



计量三级工技术补课教材

温度计量

辽宁省计量局科教处 编

计 量 出 版 社

内 容 提 要

本书是计量三级工技术补课教材中温度计量部分,书中较全面地介绍了从事温度计量测试所必备的初级理论,讲述了温度计量的量值传递、标准器具和仪器、检定规程、测试方法的选择以及测试检定中有关技术问题的处理等。还结合厂矿实际对温度测量使用的二次仪表作了较详细介绍。供具有初中文化的计量工人技术补课之用,也可供厂矿仪表人员参考。

计量三级工技术补课教材

温 度 计 量

辽宁省计量局科教处编

责任编辑 陈英

—*—
计量出版社出版

(北京和平门内大街7号)

北京计量印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

—*—
开本 787×1092 1/32 印张 8 3/4

字数 195 千字 印数 1—16 000

1984年 8 月第一版 1984年 8 月第一次印刷

统一书号 15210·341

定价 1.35 元

前 言

计量测试技术是发展国民经济的一项重要技术基础。它涉及到自然科学基础理论、工程技术、法制和科学管理等方面。它与工农业生产、交通运输、国防科研、商业贸易、医疗卫生、环境保护以及人民生活等方面都有着密切的关系，并在提高经济效益和产品质量方面都有着重要的作用。

为贯彻党的十二大提出的在本世纪末实现工农业总产值翻两番的战略目标，计量测试技术工作必须发挥技术基础的作用。为此，调动和发挥计量战线青壮年职工的聪明才智，是做好这一工作的重要保证。

中共中央、国务院作出了《关于加强职工教育工作的决定》，中央五委、局发出了《联合通知》，要求在“六五”计划期间完成青壮年职工的文化技术补课的特定历史任务，使他们成为合格的生产技术业务骨干。为了解决辽宁省计量系统青壮年职工技术补课的需要，我们编写了计量三级工技术补课教材，并聘请了东北工学院有关专业的教授、讲师和省内计量专业的有关工程技术人员组成了计量三级工补课教材编审委员会（详见于后）。

计量三级工的标准（即应知应会的内容），是参照原一机部技术工人等级标准和上海市计量技术工人等级标准编写而成的。

此次出版的教材有：长度计量、温度计量、电学计量和误差理论入门四册。内容以文化补课合格为起点，从基础知识入手，循序渐进，内容主要包括计量技术初级理论、量值

传递、标准量具和仪器、检定规程、测试方法的选择，以及检定中的有关技术问题的处理等。力求体系完整、文字简洁、联系实际、深入浅出，以适应具有初中文化程度补课对象的需要。本系列教材：长度计量由史伟萍同志执笔；温度计量由那书田同志执笔；电学计量由朱祯学、潘铁义、张树波、王吉祥同志执笔；误差理论入门由杜汉玉同志执笔。

为了更好的提高补课效果，在不同的计量专业补课中，还要结合必修的基础课，如初级电工原理、机械原理、机械零件、制图等等。

我们在编写过程中，承蒙计量出版社及有关同志的热情帮助和支持。对此，我们深表谢意。

此教材涉及的内容较广，更由于时间的紧迫和水平所限，书中不妥之处和错误力难避免，希望读者给予指正。

编 者

一九八三年四月

编 审 委 员 会

主 任:	王志中		
副主任:	王 楨	赵国权	
委 员:	沈庆辉	李纯甫	王魁汉
	张育功	史伟萍	王兴文
	邢书田	宋德华	朱被学
	张树波	潘铁义	王吉祥
	杜汉玉	马伟达	

目 录

第一章 温度和温标	(1)
1.1 温度	(1)
1.2 温标	(3)
1.2.1 经验温标	(3)
1.2.2 热力学温标	(4)
1.2.3 国际实用温标	(7)
1.3 温度的测量与传递	(20)
1.3.1 温度的测量	(20)
1.3.2 温度量值的传递	(23)
第二章 膨胀式温度计	(28)
2.1 玻璃液体温度计	(28)
2.1.1 玻璃液体温度计的测温原理	(28)
2.1.2 玻璃液体温度计的构造与分类	(32)
2.1.3 玻璃液体温度计的检定	(35)
2.1.4 玻璃液体温度计的使用及其误差	(41)
2.2 金属温度计	(45)
2.2.1 压力式温度计的原理与构造	(45)
2.2.2 压力式温度计的分类	(46)
2.2.3 压力式温度计的技术数据	(51)
2.2.4 双金属温度计	(53)
2.2.5 金属温度计的校验	(57)
第三章 电阻温度计	(59)
3.1 热电阻的测温原理	(59)
3.2 热电阻材料及类型	(59)
3.2.1 热电阻材料和要求	(59)
3.2.2 常用热电阻	(61)
3.2.3 热电阻的基本技术特性	(66)

