

温度计量测试丛书(十三)

低温测量

DIWEN CELIANG

李浣然 编著
陈锡光 审

中国计量出版社



数据加载失败，请稍后重试！



数据加载失败，请稍后重试！

内 容 提 要

本书系统地阐述低温热力学温度的测量和复现, 低温国际实用温标, 重点介绍用于低温领域内的各种测温仪表的工作原理、结构和使用方法以及目前最新的低温测量技术, 并适当介绍低温温度计的检定与分度。

本书可供从事低温实验技术、制冷、生物、医疗、能源、环保、宇航、高能物理、计量等部门的科技人员参考。

“温度计量测试丛书(十三)”

低 温 测 量

李凝然 编著 陈锡光 审

责任编辑 窦绪昕

—*

中国计量出版社出版

北京和平里西街2号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

—*

开本 787×1092/32 印张 9.375 字数 207 千字

1990年2月第1版 1990年2月第1次印刷

印数 1—4 000

ISBN 7-5026-0290-9/BT·240

定价 4.10 元

《温度计量测试丛书》编委会

主任委员 王良楣

副主任委员 凌善康

委 员 (以姓氏笔划为序)

石质彦 师克宽 朱国柱 陈锡光

陈守仁 汪时雍 张立儒 周本濂

赵 琪 崔均哲 秦永烈 窦绪昕

戴乐山

前 言

本丛书是根据中国计量出版社关于按学科分类组编丛书的总体规划和统一安排，在中国计量测试学会的热情关怀和实际支持下，由温度计量测试丛书编辑委员会组织编写的。

党的“十二大”确定了到本世纪末力争使我国工农业总产值翻两番的宏伟目标，并决定把农业、能源、交通、教育、科学作为经济发展的战略重点。计量是现代化建设中一项必不可少的技术基础，在计量测试科学领域中，温度的计量与测试又是一个很重要的方面。温度是一个基本的物理量，它与其它许多物理参数有着密切的关系，因而在工农业生产、科学研究和日常生活中，都离不开温度的准确测量和精密控制。广泛传播温度及温度测量仪表的基本知识，介绍国内外测温技术的先进经验，交流各项成果，培养技术人材，促进各项工作，为实现社会主义现代化创造条件，这就是组编本丛书的宗旨。

应该看到，目前，在基层企业中，受过计量测试训练的技术人员严重不足，很多职工渴望增长专业知识和提高操作技能；尤其是近年来，大批青年技术人员参加工作，这是发展计量测试科学的一支新生力量，但是他们深感知识不足，迫切需要系统地学习一些计量基础知识，熟悉各类仪器仪表的原理、特性、检定和使用方法，以便更快地掌握专业技术，提高生产效率。这套丛书主要是针对这部分人员编写的，当然也可作为温度计量短训班的教材及有关学校师生、工程技术人员和科研工作者的参考书。

本丛书计划分成16分册，每一分册独立地、深入浅出地加以阐述，将陆续出版与读者见面。本丛书在组编过程中得到广大计量工作者和工矿企业技术人员的关心与支持，在此一并致谢。丛书编委会热忱地期望我国广大科学工作者共同促进本丛书的编辑出版工作，为我国早日实现四个现代化贡献力量。

限于我们的经验和水平，本丛书可能存在不少缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

温度计量测试丛书编辑委员会

序 言

1877年，人类第一次观察到氧气的冷凝，从而打开通向低温领域的大门。此后，在这一领域发现了一个又一个奇迹：把人们一刻也不能停止呼吸着的氧气变为水一样的液体就使人们震惊，而超导电和超流动性的发现更使人瞠目结舌。不言而喻，低温物质的研究将揭示出许多人们尚不清楚的自然之谜，并且低温技术也将会得到广泛的应用，这一切吸引人们潜心于这一领域的研究。因此，低温技术和低温物理获得极快的发展。

