

温度计量测试丛书

膨胀式温度计

PENGZHANGSHI WENDUJI

全国温度计量技术委员会 组编
魏寿芳 李祖斌 编著
朱家良 主审



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

温度计量测试丛书

- ◎ 膨胀式温度计
- ◎ 电阻温度计
- ◎ 红外测温技术
- ◎ 热电偶
- ◎ 温度显示仪表及其校准
- ◎ 表面温度测量
- ◎ 特殊条件下的温度测量

责任编辑：钱俊芝 高 红

封面设计：任 红

ISBN 978-7-5026-2874-1



9 787502 628741 >

定价：21.00 元

温度计量测试丛书

膨胀式温度计

全国温度计量技术委员会 组编

魏寿芳 李祖斌 编著

朱家良 主审

中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

膨胀式温度计/全国温度计量技术委员会组编; 魏寿芳, 李祖斌编著. —北京: 中国计量出版社, 2008. 11

(温度计量测试丛书)

ISBN 978-7-5026-2874-1

I. 膨… II. ①全…②魏…③李… III. 金属膨胀温度计
IV. TH811.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 119027 号

内 容 提 要

本书系《温度计量测试丛书》的一个分册, 系统地介绍了温度与温标的基本概念及温度计量的基础知识, 着重对玻璃液体温度计、压力式温度计、双金属温度计三种膨胀式温度计的构造型式、分类方法、测温原理、温度计用材质特性、主要性能、误差来源分析、检定/校准、使用与维护方法、检定/校准/使用中数据及结果的处理、测量不确定度的评定等方面进行了专门介绍。

本书可供温度计的检定/校准/测试以及使用维护等方面的技术人员阅读, 也可供从事膨胀式温度仪表的研发设计与制造及相关科研单位技术人员、大专院校相关专业的师生参考。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010) 64275360

http: // www. zgjl. com. cn

北京市媛明印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

850 mm×1168 mm 32 开本 印张 6.75 字数 164 千字

2008 年 11 月第 1 版 2008 年 11 月第 1 次印刷

*

印数 1—3 000 定价: 21.00 元

《温度计量测试丛书》编委会

主 任：段宇宁

副主任：沈正宇 陈伟昕

委 员：（按姓氏笔画排序）

朱家良 张继培 林 鹏 原遵东

湛立新 廖 理 魏寿芳

序

20 世纪 80 年代，中国计量出版社曾出版了一套《温度计量测试丛书》，其内容紧贴温度计量工作实际且实用性强，受到了广大读者的好评。随着新技术的发展，一些新的内容应该充实进去。本着这一想法，在原丛书的基础上，由全国温度计量技术委员会组织当代温度计量领域的专家，重新编写并出版了本套《温度计量测试丛书》。

进入 21 世纪后，随着科学技术的迅猛发展，对作为技术创新基础的检测技术和计量保证能力产生了巨大的需求。在计量测试科学领域中，温度的计量与测试是一个很重要的方面。温度是一个基本物理量，也是一个描述物质热学性能的状态参量，它与人们的生产、生活密切相关；温度的计量测试技术涉及国民经济的各个领域，如工农业生产、国防、科研、医疗、卫生、环保、气象及航空等。广泛普及温度及温度测量仪表的基本知识，介绍国内外测温新技术，培养技术人才，促进各项工作是组编本丛书的宗旨。

应该看到，在基层计量部门和企业中，受过系统的计量测试训练的技术人员严重不足，很多职工渴望增长相关领域的专业知识和提高操作技能；尤其是近年来，大批年青的技术人员参加工作，这是发展计量测试技术的一支新生力量，但是他们深感知识不足，迫切需要系统地学习很多相关的计量基础知识，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，提高工作效率。这套丛书主要是针对这些年青技术人员编写的，当然也可作为温度计量短训班的教材及有关院校师生、工程技术人员和科研工作者的参考书。

本丛书计划分成7个分册，每一分册独立地、深入浅出地对有关专题加以阐述，将陆续出版与读者见面。本丛书在编写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。

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》编委会
2008年9月

前 言

膨胀式温度计是根据物质的热膨胀（体膨胀或线膨胀）性质与温度的固有关系为基础来制造的温度计。

按其制造膨胀式温度计所选用的材质的不同，通常可分为三大类，即液体膨胀式（如玻璃液体温度计）、气体膨胀式（如压力式温度计）和固体膨胀式（如双金属温度计）。这三类温度计都是工业温度仪表中发展得比较早的温度检测仪表，它们具有结构简单、易于制造、读数直观、使用方便、性能稳定、价格低廉等特点。因此，在机械、冶金、医药、石油（石化）、轻工、化工、交通运输、家用电器、安全环保以及国防、科研等部门得到了广泛的应用。

