

计量人员培训参考书

计 量 基 础 知 识

主 编 范巧成

副主编 黄奇峰 王 莉 范 洁

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、计量标准考核用证表填写与使用说明以及部分相关计量法规等。这些内容都是与国家现行标准和规范相适应的。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,范巧成和黄奇峰、王莉、范洁担任主编和副主编。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,《JJF 1059—1999》主要起草人李慎安(已离休)老师对此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

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	(11)
1.4 测量仪器	(22)
1.5 测量仪器的特性	(30)
1.6 测量标准	(41)
1.7 法制计量与计量管理	(45)
2 法定计量单位与国际单位制	(58)
2.1 国际单位制	(58)
2.2 法定计量单位	(62)
2.3 法定计量单位的定义	(65)
2.4 中华人民共和国法定计量单位使用方法	(67)
2.5 数和量的表示方法	(72)
2.6 法定计量单位使用中常见的问题	(76)
3 计量法规	(78)
3.1 计量法律制度概述	(78)
3.2 计量检定	(81)
3.3 计量监督	(86)
3.4 计量法律责任	(91)
3.5 计量法及其有关法规	(93)
4 有效数字及数据舍入规则	(96)
4.1 有效数字的概念及有效位数的确定	(96)
4.2 数字运算规则	(97)
4.3 数值修约规则(GB 8170—87)	(98)
5 测量及测量误差概述	(103)
5.1 测量的基本概念	(103)
5.2 测量误差的基本概念	(104)
6 测量误差的基本性质与处理	(108)
6.1 随机误差	(108)
6.2 系统误差	(110)

6.3	测量结果中的异常值	(115)
6.4	测量误差的合成及微小误差取舍准则	(117)
7	测量不确定度	(121)
7.1	测量不确定度的评定与表达的由来	(121)
7.2	基本术语及其概念	(123)
7.3	产生测量不确定度的原因和测量模型化	(131)
7.4	标准不确定度的 A 类评定	(135)
7.5	标准不确定度的 B 类评定	(138)
7.6	合成标准不确定度的评定	(142)
7.7	扩展不确定度的评定	(147)
7.8	测量不确定度的报告与表示	(148)
7.9	测量误差与测量不确定度的区别	(150)
7.10	不确定度在数据判别中的应用	(152)
7.11	t 分布临界值的确定	(154)
7.12	概率分布情况的估计(参考件)	(155)
7.13	测量不确定度估算程序图	(156)
7.14	测量仪器特性评定(JJF 1094—2002)	(158)
8	Excel 在测量不确定度评定中的应用	(177)
8.1	Excel 在合并样本标准差计算中的应用	(177)
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	(181)
8.3	Excel 在不确定度分量的汇总及扩展不确定度计算中的应用	(193)
8.4	应用 Excel 进行测量不确定度评定的步骤	(198)
8.5	校准不确定度评定的 Excel 应用实例	(200)
9	计量标准考核	(217)
9.1	计量标准考核规范	(217)
9.2	计量标准考核用证、表填写与使用说明	(229)
附 录		(249)
附录 1	中华人民共和国计量法	(249)
附录 2	中华人民共和国计量法实施细则	(252)
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	(259)
附录 4	计量标准考核办法	(261)
附录 5	水利电力部门电测、热工计量仪表和装置检定、管理的规定	(263)
附录 6	仲裁检定和计量调解办法	(264)
附录 7	CNAL/AR11:2002 测量不确定度政策	(266)
附录 8	CNAL/AR10:2002 量值溯源政策	(269)
附录 9	常用电测仪表的基本误差表示形式	(273)

参考文献

1 通用计量术语

本章所介绍的通用计量术语及定义皆出自国家计量技术规范 JJF1001—1998《通用计量术语及定义》，其中对部分术语给出了解释，供参考。该规范供制定、修订计量技术法规使用，在计量工作的其他方面及相关科技领域亦可参考使用。计量与测量含义不尽相同，但在本规范中计量单位与测量单位，计量器具与测量仪器，计量基准、标准与测量标准分别为同义语，请使用时予以注意。

