

计量基础知识

(第三版)

主 编：范巧成

副主编：田静 宋韬 邢成岗 刘运华



中国质检出版社
中国标准出版社

计量基础知识

(第三版)

主 编 范巧成

副主编 田 静 宋 韬 邢成岗 刘运华



中国质检出版社

中国标准出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

计量基础知识/范巧成主编. —3版. —北京:中国质检出版社,2014.2
ISBN 978-7-5026-3967-9

I. ①计… II. ①范… III. ①计量学 IV. ①TB9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 319718 号

内 容 提 要

本书系统地介绍了计量人员应掌握的计量基础知识,主要包括:通用计量术语、法定计量单位与国际单位制、数和量的表示方法、计量法规、有效数字及数据舍入规则、经典的误差理论、测量不确定度的评定与表示、Excel 在测量不确定度评定中的应用及实例、计量标准考核规范、计量标准考核用表填写与使用说明以及部分相关计量法规等。书中的有关内容均采用国家现行标准和规范。

本书可作为计量人员的培训教材,也可作为相关院校学习计量基础知识的参考教材,也可供其他计量科技人员和管理人员学习使用。

中国质检出版社 出版发行
中国标准出版社

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100013)

北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 15.25 字数 359 千字

2014 年 2 月第三版 2014 年 2 月第七次印刷

*

定价:48.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68510107

第一版前言

计量是关于测量的科学,是实现单位统一,量值准确可靠的活动;计量是经济活动、国防建设、科学研究和社会发展的基础,渗透到人类活动的各个领域;是保证产品质量,提高综合国力的重要手段。随着现代工业和科学技术的发展,计量的作用越来越显得重要,计量与材料和工艺共同构成了现代工业的三大支柱。ISO9000 质量体系认证将计量放在了一个突出的位置,近几年由中国实验室国家认可委员会开展的作为国际互认的实验室认可工作,对计量工作提出了更高的要求。

对于计量人员除应掌握相应的专业理论知识外,还必须掌握一定的计量基础知识,以便更准确更规范地开展工作。计量基础知识的内容近几年发生了较大的变化,特别是国家计量技术规范由 JJF1001—1998《通用计量术语及定义》代替了 JJF1001—1991《通用计量名词及定义》,由 JJF1059—1999《测量不确定度评定与表示》和 JJF1094—2002《测量仪器特性评定》代替了 JJF1027—1991《测量误差及数据处理》。以前的一些教材中的相关内容就与当前不符。这些内容是计量基础知识的基础。为适应这种变化,满足计量人员培训的需要,我们在总结多年从事计量人员培训考核经验的基础上,编写了此书。

本书的主要内容包括:通用计量术语、法定计量单位与国际单位制、数和量的表示方法、计量法规、有效数字及数据舍入规则、经典的误差理论、测量不确定度的评定与表示、测量仪器特性评定、Excel 在测量不确定度评定中的应用及实例、计量标准考核规范、计量标准考核用表填写与使用说明以及部分相关计量法规等。其内容均采用国家现行标准和规范。其中,在第一章通用计量术语中给出了主要术语的解释,帮助读者理解术语和了解相关知识;在第八章中系统介绍了 Excel 在测量不确定度评定中的应用原理和各种电子表格的设计方法,给出了校准应用实例。利用 Excel 电子表格可快捷地得到最终测量结果的合成标准不确定度及其有效自由度和扩展不确定度,使给出每一个测量结果的不确定度变得简单易行,从而推动测量不确定度的评定和应用。

本书由山东电力研究院和江苏省电力科学研究院有限公司联合编著。范巧成担任主编,黄奇峰、王莉、范洁担任副主编。在编写和出版过程中,得到了山东电力研究院的丛阳副院长、殷宏伟主任、徐民主任、陈伟斌副主任、鹿凯华高工、杨静工程师和江苏省电力科学研究院有限公司的王海林院长、蒯狄正副院长等两单位领导和专家的大力支持与帮助,国家质量监督检验检疫总局教授级高级工程师, JJF1059—1999 主要起草人李慎安(已离休)老师和中国计量出版社王秉义老师对书的编写和出版给予了热情的帮助和指导,谨此表示衷心感谢!

