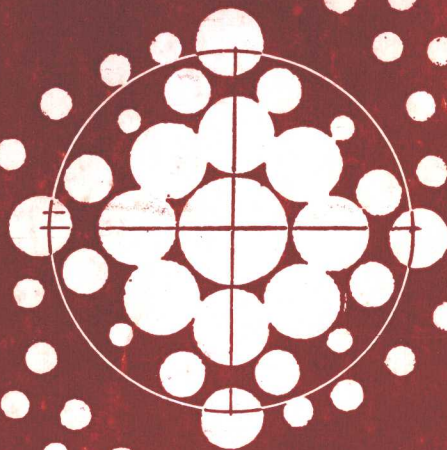
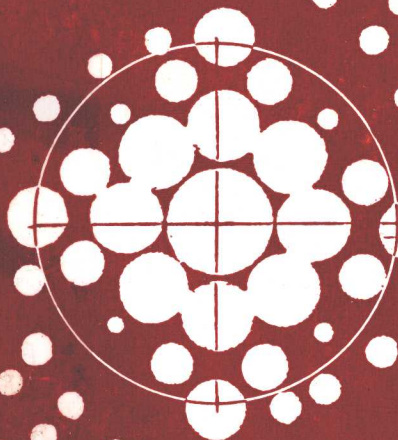


建材技工学校系列教材

热工仪表与热工测量

白文福 主编



武汉工业大学出版社

内 容 提 要

本书为水泥技工学校教材,主要内容包括:温度测量仪表;气体压力测量仪表;气体流量测量仪表;气体含尘量测量仪表;水泥窑热工标定等。本书按照最新教学大纲编写,理论联系实际,采用法定计量单位。

本书还可用作水泥技工培训教材或供水泥厂技术工人参考。

图书在版编目(CIP)数据

热工仪表与热工测量/白文福著. —武汉:武汉工业大学出版社,1997.3 重印
ISBN 7-5629-0748-X

I. 热…

II. 白…

III. ①热工仪表-技工学校-教材

②热工测量-技工学校-教材

IV. TK31

武汉工业大学出版社出版发行
(武昌珞狮路14号 邮编430070)

各地新华书店经销

湖北省石首市第二印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:11 字数:228千字

1993年7月第1版 1997年3月第4次印刷

印数:26001—31000 定价:10.00元

ISBN 7-5629-0748-X/TQ·69

(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)

序

当前,我国国民经济正以高速度向前发展,建材工业在国民经济发展中占有举足轻重的地位。邓小平同志指出:“科学技术是第一生产力”。建材工业要大发展,科技教育工作必须走在前面,培养具有较高科学文化知识和生产技术水平社会主义劳动者,乃是百年大计。

劳动部《关于深化技工学校教育改革的决定》中指出:“大力发展和办好技工学校是开发劳动者职业技能,提高劳动者素质,发展和完善劳动市场的有效途径”。近年来,国家建材局人才开发司根据劳动部对技工学校深化教育改革的有关精神,结合本行业的实际情况,深入开展了建材技工学校的教育改革,提出了《关于修改技工学校建材类专业教学计划的意见》,并组织了技工学校建材类各主要专业(工种)的教学计划和教学大纲的修订工作。

1991年,在福州召开的全国建材技工学校教育工作第一届年会上,与会代表们认为,原来使用的水泥技工学校内部油印讲义已经不适应建材工业新技术的发展和技工学校教学工作的实际需要,建议重新编写教材。国家建材局教材办公室在认真研究了代表们的建议后,决定组织人员按照新教学计划、教学大纲的要求,重新编写一套技工学校水泥专业系列教材,具体编审组织及出版工作委托武汉工业大学出版社负责实施。

经过各位编者和武汉工业大学出版社全体同志的共同努力,技工学校水泥专业系列教材(共8本)于1993年秋季正式出版发行了。新版教材正式出版后,受到了广大使用单位的欢迎,不到三个月时间,已大部分售完。为了满足广大使用单位的需求,进一步提高教材的质量,由武汉工业大学出版社组织有关编者、图书审读员、责任编辑对教材进行了审读,并收集了读者意见,对初版教材进行了勘误修订,预计1994年将修订重印后奉献给广大读者。

技工学校水泥专业系列教材(共8本)包括:《水泥生产基本知识》、《粉磨工艺与设备》、《水泥煨烧工艺与设备》(上、下册)、《水泥工业热工基础》、《热工仪表与热工测量》、《水泥生产辅助机械设备》、《化验室基本知识及操作》(上册),它以该专业(工种)新修订的教学计划和教学大纲为依据,按照培养目标的要求设置理论课课程,教学内容以应用知识为主,合理精减、合并、调整了理论课内容,删除了原讲义中冗繁和陈旧的部分章节,增加了反映新技术、新工艺的教学内容;有些课程(如化学分析课),还编写了实习操作教材。总之,该系列教材体现了理论课要适应操作技能培训需要的原则。

为了避免不必要的重复劳动,经研究决定,今后不再另编写水泥高级工培训教材,该系列教材基本上能满足高级工和技师培训的需要,请各使用单位根据高级工和技师培训的实际需要,选择相应的内容进行教学。

该教材的成功问世,得到了编者、审稿人、编辑等同志的大力支持,在此表示衷心的感谢!

