量仪表 .....          | 141 |
| 第四节 转速测量仪表 .....             | 144 |
| 第五节 振动测量仪表 .....             | 147 |
| 本章小结 .....                   | 149 |
| 复习思考题与习题 .....               | 150 |
| 第七章 仪表安装与识图概述 .....          | 151 |
| 第一节 仪表安装基本概念 .....           | 151 |
| 第二节 仪表安装常识 .....             | 159 |
| 第三节 仪表工程图例符号 .....           | 165 |
| 本章小结 .....                   | 170 |
| 复习思考题与习题 .....               | 171 |
| 附录 热电偶和热电阻分度表 .....          | 172 |
| 附表 1 铂铑 10—铂热电偶分度表 .....     | 172 |
| 附表 2 铂铑 13—铂热电偶分度表 .....     | 172 |
| 附表 3 铂铑 30—铂铑 6 热电偶分度表 ..... | 173 |
| 附表 4 镍铬—镍硅 (镍铝) 热电偶分度表 ..... | 173 |
| 附表 5 镍铬—康铜热电偶分度表 .....       | 174 |
| 附表 6 铁—康铜热电偶分度表 .....        | 174 |
| 附表 7 铜—康铜热电偶分度表 .....        | 174 |
| 附表 8 铂热电阻分度表 (Pt50) .....    | 175 |
| 附表 9 铂热电阻分度表 (Pt100) .....   | 175 |
| 附表 10 铜热电阻分度表 (Cu50) .....   | 175 |
| 附表 11 铜热电阻分度表 (Cu100) .....  | 175 |
| 参考文献 .....                   | 176 |

## 第一章 热工测量的基本知识

**【教学提示】** 本章讲述了测量及测量误差的基本概念,测量的一般方法,测量仪表的组成及种类,测量误差的种类、表示方法和误差的处理方法,以及评估测量仪表质量优劣的技术指标等内容。本章重点是测量误差的种类及表示方法,测量误差的处理方法及仪表的质量指标。

“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、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,就是利用测量工具,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。在“国际单位制”诞生前,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了很大方便。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。直接测量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。间接测量是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

$$R_t = R_{t_0}(1 + At + Bt^2)$$

式中  $R_{t_0}$ ——铂电阻在  $0^\circ\text{C}$  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  $0^\circ\text{C}$ 、 $t_1^\circ\text{C}$ 、 $t_2^\circ\text{C}$  三个不同温度值及相应温度下的电阻值  $R_{t_0}$ 、 $R_{t_1}$ 、 $R_{t_2}$ ，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，应用较为广泛。

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，是通过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、结构外形等有所不同，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并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）对非被测量的变化，感受部件应不受影响或受影响极小。

（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。因此有的中间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

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  $\delta$ ——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准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

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

对于大小不同的测量值,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。

在掌握了系统误差产生的原因后,可以对仪表加以校对。可以通过采用正确的使用方法,在仪表规定的条件下使用仪表,对测量仪表或测量系统进行完善,或对测量结果加修正值等措施,来设法消除系统误差,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。

随机误差在多次测量时,其总体服从统计规律,大多服从正态分布,具有对称性、有界性、抵偿性和单峰性等特点。可以通过对多次测量值取算术平均值的方法削弱随机误差对测量结果的影响。

### 3. 疏忽误差

在一定的测量条件下,由于人为原因造成的、测量值明显偏离实际值所形成的误差称为疏忽误差,也称为粗大误差。

产生疏忽误差的主要原因有:观察者过于疲劳,缺乏经验,操作不当或责任心不强而造成

成的读错刻度、记错数字或计算错误等失误,以及测量条件的突然变化,如机械冲击等引起仪器指示值的改变。

疏忽误差可以克服,而且和仪表本身无关,凡确定是疏失误差的测量数据应剔除不用。

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 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。

允许误差去掉百分号后取绝对值,就是该仪表的准确度等级,又称精确度等级。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。由此可见:仪表的允许误差 $=\pm$ 准确度等级%。

从【例 1-1】和【例 1-2】两个例题可以分辨出如何确定仪表的准确度等级和怎样选择仪表的准确度等级。

**【例 1-1】** 某台测温仪表的测温范围为  $0\sim 500^{\circ}\text{C}$ ,校验该表得到的最大绝对误差为  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ,试确定该仪表的准确度等级。

