**JJF**

**中华人民共和国国家计量技术规范**

**JJF xxxx-xxxx**

**光学陀螺测角仪校准规范**

**Calibration Specification for**

**Optical Gyroscope Angle Measuring Instrument**

（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**

**光学陀螺测角仪校准规范**

**Calibration Specification for JJF xxxx-201x**

**Optical Gyroscope Angle Measuring**

**Instrument**

　本规范经国家市场监督管理总局于xxxx年xx月xx日批准，并自xxxx年xx月xx日起施行。

**归 口 单 位：全国几何量长度计量技术委员会**

**主要起草单位：**

**参加起草单位：**

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...............................................................

1 范围............................................................... (1)

2 引用文件............................................................(1)

3 术语............................................................... (1)

4 概述............................................................... (1)

5 计量特性........................................................... (2)

6 校准条件........................................................... (2)

6.1 校准项目和标准器.................................................. (2)

6.2 环境条件................................... ....................... (2)

7 校准项目和校准方法......................... ....................... (3)

7.1 标度因子........................................................... (3)

7.2 标度因子重复性 .................................................... (3)

7.3 线性度................................... ......................... (3)

7.4 零位稳定性...................... ........ . ..................... (3)

7.5 角位置测量偏差.....................................................(4)

7.6 角位置测量重复性...................................................(5)

7.7 速率一致性...........................................(5)

8 校准结果的表达 ..................................................... (6)

9 复校时间间隔 ....................................................... (6)

附录 校准角位置测量偏差的测量不确定度评估 .......................... (11)

引 言

JJFXXX-XXX《光学陀螺测角仪校准规范》是针对光学陀螺测角仪校准的计量技术法规。光学陀螺测角仪是基于萨格纳克效应(Sagnac Effect)发展出来角度测量仪器。其测量结果是在惯性空间内的陀螺敏感面上，陀螺载体相对启动时刻空间指向的角度变化量。基于此测量原理，光学陀螺测角仪具有独特的误差作用机理，并相应地表现出特有的计量性能，因此有必要为其制定专门的校准规范，保证该类计量仪器使用规范、量值传递有效、测量结果可靠。同时需要声明的是：本规范制定内容只涉及光学陀螺测角仪在特定温度范围内角位置测量结果的校准方法，未涉及光学陀螺测角仪在不同温度条件下的校准方法，也不涉及光学陀螺测角仪角速度测量结果的校准方法。

本规范依据JJF 1071-2010《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》进行编写。

本校准规范为首次发布。

**光学陀螺测角仪校准规范**

1 范围

本规范适用于环形激光陀螺测角仪和光纤陀螺测角仪的角位置相关计量性能的校准。

2 引用文件

本规范引用以下文件：

JJF 1001《通用计量术语及定义》

JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》

JJG 2057《平面角计量器具》

JJF1352《角位移传感器校准规范》

JJF 1210《低速转台校准规范》

GJB 2427《激光陀螺仪测试方法》

GJB 180《惯性技术测试设备主要性能试验方法》

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。

1. 术语及定义

3.1 敏感面

光学陀螺光学环路所在平面，在此平面上对应一定大小的角位移变化量，光学陀螺的输出量最大。通常情况下，光学陀螺测角仪的安装参考面与其敏感面平行。

3.1 标度因数

光学陀螺仪角位置测量值与计数脉冲输出值之比，单位：counts/°；

3.2 标度因数线性度

不同角位置测得标定因子的最大变动量与平均值之比，单位：%；

3.3零位稳定性

规定时间内，载体静置状态下，光学陀螺测角仪连续角位置测得值的极差值与测量时间之比，单位°/h

3.4 速率一致性

光学陀螺测角仪在载体以不同转速定位状态下，角位置测量结果的最大变化量与参考状态下光学陀螺测角仪角位置测量结果之比，单位：%；

3.5 指向一致性

光学陀螺测角仪在载体回转轴线不同空间指向状态下，角位置测量结果的最大变化量与参考指向下光学陀螺测角仪角位置测量结果之比，单位：%；

3.6角位置测量偏差

光学陀螺测角仪角位置测量结果与标准角值之差，单位：″；

3.7角位置测量重复性

短时间内，相同条件下，光学陀螺测角仪多次测量同一角位置的测量结果标准偏差，单位：″。

4 概述

光学陀螺测角仪是基于萨格纳克效应(Sagnac Effect)发展出来的一种角度测量仪器，陀螺本体，光路内藏于壳内，卡盘下表面与陀螺敏感面平行，通过卡盘安装在载体工作面上；数据采集模块，通过无线或有线通讯与陀螺本体互联，可在外部触发或内部触发下实时采集角度测量结果，测量结果可传输至上位机显示或分析。

