

# 角度尺校准方法及其不确定度分析

李薇

江苏金陵机械制造总厂, 江苏 南京 210007

DOI:10.61369/ERA.2026010021

**摘要**：角度尺是工程、制造等领域常用测量器具，精准的角度尺校准办法对保障测量精准度意义重大。本文探究角度尺校准的基本原理、操作步骤，还对比不同校准方法，着重剖析实际应用里角度尺测量不确定度及其根源，经实验验证与数据分析，给出改进校准方式的建议，并对其不确定度展开系统分析，研究显示，恰当选取校准方法、提升测量设备精度，能有效减小角度尺测量误差，提高角度测量的精确性。

**关键词**：角度尺；校准方法；不确定度分析；测量精度；误差分析

## Calibration Method for Angle Gauges and Its Uncertainty Analysis

Li Wei

Jiangsu Jinling Machinery Manufacturing General Factory, Nanjing, Jiangsu 210007

**Abstract**：Angle gauges are commonly used measuring instruments in fields such as engineering and manufacturing, and precise calibration methods for angle gauges are of great significance in ensuring measurement accuracy. This paper explores the fundamental principles and operational steps of angle gauge calibration, compares different calibration methods, and focuses on analyzing the measurement uncertainty of angle gauges in practical applications and its sources. Through experimental verification and data analysis, recommendations are provided for improving calibration methods, along with a systematic analysis of their uncertainty. The study reveals that selecting appropriate calibration methods and enhancing the precision of measuring equipment can effectively reduce measurement errors in angle gauges and improve the accuracy of angle measurements.

**Keywords**：angle gauges; calibration methods; uncertainty analysis; measurement accuracy; error analysis

## 引言

角度尺作为角度测量器具，在各类精密制造与工程设计领域应用广泛；科技进步与测量需求提升，使传统角度尺在高精度测量上的局限逐渐显现，准确校准方法的重要性愈发凸显，角度尺校准方法关乎测量结果准确性，也与测量误差、不确定度紧密相连。为应对实际应用中的这些难题，本文剖析角度尺校准原理与方法，探讨不同校准技术，同时着重强调不确定度分析在角度尺校准中的应用，以期提升角度尺测量精度提供理论支撑与技术助力。

## 一、角度尺的基本原理与应用

### （一）角度尺的工作原理

角度规是常用于精准测定物体间夹角的器具，一般由刻度盘和测量杆构成，其运行原理源于几何学里的角度量测原理，具体是借助测量两条相交线间的夹角来明确角度大小，角度规上的刻度盘标注着不同的角度数值，使用者通过调整测量杆与被测物体对齐，读取和标准刻度一致的角度数值，其精准度主要取决于其刻度的精细度以及测量杆的平行状况，制造工艺和使用环境也会对精准度造成影响。

当代角度规通常采用钢或铝合金这类高强度、稳定性佳的材

料，这些材料既能降低外部力和温度变化带来的影响，又能提升整体测量的稳定性与可靠性，依照不同的设计和用途，角度规的精准度可达到1'（分）甚至更高，部分高精度角度规的精准度能达到0.001°，从而满足航空航天、光学等高精度量测领域的需求。

### （二）角度尺在实际测量中的应用领域

角度规在机械制造、精密仪器、建筑工程、科学实验等多个领域均有广泛应用，在机械制造领域，角度规主要用于零件加工时的角度量测与校准，保证加工精度契合设计要求，避免因角度偏差引发的装配问题；在建筑工程中，角度规用于结构构件的角度量测与调整，确保建筑物结构的稳定性并符合设计规范。

在光学实验和天文观测等科学实验领域，精确的角度量测极

为关键，角度规被大量用于光学元件的调节、天体的定位等高精度测量任务；另外，角度规在机械加工、船舶制造等行业也有广泛应用，这些行业在量测角度时对精度要求严格。依据国际标准 ISO 1302:2002 和 DIN 874 - 1 标准，角度规的精度要求因应用范畴而异，一般来说，精密工程要求角度规的误差控制在 ±0.1° 以内，以保障量测的准确性和可重复性。