本书分别对玻璃液体温度计、压力式温度计和双金属温度计的工作原理、结构特点、类型用途、计量检定校准及其测量不确定度评估等方面进行系统介绍，以期对从事膨胀式温度仪表的设计制造、计量检定校准以及使用维护等方面的人员有所帮助，同时也希望能为科研单位、大专院校相关专业的人员提供参考。

本书分四章，第一章和第二章主要由魏寿芳编写；第三章和第四章主要由李祖斌编写。全书由魏寿芳统编。

本书在编写过程中，得到了季镜平老师等全国诸多同行的热忱支持和帮助，承蒙朱家良老师费心审定，并提出了许多具体的建设性的意见，同时得到了中国计量出版社的指导和帮助，在此一并表示感谢。

限于编者的水平，书中错误疏漏在所难免，恳请读者批评指正。

编 者
2008 年 8 月于成都

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 温度与温标	(1)
第二节 温度的测量方法	(2)
第三节 温度计的计量方法	(3)
第四节 温度计量单位	(4)
第五节 温度量值的传递	(5)
第六节 膨胀式温度计计量检定规程	(9)
第二章 玻璃液体温度计	(11)
第一节 玻璃液体温度计的构造型式	(11)
第二节 玻璃液体温度计的分类	(14)
第三节 玻璃液体温度计用材质及其特性	(42)
第四节 玻璃液体温度计的主要性能	(49)
第五节 玻璃液体温度计的检定与校准	(52)
第六节 玻璃液体温度计误差分析	(101)
第七节 恒温槽温场均匀性的测试方法	(107)
第八节 玻璃液体温度计的调修	(115)
第九节 玻璃液体温度计测量不确定度评定	(116)
第三章 压力式温度计	(141)
第一节 压力式温度计的构造与原理	(142)
第二节 压力式温度计的分类及其主要性能	(144)
第三节 压力式温度计的使用与维护	(170)

第四节	压力式温度计的检定与校准	(171)
第四章	双金属温度计	(180)
第一节	双金属温度计的结构特征与工作原理	(180)
第二节	双金属温度计的特性	(182)
第三节	双金属温度计的分类	(185)
第四节	双金属温度计的感温元件	(188)
第五节	双金属温度计的基本参数	(191)
第六节	电接点双金属温度计	(192)
第七节	双金属温度计的使用与维护	(193)
第八节	双金属温度计的检定与校准	(194)
参考文献		(203)

第一章 概 论

温度是一个重要的物理量。它是国际单位制 (SI) 中 7 个基本物理量之一, 也是科学研究、工业生产和人们生活中一项重要的参数。

第一节 温度与温标

物体的冷热程度称为温度。温度的高低, 通常由人的器官感觉, 但这很不可靠, 也不准确。为了准确地判断温度的高低, 只能借助于某种物质的某种特性 (如电阻、体积、长度等) 随温度变化的一定规律来准确测量出温度。

设有两个冷热程度不同的物体相互接触时, 热的物体变冷, 冷的物体变热, 直到最后两物体达到各处冷热程度均匀一致的状态为止。这时如果没有外界影响, 则两物体始终保持这一状态, 不再发生宏观变化。这种在不受外界影响的条件下, 宏观性质不随时间变化的状态叫做平衡态。

假设有两个物体, 原来各处在一定的平衡态, 若使这两个物体互相接触, 使它们之间能发生传热 (或热接触), 热接触后两个物体的状态便发生变化, 即两个物体最后达到一个共同的平衡态, 这种在传热的条件下达到的平衡态叫做热平衡。

再假设 A、B、C 三个物体, 分别处于稳定的热平衡状态, 当 C 与 A 或 C 与 B 热接触时均不发生热交换, 那么 A 与 B 热接触时也一定不会发生热交换。由此可得, 两个物体各自与第三个物体处于热平衡时, 这两个物体也必然处于热平衡, 该结论通常称为热力学第零定律。

由热力学第零定律可知，处于同一热平衡态的所有物体都具有某一共同的宏观性质，表征物体热平衡这个宏观性质的物理量就是温度，或者说温度是直接表征物体的冷热程度的物理量。温度的特征是一切互为热平衡的物体都具有相同的温度，它取决于热平衡时物体内部的热运动状态，即温度高的物体，分子平均动能大，温度低的物体分子平均动能小。因此，温度也标志着系统内部大量分子无规则运动的剧烈程度。

热力学第零定律是所有温度测量的基础，因为既然处于热平衡的诸物体具有相同温度，就可将其中之一作为标准，分别与其他各个物体接触，间接比较出各物体的温度，而无须使它们直接接触。这个作为标准的物体，即用于测量温度的仪器称为温度计。迄今为止，还没有适应整个温度范围用的温度计（或物质），所以在不同温度段的温度标准是不同的。

