

压力与固体膨胀 温度计

YALI YU GUTI PENGZHANG
WENDUJI

李铁桥 冯忍 编著
陈守仁 审

中国计量出版社

内 容 提 要

本书系统介绍压力与固体膨胀温度计的工作原理、结构特点、误差补偿、性能指标以及使用维护方面的有关问题。可供从事温度计量、仪表设计制造和使用维护的工人与技术人员阅读，也可作为大专院校有关专业师生的参考书。

温度计量测试丛书(五)

压力与固体膨胀温度计

李铁桥 冯 迅 编著 陈守仁 审

责任编辑 吴 金

—*

中国计量出版社出版

北京和平里11区7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 5.5 字数 120 千字
1988 年 5 月第 1 版 1988 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—10 000

ISBN 7-5026-0084-1/TB·89

定价 1.60 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 奚绪昕

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，为我国早日实现社会主义现代化贡献力量。

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

压力式和固体膨胀式温度计是工业自动化仪表中发展得比较早的两种温度检测仪表，它们都是依据物体受热膨胀的原理来工作的。这两种仪表都具有结构简单、坚固耐用、工作稳定、读数方便、易于维护和价格低廉等优点，因此在机械、冶金、轻工、化工、交通运输、家用电器、食品以及国防和科研部门中得到了广泛的应用。

按照《温度计量测试丛书》编委会的安排，本书将系统介绍压力式和固体膨胀式温度计的工作原理、结构特点、设计计算、环境误差补偿以及性能指标和使用维护等方面的问题，以期对从事温度计量、仪表设计制造以及使用维护的工人和技术人员能有所帮助，同时也希望能供大专院校有关专业的师生参考。

本书第一至三章由李铁桥同志执笔，其余各章由冯思同志编写。全书由陈守仁教授审定。

作者要特别感谢陈宏磐副教授和王家禄总工程师所提出的许多宝贵而富有建设性的意见。作者还要感谢诸多同行，本书在编写时始终得到他们的热忱支持和帮助。

限于水平，谬误疏漏之处在所难免，欢迎读者批评指正。

作 者

1987年4月于哈尔滨

目 录

第一章 压力式温度计的工作原理和结构	(1)
第一节 工作原理	(1)
一、液体压力式温度计	(3)
二、蒸气压力式温度计	(5)
三、气体压力式温度计	(15)
第二节 压力式温度计的结构	(18)
一、仪表封闭系统	(19)
二、传动放大机构	(26)
三、显示环节	(28)
第二章 压力式温度计的基本特性	(30)
第一节 液体压力式温度计的基本特性	(30)
一、单圈弹簧管液体压力式温度计	(33)
二、多圈弹簧管液体压力式温度计	(38)
三、膜盒或波纹管液体压力式温度计	(40)
第二节 蒸气压力式温度计的基本特性	(42)
一、仪表刻度特性	(43)
二、温包的最小容积	(53)
第三节 气体压力式温度计的基本特性	(56)
一、系统压力方程和仪表刻度特性	(56)
二、系统的初始压力和温包的容积	(59)
第四节 常用传动机构的特性	(63)
一、曲柄连杆机构	(63)
二、拨杆机构	(69)
三、摇杆机构	(72)
四、正弦和正切机构	(74)

第三章 压力式温度计的附加误差及其补偿方法	(77)
第一节 液体压力式温度计的附加误差及其补偿	
方法	(78)
一、温包插入被测介质深度不足所引起的附加误差	(78)
二、环境温度附加误差及其补偿方法	(79)
三、大气压力附加误差	(90)
四、液柱静压附加误差	(90)
第二节 蒸气压力式温度计的附加误差	(94)
一、温包插入被测介质深度不足所引起的附加误差	(94)
二、环境温度附加误差	(94)
三、大气压力附加误差	(97)
四、液柱静压附加误差	(98)
第三节 气体压力式温度计的附加误差及其补偿	
方法	(101)
一、温包插入被测介质深度不足所引起的附加误差	(101)
二、环境温度附加误差	(101)
三、大气压力附加误差及其补偿方法	(103)
四、静压附加误差	(108)
第四节 压力式温度计的滞后时间和基本参数	(108)
一、滞后时间	(108)
二、基本参数	(110)
第四章 带附加装置的压力式温度计	(112)
第一节 电接点压力式温度计	(112)
第二节 压力式温度变送器	(115)
第三节 气动温度指示调节仪	(118)
一、结构和作用原理	(118)
二、比例积分装置的调校	(125)
三、调节参数的给定	(126)
第五章 压力式温度计的检定与使用维护	(129)
第一节 压力式温度计的技术要求	(129)

