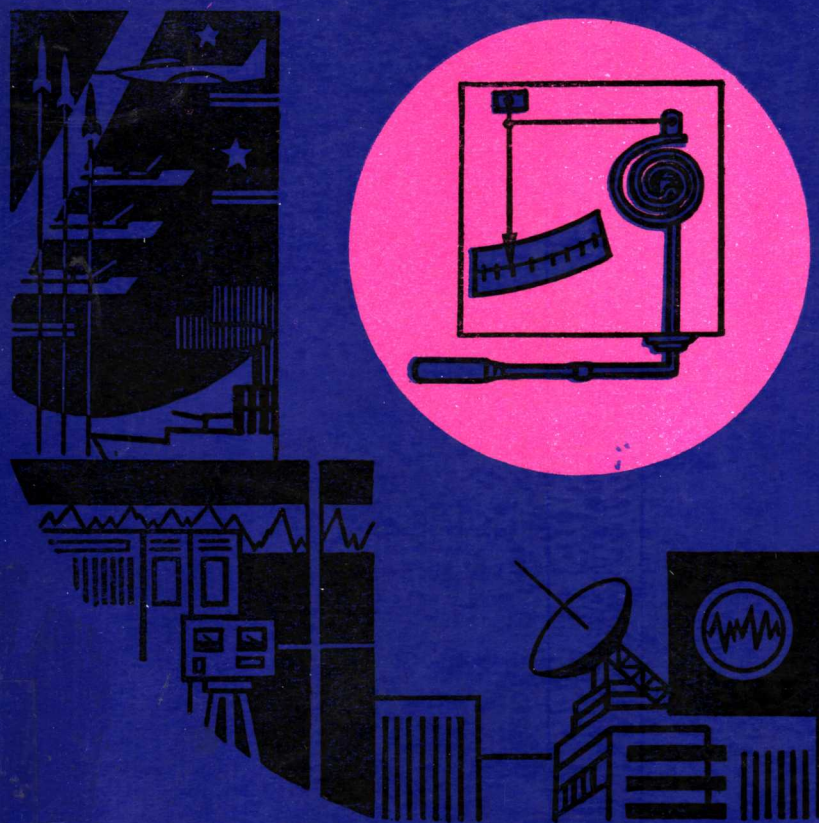


计量中专试用教材

温度计量

潘圣铭 茆冠华 编



中国计量出版社

计量中专试用教材

温 度 计 量

潘圣铭 茆冠华 编

中国计量出版社

内 容 提 要

本书系“计量中专试用教材”之一，主要讲述温度计量、测试和检定的基础知识以及各种计量仪器的应用等。全书共分七章，第一章讲温度与温标；第二章，膨胀式温度计；第三章，电阻温度计；第四章，热电偶；第五章，辐射式温度计；第六章，动圈显示仪表；第七章，电子自动平衡式显示仪表。

本书主要供培训计量工作人员使用，也可作为其他专业的培训教材，以及从事温度计量、测试和控制的工程技术人员和高等工业院校有关专业师生参考。

温 度 计 量

潘圣铭 茹冠华 编

责任编辑 赛绪昕

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

河北省永清县第一胶印厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 787×1092/16 印张 28.5 字数 739 千字

1991年4月第1版 1991年4月第1次印刷

印数 1—7000

ISBN 7-5026-0360-3/TB·295

定价：16.80 元

出版前言

国家技术监督局是国务院统一管理和组织协调全国技术监督工作的职能部门，负责管理全国标准化、计量、质量监督工作，并对质量管理进行宏观指导。

随着技术监督事业的迅速发展，当前迫切需要大量的各级、各类计量专门人才。举办各种形式的计量中等教育，对于提高在职计量人员的素质、改善计量队伍的结构，培养一批计量队伍的新生力量，都具有重要意义，并将对计量事业的发展产生深远影响。

近几年来，由于一批计量中专学校的创办，各种形式的计量中等教育如委托或联合办计量中专班、计量函授中专、计量职业高中、计量中专的专业证书培训等，也在各地陆续开展起来，但是缺少教材已成为计量中等教育迫切需要解决的重大问题。因此我们根据国家技术监督局的决定，组织编写了一套计量中专教材，其中包括：几何量、热工、力学、电磁学计量四个专业的部分专业基础课和专业课试用教材，争取在1988年至1991年内出齐。