1.1 量和单位

1.1.1 [可测量的]* 量

现象、物体或物质可定性区别和定量确定的属性。

注：

1. 术语“量”可指一般意义的量或特定量。一般意义的量如长度、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. 可相互比较并按大小排序的量称为同种量。若干同种量合在一起可称之为同类量，如功、热、能；厚度、周长、波长。

可定性区别是指量在性质上的异同是可以识别的，例如同一物体的质量和体积是性质不同的两个量，而两个物体的温度尽管高低不同，却是性质相同的一个量。可定量确定则是指量的可比较性，例如不同物体的体积（或质量，或温度）是可以相互比较和按大小（或轻重，或高低）排序的。可相互比较并按彼此相对大小排序的量称为同种量，如砝码组中各砝码的质量。某些在定义和应用上有些特点相同的同种量可组合在一起则称之为同类量，如功、热、能；厚度、周长、波长、距离、直径等。量还有“一般”和“具体”之分。有特定载体和定义的量，如某根棒的长度、某根导线的电阻等，称为“特定量”。实验操作中的量都是“特定量”，而从无数特定同种量中抽象出来的量，如长度、电阻、质量、温度等，则是一般的量。

1.1.2 量制

彼此间存在确定关系的一组量。

这里说的量是指一般的量，不是指“特定量”。“彼此间存在确定关系”，是说这些量不是孤立的，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

* 方括号[]中的字一般可省略，圆括号()中的字表示注释或补充。下同。

的量的体系。

1.1.3 基本量

在给定量制中约定地认为在函数关系上彼此独立的量。

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。

1.1.4 导出量

在给定量制中由基本量的函数所定义的量。

例:在国际单位制所考虑的量制中,速度是导出量,定义为长度除以时间。

1.1.5 量纲

以给定量制中基本量的幂的乘积表示某量的表达式。

例: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 $\dim A = L^2MT^{-3}I^{-2}$ 。

为了建立单位制和引入量纲概念,通常将量制中的某几个量约定地认为在函数关系上彼此独立,并称之为基本量;而其他的量则作为基本量的函数加以定义,并称之为导出量。

某量的量纲,是指以给定量制中基本量的幂的乘积表示该量的表达式。上式右边即为量A的量纲(或称量纲积、量纲式),L,M,T,I,Θ,N和J分别为基本量长度、质量、时间、电流、热力学温度、物质的量和发光强度的量纲符号, $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ 分别称为长度量纲指数、质量量纲指数、时间量纲指数……

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长度,符号都是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,确定量纲时可不予考虑。

1.1.6 量纲一的量、无量纲量

在量纲表达式中,其基本量量纲的全部指数均为零的量。

例:线应变、摩擦系数、马赫数、折射率、摩尔分数(物质的量分数)、质量分数。

注:在国际单位制中,任何量纲一的量其一贯单位(参见1.1.10)都是一,符号是1。

1.1.7 [测量]单位、[计量]单位

为定量表示同种量的大小而约定地定义和采用的特定量。

注:

1. 测量单位具有约定地赋予的名称和符号。
2. 同量纲量(不一定是同种量)的单位可有相同的名称和符号。

1.1.8 [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。

1.1.9 [测量]单位制、[计量]单位制

为给定量制按给定规则确定的一组基本单位和导出单位。

例:a)国际单位制;

b)CGS 单位制。

1.1.10 一贯[导出][测量]单位、一贯[导出][计量]单位

可由比例因数为 1 的基本单位幂的乘积表示的导出测量单位。

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。

1.1.11 一贯[测量]单位制、一贯[计量]单位制

全部导出单位均为一贯单位的测量单位制。

例:下列单位(用符号表示)为国际单位制中力学一贯单位的一部分:

$\text{m}; \text{kg}; \text{s};$

$\text{m}^2; \text{m}^3; \text{Hz} = \text{s}^{-1}; \text{m}\cdot\text{s}^{-1}; \text{m}\cdot\text{s}^{-2}; \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}; \text{N} = \text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2};$

$\text{Pa} = \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}; \text{J} = \text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}; \text{W} = \text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-3}。$