各单位在使用该教材的过程中,若有何建议和要求,请及时反馈到国家建材局教材办公室和武汉工业大学出版社,以便再版时修改,使该教材日臻完善。

国家建材局教材办公室

1993年12月

前 言

本书是根据全国建材类《技工学校水泥专业教学计划》和《热工仪表与热工测量课程教学大纲》编写的技工教材,供水泥工艺类煨烧技工专业课和专业实践课教学用书。全书共分四章,主要教学内容包括:热工测量仪表和测量的基本知识;温度测量仪表和常用二次仪表;压力、流量和气体湿度、含尘,成分分析等测量仪表及仪器;水泥回转窑和立窑热工测量基本原理及热工测量方法等。

教材内每章均附有复习题,书末附有附录供教学参考和查阅。本书采用国际单位制。

本书内容注重理论联系实践,突出技工培训教育特点,重点置于教材内容的科学性、完整性和实用性之上。

本书教学时数为 80 学时,部分教学需在实践中进行。由于回转窑和立窑煨烧生产工艺上的差异,在使用教材时应根据《热工仪表与热工测量课程教学大纲》的要求和教学的具体情况适当增删。

本教材由国家建材局江油水泥工业技工学校白文福主编,各章编写分工为:国家建材局江油水泥工业技工学校刘继文编写第三章,绪论及其余各章均由白文福编写。

本书由武汉工业大学罗式辉副教授、王忠林副编审主审,并承蒙王忠林副编审对书中问题进行补充修改,在此一并表示衷心感谢。

由于水平有限,时间紧迫,书中错误和欠妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

1992 年 11 月

绪 论

现代水泥工业生产都是在高温、粉尘的连续状态下进行,并且粉状物料和含尘气体都是在密闭的设备和管道中进行输送,水泥生料需经 1500°C 左右的高温煅烧形成水泥熟料。因此,要控制好生产过程,就必须借助热工仪表来监测和分析水泥窑和各辅助设备的流量、压力、温度等生产控制参数的变化和物料、气体的成分。从而以科学的方法综合判定水泥生产工艺过程的稳定性和水泥窑炉热工制度的合理性,同时也能为生产工艺过程提供可靠的技术参数。

目前,我国水泥工业生产的产品有些质量尚不稳定,单位产品能耗大,许多水泥窑炉仍采用人工操作,基本无较系统的热工监测设施。特别是水泥窑炉生产控制,处于操作人员仅凭经验判断和操作的状况。因此,人为的因素较多,很难经济合理的把握住生产过程,当异常窑况时也难以分析其内在原因,严重地影响着水泥生产产品质量的提高和能耗的降低。

水泥窑炉热工测量是热工监测中综合性判定热工过程是否合理的有效手段,也是目前全面衡量热工过程,优化生产操作的有效方法之一。它是利用热工仪器,并综合运用现代测量技术对水泥窑炉及其水泥生产工艺过程进行定期或连续监测。通过监测得到的参数,对水泥窑炉及其设备结构进行判定;对生产过程进行经济控制;并能有效的研究分析操作参数和总结操作经验;同时能为有效的控制环境污染、减小水泥工业粉尘公害、改造收尘设备提供可靠依据。随着水泥工业现代化发展的需要,通过对热工过程和生产工艺过程的监测,与调节和执行机构配合,并联合计算机使用,为实现水泥工业大规模生产自动化奠定良好的基础。

热工测量仪表和热工测量在水泥工业中占有重要的地位,对于从事水泥工业生产的技术工人来说,学习和掌握水泥工业常用热工仪表和热工测量的一些必要的基础知识,无疑是十分必要的。

通过本课程的学习,应掌握水泥工业常用热工仪表的作用、基本原理、结构及其正确使用方法;了解掌握水泥窑炉及其设备的热工测量基本知识和基本测定原理以及一般测定项目的测定方法。

目 录

绪论	
第一章 热工测量仪表基本知识	(1)
第一节 常用热工仪表分类	(1)
第二节 热工测量与测量方法	(2)
一、测量与热工测量	(2)
二、测量方法	(2)
第三节 测量误差	(3)
一、测量误差种类	(3)
二、误差表示方法	(3)
三、仪表的质量指标	(4)
复习题	(5)
第二章 温度测量仪表	(6)
第一节 温度测量概念	(6)
一、温度与温标	(6)
二、测温仪表的分类	(6)
第二节 测温仪表	(8)
一、膨胀式温度计	(8)
二、压力式温度计	(11)
三、热电偶温度计	(13)
四、热电阻温度计	(29)
五、半导体点温计	(36)
六、辐射式高温计	(38)
七、热流计	(43)
第三节 显示仪表	(44)
一、动圈式显示仪表	(45)
二、电子电位差计	(51)
第四节 测温仪表的选用与安装	(57)
一、温度计(包括二次仪表)的选用原则	(57)
二、测温元件的安装	(57)
三、连接导线与补偿导线的安装	(59)
四、测量温度时的注意事项	(59)
复习题	(60)
第三章 气体测量仪表	(61)
第一节 气体压力测量仪表	(61)
一、气体压力的概念	(61)
二、气体压力测量仪表	(62)
三、测压仪表的选用和安装	(65)

