

(第4版)

实用测量不确定度评定

SHIYONG CELIANG

BUQUEDINGDU

PINGDING

倪育才 编著



中国质检出版社
中国标准出版社

实用测量不确定度评定

(第4版)

倪育才 编著

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

实用测量不确定度评定/倪育才编著. —4版. —北京:中国质检出版社,2014.1
ISBN 978-7-5026-3932-7

I. ①实… II. ①倪… III. ①测量—不确定度—基本知识 IV. ①TB9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 278341 号

内 容 提 要

本书针对在测量不确定度评定中遇到的实际问题,介绍了有关术语,阐述了读者易混淆的几个基本概念,如测量误差、测量准确度和测量不确定度等之间的关系。从原理、方法、表示等方面介绍了测量不确定度的评定。书中还给出了测量不确定度评定的实例,这些实例分析严谨,经得起推敲,每个实例后面作者都做了非常实用的评注。此次修订采纳了 JJF 1059.1—2012 和 JJF 1001—2011 的内容。

本书可供科研单位、检测/校准机构及工矿企业从事计量检定、检测/校准、产品检验、精密测试、质量管理及科学实验的人员使用,还可供高等院校有关专业的师生使用。



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 17.75 字数 412 千字

2014年1月第四版 2014年1月第九次印刷

*

定价 59.00 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 4 版前言

近期在测量不确定度评定领域的最重要的进展是国家发布了 JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》以及 JJF 1059.2—2012《用蒙特卡洛法评定测量不确定度》。

为了适应测量不确定度的进一步发展,与 JJF 1001—1998(对应于 VIM 第 2 版)相比, JJF 1001—2011(对应于 VIM 第 3 版)中某些术语的定义和概念有必要作相应的变动。但由于不确定度评定的 GUM 方法仍在各测量领域大量使用,因此在 VIM 第 3 版中某些术语不仅引入了新的定义和概念,且在其定义的注解中同时还保留了原先 GUM 方法中的定义和概念。

例如术语“测量不确定度”,在 ISO/IEC GUIDE 98-3:2008《测量不确定度第 3 部分:测量不确定度表示指南》(简称 GUM)中仍采用 VIM 第 2 版的定义,而与之对应的国家计量技术规范 JJF 1059.1—2012 则采用了 VIM 第 3 版给出的新定义。实际上,VIM 的改版,对于绝大多数应用领域的测量不确定度评定并无很大影响。

根据 VIM 第 2 版的概念,认为被测量最终可用符合其定义的唯一真值来描述,测量的目的是要给出尽可能接近于该唯一真值的一个量值,但由于测量过程均会产生误差,并且无法具体得到所给测量结果的误差,因此只能估计出其不确定度。VIM 第 3 版的概念则认为测量的目的并不是要确定尽可能接近于真值的某个量值,而是根据所得到的与测量有关的信息,确定被测量的量值区间,得到符合定义要求的一组量值。增加可以得到的信息量,可以减小所确定的被测量的量值区间,也就是说可以减少这一组量值。但由于被测量定义中关于细节量的描述总是有限的,因此即使是最精确的测量也不可能将这一组量值缩小为单一量值。

根据 VIM 第 2 版的概念,术语“测量结果”是通过测量赋予被测量的“一个”量值,而在测量结果的完整表述中,还应给出其测量不确定度。根据 VIM 第 3 版的概念,认为“测量结果”也不是“一个”量值,而是在其不确定度范围内的各个变动值都是“测量结果”。于是“测量结果”也包含一组量值。

由于在大多数测量领域,VIM 第 2 版的概念仍可使用,为使大多数读者易于理解,本书在阐述某些术语的基本概念时,仍采用经典的方法。对于一些比较重要的术语,则再给出两种方法在概念上的差别。

至于 JJF 1059.2—2012 给出的蒙特卡洛法,作者认为该法在近几年内不可能在基层的测量领域推广,并且本书的书名又冠以“实用”两字,因此这次改版并不涉及蒙特卡洛法。

倪育才

2013 年 10 月

第 3 版前言

在本书第 3 版即将付印前,国际上正式发布了 VIM 的第 3 版,与第 2 版相比,除了增加了一些新的术语以外,许多原有术语的定义也有变动。但对大多数术语来说,其基本涵义并没有发生变化,或变化并不太大。由于我国的 JJF 1001—1998《通用计量术语及定义》还没有相应的改版,因此本书第 3 版中的术语仍采用 VIM 第 2 版的定义,而仅对本书涉及到的某些有较大改动的术语或新的术语作一些说明。