|  |
| --- |
| 陀螺本体  壳体  卡盘  数据采集模块  无线或  有线通讯  采样触发  上位机 |
| 图1 光学测角陀螺基本结构形式 |

光学陀螺测角仪测量结果是在惯性空间内的陀螺敏感面上，陀螺载体相对启动时刻空间指向的角度变化量。其角度计量领域应用的优点表现为：在测量载体回转角度时，无需同轴安装要求；并且，即使载体在回转运动过程中伴随线运动，无需任何辅助设备，光学陀螺测角仪仍可以独立测得载体的角度变化量，不受线运动影响。同时其特有的计量性能表现为：1）标度因数：光学陀螺测角仪测角原理不具备封闭性，如标度因数不准确，测角误差随被测角位置增大而增大，引入线性误差成分，因此需要校准标度因数；2）标度因数非线性度：光学陀螺测角仪在不同角位置上，标度因数不一致，引入非线性误差成分，因此需要校准标度因数非线性度；3）零位漂移：光学陀螺测角仪在载体静止状态下，角位置测量结果随时间变化，因此需要校准零位漂移；4）速度一致性：萨格纳克效应直接测量结果为角速度，光学陀螺测角仪采用速度积分技术计算得到角位，不同速度的会引入计算误差，因此需要校准速度一致性；5）指向一致性：光学陀螺测角仪直接测量结果中包含地球自转引入的角位置变化量，通常情况下要求测量载体相对大地参考系的回转角度时，因此需要考虑光学陀螺测角仪敏感面与地球自转轴向不同夹角状态下，测量结果的一致性。

5 计量特性

5.1 标度因数（符号：*K*）

5.2 标度因数线性度（符号：*Kl*）

5.3 零位漂移（符号：*Bs*）

5.4 角位置测量偏差（符号：*E*）

5.5 角位置测量重复性（符号：*R*）

5.6 速率一致性（符号：*Cv*）

5.7 指向一致性（符号：*Cg*）

6 校准条件

6.1校准项目和主要校准器具列于表1

表1主要校准设备和参考技术要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 名称 | 参考技术指标 | |
| 1 | 低速转台 | 轴系回转误差 | ≤0.3″ |
| 角位置范围 | 0°~360° |
| 角定位误差 | ±0.1″ |
| 角速率范围 | (0°~300°)/s |
| 角速率误差 | 1×10-5定角间隔360° |
| 2×10-4定角间隔10° |
| 2×10-3定角间隔1° |
| 回转轴指向 | 可调至：  正上，正东（或西），正北（或南） |
| 2 | 计时器 | / | |

6.2 环境条件

表2 环境条件

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 参考技术指标 |
| 1 | 温度 | （20±1）℃，变化：≤1℃/h，等温时间：≥4小时 |
| 2 | 湿度 | 30%~75% |
| 3 | 其他 | 转台应安置在隔振平台上；无明显电磁场干扰 |

7 校准项目和校准方法

光学陀螺测角仪校准系统组成结构

|  |
| --- |
| 被校仪器  转台测控  上位机  转台测控系统  数据采集模块  转台驱动器  光学陀螺测角仪数据采集系统  转台控制器  测角仪测控  上位机  转台 |
| 图2 校准系统组成结构 |

说明：转台回转轴线指向可根据校准项目要求调整；被校仪器通过卡盘安装在转台工作面上；校准开始前，光学陀螺测角续完成预热和地球自转（地速）补偿操作。

7.1 标度因数 *K*

转台立式放置（回转轴线与水平面垂直），将被测光学陀螺测角仪稳固安置在转台上，两者示值同时清零，设定转台转速60°/s，按下表控制转台转动：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测回 | 起测位置/° | 停止位置/° | 回转时间 | 转速设置 |
| 1 | 0 | 60 | ≤3 s | 60°/s |
| 2 | 0 | 120 | ≤4 s |
| 3 | 0 | 180 | ≤5 s |
| 4 | 0 | 240 | ≤6 s |
| 5 | 0 | 300 | ≤7 s |
| 6 | 0 | 360 | ≤8 s |
| 说明： | 每个测量位置回转到位后，停止60s再转下一位置； | | | |
|  | 回转时间指从起测到停止的转动过程所经历的时间。 | | | |

