

常用玻璃量器检定过程中的力学计量不确定度评估与控制

朱云川

文山壮族苗族自治州检验检测认证院

DOI:10.12238/etd.v6i1.11754

[摘要] 常用玻璃量器检定中力学计量不确定度的评估与控制直接影响测量结果的准确性与可靠性。本文从不确定度的理论基础、评估方法及主要控制措施入手,分析了随机与系统不确定度的来源,提出优化检定环境、提升设备性能、规范操作流程及改进数据处理方法的具体措施,为提高玻璃量器检定质量提供了实践指导。针对现有问题,建议结合技术创新和智能化工具进一步优化不确定度评估,提升测量的精确性与稳定性。

[关键词] 玻璃量器检定; 力学计量; 不确定度控制

中图分类号: TB484.5 **文献标识码:** A

Mechanical measurement uncertainty evaluation and control in the calibration process of commonly used glass measuring instruments

Yunchuan Zhu

Wenshan Zhuang and Miao Autonomous Prefecture Inspection, Testing and Certification Institute

[Abstract] The evaluation and control of mechanical metrological uncertainty in the calibration of commonly used glass measuring instruments directly affect the accuracy and reliability of measurement results. Starting from the theoretical basis, evaluation methods, and main control measures of uncertainty, this article analyzes the sources of random and system uncertainty, proposes specific measures to optimize the calibration environment, improve equipment performance, standardize operating procedures, and improve data processing methods, and provides practical guidance for improving the quality of glass measuring instrument calibration. In response to existing issues, it is recommended to further optimize uncertainty assessment by combining technological innovation and intelligent tools to improve measurement accuracy and stability.

[Key words] Glass measuring instrument calibration; Mechanical metrology; Uncertainty control

引言

常用玻璃量器(如容量瓶、量筒和滴定管)在工业生产、科研实验及质量检测中具有广泛应用,其检定的准确性直接影响实验数据的可靠性与后续分析的科学性。同时,力学计量用途广泛,在许多专业领域具有重要的应用价值。力学计量与检测精度直接影响检测结果,但是在力学计量中涉及不确定度问题,科学分析不确定度对提高试验精度具有积极意义^[1]。然而,目前实际操作中,不确定度来源复杂、评估方法不够精细、控制措施仍显不足,导致计量结果的稳定性与准确性受限。因此,深入研究力学计量不确定度的评估与控制方法,探讨可操作的改进措施,对于提高玻璃量器的检定质量和实际应用效果具有重要意义。

1 力学计量不确定度的理论基础与分类

1.1 力学计量不确定度的基本概念与内涵

力学计量不确定度是衡量测量结果可信度的重要指标,其本质是对测量值可能偏离真值的合理估计^[2]。根据国际计量学

组织(OIML)的定义,不确定度可分为A类评定和B类评定两种方法,其中A类评定基于统计分析的结果,而B类评定则依赖于经验数据和参考文献。不确定度的存在源于测量系统的固有缺陷,例如仪器设备的偏差、环境条件的波动以及操作者的主观误差。在玻璃量器的检定中,力学计量不确定度主要涉及质量、力和时间等参数,而这些参数的偏差直接影响量器校准的准确性与稳定性。因此,明确力学计量不确定度的来源与性质,是优化不确定度评估与控制的前提和关键。

1.2 常用玻璃量器检定中不确定度的分类与特征

玻璃量器检定中的力学计量不确定度可以分为随机不确定度和系统不确定度两大类。随机不确定度主要来源于操作过程中的偶然误差,如液体注入时的读数偏差、反复称量中的微小浮动等,其特征是不确定度值呈现随机分布,可通过多次测量降低影响。相较之下,系统不确定度则表现为测量结果的固定偏差,通常由测量仪器的校准误差、玻璃量器本身的制造缺陷以及环

境因素(如温度、湿度)引起。这类不确定度无法通过简单的重复测量消除,需要采取针对性的校正措施。例如,测量设备的校准和检定规范的完善可有效降低系统不确定度的影响。因此,结合随机与系统不确定度的分类特征,精准识别其来源并采取相应对策,是提高玻璃量器检定可靠性的重要途径。

2 常用玻璃量器检定过程中不确定度的评估方法

2.1 不确定度评估的基本原则与流程

玻璃量器检定过程中,不确定度评估的核心原则是科学性和可重复性,即通过量化分析各影响因素的贡献,合理估算综合不确定度值。评估流程通常包括以下几个步骤:明确测量目标,确定被检量器的关键参数(如容量、分度值);识别不确定度来源,针对操作过程中的关键环节(如注水、读取、排气)进行逐一分析;量化不确定度分量,分别评估随机不确定度与系统不确定度的大小;最后,进行不确定度合成,按照平方和开方原则计算综合不确定度。在此过程中,必须严格遵循计量规范,充分考虑检定环境(如温度、湿度)、设备校准和操作方法的影响,以确保评估结果的客观性与准确性。