第二节 气体流量测量仪表	(67)
一、流速和流量的概念	(67)
二、流量测量仪表	(67)
第三节 气体含尘量测定仪表	(77)
一、气体含尘量表示方法	(77)
二、气体含尘量测定仪表	(77)
三、几种含尘量的测量系统	(80)
第四节 气体湿含量测定仪表	(85)
一、气体湿含量的概念	(85)
二、气体湿含量的测定方法	(87)
第五节 气体成分分析器	(89)
一、气体成分分析的作用	(89)
二、气体成分分析器	(89)
复习题	(94)
第四章 水泥窑热工测定	(96)
第一节 概述	(96)
一、水泥窑热工测定的目的和任务	(96)
二、水泥窑热工测定的主要内容	(96)
三、热工测定的要求与实施	(97)
第二节 回转窑热工测定	(98)
一、热工测定项目设置	(98)
二、热工测定方法	(100)
三、物料平衡与热平衡计算方法	(130)
第三节 立窑热工测定	(139)
一、热工测定项目设置	(139)
二、立窑热工测定方法	(140)
复习题	(147)
附 录	(149)
一、工程单位制和国际单位制换算表	(149)
二、化学元素表	(150)
三、常用气体平均恒压比热表	(150)
四、101325Pa 压力下空气饱和和水蒸气压力 and 含湿量表	(151)
五、燃料的平均比热表	(153)
六、原料、生料、熟料、窑灰和煤灰的平均比热表	(153)
七、生料、熟料组分的平均比热表	(154)
八、熟料矿物组分的平均比热表	(154)
九、空气的相对湿度表	(155)
十、水在不同温度下的汽化热表	(163)
十一、根据温度差和干温度计温度计算 x 的图表	(163)
十二、 $I-x$ 图	(164)
主要参考文献	(165)

第一章 热工测量仪表基本知识

在水泥工业中,为了有效地进行生产控制和生产操作,完成生产过程的调节,需要对水泥生产中热工过程和粉磨过程的温度、压力、流量、物位、物料成分等参数进行测量。用来测量这些参数的仪表称为热工测量仪表,简称热工仪表。

第一节 常用热工仪表分类

由于用途、原理和结构不同,因此热工测量仪表分类的方法也不同。一般按下列方式分类:

一、按测量参数分类

主要有温度测量仪表、压力测量仪表、流量测量仪表、气体含尘率测量仪表、气体湿度测量仪表和气体成分分析仪表。

二、按用途分类

有标准仪表、实验室用仪表和工程用仪表。

标准仪表可用来复现和保持测量单位,亦可用来校验和刻度工程用仪表,其精度比较高。

实验室用仪表通常用来校对工程用仪表,其精度也比较高。

工程用仪表是在工业生产中广泛采用的测量仪表。它的结构简单,牢固抗震,对环境适应能力强,工作比较可靠,但精度比较低。

三、按显示特点分类

指示式:有指针、刻度,能及时反映参数的瞬时值。

记录式:有记录笔和记录专用纸,能反映参数瞬时值以及随时间变化的情况。

累积式:带积算装置,能将参数的瞬时值按时间累加,能反应出一定间隔时间内被测参数的总和,如带累积器的流量计等。

信号式:带有电接点,能和信号装置配合在给定的条件下发出声响和灯光信号,如电接点温度计、电接点压力表等。

远传指示式:带有信号转换组件,能远距离传送指示值。

此外,尚有混合结构的仪表,并有二种以上的功能等。

四、按仪表安装场合分类

就地仪表:直接安装在工艺对象上,只能就地观察读数。如水银温度计,U型差压计和就地安装的其它类型压力表。

有些就地安装在操作岗位上的基地式仪表,也称为就地仪表。

远传仪表:把一种测量参数的信号转换为另一种便于远距离传送的电或气的信号后,再送到远处的控制仪表盘上进行显示读数。通常把安装在工艺对象上以感受测量参数的敏感测量元件,称为传感器或传送器,常称为一次仪表;而把装在仪表盘上的显示仪表称为二次

仪表。

另外,还有按仪表使用方式不同分为固定式和携带式仪表。在水泥工业窑炉的热工测量中使用的温度计、流量计、微压计、气体成分分析仪等多数属于携带式;而直接用于生产操作和控制的热工仪表都为固定式。

第二节 热工测量与测量方法

一、测量与热工测量

测量是用比较的方法来确定一个未知参数。例如,要确定某物体的表面温度,可用一支摄氏温度计与被测物体表面直接比较,从所测得的测量单位数值就能直接确定这一物体表面的温度值。

