

REGONG SHIYAN JIAOCHENG

热工实验教程

REGONG SHIYAN JIAOCHENG

黄敏超 胡小平 编著

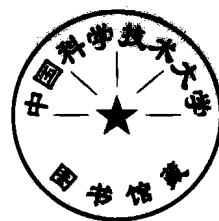
21

KD00733068

国防科技大学出版社

热工实验教程

黄敏超 胡小平 编著



国防科技大学出版社
长沙

内容简介

本书以热工实验基本内容为主,共分5章。第一章是热工基本量的测量,介绍热工基本参数的测量方法及所使用的仪器仪表。第二、三、四章分别介绍具体的工程热力学、传热学、燃烧学实验。对于每个实验,着重于阐明其实验原理、实验装置、实验操作方法和实验数据处理等内容。第五章是测量数据处理,介绍误差分析及数据处理方面的知识。

本书可供高等院校动力类相关专业的本科生或研究生使用,亦可供有关教师、实验技术人员在编写热工实验指导书、安排热工实验时参考。

图书在版编目(CIP)数据

热工实验教程/黄敏超,胡小平编著. —长沙:国防科技大学出版社,2009.10

ISBN 978-7-81099-704-1

I. 热… II. ①黄… ②胡… III. 热工试验-高等学校-教材 IV. TK122-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 182101 号

国防科技大学出版社出版发行

电话:(0731)84572640 邮政编码:410073

<http://www.gfkdcbs.com>

责任编辑:石少平 责任校对:王 嘉

新华书店总店北京发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

*

开本:787×1092 1/16 印张:9.75 字数:231 千

2009 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数:1-1000 册

ISBN 978-7-81099-704-1

定价:20.00 元

前 言

热工实验教程是依据国防科技大学《工程热力学》、《传热学》等本科生课程的新版教学大纲编写的。为了便于教学,把热工实验分成工程热力学实验、传热学实验和燃烧学实验等部分。

本实验教程共分为5章。第一章主要介绍温度、压力、湿度、干度、速度、流量、热量等热工基本量的测量原理、仪表介绍及其使用方法等;第二章是工程热力学实验;第三章是传热学实验;第四章是燃烧学实验;第五章是测量数据处理。

编写本书的目的有两个:第一,作为国防科技大学力学、航空宇航科学与技术、动力工程与工程热物理等学科专业的自编本科生教材之一;第二,可以作为从事热工动力类各专业的教学、科研和工程技术人员的参考书。

自2002年以来,本书的部分章节作为国防科技大学本科生的“工程热力学”、“传热传质与燃烧”等专业基础课的实验教学内容,已得到较好的实际应用。期间,学员对课程教学内容的改进提出许多有意义的建议,作者对此都进行了认真仔细的分析,并在教材中融合了部分有价值的研究论文,最终形成教材的主要内容。

本书第一、二、五章由黄敏超编写,第三、四章由胡小平编写。在本书编写过程中,得到沈赤兵教授和樊忠泽研究员许多有意义的指导,在此表示衷心的感谢。此外,感谢为本书提供各种资料和帮助的其他专家教授们以及参与修改和校对工作的刘泽军、夏晓宇等硕士研究生。在编写过程中,参考了国内外一些教材和文献的内容,在此一并致谢!

由于受时间和作者水平的限制,书中难免疏漏和错误,可能还存在许多不尽如人意的地方,恳请读者们批评指正!以后将更加努力地学习和工作,以使本书的修订趋于完善。

作 者
2009年6月

目 录

第一章 热工基本量的测量

1.1 温度的测量	(1)
1.1.1 温度测量概述	(1)
1.1.2 膨胀式温度计	(4)
1.1.3 热电阻温度计	(6)
1.2 压力的测量	(10)
1.2.1 压力测量概述	(10)
1.2.2 液柱式压力表	(12)
1.2.3 弹性压力表	(15)
1.3 湿度与干度的测量	(21)
1.3.1 空气相对湿度的测量	(21)
1.3.2 蒸汽干度的测量	(23)
1.4 流速的测量	(25)
1.5 流量的测量	(27)
1.5.1 流量测量概述	(27)
1.5.2 椭圆齿轮流量计	(30)
1.6 热量的测量	(31)

第二章 工程热力学实验

2.1 可视性饱和蒸汽压力和温度关系实验	(33)
2.2 气体定压比热测定实验	(36)
2.3 CO ₂ 临界状态观测及 $p-v-t$ 关系测定实验	(40)
2.4 绝热节流效应测定实验	(46)
2.5 喷管中气体流动实验	(49)

