



YIXUE JILIANG JICHU

医学计量基础

主 编 王小平 朱洪平

副主编 江 键 傅 雷 张玉霞

YIXUE JILIANG JICHU



第二军医大学出版社

Second Military Medical University Press

YIXUE JIANGUO JICHU

医学计量基础

主 编 王少华 张庆华

副主编 冯 雪 曹 强 张 强

人民卫生出版社

医学计量基础

主 编 王小平 朱洪平
副主编 江 键 傅 雷 张玉霞
编 者 陈羽中 尚长浩 葛 毅



第二军医大学出版社
Second Military Medical University Press

内 容 提 要

本书以医学计量的技术和管理为主线,重点介绍医学计量的基础知识及其设备的基本原理、结构和管理的主要手段等共分16章。包括计量单位和计量单位制、计量器具、测量误差和测量不确定度、量值的传递和溯源等,医学计量专业知识涵盖了医用温度、生物力学、医用生理电、医用超声、医用光学、医用生物化学仪器、医用生物化学仪器、医用声学 and 医用放射学的计量以及大型医疗设备应用质量的检测与评审。

本书可作为医药学专业学生、计量检定人员的教材,也可作为医务工作者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

医学计量基础/王小平,朱洪平主编. —上海:第二军医大学出版社,2011.4

ISBN 978-7-5481-0177-2

I. ①医… II. ①王… ②朱… III. 医学—计量学
IV. ①R311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 016886 号

出 版 人 陆小新
责任编辑 高 标

医学计量基础

主 编 王小平 朱洪平

第二军医大学出版社出版发行

上海市翔殷路 800 号 邮政编码: 200433

发行科电话/传真: 021-65493093

全国各地新华书店经销

江苏南通印刷总厂有限公司印刷

开本: 787×1 092 1/16 印张: 16.75 字数: 439.5 千字

2011 年 4 月第 1 版 2011 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5481-0177-2/R·980

定价: 48.00 元

前言

计量在历史上称为度量衡,所用的主要器具是尺、斗、秤。在英语中尺子(ruler)和统治者是同一词,我国古代把砝码称为“权”,至今仍用天平代表法制和法律的公平,这些都表明计量是象征着权力和公正的活动。

计量工作是实现单位统一、量值准确可靠的活动。这是一种包括科学技术、法律法规和行政管理上的活动,计量问题既和我们的日常生活息息相关,又是维持国家机器正常运转的技术保障,确保国民经济和科学技术得以持续稳定发展的基础。

2006年,国际标准化组织(ISO)撰文指出:计量学、标准化和合格评定这三大方面已被政府和商业机构应用于优化生产、促进医疗保健、加强消费者权益保护和环境保护、强化安全和提升质量,这三大方面的有效运用和实施为可持续发展和社会福利提供着强大支持,并将极大地促进诚信、平等、和谐的国际贸易关系,其权威性、有效性和影响力已被国际社会广泛认同,已经成为世界经济可持续发展的三大支柱。

在现代医学中,计量工作的重要性表现甚为明显。临床诊断中使用的血压计、心脑电图机、X线机、超声诊断仪和CT等,治疗中使用的激光、紫外、 γ 刀、中子刀、高压氧和直线加速器等,如果不按要求提供准确可靠的量值,则很难保证医疗服务质量,甚至可能出现医疗事故。

医学计量是计量学的一个分支,它是保证医学领域中有关生命体征参数、用药剂量单位的统一和测量准确的一门学科。随着现代医学的不断学发展,医学计量器具在诊断、治疗、卫生防疫、生化分析、制剂和科研等领域的应用将越来越广泛。而通过掌握必要的医学计量基础知识,掌握计量管理的一般概念、方法,一方面可以提高自己的计量理论、法规意识;另一方面将有助于了解医疗设备的技术特性,提高对医疗卫生装备的驾驭能力和对职业风险的分析和控制能力,为自身的发展奠定基础。

