

计量学基础

(修订版)

王立吉 编著

中国计量出版社

715.4
A54

计 量 学 基 础

(修 订 版)

王立吉 编著

图书在版编目(CIP)数据

计量学基础/王立吉编著. —2版(修订本). —北京
中国计量出版社, 1997

ISBN 7-5026-0941-5

I. 计… II. 王… III. 计量学—基础理论 IV. TB9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 06645 号

内 容 提 要

本书是根据 1988 年版的《计量学基础》修订而成。此次修订再版,除对原书内容进行了必要的调整和润色外,还补充了近 10 年来计量科技的新内容、重要进展与突出成就。书中系统、全面而又简要地阐述了计量学的基本原理、方法和技术。内容包括计量的概念、计量单位制、测量误差、测量不确定度、数据处理、计量器具、量值传递、溯源与检定测试、计量测试的品质保证、计量管理以及计量发展趋势等;同时,分章叙述了几何量(长度)、光学、电离辐射、力学、声学、热工、化学、电磁、无线电以及时间频率等十大计量科技领域的基础知识。

本书可作为培养计量专业人才的教材,也可供各专业计量人员自学阅读,还可供高等院校有关专业的师生参考。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

河北永清第一胶印厂印刷

北京市汇宇达公司激光照排

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

850×1168 毫米 32 开本 印张 12 字数 310 千字
1988 年 9 月第 1 版 1997 年 7 月第 2 版第 8 次印刷

*

印数 1—5000 定价:18.00 元

原 版 前 言

计量学是关于计量理论与实践的知识领域,是一门综合性的学科,是现代科学的重要组成部分。计量学的形成和发展与科技的进步和生产的发展密切相关。科技越进步、生产越发展,就越需要计量,并推动计量的发展;而计量越发展,则越促进科技的进步和生产的发展。计量对社会发展和国计民生的积极作用与重要意义已日益明显,受到了世界各国的普遍重视。如今,可以毫不夸张地说,任何一个科技领域,任何一种生产过程,以至任何一项社会活动,都离不开计量。正如聂荣臻同志所指出的:科技要发展,计量须先行;没有计量,寸步难行。

近年来,我国的计量工作取得了很大的进展,获得了可喜的成果。我国计量工作的基本法——《中华人民共和国计量法》已于1985年9月正式公布。这标志着我国的计量事业进入了一个新的发展阶段。然而,比较全面和系统地论述计量学基础的著作,至今尚不多见。本书是根据中国计量学院培养计量专业人才的教學要求而编著的,主要目的在于使读者比较全面和系统地了解计量学,熟悉计量所必需的基础知识。

本书是参考国内外有关文献资料,并结合本人从事计量工作的体会写成的。由于水平所限,加之时间较紧,不妥之处在所难免,请读者批评指正。

本书的出版,承蒙陈宽基、倪伟清、徐孝恩以及陈小林等同志的热情支持与帮助,谨致以衷心的感谢!

作 者

1985年11月于杭州

修 订 版 前 言

本书的第一版,原本是为我国第一所计量高等学校——中国计量学院所写的教材。承蒙该院以及有关高等院校与社会各界广大读者的厚爱,原书问世后,已印刷了多次。

此次修订再版,除对原书的内容进行了必要的调整与润色外,还补充了10多年来计量科技的新内容、重要进展与突出成就。比如,有的计量术语的名称与定义,虽已沿用了多年,但仔细推敲起来,总觉得不甚确切和稳妥,尤其是与其密切相关的术语之间缺乏协调和自洽。本书作为“计量学基础”专著,不能不予以必要的关注。至于增加的内容,比较集中的章节有概率分布、测量不确定度、计量测试的品质保证以及计量发展趋势等。

本修订版,力求保持原版的特色、注重基本概念和条理,使读者能够较全面和系统地认识计量学、熟悉和掌握计量所必需的基础知识,并概括地了解计量的发展趋势。不妥之处,请读者予以指正。

本书的修订再版,得到了中国计量出版社有关领导和陈小林等同志的大力支持,谨致诚挚的谢意!

