

广西计量校准规范

《坐标靶法垂准仪校准装置》

试 验 报 告

（征求意见稿）

《坐标靶法垂准仪校准装置》计量校准规范编写组

2024 年 01 月

一、试验目的：

校准规范编写小组在商议后，决定分别对不同形式的坐标靶法垂准仪校准装置进行试验，目的是验证《坐标靶法垂准仪校准装置》校准规范征求意见稿中规定的计量特性、校准条件和校准方法的是否科学准确且合理可行。

本文尽量用相同的或级别精度均符合的计量标准作为标准器具，分两组试验进行。第一组针对坐标靶法垂准仪校准装置，第二组为新增的补充试验。同时在标准器的选择上尽量根据试验的场地和被检对象的测量范围的不同，按规范的起草内容进行试验及补充。

二、试验情况：

第一组试验

坐标靶法垂准仪校准装置 1：

一、选取试验机构：广西壮族自治区计量检测研究院

二、试验日期：2023 年 10 月 09 日 ； 试验地点：南宁市 ；

三、试验方法：用激光干涉仪、全站仪、手持测距仪和数字倾角仪等计量标准器对垂准仪校准装置进行光栅尺示值误差、光栅尺垂直度等指标进行校准。

四、试验装置：垂准仪校准装置

五、试验原始记录见后页：

垂准仪校准装置校准记录格式

一、二维坐标示值误差（光栅尺形式）

表 1 水平光栅尺示值误差

测量点	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	-3093.034	49.9299	-0.004
/	正向示值误差:	0.017		反向示值误差:	0.013	

表 2 垂直光栅尺示值误差

测量点	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	

二、二维坐标垂直度（光栅尺形式）

表 3 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	$\Delta l_1=0.003$
1	-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	0.2'
序号	X 光栅尺读数 (移动 Y 光栅尺)	偏离值 Δl_i	$\Delta l_2=0.004$
1	-3113.069	-0.0010	
2	-3113.068	0.0000	
3	-3113.07	-0.0020	
4	-3113.067	0.0010	
5	-3113.066	0.0020	
平均值	-3113.068	Y 与 X 垂直度	0.3'

三、二维微倾台的示值误差

表 4. 二维微倾台的示值误差

测量位置 (')	数字倾角仪测量值		纵向示值误差
	"	转换单位为'	'
-8	-466.8	-7.8	0.2
-6	-345.2	-5.8	0.2
-4	-226.8	-3.8	0.2
-2	-106.5	-1.8	0.2
0	0.1	0.0	0.0
2	127.9	2.1	0.1
4	248.6	4.1	0.1
6	371.8	6.2	0.2
8	482.2	8.0	0.0
纵向示值误差 : 0.2'			

测量位置	数字倾角仪测量值		横向示值误差
	"	'	'
-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'			

四、垂准仪激光束总光程

表 5. 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

坐标靶法垂准仪校准装置 2:

- 一、选取试验机构：广西壮族自治区计量检测研究院
- 二、试验日期：2023 年 11 月 10 日 ； 试验地点：南宁市 ；
- 三、试验方法：用激光干涉仪、全站仪、手持测距仪、和数字倾角仪等计量标准器对垂准仪校准装置进行光栅尺示值误差、光栅尺垂直度等指标进行校准；并增加补充试验选用影像测量仪对网格板坐标靶进行示值误差校准。
- 四、试验装置：垂准仪校准装置、网格板坐标靶
- 五、试验原始记录见下页：

垂准仪校准装置校准记录格式

一、二维坐标示值误差（光栅尺形式）

表 6. 水平光栅尺示值误差

测量点	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	-3141.325	-0.0001	/	-3141.362	0.8336	/
1	-3131.357	9.9530	0.015	-3131.397	10.7871	0.012
2	-3121.398	19.9011	0.011	-3121.431	20.7407	0.012
3	-3111.337	29.9528	0.009	-3111.360	30.8025	0.009
4	-3101.394	39.8883	0.008	-3101.435	40.7207	0.007
5	-3091.402	49.8887	-0.008	-3091.402	50.7597	-0.006
/	正向示值误差:	0.015		反向示值误差:	0.012	

