

---

# JJF

## 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1115-xxxx

---

### 光电轴角编码器校准规范

Calibration Specification for  
Angle Grating Encoder

(征求意见稿)

xxxx-xx-xx 发布

xxxx-xx-xx 实施

---

国家市场监督管理总局 发布

# 光电轴角编码器校准规范

## Calibration Specification for Angle Grating Encoder

JJF 1115-202x

代替 JJF 1115-2004

归口单位：全国几何量长度计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

XXX

参加起草单位：XXX

XXX

XXX

本规范委托全国几何量长度计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

参加起草人：

# 目录

引 言.....	II
1. 范围.....	1
2. 引用文件.....	1
3. 术语及定义.....	1
3.1 栅线误差.....	1
3.2 细分误差.....	1
3.3 周期误差成分.....	1
4. 概述.....	1
5. 计量特性.....	2
6. 校准条件.....	2
6.1 校准用主要设备.....	2
6.2 环境条件.....	3
6.3 校准系统组成.....	3
7. 校准项目和校准方法.....	4
7.1 角位置测量误差.....	4
7.2 角位置测量重复性.....	4
7.3 栅线误差.....	5
7.4 细分误差.....	5
8. 校准结果处理.....	5
9. 复校时间间隔.....	5
附录 A 无轴光电轴角编码器角位置测量误差校准结果的测量不确定度评定.....	6
附录 B 光电轴角编码器校准证书内页格式.....	10

## 引 言

JF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》、JJF1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1094—2002《测量仪器特性评定》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范是对 JJF 1115-2004《光电轴角编码器校准规范》的修订，在修订过程中引用和参考了 JB/T 9942《光电轴角编码器》的有关规定，基于线角度基准装置开展量值传递，与 JJF 1115-2004 相比，除编辑逻辑性修改外主要技术变化如下：

- 增加栅线误差校准项目
- 增加细分误差校准项目
- 依据 JJF 1001 更正名词与术语
- 依据 JJF 1001 测量重复性物理含义，更正重复性的校准方法
- 在测量不确定度评定中补充安装偏心及偏斜引入的测量不确定度分量
- 根据现有产品型号简化准确度级别分类
- 依据线角度基准装置开展线角度量值传递，将主要校准设备改为标准转台

# 光电轴角编码器校准规范

## 1. 范围

本规范适用于光电轴角编码器的校准。

## 2. 引用文件

本规范引用了下列文件：

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》

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

## 3. 术语及定义

### 3.1 栅线误差（grating error）

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。

### 3.2 细分误差（interpolation error）

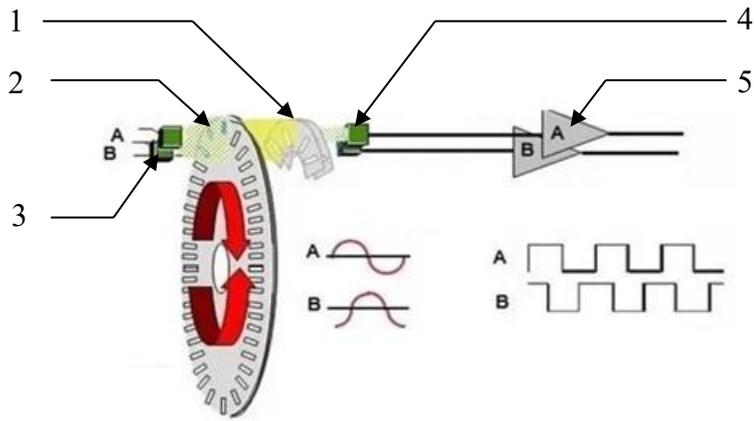
角度编码器测量过程中，发生在圆光栅的栅线间，单个光栅莫尔条纹周期内，由于细分质量不完美，引起的角位置测量误差。

### 3.3 周期误差成分（periodic error）

通过对 $0^{\circ}$ ~ $360^{\circ}$  测量范围内均布各校准点上角位置测量误差序列进行傅里叶级数变换，以不同阶次的傅里叶级数成分表示的角位置测量误差。

## 4. 概述

光电轴角编码器通过探测主光栅与指示光栅相对运动引起的莫尔条纹，实现对应圆光栅刻线的整周期计数及栅线间单个光栅莫尔条纹的细分，最终实现角位移测量。光栅角位移编码器系统组成结构如图 1 所示，其中指示光栅、光源、光电转化器通常集成在光电轴角编码器读数头中。