本书是委托山东省标准计量中等专业学校组织编写的温度计量专业的专业课教材。

计量教育事业基础十分薄弱，组织编写行业性教材还是第一次，基本条件和经验都不足，因此，这套教材的编写工作是在时间紧、难度大的情况下进行的，虽然经过多方面努力，仍然存在很多不足之处甚至于错误，我们拟在试用过程中听取各方面意见，于适当时机再次组织修改。

另外，这套教材主要是根据三年制全脱产的计量中等专业教育的需要编写的。在目前情况下，要对各种形式的计量中等教育都编出相应的教材难以做到。因此，在编写过程中，也一定程度地考虑了适用的多样性。其他形式的计量中等教育可参考本套教材的基本内容，适当调整使用。

在本教材的编写、审议过程中，得到了中国计量出版社、中国计量科学研究院、中国测试技术研究院、中国计量学院、中国计量测试学会，河北、四川、山东、吉林省标准计量局及有关的高等院校、省市计量部门、科研单位、大中型企业的大力支持，在此，谨表示衷心感谢。

国家技术监督局宣传教育司

1988.8

编 者 的 话

《温度计量》是计量中专热工计量专业的主要教材之一。本教材讲授约需200学时，它的基础知识包括物理学，电工基础，电子学等方面。

本教材是受国家计量局教育处的委托，在山东省计量测试技术研究所编写的《温度计量》讲义的基础上，根据教学大纲的要求进一步充实编写而成。在编写过程中，我们参阅了赵琪、戴乐山、凌善康、崔均哲、石质彦、李吉林、游伯坤、詹宝玛、邢书田等同志和中国计量科学院，航空航天部304所等单位编写的有关著作，译文和研究报告等资料，他们的工作为我们提供了许多宝贵的资料。在此，我们谨向这些同志和单位表示衷心的感谢！

师克宽、霍宪义、陈立信、窦绪昕、马维祺、邢书田、周嘉龄、张锦霞、隋焕开、杨旭、朱肖夫等教授，专家对本书提出了许多宝贵的意见，在此也向他们表示衷心感谢！

清华大学的师克宽教授对本书进行了认真细致的审阅，并提出了许多宝贵的修改意见；原国家计量局教育处的安国工程师也参与了本书的审定工作。

本书由二人合编，茹冠华同志编写绪论、一、二、三章，潘圣铭同志编写第四、五、六、七章，最后由潘圣铭同志统稿。

本书定稿时，1990年国际温标尚未公布，故在正文中未编入该温标，但在本书排印过程中新温标正式公布了，为适应教学和读者的需要，现将该温标的内容列于书末附录中，以供参考。

由于时间仓促，作者水平有限，缺少经验，书中难免存在不少缺点和错误，敬请读者及有关专家和授课教师批评指正。

编 者

1988年8月

目 录

绪论.....	(1)
第一章 温度与温标.....	(5)
1.1 温度.....	(5)
1.2 温标的建立.....	(6)
1.3 经验温标.....	(7)
1.4 热力学温标.....	(8)
1.5 理想气体温标.....	(9)
1.6 实现热力学温标的方法及仪器.....	(10)
1.7 国际温标.....	(14)
1.8 “1968年国际实用温标”的主要内容.....	(15)
1.9 现行温标的不足和新温标的展望.....	(18)
1.10 温标的传递系统.....	(20)
第二章 膨胀式温度计.....	(24)
2.1 玻璃液体温度计.....	(24)
2.2 标准水银温度计.....	(28)
2.3 工作用玻璃液体温度计.....	(29)
2.4 贝克曼温度计.....	(32)
2.5 玻璃液体温度计的使用和维修.....	(33)
2.6 压力式温度计.....	(36)
2.7 双金属温度计.....	(40)
2.8 膨胀式温度计的检定.....	(43)
2.9 检定设备的性能和使用方法.....	(52)
第三章 电阻温度计.....	(59)
3.1 电阻温度计的测温原理.....	(59)
3.2 电阻温度计感温元件的基本构造和材料要求.....	(60)
3.3 标准铂电阻温度计.....	(62)
3.4 铑铁电阻温度计和锗电阻温度计.....	(68)
3.5 工业热电阻.....	(69)
3.6 使用电阻温度计测温时应注意的几个问题.....	(72)
3.7 复现固定点的装置.....	(73)
第四章 热电偶.....	(78)
4.1 热电偶的测温原理.....	(78)

