

# 《垂线坐标仪校准规范》 测量结果不确定度评定

垂线坐标仪校准规范编写组

2025 年 4 月

## 垂线坐标仪校准结果测量结果不确定度评定示例

### 1.校准方法概述

1.1 将垂线坐标仪调节至X向测量范围下限，按照垂线坐标仪X向满量程的20%进行分档，逐级增加到测量范围上限，然后从测量范围上限逐级减少至测量范围下限，在每一测试点稳定30 s后，读取垂线坐标仪X向输出值。

1.2 重复1.1步骤循环三次。

1.3 将垂线坐标仪调节至Y向测量范围下限，按照垂线坐标仪Y向满量程的20%进行分档，逐级增加到测量范围上限，然后从测量范围上限逐级减少至测量范围下限，在每一测试点稳定30 s后，读取垂线坐标仪Y向输出值。

1.4 重复1.3步骤循环三次。

依据本规范，用垂线坐标仪校准台和专用夹具进行校准，以垂线坐标仪的示值与垂线坐标仪校准台显示值的差值即为示值误差。下面对分辨力为0.01mm的垂线坐标仪在25mm处进行测量不确定度评定。

### 2.测量模型

垂线坐标仪的位移测量误差 $L$ 计算公式为：

$$L = | L_y - L_w | \quad (3)$$

位移测量测量误差基于垂线坐标仪校准台和垂线坐标仪的示值，测量结果简化为

$$L = \delta_v - \delta_w \quad (4)$$

式中：

$L$ ——垂线坐标仪的位移测量误差，mm；

$\delta_v$ ——垂线坐标仪测量值，mm；

$\delta_w$ ——垂线坐标仪校准台测量值，mm。

试验时，实验室采取温度、湿度控制措施，温度、湿度对垂线坐标仪校准台和垂线坐标仪影响忽略不计。

假设各输入量互不相关，则不确定度传播律公式为：

$$u_c^2(y) = c_1^2 u^2(\delta_v) + c_2^2 u^2(\delta_w) \quad (5)$$

式中：

$c_1$ 、 $c_2$ —灵敏系数。

其中：

$c_1 = 1$ ；

$c_2 = 1$ 。

### 3. 各输入量的标准不确定度分量评定

不确定度来源分析：

- 1) 垂线坐标仪测量重复性引入的标准不确定度  $u_1$ ；
- 2) 垂线坐标仪测量分辨力引入的标准不确定度  $u_2$ ；
- 3) 垂线坐标仪校准台测量误差引入的标准不确定度  $u_3$ 。

故垂线坐标仪位移测量误差  $L$  的标准不确定度可以进一步表示为：

$$u^2(L) = u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 \quad (6)$$

#### 3.1 垂线坐标仪测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_1$

按照垂线坐标仪校准方法对垂线坐标仪 50mm 点进行 10 次测量，测量数据见表 1。

表 1 重复性测量数据表										单位：mm
测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值	50.01	50.01	50.01	50.01	50.01	50.01	50.00	50.00	50.01	50.01

用贝塞尔公式计算标准偏差  $s=0.003$  mm

因为校准结果取 3 次循环的测量值为最终结果，故：

$$u_1 = \frac{0.003}{\sqrt{3}} = 0.0017 \text{ mm}$$

#### 3.2 垂线坐标仪测量分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2$

由垂线坐标仪分辨力引入的不确定度分量呈均匀分布，则

$$u_2 = 0.01 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.003 \text{ mm}$$

因为垂线坐标仪分辨力引入的不确定度大于垂线坐标仪测量重复性引入的不确定度，所以在评定垂线坐标仪示值  $\delta_v$  的测量不确定度时，只考虑垂线坐标仪分辨力引入的不确定度分量  $u_2$ 。

#### 3.3 垂线坐标仪校准台示值误差引入的标准不确定度分量 $u_3$

由校准证书可知垂线坐标仪校准结果的扩展不确定度：

$$U = 0.008 \text{ mm} \quad (k=2)$$

$$\text{则 } u_3 = 0.004 \text{ mm}$$

#### 4. 各标准不确定度分量汇总

各标准不确定度分量汇总见表 2。

表 2 测量不确定度分量汇总表

符号	不确定度来源	标准不确定度分量的值	灵敏系数	包含因子
$u_2$	垂线坐标仪测量分辨力	0.003mm	1	$\sqrt{3}$
$u_3$	垂线坐标仪校准台示值误差	0.004mm	1	2

#### 5. 合成标准不确定度

假定各输入量之间不相关则

$$u_c = \sqrt{u_2^2 + u_3^2} = \sqrt{0.003^2 + 0.004^2} = 0.005 \text{ mm}$$

#### 6. 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U = ku_c = 0.005 \times 2 = 0.010 \text{ mm}$$