1.1.12 国际单位制(SI)

由国际计量大会(CGPM)采纳和推荐的一种一贯单位制。

注:

- 1.SI 是国际单位制的国际通用符号。
2. 目前,国际单位制基于下列 7 个基本单位:

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
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

1.1.13 基本[测量]单位、基本[计量]单位

给定量制中基本量的测量单位。

注:在给定的一贯单位制中,每个基本量只有一个基本单位。

1.1.14 导出[测量]单位、导出[计量]单位

给定单位制中导出量的测量单位。

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

1.1.15 制外[测量]单位、制外[计量]单位

不属于给定单位制的测量单位。

例:a)电子伏(约 $1.602\ 18 \times 10^{-19}$ J)为能的 SI 制外单位;

b)日、时、分为时间的 SI 制外单位。

1.1.16 倍数[测量]单位、倍数[计量]单位

按约定的比率,由给定单位构成的更大的测量单位。

例:a)千米(公里)是米的十进制倍数单位之一;

b)小时是秒的非十进制倍数单位之一。

1.1.17 分数[测量]单位、分数[计量]单位

按约定的比率,由给定单位构成的更小的测量单位。

例:毫米是米的十进分数单位之一。

注:分数单位是约定比率小于 1 的倍数单位。

1.1.18 量值

一般由一个数乘以测量单位所表示的特定量的大小。

例:5.34 m 或 534 cm, 15 kg, 10 s。

注:对于不能由一个数乘以测量单位表示的量,可以参照约定参考标尺,或参照测量程序,或两者都参照的方式表达。

任意一个特定量都可表示为量值,而量值为一个数与某选择的测量单位之积。设量为 Q , 以 $[Q]$ 表示选择的 Q 的单位,而在这一单位的 Q 所具有的数值可表示为 $\{Q\}$, 故有 $Q = \{Q\} \cdot [Q]$ 。

显然,数值的大小决定于单位,只有在给定单位的前提下,才能给出数值。例如:可用 5.34 m 或 534 cm 表示某棒的长度。这里用 5.34 m 和 534 cm 所表示的量的大小是相同的。因此,一个特定量的量值,与所选择的单位无关,而其数值则与所选择的单位的大小成反比。因此, $\{Q\} = Q/[Q]$ 。

1.1.19 [量的]真值

与给定的特定量的定义一致的值。

注:

1. 量的真值只有通过完善的测量才有可能获得。

2. 真值按其本性是不确定的。

3. 与给定的特定量定义一致的值不一定只有一个。

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 1 kg ”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,其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。

1.1.20 [量的]约定真值

对于给定目的具有适当不确定度的、赋予特定量的值,有时该值是约定采用的。

例:a)在给定点,取由参考标准赋予该量的值作为约定真值。

b)常数委员会(CODATA)1986年推荐的阿伏加德罗常数 $6.022\ 136\ 7 \times 10^{23}\text{ mol}^{-1}$ 。

注:

1. 约定真值有时称为指定值、最佳估计值、约定值或参考值。
2. 有时常常用某量的多次测量结果来确定约定真值。

实际上对于给定目的,并不需要获得特定量的真值,而只需要与该真值足够接近的,即其不确定度满足需要的值。特定量的这样的值就是约定真值,对于给定的目的可用它来代替真值。获得特定量约定真值的方法,通常有以下几种:

- (1) 由国家基准或当地最高计量标准复现而赋予该特定量的值。
- (2) 采用权威组织推荐的该量的值。例如,由常数委员会(CODATA)推荐的真空光速、阿伏加德罗常量等特定量的最新值。
- (3) 有时用某量的多次测量结果来确定该量的约定真值。
- (4) 对于硬度等量,则用其约定参考标尺上的值作为约定真值。

1.1.21 [量的]数值

在量值表示中与单位相乘的数。

例:1.1.18例中的5.34,534,15,10。

1.1.22 约定参考标尺、参考值标尺

针对某种特定量,约定地规定的一组有序的、连续或离散的量值,用作该种量按大小排序

的参考。

- 例:a)莫氏硬度标尺;
b)化学中的 pH 值标尺;
c)用于石油燃料的辛烷值标尺。

1.2 测 量

1.2.1 测量

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。

这个定义包括三层内涵:

(1)测量是操作,至于是什么样的操作,没有做具体规定。它可能是一项复杂的物理实验,也可能是一个简单的动作。这种操作可以是自动进行的,也可以是手动或半自动的。

(2)这里强调的是一组操作或一套操作,意指操作的全过程,直到给出测量结果或报告。也就是从明确或定义被测量开始,包括选定测量原理和方法、选用测量标准和仪器设备、控制影响量的取值范围、进行实验和计算,一直到获得具有适当不确定度的测量结果。

(3)该组操作的“目的”在于确定量值,这里没有限定测量范围和测量不确定度。

因此,这个定义适用于诸多方面和各种领域。

这个定义与过去曾广泛流行的定义——“测量是将被测量与一个被选作单位的特定同类量比较,得出该量是单位的多少倍的实验过程”相比,显然更为概括。它们的主要差别在于:旧定义只适用于狭义的物理量,即那些在理论上已得到充分阐明的,包含在有关物理方程式中的量,不适用于其定义与特定参考标尺相联系量(如材料的硬度、化学中的 pH 值、燃油的辛烷值等);新定义则可适用于所有可测量的量。但是,新旧两个定义的中心思想或目标是相同的,即测量的目的是要把所研究的量与一个数值联系起来。对于物理量,是以一个数值乘以该量的一个单位的形式来建立联系;对于其他可测量的量,则是通过一个数值与一个表示特定参考标尺的符号来建立联系。这样,通过测量就可将无法直接计数和排序的量,转变为可以计数或排序,从而使人们对物体、物质和自然现象属性的认识和掌握,达到从定性到定量的转化。

测量起源于遥远的古代,当时被测的量主要限于长度、容积、质量(重量)和土地面积等几个量。中国古代的“度量衡”,在作动词解释时,度是指长度测量,量是指容积测量,衡是指质量(重量)测量。随着人类社会进入工业化和信息化时代,国际交往和贸易快速增长,特别是物理学等“精确科学”的发展,不仅使需要测量的量达到数以百计,而且其量值范围不断扩大,不确定度要求不断提高,还出现了对动态测量、实时测量、综合测量及严酷环境下特殊测量的新需求。

在计量学中,测量既是核心概念,又是研究对象。所以,人们有时也称测量为计量,例如称测量单位为计量单位,称测量标准为计量标准等。

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、物体或物质可定性区别与定量确定的一种属性。”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。然而,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,计量的核心实质上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;所谓“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,涉及公众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

关于测量的科学。

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。
3. 计量学曾称度量衡学和权度学。

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,计量基准与标准的研制,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。

计量学是关于测量的科学,意味着它要求单位的定义建立在最新科技成果的基础上,能以当前最小的不确定度实现或复现,并在过渡到新定义时保持原来的单位尺度或大小不变。同时,还要求所有单位构成一个简明的、可在各国和各学科中通用的单位体系,即构成一个实用的一贯单位制。科学家们经过一百多年的努力,在米制基础上建立的国际单位制(SI),就是一种这样的单位制。在其包含的7个基本单位中,秒的定义建立在铯原子常量的基础上,实现的不确定度约为 10^{-15} 量级,是全部单位中最好的;米的定义建立在真空光速和秒定义基础上;开尔文的定义建立在水三相点的特定物质常量基础上;摩尔的定义建立在碳原子常量和千克定义基础上;安培的定义建立在真空磁导率和米、千克、秒定义基础上;坎德拉的定义建立在特定单色辐射和米、千克、秒定义基础上;千克的定义则建立在特定宏观物体的脆弱基础上,对其进行修改的要求最为迫切,实现的可能方案尚在探索中。从对单位定义的理论要求看,基本单位最好仅仅定义在基本物理常量基础上,以便保持单位的尺度恒久不变;从对单位在实际测量中的使用要求看,则希望实现或复现的不确定度越小越好。计量学家只能在满足实际使用要求的前提下,去追求理论上的完善。