4.2 热电偶回路定律及其应用	(86)
4.3 热电偶材料	(95)
4.4 热电偶测量端的焊接	(108)
4.5 绝缘材料和保护管材料	(111)
4.6 热电偶类型	(115)
4.7 热电偶测温误差	(142)
4.8 热电偶分度与检定	(168)
第五章 辐射式温度计	(192)
5.1 辐射测温概述	(192)
5.2 热辐射基本概念	(193)
5.3 热辐射基本定律	(202)
5.4 黑体辐射源	(209)
5.5 温度灯	(213)
5.6 光学高温计	(222)
5.7 JGD-I 型精密光电高温计	(248)
5.8 光电高温比较仪	(256)
5.9 温度灯和光学高温计的检定	(262)
5.10 辐射感温器	(271)
5.11 部分辐射温度计	(281)
5.12 光电比色高温计	(288)
5.13 新型辐射温度计	(295)
5.14 辐射温度计的应用	(301)
5.15 工作用辐射感温器和辐射温度计的检定	(304)
5.16 辐射温标的复制、传递与误差分析	(310)
第六章 XCZ 型动圈显示仪表	(334)
6.1 动圈测量机构	(334)
6.2 配热电偶用XC系列仪表的测量线路	(337)
6.3 配热电阻的测量线路	(343)
6.4 稳压电源	(348)
6.5 XC 系列仪表在热工测量中的应用	(353)
6.6 XF 系列动圈仪表	(355)
6.7 仪表的调修	(357)
6.8 动圈仪表的型号、测量范围及主要技术指标	(361)
6.9 XCZ 动圈仪表的检定	(363)
第七章 电子自动平衡式显示仪表	(371)
7.1 概述	(371)
7.2 电子电位差计	(372)
7.3 电子自动平衡电桥	(383)
7.4 稳压电源的计算	(394)
7.5 晶体管放大器	(396)

7.6 微电机.....	(412)
7.7 自动平衡显示仪表的抗干扰措施.....	(415)
7.8 自动平衡显示仪表的故障检查.....	(420)
7.9 自动平衡显示仪表的发展动向.....	(429)
7.10 自动平衡显示仪表的检定.....	(432)
附录 1 1990 年国际温标 (ITS-90)	(438)
附录 2 差值曲线拟合法.....	(447)

结 论

一、温度计量学简介

温度是一个很重要的物理量，是国际单位制中 7 个基本单位之一。

在自然界中，任何物体的物理和化学性质都与温度有着密切的联系。比如，水因温度降低而变成冰，又因温度升高而变为水蒸气，铁因温度升高而化为铁水，又因温度降低而成为铁块。至于水的温度要降低到什么程度才会结冰，铁的温度要升高到何种程度才能化为铁水，这就需要对温度进行测量。

如何对温度进行测量？这正是本书所要讲述的内容——温度计量学，或称测温学。

测温学是计量学的一个重要分支，主要研究温度测量的理论和方法。这就包括对各种测温方法与测温仪器的研究，对温标的定义及其实现方法的研究，以及对各种温度计的检定方法和检定装置的研究。另外，还要研究在特殊环境条件下的测温技术。

由于温度是工农业生产和科学实验及人类日常生活中最常用、最重要的基本参数之一，因此，搞好温度计量对保证产品的质量和产量，搞好安全生产，提高生产效率，降低原材料消耗等许多方面都有着十分重要的作用。

例如，在冶金工业中，金属冶炼的整个过程均要求控温和测温。出钢温度和出铁温度掌握得是否合适，对于钢锭或生铁铸件的质量将产生很大的影响。若能准确测量和控制冶炼过程中的热工参数和工作状态，就能保证质量，增加产量，降低能耗。如果温度掌握不好，测量不准，则不但整批产品质量不好，还可能出现废品。

