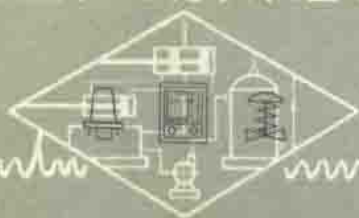


工业自动化仪表丛书

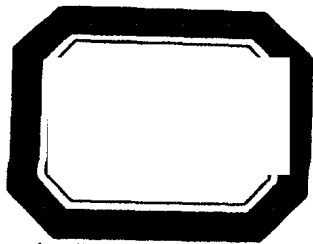
2



# 温度测量仪表

游伯坤 詹宝琦 编著

机械工业出版社



工业自动化仪表丛书

---

# 温度测量仪表

游伯坤 詹宝琦 编著



机械工业出版社

本书为《工业自动化仪表丛书》之一，它以通俗的语言深入浅出地介绍了各种温度测量仪表的基本原理、性能和使用维修知识。书中对玻璃温度计、压力温度计、双金属温度计作了阐述，比较详细地叙述了热电偶和热电阻的工作原理、结构、检验和维护。同时对几种辐射温度计的工作原理也作了简要的介绍。

本书可供工业自动化仪表工人和技术人员阅读，也可供有关学校师生参考。

## 温度测量仪表

游伯坤 詹宝玛 编著

\*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第 117 号）

煤炭工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本  $787 \times 1092^{1/32}$  · 印张  $11^{5/8}$  · 字数 253 千字  
1982 年 9 月北京第一版 · 1982 年 9 月北京第一次印刷  
印数 0,001—9,800 · 定价 0.95 元

\*

统一书号：15033 · 5164

## 前 言

工业自动化仪表是实现工业生产过程自动化的一种重要装置。通过工业自动化仪表来了解生产过程中的物质变化状态，并将生产过程控制在预定的条件之下，确保生产的优质、高效和安全。

随着我国社会主义建设的飞速发展，工业自动化仪表已日益广泛地应用于冶金、电力、化工、石油、轻纺、机械等工业部门，其发展前途是十分广阔的。

为了适应工业自动化仪表迅速发展的需要。进一步做好技术交流与推广工作，我们组织编写了这套《工业自动化仪表丛书》。

本丛书预定为二十册，分别为：《工业自动化仪表》、《温度测量仪表》、《压力测量仪表》、《流量测量仪表》、《物位测量仪表》、《机械量测量仪表》、《核辐射式检测仪表》、《自动平衡显示仪表》、《动圈指示调节仪表》、《自动调节仪表》、《电动单元组合仪表》、《气动单元组合仪表》、《射流技术及其应用》、《工业控制计算机》、《电动执行器》、《气动执行器》、《工业程序控制装置》、《工业仪表防护》、《工业仪表应用》和《工业仪表维修》等。将陆续分册出版。

本丛书力求以深入浅出、通俗易懂的文字，辅以图表的形式，简要介绍各类工业自动化仪表的结构原理、性能特点、安装使用以及维修等知识，供同志们参考。但由于我们业务水平有限，因而书中一定存在不少缺点，甚至错误，欢迎同志们批评指正。

#### IV

本丛书在编写过程中，曾得到有关工厂、大专院校、科研单位的大力支持，在此谨致谢意。

《工业自动化仪表丛书》编写组

# 目 录

第一章 绪论	1
一、概述	1
(一) 两种测温方法的比较	1
(二) 常用工业温度计的分类及其主要优缺点	2
(三) 工业温度计的选用	8
二、温标	9
第二章 玻璃温度计	16
一、概述	16
(一) 玻璃温度计的特点	16
(二) 玻璃温度计的分类	16
二、玻璃温度计的作用原理	17
三、玻璃和感温液体的特性	19
(一) 温度计用玻璃材料的特性	19
(二) 玻璃温度计感温液体的特性	20
(三) 玻璃及各种感温液体的视膨胀系数	21
四、玻璃温度计的结构	22
(一) 棒式玻璃温度计	22
(二) 内标式玻璃温度计	23
(三) 电接点玻璃温度计	24
(四) 带有金属保护管的工业玻璃温度计	26
五、玻璃温度计的基本参数	27
(一) 示值误差	27
(二) 动作误差	27
(三) 示值稳定性	29
(四) 电接点玻璃温度计的寿命	29
六、玻璃温度计的校验、使用和维修	30