第三章 传热学实验

3.1 稳态平板法测定绝热材料导热系数实验	(54)
3.2 非稳态(准稳态)法测材料的导热性能实验	(63)
3.3 热电偶校验实验	(67)
3.4 中温辐射时物体黑度的测试实验	(72)
3.5 热管换热器实验	(78)

3.6	用球体法测定粒状材料的导热系数	(80)
3.7	空气外掠单管管外放热系数的测定	(84)
3.8	空气沿横管表面自由流动的换热	(89)
3.9	金属表面的法向辐射率的测定	(93)
3.10	利用纹影仪观察自然对流换热时的边界层状态	(96)
3.11	流动水槽中流动可视化演示	(98)
3.12	换热器综合实验	(101)
3.13	二维墙角温度场电热比拟实验	(108)
3.14	无限大空间(介质为空气)的横管自然对流实验	(111)
3.15	大空间沸腾换热实验	(115)
3.16	蒸气沿竖壁凝结时换热系数的测定	(121)

第四章 燃烧学实验

4.1	静压法气体燃料火焰传播速度测定	(125)
4.2	气体燃料的射流燃烧、火焰长度及火焰温度的测定	(128)

第五章 测量数据处理

5.1	测量	(132)
5.2	误差	(133)
5.3	不确定度	(140)
5.4	测量结果和不确定度的确定	(142)
5.5	数据处理的基本方法	(144)

参考文献	(149)
------------	-------

第一章 热工基本量的测量

本章主要介绍温度、压力、湿度、干度、速度、流量、热量等热工基本量的测量原理、仪器仪表及使用方法等。

1.1 温度的测量

温度是一个很重要的物理量,是国际单位制(SI制)中7个基本量之一。温度检测仪表是热工自动化仪表5大类型中最普遍、最重要的一种。研究温度测量的学科称为温度计量学,或称测温学。

本节主要介绍液体膨胀式温度计、热电偶温度计、热电阻温度计等测温仪表的工作原理、基本构造、使用方法等知识。

1.1.1 温度测量概述

一、温度计量学简介

温度计量学起源于欧洲,于17世纪随着热力学和统计力学的发展而逐渐形成了一门学科。

温度计量学的发展与温度计的出现、改进及温标的演变是密切相关的。

1592年,意大利科学家伽利略(Galileo Galilei, 1564—1642)在一个玻璃球上接一根玻璃管,组成了最简单的空气温度计。这种温度计是开口式的,将它倒置在有颜色的水中,可以利用空气的热胀冷缩现象粗略地观察周围大气温度的变化。

1641年,意大利的一位科学家首创了一种封口式的玻璃酒精温度计,这是第一支与大气压力无直接关系的温度计。它的出现标志着人类在冷热现象的探索中迈出了重要的一步。

1714年,德国的华伦海特(Daniel Gabriel Fahrenheit, 1686—1736)第一个制造了性能可靠的水银温度计。1724年,他研制并公布了华氏温标,规定了水冰点(32°F)和水沸点(212°F)。

1730年,法国的列奥弥尔(René Antoine Ferchault de Réaumur, 1683—1757)创设列氏温标,他将水的冰点(0°R)和沸点(80°R)之间划分80等份。这是因为他注意到标准浓度的

酒精在水的冰点和沸点之间体积从 1000 单位膨胀到 1080 单位。他的温标每度所代表的温升相当于酒精原始体积平均膨胀了千分之一。

1742 年,瑞典学者摄休斯(Anders Celsius, 1701—1744)建立了百度温标(摄氏温标),规定水冰点为 100°C 、水沸点为 0°C ,中间等分 100 等份。摄休斯去世后,他的助手斯托玛把两个固定点对换,即水冰点为 0°C ,水沸点为 100°C ,这样就符合了人们的习惯。

1848 年,英国物理学家威廉·汤姆逊(William Thomson, 1st Baron, 1824—1907, 又名开尔文, Kelvin)根据热力学第二定理和卡诺热循环理论,提出绝对热力学温标(简称绝对温标,又称开氏温标,以 K 表示)。绝对温标与测温物质的性质无关,因而它是一种基本的、科学的温标。

1871 年,西门子制造出第一支铂电阻温度计。1887 年,卡伦德尔提出了卡伦德尔公式,并改进了铂电阻温度计的工艺,同时研制了测温电桥。

1887 年,国际权度委员会(CIPM)通过了将氢温度计的百度温标作为标准温标,这就是最初的国际统一温标。但这个温标存在严重的缺陷,并且仅仅是为了长度、质量这两个基本量的需要。从温度这个基本量的要求来说,应该建立一个既与热力学温标接近,又能方便、准确复现的国际公认温标。

