

数字多用表测量结果的不确定度评定

于前访

青海省计量检定测试院, 青海 西宁 810017

摘 要： 数字多用表是电子测量领域中的关键工具，广泛应用于电压、电流、电阻等多种电参数的测量。在实际的应用中，数字多用表的测量准确性对实验结果和产品质量具有至关重要的影响。因此，对数字多用表进行不确定度评定是确保测量准确性和可靠性的重要环节。数字多用表包括直流电压、直流电流、直流电阻、交流电压、交流电流的不确定度评定，本文将通过实例对数字多用表直流电流测量结果的不确定度进行详细评定，包括不确定度的概念、适用范围、评定方法、影响因素以及优化措施等方面的内容。

关 键 词： 数字多用表；不确定度；评定；误差；测量模型

The Uncertainty Evaluation of Measurment Results for Digital Multimeter

Yu Qianfang

Qinghai Provincial Institute of Metrology Testing Institute ,Qinghai, Xining 810017

Abstract： Digital multimeter is a key equipment in the field of electronic Measurement, Widely used for measuring multiple electrical parametes such as voltage, current and resistance.In practical applications , The measurement accuracy of a digital multimeter has a crucial on experiment results and product quality.Therefore, Evaluating the uncertainty of a digital multimeter is an important step in ensuring measurement accuracy and reliability.Digital Multimeter includes uncertainty of DC voltage, DC current,DC resistance, AC voltage, and AC current, This article will provide a detailed evaluation of the uncertainty of the DC current measurement results of a digital multimeter through examples, Including the concept of uncertainty ,scope of application evaluation methods,influencing factors,and optimization measures.

Key words： digital multimeter; uncertainty; evaluation; error; measurement model

引言

数字多用表（Digital Multimeter，简称 DMM）是一种电子测量设备，也称为数字万用表，能够测量和显示电压、电流、电阻以及其他电参数的电子测量仪器。相比于传统的模拟万用表，数字多用表具有更高的精度、更快的响应速度、更宽的测量范围以及更多的功能。数字多用表作为电子测量领域的重要工具，其广泛应用在电子工程、教学、实验室和现场维修等领域中。任何测量工具都存在误差和不确定度，数字多用表也不例外，因此，理解和评估数字多用表的不确定度对于保证测量结果的准确性和可靠性至关重要。

一、数字多用表的应用

数字多用表作为一种高精度测量仪器，其测量结果的准确性对于科学实验、工程应用以及产品质量控制等方面都具有重要意义。然而，由于仪器本身、测量方法以及环境因素等多种因素的影响，数字多用表的测量结果往往存在一定的误差。数字多用表的不确定度受到多种因素的影响，包括仪器本身的精度、测量

方法的正确性、环境温度和湿度、电磁干扰等。在进行不确定度评定时，需要充分考虑这些因素对测量结果的影响，并进行相应的修正和补偿。为了量化和评估这种误差，需要进行不确定度评定。不确定度是根据所用到的信息，表征赋予被测量量值分散性的非负参数，指测量结果的可靠程度，即测量结果与实际值之间的偏差范围。不确定度评定是通过一系列实验和分析方法，对测量结果的不确定度进行量化和评估的过程。在数字多用表的

* 作者简介：姓名：于前访、性别：男、出生日期：1971年9月13日、籍贯：河南省许昌市襄城县、学历：本科、职称：高级工程师、民族：汉、研究方向及工作领域：电学计量、化学计量、温度计量、医疗器械计量，从事上述专业计量检定校准工作。

不确定度评定中，需要考虑仪器误差、测量方法误差、环境误差等多个方面的因素^[1]。

数字多用表的不确定度评定通常采用 A 类和 B 类评定方法。A 类评定方法主要基于统计分析，通过对大量测量数据的处理和分析，得出测量结果的不确定度。B 类评定方法则主要基于误差传递理论，通过对各个误差来源的量化分析，合成得出其不确定度。在实际应用中，要根据具体情况选择合适的评定方法^[2]。

数字多用表具有直流电压、直流电流、直流电阻、交流电压、交流电流等测量功能。在进行数字多用表不确定度评定的时候，应对其五项功能均进行不确定度评定。本文对数字多用表的直流电流进行详细的不确定度评定，以便为同行进行其不确定度评定时提供一定的帮助^[3]。

