



国家科学技术学术著作出版基金资助出版

现代计量学概论

THE FUNDAMENTALS OF MODERN METROLOGY

主审 宣 湘 潘必卿

主编 施昌彦

中国计量出版社



国家科学技术学术著作出版基金资助出版

现代计量学概论

主审 宣 湘 潘必卿

主编 施昌彦

中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

现代计量学概论/施昌彦主编. —北京:中国计量出版社, 2002. 9
ISBN 7-5026-1677-2

I. 现… II. 施… III. 计量学—概论 IV. TB 9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 066242 号

内 容 提 要

本书共十八章。第一至八章为绪论、计量和单位、测量不确定度和误差的基础、测量结果的处理和表示、计量器具及其特性、量值传递与溯源、基本计量单位、基本物理常量, 主要论述计量学的基本概念、单位制及有关计量器具应用和基本单位的复现。第九至十九章为几何量计量、温度计量、力学计量、电磁学计量、光学计量、声学计量、电子学计量、时间频率计量、电离辐射计量、化学计量、标准物质, 主要是按学科划分, 分别阐述十大计量专业知识的概要。

本书概括了当代计量学科的主要内容, 系理论及实践经验的结晶, 可供各领域的计量科技工作者和管理人员以及大专院校师生学习和参考。

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

E-mail jlfxb@263.net.cn

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

850 mm×1168 mm 16 开本 印张 38.75 字数 1082 千字

2003 年 7 月第 1 版 2003 年 7 月第 1 次印刷

*

印数 1—5000 定价: 97.00 元

现代计量学概论

顾问	王秦平	鲁绍曾	王大珩		
主审	宣湘	潘必卿			
主编	施昌彦				
编委会	于渤	于亚东	马纯良	王宣	刘宝兰
	刘智敏	刘新民	朱和平	宋伟	张钟华
	李慎安	李明寿	杨自本	杨孝仁	杨益森
	沈乃激	邱隆	陈万民	陈小林	陈成仁
	陈遐举	罗滌明	施昌彦	赵敏	赵琪
	郝润龙	凌善康	席德熊	徐焱	高蔚
	高思田	高钧成	韩永志	鲁绍曾	蔡正平
编著者	邱隆	王宣	第一章		
	李慎安	鲁绍曾	第二章		
	刘智敏		第三章、第四章		
	施昌彦		第五章、第十一章		
	蔡正平		第六章		
	沈乃激	杨孝仁	第七章		
	沈乃激		第八章		
	杨自本	高思田	第九章		
	赵琪	凌善康	第十章		
	张钟华		第十二章		
	陈遐举		第十三章		
	于渤		第十四章		
	陈成仁	席德熊	第十五章		
	李明寿	杨益森	第十六章		
	高钧成	郝润龙	第十七章		
	赵敏	罗滌明	第十八章		
	韩永志	罗滌明	第十九章		

序

计量是经济活动、国防建设、科学研究和社会发展的关键技术基础。通过计量获得的测量结果是人类活动最重要的信息源之一。如果这种信息不够准确可靠，或者没有可重复、可再现及可比较的特性，就无法正确地认识事物、认识自然，也就无法利用自然和改造自然。实际上，计量已渗透到各行各业，成为支持社会经济有序运行和可持续发展的必要条件，也是保证产品质量、提高综合国力的重要手段。

随着 21 世纪科学技术的迅速发展和全球经济一体化的进展，计量在国民经济中的地位和作用日趋显著，对计量学的要求也不断提高，不仅要用最新科技成果来精确实现计量单位，还要为高新技术发展提供可靠的测量基础。计量涉及的领域通常包括长度、热工、力学、电磁、电子学、时间频率、光学、电离辐射、声学、化学等计量，即所谓十大计量。最近，医学计量、软件测试等新的领域正在开拓之中。计量的对象，已由物理量延伸到工程量、化学量、生物量甚至心理量。从学科发展来看，计量学是物理学的一部分，是物理的基础和前沿。随着领域、对象和内容的扩展，现代计量已成为一门研究测量理论与实践的综合性学科，即测量的科学。

新中国成立以来 50 余年中，由于党和政府的关心及科技人员的努力，我国计量科学无论是在理论基础、技术手段还是量值溯源方面均取得重大进展，而且其应用和服务领域也迅速拓宽，先后建立了 130 余种国家计量基准，其中有一些达到国际先进水平并有创新性突破。

本书由国内从事计量科学研究的资深学者，在汲取国际最新成就和总结我国实际经验的基础上编写而成，不仅概述了现代计量学的基本构架和各专业的主要内容，而且也体现了计量科学的研究成果和发展动向。衷心希望这本获得“国家科学技术学术著作出版基金”资助的书籍，能够对广大计量及有关科技工作者，深入了解现代计量学的现状和发展有所帮助。