热工测量是用比较的方法来确定热工过程中的热工参数。水泥工业中主要是对水泥煅烧窑炉、烘干机以及其它热工设备进行测量。通过对水泥工业中热工过程测量,准确确定各热工参数,就能客观地反映热工设备运行的真实情况,并依据确定的热工参数进行必要的计算处理来考核热工设备的工作状态,以科学的综合分析来判定热工设备的结构和热工制度的合理性。

二、测量方法

测量方法很多,按获得测量结果的方式不同,测量的方法可分为三种类型。

1. 直接测量法

被测量直接与选用的测量单位相比较而得出结果的方法,称为直接测量法。这种测量方法的特点是,测出的数值就是被测量本身的价值。如用温度计测量液体的温度等。

2. 间接测量法

通过直接测量与被测量有确定的函数关系的一个或几个量,然后计算出被测量的方法,称为间接测量法。如导体的电阻值与其所受的温度有关,通过直接测量电阻值的大小,便可计算出被测温度。

直接和间接两种测量方法的共同点是:测量参数都和带有相应测量单位的工具进行比较,可见测量仪表实际上就是实现比较的工具。

3. 组合测量法

被测量的几个量在不同条件下可组合成联立方程,通过直接测量几个量后求解联立方程而得出被测量的方法,称为组合测量法。这种方法比较繁杂,通常在实验室和科学研究中采用。

此外,按读数方法不同把测量方法分为:

直读法:直接从仪表的刻度尺上读出测量结果的方法。

零值法:将被测的未知量与已知量相比较,当两者达到平衡时仪表指示为零,此时已知量的数值就是被测量的数值。这种方法也称为补偿法。电位差计就是采用零值法的例子。

差值法:当未知量尚未完全与已知量平衡时,读取它们之间的偏差,由已知量和偏差量得到被测量。不平衡电桥测量电阻就是采用差值法的例子。

在工业生产和热工测量中,因直读法比较迅速、简便,所以得到广泛采用。

第三节 测量误差

由于仪表本身的不准确性,测量方法存在缺陷,以及观测者的主观错误和客观条件不符合原规定等原因,在测量过程中得到的测量结果往往与真实值存在着差异,这个差异称为测量误差。

一、测量误差种类

测量误差按其产生原因不同,可以分为三类。

1. 系统误差(规律误差)

主要是由于仪表未调整好或测量方法不当而引起的。产生这种误差的原因有仪表本身的缺陷,观测者的习惯或偏向,单因素环境条件的变化等。这类误差在测量中容易消除或修正,因为它的数值和符号是有规律的。

2. 疏忽误差

产生这类误差的原因是由于测量者在测量过程中疏忽大意所致。它比较容易被发现,并应将它从测量结果中去掉。在测量工作中应认真,仔细,尽量避免产生这类误差。

3. 偶然误差

就是在同样的测量条件下,反复多次,每次结果均不能重复的误差。这种误差是由偶然的原因引起的,因而它不易被发觉和修正。偶然误差的大小反映了测量的精度。

二、误差表示方法

测量误差通常有两种表示法,即绝对表示法和相对表示法。

1. 绝对误差:即测量值和标准值之间的差值。可表示为

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

式中 Δx ——绝对误差;

x ——测量值;

x_0 ——标准值。

从式(1-1)可知,当绝对误差 Δx 为正值时,表明测量值比标准值(真实值)大,反之测量值比标准值小。

若将测量值加上一个与绝对误差大小相等,而符号相反的代数值 c ,便可求得被测量的标准值,可表示为

$$x_0 = x + c \quad (1-2)$$

式中 c ——修正值, $c = -\Delta x$ 。

例如,用一支标准温度计和一支普通温度计去同时测量某介质的温度,将它们测得的结果,绝对误差和修正值列于表 1-1 中,如在各点上加修正值即可获得被测量的标准值。

绝对误差和修正值表

表 1-1

标准温度计(°C)	0	10	20	30	40	50	60
普通温度计(°C)	-0.5	9	21	29.5	40.8	50.5	59
绝对误差(°C)	-0.5	-1	1	-0.5	0.8	0.5	-1
修正值(°C)	0.5	1	-1	0.5	-0.8	-0.5	1

从表中看出 10℃ 和 60℃ 绝对误差虽然相同,但在 60℃ 点上差 1℃ 要比在 10℃ 点上差 1℃ 难得多。可见只用绝对误差尚不能表征仪表的准确程度,因此需要提出相对误差的概念。

2. 相对误差:测量的绝对误差与标准值之比,并以百分数表示:

$$\delta = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\% = \frac{x - x_0}{x_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

如上例中,在测量 10℃ 时的相对误差为 -10%,而测量 60℃ 时的相对误差为 -1.7%。由此可见绝对误差虽然都是 -1℃,但此两点的测量准确度是不一样的。

此外,评价一台仪表准确与否,单凭绝对误差或相对误差是不够的。因为每台仪表的标尺范围(即测量范围,又称量程)不同,因而纵然有同一绝对误差亦有不同的准确度。为了更好地反映仪表的准确度,实际上常常采用相对百分误差(亦称折合误差)来表示。