1927 年,第 7 次国际权度大会通过了第一个国际温标,并正式定名为国际温标(ITS - 27)。1937 年,成立了温度咨询委员会(CCT)。1954 年,在第 10 次国际权度大会上,确定水的三相点为热力学温标的唯一固定点。

经过第 6 次(1962 年)、第 7 次(1964 年)和第 8 次(1967 年)CCT 会议的讨论,1968 年,通过了国际实用温标(IPTS - 68)。

1989 年,通过了 90 温标(ITS - 90)。90 温标也是我国现行温标。

目前,华氏温标在欧美使用非常普遍,摄氏温标在亚洲使用较多,列氏温标仅在法国和德国的部分场合使用,而在科学研究中多使用热力学温标(绝对温标)。

二、温度与温标

1. 温度

温度是表征物体冷热程度的物理量。从微观来看,温度是描述系统不同自由度之间能量分布状况的基本物理量。它标志着物体内部分子无规则运动的剧烈程度,是大量分子热运动的宏观表现。

温度虽然是一个基本物理量,但它不是“广延量”。它与其他物理量如长度、质量不同,人们能确切知道物体的长度、质量相加后的结果,却无法想像温度如何随物质的量而直接相加。因此,应该说温度是一个重要的,但又极其特殊的物理量。正因其特殊,使得温度的数值表示方法显得复杂。

2. 温标

用来量度物体温度高低的标尺叫做温度标尺,简称温标。

温标的建立是一个复杂的过程,下面简单介绍温标建立的条件以及几种常用温标。

(1) 温标建立的条件

1) 固定点

物质不同相之间可复现的平衡温度称为固定点温度,简称固定点。要确定一个温标,首先要选定固定点,一般都是采用纯物质的相平衡温度作为温标的固定点。在选定固定点之后,要规定固定点的温度值,其他温度才能与之比较,以确定其数值。

2) 测温仪器(温度计)

选定固定点后,要选定一种测温物质制成的测温仪器,即温度计,作为实现温标的仪器。

3) 内插公式

在固定点的温度值确定之后,用来确定任意点温度值的数学关系式称为内插公式。如线性内插公式:

$$t = t_1 + \left(\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \right) (t_2 - t_1) \quad (1.1.1)$$

式中, t 是任一点温度, y 是测温变量, y_1 、 y_2 是固定点对应的测温变量, t_1 、 t_2 是固定点温度。

(2) 几种温标

1) 经验温标

借助于某物质的物理参量与温度变化的关系,用实验方法或经验公式构成的温标。经验温标有多种,如华氏温标、摄氏温标、列氏温标等。

摄氏温标将一个大气压下纯水的沸点规定为 100 摄氏度($^{\circ}\text{C}$),一个大气压下纯水的冰点规定为 0 摄氏度($^{\circ}\text{C}$),在 0 到 100 之间划分 100 等份,每一份叫做 1 摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。

华氏温标将一个大气压下纯水的沸点规定为 212 华氏度($^{\circ}\text{F}$),一个大气压下纯水的冰点规定为 32 华氏度($^{\circ}\text{F}$),在 32 到 212 之间划分 180 等份,每一份叫做 1 华氏度($^{\circ}\text{F}$)。

列氏温标将一个大气压下纯水的沸点规定为 80 列氏度($^{\circ}\text{R}$),一个大气压下纯水的冰点规定为 0 列氏度($^{\circ}\text{R}$),在 0 到 80 之间划分 80 等份,每一份叫做 1 列氏度($^{\circ}\text{R}$)。

2) 热力学温标

1848 年,开尔文建立了一种理论温标。根据卡诺定理,一切工作于两个给定热源之间的可逆热机的效率均相等,且仅与这两个热源的温度有关,而与工作物质无关。由此可引入一个与测温物质及其测温属性无关的温标,用来标示热源的温度。它的比值等于可逆热机与这两个热源之间传递的热量之比,即 $Q_2/Q_1 = T_2/T_1$ 。当传递给低温热源的热量趋于零时,低温热源的温度也趋于一个极限值,即绝对零度。这个温标叫做热力学温标,符号为 T ,单位是开尔文,简称开(K)。只要再规定一个固定点和分度法,它的定义就完整了。1960 年,国际计量大会决定采用水的三相点为固定点,规定其值为 273.16K。在这种规定下,间隔 1K 等于 1°C 。热力学温标的定义式为

$$T = \frac{Q}{Q_1} 273.16 \quad (1.1.2)$$

3) 国际温标

随着热力学温标的提出,各国科学家在大力研究以实用温度计传递热力学温标的可

能。其成果表现为 1927 年拟定的“1927 年国际温标”(ITS - 1927),其特点是:通过一系列(温度)固定点和固定点间的内插、外推仪器及插值公式,保证本身的复现准确度;能随着技术进步不断改善各种规定,以当时技术能达到的最高准确度逼近热力学温标。

