

燃气检测技术

RANQI
JIANCE JISHU
SHOUCE

金志刚 王 启 主编

JINZHIGANG WANGQI ZHUBIAN

中国石化出版社

手



燃气检测技术手册

金志刚 王 启 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

燃气检测技术手册/金志刚, 王启主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 3

ISBN 978-7-112-12803-7

I. ①燃… II. ①金… ②王… III. ①燃气-检测-技术手册

IV. ①TU996-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 260002 号

燃气检测技术是衡量城市燃气质量、评价燃气用具功能、保证燃气用具安全、促进燃气事业节能减排技术发展的关键性科学方法。本手册包括燃气检测基本理论、检测方法、仪器仪表性能、误差分析、检测标准等内容, 是一部集理论、实践、标准于一体的工具书。全书共 15 章, 其中以热工测量为基础, 介绍了检测燃气温度、压力、流速、热值、密度、成分及火焰传播速度的基本原理和方法。在燃气用具方面, 包括了各种民用、商用及工业用燃气用具的技术特性、安全性、可靠性、实用性、节能减排及环保性等方面的检测技术和方法, 强调了燃具适应性、燃气互换性, 以及燃气分类标准对燃具的检测要求, 同时附加了最新颁布的标准。在新技术方面, 推荐了西方调压器通用流量计算公式, 介绍了三维激光流速仪、热像仪、连续配气等先进设备。

本书是燃气检测单位的基本工具书和检测人员的培训教材。可供燃气行业从事专业设计、科研的技术人员和管理人员以及大专院校有关专业师生参考。

* * *

责任编辑: 胡明安 姚荣华

责任设计: 张 虹

责任校对: 关 健 刘 钰

燃气检测技术手册

金志刚 王 启 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京蓝海印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 30 字数: 746 千字

2011 年 4 月第一版 2011 年 4 月第一次印刷

定价: 76.00 元

ISBN 978-7-112-12803-7

(20067)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

序 言

进入 21 世纪以来,随着我国经济的发展,以及陕气进京、西气东输、川气出川、海上油气田开发、液化天然气及管输天然气进口,我国已经逐渐形成全国性天然气输配管网。天然气供应量的快速增加,促进了燃气事业的快速发展,天然气已成为城市燃气的主要气源。燃气事业的发展,不仅提高了居民生活质量和工业生产能力,增强了国民经济的实力,而且节约了能源,降低了污染,为节能减排的目标作出贡献。

天然气源远离城市,从气源经过数条长度达几千公里的长输管线、数十亿立方米地下储气库、繁杂的城市输配管网系统进入室内燃气管后才送到用户面前,投入了数百亿人民币,带动了上百个行业,提高了国民经济产值,但是这仅仅是发挥燃气效益的准备工作,并不是主要目的。最重要的目的还是要达到节能减排这个关系到全人类切身利益的总目标。燃气事业中,各个环节互相关联,但真正直接发挥燃气效益的还是燃气应用技术,包括燃气设备的质量和运行工况。燃气应用设备质量高,运行工况良好,燃气节能的效益,减排的成果才得以实现;反之如果应用设备质量低劣,运行工作达不到标准,照样会浪费能源、污染环境,使庞大的燃气生产、输配等工程前功尽弃,更有甚者,会危及人民生命财产。

燃气应用环节的任务如此重要,为此生产燃气用具的厂家要不断开发技术先进的产品,精益求精地保障产品质量;运行单位要兢兢业业地关注燃气用具的运行工况,保证运行良好的工况,达到节能减排的指标才算完成基本要求。鉴别燃烧设备的质量和运行工况的好坏,只有依靠检测工作。没有检测工作,燃气用具质量无法保证,燃气用具的运行工况茫然无知,出现浪费、污染也不能采取有效调整措施,甚至发生事故也不知原因。检测技术是监督、检测机构控制设备质量的试金石,是制定规范和标准的重要手段,是生产厂家提高产品质量的最好帮手,也是教学部门培养学生实践的必要内容。

