

计量检定中测量不确定度运用分析

闫海凤

河北省张家口市阳原县市场监督管理局 河北 张家口 075800

摘要：测量不确定度是计量检定中的重要概念，它反映了测量结果的可靠程度。评定测量不确定度有A类、B类两种方法，并可进一步合成与扩展不确定度以全面评估测量质量。在实际应用中，测量不确定度被广泛应用于各类计量检定场景，如长度计量检定、电学计量检定及力学计量检定等，为确保测量结果的准确性和可靠性提供了科学依据，对提升计量检定的整体水平具有重要意义。

关键词：计量检定；测量不确定度；运用

引言

计量检定是确保测量准确性和一致性的关键环节，广泛应用于各个领域，从科学研究到工业制造，再到贸易结算和环境监测。在计量检定过程中，测量不确定度是一个核心概念，它反映了测量结果的离散性和可靠性。对测量不确定度的准确评定和应用，对于提高计量检定的准确性和可信度至关重要。本文将深入探讨测量不确定度的评定方法及其在不同计量检定场景中的应用。

1 测量不确定度概述

测量不确定度是评估测量结果可信性和有效性的一个核心参数，它定量地描述了测量结果的质量。在测量实践中，由于多种复杂因素的交织影响，如测量仪器的固有精度限制、被测物体特性的变化、环境条件的波动、测量程序的规范性以及操作者的技术水平和经验等，所获得的测量结果往往呈现出一定的分散性。这种分散性，即测量不确定度，深刻反映了测量结果的离散程度和可能的变化范围，是测量结果固有属性的一种体现。与测量误差这一概念相比，测量不确定度具有更为广泛的内涵。误差主要表示测量结果相对于真值的偏离程度，是一个具体的量值，而测量不确定度则侧重于描述被测量值的分散性，它并不直接说明测量结果是否接近真值，而是给出了测量结果可能落入的区间范围。测量不确定度通常以一个区间量的形式出现，表示测量结果在某一特定范围内的可能性或置信度。测量不确定度在计量学、科学研究以及工程技术等领域具有举足轻重的地位，它不仅是衡量测量结果质量的重要指标，更是保证测量准确性和一致性的基石。通过科学合理的测量不确定度评定，我们可以深入了解测量结果的可靠性和精度水平，为后续的决策和分析提供坚实的科学依据。测量不确定度的评定方法多种多样，主要包括统计方法和非统计方法两大类。统计方法基于概率论和数理统计

理论，通过处理和分析大量实验数据来评定测量不确定度；而非统计方法则主要适用于测量数据较少或无法直接采用统计方法的情况，如经验法、最坏情况法、模型法以及蒙特卡洛模拟法等。在实际应用中，我们需要根据具体的测量情况和需求，选择最合适的评定方法，以确保评定结果的准确性和可靠性。

2 测量不确定度的评定方法

2.1 A类评定方法

A类评定方法，即统计评定方法，是评估测量结果不确定度的一种重要手段，其核心在于运用统计分析工具来量化测量数据的离散程度。这一方法体系中，标准差法占据着举足轻重的地位。标准差法通过对同一测量对象进行多次重复测量，收集并整理这些测量数据，进而计算出测量值的平均数以及标准差（即标准差）。标准偏差作为衡量测量数据分散程度的关键指标，其数值大小直接反映了测量结果的不确定度水平。具体而言，当标准偏差较大时，意味着测量数据点之间的离散程度较高，测量结果的不确定度也随之增大；反之，若标准偏差较小，则表明测量数据点相对集中，测量结果的不确定度较低。除了广泛应用的标准差法之外，A类评定方法中还包括了t分布法这一重要工具。t分布法特别适用于测量次数相对较少的情况，它通过对测量数据的t值进行计算和分析，来估计测量不确定度。与标准差法相比，t分布法在考虑测量数据的离散程度时，还额外纳入了测量次数这一影响因素，从而能够更加准确地反映在不同测量次数下，测量结果不确定度的变化情况。在测量次数有限或样本量较小的场景中，t分布法提供了一种更为可靠和精确的不确定度评估手段。A类评定方法通过标准差法和t分布法等统计分析工具，为测量结果的不确定度评估提供了科学、有效的方法，有助于提升测量结果的准确性和可靠性^[1]。

