

高等学校实验课系列教材

冶金工程实验

YE JIN GONG CHENG SHI YAN

●主 编 伍成波

EXPERIMENTATION



重庆大学出版社



冶金工程实验

主编 伍成波

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书是根据冶金工程专业实验教学的要求编写的。主要介绍冶金工程专业实验过程中涉及的一些基本物理量的测量原理和方法,以及常见仪表的使用要点;各课程涉及的设计性、综合性实验,传输原理、冶金原理、钢铁冶金、自动检测与过程控制,以及岩相矿相等课程经常涉及的一些重要实验。本书从实用观点出发,与目前冶金工程专业的相关实验教材相比,对实验方法、操作步骤、数据整理等进行了详细的介绍,使学生能更好的掌握实验技能。

本书适用于大专院校的冶金工程专业的本科、专科学生的实验教学,也可供冶金工厂的专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

冶金工程实验/伍成波主编. —重庆:重庆大学出版社,2005. 10

(高等学校实验课系列教材)

ISBN 7-5624-3522-7

I. 冶... II. 伍... III. 冶金—实验—高等学校—教材 IV. TF-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 111612 号

冶金工程实验

主 编 伍成波

责任编辑:曾显跃 版式设计:曾显跃

责任校对:邹 忌 责任印制:秦 梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆华林天美彩色报刊印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:15.75 字数:393千

2005年10月第1版 2005年10月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 7-5624-3522-7 定价:22.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究。

前言

教学实验是实践教学的一个重要环节。曾在 2002 年组织编写过《冶金工程实验》讲义,对冶金工程专业的实验教学起到过重要作用。近两年来,冶金学科在 211 工程及学校实验室建设经费的资助下,对实验室的实验条件进行了较大规模的改进。另一方面,冶金工程专业实验教学以前没有综合性和设计性实验,为了适应新形势下实验教学改革的需要,在近年的实验教学改革与建设中,新增加了综合性和设计性实验。因此,这部分的实验内容在原有的《冶金工程实验》讲义中是空白。鉴于此,对《冶金工程实验》讲义进行了重新编写,以满足新形势下冶金实验教学改革的需要。

《冶金工程实验》教材编写是在参考了冶金工程专业的相关实验教材的基础上,将冶金专业课程涉及到的基本实验纳入教材中,因此,本教材内容按课程设置的需要共分 7 章。第 1 章,介绍冶金实验基本量的测量原理和方法以及仪器、仪表的使用要点;第 2 章,介绍冶金专业课程涉及的设计性、综合性实验,目的在于通过一定量的设计性、综合性实验,训练学生如何根据基本理论和应用所学的相关知识来完成实验内容,达到实验要求,以培养学生正确的研究方法和严谨的学风;第 3 章至第 7 章分别介绍传输原理、冶金原理、钢铁冶金、自动检测与过程控制以及岩相矿相等课程经常涉及的一些重要实验。

本教材由伍成波担任主编。伍成波编写第 1 章 1.1 ~ 1.4、第 2 章 2.1、2.4、2.5、2.10、第 3 章、第 5 章 5.1 ~ 5.6、5.12 和附录;董凌燕编写第 2 章 2.2、2.3 和第 4 章;祝明妹编写第 2 章 2.6、2.7、第 5 章 5.7 ~ 5.11;欧阳奇编写第 1 章 1.5、第 2 章 2.8、2.9、第 6 章和第 7 章。

编写过程中得到了陈登福教授、文光华教授以及冶金实验室张明熹工程师、张正荣工程师、孙善长高级工程师等许多老师的大力帮助,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于本教材的内容涉及面广,编者水平有限,肯定会有不少缺点和错误,恳请实验指导教师和广大读者批评指正。

编 者

2005 年 7 月

目 录

第1章 冶金实验基本量的测量技术	1
1.1 温度的测量技术	1
1.2 压力的测量技术	19
1.3 流量的测量技术	26
1.4 冶金实验中气体的使用及成分分析技术	35
1.5 冶金实验数据采集概述	40
第2章 综合性、设计性实验	46
2.1 转炉吹炼工艺水力学模型实验研究	46
2.2 薄板坯连铸用结晶器保护渣的配制及性能研究	53
2.3 氧化锆固体电解质浓差电池的组装及应用	60
2.4 铁矿粉造球和球团矿焙烧	63
2.5 铁矿石烧结及烧结矿物性检测	69
2.6 钢的熔炼与质量检验	76
2.7 连铸二冷用喷嘴的开发	82
2.8 典型工业控制系统的特性测试与过程控制 系统仿真	87
2.9 烧结矿及高炉渣的矿相显微结构研究	99
2.10 耐火浇注料的制作及性能检测	104
第3章 传输原理实验	110
3.1 流体流动过程的能量平衡——柏努利方程验证	110
3.2 平板附面层特性	114
3.3 圆形自由射流特性	120
3.4 流体流过弯管时的特性	126
3.5 流体绕流圆柱体时的特性	130
3.6 空气强制流过圆管时的对流传热系数的测定	134

