

GN

VIRIDIA

# 温度计量

戴乐山 凌善康 编著

# 温 度 计 量

戴乐山 凌善康 编著

中国标准出版社

## 内 容 简 介

本书对温度计量中有关基础知识作了较为系统的阐述。书中的主要内容是讲温度概念、温标的建立、各种现代测温仪器的原理、结构、使用方法以及各温区的测温计算和误差分析。

本书可供有关科技人员和大专学校师生在教学与研究中参考使用。

## 温 度 计 量

戴乐山 赵善康 编著

中国标准出版社出版  
(北京复外三里河)

河北省清苑县赵庄公社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

开本 850×1168 1/32 印张 13 1/2 插页 1 字数 354,000

1984年 1 月第一版 1984年 1 月第一次印刷

印数 1—10,000

书号: 15169·3-231 定价 ~~2.00~~ 元

2.15

科 技 新 书 目

65—183

# 目 录

## 第一章 绪 论

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| § 1.1 测量、计量学 .....    | (1) |
| § 1.2 温度计量的作用 .....   | (2) |
| § 1.3 温度计量学发展简史 ..... | (4) |

## 第二章 温度和温标

|                                         |      |
|-----------------------------------------|------|
| § 2.1 温度 .....                          | (8)  |
| § 2.2 经验温标 .....                        | (10) |
| § 2.3 热力学温标 .....                       | (14) |
| § 2.4 统计物理中的温度概念 .....                  | (16) |
| § 2.5 实现热力学温标的方法 .....                  | (21) |
| § 2.6 国际实用温标 (ITS) .....                | (35) |
| § 2.7 1976年国际暂行0.5~30K温标 (EPT-76) ..... | (46) |

## 第三章 玻璃液体温度计

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| § 3.1 玻璃液体温度计的结构和原理 .....   | (49) |
| § 3.2 标准玻璃水银温度计 .....       | (52) |
| § 3.3 实验室用和工业用玻璃液体温度计 ..... | (54) |
| § 3.4 贝克曼温度计 .....          | (59) |
| § 3.5 玻璃液体温度计的误差来源 .....    | (61) |
| § 3.6 检定设备 .....            | (80) |

## 第四章 电阻温度计

|                            |      |
|----------------------------|------|
| § 4.1 标准铂电阻温度计的结构 .....    | (87) |
| § 4.2 标准铂电阻温度计电阻值的测定 ..... | (91) |

|        |                          |       |
|--------|--------------------------|-------|
| § 4.3  | 铂电阻温度计的性能和使用时应注意的问题····· | (101) |
| § 4.4  | 铂丝的氧化·····               | (106) |
| § 4.5  | 温度值的计算方法·····            | (108) |
| § 4.6  | 分度误差分布的计算方法·····         | (126) |
| § 4.7  | 铑-铁温度计 ·····             | (133) |
| § 4.8  | 锗半导体温度计·····             | (140) |
| § 4.9  | 碳电阻温度计·····              | (153) |
| § 4.10 | 热敏电阻 ·····               | (155) |
| § 4.11 | 半导体二极管温度计 ·····          | (157) |

## 第五章 热 电 偶

|       |                   |       |
|-------|-------------------|-------|
| § 5.1 | 热电偶的测温原理·····     | (158) |
| § 5.2 | 热电偶测温的基本误差来源····· | (173) |
| § 5.3 | 热电偶的种类·····       | (179) |
| § 5.4 | 热电偶的分度和插值方法·····  | (189) |

## 第六章 辐 射 测 温 学

|       |                   |       |
|-------|-------------------|-------|
| § 6.1 | 辐射度学中的基本参量·····   | (197) |
| § 6.2 | 黑体辐射·····         | (202) |
| § 6.3 | 光学高温计·····        | (220) |
| § 6.4 | 光电高温计·····        | (233) |
| § 6.5 | 双色(或多色)光学高温计····· | (241) |

## 第七章 固 定 点

|       |                |       |
|-------|----------------|-------|
| § 7.1 | 基础知识·····      | (244) |
| § 7.2 | 0°C以上固定点 ····· | (255) |
| § 7.3 | 低温固定点·····     | (264) |