2.2 B类评定方法

B类评定方法,作为一种非统计评定手段,在测量不确定度的评估中扮演着重要角色。这类方法不依赖于大量的统计数据,而是基于已知的信息或经验来进行评判。其中,仪器不确定度法是B类评定方法中的一大支柱。它主要利用测量仪器的固有计量特性参数,如仪器的分辨率、灵敏度、示值误差等,来估算测量过程中可能产生的不确定度。这些参数是仪器性能的直接体现,对于理解仪器在测量过程中的表现至关重要。通过深入分析这些特性参数,我们可以对仪器在特定测量条件下的准确性和可靠性有更清晰的认识,从而更准确地评估测量不确定度。特别是在那些直接依赖仪器获取测量数据的场景中,仪器不确定度法显得尤为重要。除了仪器不确定度法,材料不确定度法也是B类评定方法中不可或缺的一部分,它侧重于通过材料的特性参数,如密度、热膨胀系数、电导率等,来评估测量不确定度。在涉及材料特性测量的领域,材料本身的不确定性往往对测量结果产生显著影响。通过充分考虑材料特性参数的不确定性,材料不确定度法能够更全面地评估测量过程中的不确定度来源。这种方法不仅提高了测量不确定度评估的准确性,还为后续的数据分析和决策提供了更可靠的基础。B类评定方法通过仪器不确定度法和材料不确定度法等非统计手段,为测量不确定度的评估提供了有力的工具。这些方法的应用不仅加深了我们对测量过程和材料特性的理解,还提高了测量的准确性和可靠性,为科学研究和工程实践提供了有力支持。

2.3 合成不确定度与扩展不确定度

当进行一项测量时,往往会遇到多个不确定度分量的影响,这些分量可能源自于仪器的精度限制、方法的固有偏差、环境条件的波动等多种因素。为了全面评估测量的准确性,我们需要将这些不同的不确定度分量合成为一个总的测量不确定度,即合成不确定度。合成不确定度的计算过程通常遵循一定的数学规则,即通过计算各分量标准不确定度的平方和,再对这个和取正平方根,从而得出一个综合反映了所有不确定度来源影响的单一数值。这个数值代表了测量结果的总体不确定程度,是评价测量质量的重要指标。然而,仅仅知道合成不确定度还不足以全面描述测量结果的可靠性,因为在实际应用中,我们往往更关心测量结果可能存在的最大误差范围。我们引入了扩展不确定度的概念。扩展不确定度是在合成不确定度的基础上,通过乘以一个预先设定的包含因子(这个因子通常根据测量的性质和要求取2或3)来得到的。这个包含因子的作用是为了考虑到可能

存在的未知误差或未充分估计的不确定度分量,从而确保所给出的误差范围具有足够的包容性。扩展不确定度实际上为测量结果提供了一个可信区间,这个区间内包含了测量结果真实值以较高概率(如95%或99%)存在的范围。通过这样的处理,使用者可以更加直观地了解测量结果的可靠性,并在进行决策或进一步分析时,根据扩展不确定度来合理评估测量结果的适用性和准确性。合成不确定度和扩展不确定度共同构成了测量不确定度评估的完整框架,为科学研究和工程实践提供了有力的支持^[2]。

3 测量不确定度在不同计量检定场景中的应用

3.1 长度计量检定

(1)在量具校准方面,测量不确定度用于评估量具测量结果的可信程度。以卡尺校准为例,卡尺本身的制造公差、测量人员操作手法的差异以及测量环境(如温度、湿度)的变化等,都会引入不确定度分量。通过对这些不确定度分量的分析与合成,能够给出校准结果的不确定度范围。这使得使用者可以清晰了解该卡尺在测量长度时可能存在的误差范围,从而判断其是否适用于特定精度要求的测量任务。例如,在精密机械加工领域,对于零部件尺寸精度要求极高,若卡尺测量不确定度超出允许范围,可能导致加工出的零部件不符合设计要求,影响整个产品质量。(2)在长度量值传递过程中,测量不确定度同样不可或缺。从高等级标准量块到低等级量块的量值传递,每一步都伴随着不确定度的累积。上级标准量块的不确定度、比较测量过程中的仪器分辨力以及环境条件波动等因素,共同决定了传递到下级量块的测量不确定度。通过合理评估与控制这些不确定度,可确保量值传递的准确性与可靠性。例如,在国家计量基准向工作计量器具传递长度量值时,精准掌握测量不确定度,能保障全国范围内长度测量的一致性与准确性,为工业生产、科学研究等领域提供坚实基础。(3)在复杂形状工件的长度测量中,测量不确定度的评估更为复杂。如测量具有曲面或不规则形状工件的特征长度时,测量方法的选择、测量点的选取以及测量仪器与工件的接触方式等,均会对测量结果产生影响,进而带来不确定度。通过全面分析这些因素,采用合适的数学模型合成不确定度,可为测量结果提供合理的置信区间。这有助于在航空航天等对零部件形状精度要求苛刻的行业中,准确判断工件是否符合设计规范,保障产品性能与安全^[3]。

