

《垂线坐标仪校准规范》 实验报告

垂线坐标仪校准规范编写组

2025 年 4 月

垂线坐标仪校准规范实验报告

一、实验目的

依据计量技术规范《垂线坐标仪校准规范》，对垂线坐标仪的计量性能（位移测量误差（X 向）、位移测量误差（Y 向）、重复性误差（X 向）、重复性误差（Y 向））进行校准，验证其计量特性是否符合规范要求，并评定测量结果的不确定度。

二、实验设备

1.垂线坐标仪校准台

测量范围：（0~200 mm），分辨力：0.01mm。

校准证书编号：L2024-3040148，示值误差： $MPE \leq \pm 0.08\text{mm}$ ，校准结果的扩展不确定度： $U=0.008\text{mm}$ （ $k=2$ ）。

三、校准环境条件

温度：22℃（符合 $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 要求）。

相对湿度：50% RH（符合 $\leq 85\%$ RH 要求）。

环境干扰：无显著电磁干扰及机械振动。

四、校准样品

1. 仪器名称：光电式垂线坐标仪

仪器型号：NGDZ-50 型

仪器编号：XLZD0602

制造单位：南京南瑞水利水电科技有限公司

2. 仪器名称：步进电机式垂线坐标仪

仪器型号：STC-50 型

仪器编号：15TC50047

制造单位：江苏南水水务科技有限公司

3. 仪器名称：电容式垂线坐标仪

仪器型号：RZ-50S 型

仪器编号：XLZD0641

制造单位：南京南瑞水利水电科技有限公司

五、校准步骤与数据记录

1. 校准前准备

检查垂线坐标仪，确保正常工作。垂线坐标仪在校准前应在校准环境条件下放置4h以上，使得垂线坐标仪的温度与环境温度一致。固定模拟垂线在垂线坐标仪校准台的中心位置。垂线坐标仪固定在垂线坐标仪校准台上，进行预热，在测量范围内，从测量范围下限至测量范围上限，再回到测量范围下限，如此循环三次。垂线坐标仪的X向和Y向应分别进行。

2. 计量性能校准

按规范要求逐档加载并记录数据（数据见下表）：

2.1 光电式垂线坐标仪

测量方向			X 向			
量 程 (mm)	测量值(mm)					
	进程 1	回程 1	进程 2	回程 2	进程 3	回程 3
0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
5.00	5.02	5.02	5.02	5.02	5.02	5.02
10.00	10.03	10.02	10.02	10.02	10.02	10.03
15.00	15.03	15.02	15.02	15.02	15.02	15.03
20.00	20.02	20.01	20.02	20.02	20.01	20.03
25.00	25.01	25.02	25.02	25.02	25.02	25.02
30.00	30.01	30.01	30.01	30.01	30.01	30.02
35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.01
40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
45.00	45.01	45.02	45.02	45.02	45.02	45.02
50.00	50.01	50.01	50.01	50.01	50.01	50.01

测量方向				Y 向		
量 程 (mm)	测量值(mm)					
	进程 1	回程 1	进程 2	回程 2	进程 3	回程 3
0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
5.00	5.02	5.01	5.02	5.01	5.01	5.01
10.00	10.02	10.02	10.01	10.01	10.02	10.02
15.00	15.00	15.00	15.00	15.01	15.01	15.00
20.00	20.00	20.00	20.01	20.00	20.00	20.00
25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
30.00	29.99	29.99	29.99	29.99	29.99	29.99
35.00	34.98	34.98	34.98	34.98	34.98	34.98
40.00	39.98	39.98	39.98	39.98	39.97	39.97
45.00	44.97	44.97	44.97	44.97	44.97	44.97
50.00	49.99	49.99	49.99	49.99	49.98	49.98

