

长度计量仪器测量误差控制

于倩 郭亮 郭超

内蒙古自治区计量测试研究院 内蒙古 呼和浩特 010000

摘要：长度计量仪器测量误差控制是确保测量结果准确可靠的关键环节。本文系统分析了误差的四大来源：仪器本身、环境因素、测量方法及人员操作，并对误差类型进行科学分类。在此基础上，从仪器校准、环境控制、方法优化及人员管理四个维度提出系统性的误差控制策略。通过建立评估指标与改进机制，形成完整的误差控制体系，为提升长度计量精度提供有效解决方案。

关键词：长度计量仪器；测量误差；误差控制；误差评估

引言：长度计量在工业生产、科学研究等领域意义重大，准确测量是保障产品质量、推动科研进展的关键。然而，长度计量仪器测量过程中会受多种因素影响产生误差，影响测量结果准确性。深入分析误差来源、分类，探索有效控制方法并进行评估改进，对提升长度计量水平，确保测量结果可靠，满足各领域对长度测量精度要求具有迫切的现实需求。

1 长度计量仪器测量误差的来源

1.1 仪器本身因素

长度计量仪器的制造精度存在一定限制，这成为误差产生的重要源头之一。在零部件加工环节，由于加工设备和工艺水平的制约，难以保证每个零部件的尺寸都完全精准无误，不可避免地会出现尺寸偏差^[1]。这种偏差在装配过程中进一步累积，形成装配误差，进而影响仪器整体的测量精度。随着仪器使用时间的增长，稳定性问题逐渐凸显。长期使用后，仪器性能会出现衰减，零部件也会因不断磨损、疲劳等因素而老化。例如，机械式长度计量仪器中的齿轮、导轨等部件，经过长时间运转后，表面磨损会导致传动精度下降，从而影响测量结果的准确性。此外，仪器的分辨率不足也是导致误差的一个因素。当被测物体的长度变化极为微小时，若仪器的分辨率无法达到相应精度，就无法精确捕捉这些微小变化，使得测量结果与真实值存在偏差。

1.2 环境因素

环境条件对长度计量仪器的测量结果有着显著影响。温度变化是常见的影响因素之一，材料具有热胀冷缩的特性，当环境温度改变时，仪器本身以及被测物体的尺寸都会发生变化。例如，金属材料在温度升高时会膨胀，在温度降低时会收缩，这种尺寸变化会直接反映在测量结果上。湿度同样不可忽视，某些材料对湿度较为敏感，吸湿后会膨胀，干燥时会收缩。比如木材质

料，在潮湿环境中会因吸湿而尺寸增大，在干燥环境中则会缩小，这会对基于该材料的测量或使用该材料作为测量基准的情况产生误差。振动干扰也会影响测量精度，外界的振动会使仪器产生晃动，导致读数不稳定，难以获取准确的测量值。光照条件对光学测量仪器的影响尤为明显，不适当的光照强度、角度等会干扰光学信号的传输和接收，降低测量精度。

1.3 测量方法因素

不同测量原理有各自局限性，适用测量范围和能达到精度不同。若选择测量原理与实际测量需求不匹配，易产生误差。例如，用卡尺测量内孔直径时，若内孔直径较小且精度要求高，卡尺测量原理可能无法满足需求，导致测量误差达到0.02毫米。测量操作流程不规范也是误差产生重要原因。测量起始点选择不当、测量方向出现偏差等操作失误，会使测量结果偏离真实值。如在测量一个长方形物体长度时，起始点选择偏差0.1毫米，测量方向偏差5度，可能导致最终测量误差达到0.05毫米。

1.4 人员因素

测量人员操作技能水平对测量结果准确性起关键作用。熟练程度高的操作人员能更准确操作仪器，按规范流程测量，减少因操作不当引发误差。而操作技能不足人员，可能在操作过程中出现各种失误。例如，新手在使用千分尺测量时，可能因操作不熟练，使测量力过大或过小，导致测量误差达到0.003毫米。视觉误差也是人员因素导致误差的方面，在读取测量数据时，由于视觉判断局限性，会出现估读偏差。如读取游标卡尺数据时，估读误差可能达到0.002毫米。测量人员态度和责任心同样不容忽视，疏忽大意、粗心马虎等态度问题，易导致测量失误，进而产生误差。例如，在记录测量数据时，将10.25毫米误记为10.52毫米，这种错误会对后续分析和决策产生严重影响。

