

广西壮族自治区地方计量技术规范

JJF (桂) XX-202X

坐标靶法垂准仪校准装置校准规范

Calibration Specification for

Calibration Device of Coordinate Target Method Plumb Instruments

(征求意见稿)

202X - XX - XX 发布

202X - XX - XX 实施

广西壮族自治区市场监督管理局 发布

坐标靶法垂准仪校准装置校准

Calibration Specification for Calibration Device
of Coordinate Target Method Plumb Instruments

JJF（桂） ××—202X

归 口 单 位：广西壮族自治区市场监督管理局

主要起草单位：广西壮族自治区计量检测研究院

参加起草单位：广西自然资源职业技术学院

本规程委托广西壮族自治区计量检测研究院负责解释

目 录

引 言	(III)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(2)
4.1 二维坐标靶示值误差	(2)
4.2 二维坐标靶垂直度	(2)
4.3 垂准仪激光束总光程	(2)
4.4 二维微倾台	(2)
4.4.1 二维微倾台的倾斜范围	(2)
4.4.2 二维微倾台的示值误差	(2)
5 校准条件	(2)
5.1 环境条件	(2)
5.2 测量标准及其他设备	(2)
6 校准项目和校准方法	(3)
6.1 外观及相互作用	(3)
6.2 二维坐标靶示值误差	(3)
6.3 二维坐标靶垂直度	(4)
6.4 垂准仪激光束总光程	(4)
6.5 二维微倾台的倾斜范围	(5)
6.6 二维微倾台的示值误差	(5)
7 校准结果的表达	(5)
8 复校时间间隔	(5)
附录 A 原始记录及计算示例	(6)
附录 B 校准证书内容（内页）格式	(10)
附录 C 测结果量不确定度评定示例	(11)

引 言

JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、JJF1094-2002《测量仪器特性评定》共同构成支撑本规范制订的基础性系列规范。

本规范为首次制订。

坐标靶法垂准仪校准装置校准规范

1 范围

本规范适用于应用各种坐标靶型式的垂准仪校准装置的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJG960—2012 水准仪检定装置

JJG949—2011 经纬仪检定装置

JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则

JJF1081-2002 垂准仪校准规范

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。

3 概述

坐标靶法垂准仪校准装置是用于校准激光垂准仪、自动安平垂准仪、激光自动安平垂准仪的专用标准设备。坐标靶法校准装置主要由二维坐标接收靶、二维升降台、平面反射镜及相应配套软件组成，其结构原理见示意图 1-1。其中，二维坐标接收靶主要有二维光栅尺组合形式和带分划尺（或网格板）的测微装置形式。