2.2 步进电机式垂线坐标仪

测量方向			X 向			
量 程 (mm)	测量值(mm)					
	进程 1	回程 1	进程 2	回程 2	进程 3	回程 3
0.00	4.16	4.13	4.16	4.13	4.16	4.13
5.00	9.14	9.12	9.15	9.12	9.14	9.10
10.00	14.13	14.12	14.13	14.12	14.13	14.12
15.00	19.13	19.12	19.13	19.12	19.13	19.12
20.00	24.13	24.09	24.13	24.10	24.13	24.10
25.00	29.11	29.08	29.11	29.08	29.12	29.08
30.00	34.09	34.07	34.09	34.08	34.09	34.07
35.00	39.08	39.07	39.08	39.07	39.08	39.07
40.00	44.07	44.06	44.08	44.07	44.08	44.07
45.00	49.07	49.07	49.07	49.07	49.07	49.07

测量方向			Y 向			
量 程 (mm)	测量值(mm)					
	进程 1	回程 1	进程 2	回程 2	进程 3	回程 3
0.00	4.20	4.21	4.20	4.20	4.21	4.20
5.00	9.18	9.17	9.18	9.17	9.19	9.17
10.00	14.19	14.18	14.19	14.17	14.19	14.16
15.00	19.20	19.17	19.20	19.18	19.20	19.18
20.00	24.18	24.17	24.18	24.19	24.18	24.17
25.00	29.20	29.16	29.19	29.18	29.19	29.19

2.3 电容式垂线坐标仪

测量方向			X 向			
量 程 (mm)	测量值（电容比）					
	进程 1	回程 1	进程 2	回程 2	进程 3	回程 3
0.0	-0.5164	-0.5165	-0.5163	-0.5162	-0.5168	-0.5165
5.0	-0.4256	-0.4251	-0.4254	-0.4253	-0.4255	-0.4251
10.0	-0.3266	-0.3267	-0.3266	-0.3265	-0.3267	-0.3262
15.0	-0.2216	-0.2218	-0.2215	-0.2211	-0.2217	-0.2213
20.0	-0.1121	-0.1117	-0.1116	-0.1123	-0.1122	-0.1119
25.0	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0007	0.0003
30.0	0.1124	0.1127	0.1122	0.1127	0.1123	0.1125
35.0	0.2224	0.2228	0.2224	0.2226	0.2224	0.2226
40.0	0.3272	0.3280	0.3280	0.3280	0.3277	0.3277
45.0	0.4271	0.4272	0.4266	0.4271	0.4270	0.4268
50.0	0.5189	0.5188	0.5187	0.5190	0.5184	0.5185
55.0	0.6032	0.6032	0.6032	0.6032	0.6032	0.6032

测量方向			Y 向			
量 程 (mm)	测量值（电容比）					
	进程 1	回程 1	进程 2	回程 2	进程 3	回程 3
0.0	-0.5185	-0.5188	-0.5189	-0.5189	-0.5187	-0.5189
5.0	-0.4277	-0.4274	-0.4270	-0.4269	-0.4272	-0.4271
10.0	-0.3279	-0.3278	-0.3277	-0.3281	-0.3279	-0.3282
15.0	-0.2224	-0.2224	-0.2227	-0.2226	-0.2225	-0.2221
20.0	-0.1122	-0.1125	-0.1129	-0.1127	-0.1123	-0.1129
25.0	-0.0001	-0.0003	-0.0002	-0.0004	-0.0001	-0.0003
30.0	0.1115	0.1120	0.1120	0.1120	0.1118	0.1120
35.0	0.2216	0.2211	0.2218	0.2212	0.2213	0.2214
40.0	0.3267	0.3267	0.3265	0.3266	0.3266	0.3265
45.0	0.4254	0.4253	0.4253	0.4249	0.4253	0.4250
50.0	0.5163	0.5160	0.5170	0.5160	0.5161	0.5161
55.0	0.6024	0.6024	0.6024	0.6024	0.6024	0.6024