3.3 热电阻的使用	(68)
3.3.1 测量电路的接线	(68)
3.3.2 标准测量方法	(68)
3.4 热电阻的检定	(70)
3.4.1 标准铂电阻温度计系数的确定	(70)
3.4.2 用标准电阻温度计测定温度	(73)
3.4.3 工业热电阻0℃的电阻值 R_0 和电阻比 W_{100} 的检定	(77)
3.5 半导体电阻温度计	(83)
第四章 热电温度计	(90)
4.1 热电偶测温原理	(90)
4.1.1 热电偶测温原理	(90)
4.1.2 热电偶的基本定律	(93)
4.2 热电偶材料及类型	(95)
4.2.1 热电偶材料	(96)
4.2.2 常用热电偶的性能与特点	(97)
4.2.3 热电偶的国际标准化问题	(101)
4.2.4 热电偶保护管	(105)
4.2.5 热电偶的类型	(108)
4.3 热电偶的检定	(110)
4.3.1 热电偶的清洗、退火与焊接	(110)
4.3.2 热电偶的分度方法	(113)
4.3.3 热电偶的传递系统及其误差	(120)
4.4 热电偶的使用及其误差	(121)
4.4.1 热电偶参考端温度	(121)
4.4.2 热电偶的测量电路及其误差	(129)
4.4.3 热电偶的劣化	(133)
第五章 辐射温度计	(137)
5.1 辐射测温基础	(137)
5.1.1 热辐射及其度量	(137)
5.1.2 物体的热辐射与黑体辐射的关系	(138)
5.1.3 绝对黑体的辐射定律	(139)
5.1.4 亮度温度和辐射温度	(141)

5.1.5 辐射温度计的种类	(142)
5.2 光学高温计	(142)
5.2.1 光学高温计的原理与构造	(142)
5.2.2 光学高温计各部件的作用	(145)
5.2.3 光学高温计的使用	(149)
5.2.4 光学高温计的检定	(152)
5.3 温度灯	(155)
5.3.1 温度灯的用途与结构	(155)
5.3.2 温度灯的使用	(156)
5.4 全辐射温度计	(157)
5.4.1 全辐射温度计的工作原理	(157)
5.4.2 WFT-202 型全辐射温度计的结构	(158)
5.4.3 WFT-202 型全辐射温度计的使用	(161)
5.4.4 辐射感温器的检定	(164)
第六章 温度测量显示仪表	(167)
6.1 动圈式仪表	(167)
6.1.1 动圈式仪表测量机构的工作原理	(167)
6.1.2 动圈测量机构的组成	(169)
6.1.3 测量电路	(172)
6.1.4 位式调节线路	(174)
6.1.5 动圈仪表的检定	(178)
6.1.6 动圈仪表常见故障与判断	(186)
6.1.7 动圈仪表的使用	(187)
6.2 电子自动平衡显示仪表	(193)
6.2.1 电子电位差计的工作原理	(194)
6.2.2 XWC型电子电位差计的测量电路	(194)
6.2.3 JF-12型晶体管放大器概述	(201)
6.2.4 电子电位差计的检定	(209)
6.2.5 电子电位差计常见故障与判断	(215)
6.2.6 电子电位差计的使用	(217)
6.2.7 电子平衡电桥	(220)
第七章 检定设备	(224)

7.1 直流标准仪器	(224)
7.1.1 标准电池	(224)
7.1.2 检流计	(225)
7.1.3 直流电位差计	(228)
7.1.4 标准电阻和电阻箱	(235)
7.2 恒温装置	(237)
7.2.1 水三相点瓶	(237)
7.2.2 冰点器、液体恒温槽和管形检定炉	(239)
7.2.3 恒温装置的温场测试	(243)
第八章 测温技术	(248)
8.1 概述	(248)
8.2 温度测量方法	(251)
8.2.1 表面温度的测量	(251)
8.2.2 运动、旋转物体表面温度的测量	(256)
8.2.3 炉内温度的测量	(259)
8.2.4 液体温度的测量	(263)
8.2.5 气体温度的测量	(264)
参考资料	(267)