由于时间仓促,加之学识有限,书中可能存在疏漏和不妥之处,敬请批评指正。

编者

2003 年 10 月

第二版修订说明

本书第一版自 2004 年 4 月出版至今已有近 5 年,期间印刷了 3 次,承蒙广大读者厚爱,在使用过程中提出了一些中肯的建议,借此修订之际笔者一并予以感谢。

此次修订的主要原因是 JJF 1033—2008《计量标准考核规范》的颁布实施,以及近年来有关测量不确定度评定方法的完善。同第一版相比,整书的章节结构基本未变,具体修改的内容如下:在第 1 章通用计量术语中,又收录了 JJF 1059—1999《测量不确定度评定与表示》以及 JJF 1033—2008《计量标准考核规范》中在 JJF 1001—1998《通用计量术语及定义》里没有的部分术语。第 2~6 章只做了少量的修订,如在第 3 章中修订了计量检定人员管理办法,在第 6 章修订了微小误差取舍准则的实际意义等。对第 7 章测量不确定度作了较大改动,使结构更为合理,在测量不确定度概述一节中对计量学指南联合委员会(JCGM) 修订 GUM 的指导思想作了简介;在标准不确定度的评定一节中对 B 类评定中输入量估计值分布情况的估计作了详细介绍;在扩展不确定度的评定一节中增加了被测量估计值的分布及其判定,这在不确定度评定中是一个十分重要而又容易被多数人忽视的问题,给出扩展不确定度前应先确定包含因子,而要确定包含因子则必须知道被测量估计值的分布情况;另外,将自由度单独作为一节,在被测量估计值的分布不是接近正态分布,而是其他已知分布时,可不考虑自由度;或是接近正态分布,但能确保有效自由度不小于 15 时,可直接给出包含因子 $k=2$,并进一步说明:“估计被测量估计值接近于正态分布,其对应的包含概率约为 95%”即可。增加了测量不确定度评定的简化途径和方法一节。去掉了测量不确定度估算程序图一节。对第 8 章 Excel 在测量不确定度评定中的应用作了进一步的完善,增加了 Excel 电子表格中单元格的保护,特别是对所给实例根据第 7 章中被测量估计值的分布及其判定进行了修订。第 9 章计量标准考核,则根据 JJF 1033—2008 及其实施指南重新进行了编写,特别是关于测量过程的统计控制——控制图部分,参考 JJG1039—1993《同轴功率计量保证方案》和 JJG1040—1993《射频衰减计量保证方案》中核查控制的处理方法,提出平均值控制图和标准偏差控制图的处理方法,供参考。

此次修订曾得到了山东电力研究院的王照晨副院长、徐民主任、陈伟斌副主任等领导的大力支持与帮助,国家质量监督检验检疫总局教授级高级工程师, JJF1059—1999 主要起草人李慎安(已离休)老师和中国计量出版社总编室朱和平主任对本书的编写和出版给予了热情的帮助和指导,谨此表示衷心感谢!

由于学识有限,此次修订还可能存在疏漏和不妥之处,敬请批评指正。

编者

2008 年 12 月

第三版修订说明

本书自 2004 年 4 月出版至今已近 10 年,于 2009 年 3 月作了第一次修订,期间共进行了 6 次印刷,承蒙广大读者厚爱,在使用过程中提出了一些中肯的修改建议,借此次修订之际笔者一并予以感谢。

此次修订的主要原因是 JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》的发布实施,以及近年来有关测量不确定度评定方法的完善和一些简化处理。同第二版相比,整书的章节结构基本没变,具体修改的内容如下:在第 1 章通用计量术语中,以 JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》为基础,又收录了 JJF 1033—2008《计量标准考核规范》中的部分术语;第 2~6 章做了少量的修订;对第 7 章测量不确定度依据 JJF1059.1—2012 作了较大改动,也使结构更为合理;对第 8 章 Excel 在测量不确定度评定中的应用作了进一步的完善;对第 9 章计量标准考核也作了修改补充。

本书由国网山东省电力公司电力科学研究院(山东电力研究院)范巧成、山东大学物理学院田静、山东省计量科学研究院宋韬、国网山东省电力公司日照供电公司邢成岗、韶关市质量计量监督检测所刘运华共同编著完成。在编写出版过程中,得到了中国质检出版社编辑的热情帮助和指导,在此表示衷心感谢!