又如，在合成氨的反应过程中，要求把温度控制在 $500^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。若温度过高，会烧坏触媒剂，而温度过低又会降低产量，这样就使得反应过程中的温度精确控制成为一个关键问题。

还有，对形状记忆合金的应用，也要有严格的温度控制。当温度低于某值时，合金组织开始发生转变，而一旦加热超过某临界温度值，则会发生逆转变。因此，温度控制得是否准确，将直接影响记忆合金的变形及回复力。

温度计量在工业生产中的应用较为广泛，在农业生产中，也日益显示出它的作用。在农村，测温仪表的使用日趋广泛，象薄膜育秧，种子防病处理以及粮食保管等方面，都需要对温度进行测量和控制。

当前，在国际上的一个迫切的研究课题——自然环境监测的问题上，温度计量也占据着一个显著的位置。对全球温度平均值和地面温度分布进行监测，可为各项研究工作提供有效数据。

随着科学的发展，超高温和超低温技术的应用日趋广泛，尤其是低温超导电子学这门方兴未艾的新兴学科，更引起了各国科学家的极大兴趣。我国科学家在这方面的研究也进展较快，取得了可喜的成绩。研究超高温等离子体和超低温的测量技术，也是计量工作者的任

务。

综上所述,可以看出温度计量工作在国民经济各领域占有重要的地位,是人们从事各种生产活动和科学实验所不可缺少的。

二、温度计量学发展简介

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。

测温学的发展与温度计的出现、改进以及温标的演变是密切相关的。

一般说来,国际科技界普遍把制造第一支温度计的功劳归于意大利的科学家伽利略。1592年,他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。严格地说,它不应属于温度计的范畴,只能算是验温器一类的器械。

大约在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无直接关系的温度计。它的出现使人类在冷热现象的探索中迈出了重要的一步。这种温度计的重要意义还在于温度计杆上刻有等分间隔的标志,它的测量范围为50“度”。

1714年,德国的华伦海脱第一个制造了性能可靠的水银温度计。他在1708~1724年间,研究了一种新温标。最初,丹麦天文学家罗麦向他建议使用两个固定点:一个是冰点,另一个是体温,冰点的温度值为体温的三分之一。华氏接受了这一建议,把体温定为96“度”,冰点定为32“度”。该温标于1724年公布。华氏用这种温标测定了很多种液体的沸点,测得水的沸点为212“度”。以后,华氏就将温标的两个固定点改为冰点(32°F)和水沸点(212°F)。这就是众所周知的华氏温标。

第一个提出百度温标的是瑞典学者聂休斯。1742年,他建立了百度温标,采用的固定点也是冰点和水沸点,但他把冰点定为100“度”,而把水沸点定为0“度”,中间等分100格。后来,他的同学斯托玛把两个固定点对换,即把冰点定为0“度”,水沸点定为100“度”。这样就符合了人们的习惯。

与华氏同时代的法国科学家阿蒙顿,对测温学的发展也作出了杰出的贡献。他在巴黎测得最热的夏天和最冷的冬天的温度比值接近于6比5,同时认为:“与气体的零压强相应的温度必然是最低的温度。”这一想法很重要,他实际上提出了绝对温度的概念,也就是“绝对零度”的问题。

从18世纪早期开始,测温学的历史沿着华氏和阿蒙顿所开创的两条途径前进。一方面,发展基于任意固定点的更精细的实用温标,诸如华氏、摄氏温标等;同时,开发更好的实用温度计。1871年,西门子发现了铂电阻测温原理,制造出第一支铂电阻温度计。1887年,卡伦德尔从事一系列电阻-温度关系式的研究,得到了著名的卡伦德尔公式,并改进了铂电阻温度计的工艺和研制了测温电桥。

另一方面,同时发展气体温度计和热力学。查理·盖·吕萨克等研究了各种气体的性质,得出一个重要结论:“各种气体的热膨胀系数都非常接近。”这一结论为理想气体温标的建立提供了理论基础。

1848年,开尔文提出了一种与测温物质无关的温标,称为热力学温标,也称开氏温标。此后至今,在测温学领域都以热力学温标作为最基本的温标,从理论上建立了热力学温标,这是开尔文对测温学所作出的巨大贡献。

