



黑龙江省地方计量技术规范

JJF (黑) 05-2014

单/多轴计量转台校准规范

Calibration Specification for Single/Multi
Shafts Measurement Turntable

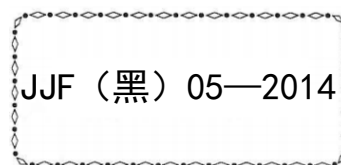
2014-08-12 发布

2014-09-01 实施

黑龙江省质量技术监督局 发布

单/多轴计量转台校准规范

Calibration Specification for
Single/Multi Shafts Measurement Turntable



归 口 单 位：黑龙江省质量技术监督局

主要起草单位：哈尔滨工业大学

黑龙江省计量检定测试院

本规程由黑龙江省质量技术监督局负责解释

本规范主要起草人：

谭久彬（哈尔滨工业大学）

韩正阳（国家量仪产品质量监督检验中心）

赵 勃（哈尔滨工业大学）

王 雷（哈尔滨工业大学）

目 录

引 言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和定义.....	(1)
3.1 倾角回转误差.....	(1)
3.2 径向回转误差.....	(1)
3.3 轴向回转误差.....	(1)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(2)
5.1 同心度误差.....	(2)
5.2 主轴角回转误差.....	(2)
5.3 主轴径向回转误差.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
6.1 环境条件.....	(2)
6.2 校准项目和其他设备.....	(3)
7 校准项目和校准方法.....	(3)
7.1 校准项目.....	(3)
7.2 校准方法.....	(3)
8 校准结果的表达.....	(9)
9 复校时间间隔.....	(9)
附录 A 单/多轴计量转台角位置定位误差测量结果不确定度评定	(10)
附录 B 校准证书内容	(12)
附录 C 校准证书内页格式	(13)

引 言

本规范经查询未见“单/多轴计量转台”的国际建议或国际标准，本规范的主要性能指标参考国家标准“GJB1801-93 惯性技术测试设备主要性能试验方法”及黑龙江省地方标准“DB23/T 1542-2014 精密单轴气浮轴角测量转台技术基本要求”、“DB23/T 1543-2014 精密多轴气浮轴角测量转台技术基本要求”。

本规范为首次制定文件。

单/多轴计量转台校准规范

1 范围

本规范适用于气浮主轴回转误差不小于 $\pm(0.1\sim 2)\mu\text{m}$ ，角位置定位误差不小于 $\pm(1\sim 50)''$ 的单/多轴计量转台的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件

JJF 1001—2011 通用计量术语及定义

JJF 1059—2012 测量不确定度评定与表示

JJF 1094—2002 测量仪器特性评定

GJB 1087-93 单轴伺服转台通用规范

GJB 1801-93 惯性技术测试设备主要性能试验方法

DB23/T 1542-2014 精密单轴气浮轴角测量转台技术基本要求

DB23/T 1543-2014 精密多轴气浮轴角测量转台技术基本要求

凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡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 术语和定义

本规范采用 JJF1001、GB/T 17163 中的术语和定义及下列术语和定义，其中部分术语和定义如下：

3.1 倾角回转误差 angular error motion

回转轴线相对于回转轴线平均线的倾角变化量。

3.2 径向回转误差 radial error motion

回转轴线相对于回转轴线平均线的径向变化量。

3.3 轴向回转误差 radial error motion

回转轴线相对于回转轴线平均线的轴向变化量。

4 概述

单/多轴计量转台是具有高精度角度基准和回转基准的通用设备，用于精密加工制造、国防、航天等领域中作为高精度传感器、卫星相机等空间位置的标定及测试。其结构形式如图 1 所示。计量转台的轴系结构包括机械轴承、静压气浮和液压等，其中基于

静压气浮轴承结构的轴系精度相对最高。计量转台一般由机械系统和控制系统两大部分组成。单轴计量转台的主轴采用静压气浮轴承支撑，绕竖直方向回转，如图 1 a) 所示，工作台面与主轴连接；多轴计量转台包含两个或两个以上回转轴，以 3 轴计量转台为例，如图 1 b) 所示，垂向主轴采用静压气浮轴承支撑，绕竖直方向回转。水平轴 1 和水平轴 2 相互垂直，采用静压气浮轴承或机械轴承支撑。控制系统用于控制各个转轴运动，根据需求实现角位置控制及定位功能。

