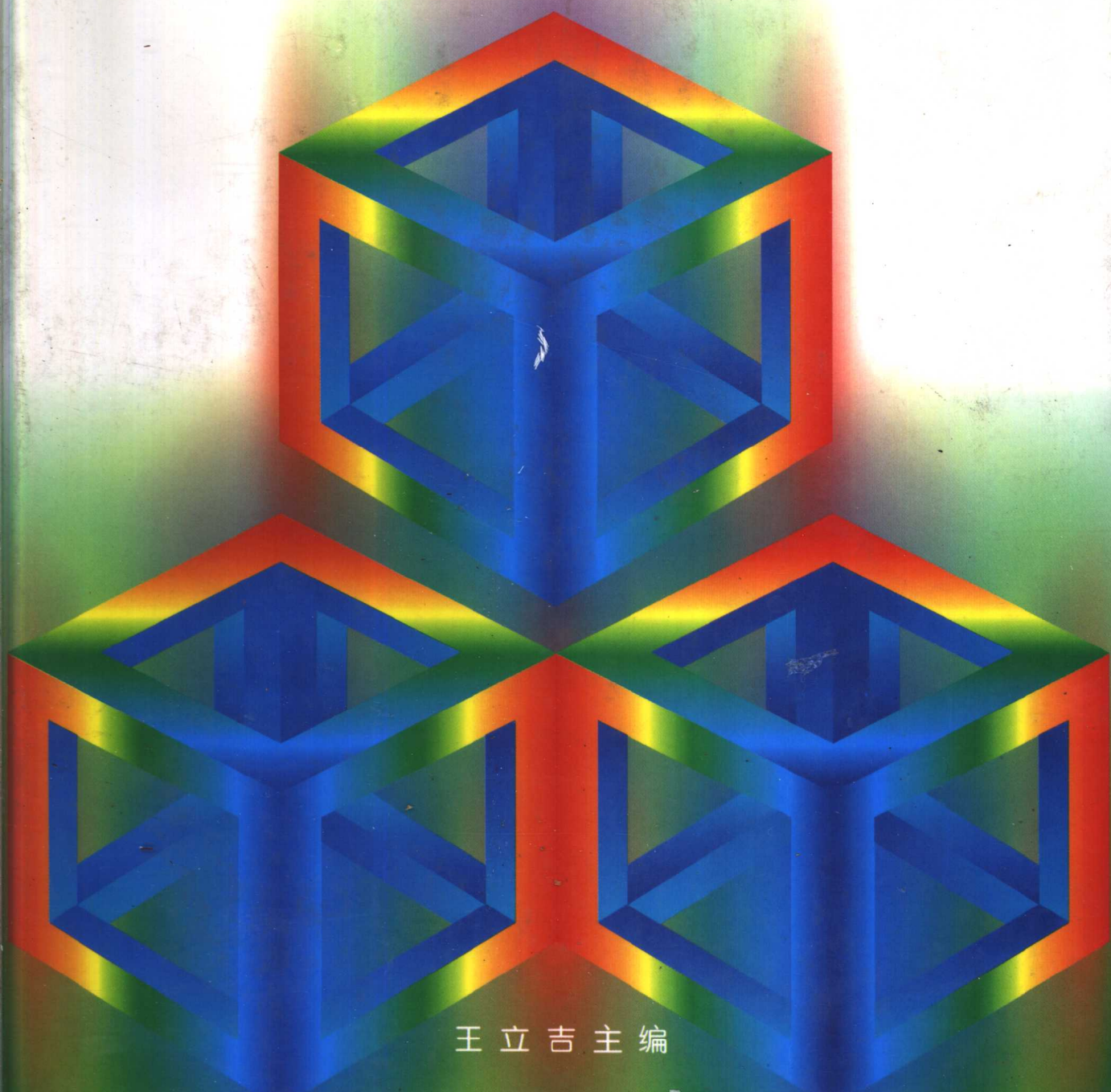


JILIANGZHUANYE

企业管理出版社



王立吉主编

计量专业 工程师手册

计量专业工程师手册

顾 问:王以铭

主 编:王立吉

副主编:施昌彦

张公绪

企业管理出版社

责任编辑： 陆 维 李祺方

封面设计： 大盟文化艺术有限公司设计、制作

图书在版编目(CIP)数据

计量工程师手册/王立吉主编. - 北京:企业管理出版社,1996.8

ISBN 7-80001-739-7

I.计… II.王… III.计量-技术手册 IV.TB9-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 13056 号