如今，低温技术已不再禁锢在科学家的实验室中，除了低温制冷、食品、贮运、干燥、分离和金属的低温处理等工程外，低温技术在化工、生物、医学、同位素精馏、激光技术、宇宙航行、高能物理、能源、环保、交通运输、计量技术、采矿和计算机等科学中都有重要应用。由于低温技术的发展，也深刻影响其他学科，产生了崭新的边缘学科，低温化学、低温生物学、低温电子学和低温量热学等在现代科学中占有重要地位。最近发现的在液氮温区内出现的超导现象的高温超导体，给这个方面展现了广阔的前景。室温超导体的出现使人们产生新的希望：有可能引起新的工业革命。因此，国际科学界对这项研究寄予极大的期望。

在低温实验中，不可避免地要测量实验所达到的温度，物质的性质随温度的变化同物质的结构紧密相连，所以研究物质的低温物理性质时，需要准确地测量温度，在一些生产过程中同样需要测量温度。因此，低温温度测量是低温

实验技术中的一个重要组成部分。

为了准确地、可靠地测量温度，不免要考虑如下几个问题：如何确定低温热力学温度；如何复现热力学温度；如何进行温度量值的传递；最后又怎样能准确地测量温度。本书将围绕这几个问题阐述低温测量的基本问题。因此在第二章中，讨论如何测定热力学温度，第三章中，说明如何复现国际温标，最后一个问题，也是最重要的问题，就是讨论测量低温温度时所用的各种温度计的工作原理，以及如何利用它们测量温度，把它放在第四章和第五章中讨论，第六章中简单地讨论温度计的分度及其使用。在第一章中，讲述了为阅读本书所需了解的概念和知识。

本书是受“温度计量测试丛书”编委会的委托编写的。根据编委会的要求，本书力求物理概念明确，深入浅出，直观易懂，避免过多的数学推导以及陷入较深的物理概念中；力图以实际应用为主，尽量体现科学性和先进性，以及反映各方面的最新研究成果。由于本人能力和水平有限，书中的错误和不妥之处在所难免，请读者不吝指教。

在编写本书时，受到中国计量科学研究院凌善康研究员的热情支持和关怀，南京大学陈锡光教授给予真诚的帮助，中国计量出版社窦绪昕副编审的各方面协助，还得到中国计量科学研究院低温实验室同志们的协助，在此一并致谢。

李湜然

1988年12月于北京

目 录

第一章 温度及低温	(1)
第一节 温度和温标	(1)
一、温度	(1)
二、温标	(6)
三、热力学温标及其实现	(8)
四、国际温标	(11)
五、温标的传递	(14)
六、误差与数据处理	(19)
第二节 低温	(24)
一、低温的获得	(24)
二、低温温度	(28)
三、低温液体的利用	(30)
第二章 低温热力学温度的测量	(33)
第一节 气体测温法	(33)
一、气体的状态方程	(33)
二、测量热力学温度的方法	(35)
三、压强的测量	(41)
四、气体温标的建立	(44)
五、内插气体温度计	(50)
第二节 声学温度计及介电常数和折射率温度计	(51)
一、声学温度计的原理	(52)
二、声速的测量	(55)
三、实际的声学测温法	(58)
四、介电常数和折射率的气体测温法	(60)
第三节 噪声温度计	(64)

一、尼奎斯特热噪声在计温学中的应用	(64)
二、噪声测温 and SQUID	(66)
第四节 磁测温法	(68)
一、居里定律	(68)
二、磁温度计的构造及测量	(70)
三、实际的磁温度计	(74)
第三章 国际温标及其实现	(77)
第一节 现行温标的主要内容	(77)
一、1968 年国际实用温标	(77)
二、第二类参考点	(83)
三、1976 年 0.5~30 K 临时温标 (EPT-76)	(91)
四、现行国际温标的缺陷和新温标的制定	(94)
第二节 沸点及其实现	(96)
一、克拉帕隆方程	(96)
二、沸点的复现	(99)
三、各种低温液体的沸点	(102)
四、氢蒸气压温标	(114)
五、沸点的数据处理	(121)
第三节 三相点及其实现	(125)
一、纯物质的融化	(125)
二、三相点的实现	(127)
三、密封三相点容器	(133)
第四节 超导固定点	(135)
一、原理	(136)
二、超导转变温度的测量	(138)
第五节 基准铂电阻温度计的数据处理	(141)
一、内插函数的计算	(141)
二、内插表	(144)
第四章 电阻温度计	(147)
第一节 电阻温度计的主要特性	(147)
一、灵敏度	(147)

