

计量测试技术手册

第3卷 温度

《计量测试技术手册》编辑委员会



中国计量出版社

计量测试技术手册

第3卷 温度

《计量测试技术手册》编辑委员会

中国计量出版社

序

当人类文明的曙光照耀着历史长河的源头时,伴随着生产和社会活动的需要,计量就萌发了。我国古时秦始皇施行了度量衡制度,被看作是一项重要政绩,标志着社会的进步。本世纪欧洲各国也制定了计量单位,如英国的英尺、磅等。直至1898年,国际米制公约公布,号召各国采用统一的米制公斤计量标准,可说是顺应社会发展,时代进步的必然产物。随着科学技术和贸易的发展,大概始于本世纪与上世纪之交,计量又从传统的度量衡扩展到众多的新兴领域。各种计量要求的精确程度及实施的复杂性与日俱增,计量已成为一门独立的学科。特别是在今天高新技术迅速发展的时代,计量更是无所不在和不可缺少的科学手段。今天计量测试技术广泛应用于工农业生产、国防建设、科学研究、国内外贸易、医疗卫生,以及人民生活的各个领域。在现代社会中,人们把人、管理、原材料、工艺装备、计量测试技术列为工业生产的五大支柱。计量测试技术也是整个科学技术和国民经济的一项重要技术基础。

在原国家计量局和现国家技术监督局的支持下,由中国计量出版社组织编写的《计量测试技术手册》即将出版。这套手册由100多位长期从事计量测试工作的专家、教授,历经7年编纂而成。该套手册总结了我国40多年来计量科学研究和实践的经验,吸取了国外先进技术,内容丰富,实用性强。并保持了从事计量工作一向遵循的科学上的严谨性,是适用于各个领域科技人员的工具书。

可以指出,编写的手册是一项组织繁杂,集体辛勤劳动的果实,是对我国计量事业做出了一个卓有贡献。为此,谨向所有付出心血的编者们表示敬意。



1995年10月18日

王大珩教授为中国科学院院士、中国工程院院士、中国高科技产业化研究会理事长、何梁何利基金优秀奖获得者。

《计量测试技术手册》编辑委员会

主任委员： 陈宽基

副主任委员： 倪伟清 徐孝恩 李绍贵 房景富 王东宝

委 员： (按姓氏笔画顺序排列)

于 渤	王朋植	王晓莹	史元明	孙维民
师克宽	刘宝兰	刘瑞清	陈小林	陈艳春
何 贡	何伟仁	林宗虎	林鸿初	金士杰
施昌彦	席德熊	徐 鹤	黄秉英	窦绪昕
谢 英	潘君骅	潘秀荣		

本卷编辑委员会

主 编： 师克宽

副 主 编： 窦绪昕

委 员： 秦永烈 凌善康

本卷责任编委： 倪伟清

本卷责任编辑： 李绍贵

版 面 设 计： 席透莲 孙丽英 倪 云

装 帧 设 计： 齐洪海

前 言

我国的现代计量测试工作,始于本世纪50年代初,经过40多年的积累和发展,已建成具有门类较为齐全,覆盖全国的计量测试技术网络,在生产、科研和经贸中发挥着生产力的作用。计量测试队伍也从计量行业扩展到各技术领域的计量、测试人员,形成宏大的专业大军。作为这一专业领域的知识积累——编写《计量测试技术手册》,既是广大计量测试人员的要求,也为推进计量测试技术转化为生产力所需要。

《手册》旨在成为计量测试人员和技术科研、设计人员案头技术咨询的必备工具书,力求以技术科学性、数据准确性、资料实用性、查阅方便性来组织书稿内容。全书按计量测试技术专业立卷,共13卷,覆盖了这一技术领域的全貌。各卷按各自专业特点,要求做到既独立完整,又相互协调统一。

《手册》是在原国家计量局和现国家技术监督局的支持和帮助下,由中国计量出版社组织编写的,并成立了各卷的编审委员会,得到了中国计量科学研究院和一些科研单位、大专院校的大力支持,有上百名计量测试技术专家、学者参与了编写工作,历经7个多寒暑,为此付出了艰辛的劳动。值此《手册》面世之际,我们谨向支持和参与《手册》编写、编辑出版的所有人员致以敬意!