2.2 不确定度分量的定量分析方法

在玻璃量器检定中,不确定度的定量分析通常分为两类:A类评定和B类评定。A类评定基于测量数据的统计分布,通过多次测量计算测量结果的标准偏差;例如,对同一量筒进行多次注水和读数,通过数据的离散程度评估其随机不确定度。B类评定则利用参考文献、设备校准证书或专业经验估算不确定度值,如仪器校准的偏差、刻度线间距的不均匀性等。以滴定管为例,其B类不确定度可能来自滴定速度的稳定性和玻璃管壁的毛细作用。通过将各分量的不确定度值明确列出,结合不确定度预算表进行合成计算,最终得到综合不确定度值。此外,在不确定度分析中,还需结合玻璃量器的具体使用场景和精度要求,确保结果的适用性^[3]。

2.3 不确定度合成与结果解释

不确定度的合成采用“平方和开方”方法,将所有来源的不确定度分量以二次方的形式相加,再开平方得到综合不确定度值。计算公式为:

$$U_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2}$$

其中, u_i 表示第*i*个不确定度分量。在合成过程中,还需根据各分量的来源与影响程度分配权重,确保结果的合理性。计算完成后,不确定度结果需结合测量值给出,例如容量值为“100.0 ± 0.2 mL (k=2)”,其中“k=2”表示覆盖因子,代表置信水平为95%。通过明确结果的表述方式,可为后续玻璃量器的检定与使用提供明确的参考依据。合理解释不确定度的意义,对于使用者理解检定结果、优化量器使用具有重要作用。

3 力学计量不确定度的主要控制措施

3.1 优化检定环境条件

检定环境的优化是降低力学计量不确定度的重要基础^[4]。温度、湿度、振动等环境因素对玻璃量器的检定过程有直接影响,尤其是在高精度测量中,这些微小的波动可能显著改变测量结果的稳定性与一致性。首先,应在恒温恒湿实验室内进行检定操作,确保环境温度维持在标准范围(如20 ± 0.5℃),相对湿度保持在40%-60%。其次,为减少外界振动对测量的干扰,可在实验室安装防震台并控制周边机械设备的运转。再次,对于液体类测量,应特别注意空气流动对液面形成的波动,并采用防尘罩等保护措施。此外,通过实时监测环境参数并记录在检定报告中,可为后续的不确定度分析提供数据支撑。优化检定环境不仅能减少外界因素的不利影响,还能有效提升测量结果的稳定性与可重复性。

表1 优化检定环境条件措施及效果

优化措施	具体要求	预期效果
在恒温恒湿实验室内进行检定操作,保持温度和湿度在规定范围内	温度维持在20±0.5℃,湿度保持在40%-60%	减少环境因素对检定的影响
安装防震台,减少外界振动的干扰	避免周边机械设备的运行对测量的影响	提高测量结果的稳定性
控制空气流动,使用防尘罩保护液面稳定	防止空气流动导致液面波动,确保测量准确	保障液面读数的一致性和可靠性

3.2 提高检定设备性能

高性能检定设备是降低系统不确定度的关键。在玻璃量器的检定过程中,测量仪器的精度、稳定性与校准周期直接影响检定质量。首先,应选用符合国家或国际标准的高精度设备,如精密电子天平、校准质量标准器和高灵敏度液面测量仪等。这些设备不仅测量精度高,而且具备较强的抗干扰能力。其次,应定期对检定设备进行校准,尤其是针对长期使用的仪器,其精度可能随时间出现偏移,及时校准可保证测量结果的可信度。此外,设备维护同样重要,例如定期清洁电子天平的称量盘、更换老化传感器以及升级测量软件,以确保设备始终处于最佳工作状态。通过提高检定设备性能,不仅能减少设备引入的不确定度,还能为后续测量提供可靠保障。

3.3 规范检定操作流程

规范化操作是减少人为误差的有效途径。在玻璃量器的检定过程中,操作人员的不规范行为可能成为随机不确定度的主要来源,因此严格的操作规程显得尤为重要。首先,应针对不同类型的玻璃量器制定详细的检定规程,包括容量读数、液体注入速度、排气时间等具体要求。其次,操作人员需经过专业培训,确保其熟练掌握检定方法并具备较强的计量意识。此外,在检定过程中,应尽量避免主观判断,例如在液面读数时使用激光液面仪代替目测方法,从而减少视觉偏差。最后,建议在实际操作中引入双人复核机制,即一人操作、一人记录并交叉验证结果。通过规范操作流程,可以最大限度地降低人为因素对不确定度的干扰,进而提高检定的一致性与可靠性。

