



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—2025

## 振弦式位移计校准规范

Calibration specification for  
Vibrating string displacement meter

(征求意见稿)

2025—××—××发布

2025—××—××实施

国家市场监督管理总局 发布



# 振弦式位移计 校准规范

Calibration specification for

Vibrating string displacement meter

JJF xxxx - 2025

归口单位：全国测绘地理信息专用计量测试技术委员会

主要起草单位：XXX

XXX

参加起草单位：XXX

XXX

XXX

本规范委托全国测绘地理信息专用计量测试技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

XXX

XXX

**参加起草人：**

XXX

XXX

XXX

XXX

目录

引言 ..... II

1 范围 ..... 1

2 引用文件..... 1

3 术语和计量单位..... 1

3.1 术语..... 1

3.2 计量单位..... 2

4 概述 ..... 2

5 计量特性..... 2

6 校准条件..... 2

6.1 环境条件..... 2

6.2 校准设备..... 2

7 校准项目和校准方法..... 3

7.1 校准项目..... 3

7.2 校准方法..... 3

8 校准结果表达..... 5

9 复校时间间隔..... 5

附录 ..... 6

附录 A 原始记录格式（参考） ..... 6

附录 B 证书内页格式（参考） ..... 7

附录 C 振弦式位移计测量结果不确定度评定示例 ..... 8

# 引言

本规范依据国家计量技术规范 JJF 1001-2011 《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》、JJF 1071-2010 《国家计量校准规范编写规则》编制。

本规范系首次编制。

# 振弦式位移计校准规范

## 1 范围

本规范适用于量程为 $\pm 100\text{mm}$ （双向）或 $0\sim 200\text{mm}$ （单向）的振弦式位移计的校准。其他工作原理的位移计可参考执行。

## 2 引用文件

JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》

JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》

JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》

JJG 30-2012《通用卡尺》

JJG(交通) 039-2020《振弦式多点位移计》

GB/T 3410.2-2008《大坝监测仪器 测缝计 第2部分：振弦式测缝计》

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）适用于本规范。

## 3 术语和计量单位

### 3.1 术语

#### 3.1.1 振弦式位移计 vibrating string displacement meter

利用钢弦的振动频率变化进行位移测量的仪器。

#### 3.1.2 频率模数 frequency module

振弦式位移计输出频率的平方与常数(1000)的比值，用 $F$ 表示。

计算公式为： $F = f^2 / 1000$

其中， $F$ ——振弦式位移计输出频率模数，单位为赫兹平方( $\text{Hz}^2$ )；

$f$ ——振弦式位移计输出频率，单位为赫兹( $\text{Hz}$ )。

#### 3.1.3 满量程输出 Full scale

振弦式位移计测量范围的上限输出值频率模数与下限输出值频率模数的代数差，用 $FS$ 表示。

#### 3.1.4 灵敏度系数 Sensitivity coefficient

振弦式位移计位移变化量与输出频率模数变化量的比值，单位为 $\text{mm}/\text{Hz}^2$ ，用 $K$ 表示。

3.2 计量单位

- 3.2.1 频率：赫兹，符号 Hz。
- 3.2.2 频率模数：赫兹平方，符号 Hz<sup>2</sup>。
- 3.2.3 满量程输出：赫兹平方，符号 Hz<sup>2</sup>。

4 概述

振弦式位移计是一种高精度的测量仪器，广泛应用于各种工程领域中，特别是在结构和土木工程中发挥着举足轻重的作用。振弦式位移计的工作原理基于钢弦振动的变化来测量位移。当被测结构物发生变形时，振弦式位移计内部的钢弦会受到拉伸或压缩，从而导致其振动频率改变。通过测量钢弦的振动频率变化，可以计算出被测结构物的位移量。

5 计量特性

振弦式位移计计量特性要求见表1。

表1 计量性能要求

参 数		要 求
位移性能参数	非线性度	≤1.0%FS
	不重复度	≤0.5%FS
	迟滞	≤1.0%FS
	综合误差	≤1.5%FS

注：以上指标不用于合格判定，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

- 6.1.1 温度：20℃±5℃；
- 6.1.2 相对湿度：不大于 70%；
- 6.1.3 无影响振弦式位移计正常工作的电磁干扰和机械振动。

6.2 校准设备

校准设备需满足以下要求：



- a) 位移计校准台：测量范围（0~200）mm；
- b) 数显标尺：符合 JJG 30-2012 的要求，分辨力 0.01mm，最大允许误差  $\pm 0.04$  mm；
- c) 振弦式读数仪：分辨力  $\leq 0.1$  Hz，最大允许误差  $\pm 0.5$  Hz。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

振弦式位移计校准项目见表2。

**表2 校准项目一览表**

校准项目	
位移性能参数	非线性度
	不重复度
	迟滞
	综合误差

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 校准前准备工作

检查振弦式位移计，确保正常工作。振弦式位移计在校准前应在校准环境下预先放置 4h 以上，使得振弦式位移计的温度与环境温度一致。振弦式位移计固定在位移计校准台上，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。

