

The top half of the cover features a large, dark brown, stylized number '21'. Two vibrant rainbow arcs are positioned around the number: one in the upper left corner and another in the upper right corner. The background is a textured, dark green-grey.

21世纪学科发展丛书·计量学

丛书主编 周光召

计量与 测试

A faint, large, stylized watermark is visible in the lower half of the cover, appearing to be a calligraphic character or logo.

山东人民出版社

前言

计量学是研究测量理论和实践的学科

人们在从事社会生产、经济交往和科学技术活动时，总是伴随着计量。计量发展的历史是与社会的进步联系在一起的，它是人类文明的一个重要组成部分。这早已被国内外大量考古发现所证实。社会生产发展需要计量，同时也促进了计量的发展。

在过去，计量称为度量衡。这是因为在很长一段历史时期内，人类主要从事农业和手工业生产，在生产和商品交换中只需要统一度量衡制度。

自米制公约签订至今一百多年来，计量学在单位制的建立和推广，基本单位定义的确立，计量基准的建立和完善，量值传递方式、检定与校准方法的改革和发展，以及现代科学技术的应用等方面都取得了巨大的成就，使计量学逐渐成为一门独立的学科，并在国民经济发展 and 科学技术进步中发挥着明显的重要作用。

现代计量学要求建立适合于各个科学技术领域的单位制。在重新确立基本单位定义时，力求使定义本身与复现方法分开，以微观自然现象为基础建立单位的新定义，代替以实物或宏观自然现象定义单位。努力使基

本单位计量基准建立在微观自然现象或物理效应的基础上,即所谓自然基准。

不断提高计量准确度,扩大量限,提高检定效率,是计量学始终应予以重视的研究方向。现代计量学充分吸取了自然科学的新发现和技术科学的新成就,如约瑟夫森效应、量子霍尔效应、核磁共振及激光、低温超导和计算机技术等,因而使计量科学技术面目一新,进入了蓬勃发展阶段。

现代计量学发展了传统的量值传递方式。为了达到量值准确一致,现在除用实物标准定期送检方式以外,也逐步采用和推广如发播标准信号、发放标准物质、比对等方式。

现代计量学不仅在理论基础、技术手段和量值传递方式方面得到了很大的充实和发展,而且其应用和服务领域也极大地扩展了。广泛地应用于工农业生产、国防建设、科学研究、国内外贸易、医疗卫生以及人民生活等各个领域,成为国民经济和社会发展的一项重要技术基础。

在提高和保证产品质量、减少能源和材料消耗方面,计量科学技术更有重要的实际意义。此外,现代化生产也越来越广泛地使用监控仪器仪表,实现生产过程自动化、仪器仪表的正常运转和提供准确的信息,都需要计量保证。因此,现代计量科学技术得到各国政府、自然科学界、经济管理界及企业领导人的普遍重视和支持。

本书在编写过程中,难免有疏忽和错误之处,希望广大读者批评指正。

鲁绍曾

《21 世纪学科发展丛书》编辑委员会、 出版委员会名单

一、丛书主编、副主编

主 编:周光召

常务副主编:张玉台

副 主 编:徐善衍 常志海 张 泽 宋南平
宫本欣 马 阳

二、丛书编辑委员会

主 任:庄逢甘

副主任:闵桂荣 杨 乐 张 泽 宫本欣 马 阳

委 员:(按姓氏笔画排序)

王 铸 孙永大 刘 珩 朱道本 仲增墉
陈学振 张 鲁 汪稼明 李慧政 金明善
周 济 胡序威 赵 逊 相重扬 徐世典
谢荣岱 薛全福

各分册编审委员会主任(名单略)

三、丛书出版委员会

主 任:宫本欣

副主任:陈学振 张 鲁 李慧政

委 员:(按姓氏笔画排序)

王 铸 王昭顺 尹 铭 史 彬 刘传喜
张力军 宋德万 隋千存 董 正 韩 春
鲁颖淮

序

周光召

人类已跨进了新的千年,21世纪的曙光将给全球带来灿烂辉煌的新篇章。回顾过去的20世纪,科学技术的创新与进步引发了人类经济、社会的巨大变革,由此又带来了全球翻天覆地的变化。马克思曾在《资本论》中指出:“生产力的发展,归根结底总是来源于发挥着作用的劳动的社会性质,来源于社会内部的分工,来源于智力劳动特别是自然科学的发展”,人类社会实践有力地证实了这一精辟论断。