作 者

1997年2月于北京

订,是1967年第十三届国际计量大会授权国际计量委员会颁布的1968国际实用温标(IPTS-68);1975年第十五届国际计量大会又通过了对1968国际实用温标的修订版,并表示为IPTS-68(75);另外,为解决1968年国际实用温标在低温端存在的显著偏离热力学温度等问题,1976年温度咨询委员会向国际计量委员会建议在0.5 K到30 K之间使用一个新的临时温标,并获准公布最后文本,即19 760.5 K到30 K临时温标(EPT-76),作为IPTS-68的补充。国际温标的第三次修订,便是前述的现行国际温标——1990国际温标(ITS-90)。

我国在复现1990国际温标方面,已做了大量颇有成效的工作,除0.65 K~13.8 K的超低温区外,均已按ITS-90的规定完成;国家技术监督局已经决定,从1991年7月1日起,在我国实行1990国际温标。

当前,我国复现ITS-90的主要技术指标为:

- (1) 13.803 3 K~273.16 K, 不确定度 (2~3) mK (3σ);
- (2) 83.805 8 K~273.16 K, 不确定度 2 mK (3σ);
- (3) 273.15 K~692.677 K, 不确定度 (0.5~1) mK (2.58σ);
- (4) 692.677 K~1 234.93 K, 不确定度 (2.5~6) mK (2.58σ);

- (5) 1 234.93 K~2 273 K, 不确定度 (0.1~1) K (2.58σ)

总的来看,我国在复现ITS-90方面,上述各温区的技术指标还是比较先进的,尤其是其中所用的高温铂电阻温度计更加先进;但与国际先进水平相比,特别是在13.8 K以下的超低温区和超高温等离子区的温度计量,还有较大的差距。例如,在超低温方面,美国研制的噪声温度计,应用约翰逊热噪声来测量温度,精度可达0.01 K;英国研制的铯-铁温度计和磁温度计,其复现的温标已分别达到0.4 K和0.5 K。前苏联用光电光谱高温计测量40 000 K离子温度的误差不大于2.5%;法国利用氢弧辐射计达到的最高温度为15 000 °C,辐射测量精度为8%;德国真空紫外辐射标准的等离子源的最高温度为12 500 K;等等。

$$= 1.019\,716 \times 10^{-1} \text{ mmHg}$$

另外，在气象上曾常用非法定计量单位毫巴（mb）作为压力单位，其与毫米汞柱的换算关系为

$$1 \text{ mmHg} = 1.333\,22 \text{ mb}$$

$$1 \text{ mb} = 0.750\,062 \text{ mmHg}$$

压力计量的范围，习惯上大体分为：

- (1) 微压：小于 $1 \times 10^4 \text{ Pa}$ ($1\,000 \text{ mmHg}$)
- (2) 低压： $1 \times 10^4 \text{ Pa} \sim 2.5 \times 10^5 \text{ Pa}$ [$(0.1 \sim 2.5) \text{ kgf/cm}^2$]
- (3) 中压： $2.5 \times 10^5 \text{ Pa} \sim 1 \times 10^8 \text{ Pa}$ [$(2.5 \sim 1\,000) \text{ kgf/cm}^2$]
- (4) 高压： $1 \times 10^8 \text{ Pa} \sim 1 \times 10^9 \text{ Pa}$ [$(1\,000 \sim 10\,000) \text{ kgf/cm}^2$]
- (5) 超高压：大于 $1 \times 10^9 \text{ Pa}$ ($10\,000 \text{ kgf/cm}^2$)