计量专业工程师手册

王立吉 主编

* * *

企业管理出版社

(社址:北京市海淀区紫竹院南路 17 号)

*

新华书店北京发行所发行

新蕾印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开 57 印张 1345 千字

1998 年 1 月第 1 版 1998 年 1 月第 1 次印刷

印数 0001—5000 册 定价:168.00 元

*

ISBN 7-80001-739-7

F·737

《计量专业工程师手册》编委会

顾问 王以铭

主编 王立吉

副主编 施昌彦 张公绪

编委 (以姓氏笔划为序):

马凤鸣	王立吉	王池	刘智敏	刘瑞珉
李琳培	杨自本	余元冠	邹安海	张之彬
张公绪	张钟华	陈遐举	罗涤明	赵敏
赵琪	郝润龙	胡希平	段发阶	施昌彦
原遵东	徐毅	席德熊	章句才	韩慧文

各章作者简介

- | | | |
|-----|------|---------------------------------|
| 王立吉 | 第一章 | 中国计量科学研究院副院长兼科学委员会主任,中国计量测试学会常 |
| | 第十四章 | 务理事兼学术工作委员会主任委员,教授 |
| 刘智敏 | 第二章 | 中国计量科学研究院研究员 |
| 邹安海 | 第三章 | 天津大学精密仪器系副教授 |
| 段发阶 | | 天津大学精密仪器系讲师 |
| 杨自本 | | 中国计量科学研究院高级工程师 |
| 徐毅 | | 中国计量科学研究院科技处处长,中国计量测试学会常务理事兼几何 |
| | | 量专业委员会主任委员,研究员 |
| 赵琪 | 第四章 | 中国计量科学研究院研究员,中国计量测试学会常务理事兼温度专业 |
| | | 委员会主任委员 |
| 王池 | | 中国计量科学研究院热工处副处长,中国计量测试学会流量计量专业 |
| | | 委员会秘书,副研究员 |
| 原遵东 | | 中国计量科学研究院副研究员,中国计量测试学会温度专业委员会委 |
| | | 员 |
| 韩慧文 | | 中国计量科学研究院高级工程师 |
| 施昌彦 | 第五章 | 中国计量科学研究院总工程师,中国计量测试学会常务理事兼力学计 |
| | 附录 | 量专业委员会主任委员,研究员 |
| 刘瑞珉 | 第六章 | 中国计量科学研究院电磁处处长,中国计量测试学会电磁计量专业委 |
| | | 员会秘书,研究员 |
| 张钟华 | | 中国计量科学研究院,中国计量测试学会《计量学报》编辑委员会主任 |
| | | 委员,中国工程院院士,研究员 |
| 胡希平 | 第七章 | 中国计量科学研究院研究员 |
| 席德熊 | | 中国计量科学研究院无线电处副处长,中国计量测试学会技术咨询工 |
| | | 作委员会主任委员,高级工程师 |
| 马凤鸣 | 第八章 | 中国计量科学研究院研究员,中国计量测试学会时间频率专业委员会 |
| | | 副主任委员兼秘书 |
| 陈遐举 | 第九章 | 中国计量科学研究院研究员,中国计量测试学会光辐射专业委员会副 |
| | | 主任委员 |
| 李琳培 | 第十章 | 中国计量科学研究院研究员 |
| 张之彬 | | 中国计量科学研究院研究员 |
| 郝润龙 | | 中国计量科学研究院研究员,中国计量测试学会电离辐射专业委员会 |
| | | 副主任委员 |
| 章句才 | 第十一章 | 中国计量科学研究院研究员 |
| 罗涤明 | 第十二章 | 国家标准物质研究中心研究员,中国计量测试学会化学专业委员会主 |
| | | 任委员 |
| 赵敏 | | 国家标准物质研究中心研究员,中国计量测试学会分析检测质量保证 |
| | | 专业委员会副主任委员 |
| 余元冠 | 第十三章 | 北京科技大学管理学院副院长,副教授 |
| 张公绪 | | 北京科技大学管理科学研究所所长,博士生导师,教授 |
| 韩桂香 | 附录 | 中国计量科学研究院高级工程师 |

序 言

自然界所有现象、物体或物质,都是由“量”组成,并通过“量”来体现。要想认识自然、利用自然,从而去改造自然为人类造福,就必须深入研究形形色色的“量”;而计量,正是对各种量的定性分析与定量确认的过程。