3.7	换热器热交换系数的测定	138
3.8	空气流过平板时局部对流传热系数的测定	141
第4章	冶金原理实验	145
4.1	燃烧热的测定	145
4.2	二元合金相图的测定	150
4.3	热分析法测定碳酸盐分解反应的热力学数据	152
4.4	氧化物在熔渣中的溶解动力学	154
第5章	冶金工程实验	157
5.1	铁精矿比表面积测定	157
5.2	铁矿石还原性测定	160
5.3	铁矿石低温还原粉化率的测定	165
5.4	铁矿球团相对自由膨胀指数测定	168
5.5	铁矿石荷重软化温度测定	170
5.6	高温炉冷却水温差自动调节实验	173
5.7	钢中非金属夹杂物的电解法测定	176
5.8	连铸结晶器水力学物理模拟	179
5.9	低温模拟凝固实验	181
5.10	钢中气体的仪器分析	184
5.11	铝热法冶炼钛铁合金	187
5.12	焦炭反应性及反应后强度检测	190
第6章	自动检测与过程控制实验	195
6.1	热电偶的制作与校正实验	195
6.2	流量检测与校验实验	199
6.3	温度场的现代检测技术	203
第7章	岩相矿相实验	209
7.1	透明矿物单偏光岩相显微镜鉴定	209
7.2	正交偏光镜间的晶体光学性质	217
7.3	锥光镜下的晶体光学性质	220
7.4	不透明矿物的矿相显微镜鉴定	225
附 录		229
附表 A	铂铑 10—铂热电偶分度表	229
附录 B	铂铑 13—铂热电偶分度表	230
附录 C	铂铑 30—铂铑 6 热电偶分度表	230
附录 D	镍铬—镍硅(镍铝)热电偶分度表	231
附录 E	镍铬—康铜热电偶分度表	231
附录 F	铁—康铜热电偶分度表	232



附录 G	铜—康铜热电偶分度表	232
附录 H	铂热电阻分度表	232
附录 I	干空气的热物理性质	233
附录 J	夹杂物的金相鉴定特征	234
附录 K	硫化物夹杂物的特征	236
附录 L	氮化物夹杂物的特征	237
附录 M	实验报告样本	238
参考文献		241

第 1 章

冶金实验基本量的测量技术

冶金工程实验中涉及的检测参数有许多,如温度、压力、压差、真空度、流速、流量、电流、电压、电阻、化学成分、浓度、黏度、粒度、湿度、水分、密度等,其中温度、压力、流量、成分是冶金实验中最基本的检测量,本章将简要介绍冶金实验中的最基本的一些测量问题——冶金实验基本量的测量原理和方法,以及有关实验仪器仪表的工作原理、选用与使用要点。

1.1 温度的测量技术

在冶金工程实验研究中,没有准确的温度测量是不可想象的。在许多情况下,温度测量的精度决定了整个实验的误差大小。

1.1.1 温度及温标

(1) 温度的基本概念

温度是表示物体冷热程度的物理量。温度的宏观概念是建立在热平衡基础上的。任意两个温度不同的物体,只要有温度差存在,热量就会从高温物体向低温物体传递,直到两物体温度相等,达到热平衡为止。

温度的微观概念表明:物体温度的高低标志着组成物体的大量分子无规则运动的剧烈程度,也是对其分子平均动能大小的一种量度。显然,温度与物体的物理化学特性密切相关。

(2) 温标

温标是温度的数值表示方法。各种温度计的数值都是由温标决定的。为了统一国际间的温度量值,从1927年第七届国际计量大会起,大多数国家采用了ITS-27“国际温标”,它是根据热力学温标制订的。国际温标是以一些纯物质的相平衡点(即定义固定点)为基础建立起来的。曾采用的温标还有ITS-48及IPTS-68国际温标,经修改完善后,目前各国采用的是《1990年国际温标》。

《1990年国际温标》(ITS-90)仍以热力学温度作为基本温度。为了区别以前的温标,用“ T_{90} ”代表新温标的热力学温度,单位为开尔文(符号为K)。与此并用的摄氏温度计为 t_{90} ,单位为摄氏度(符号为 $^{\circ}\text{C}$), T_{90} 与 t_{90} 的关系为:

$$T_{90} = t_{90} + 273.15$$

ITS-90 国际温标具有如下特点:

- ①固定点总数较 1968 年国际实用温标 IPTS-68 增加 4 个,而且其数值几乎被全改,变得更准确;
- ②取消了水沸点、氧沸点等,新增加氦、汞等三相点及镓等的熔点和凝固点;
- ③低温下限延伸至 0.65 K;
- ④原来作为温标标准值的铂铑 10—铂热电偶已被取消,代之为铂电阻温度计。

