



江苏省地方计量技术规范

JJF（苏）289—2024

振弦式裂缝计校准规范

Calibration Specification for Vibrating Wire Type Crack Meter

2024-09-26 发布

2024-12-01 实施

江苏省市场监督管理局 发布

振弦式裂缝计校准规范

Calibration Specification for Vibrating

Wire Type Crack Meter

JJF(苏)289 — 2024

本规范经江苏省市场监督管理局于2024年09月26日批准,并自2024年12月01日起施行。

归口单位: 江苏省市场监督管理局

主要起草单位: 江苏省计量科学研究院

参加起草单位: 水利部南京水利水文自动化研究所

水利部水文仪器及岩土工程仪器质量监督检验测试中心

南京市计量监督检测院

本规范委托江苏省声学计量专业技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

董 平（江苏省计量科学研究院）

钱征宇（江苏省计量科学研究院）

王晓飞（江苏省计量科学研究院）

参加起草人：

李家群（水利部南京水利水文自动化研究所）

陈欣刚（水利部水文仪器及岩土工程仪器质量监督检验测试中心）

崔 磊（南京市计量监督检测院）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(2)
5.1 位移示值误差	(2)
5.2 线性度	(2)
5.3 回程误差	(2)
5.4 重复性	(2)
6 校准条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 测量标准及其他设备	(2)
7 校准项目和校准方法	(2)
7.1 校准项目	(2)
7.2 校准方法	(3)
8 校准结果表达	(5)
9 复校时间间隔	(6)
附录 A 校准原始记录格式示例	(7)
附录 B 振弦式裂缝计测量结果不确定度评定示例	(8)

引 言

本规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》的要求编制。本规范参考了 JJF 1305-2011《线位移传感器校准规范》、GB/T 3410.2-2008《大坝监测仪器测缝计第2部分：振弦式测缝计》。

本规范为首次制定。

振弦式裂缝计校准规范

1 范围

本规范适用于振弦式裂缝计的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJF 1001-2011 通用计量术语及定义技术规范

JJF 1305-2011 线位移传感器校准规范

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

3.1 振弦式裂缝计 vibrating wire type crack meter

利用振弦的固有频率变化来测量变形量的振弦式传感器。

3.2 线性度 linearity

振弦式裂缝计正、反行程实际平均特性曲线相对于参比直线的最大偏差与满量程输出的百分比。

3.3 满量程输出 full scale output

在规定条件下，振弦式裂缝计的最大输出频率的平方和最小输出频率的平方的代数差。

注：以频率模数（输出频率的平方除以1000）为输出量的振弦式裂缝计，其满量程输出为其最大输出频率模数和最小输出频率模数的代数差。

4 概述

振弦式裂缝计是一种测量结构物伸缩缝或周边缝的开合度(变形)的土木工程质量检测设备。主要应用于水利大坝、滑坡、地质灾害、高速公路、铁路、桥梁、隧道、基坑施工等领域。它的工作原理是当结构物发生变形，通过前、后端座传递给转换机构，带动振弦使其产生应力变化，从而改变振弦的振动频率。电磁线圈激振振弦并测量其振动频率，频率信号经电缆传输至频率读数仪上，即可测出被测结构物的变形量。

振弦式裂缝计一般是由振弦传感器、数据显示仪等组成的测量系统。

5 计量特性

5.1 位移示值误差： $\pm 2.5\%FS$ 。

5.2 线性度： $\pm 2.0\%FS$ 。

5.3 回程误差： $1.0\%FS$ 。

5.4 重复性： $0.5\%FS$ 。

注：以上指标不是用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 温度： $(20 \pm 2) ^\circ C$ ；

6.1.2 相对湿度：不大于 75%；

6.1.3 大气压强： $86kPa \sim 106kPa$ ；

6.1.4 实验室及周围环境应无振动和冲击源，无强电场、强磁场、强声场的干扰。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 振弦式频率读数仪：MPE： $\pm 0.1\%$ ；

6.2.2 长度测量装置：分辨力优于 $0.02mm$ ；

6.2.3 专用可移动位移装置。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 1。

表 1 校准项目

序号	校准项目	检查、校准方法条款编号
1	位移示值误差	7.2.3
2	线性度	7.2.4
3	回程误差	7.2.5
4	重复性	7.2.6

7.2 校准方法

7.2.1 校准前检查

通过目测,检查振弦式裂缝计的外观和标志,应具有铭牌,并标有产品名称、型号、出厂编号、制造厂商。仪器引出的电缆、护套应无损伤。

7.2.2 设备的连接和安装

将振弦式裂缝计固定安装在专用可移动位移装置上,输出端连接到振弦频率读数仪。将专用位移移动装置移动至预定校准点,对裂缝计进行不少于三次的预拉伸。

7.2.3 位移示值误差

7.2.3.1 在裂缝计输出范围内,均匀选取不少于6个校准点(包括上、下限)。以正、反行程为一个测量循环,共进行三个循环。

7.2.2.2 测量时,按顺序读出标准器给出的位移值 L_i 和各校准点上的输出值 y_i 。各校准点的正、反行程输出值的算术平均值分别按照式(1)和式(2)计算:

$$\overline{M}_i = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^n y_{Mij} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (j=1, 2, 3) \quad (1)$$

$$\overline{N}_i = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^n y_{Nij} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (j=1, 2, 3) \quad (2)$$