如今,可以毫不夸张地说,任何学科、任何部门、任何行业乃至任何活动,都离不开计量。事实充分表明,计量已成为科技、经济和社会发展的关键技术基础。计量水平的高低已成为衡量一个国家经济发达程度的重要标志之一。

计量的发展,必须依靠广大的计量工作者。为鼓励多出成果、多出人才,促进技术监督事业的发展,以及客观地评价专业技术人员的技术水平,人事部、国家技术监督局组织制定并发布了《计量、标准化和质量专业中、高级技术资格评审条件(试行)》(人职发[1994]7号,见附录)。其中,对适用范围、申报条件、评审条件等,都作了明确规定。

本书就是根据计量专业工程师和高级工程师技术资格评审条件中,关于基础知识、专业知识、工作能力、业绩与成果等项要求,并结合实际工作而编著的;它既可供申报、评审计量专业中、高级技术资格参考,又可供有关工程技术人员现场使用。

由于篇幅所限,本书采取了中、高级技术资格兼顾的原则。所以,对工程师来说,某些较深的内容可不必苛求甚解和掌握;而对高级工程师来讲,有的内容则可能略显粗浅,但却是应知应会的基本知识。

本书力求体现下列特点:

1. 知识性

本书以计量专业工程师和高级工程师所应了解和掌握的基础知识和专业知识为主,并结合编著者的多年工作经验,有理论、有实践,内容丰富、系统全面。

2. 实用性

本书以理论为基础,以应用为主线,理论联系实际,密切结合需要,易于理解和操作,是计量专业工程技术人员的常备工具书。

3. 新颖性

本书除工程师、高级工程师应知应会的基础知识与专业知识外,还结合国内外的有关情况阐述了计量技术的最新成就与发展趋势,既有传统成熟的资料,又有新颖探索的事例,具有明显的时代气息。

另外,为便于读者阅读、熟悉和掌握本书的内容,每章都有“概述”、“小结”及“主要参考文献”,并备有附录。

为使本书具有高品质,特邀请了国家技术监督局副局长、中国计量测试学会理事长王以铭教授为顾问,并邀请了本领域的著名专家、学者参与撰写(参见各章作者简介)。但由于时间紧迫,难免有不妥之处,请读者批评指正。

王立吉

1995年6月20日

目 录

序 言

第一章 计量概论..... (1)

1.1 概述 (1)

1.1.1 计量及其特点..... (1)

1.1.2 计量的范围与领域..... (3)

1.1.3 计量的基本内容..... (3)

1.1.4 计量的分类..... (3)

1.1.5 计量的精密度、正确度、精确度..... (4)

1.1.6 计量的发展阶段..... (5)

1.1.7 计量的作用和意义..... (6)

1.2 计量单位制 (11)

1.2.1 计量单位与单位制 (11)

1.2.2 国际单位制 (12)

1.2.3 中国法定计量单位 (21)

1.2.4 量、数值及下角标 (28)

1.3 计量器具..... (30)

1.3.1 计量基准器具 (31)

1.3.2 计量标准器具 (32)

1.3.3 普通计量器具 (32)

1.3.4 计量器具的特征 (32)

1.3.5 计量器具的辅助设备 (33)

1.3.6 计量器具的制造、进口、销售、维修与使用 (33)

1.4 量值传递、溯源与检定测试 (35)

1.4.1 量值传递 (35)

1.4.2 溯源 (37)

1.4.3 检定测试 (37)

1.4.4 检定测试的基本要求 (38)

1.4.5 检定测试的主要方法 (39)

1.4.6 量值传递或溯源的传统方式 (41)

1.4.7 新的量值传递或溯源方式——“计量保证方案”(MAP) (43)

1.4.8 国际比对与检定 (45)

1.5 计量管理 (46)

1.5.1 管理的一般概念 (46)

1.5.2 计量管理的基本任务 (48)