本书是依据我国计量法规及其最新的有关标准、规程和规范,参考国内外相关文献资料,同时结合作者从事医学计量工作和教

学实践编写而成。本书编写中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及其发展趋势。

由于资料收集和编者水平所限,书中难免有遗漏和差错之处,恳请读者批评指正。

编 者

2011年4月于上海

目 录

第一章 绪论	1
第一节 计量和计量学	1
一、计量	1
二、计量学	1
第二节 计量的领域、内容与分类	2
一、计量的领域	2
二、计量的内容	3
三、计量的分类	3
第三节 计量的发展简史	4
一、古典计量阶段	4
二、经典计量阶段	5
三、现代计量阶段	6
第四节 计量的特点、作用与意义	6
一、计量的特点	6
二、计量的作用与意义	7
第五节 计量的法规体系	11
一、计量法规体系的构成	11
二、我国的计量法规体系	11
三、测量标准和计量检定的法制管理	13
第六节 国际计量组织、机构介绍	14
一、米制公约及其组织机构	14
二、国际法制计量组织	14
三、亚太计量合作组织	15
四、国际计量技术联合会	15
五、国际原子能机构/世界卫生组织次级标准剂量实验室网	16
六、国际标准物质信息库	16
第二章 量和单位	17
第一节 可测量的量	17
一、量的概念	17
二、量值的概念	18
三、测量的概念	19
第二节 计量单位与单位制	20
一、计量单位	20
二、单位制	21



第三节 国际单位制	21
一、国际单位制的产生	21
二、国际单位制的构成	22
第四节 我国的法定计量单位	26
一、法定计量单位	26
二、法定计量单位的使用方法	27
三、量和量值的表示	30
第三章 测量不确定度	33
第一节 测量不确定度的基本概念	33
一、测量不确定度的概念	33
二、测量不确定度的分类	33
三、测量不确定度与误差的区别	35
第二节 测量不确定度评定的一般要求	35
一、评定测量不确定度的步骤	35
二、评定时的注意事项	35
三、测量不确定度评定中所用的符号	36
四、被测量的数学模型	36
第三节 不确定度的来源	39
第四节 标准不确定度分量的评定	40
一、标准不确定度的 A 类评定	40
二、标准不确定度的 B 类评定	42
第五节 合成标准不确定度的计算	44
一、直接测量	44
二、间接测量	44
三、标准不确定度分量相关时协方差的估计方法	45
第六节 扩展不确定度的确定	49
第七节 测量结果及其测量不确定度的表示	51
第四章 测量仪器及其特性	53
第一节 测量仪器	53
一、测量仪器概述	53
二、测量仪器的分类	55
第二节 测量仪器的特性	57
一、测量仪工作范围特性	57
二、测量仪工作条件特性	59
三、测量仪响应性能	60
四、测量仪准确度特性	62
五、测量仪性能特性	66



第五章 计量法律、法规与管理	68
第一节 国家有关法律、法规	68
一、计量法律、法规概述	68
二、法定计量单位	71
三、计量器具及其管理	71
四、计量检定管理	76
五、计量检定印、证的管理	79
六、计量监督	80
七、计量法律责任	87
第二节 军事医学计量与管理	88
一、军事医学计量管理机构	89
二、军事医学计量技术机构	89
第三节 军事医学计量测量标准的考核与管理	90
一、建立测量标准前的调研	90
二、测量标准的建立与考核	91
三、测量标准的复查、更换、封存、撤销和使用中的监督管理	97
四、测量标准的溯源和量值传递	99
五、检定、校准的记录和证书	102
第六章 合格评定与实验室认可	104
第一节 合格评定的概念与发展	104
一、合格评定与认证、认可	104
二、合格评定的发展概况	105
三、合格评定的标准体系	107
第二节 实验室认可	109
一、国际实验室认可发展概况	109
二、我国实验室认可发展概况	111
三、我国的实验室认可体系	112
四、实验室认可的作用和意义	113
第三节 实验室质量管理体系的建立与运行	114
一、实验室质量管理体系基本概念	114
二、建立实验室质量管理体系的基本理念	116
三、建立实验室质量管理体系的基本模式	118
第七章 医用温度计量	126
第一节 温度计量	126
一、温度和温标	126
二、温度计量	130
三、温度的量传和溯源	131



