

玻璃液体温度计

王凤成 沈正宇 徐彦发◎编著



中国计量出版社
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

王凤成 沈正宇 徐彦发 编著

中国计量出版社

图书在版编目(CIP)数据

玻璃液体温度计/王凤成等编著. —北京:中国计量出版社,
2007. 10

ISBN 978 - 7 - 5026 - 2704 - 1

I. 玻… II. 王… III. 玻璃温度计 IV. TH811.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 118961 号

内 容 提 要

本书共分七章,系统地介绍了玻璃液体温度计的结构、原理、分类、性质、制造工艺、检定及检定用主要设备等。

本书可供从事玻璃液体温度计的制造、测试、检定工作人员及相关专业技术人员使用。

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](http://www.zgjl.com.cn)

北京市密东印刷有限公司印刷

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 8 字数 192 千字

2007 年 11 月第 1 版 2007 年 11 月第 1 次印刷

*

印数 1—2 000 定价: 22.00 元

前 言

在各种温度仪表中，人们最熟知的、使用最为广泛而又最古老的是玻璃液体温度计。从温度的发展历史看，玻璃液体温度计很早就用于传递国际温标，直到现在，标准水银温度计仍然是我国温度量值传递中重要的次级标准器。由于该温度计具有结构简单，读数容易，出现故障易于发现，使用方便而又安全，便于清洗和消毒，价格便宜等优点，所以在农业、医药卫生、石油、化工、气象等部门和科学实验等领域以及人们的日常生活中，都得到了十分广泛的应用。

我国自 20 世纪 60 年代初，首先研制了标准水银温度计和检定用的标准恒温槽等配套设备，并陆续制定了标准水银温度计和一些高精密的、专用的玻璃液体温度计检定规程。为我国在温度计量领域建立中温计量标准打下了基础。在标准水银温度计的研制和相应检定规程制定、修订中，做了大量的试验观察，积累了较为丰富的理论和实践经验，对玻璃液体温度计有了较为深入的认识。本书是我们在玻璃液体温度计的制造、检定和使用多年的实践基础上并参考了大量的有关资料编写而成的，对玻璃液体温度计的结构原理、分类、性质、制造工艺、检定等作了较为详尽的介绍，有的内容较为新颖和独特。其中某些问题是经验性探讨，希望能对温度计量的同行有参考价值，为从事该行业的技术人员提供一些技术资料。

本书由中国计量科学研究院王凤成、广东省计量科学研究院沈正宇和冀州市耀华器械仪表厂厂长徐彦发共同编写，全书由王凤成统稿。

由于本书所涉及的内容较为广泛，笔者的学识水平有限，难免有错漏疏忽之处。恳请读者批评指正、交流探讨。

编著者

2007年6月

目 录

第一章 玻璃液体温度计的构造及原理	(1)
第一节 构造型式	(1)
第二节 基本原理	(3)
第三节 温度计用感温液体	(5)
第四节 温度计用玻璃	(10)
第二章 玻璃液体温度计的物理性能	(18)
第一节 温度计的灵敏度	(18)
第二节 温度计的热惰性	(19)
第三节 温度计的机械惰性	(22)
第四节 温度计露出液柱温度的影响及修正原理	(24)
第五节 温度计零位变化规律及人工老化	(31)
第六节 温度计的内压	(40)
第七节 温度计的外压	(47)
第三章 玻璃液体温度计的种类及用途	(49)
第一节 标准水银温度计	(49)
第二节 高精密水银温度计	(53)
第三节 工作用玻璃液体温度计	(57)
第四节 结构特殊、专用温度计	(60)
第四章 贝克曼温度计的检定和使用	(80)
第一节 结构和用途	(80)
第二节 感温泡内水银量的调整方法	(83)

第三节	外观检查要点	(85)
第四节	示值检定	(87)
第五节	检定结果的处理	(90)
第六节	平均分度值 γ_i	(92)
第七节	温度修正值 $(x_n)_i$	(97)
第八节	孔径修正值 x_n 及与温度修正值 $(x_n)_i$ 的关系	(100)
第九节	示值检定中的主要误差来源及 减小其影响的方法	(105)
第十节	贝克曼温度计的正确使用	(108)
第五章	玻璃液体温度计的制造工艺	(116)
第一节	概述	(116)
第二节	玻璃管料的选择和测量	(116)
第三节	定体汞滴量具	(119)
第四节	感温泡容积的计算和制作	(120)
第五节	中间泡容积的计算和制作	(124)
第六节	温度计半制品内部的清洗及 感温泡底部的熔封	(127)
第七节	玻璃内应力的形成及其退火	(127)
第八节	感温液灌注的一般方法	(131)
第九节	倒空气和感温液量的调定	(133)
第十节	温度计的定点和刻度方法	(137)
第十一节	温度计制作的误差来源及减小 其影响的方法	(142)
第十二节	温度计定点刻度误差来源及 减小其影响的方法	(146)