2 长度计量仪器测量误差的分类

2.1 系统误差

系统误差是在重复测量中保持恒定不变或按照一定规律变化的误差。这类误差具有显著的重复性与单向性特征。重复性意味着在相同的测量条件下,对同一被测对象进行多次测量,误差值会以相近的数值反复出现^[2]。单向性则表示误差总是偏向一个方向,要么始终偏大,要么始终偏小。系统误差的产生有着特定的根源。仪器本身的缺陷是重要因素之一,例如仪器在制造过程中存在设计不合理之处,或者零部件加工精度未达到要求,导致仪器在测量时本身就带有固定偏差。测量方法方面,若所选用的测量原理存在局限性,或者测量操作流程存在固定偏差,也会引发系统误差。比如,在测量某一特定形状物体的长度时,若测量方法没有充分考虑物体的形状特点,采用不恰当的测量基准,就会使测量结果系统地偏离真实值。

2.2 随机误差

随机误差是在多次重复测量中,误差的大小和方向都呈现出随机性、不可预测性变化的误差。这种误差的特点决定了它难以通过简单的重复测量来消除。随机误差的产生源于多种因素。环境因素的随机变化是主要原因之一,温度、湿度、振动等环境条件在测量过程中可能发生无规律的波动,这些波动会对测量仪器和被测物体产生影响,从而导致测量结果出现随机误差。人员操作的微小波动也会造成随机误差,即使操作人员具备较高的技能水平,在操作过程中也难免会出现一些细微的、难以控制的变化,如测量力的施加大小、读数时的细微差异等,这些都会使测量结果产生随机波动。

2.3 粗大误差

粗大误差是指明显超出正常误差范围的误差。这类误差与系统误差和随机误差有着本质区别,其数值往往较大,对测量结果准确性会产生严重影响。粗大误差产生通常与一些异常情况相关。测量人员严重失误是常见原因之一,例如在读取测量数据时出现看错刻度、记录错误等低级错误,或者在操作仪器时违反操作规程,导致测量过程出现重大偏差。如将游标卡尺的读数15.2毫米误读为25.2毫米,这种错误会使测量误差达到10毫米。仪器突发故障也会引发粗大误差,如仪器在测量过程中突然出现电路故障、机械部件损坏等问题,使得测量结果出现异常。例如,一台电子测量仪器在测量过程中电路突然短路,导致测量结果显示为999毫米(正常测量范围为0-100毫米),这种异常结果就是粗大误差的体现。

3 长度计量仪器测量误差控制的方法

3.1 仪器选型与校准

在开展长度测量工作前,依据具体的测量需求精准挑选仪器是关键一步。不同的测量场景对仪器的精度和量程有着不同要求,若测量对象尺寸微小且对精度要求极高,就需选择高精度、小量程的仪器;若测量对象尺寸较大且精度要求相对宽松,则可选用合适精度和较大量程的仪器。选对仪器能为后续准确测量奠定基础^[3]。定期对仪器进行校准是保障测量准确性的重要举措。随着时间推移和使用次数增加,仪器性能可能发生变化,导致测量结果出现偏差。通过定期校准,能及时发现并纠正仪器存在的问题,确保仪器始终处于准确状态。在校准方法选择上,使用标准器具进行比对校准是常用且有效的方式。将待校准仪器与精度更高、性能更稳定的标准器具进行对比测量,根据对比结果调整待校准仪器,使其测量结果与标准器具一致,从而保证测量准确性。

3.2 环境控制

营造适宜测量环境对控制误差至关重要。温度和湿度是影响测量结果的重要环境因素,需将它们控制在合理范围。例如,对于高精度测量,如光学测量、精密机械加工测量等,可将测量环境温度控制在 $20^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$,湿度控制在40%-60%,避免材料因热胀冷缩或吸湿膨胀、干燥收缩而产生尺寸变化。外界振动会对测量仪器读数稳定性造成干扰,采取减振措施能有效减少这种影响。可在测量场地设置减振装置,如安装减振台、使用减振垫等,降低外界振动传递到仪器上的强度。例如,在有振动源的车间进行测量时,安装减振台后,仪器读数波动可从原来的0.005毫米降低到0.001毫米。光照条件对光学测量仪器影响显著,优化光照条件能确保其正常工作。合理布置光源,避免强光直射或光线不足,使光学仪器接收到的光线均匀、稳定,从而提高测量精度。如在进行光学投影测量时,调整光源角度和强度,使投影图像清晰,测量误差可从原来的0.01毫米降低到0.005毫米。