由于学识有限,此次修订还可能存在疏漏和不妥之处,敬请批评指正。

编者
2013 年 10 月

本书主编简介

范巧成 1992 年毕业于中国计量学院,同年进入山东电力研究院计量中心工作。现为高级工程师、副教授,山东电力集团公司高级专业技术人才,山东电力研究院专业首席工程师,中国合格评定国家认可委员会实验室认可评审员,全国电磁计量技术委员会直流和安规仪器工作组成员,中国计量测试学会高级会员,中国仪器仪表学会电磁测量信息处理仪器分会第七届理事会理事,《电测与仪表》和《计量技术》杂志审稿人。

主持起草了国家计量检定规程、电力行业标准和国家电网公司企业标准各一部,编著、主编《Excel 在测量不确定度评定中的应用》、《测量不确定度评定的简化方法与应用实例》、《计量基础知识》和《Excel 在测量不确定度评定中的应用及实例》等四部,副主编、参编其他专业著作五部,发表论文三十余篇。

E-mail: fanqiaocheng1999@sina. com。

目 录

1 通用计量术语	1
1.1 量和单位	1
1.2 测量	6
1.3 测量结果	12
1.4 测量仪器	21
1.5 测量仪器的特性	24
1.6 测量标准	30
1.7 法制计量与计量管理	34
2 法定计量单位与国际单位制	44
2.1 国际单位制	44
2.2 法定计量单位	47
2.3 法定计量单位的定义	49
2.4 中华人民共和国法定计量单位使用方法	52
2.5 数和量的表示方法	57
2.6 法定计量单位使用中常见的问题	60
3 计量法规	63
3.1 计量法律制度概述	63
3.2 计量检定	66
3.3 计量监督	71
3.4 计量法律责任	75
3.5 计量法及有关法规	78
4 有效数字及数据修约规则	81
4.1 有效数字的概念及有效位数的确定	81
4.2 数字运算规则	82
4.3 数值修约规则	83
5 测量及测量误差概述	87
5.1 测量的基本概念	87
5.2 测量误差的基本概念	88

6 测量误差的基本性质与处理	92
6.1 随机误差	92
6.2 系统误差	94
6.3 测量结果中的异常值	99
6.4 测量误差的合成及微小误差取舍准则	101
7 测量不确定度评定	105
7.1 测量不确定度概述	105
7.2 测量不确定度的来源和测量模型	107
7.3 标准不确定度的评定	112
7.4 合成标准不确定度的评定	123
7.5 自由度	127
7.6 扩展不确定度的评定	132
7.7 测量结果的不确定度表示	138
7.8 测量不确定度评定的简化途径和方法	140
7.9 测量不确定度在符合性评定中的作用	143
7.10 CNAS 对测量不确定度的要求	146
8 Excel 在测量不确定度评定中的应用	153
8.1 Excel 在合并样本标准差计算中的应用	153
8.2 应用 Excel 计算合成标准不确定度及其有效自由度的原理	158
8.3 应用 Excel 辅助进行测量不确定度评定的步骤	168
8.4 不确定度评定的 Excel 应用实例	170
9 计量标准考核	187
9.1 计量标准考核规范	187
9.2 计量标准考核用表填写与使用说明	198
附录	220
附录 1 中华人民共和国计量法	220
附录 2 中华人民共和国计量法实施细则	223
附录 3 中华人民共和国强制检定的工作计量器具明细目录	230
附录 4 计量标准考核办法	232
参考文献	235

1 通用计量术语

本章所介绍的通用计量术语及定义主要出自 JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》，其中对部分术语给出了解释，供参考。该规范是 JJF 1001—1998 的修订版，其修订主要依据是 ISO/IEC GUIDE 99:2007《国际计量学词汇——基础通用的概念和相关术语》(International vocabulary of metrology—Basic and general concepts and associated terms(VIM))。该规范规定了计量工作中常用术语及其定义，适用于计量领域各项工作，相关领域亦可参考使用。术语的名称除推荐使用的名称外，又有简称、又称和全称。计量与测量含义不尽相同，但在该规范中计量单位与测量单位、计量器具与测量仪器分别为同义术语，测量标准包含计量基准、计量标准，请使用时予以注意。另外，本章还收录了 JJF 1033—2008《计量标准考核规范》中的部分术语。

1.1 量和单位

1.1.1 量

现象、物体或物质的特性，其大小可用一个数和一个参照对象表示。

注：

1. 量可指一般概念的量或特定量。一般概念的量如长度、时间、质量、温度、电阻等；特定量如某根棒的长度、某根导线的电阻等。
2. 参照对象可以是一个测量单位、测量程序、标准物质或其组合。
3. 量的符号见国家标准《量和单位》的现行有效版本，用斜体表示。一个给定符号可表示不同的量。
4. “量”从概念上一般可分为诸如物理量、化学量、生物量，或分为基本量和导出量。