实例：数字多用表直流电流示值误差测量结果的不确定度评定

二、适用范围

适用于用数字多用表直流电流示值误差测量结果的不确定度评定^[4]。

（一）引用文件：

JJF1587 - 2016 数字多用表校准规范
JJG1059.1—2012 测量不确定度评定与表示

三、概述：

（一）测量依据：

JJF1587 - 2016 数字多用表校准规范

（二）测量环境条件：

1. 环境温度：20.1℃、湿度：45%RH。
2. 电源电压：（220±22）V，频率：（50±1）Hz。
3. 周围无影响测量结果的电磁干扰。

（三）测量标准：

多功能标准源，型号 5720A，其测量范围为 DCI：10μA ~ 2.2A，分别在标称值 10mA、100mA、1A 测量点的最大允许误差为：±0.00045 mA、±0.0058 mA、±0.00011 A。

（四）被测对象：

数字多用表，型号 34411A，范围 DCI：1mA ~ 3A。

（五）测量方法：

采用标准源法测量被测表的示值误差，多功能标准源与被测表直接连接，由多功能标准源输出标准值给被测表，在被测表上读出相应的读数，将其与多功能标准源标准值相减，其差值即为被测表的示值误差^[5]。

（六）测量模型：

设 I_n 为多功能标准源的输出标准值， I_x 为被校数字表的示值，则 $\Delta I = I_x - I_n$ ，考虑到数字表的分辨力对测量结果的影响，测量模型成为： $\Delta I = I_x - I_n + \delta I$ ，式中： ΔI ——被测数字表的示值误差，mA、A； I_x ——被测数字表的示值，mA、A； I_n ——多功能标准源的输

出标准值，mA、A； δI ——被测数字表的分辨力对测量结果的影响，mA、A^[6]。

四、标准不确定度评定

（一）数字表测量重复性引入的标准不确定度 $u(I_x)$ 的评定

多功能标准源分别输出直流电流 10 mA、100 mA、1 A，选择被校数字表合适的量程，在相同环境条件下，重复测量 10 次，获得数据如表 1，其平均值按公式 $\bar{I}_x = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} I_i$ ，其单次实验标准差

按公式 $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}}$ ，计算结果见表 1，由于实际测量时，测量

次数为 1 次，则该项结果的标准不确定度为 $u_x(I_x) = s$ ，计算结果见表 1。^[7]

表 1 被测数字多用表直流电流重复性测量数据、平均值 I_x 、单次实验标准差 S 及标准不确定度 $u(I_x)$

测量点 xi	10 mA	100 mA	1 A
1	10.001	100.0172	1.000123
2	10.002	100.0173	1.000125
3	10.002	100.0174	1.000123
4	10.002	100.0172	1.000124
5	10.002	100.0173	1.000123
6	10.002	100.0175	1.000119
7	10.002	100.0172	1.000119
8	10.002	100.0175	1.000119
9	10.002	100.0171	1.000121
10	10.002	100.0172	1.000122
$\bar{I}_x$	10.0016	100.01729	1.0001218
S	0.000224	0.00014	0.0000022
$u(I_x)$	0.000224	0.00014	0.0000022

（二）由多功能标准源引入的标准不确定度 $u(I_n)$

多功能标准源经过上级计量机构量值传递合格，生产厂家的使用说明书中技术指标给出直流电流 10 mA、100 mA、1 A 测量点处最大允许误差（区间半宽 a ）分别为为 $10 \times 40 \times 10^{-6}$ mA+50 nA、 $100 \times 50 \times 10^{-6}$ mA+0.8μA、 $1 \times 90 \times 10^{-6}$ A+15μA。按均匀分布进行计算，取 $k = \sqrt{3}$ ，则标准不确定度分量 $u(I_n)$ 可以按公式 $u(I_n) = \frac{a}{k}$ 进行计算，结果分别为：0.00026 mA、0.00335 mA、0.000061 A。

（三）由被校数字表的分辨力引入的标准不确定度 $u(\delta I)$ 的评定

考虑被校数字表在直流电压 10 mA、100 mA、1 A 的分辨力分别为：0.001 mA、0.0001 mA、0.000001 A，则引入的标准不确定度 $u(\delta I)$ 分别为 0.00029 mA、0.000029 mA。

（四）合成标准不确定度

考虑到被测数字表读数的重复性和分辨力存在重复，在合成

标准不确定度时将二者中较小值舍去，根据比较分辨力引入的标准不确定度分量舍去。

- 1.测量模型简化为 $\Delta I=I_x-I_n$
- 2.灵敏系数 $c_1=\frac{\partial \Delta I}{\partial I_x}=1$ $c_2=\frac{\partial \Delta I}{\partial I_n}=-1$