第一章 温度和温标

1.1 温度

提到温度，就会给人以冷热的感觉，比方说，天气热了，就说气温高；冷了，就说气温低。因此，自然会得到这样的结论：温度是物体冷热程度的表示。

但是，这种定义是不科学的，也不够严密。其一，凭主观感觉来判断温度的高低容易出错。例如，厂房中的一个木柄铁锤，尽管锤头和木柄具有相同的温度，但由于锤头比木柄传热快，所以人们就会感到锤头比木柄凉，或说温度低。其二，科学技术的发展推动着测温技术向超高温和超低温延伸，人们已无法单凭感觉来判断温度的高低了。这就更需要对温度作出严格的、科学的定义。

我们在工作或生活中，经常会遇到这样的情况，把冷热不同（或温度高低不一）的两个物体相接触，冷的物体会逐渐变热，热的物体会逐渐变冷，过了一段时间，两个物体的冷热程度完全一致，我们说它们的温度一样了，这时的状态称为热平衡态。由此可以说，一切处于热平衡态的物体都具有相同的温度。

再例如，分别在一杯热水和一杯冷水中滴入一滴墨水，会发现墨滴在热水中比在冷水中散的快，这是由于热水中分子运动（称布朗运动）速度快的结果，并且可以看到，液体的温度越高，分子的运动速度越快。由此可见，温度是物体内分子运动程度（称为内能）的反映，是一个描述物质状态

——热力学性能的量,称为物理量。比方说,烧开的水,由液体变为蒸气,此时,它的温度是 100°C (在标准状态下);冬天的铁轨比夏天时短了一点,这是物体的热胀冷缩性质等等。

综上所述,温度是物体冷热程度的表示,是描述物质状态、性能的一个重要的物理量。从物理学角度来讲,应严格称为热力学温度,不过根据习惯,今后除要特别说明外,还是统称为温度。

热力学温度是国际单位制规定的七个基本单位之一,这七个基本单位所表示的物理量相互是独立的,见表1—1。热力学温度的单位叫开尔文,简称为开,符号 K 。除了以开尔文表示的热力学温度外,也使用按式 $t = T - 273.15\text{K}$ 所定义的摄氏温度,式中 t 为摄氏温度, T 为热力学温度。摄氏温度用摄氏度表示,符号为 $^{\circ}\text{C}$,详见下节。

表 1—1 国际单位制的基本单位

物 理 量	单 位 名 称	简 写	
		中 文	国 际
长度	米	米	m
质量	千克(公斤)	千克(公斤)	kg
时间	秒	秒	s
电流强度	安培	安	A
热力学温度	开尔文	开	K
物质的量	摩尔	摩	mol
光强度	坎德拉	坎	cd

温度虽是一个重要的物理量,但却不能直接进行测量,而只能借助于随温度变化的其他物理量的变化间接地测量,例如物体的体积、导体的电阻等,即根据前述热平衡的原理,选择一物体与被测物体的温度相等,通过所选物体物理量的测量,定量地给出被测物体的温度数值。所选物体称为温度计,根据其作用原理,可有各种名称的温度计,例如根

据物体的热膨胀制成的液体温度计，根据导体的电阻变化制成的电阻温度计等等。可以说，凡是用来测量温度的仪器都叫做温度计。

1.2 温 标

任何一支温度计，在用来测量温度之前，要预先按照一定的规则对它进行刻度，于是必须规定一个量度温度的标尺，称为温标，也有人把它叫温度标准。

温标是温度的数值表示法，它规定了温度的读数起点（零点）和测温的基本单位（开尔文）。温标的种类很多，本文仅介绍属于经验温标的华氏温标和摄氏温标，以及以热力学理论为基础的热力学温标和便于实测测量的国际实用温标。

1.2.1 经验温标

温度是度量冷热程度的一个物理量，用任何一种测温物质随温度变化的任意一个性质都可以去定义温标，就是说，人们可以根据自己的需要或经验来定义温标，这种带有人为性质的温标称为经验温标。历史上曾出现过各种温标，如华氏温标、列氏温标和摄氏温标等。但应用较广、影响较大的是华氏温标和摄氏温标。

(1) 华氏温标 ($^{\circ}\text{F}$)

早在 1714 年德国科学家华伦海脱改进了玻璃水银温度计，并建立了华氏温标，单位是华氏度，符号为 $^{\circ}\text{F}$ 。该温标规定在标准大气压下，冰的融点为 32°F ，水的沸点为 212°F ，中间分为 180 等分，每一等分为一华氏度。这种温标在欧美一些国家用的较多。

(2) 摄氏温标 ($^{\circ}\text{C}$)