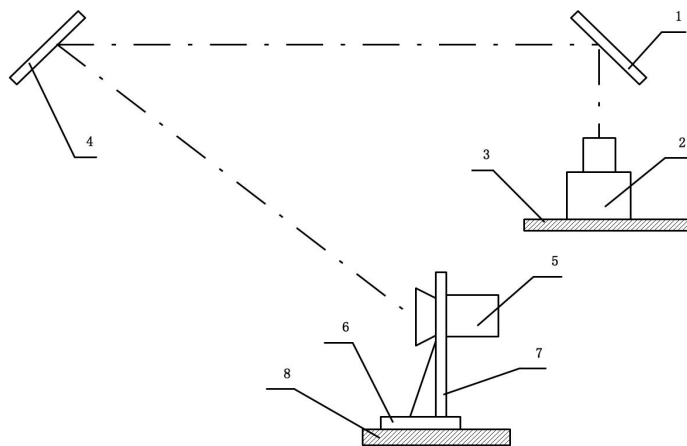


图 1-1 坐标靶法校准装置

1—平面反射镜；2—垂准仪；3—二维微倾台；4—合作平面反射镜；
5—二维坐标接收靶；6—水平方向光栅尺；7—竖直方向光栅尺；8—底座

4 计量特性

4.1 二维坐标靶示值误差

由水平方向光栅尺与竖直方向光栅尺正交垂直固定构成的二维坐标接收靶，水平光栅尺、竖直光栅尺示值的最大允许误差为 $\pm 0.03\text{mm}$ 。

由分划尺或网格板构成的二维坐标接收靶，其示值的最大允许误差为 $\pm 1/3$ 分度值。

4.2 二维坐标靶垂直度

坐标接收靶的水平方向与竖直方向相互之间垂直度 $\leq 6'$ 。

4.3 垂准仪激光束总光程

不同类型和分辨力的坐标靶对垂准仪激光束总光程的技术要求不同。使用光栅尺坐标靶的校准装置，被校垂准仪发出的激光光束经反射镜至二维坐标靶的总光程不小于10m；使用分划尺或网格板作为坐标靶的校准装置，被校垂准仪发出的激光光束经反射镜至坐标靶的总光程不小于35m。

4.4 二维微倾台

4.4.1 二维微倾台的倾斜范围

二维微倾台倾斜范围 $\geq 30'$ 。

4.4.2 二维微倾台的示值误差

二维微倾台在倾斜范围内其示值的最大允许误差为 $\pm 0.3'$ 。

表1 计量性能要求

序号	校准项目	技术指标
1	二维坐标靶示值误差	$\pm 0.03\text{mm}$ （光栅尺坐标靶） $\pm 1/3$ 分度值（其他坐标靶）
2	二维坐标靶垂直度	$\leq 6'$
3	垂准仪激光束总光程	$\geq 10\text{m}$ （光栅尺坐标靶） $\geq 35\text{m}$ （其他坐标靶）
4	二维微倾台倾斜范围	$\geq 30'$
5	二维微倾台的示值误差	$\pm 0.3'$

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 校准时，环境温度为 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，温度变化 $\leq 1^\circ\text{C}/\text{小时}$ ；相对湿度 $\leq 70\%\text{RH}$ 。

5.1.2 测量时周围无影响装置正常工作的电磁干扰和机械振动。确保无影响校准结果的气流、外部辐射（如日光、外部热源）。

5.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表2，允许使用满足测量结果不确定度要求的其他仪器设备。

表 2 测量标准及其他设备

序号	设备名称	技术要求
1	激光干涉仪	MPE: $\pm(1.0\mu\text{m} + 1 \times 10^{-6}L)$
2	可调平二维升降台	测量范围: $(-300 \sim 300)\text{mm}$
3	全站仪	测角: I 级
4	手持测距仪	0 级 MPE: $\pm(1.5\text{mm} + 5 \times 10^{-5}D)$
5	钢直尺	分度值: 0.5mm ; MPE: $\pm 0.1\text{mm}$
6	数字倾角仪 (数字水平仪)	分度值 0.001°
7	影像测量仪	MPE: $\pm(1.6\mu\text{m} + L/300)$
注: 以上设备可在满足校准要求的前提下选择使用。		

6 校准项目和校准方法

6.1 外观及相互作用

校准前应目视及开机检查仪器运行情况, 仪器不应有影响计量特性的缺陷。测量行程内应运行平稳、正常, 各接收靶之间应无视场遮挡。光学瞄准器应视场清晰, 不得有影响读数的其他缺陷。

6.2 二维坐标靶示值误差

6.2.1 光栅尺坐标靶

将二维光栅尺接收装置放置在二维升降平台上, 激光干涉仪、干涉镜和反射镜按要求合理布置, 分别进行光栅尺水平方向 X 与垂直方向 Y 的示值误差测量。

①调整激光干涉仪的激光光路, 使整段测量行程中干涉仪光轴与测量轴线尽量重合。完成初始化的光电设置, 将环境温度、气压、湿度和被校光栅尺的温度等参数输入激光干涉仪系统中, 测量长度值清零。

