

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1550—2015

钻孔测斜仪校准规范

Calibration Specification for Borehole Clinometers

2015-12-07 发布

2016-03-07 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

钻孔测斜仪校准规范

Calibration Specification for Borehole Clinometers

JJF 1550—2015

归口单位：全国惯性技术计量技术委员会

主要起草单位：上海市计量测试技术研究院

中航工业北京长城计量测试技术研究所

参加起草单位：上海地学仪器研究所

航天科工惯性技术有限公司

北京通联四方科技有限公司

本规范委托全国惯性技术计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

马建敏（上海市计量测试技术研究院）

董雪明（中航工业北京长城计量测试技术研究所）

参加起草人：

井 然（上海地学仪器研究所）

杨 卓（航天科工惯性技术有限公司）

欧阳静芳（北京通联四方科技有限公司）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(2)
4.1 外观及各部分相互作用	(2)
4.2 灵敏度	(2)
4.3 示值误差	(2)
4.4 示值漂移	(2)
4.5 绝缘电阻	(2)
5 校准条件	(2)
5.1 环境条件	(2)
5.2 校准用标准及其他设备	(2)
6 校准方法	(3)
6.1 外观	(3)
6.2 灵敏度	(3)
6.3 示值误差	(3)
6.4 示值漂移	(5)
6.5 绝缘电阻	(5)
7 校准结果的表达	(5)
8 复校时间间隔	(6)
附录 A 钻孔测斜仪示值误差测量不确定度评定示例	(7)
附录 B 示值误差校准安装方式	(10)
附录 C 校准证书内页格式	(11)

引 言

钻孔测斜仪主要用于地质灾害监测、公路桥梁地基安全监测、水电大坝监测、地震预报研究等领域。本规范参照 JJF 1083—2002《光学倾斜仪校准规范》编写。

本规范为首次发布。

钻孔测斜仪校准规范

1 范围

本规范适用于测量范围为 $-30^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ，最大允许误差为 $\pm 0.025\%FS$ 的基于重力加速度传感器的测斜仪校准，其他测斜仪可以参照执行。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJF 1083—2002 光学倾斜仪校准规范

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 概述

钻孔测斜仪是根据铅垂方向受重力作用，重力加速度传感器输出电压值线性对应于传感器倾斜角度后的竖直方向重力加速度分量（余弦分量），同样可以转换成水平位移分量（正弦分量）。

从结构上可分为两种：深埋式和滑移式。深埋式钻孔测斜仪是将加速度传感器安装在探头内，几十个钻孔测斜仪以列阵的方式永久深埋固定在监测关键位置。滑移式钻孔测斜仪可沿竖直预埋管道分段测量，测斜探棒（探头）轴线和重力铅垂线之间的夹角，即为钻孔倾斜角。倾斜角的变化量由测读仪（显示装置）进行数据采集，经计算机软件统计分析，可以直接或间接地反映地质结构稳定状况。这类仪器主要用于地质灾害监测、公路桥梁地基安全监测、水电大坝监测、地震预报研究等领域。

钻孔测斜仪的典型结构如图 1 所示。

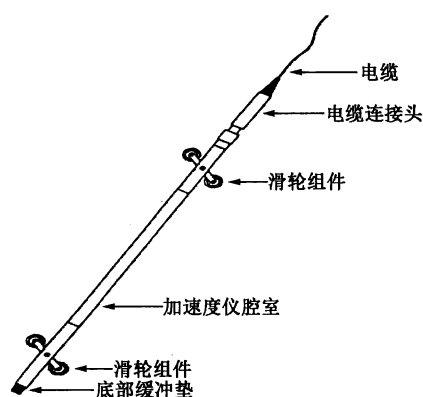


图 1 钻孔测斜仪示意图

测量模型：

$$X_i = L \sin \alpha_i$$

$$Y_i = S \sin \alpha_i$$

式中：

X_i ——位移示值；

L ——导轮间距，一般为 500 mm；

α_i ——对应角度示值，当 $\alpha_i \leq \frac{\pi}{36}$ 时 ($5^\circ = \frac{\pi}{36} \text{ rad}$)， $\sin \alpha_i \approx \alpha_i$ (相对误差 $\leq 0.13\%$)；