第六章 玻璃液体温度计的检定	(151)
第一节 温度量值传递和温度计检定规程	(151)
第二节 温度计的外观检查	(152)
第三节 示值稳定度检定	(155)
第四节 示值准确度检定	(162)
第五节 示值检定结果的计算和处理	(193)
第六节 示值检定中的不确定度来源和减小 其影响的方法	(200)
第七章 检定用主要设备	(216)
第一节 概述	(216)
第二节 恒温油槽、水槽	(218)
第三节 热管恒温炉	(229)
第四节 干井炉	(232)
第五节 水三相点及保存	(234)
第六节 玻璃液体温度计露出液柱温度测量器具	(241)
第七节 读数望远镜或 CCD 读数装置	(242)
第八节 特殊温度计的专用检定槽	(243)
参考文献	(246)

内，为测点处感温液体（有的称测温质）和玻璃制作的感温泡、毛细管及标尺等组成。

一、玻璃液体温度计的构造及原理

1. 玻璃液体温度计的构造及原理

第一章 玻璃液体温度计的构造及原理

1.1 玻璃液体温度计的构造及原理

1.1.1 玻璃液体温度计的构造及原理

第一节 构造型式

1.1.1.1 玻璃液体温度计的构造及原理

玻璃液体温度计主要由感温液体（有的称测温质）和玻璃制作的感温泡、毛细管及标尺等组成。

感温泡（有的称感温球、下泡等）是一内径较大的，呈圆柱形或球形的玻璃管，它是由玻璃毛细管经热加工制成（称拉泡）或由一段薄壁玻璃管与毛细管熔接制成（称接泡）。感温液封装充满感温泡和毛细管的一部分。在感温液柱弯月面以上的毛细管空间，根据温度计测量上限的高低，充以不同压力的干燥惰性气体或抽制真空。温度数字及标度线蚀刻（或印制）在毛细管玻璃表面上或刻印在紧靠毛细管玻璃后面呈乳白色的玻璃瓷板上。

为防止温度计的偶然过热而炸裂和提高测温上限，故在距测温上限标线以上一定距离的毛细管顶端烧制一个形状呈倒置梨形的扩大部分，以储存超过上限温度时感温液体积的膨胀量，这一扩大部分称作安全泡，有的称安全室、膨胀室。

为提高温度计的灵敏度和缩短温度计尺寸令使用方便，对于测温下限高于室温的温度计，在感温泡与下限刻线间的毛细管适当部位，将其烧制成中间大两头尖的扩大部分，称为中间泡，以容纳由室温升至下限温度时膨胀的感温液体积，从而缩短了温度计的长度。通过烧制不同大小的中间泡，可使温度计的测温下限从任意温度起始，又可预防测温下限较高的温度计在室温下感温液冷缩至感温泡内形成气泡。有的温度计用内径较大的毛细管代替中间泡。

玻璃液体温度计（以下简称温度计）的构造型式有棒式、内标式和外标式三种类型。

棒式温度计的毛细管玻璃的外径较大，它的刻线和温度数字等标志蚀刻在玻璃棒表面上。通常为读数方便，在另一面熔有一条白色或黄色的釉带。为了消除温度计测温时视线与温度计不垂直所引起的误差，故规定一等标准水银温度计做成不带釉带的透明棒式。对于 350°C 以上的温度计用玻璃，由于熔入彩色釉带较困难，所以有的上限温度高于 350°C 的温度计只能做成透明棒式。

内标式温度计毛细管玻璃的外径较小，故其标尺和标志蚀刻或印在乳白色的玻璃瓷板上，并与毛细管玻璃固定紧靠在一起，两者封装在内径稍大于标尺板宽度的玻璃套管内。这种型式的温度计读数清晰，由于标尺板是密封在玻璃套管内不与被测介质接触，故标尺的涂色不易脱落。但与棒式温度计相比有较大的热惰性，而且由于标尺板与毛细管的相对位置易改变，会给温度计的示值带来系统误差。