②手动或操作控制电机使 X 方向光栅尺正向每次步进 10mm , 分别读取记录 X 方向光栅尺、激光干涉仪的长度值, 依次测量 10mm 、 20mm 、 30mm 、 40mm 、 50mm 各测量点, 然后反方向按步进间隔 10mm 依次测量 50mm 、 40mm …… 10mm 各测量点。同理测量 Y 方向光栅尺各测量点, 测量 Y 方向时, 需要重新调整干涉仪光路。按式 (1) 和式 (2) 分别计算 X 方向光栅尺和 Y 方向光栅尺各测量点的示值误差:

$$\text{X 方向: } \delta_i = (X_i - X_{i-1}) - (X_{S_i} - X_{S_{i-1}}) \quad (1)$$

$$\text{Y 方向: } \delta_j = (Y_j - Y_{j-1}) - (Y_{S_j} - Y_{S_{j-1}}) \quad (2)$$

式中:

δ_i ——X 方向光栅尺第 i 个测量点的示值误差 (mm);

X_i 、 X_{i-1} ——第 i 个、第 $i-1$ 个测量点上, X 方向光栅尺测量读数 (mm);

X_{S_i} 、 $X_{S_{i-1}}$ ——第 i 个、第 $i-1$ 个测量点上，激光干涉仪提供的标准长度值 (mm)；

δ_j ——Y 方向光栅尺第 j 个测量点的示值误差 (mm)；

Y_j 、 Y_{j-1} ——第 j 个、第 $j-1$ 个测量点上，Y 方向光栅尺测量读数 (mm)；

Y_{S_j} 、 $Y_{S_{j-1}}$ ——第 j 个、第 $j-1$ 个测量点上，激光干涉仪提供的标准长度值 (mm)。

分别取式 (1) 和式 (2) 的绝对值最大的示值误差作为 X 方向光栅尺和 Y 方向光栅尺的示值误差。二维光栅尺示值误差的测量结果应符合表 1 规定的计量性能要求，计算实例见附录 A 表 A. 1-1、表 A. 1-2。

6.2.2 分划尺 (或网格板) 坐标靶

分划尺坐标靶可参考 6.2.1 方法进行校准。网格板坐标靶可选用钢直尺采用比较测量进行校准，亦可用影像测量仪对其网格坐标进行校准。

网格板坐标靶的分划，一般为 10mm/格，只有中心区域处为 1mm/格，因此采用影像测量仪对网格板坐标靶中心区域的横向、纵向示值误差进行校准；将影像测量仪调节焦面令视场内网格板坐标靶分划线清晰，以网格板中心为 0 点，分别测量网格中心区域线纹的左右边缘坐标值，以边缘中心线来计算每一个分划格值的示值误差。取横向、纵向示值误差的绝对值最大示值误差作为该网格板坐标靶的示值误差。同理，相同方法可校准分划尺坐标靶的示值误差。

6.3 二维坐标靶垂直度

6.3.1 光栅尺坐标靶

光栅尺坐标靶的 X 方向与 Y 方向垂直度、Y 方向与 X 方向垂直度需分别测量。

首先保持 Y 方向光栅尺不动，缓慢控制移动 X 方向光栅尺，全量程范围内从左端到右端进行测量，读取光栅尺偏离值的最大值 l_1 ；同理保持 X 方向光栅尺不动，缓慢控制移动 Y 方向光栅尺，全量程范围内从底端到顶端进行测量，读取光栅尺偏离值的最大值 l_2 ，分别计算 Δd_1 、 Δd_2 取两者最大作为光栅尺坐标靶垂直度结果；或以 l_1 、 l_2 中最大值作为光栅尺测量读数的最大偏离值 Δl ，则可按下式计算：

$$\Delta d = \rho \cdot \frac{\Delta l}{60 \cdot D} \quad (3)$$

式中：

Δd ——二维光栅尺垂直度 (')；

Δl ——光栅尺测量读数的最大偏离值 (mm)；

ρ ——206265''；

D ——光栅尺全量程内移动的距离 (mm)

计算实例见附录 A 表 A. 2。

6.3.2 分划尺 (或网格板) 坐标靶

分划尺坐标靶可参考 6.3.1 方法或采用打表法进行校准。网格板坐标靶对垂直度不做要求。

6.4 垂准仪激光束总光程

①垂准仪激光束不经反射镜反射打在接收靶的情况：将手持测距仪测量起算标志对准

水准仪物镜中心,直接测量手持测距仪至坐标接收靶之间的距离 D ,总光程按(4)式计算。

②水准仪激光束经反射镜反射打在接收靶的情况:将手持测距仪安置于二维微倾平台上,调整激光束经反射后应能落到坐标接收靶的中心位置,读取手持测距仪测量值作为激光束总光程的距离 D 。

$$\bar{D} = \frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^3 D_i \quad (4)$$

