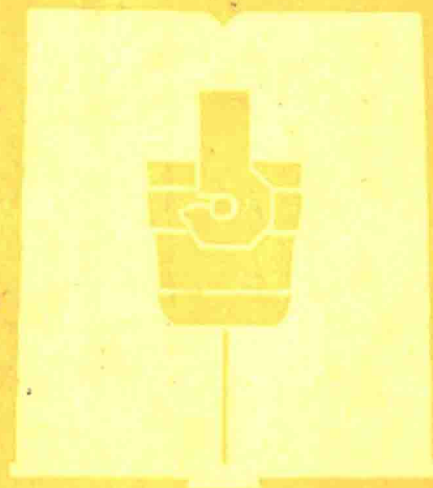


● 高等学校教学用书 ●

热工检测仪表

GAODENG XUEXIAO JIAOXUE YONGSHU



冶金工业出版社

(京)新登字 036 号

高等学校教学用书

热工检测仪表

东北大学 王玲生 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷 35 号)

新华书店总店科技发行所发行

怀柔县东茶坞印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 11.75 字数 271 千字

1994 年 6 月第一版 1994 年 6 月第一次印刷

印数 1~3800 册

ISBN 7-5024-1402-9

TH·173(课)定价:5.55 元

前 言

本书是根据冶金、有色系统高等学校八五教材出版规划和本课程教学大纲编写的。

全书共分八章。第一、三、六章由昆明工学院李江如编写,第二、四、五章由东北大学王玲生编写,第七、八章由鞍山钢铁学院沈剑莹编写。王玲生担任主编。

本教材按 45 学时编写,内容以热工检测仪表为主,兼顾其它常用检测仪表,并侧重于仪表的基本原理及应用。符合热能、钢铁冶金、有色金属冶金等专业的教学要求。

东北大学高魁明、赵渭国和华东冶金学院张立文详细审阅了书稿,提出了许多宝贵意见,在此表示诚挚的谢意。

限于水平,书中缺漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

1992 年 9 月

目 录

概 述	(1)
第一章 基本知识	(2)
第一节 测量及测量误差	(2)
一、测量的概念和测量方法	(2)
二、测量误差	(2)
第二节 检测仪表的品质指标与分类	(3)
一、检测仪表的品质指标	(3)
二、检测仪表的组成及分类	(5)
习题与思考题	(6)
第二章 接触式温度测量仪表	(7)
第一节 温度测量概述	(7)
一、温度	(7)
二、温标	(7)
三、1990 年国际温标 (ITS-90) 简介	(8)
四、温度标准的传递	(9)
五、温度测量仪表的分类	(9)
第二节 热电偶温度计的原理	(12)
一、热电偶的原理与特点	(12)
二、热电偶的应用定则	(15)
第三节 普通热电偶的结构及标准化热电偶	(16)
一、普通热电偶的结构	(16)
二、标准化热电偶	(17)
三、非标准化热电偶	(19)
第四节 热电偶冷端温度的处理	(20)
一、补偿导线法	(20)
二、计算修正法	(22)
三、冷端恒温法	(22)
四、补偿电桥法	(22)
第五节 热电偶的实用测温线路	(23)
一、工业用热电偶测温的基本线路	(23)
二、测量多点温度的基本线路	(23)
三、热电偶的串联	(24)
四、热电偶的并联	(24)
第六节 热电偶的检定和测温误差的分析	(25)
一、热电偶的检定	(25)
二、热电偶测温误差的分析	(26)
第七节 工业用其它类型热电偶	(27)
一、铠装热电偶	(27)