二、稳定度	(148)
三、准确度	(148)
四、温度计的时间响应	(149)
五、在磁场中的性能	(149)
六、自热效应	(149)
七、测温的范围及测温元件尺寸	(150)
第二节 纯金属电阻温度计	(150)
一、金属的电导理论	(150)
二、铂电阻温度计	(152)
三、铂电阻温度计的内插方法	(156)
四、其他纯金属温度计	(161)
第三节 合金电阻温度计	(164)
一、合金电阻温度计概况	(164)
二、铑铁电阻温度计的制作和特性	(166)
三、铑铁温度计的内插特性	(168)
四、铂钴电阻温度计	(170)
五、其他合金电阻温度计	(173)
第四节 半导体电阻温度计	(174)
一、半导体的电阻	(174)
二、锗电阻温度计的制作与特性	(176)
三、锗电阻温度计的内插方法	(179)
四、碳电阻温度计	(180)
五、渗碳玻璃电阻温度计	(183)
六、热敏电阻	(185)
七、晶体管温度计	(188)
第五章 热电偶及其他温度计	(192)
第一节 热电偶	(192)
一、热电偶的测量原理	(192)
二、低温热电偶材料	(196)
三、热电偶的制作与使用	(203)
四、热电偶的内插方法	(208)

五、热电偶的误差来源	(209)
第二节 其他温度计	(210)
一、电容温度计	(210)
二、低温玻璃液体温度计	(213)
三、简易气体温度计	(215)
四、简易蒸气压温度计	(217)
五、超导温度计	(220)
六、电感测温法	(223)
第三节 特殊工况条件下的温度测量	(225)
一、在强磁场中的温度测量	(225)
二、超低温的测量	(228)
第六章 温度计的分度与使用	(237)
第一节 电测仪器	(237)
一、检流计	(237)
二、电位差计	(239)
三、直流电桥	(242)
四、交流电桥	(244)
五、电流比较仪电桥和电位差计	(247)
六、数字仪表	(250)
七、测量系统中寄生参数的影响及干扰	(252)
第二节 低温分度槽	(254)
一、用于温度计分度的低温恒温器	(254)
二、低温恒温器的温度控制	(257)
三、液体比较槽和热管	(261)
第三节 温度计的分度与使用	(264)
一、被检温度计与标准温度计	(265)
二、分度设备和制冷液体	(266)
三、温度计的比较法分度	(268)
四、温度计的使用	(272)
主要参考文献	(277)
附录 1	(278)

附录 2.....	(280)
附录 3.....	(281)
附录 4.....	(284)

第一章 温度及低温

无疑，温度、温标以及与两者有关的问题是本书中所要讨论的首当其冲的问题，若要测量温度，就不能绕开它们。因为本丛书的专册《温标》已对此问题作了详细的讨论，为避免重复，所以在这里仅就这方面的几个重要问题作简略的介绍，并简述在测温中不可避免的误差分析中的有关重要的概念。除此以外，还提及低温领域的两个问题。

第一节 温度和温标

一、温度

温度表示冷热的程度，人类早已注意并研究与温度相关的各种物理现象。

在我国浩瀚的历史文献中，有着无数的记载表明，古代中国具有丰富有关温度及其测量的知识。

考古发现，早在 170 万年以前，中国云南元谋人已使用了火，这是迄今所发现的最早使用火的记录。周代的古诗集《诗经》（写于公元前 1066~481 年）中的诗句“二之日（十一月）凿冰冲冲，三之日（一月）纳于凌阴（冰窖）”，表明当时已经在冬季贮藏天然冰，待夏季使用。对冷热变化的认识首先在气候方面进入人类的生活中，《诗经》里就有“北风其凉”，“蒹葭之寒冰”的诗句，其中的凉和寒用来表示冷热的程度。而在《易经》（写于公元前 11 世纪前后的商、周代）、《山海经》（写于公元前 11 世纪到公元前 2 世纪