第二节	压力式温度计的检定	(132)
第三节	压力式温度计的安装	(133)
第四节	气动温度指示调节仪的安装	(134)
第五节	气动温度指示调节仪的使用维护	(135)
第六节	压力式温度变送器的安装	(136)
第六章	双金属温度计	(137)
第一节	双金属温度计的结构和分类	(137)
第二节	双金属温度计的感温元件	(142)
一、	热敏双金属的温度特性	(142)
二、	热敏双金属组合层的材料	(145)
三、	热敏双金属的性能指标	(147)
第三节	双金属温度计的设计与计算	(154)
一、	选择元件材料	(155)
二、	确定元件形状	(155)
三、	计算元件尺寸	(155)
第四节	双金属温度计的使用与检定	(160)
一、	双金属温度计的主要技术要求	(160)
二、	双金属温度计的使用注意事项	(161)
三、	双金属温度计的检定	(162)

第一章 压力式温度计的

工作原理和结构

第一节 工 作 原 理

在一个封闭系统的内部充满某种工作物质，当系统温度变化时，工作物质的体积或压力就会发生改变。如果能够采取适当的措施，测量出系统内部工作物质体积或压力的变化，便可以实现温度的间接测量。

压力式温度计就是根据这一原理工作的。通常压力式温度计是在仪表封闭系统内部充入相应的液体、气体或低沸点液体的饱和蒸气作为工作物质。这类仪表有的是基于工作物质体积随温度的变化、有的则是基于工作物质压力随温度的变化而工作的。

典型压力式温度计的仪表封闭系统一般是由温包、毛细管和弹性元件（通常是弹簧管或膜盒等）三部分组成的。图 1-1 为这类压力式温度计的原理简图。图中的仪表包括温包 1、金属毛细管 2、基座 3 和具有椭圆或平椭圆截面的弹簧管 4。弹簧管的一端焊在基座上，另一端封死作为自由端。基座内部开有沟槽，这个槽通过毛细管把温包和弹簧管的内腔连接起来，组成一个封闭系统，在此封闭系统内部充有工作物质。弹簧管自由端与连杆 5 铰链连接，连杆的另一端则与扇形齿轮 6 铰接，扇形齿轮与小齿轮 7 啮合，小齿轮的轴上固定有指针 8。

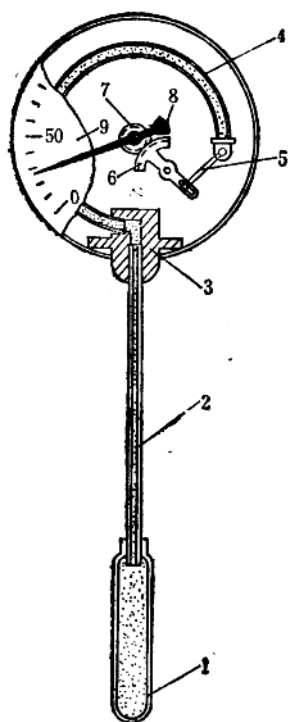


图 1-1 压力式温度计原理简图

- 1—温包；2—毛细管；3—基座；
4—弹簧管；5—连杆；
6—扇形齿轮；7—小齿轮；
8—指针；9—刻度盘

在测量介质温度时，把温包插入到被测介质中，受介质温度影响，温包内工作物质的体积或压力就会发生变化。毛细管把这一变化传递给弹簧管，致使弹簧管发生少许变形，自由端产生相应的位移，借助于连杆、齿轮传动放大机构带动指针发生偏转，在刻度盘上指示出相应的温度数值。

压力式温度计根据所用工作物质的不同，可以分成三种类型：

1. 工作物质为液体的，称之为液体压力式温度计；
2. 工作物质为低沸点液体饱和蒸气的，称之为蒸汽压力式温度计；
3. 工作物质为气体的，称之为气体压力式温度计。

国外也有把工作物质为水银的液体压力式温度计单独列为一种，称之为水银压力式温度计。我国则把水银压力式温度计归入液体压力式温度计。

上述三种压力式温度计，从仪表结构上看几乎没有多大差别。然而从原理上讲，还是有所不同的。液体压力式温度计主要是依靠工作物质体积的变化来工作的，而蒸汽和气体压

力式温度计则是靠工作物质压力的变化来工作。

一、液体压力式温度计

液体压力式温度计的工作物质是液体，用某种特定的工作液体全部充满由温包、毛细管和弹性元件所组成的仪表封闭系统。图 1-2 为水银液体压力式温度计的原理示意图。从图中可以清楚地看到整个仪表封闭系统完全为工作液体——水银所充满的情况。