工程计量也称工业计量,是指各种工程、工业、企业中的实用计量,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,在以高技术为基础的经济构架中显得尤为重要。利用纳米技术可以操纵单个原子,从而为制造量子器件或单电子器件以及制造原子密度的数据存储器提供了可能。如果说三四十年代的核技术是对物质潜在能量的开发,使“单位质量物质”的爆炸能力提升百万倍的话,那么,纳米技术将是对物质潜在信息和结构的开发,将使“单位体积物质”储存和处理信息的能力增加百万倍。这里,计量型原子力显微镜和具有扫描隧道及原子力探头的扫描探针显微镜,将为评定纳米测量不确定度的影响因素及统一纳米量值的方法提供有力手段。

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。

1.2.4 测量原理

测量的科学基础。

例:a)应用于温度测量的热电效应;

b)应用于电位测量的约瑟夫森效应;

c)应用于速度测量的多普勒效应;

d)应用于分子振动波数测量的喇曼效应。

1.2.5 测量方法

进行测量时所用的,按类别叙述的一组操作逻辑次序。

注:测量方法可按不同方式分类,如替代法、微差法、零位法。

1.2.6 测量程序

进行特定测量时所用的,根据给定的测量方法具体叙述的一组操作。

注:测量程序(有时被称为测量方法)通常记录在文件中,并且足够详细,以使操作者在进行测量时不再需要补充资料。

1.2.7 被测量

作为测量对象的特定量。

注:对被测量的详细描述,可要求包括其他有关量(如时间、温度和压力)作出说明。

1.2.8 影响量

不是被测量但对测量结果有影响的量。

例:测量电阻时的温度。

1.2.9 测量信号

表示被测量并与该量有函数关系的量。

例:a)压力传感器的输出电信号;

b)电压频率变换器的频率;

c)用以测量浓度差的电化学电池的电动势。

注:进入测量系统的输入信号可称为激励,输出信号可称为响应。

1.2.10 [被测量的]变换值

表示给定被测量的测量信号的值。

1.3 测量结果

1.3.1 测量结果

由测量所得到的赋予被测量的值。

注：

1. 在给出测量结果时,应说明它是示值、未修正测量结果或已修正测量结果,还应表明它是否为几个值的平均。
2. 在测量结果的完整表述中应包括测量不确定度,必要时还应说明有关影响量的取值范围。

确切地说,测量结果是由测量所得到的属于被测量或认作被测量的值。使用这一术语时,应说明它是示值(见 1.3.2)、未修正测量结果(见 1.3.3)或已修正测量结果(见 1.3.4),还应表明它是否为几个值的平均,也即它是由单次观测所得,还是由多次观测所得。若是单次,则观测值(observed value)就是测量结果。若是对同一量的多次观测,则其算术平均值才是测量结果;在很多精密测量的情况下,测量结果是根据重复观测确定的。

一般地说,观测值是指从一次观测中由显示器所得到的单一值,有时也称为测得值(measured value);测量结果则是指对观测值或测得值进行恰当处理、修正或经过必要计算而得到的量值或报告值。可以说前者是测量中间环节,而后者是测量的完成或终结。在上下文不会混淆的情况下,有时把测得值或观测值也称为测量结果。

若使用的是间接测量法或定义测量法,则对测得值须借助于已知的函数关系或量的单位定义,才能得到测量结果。测量结果只是被测量值的近似或估计值。因此,在测量结果的完整表示中,应包括或附有测量不确定度(见 1.3.9),必要时还应说明测量所处的条件,或影响量(见 1.2.8)的取值范围。

关于测量结果表示的有效位数,通常保留到与扩展不确定度(见 1.3.14)的有效位相同;或者说,当不确定度与测量结果采用相同单位时,其末位对齐。

1.3.2 [测量仪器的]示值

测量仪器所给出的量的值。

注：

1. 由显示器读出的值可称为直接示值,将它乘以仪器常数即为示值。
2. 这个量可以是被测量、测量信号或用于计算被测量之值的其他量。
3. 对于实物量具,示值就是他所标出的值。