编写如此浩大又涉及众多学科的《手册》,是一项系统而又细致的工程实践,要做到全面、完整、准确、统一是十分困难的,虽经共同努力,层层把关,也难免存在术语上的不统一,内容上有一定交叉重复,符号不太一致等问题。还会有错漏和不足,诚请广大读者批评指正,以便在《手册》再版和修订中改正。

《计量测试技术手册》编辑委员会

1995年9月

编者的话

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,它与人类的生产、生活密切相关;而温度的计量测试技术则涉及到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、气象以及宇航等部门。

为了充分反映当代温度计量测试的水平,本手册的资料搜集面较广,内容较丰富,书中不仅包括常温下温度计量测试所需的数据、资料,而且还包括超低温和超高温,以及在特殊工况条件如核辐照环境下,强电磁场下,高温强浸蚀性介质下的测温技术;此外,对各种类型具有各种不同用途的测温仪表、仪器,如玻璃液体温度计、压力式和双金属温度计、热电阻、热电偶、辐射温度计,以及温度记录仪表,如自动平衡显示仪表、数字式温度显示仪表等的结构、工作原理和测温方法,均做了较为详细的介绍;对一些新型的测温仪表和测温技术,如光纤温度计、化学温度计、微波辐射温度计、核磁共振温度计、相变点温度计,以及能谱分析测温法、中子检测法、激光散射测温法等,则做了简要的介绍;对国民经济中重要的行业,如冶金、机械、动力、石油、建材、航空等工业中的温度测量技术也作了适当介绍。总之,我们力求在有限的篇幅中尽可能多地介绍一些温度计量测试的新技术、新资料,以供读者备查和引用。

为适应不同工作岗位和不同文化层次读者的需要,本手册在编写时,力求做到文字通俗易懂,简单明了,内容新颖,充实全面,以使读者在理论概念和实际应用两方面都能有所裨益。

本手册在编写过程中,参考和引用了大量中外著作和文献资料,在此,我们谨向这些作者致以真挚的谢意。此外,在本手册的编辑加工方面,窦绪昕和徐鹤两位同志亦作了很多工作,在此一并致谢。

本手册共计 20 章,第 1,4,5 三章由蜀江编写;第 2 章由潘儒文编写;第 3 章由李铁桥编写;第 6 章由肖功弼和李吉林编写;第 7,11 两章由石保安编写;第 8,10 两章由李湜然编写;第 9 章由秦永烈编写;第 12 章由张立儒编写;第 13 章由胡桅林编写;第 14、16 两章由孙崇正编写;第

15 章由朱德忠和罗晓迎编写；第 17、18 两章由章百里编写；第 19 章由金健民、吴哈编写；第 20 章由刘常满编写。

由于水平有限，书中难免存在谬误和不足之处，我们恳切地希望广大读者提出宝贵意见，以便再版时订正。

编 者

目 录

第1章 基础知识

- 1 热力学和传热学基础知识 (1)
 - 1.1 热力学的性质 (1)
 - 1.2 传热学基础知识 (4)
- 2 温标 (9)
 - 2.1 经验温标 (9)
 - 2.2 热力学温标 (10)
 - 2.3 国际温标 (11)
- 3 温度计量测试常用数据和资料 (18)
- 4 温度计量常用名词及温度计量器具检定系统 (35)
 - 4.1 常用名词 (35)
 - 4.2 温度计量器具检定系统 (46)

第2章 玻璃液体温度计

- 1 玻璃液体温度计的测温原理及结构 (51)
 - 1.1 玻璃液体温度计的基本结构 (51)
 - 1.2 玻璃液体温度计的测温原理 (51)
- 2 玻璃材料的特性 (53)
 - 2.1 几种玻璃的化学成分 (53)
 - 2.2 玻璃的线膨胀系数 (53)
 - 2.3 玻璃的变形点及其使用温度 (54)
 - 2.4 常用玻璃材料的理化性能及特点 (54)
- 3 感温液体的特性 (55)
 - 3.1 对感温液体的一般要求 (55)
 - 3.2 水银的热物理特性 (55)
 - 3.3 水银温度计的上限温度与充气压力 (56)
 - 3.4 水银温度计的视膨胀系数 (56)
 - 3.5 汞铯合金的特点 (57)
 - 3.6 有机液体的热物理特性 (57)
 - 3.7 有机液体的视膨胀系数 (58)
 - 3.8 感温液的压缩系数 (58)

- 4 玻璃温度计的类型及用途 (58)
 - 4.1 标准温度计 (59)
 - 4.2 精密实验室温度计 (61)
 - 4.3 工作用温度计 (64)
 - 4.4 电接点温度计 (65)
 - 4.5 石油产品试验用温度计 (66)
 - 4.6 焦化产品试验用温度计 (66)
 - 4.7 气象用温度计 (68)
 - 4.8 海洋用温度计 (72)
 - 4.9 体温计 (75)
- 5 玻璃液体温度计检定用设备 (76)
 - 5.1 标准温度计 (76)
 - 5.2 电测仪器 (77)
 - 5.3 冰点器和水三相点瓶 (79)
 - 5.4 恒温水槽 (80)
 - 5.5 恒温油槽 (81)
 - 5.6 恒温锡槽 (82)
 - 5.7 低温槽 (82)
- 6 温度计的检定 (84)
 - 6.1 检定方法概述 (84)
 - 6.2 外观检查 (84)
 - 6.3 示值稳定性检查 (85)
 - 6.4 示值检定 (85)
 - 6.5 检定结果的数据处理 (86)
- 7 玻璃液体温度计的误差来源 (92)
 - 7.1 温度计零位的变化 (92)
 - 7.2 温度计露出液柱温度对示值的影响 (93)
 - 7.3 温度计内压对示值的影响 (94)
 - 7.4 温度计外压对示值的影响 (95)
 - 7.5 外压系数 (95)
 - 7.6 温度计滞后对示值的影响 (95)
 - 7.7 温度计保护套管传热对示值的影响 (97)