## 附 录

|      |                            |       |
|------|----------------------------|-------|
| 附录 1 | 1968年国际实用温标—1975年修订版 ····· | (273) |
|------|----------------------------|-------|

|      |                                                                                                                                                             |       |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 附录 2 | 标准铂电阻温度计 (0~630°C) 函数 .....                                                                                                                                 | (295) |
| 附录 3 | 标准铂电阻温度计 (13~273.15 K) 参考函数<br>数值及其导数表 .....                                                                                                                | (305) |
| 附录 4 | 标准铂10%铑/铂热电偶分度表 (S 型) .....                                                                                                                                 | (322) |
| 附录 5 | 铜/康铜热电偶分度表 (T 型) .....                                                                                                                                      | (342) |
| 附录 6 | 镍铬/镍铝热电偶分度表 (K 型) .....                                                                                                                                     | (350) |
| 附录 7 | 按 IPTS-68 (75 年修订版) 的标准铂 10% 铑/铂<br>热电偶 $e_1\varphi_1(t)$ 、 $e_2\varphi_2(t)$ 、 $e_3\varphi_3(t)$ 数值表<br>(金: 1064.43°C, 银: 961.93°C, 锌: 419.58°C)<br>.....  | (369) |
| 附录 8 | 按 IPTS-68 (75 年修订版) 的标准铂 10% 铑/铂<br>热电偶 $e_1\varphi_1(t)$ 、 $e_2\varphi_2(t)$ 、 $e_3\varphi_3(t)$ 数值表<br>(铜: 1084.88°C, 铈: 630.755°C, 锌: 419.58°C)<br>..... | (395) |
| 参考文献 | .....                                                                                                                                                       | (421) |

# 第一章 绪 论

## § 1.1 测量、计量学

测量（或称度量）是人们认识自然界的一种科学方法。通过各种测量，人们能够从数量上来描述周围的物质世界，揭示自然界存在的规律，推动科学技术的不断前进。

我国古代劳动人民在长期的生产和生活实践中积累了许多有关测量的知识，如布手知尺、迈步定亩、滴水计时等等。在这基础上发展了许多测量长度、容量、重量（度、量、衡）的方法和器具。我国古代的冶金术中，根据颜色来判定冶炼过程的方法，可追溯几千年的历史。《周礼·考工》记载曰：“凡铸金之状，金与锡黑浊之气竭，黄白次之，黄白之气竭，青白次之，青白之气竭，青气次之，然后可铸也。”这里包含有辐射测温学的深刻道理。二千年前，秦始皇统一全国、统一文字，也统一了度量衡，对当时发展生产、繁荣经济和文化有很大的推动作用。我国的计量工作历史的悠久，在国际权度史上堪称首屈一指。

各国伟大科学家均对测量工作予以极大的重视。俄国科学家门捷列夫（Д.И.Менделеев）曾指出：“科学从测量开始……”。英国物理学家汤姆森（William Thomson）说过：“每一件事物，只有当可以测量时，才能认识”。

自然科学发展的历史告诉我们，许多物理现象和物理定律的发现是与精密测量有关的。德国科学家普朗克（Max Planck）在德国技术物理所（PTB）从事热辐射研究中发现了微观运动的量子性，为建立量子论奠定了基础。为了检验英国物理学家洛伦茨（H.A.Lorentz）提出的静止以太假说，迈克尔逊（A.A.Michelson）用了十几年的时间研制出精密的干涉仪，实验结果

证明，并不存在“静止以太”理论要求的“以太风”。爱因斯坦（A. Einstein）深刻理解这项测量的成果，推翻了早先关于时空的概念，提出了著名的狭义相对论。美籍中国科学家吴剑雄在美国国家标准局（NBS）对 $\text{Co}^{60}$ 在弱磁场作用下 $\beta$ 衰变的实验研究在0.01K超低温下证实了李政道、杨振宁的“宇称不守恒”定律。以上各例子说明了物理学的重大发现是与精密测量密切相关的。

在全世界，各个领域每天都在进行千万次测量。然而，每个国家和地区都用不同的测量器具进行测量，为了对测量结果进行比较，必须统一被测量的单位和用实物复现单位的量具。这是保证测量结果能进行相互比较的一个基本条件。作为单位的基准，必须是：（1）选择十分稳定而又不变的量。（2）可测量的，也就是说能有某种手段与同种类的量进行比较，使之能判断出相等，还是不相等。这类比较应在高精度条件下进行。（3）只要条件具备，无论何时、何地、不论谁都能复现。因此说，计量学就是研究保证测量统一的理论问题和实际问题的学科，也就是研究、提高测量精确度和保证量值统一性的一门学科。

