

国家计量技术规范《光电轴角编码器校准规范》
(征求意见稿)

编 制 说 明

《光电轴角编码器校准规范》制订工作组

国家计量技术规范《光电轴角编码器校准规范》 (征求意见稿) 编制说明

一. 任务来源

角编码器是目前普遍使用的角度计量器具，广泛应用于机械制造、医疗、航空航天领域，其计量性能的保障工作对产品质量、精准治疗、飞行任务安全具有重要的基础支撑作用。角编码器校准规范是保证产品计量性能的必要技术文件。

国外，美国、德国、日本均对角编码器的计量性能校准开展了深入的研究工作，并已形成了包含精密校准装置和完备校准方法的角编码器计量性能保证体系。技术特点表现在：1) 采用全圆连续的标准角度发生与同步比较系统；2) 规范了与产品生产与应用者定义一致计量特性；3) 详述了单项误差的分离方法可指导产品性能优化提升。德国国家计量院(PTB)和日本国家计量院(NMIJ)于近年开展角编码器校准的双边比对，基于其最新的校准装置和校准方法，取得高符合性的结果，直接支持了两国在国际计量局(BIPM)测量与校准能力(CMC)数据库备案的测量不确定达到 0.003”，为目前世界领先水平，对两国的机械制造、医疗、航空航天领域产品关键、基础参量测量准确度提升和国际互认起到了关键支撑作用。

国内，现行的 JJF1115-2004《光电轴轴角度编码器校准规范》相对国外相关技术规范已经明显落后，表现在：1) 采用的校准装置还是基于静态、离散的测量原理，无法全面获取被测仪器信息；2) 计量特性与产品生产与应用者定义不一致；3) 未给出校准结果误差分离的方法，难以有效指导产品优化。国内角编码生产厂家及用户均提出了修订《光电轴轴角度编码器校准规范》的迫切需求。

根据国家市场监督管理总局国家计量技术规范制修订项目立项的通知，由中国计量科学研究院、西安交通大学、浙江大学、内蒙古智能制造研究有限公司、陕西省计量科学研究院负责修订光电轴角编码器校准规范。根据计划任务书的安排，将于 2024 年 12 月开始面向全国征求意见。

二. 编制规范主要参考的文件和依据

JJF -2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制订工作的基础性系列规范。主要内容和计量特性参考了下列文件：JJG 2057《平面角计量器具》、JB/T 9942《光电轴角编码器》、JJF 1210《低速转台校准规范》。

三. 规范的主要内容及关键技术

1. 规范的主要内容

内容符合 JJF 1071-2010 的要求，包含有引言、范围、引用文件、术语和计量单位、概述、计量特性、校准条件和校准方法等主要元素，同时还包括校准证书的格式和测量不确定度的评定示例共 2 个附录。

2. 规范的关键技术：

2.1 校准设备

校准设备为标准转台，量值可溯源至国家线角度基准装置。

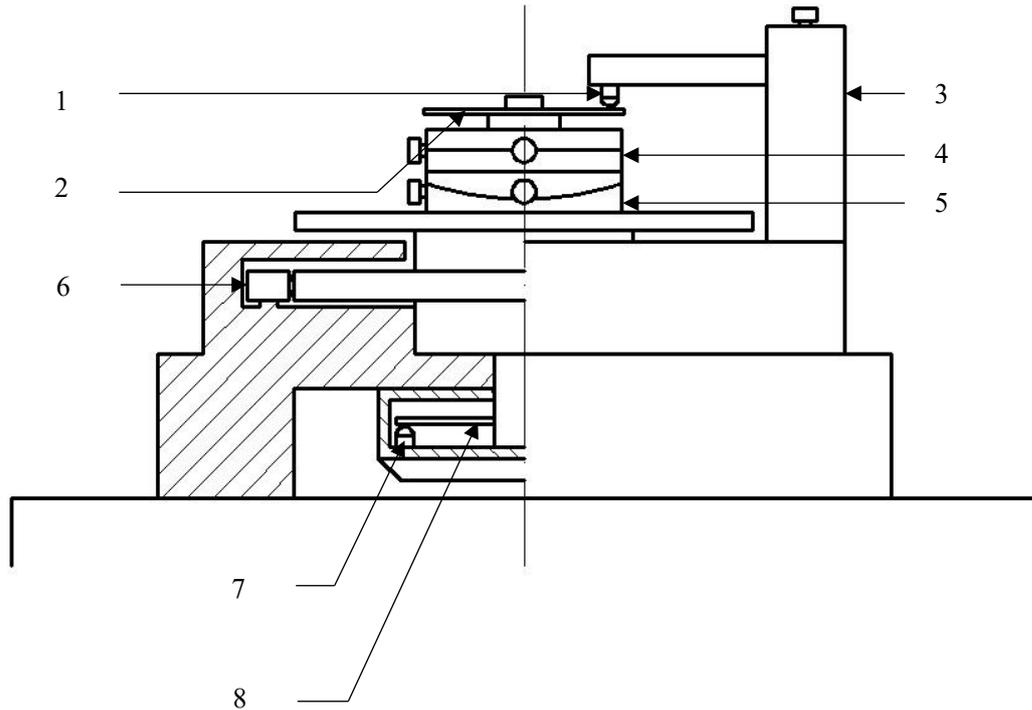
2.2 校准参数

光学陀螺测角仪有：角位置测量误差、角位置测量重复性、栅线误差、细分误差四个计量参数。

其中，栅线误差（grating error）为：角度编码器测量过程中，发生在圆光栅的栅线上，光栅摩尔条纹整周期计数，由于光栅线分布不均匀，引起的角位置测量误差；细分误差（interpolation error）为：角度编码器测量过程中，发生在圆光栅的栅线间，单个光栅莫尔条纹周期内，由于细分质量不完美，引起的角位置测量误差。