1.1.2 冶金工程实验中测温计的选择

测温方法可分为接触式(如液体膨胀式温度计、热电偶温度计、热电阻温度计等)与非接触式(如光学高温计、辐射高温计、红外探测器等)两大类。接触式测温法是用测温元件与被测物体的良好接触时,两者处于相同温度,由测温元件得知被测物体的温度,测温元件需要与被测介质直接接触,该方法测温简单、可靠,测量精度高,但由于达到热平衡需要一定时间,因而会产生测温的滞后现象,此外,测温元件往往会破坏被测对象的温度场,并有可能受到被测介质的腐蚀。非接触式测温法是利用物体的热辐射或电磁波性质来测定物体的温度,测温元件不必与被测介质直接接触,测温速度一般比较快,多用于测量高温,但由于受物体电磁波的发射率、热辐射传递空间的距离、烟尘和水蒸气等的影响,因此测温误差较大。

除此,近 20 年来高温测量技术有了新的发展,如红外温度计,它是一种非接触式的测温计,与热电偶相比,寿命长,性能可靠,反应快,适用于移动的物体、腐蚀性的介质及不能接触的场合,与光导纤维和微处理机配套成为现代的热像仪,成为钢铁冶金研究及过程控制的有力工具。

表 1.1 给出了冶金工程实验中常用的测温计的种类、特性及使用场合。

表 1.1 冶金工程实验中常用的测温计、特性及使用场合

原理	种 类	使用温度 范围/℃	准确度 /℃	线 性	响应 速度	记录与 控制	价 格	使用场合
膨 胀	水银温度计	- 50 ~ 650	0.1 ~ 2	可	中	不适合	贱	测冷却水,蒸气温度,示值直观,箱式炉控温用
	有机液体温度计	- 200 ~ 200	1 ~ 4	可	中	不适合		
	双金属温度计	- 50 ~ 500	0.5 ~ 5	可	慢	适合		
压 力	液体压力温度计	- 30 ~ 600	0.5 ~ 5	可	中	适合	贱	测冷却介质,环境温度 5 ~ 60 ℃,相对湿度小于 80%。
	蒸气压力温度计	- 20 ~ 350	0.5 ~ 5	非	中			
电 阻	铂电阻温度计	- 260 ~ 1 000	0.01 ~ 5	良	中	适合	贵	测冷却介质,砖衬温度,作为标准温度计用
	热敏电阻温度计	- 50 ~ 350	0.3 ~ 5	非	快		中	

续表

原理	种 类	使用温度 范围/℃	准确度 /℃	线 性	响应 速度	记录与 控制	价 格	使用场合
热 电 势	铂铑 30—铂铑 6 (B)	0 ~ 1 600	2 ~ 10	可	快	适合	贵	测定冶金熔体及 高于 1 100 ℃ 的物料 温度, 适用于氧化 气氛。
	铂铑 10—铂 (S)	0 ~ 1 400	2 ~ 10	可			贵	测定冶金熔体及 高于 1 100 ℃ 的物料 温度, 适用于氧化 气氛
	镍铬—镍硅(K)	-200 ~ 1 200	2 ~ 10	良			中	适用于氧化气氛, 测炉气、砖衬及物料 温度
	镍铬—康铜(E)	-200 ~ 800	3 ~ 5					热电动势大,灵敏 度高
	铁—康铜(J)	-200 ~ 800	3 ~ 10					适用于真空还原 性、氧化性气氛
	铜—康铜(T)	-200 ~ 350	2 ~ 5					
热 辐 射	光学高温计	700 ~ 3 000	3 ~ 10	非		不适合	中	冶金熔体、高炉风 口测温
	光电高温计	200 ~ 3 000	1 ~ 10		快	适合	贵	
	辐射高温计	100 ~ 3 000	5 ~ 20	非	中			
	比色高温计	180 ~ 3 500	5 ~ 20		快			

选择测温计应考虑的原则是:

- ①合适的使用温度范围和准确度, 合适的使用气氛, 符合耐蚀、抗热震性的要求;
- ②响应速度、误差、互换性及可靠性能否符合要求;
- ③读数、记录、控制、报警等性能是否能达到要求;
- ④价格要低, 寿命要长, 维护使用方便。

本节仅介绍冶金工程实验中常用的几种测温计。

1.1.3 液体玻璃温度计

(1) 液体玻璃温度计的工作原理

液体玻璃温度计是基于液体容积随温度升高而膨胀的原理制成的。最常见的有水银玻璃温度计、有机液体玻璃温度计等。这种温度计的优点是直观、测量准确、结构简单、造价低廉、使用简便, 故广泛应用于工业的各个领域和实验室, 但这种温度计有易碎、热惰性大、不能远传和自动记录, 只能在测点处就地读数等缺点。

普通水银玻璃温度计的测量范围在 $-30 \sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。如果在水银面上的空间充以一定压力的氮气, 玻璃材质用硅硼玻璃或石英玻璃, 测温范围可达 $500 \sim 750\text{ }^{\circ}\text{C}$, 甚至高达 $1\,200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。有机液玻璃温度计主要用于低温测量。常用的酒精玻璃温度计的测量范围为 $-100 \sim 75\text{ }^{\circ}\text{C}$, 以戊烷为工作液体时测量范围为 $-200 \sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 液体玻璃温度计的分类

