

温度计量测试丛书(十)

# 温度测量用 显示仪表

WENDU CELIANG YONG XIANSHIYIBIAO

章百里 强荷根 编著  
王家桢 审

中国计量出版社

温度计量测试丛书 (十)

# 温度测量用显示仪表

章百里 强荷根 编著 王家楨 审

中国计量出版社

1986·北京

## 内 容 提 要

本书根据温度计量测试丛书大纲要求, 主要介绍国内已经大量生产和使用的动圈式、自动平衡式和数字式温度显示仪表的结构、工作原理、测试及维修。可供从事温度计量与仪表维修的工人和技术人员参考。

温度计量测试丛书(十)

### 温 度 测 量 用 显 示 仪 表

章百里 强荷根 编著 王家桢 审  
责任编辑 吴全

◆◆

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 各地新华书店经售

◆◆

开本 787×1092 1/32 印张 9

字数 204 千字

印数 1—10000

1986年7月第一版

1986年7月第一次印刷

统一书号 15210·596

定价 1.95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 周本谦 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

信息科学是当今人们普遍关心的一门学科，信息的获取、传递、处理和显示是信息科学的四大重要组成部分，其中信息显示和人的关系最密切。信息显示的目的在于把被测对象的信息（状态）变成适合于人眼观察（或耳听）的形式。在生产过程自动控制系统中，一方面自控的质量是通过显示告诉操作人员的；另一方面显示是调节控制的依据，是向被控对象传达操作命令的工具。所以显示在“人-机联系”方面起着重要的桥梁作用。

本书介绍的温度显示仪表是在生产现场使用历史较长、应用范围较广的信息显示设备。动圈式仪表、自动平衡式仪表和数字显示仪表的原理、使用和维修知识是温度计量和过程自动控制领域中的基础知识，许多从事温度计量、控制与仪表使用和维修的工人和技术人员都希望有一本系统阐述国产温度显示仪表的参考书。为满足这些读者的需要，作者在温度计量测试丛书编委会的鼓励和领导下，不揣浅陋，编写了这本《温度测量用显示仪表》。

本书第六章“数字式温度显示仪表”由上海电表厂强荷根同志执笔，其余均由章百里编撰。全书由章百里合稿。

本书承蒙清华大学王家桢副教授审校，还承吴斌昌、沙达夫、王礼和李关德同志提出许多宝贵意见。

吴斌昌同志为本书的编写收集、整理了大量资料，曲玉兰同志在绘图和校对方面做了大量工作。

对给予本书编写工作以指导和帮助的所有同志，借此谨

表衷心的感谢。

由于学识水平所限，书中难免存在缺点与错误，欢迎读者批评指正。

编著者

一九八三年十二月于上海

# 目 录

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| 第一章 温度和温度显示仪表.....        | ( 1 )  |
| 第一节 概述.....               | ( 1 )  |
| 一、温度计量和仪表 .....           | ( 1 )  |
| 二、温度显示仪表的作用、基本构成和特点 ..... | ( 3 )  |
| 第二节 国产模拟显示仪表的型号与命名.....   | ( 8 )  |
| 一、动圈式显示仪表的型号.....         | ( 9 )  |
| 二、自动平衡显示仪表的型号.....        | ( 10 ) |
| 第二章 动圈式温度显示仪表.....        | ( 11 ) |
| 第一节 概述.....               | ( 11 ) |
| 第二节 动圈测量机构.....           | ( 12 ) |
| 一、支承系统 .....              | ( 13 ) |
| 二、磁路系统 .....              | ( 14 ) |
| 三、重力矩误差的补偿 .....          | ( 15 ) |
| 第三节 测量电路 .....            | ( 16 ) |
| 一、配热电偶的测量电路.....          | ( 16 ) |
| 二、配热电阻的测量电路 .....         | ( 20 ) |
| 第四节 偏差检测机构.....           | ( 22 ) |
| 第五节 调节电路.....             | ( 23 ) |
| 一、高频振荡放大器 .....           | ( 23 ) |
| 二、检波器.....                | ( 25 ) |
| 三、XCT-100 型二位式调节仪 .....   | ( 26 ) |
| 四、时间比例式指示调节仪.....         | ( 29 ) |
| 五、电流连续输出的 PID 式指示调节仪..... | ( 34 ) |
| 第六节 动圈仪表的检验和维修.....       | ( 41 ) |
| 一、动圈仪表的检验线路.....          | ( 41 ) |