四、医用温度计量的特点	132
第二节 温度计量器具	132
一、热膨胀式温度计	132
第三节 医用温度计量器具的检定	141
一、温度检定用设备	141
二、玻璃液体温度计的检定	142
第八章 生物力学计量	146
第一节 质量计量	146
一、概述	146
二、天平的检定	147
三、砝码的检定	153
第二节 压力计量	159
一、概述	159
二、液柱式压力计	162
三、弹性式压力表	168
四、活塞式压力计	170
五、压力传感器	171
第九章 医用生理电计量	172
第一节 心电图机	172
一、心电图及心电图导联	172
二、心电图机的结构及主要技术指标	175
第二节 心电图机的检定	180
一、心电图机的计量性能要求	180
二、通用技术要求	180
三、计量器具控制	180
第十章 医学超声计量	190
第一节 超声基础知识	190
一、超声波的特性	190
二、超声波的基本物理量	191
三、超声波的传播特性	192
四、多普勒效应	196
第二节 B型超声诊断仪	196
一、脉冲回波法原理	197
二、A型、M型和B型三种显示方式	198
三、B型超声仪的基本组成和技术	199
四、医用B型超声诊断仪图像质量的表征	206
五、仪器操作及检定结果的处理	208



第十一章 医用激光计量	218
第一节 激光医学应用概述	218
一、激光治疗技术	218
二、激光诊断和检测技术	219
第二节 医用激光辐射参数与测量仪器	220
一、医用激光辐射参数	220
二、光辐射测量仪器原理	222
三、测量仪器的性能	228
四、几种典型的测量仪器	230
五、光辐射测量仪器的使用	234
第十二章 医用电离辐射计量	238
第一节 电离辐射计量基础知识	238
一、电离辐射基础知识	238
二、电离辐射的常用量和单位	242
第二节 射线探测器	247
一、气体探测器	247
二、闪烁探测器	248
三、半导体探测器	249
四、量热计	250
五、液体化学剂量计	250
六、释光剂量计	250
七、自由基剂量计	250
第三节 放射性核素活度测量	251
一、活度测量概述	251
二、固定立体角法	251
三、 2π 计数法	251
四、 4π 计数法	251
五、 $4\pi\beta(\text{PC})-\gamma$ 符合计数法	252
六、活度量值传递	254
第四节 X、 γ 射线和电子束吸收剂量测量	254
一、剂量测量概述	254
二、吸收剂量量热计	255
三、平行板自由空气电离室	255
四、空腔电离室	255
五、吸收剂量量值传递	256
第五节 中子计量	256

第一章 绪 论

第一节 计量和计量学

一、计量

计量在历史上称为度量衡,所用的主要器具是尺、斗、秤。在英语中尺子和统治者是同一词“ruler”,我国古代把砝码称为“权”,至今仍用天平代表法制和法律的公平,这些都表明计量是象征着权力和公正的活动。随着时代的前进,由于“度量衡”概念的局限性已不再适应科技、经济和社会发展的需要,从 20 世纪 40 年代开始,把不属于长度、容积和质量的其他量的测量叫做计量,之后便逐渐以“计量”取代了“度量衡”。

“计量”一词何时开始在我国使用,目前尚无定论。有一种观点认为,先前把以某种单位、器具、标准为依据定量表述某个物理量,称作“用什么计什么”如:“汽车里程表应用千米计程,油量表应用升计量”。这里的“计量”是定量确定容量的意思,不是我们今天说的计量,但它却可能是今天“计量”一词的由来。1932 年 4 月,日本度量衡协会将其会报《度量衡》改为《计量界》,成为度量衡协会的杂志,这则史料或许佐证了“计量”一词源自日本。