所测量的具体压力可分为以下几种。

- (1) 绝对压力（或全压力） P_a

液体或气体作用在单位面积上的全部压力，等于大气压力 P_b 与表压力 P 之和，即 $P_a = P_b + P$ 。

- (2) 大气压力 P_b

地球表面上空气柱所产生的压力。

- (3) 表压力 P

超过大气压力的那部分绝对压力，即高于大气压力的绝对压力与大气压力之差： $P = P_a - P_b$ 。

- (4) 疏空 P_h

超过绝对压力的那部分大气压力，即高于绝对压力的大气压力与绝对压力之差： $P_h = P_b - P_a$ 。

测量压力的仪器，常用的有活塞式压力计、液体压力计、弹簧式压力计、电气式压力计和综合式压力计等。其中，活塞式压力计和液体压力计，都是根据流体静力学平衡原理制成；弹簧式压力计是利用弹性元件在压力的作用下产生弹性变形的弹性力与被测压力的平衡而得出后者的；电气式压力计则是根据某些材料的电气特性在压力的作用下发生的一定变化，来求出被测压力的，例如，利用锰、碳等材料的阻值变化可制成电阻式压力计，利用

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 计量学	(1)
一、计量	(1)
二、计量学	(1)
第二节 计量的范围、内容与分类	(3)
一、计量的范围	(3)
二、计量的内容	(3)
三、计量的分类	(4)
第三节 计量的发展阶段	(5)
一、古典计量阶段	(5)
二、经典计量阶段	(9)
三、现代计量阶段	(9)
第四节 计量的特点、作用与意义	(10)
一、计量的特点	(10)
二、计量的作用与意义	(12)
第二章 计量单位制	(21)
第一节 计量单位与单位制	(21)
一、量、量制、量纲	(21)
二、计量单位与单位制	(22)
第二节 国际单位制	(24)
一、米制的起源与发展	(24)
二、国际单位制	(27)
三、国际单位制外的单位	(36)
第三节 我国的法定计量单位	(38)
一、法定计量单位的构成	(39)

二、法定计量单位定义	(40)
三、法定计量单位使用方法	(45)
四、量、数值及下角标	(54)
五、全面推行法定计量单位的意见	(56)
第三章 测量误差	(59)
第一节 常用计量术语	(59)
第二节 测量误差	(62)
一、测量误差的定义	(63)
二、测量误差的主要来源	(65)
三、测量误差的分类	(66)
四、间接测量的误差	(88)
五、测量误差的合成	(90)
第四章 测量不确定度、数据处理	(92)
第一节 测量不确定度	(92)
一、测量不确定度的概念	(92)
二、测量不确定度的分类	(93)
三、标准不确定度及其评定	(94)
四、合成不确定度	(96)
五、范围(扩展、展伸)不确定度	(97)
六、不确定度的报告	(97)
第二节 数据处理	(98)
一、等精度与不等精度测量	(99)
二、算术平均值与最小二乘法原理	(100)
三、有效数字及其运算规则	(102)
四、数值修约及其规则	(104)
五、测试数据的取舍	(106)
六、微小误差准则	(107)
七、已定系统误差的修正	(108)
八、测量结果	(109)
第五章 计量器具	(110)

第一节 计量器具及其分类	(110)
一、计量基准器具	(111)
二、计量标准器具	(113)
三、普通计量器具	(113)
四、计量器具的特征	(114)
第二节 计量器具的辅助设备	(115)
第三节 计量器具的制造、使用与维修	(116)
一、计量器具的制造与销售	(116)
二、计量器具的使用	(116)
三、计量器具的维修	(118)
第六章 量值传递、溯源与检定测试	(120)
第一节 量值传递	(120)
一、国家计量检定系统	(120)
二、量值传递的基本要求	(121)
第二节 溯源	(123)
第三节 检定测试	(124)
一、检定测试	(124)
二、检定测试的基本要求	(126)
三、检定测试的主要方法	(127)
四、检定测试中器具合格的判断	(130)
第四节 国际比对与检定	(133)
第七章 计量测试的品质保证	(135)
第一节 品质保证	(135)
一、计量测试品质保证是时代需求	(135)
二、计量测试品质保证的主要环节	(136)
第二节 量值传递或溯源的传统方式	(137)
一、逐级周期检定	(137)
二、巡回检定	(138)
三、利用标准物质、标准信号进行检定	(139)