表 7. 垂直光栅尺示值误差

测量点	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	-1663.645	0.0000	/	-1663.640	0.0036	/
1	-1653.520	10.1494	-0.024	-1653.546	10.1203	-0.023
2	-1643.627	20.0551	-0.013	-1643.627	20.0472	-0.008
3	-1633.591	30.1135	-0.022	-1633.615	30.0857	-0.027
4	-1623.624	40.0898	-0.009	-1623.626	40.0828	-0.008
5	-1613.623	50.1088	-0.018	-1613.623	50.1089	-0.023
/	正向示值误差:	-0.024		反向示值误差:	-0.027	

二、二维坐标垂直度（光栅尺形式）

表 8. 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	$\Delta l_1=0.001$
1	-1651.146	-0.001	
2	-1651.145	0.000	
3	-1651.145	0.000	
4	-1651.144	0.001	
5	-1651.145	0.000	
平均值	-1651.145	X 与 Y 垂直度	0.1'
序号	X 光栅尺读数（移动 Y 光栅尺）	偏离值 Δl_i	$\Delta l_2=0.001$
1	-3152.123	-0.001	
2	-3152.122	0.000	
3	-3152.123	-0.001	
4	-3152.122	0.000	
5	-3152.122	0.000	
平均值	-3152.122	Y 与 X 垂直度	0.1'

三、二维微倾台的示值误差

表 9. 二维微倾台的示值误差

测量位置 (')	数字水平仪测量值		纵向示值误差
	"	转换为单位'	'
-8	-467.4	-7.8	-0.2
-6	-348.7	-5.8	-0.2
-4	-228.4	-3.8	-0.2
-2	-110.2	-1.8	-0.2
0	-0.2	0.0	0.0
2	113.2	1.9	0.1
4	235.1	3.9	0.1
6	350.1	5.8	0.2
8	470.6	7.8	0.2
纵向示值误差 : $\pm 0.2'$			

测量位置	数字水平仪测量值		横向示值误差
	"	转换为单位'	'
-8	-475.6	-7.9	0.1
-6	-356.0	-5.9	0.1
-4	-242.0	-4.0	0.0
-2	-108.4	-1.8	0.2
0	0.2	0.0	0.0
2	114.3	1.9	-0.1
4	233.5	3.9	-0.1
6	350.6	5.8	0.0
8	484.9	8.1	0.1
横向示值误差 : $0.2'$			

四、垂准仪激光束总光程

表 10. 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	30.426m	D_1	30.617m
D_2	30.444m	D_2	30.468m
D_3	30.507m	D_3	30.545m
$\bar{D} = \frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^3 D_i$	30.459m	$\bar{D} = \frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^3 D_i$	30.543m

补充试验 3:

一、选取试验机构：广西壮族自治区计量检测研究院

二、试验日期：2022 年 11 月 25 日 ； 试验地点：南宁市 ；

三、试验方法：用钢直尺、全站仪、水准仪、影像测量仪等标准器对普通坐标板进行校准。

四、关于坐标板的大致说明：

针对调研期间了解到的部分机构按照垂准仪的原理来自主设计符合标准定位的垂准仪校准装置，其，主要应用坐标板、或坐标尺进行对激光点的测量，因此本试验对坐标板的示值误差进行简单的测算。

由 JJF1081-2002《垂准仪》校准规范中可知，精密型垂准仪的一测

回垂准测量标准偏差为 $S \leq \frac{1}{100000}$ ，因此可由该指标逆向反校准装置

的示值误差 $\Delta_{\text{装}}$ ，目的是想求得在设定的距离下，作为能提供参考值的坐标板（尺）所应具备的技术要求。

由 $S = \frac{S_{\text{点}}}{L}$ 可知，点位误差 $S_{\text{点}}$ 可由已设定好的测距总光程求出；

$$S = \frac{1}{100000} = \frac{1\text{mm}}{100\text{m}}, \quad \text{可认为:}$$

当 $L=100\text{m}$ 处时， $S_{\text{点}}=1\text{mm}$ ；按该值 1/3 可估， $\Delta_{\text{装}}=0.33\text{mm}$

当 $L=50\text{m}$ 处时， $S_{\text{点}}=0.5\text{mm}$ ；按该值 1/3 可估， $\Delta_{\text{装}}=0.17\text{mm}$

当 $L=20\text{m}$ 处时， $S_{\text{点}}=0.2\text{mm}$ ；按该值 1/3 可估， $\Delta_{\text{装}}=0.07\text{mm}$