本手册基于将检测原理、仪表性能、检测方法、标准规范融于一体的原则,囊括了热工、气体分析、燃气性质、燃烧速度、误差分析、产品质量监督以及各种燃气设备性能检测等内容。在燃气基本检测方面,以热工测量为基础,介绍了燃气温度、压力、流量、热值、密度、成分以及火焰传播速度等参数检测的基本原理和试验方法。在燃具方面,包括了各种民用、商用、工业用燃具的检测技术,强调燃具适应性、燃气互换性以及燃气分类标准对燃具的检测要求,同时附加了最新颁布的标准。在新技术方面,介绍了西方调压器通用流量计算公式,推导了确定阀门形状系数的公式;推荐了三维激光流速仪、热像仪、连续配气等先进设备。这些仪表将进一步提高燃气检测技术水平。

本书得到中国市政工程华北设计研究总院、国家燃气用具质量监督检验中心的大力支持,同时博益(天津)气动技术研究所公司、品川株式会社、广州明烁电子科技有限公司等单位也提供了实际检测经验和宝贵的检测资料,进一步完善了检测手册的内容,使手册成为一部重视理论、关注实践、执行标准的工具书。本书是燃气管理、技术监督、燃气和

燃具检测、燃气生产、设计、燃具生产厂家的工具书，同时也可供高等院校、科研机构中有关专业人员参考。

本书共计 15 章。参加编写的人员：第一章 温度测量（金志刚）；第二章 湿度测量（金志刚）；第三章 压力及流速测量（金志刚）；第四章 流量测量（金志刚、刘彤）；第五章 燃气成分分析（李文硕、陈岚）；第六章 相对密度与热值测量（张金环、金志刚）；第七章 火焰传播速度测量（金志刚）；第八章 城镇燃气互换性、分类及配气（高文学、刘彤、金志刚、渠艳红）；第九章 烟气分析（潘翠景、刘文博、金志刚）；第十章 民用燃气燃烧器具检测（王启、潘翠景、胡宇）；第十一章 采暖器、工业窑炉及燃烧器测试（金志刚、张金环、龙飞、王启）；第十二章 燃气调压器与安全阀检测（金志刚、翟军、赵自军）；第十三章 燃气输配设施测试（翟军、李军、潘翠景、赵自军）；第十四章 测试数据处理与误差分析（王洪林、王启）；第十五章 燃气用具质量监督检验方法与检验机构（王启、张维华、张金环）；全书由金志刚、王启主编。项友谦教授级高工进行了校审，高勇、俞永娟、严荣松等提供了部分资料，在此表示感谢。

由于燃气及燃气设备用具的检测工作内容比较繁杂，国内外标准、方法也不尽相同，书中难免有不当之处，恳请读者不吝指正。

金志刚 王启

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	31
第四节 红外线温度场测量	40
第五节 温度校正及温度变送器	45
第二章 湿度测量	49
第一节 概述	49
第二节 空气湿度测量仪表	54
第三节 燃气与烟气湿度测量	59
第四节 湿度校正与湿度变送器	65
第三章 压力及流速测量	67
第一节 概述	67
第二节 压力测量	69
第三节 一般流速测量	76
第四节 空间流速及脉动流速测量	80
第五节 压力校验及压力传感器	92
第四章 流量测量	98
第一节 概述	98
第二节 气体流量测量	99
第三节 流量校正及流量变送器.....	118
第五章 燃气成分分析	124
第一节 概述.....	124
第二节 气相色谱分析原理.....	126
第三节 人工燃气气相色谱分析.....	132
第四节 天然气气相色谱分析.....	135
第五节 液化石油气气相色谱分析.....	138
第六节 城镇燃气用二甲醚气相色谱分析.....	140
第七节 液化石油气中二甲醚的气相色谱分析方法.....	140