由于定义简单、易于实现、复现性强,国际温标很快为众多国家所接受。经过 1948 年修订(ITS - 1948)、1968 年修订(IPTS - 1968)、1975 年修订,国际实用温标在测温范围的延伸和逼近热力学温标等方面不断完善。直至 1989 年第 27 届国际计量委员会(CIPM)通过“1990 国际温标”(ITS - 1990),从 1990 年 1 月 1 日开始实施。

1990 国际温标的特点是:①国际温标同时使用国际开尔文温度(T_{90})和国际摄氏温度(t_{90}),它们的单位分别为开尔文(K)和摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。②国际温标以一些物质的可复现的平衡态的指定温度值(定义固定点)以及在这些温度值上分度的标准仪器和相应的内插公式(或插值表)为基础。③ITS - 1990 温标的下限延伸到 0.65K,上限延伸到用普朗克辐射定律和单色辐射方法实际可测量的最高温度。④13.8033 ~ 273.16K, 0 ~ 961.78 $^{\circ}\text{C}$ 用铂电阻温度计插值;961.78 $^{\circ}\text{C}$ 以上用基于普朗克定律的高温辐射温度计插值。

1.1.2 膨胀式温度计

膨胀式温度计是根据物质的热膨胀性质与温度的固有关系来制造的温度计。按工作物质状态的不同,可分为液体膨胀式温度计(如玻璃水银温度计)、固体膨胀式温度计(如双金属温度计)和气体膨胀式温度计(如压力式温度计)三类。下面简单介绍玻璃液体温度计的原理、构造及分类。

一、测温原理

利用感温液体随温度变化而体积发生变化与玻璃随温度变化而体积发生变化之差来测量温度。温度计示值即液体体积与玻璃体积变化的差值。

物质大多具有热胀冷缩的特性。通常,把温度变化 1 $^{\circ}\text{C}$ 所引起的物体体积的变化量与它在 0 $^{\circ}\text{C}$ 时的体积之比称为平均体膨胀系数,用 β 表示。当温度由 t_1 变化到 t_2 时,有

$$\beta = \frac{V_2 - V_1}{(t_2 - t_1) V_0} \quad (1.1.3)$$

式中: V_1 、 V_2 ——温度分别为 t_1 和 t_2 时工作物质的体积;