二、快速微型热电偶	(28)
三、表面热电偶	(28)
第八节 普通热电偶的使用与安装	(29)
一、热电偶使用注意事项	(29)
二、热电偶的安装原则	(29)
第九节 热电阻温度计	(30)
一、热电阻的测温原理与特点	(30)
二、热电阻的分类	(31)
第十节 普通型热电阻	(31)
一、金属热电阻	(31)
二、半导体热敏电阻	(33)
第十一节 铠装热电阻、薄膜铂热电阻	(34)
一、铠装热电阻	(34)
二、薄膜铂热电阻	(35)
三、厚膜铂热电阻	(35)
附录	(36)
附录 1 标准化热电偶分度表 (附表 1~7)	(36)
附录 2 标准化热电阻分度表 (附表 8~11)	(43)
习题与思考题	(45)
√第三章 非接触式温度测量仪表	(46)
第一节 辐射测温的物理基础及其基本方法	(46)
一、一般概念	(46)
二、辐射测温的物理基础	(47)
三、辐射测温的基本方法	(49)
四、辐射测温仪表的基本组成	(49)
五、辐射测温仪表简介	(50)
第二节 光学高温计	(50)
一、灯丝隐灭式光学高温计	(51)
二、光电高温计	(54)
第三节 全辐射式高温计	(57)
一、全辐射式高温计的基本结构及工作原理	(57)
二、全辐射式高温计的使用	(58)
第四节 比色高温计简介	(60)
习题与思考题	(61)
√第四章 电动显示仪表	(62)
第一节 平衡电桥与不平衡电桥	(62)
一、平衡电桥	(62)
二、不平衡电桥	(65)
√第二节 动圈式指示仪表	(66)
一、工作原理	(66)
二、仪表的结构	(67)

三、动圈式仪表的应用	(69)
第三节 自动平衡式显示仪表	(75)
一、自动平衡式显示仪表的构成原理和结构特点	(76)
二、自动电子电位差计的测量桥路	(77)
三、电子自动平衡电桥的测量桥路	(82)
四、其它各部件的作用	(84)
五、自动平衡式显示仪表的应用	(86)
第四节 数字式显示仪表及智能仪表简介	(91)
一、配热电偶的数字式温度表	(91)
二、有源电桥式热电阻数字温度表	(93)
三、智能仪表简介	(93)
习题与思考题	(96)
第五章 自动称重仪表	(97)
第一节 电阻应变式自动称重仪表	(97)
一、概述	(97)
二、荷重传感器	(97)
第二节 压磁式自动称重仪表	(99)
一、压磁传感器原理与特点	(100)
二、压磁传感器	(100)
第三节 电子秤	(101)
一、电子皮带秤	(101)
二、料斗秤	(101)
三、吊车秤	(101)
习题与思考题	(102)
第六章 压力、压差和物位测量	(103)
第一节 压力、压差测量仪表	(103)
一、基本概念	(103)
二、测压仪表的分类	(104)
三、弹性式压力计	(104)
四、远传式弹簧管压力计	(107)
五、电气式远传压力表——简介应变片式压力变送器	(110)
六、热电真空计	(111)
七、压力计的选用	(111)
八、压力计的校验	(112)
九、压力表的安装简介	(113)
第二节 物位测量仪表	(115)
一、物位测量概述	(115)
二、静压式液位计	(116)
三、静压式液位计的静压校正问题——量程迁移问题	(118)
四、吹气式静压液位计	(119)
五、密度 ρ 为变量时的静压液位测量	(120)
六、电容式物位计	(121)

习题与思考题	(123)
第七章 流量测量仪表	(125)
第一节 概述	(125)
一、瞬时流量、累积流量	(125)
二、流量测量方法	(125)
第二节 节流式流量计	(127)
一、节流元件	(127)
二、节流装置测量原理及流量方程式	(128)
三、标准节流装置有关参数的确定	(132)
四、标准孔板的测量精度	(133)
五、节流式流量计用差压计	(134)
第三节 动压测定管	(137)
一、动压测定管的基本原理	(137)
二、动压测定管分类及组成	(138)
第四节 转子流量计	(139)
一、玻璃管转子流量计的工作原理	(139)
二、电远传金属管转子流量计	(141)
三、转子流量计刻度换算	(143)
四、转子流量计安装	(144)
第五节 靶式流量计	(144)
一、靶式流量计的基本工作原理	(144)
二、靶式流量计的流量系数 K_a	(146)
第六节 电磁流量计	(147)
一、电磁流量变送器的基本原理	(147)
二、电磁流量变送器的结构	(148)
第七节 容积式流量计	(149)
一、椭圆齿轮流量计	(149)
二、腰轮流量计(罗茨流量计)	(151)
第八节 质量流量计	(152)
一、质量流量计的分类	(152)
二、直接式质量流量计——涡轮转矩式质量流量计	(152)
三、推导式质量流量计	(153)
四、温度、压力补偿式质量流量计	(154)
习题与思考题	(156)
第八章 气体成分分析	(157)
第一节 概述	(157)
一、常用成分分析仪表的种类	(157)
二、工业生产中自动成分分析系统及组成	(157)
第二节 奥氏气体分析器	(157)
一、工作原理	(157)
二、奥氏气体分析器的取样操作	(158)
三、奥氏气体分析器的读数方法及分析	(158)