玻璃温度计按其用途可分为标准温度计、实验室温度计、工业用温度计和特殊用途温度计等四类。

标准水银温度计按等级可分为一等和二等两种,其最小分度值分别为 $1/20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $1/10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。通常一等标准水银温度计用于检定和校验实验室用温度计,也可用作实验室精密测量。这种温度计共有 $-30\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $50\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $100\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $150\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $200\sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及 $250\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等七支组成一套,成套供应。其中,除前两支外,其余各支都必须有中间膨胀包和定位标记。

实验室用温度计的最小分度一般为 $1/10\text{ }^{\circ}\text{C}$,测温范围为 $-30\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。与标准水银温度计相似,也分为若干支,它适合于科研单位使用。

实验室中常用到的特殊用途的玻璃温度计有电接点温度计和贝克曼温度计两种。

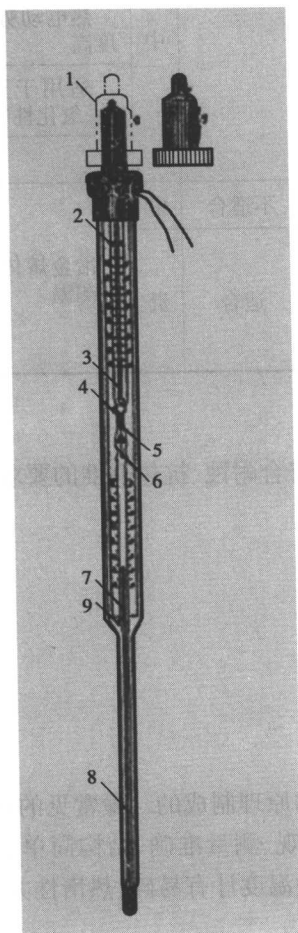


图 1.1 电接点温度计

- 1—磁钢;2—指示铁;3—螺旋杆;
4—钨丝引出线;5—螺旋形铂丝;6—钨丝;
7—水银;8—金属丝;9—钨丝引出线

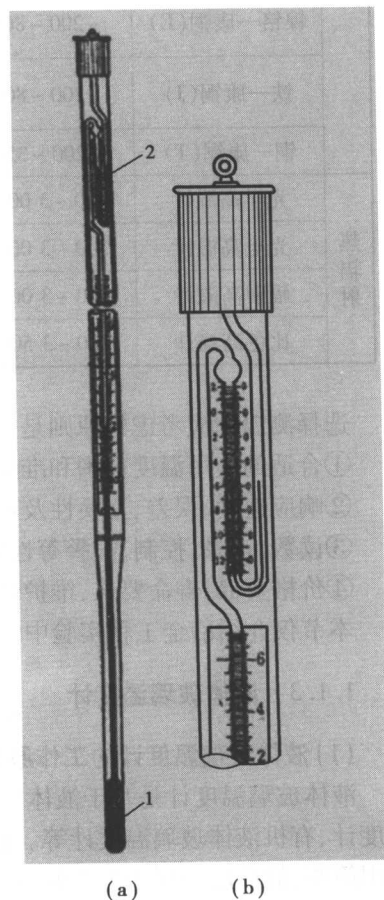


图 1.2 贝克曼温度计

- 1—主水银包;2—U 型水银包

电接点温度计如图 1.1 所示。它内部有两条金属丝：一条为铂丝，另一条为钨丝（带有螺旋状的铂丝引线）。用温度计顶端的磁钢旋动温度计内的螺杆，以调整电接点的给定值。当温度升到给定值时，两金属丝借助水银柱形成闭合回路，并通过两引线使受控继电器等动作，从而达到自动控制的目的。实验室中经常使用的恒温器就是用这种电接点温度计来控温的。

贝克曼温度计如图 1.2 所示。图(a)为温度计全貌，图(b)为温度计上端的放大。它多用于燃料发热量的测定。这是一种测量精度很高的水银玻璃温度计，能测量微小的温度变化。标尺的整个量程范围只有 $5 \sim 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或更小，分度值为 $0.002 \sim 0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这种温度计的毛细管下端有一主水银包，上端有一备用 U 型水银包，主水银包中的水银储存量可根据待测温度之不同与备用水银包进行相互转注，所测温度愈高，从主水银包中转注到备用水银包中的水银量应愈多（即主水银包中的水银储量应愈少）。因此，它具有用一支温度计即可精确测量 $-30 \sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内某一区间的微小温度变化的优点，但它不能测出温度的绝对值，仅可得到相对温差值。

(3) 液体玻璃温度计的选择与安装

对于液体玻璃温度计的量程范围和最小分度值，应根据被测介质的温度范围和所要求的测量精度来选取。然后，在有关管道或设备上选择有代表性的位置来安装温度计。

视被测介质的温度、压力等情况，温度计有带保护套和不带保护套的两种安装方法，但无论哪种都必须特别注意温度计的安插方式。

安装方式主要考虑的因素有：

①力求减少温度计和保护套的对外散热。为此，温度计插入介质中要有足够的深度，装保护套的管段应该保温，套管不宜露出保温层。

②为了改善被测介质对温度计的传热，最好是迎介质流向而插入，并使温包位于管中心处。

1.1.4 热电偶温度计

(1) 热电偶温度计的工作原理

热电偶温度计是以热电偶作为测温元件，以测得与温度相对应的热电动势，再通过仪表显示温度。热电偶温度计是由热电偶、测量仪表及补偿导线构成的。常用于测量 $300 \sim 1800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内的温度，在特殊情况下，可测至 $2800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温或 4 K 的低温。用热电偶温度计测温具有结构简单、准确度高、使用方便，以及适于远距离测量与自动控制等优点。因此，热电偶是实验室的主要测温工具。

