

燃气测试技术手册

金志刚 主编

天津大学出版社

内 容 提 要

本书是一部集测试原理、仪表性能、试验方法、检测标准于一体的综合性技术工具书。全书共十五章,基本内容有:热工测量方法;燃气基本性质分析;试验气的配气原理与配气系统;燃气灶、热水器、工业窑炉、调压器及钢瓶等燃气设备的检测方法;产品抽样检查程序;误差分析、试验数据处理及室间试验重复性与再现性的确定等。在新技术方面,介绍了红外线测温、激光测速、燃料电池型气体传感器以及计算机在燃气测试工作中的应用等内容。此外还收录了24项有关燃气的标准。

本书可供从事城市及企业各种燃气设备的设计、检测及管理等方面的科技人员以及大专院校有关专业师生参考。

(津)新登字 012 号

燃 气 测 试 技 术 手 册

金志刚 主编

*

天津大学出版社出版

(天津大学内)

河北省永清县第一胶印印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:41.125 字数:102.6 千字 插页 8

1994 年 7 月第一版 1994 年 7 月第一次印刷

印数:1—5000

ISBN 7-5618-0555-8

TE·3

定价:48.00 元

前 言

燃气工程是现代化城市不可缺少的重要基础设施,对提高人民生活水平、改善劳动条件、节约城市能源、提高产品质量、美化城市环境、降低大气污染都具有显著的效益。

燃气测试技术是一门涉及多种学科的综合应用技术,是实现燃气事业现代化的重要技术基础。只有依靠先进可靠的测试技术才能控制各种设备的运行参数,掌握耗气指标,鉴定燃气设备的性能指标,从而达到节约能源、降低污染、提高质量、造福人民的目的。

早在1981年本人就编著了43万字的专著《燃气燃烧与输配测试技术》,受到同行的欢迎与鼓励。10多年来,燃气事业有了很大的发展,颁布了几十种有关燃气的国家标准及行业标准,并对测试技术提出越来越高的要求。此外,随着科技的进步,又涌现出不少先进的测试方法与设备。为此就需要有一部既能比较全面反映国内外先进测试技术,又集测试原理、仪表性能、试验方法、试验数据分析处理、产品抽检程序于一体的燃气测试手册供从事燃气技术工作人员参考。

本书共有十五章,基本内容有温度、压力、流量等热工测量方法;燃气热值、密度、燃烧速度及成分分析等燃气基本性质分析;燃气灶、热水器、工业窑炉、调压器及钢瓶等燃气燃烧与输配设备的检测方法;试验数据处理及室内试验重复性与再现性的确定。为了满足生产实际提出的试验气的配气要求,本书阐述了燃气分类原理、配气计算及配气系统。为了配合要求越来越高的质量意识,手册着重介绍抽样检查的基本原理及产品逐批及周期检查计数抽样程序。在新技术方面,书中介绍了近期发展起来的红外线测温、激光测速、燃料电池型的各种气体传感器和计算机在燃气测试工作中的应用等内容。截止到1994年初,我国已颁布数十种有关燃气的国家和行业标准。根据需要已把24项标准及标准报批稿收集到各章的附录中,供读者查阅。当然,技术在进步,各种标准也会不断地修订与改进,在工作中应以新颁布的标准为准。

参加本书编著的主要人员有:田贯三(第12、13及14章)、张维华、俞永娟(第5、10、12、15章)、顾朝辉、周杰、刘彤(第8、15章)。此外,王启、高勇、邹树人、刘书贞、江孝堤、李冰、张维华、俞永娟、金石坚、姜庆文、吕鸣祥、舒玮、赵秋雯、安大伟、李文田、杜膺等同志提供了宝贵的原始资料,校正了标准中的文字与图表,支持编写手册的各项工作。本书还得到天津大学燃气实验室、国家燃气用具监督检测中心、中国市政华北设计院、煤气设计研究所、城镇燃气标准技术归口单位、山东建工学院等单位的大力支持,同时还吸取了燃气方面国家标准及行业标准各编写组的宝贵经验,在此一并表示感谢。