式中:

\bar{D} ——激光束总光程重复性测量的平均值 (m);

D_i ——第 i 次测量手持测距仪激光发射起始点至坐标接收靶之间的距离 (m);

6.5 二维微倾台的倾斜范围

将二维微倾台调平,数字倾角仪先后两次吸附在微倾台的两个相互垂直的方向上(比如前后和左右方向)。数字倾角仪设置为绝对测量模式,分别向前后和左右方向倾斜微倾台,读取倾角仪在倾斜方向上正反方向的最大读数,取其绝对值的最小值作为该倾斜方向的测量范围,最后取两个倾斜方向上的最小测量范围作为校准结果。

6.6 二维微倾台的示值误差

将二维微倾台调平,数字倾角仪(或数字水平仪)吸附在微倾台上,并设置为绝对测量模式。调整倾角仪使其测量方向与微倾台倾斜方向一致,旋转微倾台的旋钮,测量 $2'$ 、 $4'$ 、 $6'$ 、 $8'$ 各测量点,然后反向测量 $-2'$ 、 $-4'$ 、 $-6'$ 、 $-8'$ 各测量点,读取倾角仪的读数,并计算示值误差。同理测量微倾台另一个相互垂直方向上的示值误差,取两个方向绝对值最大的示值误差作为校准结果。

二维微倾台的示值误差也可采用 JJG960—2012《水准仪检定装置》中 5.3.4 的规定方法。

7 校准结果表达

校准后的水准仪校准装置,应填发校准证书或报告,校准结果应在校准证书上反映,校准证书至少应包括 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》5.12 条款中的信息。校准结果格式参见附录 B。

8 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的,因此,送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔,建议不超过 1 年。

附录 A

垂准仪校准装置校准记录格式

A. 1、二维坐标示值误差（光栅尺形式）

表 A. 1-1 水平光栅尺示值误差

位置	正行程测量读数 (mm)			反行程测量读数 (mm)		
	光栅尺示值	激光干涉仪测量值	示值误差 δ	光栅尺示值	激光干涉仪测量值	示值误差 δ
0	-3143.007	-0.0002	/	-3143.024	-0.0199	/
1	-3133.000	9.9901	0.017	-3133.022	9.9692	0.013
2	-3123.013	19.9678	0.009	-3123.039	19.9408	0.011
3	-3113.000	29.9719	0.009	-3113.020	29.9505	0.009
4	-3103.080	39.8819	0.010	-3103.000	39.9602	0.010
5	-3093.034	49.9299	-0.002	-3093.029	49.9289	-0.002
	正向示值误差:	0.017		反向示值误差:	0.013	

表 A. 1-2 垂直光栅尺示值误差

位置	正行程测量读数 (mm)			反行程测量读数 (mm)		
	光栅尺示值	激光干涉仪测量值	示值误差 δ	光栅尺示值	激光干涉仪测量值	示值误差 δ
0	-1663.455	-0.0001	/	-1663.424	0.0261	/
1	-1653.453	10.0137	-0.012	-1653.444	10.0189	-0.013
2	-1643.458	20.0311	-0.022	-1643.449	20.0307	-0.017
3	-1633.457	30.0531	-0.021	-1633.420	30.0879	-0.028
4	-1623.434	40.0893	-0.013	-1623.463	40.0484	-0.003
5	-1613.428	50.1069	-0.012	-1613.429	50.1062	-0.024
	正向示值误差:	-0.022		反向示值误差:	-0.028	

A. 2、二维坐标垂直度（光栅尺形式）

表 A. 2 二维光栅尺垂直度

单位 (mm)