热电偶是热电高温计中的敏感元件。它的工作原理是基于 1821 年塞贝克发现的热电现象。在一个由两种不同金属导体（或非金属）A 和 B 组成的闭合回路中，当此同路的两个接点保持在不同的温度 t_1 和 t_0 时（图 1.3），只要能保持两接点有温度差，回路中就会产生电流，即回路中存在一电动势，这就是著名的“塞贝克温差电动势”，简称“热电势”，记为 E_{AB} 。热电偶就是利用这个原理测量温度的。

导体 A、B 称为热电偶的热电极。接点 1 通常是用焊按法连接在一起的。工作时将它置于被测温的场所，故称为工作端（测量端或热端）。接点 2 要求恒定在某一温度下，称为参考端（自由端或冷端）。实验证明：当热电极材料选定后，热电偶的热电势仅与两个接点的温度有关，即

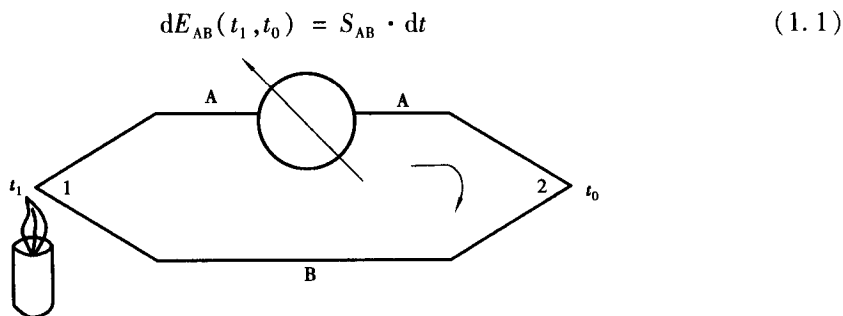


图 1.3 塞贝克效应示意图

比例系数 S_{AB} 称为塞贝克系数或热电动势率, 它是一支热电偶最重要的特征量, 其大小与符号取决于热电偶的相对特性。当两接点的温度分别为 t_1 、 t_0 时, 则回路的热电势为:

$$E_{AB}(t_1, t_0) = \int_{t_0}^{t_1} S_{AB} dt = e_{AB}(t_1) - e_{AB}(t_0) \quad (1.2)$$

式中, $e_{AB}(t_1)$ 、 $e_{AB}(t_0)$ 为接点的分热电动势。

角标 A、B 均按正电极在前和负电极在后的顺序书写。当 $t_1 > t_0$ 时, $e_{AB}(t_1)$ 与总热电势的方向一致, 而 $e_{AB}(t_0)$ 与总热电势方向相反。热电偶总的热电势即为两个接点分热电势之差, 它仅与热电偶的电极材料和两接点温度有关, 对于已选定的热电偶, 当自由端温度恒定时, 则 $e_{AB}(t_0)$ 为常数, 则总的热电势就变成工作温度 t_1 的单值函数, 即

$$E_{AB}(t_1, t_0) = e_{AB}(t_1) - C = f(t_1) \quad (1.3)$$

上式说明, 当 t_0 恒定不变时, 热电偶所产生的热电势只随工作端温度的变化而改变, 即一定的热电势对应着一定的温度。所以, 用测量热电势的办法, 可以达到测温的目的。

(2) 热电偶的类型

在常用热电偶中又分为标准化与非标准化热电偶。

1) 标准化热电偶

这类热电偶是指生产工艺成熟、能成批生产、性能优良并已列入国家标准的热电偶。这类热电偶发展早, 性能稳定, 应用广泛, 具有统一的分度表, 可以互换, 并有与其配套的显示仪表可供使用。当前, 国际电工委员会 (IEC) 向世界推荐的标准化热电偶共 8 种。

① 铂铑 10—铂热电偶 (S 型热电偶)

该种热电偶的正极为含铑 10% 的铂铑合金, 负极为纯铂。它的特点是热电性能稳定, 抗氧化性强, 宜在氧化性、中性气氛中使用。在实验室和工厂中, 多采用这种热电偶作为标准热电偶和工业用热电偶。它的长期使用温度为 1400°C (我国规定 1300°C), 短时间使用温度为 1600°C 。这种热电偶的不足之处是价格昂贵, 所以电极丝的直径往往被拉得很小, 通常为 $0.35 \sim 0.5 \text{ mm}$, 这样, 它的机械强度较低。与其他热电偶相比, 该种热电偶的热电势比较小, 热电势平均为 $9 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, 故需配有灵敏度高的显示仪表。这种热电偶不适于在还原性气氛或含有金属蒸气的场合下使用, 在真空下只能短期使用, 对测量环境要求严格。

