

# 《振弦式位移计校准规范》 测量结果不确定度评定

振弦式位移计校准规范编写组

2025 年 4 月

## 振弦式位移计测量结果不确定度评定示例

### 1. 校准方法概述

将振弦式位移计固定在校准台上，按照振弦式位移计量程的20%分档，从测量范围下限，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，用振弦式读数仪读取输出频率模数，重复循环3次。

### 2. 测量模型

$$D = k(F_i - F_0) \quad (6)$$

式中：

$D$ ——振弦式位移计的位移值，mm；

$k$ ——振弦式位移计的灵敏度系数，mm/Hz<sup>2</sup>；

$F_0$ ——振弦式位移计初始状态频率模数，Hz<sup>2</sup>；

$F_i$ ——振弦式位移计在第*i*档测试点频率模数，Hz<sup>2</sup>。

### 3. 校准数据

#### 3.1 校准样品

名称：振弦式位移计，型号：SXF-50（量程：0~50 mm）编号：22XF50057

振弦式位移计灵敏度系数： $k=0.007$  mm/Hz<sup>2</sup>

#### 3.2 校准计量标准器

##### 3.2.1 数显标尺

测量范围：（0~300 mm），分辨力：0.01mm，

校准证书编号：L2025-0003611，示值误差：MPE≤±0.04mm。

##### 3.2.2 振弦式读数仪

测量范围：（400~5000）Hz，分辨力0.1 Hz

校准证书编号：E2025-0003565，校准结果的扩展不确定度： $U=0.2$  Hz（ $k=2$ ）

#### 3.3 校准数据

振弦式位移计的校准数据见表 1。

表 1 校准数据

测试点 (mm)	频率模数 (F)					
	进程 1	回程 1	进程 2	回程 2	进程 3	回程 3
0.0	1148.0	1149.6	1149.6	1143.8	1143.8	1144.5
10.0	2621.2	2617.1	2620.3	2612.8	2619.9	2614.1
20.0	4066.9	4054.8	4064.4	4053.9	4060.0	4052.2
30.0	5504.1	5496.5	5501.6	5497.3	5499.8	5494.6
40.0	6924.3	6918.8	6921.5	6918.2	6920.5	6915.7
50.0	8343.7	8343.7	8343.6	8343.6	8341.4	8341.4

#### 4.灵敏系数计算

对各输入量的偏导数计算如下：

##### 4.1.测量值频率模数 $F_i$

$$c_{F_i} = \frac{\partial D}{\partial F_i} = k$$

由于  $k=0.007 \text{ mm/Hz}^2$ ，则  $c_{F_i} = 0.007\text{mm}$

##### 4.2.初始频率模数 $F_0$

$$c_{F_0} = \frac{\partial D}{\partial F_0} = -k$$

由于  $k=0.007 \text{ mm/Hz}^2$ ，则  $c_{F_i} = -0.007\text{mm}$

##### 4.3.校准台示值误差 $h$

位移测值直接由校准台数显标尺直接测量，灵敏系数为

$$c_h=1$$

由校准证书可知垂线坐标仪校准结果的扩展不确定度：

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

$$\text{则 } u_h = 0.004 \text{ mm}$$

## 5. 输入量的测量不确定度

### 5.1 频率模数测量误差 $F_i$ :

读数仪扩展不确定度  $U_F = 0.2 \text{ Hz}$  ( $k=2$ )

标准不确定度:  $u(F_i) = 0.1 \text{ Hz}$

转换为频率模数:  $u(F_i) = \frac{2f}{1000} \cdot u(f) = \frac{2 \times 1070.8}{1000} \times 0.1 = 0.21 \text{ Hz}^2$

### 5.2 分辨力引入的不确定度 $\delta_v$ :

分辨力半宽:  $0.05 \text{ Hz}^2$

标准不确定度:  $u(\delta_v) = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029 \text{ Hz}^2$

### 5.3 校准台示值误差 $\delta_w$ :

校准证书给出  $U(h) = 0.008 \text{ mm}$  ( $k=2$ )

标准不确定度  $u(\delta_w) = 0.008/2 = 0.004 \text{ mm}$

### 5.4. 重复性引入的不确定度 $u_r$ :

表 2 重复性测量数据表

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值( $F$ )	8343.7	8343.7	8343.6	8343.6	8341.4	8341.4	8341.3	8341.3	8343.6	8343.6

用贝塞尔公式计算标准偏差  $s=1.18 \text{ Hz}^2$

因为每个测试点进行 3 次循环测量, 则重复性不确定度为:

$$u(r) = \frac{1.18}{\sqrt{3}} = 0.68 \text{ Hz}^2$$

## 6. 各标准不确定度分量汇总

各标准不确定度分量汇总见表 3。

表 3 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 $c_i$	包含因子
$u(F_i)$	频率模数测量误差	$0.21 \text{ Hz}^2$	$0.007 \text{ mm}$	$k=2$
$u(F_0)$	初始频率模数误差	$0.21 \text{ Hz}^2$	$-0.007 \text{ mm}$	$k=2$

$u(\delta_v)$	读数仪分辨力误差	$0.029 \text{ Hz}^2$	$0.007 \text{ mm}$	$k = \sqrt{3}$
$u(\delta_w)$	校准台示值误差	$0.004 \text{ mm}$	1	$k = \sqrt{3}$
$u(r)$	测量重复性	$0.68 \text{ Hz}^2$	$0.007 \text{ mm}$	$k=2$

## 7. 合成标准不确定度

$$u_c(D) = \sqrt{(c_{F_1} \cdot u(F_1))^2 + (c_{F_0} \cdot u(F_0))^2 + (c_{\delta_v} \cdot u(\delta_v))^2 + (c_{\delta_w} \cdot u(\delta_w))^2 + (c_r \cdot u(r))^2}$$

代入数据：

$$u_c(D) = 0.007 \text{ mm}$$

## 8. 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为： $U=ku_c(D)=2 \times 0.007=0.014 \text{ mm}$

## 9. 结论

振弦式位移计在 50 mm 量程点的扩展不确定度为：

$$U=0.014 \text{ mm}(k=2)$$

注：温度影响及安装误差因实验室控制措施完善，其贡献可忽略。

本示例数据基于实际校准结果，具体应用时需根据实际设备参数调整。