

**中华人民共和国国家计量技术规范**

 JJF××××─××××

回转轴线测角转台校准规范

**Calibration Specification of** **Rotary Axis Angle Measuring Turntable**

**（征求意见稿）**

××××-××-××发布 ××××-××-××实施

**国 家 市 场 监 督 管 理 总 局** 发 布

回转轴线测角转台校准规范

 **Calibration Specification of**

**Rotary Axis Angle Measuring Turntable**

**JJF** ××××—202X



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

本规范主要起草人：

参加起草人：

**目 录**

1. 引言……………………………………………………………………..…………………（Ⅲ）
2. 范围………………………………………………………………….…………………（1）
3. 引用文件…………………………………………………………….…………………（1）
4. 术语和定义.………………………………………………………….…………………（1）
5. 3.1 漂移…………..…………………………………………….…………………………（1）

3.2 分辨力……….…………………………………………..……………………………（1）

1. 概述…………………………………………………………….………………………（1）
2. 计量特性……………………………………………………….………………………（2）

5.1 漂移…………...…………………………………………………….….….….………（2）

5.2 分辨力……………………………………………..……………….….….……… …（2）

5.3 角分度误差………………….………………………………..………………………（2）

5.4 测角重复性…………………………………………………..………………………（2）

5.5 测角回程误差…………...……………………………………………………………（2）

1. 通用技术要求……………………………………………….…………………………（2）
2. 6.1 外观…………………………………………… …….………………….….…. ……（2）
3. 6.2 各部分相互作用………………………… ……..…… ……….….…………………（2）
4. 6.3 预热时间……………………………….. ……………… .….….….….….…………（2）
5. 校准条件…………………………………………………….…………………………（3）
6. 7.1 环境条件………………………………………………….………………….………（3）
7. 7.2 校准项目用设备………………………………..………….….….….………………（3）
8. 8 校准项目和校准方法………………………………………….………………………（3）
9. 8.1 外观及相互作用………………………………………….…….……………………（4）
10. 8.2 预热时间 …………………………..…………………….…..………………………（4）

8.3 漂移…………...………………………………………….….….……………………（4）

8.4 分辨力…………………………………………..…….….….….……………………（4）

8.5 角分度误差………………….………………………………..………………………（5）

8.6 测角重复性…………………………………………………..………………………（5）

8.7 测角回程误差…………...……………………………………………………………（6）

1. 9 校准结果表达…………………………………………………….……………….……（6）
2. 10 复校时间间隔…………………………………….…………………………….……（6）

附录A 回转轴线测角转台角分度误差的不确定度评定（示例）……………….……（7）

附录B 回转轴线测角转台校准证书(内页)格式…....…..…………...……………..….（10）

引 言

JJF 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》共同构成支撑本校准规范制定工作的基础性系列文件。

本规范为首次发布。

回转轴线测角转台校准规范

1. 范围

本规范规定了回转轴线测角转台的计量特性、校准条件、校准项目和校准方法等。

本规范主要适用于配合激光干涉仪组合使用的回转轴线测角转台的校准。

1. 引用文件

本规范引用下列文件：

JJG 739-2005 激光干涉仪

JJF 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

JJF 1094-2002 测量仪器特性评定

JJF 1114-2004 光学、数显分度台校准规范

JJF 1115-2004 光电轴角编码器校准规范

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）适用本规范。

1. 术语和定义
2. 漂移 drift

回转轴线测角转台稳定状态下一定时间内示值的变化量。

1. 分辨力 resolving power

引起回转轴线测角转台读数发生变化的最小角度值。

1. 概述

 

图1 回转轴线测角转台结构示意图

回转轴线测角转台是一种集成角度反射镜的精密伺服定位转台，如图1所示。包括可360°旋转的角度反射镜、转轴、主体及底座。回转轴线测角转台工作时，测角转台底座与被测回转轴线连接，转轴带动角度反射镜旋转某一固定角度，该角度作为与被测回转轴线旋转角度的比较基准参与完成被测回转轴角位置误差测量。角度反射镜与激光干涉仪、角度干涉镜配合使用，可以完成水平、竖直、倾斜、摆动等多种姿态回转轴线的角位置误差测量。