的春秋、战国)中也不乏例证。《礼记》(写于西汉,公元前50年)中有更系统的记录,表现天气冷热的变化。总之,古代的中国,已经用一系列的汉字,如冻、寒、凉、温、热和灼来表示冷热的程度,即温度的高低。

由于生产的发展,不可避免地要求对温度进行测量。战国时代的《吕氏春秋》(写于公元前239年)中述及,水瓶中的水开始结冻时,人们就会知道,天气冷了,鱼和龟会隐藏起来。而西汉的《淮南子》(写于公元前120年)中说,观察瓶中水的结冰状态,可以断定天气的冷和热。这表明,人们把水放在瓶中,通过瓶中的水和冰的变化状态(融化或冻结),有意识地测定温度上升和下降趋势。这种利用冰的测温器,可以被看作为一种温度计的原始形式。而在两千年后,欧洲人才用冰作为固定点。

古代中国的陶瓷和冶金工业中,所谓的看“火候”就是测量高温的一种特殊的方法。汉代的《考工记》(写于公元前140年)中有这样的记录:“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,然后可以铸也”。这表明古代人民已经通过火焰的颜色测定炉子中加热的金属温度。这种看“火候”测定高温的原理,相当于今天的光学高温计。

古代的中国人,早已知道健康人的体温是恒定的。最早的叙述发现于写在公元前300年的古代医书《黄帝内经·素问篇》。其中写道:人手腕上的温度升高是发烧的症状。战国时的著名医生秦越人(扁鹊)(公元前360~310年)发现了四诊法:望、闻、问、切。其中切就包括接触患者的身体,比较医生和患者体温的差别,从而确定患者体温的高低。这种测温方法在古代也利用于手工业和农业中。北魏末年(公元533~534年)由贾思勰写的一本农业

书籍《齐民要术》就记载着：利用微生物发酵来加工豆类及酿酒和制奶酪时，通过手摸来比较人体及被测物体的温度，由此达到测量温度的目的。

世界上其他文明古国，先后在此领域也有所建树，应该注意的是欧洲在近几世纪中的工作。

古希腊最为渊博的思想家亚里士多德（公元前384～322年）认为：人们的基本感觉是冷和热、干和湿。而古罗马富有声望的医学家盖伦（Galen 129～199年）把这种冷热的概念用于医学，并企图给它以量值。这样的认识维持了十几个世纪。直到近代，对热现象的实验研究才从测量“热度”开始。在科学地定义温度概念之前，欧洲人把温度的变化与物体所含的热量多少混为一谈。为了定量地测量“热度”，许多科学家致力于研制温度计。1593年，伽利略（Galileo）根据空气受热膨胀的现象制造了一种测温器，给温度以定性的表示。最早的温度计是费第南二世（Ferdinand II）可能在1641年制造的，这是一种用带色的酒精为材料的液体温度计，并标出了刻度。后来经过近一个世纪的努力，终于形成华氏、列氏和摄氏等三个较为实用的温标。近两个世纪，随着工业和科学技术的发展，逐渐建立起热力学和统计学理论，从而揭示出温度的本质。

温度，作为一个物理量，它不能根据其他的物理量推导出来，也不能由其他物理量所代替，它同长度、质量、时间、物质质量、电流和光强一样，都是国际单位制的基本量。但是，温度却比其他的物理量更复杂，更难以理解。对于这个物理量的认识，必须从热力学原理出发。

热力学所研究的一个重要的概念是平衡态，即在没有外界影响的条件下（也就是孤立系统或封闭系统），系统内的各部分在长时间内不发生任何变化的状态。不言而喻，平衡