与第 2 版相比,第 3 版的最大变化是增加了有关检测结果不确定度评定的内容作为第十章。原来的第十章成为第十一章,以后各章依次顺延。其实,在原则上检测结果的不确定度评定与校准结果的不确定度评定并无多大的差别,测量不确定度评定的指导性文件 GUM 和 JJF 1059—1999《测量不确定度评定和表示》中所给出的评定原理和方法同样也适用于检测项目。将有关检测的问题单列一章的原因是许多检测项目的不确定度评定往往无法像校准那样可以对每一个不确定度分量进行有效而严格的评定,因此采用统一规定的评定程序无法解决不同领域的问题。这就需要在不违背不确定度评定基本原理的原则下对不确定度评定程序作一些变通。况且不同检测项目之间的差异又较大,检测结果的不确定度评定就显得有较大的灵活性。因此本章的内容仅涉及检测结果不确定度评定中常见的共性问题,而不讨论某一具体领域或具体检测项目的特殊问题。

此外这次修订还增加了一个不确定度评定实例:标称直径 90 mm 环规的校准。至此本书已收录了欧洲认可合作组织提供的全部 11 个校准结果不确定度评定实例。在编排上将该实例编为实例 E 置于游标卡尺校准之后,其后的实例编号均依次顺延。

倪育才

2008 年 11 月

第 2 版前言

自 2004 年 5 月本书第 1 版出版至今已有三年,承蒙广大读者厚爱,在使用过程中对本书提出了不少中肯的意见,并指出了本书中若干错误之处,笔者在此一并予以感谢。

第 2 版与第 1 版相比,书中有关测量不确定度的内容和结构并无太大变化,变化主要有以下几方面:一是修改了第 1 版中的知识性错误和印刷错误,语言叙述也更加完善;二是根据最近三年来的发展情况,对某些术语的使用作了更详细的说明,例如关于术语“测量仪器的不确定度”的使用问题;三是增加了“测量过程的统计控制——常规控制图及其应用”作为本书的第十四章。这是由于:最近几年笔者在给各种关于测量不确定度的学习班授课时,经常有学员提出各种关于测量过程的统计控制以及常规控制图及其应用的问题;另外,在实验室认可以及计量标准考核工作中,控制图的采用是确认测量过程是否处于统计控制之中的有效方法;在产品质量控制中,控制图的方法也早已被广泛采用。因此为方便读者查阅,笔者将这一部分内容作为本书的第十四章。

对于席德熊研究员与本人在最近七八年来在测量不确定度评定方面的长期合作,笔者再一次在此深表感谢。

倪育才

2007 年 5 月

第 1 版前言

测量不确定度是对测量结果可能误差的度量,也是定量说明测量结果质量好坏的一个参数,因此它是一个与测量结果相联系的参数。一个完整的测量结果,除了应给出被测量的最佳估计值之外,还应同时给出测量结果的不确定度。在对测量结果进行不确定度评定时,很多已经从事多年测量工作的科技人员经常会提出这样的问题:为什么要用测量不确定度评定来代替过去的误差评定?并且在初次尝试进行测量不确定度评定时,往往会感到十分困难。究其原因,笔者认为大体上主要有两个方面。其一,关于测量不确定度评定的指导性文件 GUM 和 JJF 1059—1999 只是原则性地规定了应该如何进行测量不确定度的评定,但在评定过程中经常使大家感到困惑的具体问题,例如,如何写出适合于进行测量不确定度评定的数学模型,在将各不确定度分量合成得到合成标准不确定度时应如何处理各输入量之间的相关性,对于非线性数学模型是否需要考虑高阶项,在最后给出扩展不确定度时如何选择包含因子 k 的数值,如何判断被测量的分布,以及是否需要计算自由度等等,都没有给出比较具体的解决办法。其二,大部分初学者对于 GUM 和 JJF 1059—1999 比较重视,而忽略了对它们的配套文件 VIM 和 JJF 1001—1998 的仔细研究。殊不知,后者正是前者的基础。后者规定了在测量领域和测量不确定度评定中所用术语的定义,正是这一套有关术语的定义,奠定了测量不确定度评定的基础。有些术语在过去误差评定时就经常使用,并且其含义也没有什么变化,因此理解和使用这类术语一般不会有很大问题。有些术语在过去误差评定中是没有的,对于这类术语就应该仔细地研究它们的定义,以便准确地使用这些术语。另有一些术语在过去也经常使用,但与过去相比,其定义已经变更。也就是说,这些术语的含义已发生变化。对于这类术语则应予以特别注意。许多科技人员至今仍对测量不确定度评定感到困惑和不理解,很大程度上是由于对这些术语的理解不深,有时甚至还错误理解。为了便于读者查阅,本书中凡首次出现已由有关文件给出明确定义的术语时,均采用黑体字,并在第二章中给出其定义和出处。