3.3 测量方法优化

选择更精确的测量原理和方法能从根源上提高测量准确性。不同的测量原理适用于不同测量对象和场景,深入分析测量需求,挑选最适合的测量原理和方法,能减少误差产生。规范测量操作流程是控制误差的必要环节。制定详细的操作规程,明确每一步操作要求和标准,让测量人员严格按照规程操作,避免因操作不规范导致误差。采用多次测量取平均值的方法可有效降低随机误差。多次重复测量能减少环境因素和人员操作微小波动带来的影响,取平均值能使测量结果更接近真实值。

3.4 人员培训与管理

对测量人员进行专业技能培训是提升测量水平的基础。通过系统培训,让测量人员熟悉仪器操作、掌握测量原理和方法,提高实际操作能力。加强质量意识教育能增强测量人员的责任心。让测量人员深刻认识到测量准确性对产品质量和科研成果的重要性,从而在工作中更加严谨认真。建立测量人员考核机制能激励人员提高测量准确性。设定明确的考核标准和奖惩措施,对测量准确的人员给予奖励,对出现失误的人员进行惩罚,促使测量人员不断提升自身技能和责任心,保障测量结果的准确性。

4 长度计量仪器测量误差控制的评估与改进

4.1 误差评估指标

准确度评估是衡量测量结果与真实值接近程度的关键指标。在长度测量中,真实值往往难以直接获取,但通过与高精度的标准器具或已知准确值进行对比,能够判断测量结果的准确程度。若测量结果与真实值偏差极小,说明准确度高;反之则准确度低。精密度评估着重反映多次测量结果的一致性^[4]。进行多次重复测量时,若各次测量结果相互接近、波动较小,表明精密度高;若测量结果分散程度大,则精密度低。不确定度评估是对测量结果可靠性的综合考量,它综合了各种误差因素对测量结果的影响。在长度测量过程中,仪器误差、环境误差、人员误差等多种因素都会对测量结果产生作用,不确定度评估将这些因素纳入分析,给出测量结果可能的波动范围,为判断测量结果的可靠性提供依据。

4.2 评估方法

直接比较法是一种直观且有效的评估方式。将长度计量仪器的测量结果与已知准确值的标准器具进行对比,通过对比两者之间的差异,能够直接判断仪器的测量准确程度。这种方法简单直接,适用于对测量结果准确性要求较高且能找到合适标准器具的场景。统计方法则通过对多次测量数据进行深入分析来评估误差。收集大量测量数据后,运用统计学原理计算数据的平均值、标准差等统计量,根据这些统计量分析测量结果的分布

情况和离散程度,进而评估测量的精密度和不确定度。这种方法能够充分利用测量数据,更全面地反映测量误差的特征。

4.3 改进措施

依据误差评估结果深入分析误差产生的主要原因,是实施改进措施的前提。若评估发现准确度低,需排查是仪器本身精度不足、环境因素干扰,还是人员操作失误导致;若精密度低,则要分析是测量方法不稳定,还是仪器稳定性差等原因。针对分析出的主要原因,有针对性地采取改进措施。若是仪器设计存在缺陷,可优化仪器设计,提高仪器精度和稳定性;若是测量方法不合理,可改进测量方法,规范操作流程。持续跟踪改进效果,不断完善误差控制体系。改进措施实施后,通过再次进行误差评估,观察测量误差是否得到有效控制。若效果不理想,需进一步调整改进措施,经过多次循环优化,逐步建立起一套科学、完善的长度计量仪器测量误差控制体系。

结束语

长度计量仪器测量误差控制是保障测量准确性的关键环节。通过对误差来源、分类的剖析,明确了误差产生根源与特征;采取仪器选型校准、环境控制等控制方法,能有效降低误差;借助准确度、精密度等评估指标及相应评估方法,可掌握误差情况;依据评估结果实施改进措施,能不断完善误差控制体系,提升长度计量仪器测量水平。

参考文献

- [1]张国良,张巴东,陈行凯.长度计量仪器测量误差控制分析[J].中国检验检测,2024,32(5):79-82.
- [2]闫敏.长度计量仪器测量过程中的误差控制探讨[J].中国科技纵横,2024(9):91-93.
- [3]秦颖.浅谈长度计量仪器测量过程中的误差控制[J].数字化用户,2024(33):41-42.
- [4]于佃清.长度计量仪器测量过程中误差控制方法及养护探究[J].数码-移动生活,2023(8):493-495.