19世纪末,随着工业的发展和国际间贸易的增长,迫切需要解决国际间量值的统一问

题。在法国政府的倡议下,欧美等14国于1875年在巴黎签订了米制公约,并于巴黎西北郊色佛尔成立了国际权度局。在国际权度局最初活动中,温度标准虽然也是重要的课题之一,然而仅仅是为了测定米原器的膨胀系数和水的密度与温度的关系,而不是作为一个基本量而进行研究。1887年,国际权度委员会〔CIPM〕通过了如下决议:“国际权度委员会采纳氢温度计的百度温标作为标准温标,百度温标的固定点为冰融点(0°C)和一个标准大气压下的蒸馏水沸点(100°C)。氢的起始压强定为1米汞柱,亦就是 $1\,000/760=1.315\,8$ 标准大气压。”〔CIPM1888〕。这就是最初的国际统一温标。

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的温标。

1911年,英、美、德等国的国家研究所所长协商研究了新的、统一的温标。由于第一次世界大战,推迟了原计划。战后,于1927年第7次国际权度大会上,经过磋商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〕,它是一个专门讨论国际温标的修订和改进,同时又向国际权度委员会提出各项建议的专家机构。1939年,在第一次CCT会议上,曾准备了一个ITS-27的修订本并拟提交权度委员会讨论。由于第二次世界大战,推迟了这项工作。直到1948年在第9次国际权度大会上才通过了1948年国际温标〔ITS-48〕。与前温标相比,提高了复现性,并与热力学温标更趋一致。

1954年,第10次国际权度大会通过了一项重要决议,确定水的三相点为热力学温标的唯一固定点。

1960年,第11次国际权度大会对ITS-48进行了修订,并定名为1948国际实用温标〔IPTS-48〕

经过第6次(1962年),第7次(1964年),和第8次(1967年)CCT会议的研究讨论,于1968年通过了1968年国际实用温标〔IPTS-68〕。现行温标是〔IPTS-68〕1975年修订版。

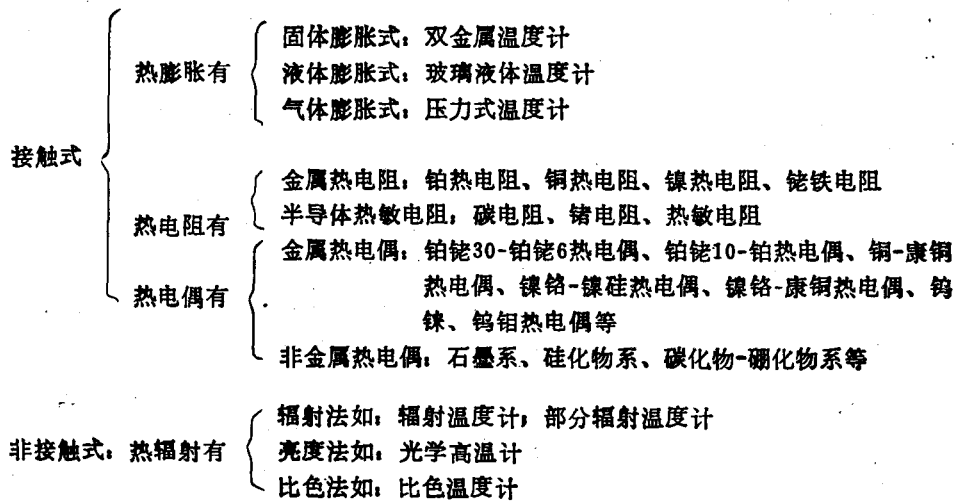
三、测温方法及测量仪器的分类

在实际测温中,测量方法一般被分为两大类,即接触式测温和非接触式测温。

所谓接触式测温,就是温度计的传感器直接与被测介质接触,使被测介质与温度传感器充分地进行热交换后达到热平衡而完成温度的测量。

非接触测温即温度传感器(或测温仪表)不直接与被测物体接触,而是利用物体的热辐射(或其他特性),通过对辐射能量(或亮度)的检测实现测温。

根据测温方法,可将各种温度计大体分为接触式测温仪表和非接触式测温仪表。见下表
上述各类温度计由于它们的结构和工作原理不同,在各种应用场合显示了各自的优缺点。人们在使用时,应根据测试现场和被测对象的特点及状态,选用合适的温度计。