**(三) 角度尺校准的必要性**

角度尺校准是保障测量精度的重要步骤，长期使用，角度尺易受温度改变、机械磨损、环境状况及外力作用等因素干扰，这些都可能致使其测量精度出现偏差，因此定期校准角度尺很有必要，可将角度尺与标准量具或已知精度的参考仪器对比，测量并调整其误差，让测量结果契合设计标准。

校准期间一般使用高精度校准工具（如标准角度块、激光干涉仪或自动化光学测量系统等）保证结果准确，依据国际计量组织（BIPM）《国际单位制》及 ISO 9001:2015 质量管理体系要求，角度尺校准周期需根据使用频率和环境确定（通常一年一次），定期校准能有效消除环境变化、设备老化等外部因素对测量结果的影响，提升角度尺测量精度，保证角度测量的高可靠性，在高精度工程和科研项目中尤为重要<sup>[1]</sup>。如图1所示。

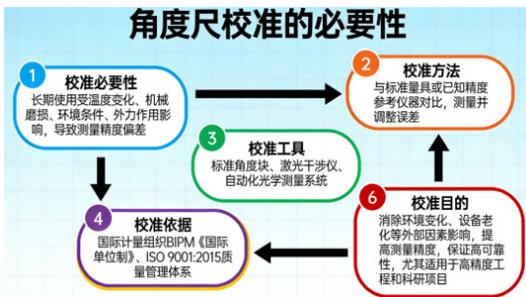


图1 角度尺校准工作逻辑图

**二、角度尺的校准方法**

**(一) 基于标准角度块的校准方法**

标准角度块多由高精度金属材料制成，角度值经严格测量且有固定公差范围，校准时将角度尺与标准角度块置于精密测量平台对比，调整使其指示与标准角度块值相符，进而进行误差测量与调整。

ISO 3650 标准对标准角度块的精度要求和应用范围作出规定，该方法简单直观、不依赖复杂电子设备，在传统制造环境中广泛应用，但受标准角度块精度和温度等环境因素限制，通常用于精度 ±0.1° 至 ±0.02° 的中等测量任务（具体依标准角度块等级而定）<sup>[4]</sup>。

**(二) 基于激光干涉仪的校准方法**

激光干涉仪校准法借助激光干涉效应，测量激光束相位差来明确角度尺精度，其位置测量误差常控制于纳米级，精度可达 ±0.001° 甚至更高；将角度尺与激光干涉仪对准，运用激光干涉原理可测量实际角度与标准角度的差异，进而实现高精度校准。

激光干涉仪的应用需依照 ISO 10360-10 标准，要求校准系统稳定性和精度达一定标准以确保精准测量角度尺偏差；其优势在于高精度与自动化，能大幅提高校准效率，特别适用于高精度测量任务，针对高精度角度尺误差可控制在 ±0.001°，契合精密仪

器、航空航天及高端制造业需求，但成本高且对环境条件敏感，限制了其广泛应用<sup>[5]</sup>。

**(三) 校准中的误差源分析与控制**

角度尺校准期间，分析与控制误差源对保障测量精度颇为重要。常见误差源有机械误差、温度误差、环境振动和操作误差，其中机械误差多源于角度尺自身结构缺陷，如刻度盘偏移、臂弯曲等情况；温度变化会使金属材料膨胀或收缩，进而改变角度尺测量精度；环境振动可能造成测量平台不稳定，影响角度测量的精准度。

要有效控制这些误差，需采取对应校准手段，包括校准前对角度尺预热以消除温度影响、保证校准环境稳定防止震动和空气流动干扰、采用多次测量法取平均值降低偶然误差。此外，操作人员的技术水准和校准设备的准确性也会影响结果，因此校准人员需具备较高专业技能与丰富经验<sup>[4]</sup>。如表1所示。

表1 校准误差源分析与控制方法表

误差源	影响因素	控制方法	误差范围
机械误差	角度尺结构不精确	定期检查与调整	±0.05° 至 ±0.1°
温度误差	环境温度变化	校准前进行温度稳定化处理	±0.1°
振动误差	测量平台震动	设置稳定的测量环境	±0.02°
操作误差	校准人员操作不当	提高操作人员的技术要求	±0.02°