表6 各不确定度分量汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	测量点 x_i	标准不确定度	灵敏系数 c_i	$ c_i u(x_i)$
$u(I_i)$	测量重复性引入	10 mA	0.000224 mA	1	0.000224 mA
		100 mA	0.00014 mA		0.00014 mA
		1 A	0.0000022 A		0.0000022 A
$u(x_n)$	标准器引入	10 mA	0.00026mA	-1	0.00026mA
		100 mA	0.00335mA		0.00335mA
		1 A	0.000061 A		0.000061 A

五、合成标准不确定度的评定

以上各分量相互独立不相关，合成标准不确定度可以按公式 $u_c(\Delta I)=\sqrt{c_1^2u^2(I_x)+c_2^2u(I_n)}$ 进行计算，数字多用表在测量点 10 mA、100 mA、1 A 处合成标准不确定度 $U_c(\Delta I)$ 分别为 0.0003 mA、0.0034 mA、0.00006 A。

六、扩展不确定度的评定

取 $k=2$ ，则扩展不确定度可以按公式 $U=ku_c(\Delta I)$ 进行计算，数

字多用表在测量点 10 mA、100 mA、1 A 处扩展不确定度 U 分别为 0.0006 mA、0.0068 mA、0.00012 A。^[8]

结论：通过对数字多用表的不确定度进行评定，我们发现影响测量准确性的主要因素为仪器误差和操作误差。针对这些因素，提出以下几点改进建议：一是加强对数字多用表的日常维护和定期校准，降低仪器误差；二是提高操作人员的素质，规范测量流程，减少操作误差^[9]。通过实施这些改进措施，有望提高数字多用表的测量准确性，降低不确定度。为了降低数字多用表的不确定度，提高测量准确度，可以采取以下优化措施：选用高精度、高稳定性的数字多用表、确保仪器本省的精度和稳定性。合理安排测量方法，避免或减少误差源的影响，如选择合适的测量量程、调整合适的测量速度等。控制环境条件，如保持恒定的环境温度 and 湿度，减少电磁干扰等^[10]。

结束语：

在本次不确定度评定过程中，深入探讨了数字多用表直流电流不确定度的概念、适用范围、评定方法、影响因素以及优化措施等方面。通过科学严谨的分析和计算，得到了数字多用表直流电流示值误差测量结果的不确定度，将为从事该项工作的同行提供有益的参考。然而，评定过程并非一成不变。随着技术的进步和应用领域的拓展，不确定度评定方法也需要不断更新和完善。今后，我将继续关注数字多用表的技术发展，优化评定流程，确保数字多用表测量结果的准确性和可靠性。

参考文献：

[1] 刘钺等编 中华人民共和国国家计量技术规范 JJF1587-2016 数字多用表校准规范 国家市场监督管理总局 2016.

[2] 叶培德等编 中华人民共和国国家计量技术规范 JJF1059.1-2012 测量不确定度评定与表示 国家市场监督管理总局 2012.

[3] 叶培德等编 中华人民共和国国家计量技术规范 JJF1001-2011 通用计量术语及定义 国家市场监督管理总局 2011.

[4] 施昌彦等编 中华人民共和国国家计量技术规范 JJF1094-2002 测量仪器特性评定 国家市场监督管理总局 2002.

[5] 冯占岭等编 中华人民共和国计量检定规程 JJG598-1989 直流数字电流表试行检定规程 国家技术监督局 1989.

[6] 黄晶等编 中国航天工业总公司航天计量检定规程 JJG（航天）34-1999 交流数字电压表检定规程 中国航天工业总公司 1999.

[7] 王立康. 数字多用表直流电压测量不确定度评定 [J]. 中国计量, 2023(04): 83-84+94.

[8] 侯晓娟, 何修刚. 用 I/V 转换器校准大电流源测量结果的不确定度评定 [J]. 中国计量, 2022(05): 105-106.

[9] 陈光辉. 数字多用表校准结果不确定度评定 [J]. 科学技术创新, 2022(06): 1-5.

[10] 张洁, 郑明月, 王强, 等. 数字多用表的校准及故障调修研究 [J]. 仪器仪表标准化与计量, 2020(04): 41-43.