- 7.8 水银柱端面不规则跳动对示值的影响 (97)
- 7.9 其他因素对示值的影响 (97)

附 录

- 附录1 贝克曼温度计的平均分度值 (99)
- 附录2 0~961.78℃温区内参考函数表 (102)
- 附录3 -200~0.01℃温区内参考函数表 (108)
- 附录4 露出液柱温度的修正值 $\Delta t_e = 0.00016\Delta\theta_{mn}(t_{er} - t_{en})$ 表 (111)

第3章 压力式和双金属温度计

- 1 压力式温度计的特点及用途 (119)
 - 1.1 特点 (119)
 - 1.2 用途 (119)
- 2 压力式温度计原理及分类 (119)
 - 2.1 工作原理 (119)
 - 2.2 分类 (119)
 - 2.3 压力式温度计的结构 (119)
 - 2.4 压力式温度计的特性 (126)
 - 2.5 压力式温度计的附加误差 (133)
 - 2.6 压力式温度计的基本参数 (136)
 - 2.7 带附加装置的压力式温度计 (137)
 - 2.8 压力式温度计感温物质的充灌 (140)
 - 2.9 压力式温度计的校验 (140)
 - 2.10 压力式温度计使用注意事项 (141)
- 3 双金属温度计的特点及用途 (141)
 - 3.1 双金属温度计的特点 (141)
 - 3.2 双金属温度计的用途 (141)
 - 3.3 双金属温度计的原理及分类 (141)
 - 3.4 双金属温度计的结构 (142)
 - 3.5 双金属温度计的特性 (142)
 - 3.6 双金属感温元件 (143)
 - 3.7 双金属温度计的基本参数 (145)
 - 3.8 电接点双金属温度计 (145)
 - 3.9 双金属温度计的校验 (146)
 - 3.10 双金属温度计的使用与维护 (146)

第4章 电阻温度计

- 1 概述 (147)

- 2 热电阻测温的基本原理 (147)
- 3 热电阻感温元件的材料 (148)
- 4 热电阻感温元件的结构及种类 (149)
- 5 热电阻感温元件的特性及技术参数 (151)
 - 5.1 热电阻感温元件的电阻与温度的关系特性 (151)
 - 5.2 热电阻感温元件的技术参数 (151)
- 6 热电阻的结构 (152)
 - 6.1 普通工业热电阻的结构 (152)
 - 6.2 标准铂电阻温度计 (152)
 - 6.3 热电阻的基本参数 (154)
- 7 铠装热电阻 (154)
 - 7.1 铠装热电阻的结构 (154)
 - 7.2 铠装热电阻的技术参数 (155)
- 8 热敏电阻温度计 (155)
 - 8.1 热敏电阻的特性 (155)
 - 8.2 感温元件的结构 (155)
 - 8.3 感温元件的互换结构 (156)
- 9 低温热电阻 (157)
 - 9.1 概述 (157)
 - 9.2 低温铂电阻温度计 (157)
 - 9.3 铼铁电阻温度计 (157)
 - 9.4 锗电阻温度计 (158)
 - 9.5 碳和渗碳玻璃温度计 (160)
- 10 工业热电阻的检定 (161)
- 11 标准铂电阻温度计的检定 (162)

第5章 热电偶温度计

- 1 概述 (182)
- 2 热电偶测温的基本原理 (182)
 - 2.1 塞贝克效应 (182)
 - 2.2 珀尔帖效应 (182)
 - 2.3 汤姆逊效应 (183)
- 3 热电偶的应用定则 (183)
 - 3.1 均质回路定则 (183)
 - 3.2 中间导体定则 (184)
 - 3.3 中间温度定则 (184)
 - 3.4 组成定则 (184)
 - 3.5 热电偶的热电动势与温度的关系特性 (184)
- 4 热电偶的品种和性能 (185)
 - 4.1 热电偶的种类 (185)

4.2 热电偶的性能	(189)
5 热电极材料	(192)
5.1 热电极材料的类别	(192)
5.2 对热电极材料的要求	(192)
5.3 选择热电极材料的原则	(198)
6 普通工业热电偶	(198)
6.1 普通工业热电偶的结构	(198)
6.2 保护管的作用和要求	(198)
6.3 保护管材料	(198)
7 铠装热电偶	(200)
7.1 概述	(200)
7.2 铠装热电偶材料的品种及性能	(201)
8 专用热电偶	(202)
8.1 快速微型热电偶	(202)
8.2 多点式热电偶	(203)
8.3 表面热电偶	(203)
8.4 薄膜热电偶	(204)
9 热电偶的检定和分度	(205)
9.1 热电偶的检定	(205)
9.2 热电偶的分度	(205)
10 1990 年国际温标的实施	(208)
11 热电偶参考端的温度补偿和 补偿导线	(209)
11.1 参考端的温度补偿	(209)
11.2 补偿导线	(210)
12 压力、磁场、核辐照对热电偶 的影响	(214)
12.1 压力的影响	(214)
12.2 磁场的影响	(214)
12.3 核辐照的影响	(215)
13 热电偶的安装、维修及使用 注意事项	(215)
13.1 热电偶的安装	(215)
13.2 热电偶的维修	(217)
13.3 热电偶在使用中应注意的事项	(217)