② 铂铑 13—铂热电偶 (R 型热电偶)

该种热电偶的正极为含铑 13% 的铂铑合金, 负极为纯铂。同 S 型热电偶相比, 它的热电势率高 15% 左右, 其他性能几乎完全相同。

③ 铂铑 30—铂铑 6 热电偶 (B 型热电偶)

B型热电偶的正极为含铑30%的铂铑合金,负极为含铑6%的铂铑合金,因两极均为铂铑合金,故简称双铂铑热电偶。该种热电偶的特点是:在室温下热电势极小(25℃时,为 $-2\mu\text{V}$; 50℃时,为 $3\mu\text{V}$),故在测量时一般不用补偿导线,也可不进行自由端的温度修正。它的长期使用温度为1600℃,短时间使用温度为1800℃。双铂铑热电偶的热电动势率很小,需配用灵敏度高的显示仪表。

④镍铬—镍硅(镍铝)热电偶(K型热电偶)

该种热电偶的正极为含铬10%的镍铬合金,负极为含硅0.3%的镍硅合金。该负极亲磁,故用磁铁可以方便地鉴别出热电偶的正负极。它的特点是:使用温度范围宽,高温下性能稳定,热电动势与温度的关系近似线性,价格便宜。因此,它是目前用量最大的一种热电偶,它适宜在氧化性及中性气氛中使用。长期使用温度为1000℃,短时间使用温度为1200℃。我国已基本上用镍铬—镍硅热电偶取代了镍铬—镍铝热电偶,国外仍然使用镍铬—镍铝热电偶。两种热电偶的化学成分虽然不同,但其热电特性相同,使用同一分度表。

K型热电偶不适宜在真空、含硫气氛及氧化与还原交替的气氛下裸丝使用。在含硫气氛中使用,不仅热电动势要降低,而且很容易变脆。当氧分压较低时,镍铬极中的铬将优先氧化,使热电动势发生很大变化,但金属蒸气对其无影响,因此,K型热电偶多采用金属或合金保护管。

⑤镍铬硅—镍硅镁热电偶(N型热电偶)

N型热电偶是20世纪70年代研制出来的一种新型镍基合金测温材料。它的正极为含铬与硅的镍铬硅合金,负极为含硅的镍基合金。作为目前应用最为广泛的K型热电偶的取代产品,正在引起人们的高度重视。它的主要特点是:在1300℃以下,高温抗氧化能力强,热电动势的长期稳定性及短期热循环的复现性好,耐核辐照性能强。因此,在 $-200\sim 1300\text{℃}$ 范围内,有全面取代贱金属热电偶,并部分取代S型热电偶的趋势。将给热电偶测温及测温仪表的生产、管理与使用带来更多的方便和明显的经济效益。

⑥铜—康铜热电偶(T型热电偶)

该种热电偶的正极为纯铜,负极为铜镍合金(康铜)。它也是贱金属热电偶,测温范围为 $-200\sim 350\text{℃}$ 。其特点是:在低温下,测温精确度高,灵敏度高,稳定性好,价格低。因铜易氧化,故在氧化性气氛中使用,一般不超过300℃。

⑦镍铬—康铜热电偶(E型热电偶)

该种热电偶的正极为镍铬合金,负极为铜镍合金。在常用热电偶中,它的热电动势率最大,即灵敏度最高(在700℃时为 $80\mu\text{V}/\text{℃}$),比K型热电偶高一倍,长期使用测温上限为600℃左右,它适用于中性和还原性介质,抗氧化及硫化的能力差。

⑧铁—康铜热电偶(J型热电偶)

该种热电偶的正极为纯铁,负极为铜镍合金。它的特点是价格便宜,既可用于氧化性气氛(使用温度为750℃),也可用于还原性气氛(使用温度上限为950℃)。J型热电偶耐CO、H₂腐蚀,在含铁或含碳条件下使用也很稳定,多用于化工厂。

2) 非标准化热电偶

标准化热电偶因其良好的技术特性而得到广泛应用,但它们的测温上下限受热电极材料的限制,而且所有的标准化热电偶的使用介质气氛也都有限制。非标准化热电偶就是为适应更高或更低的温度以及特殊的介质气氛而出现的,可以说是标准化热电偶的补充。这些热电

偶虽然没有统一的国家标准和统一的分度号,但每一种往往都适用于某一特殊测量条件与气氛。根据材料的差异,非标准化热电偶有金属与非金属两大类。

这类热电偶中应用较广的是铂铑系及钨铼系两种,其中钨铼系热电偶是较成功的难熔金属热电偶,测温上限可达到 $2\,500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。国产的钨铼式热电偶有钨铼 5—钨铼 20 及钨铼 3—钨铼 25 两种。它们适用于惰性气氛、高纯氢气和真空中,不能用于氧化性和碳氢化合物介质。铂铑系的两个电极均为铂与铑的合金材料,只是二者的含量不同,这类热电偶在 $1\,100\sim 1\,600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下测量温度时,热电性质稳定。温度更高时主要因铑的蒸发会使其热电性质改变。