需要特别关注的是对“误差”和“不确定度”这两个术语的理解。要求对测量结果进行不确定度评定来代替过去的误差评定,并不是简单地将“误差”一词改为“不确定度”这么简单的事情,也不是“误差”一词一律不再使用。“误差”和“不确定度”各有各的定义,它们是相互有关但又各不相同的两个量。它们各自应用于不同的场合,一般情况下是不能相互替代的,应该根据这两个术语的定义来判断,该用“误差”的地方就用“误差”,该用“不确定度”的地方就用“不确定度”。例如,对于测量仪器,我们常用“示值误差”这一术语,在这里“示值误差”的含义是测量仪器的示值与对应输入量真值之差,它符合 VIM 和 JJF 1001—1998 对“误差”所作的定义,因此用“示值误差”这一说法是正确的。笔者见到过有的文章将其改为“示

值不确定度”，这就有些不知所云了。

初学者往往觉得测量不确定度评定十分困难，实则不然。从原则上说，过去能熟练地进行误差评定的测量人员，只要对所用术语的定义和不确定度的评定过程有一基本了解，再掌握一些评定中的技巧，则合理地进行不确定度评定就不应该有很大的困难。完成测量不确定度评定的前提最主要的还是对测量方法的全面了解和找出能影响测量结果的所有测量不确定度来源。

本书是笔者根据近年来在各种不确定度学习班上的讲稿经补充而成，其目的正是希望帮助读者正确地了解和掌握测量不确定度评定的基本概念和方法。对于在评定过程中容易产生困惑的问题，或者是需要评定者在几种方法中作出选择的问题，笔者尽可能根据自己的经验，力求给出一些具体的实用性解决办法。

要深入了解测量不确定度评定中的理论问题，需要扎实的数理统计和误差理论方面的知识。有许多理论问题在本书中并未涉及也无法涉及，因为笔者并不是误差理论方面的专家，因此希望对这方面进行深度研究的读者们在本书中是找不到答案的，而是应该去参阅有关的专著。笔者和大多数读者一样，都是从事具体测量工作的科技人员，只是因为测量工作的需要，才开始接触有关测量不确定度评定的问题。相信大多数读者和笔者一样，关心和学习测量不确定度评定的目的是需要解决测量不确定度评定中遇到的具体问题，而不是要对这些问题进行深入的理论上的研究，这也就是为什么本书的书名冠以“实用”两字的原因。

虽然如此，在本书中还是不可避免地会涉及到许多统计数学方面的公式。熟悉高等数学的读者理解这些公式不应该有很大的困难。对于那些实在不熟悉高等数学，或者对其比较生疏的读者，则可以不理睬这些复杂的数学公式的推导或证明，最关键的还是要了解这些公式的物理意义，应该在什么样的条件下使用，以及如何使用这些公式。

需要进行测量不确定度评定的场合很多。要进行测量就需要有一个测量的参考标准，国家规定社会公用计量标准，部门最高计量标准和企、事业单位最高计量标准都必须经过有关部门考核合格后方可使用。考核内容涉及测量设备、环境条件、测量人员、管理制度等各个方面，而这些考核的核心就是要力求保证测量结果的可靠和所给不确定度的合理性。因此无论是建立或使用计量标准的人员，还是被授权对计量标准进行考核的人员，都必须熟练掌握测量结果的不确定度评定。