第一章 温度与温标

1.1 温度

在一般情况下,描述一个系统的状态,需用几何参量、力学参量、化学参量和电磁参量等四个参量。究竟用哪几个参量才能对系统的状态作完全的描述,这取决于系统本身的性质。但上面提到的四类参量都不能直接表征系统的冷热程度。因此,为了完全描述热力学系统的热平衡状态,必须引入一个热力学所特有的状态参量,这就是温度。

温度对于人们并不陌生,人们在工作 and 日常生活中,经常要与温度有所接触。提起温度,人们便会自然联想起许多冷和热的现象。比如,天气热了,就说气温高,冷了,就说气温低。在民间还流传着“冷在三九,热在三伏”的谚语。人们习惯于用自己的感官去感觉冷和热。把手放在冰块上会感觉到冷,而放在热水中又会感觉到热。有人病了,别人便会用手搭在病人的额头上,以判断一下病人是否“发烧”。当然,这种用自身皮肤的表面温度与外界温度比较的方法,常常带来错误的结论。比如,当冬天乘公共汽车时,人们总是感到车厢里的铁扶手比木扶手要冷一些。其实,两者均处于相同的环境温度中,其冷热的程度是一样的,只是由于铁热传导的性能要好,传热较快,故令人感到冷。

显然,要确定物体的冷热程度,只凭人体自身的感觉是不行的,必须有一个能够客观地、直接地反映和表征物体冷热程度的物理量,这个物理量就是温度。可以这样来定义温度:温度是表征物体冷热程度的物理量。

当然,对温度的概念仅有这种建立在主观感觉基础上的、定性地了解是不够的,还必须进一步为它建立起严格的科学的定义。

根据热力学第零定律可知:处在同一热平衡状态的所有系统都具有一个共同的宏观特性,这一宏观特性,就定义为温度。因此,应当这样说: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。温度是决定一系统是否与其他系统处于热平衡的条件,它的特征就在于一切互为热平衡的系统都具有相同的温度。

对温度来说,若离开了热平衡态,它本身就失去了意义,因为对非平衡态是无温度可言的。

应当指出,这样定义温度与前面对温度的解释并不矛盾。因为根据日常经验,当两个冷热程度不同的物体相接触后,最终将趋向一致,即具有相同的温度。若用温度计作为一个系统使它与待测物体相接触,达到热平衡后,温度计所显示的正是人们要知道的温度,即该物体的冷热程度。“一切互为热平衡的物体都具有相同的温度,”这正是温度计测量温度的理论基础。

分子运动论以微观的角度来观察,认为温度是与大量分子的平均动能相联系,它标志着

物体内部分子无规则运动的剧烈程度。

实验指出：分子无规则运动的剧烈程度与温度有关，温度越高，分子的无规则运动就越剧烈。因为分子的无规则运动与物体的温度有关，所以，通常把这种运动叫做分子的热运动。

由于温度是与大量分子的平均动能相联系的，所以温度是大量分子热运动的宏观表现，对于单个的分子，说它具有温度是没有意义的。

必须说明的是，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，人们能够确切地知道物体的长度及重量相加后的结果，却无法想象温度如何直接相加。因此，应该说温度是一个重要的，但又是极其特殊的物理量。唯其特殊，就使得温度的数值表示方法显得复杂。

1.2 温标的建立

当弄清楚了温度的概念之后，还应当把它定量地表示出来。温标就是温度的数值表示法。

所谓建立温标，就是采取一套方法和规则来定义温度的数值。当温标确定之后，表示两个系统之间达到热平衡的标志就是它们具有相同的温度数值。

一般说来，温标的建立应具备以下三个条件：

一、固定点

在通常条件下，物质有三种不同的状态，即气态，液态和固态。这三种状态也被称为三相。相是系统中物理性质均匀的部分，这是物质分子集结的特定形式。在特定的温度和压力下，一种相可以转变为另一种相，称为相变。例如，在不同的规定温度下，水与冰、水与水蒸气的相变等等。

