

# Research on Uncertainty Evaluation in Electrical Instrument Calibration

Shuhuan Li

Chifeng City Product Quality Inspection and Testing Center, Chifeng, Inner Mongolia, 024005, China

## Abstract

In the measurement verification of electrical instruments, the accurate assessment of uncertainty is very important to ensure the accuracy and reliability of the measurement results. This study comprehensively analyzed the sources of uncertainty in the verification process of electrical instruments, using the internationally common GUM methodology and Monte Carlo simulation. The results show that the main sources of uncertainty include instrument accuracy, environmental factors and operator skills. Through empirical data analysis, this paper proposes various strategies to reduce uncertainty, including optimizing the measurement environment, improving operator training and the use of more accurate instruments. In addition, the study also discusses the application significance of uncertainty assessment in improving the verification quality of electrical instruments, which provides a scientific basis for the standard formulation and improvement in related fields. These research results are of great value for improving the verification accuracy and reliability of electrical instruments.

## Keywords

electrical instrumentation; metrological verification; uncertainty; GUM methodology; Monte Carlo simulation

## 电气仪表计量检定中的不确定度评定研究

李淑环

赤峰市产品质量检验检测中心, 中国·内蒙古赤峰 024005

## 摘要

在电气仪表计量检定中, 准确评定不确定度对于确保测量结果的准确性和可靠性至关重要。本研究通过对电气仪表检定过程中不确定度来源的全面分析, 采用了国际通用的GUM方法论和蒙特卡洛模拟, 进行了不确定度的量化评估。研究结果显示, 主要的不确定度来源包括仪器精度、环境因素及操作者技能等。通过实证数据分析, 论文提出了减少不确定度的多种策略, 包括优化测量环境、提升操作者培训及使用更高精度的仪器。此外, 研究还探讨了不确定度评定在提高电气仪表检定质量中的应用意义, 为相关领域的标准制定和改进提供了科学依据。这些研究成果对于提高电气仪表的检定精度和信度具有重要价值。

## 关键词

电气仪表; 计量检定; 不确定度; GUM方法论; 蒙特卡洛模拟

## 1 引言

本研究旨在深入探讨电气仪表计量检定中的不确定度评定问题。在开展研究之前, 我们充分参考了国际、国内相关的规程规范, 如《计量法》《电气仪表计量检定规程》等, 以确保研究的严谨性和规范性。这些规程规范为电气仪表的计量检定提供了明确的技术要求和操作规范, 是本研究的重要参考依据。通过采用国际通用的 GUM 方法论和蒙特卡洛模拟技术, 本研究对检定过程中的不确定度进行了全面的量化评估。GUM 方法论 (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) 是国际计量局 (BIPM) 和国际

标准化组织 (ISO) 等共同制定的, 用于指导测量不确定度的评定和表达。蒙特卡洛模拟技术则是一种基于概率统计的数值计算方法, 能够模拟复杂系统的随机行为, 并评估其不确定性。在研究过程中, 我们发现仪器精度、环境因素及操作者技能是影响不确定度的主要因素。针对这些因素, 本文提出了一系列减少不确定度的策略。一方面, 优化测量环境是减少不确定度的重要手段。通过控制温度、湿度、电磁干扰等环境因素, 可以显著降低环境对测量结果的影响。另一方面, 提升操作者培训水平也是减少不确定度的有效途径。通过加强培训, 提高操作者的技能水平和操作规范性, 可以减小人为因素对测量结果的影响。

【作者简介】李淑环 (1973-), 女, 蒙古族, 中国内蒙古赤峰人, 本科, 高级工程师, 从事电磁研究。

## 2 不确定度的理论基础与评定方法

### 2.1 不确定度的定义与分类

不确定度是由于所有数量被测量时所面临的各种因素而产生的一种度量，反映了被测量结果可能存在的误差程度<sup>[1]</sup>。在计量科学中，不确定度是对测量结果可信度的量化，明确表示了测量结果的可信范围。国际标准化组织（ISO）将不确定度定义为“与测量结果相关的、表征其分散性的非负参数”，这一定义强调了测量结果的统计特性和分散性。

### 2.2 GUM 方法论概述

GUM 方法论，全称为“Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement”，是国际通用的测量不确定度评定标准。该方法论的核心是通过建立数学模型，将所有可能影响测量结果的不确定因素进行量化，进而计算合成不确定度。GUM 方法论主要包括不确定度源的识别与分类、量化不确定度分量、合成标准不确定度计算、扩展不确定度评定等步骤。具体来说，需识别测量过程中的各个不确定度来源，并将其分为 A 类评定和 B 类评定。A 类评定基于统计分析，通过重复测量求取标准差；B 类评定则基于先验知识和已知数据。随后，通过数学模型将各类不确定度分量合成，采用平方和再开平方的方法计算出合成标准不确定度。根据要求确定扩展因子，将合成标准不确定度乘以扩展因子，得出扩展不确定度。