在通过测量对测量仪器或产品的合格与否进行判定时，测量不确定度也是一个不可忽视的问题。生产者在生产过程中对工件或产品的性能指标进行定量测量以判定工件或产品是否合格时，使用者在对工件或产品进行验收测量时，计量部门在对量具或测量仪器进行检定时，质检部门对产品质量进行检验时，以及环保部门对环境进行监测时都必须作出合格或不合格的判定。而要作出正确的结论就必须对测量不确定度有所了解，否则就有可能产生误判。并且其合格判定的标准也将与测量不确定度有关。

ISO/IEC 17025《检测和校准实验室能力的通用要求》(1999)规定，检测实验室和校准实验室都必须制定测量不确定度评定的程序，并且还应该在具体的检测和校准工作中应用

这些程序来进行测量不确定度的评定。中国实验室国家认可委员会(CNAL)在其《测量不确定度政策》中也规定“鉴于测量不确定度在检测、校准和合格评定中的重要性和影响, CNAL 遵循下列原则:对测量不确定度评定予以足够的重视,以满足有关各方的需求和期望;始终遵循国际规范的相关要求,与国际相关组织的要求保持一致……”

特别要提出的是笔者在过去几年中经常与席德熊、葛楚鑫两位同仁讨论和切磋有关不同领域的测量不确定度评定问题,得益匪浅。书中有些观点是在相互讨论的过程中逐步形成的,笔者在此深表感谢。

笔者在工作中也经常向李慎安、刘智敏、肖明耀诸位老师求教,在此一并表示感谢。

倪育才

2004年1月

目 录

第一章 引言	1
第一节 为什么要用测量不确定度评定来代替误差评定	1
第二节 测量不确定度的发展历史	3
第三节 测量不确定度评定与表示的应用范围	4
第二章 基本概念	7
第一节 有关术语的定义	8
第二节 测量误差、测量准确度、测量精密度、测量正确度和测量不确定度	26
第三节 测量误差和测量不确定度的主要区别	38
第四节 测量仪器的误差、准确度和不确定度	41
第五节 关于误差和不确定度的小结	45
第六节 实物量具和测量仪器的误差、偏差和修正值	46
第七节 检定和校准	48
第三章 统计学基本知识	51
第一节 事件和随机事件	51
第二节 随机事件出现的频率和概率	52
第三节 随机变量及其概率密度函数	53
第四节 随机变量的特征值	54
第四章 方差合成定理和测量不确定度评定步骤	64
第一节 方差合成定理	64
第二节 测量不确定度评定步骤	65
第五章 测量不确定度来源和测量模型	69
第一节 测量不确定度来源	69
第二节 建立测量模型	70
第六章 输入量估计值的标准不确定度 $u(x_i)$ 和不确定度分量 $u_i(y)$	78
第一节 输入量估计值标准不确定度的 A 类评定	78
第二节 输入量估计值标准不确定度的 B 类评定	85
第三节 输入量分布情况的估计	87
第四节 关于测量不确定度的 A 类评定和 B 类评定	95
第五节 灵敏系数 c_i 和不确定度分量 $u_i(y)$	97

第七章 合成标准不确定度	99
第一节 线性测量模型的合成标准不确定度	99
第二节 各输入量之间存在相关性时的合成标准不确定度	101
第三节 非线性测量模型的合成标准不确定度	103
第四节 若干种比较简单非线性函数的方差表示式	104
第八章 扩展不确定度	107
第一节 被测量 Y 可能值的分布及其判定	107
第二节 不同分布时包含因子的确定和扩展不确定度的表示	112
第九章 自由度和正态分布时的包含因子	120
第一节 自由度的定义及其含义	120
第二节 A 类评定不确定度的自由度	122
第三节 B 类评定不确定度的自由度	123
第四节 合成标准不确定度的有效自由度	123
第五节 被测量接近正态分布时的扩展不确定度	124
第六节 安全因子	125
第七节 被测量 Y 的分布不同时扩展不确定度的表示	125
第十章 检测结果的测量不确定度评定	128
第一节 检测结果测量不确定度的应用场合	128
第二节 检测结果测量不确定度评定的一般原理	130
第三节 检测结果的测量不确定度评定步骤	132
第四节 检测结果测量不确定度评定中应注意的问题	133
第五节 检测方法的开发和确认	137
第六节 检测方法总体性能的实验研究	141
第七节 检测方法的计量溯源性	142
第八节 检测结果的表示	143
第十一章 测量结果的处理和测量不确定度的表示	145
第一节 测量结果的处理和离群值的剔除	145
第二节 修约规则	150
第三节 测量不确定度的报告和表示	153
第十二章 测量不确定度评定实例	155
实例 A 标称值 10 kg 砝码的校准	155
实例 B 标称长度 50 mm 量块的校准(方法 1)	159
实例 C 标称长度 50 mm 量块的校准(方法 2)	164
实例 D 游标卡尺的校准	170
实例 E 标称直径 90 mm 环规的校准	174