随着社会经济的发展，特别是商品生产的协作规模和商品交换范围的扩大，商品生产已不局限于一个国家、一个地区，而是跨地区、跨国家。现代科学技术的发展已扩大到综合性、多学科。所以，现代化生产和现代科学技术的发展更是离不开计量。如果离开了计量，社会生活就会发生混乱，商品生产和科学技术研究工作就无法进行。

## §1.2 温度计量的作用

为了统一国际间的单位，各物理量采用国际单位制（SI）。国际单位制以七个基本单位和两个辅助单位为基础，从中导出组合单位和它们的倍量和分量。七个基本单位中，温度的单位为“开尔文”，简称“开”，符号为K。

温度计量学或称计温学是计量学的一个重要分支，它在国民



经济各领域中占有一定的地位。人们的日常生活、工农业生产和科学实验等许多方面都与温度测量有着十分密切的关系。

在金属冶炼过程中，整个过程均要求控温和测温。例如，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有很大的影响。据统计报导，准确控制冶炼过程中的热工状况，电力消耗能够减少17%，劳动消耗降低18%，节约金属15%（即每十吨金属锭可增产一点五吨之多）。生产中还有许多例子，如浇铸的铁水温度偏低时，球墨铸铁的铸件合格率明显地降低；因温度计失准，而使钢筋发脆、上万件枕轨断裂报废，给国家造成莫大的损失。

此外，在机械制造、石油、化工、制药等工业中也广泛使用各种测温、控温仪表。例如，在合成氨的反应过程中，应该控制在 $500 \pm 5^\circ\text{C}$ 。如果温度过高，会烧坏触媒剂；温度过低又会降低生产率。所以，反应过程中的温度精确控制是一个关键问题。

在农业生产中，测温仪表的使用也日益增多。各物浸种、薄膜育秧、种子防病处理以及粮食保管等方面，都需要测量温度。

科学研究方面，超高温和超低温技术的应用已得到进一步的深入发展。超高温下的物性研究，国际科学界寄予极大的重视。用托卡马克装置研究受控热核聚变时，高能氢原子等离子体能达到千万度高温，如果测温理论和实验工作跟不上，就会阻碍研究工作的进展。低温和超低温是一个引人入胜的领域。除了低温致冷、贮运、干燥、分离和金属低温处理等工程以外，近年来低温化学、低温生物学、低温量热学和低温电子学等在现代科学中也占有重要的地位，尤其超导电子学这门方兴未艾的新兴学科，它的兴起与发展必将引起一场新的技术革命。在能源开发方面，对液化天然气（约 $-150^\circ\text{C}$ ）的利用已引起极大的重视。在液态氢方面，目前有两大大目标：一个与宇宙开发有关的液氢火箭发动机，另一个则与新的干净的能源有关——包括氢的能量贮存、运输和转换等。这些研究项目的测温工作是复杂的，但又是不可缺少的。

### §1.3 温度计量学发展简史

温度计量学的发展是与温度计的出现、发展以及温标的演变密切相关的。早在公元二世纪就有空气膨胀仪的记载。国际科学界普遍把第一支温度计的功劳归于意大利的科学先导伽利略(Galileo Galilei)。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。将它倒置在颜色水中,利用空气的热胀冷缩现象粗略地定性观察周围大气温度的变化。四十年后,1632年,物理学家琴·赖(Jean Rey)制造了一种以水为介质的温度计,它比空气介质的好。这种仪器因记载不详,很少为世人所知。以上两种都是开口式的,严格地说,还不能属于温度计的范畴,只能算是验温器一类。

意大利塔斯康(Tuscany)大公爵费迪南第二(Grossherzog Ferdinand II)约在1641年首创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探索中迈出重要的一步。这种温度计的重要意义还在于温度计的杆上刻有等分间隔的标志,它的测量范围为50度。

之后,胡克(Robert Hooke)于1664年,惠更斯(Christian Hungens)于1665年,牛顿(Isaac Newton)于1680年,相继用不同的方法建立了温标,在历史上都起到一定的作用。

1714年华伦海脱(Daniel Fahrenheit)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(Olaf Römer)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。华氏接受这一建议,并把体温定为96度,冰点定为32度。这温标于1724年公布。华氏用这温标测定了各种液体的沸点,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( $32^{\circ}\text{F}$ ),水沸点( $212^{\circ}\text{F}$ ),这就是众所周知的华氏温标。