相对百分误差:仪表最大的绝对误差与仪表标尺范围的百分比。可表示为:

$$\delta_{\max} = \frac{\Delta x_{\max}}{\text{标尺上限值} - \text{标尺下限值}} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 δ_{\max} —— 相对百分误差(%);

Δx_{\max} —— 仪表最大绝对误差值。

三、仪表的质量指标

衡量仪表品质优劣,通常用下述指标来比较。

1. 精确度

仪表的精确度可以看作是仪表制造加工的精密程度和指示的准确度,常称为精度或准确度。

使用仪表测量生产工艺的某一参数时,往往由一个或多个因素造成测量误差,而仪表本身的精确度是直接影响测量结果的主要因素之一。仪表精确度越高,指示值越接近真实值,测量误差就越小。仪表的精确度也用绝对误差和相对百分误差表示。

例如,有 A、B 两台测温仪表,A 表量程范围 0~600℃,最大绝对误差 $\Delta t_{\max} = 6^\circ\text{C}$,B 表量程范围 0~300℃,最大绝对误差 $\Delta t_{\max} = 6^\circ\text{C}$,则 A、B 两表相对百分误差用式(1-4)得出:

$$\text{A 表 } \delta_{\max} = \frac{6}{600} \times 100\% = 1\%$$

$$\text{B 表 } \delta_{\max} = \frac{6}{300} \times 100\% = 2\%$$

通过上例可知,两表最大绝对误差虽然相同都是 6℃,但因量程范围不同,它们的相对百分误差也不同。量程大的 A 表比量程小的 B 表相对百分误差为小,所以 A 表的精确度高。计算相对百分误差,必须用标尺的最大绝对误差,而不能用任意一个刻度点的绝对误差来计算。

我国就是利用这一办法统一规定仪表的精确度等级。我国常用仪表的精确度等级大致有

I 级标准表(高精度表):0.005、0.01、0.02、0.04、0.05。

II 级标准表:0.1、0.2、0.35、0.5。

工业测量仪表(低精度表):1.0、1.5、2.5、4.0、5.0。

仪表的精确度等级是按国家统一规定的允许误差大小划分的。某一仪表的允许误差是指在规定的正常情况下允许相对百分误差的最大值。例如,某仪表的允许误差为 $\pm 1.0\%$,则

仪表的精确度为 1.0 级;允许误差为 $\pm 2.0\%$,而统一规定的仪表等级中并无 2.0 级,故应向下降级为 2.5 级。

仪表的精确度等级(简称精度级)常以圆圈内的字标明在仪表的面板上。例如,1.0 级,就用“①.0”表示。工业上采用的仪表大多是 0.5~2.5 级。

2. 灵敏度

是指仪表指示装置的直线位移或角位移 $\Delta\alpha$ 与引起此位移的被测参数变化量 ΔA 之比。用下式表示

$$s = \frac{\Delta\alpha}{\Delta A} \quad (1-5)$$

式中 s ——灵敏度;

$\Delta\alpha$ ——指示装置的直线位移或角位移的变化量;

ΔA ——被测参数变化量。

所以灵敏度表达了测量仪表对被测参数的反映程度。在进行测量时一般希望采用灵敏度高的仪表,这是因为灵敏度高、角位移大,对参数的指示比较明确清晰,容易辨认。

复 习 题

1. 什么叫测量? 通常采用哪几种方法进行测量?
2. 什么叫测量误差? 误差的形式有哪几种? 测量误差如何表示?
3. 测量仪表为什么有一定的精度和灵敏度? 两者有何关系与区别?
4. 何谓相对百分误差? 它与仪表精度等级有何关系?
5. 某反应器温度控制指标为 120°C ,要求指示误差不超过 2°C ,现用一个刻度范围为 $0\sim 150^\circ\text{C}$ 、精度等级为 1.5 级的电阻温度计测量,问能否满足要求? 为什么? 应选用什么级别的仪表?
6. 某测温表测量范围 $0\sim 500^\circ\text{C}$,使用后重新校验,发现最大绝对误差为 6°C ,问此表定为什么等级仪表?

第二章 温度测量仪表

温度是水泥生产中既普遍而又十分重要的热工参数。水泥生产中的熟料煨烧就是将水泥生料在高温窑炉中经物理化学反应最终形成水泥熟料的过程。因此在水泥工业生产中离不开对温度的测量与控制。对温度测量与控制是保证水泥生产全过程正常进行的关键。

第一节 温度测量概念

一、温度与温标

温度是衡量物质冷热程度的物理量。人们对周围环境或物体的冷热感觉,以及自然界中的热效应都是用温度这个物理量来描述。物体的冷热由物体内部分子平均动能的大小所决定,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。