V_0 ——工作物质在 0 $^{\circ}\text{C}$ 的体积。

当 $t_1 = 0^{\circ}\text{C}$ 时,则式(1.1.3)可写为

$$\beta = \frac{V_t - V_0}{V_0 t} \quad (1.1.4)$$

而体积则为

$$V_t = V_0(1 + \beta t) \quad (1.1.5)$$

由于温度计的示值实际为液体体积与玻璃体积变化之差,若用 γ 表示玻璃的平均体膨胀系数,用 k 表示差值,则

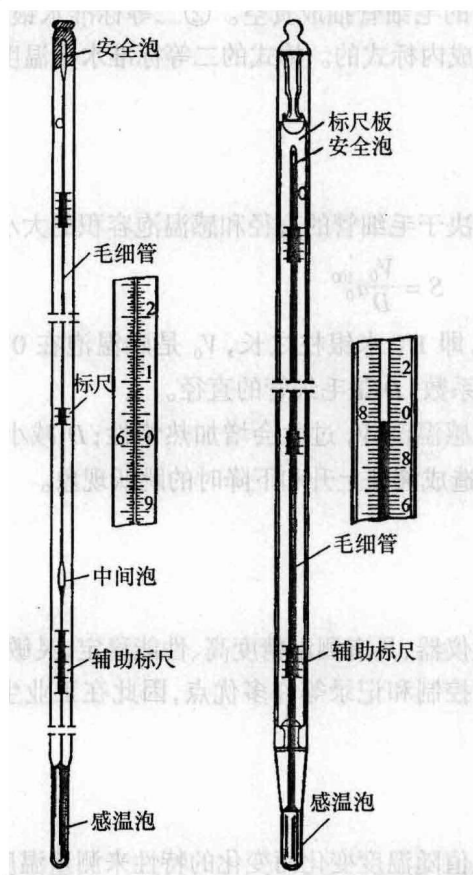
$$k = \beta - \gamma \quad (1.1.6)$$

式中, k 是视膨胀系数, β 是液体平均体膨胀系数, γ 是玻璃的平均体膨胀系数。

显然,在一般情况下,液体的体膨胀系数远远大于玻璃的体膨胀系数,因此,观察液体体积的变化即可知道温度的变化。

二、构造

玻璃液体温度计主要由感温泡、感温液体、毛细管、标尺、安全泡及中间泡等组成,如图 1.1.1 所示。当然,用途不同的温度计其结构也不完全相同。



(a)棒式玻璃液体温度计 (b)内标式玻璃液体温度计

图 1.1.1 玻璃液体温度计的结构

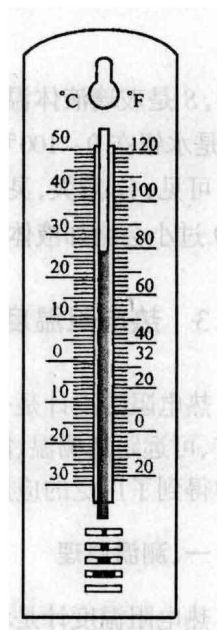


图 1.1.2 寒暑表

三、分类

玻璃液体温度计的分类方法很多,主要有以下几类。

(1)按结构分:①棒式温度计:具有厚壁毛细管,直接刻度在玻璃管上。它测温精度高,多用于实验室或作标准传递用,其结构如图 1.1.1(a)所示,是一种带有中间泡及零位

线辅助标尺的温度计。②内标式温度计:毛细管贴靠在标尺板上,两者均封装在玻璃管中。多用作生产过程的温度测量,也可作为二等标准温度计,如图 1.1.1(b)所示。③外标式温度计:玻璃管贴靠在标尺板上,标尺板不封装于玻璃管中。多用于测量室温,如寒暑表,如图 1.1.2 所示。这种温度计的标尺板可用塑料、金属、木板等材料制成。

(2)按浸没的方式不同可分为全浸式和局浸式两大类。其中全浸式测量精度较高。

(3)按使用要求不同可分为标准玻璃液体温度计和工作用玻璃液体温度计两大类。其中标准玻璃液体温度计又可分为:①一等标准水银温度计:通常由 9 支组成,必须制成透明棒式的,在毛细管背后不允许带任何颜色。对于 100℃ 以上的温度计,在其毛细管中要充入惰性气体;100℃ 以下的温度计的毛细管抽成真空。②二等标准水银温度计:通常由 7 支组成,可以是棒式的,也可以制成内标式的。棒式的二等标准水银温度计在毛细管后面熔有一条乳白色的釉带。

四、玻璃液体温度计的灵敏度

玻璃液体温度计的灵敏度主要取决于毛细管的直径和感温泡容积的大小。

$$S = \frac{V_0}{D} \alpha_0^{100} \quad (1.1.7)$$

式中, S 是玻璃液体温度计的灵敏度,即 1℃ 水银柱之长, V_0 是感温泡在 0℃ 时的容积, α_0^{100} 是水银在 0~100℃ 的平均体膨胀系数, D 是毛细管的直径。

可见, V_0 增大,灵敏度 S 增大,但感温泡 V_0 过大会增加热惰性; D 减小,则 S 增大,但 D 过小会增加液体运动时的摩擦,造成液柱上升和下降时的跳跃现象。

1.1.3 热电阻温度计

热电阻温度计是一种常用的测温仪器,具有测温精度高、性能稳定、灵敏度高、应用范围广、可远距离测温、能实现温度自动控制和记录等许多优点,因此在工业生产和科学实验中得到了广泛的应用。

一、测温原理

热电阻温度计是利用导体的电阻值随温度变化而变化的特性来测量温度的元件或仪器。即电阻值和温度有一一对应的关系,电阻值是温度的单值函数。

不同材料的电阻在不同的测温范围内,其电阻值与温度的关系式有所不同。一般可用下述经验公式表示:

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2 + Ct^3 + \cdots) \quad (1.1.8)$$