国家质量监督检验检疫总局副局长

王秦平

2003 年 5 月

前 言

计量是实现单位统一、保障量值准确可靠的活动。计量在历史上称为度量衡，其含义是关于长度、容积、质量的测量，所用的主要测量器具是尺、斗、秤。在英语中尺子和统治者是同一词 (ruler)，中国古代把砝码称为“权”，至今仍用天平代表法制和法律的公平，这些都表明计量象征着权力和公正。现代的计量学是关于测量的科学，它涵盖有关测量的理论与实践的各个方面，而不论测量的不确定度如何，也不论测量是在科学技术的哪个领域中进行的。计量工作是为经济有效地满足社会对测量的需要而进行的一项法制、技术和管理方面的有组织的活动。

随着科技、经济和社会的发展，现代计量的内容在不断地扩充，通常概括为 6 个方面：计量单位与单位制；计量器具（或测量仪器），包括实现或复现计量单位的计量基准、标准与工作计量器具；量值传递与溯源，包括检定、校准、测试、检验与检测；物理常量、材料与物质特性的测定；测量不确定度、数据处理与测量理论及其方法；计量管理，包括计量保证与计量监督等。其中，计量器具起着扩展和延伸人类感官和神经系统的作用，成为认识自然的有力工具；机器则替代和延伸了人类的体力劳动，成为改造自然的有力工具。而改造自然是以认识自然为前提的，机器配上获取准确信息的计量器具才能发挥更大的作用。

人们从不同的角度，对计量进行过不同的分类。例如，把涉及计量单位换算、计量器具基本特性、测量数据处理等共性问题的，称为通用计量；把涉及长度、温度、硬度等特定量具体应用的，称为应用计量；把涉及自动测量、在线测量、动态测量等测量技术和测量方法的，称为技术计量；把涉及量的定义和单位实现、复现等测量理论的，称为理论计量；把涉及计量工作中法律、法规和法定要求与法制管理的，称为法制计量；把涉及计量在国民经济中作用和效益评估的，称为经济计量，等等。当前，国际上趋向于把现代计量分为科学计量、工程计量和法制计量三类，分别代表计量的基础、应用和政府起主导作用的社会事业三个方面。

科学计量指基础性、探索性、先行性的计量科学研究，通常要用最新的科技成果来精确地定义与实现计量单位，并为最新的科技发展提供可靠的测量基础。科学计量本身属于精确科学，通常是国家计量研究机构的主要任务，包括计量单位与单位制的研究、计量基准和标准的研制、物理常量与精密测量技术的研究、量值溯源与量值传递系统的研究、量值比对方法与测量不确定度的研究等。计量科学是一门综合性的科学，是物理的基础和前沿。

工程计量指各种工程、工业、企业中的实用计量，又称工业计量。例如，有关能源或材料的消耗、工艺流程的监控以及产品质量与性能的测试等。工程计量涉及面甚广，随着产品技术含量提高和复杂性的增大，为保证经济贸易全球化所必需的一致性和互换性，它已成为生产过程控制不可缺少的环节。工程计量测试能力实际上是一个

国家工业竞争力的重要组成部分，在以高新技术为基础的经济构架中显得尤为重要。

法制计量是与法定计量机构工作有关的计量，涉及对计量单位、计量器具、测量方法及测量实验室的法定要求。法制计量由政府或授权机构根据法制、技术和行政的需要进行强制管理，其目的是用法规或合同方式来规定并保证与贸易结算、安全防护、医疗卫生、环境监测、资源控制、社会管理等有关的测量工作的公正性和可靠性，因为它们涉及到公众利益和国家可持续发展战略。

现代计量科学技术的成就，保证了所用计量器具被控制在允许误差范围之内，不仅减少了商贸、医疗、安全等诸多领域的纠纷，而且维护了消费者利益，促进了社会发展，从而给国民经济带来可观的效益。科学计量既为法制计量提供技术保障，又为工程计量和高新技术发展提供测量基础。俄国科学家 D. I. 门捷列夫说过：“没有测量，就没有科学。”另一方面，科学计量本身又必须用最新的科技成果来发展自己，使之始终处于先行的行列，这就决定了它属于精确科学。正如我国著名科学家、两院院士王大珩指出的：“计量学是提高物理量量化精确的科学，是物理的基础和前沿。”因此，计量事业属于国家的基础科学事业。

计量的发展具有悠久的历史，大体上可以分为原始、经典和现代三个阶段。

原始阶段以经验和权力为主，大多利用人、动物或自然物作为计量基准。例如，中国古代的布手知尺、掬手为升、十发为程、黄钟律管等；相传在大禹治水时，就使用了“准绳”、“规”、“矩”等计量器具；公元前 221 年，秦始皇统一中国后即颁布诏书，建立了全国统一的度量衡制度，其中度制和量制的大部分采用了十进制，并实行定期检定计量器具的法制管理。古埃及的尺度是以人的胳膊到指尖的距离为依据的，称之为“肘尺”（约 46.4cm）。英国的码是亨利一世将其手臂向前平伸，从鼻尖到指尖的距离（1yd=0.914 4m）；英尺是查理曼大帝的脚长（1ft=0.304 8m）；英寸是埃德加英王的手拇指关节的长度（1in=25.4mm）；而英亩则是两牛同轭，一日翻耕土地的面积（1acre=4 047m²）。