第三节 新型量值传递或溯源方式——计量保证方案	(140)
一、计量保证方案	(140)
二、计量保证方案的实施	(140)
三、测量过程的统计控制	(143)
第八章 计量科技的主要领域(上)	(158)
第一节 几何量计量	(158)
一、长度单位“米”	(158)
二、几何量计量器具	(162)
三、阿贝原则	(164)
四、端度计量	(164)
五、线纹计量	(166)
六、角度计量	(167)
七、平直度计量	(169)
八、粗糙度计量	(170)
九、几何量计量动态	(176)
第二节 光学计量	(178)
一、光度计量	(178)
二、光辐射计量	(185)
三、激光计量	(186)
四、成像光学计量	(187)
五、色度计量	(187)
六、光学计量动态	(188)
第三节 电离辐射计量	(193)
一、电离辐射的基本概念	(195)
二、电离辐射计量的主要内容	(197)
三、电离辐射计量动态	(199)
第九章 计量科技的主要领域(中)	(200)
第一节 力学计量	(200)
一、质量计量	(200)

二、容量计量	(204)
三、密度计量	(205)
四、力值计量	(207)
五、重力计量	(210)
六、硬度计量	(212)
七、振动与冲击计量	(214)
八、力学计量动态	(216)
第二节 声学计量	(217)
一、声学计量的基本内容	(218)
二、声学计量的主要方法	(219)
三、声学计量的主要标准器	(226)
四、声学计量动态	(227)
第三节 热工计量	(227)
一、温度计量	(228)
二、压力计量	(236)
三、真空计量	(238)
四、流量计量	(241)
五、热物性计量	(242)
六、热工计量动态	(244)
第四节 化学计量	(245)
一、化学计量的基本特点	(246)
二、化学计量的主要内容	(246)
三、化学计量动态	(254)
第十章 计量科技的主要领域(下)	(255)
第一节 电磁计量	(255)
一、电学计量	(255)
二、磁学计量	(273)
三、电磁计量动态	(277)
第二节 无线电计量	(278)
一、无线电计量的特点	(279)

二、无线电计量的主要内容	(280)
三、无线电计量动态	(298)
第三节 时间频率计量	(299)
一、时间单位“秒”	(300)
二、时间频率基准、标准	(303)
三、时间频率的计量方法	(309)
四、时间频率计量动态	(311)
第四节 物理常数的测定	(312)
一、物理常数	(312)
二、物理常数的测定	(312)
三、物理常数测定动态	(317)
第十一章 计量管理	(319)
第一节 管理的一般概念	(319)
一、管理的对象、过程 and 目的	(319)
二、管理的基本原则	(320)
三、管理的作用和意义	(321)
第二节 计量管理的基本任务	(322)
一、计量管理的总任务	(322)
二、国家计量主管部门的主要职责	(323)
三、各部门、各级地方政府的计量管理机构的主要职责	(324)
四、企业、事业单位的计量管理机构的主要职责	(324)
第三节 计量管理方式	(325)
一、计量行政管理	(325)
二、计量科技管理	(326)
三、计量法制管理	(327)
附录：中华人民共和国计量法	(332)
第四节 国际计量组织	(337)
一、“米制公约”组织	(337)
二、国际法制计量组织	(339)
三、国际计量联合会	(342)

四、亚洲和太平洋地区计量规划组织	(345)
第十二章 计量发展趋势	(346)
第一节 我国的计量概况	(346)
一、近年来的主要成就	(347)
二、主要差距	(348)
第二节 计量发展趋势	(350)
一、由宏观到微观	(350)
二、由常态到超常态	(354)
三、由静态到动态	(356)
四、由手动到自动	(357)
五、由逐级周期量传到统计控制	(361)
六、由传统领域到新兴领域	(362)

第一章 绪 论

第一节 计 量 学

一、计 量

计量，过去在我国称为“度量衡”，其原始含义是关于长度、容积和质量^①的测量，主要器具为尺、斗和秤。尽管随着时代的前进，“度量衡”亦在不断地变化和发展，但仍难以摆脱历史遗留的局限性，以致不能适应科技、经济和社会发展的需要。于是，从50年代开始，便逐渐以“计量”取代了“度量衡”。可以说，“计量”是“度量衡”的发展，也有人称“计量”为“现代度量衡”。