随着科学技术在近现代的蓬勃发展,新思维、新理念、新发现推动着新兴学科、交叉学科不断涌现。许多传统学科一方面派生出新的分支学科,另一方面又在与其他学科的融合中形成新的综合性学科。展望21世纪,信息科学技术、生物科学技术、纳米科学技术将成为发展迅速,带动社会经济技术快速进步的前沿学科。环境、能源、材料、航天、海洋等科学技术将继续发展,解决人类面临的持续发展课题。社会进步和经济发展的需求为人类今后如何驾驭科学技术的骏骑,如何继续攀登科技巅峰提出了新的课题。

一个国家的科技水平不仅体现在少数科学家的科技成就中,更要体现在广大群众对科学技术的理解、掌握和应用之中。“科技先行,以人为本”有赖于公众科技文化素质整体水平的提高。因此,弘扬科学精神、传播科学知识和科学方法

就成为科技工作者又一不可推卸的、任重而道远的职责。中国科学技术协会作为党领导下的科技群团组织，肩负着促进学科发展、推动科技进步和普及科学知识、提高全民科技文化素质的重要责任。编写《21世纪学科发展丛书》是使这种重要责任有机融合的一次新尝试。科学普及的对象可分为若干社会群体，其中青少年群体的科普教育尤为重要，因为他们是21世纪的后备人才，是攀登科技高峰的生力军。让广大青少年了解自然科学和技术科学的发展历程、卓越成就，对人类文化、社会、经济发展的巨大贡献，培养他们对科学技术的兴趣、爱好，以及为科技事业献身的精神，是老一辈科技工作者义不容辞的责任，也是我们编撰此套丛书的初衷所在。因此，专家学者们对编著此套丛书表现了极大的热情与关注。68个全国性学会参与了丛书的组织编写，很多院士、知名科学家在百忙中亲自挥笔，运用通俗的语言、生动的描绘、深入浅出的方式，将科学的奥秘揭示给读者。全套丛书介绍了60多个不同学科的起源、发展历程、著名科学家、重大科技成就，以及未来学科发展的态势，为广大读者特别是高中以上文化程度的各阶层读者提供了一套科学性、知识性、前瞻性、趣味性和可读性相统一的科普读物。希望通过浏览这套丛书，不仅能够帮助广大青少年读者拓宽知识领域，而且对于他们选择未来发展方向起到引导和参考作用。同时，此套丛书通俗易懂，也适合其他不同社会群体的干部与公众阅读。丛书将由山东省出版总社于2001年分两批出版发行。

跨入21世纪的中华民族将面临重新崛起的机遇和挑战，衷心地祝愿充满希望的一代丰获知识的硕果，为我国的繁荣富强贡献出才智和力量，作出无愧于伟大中华的重大业绩！

2001年1月16日

目 录

CONTENTS

第一章 计量学概念及其发展史	1
第一节 计量学的概念	2
一、定义	2
二、分类	4
三、特点	5
第二节 计量学的产生	6
一、度量衡的历史	6
二、米制的建立	8
三、国际单位制的产生	10
四、国际计量组织	11
第二章 计量单位	17
第一节 量和量值	18
一、量和量值的概念	18
二、量的种类	20
第二节 单位和单位制	22
一、测量单位和国际单位制的定义	22
二、我国的法定计量单位	23
第三节 基本单位的实现	30

目
录

一、米的实现·····	31
二、千克的实现·····	33
三、秒的实现·····	35
四、安培的实现·····	38
五、开尔文的实现·····	40
六、摩尔的实现·····	42
七、坎德拉的实现·····	43
第四节 基本物理常数的测量·····	46
一、真空中光速 c 的测量·····	48
二、阿伏伽德罗常数 N_A 的测量·····	50
三、质子旋磁比 γ_p 的测定·····	52
四、 $2e/h$ 值的测量·····	54
五、重力加速度 g 的测定·····	56
第三章 量值传递和测量控制 ·····	61
第一节 计量基准与测量标准·····	62
一、概念·····	62
二、计量基准·····	63
三、测量标准·····	66
第二节 测量仪器·····	67
一、概念·····	67
二、分类·····	68
三、特性·····	72
第三节 量值传递和溯源·····	76
一、概念·····	76
二、方式·····	79
三、计量技术文件·····	90
四、测量过程的控制·····	93
第四节 测量误差与测量不确定度·····	110
一、概念·····	110

