

计量仪器测量过程中误差控制分析

董昌利¹ 王 军² 王传海³

1.2. 淄博市计量技术研究院 山东 淄博 255000

3. 山东省计量科学研究院 山东 济南 250014

摘要: 计量仪器是现代科学技术中重要的工具, 实现计量准确性和精度对于各种实验和工程都至关重要。误差是计量的难点, 不可避免, 但可以通过以严谨的方法进行测量, 并以科学的分析方法对误差进行控制。本文旨在探讨计量仪器测量过程中的误差分析和控制方法, 以此提高测量准确度及有效性, 避免对实验结果产生误导和不良影响。

关键词: 计量仪器; 测量; 误差控制

引言: 随着科学技术的飞速发展, 计量仪器的应用越来越广泛。在各种科研课题、产品开发、质量检验、环境监测和生产制造等方面都有不可替代的作用。但是, 在测量过程中由误差所产生的不确定因素非常大, 特别是在一些高精度、高敏感实验和产品检测中, 测量误差如何进行有效的控制及修正显得十分重要。因此, 本文将就计量仪器测量过程中误差的控制与分析方法进行讨论。

1 计量误差的分类

1.1 系统误差

计量误差是指测量结果与实际值之间的差异。误差的大小和存在方式直接影响着计量结果的准确性和可靠性。系统误差是指由于测量过程中的仪器、仪表、环境等因素不可避免地存在的误差, 也称为偏差。这种误差在整个测量数据中是连续存在的、具有一定的方向性和普遍性, 可以通过确定补偿量的方式进行修正。系统误差常常会被忽视或者错误地认为是真实数据, 因此其控制对提高测量结果的准确性和稳定性意义重大。系统误差产生的原因有多种可能, 包括仪器使用中的磨损、老化、偏差、漂移, 环境温度、湿度、电磁场的影响等。通过测量仪器和测试环境的质量管理, 可以减少系统误差的发生。评估系统误差的方法往往是在测量过程中使用标准物质或者标准样品进行检验, 这样可以得到关于系统误差的精确大小和分布范围的信息。对测量数据进行校正来消除系统误差的影响, 比如加入修正系数、对数据进行线性回归等操作^[1]。对于系统误差的控制需要严谨的工作流程、多次实验和数据处理、科学的分析方法和专业的技能。只有通过不断的管理和控制, 才能提高测量精度和可靠性, 保证测量结果符合实际需求。

1.2 随机误差

随机误差是指由于系统外的自然因素, 如环境因素、测量仪器的随机变化等原因引起的误差。它是由于

测量过程中不可预测的因素而引起的误差, 不能通过单次测量来确定其大小和方向, 因此在量程选择、测量次数选择和数据处理等方面应该予以足够的注意。随机误差的产生原因主要包括环境因素和测量仪器的随机变化。环境因素包括温度、湿度、大气压力、气流等外部因素的影响。测量仪器的随机变化则涉及到仪器的信噪比、固有噪声、电磁干扰等因素。它们的影响是不可避免的, 但是可以通过多次测量、数据处理等手段来降低其影响。随机误差的特点是不可避免的, 会引起测量数据的反复变化, 被认为是正态分布的。同一试验条件下, 多次重复测量的结果一般不同, 即使仪器在同一工作状态下也会产生不同的读数。在处理数据时, 可以使用一些常见的统计方法来消除这种误差, 如重复测量的平均值、正态概率图等方法。控制随机误差的方法通常是通过多次重复测量, 以获取平均数再选择最终结果, 以此来降低随机误差的影响。此外, 使用多种仪器或不同类型的方法进行测量, 再一次比对数据准确性, 从而减少随机误差的影响。

要用合适的方法进行评估和控制, 不能依靠单次测量的结果, 而须多次重复测量, 并采取相应的数据处理和解释手段, 以提高数据分析的准确性和可靠性。

1.3 人为误差

人为误差是指由于人为操作的失误、技术水平不高、对操作的理解误差等所产生的误差。人为误差始终存在于各种测量和实验中, 因此在测量和实验中必须严格控制人为误差。在进行科学的实验和研究结论中, 排除人为误差的干扰是非常重要的。本文将详细阐述人为误差的产生原因、特点、评估方法和控制措施。人为误差的产生原因包括操作不当、用错仪器、数据处理错误和实验设计不合理等。例如, 实验人员在进行操作时没有按照规定流程操作, 或者规定流程不清晰。还有可能