式中, R_t 是某一温度 t 下的电阻值,单位 Ω ; t 是被测介质温度,单位℃; R_0 是 0℃ 时的电阻值; A 、 B 、 C 是分度常数。

二、热电阻的结构

热电阻主要由热电阻体、绝缘管、保护套管和接线盒等部分组成,如图 1.1.3 所示。

热电阻体是由电阻丝绕在骨架上构成的,对不同的热电阻,电阻体的结构稍有区别,下面介绍几种普遍的结构形式。

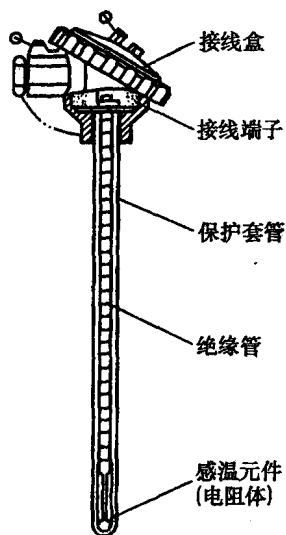


图 1.1.3 热电阻

1. 热电阻的材料

并不是所有的材料都能制作热电阻,对热电阻的材料有如下要求:

- (1) 有较大的电阻温度系数,电阻温度系数越大,则灵敏度越高;
- (2) 有较大的电阻率 ρ ,电阻率越大,则热电阻体积越小,热容量和热惯性越小,反应越迅速、准确度越高;
- (3) “电阻 - 温度”特性好,要求是一条光滑曲线,最好呈线性关系,且电阻与温度必须为单值函数,这样可以便于分度、读数和减小内插误差;
- (4) 同一材料的复现性好、复制性强,容易得到纯净的物质;
- (5) 物理、化学性能稳定,不易氧化,不与周围介质发生作用,容易提纯;
- (6) 价格便宜。

常用的制作热电阻的材料主要有铂和铜,此外还有铁、镍、钨,低温时多用锗、铟、碳和铁铬合金等。

2. 热电阻的骨架

对绕制电阻丝的骨架材料的要求如下:

- (1) 体膨胀系数小。电阻丝是紧绕于骨架上的,在测温过程中,应使骨架的体膨胀系数等于或接近于电阻丝的体膨胀系数。这样在温度变化时,电阻丝就不会因为骨架的收缩或膨胀而产生应力。
- (2) 有良好的绝缘性能和足够的机械强度。绝缘不好容易引起漏电,产生误差;机械强度要求能承受一定的振动和冲击。
- (3) 无腐蚀性且能耐受高温。高温下无挥发,对电阻丝无腐蚀和污染,且在高温下不

变形。

骨架的形状主要有平板形、圆柱形和螺旋形 3 种,其中工业热电阻多采用平板形和圆柱形,一般标准热电阻采用螺旋形。骨架的材料主要有云母、玻璃、陶瓷、有机塑料、石英玻璃等。热电阻的骨架形状如图 1.1.4 所示。

3. 热电阻的引线

为减小附加电阻的影响,对引线有如下要求。

(1)电阻率小。引线长度是由插入深度决定的,插入越深,则引线越长。因此希望电阻率小,以减小附加电阻的影响。通常引线的直径要比电阻丝的直径大得多。

(2)有较小的电阻温度系数。减小由于温度影响而产生的误差。

(3)化学性能稳定。不发生氧化和产生有害物质,以免影响热电阻的技术性能。

(4)热电势小。引线在与电阻丝或外接导线连接时,不应由于它们之间材料的不同而产生很大的寄生热电势。

一般标准铂热电阻用 0.3mm 的金线作引出线,工业铂热电阻用直径 1mm 的银线作引出线,低温下用 1mm 的铜线作引出线,铜热电阻用 1mm 的铜线作引出线。工业热电阻的引线一般为三线制,有时为二线制,使用时可接成三线制,以减小测量误差。标准热电阻引线均为四线制,热电阻引线及电阻体结构如图 1.1.5 所示。