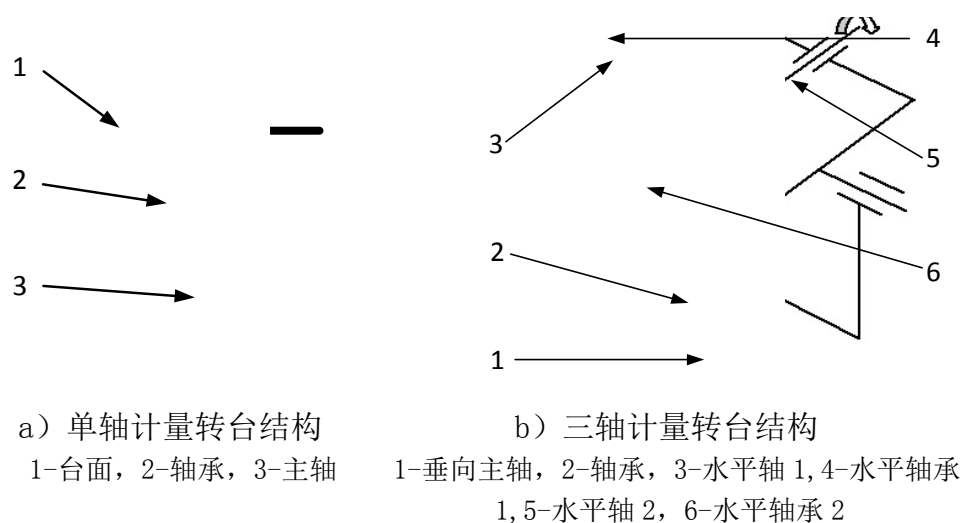


图 1 单轴和三轴转台结构示意图

5 计量特性

对于单/多轴计量转台特性见表 1。

表 1 单/多轴计量转台的计量特性

技术指标	单轴计量转台	多轴计量转台
倾角回转误差 (")	≤ 10	≤ 20
径向回转误差 (μm)	≤ 1	≤ 2
轴向回转误差 (μm)	≤ 2	≤ 3
轴线垂直度 (")	——	≤ 50
角位置测量误差 (")	≤ 20	≤ 30
角位置测量重复性 (")	≤ 10	≤ 15
角位置定位重复性 (")	≤ 20	≤ 30
角位置定位误差 (")	≤ 30	≤ 50

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 温度：室内温度应在 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 范围内，一次测量中空气温度变化不超过 0.5°C 。

6.1.2 湿度：室内相对湿度范围应在 40%–60%。

6.1.3 电源电压的波动为额定值 $\pm 10\%$ 范围内。

6.2 校准项目和其他设备

校准项目及其他设备见表 2。

表 2 单/多轴计量转台校准项目及其他设备

序号	校准项目	测量标准和其他设备
1	倾角回转误差	光电自准直仪：MPE $\pm 0.1''$ ，分辨力 $0.01''$
2	径向回转误差	电感传感器：MPE $\pm 20\text{nm}$ ，分辨力 2nm 标准玻璃半球：圆度优于 20nm
3	轴向回转误差	电感传感器：MPE $\pm 20\text{nm}$ ，分辨力 2nm 平面平晶：MPE $\pm 30\text{nm}$
4	角位置测量误差	光电自准直仪：MPE $\pm 0.1''$ ，分辨力 $0.01''$ 23面棱体：MPE $\pm 0.1''$
5	角位置测量重复性	
6	角位置定位误差	
7	角位置定位重复性	光电自准直仪：MPE $\pm 0.1''$ ，分辨力 $0.01''$ 双面反射镜：MPE $\pm 35\text{nm}$ 平面反射镜：MPE $\pm 35\text{nm}$
8	轴线垂直度	

