



测量不确定度评定的

简化方法与应用实例

○ 范巧成 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

ISBN 978-7-5083-4149-1



9 787508 341491 >

定价：16.00 元

销售分类建议：电力工程（电测）

测量不确定度评定的 简化方法与应用实例

○ 范巧成 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

本书主要介绍了测量不确定度评定的原因与表示,校准和检测结果测量不确定度评定的简化途径和方法,与不确定度评定应用有关的 Excel 知识概述,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,按照本书提出的原理,给出了校准和检测两部分应用实例,这些实例主要侧重于电力行业的电测、热工的校准实例,以及高压、化学等专业的校准和检测实例。在实例的选择上注重了专业的代表性,目的是介绍这种方法,引导大家使用这种方法,达到对测量不确定度的简化评定。

本书可供电力和计量部门以及其他行业的校准和检测实验室工作人员借鉴和参考,也可作为有关院校学习测量不确定度的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

测量不确定度评定的简化方法与应用实例/范巧成主编. —北京:中国电力出版社,2007

ISBN 978 - 7 - 5083 - 4149 - 1

I. 测... II. 范... III. 测量 - 不确定度 - 评价 IV. TB9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 014804 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044http: //www. cepp. com. cn)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2007 年 1 月第一版 2007 年 1 月北京第一次印刷

850 毫米 × 1168 毫米 32 开本 8 印张 205 千字

印数 0001—3000 册 定价 16.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

测量不确定度评定的简化方法 与应用实例

主 编：范巧成

副主编：陈伟斌 李立生

参 编：（以姓氏笔画为序）

王 莉 江 红 宋光清 娄爱中

郝 伟 徐家恒

前言

为了满足 ISO/IEC 17025 和中国实验室国家认可委员会认可规则文件 CNAL/AR11: 2003《测量不确定度政策》的要求以及各校准、检测实验室对测量不确定度评定的需求,帮助大家快捷地给出每一个校准、检测结果的测量不确定度,山东电力研究院的检测、校准人员进行了大量的探讨,提出了校准和检测结果测量不确定度评定的简化途径和方法,并对使用 Excel 电子表格辅助不确定度评定进行了探索和研究,编写了本书。

本书主要介绍了测量不确定度评定的原因与表示,校准和检测结果测量不确定度评定的简化途径和方法,与不确定度评定应用有关的 Excel 知识概述,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,按照本书提出的原理,给出了校准和检测两部分应用实例,这些实例主要侧重于电力行业的电测、热工的校准实例,以及高压、化学等专业的校准和检测实例。在实例的选择上注重了专业的代表性,目的是介绍这种方法,引导大家使用这种方法,达到对测量不确定度的简化评定。若某测量结果的不确定度随被测量的大小不同而不同,此时就可以根据数学模型的形式和具体的测量条件,将各不确定度分量汇总为一个 Excel 表格,利用它的计算功能来实现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的计算,甚至将变化的不确定度分量与测量结果联系起来,输入不同的测量结果,即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。

另外，通过设计好的 Excel 电子表格，可方便地改变某个不确定度分量的大小，来看合成标准不确定度或扩展不确定度的变化，据此可以获得在满足测量不确定度要求的情况下，如何去选择所用设备的准确度或不确定度，以及对环境条件的要求等，从而做到对测量系统的运作及测量方法的充分了解，为改进测量程序和准确度，以及对测量的哪些方面加以注意提供依据。

本书阐述的方法适用于所有需要进行测量不确定度评定的检测和校准工作。

在本书所涉及内容的研究和编写过程中，得到了国家质量监督检验检疫总局教授级高级工程师、JJF 1059—1999《测量不确定度评定与表示》主要起草人李慎安老师、国家标准物质管理委员会研究员韩永志老师的热情帮助与指导，中国计量科学研究院研究员席德熊老师为该方法的应用付出了大量心血。另外，编者所在单位山东电力研究院的丛阳副院长、潘持平和高波副总，科研开发部的刘汝水主任、杨平和史向东高工，技术服务部的殷宏伟高工，电气所的刘民主任，化环工程研究所的齐达立副主任，计量检测中心的徐民主任等在编写过程中给予了大量的帮助和支持，在此一并表示衷心感谢！