Y_i ——电压 (或与 $\sin \alpha_i$ 呈线性关系的无量纲数值)；

S ——灵敏度。

4 计量特性

4.1 外观及各部分相互作用

钻孔测斜仪外观完好，无影响使用的缺陷，导轮转动灵活无晃动，测头的防水密封胶圈完好无损，并符合出厂说明书中承诺的环境和功能。

4.2 灵敏度

钻孔测斜仪输出灵敏度按式 (1)、式 (2) 计算：

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta \lambda} \quad (1)$$

$$S = \frac{\Delta X}{\Delta \lambda} \quad (2)$$

式中：

ΔY ——与电压呈线性关系的示值变化量， $\frac{V}{K}$ (V 为输出电压， K 为标度因数)；

ΔX ——位移示值变化量，mm；

$\Delta \lambda$ ——角位移变化量，(″)。

4.3 示值误差

钻孔测斜仪的最大允许误差：

$\pm 0.025\% \text{ FS}$ (测量范围： $-30^\circ \sim +30^\circ$)

4.4 示值漂移

示值漂移在 1 h 内不大于 4″ (位移量 0.01 mm)。

4.5 绝缘电阻

绝缘电阻 $\geq 50 \text{ M}\Omega$ 。

注：校准工作不判断合格与否，上述计量特性要求仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

校准时室内温度为 $(20 \pm 5)^\circ \text{C}$ ；室温变化 $\leq 1^\circ \text{C/h}$ ；相对湿度 $\leq 70\%$ ，被校准钻孔测斜仪和校准用仪器设备在实验室内均衡时间 $\geq 3 \text{ h}$ 。避震环境，无强电磁场干扰。

5.2 校准用标准及其他设备

校准用标准及其他设备见表 1。

表 1 校准项目和校准设备

序号	校准项目	校准设备
1	灵敏度	优于 4" 的分度台
2	示值误差	优于 4" 的分度台
3	示值漂移	优于 4" 的分度台
4	绝缘电阻	1 000 V 兆欧表

6 校准方法

6.1 外观

检查外观，应符合 4.1 要求。确定没有影响校准计量特性的因素。

6.2 灵敏度

将钻孔测斜仪固定在分度台上，示值调至 0 位。分度台编码器归零，然后分别旋转 $0' \sim 1'$ ， $1' \sim 2'$ ， $2' \sim 3'$ ， $3' \sim 4'$ ， $4' \sim 5'$ ， $5' \sim 6'$ ，产生 6 组 $\Delta\lambda_i$ ，观察仪器示值电压输出的对应变化量，每个角位置分别记录 6 组数据（位移 ΔX_i 或电压 ΔY_i ）。

分别计算 6 组灵敏度 S_i ，将 $\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n}$ 作为该仪器的灵敏度测量值，其中， $n=6$ 。

6.3 示值误差

用分度台预置 25 个标准角度测量点： 0° ， $\pm 0.1^\circ$ ， $\pm 0.2^\circ$ ， $\pm 0.3^\circ$ ， $\pm 0.4^\circ$ ， $\pm 0.5^\circ$ ， $\pm 1^\circ$ ， $\pm 2^\circ$ ， $\pm 5^\circ$ ， $\pm 10^\circ$ ， $\pm 15^\circ$ ， $\pm 20^\circ$ ， $\pm 30^\circ$ 。

校准测量顺序：依次从 0° 为起始点，沿加速度传感器灵敏方向插入仪器导杆，夹持位置为导杆的中部（参考导轮方向。即四个扁平圆盘导轮组成的平面与转轴垂直）定位装夹钻孔测斜仪，详细安装方式参见附录 B。

调整钻孔测斜仪角度，将仪器示值调整为 0° ，记录分度台初始角度值（或将绝对式编码器示值归零）。然后将分度台依次向逆时针和顺时针方向分别旋转，即逆时针方向角度设定为： 0° ， 0.1° ， 0.2° ， 0.3° ， 0.4° ， 0.5° ， 1° ， 2° ， 5° ， 10° ， 15° ， 20° ， 30° 。顺时针方向角度设定为： 0° ， -0.1° ， -0.2° ， -0.3° ， -0.4° ， -0.5° ， -1° ， -2° ， -5° ， -10° ， -15° ， -20° ， -30° 。

钻孔测斜仪测杆须沿加速度敏感方向装夹，位置如图 2 所示，即初始位置 0° 或沿测杆主轴线旋转 180° 位置，装夹位置确定后须作标记并在证书报告中予以说明。

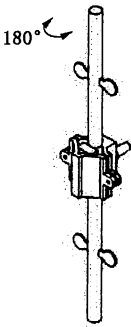


图 2 钻孔测斜仪设定角度时装夹的 2 个供选择位置
分别将顺时针（+）、逆时针（-）方向预置各标准角对应的测斜仪示值按表 2 记录。

表 2 示值误差校准记录

序号	分度台标准 给定角度值 λ_i	受校钻孔测斜 仪示值 X_i 或 Y_i	对应角度示值 α_i $\alpha_i = \arcsin \frac{X_i}{500}$ $\alpha_i = \arcsin \frac{Y_i}{K}$	角度示值绝对误差 $\Delta_i = \alpha_i - \lambda_i$	示值引用误差 $\frac{\Delta_i}{FS} \times 100\%$
1	0°				
2	+0.1°				
3	+0.2°				
4	+0.3°				
5	+0.4°				
6	+0.5°				
7	+1°				
8	+2°				
9	+5°				
10	+10°				
11	+15°				
12	+20°				
13	+30°				
14	0°				
15	-0.1°				
16	-0.2°				
17	-0.3°				