1.5.3 计量管理方式	(49)
1.6 国际计量组织	(53)
1.6.1 “米制公约”组织	(53)
1.6.2 国际法制计量组织	(55)
1.6.3 国际计量联合会	(57)
1.6.4 亚洲和太平洋地区计量规划组织	(58)
1.7 小结	(59)
主要参考文献	(59)
第二章 误差理论和数据处理	(60)
2.1 概述	(60)
2.1.1 误差理论和数据处理的意义	(60)
2.1.2 误差定义	(61)
2.1.3 误差的来源和种类	(62)
2.1.4 误差的评定	(63)
2.1.5 不确定度	(64)
2.2 概率论基础	(64)
2.2.1 概率	(64)
2.2.2 随机变量	(65)
2.2.3 正态分布误差	(67)
2.2.4 χ^2 、 t 、 F 分布	(68)
2.2.5 其它分布	(70)
2.2.6 特征函数与分布展开	(72)
2.3 矩阵基础	(73)
2.3.1 矩阵概念	(73)
2.3.2 矩阵运算	(74)
2.3.3 特殊阵	(77)
2.3.4 随机向量	(78)
2.4 误差计算基础	(78)
2.4.1 平均值原理	(78)
2.4.2 标准差的传播	(79)
2.4.3 标准差的计算	(81)
2.4.4 不等精度测量	(85)
2.5 数据处理基础	(87)
2.5.1 数字位数	(87)
2.5.2 数字修约规则	(87)
2.5.3 运算中的舍入	(88)
2.5.4 粗大误差	(89)
2.5.5 最小二乘法原理	(91)
2.5.6 最小二乘法	(94)
2.6 不确定度评定	(96)

2.6.1 基本术语	(96)
2.6.2 不确定度评定所用测量模型	(97)
2.6.3 标准不确定度的 A 类评定	(98)
2.6.4 标准不确定度的 B 类评定	(100)
2.6.5 确定合成标准不确定度与展伸不确定度	(102)
2.6.6 不确定度报告	(104)
2.7 实验设计	(105)
2.7.1 高一等标准的选取	(105)
2.7.2 最佳测量条件选取	(106)
2.7.3 测量次数	(106)
2.8 小结	(107)
主要参考文献	(107)
第三章 几何量测量	(108)
3.1 概述	(108)
3.1.1 稳频激光复现长度单位	(109)
3.1.2 几何量计量的主要内容	(111)
3.2 几何量标准的形式和复现原理	(111)
3.2.1 波长	(111)
3.2.2 刻线量具与量块	(112)
3.2.3 光栅	(115)
3.2.4 感应同步器	(116)
3.2.5 磁栅	(118)
3.2.6 容栅	(119)
3.2.7 正多面棱体	(120)
3.2.8 多齿分度盘	(122)
3.3 几何量测量方法	(122)
3.3.1 光波干涉与全息干涉法	(122)
3.3.2 衍射法	(124)
3.3.3 散斑法	(126)
3.3.4 显微放大法	(126)
3.3.5 参量放大法	(128)
3.3.6 表面粗糙度测量	(131)
3.3.7 直线度测量	(134)
3.3.8 平面度测量	(134)
3.3.9 圆度测量	(136)
3.3.10 渐开线测量	(137)
3.3.11 螺旋线测量	(139)
3.4 量仪结构	(140)
3.4.1 典型机械结构	(140)
3.4.2 显微镜基本结构	(147)

3.4.3 干涉仪基本光路	(149)
3.4.4 典型电路	(151)
3.5 小结	(157)
主要参考文献	(158)
第四章 热工计量	(159)
4.1 概述	(159)
4.2 温度和温标	(159)
4.2.1 温度的概念	(159)
4.2.2 经验温标和热力学温度	(161)
4.2.3 温标的历史	(161)
4.2.4 1990 年国际温标 (ITS-90) 的基本内容	(163)
4.3 辐射测温法	(166)
4.3.1 概述	(166)
4.3.2 热辐射的基本理论	(167)
4.3.3 亮度温度法	(169)
4.3.4 全辐射测温法	(172)
4.3.5 色温法	(172)
4.3.6 热图象法	(173)
4.4 热电测温法	(175)
4.4.1 热电偶测温法及塞贝克效应	(175)
4.4.2 常见的几种热电偶	(176)
4.4.3 热电偶的分度方法	(179)
4.4.4 热电偶测温的主要误差来源	(181)
4.5 电阻测温法	(182)
4.5.1 纯金属、合金、导体电阻—温度特性	(182)
4.5.2 标准铂电阻温度计与 ITS-90	(183)
4.5.3 工业用电阻温度计	(188)
4.6 玻璃液体温度计	(191)
4.6.1 特性与分类	(191)
4.6.2 原理与结构	(192)
4.6.3 使用注意事项及测量误差	(194)
4.7 固定点在温度测量中的应用	(195)
4.7.1 概述	(195)
4.7.2 金属固定点	(196)
4.7.3 三相点	(198)
4.8 压力计量	(199)
4.8.1 概述	(199)
4.8.2 流体压力计	(200)
4.8.3 活塞压力计	(205)