由于时间仓促，加之学识有限，书中可能存在不妥之处，敬请批评指正。

编 者

目 录

（以下空白）

前言

第一章 测量不确定度评定的原因与表示 1

第一节 评定测量不确定度的原因及其政策 1

一、评定测量不确定度的原因 1

二、测量不确定度政策 3

第二节 测量不确定度的作用 5

一、测量不确定度在计量检定和校准中的作用 5

二、测量不确定度在符合性评定中的作用 8

第三节 测量不确定度的表示 11

第四节 测量不确定度评定的简化途径和方法 15

一、校准结果测量不确定度评定的简化途径和方法 15

二、检测结果测量不确定度评定的简化途径和方法 18

第二章 用于测量不确定度评定的 Excel 知识概述 21

第一节 Excel 电子表格的工作窗口 21

第二节 公式和函数的使用 23

第三节 在 Word 文档下插入 Excel 电子表格 26

第四节 Excel 电子表格中单元格的保护 28

第三章 Excel 在测量不确定度评定中的应用原理 30

第一节 Excel 在合并样本标准差计算中的应用 31

第二节 应用 Excel 计算合成标准不确定度及其有效自由度的原理 37

第三节 应用 Excel 进行测量不确定度评定的步骤 53

第四章 应用 Excel 进行校准测量不确定度评定的实例..... 56

第一节 数字式电测仪表示值误差测量结果的不确

定度评定实例 56

一、交流数字电压表示值误差测量结果的不确定度评定 56

二、交流数字电流表示值误差测量结果的不确定度评定 61

三、交流数字功率表示值误差测量结果的不确定度评定 65

四、数字多用表示值误差测量结果的不确定度评定 70

五、单相工频相位表示值误差测量结果的不确定度评定 76

六、工频频率表示值误差测量结果的不确定度评定 79

七、直流数字电流表示值误差测量结果的不确定

度评定 ($R-V$ 法) 81

八、数字式绝缘电阻表示值误差测量结果的不确定度评定 87

第二节 模拟式电测仪表示值误差测量结果的不确

定度评定实例 90

一、接地电阻表示值误差测量结果的不确定度评定 90

二、模拟式直流电压、电流表示值误差测量结果的 不确定度评定 94

三、模拟式交流电压、电流表示值误差测量结果的 不确定度评定 100

第三节 直流电阻仪器示值误差测量结果的

不确定度评定实例 106

一、携带型直流单臂电桥示值误差测量结果的 不确定度评定 106

二、携带型直流双臂电桥示值误差测量结果的 不确定度评定 109

三、标准电阻阻值测量结果的不确定度评定 113

四、直流电阻箱示值误差测量结果的不确定度评定 116

五、直流高压高阻箱阻值测量结果的不确定度评定 123

第四节 电能表、互感器示值误差测量结果的不确

定度评定实例	126
一、电能表示值误差测量结果的不确定度评定	126
二、电压互感器比值差、相位差测量结果的 不确定度评定	131
三、电流互感器比值差、相位差测量结果的 不确定度评定	138
第五节 热工仪表示值误差测量结果的不确定度评 定实例	146
一、精密压力表示值误差测量结果的不确定度评定	146
二、0.05 级数字压力计示值误差测量结果的不确定度评定 ...	150
三、二等标准铂铑 10 - 铂热电偶热电动势分度测量结果的 不确定度评定	154
四、二等标准水银温度计示值修正值测量结果的不确定度 评定	159
第六节 高压仪器仪表表示值误差测量结果的不确定 度评定实例	165
一、高压静电电压表示值误差测量结果的不确定度评定	165
二、变压比测试仪示值误差测量结果的不确定度评定	168
三、直流低阻表示值误差测量结果的不确定度评定	172
四、西林型高压电容电桥电容比率测量误差测量结果的 不确定度评定	175
五、西林型高压电容电桥介质损耗因数测量误差测量结果 的不确定度评定	180
六、工频高压分压器比值差、相位差测量结果的不确定度 评定	184
第五章 应用 Excel 进行检测测量不确定度评定的实例 ...	189
第一节 化学分析中标准溶液制备的不确定度 评定实例	189
一、氢氧化钠溶液浓度标定结果的不确定度评定	189

二、酸碱滴定结果的不确定度评定	193
三、标准溶液浓度稀释结果的不确定度评定	196
第二节 水质钙和镁总量测量结果的不确定度评定	199
附录 JJF 1059—1999 测量不确定度评定与表示	205
参考文献	241

第一章

测量不确定度评定的原因与表示

本章就评定测量不确定度的原因、中国实验室国家认可委员会的《测量不确定度政策》、测量不确定度在计量检定和校准中的作用、测量不确定度在符合性评定中的作用、以及在表达最佳测量能力和出具证书或报告时,应如何表示测量不确定度等作一介绍。

第一节 评定测量不确定度的原因及其政策

一、评定测量不确定度的原因

评定测量不确定度的原因大致可从以下几个方面去理解:

(1) 测量不确定度的评定可使不同实验室或同一实验室内对同一量的测量结果作有意义的比较,或者使测量结果与技术规范或标准中所给出的参考值可作比较。这种信息的作用能由使用者来判断结果间的等效性,如差得并不大则可避免作不必要的重复检测或校准。

