

卡尺类器具长度测量系统误差分析与校准

梁国芳

河北省计量监督检测研究院廊坊分院, 中国·河北 廊坊 065000

摘要: 卡尺类器具是工业生产、计量检测领域中应用广泛的长度测量工具, 其测量精度直接影响产品质量与实验数据可靠性。系统误差作为影响测量结果准确性的关键因素, 具有可重复性、可修正性的特点。本文从卡尺类器具的结构与测量原理出发, 系统分析了制造缺陷、环境因素、操作方法等引发系统误差的主要来源, 详细阐述了针对不同误差类型的校准方法与操作流程, 同时提出了日常使用中的误差控制策略, 旨在帮助相关从业人员正确认识和消除系统误差, 提升卡尺测量结果的准确性与一致性。

关键词: 卡尺类器具; 长度测量; 系统误差; 误差分析; 计量校准

Error Analysis and Calibration of Caliper Length Measurement System

Liang Guofang

Langfang Branch of Hebei Institute of Metrology Supervision and Inspection, China Hebei Langfang 065000

Abstract: Calipers are widely used length measurement tools in industrial production and metrological testing, where measurement accuracy directly impacts product quality and experimental data reliability. Systematic error, a key factor affecting measurement accuracy, is characterized by repeatability and correctability. Starting from the structure and measurement principles of calipers, this paper systematically analyzes the main sources of systematic error caused by manufacturing defects, environmental factors, and operational methods. It elaborates calibration methods and operational procedures for different error types, while proposing error control strategies for daily use. The aim is to help professionals correctly understand and eliminate systematic errors, thereby improving the accuracy and consistency of caliper measurement results.

Keywords: Caliper instruments; Length measurement; Systematic error; Error analysis; Metrological calibration

0 引言

在机械制造、精密加工、质量检测等领域, 长度是最基础且核心的测量参数之一。卡尺类器具凭借其结构简单、操作便捷、测量范围广的优势, 成为了现场测量与实验室检测中不可或缺的计量工具, 常见类型包括游标卡尺、数显卡尺、带表卡尺等。

然而, 在实际测量过程中, 受器具自身制造精度、外部环境变化、操作人员使用习惯等多种因素影响, 测量结果往往会偏离真实值, 这种偏差被称为测量误差。根据误差的性质与特点, 可将其分为系统测量误差、随机测量误差两类。其中, 随机误差可借助多次测量取平均值的方法削弱, 而系统误差由固定原因引起, 具有确定性和规律性, 若不加以分析和修正, 会持续影响测量结果的准确性, 严重时可能导致产品质量判定失误、实验结论偏差等问题。

目前, 多数从业人员在使用卡尺时, 往往只关注操作步骤的规范性, 却忽视了系统误差的识别与校准, 导致测量数据存在潜在偏差。因此, 深入分析卡尺类器具长度测量的系统误差来源, 掌握科学有效的校准方法, 对于保障测量结果的可靠性具有重要的现实意义。本文结合卡尺的测量原理与实际应用场景, 对系统误差展开全面分析, 并给出对应的校准方案, 内容力求通俗易懂, 供一线操作人

员、计量人员参考。

1 卡尺类器具的测量原理与结构特点

1.1 基本测量原理

卡尺类器具的测量原理基于游标读数原理(游标卡尺、带表卡尺)或光栅位移传感原理(数显卡尺), 核心是通过测量爪与被测物体的接触, 将被测长度转化为卡尺的刻度读数或数字显示值。

以最常用的游标卡尺为例, 其主尺刻度间距为 1mm, 游标上均匀分布着 n 个分格, 当测量爪闭合时, 游标零刻度线与主尺零刻度线对齐。测量时, 活动量爪随被测物体长度移动, 游标零刻度线在主尺上指示整数毫米值, 游标上与主尺刻度对齐的线条则指示小数毫米值, 两者相加即为被测长度的测量值。数显卡尺则通过光栅尺将位移信号转化为电信号, 经处理后直接显示数字读数, 省去了人工判读游标刻度的麻烦, 读数精度更高。

1.2 主要结构组成

无论哪种类型的卡尺, 其核心结构均包含尺身、活动量爪、固定量爪、深度尺(部分卡尺配备)等部件。尺身是卡尺的基准部件, 刻有主尺刻度; 固定量爪与尺身一体, 活动量爪可沿尺身滑动, 两者配合用于测量物体的外径、内径、台阶等尺寸; 深度尺与活动量爪联动, 用于测

量物体的深度尺寸。数显卡尺额外配备了显示屏、电池、光栅传感器等电子元件，带表卡尺则通过表盘指针指示小数读数。

结构的完整性与精密性是保障测量精度的基础，任何部件的变形、磨损或装配不当，都可能成为系统误差的来源。

2 卡尺类器具长度测量系统误差的主要来源

系统误差的产生源于测量系统本身的缺陷或测量条件的非理想状态，针对卡尺类器具，其系统误差来源可分为器具自身因素、环境因素和人为操作因素三大类。

2.1 器具自身因素引发的系统误差

这类误差由卡尺制造、装配或长期使用后的磨损导致，是卡尺本身固有的误差，也是最主要的系统误差来源。

2.1.1 制造与装配误差

卡尺存在三类固有误差：一是尺身刻度误差，刻线间距不均、粗细不一致致读数偏差；二是量爪尺寸误差，量爪垂直度、平行度偏差使接触非“面接触”，如测圆柱外径值不准；三是装配间隙误差，间隙大使活动量爪晃动，定位不准引入误差。