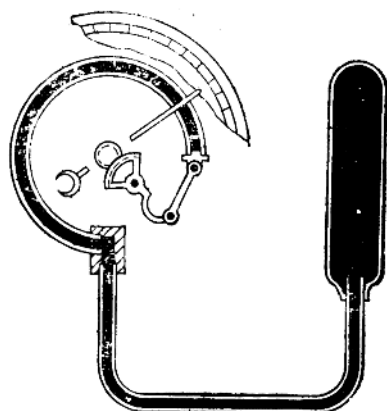


图 1-2 水银液体压力式温度计

根据液体热膨胀定律，当忽略液体的可压缩性（即认为液体可以自由膨胀）时，浸没在被测介质中的温包，其内部工作液体体积的变化与被测介质温度成正比：

$$\Delta V_L = \alpha(t - t_0)V_{b0} \quad (1-1)$$

式中： ΔV_L ——温包中工作液体体积的变化量，

α ——工作液体的温度膨胀系数，

t ——温包、即被测介质的工作温度；

t_0 ——温包、同时也是系统的初始温度；

V_{b0} ——在初始温度 t_0 时温包的容积。

工作液体的体积变化经毛细管传递给弹性元件，使弹性元件发生变形，内部容积产生相应的变化，并且有：

$$\Delta V_s = \Delta V_L \quad (1-2)$$

式中： ΔV_s ——弹性元件容积的变化量。

一般弹性元件自由端的位移与其内部容积的变化成正比，因此弹性元件自由端位移的大小便反映出被测介质的温度。

从原理上讲，液体压力式温度计和玻璃温度计（例如玻璃水银温度计）是相似的，同属于体积膨胀式温度计，它们都是通过测量工作液体体积的变化来实现温度测量的。然而液体压力式温度计和玻璃温度计相比，其外壳结构是全金属型的，它具有坚固、不易破碎等优点，在工业生产中得到了广泛的应用。

液体压力式温度计对工作液体有下述三方面的基本要求：

1. 液体应具有大的温度膨胀系数，使温度计有较高的灵敏度；
2. 液体应具有较高的导热系数、较小的粘度和比热，以保证仪表有足够的快速性；
3. 液体对温包、毛细管和测温弹性元件应无腐蚀作用。

表 1-1 给出了液体压力式温度计常用的几种工作液体的有关数据。从表中可以看到，不同种类工作液体的温度适用范围是互不相同的。温度计测温下限主要是受工作液体凝固点的限制，而温度计测温上限通常可以高于常压下工作液体的沸点。这是因为工作液体处于封闭系统的内部，当被测温

度上升时系统内部压力会随之增大，因此液体沸点也会有所升高。

液体压力式温度计最经常采用的工作液体是水银和二甲苯。二甲苯的温度膨胀系数比水银约大六倍，但是由于水银有较好的热传导性，温包响应温度变化的速度快，而且水银

表 1-1 液体压力式温度计常用工作液体的主要技术数据

工作液体	平均膨胀系数($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	测温范围($^{\circ}\text{C}$)	毛细管最大长度(m)	刻度特性
水 银	0.000 18	-30~550	20	均 匀
二甲苯	0.001 08	-40~400	20	不均匀
乙 醇	0.001 05	-46~150	20	均 匀
甘 油	0.000 5	20~175	20	均 匀

测温适用范围广，因此它得到了最为普遍的应用。可是在温包、毛细管和弹性元件所组成的封闭系统发生破裂时，水银溢出会引起污染，这是它的最大缺点。

液体压力式温度计的初始压力一般为 $10\sim 50\text{ kgf/cm}^2$ ，上限压力可达 175 kgf/cm^2 。

二、蒸气压力式温度计

蒸气压力式温度计的工作物质是低沸点液体的饱和蒸气。在温度计的温包中充入一定数量的某种低沸点挥发性液体，由于液体的气化作用，会使温包上方（有时也包括毛细管和弹性元件的内部）充满该种液体的饱和蒸气。