**三、角度尺的测量不确定度分析**

**(一) 不确定度的定义与来源**

测量里，不确定度指测量结果和真实值间可能存在的偏差范围，体现测量过程因各类因素引发的误差大小与不确定性，按照国际单位制（SI）定义，不确定度常以测量值的标准差或扩展不确定度量化，角度尺测量时，不确定度来源主要有设备误差、环境因素、操作误差以及系统性误差等。

设备误差由角度尺刻度精度和机械结构不完善导致，比如刻度偏差或材料微小变形会影响角度测量结果，环境因素，像温度变化、湿度和空气振动等，也会对测量有影响，特别是高精度测量中，温度变化使角度尺尺寸改变带来的影响不容忽视，操作误差包含操作人员测量技巧和仪器对准误差等，系统性误差主要源于角度尺校准不足或使用不当<sup>[6]</sup>。

**(二) 测量不确定度的计算方法**

测量不确定度计算常运用标准不确定度和扩展不确定度概念，标准不确定度是单一测量不确定性的量化值，一般通过测量结果的标准差计算，扩展不确定度是将标准不确定度乘上一个覆盖因子（通常是2）得出，该因子用于考量高置信度下的不确定度范围，具体计算可依据误差来源，用误差传播公式把各个独立误差源的标准不确定度组合起来。

例如，假定角度尺测量结果含三个误差源：设备误差、环境误差和操作误差，各误差源的标准不确定度分别为  $u_1$ 、 $u_2$  和  $u_3$ ，那么总的标准不确定度  $u$  计算公式为：

$$u = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}$$

采用此方法能得出测量结果的总不确定度，还可按需选取合适的覆盖因子确定扩展不确定度；高精度角度尺的标准不确定度通常能控制在 0.001° 至 0.01°，精密测量时，扩展不确定度可达

$\pm 0.02^\circ$  [6]。

### (三) 不确定度对角度测量结果的影响

不确定度对角度测量结果影响显著,即便角度尺自身精度较高,不确定度也会使测量值与真实值出现偏差;比如在高精度制造里,测量误差和不确定度或许会直接影响零件加工质量与装配精度,航空航天领域对角度测量精度要求极高,哪怕微小不确定度也可能造成测量结果偏差,进而影响设计与操作安全。

以某高精度角度尺为例,若其标准不确定度为  $\pm 0.002^\circ$ ,测量小角度时可能引发较大比例误差:像测量  $10^\circ$  角度,误差为  $0.002^\circ$ ;测量大角度如  $100^\circ$  时,误差绝对值为  $0.02^\circ$ ,占总角度  $0.02\%$ ;这种误差在精密领域,特别是航空航天和光学仪器制造中,可能引发较严重后果 [7]。如表 2 所示。

表 2 角度尺测量不确定度来源及其影响表

误差来源	误差类型	标准不确定度 ( $^\circ$ )	影响
设备误差	刻度偏差	$\pm 0.005$	中等
温度变化	材料膨胀	$\pm 0.003$	中等
操作误差	人为操作偏差	$\pm 0.001$	小
环境振动	外部震动	$\pm 0.002$	小

## 四、角度尺校准改进及优化方法

### (一) 新型校准方法的提出与实验验证

测量技术持续进步,传统角度尺校准方法渐难满足高精度需求。于是,一种融合光学干涉法与激光干涉技术的新型校准方法被提出,此方法把角度尺与激光干涉仪配合使用,借助激光干涉的高精度测量能力校准角度尺,激光干涉仪在其中具备纳米级测量精度,通过检测反射光束相位变化来察觉角度尺误差,大幅提升了校准精度。

实验验证显示,用该方法校准后,角度尺测量误差可控制在  $\pm 0.001^\circ$  以内,较传统标准角度块法精度提升一个数量级,尤其在航空航天与高端制造行业,精度提升可保障更严格质量控制标准达成。依据 ISO 17025:2017 标准,测量设备校准精度需使误差不超最大允许误差的  $1/3$ ,该方法显著提高校准精度,得以满足更高行业标准要求 [8]。

### (二) 优化校准流程与减少不确定度

角度尺校准中,降低不确定度对提升测量精度至关重要,是保证几何量测量数据精准可靠的前提;优化校准流程可有效减少操作误差和环境因素导致的不确定度,可从设备、流程、人员多维度建立误差防控体系。优化校准设备选择时采用稳定性高的激光光源与精密定位平台,使设备在校准中处于最佳状态,避免设备