第一个提出百度温标的是摄氏(Anders Celsius)。1742年他建立了百度温标。采用的固定点是冰点和沸点,但是,他以冰

点为100度，沸点为零度。他的同学斯托-墨 (Strömer) 把两个固定点对换，即以冰点为零度，水沸点为100度，符合人们的习惯。

俄国科学家罗蒙诺索夫 (М.В. Ломоносов) 也独立地研制了自己的温度计，沸点和冰点之间划分成150个等分间隔，称为罗蒙诺索夫温度计。

与华氏同时代的法国科学家阿蒙顿 (Amontón) 对测温学的发展也作出了杰出的贡献。他首先发明了以空气为介质的定容气体温度计。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。

从十八世纪开始，计温学沿着华氏和阿蒙顿所开创的两条途径发展前进。前者有华氏、摄氏、列氏、兰金等，先后建立了各自的实用温标。1871年，西门子 (Sir William Siemens) 发现铂电阻测温原理，制造出第一支铂电阻温度计。1887年，卡伦德 (Hugh Callendar) 从事一系列电阻-温度关系式的研究，得到了著名的卡伦德公式，并改进了铂电阻温度计的工艺和研制了测温电桥。四十年后，铂电阻温度计成为国际温标的标准仪器，并一直沿用迄今。勒夏忒列 (Henri Le Chatelier) 于1885年使用热电偶测温。这些都为以后的实用温标的建立打下了基础。

另一条途径是沿着气体温度计和热力学方法发展。查理 (Charles)、盖·吕萨克 (Gay-Lussac)、道尔顿 (Dalton)、雷诺 (Regnault) 等研究了各种气体的性质，得出了一个重要结论：“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认识上的基础。1817年杜隆 (Dulong)、珀替 (Petit) 认为有可能用气体温度计来建立统一的温标。

十九世纪末叶，随着工业的发展和国际贸易的增长，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，欧美等十四国于1875年在巴黎签订了米制公约，并于巴黎西北郊色佛尔

(Sevres) 成立了国际权度局(Bureau international des Poids et Mesures)。在国际权度局最初的活动, 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来进行研究。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 ( $0^{\circ}\text{C}$ ) 和一个标准大气压下的蒸馏水沸点 ( $100^{\circ}\text{C}$ )。氢的起始压强定为 1 米汞柱, 亦就是  $1000/760=1.3158$  标准大气压”

(CIPM 1888)。这就是最初的国际统一温标。应该承认, 它有严重的缺陷: (1)  $0\sim 100^{\circ}\text{C}$  的范围过份狭窄, 而且复现性仅约  $\pm 0.002^{\circ}\text{C}$ , (2) 复现困难, 必需逐个对温度计进行标定, 各支温度计所规定的温标有差异, 最大的可达  $0.01^{\circ}\text{C}$ , (3) 在测量  $100^{\circ}\text{C}$  以上温度时, 只能直接使用定容氢气体温度计, 使用时非常复杂。很清楚, 上述决议规定仅仅是为了长度、质量这两个基本量的需要。但是从温度这个基本量的要求来说, 需要建立一个既与热力学温标接近, 而又能方便、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1914年爆发第一次世界大战, 推迟了原计划。战后, 经过磋商, 于1927年第七次国际权度大会(CGPM) 上通过了第一个国际温标, 并正式定名为国际温标(ITS-27)。1933年, 国际权度大会仅对1927年国际温标的文本作了一些文字上的修改。

1937年成立了温度咨询委员会(CCT), 它是专门讨论国际温标的修订和改进, 同时又是一个向国际权度委员会提出各项建议和推荐的专家机构。1939年在CCT第一次会议上, 曾准备了一个ITS-27的修订本并拟于提交权度委员会讨论。由于第二次世界大战的爆发, 推迟了这项工作。直到1948年召开的第九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于一致。

1954年第十次国际权度大会通过了一项重要的决议, 确定水

的三相点为热力学温标的唯一固定点。

1960年第十一次国际权度大会对ITS-48进行了修订，并定名为1948年国际实用温标 (IPTS-48)。

经过第六次 (1962年)，第七次 (1964年) 和第八次 (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)。

在以后各章中，将根据“国际实用温标”中的各项规定，阐明温度测量中的一系列的基本问题。本书中凡与国家颁布的现行检定规程、国家标准、部标准等有抵触的地方，以检定规程、国家标准、部标准为准。