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| 二、动圈仪表的检验步骤 .....           | ( 43 )  |
| 三、动圈仪表的维修 .....             | ( 47 )  |
| 第七节 XF 系列动圈仪表 .....         | ( 51 )  |
| 第三章 电子自动平衡显示记录仪表 .....      | ( 55 )  |
| 第一节 自动平衡显示仪表的作用原理 .....     | ( 55 )  |
| 第二节 自动平衡显示仪表的主要部件 .....     | ( 58 )  |
| 一、测量电路 .....                | ( 58 )  |
| 二、定电压单元 .....               | ( 70 )  |
| 三、滤波器 .....                 | ( 76 )  |
| 四、检零放大器 ( 伺服放大器 ) .....     | ( 77 )  |
| 五、ND-D 型可逆电机 ( 伺服电机 ) ..... | ( 104 ) |
| 六、平衡仪表的机械结构 .....           | ( 112 ) |
| 第三节 自动平衡仪表的附加装置 .....       | ( 132 ) |
| 一、表面定值电接点 .....             | ( 132 ) |
| 二、表内定值电接点 .....             | ( 132 ) |
| 三、报警器 .....                 | ( 132 ) |
| 四、多测量范围 .....               | ( 133 ) |
| 五、量程扩展 .....                | ( 133 ) |
| 六、自动变速和自动启停 .....           | ( 134 ) |
| 七、程序控制 .....                | ( 134 ) |
| 八、积算装置 .....                | ( 135 ) |
| 九、计数器 .....                 | ( 135 ) |
| 十、辅助记录 .....                | ( 136 ) |
| 十一、模-数转换 .....              | ( 136 ) |
| 十二、传送器 .....                | ( 136 ) |
| 十三、多点各定值 .....              | ( 136 ) |
| 十四、附加电动 PID 调节器 .....       | ( 137 ) |
| 第四章 自动平衡显示仪表的特性和评定方法 .....  | ( 139 ) |
| 第一节 自动平衡显示仪表的特性 .....       | ( 139 ) |
| 一、测量范围的极限 .....             | ( 139 ) |

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 二、精度和灵敏度 .....              | (140) |
| 三、全行程时间和频率特性 .....          | (143) |
| 四、指针速度和阻尼 .....             | (147) |
| 五、电干扰和抗干扰能力 .....           | (154) |
| 第二节 自动平衡显示仪表的评定方法 .....     | (168) |
| 一、关于工作条件的说明 .....           | (168) |
| 二、关于基本性能指标和试验方法的说明 .....    | (170) |
| <b>第五章 自动平衡显示仪表的刻度检验和故障</b> |       |
| <b>检查方法</b> .....           | (186) |
| 第一节 刻度检验 .....              | (186) |
| 一、热电偶测温平衡显示仪表的三种校验方法 .....  | (186) |
| 二、刻度检验步骤 .....              | (188) |
| 三、圆图记录精度的校验 .....           | (191) |
| 四、平衡电桥测温仪表的校验 .....         | (192) |
| 第二节 平衡记录仪表的故障检查方法 .....     | (192) |
| 一、分部检查法 .....               | (192) |
| 二、替换法 .....                 | (194) |
| 三、根据经验检查 .....              | (194) |
| <b>第六章 数字式温度显示仪表</b> .....  | (199) |
| 第一节 概述 .....                | (199) |
| 第二节 数字式温度显示仪表的线路分析 .....    | (202) |
| 一、模-数转换器 .....              | (202) |
| 二、线性化器 .....                | (211) |
| 三、线性化双斜积分式 A-D 转换器 .....    | (214) |
| 四、常用数字逻辑电路和器件 .....         | (215) |
| 第三节 数字温度表的使用及维修 .....       | (216) |
| 一、PY22型面板式数字温度表 .....       | (216) |
| 二、PY23型面板式数字温度表 .....       | (228) |
| <b>第七章 几种新型温度显示仪表</b> ..... | (244) |
| 一、几种新型自动平衡式显示仪表 .....       | (244) |