经典阶段是一个以宏观现象与人工实物为科学基础的阶段，其标志是 1875 年签订的《米制公约》。包括根据地球子午线 1/4 长度的一千万分之一建立了铂铱合金制的米原器；根据 1dm³ 水在规定温度下的质量建立了铂铱合金制的千克原器；根据地球绕太阳公转周期确定了时间（历书时）单位秒等。它们形成一种基于所谓自然不变的米制，并成为国际单位制（SI）的基础。但是这类宏观实物基准随着时间的推移或地点的变动，其量值不可避免地受物理或化学性能缓慢变化的影响而发生漂移，从而影响了复现、保存，并限制了准确度的提高。实际上，英国物理学家、数学家 J.C. 麦克斯韦在 1870 年曾指出，长度、质量和时间的单位应当建立在原子波长、频率和原子质量中，而不是在运动着的星体或物体上。

现代阶段以量子理论为基础，由宏观实物基准过渡到微观量子基准。国际上已正式确立的量子基准有长度单位米基准、时间单位秒基准、电压单位伏特基准和电阻单位欧姆基准。从经典理论来看，物质世界在做连续、渐进的宏观运动；而在微观量子体系中，事物的发展是不连续的、跳跃的，也就是量子化的。由于原子的能级非常稳定，跃迁时辐射信号的周期自然也非常稳定。因此，跃迁所对应的量值是固定不变的。

这类微观量子基准，包括 1960 年用氪-86 原子的特定能级跃迁所定义的米、1967 年用铯-133 原子特定能级跃迁所定义的秒等，提高了 SI 基本单位实现的准确性、稳定性和可靠性。但是，它们仍然与某种原子的特定量子跃迁过程有关，因而尚不具备普遍适用性。显然，最好的方案莫过于用基本物理常量（普适量）定义计量单位。例如，1983 年将米定义为光在真空中在 $1/299\,792\,458\text{s}$ 的时间间隔内所行进的长度，即认为真空中光速作为一个定义值，恒为 $299\,792\,458\text{m/s}$ （约为 30 万公里/秒）；而长度事实上变成了时间（频率）的导出量。这种定义通过不变的光速给出了空间和时间的联系，使得新定义的米只依赖于目前测量不确定度最小（ $10^{-15} \sim 10^{-16}$ 量级）的频率，从而具有准确性、稳定性、可靠性和普适性。1999 年以来利用飞秒（ 10^{-15}s ）激光脉冲所产生的梳状频谱，即所谓飞秒锁相梳状激光技术，可以容易地把光学频率与微波频率联系起来，从而方便地实现长度和时间基准的比对。该技术在近 3 年所取得的成就，实际上已远远超过以往 30 年的成就总和，以此为基础的“光钟”已开始研制，其频率复现性可望达到 10^{-18} 量级；未来当用光频标取代目前实用的铯原子微波频率基准时，对秒的定义将会再次发生改变。

现代计量的发展趋势主要有两个：一是利用最新科技成果不断完善国际单位制及其实验基础，使单位的定义及其基(标)准建立在基本物理常量的稳固基础上；二是通过国际量值比对以及质量管理体系与测量能力的演示，推动全球计量体系的形成，逐步实现国际间校准与测量结果的相互承认，以适应贸易和经济全球化进展的需要。

现代计量涉及科学计量、工程计量和法制计量，在这方面国际上是相同的，而在管理模式上又各不相同。其中有两点可以认为基本相似：一是由国家投资建设计量科研机构，负责相对集中地建立本国的计量基(标)准体系，面向社会提供校准与测量服务。二是政府的责任主要在法制计量方面，建立计量法律、法规体系，作为规范社会计量活动的依据；建立计量基(标)准体系，作为国家的一项技术基础设施；建立计量机构体系（包括行政管理机构和技术机构），负责计量法律、法规的实施和为社会提供计量服务。这些方面合在一起，即构成完整的国家计量体系。

随着全球经济一体化和高新技术的迅速发展，计量的重要性日益突出。国家计量体系作为国家基础设施的组成部分，既是科学技术和经济发展的支撑条件之一，又是工业竞争力的重要组成部分，也是参与构建全球计量体系以便实现计量基(标)准和校准、测量结果国际多边互认的基础条件。在世界范围内进行国际关键比对和辅助比对，建立起各国国家计量基(标)准的等效度，是促进贸易全球化的必然趋势。