## VI

(一) 玻璃温度计的校验 .....	30
(二) 玻璃温度计的安装和使用 .....	32
(三) 玻璃温度计的故障和维修 .....	35
第三章 压力式温度计 .....	37
一、概述 .....	37
(一) 特点 .....	37
(二) 分类 .....	37
二、压力式温度计的作用原理 .....	38
(一) 气体压力与温度的关系 .....	38
(二) 液体压力与温度的关系 .....	40
(三) 低沸点液体的饱和蒸汽压与温度的关系 .....	40
(四) 压力式温度计的作用原理 .....	41
三、压力式温度计的结构 .....	42
(一) 温包 .....	42
(二) 毛细管 .....	47
(三) 弹簧管 .....	48
四、感温物质的种类和特性 .....	52
(一) 气体压力式温度计的感温物质 .....	52
(二) 液体压力式温度计的感温液体 .....	52
(三) 低沸点液体压力式温度计的感温液体 .....	53
五、压力式温度计的基本参数 .....	54
(一) 压力式温度计的基本参数 .....	54
(二) 基本参数 .....	59
六、压力式温度计感温物质的充灌 .....	60
(一) 压力式温度计感温物质的充灌设备 .....	60
(二) 气体压力式温度计感温气体的充灌 .....	62
(三) 低沸点液体压力式温度计感温物质的充灌 .....	64
七、压力式温度计的安装、检验和维修 .....	65
(一) 压力式温度计的安装 .....	65

(二) 压力式温度计的校验 .....	67
(三) 压力式温度计的维修 .....	68
第四章 双金属温度计 .....	73
一、概述 .....	73
二、双金属温度计的作用原理 .....	74
(一) 双金属片的结构 .....	74
(二) 常用的双金属片材料 .....	75
(三) 双金属片的特性 .....	75
(四) 双金属温度计的作用原理 .....	81
三、双金属温度计的结构和基本参数 .....	82
(一) 双金属温度计的结构 .....	82
(二) 双金属温度计的基本参数 .....	85
四、感温元件的设计和计算 .....	87
(一) 感温元件的设计 .....	87
(二) 感温元件的计算 .....	88
五、双金属温度计的制造和校验 .....	91
(一) 双金属温度计的制造工艺流程 .....	91
(二) 感温元件的制造工艺 .....	92
(三) 分度 .....	94
(四) 测温体装配 .....	99
(五) 双金属温度计的检验 .....	100
第五章 热电偶 .....	103
一、概述 .....	103
二、热电偶的作用原理 .....	104
(一) 热电势的产生 .....	105
(二) 热电势的组成 .....	108
(三) 关于热电偶热电势的结论 .....	110
三、热电偶的四个定则 .....	110
(一) 均质回路定则 .....	111



(二) 中间金属材料定则 .....	112
(三) 中间温度定则 .....	115
(四) 热电偶组成定则 .....	119
四、常用热电偶材料 .....	123
(一) 对热电偶材料的基本要求 .....	123
(二) 常用热电偶材料及其基本参数 .....	125
五、热电偶的结构 .....	144
(一) 基型产品的结构 .....	144
(二) 普通工业用热电偶的结构型式 .....	158
(三) 普通工业热电偶的系列参数 .....	161
六、铠装热电偶 .....	163
(一) 概述 .....	163
(二) 铠装热电偶材料的基本参数及技术要求 .....	165
(三) 铠装热电偶的结构 .....	168
七、热电偶参比端的温度补偿 .....	176
(一) 计算法 .....	176
(二) 参比端温度恒定法 .....	181
(三) 补偿电桥法 .....	182
(四) 补偿导线法 .....	184
八、热电偶的安装、检验和维修 .....	191
(一) 热电偶的安装 .....	191
(二) 热电偶的检验 .....	192
(三) 热电偶的维修 .....	202
第六章 热电阻 .....	204
一、概述 .....	204
二、热电阻的作用原理 .....	205
(一) 金属导体电阻与温度的关系 .....	205
(二) 热电阻的作用原理 .....	210
三、常用的热电阻材料 .....	211