2.1.2 磨损与变形误差

卡尺在长期使用过程中，测量面会因频繁与被测物体接触而产生磨损，导致量爪的刃口变钝、测量面平整度下降，测量时无法与被测物体紧密贴合，造成测量值偏差。此外，若卡尺存放不当（如重压、摔落）或使用环境恶劣，尺身可能发生弯曲变形，量爪的平行度、垂直度也会随之改变，引发系统误差。对于数显卡尺，光栅传感器的磨损、电子元件的老化还可能致显示值漂移，出现“零位不准”的情况。

2.2 环境因素引发的系统误差

测量环境的变化会影响卡尺的尺寸稳定性和测量精度，常见的环境影响因素包括温度、湿度和振动。

2.2.1 温度误差

温度是影响长度测量的关键环境因素，金属热胀冷缩，卡尺尺身多为钢材，线膨胀系数约 $1.15 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ，环境温度偏离标准 20°C 时，尺身伸缩致刻度间距变化，使测量值偏大或偏小。被测物体与卡尺材料线膨胀系数不同，温度变化还会致相对变形差异，进一步增大误差，如钢卡尺测铝件升温时测量值偏小。

2.2.2 湿度与振动误差

高湿度环境会导致卡尺金属部件生锈，锈迹会使活动量爪滑动阻力增大，甚至出现卡滞现象，影响测量爪的正常移动；同时，锈迹附着在测量面上，会改变量爪的实际尺寸，引入误差。此外，测量现场的机械振动会导致活动量爪在测量过程中发生微小位移，使测量爪无法稳定接触被测物体，造成读数波动，若操作人员在振动未消除时读

数，就会产生系统误差。

2.3 人为操作因素引发的系统误差

操作人员的使用方法不规范，也会引入系统性的测量误差，这类误差往往容易被忽视。

2.3.1 测量力不当误差

测量时，操作人员需要施加一定的力使量爪与被测物体接触，若测量力过大，会导致量爪或被测物体发生弹性变形，尤其是测量薄壁件、软质材料零件时，变形更为明显，测量值会偏小；若测量力过小，量爪与被测物体接触不紧密，可能存在间隙，测量值会偏大。不同操作人员的测量力大小不同，这也是导致测量结果不一致的重要原因之一。

2.3.2 读数视角误差

对于游标卡尺和带表卡尺，读数时需要保持视线与刻度线垂直，若视角倾斜，会因视差导致读数偏差。例如，当视线从上方倾斜读取游标刻度时，会误将未对齐的刻度判断为对齐，使读数偏大或偏小。这种误差属于人为操作误差，且具有重复性，若操作人员始终采用错误的读数视角，就会形成系统误差。

2.3.3 零位调整误差

卡尺在使用前需要进行零位校准，即闭合测量爪，检查游标零刻度线（或数显屏零位）是否与主尺零刻度线对齐。若操作人员未进行零位调整，或调整时未将测量爪完全闭合，会导致零位偏差，后续所有测量结果都会存在相同的系统误差。例如，零位偏大 0.02mm ，则所有测量值都会比真实值大 0.02mm 。

3 卡尺类器具的校准方法与操作流程

系统误差的可修正性决定了通过科学的校准方法，能够有效降低或消除其对测量结果的影响。卡尺类器具的校准分为日常零位校准和专业计量校准两类，前者可由操作人员在使用前完成，后者需由具备资质的计量机构定期开展。

3.1 日常零位校准

日常零位校准是消除零位偏差的基础方法，适用于游标卡尺、带表卡尺和数显卡尺，操作简单便捷，可在每次使用前进行。

3.1.1 游标卡尺与带表卡尺的零位校准

将卡尺的固定量爪与活动量爪缓慢闭合，确保测量面紧密贴合，无间隙。观察游标零刻度线与主尺零刻度线是否对齐，同时检查游标上的最后一条刻度线是否与主尺上的对应刻度线对齐。若零刻度线未对齐，存在微小偏差，可通过卡尺上的零位调节螺丝（部分卡尺配备）进行调整；若偏差较大，超出日常调整范围，则需送计量机构检修。

对于带表卡尺，闭合量爪后，表盘指针应指向零位，

若指针偏离零位,可旋转表盘外圈进行调整,使指针准确对准零刻度线。

3.1.2 数显卡尺的零位校准

数显卡尺的零位校准分为手动校准和自动校准两种。自动校准款卡尺闭合量爪后,按下“归零”键,显示屏即可自动显示零位;手动校准款则需要通过调节内部电位器完成,操作时需参照卡尺的使用说明书,避免因调节不当损坏电子元件。校准后,可多次开合量爪,检查零位是否稳定,若出现零位漂移,需及时更换电池或送修。