计量工作是实现单位统一、量值准确可靠的活动。计量的产生和发展是与人类社会的进步联系在一起的。人类为了生存和发展,对自然界中的各种现象进行了大量的比较,例如,太阳的升落、月亮的圆缺、山的高低、河流的宽窄、水的冷热等。通过长期的实践发现,可采用比较的方法来定量地确定客观事物现象或特性,于是产生了“量”和“测量”的概念。

随着生产力的发展,人们在进行商品交换及建筑、水利、农耕等改造自然的活动中,不仅发展了“测量器具”,而且要求对同一物体在不同地点、不同时间由不同人测量能得到一致的测量结果。显然,对测量的这种要求不会自发地得到满足,也就是要求运用权力和法制手段建立统一规定的“标准”,包括“测量单位”及复现这些测量单位的工具,来实现测量的统一。这就是“计量”的起源。

人类在科学研究、经济活动和社会发展中,每时每刻都离不开计量,通过计量所获得的测量结果是人类活动最重要的信息源之一。如果这种信息是错误的,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。

二、计量学

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。

从学科发展来看,在相当长的历史时期内,计量的对象主要是物理量,计量学是物理学的一个分支。随着科技、经济和社会的发展,计量的概念和内容在不断地扩展和充实到工程量、化学量、生理量,甚至心理量,以致逐渐形成了一门研究测量理论与实践的综合性学科。



当前比较成熟和普遍开展的有几何、温度、力学、电磁、无线电、时间频率、光学、电离辐射、声学 and 化学计量等,即所谓十大计量。同时,在一些高新技术领域如生物、医学、环保、信息、航天和软件等方面的专业计量测试,也正在逐渐形成和不断加强。例如,在医学和保健方面,不仅需要实验室用的高准确度计量测试仪器,也需要临床实时(甚至在体实时)的计量分析仪器及非采样(非侵入、无损伤)的医用测试分析仪器。在生物和生命工程方面,人们希望从蛋白质的控制中了解生物学、生理学、生物化学、分子遗传学,并且正在对构成蛋白质生产的核糖核酸的 15 万个标记进行测试和编排。同时,以 DNA 计算机为首的生物计算机,将为解决当前硅芯片集成器件的数量(集成度)接近极限,因而计算机处理能力也接近极限的难题,提供理想的方案。这里,计量的对象已进入微观领域。

就学科而论,计量学又可划分为以下几部分。

(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。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,如长度计量、频率计量、温度计量等。

(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。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。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。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。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、计量方法和计量的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。

第二节 计量的领域、内容与分类

一、计量的领域

当前,比较成熟和普遍开展的计量科技领域有几何(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。

(1) 几何量计量 包括长度、线纹、角度、表面粗糙度、齿轮、螺纹、面积、体积及有关形状等,还包括位置的参数,如圆度、平面度、垂直度、同轴度、平行度及对称度等。

(2) 热学计量 包括温度、热量、热导率、热容及热扩散率等。

(3) 力学计量 包括质量、力值、压力、真空度、容量、流量、密度、硬度、振动、冲击、扭矩、速度、加速度及转速等。

(4) 电磁学计量 包括直流和交流的电压、电流、电能、电阻、电容、电感、磁通、磁矩及磁感



应强度等。

(5) 无线电电子学计量 包括超低频、低频、高频、微波、毫米波的整个无线电频段的各项参数,如功率、电压、衰减。相位、阻抗、噪声、场强、脉冲、调制度、失真、频谱、网络参数及电磁兼容性等。