外标式的标尺是印在木制的、塑料的、金属的或其他材质制成的板上，毛细管与标尺也是紧靠固定在一起的，但它们裸露在环境温度下。这种型式的温度计不适用精密测温，但价格便宜、读数清晰，主要用于测量不超过 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ 的环境温度。

按温度计使用时的浸没方式，可分为三种：全浸式、局浸式和完全浸没（又称潜浸）式。

所谓全浸，就是温度计感温液柱绝大部分浸没在被测温度的介质内，仅露出感温液顶部弯月面附近很短的液柱，以便于制作时定点画线和检定、使用时读取示值。目前颁布执行的有关玻璃液体温度计的检定规程中规定，全浸式温度计的露出液柱长度应不超过 $10\sim 15\text{mm}$ 。全浸式温度计的浸没深度随测量温度的高低而改变。这种浸没方式的温度计受环境温度的影响较小，故测量准确度较高，除标准贝克曼温度计以外的其他作标准器的玻璃液

体温度计都是全浸式。通常，在标尺的背面标志出“全浸”字样。

局浸式是指感温液柱的一部分浸没在被测温度介质内，另一部分则露出在被测介质以外。这种温度计在测量不同温度时的浸没深度始终不变。其浸没位置的固定标志有如下几种形式：在温度计玻璃的外表面上蚀刻出一条线；将棒式温度计的毛细管玻璃烧制扩大成为一个呈“竹节”状的圆环；内标式温度计上下外径不同的套管熔接处；对于高精密玻璃水银温度计要标志出浸没深度和露出液柱温度等。这一固定标志称局浸式温度计的浸没线（或局浸线）。由于局浸式温度计的露出液柱（浸没位置到毛细管内感温液面间液柱）受周围环境温度等因素的影响较大，其测量准确度要低于全浸式温度计。

完全浸没式，是温度计的全部浸没在被测温度介质内，例如，气象用温度计的检定和使用及外标式温度计的使用等均属于完全浸没式。

第二节 基本原理

玻璃液体温度计是一种膨胀式温度计，它是根据物质的热胀冷缩原理而制造的。

温度变化时，感温液的体积随之改变，致使液柱沿毛细管升高或降低。当温度计与测温介质达到热平衡时，液柱顶部弯月面便在标尺上指示出被测介质的温度。

物质的膨胀系数定量地描述其膨胀特性。物质的体膨胀系数定义为：温度升高 1°C 所引起的物质体积的增大与其在 0°C 时的体积之比，称体膨胀系数（简称体胀系数）。

在温度为 t_1 至 t_2 或 0°C 至 t 的间隔内，物质的平均体胀系数 $\beta_{t_1 \sim t_2}$ 或 $\beta_{0 \sim t}$ 的数学表达式为

$$\beta_{t_1 \sim t_2} = \frac{V_2 - V_1}{(t_2 - t_1)V_0}$$

$$\text{或} \quad \beta_{0 \sim t} = \frac{V_t - V_0}{t V_0} \quad (1-1)$$

式中, V_1 , V_2 , V_t , V_0 分别为温度 t_1 , t_2 , t 和 0°C 时物质的体积。

无论是线膨胀系数, 还是体膨胀系数, 在不同的温度段上它们都不是线性的。通常在使用范围内, 取其平均值, 称为平均线膨胀系数、平均体膨胀系数。

由于温度计是由感温液和玻璃两种物质组成的, 所以当它受热或遇冷后液柱的伸长或缩短, 并非只是感温液体积的单一改变, 而且还包含着玻璃容积的改变。受热时, 感温液体积膨胀, 促使液柱弯月面沿毛细管上升; 相反的, 玻璃受热膨胀, 造成它的容积增大, 导致液柱弯月面沿毛细管下降。但由于感温液要比玻璃的体胀系数大许多倍, 所以能从毛细管中观察到液柱弯月面随温度升高而上升, 随温度降低而下降。因此, 温度计感温液随温度变化的体积改变量, 实质上是感温液体积与玻璃容积的改变之差, 用式 (1-2) 表示:

$$\Delta V_a - \Delta V_b = V_0 \Delta t \beta_a - V_0 \Delta t \beta_b = V_0 \Delta t (\beta_a - \beta_b) \quad (1-2)$$