4.8.4 弹簧式压力计	(209)
4.8.5 压力传感器、变送器	(210)
4.8.6 数字式压力计	(211)
4.9 真空计量	(212)
4.9.1 概述	(212)
4.9.2 U形压力计	(214)
4.9.3 压缩式真空计	(214)
4.9.4 静态膨胀法真空标准装置	(216)
4.9.5 动态流导法真空标准装置	(216)
4.10 流量计量	(217)
4.10.1 基本概念	(217)
4.10.2 流量计量中常用的物性参数	(218)
4.10.3 流量测量方法及流量计	(220)
4.10.4 流量标准装置	(225)
4.11 小结	(229)
主要参考文献	(229)
第五章 力学计量	(231)
5.1 概述	(231)
5.1.1 力学计量的内容和分类	(231)
5.1.2 力学计量的方法和原理	(231)
5.2 质量计量	(232)
5.2.1 质量的概念、单位及其复现	(232)
5.2.2 衡量方法和衡器分类	(233)
5.2.3 天平	(238)
5.2.4 砝码	(241)
5.2.5 秤	(243)
5.3 力值计量	(247)
5.3.1 力的概念、单位及其复现	(247)
5.3.2 力基准机和力标准机	(248)
5.3.3 标准测力仪和测力传感器	(251)
5.3.4 扭矩基、标准机和标准扭矩仪	(253)
5.3.5 材料机械性能试验和试验机	(254)
5.4 密度计量	(256)
5.4.1 密度、相对密度和浓度的概念及其单位	(256)
5.4.2 固体密度	(258)
5.4.3 液体密度	(260)
5.4.4 气体密度	(262)
5.5 容量计量	(262)
5.5.1 容量的概念、单位及其复现	(262)

5.5.2 容量的绝对测量和直接比较	(263)
5.5.3 玻璃量器	(264)
5.5.4 金属量器	(266)
5.5.5 油罐容量计量	(266)
5.6 硬度计量	(268)
5.6.1 硬度的概念和试验方法	(268)
5.6.2 布氏硬度	(269)
5.6.3 洛氏和表面洛氏硬度	(270)
5.6.4 维氏和显微硬度	(271)
5.6.5 肖氏、里氏和其他硬度	(272)
5.7 振动与冲击计量	(274)
5.7.1 振动与冲击计量的概念和内容	(274)
5.7.2 振动与冲击的绝对校准和比较校准	(274)
5.7.3 振动传感器的分类和压电加速度传感器	(276)
5.7.4 振动与冲击的量值传递	(277)
5.8 转速计量	(279)
5.8.1 转速的概念、单位及其复现	(279)
5.8.2 转速的测量方法和转速表	(279)
5.8.3 测速仪和出租汽车计价器	(280)
5.9 小结	(281)
主要参考文献	(282)
第六章 电磁计量	(283)
6.1 概述	(283)
6.1.1 电磁计量的主要内容和分类	(283)
6.1.2 电磁计量测试的基本方法	(284)
6.2 有关的电工和电路基础知识	(289)
6.2.1 几个重要的基本定律	(289)
6.2.2 一些基本概念、常用的公式和计算方法	(291)
6.3 直流电学计量	(308)
6.3.1 电流单位安培的定义及其复现	(308)
6.3.2 电压计量	(317)
6.3.3 电阻计量	(322)
6.4 交流阻抗计量(1MHz 以下)	(327)
6.4.1 电容、电感、交流电阻的概念及其单位的复现	(327)
6.4.2 电容计量	(328)
6.4.3 电感计量	(332)
6.4.4 交流电阻测量	(333)
6.5 交流电量计量(1MHz 以下)	(334)
6.5.1 交流电压、电流、功率及其量值溯源	(334)