要定量测出某一物体的温度，即定量表示物体温度的高低，就必须规定一种用数值表示温度的方法。按照这种方法就可对温度计进行刻度或分度，制成用以度量温度的温度标尺（温度计的实物标尺或分度表）。这种温度标尺简称为温标，温标就是温度的数值表示方法。各种温度计的数值都是由温标决定的。由于温度这个物理量比较特殊，只能借助于某个物理量来间接表示，它是利用一些物质的“相平衡温度”作为固定点刻在标尺上，而固定点中间的温度值则是利用一种函数关系（内插函数或内插方程）来描述。通常把温度计、固定点和内插方程叫做温标的三要素。

第二节 温度的测量方法

根据温度计感温元件的使用方式，通常将温度的测量方法分为接触式和非接触式。

接触式测温的特点是，使被测物体与温度计的感温元件具有

良好地接触，使其温度相同（或达到热平衡），从感温的元件温度可间接测得被测物体的温度。这种方式能测量任何部位的温度，也便于多点集中测量和自动控制，测量准确度较高（通常为 $0.5\% \sim 1\%$ ）。用接触法测温时，感温元件与被测物体接触，往往又要破坏被测物体的热平衡状态，并受被测介质的腐蚀作用。因此，对感温元件的结构、性能要求苛刻。

非接触式测温是感温元件不直接与被测物体相接触，而是利用物体的热辐射原理或电磁性质求得被测物体的温度。它的特点是不直接与被测物体相接触，也不改变被测物体的温度分布，热惯性小。用这种方法测温上限可以很高，通常用来测量 1000°C 以上的移动、旋转或反映迅速的高温物体的温度。但这种方式准确度较低，通常为 20°C 左右，较好条件下可达 $5 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 。

本书所涉及的接触式测温装置主要有玻璃液体温度计、压力式温度计、双金属温度计等膨胀式温度计，其他的接触式测温装置还有电阻温度计、热电温度计等。接触式测温装置的测温方法就是一种接触式测温法。

第三节 温度计的计量方法

计量是为保证单位统一，量值准确可靠的活动。或者说为实现单位的统一，量值准确可靠的全部活动。检定则是查明和确认计量器具是否符合法定要求的程序，它包括检查、加标记和（或）出具检定证书。为评定计量器具的计量性能、确定其是否合格进行的工作。

校准是在规定条件下，为确定测量仪器或测量系统所指示的量值，或实物量具或参考物质所代表的量值，与对应的由标准所复现的量值之间关系的一组操作。可以用校准的结果评定测量仪器、计量装置或实物量具的示值误差。

对温度计的计量实际上是对温度计进行检定或校准。温度计

的检定或校准是围绕着保证温度计示值准确为目的的一组精密测试工作。其示值检定/校准的方法通常有两种，即定点法和比较法。

定点法（又称固定点法）是指将温度计置于复现国际温标定义的固定点（纯物质的凝固点、沸点、三相点等）装置中，待温度计达到热平衡后，读取示值，便可确定出温度计的定点结果（比如在水三相点瓶里测试温度计的水三相点值）。通过该法得到的实际温度即为国际温标制定的固定点温度。

比较法是指在可变等温场中与已定度的温度计作比较测量的过程。具体到温度计的检定，即被检温度计和标准器同置于一个温度场较为均匀、温度恒定的恒温装置内，待温度计达到热平衡后，读取两者的示值并进行比较，从而确定出被检温度计的示值检定结果。膨胀式温度计的检定或校准方法通常为比较法。比较法检定中的实际温度或与温度有关的其他量值，是由标准器引用其检定证书给出值而确定的。该法的缺点是检定误差来源多，故检定结果的准确度相对于定点法低；其优点是能在任意温度下进行检定，且检定效率高。因此，膨胀式温度计的示值检定几乎都采用比较法。

第四节 温度计量单位

我国实行法定计量单位。我国计量法规定：国际单位制计量单位和国家选定的其他计量单位，为国家法定计量单位。法定计量单位是政府以法令的形式，明确规定在全国范围内采用的计量单位。它是以国际单位制（SI）为基础，并据我国国情适当选用了一些其他非国际制单位构成。

国际单位制单位由国际单位制的基本单位和国际单位制的导出单位以及它们的十进制分数或倍数单位构成。国际单位制（SI）的七个基本单位之一的开尔文（符号 K）就是热力学温度