式中 ΔV_a , ΔV_b ——感温液和玻璃受热或遇冷的体积改变量;

β_a , β_b ——感温液体和玻璃的平均体胀系数, 两者之差称温度计的视膨胀系数, 简称视胀系数, 用符号 “K” 表示。

由式 (1-2) 可得出计算温度计在 0°C 时的感温泡容积公式:

$$V_0 = \frac{(\Delta V_a - \Delta V_b)_{0 \sim t}}{t K_{0 \sim t}}$$

$$\text{或} \quad V_0 = \frac{(\Delta V_a - \Delta V_b)_{t_1 \sim t_2}}{(t_2 - t_1) K_{t_1 \sim t_2}} \quad (1-3)$$

式中 $K_{0 \sim t}$, $K_{t_1 \sim t_2}$ —— $0 \sim t$ ($^{\circ}\text{C}$) 和 $t_1 \sim t_2$ ($^{\circ}\text{C}$) 温度间隔内温度计的平均视胀系数, $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

$(\Delta V_a - \Delta V_b)_{0 \sim t}$, $(\Delta V_a - \Delta V_b)_{t_1 \sim t_2}$ —— 相应两个温度间隔温度计的视膨胀体积;

V_0 —— 温度计在 0°C 时感温泡的容积和感温液的体积。

令式 (1-3) 中的 t_1 为温度计主标尺的测温下限 t_F , t_2 为测温上限 t_E , 则式 (1-3) 右边有如下的关系:

$$\frac{(\Delta V_a - \Delta V_b)_{t_F \sim t_E}}{(t_E \sim t_F)} = Sh_1$$

式中, S 为温度计主标尺温度范围内的毛细管平均截面积;
 h_1 为平均 1°C 距离。 Sh_1 即为主标尺温度范围内温度平均变化 1°C 的感温液的视胀体积。

将上式代入式 (1-3) 可得出与温度计参数相关的计算式:

$$V_0 = \frac{Sh_1}{K_{t_F \sim t_E}} \quad (1-4)$$

式 (1-4) 为温度计在制造和检定使用中进行定量计算的基本公式。

第三节 温度计用感温液体

感温液体是玻璃温度计感受和显示温度的主体部分, 当玻璃材料选定后, 温度计的使用范围、灵敏度、准确度和热惰性等均取决于感温液的性能。

一、对感温液的一般要求

对感温液的一般要求如下:

(1) 在较宽的温度范围内应保持液态。

(2) 不应润湿玻璃。

(3) 体胀系数要大，但随温度变化的改变要小，体积随温度的变化关系要近似线性。

(4) 低温中黏度要小，高温中饱和蒸气压要小。

(5) 比热容要小，导热系数要大。

(6) 在使用温度范围内化学性能稳定。

(7) 易于提纯和着色，显示清楚、无沉淀现象。

(8) 体格要低廉。

可以作为感温液的物质较多，但是完全达到上述要求的感温液又是极少的。经过实践选择，目前常用的感温液是水银和部分有机液体。

二、水银

水银是最好的感温液体，具有以下优点：

(1) 水银在 -38.855°C （凝固点）至 356.66°C （沸点）温度范围内保持液态，因此，适用的温度范围较宽，常用的温度范围为 $-30\sim 300^{\circ}\text{C}$ 。

由于水银的饱和蒸气压较小，因此，在水银液面上部的毛细管和安全泡空间内只需充入较小压力的气体，便能显著地提高水银的沸点，也就相应地提高了温度计的测温上限，可以达到 600°C ，甚至更高，但实际应用的温度上限为 500°C 或 600°C 。

水银温度计的测温下限为 -30°C 。为延伸其使用下限，从 20 世纪 30 年代开始先后有美国、日本、前苏联便着手研究，按重量比在水银中添加铊组成合金，降低它的凝固点，最终制成了下限温度为 -56°C 的汞铊温度计。在 20 世纪中期，我国沈阳市玻璃计器厂采用在水银中加入一定比例的高纯铊和铟的以汞为基础的合金，其凝固点达到了 -62°C ，研制出了下限温度为 -60°C 精密和标准汞基温度计，一直应用至今。