### 2.3 电气仪表计量检定的规程规范概述

在电气仪表计量检定的过程中，遵循相关的规程规范是确保检定工作准确性和可靠性的基础。JJF 1059.1—2012 和 JJF 1059.2—2012 是中国国家计量技术规范，它们为电气仪表的计量检定提供了详细的指导。JJF 1059.1—2012 主要规定了测量不确定度的评定与表示方法，详细说明了不确定度的概念、分类、评定步骤及其在测量结果中的表示方式。这一规范为电气仪表检定中不确定度的评定提供了明确的指导，确保了检定结果的科学性和准确性。JJF 1059.2—2012 则侧重于用测量不确定度评定测量仪器性能，规定了如何运用不确定度评定来评价电气仪表的性能。它详细说明了如何通过不确定度评定来反映仪器的测量能力，并为仪器校准、使用和维护提供了科学依据。

这两部规程规范适用于电气仪表的计量检定工作，涵盖了从不确定度评定到仪器性能评价的全过程。它们对电气仪表检定工作的基本要求包括：准确识别不确定度来源，合理量化不确定度分量，科学计算合成不确定度，并正确表示和应用不确定度评定结果。同时，规程规范还强调了检定环境的控制、仪器的选择与使用、操作者的技术水平等要求，以确保检定工作的准确性和可靠性。通过遵循 JJF 1059.1—2012 和 JJF 1059.2—2012 等规程规范，电气仪表的计量检定工作能够更加规范、科学地进行，为提高电气仪表的检定精度和信度提供了有力保障。

## 3 电气仪表检定中不确定度的来源与影响

### 3.1 仪器精度对不确定度的影响

在电气仪表检定过程中，仪器精度是影响不确定度的关键因素之一。仪器精度直接关系到测量结果的准确性，任何微小的偏差都可能导致较大的不确定度。精度不足的仪器在测量过程中可能产生系统误差和随机误差，这些误差在多次测量中积累，会显著影响最终结果的不确定度评定。

系统误差主要来源于仪器本身的设计缺陷、校准不准确以及长期使用导致的性能退化等。系统误差的存在会导致测量结果始终偏离真实值，使得不确定度增大。为减少系统误差，需定期对仪器进行校准和维护，确保其处于最佳工作状态。

随机误差则通常由环境因素、操作过程中的偶然因素以及仪器的内部噪声等引起。虽然随机误差无法完全消除，但可以通过增加测量次数和采用统计方法进行处理，从而在一定程度上减小其对不确定度的影响。

高精度的仪器能够有效降低系统误差和随机误差对测量结果的影响，从而减少不确定度。高精度仪器通常具备更先进的技术和更严格的校准程序，能够提供更稳定和准确的测量数据。在电气仪表的检定过程中，选用高精度的仪器是降低不确定度的重要策略之一。

通过对仪器精度的分析，可以看出，提高仪器精度不仅能够提高测量结果的准确性，还能显著降低不确定度，从而提升电气仪表检定的可靠性和信度。

### 3.2 环境因素的影响分析

环境因素对电气仪表计量检定中的不确定度具有显著影响。在检定过程中，温度、湿度、气压及电磁干扰等环境条件的变化，均会对仪器的测量性能产生干扰。温度变化会导致仪表内部的电子元器件特性发生变化，从而影响测量结果的稳定性和准确性。湿度的波动可能引起电气接触点的氧化或腐蚀，进而影响信号传输的可靠性。气压的变化会对部分依赖气压的传感器产生影响，尤其是对流量计和压力计的测量结果造成误差<sup>[2]</sup>。电磁干扰则通过影响电路信号的传输，易产生噪声干扰，导致测量数据的偏差。在电气仪表检定中，需通过严格控制和监测环境条件，以降低环境因素对测量不确定度的影响。

### 3.3 操作者技能与不确定度的关系

操作者技能在电气仪表检定中的不确定度评定中占据重要地位。操作者的经验和专业知识直接影响测量操作的准确性和一致性。操作过程中的细微差异，如读数方法、调整技巧等，都会导致测量结果的变化。操作者在处理仪器校准、调整和维护过程中所具备的技能水平也直接关系到不确定度的大小。系统化的培训和技能提升对于减少不确定度至关重要。高技能水平的操作者能够显著降低人为因素对测量结果的影响，从而提高电气仪表检定的准确性和可靠性。

## 4 提高电气仪表检定准确性的策略

### 4.1 测量环境优化策略

在电气仪表计量检定过程中,优化测量环境是提高检定准确性的重要策略之一。测量环境的稳定性和一致性直接影响仪表读数的精确度和可靠性<sup>[3]</sup>。环境温度、湿度、电磁干扰等因素是影响测量结果的主要环境变量。