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

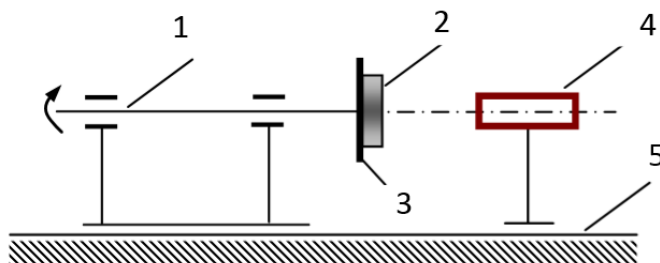
校准项目见表 1。

7.2 校准方法

首先检查单/多轴计量转台的外观和各部分相互作用，确定没有影响计量特性因素后再进行校准。

7.2.1 倾角回转误差

采用分辨力 $0.01''$ 、最大允许误差 $\pm 0.1''$ 的光电式光电自准直仪对单/多轴计量转台主轴倾角回转误差进行检验。在工作台面上或被测主轴端面位置处安装一可调整的平面镜。光电自准直仪和单/多轴计量转台被测轴基座放置在同一隔振基础上。调整光电自准直仪位置使光轴与被测轴线初步对准，参见图 2。旋转被测轴，调整镜面与轴线垂直（即光管分划板十字交点在旋转一周内的变化量尽量小）。



1-被测轴系, 2-平面镜, 3-工作台, 4-光电自准直仪, 5-隔振基础

图2 倾角回转误差校准方法

被测轴按 5° 间隔旋转一周, 被测轴角位置 $\theta = i \times 5^\circ$, $i=1, \dots, 72$ 。记下被测轴在各相应角位置上光管水平坐标 x 向的读数, 记为 W_{xi} 。再将光管绕光管轴线转 90° , 记下被测轴在各相应角位置上光管垂直坐标 y 向的读数, 记为 W_{yi} 。

测量值 W_{xi} , W_{yi} 是被测轴转角位置的以 2π 为最小正周期的周期函数。

数据处理方法是先将测量值 W_{xi}, W_{yi} 分别展开成傅氏级数, 然后扣除光电自准直仪零位误差和平面镜与旋转轴线安装不垂直形成的零次和一次谐波分量即可得到角回转误差的两个直角坐标分量 $\Delta W_{x1}, \Delta W_{y1}$, 合成两分量的 W_1 。

a. 将周期函数 W_{xi} 、 W_{yi} 展开傅氏级数

$$W_{xi} = \frac{a_{x0}}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} [a_{xk} \cos(k\theta) + b_{xk} \sin(k\theta)] \quad (1)$$

$$W_{yi} = \frac{a_{y0}}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} [a_{yk} \cos(k\theta) + b_{yk} \sin(k\theta)] \quad (2)$$

式中: $i=1, \dots, 72$

k 为一次项傅氏系数;

零次和一次傅氏系数为 a_{x0} 、 a_{y0} 和 a_{x1} 、 b_{x1} 、 a_{y1} 、 b_{y1} , 单位: ($''$)。

$$a_{x0} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n W_{xi} \quad (3)$$

$$a_{x1} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n W_{xi} \cos \theta \quad (4)$$

$$b_{x1} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n W_{xi} \sin \theta \quad (5)$$

$$a_{y0} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n W_{yi} \quad (6)$$

$$a_{y1} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n W_{yi} \cos \theta \quad (7)$$

$$b_{y1} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n W_{yi} \sin \theta \quad (8)$$

b. 剔除安装误差

从傅氏级数中剔除光电自准直仪零位和平面镜与轴线安装不垂直造成的零次和一次谐波分量, 得到倾角回转误差的两个正交分量 $\Delta W_{x1}, \Delta W_{y1}$

$$\Delta W_{x1} = W_{x1} - \frac{a_{x0}}{2} - a_{x1} \cos \theta - b_{x1} \sin \theta \quad (9)$$

$$\Delta W_{y1} = W_{y1} - \frac{1}{2} a_{y0} - a_{y1} \cos \theta - b_{y1} \sin \theta \quad (10)$$

c. 倾角回转误差计算

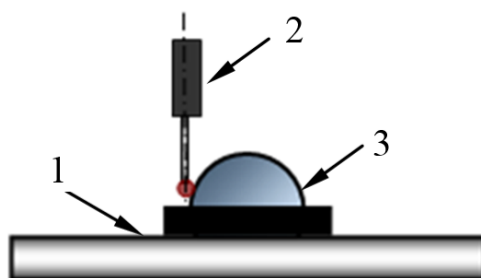
$$W_i = \pm \sqrt{\Delta W_{x1}^2 + \Delta W_{y1}^2} \quad (11)$$