序号	Y 光栅尺读数（移动 X 光栅尺）	偏离值 Δl_i	$l_1=0.003$ $D=50\text{mm}$
1	-1609.952	-0.0004	
2	-1609.952	-0.0004	
3	-1609.951	0.0006	
4	-1609.953	-0.0014	
5	-1609.950	0.0016	
平均值	-1609.9516	X 与 Y 垂直度	$\Delta d_1 = \rho \cdot \frac{l_1}{60 \cdot D} = 0.2'$
序号	X 光栅尺读数（移动 Y 光栅尺）	偏离值 Δl_i	$l_2=0.004$ $D=50\text{mm}$
1	-3113.069	-0.0010	
2	-3113.068	0.0000	
3	-3113.070	-0.0020	
4	-3113.067	0.0010	
5	-3113.066	0.0020	
平均值	-3113.068	Y 与 X 垂直度	$\Delta d_2 = \rho \cdot \frac{l_2}{60 \cdot D} = 0.3'$

该二维光栅尺垂直度为 $\Delta d = \rho \cdot \frac{\Delta l}{60 \cdot D} = 206265 \times \frac{0.004}{60 \times 50} = 0.3'$

A. 3、垂准仪激光束总光程

表 A. 3 垂准仪激光总光程

激光束不反射情况		激光束需反射情况	
D_1	30.421m	D_1	30.623m
D_2	30.423m	D_2	30.489m
D_3	30.514m	D_3	30.517m
$\bar{D} = \frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^3 D_i$	30.453m	$\bar{D} = \frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^3 D_i$	30.543m

A. 4、二维微倾台的示值误差

表 A. 4-1 二维微倾台的纵向示值误差

测量位置 (')	数字水平仪测量值		纵向示值误差 '
	"	转换单位为'	
-8	-467.8	-7.8	0.2
-6	-349.2	-5.8	0.2
-4	-230.4	-3.8	0.2
-2	-105.9	-1.8	0.2
0	0	0.0	0.0
2	131.5	2.2	0.2
4	246.7	4.1	0.1
6	357.4	6.0	0.0
8	480.3	8.0	0.0
纵向示值误差 : 0.2'			

表 A. 4-2 二维微倾台的横向示值误差

测量位置	数字水平仪测量值		横向示值误差 '
	"	转换单位为'	
-8	-476.8	-7.9	0.1
-6	-366.0	-6.1	-0.1
-4	-233.6	-3.9	0.1
-2	-118.9	-2.0	0.0
0	0.1	0.0	0.0
2	111.4	1.9	-0.1
4	231.4	3.9	-0.1
6	348.8	5.8	0.0
8	480.4	8.0	0.0
横向示值误差 : 0.1'			

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. 进行校准的地点；
4. 证书或报告编号、页码及总页数；
5. 送检单位的名称和地址；
6. 被校准仪器名称；
7. 被校准仪器的制造厂、型号规格及编号；
8. 校准所使用的计量标准名称及有效期；
9. 本规范的名称、编号和对本规范的任何偏离、增加或减少的说明；
10. 校准时环境温度情况；
11. 校准项目的校准结果；
12. 仪器校准结果的测量不确定度；
13. 校准人签名、核验人签名、批准人签名；
14. 校准证书签发日期；
15. 复校时间间隔的建议；
16. 未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书。

校准证书(内页)格式

B.1 校准证书内页格式

序 号	主要校准项目	校准结果
1	二维坐标靶示值误差	
2	二维坐标靶垂直度	
3	垂准仪激光束总光程	
4	二维微倾台的测量范围	
5	二维微倾台的示值误差	

附录 C

坐标靶法垂准仪校准装置光栅尺示值误差测量不确定度评定示例

C.1 概述

二维坐标靶垂准仪校准装置需满足被校对象垂准仪测量结果的溯源需求的技术要求，其主要标准器是提供标准长度值的各种形式坐标靶。以二维光栅尺组成的坐标靶法垂准仪校准装置，其二维光栅尺的示值误差即为垂准仪校准装置的主要技术计量性能指标，对其光栅尺的示值误差来源分析，进行试验来评定其测量结果不确定度。