1. 计量特性

5.1漂移

回转轴线测角转台的漂移应满足任意1小时内应不大于0.1″。

5.2分辨力

回转轴线测角转台的分辨力应不大于 0.2″。

5.3角分度误差

回转轴线测角转台的角分度误差应不大于±1″。

5.4测角重复性

回转轴线测角转台的测角重复性应不大于 0.2″。

5.5测角回程误差

回转轴线测角转台的测角回程误差应不大于0.2″。

1. 通用技术要求

6.1外观

回转轴线测角转台表面应有清晰标记制造厂名称或商标、型号、出厂编号及MC计量标志的铭牌，铭牌安装应牢固可靠。

回转轴线测角转台表面不应有影响使用的碰伤、划痕及其他影响测量的缺陷。光学部件表面不应有影响使用的水迹、油迹、灰尘、擦伤、划痕、霉点、麻点等，胶合面不应有脱胶现象，镀膜面应无脱膜腐蚀现象。

6.2各部分相互作用

各紧固部件应牢固可靠，各调整部件应灵活平稳，无卡顿和松动现象。

回转轴线测角转台与激光干涉仪以及与计算机的通讯连接应通畅可靠。

6.3预热时间

回转轴线测角转台开启后20min内应进入稳定状态。

1. 校准条件

7.1环境条件

7.1.1 温度：（20±1）℃。

7.1.2 相对湿度：（50±10）%RH。

7.1.3 气压波动：±0.1 kPa。

7.1.4 环境隔振等级至少应达到VC-A级。

7.1.5 电源波动应不超过被校准的回转轴线测角转台额定电压的±10%。

7.1.6校准前，被校准的回转轴线测角转台与校准所用其他仪器及标准器应置于要求的环境中恒温静置足够时间（通常不小于6h），被校准的回转轴线测角转台应在接通电源20min后开始校准。

7.2 校准项目和校准工具

回转轴线测角转台校准项目和校准工具见表1，校准工具技术参数见表2。

表1 校准项目和校准工具

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 校准项目 | 主要校准工具 |
| 1 | 外观及各部分相互作用 | 目视检查 |
| 2 | 预热时间 | 计时器、激光干涉仪 |
| 3 | 漂移 | 激光干涉仪 |
| 4 | 分辨力 | 电动转台、激光干涉仪 |
| 5 | 角分度误差 | 激光干涉仪、电动转台或多齿分度台 |
| 6 | 测角重复性 | 激光干涉仪、电动转台或多齿分度台 |
| 7 | 测角回程误差 | 激光干涉仪、电动转台或多齿分度台 |

表2 校准工具技术参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 校准工具 | 技术参数 |
| 1 | 激光干涉仪 | 位移测量最大示值误差≤0.5 ppm；激光稳频精度≤0.05 ppm。 |
| 2 | 电动转台 | 角分度误差优于0.2″；测角重复性优于0.05〞；分辨力优于0.03〞。 |
| 3 | 多齿分度台 | 0级 |

1. 校准项目和校准方法

8.1 外观及相互作用

目视观察及手动试验。

8.2 预热时间

回转轴线测角转台电源开启到激光干涉仪的激光头进入稳定工作状态的时间间隔为预热时间，使用计时器获取。

8.3 漂移

将被校准回转轴线测角转台稳定置于工作台上，连接并开启激光干涉仪及进行转台角位置偏差测量的其他附件，待被校准回转轴线测角转台及激光干涉仪热稳定后，记录转台的角位置初始值$θ\_{0}$，观察2h，每10min记录一次转台的实时角位置$θ\_{i}$，取任意1h内最大值为校准结果。

至少应在被校准回转轴线测角转台的三个均匀分布的位置上进行漂移测量，被校准回转轴线测角转台的最终漂移值以各位置处漂移值的最大值计。

8.4 分辨力

使用电动转台采用阶梯法进行校准。将被校准回转轴线测角转台底座与电动转台转子固连在一起，调整被校准转台的位置姿态，使得被校准转台轴线与电动转台轴线重合。连接并正确开启激光干涉仪及进行转台角位置偏差测量的其他附件，如图2所示。



图2 回转轴线测角转台校准示意图

待被校准回转轴线测角转台及激光干涉仪热稳定后。首先，被校准转台按名义分辨力$R\_{0}$设定步进测量程序，读取激光干涉仪读数$a\_{1}^{1}$；接着，电动转台按名义分辨力设定步进运动程序，该过程中激光干涉仪读数应发生变化，稳定后读取激光干涉仪读数$a\_{2}^{1}$。重复上述试验3次，记下激光干涉仪第*i*次读数$a\_{1}^{i}$,$ a\_{2}^{i}$。

$\left.\begin{matrix}R\_{i}=R\_{0}-\left(a\_{2}^{i}-a\_{1}^{i}\right)\\R={\left(R\_{1}+R\_{2}+R\_{3}\right)}/{3}\end{matrix}\right\}$ （1）