(3) 热电偶的制作与校验

1) 热电偶的制作

热电偶制作质量的优劣,直接影响到温度测量的准确性。通常,优质的热电偶工作端结点应当满足:①热电偶结点头部呈小球形,球的直径略大于两倍热电偶丝的直径;②头部光亮,无氧化黑斑,金相结构致密,无砂孔;③热电偶头部应有足够的机械强度;④热电偶丝不发生扭曲、打结,否则,不但会引进寄生电势,而且会影响使用寿命。两线之间除头部接点以外应相互绝缘。

在实验室,热电偶结点的焊接方法有下列三种:

①熔焊(电弧焊)

将两根待焊接的热电偶丝的端部清洁后并在一起,在硼砂溶液中浸一下,接到直流电源(也可用交流电,但效果较差)正极,电源负极接一根炭棒(干电池芯子)。选用适当的电压(与热电偶丝的材料和粗细有关),用绝缘工具将热电偶丝和正极引线夹住,在炭棒上点焊,瞬间产生的电弧可使两根热电偶丝形成光亮的球形结点,利用惰性气体保护焊接,则效果更好。

②电容冲击焊

利用一定容量的电解电容,在适当的电压下(几十伏),使电容放电,可以成功地焊接热电偶,尤其是它可以很方便地将热电偶直接焊在设备的金属壁面上或深孔壁上。由于装置简单,操作方便,所以使用得很广泛。

焊接时,电偶丝的预处理与熔焊相同,将热电偶丝并在一起接在正极上,因为正极的发热量较大,所以将金属箔(铝箔或锡箔)接在负极上。当热电偶丝与金属箔相碰时,由于电容放电,两极之间形成电弧而将热电偶丝熔接成结点。由于金属箔在电弧作用下迅速熔化,形成小孔而自动切断电弧。也可以用炭棒作负极。对于不同种类的热电偶以及不同直径的热电偶丝,电解电容以及充电电压都需要进行调整,否则无法得到质量好的热电偶接点。

③锡焊

用锡焊的方法也可以形成热电偶结点。可以利用普通的电烙铁,但是,为了保证测温时锡焊部分温度均匀,焊点应尽可能小。此外,只能用松香等中性助焊剂,以免引起腐蚀或引进寄生电势。

2) 热电偶的校验

热电偶在测温过程中,由于测量端受到氧化、腐蚀、污染等影响,使用一段时间后,它的热电特性会发生变化,增大了测温误差,为了保证测量准确,热电偶不仅在使用前要进行校验,而且在使用一段时间后也要进行周期性校验。

影响热电偶校验周期的因素有:①对于热电偶使用的环境条件,环境条件恶劣的,校验周期明显短些;环境条件较好,校验周期可长些;②对于热电偶使用的频繁程度,连续使用的,校

验周期要短些,反之,可长些;③对于热电偶本身的性能,稳定性好的,校验周期长;稳定性差的,校验周期短。

热电偶的校验项目主要有外观检查和允许误差校验两项。外观质量通过目测进行观察,短路、断路可使用万用表检查。

允许误差校验一般采用比较法,即将被校热电偶与比它精确度高一等级的标准热电偶同置于检定用的恒温装置中,根据被校热电偶测温范围,将恒温装置温度分高、中、低三级,对热电偶的热电势值逐级进行比较。这种方法的校验准确度取决于标准热电偶的准确度等级、电测仪器仪表的误差、恒温装置的温度场均匀性和稳定程度。比较法的优点是,设备简单,操作方便,一次能检验多支热电偶,工作效率高。比较法又分为双极法、同名极法和微差法。

①双极法

双极法是将被校验的热电偶和标准热电偶的工作端捆扎后,置于检定炉内温度均匀的温域。冷端分别插入0℃的恒温器中,在各检定点比较标准与被检热电偶的热电势值,(线路示意如图1.4所示)。

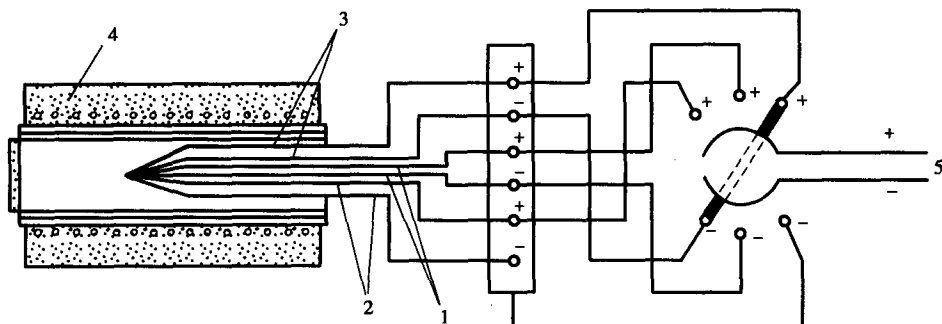


图 1.4 双极法校验线路示意图

1、2—被校验热电偶;3—标准热电偶;4—检定炉;5—接电位差计

当被校验热电偶与标准热电偶型号相同时,将被校验的热电偶与标准热电偶的热电势相减,即为偏差。

$$\Delta e = E_{\text{被}} - E_{\text{标}} \quad (1.4)$$

式中: Δe ——热电势值偏差;