施昌彦

2003 年 5 月

目 录

第一章 绪论

1 计量学、计量和测量	(1)
1.1 定义概述	(1)
1.2 测量	(1)
1.3 计量学	(1)
1.4 计量	(2)
2 计量学的分类	(3)
2.1 计量学的分类	(3)
2.2 科学计量	(3)
2.3 工程计量	(3)
2.4 法制计量	(4)
3 计量学的发展	(4)
3.1 计量学的创立	(4)
3.2 米制的产生及其发展	(6)
3.3 国际单位制	(8)
3.4 基本物理常数	(8)
3.5 测量结果的评定与表述	(9)
3.6 计量学基本术语的统一	(10)
4 国际计量组织	(12)
4.1 《米制公约》及其组织机构	(12)
4.2 国际法制计量组织 (OIML)	(15)
4.3 国际计量技术联合会	(18)
4.4 国际原子能机构/世界卫生组织 次级标准剂量实验室网	(19)
4.5 国际标准物质信息库	(19)
4.6 亚太地区计量规划组织	(20)
4.7 西欧计量协会	(20)
4.8 亚太法制计量论坛	(20)
5 中国古代度量衡的发展	(21)
6 中华民国时期的度量衡	(24)
7 中华人民共和国的计量工作	(25)
参考文献	(29)

第二章 计量和单位

1 量和计量	(30)
1.1 物理量的概念	(30)
1.2 量的种类	(31)
1.3 量值的概念	(32)
1.4 测量的概念	(32)
2 测量方法及其分类	(33)
2.1 直接测量法和间接测量法	(33)
2.2 基本测量法和定义测量法	(33)
2.3 直接比较测量法和替代测 量法	(34)
2.4 微差测量法和符合测量法	(34)
2.5 补偿测量法和调换测量法	(34)
2.6 静态测量和动态测量	(35)
2.7 其他测量方法	(35)
3 测量的实施	(35)
3.1 测量前的准备工作	(35)
3.2 测量过程中应遵守的原则	(36)
3.3 读数	(37)
3.4 记录 and 数据处理	(37)
3.5 测量报告	(38)
4 单位和单位制	(38)
4.1 单位的概念	(38)
4.2 基本单位和导出单位	(39)
4.3 倍数单位和分数单位	(40)
4.4 量纲	(40)
4.5 单位方程、量方程和数值 方程	(41)
4.6 量值的单位变化计算	(43)
5 国际单位制及其使用方法	(44)
5.1 国际单位制的建立和特点	(44)
5.2 国际单位制的构成	(44)
5.3 国际单位制的使用	(48)
6 中国的法定计量单位	(49)
参考文献	(50)

第三章 测量不确定度和误差的基础

1 不确定度与误差的概念	(52)
1.1 不确定度与误差在计量中的意义	(52)
1.2 不确定度与误差的定义	(52)
1.3 不确定度与误差的分类	(53)
2 概率与分布	(53)
2.1 概率与分布的概念	(53)
2.2 概率分布的类型	(55)
3 标准差与阿仑方差	(64)
3.1 标准差的概念	(64)
3.2 标准差的计算	(64)
3.3 阿仑方差	(68)
4 平均值原理	(68)
5 系统误差的发现和消除	(69)
5.1 系统误差的发现	(69)
5.2 系统误差的消除	(70)
6 抽样与方差分析	(70)
6.1 抽样	(70)
6.2 方差分析	(73)
参考文献	(73)

第四章 测量结果的处理和表示

1 粗大误差	(75)
1.1 粗大误差概念	(75)
1.2 粗大误差剔除准则	(75)
2 有效数字与数字修约	(76)
2.1 有效数字	(76)
2.2 数字修约规则	(76)
2.3 数字运算	(77)
3 测量所得值的简单处理	(77)
3.1 权	(77)
3.2 不等精度测量所得值的处理	(77)
3.3 等精度测量所得值的处理步骤	(78)
3.4 不等精度测量所得值的处理步骤	(78)
4 最小二乘法	(79)
4.1 最小二乘法原理	(79)

4.2 最小二乘法求直线	(79)
4.3 最小二乘法求未知量的一般方法	(81)
4.4 最小二乘法求未知量标准差的一般方法	(82)
4.5 滤波概念	(85)
5 测量不确定度评定与表示	(86)
5.1 测量不确定度的来源	(86)
5.2 评定模型	(86)
5.3 标准不确定度的 A 类评定	(87)
5.4 标准不确定度的 B 类评定	(90)
5.5 合成标准不确定度	(91)
5.6 扩展不确定度	(93)
5.7 不确定度的报告	(95)
5.8 实例——量块校准	(96)
6 微小不确定度	(99)
参考文献	(99)

第五章 计量器具及其特性

1 计量器具的分类和特点	(101)
1.1 量具	(101)
1.2 计量仪器	(102)
1.3 计量装置	(104)
2 计量器具的结构和组成	(105)
2.1 计量器具的总体构成及其测量链	(105)
2.2 计量器具的输入部分	(107)
2.3 计量器具的中间变换部分	(109)
2.4 计量器具的输出部分	(112)
2.5 计量器具的智能化	(116)
3 计量器具的特性和选用	(116)
3.1 计量器具的静态特性	(116)
3.2 计量器具的动态特性	(120)
3.3 计量器具的选用	(121)
参考文献	(122)

第六章 量值传递与溯源

1 概述	(125)
1.1 量值传递与溯源的概念	(124)
1.2 量值传递与溯源的必要性	(124)