由于编者水平所限,书中错误与不妥之处恳请读者批评指正。

金 志 刚

1994.3.8 于天津大学

目 录

第一章	温度测量	(1)
第一节	概述.....	(1)
第二节	一般温度测量.....	(4)
第三节	高温测量	(45)
第四节	红外线温度场测量	(54)
第五节	温度校正及温度变送器	(58)
第二章	湿度测量	(62)
第一节	概述	(62)
第二节	空气湿度测量	(65)
第三节	燃气与烟气湿度测量	(73)
第四节	湿度校正与湿度变送器	(80)
第三章	压力与流速测量	(82)
第一节	概述	(82)
第二节	压力测量	(84)
第三节	一般流速测量	(91)
第四节	空间流速及脉动流速测量	(95)
第五节	压力校验及压力传感器.....	(106)
第四章	流量测量	(112)
第一节	概述.....	(112)
第二节	气体流量测量.....	(113)
第三节	流量校正及流量变送器.....	(132)
附录 4-1	GB6968-86《家用煤气表》	(138)
第五章	燃气成分分析	(160)
第一节	概述.....	(160)
第二节	燃气成分气相色谱分析.....	(162)
第三节	燃气成分化学分析.....	(176)
第四节	燃气特殊成分分析.....	(177)
附录 5-1	GB10410. 1-89 《人工煤气组分气相色谱分析法》.....	(182)
附录 5-2	GB10410. 2-89 《天然气常量组分气相色谱分析法》.....	(186)
附录 5-3	GB10410. 3-89 《液化石油气组分气相色谱分析法》.....	(192)
附录 5-4	GB12205-90 《人工燃气主组分的化学分析方法》.....	(199)

附录 5-5	GB12211-90	《城市燃气中硫化氢含量测定》	(204)
附录 5-6	GB12210-90	《城市燃气中氨含量测定》	(210)
附录 5-7-1	GB12209.1-90	《城市燃气中苯含量测定苦味酸法》	(214)
附录 5-7-2	GB12209.2-90	《城市燃气中苯含量测定气相色谱法》	(219)
附录 5-8	GB12208-90	《城市燃气中焦油和灰生含量的测定方法》	(224)
第六章	相对密度与热值测量		(226)
第一节	概述		(226)
第二节	相对密度的测量		(228)
第三节	热值的间歇测量		(235)
第四节	热值及华白数的连续测量		(241)
附录 6-1	GB12207-90	《城市燃气相对密度测定方法》	(248)
附录 6-2	GB12206-90	《城市燃气热值测定方法》	(250)
第七章	火焰传播速度测量		(254)
第一节	概述		(254)
第二节	面积测量法		(254)
第三节	颗粒示踪法		(260)
第四节	激光测速法		(265)
第五节	其它测量方法		(270)
第八章	城市燃气分类及配气		(273)
第一节	概述		(273)
第二节	城市燃气分类		(279)
第三节	配气计算方法及系统		(285)
附录 8-1	GB/T 13611-92	《城市燃气分类》	(298)
第九章	烟气分析		(302)
第一节	概述		(302)
第二节	烟气成分单项分析		(303)
第三节	烟气快速分析		(323)
第四节	烟气成分综合分析		(326)
第五节	烟气连续自动分析		(333)
第十章	民用燃气用具检测		(337)
第一节	概述		(337)
第二节	燃具燃烧工况试验		(340)
第三节	燃具热工性能试验		(347)
第四节	燃具安全性能试验		(351)

第五节	燃具耐用性试验	(356)
第六节	电器部件试验方法	(359)
附录 10-1-1	《家庭用燃气用具的通用试验方法》(国家标准报批稿)	(364)
附录 10-2-1	GB6932-86 《家用燃气快速热水器》	(374)
附录 10-2-2	GB12202-90 《燃气沸水器》	(393)
附录 10-2-3	《常压容积式燃气热水器》(国家标准报批稿)	(408)
附录 10-2-4	GB7824-87 《中餐燃气炒菜灶》	(422)
附录 10-2-5	《家用燃气灶具》(国家标准报批稿)	(432)
第十一章	采暖、工业窑炉及燃烧器测试	(451)
第一节	概述	(451)
第二节	采暖器的测试	(452)
第三节	锅炉的测试	(458)
第四节	工业窑炉的测试	(471)
第五节	引射型大气式燃烧器的测试	(474)
第十二章	输配设备的测试	(483)
第一节	概述	(483)
第二节	调压器的测试	(486)
第三节	管道及钢瓶的测试	(491)
第四节	液位及罐高的测试	(496)
第五节	燃气泄漏报警器的测试	(500)
附录 12-1	ZBP45 001-90 《家用液化石油气调压器》	(507)
附录 12-2	GB5842-86 《液化石油气钢瓶》	(513)
附录 12-3	GB7512-87 《液化石油气瓶阀》	(525)
附录 12-4	《家庭用燃气泄漏报警器》(城镇建设行业标准报批稿)	(529)
第十三章	微型计算机的数据采集	(535)
第一节	概述	(535)
第二节	数据采集系统构成	(535)
第三节	A/D、D/A 转换	(537)
第四节	数据采集系统	(543)
第五节	燃气输配系统的数据采集	(546)
第十四章	误差分析、数据处理及试验方法精密度	(552)
第一节	概述	(552)
第二节	直接测量误差分析与间接测量误差传递	(557)
第三节	试验数据取舍与方差分析	(564)
第四节	有效数字、回归曲线及相关系数	(570)