第八节 城镇燃气成分气相色谱分析方法的发展·····	142
附录 5-1 单一气体特性表·····	143
第六章 相对密度与热值测量·····	144
第一节 概述·····	144
第二节 相对密度的测量·····	147
第三节 燃气热值的测量·····	153
附录 6-1 《城镇燃气热值和相对密度测定方法》GB/T 12206—2006·····	163
第七章 火焰传播速度测量·····	180
第一节 概述·····	180
第二节 面积测量法·····	182
第三节 颗粒示踪法·····	186
第四节 激光测速法·····	191
第五节 其他测量方法·····	197
第八章 城镇燃气互换性、分类及配气·····	200
第一节 概述·····	200
第二节 燃具适应性与燃气互换性·····	201
第三节 城镇燃气分类·····	209
第四节 配气计算方法及系统·····	218
附录 8-1 《城镇燃气分类和基本特性》GB/T 13611—2006·····	228
第九章 烟气分析·····	233
第一节 概述·····	233
第二节 烟气成分单项分析·····	234
第三节 烟气快速分析·····	253
第四节 烟气成分综合分析·····	256
第五节 烟气连续自动分析·····	261
第十章 民用燃气燃烧器具检测·····	266
第一节 概述·····	266
第二节 燃具燃烧工况试验·····	270
第三节 燃具热工性能试验·····	282
第四节 燃具安全性能试验·····	287
第五节 燃具耐用性试验·····	294
第六节 电气部件试验方法·····	296
附录 10-1 《家用燃气快速热水器和燃气采暖热水炉能效限定值及能效等级》 GB 20665—2006·····	304
附录 10-2 《家用燃气用具的通用试验方法》GB/T 16411—2008·····	306

第十一章 采暖器、工业窑炉及燃烧器测试	321
第一节 概述	321
第二节 采暖器的测试	322
第三节 锅炉的测试	341
第四节 工业窑炉的测试	352
第五节 引射型大气式燃烧器的测试	355
第六节 空气引射全一次空气预混燃烧器	363
第十二章 燃气调压器与安全阀检测	368
第一节 概述	368
第二节 调压器性能衡量标准	370
第三节 调压器的流量计算	373
第四节 安全阀与放散阀性能的衡量标准	383
第十三章 燃气输配设施测试	386
第一节 概述	386
第二节 管道与钢瓶的测试	387
第三节 贮罐液位与罐高的测试	391
第四节 燃气泄漏报警器的测试	393
第五节 燃气阀门测试	400
第六节 燃气管材及其测试	403
第十四章 测试数据处理与误差分析	405
第一节 概述	405
第二节 试验数据处理	409
第三节 直接测量误差分析与间接测量误差传递	424
第四节 试验重复性与再现性的确定	431
第五节 测量不确定度评定与分析	434
第十五章 燃气用具质量监督检验方法与检验机构	440
第一节 概述	440
第二节 产品质量检验形式分类	440
第三节 检验机构实验室	459
第四节 生产企业实验室	460
第五节 检测工作的管理与安全	466

第一章 温 度 测 量

在燃气的燃烧与输配中，温度测量是非常重要的。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，会降低热效率而浪费燃气；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。物体受热程度是分子热运动过程中所呈现的内部动能决定。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。

(1) 摄氏温标

摄氏温标（℃）是一种比较通用的温标。对于水银温度计，它认定汞的体积膨胀与温度变化呈线性关系。摄氏温标确定方法是，规定在标准大气压下纯水的冰点为零度，沸点为 100 度，把汞柱在这两点之间的变化的液柱长度分为 100 等分，每一等分为摄氏 1 度，用符号℃表示。

(2) 华氏温标

华氏温标（℉）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℉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，使用时除上述固定点外均会有或大或小的误差。

(3) 热力学温标

热力学温标（K）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 。

(4) 国际温标

国际温标是世界各国承认的与热力学相吻合的温标。在 1968 年国际会议上通过的《1968 年国际实用温标》(ITS—68) 中，国际热力学和摄氏温度符号分别为 T_{68} 和 t_{68} ，其单位用 K 及 $^{\circ}\text{C}$ 表示，两者关系为：

$$t_{68}(^{\circ}\text{C}) = T_{68}(\text{K}) - 273.15 \quad (1-2)$$

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，其他各点都是国际温标气体温度计测定的。

ITS—68 定义的固定点

表 1-1

平 衡 状 态	国际实用温度指示值	
	T (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，气态在 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
氖沸点	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：

-259.35~630.755 $^{\circ}\text{C}$

基准铂电阻温度计

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

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

1990 年通过了《1990 年国际温标》(ITS—90)，我国从 1991 年 7 月 1 日起施行《ITS—90》。其中，国际热力学 (开尔文) 和摄氏温度符号分别为 T_{90} 和 t_{90} ，其单位用 K 及 $^{\circ}\text{C}$ 表示，两者关系为：

$$t_{90}(^{\circ}\text{C}) = T_{90}(\text{K}) - 273.15$$

ITS—90 定义的固定点有 17 个。

ITS—90 内插用标准仪器是将整个温标分为 4 个区。由 0.65K 向上到单色辐射的普朗克辐射定律实际可测得的最高温度，ITS—90 通过各温区和分温区来定义 T_{90} ，某些温区是重叠的。重叠区的 T_{90} 差异只有在最高准确度测量时才能觉察到。共定义了 4 个温度区。