1.3 量值传递、溯源及保证量值 准确一致的基础····· (124)	有关的物理概念和基本知识····· (148)
1.4 量值传递与溯源体系····· (125)	1.3 基本单位与基本物理常数 的关系····· (149)
2 量值传递与溯源的方式····· (127)	2 时间单位····· (150)
2.1 用计量基准及计量标准 进行逐级传递····· (127)	2.1 时间单位的物理概念····· (150)
2.2 发放有证标准物质进行传递····· (127)	2.2 时间单位秒的定义····· (151)
2.3 用发播标准信号进行传递····· (128)	2.3 原子秒的复现····· (151)
2.4 用计量保证方案 (MAP) 进行传递或溯源····· (128)	2.4 铯频标的发展和展望····· (153)
3 计量基准与计量标准····· (131)	3 长度单位····· (154)
3.1 计量基准····· (131)	3.1 长度单位的物理概念····· (154)
3.2 计量标准····· (134)	3.2 长度单位米的定义····· (154)
3.3 计量基准、计量标准的发展 趋势····· (134)	3.3 长度单位米的复现····· (155)
4 计量检定····· (135)	3.4 新米定义的意义和特点····· (156)
4.1 检定在计量工作中的地位····· (135)	3.5 发展趋势和展望····· (157)
4.2 检定方法····· (136)	4 质量单位····· (157)
4.3 检定的步骤、记录及对检定 人员的要求····· (137)	4.1 质量单位的物理概念····· (157)
4.4 检定的分类····· (139)	4.2 质量单位的定义····· (158)
5 比对····· (139)	4.3 质量单位的复现····· (158)
5.1 比对在量值传递中的作用和 组织方式····· (139)	4.4 质量单位定义更改的 可能方案····· (160)
5.2 比对方式····· (140)	4.5 原子质量单位····· (160)
5.3 比对的应用····· (141)	5 电流及有关电量单位····· (160)
6 国家计量检定系统表及计量检定 规程····· (141)	5.1 电流单位安培的物理概念····· (161)
6.1 国家计量检定系统表概述····· (141)	5.2 电流单位安培的复现和保持····· (161)
6.2 检定系统的主要内容····· (142)	5.3 电单位的实物和量子基准····· (161)
6.3 计量检定规程概述····· (143)	5.4 电流单位的复现····· (163)
6.4 计量检定规程的主要内容 及要求····· (143)	6 温度单位····· (163)
7 计量器具的管理····· (145)	6.1 温度单位的物理概念····· (163)
7.1 计量器具新产品的管理····· (145)	6.2 温度测量和单位的历史演变····· (164)
参考文献····· (146)	6.3 热力学温标和温度单位的 定义····· (165)
	6.4 温度单位的复现····· (165)
	7 物质的量单位····· (167)
	7.1 物质的量单位的物理概念····· (167)
	7.2 物质的量摩尔的定义····· (167)
	7.3 物质的量摩尔的复现····· (167)
	8 发光强度单位····· (169)
	8.1 发光强度单位的物理概念····· (169)
	8.2 发光强度单位坎德拉的定义····· (170)
	8.3 与发光强度有关的其他光度学 单位····· (171)
	8.4 坎德拉的新定义····· (172)

第七章 基本计量单位

1 概述····· (147)	
1.1 基本单位的选择和定义····· (147)	
1.2 与量子计量学和基本物理常数	

参考文献 (172)

第八章 基本物理常量

1 概述 (173)

1.1 单位、量的符号、数值和
不确定度 (173)

1.2 宏观物理常数 (178)

1.3 微观物理常数 (180)

1.4 基本物理常数中的独立常数 (184)

1.5 基本物理常数在定义计量单位
中的作用 (185)

2 真空中光速 (185)

2.1 光速的重要性 (185)

2.2 光速测量的历史评述 (186)

2.3 光速测量的现代方法 (187)

3 磁常数和电常数 (188)

3.1 磁常数和电常数与点电荷和
磁极的关系 (188)

3.2 毕奥—萨伐尔定律 (189)

4 阿伏加德罗常数 (190)

4.1 X 射线晶体密度 (XRCD) 法 (190)

4.2 用 X 射线晶体密度法测量所
得的数值 (191)

4.3 用 X 射线干涉仪测量晶格间
距和阿伏加德罗常数 (191)

5 与电学单位有关的基本常数 (192)

5.1 质子磁旋比 γ_p (192)

5.2 与约定电单位有关的基本常数
——约瑟夫逊常数 K_J 和冯·克里
青常数 R_K (194)

6 重力加速度 g (195)

6.1 g 值的早期测量和波茨坦
系统 (196)

6.2 准确测量 g 值的重要性 (196)

6.3 精密测量 g 值的方法 (196)

6.4 重力值的国际比对 (197)

7 基本物理常数的最小二乘法平差 (198)

7.1 最小二乘法平差的基本思想 (199)

7.2 常数平差的历史评述 (199)

7.3 CODATA 推荐的基本物理
常数数据 (200)

7.4 基本常数两次推荐值 (1986 年
和 1998 年) 及其不确定度的
比较 (200)