根据热力学的有关理论，液体在任何温度下都会有气化现象发生。所谓气化，是指液体中动能较大的分子能够克服液体内部分子的引力，逸出液面形成气体分子的过程。显然

液体的温度越高，分子平均动能也就越大，因此单位时间内由液体中逸出的分子数也越多，气化作用就越强。由于液体气化作用的结果，液面上方蒸气的密度将逐渐增加。然而由于分子是在不断地运动，蒸气的分子也会有一部分返回到液面，重新凝结成为液体。这种蒸气分子重新凝结的过程，我们称之为冷凝。冷凝过程的强弱，与蒸气的密度有关，蒸气密度越大，单位时间内返回到液面的蒸气分子越多，冷凝作用也就越强。实际上，液体的气化和蒸气的冷凝总是同时进行的。一般地，当液体的气化作用大于蒸气的冷凝作用时，过程主要表现为液体的单向气化；而当蒸气的冷凝作用大于液体的气化作用时，过程则主要表现为蒸气的单向冷凝。对于密闭容器而言，这种单向的气化或冷凝都不可能无休止地进行下去。因为单向气化的结果，必将导致蒸气密度的增加，因而使冷凝作用加强，最终达到气化和冷凝的平衡。同样，单向冷凝的结果又会使蒸气的密度下降，因而使冷凝作用减弱，导致气化和冷凝达到新的平衡。由此可见，处于某一特定温度下的密闭容器，其内部液体的气化和蒸气的冷凝最终必将处于平衡状态。在平衡状态下，液体的气化速度（单位时间内气化的液体质量数）与蒸气的冷凝速度（单位时间内冷凝的蒸气质量数）相等，于是蒸气的密度保持不变。这种与液体处于平衡状态下的蒸气，我们称之为饱和蒸气；饱和蒸气所具有的压力被称为饱和蒸气压。

根据道尔顿饱和蒸气压定律：各种液体的饱和蒸气压都与温度有关，而且只与液体和蒸气物相分界面的温度有关。作为一个例子，表 1-2 给出了饱和水蒸气的压力与温度间的数值关系。由表中可以看出，饱和水蒸气压只与温度有关，并且与温度具有完全确定的单值对应关系。

蒸气压力式温度计就是利用液体饱和蒸气压与温度的单

表 1-2 饱和水蒸气参数表

温度(°C)	饱和水蒸气压(kgf/cm ²)	饱和水蒸气比容(m ³ /kg)
0	0.006 228	206.3
20	0.023 83	57.84
40	0.075 20	19.55
60	0.203 1	7.678
80	0.482 9	3.409
100	1.033 2	1.673
120	2.024 5	0.891 7
140	3.685	0.508 7
160	6.302	0.306 8
180	10.225	0.193 9
200	15.857	0.127 2
220	23.659	0.086 06
240	34.140	0.059 67
260	47.87	0.042 15
280	65.46	0.030 13
300	87.61	0.021 64
320	115.13	0.015 45
340	148.96	0.010 78
360	190.42	0.006 943
374.15	225.65	0.003 26

值关系来实现温度测量的。图1-3为蒸汽压力式温度计的原理简图。由图中可以看到，在温包的下部充有低沸点挥发性液体，而在温包的上部、在毛细管和弹性元件（弹簧管）内部则充满该种液体的饱和蒸气。在进行温度测量时，温包被插入到被测介质中，使温包内部液体和蒸气物相界面与被测介质的温度相等。当被测介质温度变化时，液体的饱和蒸气压也随之改变。由于弹性元件（弹簧管）自由端的位移与内部压力成正比，借助于传动放大机构，使仪表指针发生偏转，便可在刻度盘上指示出相应的温度数值。

蒸汽压力式温度计所用液体的选择，应根据仪表测温范

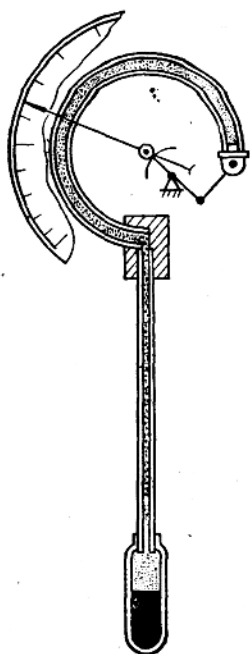


图 1-3 蒸气压力式温度计
原理简图

围加以考虑。表 1-3 给出了几种常用液体的有关数据。一般蒸气压力式温度计的测温下限主要受液体沸点的限制。为了保证必要的仪表工作压力，温度计的测温下限必须高于液体沸点温度，因此，只有选择低沸点液体才能测量较低数值的温度。仪表的测温上限主要受液体临界温度的限制。当被测温度达到临界温度时，液体和蒸气之间将没有明显的分界面，此时液体全部被气化。此后若温度继续升高，则系统内部的压力将急剧增加，因此已不再适用于测量温度了。

为了保证仪表测量结果的准确性，蒸气压力式温度计对温包中所充液体的数量有下述两点基本要求：

1. 在测量温度的上限，温包内仍应保留有一定数量的液体；
2. 在测量温度的下限，温包内仍应保留有一定的为饱和和蒸气所占有的空间。

这两点要求的目的是要在仪表整个测温范围内始终保持温包内部自由液面（物相分界面）的存在，以保证测温弹性元件内部的蒸气压力刚好是被测温度下所充液体的饱和和蒸气压力。当上述两点要求得到满足时，温包实际尺寸的大小以及