是因为实验员的技术水平不够导致误操作。此外,有时候可能由于测量人员的思想、态度、情绪等因素的影响而产生人为误差。人为误差的特点包括来源难以确定、方向不可预测、重复性差、严重程度不同等。因此,人为误差在测量数据中很难被区分和消除,但它仍然像其他类型的误差一样对实验测量数据的准确性和可靠性具有影响。评估人为误差的大小和种类通常需要对数据进行多次重复测量,这样才能确定误操作的原因、造成的损害等。控制人为误差的最重要的方法是培养专业的实验技能和技术,提高实验人员的技能水平和专业素质,以消除人为误差的产生。此外,也可以使用标准化规范的操作流程和技术要求进行测量,以及应当采取适当的方法和控制措施降低人为误差的影响^[2]。人为误差涉及到操作人员的个人素质和技术水平等问题,它是实验中最难控制的误差之一。唯有通过更加专业的实验操作技巧和深入的研究才能有效的避免或减少人为误差的发生。因此,在进行实验和数据分析时,必须认真对待人为误差,以确保实验数据的准确性、可靠性和科学性。

2 误差分析方法

2.1 误差分析法

误差分析是指对各种误差和误差来源进行定量分析的方法和技术。通过误差分析方法,可以帮助我们识别和确定各种误差来源的种类、特点和影响程度,并为我们提供如何减小误差和提高测量结果可靠性的建议。误差分析法的基本思想是通过分析误差的原因和来源,以确定影响测量的因素和其相对重要性,再对这些因素进行定量的控制和管理,以达到使测量或实验结果尽可能准确和可信的目的。误差分析法的主要步骤包括:(1)确认测量系统中的误差来源;(2)确定每种误差来源所占的比重;(3)估算误差的总量;(4)确定误差的方向和影响范围;(5)减小误差并提高可靠性。误差分析法适用于各种行业和领域,其应用领域广泛,如在现代工业中用于产品设计和制造,环境保护中用于监测和评估,科学研究中用于实验数据分析等。误差分析法是一种重要的统计学分析方法,它可以帮助我们定量地分析测量系统的误差来源和其影响程度,以便帮助我们提高测量结果的准确性和可靠性。通过不断优化和完善误差分析的方法和技术,可以为各种领域的测量和实验提供更加可靠和精确的数据支持。

2.2 误差极差分析法

误差极差分析法是一种常用的测量误差分析方法,其基本原理是通过计算同一数据样本的最大值和最小值之间的差值(即极差)来评估数据的稳定性和可靠性。

误差极差分析法操作简单,计算方便,更适用于测量数据较稳定、数据分布较均匀的情况。需要确定需要分析的数据样本,可以是同一测量对象的多次测量数据,也可以是同一测量对象的不同条件下的测量数据。对数据样本进行多次测量,需要确保多次测量的过程可靠,并且要最大限度保证数据质量和准确性^[3]。对每个数据样本的多次测量结果计算其最大值和最小值,计算得到极差。例如,对一个数据样本进行 n 次测量,这 n 个数据的最大值和最小值分别是 x_1, x_2, \dots, x_n ,则该样本的极差即为 $R=x_n-x_1$ 。通过对极差的大小进行分析,可判断不同因素或条件对数据误差的影响程度。基于分析结果,可以针对性地采取有益的测量或控制措施,降低数据误差,提高数据的准确性和可靠性。

2.3 散点分析法

散点分析法是一种测量误差分析方法,可以通过将测量数据以图形方式展示来识别如何有影响不同因素导致数据发生变化。在散点图上,可以观察到不同因素或条件下,测量数据的变化规律,进而分析数据中的误差并对其进行处理。需要确定需要分析的数据样本,包括需要控制的因素和测量数据,同时还需要对所选样本进行分组,可以按照特定范围或分类标准分组。然后,对每一个分组进行多次测量,记录下每次测量得到的数据。将不同分组测量得到的数据分别绘制在散点图上。散点图中包含水平坐标和垂直坐标轴,水平坐标轴是需要分析的特定因素(如温度、湿度等),而垂直坐标轴是每次测量所得到的数据。通过观察散点图,可以分析数据中存在的误差和变化规律。如果数据点呈现一定的规律,例如呈现线性或曲线趋势,那么可能存在随着因素改变而发生变化的测量误差,需要对此进行处理。如果数据点随机分布,那么数据的误差主要是由于系统误差导致的。应根据分析结果进行相应的处理,例如通过改进测量方法、选择更合适的测量设备等,减小数据误差。散点分析法是一种简单有效的测量误差分析方法。与其他误差分析方法相比,该方法能够更直观地显示数据的变化趋势,并且易于理解和使用。但是,该方法也存在着一些局限性,例如对数据分布特殊的情况该方法不太适用。因此,在实际应用中,需要根据实际情况合理选择和使用测量误差分析方法。