8 基本粒子的相对原子质量 (211)

8.1 基本常数表中几种基本粒子
简述 (211)

8.2 基本粒子的相对原子质量 (212)

参考文献 (212)

第九章 几何量计量

1 概述 (214)

1.1 几何量及其单位的特点 (214)

1.2 几何量的单位 (214)

2 长度计量 (214)

2.1 工作波长标准和测长干涉仪 (214)

2.2 量块 (218)

2.3 线纹尺 (220)

2.4 线位移光栅 (221)

2.5 感应同步器 (222)

2.6 磁尺 (223)

2.7 电栅 (223)

2.8 直线编码器 (224)

2.9 判向和细分 (224)

3 角度计量 (224)

3.1 多面棱体 (225)

3.2 角度块 (225)

3.3 刻线度盘 (226)

3.4 圆光栅 (227)

3.5 圆感应同步器 (228)

3.6 磁性度盘 (228)

3.7 多齿分度盘 (228)

3.8 环形激光器 (229)

3.9 小角度计量 (230)

4 工程参量计量 (231)

4.1 直线度计量及其标准 (232)

4.2 平面度计量 (232)

4.3 圆度和球面度计量 (233)

4.4 表面粗糙度计量 (233)

4.5 渐开线样板 (235)

4.6 螺旋线样板 (236)

5 纳米计量 (236)

5.1	位移系统	(237)
5.2	测量系统	(238)
5.3	探测系统	(239)
6	几何量计量常用的几种方法	(242)
6.1	绝对编码法、增量法与小数 重合法	(242)
6.2	组合定标法	(242)
6.3	范成法与坐标测量法	(243)
7	几何量计量的发展动向	(243)
7.1	提高测长仪器的分辨力	(243)
7.2	频率测量方法的应用	(244)
7.3	应用光电和电视技术	(244)
7.4	发展新光干涉与光信息处理 技术	(244)
7.5	数字化与信息技术的应用	(244)
	参考文献	(245)

第十章 温度计量

1	基本概念	(246)
1.1	温度的基本概念	(246)
1.2	温标	(246)
2	温标的内容	(246)
2.1	经验温标	(246)
2.2	热力学温度	(247)
2.3	1990年国际温标 (ITS-90)	(248)
3	温度的直接计量	(251)
3.1	电阻温度计	(251)
3.2	热电计量温度的方法	(255)
4	间接计量温度的方法	(257)
4.1	间接计量温度方法的特点 和种类	(257)
4.2	亮度计量温度的方法	(258)
4.3	颜色计量温度法	(261)
4.4	全辐射计量温度方法	(263)
	参考文献	(265)

第十一章 力学计量

1	概述	(266)
1.1	力学计量的内容和分类	(266)
1.2	力学计量的作用和意义	(268)

1.3	力学计量的原理和发展动向	(269)
2	质量计量	(271)
2.1	质量的概念、单位及其复现	(271)
2.2	衡量原理和衡量方法	(272)
2.3	天平和砝码	(273)
2.4	空气浮力对衡量结果的影响	(276)
3	容量与密度计量	(277)
3.1	容量的概念、单位和分类	(277)
3.2	测量容量的原理、方法和 装置	(280)
3.3	密度、相对密度、浓度的概念 和单位	(283)
3.4	密度计量的原理、方法和 装置	(285)
4	力值计量	(288)
4.1	力的概念、分类和单位	(288)
4.2	力值计量的原理和方法	(288)
4.3	基(标)准测力机	(290)
4.4	标准测力仪	(292)
4.5	标准扭矩机和扭矩仪	(295)
5	硬度计量	(295)
5.1	硬度的概念、原理及表达 方法	(295)
5.2	布氏与塑料球压痕硬度	(296)
5.3	洛氏、表面洛氏与塑料洛氏 硬度	(298)
5.4	维氏与显微硬度	(299)
5.5	肖氏与里氏硬度	(301)
6	压力与真空计量	(302)
6.1	压力与真空的概念、单位和 分类	(302)
6.2	压力计量的原理、方法和 装置	(304)
6.3	真空计量的原理、方法和 装置	(307)
7	流量计量	(310)
7.1	流量的概念、单位和流量计的 分类	(310)
7.2	液体流量计量的原理、方法和 装置	(312)
7.3	气体流量计量的原理、方法和 装置	(314)

8 振动、冲击与转速计量	(315)
8.1 振动与冲击计量概述	(315)
8.2 振动计量的原理、方法和装置	(317)
8.3 冲击计量的原理、方法和装置	(318)
8.4 转速计量概述	(320)
8.5 转速计量的原理、方法和装置	(321)
参考文献	(323)