第6章 辐射测温技术和仪表

1 辐射测温的理论基础	(219)
1.1 辐射的吸收、反射、透过及 绝对黑体	(220)
1.2 黑体辐射定律	(221)
1.3 兰贝特定律,定向辐射强度	(222)
1.4 实际物体的辐射和基尔霍夫定律	(223)

1.5 黑体任意波段辐射功率与其全 辐射功率之间的关系	(224)
1.6 辐射温度、亮度温度、颜色温度的 概念及其与真实温度的关系	(225)
1.7 实际物体的发射率	(227)
1.8 黑体空腔理论及黑体辐射源	(230)
2 辐射测温仪表及其应用	(232)
2.1 辐射测温的发展概况	(232)
2.2 辐射测温仪表的分类和比较	(234)
2.3 光学高温计	(236)
2.4 光电温度计与光电比较仪	(246)
2.5 部分辐射温度计	(257)
2.6 辐射感温器	(259)
2.7 比色法测温仪表	(263)
2.8 辐射测温仪表应用中的问题	(272)
2.9 辐射测温仪表中探测器的选择	(277)
3 标准辐射源及校验装置	(282)
3.1 固定点黑体炉	(282)
3.2 低温黑体辐射源	(283)
3.3 中温黑体炉	(284)
3.4 高温黑体炉	(285)
3.5 标准温度灯	(288)
3.6 光学高温计校验装置	(290)
3.7 辐射感温器比较检定装置	(291)

第7章 新型特殊温度计及测温方法

1 半导体二极管温度计	(294)
1.1 作用原理	(294)
1.2 温度计的结构及应用	(295)
2 晶体管温度计	(295)
2.1 作用原理	(295)
2.2 实用结构及用途	(296)
3 MOS 场效应管电阻温度计	(297)
3.1 作用原理	(297)
3.2 特点及用途	(297)
4 集成电路温度计	(298)
4.1 作用原理	(299)
4.2 结构及性能指标	(299)
5 P-N 结电容温度计	(299)
5.1 作用原理	(299)
5.2 结构与温度扩展电路	(300)
5.3 性能及特点	(300)
6 石英晶体温度计	(300)
6.1 作用原理	(300)

6.2 敏感元件结构及测温电路	(301)	18 核磁共振温度计	(320)
6.3 性能指标及应用	(301)	18.1 作用原理	(320)
7 光纤温度计	(302)	18.2 连续波法	(320)
7.1 半导体吸收式光纤温度传感器	(302)	18.3 脉冲法	(320)
7.2 偏光式光纤温度计	(303)	18.4 NMR 温度计的特点	(320)
7.3 相位干涉式光纤温度计	(305)	19 穆斯保尔效应温度计	(321)
7.4 光纤红外辐射温度计	(306)	19.1 作用原理	(321)
8 荧光温度计	(307)	19.2 测量及结果	(322)
8.1 作用原理	(307)	20 玻璃电容温度计	(322)
8.2 温度计结构与性能	(307)	20.1 作用原理	(322)
9 液晶温度计	(307)	20.2 敏感元件结构	(322)
9.1 作用原理	(307)	20.3 测量方法	(323)
9.2 一般结构及应用	(308)	20.4 性能	(323)
10 化学温度计	(309)	21 超导量子干涉器(SQUID)	
10.1 测温笔	(309)	磁强温度计	(323)
10.2 测温纸	(309)	21.1 作用原理	(323)
10.3 热敏涂料	(309)	21.2 SQUID 磁强温度计的结构	(324)
11 电磁感应温度计	(310)	22 相变点温度计	(324)
11.1 作用原理及结构	(310)	22.1 离子化合物温度计	(325)
11.2 性能及特点	(310)	22.2 磁性材料温度计	(325)
12 形变温度计	(311)	22.3 超导转变点温度计	(326)
12.1 测温锥	(311)	23 全息干涉法测量流体温度场	(327)
12.2 记忆合金	(311)	23.1 原理	(327)
13 电容谐振温度计	(311)	23.2 实验装置	(327)
13.1 作用原理	(311)	24 热电子发射温度计	(327)
13.2 感温元件与电子系统	(311)	24.1 作用原理	(327)
13.3 特点及用途	(312)	24.2 测量方法	(328)
14 表面波(SAW)温度计	(312)	24.3 温度计的用途及特点	(328)
14.1 作用原理	(312)	25 光导摄像管测温仪	(329)
14.2 接触式表面波温度计	(313)	25.1 测量原理	(329)
14.3 非接触式表面波温度计	(313)	25.2 摄像管的选择	(329)
14.4 表面波温度计常用材料及特点	(314)	25.3 测量方法及结构	(330)
15 微波辐射温度计	(314)	25.4 应用和特点	(331)
15.1 结构与原理	(314)		
15.2 特性及应用	(315)		
16 硬度温度计	(316)		
16.1 原理	(316)		
16.2 方法	(316)		
16.3 特点	(316)		
17 核四极共振(NQR)温度计	(317)		
17.1 作用原理	(317)		
17.2 探头和振荡器	(318)		
17.3 NQR 温度计系统结构	(318)		
17.4 性能	(320)		