C.1.1 测量对象

坐标靶法垂准仪校准装置的二维光栅尺，其测量范围是 (50×50) mm，即水平方向的光栅尺的测量范围是 $0 \sim 50$ mm，由装置的产品说明书得到其线位移精度的标称值为 $\leq 15 \mu\text{m}$ 。现以测量水平方向光栅尺为测量对象，评定坐标靶法垂准仪校准装置的光栅尺示值误差测量不确定。

C.1.2 测量方法

依据本规范的校准方法，选取 $\text{MPE:} \pm(1.0 \mu\text{m} + 1 \times 10^{-6}L)$ ，测长不确定度 $U \leq 1.0 \mu\text{m/m}$ ， $(k=2)$ 的激光干涉仪作为长度标准器，以直接测量比较方法对水平方向光栅尺进行测量，按步进间隔 10mm 依次测量正行程、反行程的光栅尺各测量点示值，分别计算各测量点示值与激光干涉仪读数值之差作为该测量点的示值误差，取绝对值最大值作为光栅尺的示值误差。

C.2 测量模型

光栅尺 X 方向的示值误差由以下测量模型表示：

$$\delta_i = (X_i - X_{i-1}) - (X_{S_i} - X_{S_{i-1}}) \quad (1)$$

式中：

- δ_i ——光栅尺 X 方向第 i 个测量点的示值误差 (mm)；
- X_i ——第 i 个测量点上，光栅尺 X 方向读数 (mm)；
- X_{i-1} ——第 $i-1$ 个测量点上，光栅尺 X 方向的读数 (mm)；
- X_{S_i} ——第 i 个测量点上，激光干涉仪的读数 (mm)；
- $X_{S_{i-1}}$ ——第 $i-1$ 个测量点上，激光干涉仪的读数 (mm)。

C.3 方差和灵敏系数

实验室环境保证了温度变化小于 0.2°C/h ，在重复性测量条件里，激光干涉仪与被测光栅尺采用气压 $P=101.324\text{kPa}$ 、温度 $t=20^\circ\text{C}$ 和湿度 $=60\%\text{RH}$ 的同一标准气象参数，因此膨胀系数与温度变化对两者长度值测量的影响是相同的，可忽略不计。

由误差传播定律可知, $u_c^2(y) = \sum \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i)$

$$u_c^2(\delta) = \left(\frac{\partial \delta}{\partial X_i} \right)^2 \cdot u^2(X_i) + \left(\frac{\partial \delta}{\partial X_{i-1}} \right)^2 \cdot u^2(X_{i-1}) + \left(\frac{\partial \delta}{\partial X_{S_i}} \right)^2 \cdot u^2(X_{S_i}) + \left(\frac{\partial \delta}{\partial X_{S_{i-1}}} \right)^2 \cdot u^2(X_{S_{i-1}})$$

因为 X_i 、 X_{i-1} 、 X_{S_i} 、 $X_{S_{i-1}}$ 是在短时间内在同一环境下, 由同一标准装置针对不同测量点的数据采集, 可以看作是重复条件下的测量; 故在重复条件下, 每个观测值的标准偏差相等, 设为 $u(X)$ 、 $u(X_S)$, 即:

$$u^2(X_i) = u^2(X_{i-1}) = u^2(X) \quad ; \quad u^2(X_{S_i}) = u^2(X_{S_{i-1}}) = u^2(X_S)$$

则由式(1)得:

$$u^2(\delta) = 2 \cdot u^2(X) + 2 \cdot u^2(X_S) \quad (2)$$

其中:

$$C(X) = \sqrt{2} \quad ; \quad C(X_S) = -\sqrt{2}$$

C.3 标准不确定度分量的评定

C.3.1 测量重复性引入的不确定度分量 $u(X)$

该分量由 A 类不确定度分析计算。激光干涉仪对光栅尺 X 方向上的-3141mm 测量点进行 10 次重复性测量, 数据如下:

表 C.1 测量重复性数据

序号	光栅尺测量值 X_i (mm)	激光干涉仪测量值 X_S (mm)
1	-3141.085	0.0000
2	-3141.086	-0.0006
3	-3141.085	-0.0002
4	-3141.083	0.0025
5	-3141.080	0.0047
6	-3141.087	-0.0017
7	-3141.083	0.0034
8	-3141.085	0.0028
9	-3141.084	0.0003
10	-3141.086	-0.0001
平均值	-3141.084	0.0011
标准差	0.002	0.002

$$\text{单次测量标准偏差为 } s = \sqrt{\frac{(X_i - \bar{X}_i)^2}{n-1}} = 0.002\text{mm}。$$

垂准仪校准装置中采用 CCD 作为图像识别的标准器, 其分辨力为 $1\mu\text{m}$ 。由上述计算分析可知, 重复性测量结果大于分辨力, 可认为重复性结果已经包含分辨力引入的影响。由此可知, 当测量结果由单次测量得到时, s 即由重复性引入的标准不确定度分量为:

$$u(X) = s = 2\mu\text{m}$$

C.3.2 由标准器引入的不确定度分量 $u(X_s)$

C.3.2.1 阿贝误差引入的测量不确定度分量 $u_1(X_s)$

激光干涉仪测量轴线与光栅尺的测量轴线应尽量保持同轴, 但不可避免的生产工艺以及安装装夹等其他因素的原因, 两轴线存在一个平行间距, 但需控制光栅尺测量轴线偏离激光干涉仪测量轴线的距离应 $\leq 20\text{mm}$, 由于光栅尺的测量范围是 $0\sim 50\text{mm}$, 在全量程范围内移动光栅尺的最大偏离值为 0.003mm , 由此产生的阿贝误差为:

$$e = \Delta L \cdot \phi = \frac{20 \times 0.003}{50} = 1.2\mu\text{m}$$

取阿贝误差 e 为半宽, 符合均匀分布, 由阿贝误差引入起的标准不确定分量为:

$$u_1(X_s) = \frac{e}{\sqrt{3}} = \frac{1.2}{\sqrt{3}} = 1.0\mu\text{m}$$

C.3.2.2 激光干涉仪测长误差引入的测量不确定度分量 $u_2(X_s)$

规范选取 $\text{MPE}:(1.0\mu\text{m} + 1 \times 10^{-6}L)$, 的激光干涉仪作为长度标准器, 测量光栅尺最大距离 $L=50\text{mm}$, 则激光干涉仪测长示值误差半宽 $\Delta=1.05\mu\text{m}$, 符合均匀分布, 由激光干涉仪测长误差引入的不确定度分量为:

$$u_2(X_s) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{1.05}{\sqrt{3}} = 0.6\mu\text{m}$$

因, 故 $u_1(X_s)$ 、 $u_2(X_s)$ 两个参量相对独立, 可认为其互不相关, 因此由标准器引入的不确定分量可由下式计算:

$$u(X_s) = \sqrt{u_1^2(X_s) + u_2^2(X_s)} = \sqrt{1^2 + 0.6^2} = 1.2\mu\text{m}$$

C.4 合成标准不确定度评定

以上各输入量互不相关, 故合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{C^2(X) \cdot u^2(X) + C^2(X_s) \cdot u^2(X_s)} = \sqrt{2 \times 2^2 + 2 \times 1.2^2} = 3.3\mu\text{m}$$

C.5 不确定度分量汇总表

表 C.2 不确定度分量汇总表

序号	不确定度分量	不确定度分量来源	灵敏系数 $c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$	标准不确定度	合成标准不确定 u_c	扩展不确定度 U	
1	$u(X)$	测量重复性引入的不确定度分量	$\sqrt{2}$	$2\mu\text{m}$	$3.3\mu\text{m}$	$6.6\mu\text{m}$	
2	$u_1(X_s)$	阿贝误差引入的测量不确定度分量	$-\sqrt{2}$	$1.2\mu\text{m}$			
	$u_2(X_s)$	激光干涉仪测长引入的测量不确定度分量					

C.6 扩展不确定度评定

根据扩展不确定度 $U=k \times u_c$, 取 $k=2$, 光栅尺示值误差扩展不确定度为:

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 3.3 = 6.6 \mu\text{m}$$