第五节 试验方法的精度——室间试验重复性与再现性的确定.....	(580)
附录 14-1 GB4471-84 《化工产品试验方法精密度——室间试验重复性与再现性的确定》.....	(592)
第十五章 质量监督检验方法与检测站.....	(612)
第一节 概述.....	(612)
第二节 产品质量监督检验方法.....	(612)
第三节 检测站基本条件.....	(643)
第四节 检测工作管理与安全.....	(644)
主要参考文献.....	(649)

第一章 温度测量

在燃气的燃烧与输配中,测量温度是非常重要的。例如当液化石油气贮罐的温度高于设计值时,就可能破坏贮罐,造成事故;燃气燃烧设备的烟气温度过高时,会降低效率而浪费燃气;如果测不准燃气温度也就无法确定燃气的真实流量。因此必须重视并掌握温度测量技术。

第一节 概述

一、温度与温标

温度是物体热力状态的参数之一。它表示物体的冷热程度,也可以说是表示受热程度。物体受热程度是由分子热运动过程中所呈现的内部动能决定的。构成物体的分子时刻都处于运动状态。分子运动越快,温度越高;运动越慢,温度越低。

温标是衡量物体温度的标尺,温标规定了温度的起始点和测量温度的基本单位。各种测温仪表直读温度的刻度都是通过温标来确定的。由于选用测温的物质以及定义的固定点不同,就产生出各种不同的温标。

(一)摄式温标($^{\circ}\text{C}$)

这是一种比较通用的温标。它认定汞的体积膨胀与温度变化呈线性关系。分度方法是,规定在标准大气压下纯水的冰点为摄氏零度,沸点是 100 度,把汞柱在这两点之间的变化的液柱长度分为 100 等分,每一等分为 1 度,用符号 $^{\circ}\text{C}$ 表示。

(二)华式温标($^{\circ}\text{F}$)

同样认定汞的体积膨胀与温度变化呈线性关系。但是,规定在标准大气压下纯水的冰点为华氏 32 度,沸点为 212 度,把这两点之间的变化汞柱长度划分为 180 等分,每一等分代表华氏 1 度,用符号 $^{\circ}\text{F}$ 表示。

实际上没有任何一种物质的物理性质完全与温度呈线性关系。因此,用不同种类的物质作为工质(例如酒精等)制造、并用摄氏或华氏方法进行分度的温度计,使用时除固定点外均会有或大或小的误差。

(三)热力学温标(K)

它又称为绝对温标或开尔文温标,是以热力学为基础建立起来的,并且体现温度仅与热量有关而与工质无关的温标。

一个理想的卡诺机,如它的温度为 T_2 的热源与温度为 T_1 的冷源之间,当从热源中吸收热量 Q_2 ,向冷源放出热量 Q_1 ,则有如下关系:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{Q_2}{Q_1} \quad (1-1)$$

可见温度只与热量有关,与工质无关。热力学温标规定,纯水在标准大气压下的三相点为 273.16 度,沸点与三相点之间分 100 格,每格 1 度,用符号 K 表示。把水的三相点以下 273.

16K 定为绝对零度。但是,无法实现理想的卡诺循环,在实际上是用气体温度计经过示值修正后来复现热力学温标。由气体温度计测得的水的三相点为 0.01°C ,相应的绝对零度应是 -273.15°C 。

(四)国际温标

1929 年第七次国际度量衡大会通过的国标温标是世界各国承认的与热力学相吻合的温标。后又经过 1933 年的第八次和 1948 年的第九次国际会议修正,最终在 1968 年的第十三次国际会议上通过了 1968 年国际实用温标,简称 IPTS-68,符号为 T_{68} 和 t_{68} ,其单位分别为用 K 及 $^{\circ}\text{C}$ 表示,两者关系为:

$$t_{68} = T_{68} - 273.15 \quad (1-2)$$

同时还规定了定义的固定点(见表 1-1),这些固定点的温度除水三相点是人为定义的外,其他各点均是国际温标气体温度计测定的^[6]。

表 1-1 IPTS-68 定义的固定点

平衡状态	国际实用温度指示值	
	$T(\text{K})$	$t(^{\circ}\text{C})$
水三相点	273.16	0.01
水沸点	373.15	100.00
平衡氢三相点	13.81	-259.34
平衡氢液态,汽态在 33330.6Pa 压力下平衡态	17.402	-256.108
平衡氢沸点	20.28	-252.87
氧三相点	54.361	-218.789
氮沸点	27.102	-246.048
锌凝固点	692.73	419.58
银凝固点	1235.08	961.93
金凝固点	1237.58	1064.43