物质在相变的过程中，会呈现二态或三态共存，而温度是恒定不变的。物质不同相之间的可复现的平衡温度称为固定温度点，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数值。

二、测温仪器

固定点被确定后，要选定一种测温物质制成测温仪器，即温度计，作为实现温标的仪器。

在自然界中，许多物质的物理性质随温度的改变而发生变化，正确利用这些性质，就可以制造出不同用途的温度计。例如，利用水银的体积随温度变化而相应变化的特性，制成玻璃水银温度计；利用铂丝的电阻值随温度变化的特性，制成铂电阻温度计等。

三、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。

例如：假定某一测温变量 y 与温度 t 的变化呈简单线性关系。

$$\text{有} \quad y = Kt + C \quad (1-1)$$

式中： K 为比例系数， C 为常数，即初始值。

已知 t_1 、 t_2 为固定点的温度值，则 K 、 C 的值可以这样来确定，

$$\text{根据上式有} \quad y_1 = Kt_1 + C$$

$$y_2 = Kt_2 + C$$

两式相减得 $K = \frac{y_2 - y_1}{t_2 - t_1}$

$$C = y_1 - \left(\frac{y_2 - y_1}{t_2 - t_1} \right) t_1$$

K 和 C 确定之后, 这个线性内插方程就被确定了。

有
$$t = t_1 + \left(\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \right) (t_2 - t_1) \quad (1-2)$$

根据这个内插公式, 就可以通过测量变量 y 来求得任一温度 t 。

当内插公式被确定之后, 一个温标就形成了。

实际上, 测量变量与温度的关系并非都是呈简单线性关系, 相反, 多数都是呈较为复杂的函数关系。

把物质的状态变化与温度的关系看作简单的正比关系, 是经验温标的缺点之一。

1.3 经验温标

所谓经验温标, 就是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。

从17世纪初伽利略制作出第一个测温器到19世纪中叶, 开尔文提出热力学温标以前, 欧洲的许多科学家致力于测温技术的研究, 制出了温度计, 并提出了自己的温标。其中, 在当时影响较大的有华氏和摄氏温标。

华氏和摄氏温标可以通过数学关系式互相换算, 其关系式为

$$t_F = \frac{9}{5} t_C + 32 (^\circ\text{F}) \quad (1-3)$$

$$t_C = \frac{5}{9} (t_F - 32) (^\circ\text{C}) \quad (1-4)$$

华氏和摄氏温标都具有两个固定点, 用水银温度计作为传递仪器。它在测温学的发展中起过重要的作用。但是, 它们共同存在的缺点是明显的。

首先是它们的局限性。因为早期温标的建立都是同某一温度计相联系的, 由于制作温度计的材料和工作物质的限制, 使这些温标所能应用的温度范围非常有限。

第二是温标的定义有很大的随意性。虽然他们都选定冰融点和水沸点作固定点, 但是所定义的温度值却不一样。

还有, 在上述温标中, 温度间隔都是等分的, 这就只能假设温度与工作物质的膨胀关系为线性关系。实际情况并非如此。由于物质的膨胀规律不同, 因此不同的工作物质制成的温度计所显示的示值, 除了两个原始分度点外, 中间各点的示值均有差异。有人用几种不同的温度计在 $0 \sim 100^\circ\text{C}$ 范围内做过实验, 结果证明, 除了 0°C 和 100°C 两点外, 其他温度点都不一致。

早期温标的种类很多, 除了华氏和摄氏温标外, 俄国的罗蒙诺索夫和法国的列卡等人也都独立地研制出了自己的温度计, 并提出了自己的温标。当然, 这些温标也都存在着上述缺点。

由于经验温标存在着严重的缺陷，在当时引起了温度计量方面的混乱，影响了各国贸易的交往和联系。随着工业和科学技术的发展，人们希望能够建立一种与工作物质的性质无关的温标。为此，经过不断地研究，开尔文于1848年提出了热力学温标，也称开氏温标。