2.3 校准方法

校准系统组成如图所示。



1——被校准编码器读数头，2——被校准编码器圆光栅，3——高度调节机构，4——姿态调节机构，5——位置调节机构，6——回转驱动，7——标准转台读数头，8——标准转台圆光栅

校准系统组成框图

测试系统的调整：

- 1) 调整被校准传感器读数头高度调节机构，使被校准传感器读数头与被校准传感器圆光栅相对位置满足传感器安装要求；
- 2) 调整被校准传感器圆光栅姿态调节机构，使被校准传感器圆光栅轴线与参考角位置发生系统回转轴线夹角在 $\pm 0.01^\circ$ 范围内；
- 3) 调整被校准传感器圆光栅位置调节机构，使被校准传感器圆光栅轴线与参考角位置发生系统回转轴线同轴度在 $0.05\mu\text{m}$ 范围内。

2.3.1 角位置测量误差

角位置测量误差在 $0^\circ\sim 360^\circ$ 测量范围内校准， $a=360^\circ$ ，位置测量误差校准流程包含 m （参考值取10）测回重复测量，各测回以序号 j 标识， $j=1, 2, 3, \dots, m$ ；每测回包含 n （参考值取36）个校准点，各校准点以序号 i 标识， $i=1, 2, 3, \dots, n$ 。校准点选取为：

$$\theta(i) = 0^\circ + i \cdot \frac{a}{n}$$

则，第 j 测回，第 i 校准点的角位置测量误差校准流程为：

- 1) 转台回零定位并达到稳定状态;
- 2) 转台回转至校准点 $\theta(i)$ 定位并达到稳定状态;
- 3) 记录被校准编码器角位置测得值 $M_r(i, j)$ 。

按以上流程, 依次完成 m 测回, n 个校准点的角位置测量误差校准。

计算各测回各校准点的角位置测量误差:

$$E(i, j) = M(i, j) - \theta(i)$$

第 i 校准点的角位置测量误差, 取该校准点各测回校准结果的平均值:

$$E(i) = \frac{\sum_{j=1}^m E(i, j)}{m}$$

被校仪器的角位置测量误差, 取 $0^\circ \sim 360^\circ$ 测量范围内全部校准点角位置测量误差中的极限值:

$$E: \pm \max(|E(i)|)$$

2.3.2 角位置测量重复性

角位置测量重复性校准, 采用角位置测量误差校准方法得到的各测回各校准点的角位置测量误差 $E(i, j)$ 。

第 i 校准点的角位置测量重复性, 取该校准点各测回角位置测量误差校准结果的实验标准偏差:

$$R(i) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (E(i, j) - E(i))^2}{m-1}}$$

被校仪器的角位置测量重复性, 取 $0^\circ \sim 360^\circ$ 测量范围内全部校准点角位置测量重复性中的最大值:

$$R = \max(R(i))$$

2.3.3 栅线误差

栅线误差以被校角度编码器光栅位置作为校准点校准, 设置被校角度编码器细分电路的细分倍率为1, 将被校角度编码器细分信号作为触发信号接入标准转台角位置信号采集系统, 采用上升沿触发模式。

控制标准转台低速（参考转速5r/min）旋转3周（3×360°），提取第2周标准转台角位置采样结果。对采样结果，通过傅里叶级数变换，分离0阶和1阶周期误差成分后作为被校仪器栅线误差。

2.3.4 细分误差

细分误差在被校准角度编码器圆光栅的栅线角间距内校准， $a = \frac{360^\circ}{N}$ （N为圆光栅栅线数）。由测量范围不同，校准点选取不同，其他校准流程及数据处理流程参照角位置测量误差校准方法执行。

三. 校准规范的起草过程

本规范草案的制定，广泛征求了生产企业（中国计量科学研究院基准工艺研究所有限公司、长春禹衡光学有限公司）等和使用单位（中国航空工业集团有限公司北京长城计量测试技术研究所、北京航天计量测试技术研究所、重庆市计量质量检测研究院、北京市计量检测科学研究院、广东省计量科学研究院、黑龙江省计量检定测试研究院）等的意见。

主起草单位于2023年12月完成中国计量科学研究院下达的院自编校准规范任务，多位长度专家给予了专业意见，进一步完善了规范草案。

2024年1月至7月，规范编写工作组成员间根据草案内容做了光电轴角编码器的初步实验验证。

2024年11月，规范编写工作组就规范草案和实验数据进行探讨，不断修改完善最终形成规范征求意见稿。

四. 总结

在本规范草案的制定过程中，光电轴角编码器校准规范编写工作组本着科学合理、易于操作和普遍适用的原则，完成了光电轴角编码器校准规范草案征求意见稿。由于编制组的技术水平及资料收集的能力有限，本校准规范难免存在局限和不足之处，敬请各位领导和专家多提宝贵意见和建议，以使本校准规范更加科学与严谨。

《光电轴角编码器校准规范》编制组 2024.12.10