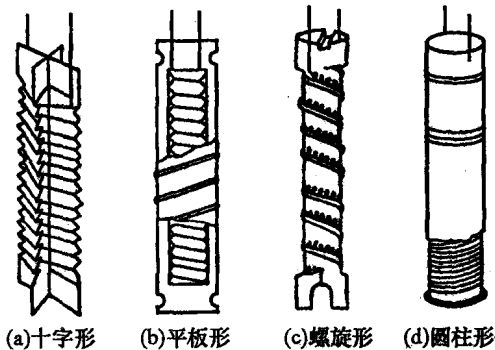


图 1.1.4 各种热电阻体的骨架形状

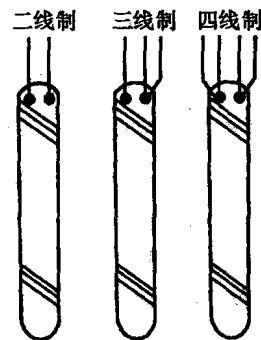


图 1.1.5 热电阻引线的几种接法

三、热电阻的类型

热电阻有很多种,下面简单介绍几种常见的热电阻。

1. 铂热电阻

一般工业用铂热电阻多采用线径为 0.03 ~ 0.07mm 的纯铂裸丝绕在云母制成的平板形骨架上。云母绝缘骨架的边缘呈锯齿形,铂丝绕制在云母骨架的锯齿形槽内以防铂丝滑动短路,在云母骨架的外侧再套一个具有一定形状的金属器件,以增加铂热电阻的机械强度。铂热电阻有两个输出端点,分别在每一个端点上用 0.5mm 或 1mm 的银丝并行引出两根引线(两端共引出四根引线)作为热电阻的电极使用。铂热电阻也可以用石英、陶瓷、玻璃等作为骨架。

在铂热电阻的外部均套有保护套管,以避免腐蚀性气体的侵害和机械损伤。

按目前国内的统一设计标准,工业用铂热电阻的标称电阻值 R_0 (在 0°C 时的电阻值) 有 100.00Ω 和 50.00Ω 两种规格,其分度号分别为 Pt100 和 Pt50。

铂热电阻的优点是准确度高、稳定性好、性能可靠;缺点是高温下易被还原性气体污染变脆。

2. 铜热电阻

铂虽然是理想的热电阻材料,但其价格十分昂贵,一般适用于测量精度要求较高的场合。对于一些测量精度要求不高的工业测量,使用廉价的铜热电阻,在一定的温度范围内也能满足测量要求。

铜热电阻的测温范围为 $-50 \sim 150^\circ\text{C}$ 。在此范围内铜热电阻有很好的稳定性。铜材料的电阻温度系数也比较大,其电阻与温度几乎呈线性关系,铜材料也比较容易提纯;但铜材料的电阻率较小,与铂热电阻相比,同样的电阻数值,铜热电阻的体积要大得多。另外,铜材料容易在 100°C 以上的高温中被空气氧化而变质,因此铜热电阻仅能在低温和无腐蚀的环境中使用。

按目前国内统一的设计标准,铜热电阻的标称电阻值 R_0 (在 0°C 时的电阻) 有 100.00Ω 和 50.00Ω 两种规格,其分度号分别为 Cu100 和 Cu50。

一般铜热电阻是用直径为 0.1mm 的绝缘铜丝按双线无感绕法绕制在圆柱形塑料骨架上。由于铜材料的电阻率较小,绕制热电阻使用的绝缘铜丝较长,往往采用多层绕制。为了防止铜丝的松散,整个电阻体要经过酚醛树脂的浸泡成型处理。其引出线和铂热电阻相似,在每个端点引出两根引线,不过引出线材料是铜而不是银。

铜热电阻的优点是线性度好,容易提纯,用于 $-50 \sim +150^\circ\text{C}$ 内测温。缺点是在 100°C 以上易氧化,只能用于低温及没有腐蚀性的介质中,且铜电阻率小、体积大、热惯性大。

3. 铠装热电阻

铠装热电阻是由感温元件(电阻体)、引线、绝缘材料、不锈钢套管组合而成的坚实体,它的外径一般为 $2 \sim 8\text{mm}$ 。铠装热电阻的感温元件可以是铂丝,也可以是铜丝。与普通型热电阻相比,它的优点是:①体积小、内部无空气隙、热惯性小、测量滞后小;②机械性能好、耐振,抗冲击;③能弯曲、便于安装;④不易被有害介质腐蚀、使用寿命长。

四、热电阻的使用注意事项

为了减小误差,提高测量精度,热电阻在使用时应注意以下问题:

1. 自热效应引起的误差

电阻温度计在测量过程中,必然有电流流过电阻感温元件,在电阻体和引线上产生焦耳热,使其温度升高,导致阻值的增加,带来测量误差。

对标准铂电阻温度计,规定工作电流为 1mA ,此项误差已修正,可不考虑。

对工业热电阻温度计,为了避免和减小自热效应引起的误差,规定在使用中其工作电流不超过 $6 \sim 8\text{mA}$,而在检定中则不超过 1mA 。

2. 迟滞带来的影响

由于热电阻温度计的热容量比较大,故其迟滞时间也比较长,所以在使用时一定要注意到热惰性的存在。温度计插入介质后,要给予充分的时间进行热交换,待温度计与介质完全达到热平衡后,方可进行测量,以免将误差带入测量结果。

3. 寄生热电势的影响

产生寄生热电势的原因是,不同金属的连接点上有温差存在。为了减少寄生热电势,制作电桥电阻的材料一般都选用温度系数很小的锰铜或镍铜合金,并且在测量回路中配备热电势补偿器,以抵消寄生热电势的影响。