则倾角回转误差为

$$W = W_{i \max} \quad (12)$$

7.2.2 径向回转误差

标准玻璃半球安装在单/多轴计量转台被测轴上，将球心调整到轴线上，将电感传感器测头调整到标准玻璃半球靠近直径处的环带上，如图 4 所示，转台匀速旋转，电感传感器等间隔采样，转台旋转 1 周电感传感器采样点数大于等于 1024，对采样值进行滤波、消偏心及最小二乘圆度评定。评定得到的圆度值即为轴系径向回转误差。



1-转台，2-电感传感器，3-标准玻璃半球

图 3 径向回转误差校准方法

将采样数据 $z(n)$ 进行高斯滤波计算，采样点对应离散化后的高斯滤波器权函数：

$$H_d(n) = e^{-\pi(\alpha n/N_c)^2} \quad (13)$$

n ——谐波波数；

N_c ——截止波长，取决于传感器测头直径与被测件直径的比值；

$$\alpha = \sqrt{\frac{\log 2}{\pi}} = 0.4697;$$

对采样点进行傅里叶变换

$$Z(k) = \mathcal{F}[z(n)] = \sum_{n=0}^{N-1} z(n) e^{-j2\pi kn/N}, k=0,1,\dots,N-1 \quad (14)$$

对离散化的高斯滤波器权函数进行傅里叶变换

$$H_d(k) = \mathcal{F}[H_d(n)] = \sum_{n=0}^{N-1} H_d(n) e^{-j2\pi kn/N}, k=0,1,\dots,N-1 \quad (15)$$

将上述公式进行乘积运算

$$Y(k) = H(k) \times Z(k) \quad (16)$$

将公式 (16) 进行傅里叶逆运算, 得到最终高斯滤波器输出序列

$$r(n) = \mathcal{F}^{-1}[Y(k)] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} Y(k) e^{j2\pi kn/N}, n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (17)$$

r_0 是工件的最小二乘半径, r_i 是滤波后的数据, ϑ_i 是对测量回转中心的采样角, a 是 x 方向的偏心, b 是 y 方向的偏心。

最小二乘方法评定:

$$r_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i, \quad a = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n r_i \cos \theta_i, \quad b = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n r_i \sin \theta_i \quad (18)$$

消偏心后的采样数据为 r'_i , 则

$$r'_i = \sqrt{(r_i \cos \theta_i - a)^2 + (r_i \sin \theta_i - b)^2} \quad (19)$$

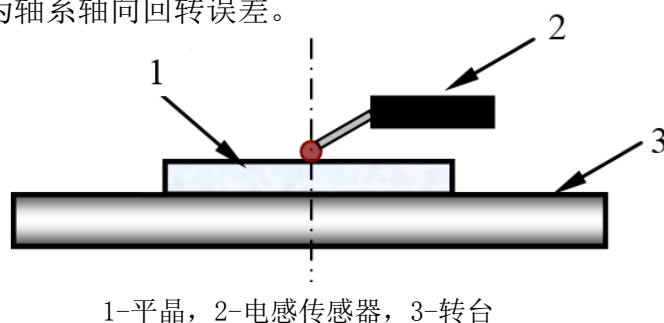
$$W_1 = \pm \sqrt{\Delta W_{x1}^2 + \Delta W_{y1}^2}$$

则此时的圆度值为 $\max\{r'_i\} - \min\{r'_i\}$;

评定得到的圆度值即为轴系径向回转误差。

7.2.3 轴向回转误差

1 级平面平晶安装在单/多轴计量转台被测轴位置上, 将电杆传感器测头调整到轴线上, 如图 5 所示, 转台匀速旋转, 电感传感器等间隔采样, 转台旋转 1 周电感传感器采样点数大于等于 1024, 对采样值进行滤波, 滤波方法同径向回转误差, 所得到的数据极大值与极小值之差即为轴系轴向回转误差。