此外还规定了标准温度计如下:

13.81K~630.755 $^{\circ}\text{C}$

基准铂电阻温度计

630.755 $^{\circ}\text{C}$ ~1064.43 $^{\circ}\text{C}$

基准铂铑-铂热电偶温度计

1064.43 $^{\circ}\text{C}$ 以上

基准光学高温计

在实际工程中,在要求不十分严格的条件下,标定温度时,把标准大气压下水的融点定为 0°C ,并取 $T=273+t$ 。

在英美资料中,经常遇到华式温标,其与摄氏温度的关系为

$$t(^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9}(t(^{\circ}\text{F}) - 32) \quad (1-3)$$

二、温度测量方法

测量温度的方法很多,并且随着科学技术发展而日新月异。下面介绍在燃气测试技术中常用的以及先进的测温方法。

(一)膨胀测温法

利用物质的体积或长度随温度变化的性质来测量温度,称为膨胀测温法。用此法制成的测量仪表称为膨胀温度计。根据测量温度的范围不同,采用不同的测温物质。测温物质有液体与固体两种。

1. 玻璃液体温度计

将液体封入玻璃管中,利用液体与玻璃管因受热时具有不同的体积膨胀系数而制成温度计称为玻璃液体温度计。

2. 双金属温度计

将两块具有不同线膨胀系数的金属片合在一起,利用其受热后膨胀长度不同而制成的温度计称为双金属温度计。

膨胀温度计是比较常用的温度计。尤其是玻璃温度计应用范围更是广泛,但是它们不能测高温与表面温度。双金属温度计常用来测量室内空气温度,并且带有自动记录设备。

(二)压力测温法

将物质装入密闭的系统中,利用受热后压力变化的特点测量温度的方法称为压力测温法。用此法制成的温度计称为压力温度计。封入密闭系统中的物质有气态与液态两种:

1. 液体压力温度计

当装入密闭系统的物质是水银、二甲苯或甲醇时,称为液体压力温度计。

2. 气体压力温度计

当装入密闭系统的物质是氮气等化学性质稳定而且又接近理想气体性质的气体时,称为气体压力温度计。

有时装入低沸点液体,如氯甲烷或氯乙烷等易蒸发的物质,称为蒸气压力温度计。压力温度计常用来测量由 $-50\sim 550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的非腐蚀性的气体或液体温度。多采用于固定的工业设备中,一般在实验室中很少使用。

(三)电阻测温法

利用导体或半导体的电阻随温度变化的性质测量温度的方法称为电阻测温法,用此法制成的温度计称为电阻温度计。当采用半导体时,多称其为半导体温度计。

电阻温度计的精确度较高,很容易实现远距离传送读数与自动记录。半导体点温度计可以测很小空间气体温度及表面温度,有利于测量温度场,是实验室中常备的温度计。

(四)热电偶测温法

利用两种金属丝接在一起,在受热不同时产生热电势的特性测量温度的方法称为热电偶测温方法,用此法制成的温度计称为热电偶温度计。

热电偶的测量范围广,精确度较高,容易实现远距离传送读数与自动记录,并且热电偶尺寸小,构造简单,易于自制。在决定测试系统后,可以根据现场条件,采用不同的金属线材料与长度自制热电偶温度计。

(五)辐射测温法

利用物理辐射能量随温度变化的特性测量温度的方法称为辐射测温法,用此法制成的温度计称为辐射温度计。根据具体的测量原理还可分为以下两种:

1. 光学温度计(光学高温计)

利用辐射体在指定波长光线的辐射强度(单色亮度)与光度灯的灯丝亮度相比校的方法制

成的温度计称为光学温度计,或光学高温计。

2. 全辐射温度计

利用温度敏感元件的受热程度也可测量辐射热源的温度,敏感元件可以用小型的热电堆或者是不大的双金属螺旋圈制成,这种温度计称为全辐射温度计。

辐射温度计的特点是不与被测介质相接触,因此也不会被高温介质烧坏,其测量范围为 $800\sim 3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。但是这种温度计不适合测量高温气体的温度,精确度也比较差。