式中:

i ——第 i 个校准点, $i=1, 2, \dots, 10, 11$, 下同(另有说明除外);

j ——第 j 次测量行程次序数, $j=1, 2, \dots$, 下同;

y_{Mij} ——被校裂缝计正行程第 j 次行程第 i 个校准点输出值;

y_{Nij} ——被校裂缝计反行程第 j 次行程第 i 个校准点输出值;

\overline{M}_i ——被校裂缝计正行程第 i 个校准点三个循环输出值的平均值;

\overline{N}_i ——被校裂缝计反行程第 i 个校准点三个循环输出值的平均值。

各校准点的正行程和反行程输出值的算术平均值,按公示(3)计算:

$$\overline{y}_i = \frac{1}{2} (\overline{M}_i + \overline{N}_i) \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中:

\overline{y}_i ——被校裂缝计在第 i 个校准点三个循环正反行程输出值的平均值。

采用最小二乘法计算参比直线方程,见式(4),

$$Y_i = Y_0 + KL_i \quad (4)$$

式中:

Y_i ——被校准裂缝计在第 i 个校准点输出量的拟合输出值;

Y_0 ——参比直线的截距;

K ——参比直线的斜率。

斜率 K 及截距 Y_0 的计算公式如下, 见式 (5)、式 (6),

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n L_i^2 \sum_{i=1}^n \bar{y}_i - \sum_{i=1}^n L_i \sum_{i=1}^n \bar{y}_i L_i}{n \sum_{i=1}^n L_i^2 - (\sum_{i=1}^n L_i)^2} \quad (5)$$

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^n \bar{y}_i L_i - \sum_{i=1}^n L_i \sum_{i=1}^n \bar{y}_i}{n \sum_{i=1}^n L_i^2 - (\sum_{i=1}^n L_i)^2} \quad (6)$$

式中:

L_i ——被校准裂缝计在第 i 个校准点的输入值。

7.2.3.3 根据参比方程式 (4) 求出被校裂缝计在第 i 个校准点处的拟合输出值 Y_i , 按照式 (7) 计算被校准裂缝计第 j 次行程中第 i 个校准点的误差 δ_{ij} , 取三个循环正、反行程中绝对值最大的作为第 i 个校准点上的误差值, 取各校准点中绝对值最大的作为位移示值误差测量结果。

$$\delta_{ij} = \frac{y_{ij} - Y_i}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (7)$$

式中:

y_{ij} ——被校裂缝计第 j 次行程中第 i 个校准点输出值;

Y_{FS} ——满量程输出, 由式 (8) 确定, 下同。

$$Y_{FS} = Y_M - Y_N \quad (8)$$

式中:

Y_M ——位移至上限值时三个循环正、反行程输出量的平均值;

Y_N ——位移至下限值时三个循环正、反行程输出量的平均值。

7.2.4 线性度

按参比直线方程式求出裂缝计在第 i 个校准点处的拟合输出值 Y_i 后, 由式 (9) 计算各校准点的偏差, 取各校准点中绝对值最大的作为线性度测量结果。

$$l_i = \frac{\bar{y}_i - Y_i}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (9)$$

7.2.5 回程误差

按式 (10) 计算裂缝计各校准点的回程误差, 取最大值作为回程误差测量结果。

$$h_i = \frac{|\overline{M}_i - \overline{N}_i|}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (10)$$

7.2.6 重复性

根据三个循环的测量数据，由正、反同向行程在第 i 个校准点三次测量输出值，求出同向行程中相互间的最大差值，取各校准点同向行程中差值最大的为 Δ_i ，按式 (11) 计算位移重复性。

$$\gamma_i = \frac{0.59\Delta_i}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (11)$$

8 校准结果表达

8.1 校准结果的不确定度评定

校准结果的不确定度评定见附录 B。

8.2 校准结果的表达

校准结果应在校准证书上反映。校准证书应至少包含以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书与报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 校准所依据的技术规范的标识，包含名称及代号；
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- l) 对校准规范的偏离的说明；
- m) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- o) 未经实验室书面批准，不得部分复印证书或报告的声明。

9 复校时间间隔

振弦式裂缝计的复校时间间隔一般不超过 1 年。用户也可根据实际使用情况自主确定复校时间间隔。

附录 A

校准原始记录格式示例

送校单位		地址		证书编号	
生产企业		型号规格		出厂编号	
校准依据		校准地点		校准日期	
温度	℃	相对湿度	%	校准员	核验员
标准器	名称	型号规格	出厂编号	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差