二、标准不确定度的评定	123
三、报告测量不确定度	132
第四章 计量学科及其发展	139
第一节 几何量计量	140
一、长度计量基准	142
二、工作波长标准	144
三、测长干涉仪	144
四、工程参量计量	145
五、激光计量技术	150
六、纳米测量技术	154
七、坐标测量技术	156
第二节 力学计量	157
一、质量计量	159
二、力值计量	164
三、密度计量	169
四、容量计量	175
五、硬度计量	178
六、转速计量	179
七、流量计量	180
八、压力计量	186
九、真空计量	188
第三节 温度计量	189
一、一般概念	189
二、热力学温度	191
三、测温技术	194
四、测温仪器	197
五、特殊条件的测温技术	201
第四节 电磁学计量	205
一、电学计量单位的复现	206

二、直流电量计量	211
三、交流阻抗计量	212
四、交流电压与电流计量	214
五、交流功率和电能计量	219
六、磁学计量	221
第五节 无线电计量	222
一、射频电压计量	224
二、场强计量	229
三、失真度计量	230
四、调制度计量	232
第六节 时间频率计量	233
一、石英晶体频标	235
二、原子频标	236
三、时标	239
四、时间间隔计量	244
五、频率计量	245
六、时间频率发播	248
第七节 光学计量	249
一、光度计量	250
二、辐射度计量	254
三、色度计量	260
四、材料光学特性计量	263
五、光辐射探测器计量	264
第八节 声学计量	267
一、概述	267
二、声压计量	270
三、超声计量	276
四、听力计量	278
五、噪声计量	282

第九节 电离辐射计量	286
一、辐射量	287
二、放射性活度计量	290
三、辐射剂量	292
第十节 标准物质	294
一、概述	294
二、标准物质的制备	297
三、标准物质特性鉴定	302
四、化学成份标准物质	307
五、物理化学特性标准物质	310
六、工程技术特性标准物质	312

第 1 章

21 世纪学科发展丛书

计量学概念及其发展史

第一节 计量学的概念

一、定义

提起“计量学”，人们一般也许不知道它是什么含义，也不知道它属于哪类科学领域。按国际的定义，“计量学”是“测量的科学”。难道“测量”还能称之为“科学”吗？“测量”还有什么奥妙吗？实际上，“计量学”是一门十分广泛、十分重要的学科。

按照国际计量局(BIPM)、国际电工委员会(IEC)、国际标准化组织(ISO)与国际法制计量组织(OIML)以及国际临床化学联合会(IFCC)、国际理论和应用化学联合会(IUPAC)和国际理论和应用物理学联合会(IUPAP) 7个国际组织委派的联合专家工作组制订的《国际通用计量学基本术语》，“测量”和“计量学”的定义分别为：

测量(Measurement)

以确定量值为目的的一组操作。

注：(1)操作可以是自动地进行的。

(2)测量有时也称计量。

计量学(Metrology)

测量的科学。

注：(1)计量学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。

(2)计量学有时简称计量。

计量学研究的具体内容包括：

研究测量单位及其基准；

标准的建立、复制、保存和使用；

研究测量方法和测量器具的测量特性；

研究测量的不确定度；

研究测量人员进行测量的能力；

研究计量法制和管理；

研究有关测量的一切理论和实际问题。

此外，还有如基本物理常数、标准物质及材料特性等的准确测定等，也成了现代计量学研究的重要内容。可以预料，随着生产和科学技术的发展，计量学内容还会更加丰富。

要谈计量学，首先要从测量谈起。计量学是研究测量的科学。起初人们的测量方法是原始的，测量单位是任意的。随着商品交换、分配形成社会性活动，就需要实现测量的准确统一，即要求在一定准确度内对同一被测物在不同地点测量，可以达到其测量结果的一致。为此，就要求建立统一的单位制，复现出测量基准、标准器具，并以这种基准、标准来校准测量器具，保证被测量值的准确可靠，这就出现了“计量学”。

二、分类

计量学包括的专业很多,应用范围十分广泛。按所涉及的科技专业领域划分,我国目前将计量专业划分为几何量、热学、力学、电磁学、无线电、时间频率、电离辐射、光学、声学、标准物质等十大类。每一大类中又分若干项。