(六)谱线转换测温法

谱线转换法最常用的元素是钠,称为钠线转换法。将钠置于火焰中,能发射出波长为 0.5896 及 $0.5890\mu\text{m}$ 的两条黄色线。如果在火焰之后置一明亮的背景光源,并使其射出的光线通过钠蒸气火焰。当光源温度不等于火焰温度时,钠线将以明线或暗线出现在光谱中,当光源温度等于火焰温度时,钠线亮度与背景相同而消失。这样改变背景的亮度直到钠线消失,然后用光学高温计测量背景温度,就可以测出火焰温度。这种方法称为钠线转换测量法,它常用于火焰温度的测量。由于这种方法不会破坏火焰结构,所以更适于测量小型火焰的温度。要指出的是,此法测得的温度,实际上是所用元素(钠)的有效电子激发温度,因此在整理数据时,要给予足够的重视。

这种测量方法,需要较精密的光学仪器,一般用于火焰的理论研究,具体的测量方法可以参考有关专著^[23]。

(七)其它测温方法

利用气体节流后压力降与温度的关系制成的气力式高温计可以测得高温气体的温度。另外,近代利用激光干涉条纹与温度的关系可直接测出温度场。尤其现在发展起来的红外热象仪,除可测温度场外还可以进行各种热工计算与分析。

第二节 一般温度测量

高温与低温的测量仪表与方法有很大不同,此节介绍的主要是指一般的温度测量仪表。

一、玻璃液体温度计

玻璃液体温度计的构造简单,使用非常方便,是测量气体与液体一般温度的最普遍的温度仪表。

(一)基本原理

玻璃液体温度计是由一个盛有液体的温包和与温包相连的毛细管组成(图 1-1),毛细管旁带有温度刻度。当温度变化时,液体体积变化很大,而玻璃制成的温包的内部容积变化不大,这样毛细管内液柱就会随温度变化而升降。故可根据液面的位置确定相应的温度。

玻璃液体温度计中,采用的液体多数为水银与酒精,有时也用其它有机液体。不同的液体的使用温度测量范围不同,如:

水银	$-30\sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$;
甲苯	$-90\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$;

酒精

-100~75℃;

戊烷

-190~20℃。

有机液体(如果苯与酒精)体积膨胀系数比较大,所以随温度变化而升降的性能比较灵敏。但是,有机液体容易附着在玻璃上,另外,长期使用后部分有机液体会发生聚合,可能带来比较大的误差。

水银虽然体积膨胀系数较小,但受温度影响不大,另外由于它不粘附玻璃,并能制取非常纯的水银,所以水银温度计的精度较高,应用较广泛。

(二)仪表构造

玻璃液体温度计,根据其本身的形状、构造还可以分成以下几种温度计。

1. 棒式温度计

棒式温度计是由温包 1 连接一根厚壁玻璃毛细管 2 制成(图 1-1(a))。温度标尺直接刻在毛细管的外壁上。

2. 内标式温度计

内标式温度计是由温包 1 和一根薄壁玻璃毛细管相连接,在毛细管后面有一片乳白色的温度标尺 3。毛细管与温度标尺板均装在一根圆形的玻璃保护套管 4 内,保护套管一端封闭,另一端熔接在温包上(图 1-1(b))。

3. 外标式温度计

外标式温度计是把带有温包的毛细管 2 直接固定在刻有温度标尺的木板 6 上(图 1-1(c))。这种温度计的测温液体一般是用染成颜色(红或蓝)的酒精。它基本上只用于测量空气温度,测量上限不超过 50~60℃。

4. 工业用温度计

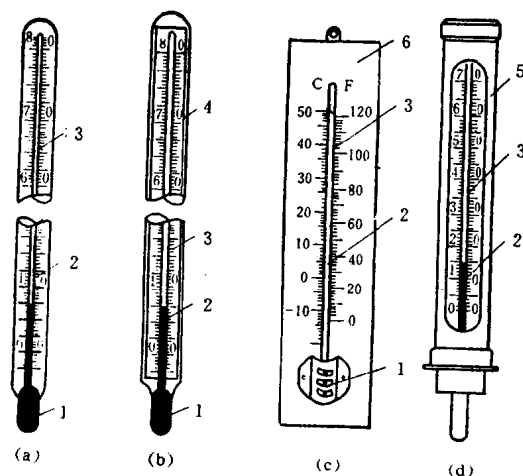


图 1-1 玻璃液体温度计构造

(a)一棒式温度计;(b)一内标式温度计;(c)一外标式温度计;(d)一工业用

1一温包;2一毛细管;3一温度标尺;4一套管;5一金属外壳;6一木板

安装在工业设备上的温度计,为了防止在操作中碰坏温度计,通常将温度计装入专用的金属保护套管内(图1-1(d))。为改善套管内壁和温包之间的传热,在温包与套管壁间的环形空隙中加入一些易导热的物质。当温度刻度在200℃以下时,可以在空隙中注入油;当温度刻度在600℃以下时,在空隙中加入铜屑。在套管中注油或加铜屑的高度,只要盖住温包即可,过多会增加仪表的热惰性,从而降低测量的精度。