1.1.2 量制

彼此间由非矛盾方程联系起来的一组量。

这里说的量是指一般的量，不是指“特定量”。这些量不是孤立的，而是通过一系列方程式（定义方程式或描述自然规律的方程式）联系在一起的量的体系或系统。物理学、化学等学科为了进行定量研究，在构建其理论体系的同时，也就形成了各自的量的体系。

1.1.3 国际量制

与联系各量的方程一起作为国际单位制基础的量制。

注:

1. 国际量制在 ISO/IEC 80000 系列标准《量和单位》中发布。
2. 国际单位制(SI)建立在国际量制(ISQ)的基础上。

1.1.4 基本量

在给定量制中约定选取的一组不能用其他量表示的量。

例:在国际单位制所考虑的量制中,长度、质量、时间、热力学温度、电流、物质的量和发光强度为基本量。

1.1.5 导出量

量制中由基本量定义的量。

例:在以长度和质量为基本量的量制中,质量密度为导出量,定义为质量除以体积(长度的三次方)所得的商。

1.1.6 量纲

给定量与量制中各基本量的一种依从关系,它用与基本量相应的因子的幂的乘积去掉所有数字因子后的部分表示。

若国际单位制中 7 个基本量的量纲分别为 L、M、T、I、 Θ 、N 和 J 表示,则某量 A 的量纲的表达式为 $\dim A = L^\alpha M^\beta T^\gamma I^\delta \Theta^\epsilon N^\zeta J^\eta$ 。如力的量纲 $\dim F = LMT^{-2}$,电阻的量纲 $\dim R = L^2MT^{-3}I^{-2}$ 。

量纲是用来在给定量制中描述量的物理属性的定性概念,不涉及该量的大小,也不考虑该量是否矢量或张量以及是否带有正负号和数字因数。长度、厚度、波长、周长等这些量的量纲都是 L。例如直径为 d 的圆周长为 πd , πd 这个量的量纲也是 L,因为 π 只是个数,确定量纲时可不考虑。

1.1.7 量纲为一的量,又称无量纲量

在其量纲表达式中与基本量相对应的因子的指数均为零的量。

例:摩擦系数、马赫数、折射率、摩尔分数(物质的量分数)、质量分数。

1.1.8 测量单位、计量单位,简称单位

根据约定定义和采用的标量,任何其他同类量可与其比较使两个量之比用一个数表示。

注:

1. 测量单位具有根据约定赋予的名称和符号。

2. 同量纲量的测量单位可具有相同的名称和符号,即使这些量不是同类量。例如,焦耳每开尔文和 J/K 既是热容量的单位名称和符号也是熵的单位名称和符号,而热容量和熵并非同类量。然而,在某些情况下,具有专门名称的测量单位仅限用于特定种类的量。如测量单位“秒的负一次方”(1/s)用于频率时称为赫兹,用于放射性核素的活度时称为贝克(Bq)。

3. 量纲为一的量的测量单位是数。在某些情况下这些单位有专门名称,如弧度、球面度和分贝;或表示为商,如毫摩尔每摩尔等于 10^{-3} ,微克每千克等于 10^{-9} 。

4. 对于一个给定量,“单位”通常与量的名称连在一起,如“质量单位”或“质量的单位”。

1.1.9 测量单位符号、计量单位符号

表示测量单位的约定符号。

例:m 是米的符号;A 是安培的符号。

1.1.10 单位制,又称计量单位制

对于给定量制的一组基本单位、导出单位、其倍数单位和分数单位及使用这些单位的规则。

例:国际单位制;CGS 单位制。

1.1.11 一贯导出单位

对于给定量制和选定的一组基本单位,由比例因子为 1 的基本单位的幂的乘积表示的导出单位。

例:在国际单位制中, $1\text{N}=1\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$,N(牛顿)就是力的一贯单位。

注:

- 1. 在国际单位制中,全部导出单位都是一贯单位,但其倍数和分数单位则不是一贯单位。
- 2. 一贯性是对给定的单位制而言的。一个单位对于某单位制是一贯的,对于另一单位制就可能不是一贯的。

1.1.12 一贯单位制

在给定量制中,每个导出量的测量单位均为一贯导出单位的单位制。

注:

- 1. 一个单位制可以仅对涉及的量制和采用的基本单位是一贯的。
- 2. 对于一贯单位制,数值方程与相应的量方程(包括数字因子)具有相同形式。

1.1.13 国际单位制(SI)

由国际计量大会(CGPM)批准采用的基于国际量制的单位制,包括单位名称和符号、词头名称和符号及其使用规则。

注:

- 1. 国际单位制建立在 ISQ 的 7 个基本量的基础上,基本量和相应基本单位的名称和符号见表 1—1。

表 1—1 基本量和相应基本单位的名称和符号

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克(公斤)	kg
时间	秒	s

续表

量的名称	单位名称	单位符号
电流	安[培]	A
热力学温度	开[尔文]	K
物质的量	摩[尔]	mol
发光强度	坎[德拉]	cd

2. SI 的基本单位和一贯导出单位形成一组一贯的单位,称为“一组一贯 SI 单位”。

1.1.14 法定计量单位

国家法律、法规规定使用的测量单位。

1.1.15 基本单位

对于基本量,约定采用的测量单位。

注:在每个一贯单位制中,每个基本量只有一个基本单位。

1.1.16 导出单位

导出量的测量单位。

例:在 SI 中,米每秒(m/s)、厘米每秒(cm/s)是速度的导出单位。千米每小时(km/h)是 SI 制外的速度单位,但被采纳与 SI 单位一起使用。节(等于一海里每小时)是 SI 制外的速度单位。

在国际单位制中,为了使用的方便,有些导出单位具有专门的名称和符号,如力的单位名称称为牛顿,符号为 N;压力的单位名称为帕斯卡,符号为 Pa。

1.1.17 制外测量单位、制外计量单位,简称制外单位

不属于给定单位制的测量单位。

例:电子伏(约 $1.602\ 18 \times 10^{-19}$ J)是能量的 SI 制外单位;日、时、分是时间的 SI 制外单位。

1.1.18 倍数单位

给定测量单位乘以大于 1 的整数得到的测量单位。

例:千米是米的十进制倍数单位;小时是秒的非十进制倍数单位。

1.1.19 分数单位

给定测量单位除以大于 1 的整数得到的测量单位。

例:毫米是米的十进分数单位。对于平面角,秒是分的非十进分数单位。

1.1.20 量值,全称量的值

用数和参照对象一起表示的量的大小。

例:

1. 给定杆的长度:5.34m 或 534cm。

2. 给定物体的质量:0.152kg 或 152g。
3. 在给定频率上给定电路组件的阻抗(其中 j 是虚数单位): $(7+3j)\Omega$ 。
4. 给定玻璃样品的折射率:1.52。
5. 铜材样品中镉的质量分数: $3\mu\text{g/kg}$ 或 3×10^{-9} 。
6. 给定样品的洛氏 C 标尺硬度(150kg 负荷下):43.5HRC(150kg)。
7. 在给定血浆样本中任意镉亲菌素的物质的量浓度(世界卫生组织国际标准 80/552):50 国际单位/l。

注:

1. 根据参照对象的类型,量值可表示为:一个数和一个测量单位的乘积(见例 1,2,3,5),量纲为一,测量单位 1,通常不表示(见例 4 和 5);一个数和一个作为参照对象的测量程序(见例 6);一个数和一个标准物质(见例 7)。

2. 数可以是复数(见例 3)。

3. 一个量值可用多种方式表示(见例 1,2 和 5)。

1.1.21 量的真值,简称真值

与量的定义一致的值。

注:

1. 在描述关于测量的“误差方法”中,认为真值是唯一的,实际上是不可知的。在“不确定度方法”中认为,由于定义本身细节不完善,不存在单一真值,只存在与定义一致的一组真值,然而,从原理上和实际上,这一组值是不可知的。另一些方法免除了所有关于真值的概念,而依靠测量结果计量兼容性的概念去评定测量结果的有效性。

2. 在基本常量的这一特殊情况下,量被认为具有一个单一真值。

3. 当被测量的定义的不确定度与测量不确定度其他分量相比可忽略时,认为被测量具有一个“基本唯一”的真值。这就是 GUM 和相关文件采用的方法,其中“真”字被认为是多余的。