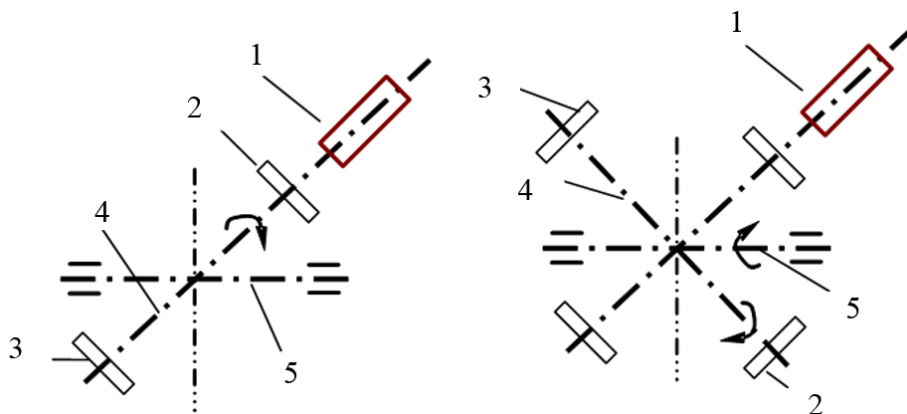


1-平晶, 2-电感传感器, 3-转台

图 4 轴向回转误差校准方法

7.2.4 轴线垂直度

分别调整反射镜 I、反射镜 II 平面与轴线 1 垂直, 先使光电自准直仪对准反射镜 I 记下光电自准直仪水平方向的读数 ϑ_{11} 。再将轴 1 按 45° 间隔转动 360° 记下读数 $\vartheta_{12}, \dots, \vartheta_{18}$ 。然后将轴 2 转动 180° , 记下光电自准直仪对准反射镜 I (双面镜) 或 II (单面镜) 光电自准直仪水平方向的读数 ϑ'_{11} , 再将轴 1 按 45° 间隔转动 360° , 记下读数 $\vartheta'_{12}, \dots, \vartheta'_{18}$ 。



1-光电自准直仪, 2-反射镜 I, 3-反射镜 II, 4-轴 1, 5-轴 2

图 5 轴线垂直度校准方法

a. 数据处理

计算轴 2 与轴 1 在四种相对位置上的垂直度

$$V_{12}^1 = \frac{\frac{1}{2}(\theta_{1.1} + \theta_{1.5}) - \frac{1}{2}(\theta'_{1.1} + \theta'_{1.5})}{2} \quad (20)$$

$$V_{12}^2 = \frac{\frac{1}{2}(\theta_{1.2} + \theta_{1.6}) - \frac{1}{2}(\theta'_{1.2} + \theta'_{1.6})}{2} \quad (21)$$

$$V_{12}^3 = \frac{\frac{1}{2}(\theta_{1.3} + \theta_{1.7}) - \frac{1}{2}(\theta'_{1.3} + \theta'_{1.7})}{2} \quad (22)$$

$$V_{12}^4 = \frac{\frac{1}{2}(\theta_{1.4} + \theta_{1.8}) - \frac{1}{2}(\theta'_{1.4} + \theta'_{1.8})}{2} \quad (23)$$

式中: V_{12}^1 ——轴 2 与轴 1 在 $\vartheta_{1.1}$, $\vartheta_{1.5}$ 相对位置下的两回转轴线垂直度, (");

V_{12}^2 ——轴 2 与轴 1 在 $\vartheta_{1.2}$, $\vartheta_{1.6}$ 相对位置下的两回转轴线垂直度, (");

V_{12}^3 ——轴 2 与轴 1 在 $\vartheta_{1.3}$, $\vartheta_{1.7}$ 相对位置下的两回转轴线垂直度, (");

V_{12}^4 ——轴 2 与轴 1 在 $\vartheta_{1.4}$, $\vartheta_{1.8}$ 相对位置下的两回转轴线垂直度, (");

b. 结果评定

轴线垂直度误差为

$$V_{12} = \pm V_{12\max} \quad (24)$$

7.2.5 角位置测量误差

检测转台轴在 360° 范围内, 有输出显示的任意角位置的角位置测量误差。将正多面棱体安装在转台被测轴的旋转中心, 将光电自准直仪安装于被测轴静止部分或良好的隔振基础上, 使光电自准直仪光轴线垂直于棱体面。启动转台测角系统, 使其工作正常、