式中：$a\_{1}^{i}$——被测转台在选定位置的激光干涉仪读数；

 $a\_{2}^{i}$——被测转台在$a\_{1}^{i}$位置增加当量指令角度$R\_{0}$后的激光干涉仪读数；

 $R\_{i}$——被测转台单次分辨力；

$R$——计算得到的被测转台分辨力。

8.5 角分度误差

角分度误差的校准装置与分辨力校准装置相同，其中电动转台可以用多齿分度台代替。

校准前，将被校准转台角度示值及电动转台（或多齿分度台）角度示值均置零，设置被校准转台均匀测角步距$θ\_{0}={360}/{n},n\geq 12$；校准时，电动转台（或多齿分度台）以$θ\_{0}$步距转动,并在各名义位置处停留足够时间，使得激光干涉仪可稳定获取被校准转台在该位置处的角位置偏差$δ\_{i}$；在正、反两个方上测量，正向角位置偏差记$δ\_{i}\uparrow $、反向角位置偏差记$δ\_{i}\downright $。角分度误差$δ$为

$δ=\pm max\left(\left|δ\_{i}\uparrow \right|;\left|δ\_{i}\downright \right|\right)$，*i*=1,2,…,*n* （2）

8.6 测角重复性

测角重复性的校准装置与角分度误差的校准装置相同，按双观测法进行。

按分度误差校准方法以相同的转动方向重复连续测量两周（第一周、第二周测量点位置相同），读取测量装置第一周激光干涉仪在各测点处角位置偏差$δ\_{1}$，$δ\_{2}$，…，$δ\_{n}$，第二周激光干涉仪在各测点处角位置偏差$δ\_{1}^{，}$，$δ\_{2}^{，}$，…，$δ\_{n}^{，}$。按公式（4）计算测角重复性。

$\left.\begin{matrix}f\_{i}=δ\_{i+1}-δ\_{i}\\f\_{i}^{,}=δ\_{i+1}^{，}-δ\_{i}^{，}\\∆\_{重}=3×\sqrt{\frac{1}{2n}\sum\_{i=1}^{n}\left(f\_{i}-f\_{i}^{,}\right)^{2}}\end{matrix}\right\}$ （3）

式中：$δ\_{i}$——第一周第i测点的角位置偏差，*i*=1,2,…,*n*；$δ\_{n+1}=δ\_{1}$

 $δ\_{1}^{，}$——第二周第i测点的角位置偏差，*i*=1,2,…,*n*；$δ\_{n+1}^{，}=δ\_{1}^{，}$

 $f\_{i}$——第一周相邻测点测量值之差；

 $f\_{i}^{,}$——第一周相邻测点测量值之差；

 $n$——每周测量点数；

 $∆\_{重}$——测角重复性。

8.7 测角回程误差

测角回程误差的校准装置与角分度误差的校准装置相同。

按角分度误差测量方法，正、反各测量一周（正、反测量点位置相同），取各测点正、反读数值之差的绝对值中最大者作为测角回程误差校准结果。

1. 校准结果表达

经过校准的回转轴线测角转台出具校准证书。校准结果应至少包含下列内容：校准项目名称和校准结果。

1. 复校时间间隔

建议复校时间间隔一般为1年。

附录A

回转轴线测角转台角分度误差的不确定度评定（示例）

A.1 概述

A.1.1 测量对象

角分度误差±1″的回转轴线测角转台。

A.1.2 校准用器具

激光干涉仪，位移测量最大示值误差0.5 ppm，激光稳频精度≤0.05 ppm；电动转台，角分度误差优于0.18″，测角重复性优于0.05〞。

A.1.3 环境条件

空气温度（20±0.5）℃，空气湿度（50±5）%RH，压力波动±0.1kPa。

A.1.4 测量过程

将被某型校准回转轴线测角转台底座与某型电动转台转子固连在一起，调整被校准转台的位置姿态，使得被校准转台轴线与电动转台轴线重合。连接并正确开启激光干涉仪及进行转台角位置偏差测量的其他附件。

校准前，将被校准转台角度示值及电动转台（或多齿分度台）角度示值均置零，设置被校准转台均匀测角步距$θ\_{0}={360}/{n},n\geq 12$；校准时，电动转台（或多齿分度台）以$θ\_{0}$步距转动,并在各名义位置处停留足够时间，使得激光干涉仪可稳定获取被校准转台在该位置处的角位置偏差$δ\_{i}$；在正、反两个方上测量，正向角位置偏差记$δ\_{i}\uparrow $、反向角位置偏差记$δ\_{i}\downright $。角分度误差$δ$为