单位。国际单位制的七个基本单位由国际计量大会定义，其中热力学温度（符号 T ）的单位（符号 K）等于水三相点热力学温度的 $1/273.16$ 。

国际单位制中具有专门名称的导出单位中的摄氏度（ $^{\circ}\text{C}$ ），是用以代替开尔文表示摄氏温度（符号 t ）的专门名称。作为单位来说，热力学温度和摄氏温度之间的数值换算关系为 $T = t + 273.15$ 。作为温度间隔而言 $^{\circ}\text{C}$ 等同于 K。故在实际使用中热力学温度单位开尔文（K）和摄氏温度单位摄氏度（ $^{\circ}\text{C}$ ）均可以使用。

第五节 温度量值的传递

一、量值传递的概念

为保证计量器具量值的准确一致，通常是通过量值传递或量值的溯源方式得以实现。

1. 量值传递

量值传递是我国国家规定的法制性要求，它是将计量基准所复现的单位量值通过计量检定（或其他传递方式）自上而下传递给下一等级的计量标准，并将它传递到工作计量器具，以保证被测对象的量值准确一致。

温度量值的传递是将国家温度计量基准所复现的温度量值，通过检定或其他方式传递给下一级的温度标准，并依次逐级传递到温度工作计量器具，以保证被测计量器具的量值准确一致。量值准确一致的涵义是指同一量值，用不同的计量器具进行计量，其计量结果在要求的准确度范围内达到统一。

2. 量值溯源

量值溯源则是一种自下而上寻求量值源的自愿行为，其测量结果是通过具有适当准确度的中间比较环节逐级往上追溯至国家

计量基（标）准的过程，使得被测对象的量值能与国家（国际）计量基准相联系，从而保证量值的准确一致。

二、计量器具的分类

可单独地或连同辅助设备一起用以进行测量的器具称为计量器具。我国的计量器具按其准确度等级大致可以分为计量基准、计量标准和工作计量器具。

1. 计量基准

计量基准是指具有最高的计量学特性，其值不必参考相同量的其他标准，被指定的或者普遍承认的测量标准。它是保存计量单位量值，具有最高计量学特性（现代科学技术所能达到的最高准确度），并须经国家鉴定合格的计量器具。它的作用是作为统一全国量值的最高依据。每项国家计量基准全国只有一个，每项计量基准对应一个计量检定系统。基准的量值通过各国的计量基准进行国际比对，取得计量结果的一致性。我国的温度国家基准是按分温区来建立的，在 $13.8033\text{K} \sim 961.78^{\circ}\text{C}$ 范围内，国家基准是一组铂电阻温度计， 961.78°C 以上，国家基准是光电高温计和钨带灯。

计量副基准是通过直接或间接与计量基准比对来确定量值，经国家鉴定合格的计量器具。

工作基准是经与计量基准或副基准校准或比对，经国家鉴定合格，实际用于检定计量标准的计量器具。

建立副基准的目的就是代替基准的日常使用；建立工作基准的目的也是为了防止基准、副基准的频繁使用而丧失其应有的计量特性和准确度或遭受损坏。

2. 计量标准器具

计量标准器具又称为计量标准，是指准确度低于计量基准，用于检定/校准其他计量标准或工作计量器具的计量器具。计量

标准是指为了定义、实现、保存和复现量的单位或者一个或者多个量值，用作参考的实物量具、测量仪器、参考物质或者测量系统。其作用是将计量基准所复现的单位量值，通过检定逐级传递到工作计量器具，确保工作计量器具量值的准确可靠。计量标准的准确度一般比被检计量器具的准确度高 3 倍至 10 倍。计量标准分为社会公用计量标准、部门计量标准和企事业单位计量标准。社会公用计量标准是指经过政府计量行政部门考核批准，作为统一本地区量值的依据，在社会上实施计量监督有公证作用的计量标准。

3. 工作计量器具

工作计量器具是指直接用于工业生产、人们生活或现场测量用的计量器具。

量值准确一致的前提是，计量结果必须具有溯源性。所谓溯源性是通过一条具有规定不确定度的不间断的比较链（这条不间断的比较链称为溯源链），使测量结果或测量标准的值能够与规定的参考标准，通常是与国家或国际测量标准联系起来的特性。

三、国家溯源等级图

国家溯源等级图又可称为国家计量检定（或量传）系统表，它是在一个国家内，对给定量的计量器具有效的一种溯源等级图，它包括推荐（或允许）的比较方法和手段。它是国家统一量值的总体设计，是从计量基准到各等级计量标准直至工作计量器具的检定关系的技术表述和规定。是一种代表等级顺序的框图，用以表明计量器具计量特性与给定量的基准之间的关系。

由上述可知，国家计量基准是统一全国量值的最高依据。每项国家计量基准全国只有一个，每项计量基准对应一个计量检定系统。我国计量法规定，国务院计量行政部门负责建立各种计量