稳定。

从被测轴角位置测量系统数字显示0位置起,记下光电自准直仪的初读数 c_1 ,以数字显示为准依次使轴转动棱面体规定的角度,记下光电自准直仪响应的读数 c_1, \dots, c_{23} 。

$$e_{in} = c_i - c_1 - \Delta_i \quad (25)$$

e_{in} ——各试验点的角位置误差(");

Δ_i ——棱体相应面的修正值(")。

取 e_{oi} 中正最大误差 e_0^+ 和负最大误差 e_0^- ,即为角位移测量误差。

7.2.6 角位置测量重复性

检测转台轴在 360° 范围内,有输出显示的任意角位置的角位置测量重复性。将正多面棱体安装在转台被测轴的旋转中心,将光电自准直仪安装于被测轴静止部分或良好的隔振基础上,使光电自准直仪光轴线垂直于棱体面。启动转台测角系统,使其工作正常、稳定。

从被测轴任意角位置 ϑ_i 开始,使棱体1面或平面镜对准光电自准直仪,记下光电自准直仪读数 a_{1i} ,以角位置测量系统数字显示为准,依次使被测轴转动棱体规定的角度 ϑ_i ,记下光电自准直仪响应的读数 a_{1i} ,以 ϑ_i 开始,反向转动被测轴,重复上述实验,记下光电自准直仪相应的读数 a_{2i} 。采用多齿分度台时应依次逆向转过转轴所转的角度,使平面镜对准光电自准直仪。

a. 数据处理

$$b. e_{1,i} = a_{1,i-1} - a_{1,i} \quad (26)$$

$$c. e_{2,i} = a_{2,i-1} - a_{2,i} \quad (27)$$

式中: $e_{1,i}$ ——被测轴正转时,相邻测试点实测值之差(");

$e_{2,i}$ ——被测轴反转时,相邻测试点实测值之差(");

$a_{1,i}$ ——正转时光电自准直仪读数;

$a_{2,i}$ ——反转时光电自准直仪读数;

b. 角位置测量重复性

$$\varepsilon_a = \pm \sqrt{\frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N (e_{1,i} - e_{2,i})^2} \quad (28)$$

N ——角位置测量点数;

7.2.7 角位置定位误差

转台在角位置控制状态下,在 360° 范围内,所控制的任意角位置的角位置定位精度。将 1 级 23 面棱体安装在转台被测轴的中心,将光电自准直仪安装在被测轴静止部分或良好的隔振基础上,使光电自准直仪光轴垂直于棱体面。启动转台,使其工作于位置控制状态下,并且工作正常、稳定。

从被测轴角位置测量系统数字显示 0 位开始,使棱体 1 面或齿轮 0 位对准光电自准直仪,记下光电自准直仪读数 C_1 ,依次给定位置指令 C_i ($i=1, \dots, 23$),使被测轴转过棱体规定的角位置,记下光电自准直仪的初读数 C'_i 。采用多齿分度台时应依次将多齿分度台逆向转过被测轴所转的角度,使平面镜对准光电自准直仪。

数据处理及定位精度计算方法同角位置测量误差。

7.2.8 角位置定位重复性

转台在角位置控制状态下,在 360° 范围内,所控制的任意角位置的角位置定位重复性。将 1 级 23 面棱体安装在转台被测轴的中心,将光电自准直仪安装在被测轴静止部分或良好的隔振基础上,使光电自准直仪光轴垂直于棱体面。启动转台,使其工作于位置控制状态下,并且工作正常、稳定。

从被测轴任意角位置 ϑ_i 开始,使棱体 1 面或平面镜对准光电自准直仪,记下光电自准直仪读数 a_{i1} ,依次给定位置指令 A_i ($i=1, \dots, 23$),依次使被测轴转动棱体规定的角度值,记下光电自准直仪响应的读数 a_{1i} 。再从 ϑ_i 开始,反向转动被测轴,重复上述实验,记下光电自准直仪相应的读数 a_{2i} 。采用多齿分度台时应依次逆向转过转轴所转的角度,使平面镜对准光电自准直仪。