6.5.2 交直流转换技术	(335)
6.5.3 交流比例技术及交流电量测量仪器的检定	(341)
6.6 磁学计量	(345)
6.6.1 磁感应强度及磁通的概念、单位及其复现	(345)
6.6.2 磁感应强度量具、测量仪器及其检定	(347)
6.6.3 磁通量具和测量仪器的检定	(353)
6.6.4 磁性材料和磁记录材料特性参数的测量	(355)
6.7 小结	(357)
主要参考文献	(358)
第七章 无线电计量	(359)
7.1 概述	(359)
7.2 集总参数和分布参数电路基础	(359)
7.2.1 交流信号及其幅度量值的表示	(360)
7.2.2 集总参数元件的高频参量	(361)
7.2.3 信号的频谱和调制	(365)
7.2.4 脉冲波形及其频谱	(368)
7.2.5 分布参数电路	(370)
7.3 电磁场理论基础	(372)
7.3.1 电磁场与电磁波	(372)
7.3.2 辐射场区的划分	(375)
7.4 传输线基本知识和微波网络基础	(375)
7.4.1 同轴传输线	(375)
7.4.2 矩形波导	(377)
7.4.3 微波网络基础	(378)
7.5 高频电压计量	(383)
7.5.1 概述	(383)
7.5.2 基本测量方法	(383)
7.5.3 电压标准装置	(384)
7.5.4 电压测量注意事项	(386)
7.6 高频和微波功率计量	(387)
7.6.1 概述	(387)
7.6.2 基本测量方法	(387)
7.6.3 功率标准装置	(389)
7.6.4 功率计的校准和量值传递	(390)
7.7 高频和微波衰减计量	(390)
7.7.1 概述	(390)
7.7.2 标准衰减器	(391)
7.7.3 衰减测量方法	(392)
7.7.4 衰减测量和量值传递中注意的问题	(392)

7.8 高频阻抗计量	(393)
7.8.1 概述.....	(393)
7.8.2 高频阻抗的测量方法.....	(393)
7.8.3 量值传递和检定.....	(394)
7.9 微波阻抗计量	(395)
7.9.1 概述.....	(395)
7.9.2 特性阻抗标准与标准负载.....	(395)
7.9.3 测量方法和常用仪表.....	(396)
7.9.4 微波阻抗标准量值的传递.....	(396)
7.10 高频和微波噪声计量	(397)
7.10.1 概述.....	(397)
7.10.2 噪声源和标准噪声源.....	(398)
7.10.3 噪声特性测量方法与测量仪表.....	(399)
7.10.4 噪声量值的传递和校准系统.....	(400)
7.11 脉冲计量	(401)
7.11.1 概述.....	(401)
7.11.2 用示波器观测脉冲波形参数.....	(401)
7.11.3 示波器的检定与示波器校准仪.....	(402)
7.11.4 脉冲幅度和时间参数的测量和标准.....	(403)
7.11.5 自动脉冲测量系统和时域自动网络分析仪.....	(404)
7.12 高频和微波场强计量	(404)
7.12.1 概述.....	(404)
7.12.2 远区场的测量仪表和校准方法.....	(404)
7.12.3 远场场强标准.....	(405)
7.12.4 近区场的测量仪表和校准方法.....	(406)
7.12.5 近场场强标准.....	(407)
7.13 小结	(408)
主要参考文献	(408)
第八章 时频计量	(410)
8.1 概述	(410)
8.2 秒定义及其复现	(411)
8.2.1 平太阳秒.....	(411)
8.2.2 历书秒.....	(413)
8.2.3 原子秒.....	(413)
8.2.4 原子秒的复现.....	(416)
8.3 频率标准	(418)
8.3.1 石英晶体频标.....	(418)
8.3.2 原子频标.....	(421)
8.4 频标的技术指标	(426)

8.4.1 频率准确度	(427)
8.4.2 频率漂移(老化)	(427)
8.4.3 频率稳定度	(429)
8.4.4 相位噪声	(432)
8.4.5 频率重现性	(433)
8.4.6 频率的环境特性	(433)
8.4.7 频标的开机特性及频率日波动	(434)
8.5 频率测量技术	(434)
8.5.1 普通计数法	(435)
8.5.2 多周期同步法	(437)
8.5.3 频差倍增法	(439)
8.5.4 频差倍增—综合—测周期法	(440)
8.5.5 比相法	(442)
8.6 时间间隔标准及其测量	(444)
8.6.1 标准时间间隔发生器	(444)
8.6.2 时间间隔测量	(445)
8.7 标准时间的保持—时标	(448)
8.7.1 世界时 UT1	(449)
8.7.2 国际原子时 TAI	(450)
8.7.3 协调世界时 UTC	(451)
8.7.4 时标的国际比对	(452)
8.7.5 时标的技术指标	(454)
8.8 利用电视信号传送时间频率	(456)
8.8.1 标准频率的传送	(456)
8.8.2 副载频校频仪	(457)
8.8.3 标准时间的传送	(458)
8.9 小结	(459)
主要参考文献	(459)
第九章 光学计量	(460)
9.1 概述	(460)
9.2 应用光学基础知识	(463)
9.2.1 光学辐射的基本性质	(463)
9.2.2 几何光学中的一些基本原理和定律	(464)
9.2.3 物理光学中的一些基本定律	(468)
9.3 辐射度学基础知识	(472)
9.3.1 辐射计量中的常用定律	(472)
9.3.2 以辐射源为标准的辐射度计量	(473)
9.3.3 以接收器为标准的辐射度计量	(476)
9.3.4 辐射度量值传递与计量仪器	(478)