工业用温度计根据实际需要可能有较长尾部,并且尾部可以做成直角或其它角度。

5. 特种温度计

根据实际需要,玻璃液体温度计还可做成各类特种温度计。例如电接点式水银温度计,当水银柱升至某调节好的温度后,可以将电路接通,发出讯号。再如最高或最低温度计可以指出在一定时间内最高或最低的温度。这类特种温度计的形式很多,并且可以根据实际需要自行设计、制造,此处就不再具体介绍它们的构造了。

(三)选用要点

在选用玻璃液体温度计时,要注意下面几个问题:

1. 测量范围与精度

玻璃液体温度计的精度可分为三类:即标准温度计、精密温度计及普通温度计。

标准温度计多为水银玻璃温度计,主要用来校正其它温度计,也可用来做精密温度测量。标准温度计通常是成套供应的(七支一组或九支一组),它还可分为一等与二等两个等级,其允许误差,见表1-2。

精密温度计与普通温度计精度较低,它可以是有机液体玻璃温度计,也可以是水银玻璃温度计,它们的允许误差,详见表1-3。无论是在实验室使用还是现场测定,都要根据测试工作对温度值误差的要求,选用合适的温度计。

2. 对液柱露出的修正值

温度计是在毛细管中液柱和温包具有同样温度条件下校验和标定的。当测量温度与周围空气温度相差比较大时,并且不能把所读数以下全部插入被测介质中的条件下,应按下式温度计的读数进行修正。

$$t = t' + n a_L (t' - t_B) \quad (1-4)$$

式中 t ——实际被测的温度(℃);

t' ——温度计指示值(℃);

n ——露出液柱所占的度数(℃);

t_B ——露出液柱的平均温度,它可以用辅助温度计测得(图1-2)(℃);

a_L ——液体的视膨胀系数,

对水银 $a_L = 0.00016/℃$;

对酒精 $a_L = 0.00103/℃$ 。

当 $t' - t_B < 50℃$, n 值又不是很大时,可不校正。

表 1-2 标准水银玻璃温度计允许误差

等级	测量范围(°C)		0°C辅助尺测量范围(°C)		最 小 分度值 (°C)	允许误差(°C)		检定点 间 隔 (°C)
	起	止	起	止		新 制	使用中	
二等标准温度计	-30	+20	-	-	0.1	±0.15	±0.20	10
	0	50	-	-	0.1	±0.15	±0.20	5
	50	100	-1	+1	0.1	±0.15	±0.20	5
	100	150	-1	+1	0.1	±0.20	±0.25	10
	150	200	-1	+1	0.1	±0.20	±0.25	10
	200	250	-1	+1	0.1	±0.20	±0.40	10
	250	300	-1	+1	0.1	±0.20	±0.40	10
一等标准温度计	-30	+20	-	-	0.1	±0.15		10
	0	25	-	-	0.05	±0.10		5
	25	50	-0.5	+0.5	0.05	±0.10		5
	50	75	-0.5	+0.5	0.05	±0.10		5
	75	100	-0.5	+0.5	0.05	±0.10		5
	100	150	-1	+1	0.1	±0.20		10
	150	200	-1	+1	0.1	±0.20		10
	200	250	-1	+1	0.1	±0.25		10
	250	300	-1	+1	0.1	±0.25		10