第三节 氧分析器.....	(158)
一、磁式氧分析器	(159)
二、氧化锆式氧量分析仪	(160)
第四节 热导式 CO ₂ 气体分析器	(164)
一、热导式 CO ₂ 气体分析器基本原理	(164)
二、测定 CO ₂ 成分的装置	(164)
第五节 红外线气体分析器	(165)
一、红外线气体分析器基本原理	(165)
二、红外线气体分析器结构及工作过程	(166)
第六节 气相色谱仪	(168)
一、气相色谱仪的工作原理	(168)
二、气相色谱仪的基本组成及有关问题	(169)
三、气相色谱仪的定性定量分析	(172)
习题与思考题	(176)
主要参考资料	(177)

概 述

工业自动化仪表包括的范围很广,凡是与工业生产过程自动化有关的仪器、仪表及自动装置,都可统称为自动化仪表。它在冶金、化工、石油、电力和轻工等工业企业中应用极其广泛。

根据仪表在生产过程自动化系统中所完成的作用,习惯上把它分为:

自动检测仪表 应用物理或化学原理,将被测参数变换成便于测量、记录或远距离传送的各种形式的信号。

自动显示仪表 将自动检测仪表所输出的信号自动记录和显示出来。

自动调节仪表 接受来自检测仪表的信号,并根据该信号与给定值的偏差大小和方向,按照一定的规律输出调节信号给执行机构。

检测仪表依据被测参数,可分为以下几类:

热工量检测仪表 几乎包括所有工业部门中应用的温度、压力、流量、物位等参数的测量仪表。

机械量检测仪表 包括在工业部门中应用的位移、速度、加速度、厚度、应力等参数的测量仪表。

成分分析仪表 既包括能表征生产过程中物质物理或化学性质(例如粘度、露点、闪点)等参数变化的测量仪表,也包括那些能分析出液体或气体混合物中各组分含量的分析仪表。

本书介绍部分自动检测和自动显示仪表的基本原理、结构和应用技术。

第一章 基本知识

第一节 测量及测量误差

一、测量的概念和测量方法

测量就是借助专用的技术工具,通过实验或计算的方法,对被测对象取得测量结果的过程。

任何测量过程都是将被测量与某一标准量进行比较的过程。测量中必不可少的一环是比较,即被测量与同性质的标准量进行比较,并确定被测量是该标准量的多少倍。通常被测量能直接与标准量比较的场合不太多,大多数的被测量和标准量都要变换到双方便于比较的某个中间量。例如用酒精温度计测量室温时,室温(被测量)被变换成玻璃管内酒精柱的热膨胀位移量;而温度的标准量被传递到玻璃管上的标尺分格,这时被测量和标准量都需变换到同性质的线性位移(中间量),这样就可以比较了。由此可见,通过变换实现了测量。以后可以发现,这种变换是整个测量技术的核心。

实现变换的元件叫变换元件。多个变换元件的有机组合,就构成了自动检测仪表。变换元件中最重要的是敏感元件,它直接与被测对象接触,其工作条件往往最复杂,因而最受重视。

根据最终测量结果获得方式的不同,可将测量方法分为直接测量和间接测量两种。

直接测量 它是将被测量与标准量直接进行比较,或用预先按标准校对好的测量仪器对被测量进行测量,并能直接得到被测量的大小。例如用米尺量出一根钢管的长度。

间接测量 它是通过一个或多个直接测量值,代入一定的函数关系式运算才能得到被测量的。例如用节流装置测量流量时,在测量出节流装置前后的压差以后,要代入流量公式才能计算出所对应的流量值。