|                                                              |       |
|--------------------------------------------------------------|-------|
| 二、带微处理器的数字式温度显示仪表 .....                                      | (251) |
| 附录一 热电阻温度与电阻值换算表 .....                                       | (254) |
| 1. 铂热电阻分度表 ( $R_0 = 46\Omega$ ) .....                        | (254) |
| 2. 铂热电阻分度表 ( $R_0 = 100\Omega$ ) .....                       | (255) |
| 3. 铜热电阻分度表 ( $R_0 = 53\Omega$ ) .....                        | (256) |
| 附录二 配热电阻的动圈仪表测量桥路数据表 .....                                   | (257) |
| 1. 配 G 分度号的铜热电阻测量桥路参数 .....                                  | (257) |
| 2. 配 BA <sub>1</sub> 分度号的铂热电阻测量桥路参数 .....                    | (258) |
| 3. 配 BA <sub>2</sub> 分度号的铂热电阻测量桥路参数 .....                    | (260) |
| 附录三 电子自动平衡电桥测量电路参数表 .....                                    | (262) |
| 1. 大华仪表厂 XQC、XQB、XQA (XQA303除外)<br>桥路参数表 .....               | (262) |
| 2. 上海自动化仪表三厂 XDD <sub>1</sub> 和 XQD <sub>1</sub> 桥路参数表 ..... | (263) |
| 附录四 电子自动电位差计测量电路电阻参数表 .....                                  | (264) |
| 1. XWC、XWB、XWA 桥路参数表 .....                                   | (264) |
| 2. XWD <sub>1</sub> 桥路参数表 .....                              | (265) |

# 第一章 温度和温度显示仪表

## 第一节 概 述

用来指示、记录温度参数的仪表称为温度显示仪表。本分册所讨论的温度显示仪表与玻璃液体温度计(第四分册)、压力与固体膨胀温度计(第五分册)不同,其检测部分和显示部分不再合为一体,而是分成两个独立部分。温度检测元件把温度参数转变成显示仪表可以接受的电量(如电势和电阻量),显示仪表是通过对电量的测量来间接反映温度参数的。因此,只要把温度检测元件换成压力、流量、液位检测元件或变送器,显示温度参数的仪表原则上也可以显示压力、流量、液位等各种工艺参数。

显示仪表配上各种附加装置,就可以进行声、光报警和调节控制。显示仪表不仅可用于单参数、单回路简单系统的显示、记录和调节,而且可以密集安装在仪表屏上作为显示、记录单元,供操作人员及时了解过程的全面情况,从而满足较大规模系统进行集中显示的需要。

温度显示仪表量大面广、生产历史较长。为了满足广大用户的需要,在标准化、系列化和通用化思想的指导下,设计和生产了我国的显示仪表系列产品。本分册主要讨论目前我国已经大量生产和使用的温度显示仪表。

### 一、温度计量和仪表

温度计量的任务在于确保温度计量单位的统一和量值的

准确一致。其主要内容包括：确定温标；研究、建立和保存温度计量的基准器（标准仪表）；组织和进行温度量值的传递；管理和指导温度计量器具的制造、销售、使用和修理。温度显示仪表是温度计量设备的重要组成部分。

温度是衡量物体相对冷热程度的物理量。但冷热感觉并不能从量值上描述温度的高低，衡量温度的尺子被称为“温度标尺”，简称温标。常用温标有摄氏温标、华氏温标、热力学温标和国际实用温标等。

华氏温标用符号“F”表示，摄氏温标用符号“C”表示，华氏和摄氏温标的换算公式是：

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} ^{\circ}\text{C} + 32$$

1848年开尔文在研究热力学第一、第二定律的基础上，提出了热力学温标。热力学温标也叫开氏温标（K），它是一个理论性的温标，实际应用有不少困难。

1968年国际实用温标规定了14种纯物质的相平衡点作为国际温标的原始分度点，国际温标相应各点的温度值尽可能作到与热力学温标一致。国际温标将常用的范围划分为四个部分，每一部分选用一种稳定性好的温度计作为实现温标的标准。

13.81 K（氢的三相点）~630.755 $^{\circ}\text{C}$ （铋的凝固点）所用的标准仪器是铂电阻温度计；630.755 $^{\circ}\text{C}$ ~1064.43 $^{\circ}\text{C}$ （金的凝固点）所用的标准仪器是铂铑-铂热电偶；1064.43 $^{\circ}\text{C}$ 以上用光学高温计。各部分间的温度值可用插入公式推算出来。

我国和世界各国都普遍采用1968年国际实用温标。有关

温标的详细介绍请参阅本丛书第一分册《温标》。

有了国际温标，温度测量就有了统一的标准。温标是通过仪表来实现的。反之，当温标传递到仪表之后，仪表才具有使用价值。温标的传递工作分给仪表定刻度值和对仪表进行检定两方面。

根据仪表本身的精确度，通常把温度测量仪表分为：

(1) 基准器：即基准铂电阻温度计；基准铂铑-铂热电偶；基准温度灯和基准光学高温计。

(2) 标准仪表（分为一等、二等或三等）。

(3) 工作用仪表（分为实验室用和工业用）。

本书着重介绍工业过程用动圈式仪表、自动平衡式和数字式三大类温度显示仪表。

## 二、温度显示仪表的作用、基本构成和特点

### （一）温度显示仪表的作用

温度显示仪表的作用在于将工业过程中从检测仪表来的信息变成适合于人眼观察的形式，通常是以指针的位移或偏转角的大小来表示温度的高低，也可以用数字直接表达温度。温度显示仪表是对象（被测温度）与人之间的接口，使人们了解研究对象的温度量值。