1——指示光栅；2——主光栅；3——光源；4——光电转化器；5——细分电路

图1 光电轴角编码器系统组成结构

## 5. 计量特性

计量特性及参考技术指标如表1所示。

表1 计量特性参考技术指标

序号	计量特性	符号	参考技术指标		
			高精度	中精度	低精度
1	角位置测量误差	$E$	$\pm 0.3''$	$\pm 1''$	$\pm 5''$
2	角位置测量重复性	$R$	$0.03''$	$0.3''$	$1.5''$
3	栅线误差	$E_G$	$\pm 0.1''$	/	
4	细分误差	$E_I$	$\pm 0.1''$	/	

## 6. 校准条件

### 6.1 校准用主要设备

主要校准设备及其参考技术要求列于表2

表2 主要校准设备和参考技术指标

序号	名称	计量特性	参考技术指标		
			高精度	中精度	低精度
1	标准转台	角位置定位范围	$0^\circ \sim 360^\circ$		
		角定位误差	$\pm 0.05''$	$\pm 0.3''$	$\pm 1.5''$
		角定位重复性	$0.02''$	$0.1''$	$0.5''$
		角定位最小步长	$0.01''$	/	

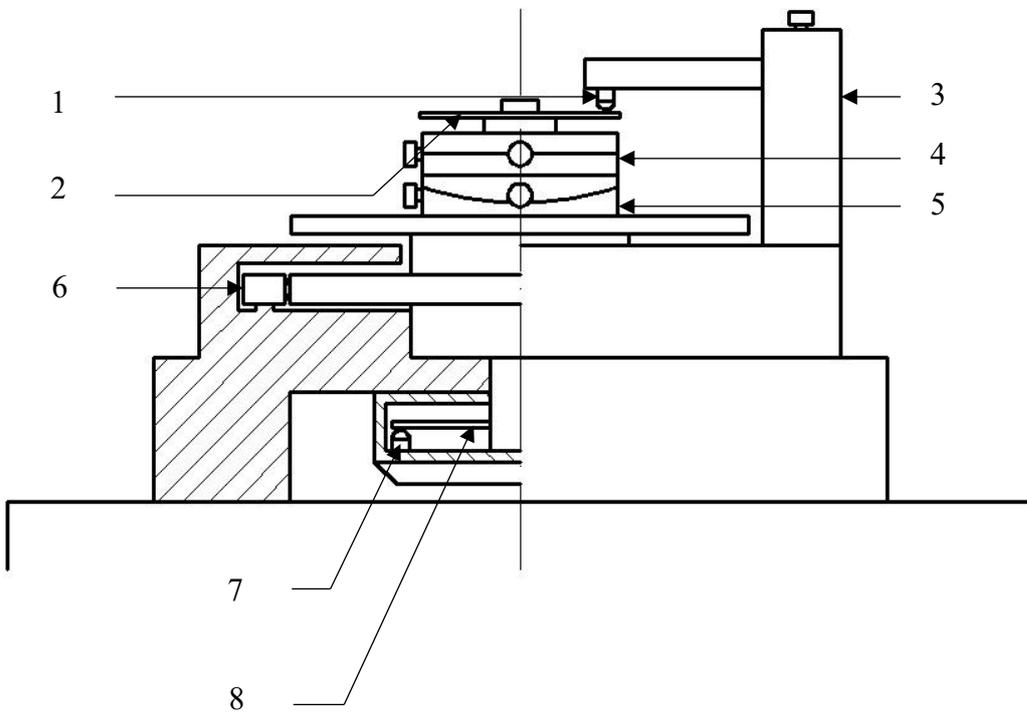
## 6.2 环境条件

表3 环境条件要求

序号	项目	参考技术指标
1	温度	(20±1) °C
2	相对湿度	30%~75%
3	其他	无对校准有影响振动和气流扰动

## 6.3 校准系统组成

校准系统组成如图 2 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

图 2 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。

## 7. 校准项目和校准方法

### 7.1 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:

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

### 7.2 角位置测量重复性

角位置测量重复性校准, 采用7.1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：

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

### 7.3 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 $5\text{r/min}$ ）旋转3周（ $3 \times 360^\circ$ ），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。

### 7.4 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7.1执行。

## 8. 校准结果处理

出具校准报告或证书，给出校准项目和校准结果以及相应的测量不确定度。

## 9. 复校时间间隔

复校时间间隔根据仪器特性及实际使用情况由使用者确定，建议复校间隔通常不超过1年。

## 附录 A 无轴光电轴角编码器角位置测量误差校准结果的测量不确定度评定

## 光电轴角编码器角位置测量误差校准结果测量不确定度评定

## 1 测量方法

以标准转台作为参考值比较测量得到无轴光电轴角编码器角位置测量误差。

## 2 测量模型

$$E = (M + E_r + E_b) - \theta \quad (1)$$

式中：

- $E$ : 角位置测量误差  
 $M$ : 被校编码器测得值  
 $E_r$ : 被校编码器安装偏心引入的角位置测量误差  
 $E_b$ : 被校编码器安装偏斜引入的角位置测量误差  
 $\theta$ : 标准转台角定位值