第8章 热力学温度的测量

1 气体温度计	(334)
1.1 气体温度计测温原理	(334)
1.2 测温方法	(338)
1.3 气体温度计的设计	(340)
1.4 气体温度计温标	(343)
2 声学温度计	(344)
2.1 声学温度计原理	(344)
2.2 声学温度计的应用	(346)
2.3 声学温度计的设计及实例	(347)

3	介电常数和折射率气体测温法	.....	(349)
3.1	介电常数气体测温法	.....	(349)
3.2	折射率气体测温法	.....	(351)
4	噪声温度计	.....	(353)
4.1	噪声测温原理	.....	(353)
4.2	噪声测温方法	.....	(354)
4.3	噪声测温法实例	.....	(355)
5	磁测温法	.....	(357)
5.1	磁温度计原理	.....	(357)
5.2	磁化率测量	.....	(358)
5.3	磁温度计的实例	.....	(359)
6	辐射法测量热力学温度	.....	(360)
6.1	全辐射测温法	.....	(360)
6.2	电子计数高温计	.....	(362)
7	其他热力学测温法	.....	(363)
7.1	核定向测温法	.....	(363)
7.2	穆斯堡尔效应测温法	.....	(365)
7.3	渗透压和 ³ He 融化压强测温法	.....	(367)

第9章 表面温度测量

1	表面温度测量基础	.....	(369)
1.1	表面温度测量的分类	.....	(369)
1.2	固体及表面温度测量方法与仪表的应用领域	.....	(369)
1.3	表面温度测量的基本定义、误差来源及改进措施	.....	(370)
1.4	表面温度测量的特点及边界条件	.....	(370)
2	便携接触式表面温度计及测量方法	.....	(371)
2.1	便携接触式表面温度计的分类	.....	(371)
2.2	便携式表面温度计测温元件的结构、用途及设计特点	.....	(371)
2.3	平面型便携式表面热电偶的结构、制造、调整及误差分析	.....	(375)
2.4	便携式表面热电偶的质量控制	.....	(379)
2.5	便携式表面热电偶的使用与维护	.....	(381)
3	固定安装式表面温度计	.....	(381)
3.1	分类	.....	(381)
3.2	安装方法及特点	.....	(381)
3.3	铠装热电偶表面温度计	.....	(383)
3.4	固定安装式表面测温元件误差分析	.....	(385)
4	表面温度的非接触式测量方法	.....	(391)
4.1	测量方法的分类	.....	(391)
4.2	常见辐射法测量表面温度	.....	(391)

4.3	新型及特殊的辐射表面温度测量仪表和方法	.....	(393)
4.4	电涡流法测量表面温度	.....	(399)
4.5	感应法非接触测量表面温度	.....	(400)
4.6	零温差微分法测量表面温度	.....	(400)
5	表面温度计的检定方法与装置	.....	(401)
5.1	表面温度计的分度特点	.....	(401)
5.2	表面温度测量仪表分度装置的种类及其应用	.....	(401)
5.3	各种表面温度计的分度方法及分度内容	.....	(402)
5.4	表面温度计分度装置	.....	(404)
6	特定对象、特定工况下表面温度的测量	.....	(408)
6.1	固体及表面温度测量的各种条件	.....	(408)
6.2	不同表面测温方法及测温仪表	.....	(409)
6.3	微波功率管管壳表面温度测量——应用例一	.....	(411)
6.4	皮肤温度的测量——应用例二	.....	(411)
6.5	车刀表面温度的测量——应用例三	.....	(412)

第10章 低温的获得及其测量

1	低温的获得和低温液体	.....	(414)
1.1	低温的获得	.....	(414)
1.2	低温液体	.....	(420)
1.3	低温液体的贮存和利用	.....	(425)
2	低温恒温器	.....	(429)
2.1	温度控制	.....	(429)
2.2	低温恒温器结构	.....	(431)
3	低温固定点	.....	(436)
3.1	两相平衡及其实现方法	.....	(436)
3.2	三相点及其实现方法	.....	(452)
3.3	二极相变点	.....	(455)
4	实用低温温度计	.....	(458)
4.1	概述	.....	(458)
4.2	半导体结温度计	.....	(460)
4.3	电容温度计	.....	(461)
4.4	其他温度计	.....	(464)
4.5	低温温度计在磁场中的性能	.....	(467)
4.6	温度计的分度与使用	.....	(470)

