



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—XXXX

洞体应变仪校准规范

Calibration Specification for Cave Strainmeter

(征求意见稿)

202X - XX - XX 发布

202X - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

洞体应变仪校准规范

Calibration Specification for Cave
Strainmeter

JJF XXXX—XXXX

归口单位：全国地震专用计量测试技术委员会

主要起草单位：中国地震局地震研究所

参加起草单位：中国地震局武汉地球观测研究所

本规范委托全国地震专用计量测试技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

周云耀（中国地震局地震研究所）

吴 欢（中国地震局地震研究所）

吕永清（中国地震局地震研究所）

吕品姬（中国地震局地震研究所）

马武刚（中国地震局地震研究所）

参加起草人：

齐军伟（中国地震局武汉地球观测研究所）

向 涯（中国地震局武汉地球观测研究所）

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
6 校准条件	2
6.1 环境条件	2
6.2 测量标准	2
7 校准项目和校准方法	3
8 校准结果	5
9 复校时间间隔	6
附录 A	7
附录 B	10
附录 C	13

引 言

JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

洞体应变仪校准规范

1 范围

本规范适用于地震监测专用设备洞体应变仪的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 19531.3—2004 地震台站观测环境技术要求第3部分：地壳形变观测

DB/T 31.2—2008 地震观测仪器进网技术要求 地壳形变观测仪 第2部分：应变仪

DB/T 8.1—2003 地震台站建设规范 地形变台站 第1部分：洞室地倾斜和地应变台站

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

下列术语和定义适用于本规范。

3.1 灵敏度 sensitivity

测量仪器响应的变化除以对应的激励变化。

3.2 分辨力 resolution

仪器仪表指示装置可有意义地辨别被指示量两邻近值的能力。

3.3 量程 span

范围上限值与下限值的代数差。

3.4 线性度误差 linearity error

校准曲线与规定直线之间的最大偏差。

4 概述

洞体应变仪是精密测量地壳岩体两点间水平距离相对变化的仪器，适用于观测地壳应变和固体潮水平分量的连续变化，可为研究地震孕育过程的水平应变的变化规律提供数据，也可为地球弹性研究提供数据。

洞体应变仪的基本工作原理是：以线膨胀系数极小的材料作测量基线，基线一端（固定端 A）固定安装在仪器墩上（称为固定墩），另一端（测量端 B）与

位移传感器一起置于另一个仪器墩上（称为测量墩），如图 1 所示。在洞体密封较好、温度变化限制在特定范围的条件下，视基线长度不变。

当地壳岩石发生压缩或拉伸变化，反映为固定墩与测量墩之间距离发生变化时，位移传感器将此间距变化转换为电信号输出，通过计算可得到地壳表面 A、B 两点间的相对变化量即水平线应变：

$$\varepsilon = \frac{L' - L}{L} = \frac{\Delta L}{L} \quad (4.1)$$

式中： ε 为线应变，即单位长度的相对变化量； L 为基线长度，即 A、B 两点间起始距离； L' 为发生变化后的两点间距离， ΔL 为变化量。

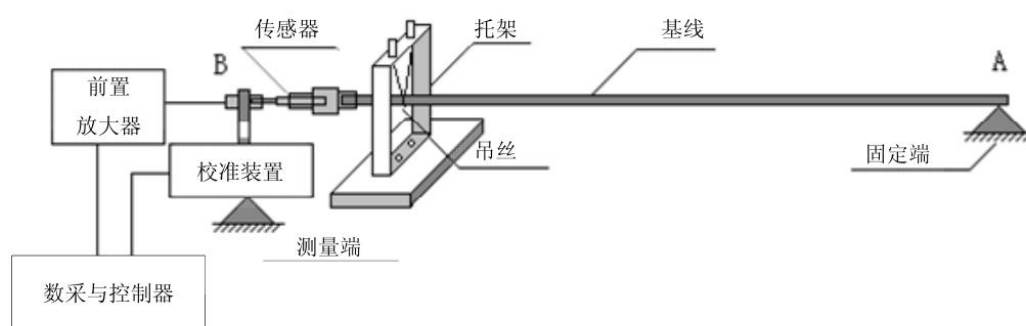


图1 洞体应变仪工作原理示意图

5 计量特性

5.1 灵敏度：以标称灵敏度为基准，最大允许误差： $\pm 3\%$ ；

5.2 分辨力：不大于 5×10^{-10} ；

5.3 量程：不小于 5×10^{-6} ；

5.4 线性度误差：不大于 1%。

注：以上指标不是用于合格性判定，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度： $5^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ ，温度变化应小于 0.5°C 。

6.1.2 相对湿度：小于 98%。

6.1.3 电源电压：AC198V~242V 或 DC10.5V~15.0V。

6.1.4 磁场条件：无影响校准工作的电磁干扰。

6.2 测量标准

- (1) 激光干涉仪：测量范围（0~1）m，分辨力 1nm。
- (2) 数据采集器：满量程±20V，最大允许误差小于满量程 1%，线性度误差小于 0.003%，分辨力不小于 24 位。