3.2 专业计量校准

专业计量校准是保障卡尺精度的核心手段,依据国家计量检定规程《JJG 30-2012 通用卡尺检定规程》开展,校准周期一般为12个月,校准对象包括卡尺的示值误差、量爪平行度等关键指标。

3.2.1 校准准备工作

校准前需做好以下准备:一是按规程要求将卡尺和校准用标准器具(如量块,量块是长度计量的标准量具,精度可达微米级)放置在标准温度环境(20 ± 5) $^{\circ}\text{C}$,相对湿度不大于80%的环境中恒温,消除温度、湿度差异带来的误差;二是清洁卡尺的测量面、尺身导轨和量块的测量面,去除油污、灰尘等杂质,避免影响接触精度;三是检查卡尺的外观,确保无明显变形、磨损、锈蚀,活动量爪滑动顺畅,无卡滞现象。

3.2.2 主要校准项目与操作方法

(1) 示值误差校准。示值误差是指卡尺测量值与标准量块实际尺寸的差值,是卡尺校准的核心项目。校准方法为:选取与卡尺测量范围匹配的标准量块组,将量块放置在卡尺的两测量爪之间,轻轻施加均匀的测量力,使量爪与量块紧密贴合,读取卡尺的测量值。依次测量量块组中不同尺寸的量块,记录每个尺寸下的测量值与标准值的差值,该差值即为示值误差。根据JJG 30-2012规程,量程 $\leq 300\text{mm}$ 的游标卡尺,示值误差允许范围为 $\pm 0.02\text{mm} \sim \pm 0.05\text{mm}$ (具体根据精度等级而定),若示值误差超出允许范围,需对卡尺进行调整或维修。

(2) 计量机构完成校准后,会出具校准证书,证书中会明确标注卡尺的示值误差、平行度等指标是否符合规程要求。对于合格的卡尺,可继续使用;对于不合格的卡尺,需进行维修调整,调整后重新校准,若无法修复,则应报废处理,禁止继续使用。

4 卡尺类器具系统误差的控制策略

除了通过校准修正系统误差外,在日常使用与维护过程中,采取科学的控制策略,能够有效减少系统误差的产生,提升测量精度。

4.1 规范操作流程,减少人为误差

一是统一测量力。操作人员可借助测力装置(如弹簧

测力器)训练手感,确保每次测量时施加的力大小一致,避免因测量力不当导致的弹性变形误差。测量薄壁件、软质零件时,可适当减小测量力,或采用专用夹具固定被测物体,减少变形。二是保持正确读数视角。读取游标卡尺或带表卡尺刻度时,应使视线垂直于刻度线,必要时可使用放大镜辅助读数,消除视差。三是严格执行零位校准。养成使用前校准零位的习惯,尤其是在环境温度变化较大时,需多次校准零位,确保零位准确。

4.2 优化测量环境,降低环境误差

控制卡尺测量误差有三要点:其一,尽量在 20°C 标准温度下测量,无法满足时记录实际温度,依线膨胀系数用公式修正结果;其二,将卡尺存干燥通风处防生锈,保持测量现场清洁,定期清理其表面油污灰尘;其三,测量时远离大型设备、振动源,必要时用减震台,保证卡尺与被测物体稳定。

4.3 加强日常维护,延长器具使用寿命

一是定期清洁润滑。使用后及时用干净的软布擦拭卡尺的测量面和导轨,去除残留的金属屑和油污;定期在导轨上涂抹少量专用润滑油,减少活动量爪滑动时的摩擦磨损。二是规范存放方式。卡尺应单独放置在专用的保护盒中,避免与其他工具混放,防止重压、摔落导致的变形;长期不使用时,可在测量面涂抹防锈油,密封保存。三是定期送检校准。严格按照计量规程要求,定期将卡尺送具备资质的计量机构校准,避免使用超期未校准的卡尺。

5 结语

卡尺类器具测量精度影响产品质量与实验数据可靠性,系统误差是关键影响因素,来源多样且可识别修正。深入分析原因、掌握校准方法、规范操作等,能减少或消除误差,提升精度。从业人员要重视系统误差,将其分析与校准纳入日常。工业制造高精度发展下,未来智能校准系统将应用于卡尺计量,实现误差实时监测与修正。

参考文献:

- [1] 国家质量监督检验检疫总局. JJG 30-2012 通用卡尺检定规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [2] 王先逵. 机械制造工艺学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [3] 童光球. 长度计量技术[M]. 北京: 中国质检出版社, 2015.
- [4] 李岩. 测量误差分析与数据处理[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2018.
- [5] 张辉. 数显卡尺常见故障及维修方法[J]. 计量技术, 2020(05):78-80.

作者简介: 梁国芳(1974.11.17), 女, 汉族, 河北省廊坊市安次区, 本科, 副高级工程师, 几何量, 河北省计量检测研究院廊坊分院。