(6) 时间频率计量 包括时间、频率、相位噪声等。

(7) 光学计量 包括红外、可见光到紫外的整个光谱波段的各项参数,如发光强度、照度、亮度、辐射度、色度、感光度、激光特性、光纤特性、光学材料特性等。

(8) 化学计量 包括浓度、酸度、湿度、黏度、电导率及物质的物理化学成分等。

(9) 声学计量 包括超声、水声、空气声的各项参数,如声压、声强、声阻、声能、声功率、传声损失、听力等。

(10) 电离辐射计量 包括放射性活度、反应能、粒子的注量、照射量、剂量等。

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。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。例如,微波阻抗可溯源到长度,长度计量溯源到光波波长,光波波长又溯源到时间频率基准。许多实际的计量测试问题,往往可能涉及多个计量领域。

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,并主要体现以下几方面。

- 1) 计量单位与单位制。
- 2) 计量器具(或测量仪器),包括复现计量单位的计量基准、标准器具与工作计量器具。
- 3) 量值传递与溯源,包括检定、校准、测试、检验与检测。
- 4) 物理常数、材料与物质特性的测定。
- 5) 测量不确定度、数据处理与测量理论及其方法。
- 6) 计量管理,包括计量保证与计量监督等。

三、计量的分类

根据计量的作用与地位,常常将计量分为科学计量、工程计量和法制计量,它们分别代表计量的基础性、应用性和公益性3个方面。

(1) 科学计量 主要是指基础性、探索性、先行性的计量科学研究。例如,关于计量单位与单位制、计量基准与标准、物理常数、测量误差、测量不确定度与数据处理等。科学计量通常是计量科学研究单位,特别是国家计量科学研究单位的主要任务。

(2) 工程计量 也称为工业计量,是指各种工程、工业企业中的应用计量。例如,关于能源、原材料的消耗、工艺流程的监控以及产品品质与性能的计量测试等。工程计量涉及面广,是各行各业普遍开展的一种计量。

(3) 法制计量 法制计量是指由政府或授权机构根据有关法律、技术和行政的需要进行强制管理的一种社会公用事业,其目的主要是保证与贸易结算、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。例如,关于衡器、压力表、电表、水表、煤气表、血压计以及血液中酒精含量(司机和高空作业者上岗前与在岗期间血液中酒精含量)等的计量。



第三节 计量的发展简史

一、古典计量阶段

该阶段以经验和权利为主,大多利用人、动物或自然物体作为计量基准。如“布手知尺、掬手为升、取权定重、迈步算亩和滴水计时”等。相传在大禹治水时,就使用了“准绳”和“规”、“距”等计量器具,秦始皇统一度量衡这一史实众所周知。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“腕尺”(约 46 cm),埃及著名的古夫金字塔是古夫的前臂作为腕尺建造的,塔高为 280 腕尺。

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。例如,英尺是查理曼大帝的脚长($1\text{ ft}=0.303\ 8\text{ m}$);英寸是英王埃德加的手拇指关节的长度。而英亩则是两牛同轭,一日翻耕土地的面积($1\text{ 英亩}=4\ 050\text{ 平方米}$)。据考查,“度量衡”的最早统一是在 2 300 多年前幼发拉底河流域的巴比伦王朝,以及 2 200 多年前中国的秦始皇时代。

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 220 ml;秦国的一升则合今 200 ml;韩国的一升仅合今 170 ml。秦国的量器名称为升、斗、桶,齐国则叫甄、釜、钟。秦始皇兼并六国后,为了巩固其中央集权统治和发展经济,决定把战国时混乱的度量衡制度统一起来,于是用颁布诏书的形式规定全国采用统一的度量衡制度。诏书全文是:“二十六年,皇帝尽并兼天下诸侯,黔首大安,立号为皇帝,乃诏丞相状、绾,法度量则,不壹(嫌)疑者,皆明壹之。”大意是:秦二十六年,他完全统一了中国,百姓安宁,立皇帝称号,命令丞相隗状、王绾,制订度量衡法规,把全国各地不统一的度量衡制度统一起来。还把诏书的全文刻在当时的砣码(秦权)上,以利遵照执行。

例如,据《汉书·律历志》秦代的度量衡制度为度制:1 引=10 丈,1 丈=10 尺,1 尺=10 寸,1 寸=10 分;量制:1 斛=10 斗,1 斗=10 升,1 升=10 合;衡制:1 石=4 钧,1 钧=30 斤,1 斤=16 两,1 两=24 铢。