实例 F	N 型热电偶 1 000℃ 温度点的校准	181
实例 G	180℃ 块状温度校准器的校准	188
实例 H	18 GHz 频率点功率传感器的校准	191
实例 I	同轴步进衰减器 30 dB 挡(增量衰减)的校准	196
实例 J	手提式数字多用表 100 V DC 点的校准	200
实例 K	10 kΩ 标准电阻的校准	203
实例 L	同时测量电阻、电抗和阻抗	208
实例 M	家用水表的校准	213
实例 N	校准用标准溶液的制备	220
实例 O	原子吸收光谱法测定陶瓷容器中镉的溶出量	223
实例 P	微生物分析测量不确定度评定	230
实例 Q	金属试件拉伸强度测量	234
第十三章	合格评定与测量不确定度	238
第一节	测量不确定度对合格或不合格判定的影响	239
第二节	按规范检验合格和不合格的判据	240
第三节	双方对测量不确定度无法达成协议时的处理程序	244
第四节	检定与测量不确定度	247
第十四章	两个或多个测量结果的比较	249
第一节	同一实验室内两次测量结果之间的允差	249
第二节	两个不同实验室测量结果之间的允差	252
第三节	多个实验室之间的比对	253
第四节	校准实验室的能力验证试验	254
第五节	检测实验室的能力验证试验	255
第十五章	测量过程的统计控制——常规控制图及其应用	258
第一节	常规控制图	258
第二节	控制图异常的判断准则	266
参考文献		272

第一节 为什么要用测量不确定度评定来代替误差评定

很难追溯误差的概念起源于何时。但早在 1862 年 Foucault 采用旋转镜法在地球上测量光的速度时,给出的测量结果为: $c=(298\ 000\pm 500)\text{ km/s}$ 。即在给出测量结果的同时,还给出了测量误差。由此可见,误差的概念至少在 150 年前就已经出现。当时已经知道,在给出测量结果的同时,还应给出其测量误差。

虽然误差的概念早就已经出现,但在用传统方法对测量结果进行误差评定时,还存在一些问题。简单地说,大体上遇到两个方面的困难:逻辑概念上的问题和评定方法的问题。

测量误差常常简称为误差。国家计量技术规范 JJF 1001—1998《通用计量术语及定义》中给出测量误差的定义为“测量结果减去被测量的真值”,该误差定义从 20 世纪 70 年代以来没有发生过变化^①。

真值定义为“与量的定义一致的量值”。也就是说,我们把被测量在观测时所具有的真实大小称为真值,因而这样的真值只是一个理想概念,只有通过完善的测量才有可能得到真值。任何测量都会有缺陷,因而真正完善的测量是不存在的。也就是说,严格意义上的真值是无法得到的,或者说,真值按其本性是不确定的。

根据误差的定义,若要得到误差就必须知道真值。但真值无法得到,因此严格意义上的误差也无法得到。虽然在误差定义的注解中同时还指出:“由于真值不能确定,实际上用的是约定真值”,但此时还需考虑约定真值本身的误差。因而可能得到的只是误差的估计值。

此外,在“误差”这一术语的使用上也经常出现概念混乱的情况,即“误差”这一术语的使用经常有不符合其定义的情况。根据误差的定义,误差是一个差值,它是测量结果与真值或约定真值之差。在数轴上它表示为一个点,而并不表示为一个区间或范围。既然它是两个

^① 在最新版本 VIM 第 3 版(GCGM 200:2008)以及 JJF 1001—2011 中,术语“测量误差”的定义改为“测得的量值减去参考量值”,这一改变的含义将在第二章中介绍。