由此可见，水银温度计覆盖的温度范围是十分宽广的，可达 $-60\sim 600^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 水银表面张力大、内聚力也较大，不润湿玻璃，因而不挂附在玻璃毛细管壁上，故能制造出精确优良的温度计。与有机液体相比，这一点是水银温度计的最大优点。

(3) 与有机液体相比，水银的膨胀系数较小，但随温度变化改变的也小，所以水银温度计的刻度是近似等间隔的。表 1-1 列出了在不同温度范围内三种不同型号玻璃水银温度计的视胀系数（平均值）。

表 1-1 水银温度计视胀系数

温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	视胀系数/ $^{\circ}\text{C}^{-1}$		
	360 型玻璃	500 型玻璃	600 型玻璃
$-60\sim 0$	0.000135 (汞基合金)	—	—
$0\sim 50$	0.000158	0.000164	—
$50\sim 100$	0.000158	0.000164	—
$100\sim 150$	0.000158	0.000165	—
$150\sim 200$	0.000158	0.000166	—
$200\sim 250$	0.000160	0.000169	—
$250\sim 300$	0.000163	0.000172	—
$300\sim 350$	—	0.000176	—
$350\sim 400$	—	0.000180	—
$400\sim 450$	—	0.000185	—
$0\sim 500$	—	—	0.000181
$500\sim 600$	—	—	0.000207

(4) 水银的比热容小，导热系数大，传热快，所以水银温度计的热惰性小。

(5) 水银为液态金属，具有良好的导电性能，可用于制造电接点温度计。

(6) 水银比有机液体的压缩系数小几十倍，因此，温度计内压的改变所引起的示值误差也较小。

(7) 水银易于提纯。

基于上述优点，水银温度计得到了广泛应用，不但用于精密测温，而且还用作温度量值传递过程中的标准器。但水银的最大缺点是污染环境，危及人们的身体健康。

高于水银使用上限温度的感温液还有镓。镓熔点为 29.7646°C ，而沸点在 1600°C 以上，用石英玻璃可制造出上限达 1000°C 的镓温度计。

三、有机液体

低于 -60°C 的温度计用感温液为有机液体，它的品种较多，常用的有酒精、甲苯、煤油、石油醚、戊烷等，其中酒精用的较广泛。

不同品种的有机液体适用的温度范围不同，经添加凝固点下降剂后，最低使用下限温度可达 -200°C ，增加温度计内充惰性气体的压力，最高使用上限能达 200°C ，但常见的温度范围为 $-100\sim 100^{\circ}\text{C}$ 。

有机液体与水银相比有如下优点：

(1) 凝固点低，以此制作的温度计的测温下限也低。

(2) 视胀系数大，在感温泡大小相同的情况下，温度计主标尺上的 1°C 距离长，因而玻璃毛细管的孔径大，温度计标尺刻线粗，感温液下弯月面明显，读数清晰。表 1-2 列出了几种有机感温液用 360 型玻璃制作温度计的视胀系数。

表 1-2 几种有机感温液的视胀系数

有机感温液名称	使用温度范围/°C		对 360 型玻璃的 视胀系数/°C ⁻¹
	起	止	
煤 油	0	200	0.00093
乙 醇	-80	80	0.00103
甲 苯	-80	100	0.00107
石油醚	-120	20	0.00140
戊 烷	-200	20	0.00090

(3) 易于着成红、蓝、黄等颜色，使示值醒目，易于读取。

有机液体与水银相比有如下缺点：

(1) 测量上限低，测温范围窄。有机液体的饱和蒸气压比水银的大几个数量级，因此，很难用充气提高内压的办法上延它的测温上限。故每一种有机液体覆盖的温度范围都较窄。

(2) 内聚力小，润湿玻璃，挂壁十分严重。挂壁量的多少，与温度计由较高温度降至较低温度的降温速率密切相关。当降温速率快时，挂壁量大，而且在温度计直立测温的状况下，挂壁的液滴会沿毛细管下流形成小的液柱，呈断柱的形式；反之，降温速率慢时挂壁量少。在检定和使用实际中，其降温速率很难达到一致，因此，会造成很大的示值误差。上述现象是有机液体的最大缺点，也是它不能用于精密测温的原因所在。

(3) 视胀系数随温度变化大，致使温度计在不同温度范围内的标尺间距不相同。视胀系数大，露出液柱的温度修正量也大。

(4) 有机液体的热容量大而导热系数小，所以有机液体温度计的热惰性大。