综上所述分析，选用最小分划为 1mm 的普通坐标板，应将坐标板置于离被检垂准仪 100m 范围最为合适，即垂准仪激光束总光程应 $\geq 100\text{m}$ ；若坐标板的最小分划 $\leq 1\text{mm}$ ，则可按上述距离 L 的推算可就近选择激光束总光程的距离设定。

对于普通的坐标网格板，一般为 10mm/格，只有中心区域处为 1mm/格，因此采用用影像测量仪对二维坐标网格板的横向、纵向示值误差进行校准；以网格板中心为 0 点，分别测量网格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。

表 11. 坐标板的示值误差

二维坐标网格板示值误差 (分度值: 1mm/格值)											
测量位置	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
横向	-0.011	0.007	-0.015	0.008	-0.014	/	0.009	-0.008	-0.013	0.008	0.012
	横向示值误差: -0.015										
纵向	-0.012	-0.010	-0.012	-0.005	-0.003	/	0.013	-0.007	0.004	-0.010	0.007
	纵向示值误差: 0.013										

由上表可知，二维坐标网格板分度值是 1mm/格值，最小分划的三分之一为 0.33mm,取横向、纵向示值误差的绝对值最大示值误差作为该二维坐标网格板示值误差，因此该二维坐标网格板示值误差为 -0.015mm,满足 $|-0.015| < 0.33\text{mm}$,可认为该示值误差满足规范要求。

另可知该坐标网格板的示值误差为 $0.015\text{mm} \approx 0.02\text{mm}$ ，可认为设定其在该距离 $L=50\text{m}$ 处，满足 $\leq 0.17\text{mm}$ 的技术要求，因此可认为该坐标板在距离满足要求的情况下可作为校准垂准仪的二维坐标接收靶，其分划的示值误差可满足标准器的指标要求。

另该装置的示值误差也可由角值予以给出结果，JJF1081-2002《垂准仪》校准规范中可知，被检精密型垂准仪的视轴与竖轴的同轴度 $\leq 2''$ ，在给予设定的距离 L 的情况下，可逆向反推求得垂准仪校准装置坐标靶最小分划 δ 。

由 $\alpha=2''$ ， $\alpha=\frac{\delta}{L} \cdot \rho$ ，可得：

当 $L=100\text{m}$ 处时：

$$\delta=\frac{\alpha}{\rho} \cdot L=\frac{2}{206265} \times 100000=0.97\text{mm}；\text{按该值 } 1/3 \text{ 可估，}\Delta_{\text{装}}=0.67''$$

当 $L=50\text{m}$ 处时：

$$\delta=\frac{\alpha}{\rho} \cdot L=\frac{2}{206265} \times 50000=0.48\text{mm}；\text{按该值 } 1/3 \text{ 可估，}\Delta_{\text{装}}=0.67''$$

当 $L=20\text{m}$ 处时：

$$\delta=\frac{\alpha}{\rho} \cdot L=\frac{2}{206265} \times 20000=0.2\text{mm}；\text{按该值 } 1/3 \text{ 可估，}\Delta_{\text{装}}=0.67''$$

以上推算的目的是，坐标靶（板/尺）的最小分划 δ ，是随着距离的增大而逐步变大的比例误差，其被检垂准仪的视轴相对于水平方向的张角为一定值，即视轴与竖轴同轴度的量化指标，因此该试验无需再用全站仪测算该张角，而选择一种更为简单便捷的测算方式，即直接对坐标接收靶的示值误差进行测量便可达到目的。

三、总结语

综上所述，本试验报告的测量方法来源于规范的征求意见稿，作为验证起草规范的计量特性是否科学合理，校准项目及校准方法是否行之有效、准确可靠，起草小组在项目调研、规范编制、和征求意见等工作中做了非常大的努力，通过不断的试验论证不断的完善征求意见稿最终形成该版本。在该规范的制定过程中，得到了同行机构、兄弟院所及相关生产企业的大力支持与帮助，在此起草小组由衷地感谢！在后续工作的计划里，将扩大参与试验机构的数量，尽量覆盖国内各类垂准仪校准装置的型号种类，让试验的数据更具备广泛性及代表性，时间仓促下本规范有误之处希望得到各位同行专家老师们的批评与指正，再次感谢！

起草小组

2024 年 01 月 09 日