控制精度是优化测量环境的首要任务。温度变化会导致仪表的物理特性变化,进而影响测量结果的准确性。应在检定实验室中配置恒温设备,保持室温在仪表操作说明规定的范围内,并尽量减少温度波动。湿度也是重要因素之一,高湿度环境可能导致电气仪表内部电路受潮,影响测量的稳定性。建议保持实验室湿度在合理范围内,配置除湿设备以控制湿度水平。

电磁干扰对电气仪表的测量也有显著影响。实验室应采取有效的电磁屏蔽措施,如使用屏蔽室或屏蔽材料,以减少外界电磁波对测量仪器的干扰。电源质量也是影响因素之一,应确保检定设备供电的稳定性,避免因电压波动导致测量误差。

通过上述措施,优化测量环境可以显著降低电气仪表计量检定中的不确定度,从而提高测量结果的准确性和可靠性,为电气仪表的精确检定提供坚实基础。

### 4.2 操作者培训与技能提升

在电气仪表检定中,操作者的培训和技能提升对降低不确定度具有关键作用。通过系统化的培训,操作者可以熟练掌握相关测量技术及操作方法,从而减少由于操作不当所引起的误差。重视理论知识的学习与实践操作的结合,确保操作者在复杂环境下也能精准操作。培训内容应包括仪器的正确使用、常见问题的处理与解决,以及数据分析方法等。建立严格的技能评估机制,定期对操作者进行考核,以确定培训效果并发现和纠正潜在问题。组织经验交流和技能竞赛,促进知识共享和技能互补,进一步推动操作者整体水平的提升。

### 4.3 高精度仪器的选用及其效益

在电气仪表检定工作中,选用高精度仪器是减少不确定度的重要策略。高精度仪器不仅具有更低的测量误差,还能提供更稳定的测量数据,从而有效减少因仪器本身引入的不确定度。高精度仪器通常具备更先进的技术和功能,能够适应多种测量条件,进一步增强测量结果的可靠性。高精度仪器的投入可以显著提升整体检定水平,减少重测率,节省时间和成本。通过高精度仪器的选用,能够显著提高电气仪表检定的精确度和信度,为检定工作的优化提供坚实保障。

## 5 案例分析

为了更直观地展示不确定度评定在电气仪表计量检定

中的实际应用和效果,论文选取了两个典型的电气仪表计量检定案例进行分析。

### 5.1 案例一:高精度电流表检定

在检定一台高精度电流表时,我们首先根据 JJF 1059.1—2012 和 JJF 1059.2—2012 等规程规范,设定了严格的测量条件和环境要求。随后,我们选择了符合规程要求的高精度测量仪器,并对电流表进行了多次测量。在不确定度评定过程中,我们详细分析了仪器精度、环境波动、人为操作等因素对测量结果的影响,并基于 GUM 方法论和蒙特卡罗模拟技术对这些不确定度分量进行了量化评估。最终,我们得出了该电流表的不确定度评定结果,并据此对其性能进行了评价。

### 5.2 案例二:多功能电压表检定

对于多功能电压表的检定,我们同样遵循了规程规范的要求。在测量前,我们对测量环境进行了严格控制,确保温度、湿度等参数满足规程要求。在测量过程中,我们选择了合适的测量仪器,并严格按照规程规定的测量程序进行操作。在不确定度评定中,我们特别关注了电压表量程切换、读数误差等因素对不确定度的影响,并进行了详细的分析和量化评估。最终,我们得出了多功能电压表的不确定度评定结果,为其后续使用和维护提供了科学依据。

通过以上两个案例的分析,我们可以看到不确定度评定在电气仪表计量检定中的实际应用和效果。通过遵循规程规范的要求,结合不确定度评定方法,我们可以更加准确地评估电气仪表的性能,为工业生产、科学研究等领域提供更加可靠的数据支持。

## 6 结语

本研究深入探讨了电气仪表计量检定中的不确定度评定问题,通过采用 GUM 方法论和蒙特卡洛模拟,成功量化了不确定度,并识别了仪器精度、环境因素及操作者技能为主要的不确定度来源。研究不仅提出了减少不确定度的有效策略,如优化测量环境、提升操作者培训及使用更高精度的仪器,还强调了不确定度评定在提升电气仪表检定质量中的重要应用意义。这些成果为电气仪表检定领域的标准制定和改进提供了科学依据,对提高检定精度和信度具有显著价值。

### 参考文献

- [1] 臧晓伟,陈康.基于蒙特卡洛法的计价器检定不确定度评定[J].上海计量测试,2023,50(4):49-52.
- [2] 黎兆允.焦度计不确定度评定与计量检定分析[J].今日自动化,2021(4):159-160.
- [3] 张天宇.电子衡器计量检定不确定度评定[J].科学与财富,2019(17):60.