表 2 (续)

序号	分度台标准 给定角度值 λ_i	受校钻孔测斜 仪示值 X_i 或 Y_i	对应角度示值 α_i $\alpha_i = \arcsin \frac{X_i}{500}$ $\alpha_i = \arcsin \frac{Y_i}{K}$	角度示值绝对误差 $\Delta_i = \alpha_i - \lambda_i$	示值引用误差 $\frac{\Delta_i}{FS} \times 100\%$
18	-0.4°				
19	-0.5°				
20	-1°				
21	-2°				
22	-5°				
23	-10°				
24	-15°				
25	-20°				
26	-30°				

注： X_i 为位移示值，mm； Y_i 为电压（或与电压呈线性关系的无量纲数值）； K 为标度因数（由生产厂家提供）。

按上述方法依次测量各校准点的示值误差，取引用误差中最大值作为测量结果。

6.4 示值漂移

选择 3° 点位置测量，每隔 10 min 观察一次，记录一组数据，连续观察 1 h，取 7 个数据中的最大值与最小值之差作为示值漂移。

6.5 绝缘电阻

电缆两头插针对外壳及各插针之间用 1 000 V 兆欧表分别测量其绝缘电阻，并记录，取其中最小值作为其绝缘电阻。

7 校准结果的表达

校准结果应在校准证书或校准报告上反映。校准证书或报告至少应包括以下信息：

- 标题：“校准证书”或“校准报告”；
- 实验室名称和地址；
- 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- 证书或报告的唯一标识（如编号），每页及总页数的标识；
- 客户的名称和地址；
- 被校对象的描述和明确标识；
- 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；
- 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；

- i) 校准装置的溯源性及有效性标识；
- 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) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- m) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- n) 未经实验室书面批准，不准部分复制证书的声明。

8 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。送校单位也可根据实际使用情况自主决定。

附录 A

钻孔测斜仪示值误差测量不确定度评定示例

钻孔测斜仪采用分度台法进行校准，被校仪器选用最大允许误差为： $\pm 0.025\%$ FS 的钻孔测斜仪，标准器选用校准不确定度优于 $U=4''$ ($k=2$) 的分度台。

A.1 钻孔测斜仪示值误差测量不确定度评定

A.1.1 钻孔测斜仪示值误差测量模型

$$\Delta_i = \arcsin \frac{X_i}{L} - \lambda_i \text{ 或 } \Delta_i = \arcsin \frac{Y_i}{K} - \lambda_i$$

式中：

Δ_i ——第 i 校准点的示值误差，($^\circ$)；

X_i ——第 i 校准点的位移示值，mm；

L ——导轮间距，这里取 500 mm；

Y_i ——第 i 校准点的电压（或与电压呈线性关系的无量纲数值）；

λ_i ——分度台给定的第 i 校准点角度值，($^\circ$)。

注：

- 1 钻孔测斜仪示值输出位移量 X (mm) 与角度 λ ($^\circ$) 的数学关系： $\sin\lambda = \frac{X}{L}$ ；
- 2 钻孔测斜仪示值输出电压呈线性关系的数值 Y ，其数学关系： $\sin\lambda = \frac{Y}{K}$ (K 为标度因数)；
- 3 基于上述两种输出其性质相同，都是为一种与 $\sin\lambda$ 呈线性关系的示值，可将其统一设为 $\sin\lambda = Z$ (其中 $Z = \frac{X}{L}$ 或 $Z = \frac{Y}{K}$)。