3 误差控制方法

3.1 质量控制法

误差控制方法和质量控制法都是指在生产或测试过程中,通过一系列方法和措施来控制误差或保证质量的方法。误差控制方法可以通过控制不确定度、选择正

确的仪器设备、改进测量方法、进行不同等效度比较等手段来降低误差。而质量控制法可以通过制定相应的质量标准、采取不同的质量检测手段、分类控制产品或服务、设定合理的检查频率和维护修理设备等手段来提高产品或服务的质量稳定性。误差控制方法和质量控制法的本质是为了避免误差或提高质量,因此二者在实际应用中往往是相互结合并相互依赖的^[4]。例如,在测量过程中采取合适的措施降低误差,在符合质量标准的基础上,能够更好地保证产品或服务的质量稳定性。误差控制方法和质量控制法的分别和联系都反映了生产和测试领域中减少误差和提高质量的不同实践。两者结合对于保证生产和测试中的精度、可靠性、稳定性等方面的要求十分重要。因此,企业和组织需要在具体生产和测试过程中根据实际情况综合运用误差控制方法和质量控制法,不断提高产品或服务的质量和性能。

3.2 仪器标定法

仪器标定法是一种常用的误差控制方法,旨在通过检查和标定仪器来确定其测量误差,并对误差进行修正,从而保证测量结果的准确性和可靠性。需要选定一个准确的标准仪器,该标准仪器应该比待校准仪器更为精确,并保证其符合国家标准和相关要求。在确定标准仪器的基础上,将待校准仪器按照一定条件进行测量。测量条件和方法应制定细致的计划,考虑到与实际情况相似的因素,例如环境、时机、使用人员等。进行误差分析。通过比较标准仪器和待校准仪器所测量的结果,确定待校准仪器的误差类型和大小,进而确定所需进行的校准方式和标准。根据标准进行校准和记录。校准过程中需要对待校准仪器进行调整,并在校准后重新测试,以确保误差得到有效修正。同时,应该将校准结果记录,并在需要进行相应的验证和审核。仪器标定法是一种简单易行的误差控制方法,其优点在于可以快速、准确地发现和纠正测量误差,提高测量结果的准确性和可靠性。然而,仪器标定法对专业技术要求相对较高,此外,标准仪器和校验设备的维护和更新也需要较高的投入。因此,在实际应用中,需要根据实际情况选择和运用不同的误差控制方法,以达到生产和测试要求。

3.3 多方法比对法

多方法比对法是误差控制方法中的一种常用方式,通过将多种不同的测量方法和控制方法进行比对和协调,降低误差并提高质量稳定性。需要确认待测量的对象或样品。根据样品特性,选择适合的测试方法,包括非接触式、接触式、光学、机械、电磁等多种方式。进行测试。多种测试方法可以在同一段时间或不同时段进行比对,利用不同的仪器或设备进行测量,将数据进行统计和分析,并确定误差类型和大小。对于误差相对较大的测试结果,可以采用其他方法进行检测和校准,从而提高测试结果的准确度。将多种测试方法所得数据合并并进行比对、分析,发现和纠正可能存在的误差,并计算出相应的准确度和测量不确定度,以便确认测试结果的合理性。多方法比对法的优点在于可以有效减少测试误差和提高测量结果的精度,增强测试结果的可靠性^[5]。然而,在实际应用中,需要认真控制多个测量方法并协调调整,否则会增加测试流程的复杂性和成本。

结束语

在计量仪器测量过程中,误差的控制和分析对于测量的有效性以及数据的准确度和稳定性具有重要意义。了解误差的分类、误差分析和误差控制方法是实验室工作和生产操作中不可或缺的一环。通过认真分析误差的来源,采取相应的控制措施,来提高仪器测量的准确度和稳定性,保证数据的可靠性,最终达到实际使用效果。

参考文献

- [1]李琳,方伟杰,朱剑等.基于计量分析的交流电桥测量误差数据处理方法[J].电子测试,2019,36(3):82-85.
- [2]张旭东,杨小东,魏德等.精密气动微流量计的检定及测量误差分析[J].仪器仪表学报,2019,40(7):288-295.
- [3]周虹,章丽华.光栅扫描显微镜测量误差分析与校正方法[J].仪器仪表学报,2020,41(3):107-114.
- [4]赵明君,郭永强,冷明等.激光位移传感器绝对误差的测试与控制[J].中国测试,2021,47(3):37-41.
- [5]钟建林,黄邦嵘.供电电压变化下测量系统的误差分析[J].南华大学学报(自然科学版),2022,43(1):85-89.