1.4 热力学温标

热力学温标是以热力学第二定律为基础的温标，是一种基本的、科学的温标。它与经验温标有着本质的不同，因为它与工作物质的性质无关。

根据卡诺定理的推论可知，工作于两个恒定热源之间的一切可逆卡诺热机的效率与工作物质无关，只与两个热源的温度有关。

$$\text{即} \quad \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (1-5)$$

$$\text{或} \quad 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$\text{因此有} \quad \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$\text{或写为} \quad \frac{T}{T_1} = \frac{Q}{Q_1} \quad (1-6)$$

式中， T 与 T_1 分别为两个热源的温度，而 Q 与 Q_1 则为卡诺热机从两热源吸收的热量，式中的 T 即为开尔文温度。由式(1-6)可知，两个热力学温度^[1]的比值，被定为在这两个温度之间工作的可逆热机与热源所交换的热量的比值。

显然，要确定热力学温标，只给出两个温度的比值是不够的，必须附加另外一个条件，这就是固定点的值。

1954年国际计量大会决定把水三相点的热力学温度规定为273.16K。这样，热力学温标就完全确定了。其单位为开尔文，符号为K，1K即为水三相点热力学温度的 $\frac{1}{273.16}$ 倍。

因其起点在水三相点以下273.16K处，称为绝对零度，故热力学温标也称为绝对热力学温标，或简称绝对温标。

在确定了固定点后，若令 $T_1 = 273.16\text{K}$ ，则根据式(1-6)有

$$T = \frac{Q}{Q_1} 273.16 \quad (1-7)$$

式(1-7)可以被认为是热力学温标的定义式。

当然，因为卡诺循环是一种理想的循环，因而建立在卡诺定理基础上的热力学温标是一种理想的温标。它不能直接用于实际温度的测量。由于世界上既不存在无摩擦的理想热机，也不存在进行无限缓慢的可逆过程，因此，要直接实现热力学温标是不容易的。

注[1]：热力学温度是按热力学原理所确定的温度，是唯一既能统一，又能描述热力学性质和现象的温度。

1.5 理想气体温标

所谓理想气体,是一种假设的理想化的气体,它在宏观上严格遵守理想气体三定律。即玻义耳-马略特定律,盖·吕萨克定律和查理定律。

根据理想气体状态方程很容易导出理想气体温标方程。

由查理定律可得

$$p_1 = p_0 (1 + \alpha_p t) \quad (1-8)$$

式中, α_p 为压强膨胀系数。

若令

$$T = t + \frac{1}{\alpha_p}$$

则

$$p_1 = p_0 \alpha_p T \quad (1-9)$$

即压力与温度成正比。

又由盖·吕萨克定律得

$$V_1 = V_0 (1 + \alpha_v t) \quad (1-10)$$

式中, α_v 为体积膨胀系数。

若令

$$T = t + \frac{1}{\alpha_v}$$

则

$$V_1 = V_0 \alpha_v T \quad (1-11)$$

实验证明,各种气体的 α_p 与 α_v 值都近似相等,即可以看成 $\alpha_p = \alpha_v = \alpha$ 。并且,当气体的压力趋于零时,所有气体的 α 值都近似地等于 $\frac{1}{273.15} \frac{1}{\text{度}}$ 。

设 p_1 、 p_2 分别表示一定质量的气体在温度为 t_1 和 t_2 时的压力,根据式 (1-9) 有

$$p_1 = p_0 \alpha T_1$$

$$p_2 = p_0 \alpha T_2$$

两式相比得

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (1-12)$$

若令 T_2 为水三相点的温度值 $T_{1,1} = 273.16\text{K}$, 则 p_2 即为气体在水三相点温度时的压力 $p_{1,1}$, 由此,式 (1-12) 又可写为

$$T_1 = \frac{p_1}{p_{1,1}} \cdot 273.16 \quad (1-13)$$

同理,根据式 (1-11) 也可得到

$$T_1 = \frac{V_1}{V_{1,1}} \cdot 273.16 \quad (1-14)$$

将式 (1-13) 和 (1-14) 与式 (1-7) 相比较,便可以看出它们在形式上的相同之处。或者说,热力学温标中的两个温度的比值等于理想气体温标中的两个温度的比值。这样,人们就可以利用理想气体的特性来实现热力学温标了。

气体温标的符号也为 T , 其单位和起点与热力学温标是一致的。