第11章 超高温的获取及测量

1	超高温的获取	(474)
---	--------	-------	-------

1.1 化学反应法	(474)	4.3 用谱线反转法测量透明火焰的温度	(517)
1.2 电阻炉法	(474)	4.4 用亮度均匀法测量发光火焰的温度	(518)
1.3 感应加热炉法	(477)	4.5 用辐射吸收法测量不稳定的发光 火焰的温度	(519)
1.4 太阳炉法	(478)	4.6 几种火焰温度测量法的比较	(520)
1.5 电弧法	(480)	5 核辐照环境下的温度测量	(521)
1.6 等离子喷炬法	(481)	5.1 测量特点	(521)
1.7 高频等离子体发生器法	(482)	5.2 测温元件和连接用电缆的选择	(521)
1.8 受控核聚变反应堆法	(483)	5.3 核环境中使用的铠装热电偶	(522)
1.9 其他加热方法	(486)	5.4 用热电偶测量核反应堆的温度	(522)
2 超高温的测量	(487)	6 低温等离子体温度测量	(524)
2.1 高温等离子体温度诊断及 其范围	(487)	6.1 测量特点	(524)
2.2 能谱分析法	(487)	6.2 探针法	(524)
2.3 中子检测法	(488)	6.3 光谱法	(526)
2.4 静电探针法	(489)	7 物体的温度分布测量	(529)
2.5 谱线绝对强度法	(490)	7.1 测量特点	(529)
2.6 谱线相对强度法	(490)	7.2 测量方案	(529)
2.7 快扫描红外傅里叶变换光谱仪	(490)	7.3 用扫描式光电温度计测量温度分布	(529)
2.8 外差温度计	(492)	7.4 用红外热像仪测量温度分布	(532)
2.9 微秒级多色高温计	(493)		
2.10 快速大量程温度计	(494)		
2.11 快扫描光栅分光测温仪	(495)		

第12章 特殊工况下的温度测量

1 高温强浸蚀性介质的温度测量	(497)
1.1 测量特点	(497)
1.2 热电偶测高温	(497)
1.3 声学测温	(501)
1.4 光学测温	(503)
2 强电磁场下的温度测量	(505)
2.1 测量特点	(505)
2.2 用常规温度传感器测温	(505)
2.3 用高阻导线温度传感器测温	(505)
2.4 用光纤温度传感器测温	(506)
2.5 物体带电部位的温度测量	(510)
3 气流温度测量	(511)
3.1 测量特点	(511)
3.2 低速气流的温度测量	(511)
3.3 高速气流的温度测量	(513)
3.4 高温气流的温度测量	(515)
3.5 脉动气流的温度测量	(515)
4 火焰温度及等离子体温度的测量	(516)
4.1 测量特点	(516)
4.2 用亮度法测量发光火焰的温度	(516)

第13章 工业中的温度测量

1 工业中常用测温仪表及其选择	(536)
2 温度计在工业设备上的安装	(539)
3 工业测温仪表的抗干扰问题	(549)
4 冶金工业中的温度测量	(551)
4.1 炼铁过程中的温度测量	(551)
4.2 炼钢过程中的温度测量	(554)
4.3 连续铸钢过程温度测量	(559)
4.4 轧钢过程温度测量	(560)
5 机械工业中的温度测量	(562)
5.1 铸造过程温度测量	(562)
5.2 金属热处理过程温度测量	(566)
5.3 热锻过程的温度测量	(569)
6 动力工业中的温度测量	(569)
6.1 锅炉的温度测量	(570)
6.2 汽轮机的温度测量	(572)
6.3 发电机的温度测量	(573)
6.4 送变电系统中的温度测量	(574)
7 建材工业中的温度测量	(575)
7.1 水泥窑炉的温度测量	(575)
7.2 玻璃熔窑的温度测量	(577)
7.3 陶瓷窑炉的温度测量	(580)
8 石油化工与化学工业中的	

温度测量	(580)
8.1 石油化工中的温度测量	(580)
8.2 化学工业中的温度测量	(581)