7 校准项目和校准方法

7.1 灵敏度

被校设备北南向和东西向分别进行校准。

- (1) 使用被校设备自标定装置，在量程范围内产生水平位移变化（共重复 10 次）。
- (2) 使用激光干涉仪测定水平位移变化 ΔL 。
- (3) 数据采集器记录应变仪输出电压变化量 y 。
- (4) 计算灵敏度

$$n = \frac{\Delta \bar{y}}{\Delta \bar{L}} \quad (7.1)$$

式中： n -被校仪器灵敏度，单位为（V/m）；

$\Delta \bar{y}$ -应变仪输出电压变化量平均值；

$\Delta \bar{L}$ -应变变化量平均值。

7.2 分辨力

对被校设备北南向和东西向分别进行校准。

- (1) 分辨力按式（7.2）计算得出。

$$d' = \frac{y}{n} \quad (7.2)$$

(2) 采用固体潮推算的方法，在固体潮信号（理论值）极值点附近约 10 个~20 个分辨力指标（即 $5 \times 10^{-9} \sim 10 \times 10^{-9}$ ）范围内，将以时间为变量的信号序列变换为以 0.5 倍~1.0 倍分辨力的应变量为变量的信号序列，在极值点区域归算后的测量值与理论值之差就是仪器不能响应部分，即仪器的分辨力。

- (3) 按式（7.3）计算归一化系数

$$k = \frac{2 \times (n-2)}{(d'_n - d'_2) + (d'_{-n} - d'_{-2})} \times \frac{3 \times 10^{-10}}{10^{-10}} \quad (7.3)$$

式中： k -归一化系数；

n -取值以 7~15 为宜；

d' -为理论值 d 间隔 3×10^{-10} 相应时间间隔序列的观测值。

$$(4) \text{ 计算归一化序列值 } d_i'' = k \cdot d_i', \quad i = -n, \dots, -1, 0, 1, \dots, n。 \quad (7.4)$$

$$\overline{d''} = \left(\frac{\sum_{i=2}^n d_i''}{(n-2)+1} + \frac{\sum_{i=-2}^{-n} d_i''}{(n-2)+1} \right) / 2 \quad (7.5)$$

$$\overline{d_i''} = \overline{d''} + (1 + n/2 - |i|) \times 3 \quad (7.6)$$

$$\Delta d_i'' = d_i'' - \overline{d_i''} \quad (7.7)$$

$\Delta d_i''$ 中最大值即为推算的仪器分辨力。

7.3 线性度误差

对被校设备北南向和东西向分别进行校准。

(1) 使用被校设备自标定装置，按量程的 10% 的间隔产生水平位移变化。

(2) 使用激光干涉仪测定水平位移变化 ΔL ，线应变变量 ε 按式 (4.1) 计算得出。

(3) 数据采集器记录应变仪输出电压变化量 y ，通过下列数据处理方法分析处理所记录测试数据，计算出仪器的线性度误差。

ε_i 为应变化量， y_i 为每次变化时仪器上、下两个输出值的平均值；

$$\overline{\varepsilon} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \quad (i=1, 2, \dots, 10) \quad (7.8)$$

$$\overline{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (7.9)$$

$$L_{\varepsilon\varepsilon} = \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \overline{\varepsilon})^2 \quad (7.10)$$

$$L_{\varepsilon y} = \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \overline{\varepsilon})(y_i - \overline{y}) \quad (7.11)$$

$$a = \overline{y} - b\overline{\varepsilon} \quad (7.12)$$

$$b = \frac{L_{\varepsilon y}}{L_{\varepsilon\varepsilon}} \quad (7.13)$$

$$\text{直线拟合值:} \quad Y_i = a + b\varepsilon_i \quad (7.14)$$

$$\text{线性偏差} \quad \Delta y_i = y_i - Y_i \quad (7.15)$$

线性度误差为：

$$d = \frac{\Delta y_{\max}}{\Delta y_{FS}} \times 100\% \quad (7.16)$$

式中： d - 线性度误差；

Δy_{\max} - Δy_i 中最大极差值；

Δy_{FS} - 实际测试输出满度值。

7.4 量程

对被校设备北南向和东西向分别进行校准。

(1) 使用被校设备自标定装置，按量程的 10% 的间隔产生水平位移变化。

(2) 使用激光干涉仪测定水平位移变化 ΔL ，线应变变量 ε 按式 (4.1) 计算得出，在线性度范围内其最大应变变量 ε_{\max} 即量程。

8 校准结果

校准结果应在校准证书上反映。校准证书至少应包含以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室的名称和地址；
- 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) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；

- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书的声明。

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、仪器本身质量等因素所决定的, 因此送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔, 建议不超过 1 年。

