

温度计量测试丛书

温度显示仪表 及其校准

WENDU XIANSHI YIBIAO
JIQI JIAOZHUN

全国温度计量技术委员会 组编
朱家良 编著
张继培 主审



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

温度计量测试丛书

温度 (CIP) 目录编号

国家标准不确定度

温度计量技术委员会

中国计量出版社

温度显示仪表及其校准

全国温度计量技术委员会 组编

朱家良 编著

张继培 主审

1	0.05	0.02
---	------	------

中国计量出版社出版

北京平西里西里平味京北

邮编 100013

电话 (010) 6432380

www.cip.com.cn

中国计量出版社

北京平西里西里平味京北

邮编 100013

电话 (010) 6432380

www.cip.com.cn

中国计量出版社

北京平西里西里平味京北

邮编 100013

电话 (010) 6432380

www.cip.com.cn

中国计量出版社

中国计量出版社

定价：31.00元

图书在版编目 (CIP) 数据

温度显示仪表及其校准

温度显示仪表及其校准/全国温度计量技术委员会组编; 朱家良编著. —北京: 中国计量出版社, 2008. 11

(温度计量测试丛书)

ISBN 978-7-5026-2887-1

I. 温… II. ①全…②朱… III. 温度测量仪表 IV. TH811

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 130972 号

内 容 提 要

本书介绍了温度显示仪表的电路知识、所配用的传感器和量值溯源, 以及温度显示仪表的检定、校准总则和它们之间的区别; 分别介绍了动圈仪表、工业过程测量记录仪、模拟式温度指示调节仪、数字式温度指示调节仪和温度变送器的工作原理、检定、校准和不确定度评定; 同时, 还介绍了作为新型标准器的温度校准仪的使用要点及其校准方法。

本书可供从事温度计量测试的人员使用, 也可供相关技术人员参考。

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 6.875 字数 169 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

温度是一个基本物理量，它与其他许多物理参数有着密切的关系，因而在人们的日常生活、工农业生产、国防以及科学研究中，都离不开温度的准确测量和精确控制。

温度显示仪表与温度传感器配合以实现温度的测量、控制和显示。随着科学技术的发展，温度的测量、控制和显示的技术、方式也日益先进和多样化，改革开放更加快了它的前进步伐。温度显示仪表由全国统一设计的动圈仪表、自动电位差计、自动平衡电桥发展到引进、合资生产出新型的自动平衡式显示仪表、简易温度指示控制器等仪表，各仪表制造企业、研究机构在消化吸收国外先进技术的基础上纷纷开发出各种模拟式温度指示调节仪和数字式温度指示调节仪，丰富了我国的仪表市场。近些年来微机技术和通信技术的迅猛发展波及了温度测量领域，使温度测量和控制领域发生了革命性的变化。以软件为核心的虚拟仪器打破了传统仪表的概念，无纸记录仪的诞生和发展提高了温度仪表的测量准确度，使显示更灵活、功能更强大、记录的信息量更多、信息交换更快捷。现场总线有效地实现了各种智能设备（其中也包括智能温度显示仪表）间的数据交换，其传送误差减少、抗干扰能力增强的特点，使设备的信息量大大增加，提高了测量、控制系统的可靠性。

温度显示仪表作为计量器具长期以来一直是通过检定的手段进行量值传递，达到计量单位的统一和量值的准确一致。温度显示仪表通过校准达到温度量值的溯源是近年来计量测试人员努力进行的一项工作。本书融入了编者多年来编写检定规程中的感悟和实践中对校准工作的认识，并通过实例力求说明检定和校准的

异同点和不确定度评定的过程。

本书主要介绍温度显示仪表的工作原理、检定和校准方法，以及与校准工作相关的不确定度评定方法。在第一章中叙述了温度显示仪表的电路知识、配用的传感器、温度显示仪表的溯源和检定、校准总则；第二章至第五章分别叙述了动圈仪表、工业过程测量记录仪、模拟式温度指示调节仪和数字式温度指示调节仪的工作原理、检定和校准方法以及不确定度评定；第六章叙述了温度变送器的工作原理、现场总线以及变送器的检定和校准；第七章介绍了温度校准仪作为新型标准器的校准方法和使用要点。

本书由上海工业自动化仪表研究所原所长张继培教授主审，得到了他的中肯指点。在编写过程中，上海自动化仪表股份有限公司程广富、殷淑萍和上海集成仪器仪表研究所有限公司王业俊提供了相关资料，编者所在单位上海市计量测试技术研究院的领导和同事给予了一贯的支持和帮助，在此表示衷心感谢！