1. 外观和标志：

2. 校准数据：

校准点 ()	测得值 ()						正行程 平均值	反行程 平均值	正反行程平均 值 ()
	第一次循环		第二次循环		第三次循环		()	()	值 ()
	正行程	反行程	正行程	反行程	正行程	反行程			
斜率									
截距 ()									
满量程 ()									
位移示值误差 (%)									
线性度 (%)									
回程误差 (%)									
重复性 (%)									
测量结果不确定度 ($k=2$)									

附录 B

振弦式裂缝计测量结果不确定度评定示例

B.1 概述

测量时振弦式裂缝计的一端固定，另一端安装在专用可移动位移装置上。将移动装置移动至预定校准点，在振弦式读数仪上读取模数值，以量程为 100mm 的裂缝计为例，对其位移示值误差进行不确定度评定。

B.2 测量模型

$$\delta_{ij} = \frac{y_{ij} - Y_i}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (\text{B.1})$$

式中：

δ_{ij} ——被校准裂缝计第 j 次行程中第 i 个校准点的误差；

y_{ij} ——被校准裂缝计在第 j 次行程中第 i 个校准点的输出值；

Y_i ——被校裂缝计在第 i 个校准点处的拟合输出值；

Y_{FS} ——满量程输出。

B.3 方差与灵敏系数

当裂缝计安装位置和环境条件确定后，式中拟合输出值及 Y_{FS} 满量程输出值可当做常量处理，式中只有 y_{ij} 作为一个变量，只考虑影响该实际测量值的相对不确定度。

其灵敏系数为：

$$c = \frac{\partial \delta_{ij}}{\partial y_{ij}} = 1 \quad (\text{B.2})$$

B.4 不确定度来源

影响裂缝计位移示值误差测量结果的主要因素有长度测量装置示值误差、振弦式频率读数仪的示值误差、测量重复性，在评定不确定度时考虑这些因素。

B.5 标准不确定度评定

B.5.1 长度测量装置示值误差引入的不确定度分量 u_1

长度测量装置示值误差 $\pm 0.02\text{mm}$ 。按均匀分布处理, $k = \sqrt{3}$, 则数显指示表示值误差引入的不确定度分量为:

$$u_1 = \frac{0.02}{\sqrt{3} \times 100} \times 100\% = 0.012\%$$

B. 5. 2 振弦式频率读数仪示值误差引入的不确定度分量 u_2

振弦式频率读数仪的示值误差为 MPE: $\pm 0.1\%$, 按均匀分布处理, $k = \sqrt{3}$, 则振弦式频率读数仪示值误差引入的不确定度分量为:

$$u_2 = \frac{0.1\%}{\sqrt{3}} \times 100\% = 0.058\%$$

B. 5. 3 裂缝计安装误差引入的不确定度分量

传感器的安装误差主要有阿贝误差和余弦误差。实际测量过程中, 合理布局测量装置和裂缝计的位置, 这样由安装误差引入的不确定度分量可以忽略不计。

B. 5. 4 裂缝计测量重复性引入的不确定度分量 u_3

以 SXF-50A 型裂缝计为例, 选择位移 25mm 校准点测量 6 组数据如下:

序 号	测得值（模数）						正行程 平均值 （模 数）	反行程 平均值 （模 数）	正反行 程平均 值（模 数）	位移示 值误差 （%）
	第一次循环		第二次循环		第三次循环					
	正行程	反行程	正行程	反行程	正行程	反行程				
1	4625.1	4606.6	4619.5	4603.6	4618.6	4602.7	4621.1	4604.3	4612.7	0.41
2	4623.4	4603.0	4621.5	4605.6	4619.6	4602.7	4621.5	4603.8	4612.6	0.39
3	4616.4	4602.6	4612.3	4602.7	4615.8	4603.5	4614.8	4602.9	4608.9	0.30
4	4606.4	4598.6	4611.8	4603.8	4605.8	4601.5	4608.0	4601.3	4604.7	0.24
5	4615.2	4602.6	4616.3	4600.3	4615.6	4602.5	4615.7	4601.8	4608.8	0.29
6	4592.2	4595.7	4598.3	4594.1	4606.3	4598.8	4598.9	4596.2	4597.6	0.17

取各测量点示值误差最大值和最小值之差作为极差, 当 $n=6$ 时, 极差系数 $C=2.53$, 缝计测量重复性引入的不确定度分量为:

$$u_3 = \frac{0.41\% - 0.17\%}{2.53} \times 100\% = 0.095\%$$

B.6 合成标准不确定度的计算

以上各量互不相关，则合成不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = \sqrt{0.012\%^2 + 0.058\%^2 + 0.095\%^2} = 0.11\%$$

B.7 扩展不确定度的确定

取 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 2 \times 0.11\% \approx 0.3\%$$

江苏省地方计量技术规范
振弦式裂缝计校准规范
JJF(苏)289—2024
江苏省市场监督管理局发布

*

江苏省计量协会印刷
版权所有不得翻印

*

开本 880 mm×1230 mm 16 开本
2024 年 12 月 印刷