量的差值,就应该是一个具有确定符号的**量值**。当测量结果大于真值时,误差为正值;当测量结果小于真值时,误差为负值。由此可见误差这一术语既不当,也不可能以“±”号的形式表示。过去人们在使用“误差”这一术语时,有时是符合误差定义的,例如**测量仪器的示值误差**,它表示“**测量仪器的示值与对应输入量真值之差**”。但经常也有误用的情况,例如过去通过误差分析所得到的测量结果的所谓“误差”,实际上并不是真正的误差,而是测量结果可能出现的范围,它不符合误差的定义。误差在逻辑概念上的混乱是经典的误差评定遇到的第一个问题。

误差评定遇到的第二个问题是评定方法的不统一。在进行误差评定时,通常要求先找出所有需要考虑的误差来源,然后根据这些误差来源的性质将它们分为**随机误差**和**系统误差**两类。随机误差用测量结果的标准偏差来表示。如果有一个以上的随机误差分量,则将它们按方和根法(即各分量的平方和之平方根)进行合成,得到测量结果的总随机误差。并且由于在正态分布情况下,标准偏差所对应区间的**包含概率**仅为 68.27%,而通常都要求给出对应于较高包含概率的区间,故常将标准偏差扩大,用两倍或三倍的标准偏差来表示随机误差。系统误差则用该分量的最大可能误差,即误差限来表示。在有多个系统误差分量的情况下,同样采用方和根法将各系统误差分量进行合成,得到测量结果的总的系统误差。最后再将总的随机误差和总的系统误差再次按方和根法合成得到测量结果的总误差。而问题正来自于最后随机误差和系统误差的合成方法上。由于随机误差和系统误差是两个性质不同的量,前者用标准偏差或其倍数表示,后者用可能产生的最大误差表示。由于在数学上无法解决两个不同性质的量之间的合成问题,因此长期以来在随机误差和系统误差的合成方法上一直无法统一。不仅各国之间不一致,即使在同一国家内,不同的测量领域、甚至不同的测量人员所采用的方法往往也不完全相同。

例如,前苏联的国家**检定**系统表中就曾分别给出计量标准的总的随机误差和总的系统误差两个技术指标,而并不给出两者合成后的总误差。其意是,两者如何合成的问题由使用者根据具体情况自己考虑。美国的有些国家基准也有以随机误差和系统误差之和作为其总误差,其原因是为了安全可靠。因为无论用何种方法合成,采用算术相加的方法得到的合成结果最大。而过去我国在大部分测量领域中习惯上仍采用方和根法对随机误差和系统误差进行合成。例如,在几何量测量领域,往往以三倍的标准偏差(3σ ,过去常称为**极限误差**)作为随机误差,再采用方和根法与系统误差进行合成,得到测量结果的总误差,并有人称之为“**综合极限误差**”。所谓“**综合**”是指其中既包括了随机误差也包括了系统误差,而“**极限**”是指其中的随机误差用 3σ 表示。

不仅各国的误差评定方法不同,不同领域或不同的人员对测量误差的处理方法也往往各有不同的见解。这种误差评定方法的不一致,使不同的测量结果之间缺乏可比性,这与当今全球化市场经济的飞速发展是不相适应的。社会、经济、科技的进步和发展都要求改变这一状况。用**测量不确定度**来统一评价测量结果的质量就是在这种背景下产生的。测量不确定度评定和表示方法的统一,是科技交流和国际贸易进一步发展的要求,它使得不同国家所得到的测量结果可以方便地进行相互比较,可以得到相互承认并达成共识,因此各国际组织和各国的计量部门均十分重视测量不确定度评定方法和表示方法的统一。

第二节 测量不确定度的发展历史

为能统一地评价测量结果的质量,1963年原美国标准局(NBS)的数理统计专家埃森哈特(Eisenhart)在研究“仪器校准系统的精密度和准确度估计”时就提出了采用测量不确定度的概念,并受到国际上的普遍关注。20世纪70年代NBS在研究和推广测量保证方案(MAP)时对测量不确定度的定量表示又有了新的发展。术语“不确定度”源于英语“uncertainty”,原意为不确定,不稳定,疑惑等,是一个定性表示的名词。现用于描述测量结果时,将其含义扩展为定量表示,即定量表示测量结果的不确定程度。此后许多年中虽然“不确定度”这一术语已逐渐在各测量领域被越来越多的人采用,但具体表示方法并不统一。为求得测量不确定度评定和表示方法的国际统一,1980年国际计量局在征求了32个国家的国家计量研究院以及五个国际组织的意见后,发出了推荐采用测量不确定度来评定测量结果的建议书,即INC-1(1980)。该建议书向各国推荐了测量不确定度的表示原则。1981年第70届国际计量委员会(CIPM)讨论通过了该建议书,并发布了一份CIPM建议书,即CI-1981。该建议书所推荐的方法,以INC-1(1980)为基础,并要求在所有CIPM及其各咨询委员会参与的国际比对及其他工作中,各参加者在给出测量结果时必须同时给出合成不确定度。