真值不是一个纯客观的概念,它与人为的定义联系在一起。没有给定的特定量的定义,也就无从谈起这个量的真值。即使对于一个具体的量块的厚度这样一个特定量,由于量块的两个工作面不可能是理想的平行平面,也就无法肯定只有一个唯一的厚度定义,因而也无法肯定只有一个唯一的真值。同时,还有个如何获得或确定真值的问题。除了像“平面三角形三个内角之和的真值等于 π 弧度”、“国际千克原器的质量的真值等于 1kg”这类命题中的“真值”,不通过测量即可获得外,一般特定量的值都是必须通过测量才能获得的;而只要进行测量,就必然伴随着不等于零的误差范围或不确定度。而且即使对于以上两个命题,特定的三角形并不能保证是理想的平面上的三角形;国际千克原器的质量实际上也在不断地变化,只是人们在一定条件下认为不变而已。

总之,真值是一个理想化的概念,从量子效应和测不准原理来看,真值按其本性是不能被最终确定的。另外,自然界任何物体都处在永恒的运动中,一个量在一定时间和空间都会发生变化,从而具有不同的真值。真值是指在瞬间条件下的值,实际上真值常常不知道。但这并不排除对特定量的真值可以不断地逼近。特别是对于给定的实用目的,所需要的量值总是允许有一定的误差范围或不确定度的。因此,总是有可能通过不断改进特定量的定义、测量方法和测量条件等,使获得的量值足够地逼近真值,满足实际使用该量值时的需要。

1.1.22 约定量值,又称量的约定值

对于给定目的,由协议赋予某量的量值。

例:标准自由落体加速度(以前称标准重力加速度) $g_n = 9.806\,65\text{ms}^{-2}$ 。约瑟夫逊常量的约定量值 $K_{J-90} = 483\,597.9\text{GHzV}^{-1}$ 。给定质量标准的约定量值 $m = 100.003\,47\text{g}$ 。

注:

1. 有时将术语“约定真值”用于此概念,但不提倡这种用法。
2. 有时约定量值是真值的一个估计值。
3. 约定量值通常被认为具有适当小(可能为零)的测量不确定度。

1.1.23 量的数值,简称数值

量值表示中的数,而不是参照对象的任何数字。

1.1.24 标称特性

不以大小区分的现象、物体或物质的特性。

例:人的性别;油漆样品的颜色;化学中斑点测试的颜色。

注:

1. 标称特性具有一个值,它可用文字、字母代码或其他方式表示。
2. “标称特性值”不要与“标称量值”混淆。

1.2 测量

1.2.1 测量

通过实验获得并可合理赋予某量一个或多个量值的过程。

注:

1. 测量不适用于标称特性。
2. 测量意味着量的比较并包括实体的计数。
3. 测量的先决条件是对测量结果预期用途相适应的量的描述、测量程序以及根据规定测量程序(包括测量条件)进行操作的经校准的测量系统。

1.2.2 计量

实现单位统一、量值准确可靠的活动。

计量包括科学技术上的、法律法规上的和行政管理上的活动。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。

确定被测量的量值是测量的目的,最终是为了社会应用。因此,在不同时间、地点由不同的操作者用不同仪器所确定的同一个被测量的量值,应当具有可比性。只有当选择测量单位遵循统一的准则,并使所获得的量值具有必要的准确度和可靠性时,才能保证这种可比性。显

然,对测量的这种要求不会自发地得到满足,必须由社会上的有关机构、团体以及政府进行有组织的活动才能达到。这些活动,大体上包括进行科学研究、发展测量技术、建立基准(标准)与保证测量结果具有溯源性的物质技术基础,以及制定计量法律、法规、条例,开展计量行政管理,才能保证经济而有效地为社会提供计量服务。

实际上,人类为了生存和发展必须认识自然、利用自然和改造自然,而自然界的一切现象、物体或物质,是通过一定的“量”来描述和体现的。也就是说,“量是现象、物体或物质的特性,其大小可用一个数和一个参照对象表示”。因此,要认识大千世界和造福人类社会,就必须对各种“量”进行分析和确认,既要区分量的性质,又要确定其量值。计量正是达到这种目的的重要手段之一。在这个意义上可以广义地认为,计量是对“量”的定性分析和定量确认的过程。实际上,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。有关的文字记载和器物遗存证明,早在数千年前,出于生产、贸易和征收赋税等方面的需要,古埃及、巴比伦、印度和中国等地均已开始进行长度、面积(尤其是土地面积)、容积(主要是为确定粮食的数量)和质量(重量)的测量。