古时粮食论斗,是容量单位,因为十斗粮食的重量大致相当于一石(dàn),所以粮食也论石,一石等于十斗,“石”被挪用来表示容积,成了容量单位。后来又因为一石粮食恰好是一个人所能挑担的重量,所以一石又叫一担。如此,石有两个读音,即 shí 或 dàn。尤为突出的是,秦代的度制和量制的大部分皆采用了十进制。

秦代不仅颁布了度量衡制度,而且还规定对度量衡器具实行定期与最高标准器具的比较和严格的法制管理制度,规定“仲秋之月,一度量,平权衡,正钧石,齐斗桶”,即每年秦历八月为检定度量衡器具的时间。因为这时温度比较适宜而且比较稳定,有利于保证检定准确度。秦代对度量器具的允许误差也有规定,如斗、升的允差为 5%~6%,衡器的允差则为 0.8% 以内。如果超过规定范围仍在使用,就要罚以盔甲或盾牌。

在秦以后的 2 000 多年里,各朝代基本上是采用秦朝的度量衡制度,但单位的大小和名称有所变动。这些度量衡的标准器具的研制,与最高标准器具的比较、允差以及比较方法的研究等,都构成了计量学研究的内容。这些就是最早起源的古代计量学。



由于世界各国采用了相互不同的测量标准器具、不同的测量单位和测量方法,因而大大阻碍了世界各国的经济发展和贸易往来。到了18世纪,随着世界经济和贸易的飞速发展,统一世界各国的计量单位制的问题提到了议事日程上。

二、经典计量阶段

米制是在18世纪末由法国创立的一种测量单位制,它以位于巴黎的地球子午线的四千万分之一作为长度单位,定名为“米突”(米);以米的十分之一长度作为容量单位,定名为“立特”(升);以一立方分米的纯水在4℃时的重量(质量)作为重量单位,定名为“千克”(公斤)。这种单位制是十进位制,完全以“米”为基础,因此得名为“米制”。法国政府根据科学家们实地测定敦刻尔克(Dunkerque)到巴塞罗那(Barcelona)之间的地球子午线的弧长和给定体积纯水的重量的结果,制成铂基准米尺和铂基准千克,保存在法国巴黎档案局,并从法律上分别赋予这2个基准以“1米”和“1千克”的值。

法国创立的米制,逐渐被许多国家所采用,首先采用的是欧洲的荷兰、比利时和卢森堡。接着,阿尔及利亚、智利、西班牙、哥伦比亚、墨西哥、葡萄牙、意大利、巴西等国也相继采用。随后,德国、美国、英国等也采用了。

1872年8月,法国政府邀请一些国家派代表到巴黎开“国际米制委员会”,有24个国家派了代表。与会代表赞成普遍采用“米制”,并认为应该按照巴黎档案局保存的“米”和“千克”复制出一些原器分发给各国使用。1875年3月1日,法国政府召开了“米制外交会议”,有20个国家派出了政府代表和科学家出席。会议批准了国际米制委员会的建议。1875年5月20日正式签署了《米制公约》,俄、法、德、美、意等17国外交代表,分别代表本国政府在公约上签了字。他们公认米制为国际通用的计量单位制,并决定成立国际计量委员会和国际计量局,组织制造铂铱合金“米”和“千克”原器。到1889年,国际计量局完成了“米”和“千克”原器的制造工作。同年在巴黎召开了第一届国际计量大会,从所制的米尺和砝码中,选出了作为统一国际长度和质量单位量值的米尺和砝码,称为米制的“国际原器”,由国际计量局保存。大会还批准将其余的米尺和砝码发给米制公约签字国,作为各国的最高计量基准器。各国的基准器定期同国际计量局的国际原器比对,以保证其量值一致。