温度不同的物体接触时必然发生热交换。即热量从温度高的物体传给温度低的物体,直到两个物体的温度平衡时为止。物体的温度变化时,它的某些物理性质(如几何尺寸、应力、电阻、热电势和辐射强度等)会随着发生变化。利用物体的这种物性便能测量物体的温度。也就是说,将某一物体与被测物体相接触,待它们达到温度平衡后,通过对该物体某种物理性质的测量来判断被测物体温度的高低。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阻温度计;此外尚有应用热辐射原理制成的辐射式温度计等。这些测温仪表在现代工业生产中得到广泛应用。

温标是用来衡量温度的标尺,简称温标。国际上现在用得最为普遍的有三种温标,不同温标对同一定点的温度表示不同的数值。

摄氏温标:也称百分温标,它规定在标准大气压下,冰的融点作零点,水的沸点作为 100 度,中间划分成 100 等分,每一等分称为摄氏 1 度。摄氏温度单位用符号“°C”表示,符号为 t 。

华氏温标:华氏温标规定在标准大气压下,冰的融点为 32 度,水的沸点为 212 度,中间划分为 180 等分,每一等分为华氏 1 度。华氏温度单位用符号“°F”表示,符号也为 t 。

华氏温度单位在我国法定计量单位中已被淘汰。如需引用应按下式换算为法定单位:

$$t(^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9}[t(^{\circ}\text{F}) - 32] \quad (2-1)$$

国际实用温标:即热力学温标,又称绝对温标,是 1968 年 10 月国际权度委员会根据十三次国际权度大会的决议建立的。我国自 1973 年起正式采用。热力学温度是基本温度,并规定温标符号为 T ,温度的单位是开尔文(K),1 开尔文等于水三相点热力学温度的 $1/273.16$ 。摄氏温度 t 与热力学温度 T 之间的关系为:

$$t = T - 273.16 \quad (^{\circ}\text{C}) \quad (2-2)$$

二、测温仪表的分类

温度测量范围甚广,测温仪表种类繁多,一般按以下方法分类。

测温仪表的分类

表 2-1

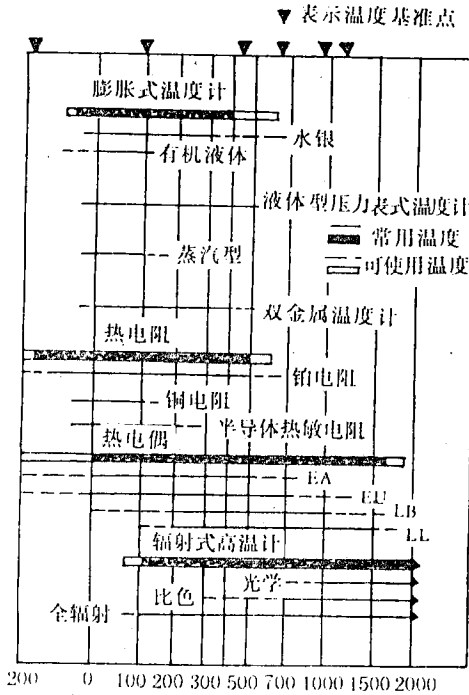
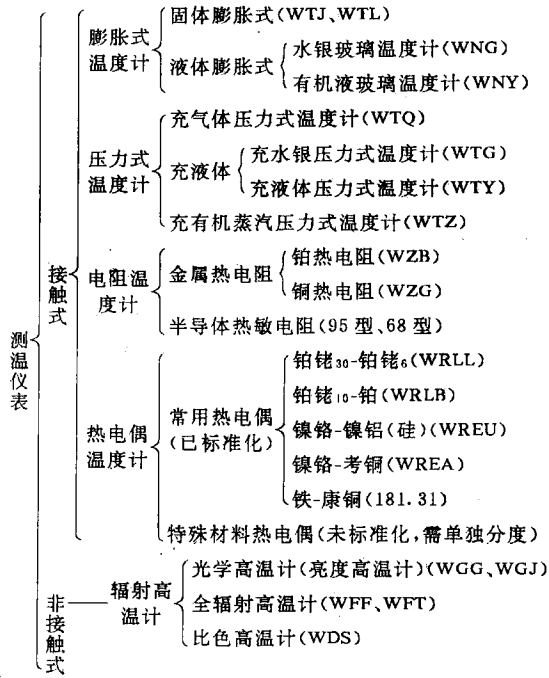