第一温度区为 0.65~5.00K 之间， T_{90} 由 $^3\text{H}_2$ 和 $^4\text{H}_2$ 的蒸气压与温度的关系式来定义。

第二温度区为 3.0K 到氦三相点 (2.1768K) 之间， T_{90} 是用氦气体温度计来定义。

第三温度区为平衡氢三相点 (13.8033K) 到银的凝固点 (1234.93K) 之间，内插仪器是铂电阻温度计，它使用一组规定的定义固定点及利用规定的内插法来分度。

第四温度区为银的凝固点 (1234.93K) 以上的温区, T_{90} 是按普朗克辐射定律来定义的, 内插仪器是光高温计。

显然 ITS—90 比 IPTS—68 更加严格与精确。但是实际工程中, 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熔点定为 0°C , 并取 $T=273+t$ 。

在英美的资料中, 经常遇到华氏温标 t' ($^{\circ}\text{F}$), 其与摄氏温度 t ($^{\circ}\text{C}$) 的关系为

$$t' = 1.8 \times t + 32 \quad (1-3)$$

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并在一起, 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。尤其是玻璃液体温度计应用范围更是广泛, 但是不能测高温与表面温度。双金属温度计常用来测量物体表面温度和室内空气温度, 并且带有自动记录的设备。

(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、二甲苯或甲醇等液体时, 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。

有时将低沸点的液体装入密闭系统, 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 $-50 \sim 550^{\circ}\text{C}$ 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较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 $800\sim 3000^{\circ}\text{C}$ 。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，故称其为钠谱线转换法。将钠置于火焰中，能发射出波长为 $0.5896\mu\text{m}$ 及 $0.5890\mu\text{m}$ 的两条黄色线。如果在火焰之后置一个明亮的背景光源，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，钠谱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，钠谱线的亮度与背景相同而消失。这样改变背景的亮度直到钠谱线消失，然后用光学高温计测量背景温度，就可以测出火焰温度。这种方法称为钠谱线转换测量法，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，要予以足够的重视。

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。

（七）其他测量方法

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像仪，除可测温度场外，还可以进行各种热工方面的计算与温度场分析。近年来，光导纤维的发展为辐射测温解决不少难题。光纤传感技术在温度测量中的应用，已取得不少成就。光纤温度传感器的种类很多。在燃气涡轮发动机温度检测和电厂锅炉的火焰检测等方面得到利用^[1]。

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，液体体积变化较大，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，有时也用其他有机液体。不同的液体的使用温度测量范围不同，如：

水银	-30~500℃
甲苯	-90~100℃
酒精	-100~75℃
戊烷	-190~20℃

有机液体（如甲苯与酒精）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，另外由于它不会黏附玻璃，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. 棒式温室计

棒式温室计是由温包 1 连接一根厚壁玻璃毛细管 2 制成，见图 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共同装在同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，其构造见图 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，见图 1-1 (c)。这种温度计的测温液体一般是用染成颜色（红或

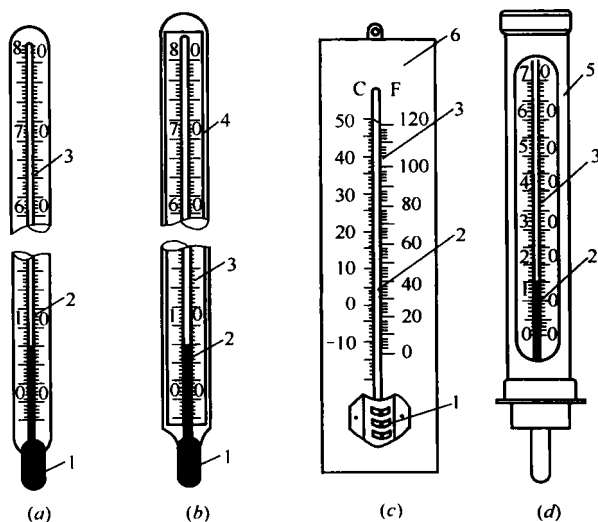


图 1-1 玻璃液体温度计构造

(a) 棒式温度计；(b) 内标式温度计；

(c) 外标式温度计；(d) 工业用温度计

1—温包；2—毛细管；3—温度标尺；4—套管；

5—金属外壳；6—木板

蓝)的酒精。它基本上只用于测量空气温度,测量上限不超过 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ 。