4. 连接导线温度变化的影响

不论何种材料制成的连接导线,都具有一个电阻温度系数,当周围环境温度变化时,导线电阻自然也会产生变化。为了消除连接导线电阻变化的影响,必须采用三线制接法。如果在测量回路中采用二线制的测量方法,则应考虑对外接导线的电阻值予以修正。

5. 热辐射的影响

热辐射以电磁波的形式传播能量,在传播过程中,不仅要产生能量的转移,同时还伴随着能量形式之间的转化。因此可以说,热辐射也对温度计产生热效应。标准铂电阻温度计在使用时,由于其保护管为透明石英管,故应注意辐射带来的影响。通常都在标准铂电阻温度套管外面涂上一层石墨,或将石英套管的外壁予以喷砂发毛处理,以减小辐射的影响。另外,在使用热电阻温度计测温时,应将温度计插入足够的深度,这样既可以保证感温元件与周围介质能有良好的热交换条件,同时又可限制保护管管壁的热传导和热辐射。只有在正确使用的前提下才能获得准确的测量值。

1.2 压力的测量

压力是表征热力过程中工质状态的基本参数之一。压力和温度一样,都是非常重要的测量参数。通过压力测量,还可以监视各种重要压力容器,如锅炉、除氧器、加热器以及管道的承压情况。此外,对汽轮机、水泵、风机等润滑系统油压的监视,可以保障设备的正常运行与润滑。通过差压测量可以了解各流道的阻力及泄漏情况,保障设备安全运转。等等。

本节主要介绍压力测量的一些基本知识以及液柱式压力计、弹性压力表的工作原理、基本构造和使用方法等知识。

1.2.1 压力测量概述

一、压力的定义

压力是指物体单位面积上所受到的垂直作用力。在国际单位制中,压力的计量单位

第一章 热工基本量的测量

是帕斯卡(Pascal),简称帕(Pa),其物理意义是 1N 的力垂直作用在 1m^2 的面积上所产生的压力。压力的常用单位及其换算关系见表 1.2.1。

表 1.2.1 压力单位换算关系

单 位	$\text{Pa} = \text{N/m}^2$	atm	mmHg = Torr	mmH ₂ O = kgf/m ²	kgf/cm ² (at)	bar	Psia
帕斯卡 (Pa)	1	$9.869 \times 10^6 \approx 10^6$	7.500×10^{-3}	$0.102 \approx 10^{-1}$	$1.02 \times 10^{-5} \approx 10^{-5}$	10^{-5}	1.45×10^{-4}
标准大气压 (atm)	1.01325×10^5	1	760	$1.033 \times 10^4 \approx 10^4$	$1.033 \times 10^4 \approx 10^4$	$1.013 \approx 1$	14.706
毫米汞柱 (mmHg)	1.33322×10^2	1.316×10^3	1	13.6	13.6	1.333×10^{-3}	1.933×10^{-2}
毫米水柱 (mmH ₂ O)	$9.806375 \approx 10$	$0.968 \times 10^4 \approx 10^4$	7.36×10^{-2}	1	1	$9.8037510^{-5} \approx 10^{-4}$	1.422×10^{-3}
千克力/厘米 ² (工程大气压 at)	$9.80665 \times 10^4 \approx 10^5$	$0.968 \approx 1$	736	10^4	10^4	$0.980375 \approx 1$	14.217
巴 (bar)	10^5	$0.98665 \approx 1$	750	$1.02 \times 10^4 \approx 10^4$	$1.02 \times 10^4 \approx 10^4$	1	14.5
磅/英寸 ² (Psia)	6.895×10^3	6.8×10^{-2}	51.517	7.039×10^2	7.039×10^2	6.895×10^{-2}	1

二、绝对压力与表压力的关系

工程中应用压力计测得的压力是表压力,被测实际压力称为绝对压力。工程上习惯于将正的表压力称为压力或正压,负的表压力称为负压或真空。绝对压力与表压力的关系如图 1.2.1 所示。

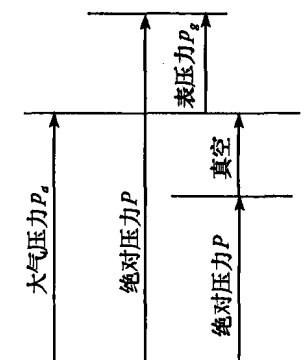


图 1.2.1 绝对压力与表压力

三、压力表的分类

根据工作原理不同,测量压力的仪表主要有以下几类。