**解** 该仪表的允许误差 $=\frac{\pm 3}{500-0}\times 100\%=\pm 0.6\%$ 。

如果将仪表的允许误差去掉正负号和百分符号,其数值为 0.6。由于国家规定的准确度等级中没有 0.6 级仪表,同时,该仪表的允许误差超过了 0.5 级 ( $\pm 0.5\%$ ),所以该台仪表的准确度等级为 1.0 级。

**【例 1-2】** 对某机组进行热效率试验,需用  $0\sim 16\text{MPa}$  压力表来测量  $10\text{MPa}$  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 $=10\times \pm 0.5\%=\pm 0.05\text{MPa}$

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。

由以上两个例题可以看出, 根据仪表的校验数据来确定仪表准确度等级和根据工艺要求来选择仪表的准确度等级, 情况是不一样的。根据仪表的校验数据来确定仪表的准确度等级, 仪表的允许误差应该大于 (至少等于) 仪表校验所得的最大相对百分误差。

根据工艺要求来选择仪表的准确度等级时, 仪表的允许误差应小于 (至多等于) 工艺上所允许的最大相对百分误差。仪表的准确度等级是衡量仪表质量的重要指标之一, 由上述可以看出, 当数值越小时, 表示仪表的准确度等级越高, 仪表的准确度也越高。0.05 级以上的仪表, 常用来作为标准表, 工业现场用的测量仪表, 其准确度大多是 0.5 级以下的。

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  $\bigcirc 0.5$  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。工业生产中常用仪表的准确度为 1.0~4.0 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

$$\delta_j = \pm |x - x_0|_{\max} \quad (1-5)$$

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

$$\gamma_j = \frac{\delta_j}{A_{\max} - A_{\min}} \times 100\% \quad (1-6)$$

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附加误差的大小。

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 1-2 所示。

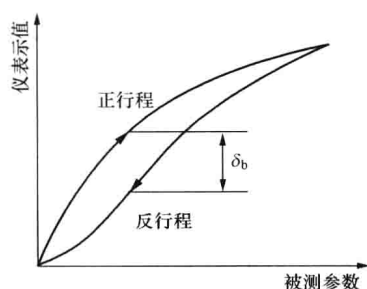


图 1-2 变差

如用折合误差的表示形式, 仪表的变差可表示为

$$\gamma_b = \frac{\delta_b}{A_{\max} - A_{\min}} \times 100\% = \frac{|x_{\text{正}} - x_{\text{反}}|_{\max}}{A_{\max} - A_{\min}} \times 100\% \quad (1-7)$$

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  $\Delta L$  对输入变化增量  $\Delta x$  的比值, 即

$$S = \frac{\Delta L}{\Delta x} \quad (1-8)$$

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。

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; 仪表灵敏度限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。

# 第五节 仪表设备的防护

## 一、电气防爆

当爆炸性危险场所存在可燃性气体或蒸汽，且上述物质与空气混合后的浓度在爆炸极限以内，周围有足以点燃爆炸性混合物的火花、电弧或高温时，就可能产生爆炸。检测仪表与执行器都安装在生产现场，且检测与控制信号多为电信号，容易引发爆炸。对于易燃易爆场所，为了保证生产设备和操作人员的安全，必须采取相应的防爆措施。防爆的基本措施是使产生爆炸的条件同时出现的可能性减到最小程度。

防爆措施主要包括设计防爆、安装防爆和检修防爆。

### 1. 设计防爆

根据爆炸危险场所的区域等级，设计相应的防爆仪表和电气设备。

(1) 爆炸性危险场所的划分。我国对爆炸性危险场所的划分采用 IEC 等效的方法。GB 50058—1992 爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范中规定，爆炸性气体危险场所按其危险程度的大小，划分为 0 区、1 区、2 区三个级别，爆炸性粉尘危险场所划分为 10 区、11 区两个级别，如表 1-1 所示。