图 2-1 各种工业用温度计的使用范围

1. 按使用的测量范围分

测量 600℃ 以上的测温仪表称为高温计；测量 600℃ 以下的测温仪表称为温度计。

2. 按用途分

有标准温度计、范型温度计和实用温度计三种。

3. 按工作原理分

有膨胀式温度计、压力式温度计、热电阻温度计、热电偶高温计和辐射高温计五类。

4. 按测量方式分

接触式:如膨胀式温度计、压力式温度计、热电阻温度计和热电偶高温计,它们的测温元件都与被测介质直接接触进行测温。

非接触式:如辐射高温计,它的测温元件不必与被测介质直接接触即可进行测温。

测温仪表详细分类如表 2-1 所示。

各种工业用温度计的使用范围大致如图 2-1 所示,由于使用的情况不同,图中数值与实际有一定出入。各种温度计的特点如表 2-2 所示。

各种温度计的特点

表 2-2

型 式	温度计种类	优 点	缺 点
接 触 式 仪 表	玻璃液体温度计	结构简单、使用方便、测量准确、价格低廉	测量上限和精度受玻璃质量的限制,易碎,不能记录与远传
	压力表式温度计	结构简单、不怕震动、具有防爆性、价格低廉	精度低,测温距离较远时,仪表的滞后性较大
	双金属温度计	结构简单、机械强度高、价格低	精度低,量程和使用范围均有限
	热电阻	测温精度高,便于远距离、多点、集中测量和自动控制	不能测量高温,由于体积大,测点温度较困难
	热电偶	测温范围广,精度高,便于远距离、多点、集中测量和自动控制需自由端补偿,在低	温段测量精度较低
非式 接 触 表	辐射式高温计	测温元件不破坏被测物体温度场,测温范围广	只能测高温,低温段测量不准,环境条件会影响测量准确度。对测量值修正后才能获得真实温度

第二节 测温仪表

一、膨胀式温度计

膨胀式温度计是利用液体或固体热胀冷缩的性质制作的测温计,它有液体膨胀式和固体膨胀式两种。

(一)液体膨胀式温度计(玻璃液体温度计)

玻璃液体温度计由装有液体的玻璃泡、毛细管和刻度标尺三部分组成,如图 2-2 所示。

这种温度计应用最为广泛,测温范围 $-200\sim+500^{\circ}\text{C}$ 内。优点是结构简单、使用方便、价格便宜和测温精度高。

制作温度计的玻璃材料要求是在长期使用后零点不变化,玻璃的膨胀率和收缩率一致,而且膨胀系数小。一般采用硬质玻璃, 400°C 以上用高铝硅硼玻璃, 600°C 以上用石英玻璃。目前我国已制成可测 1200°C 高温的水银温度计。

玻璃温度计毛细管里充液体。测温范围为 $0\sim500^{\circ}\text{C}$ 充水银,称为水银温度计。用于低温

测量则充有机液体,如甲苯、酒精、煤油、戊烷或石油醚等。采用酒精做工作液测温下限为 -80°C ,而采用戊烷测温下限可达 -200°C ,一般也称这种温度计为有机液体温度计。

1. 普通玻璃管温度计

玻璃管温度计按其本身形状和结构可分三种基本类型。

棒式温度计:如图 2-2(a)所示,由温包 1 连接一根厚壁的玻璃毛细管 2 而成。温度标尺 3 可直接刻在毛细管外表面上,安全泡 5 的作用是避免在温度过高时,液体顶破温度计。

内标式温度计:如图 2-2(b)所示,是由温包 1 和一根较薄的玻璃毛细管 2 相连。在毛细管后面有一片乳白色玻璃的温度标尺 3,毛细管同标尺板均固装在一根圆形玻璃保护套 4 内,套管一端封闭,另一端熔接在温包上。内标式温度计有较大的热惰性,但在生产和普通实验条件下使用,观测比较方便。

外标式温度计:如图 2-2(c)所示,是由接有温包 1 的毛细管 2 直接固定在刻有温度标尺的板 3 上而成(板可用塑料、木料、金属等做成)。这种温度计的测量液体一般是用染成红色的酒精充入。它基本上只用于测量不超过 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ 的空气温度。

普通玻璃管温度计按测量精度分为三类。

标准温度计:分一等和二等,其分度值为 $0.05\sim 0.1^{\circ}\text{C}$,用于校验其它温度计。

实验室用温度计:分度值为 0.1°C 、 0.2°C ,一般用于实验室。

工业用温度计:分度值为 0.5°C 、 1°C 、 2°C 和 5°C ,适于工业上应用。这种温度计大多为内标水银温度计,它有较长的尾部,其尾部可做成直的或弯成 90° 、 120° 、 135° 等角度。

工业用温度计的插入深度是固定的,用它测温其尾部应全部插入被测介质内。安装于工业设备上的温度计,为保护其安全,通常放在专用的金属保护套管内。为改善套管内壁和温包间的传热,在温包和套管壁间的环形空隙内注入油(当温度计刻度在 200°C 以下时)或石墨粉、铜屑(当温度计刻度在 750°C 以下时)。在套管中注入油或石墨粉、铜屑的高度只要盖住温度计的温包即可,过多会增加仪表的热惰性。

2. 带电接点玻璃管水银温度计

除普通玻璃管温度计外,还有一种带电接点的玻璃水银温度计。它与继电器配合,广泛用于恒温控制、讯号报警等自动装置上。如图 2-3 所示的永磁式可动接点水银温度计。

在电接点玻璃管水银温度计中有两条金属丝。一条铂丝,一头焊在水银包 9 内,另一头烧结在玻璃外壳上,为铂丝引接点 7;另一条是钨丝 12,外面套有螺旋状铂丝 11,铂丝的另一头烧结在玻璃外壳上,为中部的铂丝引接点 7。钨丝的上端固定在椭圆形螺帽 2 上,椭圆形螺帽套在螺丝杆 3 上,装在椭圆形玻璃管 8 内。利用安装在温度计顶上的马蹄形永久磁铁来转动螺丝杆,使椭圆形螺帽上下移动,处于给定的接触点温度。用两条铜丝 4 和铂丝引接