3.2 电学计量检定

(1)仪器校准与测量准确性评估。电学计量仪器如

万用表、功率计等在使用前需进行校准。以校准数字万用表的电压测量功能为例,测量不确定度用于量化测量结果与被测量真值间的差异范围。考虑到仪器的固有误差、环境温度及湿度对测量的影响等因素,通过多次测量并运用统计方法,确定出测量不确定度。若测量不确定度在可接受范围内,表明仪器校准准确,能为后续测量提供可靠依据;反之,则需对仪器进行调整或维修,以保障电学测量的准确性。(2)测量方法有效性验证。在选择或开发新的电学计量检定方法时,测量不确定度是评估方法有效性的关键指标。例如在测量低电阻时,采用不同的测量方法(如双臂电桥法、电流-电压法)会产生不同的测量不确定度。通过全面分析测量过程中的系统误差与随机误差来源,包括接触电阻、引线电阻等,计算每种方法的测量不确定度。对比不同方法的不确定度大小,选择不确定度最小的方法,确保测量结果更接近真值,从而验证所选测量方法在电学计量检定中的有效性与可靠性。(3)测量结果质量控制。在连续的电学计量检定工作中,测量不确定度用于监控测量结果的质量。定期对已知标准值的电学量进行测量,将测量结果的不确定度与预设的控制限进行比较。若测量不确定度超出控制限,可能意味着测量过程出现异常,如仪器性能漂移、操作人员失误等。此时需及时查找原因并采取纠正措施,重新校准仪器或对人员进行培训,保证后续测量结果始终满足规定的质量要求,维持电学计量检定工作的稳定性与准确性。

3.3 力学计量检定

(1)砝码校准。砝码作为力学计量中的基础标准器,其准确性直接影响众多力学测量结果。在砝码校准过程中,需全面考量多种因素引入的不确定度。比如砝码材料的密度不均匀性,会导致其质量实际值与标称值存在偏差,从而产生不确定度分量;砝码在使用过程中的磨损,也会对校准结果的准确性带来影响,成为另一个重要的不确定度来源。通过精确评估这些不确定度因素,能为砝码校准提供可靠的质量评定范围,确保其在

后续力学测量应用中的准确性。(2)压力计量检定。在压力计量领域,测量不确定度对于准确评估压力测量设备性能不可或缺。第一,压力传感器的非线性响应特性会使测量值偏离真实压力值,这是压力测量不确定度的关键组成部分。第二,环境温度的波动会对压力测量系统的弹性元件产生影响,进而改变压力测量结果,这同样构成了不可忽视的不确定度因素。准确量化这些不确定度,有助于确定压力测量设备的测量误差范围,保障压力测量数据在工业生产、科学研究等领域的可靠性。

(3)硬度测试。在硬度测试中,测量不确定度的评估涵盖多个环节。测试设备的力值精度不稳定,会导致施加在样品上的试验力存在偏差,从而影响硬度测量结果,成为不确定度的重要来源之一。样品表面的粗糙度、均匀性等自身特性,也会使硬度测试结果产生波动,引入不确定度。通过对这些因素进行细致分析和不确定度评定,能够为硬度测试结果提供科学合理的置信区间,提升硬度测试在材料性能评估等方面的有效性和准确性^[4]。

结语

综上所述,测量不确定度在计量检定领域占据关键地位。它通过A类、B类评定方法以及合成与扩展不确定度的计算,为计量结果的准确性提供量化依据。在长度、电学、力学等不同计量检定场景中,测量不确定度的合理运用,有效保障了量值的准确可靠。随着科技发展,不断优化测量不确定度评定与应用,对提升计量检定质量,支撑各行业精准测量意义重大。

参考文献

- [1]李保森.测量不确定度在计量检定中的运用分析[J].数码设计,2022(8):63-65.
- [2]蔡锦荣.电子衡器计量检定不确定度评定探析[J].仪器仪表标准化与计量,2022(6):35-37.
- [3]王萌萌.测量不确定度在计量检定中的简化应用[J].商品与质量,2021(29):171.
- [4]张红欣.论计量检测中测量不确定度与误差的不同[J].商品与质量,2021(22):215.