表 1-1 气体爆炸及粉尘爆炸危险场所等级

| 爆炸性物质 | 区域划分 | 区域定义                                            |
|-------|------|-------------------------------------------------|
| 气体    | 0 区  | 连续出现或长期出现爆炸性气体混合物的环境                            |
|       | 1 区  | 在正常运行时可能出现爆炸性气体混合物的环境                           |
|       | 2 区  | 在正常运行时不可能出现爆炸性气体混合物的环境，或即使出现也仅是短时存在的爆炸性气体混合物的环境 |
| 粉尘    | 10 区 | 连续出现或长期出现爆炸性粉尘的环境                               |
|       | 11 区 | 有时会将积留下的粉尘扬起而偶然出现爆炸性粉尘混合物的环境                    |

(2) 爆炸性危险场所使用的电气设备。在爆炸性危险场所使用的电气设备，在运行过程中必须具备不引爆周围爆炸性混合物的性能。

防爆电气设备分为两大类：Ⅰ类为煤矿井下用电气设备；Ⅱ类为工厂用电气设备。其防爆结构形式分为以下几类。

1) 增安型“e”。在正常运行时不会产生点燃爆炸性混合物的火花、电弧或危险温度，并在结构上采取措施，提高其安全程度，以避免在正常和规定的过载条件下出现点燃现象的仪表设备。

2) 隔爆型“d”。这类电气设备具有隔爆外壳，即把能点燃爆炸性混合物的部件封闭在



一个外壳内, 该外壳能承受内部爆炸性混合物的爆炸压力, 并阻止其向壳外的爆炸性混合物传爆。这类电气设备在打开外壳前, 必须先切断电源, 否则一旦产生火花, 便暴露在大气当中, 造成危险。

3) 本安型 (安全火花型) “i”。这类电气设备在正常或故障情况下, 由电路或系统产生的火花和达到的温度都不会引起爆炸性混合物爆炸。这类电气设备的防爆性能是由其电路本身决定的, 其本质是安全的, 因而适用于一切危险场所和一切爆炸性气体, 并可在通电情况下进行维修和调整。但是, 它不能单独使用, 必须和本安关联设备 (安全栅) 及外部配线一起构成本安电路, 才能发挥防爆功能。

本安型电气设备按安全程度和使用场所不同, 可分为 ia 和 ib 两个等级, ia 等级高于 ib, ia 级适用于 0 区和 1 区, 通常用于工厂; 而 ib 级仅适用于 1 区, 一般用于煤矿井下。

4) 正压型 “p”。向这类电气设备外壳内通入洁净空气或充入惰性气体, 使其内部保护气体的压力高于周围危险性环境的压力, 以阻止外部爆炸性混合物进入壳内引起爆炸。

5) 充油型 “o”。这类电气设备把可能产生火花、电弧或危险高温的带电部件浸在变压器油中, 使其不致引起爆炸性混合物爆炸。

6) 充砂型 “q”。这类电气设备是指在外壳内充填细颗粒材料, 在规定使用条件下, 使外壳内产生的电弧、火焰及过热温度均不能点燃周围的爆炸性混合物。

7) 无火花型 “n”。这类电气设备在正常运行条件下不产生电弧或火花, 也不产生能够点燃周围爆炸性混合物的高温表面或灼热点, 且一般不会发生有点燃作用的故障。

8) 特殊型 “s”。这类电气设备在结构上不属于上述各种类型, 而是采取其他防爆措施的电气设备。

(3) 防爆电气设备的选型。各类防爆电气均设置永久性铭牌标志。铭牌应包括以下主要内容:

1) 防爆总标志 “Ex”。表示该设备为防爆电气设备。

2) 防爆结构形式。表明该设备采用何种措施进行防爆, 如 d 为隔爆型, p 为正压型等。

3) 防爆设备类别。I 类为煤矿井下用电气设备; II 类为工厂用电气设备。

4) 防爆级别。环境中爆炸性气体混合物的爆炸级别, 即 II A、II B、II C。这是相应于设备的最大试验安全间隙和最小点燃电流比的分级。其级别根据产生爆炸性气体的介质不同而不同, 如丙烷属 II A、乙烯属 II B、乙炔和氢属 II C 等。从 II A 到 II C 随着防爆电气设备的最大试验安全间隙和最小点燃电流比的逐级减小而其防爆要求逐级提高。

5) 温度组别。环境中爆炸性气体混合物的组别或引燃温度。这是易燃性物质的气体或蒸汽与空气形成的混合物的规定条件下被热表面引燃的最低温度。从组别 T1 到 T6 随着引燃温度的降低, 其电气设备的防爆要求逐级提高。