第十二章 电磁学计量

1 概述	(324)
1.1 电磁学计量的内容和分类	(324)
1.2 电磁学计量的发展方向	(324)
2 电学量计量单位的复现和实物计量基准	(325)
2.1 电流	(325)
2.2 电压	(326)
2.3 电阻	(327)
2.4 电容与电感	(330)
3 直流计量	(330)
3.1 直流电阻计量	(330)
3.2 直流电压计量	(331)
3.3 直流电流计量	(333)
3.4 直流功率和电能的计量	(334)
4 交流计量	(334)
4.1 交流阻抗计量	(334)
4.2 交流电流与电压计量	(335)
4.3 交流功率和电能的计量	(337)
5 磁计量	(338)
5.1 磁通计量	(338)
5.2 磁感应强度计量	(339)
5.3 磁矩计量	(340)
5.4 磁性材料磁特性的计量	(341)
参考文献	(344)

第十三章 光学计量

1 概述	(345)
1.1 光辐射的波段范围	(345)

1.2 光学计量的内容	(345)
2 光度计量	(345)
2.1 光度学中的量和单位	(345)
2.2 光度计量中的两个常用定律	(347)
2.3 发光强度计量	(348)
2.4 光源的总光通量计量	(350)
2.5 光照度、光亮度计量	(351)
3 辐射度计量	(352)
3.1 黑体辐射定律	(352)
3.2 黑体辐射标准源的具体形式	(353)
3.3 辐亮度、辐照度及光谱辐射计量	(355)
4 激光计量	(356)
4.1 激光功率计量	(356)
4.2 激光能量计量	(358)
4.3 其他激光参数的计量	(358)
5 色度和感光计量	(359)
5.1 颜色计量的原理	(359)
5.2 色度计量	(360)
5.3 感光计量	(361)
6 光学材料和成像系统计量	(361)
6.1 光学材料计量	(361)
6.2 成像系统的计量	(362)
7 光探测器特性	(363)
7.1 光探测器的种类	(363)
7.2 光谱响应度计量	(363)
7.3 响应的线性度计量	(364)
7.4 其他参数的计量	(364)
8 光学计量的发展动向	(364)
参考文献	(365)

第十四章 声学计量

1 概述	(367)
1.1 声学计量的内容	(367)
1.2 声学计量的几个基础量	(367)
2 空气声声压计量	(368)
2.1 声压单位复现原理、方法和装置	(368)
2.2 基准器、标准器和工作计量器具	(375)
2.3 机械噪声功率和声强的测量与	

频率分析技术	(375)
3 听觉计量	(379)
3.1 概念及基准、标准和工作计量器具	(379)
3.2 标准仿真耳或标准耦合器	(380)
3.3 标准仿真乳突(仿真头骨)	(381)
3.4 标准耳机	(381)
3.5 气导和骨导听力基准传递的自动化	(381)
4 超声声强和声功率的计量	(382)
4.1 概念、单位和研究的范围	(382)
4.2 超声声强和声功率的计量原理、方法和装置	(382)
4.3 我国目前建立超声声功率用的基准、标准方法	(385)
5 水声声压的计量	(387)
5.1 概念、单位和研究范围	(387)
5.2 水声声压单位的复现原理、方法和装置	(387)
5.3 水声计量的标准器和工作计量器具	(391)
6 声学计量的研究与发展的趋势	(391)
参考文献	(392)

第十五章 电子学计量

1 概述	(393)
1.1 电子计量的内容	(393)
1.2 电子计量的特点	(395)
2 电子计量中几个主要参量的计量	(396)
2.1 电压计量	(396)
2.2 功率计量	(399)
2.3 衰减计量	(404)
2.4 阻抗计量	(408)
2.5 噪声计量	(419)
2.6 场强计量	(423)
3 电子计量的发展动向	(428)
3.1 毫米波计量	(428)
3.2 电磁兼容性能的计量测试	(429)
3.3 材料特性的射频与微波测量	(430)
3.4 时域和脉冲波形的计量测试	(432)
3.5 现代通信中的电子计量测试	(433)

第十六章 时间频率计量

1 基本概念	(434)
1.1 时间和频率	(434)
1.2 时刻	(434)
1.3 时标	(434)
1.4 钟和守时	(436)
2 时间频率基准	(437)
2.1 概述	(437)
2.2 磁选态热束型铯原子时间频率基准	(438)
2.3 光抽运热束型铯基准	(439)
2.4 激光冷却铯原子喷泉钟	(439)
2.5 新一代时间频率基准	(440)
3 时间频率标准	(441)
3.1 概述	(441)
3.2 晶体振荡器	(441)
3.3 铷原子频率标准	(442)
3.4 氢原子频率标准	(442)
3.5 商品型铯束频率标准(小铯钟)	(445)
3.6 新型时间频率标准	(445)
4 原子时标	(446)
4.1 原子时标的建立	(446)
4.2 国际原子时的计算	(448)
5 时间频率计量	(449)
5.1 时间间隔计量	(449)
5.2 频率值计量	(449)
6 频率稳定度及其计量	(451)
6.1 时域和频域的稳定性表征	(451)
6.2 幂律谱噪声模型	(453)
7 时间频率量值的传递	(455)
7.1 概述	(455)
7.2 直接检定	(455)
7.3 搬运钟比对	(456)
7.4 利用电磁波信号接收比对	(456)
参考文献	(461)