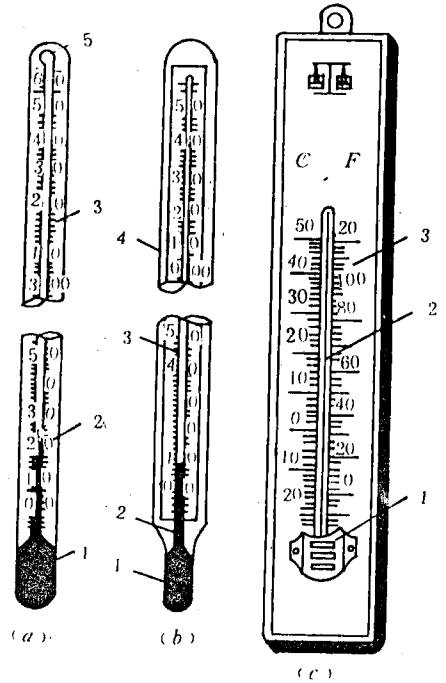


图 2-2 玻璃液体温度计

1—温包;2—毛细管;3—温度标尺;

4—套管;5—安全泡

点7相接,另一端和导线13相连,并通过导线连接到信号器或中间继电器上。当温度上升到给定值时,水银柱10就和钨丝接触,通过水银柱形成闭合回路,使信号器或中间继电器动作。温度计有两个刻度标尺5,其中上标尺用于调节温度的给定值,下标尺用于读数。整个装置装在圆玻璃管6内。

工业用电接点式玻璃温度计,结构为内标式,尾部有直形的或角形的,供选用。

3. 吸附式表面温度计

水泥回转窑是在旋转中完成水泥熟料烧成的。测量窑体表面温度,不仅可以计算窑的表面热损失和热平衡,同时也可作为窑内衬料的隔热作用、各带温度分布以及窑体部件的热应力研究提供参数。但用普通棒式温度计无法测定其表面温度,必须采用专门的表面温度计——吸附式表面温度计来进行测量。

中国建筑材料科学研究院研制成一种专门用于水泥回转窑表面温度测定的吸附式表面温度计,如图2-4所示。

目前这种吸附式表面温度计市场上没有供应,需自己制作。

材料:

强磁钢一块,400℃(或300℃)水银温度计一支,锌(或铅)若干克,内径17mm长为30mm钢管一段,凡士林若干。

制作步骤:

将磁钢车削成外径50mm,内径23mm,高12mm的空心圆柱体。磨平30mm长的钢管一端,在磨平端上方18mm处钻一直径8mm的圆孔。

将锌(或铅)熔融。将凡士林涂一薄层于钢管内部(防止锌与钢管粘住),把钢管放在光滑瓷板上,再将水银温度计水平放入小孔内(注意刻度向上),然后灌入熔融的锌(或铅)。待其冷却后,锯开钢管,取出温度计放入磁钢中,锌与磁钢空隙处用石棉绳压紧(以防锌柱向外散热),便制得吸附式表面温度计。

使用方法:

测定前,先将吸附式表面温度计暴露在空气中的锌柱用石棉绳包好,然后拿平轻轻放上,以免强磁钢靠近筒体时,磁力的作用将磁钢猛吸过去造成冲击损坏玻璃管。待测点处要去掉污垢,可加强传热。锌块周围都用石棉绳包住减少散热,这样可使锌块尽量接近被测物体表面温度,使测出的温度读数较为准确。

吸附式表面温度计的缺点是测量温度时间常数大,锌温度计与窑体温度达到平衡的时间约为20分钟,铅温度计约为30分钟。所以反应不够灵敏,微小的温度变化要在10分钟以后才能反映出来。因此温度计吸附在被测筒体上一般应持续30分钟才能读数。

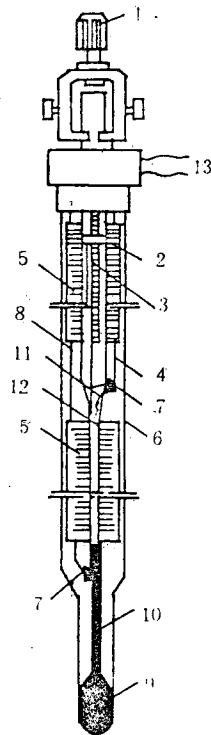


图2-3 电接点玻璃管水银温度计结构原理图

1—调整螺母;2—椭圆形螺帽;3—螺丝杆;4—铜丝;5—刻度标尺;6—圆玻璃管;7—铂丝引接点;8—椭圆形玻璃管;9—水银柱;10—银柱;11—铂丝;12—钨丝;13—导线