由于测量不确定度及其评定不仅适用于计量领域,它也可以应用于一切与测量有关的其他领域,因此1986年国际计量委员会要求国际计量局(BIPM)、国际电工委员会(IEC)、国际标准化组织(ISO)、国际法制计量组织(OIML)、国际理论和应用物理联合会(IUPAP)、国际理论和应用化学联合会(IUPAC)以及国际临床化学联合会(IFCC)等七个国际组织成立专门的工作组,起草关于测量不确定度评定的指导性文件。经过工作组近七年的讨论,由ISO第四技术顾问组第三工作组(ISO/TAG4/WG3)负责起草,并于1993年以七个国际组织的名义联合发布了《测量不确定度表示指南》(*Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*,以下简称GUM)和第2版《国际通用计量学基本术语》(*International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology*,以下简称VIM)。1995年又发布了GUM的修订版。这两个文件为在全世界统一采用测量结果的不确定度评定和表示奠定了基础。

除上述七个国际组织外,国际实验室认可合作组织(ILAC)也已表示承认GUM。这就是说,在各国的实验室认可工作中,无论检测实验室或校准实验室,在进行测量结果的不确定度评定时均应以GUM为基础。上述这些国际组织几乎包括了所有与测量有关的领域,这表明了GUM和VIM这两个文件的权威性。

GUM对所用术语的定义和概念,测量不确定度的评定方法以及**不确定度报告**的表示方式作了明确的统一规定。因此它代表了当前国际上在表示测量结果及其不确定度方面的约定做法。它使不同的国家和地区,以及不同的测量领域在表示测量结果及其不确定度时,具有相同的含义。

1998年我国发布了国家计量技术规范JJF 1001—1998《通用计量术语及定义》,其中前八章的内容与第2版VIM完全相对应。除此之外,还增加了国际法制计量组织所发布的有关法制计量的术语及定义,并作为其第九章。1999年我国发布了国家计量技术规范

JJF 1059—1999《测量不确定度评定与表示》，其基本概念以及测量不确定度的评定和表示方法与 GUM 完全一致。这两个文件就成为我国进行测量不确定度评定的基础。

测量不确定度的概念以及不确定度的评定和表示方法的采用，是计量科学的一个新进展。从 1963 年提出测量不确定度的概念，到 1993 年正式发布测量不确定度评定的指导性文件 GUM，整整花费了 30 年时间，可见改用测量不确定度来对测量结果的质量进行评价，并不是一个简单的任务，也不是仅依靠少数几个科学家能做到的，它汇集了世界各国计量学家的经验和智慧。即使看来十分简单的测量不确定度的定义表述本身，也曾几经改动。至于测量不确定度的评定和表示方法，更是经历了不断的完善和改进，最后才形成了 GUM 这样系统而完整的文件。

随着不确定度理论的进一步发展，国际上于 2008 年又发布了新版的 GUM 和 VIM，即 ISO/IEC Guide98-3:2008 和 VIM 第 3 版(2008)。我国也于 2011 年和 2012 年发布了与这两个文件相应的新版本的国家计量技术规范，即 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》和 JJF 1059.2—2012《用蒙特卡洛法评定测量不确定度》以及 JJF 1001—2011《通用计量术语和定义》。

第三节 测量不确定度评定与表示的应用范围

国家计量技术规范 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》规定了测量不确定度的评定与表示的通用方法，它适用于各种**准确度等级**的测量领域，因此它不仅限于计量领域中的检定、校准和检测。其主要应用领域列举如下：