米制虽然有许多优点,但存在局限性。首先,它们形成一种基于所谓自然不变的米制,并成为国际单位制的基础。但是这些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。其次,当时规定的测量单位,只涉及生产和商品交换中一些常用量的单位。但是,仅仅长度、质量、容量等单位远远满足不了物理学以及其他科学技术研究工作的需要。随着生产和科学技术的发展,米制发生了很大的变化,出现了许多单位制,如厘米克秒制、米千克力秒制、米吨秒制等,还出现了一些不属于任何一种单位制的制外专用单位,如“马力”“毫米汞柱”、“克拉”等。这样一来,单位制又多起来了,特别是许多国家还有本国历史上遗留下来的单位制,由于多种单位制在一个国家内并用,互相之间又缺乏科学联系,实际应用时不得不进行复杂的换算。这就不仅造成了人力、物力和时间上的巨大浪费,而且也严重妨碍了生产和科学技术的发展与国际经济技术交流。因此,进一步改进和统一计量单位制,又成为人们十分关心的问题。于是,在国际计量委员会的组织下,科学家们在原有米制的基础上,建立了更为科学、更为简单、更为实用的一种新的单位制,即1960年第11届国际计量大会(CGPM)通过国际单位制,标志着各国计量制度基本统一和计量学的基本成熟。



三、现代计量阶段

早在 1870 年英国物理学家、数学家 J·G·麦克斯韦就指出,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。现代计量阶段是以量子理论为基础,由宏观实物基准过渡到微观量子基准。从经典理论来看,物质世界在做连续的、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,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(^{133}Cs)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,它们仍与某种原子的特定量子跃迁过程有关,因而尚不具备普适性。最好的方案是用基本物理常量来定义计量单位。例如:1983 年将米定义为光在真空中在 $1/299\,792\,458$ 秒的时间间隔内所行进的长度,既认为真空中光速作为一个定义值恒为 $299\,792\,458\text{ m/s}$ (约 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,使新定义的米只依赖于目前测量不确定度最小(10^{-15} 量级)的频率,从而更具准确性、稳定性、可靠性和普适性。

迄今为止,国际上已正式确立的量子计量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。其他重要的计量基准,如质量基准、电流基准等,也正处于向量子基准过渡的探索之中。

上述的计量发展阶段,是根据计量所依据的基本理论、物质技术基础和发展趋势而划分的。在日常的实际计量工作中,当前乃至将来,普遍应用的仍是宏观实物计量器具,但其计量性能由于溯源到基本量和主要导出量的量子计量基准而得到明显改进,从而使整体计量水平显著提高。

第四节 计量的特点、作用与意义

一、计量的特点

(1) 统一性 计量的统一性是最本质的特性。计量单位的统一是量值一致的重要前提。无论在任何时间、任何地点、采用任何方法、使用任何器具以及任何人进行计量,只要符合有关计量的要求,所得结果就应在给定的不确定度(或误差范围)内一致。否则,计量将失去其社会意义。计量的一致性,不仅限于国内,而且也适于国际。

(2) 准确性 计量的统一性是计量的基本特点。表征测量结果与被测量真值的一致程度。所谓量值的准确性是在一定的测量不确定度或误差极限或允许误差范围内,测量结果的准确性。只有量值,而无准确程度的结果,不是计量结果,也就不具备充分的社会实用价值。而量值的统一,也是指在一定准确程度内的统一。

(3) 溯源性 计量的统一性是指任何一个测量结果或测量标准的值,都能通过一条具有规定不确定度的不间断的比较链,与测量基准联系起来的特性。这种特性使所有的同种量值,都可以按此条比较链通过校准向测量的源头追溯,也就是溯源到同一测量基准(国家基准或国际基准),从而使其准确性和一致性得到技术保证。

(4) 法制性 计量本身的社会性就要求有一定的法制保障。也就是说,量值的准确性和统一性,不仅要有一定的技术手段,而且还要有相应的法律、法规和行政管理,特别是对于那些对国