#### 7.2.2 位移性能参数

校准方法具体步骤如下：

- a) 将振弦式位移计调节至测量范围下限，按照振弦式位移计量程的20%进行分档，每档增量=量程 $\times$ 20%，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。

b) 重复a) 步骤循环三次，将测值记入校准原始记录表中，记录表参见附录A；

c) 按照公式（2）、（3）、（4）、（5）分别计算非线性度 $L$ 、不重复度 $R$ 、迟滞 $H$  和综合误差 $Z$ ：

按公式（2）计算非线性度 $L$ ：

$$L = \left| \frac{C_1}{F_x - F_n} \right| \times 100 \quad (2)$$

式中：

$L$  ——振弦式位移计的非线性度，%FS；

$C_1$ ——三次循环中正、反行程实际平均特性曲线与工作特性拟合直线（用最小二乘法）测试点测值的偏差最大值， $\text{Hz}^2$ ；

$F_x$  ——振弦式位移计测量范围上限输出频率模数， $\text{Hz}^2$ ；

$F_n$  ——振弦式位移计测量范围下限输出频率模数， $\text{Hz}^2$ 。

按公式（3）计算不重复度 $R$ ：

$$R = \left| \frac{C_2}{F_x - F_n} \right| \times 100 \quad (3)$$

式中：

$R$  ——振弦式位移计的不重复度，%FS；

$C_2$ ——三次循环中正行程实际平均特性曲线及反行程特性曲线各自测试点测值的最大差值， $\text{Hz}^2$ 。

按公式（4）计算迟滞 $H$ ：

$$H = \left| \frac{C_3}{F_x - F_n} \right| \times 100 \quad (4)$$

式中：

$H$  ——振弦式位移计的迟滞，%FS；

$C_3$ ——正行程实际平均特性曲线与反行程实际平均特性曲线，各自测试点测值的最大差值， $\text{Hz}^2$ 。

按公式（5）计算综合误差 $Z$ ：

$$Z = \left| \frac{C_4}{F_x - F_n} \right| \times 100 \quad (5)$$

式中：

$Z$  —— 振弦式位移计的综合误差，%FS；

$C_4$  —— 正行程实际平均特性曲线和反行程实际平均特性曲线与工作特性拟合直线测试点测值的最大差值，Hz<sup>2</sup>。

## 8 校准结果表达

校准证书格式参照附录 B。不确定度评定示例见附录 C。

## 9 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、仪器本身质量等诸多因素决定，建议复校时间间隔为 1 年。若仪器频繁使用或环境恶劣，建议缩短复校时间间隔。

附录

附录 A 原始记录格式（参考）

校准原始记录

委托单位：

单位地址：

联系电话：

证书编号：

仪器名称：

型号/规格：

仪器编号：

制造单位：

校准依据：

校准所使用的主要标准器（或标准装置）：

，均溯源至国家

计量基准。

校准地点：

温度：℃

湿度：%RH

校准日期：

校准员：

核验员：

测试点（mm）	输出值（F）					
	进程 1	回程 1	进程 2	回程 2	进程 3	回程 3

## 附录 B 证书内页格式（参考）

校准所使用的主要标准器（或标准装置）					
名称	测量范围	不确定度或准确度等级或最大允许误差		证书号	证书有效期至
本次校准所使用的主要标准器（或标准装置）均溯源至国家计量基准。					
校准的环境条件及地点					
地点		温度	℃	湿度	%RH

## 校准结果

参 数		计算结果
位移性能参数	非线性误差	%FS
	不重复度	%FS
	迟滞	%FS
	综合误差	%FS
测量不确定度		
注：FS为振弦式位移计满量程输出频率模数。		

## 附录 C 振弦式位移计测量结果不确定度评定示例

### C1. 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。

### C2. 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>。

### C3. 校准数据

#### C3.1 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>

#### C3.2 校准计量标准器

##### C3.2.1 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： $MPE \leq \pm 0.04\text{mm}$ 。

##### C3.2.2 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（ $k=2$ ）

#### C3.3 校准数据

振弦式位移计的校准数据见表 C1。

表 C1 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

## C4.灵敏系数计算

对各输入量的偏导数计算如下：

C4.1.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  $c_{F_i} = 0.007\text{mm}$

C4.2.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  $c_{F_i} = -0.007\text{mm}$

C4.3.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：

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

$$\text{则 } u_h = 0.004 \text{ mm}$$

## C5. 输入量的测量不确定度

C5.1 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:  $u(F_i) = \frac{2f}{1000} \cdot u(f) = \frac{2 \times 1070.8}{1000} \times 0.1 = 0.21 \text{ Hz}^2$

C5.2 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:  $u(\delta_v) = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029 \text{ Hz}^2$

C5.3 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  $u(\delta_w) = 0.008/2 = 0.004 \text{ mm}$

C5.4. 重复性引入的不确定度 $u_r$ :

表 C2 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:

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

## C6. 各标准不确定度分量汇总

各标准不确定度分量汇总见表 C3。

表 C3 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	$0.68\text{ Hz}^2$	$0.007\text{ mm}$	$k=2$

C7. 合成标准不确定度

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

代入数据：

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

C8. 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为： $U=ku_c(D)=2\times0.007=0.014\text{mm}$

C9. 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。