记录每测回光学陀螺测角仪输出脉冲数，分别计算每测回标度因数 *Ki* （i=1,2,3, … ,6）

*Ci*—— 本测回输出脉冲数

*θi*—— 本测回角位移量

取：



7.2 标度因数非线性度 *Kl*

采用标度因数在各测回测量结果，计算极差值与标度因数的比值。

7.3零位稳定性 *Bs*

光学陀螺测角仪安置在稳固平台上（灵敏方向与水平方向垂直），预热1小时后开始读取光学陀螺仪的角位置测得值*Mu* (*u*=1, 2, 3, …, 15)，每隔5分钟记录一次，连续测量1小时，得到15次测量结果，使用贝塞尔公式计算标准偏差与持续时间的比值为测量结果：

*Bs*

7.4角位置测量偏差*E*

转台立式放置（回转轴线与水平面垂直），将被测光学陀螺测角仪稳固安置在转台上，在起测位置，两者示值同时清零，设定转台转速60°/s，按下表控制转台转动：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测回 | 起测位置/° | 停止位置/° | 回转时间 | 转速设置 |
| 1 | 0 | 30 | ≤2.5 s | 60°/s |
| 2 | 0 | 60 | ≤3 s |
| 3 | 0 | 90 | ≤3.5 s |
| 4 | 0 | 120 | ≤4 s |
| 5 | 0 | 150 | ≤4.5 s |
| 6 | 0 | 180 | ≤5 s |
| 7 | 0 | 210 | ≤5.5 s |
| 8 | 0 | 240 | ≤6 s |
| 9 | 0 | 270 | ≤6.5 s |
| 10 | 0 | 300 | ≤7 s |
| 11 | 0 | 330 | ≤7.5 s |
| 12 | 0 | 360 | ≤8 s |
| 说明： | 每个测量位置回转到位后，停止60s再转下一位置； | | | |
|  | 回转时间指从起测到停止的转动过程所经历的时间。 | | | |

读取各停止位置（校准点）仪器读数值*Mi* (*i*=1, 2, 3, …, 12)与计量标准器给出值*Si*比较。则各校准点角位置测量偏差：

*Ei*=*Mi*-*Si*

取各校准点角位置测量偏差绝对值最大值作为校准结果，即：

*E*：± max (|*Ei*|)

7.5角位置测量重复性*R*

重复7.4角位置测量偏差实验10测回，得到各校准点角位置测量偏差*Ei,j* (*i*=1, 2, 3, …, 12; *j*=1, 2, 3, …, 10)，均按贝塞尔公式计算标准偏差作为各校准点角位置测量重复性*Rj*：

*Ri*

取各校准点角位置测量重复性最大值作为校准结果，即：

*R*=max (*Ri*)。

7.6速率一致性*Cv*

在(1°~300°)/s范围内，选取8个速率点(参考值：*v*=1°/s, 10°/s, 60°/s, 100°/s, 150°/s, 200°/s, 250°/s, 300°/s)，分别校准各速率下角位置测量偏差*Ev*则：

如7.4角位置测量偏差校准已完成，60°/s速率下角位值偏差可不重复校准。

7.7 指向一致性*Cg*

参考大地水平方向和天文北方向，调整转台指向，使其回转轴线分别指向正上方向，正北（或南）方向、正东（或西）方向，如图3所示。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| （a）正上方向 | （b）正北（或南）方向 | （c）正东（或西）方向 |
| 图3 转台回转轴指向调整示意图 | | |

分别校准转台3个指向下，光学陀螺测角仪角位置测量偏差*Eg*，则：

1. 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。

1. 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12个月。

附录A：

**光学陀螺测角仪角位置测量偏差**

**校准结果的测量不确定度评定**

**1 测量方法**

将光学陀螺测角仪安装在立式标准转台上，调整光学陀螺测角仪敏感面与转台回转工作平行度优于±0.1°，令标准转台在0°~360°测量范围内依次发生标准角位置，从起始位置到每个校准位置的测量时间控制在0.5min内，记录各位置上标准转台定位值和光学陀螺测角仪测得值，计算偏差。

**2 测量模型**

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

式中：

|  |  |
| --- | --- |
| Δ | 光学陀螺测角仪角位置测量偏差 |
| *θψ* | 光学陀螺测角仪敏感面测得值在转台回转面上的投影角 |
| *θz* | 光学陀螺测角仪的零位漂移值 |
| *θE* | 光学陀螺测角仪测得地球自转角 |
| *p* | 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*(*p*) | 标准转台角定位值引入的测量不确定度 | B |
| 2 | *u*(*θψ*) | 光学陀螺敏感面与转台回转面不一致引入的测量不确定度 | B |
| 3 | *u*(*θz*) | 光学陀螺零位漂移引入的测量不确定度 | B |
| 4 | *u*(*r*) | 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*(*p*)**