人类为了生存和发展，必须认识自然、利用自然、改造自然，而自然界的一切事物都是由一定的“量”组成的，并且是通过“量”来体现的。或者说，“量”是一切现象、物体或物质可定性区别与定量确定的一种属性。因此，要认识五光十色的大千世界、为人类造福，就必须对各种“量”进行分析和确认，既要分清“量”的性质，又要确定其具体量值。计量正是达到这种目的的重要手段。所以，可以说，计量是对“量”的定性分析和定量确认的过程。

二、计 量 学

计量学，概括地说，是关于测量理论与实践的知识领域，是

① “质量”是一种量的名称，我国在生活 and 贸易中，通常习惯地将其称为“重量”。

现代科学的一个重要组成部分。

从学科发展来看，计量原本是物理学的一部分，或者说是物理学的一个分支。随着科技、经济和社会的发展，计量的概念和内容也在不断地扩展和充实，以致逐渐形成了一门研究测量理论与实践的综合性学科——计量学。

就学科而论，计量学又可分为：

(1) 通用计量学——涉及计量的一切共性问题而不针对具体被测量的计量学部分。例如，关于计量单位的一般知识（诸如单位制的结构、计量单位的换算等），测量误差与数据处理，测量不确定度、计量器具的基本特性等。

(2) 应用计量学——涉及特定计量的计量学部分。通用计量学是泛指，不针对具体的被测量；应用计量学则是关于特定的具体量的计量，如长度计量、频率计量等。

(3) 技术计量学——涉及计量技术，包括工艺上的计量问题的计量学部分。例如，自动测量、在线测量等。

(4) 理论计量学——涉及计量理论的计量学部分。例如，关于量和计量单位的理论、测量误差理论等。

(5) 品质计量学——涉及品质管理的计量学部分。例如，关于原料、材料、设备以及生产中用来检查和保证有关品质要求的计量器具、计量方法、计量结果的品质管理等。

(6) 法制计量学——涉及法制管理的计量学部分。例如，为了保证公众安全、国民经济和社会的发展，根据法律、技术和行政管理的需要而对计量单位、计量器具、计量方法和计量精确度（或不确定度）以及专业人员的技能等所进行的强制管理。

(7) 经济计量学——涉及计量的经济效益的计量学部分。这是近年来人们相当关注的一门边缘学科，涉及面甚广。例如，计量在社会生产体系中的经济作用和地位，计量对科技发展、生产率的增长、产品品质的提高、物质资源的节约、国民经济的管理、医疗保健以及环境保护方面的作用等。

当然，计量学的上述划分不是绝对的，而是突出了某一方面

的计量问题。在实际工作中，往往并不、也没有必要去严格区分。

第二节 计量的范围、内容与分类

一、计量的范围

计量的范围，在相当长的历史时期内，主要是各种物理量的计量测试。随着科技的进步、经济和社会的发展，计量已突破了传统的物理量的范畴，扩展到化学量以及工程量的计量测试。近年来，计量的发展更加迅速，以至囊括了生理量和心理量等的计量测试。可以说，一切可测量的计量测试，皆属于计量的范围。计量所涉及的科学领域，已从自然科学扩展到社会科学。

当前，比较成熟和普遍开展的计量科技领域有几何量（亦称长度）、热工、力学、电磁、无线电、时间频率、声学、光学、化学和电离辐射计量，即所谓的十大计量。

另外，随着现代科技的发展，一些新的计量领域，如生物工程、环保工程、宇航工程等计量测试，正在逐渐形成。

上述计量领域的划分是相对的，并无严格规定。有的国家将电磁（主要是关于直流和低频电磁量的计量测试）和无线电计量合在一起称为电学计量，也有的将电磁、无线电和时间频率计量合在一起统称为电学计量。再者，各计量领域不是孤立的，而是彼此联系、相互影响的。许多实际的计量测试问题，往往可能涉及两个甚至更多的计量领域。

二、计量的内容

计量的内容，概括地说，包括计量理论、计量技术与计量管理，并主要体现于下列方面：

（1）计量单位与单位制；

（2）计量器具，包括复现计量单位的计量基准、标准器具以及普通（工作）计量器具；