$E_{\text{被}}$ ——被校验热电偶在某分度点上热电势读数的算术平均值;

$E_{\text{标}}$ ——标准热电偶在同一分度点上热电势读数的算术平均值。

双极法的优点是:标准与被检热电偶可以是不同型号的热电偶,操作简便。缺点是:检定炉炉温控制要求严格,否则,由于炉温波动将引起较大的测量误差,在通常情况下,测量时间较长,难以自动化检定。

②同名极法

同名极法是将同种型号的标准与被检热电偶的测量端捆扎在一起,置于检定炉内温度均匀的温域,自由端分别插入0℃的冰水内,在各分度点分别测出标准热电偶正极与被检热电偶正极、标准与被检热电偶负极之间的微差热电动势,然后用下式计算偏差。

$$\Delta e = e_{\text{PR}} - e_{\text{P}} \quad (1.5)$$

式中: Δe ——热电动势值的偏差;

e_{PR} ——被检与标准热电偶的正极在某分度点上的微差热电势;

e_P ——被检与标准热电偶的负极在同一分度点的微差热电势。

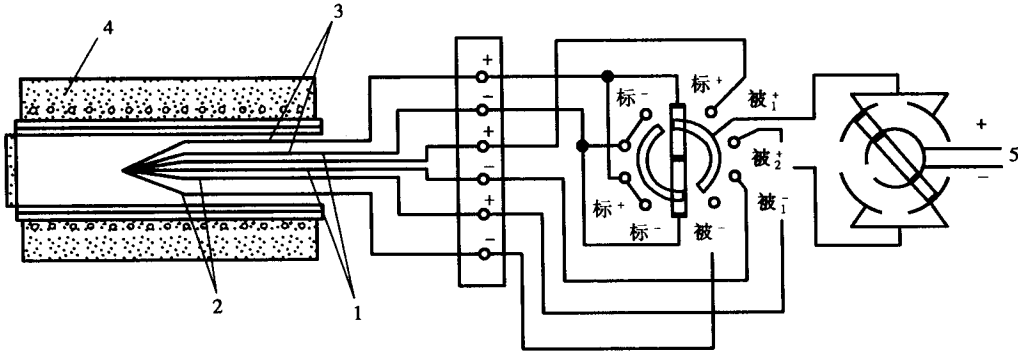


图 1.5 同名极法校验线路示意图

1、2—被校验热电偶;3—标准热电偶;4—检定炉;5—接电位差计

同名极法又称“单极法”,其测量线路示意图如图 1.5 所示。同名极法的优点是:测量精度高,校验允许检定炉温度在检定点附近有 $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的波动,也不影响校验的准确性,标准与被检热电偶自由端只要恒定在相同温度下(不一定为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$),就可不必修正。它的缺点是:标准与被检热电偶必须是相同型号的热电偶,消耗铂丝捆头,接线较双极法复杂,读数比微差法多一倍。

③微差法

微差法是将同型号的被检与标准热电偶反向串联,直接测量两支热电偶的热电势差值,测量线路示意图如图 1.6 所示。

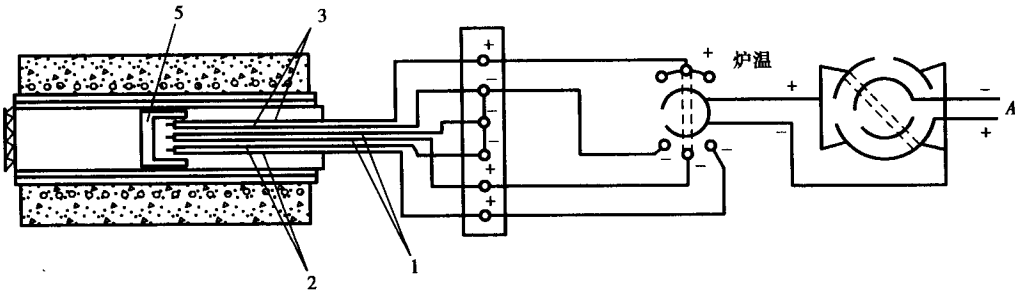


图 1.6 微差法校验线路示意图

1、2—被校验热电偶;3—标准热电偶;4—接直流电位差计;5—合金块

微差法校验的优点是:接线简单,连接导线的组数较同名极法少一半;读数也减少一半,计算方便;可以自动化校验,校验时允许炉温在 $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 内波动,而不影响校验的准确性,热电偶自由端只要都恒定在同一温度下,就不必修正。它的缺点是:标准与被检热电偶必须是相同型号的热电偶,各支热电偶的测量端既不能相互接触,又必须处于相同的温场内,因而对检定炉的径向温度均匀性要求严格,为此,常在炉内装入耐热合金块,使其温度分布均匀。