4. 工业用温度计

对于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,见图 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°C 以下时,可以在空隙中注入油;当温度刻度在 600°C 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,会降低测量的精度。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他角度。

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,发出信号。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。

(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. 测量范围与级别

玻璃液体温度计的精度一般可分为三类:即标准温度计、高精度的温度计及普通温度计(或工作温度计)^[2]。

标准温度计多为水银玻璃温度计,主要用来校正其他温度计,也可以用作精密温度测量。它还可分为一等和二等两个等级,其允许误差可以参考表 1-2。

标准水银玻璃温度计允许误差

表 1-2

等 级	测量范围 ($^{\circ}\text{C}$)		0 $^{\circ}\text{C}$ 辅助尺测量范围 ($^{\circ}\text{C}$)		最小分度值 ($^{\circ}\text{C}$)	允许误差 ($^{\circ}\text{C}$)		检定点间隔 ($^{\circ}\text{C}$)
	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

普通温度计的级别较低，它可以是有机液体玻璃温度计，也可以是水银玻璃温度计，它们的允许误差参考表 1-3。无论是在实验室使用还是在现场测定，都要根据测试工作对温度值误差限度的要求，选用合适的温度计。

精密及普通玻璃温度计允许误差

表 1-3

感温 液体	测量范围 (℃)	精密温度计					普通温度计				
		分度值 (℃)									
		0.1	0.2	0.5	1	0.5	1	2	5	10	
		允许示值误差 (℃)									
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	

2. 对液柱露出的修正值

温度计是在毛细管中液柱和温包在具有同样温度条件下校验和标定（见图 1-2）。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 (°C)；

t' ——温度计指示值 (°C)；

n ——露出液柱所占的度数 (°C)；

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）(°C)；

a_L ——液体的视膨胀系数，水银 $a_L = 0.00016/^\circ\text{C}$ ，酒精 $a_L = 0.00103/^\circ\text{C}$ 。

当 $t - t_B < 50^\circ\text{C}$ ， n 值又不是很大时，可不修正。

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

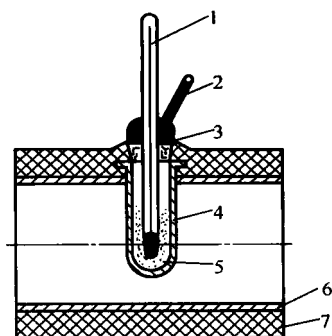


图 1-2 液柱露出部分校正

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

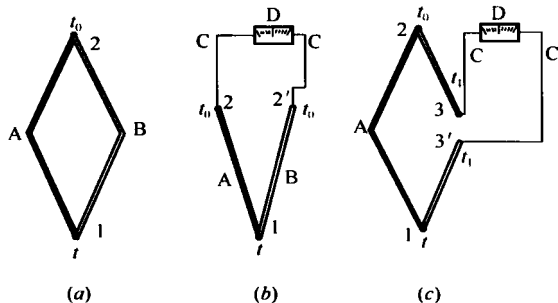


图 1-3 热电偶原理图

(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—接点 (温度为 t_1)

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偶电极的材料性质和温度^[3]。

在图 1-3 (a) 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)。

从式 (1-5) 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 。这样式 (1-5) 可写成:

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

所以

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

由式 (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 (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:

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

将式 (1-7) 代入后得,

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

此式与式 (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 (c) 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:

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

因为

$$e_{1K}(t_1) = -e_{CB}(t_1)$$

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

所以式 (1-8) 也可写成:

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

此式也与式 (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. 热电偶材料

在选择电偶材料时, 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他因素干扰, 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参考表 1-4 选取^[3]。

常用热电偶材料表

表 1-4

热电偶名称	测温限度 (°C)		当 $t=100^\circ\text{C}$ 及 $t_0=0^\circ\text{C}$ 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	-20~900	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, 其热电动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 $t_0=0^\circ\text{C}$ 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接。热电偶丝的直径一般取 $1.5\sim 3\text{mm}$, 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