第14章 温度控制技术

1 传热与温控对象的特性	(582)
1.1 传热	(582)
1.2 温控对象的动态特性	(585)
2 自动控制基本知识	(587)
2.1 自动控制系统的组成及品质指标	(587)
2.2 基本控制作用	(591)
2.3 单回路控制系统的PID参数整定	(595)
2.4 直接数字控制(DDC)算式	(597)
3 温度控制仪表	(601)
3.1 动圈式控制仪表	(601)
3.2 电动温度变送器	(604)
3.3 电动调节器	(610)
3.4 可控硅电压调整器	(615)
4 温度控制系统	(617)
4.1 单回路温度控制系统	(618)
4.2 串级温度控制系统	(618)
4.3 前馈温度控制系统	(619)
4.4 具有辅助微分信号的温度控制系统	(619)
4.5 变比值温度控制系统	(620)
4.6 分程温度控制系统	(620)
4.7 自动选择性温度控制系统	(621)
5 工业中温度控制实例	(622)
5.1 丙烯冷却器的被冷却介质温度-压力串级控制系统	(622)
5.2 聚合釜串级温度控制系统	(623)
5.3 夹套反应釜温度分程控制系统	(623)
5.4 热交换器温度反馈-静态前馈控制系统	(624)
5.5 蒸汽加热器的串级-动态前馈控制系统	(625)
5.6 具有旁路的热交换器出口温度控制系统	(626)
5.7 加热炉多点平均温度静态增益自适应的纯滞后补偿控制系统	(627)
5.8 水泥窑温度的负荷自适应控制系统	(628)
5.9 变换炉温度多级串级控制系统	(629)
5.10 窑炉燃烧火焰温度控制系统	(630)

第15章 计算机在温度测量和控制中的应用

1 概述	(631)
1.1 计算机控制的一般概念	(631)
1.2 计算机控制系统的组成	(632)
1.3 计算机在测量与控制中应用方式	(633)
2 测量与控制中的计算机系统	(635)
2.1 工业控制计算机的特点	(635)
2.2 计算机系统的结构与分类	(635)
2.3 基本功能部件	(637)
3 微机智能化温度测试仪表	(644)
3.1 智能化测温仪表的基本功能	(644)
3.2 智能化测温仪表中的函数运算	(644)
3.3 智能化测温仪表静态误差修正	(644)
3.4 智能化测温仪表量程的自动切换	(645)
3.5 智能仪表的自检与故障监控	(646)
3.6 智能化测温仪表举例——点阵式打印头式记录仪	(647)
4 计算机温度数据采集及处理系统	(648)
4.1 概论	(648)
4.2 部件	(651)
5 温度的计算机自动控制系统	(656)
5.1 直接数字(DDC)控制系统	(656)
5.2 应用举例	(661)

第16章 检定装置的精密温度控制及自动检定技术

1 检定装置的温度控制	(667)
1.1 通用精密温度控制仪	(667)
1.2 定点装置的温度控制	(669)
1.3 低温检定装置的温度控制	(673)
2 温度计自动检定技术	(674)
2.1 概述	(674)
2.2 几种典型的温度计自动检定系统	(677)
2.3 温度计检定系统中的小信号测量	(683)
2.4 能量脉冲群调制原理的应用	(687)
2.5 自动检定中的数据处理	(690)

第17章 动圈式指示调节仪表

1 概述	(698)
1.1 动圈式仪表的型号与命名	(698)
1.2 主要技术指标	(698)
2 测量指示部分的工作原理及组成	(699)

2.1 动圈测量机构	(699)
2.2 测量线路	(700)
2.3 测量元件断路保护	(701)
3 XC系列的调节部分	(702)
3.1 偏差检测机构	(703)
3.2 高频振荡电路	(703)
3.3 检波器	(704)
4 调节电路	(704)
4.1 位式调节	(704)
4.2 时间比例调节	(704)
4.3 电流连续输出PID调节仪	(706)
4.4 XCT调节仪技术指标	(707)
5 动圈仪表的检修指南	(708)
5.1 检验设备和刻度步骤	(708)
5.2 检验纲要	(708)
6 XF系列强力矩动圈仪表	(709)
6.1 概述	(709)
6.2 作用原理	(709)
6.3 主要技术指标	(710)

第18章 自动平衡显示仪表

1 概述	(711)
2 自动平衡显示仪表的型号与命名	(711)
3 电子自动平衡显示仪表的原理和组成	(711)
3.1 仪表的作用原理	(711)
3.2 仪表的主要部件	(712)
3.3 JF-12型晶体管伺服放大器	(715)
3.4 ND-D型可逆电机	(717)
3.5 同步电机	(719)
4 自动平衡显示仪表的性能评定方法	(720)
4.1 工作条件	(720)
4.2 与准确度有关的技术指标	(720)
4.3 与准确度有关的技术指标的测试方法	(722)
4.4 仪表的稳定性	(723)
4.5 仪表的记录性能	(723)
4.6 仪表的动态特性	(724)
4.7 仪表的影响量效应	(724)
4.8 配热电偶的自动平衡仪表的冷端温度补偿校验方法	(726)

第19章 数字式温度显示仪表

1 常用数字式温度显示控制仪表	(727)
1.1 概述	(727)
1.2 主要技术特性	(729)
1.3 数字显示仪表的工作原理	(730)
1.4 主要电路结构及其分析	(730)
2 专用集成电路简介	(737)
2.1 两端单片集成温度传感器——AD590	(737)
2.2 热电偶温度控制器——AD596/AD597	(741)
2.3 3½位单片模/数转换器	(745)