在相当长的历史时期内,计量的对象主要是物理量,后来随着科技进步和社会发展而扩展到工程量、化学量、生理量,甚至心理量。当前普遍开展和比较成熟或传统的有几何量、温度、力学、电磁、无线电、时间频率、光学、电离辐射、声学 and 化学等,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。

随着科技、经济和社会的发展,计量的内容也在不断地扩展和充实,通常可概括为 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;量值传递与量值溯源,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;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,计量器具是对量的定性分析和定量确认进行管理的最为常用的直接手段。实际上,计量器具起着扩展和延伸人类感官和神经系统的作用,增强了人类认识自然的能力,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,机器配上计量器具才能发挥更大的作用,这正在诸如柔性机床、加工中心等机电一体化的机器中得到体现,并已成为发展趋势。

计量的特点取决于计量所从事的工作,即为实现单位统一、量值准确可靠而进行的科技、法制和管理活动,概括地说,可归纳为准确性、一致性、溯源性及法制性 4 个方面。

准确性是指测量结果与被测量真值的一致程度。由于实际上不存在完全准确无误的测量,因此在给出量值的同时,必须给出适应于应用目的或实际需要的不确定度或误差范围。否则,所进行的测量的质量(品质)就无从判断,量值也就不具备充分的实用价值。所谓量值的准

确,即是在一定的不确定度、误差极限或允许误差范围内的准确。

一致性是指在统一计量单位的基础上,无论在何时、何地,采用何种方法,使用何种计量器具,以及由何人测量,只要符合有关的要求,其测量结果就应在给定的区间内一致。也就是说,测量结果应是可重复、可再现(复现)、可比较的。换言之,量值是确实可靠的,计量的核心实质是对测量结果及其有效性、可靠性的确认,否则计量就失去其社会意义。计量的一致性不仅限于国内,也适用于国际,例如国际关键比对和辅助比对结果应在等效区间或协议区间内一致。

溯源性是指任何一个测量结果或计量标准的值,都能通过一条具有规定不确定度的连续比较链,与计量基准联系起来。这种特性使所有的同种量值,都可以按这条比较链通过校准向测量的源头追溯,也就是溯源到同一个计量基准(国家基准或国际基准),从而使准确性和一致性得到技术保证。否则,量值出于多源或多头,必然会在技术上和管理上造成混乱。所谓“量值溯源”,是指自下而上通过不间断的校准而构成溯源体系;而“量值传递”,则是自上而下通过逐级检定而构成检定系统。

法制性来自于计量的社会性,因为量值的准确可靠不仅依赖于科学技术手段,还要有相应的法律、法规和行政管理。特别是对国计民生有明显影响,涉及公共利益和可持续发展或需要特殊信任的领域,必须由政府主导建立起法制保障。否则,量值的准确性、一致性及溯源性就不可能实现,计量的作用也难以发挥。

由此可见,计量不同于一般的测量。测量是为确定量值而进行的全部操作,一般不具备、也不必具备计量的4个特点。所以,计量属于测量而又严于一般的测量,在这个意义上可以狭义地认为,计量是与测量结果置信度有关的、与不确定度联系在一起的规范化的测量。实际上,科技、经济和社会愈发展,对单位统一、量值准确可靠的要求愈高,计量的作用也就愈显重要。

1.2.3 计量学

测量及其应用的科学。

注:计量学涵盖有关测量的理论及其不论其测量不确定度大小的所有应用领域。

从学科发展来看,计量学是物理学的一部分,后来随着领域和内容的扩展而形成了一门研究测量理论与实践的综合性科学。特别是计量学作为一门科学,它同国家法律、法规和行政管理紧密结合的程度,在其他学科中是少有的。

人们从不同的角度,对计量学进行过不同的分类。例如:把涉及计量单位的换算、计量器具基本特性、测量数据处理等共性问题的,称为通用计量学;把涉及长度、温度、硬度等特定量具体应用的,称为应用计量学;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,称为技术计量学;把涉及量的定义和单位的实现、复现等测量理论的,称为理论计量学;把涉及计量工作中法律、法规和法定要求与法制管理的,称为法制计量学;把涉及计量在国民经济中作用和效益评估的,称为经济计量学或效益计量学;等等。当前,国际上趋向于把计量学分为科学计量、工程计量和法制计量3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3个方面。这时,计量学通常简称为计量。

科学计量是指基础性、探索性、先行性的计量科学研究,通常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