由于时间仓促，加之学识水平有限，书中难免有错漏之处，敬请读者批评指正。

编者

2008年5月

目 录

(138)	.....	第 三 章	(1)
(175)	.....	第 六 章	(1)
(175)	.....	第 一 章	(1)
(175)	.....	第 二 章	(2)
(181)	.....	第 三 章	(7)
(181)	.....	第 一 章 温度的测量与显示仪表	(1)
(200)	.....	第 一 节 温度的测量	(1)
(200)	.....	第 二 节 温度显示仪表	(2)
(200)	.....	第 三 节 温度显示仪表的电路知识	(7)
(201)	.....	第 四 节 温度显示仪表配用的传感器	(24)
(201)	.....	第 五 节 温度显示仪表的量值溯源	(32)
(201)	.....	第 六 节 检定、校准总则	(35)
		第 二 章 动圈式温度指示调节仪	(41)
		第 一 节 动圈仪表的结构原理	(41)
		第 二 节 动圈仪表的检定和校准	(57)
		第 三 章 工业过程测量记录仪	(75)
		第 一 节 用途、分类	(75)
		第 二 节 工作原理	(78)
		第 三 节 记录仪的检定和校准	(94)
		第 四 章 模拟式温度指示调节仪	(110)
		第 一 节 结构及原理	(110)
		第 二 节 检定和校准	(113)
		第 五 章 数字式温度指示调节仪	(127)
		第 一 节 工作原理	(127)

第二节	检定和校准	(133)
第六章	温度变送器	(172)
第一节	概述	(172)
第二节	组成及原理	(173)
第三节	计量特性和校准	(181)
第七章	温度校准仪	(200)
第一节	概述	(200)
第二节	工作原理	(200)
第三节	温度校准仪的使用	(201)
第四节	温度校准仪的校准	(201)
参考文献	.....	(210)
(1)	.....	章二第
(14)	.....	章一第
(25)	.....	章二第
(27)	.....	章三第
(27)	.....	章一第
(28)	.....	章二第
(31)	.....	章三第
(110)	.....	章四第
(110)	.....	章一第
(113)	.....	章二第
(132)	.....	章五第
(132)	.....	章一第

第一章 温度的测量与显示仪表

第一节 温度的测量

温度是表征物体冷热程度的物理量。冷热程度用感觉是不能从量值上描述温度高低的。衡量温度的高低必须建立一把温度的标尺，建立一种用数值来表示温度的方法，简称“温标”。历史上曾经出现过许多温标，随着技术的进步和人类认知程度的提高，温标也是在不断完善。建立在热力学第二定律基础上的热力学温标为温标的国际化奠定了基础。经历了一个多世纪的温标更替，目前在国际范围内推行的是1990年国际温标（ITS—90），它也是一种由国际协议而采用的易于高精度复现，并在现阶段的知识和技术水平范围内尽可能接近热力学温度的经验温标。随着技术水平和认知程度的提高，必将有新的国际温标出现。

热力学温度（符号 T ）的单位是开尔文（符号 K ），是国际单位制（SI）单位的七个基本单位之一，也是我国法定计量单位采用的计量单位。定义为水三相点热力学温度的 $1/273.16$ 。过去的温标定义中曾经用摄氏温度，它表示与 $273.15K$ （冰点温度）的差值，现在仍然保留这个方法，用这种方法表示的热力学温度称为摄氏温度（符号 t ），单位是摄氏度（符号 $^{\circ}C$ ）。热力学温度和摄氏温度之间的数值换算关系为

$$T/K = t/^{\circ}C + 273.15$$

有了国际温标，温度测量就有了统一的标准。温标是通过各种仪器仪表来实现的，同样，仪表只有符合温标要求才有价值。为了确保温度量值的准确、统一，必须依法对仪表进行检定或通

过校准达到量值的溯源。温度测量仪表按其用途及测量不确定度或准确度可分为温度基准器、温度标准器和工作用温度仪表。温度显示仪表属于工作用温度仪表。

第二节 温度显示仪表

一、作用和特点

温度显示仪表是一种工业过程测量仪表，其作用在于将工业过程中的温度信息转换成适合于人眼可观察的形式，通常是以指针、色带、光柱的位移或偏转角的大小来表示温度的高低，或用数字来直接表达被测对象的温度量值。温度显示仪表往往具有控制功能，使被测对象的温度控制在要求的范围内。因此，在化学、石化和石油工业，发电、食品、纺织和造纸、冶金工业以及环境保护、空调设备等众多行业得到广泛应用。