第20章 温度电测常用仪器仪表

1 标准电池	(756)
1.1 分类及特点	(756)
1.2 结构	(756)
1.3 标准电池的温度影响	(756)
1.4 标准电池的技术特性	(757)
1.5 标准电池的使用与维护	(758)
1.6 标准电池的恶化和对其判别	(759)
2 标准电阻器	(759)
2.1 结构	(759)
2.2 级别与技术参数	(760)
2.3 使用与维护	(761)
3 直流电阻箱	(762)
3.1 分类与结构	(763)
3.2 型号及技术参数	(763)
3.3 使用与维护	(763)
4 直流电位差计	(765)
4.1 工作原理	(765)
4.2 类型	(766)
4.3 技术指标及主要参数	(766)
4.4 使用与维护	(771)
5 直流电桥	(772)
5.1 类别	(772)
5.2 工作原理	(773)
5.3 主要技术指标	(774)
5.4 型号规格及用途	(775)
5.5 使用与维护	(776)
6 直流检流计	(778)
6.1 原理及类型	(778)

6.2 主要技术指标	(779)	8.1 FK4 型低电势油浸转换开关	(795)
6.3 常用检流计的性能参数	(780)	8.2 B365 型无热电势转换开关	(796)
6.4 选用与维护	(781)	8.3 B465 型转换开关	(796)
7 数字电压表	(784)	8.4 FK 型刷式转换开关	(796)
7.1 类型	(784)	8.5 BJ 型滚轮式电话板键	(797)
7.2 工作原理	(785)	8.6 WKR-61, WKZ-61 型油浸式多点 切换开关	(797)
7.3 主要技术指标	(788)	8.7 6705A 低热电势扫描开关	(798)
7.4 几种典种数字电压表的技术指标	(790)	8.8 SW180 多点切换开关	(800)
7.5 使用与维护	(794)	参考文献	(801)
8 无热电势转换开关	(795)		

第1章 基础知识

1 热力学和传热学基础知识

1.1 热力学的性质

热力学是物理学的一个分支,它是一门研究能量转换,以及与转换有关的物性(或参数)间的相互关系的学科。热力学和统计物理学一起构成热现象理论;热力学与统计物理学从不同角度来进行研究。热力学是以宏观观点研究物质及物质间的相互作用,它所关心的焦点在于总的、全局的效果。经典热力学不要求对物质的原子规模的详细结构作出假定。因此,它的三个基本定律是大量实验事实的总结,具有高度的普遍性和可靠性,不会随着物质性质的新知识的开发而改变。统计物理学则从物质的微观结构出发,把统计力学的计算技术和量子论的结论结合了起来,从而可以预测并解释平衡情况下物质的宏观特性。

1.1.1 温度的概念

温度是热力学中的一个重要参数。对于平衡系统而言,温度是描述系统不同自由度之间能量分布状况的基本物理量,是一状态参数。温度是决定一系统是否与其他系统处于热平衡的宏观性质;一切互为热平衡的系统都具有相同的温度。分子运动论从微观的角度来观察,温度是与大量分子的平均动能相联系,它标志着物质内部分子无规则运动的剧烈程度。

对于非平衡态系统,目前对温度尚缺乏准确的定义。

1.1.2 温度的测量

根据热力学第零定律:当两个系统都与第三系统达到热平衡时,则那两个系统彼此也将处于热平衡。据此,人们可将第三系统作为一个温度计并予以事先标定,然后将标定过的温度计和温度未知的系统达到热平衡,这样就能确定系统的温度值。要测量物体或系统的温度,除必须具有温度计外,还需要温标。在实际工作中,温度的测量一般是通过测量被测物质的某些特性来实现的。通常采用的材料的测温特性有:

- (1) 气体、液体和固体的体积;
- (2) 定容下气体的压力;
- (3) 固体的电阻;
- (4) 两种不同物体间的电动势;
- (5) 辐射强度(高温下);
- (6) 磁效应(在极低温度下)。

1.1.3 理想气体状态方程

一般说来,理想气体状态方程只是一个近似的方程,只有在压强等于零时才严格正确。但对于双原子和单原子气体,压强直到 1013.25~2026.50kPa,温度为常温或常温以上时,理想气体状态方程式通常还是个很好的近似方程,在准确度方面其误差不超过百分之几。理想气体的状态方程如下:

$$pV = n(\mu R)T \quad (1-1)$$

式中, p 为气体的压力; V 为气体的容积; n 为气体的摩尔数; μ 为气体的分子量; μR 为普适气体常数; T 为绝对温度。

在低温计量中,例如,对气体温度计的计算,通常应用卡末林·昂尼斯(Kamerlingh Onnes)实际气体状态方程。

$$pV = A + Bp + Cp^2 + Dp^3 + \dots \quad (1-2)$$

式中, A 、 B 、 C 、 D 等分别名为第一、第二、第三、第四维里系数。这些维里系数之值均由实验测定。

1.1.4 热力学第零定律

如果两个热力学系统同时与第三个热力学系统达到热平衡,则这两个系统彼此也将处于热平衡。

此定律是温度测量的重要理论基础。