二、测量误差

在测量过程中,由于测量工具有限的准确性、观测者的主观性、外界环境条件的影响等等,使得测量结果与被测量的真值之间总有一定的差值,这个差值称为测量误差。在测量结果中必须有说明误差大小的一项内容,以便清楚该项测量的可信赖程度。

所谓“真值”是指被测物理量客观存在的真实数值。它是理论值,无法精确地得到。在实际应用中,可将标准仪器的数值当作真值,或再加上标准仪器本身的修正值后作为真值。

(一)绝对误差

在同一测量条件下,被校仪表的指示值与标准仪表的指示值之差称为绝对误差。可用下式表示:

$$x - x_0 = \pm \Delta \quad (1-1)$$

式中 Δ ——绝对误差;
 x ——被校仪表的指示值;
 x_0 ——标准仪表的指示值。

绝对误差不能完全说明仪表的准确程度。例如两个仪表的绝对误差都是 $\pm 1^\circ\text{C}$,这个数字对体温表来说只能是废品;然而对炼钢炉内 1000°C 以上的钢水温度,却是目前远远不能达到的高精度。绝对误差可以是正值,也可以是负值或为零。判断仪表的准确程度不用绝对误差而用相对误差。

(二) 相对误差

被校仪表的绝对误差与该仪表的指示值或标准仪表的标准值(真值)之比称为相对误差。用 r 表示,即

$$\text{相对误差} \quad r = \frac{\Delta}{x} \times 100\% \quad (1-2)$$

或

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

在上例中炼钢炉内钢水温度为 1000°C 时,这个仪表的相对误差为 $\frac{1}{1000} \times 100\% = 0.1\%$;而体温表假如指示值为 37°C ,则其相对误差为 $\frac{1}{37} \times 100\% = 2.7\%$ 。这两个仪表绝对误差相同;而相对误差相差悬殊。

具有同样相对误差的测量值,其测量的准确程度总是相同的。

(三) 误差的分类

一个被测物理量难以与真值相符,这是多种原因造成的,根据引起误差的原因,将测量误差分为三类:

(1) 系统误差 它是指对同一物理量进行多次重复测量时,所出现的测量误差和符号均保持不变或按一定规律变化,此种误差称为系统误差。引起系统误差的原因是仪表工作原理不完善,仪表本身材料、零部件、工艺有缺陷。所以在引入相应的修正值以后,系统误差是可以消除的。

(2) 粗大误差 它是操作人员读取数据或使用仪器与测试方案不正确等人为因素所引起的误差。

(3) 随机误差 它是由随机因素引起的误差,没有固定的规律,但是如果进行多次重复测试,则它们出现的机遇服从正态分布。

第二节 检测仪表的品质指标与分类

一、检测仪表的品质指标

仪表的品质指标就是用来衡量仪表质量好坏的标准。仪表有很多品质指标,包括全部出厂检验指标,“部颁标准”中有详细规定,下面仅就其中一些重要指标予以简要说明。

(一) 基本误差和精度等级

基本误差 它表示仪表在规定的条件下,指示值与被测量的真值之间的最大误差,可用下式表示:

$$A = \frac{\Delta x_{\max}}{x_{\max} - x_{\min}} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 $x_{\max}$ ——仪表刻度标尺的上限值;

$x_{\min}$ ——仪表刻度标尺的下限值;

$\Delta x_{\max} = (x - x_0)_{\max}$, 它表示在整个标尺范围内被校表与标准表示值之间的最大绝对误差, 可以出现在仪表刻度标尺上的任何一点处。

为保证测量精度和安全操作, 建议在选用仪表时, 应保证仪表工作在刻度标尺的 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ 处(对压力表)或刻度标尺的 $\frac{2}{3} \sim \frac{3}{4}$ 处(对其它检测仪表)。

精度等级 把基本误差中的百分数去掉, 剩下的数字就称作仪表的精度等级。

我国仪器仪表工业采用下列精度等级序列:

0.001; 0.005; 0.02; 0.05; 0.1; 0.2; 0.35; 0.5; 1.0; 1.5; 2.5; 4.0。

仪表精度等级的数字愈小, 仪表的精度愈高。0.5 级的仪表比 1.0 级仪表精度高。

工业用仪表的精度等级一般在 0.5~4.0 之间。

(二) 附加误差

仪表的基本误差是在规定的条件下(例如环境温度为 20°C, 空气的相对湿度为 80%, 标准大气压以及一定的供电电压和频率等等), 通过与标准仪表相比较而确定的。如果仪表的使用条件与规定条件不同, 则仪表的指示值中, 除了原有的基本误差以外, 还会引入一附加误差。一般在仪表说明书上都注明了该仪表的正常工作条件, 以及在不同的工作条件下应引入的附加误差是多少, 使用仪表时必须注意这一点。

(三) 变差

变差可用来表征仪表测量的稳定程度或复现性。

在进行仪表校验时, 常常会发现在外界条件不变的情况下, 使用同一仪表对相同的被测参数值进行正、反行程(即被测参数逐渐由小到大到逐渐由大到小)测量时, 其所得到的仪表指示值是不相等的, 两者之差就称为该仪表在该读数点的变差。造成变差的原因很多, 例如传动机构的间隙、运动件的摩擦、弹性元件的弹性滞后影响等。变差的大小, 一般用在同一被测参数数值下, 正、反行程时仪表指示值的绝对误差的最大值与仪表标尺范围(量程)之比的百分数表示。

即

$$a = \frac{(x_{zh} - x_f)_{\max}}{x_{\max} - x_{\min}} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 a ——变差;

x_{zh} ——被校验表正行程读数;

x_f ——被校验表反行程读数;

仪表校验时, 一般应检定仪表量程范围内 10%、50%、90% 三个刻度处的变差。其数值都应小于仪表基本误差。

(四) 灵敏度

灵敏度表征仪表对被测参数的灵敏程度。它用被测参数变化一个单位时引起仪表指针偏转的角度或直线位移的距离来表示。

即

$$s = \frac{\Delta a}{\Delta x} \quad (1-6)$$

式中 s ——检测仪表的灵敏度;

$\Delta\alpha$ —— 仪表指针的转角位移(或直线位移);

Δx —— 引起 $\Delta\alpha$ 所需的被测参数变化量。

灵敏度可以用增大放大系统(机械式或电子式)的放大系数的办法来提高。必须指出,仪表的性能主要决定于仪表的基本误差,如果单纯地从加大仪表灵敏度来企图达到更准确的读数,这是不合理的,反而可能出现灵敏度似乎很高,但实际上准确度却下降的虚假现象。为了防止这种虚假灵敏度,通常规定仪表标尺上的分格值不能小于仪表最大绝对误差值 $\Delta x_{\max}$ 。

(五)始动灵敏限

始动灵敏限是指能引起仪表指针发生动作的被测参数的最小(极限)变化量。通常,仪表的始动灵敏限应小于仪表最大绝对误差值 $\Delta x_{\max}$ 的一半。

以上指标属于仪表的静态指标。显然精度越高的仪表,测量准确度也高,变差也小,同时灵敏度越大,始动灵敏限的数值越小。

(六)检测仪表的动态指标

仪表的动态指标主要有两项:

(1)反应时间 它是指从检测仪表的感受元件接受被测参数变化开始,到指针基本稳定地指示出被测参数的变化为止,这段时间称为仪表的反应时间。

仪表反应时间可用来说明检测仪表滞后的大小。显然,检测仪表的反应时间短,滞后小为好。但选用仪表反应时间时需与被测参数的变化周期相适应。

检测仪表能不能及时反应出被测参数的变化情况是很重要的动态品质指标。如果仪表需要较长的时间才能得到被测参数的正确指示值,那么此仪表一定不能用来测量频繁变化的参数。因为仪表尚未指示出参数的数值时,参数又已经变化了。所以仪表始终指示不出参数的真实变化情况。一般要求仪表的反应时间小于被测参数的变化周期。

(2)仪表指针走全行程的时间 它是指给仪表输入满量程信号值(阶跃信号)时,仪表指针由刻度下限移动到刻度上限,或由仪表刻度上限移动到刻度下限所需要的时间。

二、检测仪表的组成及分类

(一)检测仪表的组成及各部分的作用

检测仪表的结构形式是多种多样的,但基本上由三部分组成:

(1)一次仪表 它又称测量元件或传感器,其作用是将被测参数(各种物理量)转换成容易被量度的量,如电量、位移量等。

(2)传输、转换部分 其作用是将一次仪表测出的信号输出、转换或放大后再送至二次仪表。

(3)二次仪表 它又称显示仪表。其作用是将转换、输送部分送来的信号量度出来或与标尺比较得出被测物理量的数值。它可以将被测物理量指示、记录或累计下来。

显示方式分为模拟显示(即用指针的位移模拟被测量的大小)、数字显示和屏幕显示。

(二)检测仪表的分类

工业生产过程中所用的检测仪表,其结构和形式是多种多样的,可从不同的角度进行分类。

按仪表使用的动力,检测仪表可分为气动仪表、电动仪表和液动仪表。目前常用的为气

动仪表和电动仪表。冶金企业以电动仪表为主。

气动仪表的结构比较简单,工作比较可靠;对温度、湿度、电磁场、放射线等环境影响的抗干扰能力较强;能防火、防爆,价格比较便宜。但气动仪表一般反应速度较慢,传送距离受到限制;与计算机结合比较困难,使远距离集中控制受到限制。

电动仪表以电为能源,信号之间联系比较方便,适宜于远距离传送、集中控制;便于与计算机结合控制生产过程;近年来,电动仪表也可以做到防火、防爆,更有利于电动仪表的安全使用。但电动仪表一般投资大,受温度、湿度、电磁场、放射线影响较大,使可靠性受到限制。

按仪表的结构形式,检测仪表可分为单元组合式仪表、基地式仪表和组装式仪表。

单元组合式仪表是将各参数的测量、信号转换变送及显示等部分,分别做成只完成某一个而又能各自独立工作的单元仪表(简称单元),根据不同要求可方便地将各单元组合成各种检测系统,适用性和灵活性均较好。

基地式仪表是将测量、显示等部分都装在一个壳体内,成为不可分离的整体。

组装式仪表是近年来出现的组装式电子综合控制装置。它是使用插件板形式来扩大、组合各种应用功能,是一种新式的生产过程自动化成套装置。

按仪表被测参数不同,检测仪表可分为压力测量仪表、流量测量仪表、物位测量仪表、温度测量仪表以及成分量分析仪表等。本书就是根据这种分类方法,介绍各种主要的检测仪表。

习题与思考题

1. 选一只量程很大的仪表来测量很小的参数值会有什么问题?
2. 检验仪表时得到某仪表的精度为 1.33% ,问此仪表的精度级应定为多少级?由工艺允许的最大误差计算出某测量仪表的精度至少为 1.33% 才能满足工艺要求,问应选几级表?
3. 量程 $0\sim 1.6\text{MPa}$ 的弹簧管压力表,精度级为 2.5 级,检验时在某点出现的最大绝对误差为 0.05MPa ,问这只仪表合格吗?
4. 一只量程为 $0\sim 31.48\text{mV}$ 的动圈显示仪表,校验时的最大绝对误差为 0.3mV ,问该表的精度级?
5. 有两只测温仪表,测量标尺范围分别为 $A_1 = 0\sim 500^\circ\text{C}$ 、 $A_2 = 0\sim 800^\circ\text{C}$,已知其绝对误差的最大值均为 5°C ,试问哪一只表较准确?为什么?
6. 一台电子自动电位差计,量程为 $0\sim 800^\circ\text{C}$,精度级为 0.5 级,问在测温时可能产生的最大允许绝对误差是多少?
7. 一块压力表量程为 $0\sim 1\text{MPa}$,精度级为 1.0 级,问 0.1MPa 、 0.5MPa 、 1MPa 三点的最大允许绝对误差 Δm 分别为多少 kPa ? 三点测量的相对误差 δ 又分别为多少?
8. 用 $0\sim 20\text{MPa}$ 的标准压力表检定 $0\sim 10\text{MPa}$, 2.5 级的工业用压力表,试问标准压力表的精度级至少应选几级?
9. 有一只 0.5 级, $0\sim 1000^\circ\text{C}$ 的动圈式温度计,问该表标尺的最小分格值为多少合适?其灵敏限在数值上应为多少?

