



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—XXXX

水管倾斜仪校准规范

Calibration Specification for Water Tube Tiltmeter

(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

水管倾斜仪校准规范

Calibration Specification for Water Tube
Tiltmeter

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。

水管倾斜仪校准规范

1 范围

本规范适用于地震监测专用设备水管倾斜仪的校准。

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 31.1—2008 地震观测仪器进网技术要求 地壳形变观测仪 第1部分：倾斜仪

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

水管倾斜仪是一种测量地壳倾斜变化的仪器，除用来测定缓慢倾斜变化、倾斜固体潮与捕捉临震前兆信息外，还可用于地球动力学与精密工程测量等方面。

水管倾斜仪是利用连通管原理，根据静止的液面在重力作用下保持同一水平面的特点进行地倾斜观测的。当连通管的两端随地壳形变出现高差变化时，水管两端的液面便会相对于仪器出现垂直位移，测量出这个微小变化量后，即可确定

该方向地倾斜的状态。

假设地面倾斜变化前，水管仪两端液面的平衡位置的读数分别为 H_{10} 、 H_{20} ，以此作为液面起始读数。当两端由于地倾斜使基底出现 Δh 的相对高差变化时，两液面高差分别改变 h_1 、 h_2 而达到新的液面平衡状态 O_1 、 O_2 ，其两端液面高度读数分别为 H_1 、 H_2 。

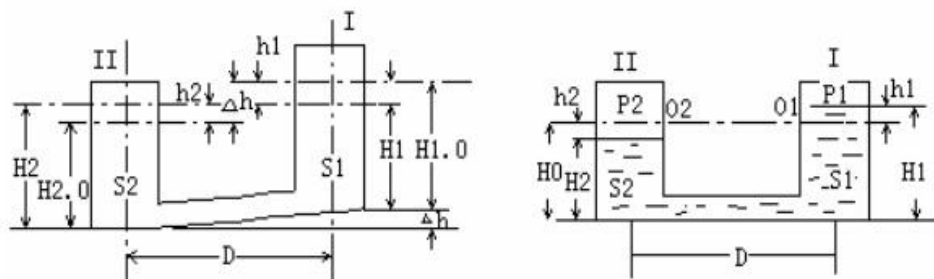


图1 水管倾斜仪观测原理示意图

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 $0.0002''$ ；

5.3 量程：不小于 $2''$ ；

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： $\text{AC}198\text{V}\sim 242\text{V}$ 或 $\text{DC}10.5\text{V}\sim 15.0\text{V}$ 。

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 $(0\sim 1)\text{m}$ ，分辨力 1nm 。

(2) 数据采集器：满量程 $\pm 20\text{V}$ ，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

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, 在量程范围内产生水位变化(共重复 10 次)。

(2) 使用激光干涉仪测定水位变化 ΔH , 倾斜变化量 x 按式 (7.1) 计算得出。

$$x = \frac{\Delta H}{L/2} \rho \times 2 \quad (7.1)$$

式中: x -被校设备倾斜变化量, 单位为角秒 (");

ΔH -被校设备水位变化量, 单位为米 (m);

L -被校设备基线长度, 单位为米 (m);

ρ -转换系数, $\rho=206265$ 。

(3) 数据采集器记录倾斜仪输出电压变化量 y 。

(4) 计算灵敏度
$$n = \frac{\Delta \bar{y}}{\Delta \bar{x}} \quad (7.2)$$

式中: n -被校仪器灵敏度, 单位为 (V/");

$\Delta \bar{y}$ -倾斜仪输出电压变化量平均值;

$\Delta \bar{x}$ -倾斜变化量平均值。

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 (7.3) 计算得出。

$$d' = \frac{y}{n} \quad (7.3)$$

(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 0.002"~0.004")范围内, 将以时间为变量的信号序列变换为以 0.5 倍~1.0 倍分辨力的倾斜量为变量的信号序列, 在极值点区域(小于 1×0.0002"~2×0.0002")归算后的测量值和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 (7.1) 计算归一化系数

$$k = \frac{2 \times (n-2)}{(d'_n - d'_2) + (d'_{-n} - d'_{-2})} \times \frac{0.0001''}{0.001''} \quad (7.4)$$

式中： k -归一化系数；

n -取值以 7~15 为宜；

d' -为理论值 d 间隔 0.0001" 相应时间间隔序列的观测值。

$$(4) \text{ 计算归一化序列值 } d_i'' = k \cdot d_i', \quad i = -n, \dots, -1, 0, 1, \dots, n. \quad (7.5)$$

$$\overline{d''} = \left(\frac{\sum_{i=2}^n d_i''}{(n-2)+1} + \frac{\sum_{i=-2}^{-n} d_i''}{(n-2)+1} \right) / 2 \quad (7.6)$$

$$\overline{d_i''} = \overline{d''} + (1 + n/2 - |i|) \times 0.1 \quad (7.7)$$

$$\Delta d_i'' = d_i'' - \overline{d_i''} \quad (7.8)$$

$\Delta d_i''$ 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% 的间隔产生水位变化。

(2) 使用激光干涉仪测定水位变化 ΔH ，倾斜变化量 x 按式 (7.1) 计算得出。

(3) 数据采集器记录倾斜仪输出电压变化量 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。

x_i 为倾斜变化量， y_i 为每次变化时仪器上、下两个输出值的平均值；

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (i=1, 2, \dots, 10) \quad (7.9)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (7.10)$$

$$L_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (7.11)$$

$$L_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (7.12)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (7.13)$$

$$b = L_{xy} / L_{xx} \quad (7.14)$$

直线拟合值：

$$Y_i = a + bx_i \quad (7.15)$$

$$\text{线性偏差} \quad \Delta y_i = y_i - Y_i \quad (7.16)$$

线性度误差为：

$$d = \frac{\Delta y_{\max}}{\Delta y_{FS}} \times 100\% \quad (7.17)$$

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% 的间隔产生水位变化。

(2) 使用激光干涉仪测定水位变化 ΔH ，倾斜变化量 x 按式 (7.1) 计算得出，在线性度范围内其最大倾斜变化量 x_{\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和应用有关时，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

不确定度评定-以线性度误差为例

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

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

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

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

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

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

$$b = \frac{L_{xy}}{L_{xx}} \quad (\text{A.6})$$

直线拟合值：

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

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：

x_i - 平台倾斜变化量；

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：

$$u_d(NS) = 0.004\%$$

$$u_d(EW) = 0.029\%$$

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：

$$U_d(NS) = 2 \times 0.004\% = 0.008\%$$

$$U_d(EW) = 2 \times 0.029\% = 0.058\%$$

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
--	----	------	-----

序号	干涉仪 ΔH (μm)	倾角 x (")	y (V)	n (V/")
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
平均值				

2、校准项目：分辨力

校准结果：

固体潮推算分辨力记录表

分量：

i	日期和 时间	理论值 d_i (0.001")	时间间隔 T_i (min)	观测值 d'_i (0.001")	归一化 d''_i (0.001")	拟合值 $\overline{d''_i}$ (0.001")	差值 $\Delta d''_i$ (0.001")
$K=$				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 ΔH (μm)	倾斜量 x_i ($''$)
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 ΔH (μm)	平台倾斜量 x_i ($''$)	倾斜仪输出 y_i (mV)	直线拟合值 Y_i (mV)	线性偏差 Δy_i (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：

(校准机构章) 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！