- (1) 国家计量基准及各级计量标准的建立与量值比对；
- (2) 标准物质的定值和标准参考数据的发布；
- (3) 测量方法、检定规程、检定系统表、校准规范等技术文件的编制；
- (4) 计量资质认定、计量确认、质量论证以及实验室认可中对测量结果及测量能力的表述；
- (5) 测量仪器的校准、检定以及其他计量服务；
- (6) 科学研究、工程领域、贸易结算、医疗卫生、安全防护、环境监测、资源保护等领域的测量。

该规范主要涉及有明确定义的，并可用唯一值表征的被测量估计值的不确定度。至于被测量呈现为一系列值的分布或取决于一个或多个参量（例如以时间为参变量），则对被测量的描述是一组量，应给出其分布情况及其相互关系。

具体地说，测量不确定度评定可以应用于各种不同的场合，例如：

1. 特定测量结果的不确定度评定

这是测量不确定度评定最基本的应用。由于测量已经完成，测量结果也已经得到，因此在这种情况下的测量对象、测量仪器、测量方法、测量条件以及测量人员等都是已经确定而不能改变的。如果对同一测量对象，用同样的方法和设备，并由相同的人员重新进行测量，则不仅测量结果可能会稍有不同，其测量不确定度也可能会受测量条件改变的影响而变化。

这时评定得到的测量不确定度是该特定测量结果的不确定度。

2. 常规测量的不确定度评定

在实际工作中,有许多测量是常规性的,例如**实物量具**和其他测量仪器的检定和校准,以及质检部门对一些大宗的材料或产品的检验,对于这类测量,测量仪器、测量方法和**测量程序**是固定不变的。测量对象是类似的,并且满足一定要求。测量人员可以不同,但均是经过培训的合格人员。同时测量过程是在由检定规程、校准规范、国际标准、国家标准或部门标准等技术文件所规定的**重复测量条件**下进行的。一般说来,这时的测量不确定度会受测量条件改变的影响。但由于测量条件已被限制在一定的范围内,只要满足这一规定的条件,其测量不确定度就能满足使用要求。对于这类常规的测量工作,进行测量不确定度评定时应假设其环境条件正好处于合格条件的临界状态。这样评定得到的测量不确定度是在规定条件下可能得到的最大不确定度。也就是说,在实际的测量中只要测量条件满足要求,测量不确定度肯定不会大于此值。通常就将此不确定度提供给用户,这样做的好处是不必对每一个测量结果单独评定其不确定度,除非用户对测量不确定度另有更高的要求。这时给出的测量不确定度并不是该实验室在常规条件下所能达到的最小不确定度。

在建立计量标准时,JJF 1033—2008《计量标准考核规范》规定,应在《计量标准技术报告》中给出这一不确定度。

3. 评定实验室的校准和测量能力

校准和测量能力(calibration and measurement capability,简称 CMC),在实验室认可领域过去曾称其为最佳测量能力(best measurement capability,简称为 BMC),其定义为:“校准和测量能力是校准实验室在常规条件下能够提供给客户的校准和测量的能力。其应是在常规条件下的校准中可获得的最小的测量不确定度。”

对于由签署 ILAC 互认协议的认可机构认可的校准实验室,其 CMC 公布其认可范围内;对于签署 CIPM 互认协议的各国家计量院(NMIs),其 CMC 公布在国际计量局(BIPM)的关键比对数据库(KCDB)中。CMC 作为该实验室的最基本信息之一,是用户用来判断该实验室能否有效地为用户进行仪器校准或检测的依据。

实验室校准和测量能力的表述方法应与日常校准结果的测量不确定度表示方法一致,通常也用**包含因子 $k=2$ 的扩展不确定度 U** ,或包含概率 $p=95\%$ 的扩展不确定度 U_{95} 表示。

当被测量的值是一个范围时,CMC 通常可用下列一种或多种方式表示:

(1)用在整个测量范围内都适用的一个不确定度值来表示。

(2)用与整个测量范围相对应的一个不确定度范围来表示,此时,实验室应有适当的插值算法以给出对应于区间内每一个值的 CMC。

(3)用一个计算公式表示,由被测量值或其他参数通过公式可以计算出每一个值的 CMC。

(4)如果 CMC 除与被测量值有关外,还与其他参数有关,则 CMC 可以采用矩阵的形式表示。

(5)用图形表示。此时每个数轴应有足够的**分辨力**,使得到的 CMC 至少有 2 位有效数字。

CMC 不允许用开区间表示,例如表示为 $CMC:U < \times. \times$ 。