温度显示仪表也称温度二次仪表，是因为仪表本身并不能单独测量温度，必须与温度传感器相配、接受其信号才能测量温度。这个信号应是一种公认的、规范性的信号，通常包括符合国际电工委员会（IEC）标准的热电阻、热电偶信号以及标准化（电流、电压）信号和在特定领域内公认的规范化信号。上述信号目前均为模拟信号。随着数字、通讯技术的发展和微处理器在仪表领域的广泛应用，现场总线仪表正由雏形向具有综合功能的智能化仪表发展，相互间的信号传输均以数字形式出现。

二、分类

温度二次仪表通常按输出特征分类，可分为模拟仪表和数字仪表两大类。在这两大类仪表中均可按输入信号的类型分为热电偶（电压）输入仪表、热电阻（电阻）输入仪表和标准信号（电流）输入仪表。

模拟仪表包括：动圈式温度指示调节仪，模拟记录仪（自动电位差计、自动平衡电桥和非自动平衡原理的模拟记录仪表），模拟式温度指示调节仪。

数字仪表包括：数字温度指示调节仪，数字记录仪（用于数字记录和指示的混合式记录仪、无纸记录仪）。

虚拟仪表是以软件为核心的仪表。通过应用程序将通用计算机与功能化模块（硬件）结合起来，可通过友好的图形界面来操作计算机，就像在操作自己定义、自己设计的一台仪器一样，从而完成对被测量的采集、分析、判断、显示、数据储存等。它的显示界面包含了模拟仪表和数字仪表的特征，温度测量的显示部分可视作温度二次仪表。

温度变送器（不带传感器）是一种介于温度传感器和二次仪表之间的仪表。按变送器的定义——输出为标准化信号的一种测量传感器，从制造和检验的角度去分析，温度变送器（不带传感器）的输入信号往往是热电偶和热电阻，输出是标准化信号，可以按温度二次仪表的类似方法进行制造和检验。

三、构成

温度显示仪表属非电量电测仪表，无论是模拟仪表还是数字仪表均可以由以下几部分构成：测量电路、信号放大和处理单元、显示单元、供电单元和供电单元，具有控制作用的仪表还应该设定、比较单元和控制模式单元。原理框图如图 1-1 所示。



图 1-1 温度显示仪表原理框图

测量电路将输入的温度传感器信号转换为电压信号，按显示单元的要求必须将此电压信号进行放大和处理，最后以仪表的显示方式给出被测温度值。用于控制的仪表将温度传感器的输入信号经信号放大处理后在设定比较单元与设定值进行比较，其偏差信号按仪表设置的控制模式输出相应的控制信号，提供给执行机构。供电单元提供各类电路的电源。

四、控制模式

温度显示仪表往往具有控制功能。其控制模式可分为位式控制、时间比例控制和比例积分微分（PID）控制。随着控制理论的发展和微处理器在仪表中的深入应用，温度二次仪表中已逐渐融入了各种控制理论的成果，使仪表具有自整定、自适应等控制性能，提高了控制品质。

1. 位式控制

位式控制是一种最简单的控制模式。以两位控制为例，控制作用是以输出变量为两种状态中任意一种形式出现的。这两种状态分别以继电器触点的接通和断开来体现，或者以高、低电平来体现。如图 1-2 所示，输入量小于设定值 t_{sp} 时输出为低电平，当输入量增加到 $t_{sw1} \geq t_{sp}$ 时，输出为高电平；当输入量减小到 $t_{sw2} \leq t_{sp}$ 时，输出为低电平。（ t_{sw1} 、 t_{sw2} 为上、下切换值； t_{sp} 为设定值）