自身精度不足引发系统偏差;改进校准流程里的环境控制也是减少不确定度的重要举措,如保持恒温以避免温度波动影响角度尺材料膨胀,控制湿度与振动干扰,营造稳定校准环境。

为进一步减少不确定度,可实施多次测量法,用统计学中的最小二乘法处理测量数据,综合多个测量值减少随机误差,增强数据结果稳定性;此过程中,操作人员要对校准各环节标准化,严格按操作规程执行校准步骤,减少人为误差,优化后的校准流程结合现代测量设备与数据分析方法,能把角度尺总不确定度降至  $\pm 0.002^\circ$  以内,大幅提高测量结果的可靠性与一致性 [9]。

### (三) 未来发展方向及研究建议

未来,工业和科研对测量精度要求持续攀升,角度尺校准技术会朝着高精度、高自动化和智能化迈进,以契合智能制造、航空航天等高端领域对几何量测量的严格要求。激光干涉技术不断发展,激光干涉仪精度有望进一步提升至亚微米级,搭配高精度光学成像与信号处理模块,可让角度尺校准精度更上一层楼。智能化校准设备出现,极大简化校准流程,它集成自动定位、数据采集与分析功能,经自动化角度测量与校准。

未来研究可着重多源数据融合技术应用,把激光、光学和数字测量技术相结合,建立多维度误差补偿模型,开发高效多维度校准方法,此方法能在复杂环境中有效抵御温湿度、振动等干扰,提供稳定可靠测量数据,依据 ISO 9001:2015 质量管理体系要求,未来角度尺校准方法需满足自动化和高精度需求,为产业升级提供精准测量技术支撑 [10]。如表 3 所示。

表 3 不同角度尺校准方法及其精度比较表

校准方法	精度 ( $^\circ$ )	优点	局限性
标准角度块法	$\pm 0.1^\circ$	简单易行,成本低	精度有限,环境依赖性强
激光干涉法	$\pm 0.001^\circ$	高精度,适应性强	设备成本高,操作复杂
新型光学干涉法	$\pm 0.0005^\circ$	极高精度,适合高端应用	需要复杂设备和环境控制

## 五、结语

本文探讨角度尺校准方法及其不确定度分析,提出新型校准方法,优化现有流程,采用激光干涉法与光学干涉技术结合大幅提高校准精度,适用于高端制造与科研领域,优化校准流程后减少不确定度,增强测量结果可靠性,未来随技术进步角度尺校准会更自动化、智能化,满足更高精度需求,为高精度制造与科研提供可靠技术支持。

## 参考文献

- [1] 陈晓丹. 通用角度尺校准过程中的问题与解决方案 [J]. 质量与市场, 2025(10): 78-81.
- [2] 郭茜, 陈晓杰. 可测量对称度的万能角度尺的设计 [J]. 机械制造, 2022, 60(06): 72-74+87.
- [3] 王玉珍, 贺小军, 张磊. 基于容栅技术的数显角度尺的研发 [J]. 传感器世界, 2021, 27(03): 15-19.
- [4] 张成勇. 角度尺测量法在老龄股骨转子间骨折假体置换中的应用及研究 [D]. 河南大学, 2018.
- [5] 赵荣庆, 李斌强. 卡尺和内径千分尺在高精度质量控制中的应用与误差分析 [J]. 产品可靠性报告, 2025(10): 93-94.
- [6] 徐阳, 隋斌, 孙建伟. 量具设计中的误差分析与补偿策略研究 [J]. 中国设备工程, 2025(01): 195-197.
- [7] 罗先念. 数显角度尺的校准方法及角度示值误差的不确定度评定 [J]. 计量与测试技术, 2020, 47(10): 113-115.
- [8] 李宝玉. 错边检验尺校准方法探讨 [J]. 品牌与标准化, 2025(03): 220-222.
- [9] 徐阳, 隋斌, 孙建伟. 量具设计中的误差分析与补偿策略研究 [J]. 中国设备工程, 2025(01): 195-197.
- [10] 马世东. 多反射极相位补偿型容栅传感器位移测量方法及实验研究 [D]. 西安理工大学, 2024.