(一) 概述 .....	211
(二) 常用的热电阻丝材料 .....	215
(三) 常用的热电阻骨架材料 .....	222
四、热电阻的基本参数和特性 .....	227
(一) 热电阻的基本参数 .....	227
(二) 热电阻的基本特性 .....	227
五、热电阻感温元件的结构 .....	232
(一) 铂热电阻感温元件 .....	232
(二) 铜热电阻感温元件 .....	235
(三) 镍热电阻感温元件 .....	236
(四) 铱铁热电阻感温元件 .....	237
六、热敏电阻 .....	238
(一) 概述 .....	238
(二) 热敏电阻的电阻与温度关系特性 .....	339
(三) 热敏电阻的电流及电压特性 .....	242
(四) 热敏电阻的结构和参数 .....	242
(五) 热敏电阻感温元件的结构 .....	243
(六) 热敏电阻温度计的结构 .....	245
七、热电阻的结构 .....	247
(一) 基型产品的结构 .....	247
(二) 热电阻的结构型式及基本参数 .....	247
八、铠装热电阻 .....	247
(一) 概述 .....	247
(二) 铠装热电阻的特点 .....	248
(三) 铠装热电阻的基本参数 .....	249
九、热电阻的安装、检验和维修 .....	250
(一) 热电阻的安装 .....	250
(二) 热电阻的检验 .....	250
(三) 热电阻的维修 .....	257

第七章 辐射温度计 .....	258
一、辐射测温的物理基础 .....	259
(一) 普朗克公式 .....	260
(二) 维恩公式 .....	261
(三) 瑞利-琼斯公式 .....	261
(四) 维恩位移定律 .....	261
(五) 斯蒂芬-玻尔兹曼定律 .....	261
二、辐射测温方法 .....	262
(一) 亮度法 .....	262
(二) 全辐射法 .....	263
(三) 比色法 .....	264
三、光学高温计 .....	265
四、辐射温度计(热电堆) .....	271
五、部分辐射温度计 .....	277
(一) 红外线部分辐射温度计(红外测温仪) .....	280
(二) 零平衡式部分辐射温度计 .....	282
六、比色温度计 .....	284
七、瞬变温度场测温装置 .....	289
附录	
一、铂铑 <sub>10</sub> -铂热电偶的函数 $f(e_t, t)$ 数值表 .....	293
二、常用工业热电偶分度表 .....	313
三、常用工业热电阻分度表 .....	340
四、热电偶、热电阻型号命名方法 .....	350
五、部分材料光谱发射率(波长: 0.65 微米) .....	358
六、部分材料的全发射率(给定温度范围内) .....	359

# 第一章 绪 论

## 一、概 述

在工业生产过程中，无论是能源的提取，还是各种材料的加工、热处理，温度往往是需要测量和控制的重要参数之一。

温度参数是不能直接测量的，一般只能根据物质的某些特性值与温度之间的函数关系，通过对这些特性参数的测量间接地获得。

温度参数虽不能直接测量，但温度测量仪表按照它们的测量方式人为地可分为接触式与非接触式两类。

所谓接触式：即两个物体接触后，在足够长的时间内达到热平衡（动态平衡），两个互为热平衡的物体温度相等。如果将其中一个选为标准并当作温度计使用，它就可以对另一个实现温度测量，这种测温方式称为接触式测温。

所谓非接触式：即选为标准并当作温度计使用的物体，与被测物体相互不接触，利用物体的热辐射（或其它特性），通过对辐射能量（或亮度）的检测实现测温，这种测温方式称为非接触式测温。

### （一）两种测温方法的比较

1. 接触式可以直接求得被测对象的真实温度；而非接触式只能获得对象的表观温度 $\ominus$ （亮度温度、辐射温度、比色温度），除黑体外，必须通过对被测对象表面发射率修正后才能接近真实温度，所以，非接触式测温的精确度一般不如

$\ominus$  表观温度的概念参见本书第七章、二、一般辐射测温方法。

接触式；

2. 接触式可以测量液体（低于  $2000^{\circ}\text{C}$ ）内部温度分布；非接触式通过机械扫描可以测量被测对象表面温度分布；

3. 非接触式可以测量运动体和热容量小的对象（或微小目标）的表面温度，而接触式难以测量；

4. 从理论上讲，非接触式可以不受限制地从极低温测量到极高温（但作为实现的手段，将受仪表结构特点所限），而接触式主要用于  $1600^{\circ}\text{C}$  以下测温，即使带保护套管，也将由于耐火材料所限，通常不超过  $2000^{\circ}\text{C}$ ；