## 3 标准不确定度分量一览表

序号	标准不确定度分量	不确定度来源	类型
1	$u(\theta)$	标准转台角定位值引入的测量不确定度	B
2	$u(E_r)$	被校编码器安装偏心引入的测量不确定度	B
3	$u(E_b)$	被校编码器安装偏斜引入的测量不确定度	B
4	$u(M)$	测量重复性引入测量不确定度	A

## 4 标准不确定度分量评定

4.1 标准转台角定位值引入的测量不确定度  $u(\theta)$ 

转台角定位最大允许误差 MPE:  $\pm 0.05''$ ，设其符合均匀分布，则：

$$u(\theta) = 0.05'' / \sqrt{3} \approx 0.03''$$

4.2 被校编码器安装偏心引入的测量不确定度  $u(E_r)$ 

设半径为  $r$  的圆光栅回转轴线与实际工作回转轴线发生径向偏移  $e$  如图 A1 所示。

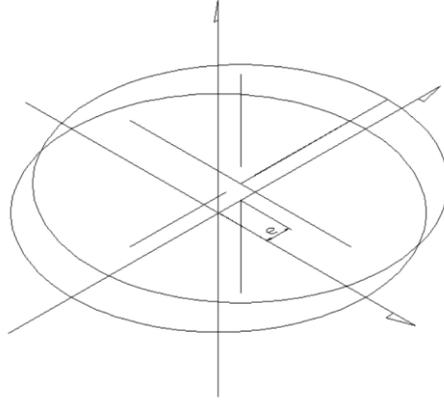


图 A1 径向回转误差作用示意图

则特定角位置  $\theta$  对应的偏心引起的角位置测量误差  $\Delta(\theta)$ 为:

$$\Delta(\theta) = m'(\theta) - \theta = \frac{\int_0^\theta (r + e \cdot \cos(\theta)) d\theta}{\int_0^{2\pi} (r + e \cdot \cos(\theta)) d\theta} \cdot 2\pi - \theta$$

数值仿真计算不同径向偏移回转误差（以相对圆光栅半径的比值表示）引入测角误差如图 A2 所示。

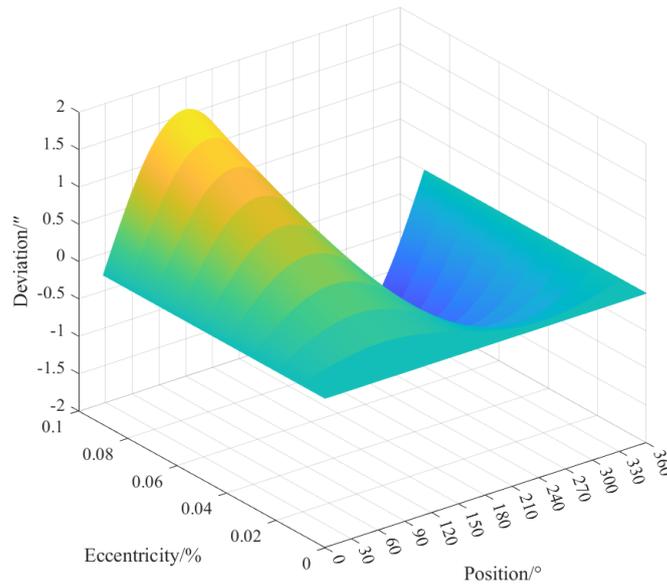


图 A2 不同偏心引入角位置测量误差曲线

依据本规范，使被校准编码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。常规圆光栅半径  $100\text{mm}$ ，则偏心量  $=0.05\mu\text{m}/100\text{mm}=0.5\times 10^{-6}$ ，由数字仿真可知，引入的测角误差幅值  $\approx 0.1''$ 。设该不确定度分量符合均匀分布，则：