$δ=\pm max\left(\left|δ\_{i}\uparrow \right|;\left|δ\_{i}\downright \right|\right)$，*i*=1,2,…,*n* （A.1）

A.2 数学模型

由数学公式（A.1）可知，最终角分度误差为正、反方向上角位置偏差中的最大值，最终测量结果的不确定度与各测点的不确定度位置偏差的不确定度度相等，即：

$U（δ）=U（δ\_{i}）$ （A.1）

A.3 不确定度来源分析

测量过程中存在的对各点位置偏差测量结果有影响的因素主要有：

1. 电动转台测角误差
2. 被校准测角转台与电动测角转台之间的安装位姿偏差
3. 环境因素引入的偏差

A.4 标准不确定度的评定

A.4.1 电动转台测角误差引入的不确定度分量$u\left(δ\_{i1}\right)$

基于某型电动转台计量校准证书，其测角误差为0.18″，则由该型电动转台引入的不确定度分量为：

$$u(δ\_{i1})=\pm 0.18″/2=\pm 0.09″$$

A.4.2 被校准测角转台与电动测角转台之间的安装位姿偏差$u\left(δ\_{i2}\right)$

被校准测角转台与电动测角转台之间的安装位姿偏差主要包括：

a)被校准转台旋转轴线与电动转台测量轴线之间的倾斜角偏差α引入的阿贝误差；

b)被校准转台激光测量路径与电动转台旋转平面之间的安装夹角偏差β引入的余弦误差；

c)被校准转台角度反射镜中心线与电动转台中心线不垂直偏差ω引入的余弦误差。

在整个测量过程中随着被测回转轴旋转角度θ的变化，角度误差Eθ1是连续变化的，可通过插值算法推得任意θ处有：



由于α角的存在，随着被测转台旋转角度θ的不同，顶部反射镜的偏摆及俯仰角均不同，使得的标准器具分度台旋转角并不等于θ，从而产生了另一项倾斜误差。由反射镜倾斜产生的误差如图所示，通过建立椭圆及标准圆的函数关系，解析三角形ABC，可得：



由此，被测回转轴线分度的不准直误差模型为：



其中，*θ*角为被测回转轴的位置角，单位为°；

*α*、*β*、*ω*及*Eθ*角单位为弧度。

某型回转轴线测角转台校准过程中，α控制在0.02mm/1000mm，β、ω控制在1mm/1000mm，*θ*为30°，由上式计算可得，

$$E\_{θ}=0.21″$$

则由被校准测角转台与电动测角转台之间的安装位姿偏差引入的标准不确定度为：

$$u\left(δ\_{i2}\right)=\pm 0.21″/2=\pm 0.10″$$

A.4.3 环境波动引入的不确定度分量$u\left(δ\_{i3}\right)$

某型回转轴线测角转台角度通过氦氖激光发生器发出激光长度测量转化成角度测量，试验过程环境因素及对氦氖激光发生器性能影响如下表所示。

表A.1 激光波长稳定性影响因素

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 环境影响因素 | 环境条件 | 引入误差 |
| 空气温度 | （20±0.5）℃ | 0.1ppm |
| 空气湿度 | （50±5）%RH | 0.1ppm |
| 压力波动 | ±0.1kPa | 0.28ppm |

试验过程中，测量长度约为0.5m，则环境因素导致的氦氖激光发生器产生测长误差为0.48ppm,即0.000023mm,角度测量过程两反光镜之间距离为40mm,转化为角度为：

$$E（θ）=a\tan(()0.000023/40)=0.13″$$

则由环境因素引入的测角误差不确定度分量为$u（δ\_{3}）$：

$$u\left(δ\_{i3}\right)=\pm 0.13″/2=\pm 0.07$$

A.5 合成标准不确定度

该型回转轴线测角转台的角分度校准结果的合成不确定度为：

$$u\left(δ\right)=\sqrt{u(δ\_{i1})^{2}+u(δ\_{i2})^{2}+u(δ\_{i3})^{2}}=0.15″$$

取包含因子*k*=2,则该型回转轴线测角转台角分度误差校准结果的扩展不确定度为：

$$U(δ)=ku\left(δ\right)=0.30″$$

附录B

回转轴线测角转台校准证书（内页）格式

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 证书编号：××××——××××校 准 结 果1. 外观及相互作用
2. 预热时间
3. 漂移
4. 分辨力
5. 角分度误差

|  |  |
| --- | --- |
| 角度位置/° | 角分度误差/″ |
|  |  |
|  |  |

1. 测角重复性
2. 测角回程误差
 |