根据任务的性质,计量学又分为法制计量学、普通计量学、应用计量学、技术计量学、质量计量学、理论计量学等。

法制计量学是研究以立法形式或颁布法制性文件规定测量单位、测量方法和测量不确定度的计量学。如:许多国家为了保证公平交易和人民的健康、安全,对商业贸易、医药卫生、环境保护、生产安全等方面的测量器具,采取立法的形式实行强制管理,经常进行监督检查和定期检定,以保证测量的准确度。

普通计量学是研究计量学中带有共同性问题的部分,如单位制的结构和测量单位的换算问题、测量的误差问题以及测量器具的计量学特性问题等。

应用计量学是研究计量学在特定领域中应用的部分,如天文计量、工业计量、气象计量、海洋计量、医疗计量等。

技术计量学是涉及工艺过程中测试检验的计量学,通常是指几何量计量。

质量计量学是有关质量检验问题的计量学,如原料、材料、样品器件和整机设备的质量检验,前者统称材料试验,后者是属于例行试验范畴。

理论计量学是关于测量理论问题的计量学,如关于量和测量单位的理论、测量误差理论、测量信息论

等。

国际法制计量组织则根据计量学的应用领域，分为工业计量学、商业计量学、天文计量学、医用计量学等。

三、特点

归纳起来，计量学大致有下列特点：

1. 统一性——这是计量学最本质的特性，古今中外，都是如此。计量失去统一性，也就失去了存在的意义。秦始皇统一我国度量衡，功绩已载入史册。现在统一性不仅限于在一个国家的测量单位量值的统一，而且要实现全世界各国单位量值的统一。

2. 准确性——有人说“准”字是计量学的核心，这是完全正确的。一切计量科学技术研究的目的，最终是要达到所预期的某种准确度，无论其准确度是高还是低，都必须有一定程度的准确性。计量学的统一性也必须建立在有一定程度准确性的基础上才有意义。

3. 法制性——为了保证计量学的统一性和准确性，国家对统一使用的测量单位，复现单位量值的国家测量基准，以及进行量值传递的方法、手段等，用法规作出规定。对涉及贸易、安全、环保、卫生等公益性利益或公平性利益的测量设备、测量方法及手段等进行规定，作为各行各业遵循的准则。如果没有法制性，所谓计量学的统一性、准确性就是一句空话。国际上现已形成法制计量学。

4. 社会性——是指计量学涉及的广泛性。它与国民经济各部门，人民生活的各个方面有密切的联系，对维护社会经济起着重要的作用。从直接的关系来说，正是计量学的社会性决定了计量学的法制性。

5. 技术性——计量学的技术性是特别明显的，因为计量学本身就是一项科学技术。就必须拥有最先进的技术手段和雄厚的技术力量。建立测量基准、标准装置，研究测量方法，确定基本物理常数等都必须采用最高新的技术，掌握最尖端的科研成果，才能使计量学得到发展，这些都反映了计量学的技术性。

第二节 计量学的产生

一、度量衡的历史

在古代，人们最初测量长短、大小、轻重时，是用自己的眼、手、脚等人体器官。后来发展到以身体的某一部分作标准，如“布手知尺”“手捧为升”“迈步定亩”等说法，说明当时人的手、脚是常用的测量工具。后来又发展到用树杆、绳索等作为测量工具。随着手工业和农业的分离，商品生产和交换的进一步发展，商品的品种和数量越来越多，人们对交换商品用的测量工具的准确度要求越来越高，于是就产生了“度量衡”。

“度”指长度，“量”指重量，“衡”指容积。古代为了统一度、量、衡，有的国家曾经以皇帝的脚、国王的手作为统一的标准。据考查，“度量衡”的最早统一是在 2300 多年前幼发拉底河流域的巴比伦王朝，以及 2200 多年前中国的秦始皇时代。实际上，我国早期统一度量衡是在夏、商、周朝就已经逐步开始了。

到了春秋战国时期，各国的度量衡器具都有了发展，但量值不统一，单位的大小和名称不一致，如楚国的一升合今 220ml；秦国的一升则合今 200ml；韩国的一升仅合今 170ml。秦国的量器名称为升、斗、桶，齐国则叫豆、区、釜、钟。秦始皇兼并六国后，为了巩固