$$u(E_r) = 0.1'' / \sqrt{3} \approx 0.06''$$

### 4.3 被校编码器安装偏斜引入的测量不确定度 $u(E_b)$

设测角器件敏感面与实际工作回转面发生倾斜角  $\psi$  如图 A3 所示。

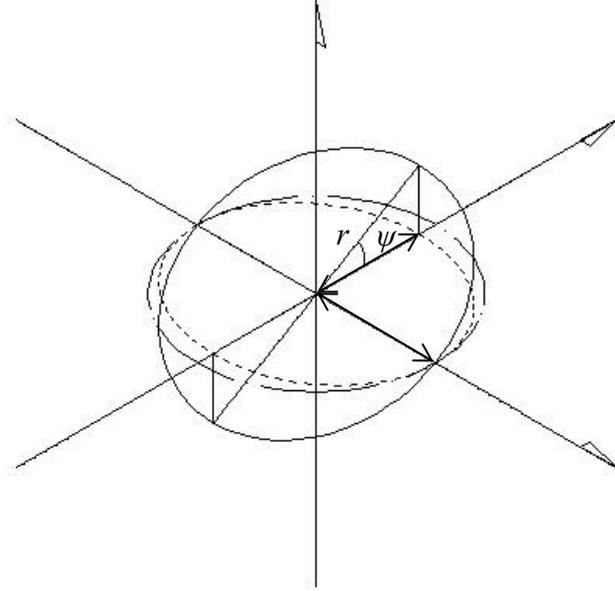


图 A3 倾角回转误差作用示意图

则特定角位置  $\theta$  对应的偏斜引起的角位置测量误差  $\Delta(\theta)$ 为:

$$\Delta(\theta) = m'(\theta) - \theta = \frac{\int_0^\theta \frac{r \times \cos(\psi)}{\sqrt{\cos(\theta)^2 + \cos(\psi)^2 \sin(\theta)^2}} d\theta}{\int_0^{2\pi} \frac{r \times \cos(\psi)}{\sqrt{\cos(\theta)^2 + \cos(\psi)^2 \sin(\theta)^2}} d\theta} \cdot 2\pi - \theta$$

数值仿真计算不同倾角回转误差引入测角误差如图 A4 所示。

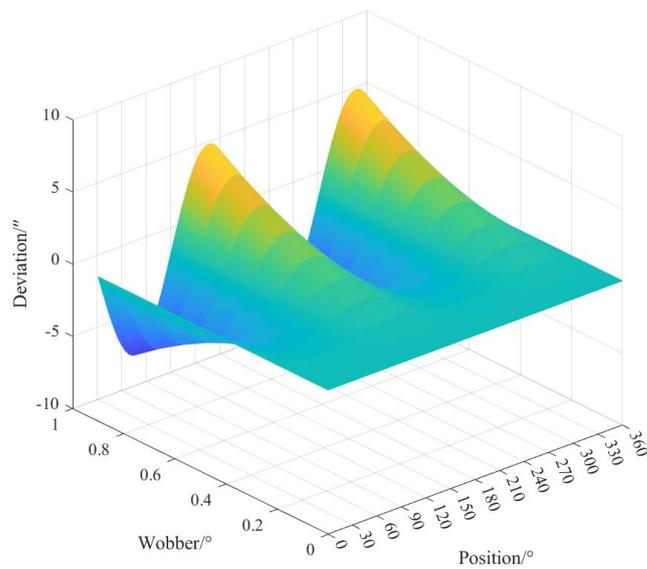


图 A4 不同倾角回转误差引入测角误差

依据本规范，使被校准编码器圆光栅轴线与参考角位置发生系统回转轴线夹角在±0.01°范围内。由数值仿真可知引入的测角误差幅值≈0.01″。设该不确定度分量符合均匀分布，则：

$$u(E_r) = 0.01'' / \sqrt{3} \approx 0.006''$$

#### 4.4 测量重复性引入测量不确定度 $u(M)$

依据本规范，高精度光电轴角编码器角位置测量重复性 0.03″，则测量重复性引入测量不确定度：

$$u(r) = 0.03''$$

### 6 标准测量不确定度汇总

序号	标准不确定度分量	评定结果
1	$u(\theta)$	0.03″
2	$u(E_r)$	0.06″
3	$u(E_b)$	0.006″
4	$u(M)$	0.03″

### 7 标准测量不确定度合成

$$u_c = \sqrt{u(\theta)^2 + u(E_r)^2 + u(E_b)^2 + u(M)^2} \approx 0.075''$$

### 8 扩展测量不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则扩展不确定度：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.075'' = 0.15''$$

## 附录 B 光电轴角编码器校准证书内页格式

## 光电轴角编码器校准证书内页格式

表 B.1 光电轴角编码器校准证书内页格式

序号	校准项目	校准结果
1	角位置测量误差	
2	角位置测量重复性	
3	栅线误差	
4	细分误差	
角位置测量误差校准结果的测量不确定度： $U=$ , $k=2$		