摄氏温标是在 1742 年瑞典科学家摄氏提出的百度温标。

他是把标准大气压下冰的融点定为零度,水的沸点定为100度的一种温标。在零度到100度之间划分为100等分,每一等分为一摄氏度,符号为 $^{\circ}\text{C}$ 。这些数值刻在玻璃水银温度计上,以此作为标准仪器。摄氏温标是最通用的温标。

摄氏温标与华氏温标的关系为

$$n^{\circ}\text{C} = (1.8n + 32)^{\circ}\text{F}$$

式中: n 为摄氏温度的度数。

当 $n = 0$ 时, 华氏为 32°F , $n = 100$ 时, 华氏为 212°F 。

经验温标有两个明显的缺点,一是温标的定义有很大的随意性。温标的数值与选用的标准温度计密切相关,用不同牌号的玻璃,不同纯度的水银制成的温度计由于热膨胀大小不一,因而除了在 0°C 、 100°C 两点一致外,其他各点均不相符。其次,经验温标定义范围有限,总离不开一种特定的物质,于是由此而定的温度计使用范围就受到限制,水银温度计的上限受玻璃软化和水银沸点的影响,下限又受水银凝固点的影响,所以水银温度计通常使用范围仅为 -30°C — $+300^{\circ}\text{C}$ 。即使向水银温度计内充以高达70个大气压的惰性气体,其使用温度也不能超过 700°C 。因此用经验温标来计量温度,势必造成混乱。为了适应生产和科学实验的需要,应该建立一种与测温物质无关且有理论基础的、统一的温标,这就是下节所要叙述的热力学温标。

1.2.2 热力学温标

由上一节可知,为了避免经验温标的缺陷,统一温度的量值,就要选择一种通用的、与测温物质性质无关的温标,显然,这是一种理想性的温标,或者说是一种绝对温标,它所确定的温度称为绝对温度。在物理学中,绝对温标建立的理论基础是热力学有关定律,所以通常称为热力学温标。由于热力学温标是英国物理学家开尔文首先提出来的,故热力

学温标又称为开尔文温标。它规定，物质的分子运动停止（即没有热量存在）时的温度为绝对零度，以此作为热力学温标的起点——零度。

热力学温标是用理想气体温度计来实现的，所谓理想气体，是说这种气体分子本身的大小比起分子间（平均）距离要小得多，而且在运动过程中绝大多数时间不同其它分子相互作用。

理想气体的性能遵从一定的规律，即服从下列状态方程：

$$\begin{aligned}\frac{P_1 V_1}{T_1} &= \frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_3 V_3}{T_3} = \dots\dots \\ &= \frac{PV}{T} = \text{恒量}\end{aligned}\quad (1-1)$$

式中， P_1 、 V_1 和 T_1 ， P_2 、 V_2 和 T_2 ……分别是理想气体在状态 I、II……时的压力、体积和温度。式（1—1）说明，一定质量的气体，它的压力和体积的乘积与绝对温度的比，在状态变化中始终保持不变。

我们令体积 V 保持不变，根据（1—1）就有： $P_1/T_1 = P_2/T_2$ ，或者写成：

$$PV = RT \quad (1-2)$$

式中的 R 即是式（1—1）中的恒量，称为普适常数。（1—2）就是物理学中有名的查理定律。式（1—2）说明，一定质量的气体，在体积不变时，气体的压力与绝对温度成正比，这样，我们测出压力 P ，就能求得气体的温度 T 了，定容气体温度计就是根据这个原理制成的。由此我们可以测出热力学温度，从而实现热力学温标。

定容气体温度计的示意图如图 1-1 所示。当充满气体的温包 A 温度发生变化时，气体的体积发生变化，此时，上、

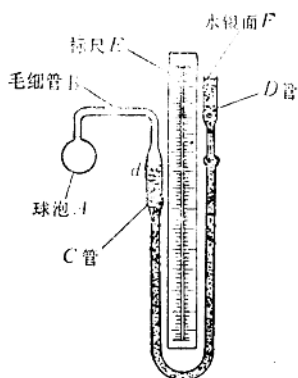


图 1-1 定容气体温度计

下移动管 D ，使 C 管内水银始终保持在 d 点处，于是由标尺 E 上读出 C 、 D 两管水银面的压差，加上大气压示值就得到温包 A 内的压力，于是通过式(1—2)即可求得温度 T 了。