3. 计算性能参数

依据公式

$$L = |L_y - L_w| \quad (1)$$

$$R = |L_u - L_d| \quad (2)$$

计算各参数：

3.1 光电式垂线坐标仪

位移测量误差（X 向）：L = 0.02mm（符合 ≤0.10mm 要求）；

位移测量误差（Y 向）：L = 0.04mm（符合 ≤0.10mm 要求）；

重复性误差（X 向）：R = 0.02mm（符合 ≤0.10mm 要求）；

重复性误差（Y 向）：R = 0.01mm（符合 ≤0.10mm 要求）。

3.2 步进电机式垂线坐标仪

位移测量误差（X 向）：L = 0.03mm（符合 ≤0.10mm 要求）；

位移测量误差（Y 向）：L = 0.04mm（符合 ≤0.10mm 要求）；

重复性误差（X 向）：R = 0.02mm（符合 ≤0.10mm 要求）；

重复性误差（Y 向）：R = 0.03mm（符合 ≤0.10mm 要求）。

3.3 电容式垂线坐标仪

根据拟合公式 $Y=A+BX+CX^3$ ，计算得到

位移测量误差（X 向）： $L = 0.10\text{mm}$ （符合 $\leq 0.10\text{mm}$ 要求）；

位移测量误差（Y 向）： $L = 0.09\text{mm}$ （符合 $\leq 0.10\text{mm}$ 要求）；

重复性误差（X 向）： $R = 0.07\text{mm}$ （符合 $\leq 0.10\text{mm}$ 要求）；

重复性误差（Y 向）： $R = 0.08\text{mm}$ （符合 $\leq 0.10\text{mm}$ 要求）。

六、不确定度评定

依据附录 C 方法，合成不确定度主要来源：

1. 垂线坐标仪测量分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2=0.003 \text{ mm}$
2. 垂线坐标仪校准台示值误差引入的标准不确定度分量 $u_3=0.004 \text{ mm}$
3. 合成标准不确定度： $u_c = 0.005 \text{ mm}$
4. 扩展不确定度： $U = 0.010 \text{ mm}$ ($k=2$)

七、校准结论

1. 垂线坐标仪，型号： 编号：XLZD0602

计量性能参数均符合垂线坐标仪校准规范要求：

位移测量误差（X 向）： $L = 0.02\text{mm}$ ；

位移测量误差（Y 向）： $L = 0.04\text{mm}$ ；

重复性误差（X 向）： $R = 0.02\text{mm}$ ；

重复性误差（Y 向）： $R = 0.01\text{mm}$ 。

扩展不确定度： $U = 0.010 \text{ mm}$ ，($k=2$)。

2. 步进电机式垂线坐标仪，型号：RZ-50S 编号：XFZD0525

计量性能参数均符合垂线坐标仪校准规范要求：

位移测量误差（X 向）： $L = 0.03\text{mm}$ ；

位移测量误差（Y 向）： $L = 0.04\text{mm}$ ；

重复性误差（X 向）： $R = 0.02\text{mm}$ ；

重复性误差（Y 向）： $R = 0.03\text{mm}$ 。

扩展不确定度： $U = 0.010 \text{ mm}$ ，($k=2$)。

3. 电容式垂线坐标仪，型号：STC-50 编号：15TC50047

计量性能参数均符合垂线坐标仪校准规范要求：

位移测量误差（X 向）： $L = 0.10\text{mm}$ ；

位移测量误差（Y 向）： $L = 0.09\text{mm}$ ；

重复性误差（X 向）： $R = 0.07\text{mm}$ ；

重复性误差（Y 向）： $R = 0.08\text{mm}$ 。

扩展不确定度： $U = 0.010\text{ mm}$ ， $(k=2)$ 。

八、复校建议

建议复校时间间隔为 1 年。若仪器频繁使用或处于恶劣环境，复校间隔应缩短至 6 个月。

九、实验结论

根据校准规范编制原则和确定校准规范主要内容（如计量特性、校准条件、校准项目、校准方法、公式、不确定度评定等），通过以上的试验报告和验证数据，验证了本规范提出的校准用设备、计量性能规定等符合规范提出的范围区间。证明了本校准规范的指标参数、技术要求、试验方法等内容是能够充分满足目前在用的光电式、步进电机式、电容式垂线坐标仪的技术要求，最终实验验证的结论是校准规范是科学的、具有很好的可操作性、可执行性和实用性。