第十七章 电离辐射计量

1 基本概念	(462)
--------------	-------

1.1	电离和电离辐射	(462)	7	中子计量	(476)
1.2	元素、核素和同位素	(462)	7.1	中子计量概述	(476)
1.3	衰变及其基本性质	(462)	7.2	中子源分类	(477)
1.4	α 衰变和 α 射线	(462)	7.3	中子源强度测量	(477)
1.5	β 衰变和 β 射线	(462)	7.4	中子注量率测量	(478)
1.6	γ 跃迁和 γ 射线	(463)	7.5	中子吸收剂量测量	(479)
1.7	放射性衰变系列	(463)	参考文献		(479)
1.8	电离辐射来源	(463)	第十八章 化学计量		
1.9	射线的能量	(463)	1	化学计量及其任务	(481)
1.10	电离辐射计量的主要内容	(463)	1.1	什么是化学计量	(481)
2	电离辐射与物质的相互作用	(463)	1.2	化学计量的特点	(481)
2.1	带电粒子与物质的相互作用	(463)	1.3	化学计量的任务	(481)
2.2	X和 γ 射线与物质的相互作用	(464)	2	物理化学计量	(482)
3	电离辐射量和单位	(464)	2.1	热量计量	(482)
3.1	活度	(464)	2.2	粘度计量	(486)
3.2	吸收剂量	(464)	2.3	酸度(pH)计量	(488)
3.3	比释动能	(464)	2.4	电解质电导率计量	(493)
3.4	照射量	(464)	2.5	湿度计量	(495)
3.5	粒子注量	(465)	2.6	浊度和粒度计量	(499)
3.6	截面	(465)	2.7	聚合物分子量计量	(505)
4	射线探测器	(465)	3	分析化学计量	(509)
4.1	气体探测器	(465)	3.1	化学成分的表示方法	(509)
4.2	闪烁探测器	(466)	3.2	化学分析和基准试剂	(511)
4.3	半导体探测器	(467)	3.3	仪器分析	(512)
4.4	量热计	(468)	4	化学测量的质量保证	(539)
4.5	液体化学剂量计	(468)	参考文献		(542)
4.6	释光剂量计	(468)	第十九章 标准物质		
4.7	自由基剂量计	(468)	1	概述	(543)
5	放射性核素活度测量	(469)	1.1	标准物质的定义	(543)
5.1	活度测量概述	(469)	1.2	标准物质的基本要求	(544)
5.2	固定立体角法	(469)	1.3	标准物质的级别和分类	(544)
5.3	2π 计数法	(469)	1.4	标准物质的作用	(546)
5.4	4π 计数法	(469)	2	我国标准物质的管理及其发展	(548)
5.5	$4\pi\beta$ (PC)- γ 符合计数法	(470)	2.1	我国标准物质的分类、分级和管理	(548)
5.6	活度量值传递	(472)	2.2	标准物质的溯源体系	(549)
6	X、 γ 射线和电子束吸收剂量测量	(473)	2.3	标准物质定值的组织系统	(550)
6.1	剂量测量概述	(473)	2.4	标准物质的信息交流	(550)
6.2	吸收剂量量热计	(473)			
6.3	平行板自由空气电离室	(474)			
6.4	空腔电离室	(475)			
6.5	吸收剂量量值传递	(475)			

3 国外标准物质的现状	(551)	7 标准物质的定值	(564)
3.1 国际组织标准物质的现状	(551)	7.1 定值方式的选择	(564)
3.2 有关国家标准物质的现状	(553)	7.2 对特性量值测量时的影响参数 和影响函数的研究	(564)
3.3 标准物质的发展趋势	(557)	7.3 定值数据的统计处理	(565)
4 标准物质的制备	(558)	7.4 定值不确定度的估计	(566)
4.1 候选物的选择	(558)	7.5 定值结果的表示	(566)
4.2 分量标准物质的基体选择与 成分设计	(558)	8 有证标准物质的使用	(568)
4.3 标准物质的制备	(559)	8.1 使用有证标准物质的一般 原则	(568)
5 标准物质的均匀性及其检验	(561)	8.2 选择有证标准物质的注意 事项	(568)
5.1 最小取样量的确定	(561)	9 标准物质举例	(569)
5.2 取样方式的选择	(561)	9.1 化学成分标准物质	(569)
5.3 取样数目的决定	(562)	9.2 物理化学特性标准物质	(573)
5.4 均匀性检验项目的选择	(562)	9.3 工程技术特性标准物质	(580)
5.5 测试方法的选择	(562)	参考文献	(584)
5.6 检测结果的评价	(562)	附录一 计量学大事年表	(586)
6 标准物质的稳定性及其检验	(562)	附录二 国家计量基(标)准互认和国家计量院 签发的校准与测量证书互认	(592)
6.1 影响物质稳定性的因素及保证 物质稳定性的措施	(563)		
6.2 稳定性的监测	(563)		
6.3 稳定性的评价	(563)		