## 第二章 温度和温标

### § 2.1 温 度

温度是表征物体冷热程度的一个物理量。人们习惯地认为，热的物体温度高、冷的物体温度低。但是，作为一个表征物体冷热程度的物理量——温度，我们必须建立一个严格的、科学的定义。

设有两个热力学系统，它们各自处于不同的状态。现在使这两个系统互相接触（热接触），它们之间就发生热交换。实验证明，热接触后，两个系统的状态都将发生变化。经过一段时间后，两个系统的状态便不再变化，最终达到一个共同的平衡态。由于这种平衡是两个系统在热交换的条件下达到的，所以，这个共同的平衡态叫做热平衡态。两个系统相互热接触时，它们的状态也可能都没有变化，这时，两个系统具有共同的状态，处于热平衡。

现在进一步取三个热力学系统  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 。如果两个热力学系统  $B$  和  $C$  中的每一个都和第三个热力学系统  $A$  处于热平衡，那末， $B$  和  $C$  彼此也必然是热平衡的。这个结论通常叫做热力学第零定律。这一定律似乎是必然的，即

$$\left\{ \begin{array}{l} A, B \text{ 相互热平衡} \\ A, C \text{ 相互热平衡} \end{array} \right. \quad B, C \text{ 相互热平衡}$$

但是，也可以有不少例外，例如：

$$\left\{ \begin{array}{l} A, B \text{ 相互认识} \\ A, C \text{ 相互认识} \end{array} \right. \quad B, C \text{ 相互认识? (不一定)}$$
$$\left\{ \begin{array}{l} A, B \text{ 相互吸引} \\ A, C \text{ 相互吸引} \end{array} \right. \quad B, C \text{ 相互不吸引} \left( \begin{array}{l} A \text{ 为磁铁,} \\ B, C \text{ 为铁块} \end{array} \right)$$

但是，大量事实证明，热力学第零定律是对的，我们承认这一规律，称之为“定律”。它是测温学的基础。

为方便起见，我们讨论气体状态的热力学系统，并假定各系统中的气体质量和组分是一定的。描述这一系统的热平衡态只要两个变量  $p, V$  就够了。

系统  $A$  既然和系统  $C$  处于热平衡，那末描写它们的变量就不是完全独立的，而要受某一函数关系的制约，这就是热平衡条件：

$$F_1(p_A, V_A; p_C, V_C) = 0. \quad (2-1)$$

系统  $B$  和系统  $C$  也处于热平衡，同样有：

$$F_2(p_B, V_B; p_C, V_C) = 0. \quad (2-2)$$

按热力学第零定律，系统  $A$  和系统  $B$  也应处于热平衡，因而有：

$$F_3(p_A, V_A; p_B, V_B) = 0. \quad (2-3)$$

我们可以证明：处于同一平衡状态的所有热力学系统都具有一个共同的宏观物理量——温度， $\Theta$ 。证明如下：式 (2-1) 和 (2-2) 可分别写成：

$$V_C = \Psi_1(p_A, V_A; p_C), \quad (2-4)$$

$$V_C = \Psi_2(p_B, V_B; p_C). \quad (2-5)$$

所以：

$$\Psi_1(p_A, V_A; p_C) = \Psi_2(p_B, V_B; p_C). \quad (2-6)$$

试比较 (2-6) 与 (2-3) 必然相当。但是，(2-3) 中没有  $p_C$  这一变量，因此，函数  $\Psi_1, \Psi_2$  的普遍形式应是：

$$\Psi_1 = f_A(p_A, V_A) \Phi_1(p_C) + \Phi_2(p_C), \quad (2-7)$$

$$\Psi_2 = f_B(p_B, V_B) \Phi_1(p_C) + \Phi_2(p_C), \quad (2-8)$$

式中的  $f_A, f_B$  分别是系统  $A, B$  的状态函数。

由 (2-6)、(2-7)、(2-8) 式得到：

$$f_A(p_A, V_A) = f_B(p_B, V_B). \quad (2-9)$$

定义  $f_A(p_A, V_A) = \Theta_A$ ,  $f_B(p_B, V_B) = \Theta_B$ ，则有：

$$\Theta_A = \Theta_B. \quad (2-10)$$

联合 (2-5) 和 (2-8)，得出：

$$\Psi_2 = V_C = f_B(p_B, V_B) \Phi_1(p_C) + \Phi_2(p_C), \quad (2-11)$$

移项得:

$$f_B(p_B, V_B) = [V_C - \Phi_2(p_C)] / \Phi_1(p_C). \quad (2-12)$$

上面等式的右边只出现  $p_C$  和  $V_C$ , 也就是说它是系统  $C$  的状态函数, 可用  $f_C(p_C, V_C)$  表示, 则有:

$$f_B(p_B, V_B) = f_C(p_C, V_C). \quad (2-13)$$

由 (2-9) 式得:

$$f_A(p_A, V_A) = f_B(p_B, V_B) = f_C(p_C, V_C). \quad (2-14)$$

或

$$\Theta_A = \Theta_B = \Theta_C. \quad (2-15)$$

上述结果说明: 处在同一平衡状态的热力学系统都具有共同的宏观性质  $\Theta$ 。我们定义这个决定系统宏观性质的变量为温度。也就是说, 可以用温度这一物理量 (以  $\Theta$  表示) 来描述这个共同的热状态, 它决定了一个系统是否与其他系统处于热平衡。一切互为热平衡的系统都具有相同的温度。

测量温度的仪器叫做温度计。根据热力学第零定律, 我们以一支温度计作为系统  $C$ , 如果它分别与  $A$ 、 $B$  系统是热平衡的, 那末, 如果让  $A$  与  $B$  热接触, 它们一定也互为热平衡, 不发生状态变化。这一事实告诉我们, 如果要比较  $A$ 、 $B$  两系统的热状态, 无需让它们直接接触, 只要用第三个系统 (温度计) 来判别就可以了。这就是我们使用温度计来测量温度的原理。这个原理指出: 温度的最基本的性质是一切互为热平衡的物体有相同的温度 (热状态)。

温度的测量, 通常是通过测量物质的某一种随冷热程度而呈单值变化的物理性质来实现的。这类测温物质有水银、乙醇、汞、铂、铂丝、镍丝、铜丝和各种气体, 如氢、氦、氩、氖、氧等。被测的物理性质叫做测温变量 (或称状态坐标), 如物体的体积、压强、电阻等。

## § 2.2 经验温标

我们知道, 科学上的温度定义不能凭人们对冷热的感觉来定。



义。在一间温度很低的屋子里，我们会感到很冷；倘若由风雪交加的野外进入这屋里，会顿然觉得十分暖和。原因是人们的感官所接受的只是相对的、定性的感觉，而不能给出定量的表示。凭人的感觉来判断冷热温度是不可靠的。在上一节中，我们根据热力学第零定律建立了温度的概念，但是，这还不够，还需给它以定量的描述，也就是说给温度以数值表示。

给温度以数值表示，就是用某一测温变量来量度温度。当然，这个变量应该是温度的单值函数。例如，在玻璃液体温度计中，我们以液柱长度作为测温变量。如果以 $y$ 表示测温变量，相应的温度用 $\theta$ 来表示，则应有：

$$y = f(\theta), \quad (2-16)$$

而且它是一个单值函数。经验温标是根据人们的经验来决定的。为方便起见，我们不妨把上述函数形式定为简单的线性关系，即

$$y = k\theta + c, \quad (2-17)$$

式中的 $k$ 和 $c$ 是常数。为了确定常数 $k$ ， $c$ ，需要两个固定点温度， $\theta_1$ 和 $\theta_2$ 。  $\theta_1$ 和 $\theta_2$ 叫做基本温度。这两个温度之间的间隔叫做基本间隔。 $k$ ， $c$ 值确定后，这个温标就完全决定了。对任一温度 $\theta$ ，我们可以通过测量测温变量 $y$ 来求得：

$$\theta = \theta_1 + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}(\theta_2 - \theta_1). \quad (2-18)$$

如果以冰点为 $0^\circ\text{C}$ ，水沸点为 $100^\circ\text{C}$ ，则上式为，

$$\theta_1 = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \times 100(^\circ\text{C}).$$

在华氏温标中，冰点为 $32^\circ\text{F}$ ，水沸点为 $212^\circ\text{F}$ ，则(2-18)式为

$$\theta_2 = 32 + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \times 180(^\circ\text{F}).$$

上两式中的 $y_2$ ， $y_1$ 分别为水沸点和冰点时的测温变量值，所以它们的大小与温标无关。如果 $\theta_1(^\circ\text{C})$ ， $\theta_2(^\circ\text{F})$ 表示相同的热状态，即温度相同， $y$ 值相同，则有