5. 考虑到测量过程的热平衡，一般接触式测温的反应速度比非接触式来得慢；

6. 为了确保正确地测量，接触式测温时，其检测部分与被测部位热接触必须良好，并且检测部分的热容量要小。安装部位选在有代表性的测量点上，该部位应避免热量的吸收和产生，同时避免被测对象及环境对检测部分的腐蚀。若检测部分带有保护套管，则除了按规定在被测介质中埋入一定深度外，还必须与被测对象长时间热接触。

非接触式测温必须尽量避免在辐射通道上的水气、烟雾、尘埃及其它气氛的吸收，仪表的光学元件保持干净不得玷污，安装部位必须适宜。

## （二）常用工业温度计的分类及其主要优缺点

在上述两类测温方法中，常用工业温度计可按其测温原理不同分类，如表 1-1 所示。

表 1-1 所列各类温度计的测温范围如图 1-1 所示。

上述各类温度计由于它们的结构和工作原理不同，在各种应用场合，显示了各自的优缺点，现将各类工业温度计主要优缺点及其用途简单介绍如下：

表1-1 常用工业温度计分类

接触式	热膨胀	固体的膨胀：双金属温度计
		液体的膨胀：玻璃温度计
		气体的膨胀：压力式温度计
热电阻	金属热电阻：铜热电阻、铂热电阻、镍热电阻等	
	半导体热敏电阻：锗电阻、碳电阻、热敏电阻(氧化物)等	
热电偶	廉金属热电偶：铜-康铜热电偶、镍铬-镍硅热电偶、镍铬-考铜热电偶等	
	贵金属热电偶：铂铑 <sub>30</sub> -铂铑 <sub>6</sub> 热电偶、铂铑 <sub>10</sub> -铂热电偶等	
	难熔金属热电偶：钨铼系、钨钼系等	
	非金属热电偶：石墨系、硅化物系、碳化物-硼化物系等	
非接触式：热辐射	辐射法：辐射温度计；部分辐射温度计	
	亮度法：光学高温计	
	比色法：比色温度计	

### 1. 玻璃温度计

玻璃温度计结构简单、使用方便、价格便宜、量值准确，其中标准玻璃温度计，如一等、二等水银温度计，标准玻璃有机液温度计、标准玻璃汞铯温度计可用来检定低一级标准温度计或工业温度计，也可作为实验室精密测温用。

玻璃温度计的主要缺点是结构脆弱易损坏，测量结果只能读出，不能自动记录和远传，且带有人为主观误差，在测量过程中显示较大的热惯性。

该类温度计主要用于化工、医药、轻工等部门测量介质温度。

### 2. 双金属温度计

双金属温度计也是一类结构简单、使用保养方便的温度计，它比玻璃温度计坚固、耐震、耐冲击，且体积小，示值可以直读。但精度比玻璃温度计低，目前只能作为一般的工业用仪表，广泛用于有震动的机械设备上，如航空、航海等