表 1-3 精密及普通玻璃温度计允许误差

感温液体	测量范围 (C)	精密温度计					普通温度计				
		分 度 值 (C)									
		0.1	0.2	0.5	1	0.5	1	2	5	10	
		允许示值误差(C)									
有机液体	-100~-61	±1.0	±1.0	—	—	±1.5	±2	—	—	—	
	-60~-31	±0.6	±0.8	—	—	±1.0	±2	—	—	—	
	-30~-1	±0.4	±0.6	—	—	±1.0	±1	—	—	—	
	0~100	—	—	—	—	±1.0	±1	—	—	—	
水银	-30~-1	±0.2	±0.4	—	—	±0.5	±1	±2	—	—	
	0~100	±0.2	±0.3	—	—	±0.5	±1	±2	—	—	
	101~200	±0.4	±0.5	—	—	±1.0	±1.5	±3	—	—	
	201~300	±0.6	±0.7	—	—	±1.0	±2	±3	±5	—	
	301~400	—	±1.0	±1.5	±3	—	—	±4	±10	—	
	401~500	—	±1.2	±2.0	±3	—	—	±4	±10	—	
	501~600	—	—	—	—	—	—	±6	±10	±10	

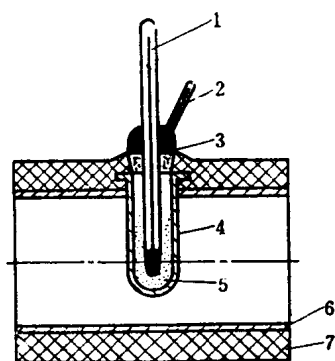


图 1-2 液柱露出部分校正

1—主温度计；2—辅助温度计；3—石棉绳；4—套筒；5—油；6—管壁；7—保温层

二、热电偶温度计

热电偶温度计制造简单，使用方便，测量温度范围广，既能测低温，也能测高温；既能测流体温度，也能测固体表面温度。

(一)基本原理

将两种不同材料金属丝的任意一端焊接起来，就构成一个热电偶温度计(图 1-3)。组成热电偶的导体称为热电极，并且有正负之分。根据习惯，排在前面的是正极，后面的是负极。例如铂铑—铂热电偶中，铂铑是正极，铂是负极。

一切金属导体都存在着自由电子，不同材料的金属，其自由电子的密度不同。当 A、B 两种金属焊在一起时，它们的自由电子就要互相扩散。如果 A 金属的自由电子扩散能力大于 B 金属时，则 A 金属缺少电子带正电，B 金属多余电子带负电，结果产生了电动势。由于电动势的产生，它将阻碍这种扩散作用，并形成电子流动的平衡状态。产生电动势的大小决定于热电极的材料性质和温度。

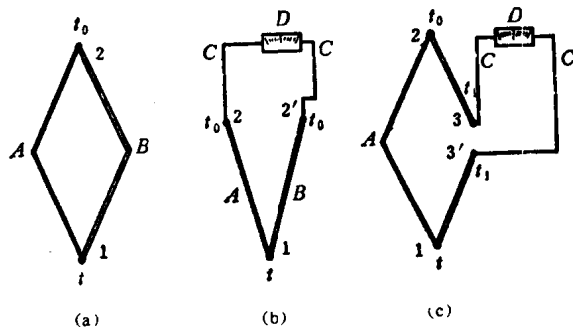


图 1-3 热电偶原理图

(a)原理图；(b)毫伏计接入冷端；(c)毫伏计接入热电极

1—热端(温度为 t)；2—冷端(温度为 t_0)；3—连接点(温度为 t_1)

在图 1-3 中(a)的热电偶电路中，冷、热端合成的热电势 $E_{AB}(t, t_0)$ 可用下式表示：

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) \quad (1-5)$$

式中

$E_{AB}(t, t_0)$ ——冷、热端合成热电势(mV)；

$e_{AB}(t)$ ——热端(温度为 t)产生的电动势(mV)；

$e_{AB}(t_0)$ ——冷端(温度为 t_0)产生的电动势(mV)。

从上式可见热电偶的合成热电势等于冷、热端所产生的两个电动势之差。如果保护冷端 t_0 为不变的常数,则 $e_{AB}(t_0)$ 也是一个不变量的常数项 K 。这样公式(1-7)可写成:

$$E(t, t_0) = e_{AB}(t) - K$$

所以

$$E_{AB}(t, t_0) = f(t) \quad (1-6)$$

由公式(1-6)可知,只要保持冷端温度 t_0 不变,热电势 $E_{AB}(t, t_0)$ 只与热端温度 t 有关,当掌握其间关系时,测得 $E_{AB}(t, t_0)$ 后即可求得热端温度 t 。

可以用毫伏计或电位差计接入热电偶电路中,直接测出 E_{AB} 值。图 1-3 中(b)所示,把毫伏计 D 用导线 C 接入分开的冷端中,电路中共有三个接点:一个热端点 1 和两个处于同一温度 t_0 的冷端点 2 与 2'。如果三个接点温度均为 t_0 时,三个接点产生的热电势之和必为零,即

$$e_{AB}(t_0) + e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0) = 0 \quad (1-7)$$