### （二）温度显示仪表的信号源

热电阻和热电偶是最常用的测温元件，它们把被测温度量转变成相应的电阻或电压量（典型热电阻和热电偶的分度特性表见附录一和附录二）。

1. 热电阻的测温原理是基于金属导体的电阻随温度而变化，用显示仪表测出热电阻的电阻值，就可以得出与电阻值相应的温度。

电阻值与温度的关系式为：

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2 + Ct^3 + \dots) \quad (1-1)$$

式中:  $R_t$ ——电阻体在温度变化到  $t$  时的电阻值;

$R_0$ ——电阻体在  $0^\circ\text{C}$  时的电阻值;

$A, B, C, \dots$ ——分度系数;

$t$ ——任意温度值 ( $^\circ\text{C}$ )。

对于铜、铂等热电阻来说, 高次方系数很小, 可以忽略不计, 所以式 (1-1) 可写成:

$$R_t = R_0 (1 + At)$$

式中:  $A$ ——热电阻的温度系数。

制造热电阻的金属应满足以下要求: 电阻温度系数要大, 电阻与温度的变化近似成直线关系, 热容量要小, 在测温范围内, 物理、化学性质要稳定, 要容易提纯。铂和铜都是很好的热电阻材料。

2. 热电偶测温的基本原理是基于热电现象。在两种不同成分导线 A、B 连接 (焊接或绞接) 成的闭合回路中 (如图 1-1 所示), 若两接点的温度  $T_1$  不等于  $T_2$ , 在回路中

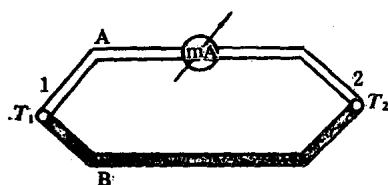


图 1-1 热电偶闭合回路

就会有电动势产生。用显示仪表测出电动势就可以知道  $T_1$  和  $T_2$  之间的温差。这两种导线的组合称为热电偶, 组成热电偶两极的导线称为热电极。习惯上把温度

高的接点称为工作端或热端, 温度低的接点称为参考端或冷端 (实际上工作端的温度并不一定高于参考端的温度), 热电偶就是利用这种温度差及其与热电势之间的关系来测温的。仪表所指示的总热电势取决于热端温度和冷端温度, 其函数表达式为:

$$E_{A,B}(T_1, T_2) = f(T_1) - f(T_2) \quad (1-2)$$

式中：  $T_1$ ——被测点温度（热端）；

$T_2$ ——热电偶参考端的温度（冷端）。

从式（1-2）可知，热电势是冷、热两端温度函数之差，不能误解为两端温度差的函数，即：

$$E_{A,B}(T_1, T_2) \neq f(T_1 - T_2) \quad (1-3)$$

温度和热电势之间的关系不是线性的。例如 LB-3 铂铑-铂热电偶的被测温度是  $1000^{\circ}\text{C}$ ，参考端温度是  $50^{\circ}\text{C}$ ，在图 1-2 测温电路中，显示仪表输入端之间的电势按式（1-2）可写成：

$$\begin{aligned} E_{A,B}(T_1, T_2) &= f(1000) - f(50) \\ &= 9.556 - 0.235 = 9.321(\text{mV}) \end{aligned}$$

若利用（1-3）式计算：

$$\begin{aligned} E_{A,B}(T_1, T_2) &= f(1000 - 50) \\ &= f(950) = 8.985(\text{mV}) \end{aligned}$$

显然这是错误的。如果显示仪表两端的电势真是等于  $8.985\text{mV}$ ，则：

$$\begin{aligned} f(T_1) &= E_{A,B}(T_1, T_2) + f(50) \\ &= 8.985 + 0.235 = 9.22(\text{mV}) \end{aligned}$$

查表得被测温度约为  $971^{\circ}\text{C}$ ，而不是  $1000^{\circ}\text{C}$ 。

在测量过程中，希望热电偶的冷端温度维持恒定不变。

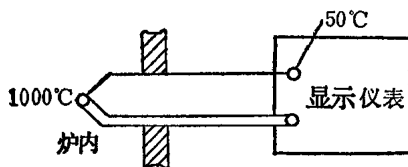


图 1-2 热电偶测温电路