然而，上述的理想气体实际上是不存在的，我们只能用与理想气体相近的实际气体，如氢、氦和氮等，尽管

如此，当要求准确测量时，还必须引入温包热胀冷缩时体积微小变化和实际气体偏差理想气体的修正等，而且准确度要求越高，修正项就越多，越复杂。因此气体温度计装置庞大、复杂，技术难度较大，价格昂贵，所以准确度虽高，但使用不便，目前世界上只有少数几个国家研制成气体温度计。为了克服气体温度计的缺点，方便实际测量，且又能保证精度，得到大家的公认，于是世界上一些国家协商，决定采用一个国际协议性温标，称为国际温标，使其确定的温度尽可能接近热力学温度。

1927年第七届国际计量大会（曾称国际权度大会）决定采用的第一个国际温标称为1927年国际温标。随着科学技术的发展，国际温标也几经修订和补充，内容日益完善，它所定义的热力学温度也日益准确。继1927年国际温标（简称为ITS-27）之后，又有1948年国际温标（ITS-48），1960年第十一届国际计量大会决定将国际温标改为国际实用温标，

并对 ITS-48 做了较大修订。这届大会通过的温标全称叫做 1948 年国际实用温标 (1960 年修订版), 简记为 IPTS-48 (1960)。

我们目前使用的是 1968 年国际实用温标 (IPTS-68) 及其 1975 年修订版, 记做 IPTS-68 (1975)。

1.2.3 国际实用温标

(1) 1968 年国际实用温标

a. 简介

热力学温度是基本温度, 符号是 T , 其单位是开尔文, 符号为 K。开尔文一度等于水三相点热力学温度的 $1/273.16^{[1]}$ 。

摄氏温度 (符号 t) 定义为:

$$t = T - T_0 \quad (1-3)$$

式中 $T_0 = 273.15\text{K}$ 。用来表示摄氏温度的单位是摄氏度, 符号是 $^{\circ}\text{C}$ 。一摄氏度就等于一开尔文。

用 1968 年国际实用温标 (IPTS-68) 所测定的温度可紧密地接近热力学温度, 其偏离值是在目前测定准确度的极限之内。

1968 年国际实用温标用 T_{98} 和 t_{98} 来分别表示国际实用开尔文温度和国际实用摄氏温度。 T_{98} 和 t_{98} 的关系是:

$$t_{98} = T_{98} - 273.15\text{K} \quad (1-4)$$

T_{98} 和 t_{98} 的单位同热力学温度 T 和摄氏温度 t 一样仍用开尔文 (符号 K) 和摄氏度 (符号 $^{\circ}\text{C}$)。

1968 年国际实用温标是国际计量委员会根据第十三届国际计量大会决议给它的权力而在 1968 年开会时所采用的。它代替 1948 年国际实用温标 (1960 年修正版), 即 IPTS-48 (1960)。

b. 1968 年国际实用温标 (IPTS-68) 的定义*。

(a) IPTS-68 的原则和固定点的定义

IPTS-68 是以一些可复现的平衡态 (所定义的固定点) 温度的给定值及在这些温度上分度的标准仪器作为基础的。固定点温度间的内插是根据公式, 这公式建立了标准仪器示值和国际实用温标值间的关系。

所定义的固定点是利用纯物质各相间可复现的平衡状态建立起来的温度点。表1—2给出这些平衡态和它们给定的国际实用温度值。

用于13.81K—630.74℃的标准仪器是铂电阻温度计。温度计电阻丝必须是无应变, 退火后的纯铂丝。电阻比 $W(T_{98})$ 定义为:

$$W(T_{98}) = R(T_{98})/R_0 \quad (1-5)$$

式中 R_0 是0℃电阻, 在 $T_{98} = 373.15\text{K}$ 时不应小于1.39250。在0℃以下, 温度计的电阻-温度关系是从一参考函数和特定的偏差函数找出。从0℃—630.74℃的电阻-温度关系可由两个多项式提供。

用于630.74℃—1064.43℃的标准仪器是铂铑 (铑10%)—铂热电偶, 它的电动势-温度关系是由一个二次方程式表示。

在1337.58K (1064.43℃) 以上, 1968 年国际实用温标由普朗克定律定义。

(b) 1968年国际实用温标在不同温度范围里的定义。

甲、13.81K—273.15K范围

从13.81K—273.15K, 温度 T_{98} 由下式来确定:

$$W(T_{98}) = W_{CCT-98}(T_{98}) + \Delta W(T_{98}) \quad (1-6)$$

* 在本教材中, 一般在0℃以下用开尔文温度, 在0℃以上用摄氏温度, 这样可以避免使用负值而和习惯使用一致。