第二章 接触式温度测量仪表

温度是冶金生产中最普遍最重要的热工参数。许多冶金产品的质量、产量和能耗等都直接与温度参数有关,因此实现精确的温度测量与控制具有重要意义。然而要准确测量温度是很困难的。对于各种各样的测温仪表和测温方法,如果在应用中选择不当,或者测温环境不适宜,都不能得到准确的测量结果。

本章介绍接触式测温仪表中应用最广泛的温度传感器——热电偶和热电阻。

第一节 温度测量概述

一、温度

温度是表征物体冷热程度的物理参数。如果温度不同的两物体互相接触,由于它们之间有温度差存在,热量就会从高温物体向低温物体传递,假设这两物体与外界没有能量交换,则经过一段时间后两者就会达到热平衡状态,即两者温度相等。若两物体之一是温度传感器,另一个是被测物体,当两者达到热平衡时,温度传感器就充分反映了被测物体的温度,接触式测温法就是基于这一原理。

二、温标

上述概念只能对温度作定性的描述,要定量表达就必须用数量的大小来表示。温标就是温度数值化的标尺。它给出了温度数值化的一套规则和方法,并明确了温度的测量单位。人们借助于随温度而变化的物理量(如体积、压力、电阻、热电势等等)来制造各种各样温度检测仪表。它们的分度值都由温标决定。

温标有如下几种:

(1)经验温标 借助于某一种物质的物理量与温度变化的关系,用实验方法或经验公式所确定的温标称作经验温标。它主要指摄氏温标和华氏温标两种。

华氏温标(F°)是在标准大气压下,将水的冰点和沸点之间的温度差分为 180 等份,每一等份称为一华氏度。并规定冰点的温度数值为 $32^{\circ}F$,沸点为 $212^{\circ}F$ 。

摄氏温标($^{\circ}C$)是在标准大气压下,将水的冰点和沸点之间的温度差分为 100 等份,每一等份称为一摄氏度。并规定冰点的温度数值为 $0^{\circ}C$,沸点为 $100^{\circ}C$ 。

摄氏温标和华氏温标的起点不同,基本单位的大小也不同。

(2)热力学温标(又称开尔文温标)上述经验温标是用水银作温度计的测温介质,由于依附于具体物质的性质而带有任意性,不能严格地保证世界各国所采用的基本温度单位完全一致。

物理学家开尔文提出,以热力学第二定律为基础的热力学温标,是一种纯理论的理想温标,无法直接实现。在热力学中从理论上证明,热力学温标与理想气体温标完全一致。所以通常借助于气体温度计来复现热力学温标。

(3)国际温标 气体温度计虽然能复现热力学温标,但它的装置系统复杂,不适于实际应用。为了实用方便,国际上协商决定,建立一种既使用方便,又具有一定科学技术水平的温

标,这就是国际温标。

温标的基本内容为:规定不同温度范围内的基准仪器(或称内插仪器);选择一些纯物质的平衡态温度作为温标基准点;建立内插公式可计算出任何两个相邻基准点间的温度值。以上被称作温标“三要素”。

第一个国际温标是 1927 年建立的,称“1927 年国际温标”,记为 ITS-27。此后大约每隔 20 年进行一次重大修改,相继有 1948 年国际温标(ITS—48)、1968 年国际实用温标(IPTS—68)和 1990 年国际温标(ITS—90)。从 1990 年 1 月 1 日开始,各国将陆续采用 1990 年国际温标。

三、1990 年国际温标(ITS—90)简介

1990 年国际温标,是以定义固定点温度指定值以及在这些固定点上分度过的标准仪器来实现热力学温标的。各固定点的温度是依据内插公式使标准仪器的示值与国际温标的温度值相联系。

(1)定义固定点 ITS-90 中定义固定点 17 个,如表 2-1 所示。

(2)标准仪器 ITS-90 的内插用标准仪器,是将整个温标分 4 个温区,其相应标准仪器分别如下:

- 1)0.65~5.0K, ^3He 和 ^4He 蒸气压温度计;
 - 2)3.0~24.5561K, ^3He 、 ^4He 定容气体温度计;
 - 3)13.8033K~961.78°C,铂电阻温度计;
 - 4)961.78°C 以上,光学或光电高温计。
- (3)内插公式 (从略,请参阅有关资料)。