6) 防爆合格证编号及产品出厂日期或编号。

电气设备的选型原则是安全可靠、经济合理。对气体爆炸危险场所, 通常 0 区选择本安型 (ia 级) 和针对 0 区的特殊型; 1 区可选择本安型 (ib 级)、针对 1 区的特殊型、隔爆型、增安型、充油型、充砂型和正压型以及适用于 0 区的保护类型; 2 区可选择无火花型及适用于 0 区和 1 区的保护类型。

## 2. 安装防爆

在爆炸性危险场所安装仪表必须符合下列要求:

(1) 爆炸危险场所使用的仪表、电气设备和安装材料如接线盒、分线盒、端子箱等,必须具有经国家授权机构签发的防爆合格证,安装前要检查其规格、型号是否符合设计要求,其外观应无损伤、裂纹。

(2) 在爆炸危险场所也可设置正压防爆的仪表箱,内装非防爆型仪表及其他电气设备,仪表箱的通风管必须保持畅通,在送电前,应通入箱体积五倍以上的气体进行置换。

(3) 爆炸危险场所 1 区内的仪表配线,必须保证在万一发生短路、接地、断线等事故时,不致形成点火源,因而电缆、电线必须采用耐压防爆的金属保护管,穿线管间及与接线盒、分线箱、拉线盒间均应采用圆柱管螺纹连接,其有效啮合部分应在 5 扣以上。需挠性连接时应采用防爆挠性连接管。

(4) 汇线槽、电缆沟、保护管穿过不同等级的爆炸危险场所分界线时,应采取密封措施,以防爆炸性气体从一个危险场所串入另一个危险场所。

(5) 保护管与现场仪表、检测元件、电气设备、仪表箱、分线箱、接线盒、拉线盒等连接时,应在连接处 0.45m 以内安装隔爆密封管件,对 2in 以上的保护管每隔 15m 应设置一个密封管件。

### 3. 检修防爆

在检修、维护、拆装以及运行中,若该场所已有爆炸性物质或与空气混合形成爆炸性混合物,工作时应采取防爆措施。

(1) 应经常进行检查维护,定期查看仪表外观、环境(温度、湿度、粉尘、腐蚀)、温升、振动、安装是否牢固等情况。

(2) 对隔爆型仪表,在通电进行维修时,切不可打开接线盒和观察窗,需开盖维修时必须先切断电源,绝不允许带电开盖维修。

(3) 维修工具要合适,不得产生冲出火花,所使用的测试仪表应为经过鉴定的隔爆型或本安型仪表,以避免测试仪表引起诱发性火花或把过高的电压引向不适当部位。

(4) 照明灯具必须符合防爆要求,通常采用 24V 或 12V 安全电压,使用防爆接头。

(5) 不要在有压力的情况下拆卸仪表。

## 二、仪表及设备的防腐保温

在实际工作环境中,许多仪表设备均露天布置。如就地仪表、变送器、执行器以及仪表管路等。在安装时,应采取必要的防腐防冻措施,以保证仪表设备安全、长久地运行。

### 1. 防腐

腐蚀是环境作用下引起的破坏和变质。金属或合金的腐蚀,主要是化学作用或电化作用引起的破坏,有时还同时包含机械、物理或冲刷的破坏作用。仪表设备的防腐主要有以下几种措施:

(1) 直接接触介质的部分采用相应的耐腐材料,如节流装置,测温元件的保护套管,压力、差压变送器的测量机构,调节阀的流通部分。

(2) 在接触腐蚀介质的仪表零部件表面、内壁涂覆(包括喷涂、电镀、堆焊、衬里)耐腐材料,如调节阀阀体、阀芯、测温元件的保护套管、分析器的采样器室、孔板、喷嘴等。

一般现场施工防腐的主要方法是涂漆。对碳钢导管、管路支架、电缆桥架、电缆槽盒、电缆保护管、固定卡、设备支架等需要防腐的结构,在外壁无防腐层时,均应进行涂漆处理。

(3) 用耐腐蚀的隔离液进行隔离防腐,主要用于压力变送器、差压变送器和压力表的防腐。