(2) 在解释检测或校准结果时,需要考虑检测或校准结果的不确定度。例如,对不同批次材料的测量比较,如果测得的差仅仅是在检测程序的固有变化的范围内,则就表明特性或性能无实际差异。同样,如果产品特性的检测结果或测量仪器的校准结果与规定值之间的差在不确定度范围内,那么偏离规定值就不会大。

(3) 在某些情况下,可能认为检测或校准结果的测量不确定度小到不值得作正式评定。但是,这种不作正式评定的考虑,凭

的是直觉，因此一旦提出疑问时，就不可能做出有说服力的回答。

(4) 有些类型的检测结果会有很大的不确定度，例如对本身特性很不一致的样品作检测。这种情况下，可断定比起样品变化的不确定度来，与测量有关的不确定度即使相对较大也可忽略。但是，除非作了测量不确定度评定，否则这种断定的有效性是无法保证的。

(5) 充分评定分量对测量不确定度的贡献还可以指明，为了改进测量程序和准确度，应该对检测或校准方法某些方面加以注意。这也能提高对检测或校准方法原理的认识，其应用的实践经验会对方法确认起关键作用。

(6) 国家计量技术规范 JJF 1033—2001《计量标准考核规范》规定，在填写《计量标准技术报告》时，要完成“测量不确定度评定”栏目的撰写。此处的“测量不确定度评定”是指在计量检定规程的条件下，用该计量标准对典型的被检定（或校准）对象，进行检定（或校准）时所得结果的不确定度，该不确定度中应包括被测对象和环境条件对测量结果的影响。并同时规定测量不确定度的评定方法原则上应依据国家计量技术规范 JJF 1059—1999《测量不确定度评定与表示》的规定。涉及到的计量术语应执行 JJF 1001—1998《通用计量术语及定义》。如果国际上已公布某一领域的测量不确定度评定细则，则在该领域内的测量不确定度评定，也可以按照该细则的规定进行。

(7) 对国际标准 ISO/IEC 17025《General requirements for the competence of testing and calibration laboratories》（我国的 GB/T 15481《检测和校准实验室能力的通用要求》等同采用了该标准）的执行，现在对所有被认可的实验室评定并报告测量不确定度有一个普遍的要求。该标准要求各实验室“必须具有并应用评定测量不确定度的程序”。评定不确定度所需的严格程度，检测与校准实验室之间会有不同，在某些情况下，由于检测方法的性质，决定了无法从计量学和统计学角度对测量不确定度进行有效而严格的

评定。尽管如此，仍然要求实验室应尽力找出所有的不确定度来源并作合理评定。

(8) 对产品的给定技术指标作出“合格”或“不合格”的结论时，要考虑测量不确定度的影响，否则会出现误判。

二、测量不确定度政策

下述内容摘自我国的《测量不确定度政策》（CNAL/AR11: 2003）

1. 前言

中国实验室国家认可委员会（以下简称：CNAL）充分考虑目前国际上与合格评定相关的各方对测量不确定度的关注，以及测量不确定度对测量、试验结果的可信性、可比性和可接受性的影响，特别是这种影响和关注可能会造成消费者、工业界、政府和市场对合格评定活动提出更高的要求。因此，CNAL在认可体系的运行中给予测量不确定度评定以足够的重视，满足客户、消费者和其他各有关方的期望和需求。

CNAL在测量不确定度评定和应用政策方面将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，并在国际规范和有关行业制定的相关导则框架内制订具体的测量不确定度要求。

CNAL注意到测量不确定度概念应用的时间不长。因此，CNAL将按照“目标明确、重要先行、循序渐进”的原则，逐步开展测量不确定度的评定和应用。

2. 适用范围

本文件适用于CNAL对校准和检测实验室的认可活动。同时也适用于其他涉及校准和检测活动的申请方和已认可机构。

3. 要求

CNAL在认可实验室的技术能力时，必须要求校准实验室和开展自校准的检测实验室制定测量不确定度评定程序并将其用于所有类型的校准工作，必须要求检测实验室制定与检测工作特点相适应的测量不确定度评定程序，并将其用于不同类型的检测工作。

CNAL 在认可实验室时应要求实验室组织校准或检测系统的设计人员或熟练操作人员评定相关项目的测量不确定度，要求具体实施校准或检测人员正确应用和报告测量不确定度。还应要求实验室建立维护评定测量不确定度有效性的机制。

对于校准实验室，其测量不确定度的评定程序和方法应符合 JJF 1059—1999《测量不确定度评定与表示》中的有关规定，对用于校准和自校准所建立的计量标准和校准方法均须提供测量不确定度评定报告，对承担量值传递的标准和仪器设备，应在其校准证书上报告测量不确定度。

检测实验室应有能力对每一项有数值要求的测量结果进行测量不确定度评定。当不确定度与检测结果的有效性或应用有关，或在用户有要求时，或当不确定度影响到对规范限度的符合性时，或当测试方法中有规定时和 CNAL 有要求时（如认可准则在特殊领域的应用说明中有规定），检测报告必须提供测量结果的不确定度。