如果热端温度为 t 时,则三个接点产生的热电势为:

$$E = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0)$$

将公式(1-7)代入后得,

$$E = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0)$$

此式与公式(1-5)相同,可见只要接点 2 与 2' 保证处于相同的 t_0 时,热电偶产生的热电势保持不变。

图 1-3 中(c)中所示,将毫伏计 D 用导线 C 接入热电偶的一个热电极中,这时有四个接点:热端 1、冷端 2 和同处于相同温度 t_1 的接点 3 及 3'。这时电路中产生的热电势 E 为:

$$E = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_1) + e_{CB}(t_1) + e_{BA}(t_0) \quad (1-8)$$

因为

$$e_{BC}(t_1) = -e_{CB}(t_1)$$

$$e_{BA}(t_0) = -e_{AB}(t_0)$$

所以公式(1-8)也可写成:

$$E = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0)$$

此式也与公式(1-5)相同,可见采用这种接法,只要保证接点 3 与 3' 同处于相同温度下,则热电偶产生的热电势不变。

由此可以得到如下结论:当保证图 1-3(b)所示的接点 2 与 2' 都等于 t_0 ,和保证图 1-3(c)所示的接点 3 与 3' 同处于相同的温度时,两种接法得到的效果相同。

(二)仪表构造

热电偶是由作为热电极的金属丝、保护套及二次仪表(毫伏计或电位差计)组成。

1. 热电极材料

在选择电极材料时,要优先考虑能产生较高热电势的材料,并且要求热电势只随温度变化不受其它因素干扰,同时还要求具有抗腐蚀和一定的耐热能力。可以根据预测介质的温度按表 1-4 选取。

表 1-4 常用热电偶材料表

热电偶名称	测温限度(°C)		当 $t=100\text{°C}$ 及 $t_0=0\text{°C}$ 时的热电势(mV)	正负极识别	
	长期受热	短期受热		+	-
铂铑-铂	-20~1300	1600	0.64	较硬	较软
低镍铬-镍硅	-50~900	1300	4.10	无磁性	稍有磁性
低镍铬-考铜	-50~600	800	6.95	色较暗	银灰色
铜-考铜	-50~350	500	4.75	纯铜色	银灰色
铜-康铜	-50~350	500	4.15	纯铜色	银灰色
铁-考铜	-50~600	800	5.75	强磁性	无磁性
铁-康铜	-50~600	800	5.15	强磁性	无磁性

由表 1-4 所示,如测高温需要采用贵金属。例如,采用双铂铑(铂铑 30-铂铑 6)高温热电偶最高温度能达 1800°C。对于一般温度测量,采用低镍铬-考铜与铜-康铜就可满足要求。一般材料的热电偶,其热电势与温度的关系是已知值,表 1-5 给出了几种热电偶,当冷端 $t_0=0\text{°C}$ 时的热端温度与热电势的关系值(亦称为分度表)。

热电偶的端点可用熔接的方法接上,当预测温度低于 200°C 时,也可以简单地用锡焊焊上。热电极的直径一般取 1.5~3mm,对于贵金属,直径可以小到 0.5mm。

当预测温度不高,并且介质没有腐蚀性时,只要把热电极焊接起来,一端控制为零点,一端放在欲测温度处,利用毫伏计(或电位差计)即可测得热电势,从而求得温度。一般实验室中自制热电偶就这样使用。当被测介质有腐蚀性时,应加保护套管。

2. 保护套管

工厂生产的定型的热电偶温度计多数带有保护套,并配有二次仪表(毫伏计等)。保护套的形式见图 1-4。

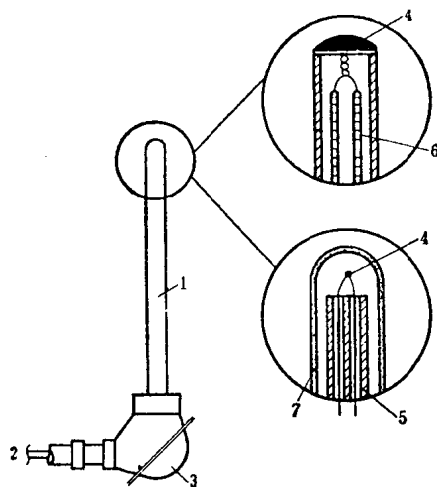


图 1-4 热电偶温度计的保护套

1-保护套;2-接毫伏计;3-接线盒;4-热端;5-绝缘套管;6-绝缘瓷环;7-陶瓷保护套。