附录 A

洞体应变仪校准结果不确定度评定-

A.1 测量方法

依据本校准规范 7.3 中的线性度误差校准方法，对被校设备进行测试。

A.2 测量模型

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \quad (i=1, 2, \dots, 10) \quad (\text{A.1})$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (\text{A.2})$$

$$L_{\varepsilon\varepsilon} = \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2 \quad (\text{A.3})$$

$$L_{\varepsilon y} = \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})(y_i - \bar{y}) \quad (\text{A.4})$$

$$a = \bar{y} - b\bar{\varepsilon} \quad (\text{A.5})$$

$$b = \frac{L_{\varepsilon y}}{L_{\varepsilon\varepsilon}} \quad (\text{A.6})$$

直线拟合值：

$$Y_i = a + b\varepsilon_i \quad (\text{A.7})$$

线性偏差：

$$\Delta y_i = y_i - Y_i \quad (\text{A.8})$$

线性度误差为：

$$d = \frac{\Delta y_{\max}}{\Delta y_{FS}} \times 100\% \quad (\text{A.9})$$

式中：

ε_i - 应变变量；

y_i - 每次变化时仪器上、下两个输出值的平均值；

d - 线性度误差；

Δy_{\max} - Δy_i 中最大极差值；

Δy_{FS} - 实际测试输出满度值。

A.3 测量不确定度的主要来源

线性度误差的测量不确定度主要来源有：

- a) 由激光干涉仪精度引入的测量不确定度分量 u_x ；
- b) 由数采电压分辨力引入的测量不确定度分量 u_v 。

A.4 标准不确定度评定

A.4.1 激光干涉仪精度引入的测量不确定度分量 u_x

激光干涉仪的分辨力为 1nm，取实验标称长度 1μm，假设误差服从均匀分布，则由激光干涉仪精度引入的不确定度为：

$$u_x = \frac{1\text{nm}}{2\sqrt{3}} \approx 0.29\text{nm}$$

通过不确定度传播律计算得灵敏度系数：

$$c_x = \frac{1}{\Delta H}$$

其中 ΔH 为最大线性偏差 Δy_{\max} 对应的激光干涉仪的读数（作为典型值）。

A.4.2 数采电压分辨力引入的测量不确定度分量 u_v

数采电压分辨力为 0.1 mV，假设误差服从均匀分布，则由数采电压分辨力引入的测量不确定度分量 u_v 为：

$$u_v = \frac{0.1\text{mV}}{2\sqrt{3}} = 0.029\text{mV}$$

接下来计算灵敏度系数，通过不确定度传播律得：

$$c_v = \frac{1}{\Delta y_{FS}}$$

A.5 标准不确定度分量一览表

表 A.1 线性度误差校准的不确定度分量一览表

分量	来源	评定方法	分布	c_i	$u(x_i)$
u_x	激光干涉仪精度	B	均匀	c_x	0.29nm
u_v	数采电压分辨力	B	均匀	c_v	0.029mV

A.6 合成标准不确定度 u_d

考虑到各影响量，且各不确定度分量独立不相关，则线性度误差的合成标准

不确定度为：

$$u_d = \sqrt{c_X^2 u_X^2 + c_V^2 u_V^2}$$

计算得到：

$$u_d(NS) = 0.0037\%$$

$$u_d(EW) = 0.0073\%$$

A.7 扩展不确定度 U_d

取包含因子 $k=2$ ，被校仪器线性度误差测量的扩展不确定度为：

$$U_d(NS) = 2 \times 0.0037\% = 0.0074\%$$

$$U_d(EW) = 2 \times 0.0073\% = 0.0146\%$$

附录 B

校准结果记录样式

校准结果记录

B.1 被校仪器概况

送校单位：

仪器名称：

仪器型号：

仪器出厂编号：

B.2 校准设备及校准地点

	器具名称	器具型号	出厂编号	溯源证书编号	有效期至
计量器具					
校准地点					
环境条件					

B.3 校准人员

B.4 校准结果记录

1、校准项目：灵敏度

分量：

	输入	仪器输出	灵敏度
	干涉仪读数		

$K =$	分辨力 $\Delta d''_{i \max} =$
-------	-----------------------------

3、校准项目：量程

校准结果：

量程测试数据表格

分量：

序号	干涉仪读数 ΔL (μm)	应变量 (10^{-6})
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

4、校准项目：线性度误差

校准结果：

线性度校准记录表格

分量：

序号	干涉仪读数 ΔL (μm)	应变量 (10^{-6})	输出电压值 (mV)	拟合值 (mV)	线性偏差 (mV)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					

10					
			$\Delta y_{FS} =$	$d =$	

附录 C

校准证书格式

校准证书

证书编号：

送校单位：_____

仪器名称：_____

型 号：_____

出厂编号：_____

校准依据：_____

批准人：

(检测机构章) 核验员：

检测员：

年 月 日

校准所使用的标准计量器具及校准地点

计量器具	器具名称	器具型号	出厂编号	溯源证书编号	有效期至
校准地点					
环境条件					

校准结果

序号	项目	校准结果	不确定度
1	灵敏度		
2	分辨力		
3	量程		
4	线性度误差		

声明：本报告只对申请校准设备有效，未经校准实验室书面批准，不得复制本报告！

正文部分以下空白！