这里是指在读数瞬间,由测量仪器的指示装置所提供(给出)的、以被测量单位表示的被测量值;如果指示装置标尺上标注的单位不是被测量单位,则直接读取的量值称为标尺值或直接示值,需乘以仪器常数后才算是测量仪器的示值。

示值的概念既适用于测量仪器,也适用于实物量具。对于带指示装置的量具,其给出值的方式与测量仪器相似,诸如可变电容器、信号发生器等;对于无指示位置的量具,诸如量块、砝码、标准电阻器等,则其标出的值或标称值就是示值。

对于模拟式测量仪器而言,示值的概念也适用于相邻标尺标记间的内插估计值。对于记录式测量仪器而言,示值可理解为在给定的时刻,记录装置的记录元件(如笔头)的位置所对应的被测量值。总之,这个示值可以是被测量值、测量信号的值或用于计算被测量值的其它量

值。显然,示值有时就是测量结果。

测量仪器的示值是个经常用到的重要概念之一。校准或检定测量仪器时,主要的工作就是给仪器赋值或确定它们的示值误差;使用测量仪器时,主要关心的也是其示值误差对测量结果的影响。

1.3.3 未修正结果

系统误差修正前的测量结果。

即对测量结果中所包含的系统误差(见 1.3.20)尚未进行修正时的测量结果。当由测量仪器获得的只是单个示值时,该示值通常是未修正结果;当获得几个示值时,未修正结果通常由这几个示值的算术平均值求得。

例如:用某尺测量圆柱直径,单次观测所得的示值为 14.7 mm,则该测得值是未修正结果。如果进行 10 次观测,所得的示值分别为 14.9 mm, 14.6 mm, 14.8 mm, 14.6 mm, 14.9 mm, 14.7 mm, 14.7 mm, 14.8 mm, 14.9 mm, 14.8 mm,则该测量列的未修正结果为其算术平均值,即 $(14.9 \text{ mm} + 14.6 \text{ mm} + \cdots + 14.8 \text{ mm})/10 = 14.77 \text{ mm} \approx 14.8 \text{ mm}$ 。

1.3.4 已修正结果

系统误差修正后的测量结果。

即对测量结果中所包含的系统误差进行修正后的测量结果。系统误差中已识别(已掌握)的系统误差,其大小与符号均为已知,从而可以按“修正值”(见 1.3.21)进行修正。

在“未修正结果”例子中,若该尺经量块检定,其修正值为 -0.1 mm ,则单次测量的已修正结果为 $(14.7 - 0.1) \text{ mm} = 14.6 \text{ mm}$;而 10 次测量的已修正结果为 $(14.8 - 0.1) \text{ mm} = 14.7 \text{ mm}$ 。

实际上,测量结果中的系统误差是不能完全获知,也不可能准确掌握的,因而修正值本身仍然含有不确定度。

1.3.5 测量准确度

测量结果与被测量真值之间的一致程度。

注:

1. 不要用术语“精密度”代替“准确度”。
2. 准确度是一个定性概念。

上述定义中的“一致程度”,不是定量,而是定性的。关于准确度是一个定性概念的问题,可以从以下三个方面理解。首先,被测量真值其实就被测量本身,而与给定的特定量定义一致的所谓真值,仅是一个理想化的难以操作的概念。因此,不可能准确而定量地给出准确度的值。其次,传统的误差理论认为准确度是系统误差与随机误差的综合,而对它们的合成方法,国际上一直没有统一。最后,习惯上所说的准确度其实表示的是不准确的程度,但人们又不愿意用贬意的称谓,而宁可用褒意的称谓。因此,在表示准确度高时,准确度的值却是更小。这样当准确度小于 1% 时,究竟是表示误差小于 1%,还是误差大于 1%,有时让人搞不明白引入准确度概念的必要性。

作为历史形成的习惯用语,国际标准化组织等七个国际组织在 1993 年规定,沿用的准确度只是测量结果与被测量真值之间的一致程度或接近程度,只是一个定性概念,不宜将其定量