转台角定位最大允许误差MPE：±0.10″，设其符合均匀分布，则：

*u*(*p*)= 0.10″/≈0.06″

**4.2光学陀螺敏感面与转台回转面不一致引入的测量不确定度*u*(*θψ*)**

设光学陀螺测角仪敏感面与转台回转面存在夹角*ψ*，根据光学陀螺测量原理，在转台回转微小角度*dθ*时，光学陀螺实际感应光程为其敏感面上的理想真圆光程在转台回转面上的椭圆投影。

|  |
| --- |
| *ψ*  *r*a  *rb* |
| 图A.1 光学陀螺测角仪敏感面与转台回转工作面夹角关系图 |
| *r*(*θ*)’  *r*  *dθ* |
| 图A.2 光学陀螺敏感面在转台回转面上的投影示意图 |

*dθ*对应投影光程为：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

*r*(*θ*)’为角位置上的椭圆半径，与转台回转角度、陀螺敏感面上的理想光程真圆半径*r*及陀螺敏感面与转台回转面夹角*ψ*的函数关系为：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

则*dθ*对应陀螺实际感应角度为：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

式中*k*为角度与弧长的比例系数，在陀螺标度因子校准过程中赋值，结果为360°/*C’*，其中*C’*为椭圆周长。

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

即：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

则：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (7) |

则：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

则标准转台转动到特定角度*θ*时，光学陀螺测角仪的测得值为：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

光学陀螺敏感面与转台回转面不一致引入的角位置测量误差为：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

光学陀螺测角仪敏感面与转台回转工作平行度优于±0.1°，考虑安置于最大夹角状态*ψ*=0.1°，通过数值仿真可到0°~360°测量范围内，光学陀螺敏感面与转台回转面不一致引入的角位置测量偏差曲线。

|  |
| --- |
|  |
| 图A.3 光学陀螺敏感面与转台回转面不一致引入的角位置测量偏差曲线 |

由数值仿真结果可知，0°~360°测量范围内误差极限值Δ*ψ*=0.08″，设其符合均匀分布，则：

*u*(*θψ*)*=* 0.08″/≈0.05″

4.3光学陀螺测角仪零位漂移值引入的测量不确定度*u*(*θz*)

被校准的光学陀螺测角仪零偏稳定性优于0.005°/h即0.3″/min，测量持续时间0.5min，则最大漂移误差为：0.3″/min×0.5min=0.15″，设其符合均匀分布，则：

*u*(*θz*) =0.15″ /≈0.09″

4.4测量重复性引入测量不确定度*u*(*θ*)

开展10次重复测量，测量结果如图所示：

|  |
| --- |
|  |
| 图A.4 10次重复测量角位置测量偏差曲线 |

通过贝塞尔公式计算各角位置的标准偏差*STD*。

*STD*

各角位置的标准偏差分布如图所示：

|  |
| --- |
|  |
| 图A.5 各角位置的标准偏差分布曲线 |

测量重复性引入测量不确定度取最大值，则：

*u*(*r*)=0.09″

6 标准测量不确定度汇总

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 标准不确定度分量 | 不确定度来源 | 评定结果 |
| 1 | *u*(*p*) | 标准转台角定位值引入的测量不确定度 | 0.06″ |
| 2 | *u*(*θψ*) | 光学陀螺敏感面与转台回转面不一致引入的测量不确定度 | 0.05″ |
| 3 | *u*(*θz*) | 光学陀螺零位漂移引入的测量不确定度 | 0.09″ |
| 4 | *u*(*r*) | 测量重复性引入测量不确定度 | 0.09″ |

7 标准测量不确定度合成

≈0.15″

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*×*u*c=2×0.15″=0.30″

附录B：

**光学陀螺测角仪校准证书内页格式**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 校准项目 | 校准结果 |
| 1 | 标度因数 |  |
| 2 | 标度因数线性度 |  |
| 3 | 零位漂移 |  |
| 4 | 角位置测量偏差 |  |
| 5 | 角位置测量重复性 |  |
| 6 | 速率一致性 |  |
| 7 | 指向一致性 |  |
| 角位置测量偏差的测量不确度度：*U*= , *k*=2 | | |

图B.1 光学陀螺测角仪校准证书内页格式