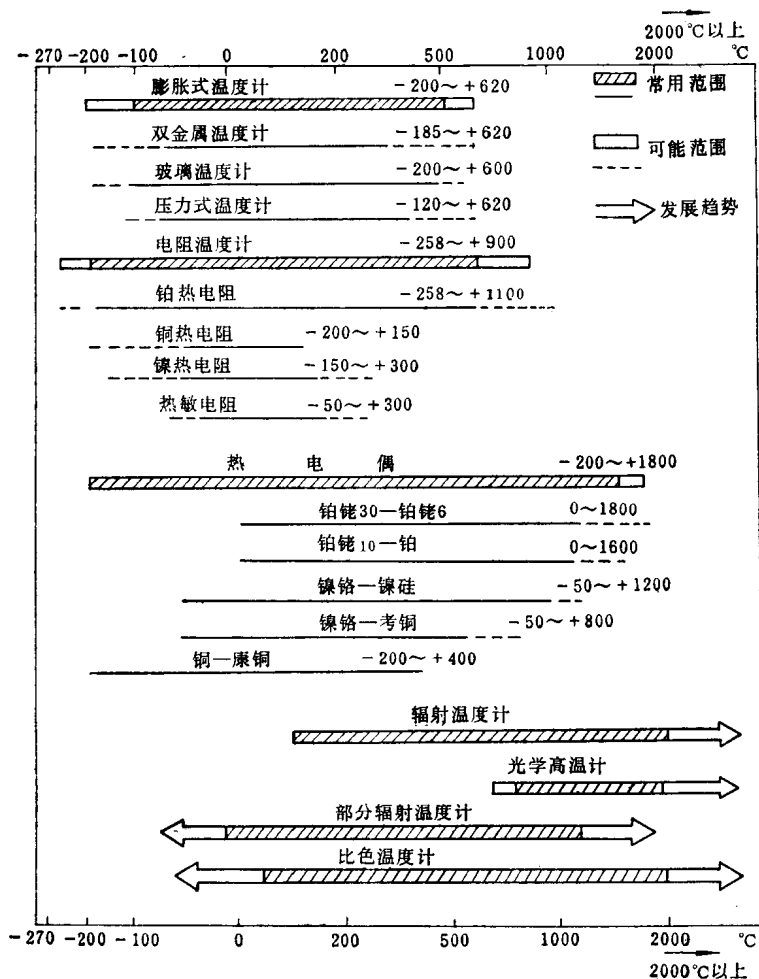


图1-1 常用工业温度计的测温范围

方面。

### 3. 压力式温度计

压力式温度计结构比较简单，机械强度高，不怕震动，同时，它的显示仪表可以安装在离测量点较远（20米左右）的位置上，输出信号可以自动记录和控制。它的缺点是热惯性大，仪表密封系统（由温包、毛细管、弹簧管构成）一旦损坏，难以修理，安装时毛细管的环境温度及温包的位置等都会引起测量误差。

压力式温度计适用于测量对铜和铜合金不起腐蚀作用的液体、气体和蒸汽温度，带电接点的压力式温度计在温度调节系统中可作电路接触开关。

### 4. 热电阻

热电阻测量精确度较高，其中铂热电阻经国家计量部门检定后，符合各级标准铂热电阻检定规程要求的，可在 $13.81\text{K} \sim 630.74^\circ\text{C}$ 温度范围内，作为传递国际实用温标的标准仪器。热电阻的输出信号可远传和自动记录，并且利用转换开关在同一台显示仪表上可实现多点测量。

它的主要缺点是需外接电源，同时，除热敏电阻外，其它热电阻的热惯性比较大。

热电阻广泛用于生产过程中测量各种液体、气体和蒸汽介质温度，它还可以与显示仪表配合，作为敏感元件进行温度测量和控制。

### 5. 热电偶

热电偶同样也具有较高测量精确度，其中铂铑-铂热电偶经国家计量部门检定后，符合各级标准铂铑-铂热电偶检定规程要求的，可以在 $630.74 \sim 1064.43^\circ\text{C}$ 温度范围内，作为传递国际实用温标的标准仪器。热电偶的输出信号可远传和



自动记录，也可用于报警和自动控制。

热电偶的主要缺点是它的输出信号和温度示值间呈非线性关系，在下限灵敏度较低。

在化工、冶金、石油、机械等部门，热电偶广泛地应用于测量  $1600^{\circ}\text{C}$  以下的液体、气体、蒸汽等介质温度。为了某些特殊场合的应用，在结构上还分别设计有铠装热电偶、快速热电偶、耐磨热电偶和表面热电偶等，其中铠装热电偶的反应速度快，并可任意弯曲、耐高压、直径小，特别适用于石油化工等部门，安装于狭窄管道中测温。快速热电偶主要用于钢水或其它高温（ $1700^{\circ}\text{C}$  以下）金属溶液中作快速（ $< 4$  秒）一次性测量。耐磨热电偶能够经受高速粒子的冲击，不易磨损，即使损坏后也可以通过切断阀快速切断，所以适用于原子能反应堆和石油催化裂化控制过程测温。而各种形状（凸形、针形、弓形）的表面热电偶专门用于锅炉设备中，检查管道过热状况。

## 6. 光学高温计

光学高温计的结构比较简单，轻巧便携，使用方便，而在测量过程中辐射通道上的介质吸收以及被测对象表面发射率变化对仪表示值的影响要比辐射温度计（热电堆）小得多。测量精确度较高的精密光学高温计，经国家计量部门检定后，可在  $1064.43^{\circ}\text{C}$  以上传递国际温标。

光学高温计主要缺点是靠人眼的比较和判断确定被测对象的温度，所以测量结果容易引入人为的主观误差，同时，它无法实现自动记录和控制，但作为简易的仪表，在金属熔炼、浇铸、热处理、锻压、玻璃熔融、陶瓷焙烧等方面可用于实现非接触测量。

## 7. 辐射温度计