表 2-1 新温标的定义固定点(ITS—90)

序 号	温 度		物 质	状 态
	T(90)/K	t(90)/°C		
1	3—5	—270.15~—268.15	He	VP
2	13.8	—259.35	eq H ₂	TP
3	~17	~—256.15	eq H ₂ (或 He)	VP(or CT)
4	~20.3	~—252.85	eq H ₂ (或 He)	VP(or CT)
5	24.6	—218.5	Ne	TP
6	54.4	—219	O ₂	TP
7	83.8	—189	Ar	TP
8	234.3160	—38.8340	Hg	TP
9	273.16	0.01	H ₂ O	TP
10	302.9149	29.7649	Ca	MP
11	429.749	156.599	In	FP
12	505.079	231.929	Sn	FP
13	692.677	419.527	Zn	FP
14	933.477	660.327	Al	FP
15	1234.93	961.78	Ag	FP
16	1337.33	1064.18	Au	FP
17	1357.78	1084.63	Cu	FP

四、温度标准的传递

各国都要根据国际实用温标的规定,相应地建立起自己国家的温度标准,为了保证这个标准的准确可靠,还要推行国际比对。通过这些方法建立起的温标就作为本国温度测量的最高依据——国家基准。我国的国家基准保存在中国计量科学研究院,而各地区、省、市计量局(技术监督局)的标准要定期与国家基准比对,以保证本地区测温标准的统一。图 2-1 为我国温标传递系统的示意图,图中表明各种基准和标准以及工作用的测温仪表的传递关系。

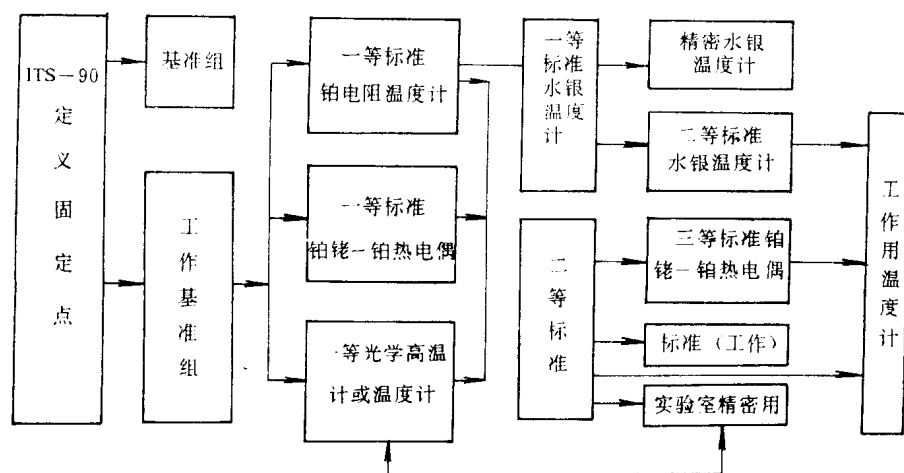


图 2-1 我国温标传递系统示意图

五、温度测量仪表的分类

温度不能直接测量,而是借助于物质的某些物理特性是温度的函数,通过对某些物理特性变化量的测量间接地获得温度值。

温度测量仪表的分类方法可按工作原理来划分,有时也根据温度范围(高温、中温、低温等)或仪表的精度(基准、标准等)来划分。

根据测量方法不同,温度测量仪表可划分为接触式测温仪表和非接触式测温仪表两大类。

(一)接触式测温仪表

接触式测温法是使感温元件直接与被测介质接触,感受被测介质的温度变化。因此这种测量方法比较直观可靠,但在有些情况下,它将影响被测温度场的分布,带来测量误差;另外在某些介质中,如高温或具有腐蚀性时,对测温元件的寿命要有很大影响。下面介绍常用的接触式测温仪表。

1. 膨胀式温度计

利用物体受热膨胀的原理制成的温度计有液体膨胀式温度计、固体膨胀式温度计和压力式温度计三种。

(1)液体膨胀式温度计 液体膨胀式温度计最常见的是玻璃管式温度计,如图 2-2 所