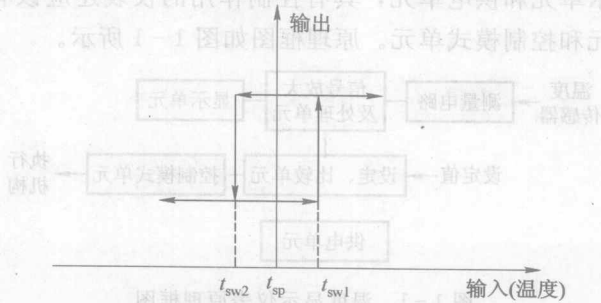


图 1-2 位式控制作用

设定点误差为

$$\Delta_{sp} = \frac{t_{sw2} + t_{sw1}}{2} - t_{sp}$$

切换差为

$$\Delta_{sw} = |t_{sw1} - t_{sw2}|$$

用于上、下限报警的仪表，其上、下限报警设定误差分别为

$$\Delta_{sp} = t_{sw1} - t_{sp} \quad \Delta_{sp} = t_{sw2} - t_{sp}$$

2. 时间比例控制

时间比例控制是一种特殊的两位式控制，其输出状态的时间比值（即继电器接通的时间间隔与接通和断开时间之和的比值）与输入偏离设定值的大小有关。如图 1-3 所示，当输入小于设定值 t_{sp} 时，时间比值 $\rho > 0.5$ （相当于加热功率大于 50%）；输入大于设定值时， $\rho < 0.5$ （相当于加热功率小于 50%）。对于时间比例作用的仪表，定义 $\rho = 0.5$ 的输出状态为设定期望输出，此时的输入值为 t_h 。因此，时间比例作用仪表的设定点误差是以时间比值 $\rho = 0.5$ 输出时，输入值偏离设定值的程度来定义。如图 1-3 中实线的输出特性，在输出的上、下限有较强的非线性，常出现在反馈型时间比例作用仪表中。检定时可按 $\rho: 0.1 \sim 0.9$ 来确定实际比例带。

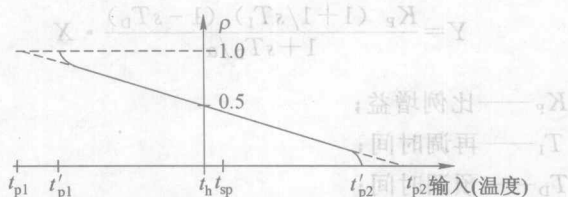


图 1-3 时间比例控制作用

设定点误差为

$$\Delta_h = t_h - t_{sp}$$

比例带:

$$P = \frac{t_{p2} - t_{p1}}{FS} \times 100\% \quad \text{或} \quad P = \frac{t'_{p2} - t'_{p1}}{FS} \times 100\%$$

式中, FS 为仪表的量程; t_{p1} 为 $\rho=1$ 时的输入值; t_{p2} 为 $\rho=0$ 时的输入值。

在时间比例控制的实际应用中, 由于被控对象的特性不同、被控温度有高低, 加热功率不可能都维持在 50%, 往往在稳定时仪表的示值与设定值不一致。为此有些仪表增加了手动再调功能, 可以人工改变 ρ 值, 使仪表在实际使用时达到控制稳定时的示值与设定值保持一致。

3. 比例积分微分 (PID) 控制

比例积分微分 (PID) 控制的输出与输入的倍数有关、与输入信号随时间的积分有关、与输入信号随时间的变化率有关, 是这三种因素线性组合的控制作用。输出信号有连续的和断续的: 连续的通常以 4~20mA 的标准直流信号出现; 断续的以高低电平或开关信号的时间比值 $\rho=0\sim 1$ 出现。

实际体现 PID 作用时的输出量 Y 与输入量 X (指调节器的输入, 即输入与设定值的偏差量) 之间的关系为

$$Y = \frac{K_P (1 + 1/s T_I) (1 - s T_D)}{1 + s T_D / \alpha} \cdot X \quad (1-1)$$

式中 K_P ——比例增益;

T_I ——再调时间;

T_D ——预调时间;

α ——微分增益;

s ——复变量。

输入为阶跃信号时的 PID 输出特性，如图 1-4 所示。

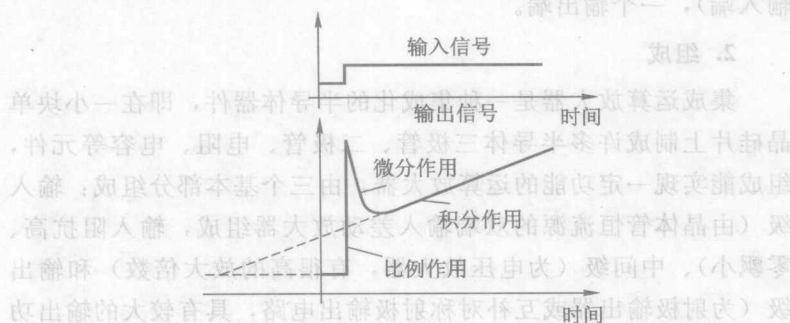


图 1-4 PID 控制作用的输出特性

第三节 温度显示仪表的电路知识

温度显示仪表的各组成部分均由相应的电路和器件组合而成，电子元器件的更新换代为仪表的发展开辟了无限广阔的前景。从体积庞大而功能又单一的电子管仪表，到目前广泛应用的性能优越、功能完善、使用灵活的“智能”型仪表。其中，所用的元器件就经历了电子管、晶体管、集成电路、大规模集成电路、微处理器（CPU）的发展历程。本节讲述温度显示仪表中常用的电路基础知识。

一、集成运算放大器

集成运算放大器在仪表中得到广泛应用。因其优越的特性可以灵活地实现多种信号变换、函数运算，以至于在信号获取、信号处理、波形发生等方面也被广泛应用。

1. 定义

集成运算放大器是一种采用直接耦合方式的高增益、高输入