数据处理及重复性计算方法同角位置测量重复性。

8 校准结果的表达

经校准的单/多轴计量转台出具校准证书。

9 复校时间间隔

单/多轴计量转台的复校时间间隔,根据现场使用情况由用户自行确定,建议不超过 1 年。

附录 A

单/多轴计量转台角位置定位误差测量结果不确定度评定

A.1 概述

对单/多轴计量转台角位置定位误差测量结果不确定度,依据 JJF 1130-2005《几何量测量设备校准中的不确定度评定指南》中的合格判据,对给定的测量任务判断其测量程序和测量条件的可行性和合格性。

A.2 标准不确定度分量的来源和说明

见表 A.1。

表 A.1 单/多轴计量转台角位置定位误差测量不确定度分量来源和说明

序号	符号	不确定度分量名称	说明
1	u_1	测量系统分辨力引入的标准不确定度分量	由光电自准直仪校准证书给出
2	u_2	测量系统线性误差引入的标准不确定度分量	快速动态双频激光干涉仪与激光比长仪之间光轴夹角 θ 引入的误差分量
3	u_3	角度测量系统误差引入的标准不确定度分量	由角度测量传感器校准证书给出

A.3 标准不确定度分量的说明和计算

A.3.1 数学模型

根据角位置测量误差的计算公式 $e_m = c_i - c_1 - \Delta_i$, 参数定义见正文。

A.3.2 计算不确定度

A.3.2.1 测量系统分辨力引入的标准不确定度分量 u_1

光电自准直仪其分辨力值为 $0.01''$, 按均匀分布且为全区间处理, 则由此引入的标准不确定度为:

$$u_1 = 0.01 / (2\sqrt{3}) \approx 0.0028''$$

A.3.2.2 测量系统线性误差引入的标准不确定度分量 u_2

光电自准直仪实际使用范围可调到 $-1000'' \sim +1000''$ 范围内, 线性误差补偿后残差为 $0.1''$, 按均匀分布处理, 则由此引入的标准不确定度为:

$$u_2 = 0.1 / \sqrt{3} \approx 0.058''$$

A.3.2.3 角度测量系统误差引入的标准不确定度分量 u_3

角度测量系统补偿后的误差为 $0.01''$ ，按均匀分布处理，则由此引入的标准不确定度为：

$$u_3 = 0.01 / (2\sqrt{3}) \approx 0.0028''$$

A.4 合成标准不确定度

根据上述分析结果，可近似有：

$$\begin{aligned} u_c(\Delta) &= \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} \\ &= \sqrt{0.0028^2 + 0.0028^2 + 0.0058^2} \approx 0.007 \end{aligned}$$

A.5 扩展不确定度

取 $P=95\%$ ，按正态分布包含因子 $k=2$ ， $U_{95}=k \times u_c(\Delta) = 2 \times 0.007 = 0.014''$ 。经分析角位置定位误差测量结果的扩展不确定度为 $0.014''$ ，满足惯性器件测量的要求。

附录 B

校准证书内容

1. 标题：校准证书；
2. 实验室名称和地址；
3. 证书或报告的唯一标识（如编号）、每页及总页数的标识；
4. 送校单位的名称和地址；
5. 被校对象的描述和明确标识；
6. 进行校准的日期；
7. 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代码；
8. 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
9. 校准环境的描述；
10. 倾角回转误差、径向回转误差、轴向回转误差、轴线垂直度、角位置测量误差、角位置测量重复性、角位置定位误差、角位置定位重复性校准结果及测量不确定度的说明；
11. 校准证书或校准报告签发人的签名或等效标识，以及签发日期；
12. 校准结果仅对被校对象有效的声明；
13. 未经校准实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

附录 C

校准证书内页格式

证书编号：

校准所依据的技术文件（代号、名称）： JJF (黑)XXXX-XXXX 单/多轴计量转台校准规范				
校准环境：温度 °C；相对湿度： %；大气压： hPa				
校准地点：				
本次校准所用测量标准				
名称	测量范围	准确度/等级	证书编号	有效日期
校准项目与校准结果				
序号	校准项目		校准结果	
1	倾角回转误差（"）			
2	径向回转误差（μm）			
3	轴向回转误差（μm）			
4	轴线垂直度（"）			
5	角位置测量误差（"）			
6	角位置测量重复性（"）			
7	角位置定位重复性（"）			
8	角位置定位误差（"）			
角位置定位误差不确定度：				

校准员：

核验员：