3.4 优化数据处理与分析方法

提升数据处理和分析技术对于精确评价不确定性、减少测量误差具有关键作用。在信息收集阶段, 依赖人工记录的方法易于产生抄写失误, 从而提升测量数据的波动程度。因此, 为了提升数据记录的效率和精确度, 应优先考虑使用电子记录设备。对采集到的数据, 需要采用统计学方法进行适当的筛选和处理。例如, 剔除异常偏离的数据点, 对测量数据分布进行正态性检验, 并使用均值和标准差等统计指标评估数据的稳定性。在不确定度计算时, 可引入数据分析软件, 例如Matlab或LabVIEW, 以实现高效、精准的计算。此外, 通过对历史测量数据的回归分析, 能够识别不确定度变化的规律, 从而进一步优化测量模型和检定流程。合理有效的数据处理方法不仅能够显著提升检定结果的可靠性, 还为后续的检定工作积累科学依据, 有助于全面降低综合不确定度, 提高玻璃量器检定的整体质量和水平。

4 存在问题与改进方向

4.1 存在的问题

尽管在玻璃量器检定中力学计量的不确定度评估方法已较为完善, 但在实际操作中仍存在一些关键问题亟待解决。首先, 不确定度来源识别不够全面, 尤其是复杂操作中对微小误差的量化分析不足。例如, 液体在容器内的毛细现象或玻璃材质的热胀冷缩效应, 常被忽略或简化处理, 从而导致测量结果的偏差。其次, 检定设备的性能差异显著, 部分单位仍使用精度较低或已老化的仪器进行检定, 设备误差成为不确定度的重要来源。此外, 操作人员的能力参差不齐, 部分人员对不确定度评估的理解较浅, 导致评估结果的主观性较强且不够严谨。最后, 数据处理和分析工具的使用不够广泛, 大量依赖手工记录和计算, 增加了人为误差的可能性。这些问题的存在直接影响了玻璃量器检定的不确定度评估结果的准确性和可靠性。

4.2 改进方向

针对上述问题, 可从以下几方面进行改进。首先, 应加强不确定度来源的全面识别, 特别是在评估复杂力学计量中难以量化的细节误差时, 充分借助先进检测技术和仿真工具, 确保评估

的全面性与科学性。其次, 提升检定设备的性能, 通过引入新型高精度仪器和及时校准现有设备, 降低系统误差对不确定度的影响。同时, 强化操作人员的专业能力, 开展针对性的培训和考核, 确保其具备扎实的计量理论知识与实际操作技能。此外, 应加大数据处理技术的应用力度, 引入高效的数据分析软件, 实现自动化计算与异常值排查, 从而提高数据处理的准确性与效率。这些改进措施不仅能有效降低玻璃量器检定过程中的不确定度, 还能为后续的计量工作提供技术支持与经验借鉴。

5 结论

常用玻璃量器的检定质量对实验测量的精度与结果的可靠性具有重要意义。本文围绕检定过程中的力学计量不确定度问题, 从理论基础、评估方法和控制措施等方面进行了系统探讨。通过明确不确定度的来源与分类, 结合实际检定操作中的难点, 提出了优化检定环境、提升设备性能、规范操作流程和改进数据处理方法的具体措施, 为降低不确定度提供了实践指导。然而, 在实际操作中, 检定工作仍受设备性能限制、人员操作水平差异以及不确定度来源复杂性等因素的影响, 需要结合技术创新与管理优化加以改进。未来工作应注重智能化检测技术和数据分析工具的应用, 进一步提高不确定度评估的科学性与精确性, 从而为玻璃量器的高效检定提供更全面的技术支持。

[参考文献]

- [1]黄燕. 沥青比重瓶容量和质量测量结果的不确定度评定[J]. 前卫, 2021(10):1-3.
- [2]黄博. 力学计量中不确定度分析测量的应用意义及应用思路[J]. 机械工业标准化与质量, 2023(12):18-20.
- [3]何奎祥. 专用玻璃量器误差示值误差的不确定度评定报告[J]. 缔客世界, 2020(9):289.
- [4]王昊, 吴书清, 曾利民, 等. 力值砝码计量校准与其测量不确定度研究[J]. 衡器, 2023(3):17-21.

作者简介:

朱云川(1980--), 男, 汉族, 云南省文山壮族苗族自治州文山市人, 本科, 研究方向: 计量。