检测实验室必须建立测量不确定度的评定程序。对于不同的检测项目和检测对象，可以采用不同的评定方法。

检测实验室在采用新的检测方法之前，应制定相关项目的测量不确定度的评定方法。

检测实验室对所采用的非标准方法、实验室自己设计和研制的方法、超出预定使用范围的标准方法以及经过扩展和修改的标准方法重新进行确认，其中应包括对测量不确定度的评定。

对于某些广泛公认的检测方法，如果该方法规定了测量不确定度主要来源的极限值和计算结果的表示形式时，实验室只要按照该检测方法的要求操作，并出具测量结果报告，即被认为符合本要求。

由于某些检测方法的性质，决定了无法从计量学和统计学角度对测量不确定度进行有效而严格的评定，这时至少应通过分析方法，列出各主要的不确定度分量，并作出合理的评定。同时应确保测量结果的报告形式不会使用户造成对所给测量不确定度的

误解。

检测实验室测量不确定度评定所需的严密程度取决于：

- (1) 检测方法的要求；
- (2) 用户的要求；
- (3) 用来确定是否符合某规范所依据的误差限的宽窄。

为了便于用户比较实验室的能力和水平，对于一般应用，扩展不确定度应对应 95% 的置信水平。在表述实验室的能力时，一般采用最佳测量能力，即根据日常校准或检测系统，被校或被测样品接近理想状态时评定的最小测量不确定度，在校准证书或检测报告上应出具测量结果的不确定度。

第二节 测量不确定度的作用

一、测量不确定度在计量检定和校准中的作用

(一) 检定和校准的区别

(1) JJF 1001—1998《通用计量术语及定义》中给出的检定的定义为：“查明和确认计量器具是否符合法定要求的程序，包括检查、加标记和（或）出具检定证书。”

检定是法制计量工作中计量器具控制的重要组成部分，它的对象是法制管理范围内的计量器具。由于各国的管理体制不同，法制计量管理的范围也不同。我国早在 1987 年由国家计量局发布《中华人民共和国依法管理的计量器具目录》共分十二大类上千种；同年，国务院发布了《中华人民共和国强制检定的工作计量器具目录》，即用于贸易结算、安全防护、医疗卫生、环境监测四个方面的工作计量器具 55 项，国家计量局又发布了明细目录共 111 种；1999 年，国家质量技术监督局根据国务院的授权又增补了 4 项 6 种。此外，在我国社会公用计量标准，部门和企业、事业单位的各项最高计量标准器要实行强制检定。这些就构成了我国计量器具检定的对象。

随着我国改革开放及经济的发展及加入 WTO 后，法制计量

的范围将随之调整，今后要强化检定的法制性，属强制检定的计量器具实施检定，非强制检定的计量器具可采用校准、比对等方式达到统一量值、溯源的目的。请留意并关注国家对法制计量范围的调整。

检定的依据是计量检定规程。我国《计量法》第十条规定“计量检定必须按照国家计量检定系统表进行。国家计量检定系统表由国务院计量行政部门制定。计量检定必须执行计量检定规程。国家计量检定规程由国务院计量行政部门制定。没有国家计量检定规程的，由国务院有关主管部门和省、自治区、直辖市人民政府计量行政部门分别制定部门计量检定规程和地方计量检定规程，并向国务院计量行政部门备案。”

定义中指出检定包括检查、加标记和（或）出具检定证书。其中检查是“为确定计量器具是否符合该器具有关法定要求所进行的操作。”计量器具的法定要求分为三类：计量要求、技术要求和行政管理要求，具体操作是对其进行计量检查：确定计量器具的误差及其他计量特性。如测量不确定度、示值误差、准确度等级；稳定性、重复性和漂移；读数装置分辨力、分度值；电磁干扰敏感度等。技术检查：为满足计量要求而必须具备的结构、安装要求，读数的可见性，是否存在欺骗的可能等。行政检查：包括标识、铭牌、型式批准、检定标记、许可证标记、有关证书及有效期、密封，锁定和其他计量安全装置的完整性、检定、修理和维护记录等。上述三方面的检查也可称为检定的三分量。通过检定必须作出合格与否的结论，并加标记和出证书。合格的发给检定证书；不合格的发给不合格通知书。

(2) JJF 1001—1998《通用计量术语及定义》中给出的校准的定义为：“在规定条件下，为确定测量仪器或测量系统所指示的量值，或实物量具或参考物质所代表的量值，与对应的由标准所复现的量值之间关系的一组操作。”

校准结果既可给出被测量的示值，又可确定示值的修正值。校准也可确定其他计量特性，如影响量的作用。校准结果可以记