9.4 光度学基础知识	(480)
9.4.1 光度学中的基本量和单位	(480)
9.4.2 光强度计量	(482)
9.4.3 光通量计量	(485)
9.4.4 照度计和亮度计的检定	(487)
9.5 色度学基础知识	(490)
9.5.1 颜色视觉与色度学	(490)
9.5.2 光源色的计量	(494)
9.5.3 物体色的计量标准及量值传递	(497)
9.5.4 色度计量仪器及其检定	(500)
9.6 光电测量技术基础知识	(502)
9.6.1 光电探测器的分类及其特性参数	(502)
9.6.2 光电响应线性度的测量	(505)
9.6.3 光谱响应特性的测量	(506)
9.7 小结	(507)
主要参考文献	(508)
第十章 电离辐射计量	(509)
10.1 概述	(509)
10.1.1 电离辐射	(509)
10.1.2 电离辐射的量	(509)
10.1.3 电离辐射计量的分类	(510)
10.2 关于电离辐射的基础知识	(510)
10.2.1 放射性衰变的种类和特征	(510)
10.2.2 放射性衰变的规律	(512)
10.2.3 射线与物质的相互作用	(516)
10.2.4 射线探测器	(517)
10.3 放射性核素活度计量	(528)
10.3.1 放射性核素活度的量和单位	(528)
10.3.2 放射性活度的测量方法	(528)
10.4 辐射剂量计量	(532)
10.4.1 剂量学的物理量和单位	(532)
10.4.2 剂量计量基准	(536)
10.4.3 剂量计量的测量范围	(538)
10.4.4 环境与防护级的剂量测量	(538)
10.4.5 放射治疗级的剂量测量	(539)
10.4.6 辐射加工级的剂量测量	(540)
10.5 中子计量	(541)
10.5.1 中子源	(542)
10.5.2 中子计量的量和单位	(542)

10.5.3 中子源强度的测量	(542)
10.5.4 中子注量率测量	(543)
10.5.5 中子剂量测量	(545)
10.6 小结	(547)
主要参考文献	(547)
第十一章 声学计量	(548)
11.1 概述	(548)
11.2 声波的传播	(548)
11.2.1 气体中的声速	(548)
11.2.2 声速与温度的关系	(549)
11.2.3 振幅的影响	(550)
11.2.4 大气中的声折射	(550)
11.2.5 媒质的改变	(552)
11.2.6 从一媒质到另一媒质的垂直入射	(552)
11.2.7 从一媒质到另一媒质的倾斜入射	(555)
11.2.8 三种媒质中的垂直入射	(558)
11.2.9 管导中的传播	(561)
11.3 电—力—声类比	(564)
11.3.1 电学元件	(564)
11.3.2 力学元件	(564)
11.3.3 电—力类比线路	(565)
11.3.4 声学元件与类比量	(566)
11.3.5 分布声阻抗	(568)
11.3.6 声波在管导中的反射	(568)
11.3.7 管导中的共振	(570)
11.3.8 旁支的一般理论	(571)
11.3.9 赫姆霍兹共鸣器旁支	(574)
11.3.10 注孔旁支	(575)
11.3.11 圆柱管旁支	(576)
11.3.12 声学滤波器	(577)
11.4 声学测量	(579)
11.4.1 声信号的频率分析	(579)
11.4.2 电容传声器互易技术压力校准	(583)
11.4.3 水声换能器的互易校准	(588)
11.4.4 液体中超声功率的测量	(590)
11.5 小结	(594)
主要参考文献	(594)
第十二章 化学计量	(595)
12.1 概述	(595)