A.1.2 示值误差

示值误差的测量模型简化为：

$$\Delta = \arcsin Z - \lambda$$

式中：

Δ ——钻孔测斜仪的角度示值绝对误差，($^\circ$)；

Z ——示值线性转换角度值；

λ ——分度台给定角度值，($^\circ$)。

A.2 示值误差不确定度评定

示值误差测量不确定度的来源为以下两方面：

1) 钻孔测斜仪示值带来的不确定度 $u_c(Z)$ ，包括测量重复性带来的影响、环境温度以及装夹承载主轴与装夹定位面不垂直影响。

2) 分度台给定角度值带来的不确定度 $u_c(\lambda)$ 。

A.2.1 钻孔测斜仪示值引入的不确定度 $u_c(Z)$ A.2.1.1 测量重复性引入的不确定度 $u_1(Z)$

选择 3° 位置在重复性条件下进行 10 次测量，结果如下： $+2''$ ， $+1''$ ， $-2''$ ， $+1''$ ，

+2", 0", +1", +2", +1", -2"。计算其标准偏差 s 为:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (Z_i - \bar{Z})^2}{10 - 1}} = 1.5''$$

$$u_1(Z) = s = 1.5''$$

A. 2.1.2 环境温度因素引入的不确定度 $u_2(Z)$

环境温度因素包括: 温度测量误差和测量过程中的环境温度波动两个方面。由钻孔测斜仪针对恶劣环境设计的特性, 环境温度变化对加速度传感器输出信号影响不显著, 此项可以忽略, 即:

$$u_2(Z) = 0$$

A. 2.1.3 装夹承载主轴与装夹定位面不垂直引入的不确定度 $u_3(Z)$

这一影响分量主要考虑的是分度台 V 型槽夹具、钻孔测斜仪圆柱杆的机械加工、装配存在误差。其中钻孔测斜仪测杆表面圆柱度影响属于样品随机送检范畴, 已经计入 A 类不确定度。定位 V 型槽轮廓度加工都可以控制在制造工艺能力范围内, 这里只需考虑装夹角度重复性引入的不确定度分量, 由实验数据得到:

$$u_3(Z) = 2.5''$$

A. 2.1.4 钻孔测斜仪示值测量不确定度 $u_c(Z)$

由于 $u_1(Z) \sim u_3(Z)$ 相互独立, 则钻孔测斜仪示值的相对合成标准不确定度为:

$$u_c(Z) = \sqrt{u_1^2(Z) + u_2^2(Z) + u_3^2(Z)}$$

代入计算得:

$$u_c(Z) = 3''$$

A. 2.2 分度台给定角度值带来的不确定度 $u_c(\lambda)$

分度台作为标准器引入的不确定度 $u_c(\lambda)$, 可根据溯源证书中提供的不确定度作为标准装置示值引入的不确定度分量。

根据分度台的分度标准值要求, 采用优于 $U=4''$ ($k=2$) 的分度台, 这里以 $4''$ 为例计算, 则:

$$u_c(\lambda) = \frac{U}{k} = \frac{4''}{2} = 2''$$

A. 2.3 示值误差测量不确定度分析测量模型

$$u_c(\Delta) = \sqrt{c^2(Z)u_c^2(Z) + c^2(\lambda)u_c^2(\lambda)}$$

式中:

$$c(Z) = \frac{\partial \Delta}{\partial Z} = \frac{1}{\sqrt{1-Z^2}};$$

$$c(\lambda) = \frac{\partial \Delta}{\partial \lambda} = -1;$$

$u_c(Z)$ —— 钻孔测斜仪示值带来的不确定度分量;

$u_c(\lambda)$ —— 分度台给定角度值带来的不确定度分量。

代入整理得：

$$u_c(\Delta) = \sqrt{\left[\frac{1}{\sqrt{1-Z^2}}\right]^2 u_c^2(Z) + 1^2 \cdot u_c^2(\lambda)} = \sqrt{\frac{1}{1-Z^2} u_c^2(Z) + u_c^2(\lambda)}$$

A.3 合成标准不确定度

设各分量相互独立，根据 A.2.3 给出的合成标准不确定度计算式得：

$$u_c(\Delta) = \sqrt{\frac{1}{1-Z^2} u_c^2(Z) + u_c^2(\lambda)}$$

按单侧量程范围 $0^\circ \sim 30^\circ$ ，可见 Z 为一组从 $\sin 0^\circ \sim \sin 30^\circ$ 的变量，代入上式，可以得到一组 $u_c(\Delta)$ 。

当处于 0° 位置时， $Z=0$ ，则：

$$u_c(\Delta) = \sqrt{\frac{1}{1-Z^2} u_c^2(Z) + u_c^2(\lambda)} = \sqrt{u_c^2(Z) + u_c^2(\lambda)} = 3.6''$$

当处于 30° 位置时， $Z=0.5$ ，则：

$$u_c(\Delta) = \sqrt{\frac{1}{1-Z^2} u_c^2(Z) + u_c^2(\lambda)} = 4.0''$$

$$\text{则引用误差：} u_r(\Delta) = \frac{u_c(\Delta)}{30^\circ} \times 100\% = 0.004\%$$

A.4 扩展不确定度

计算钻孔测斜仪示值误差扩展不确定度，包含概率约 95%，取包含因子 $k=2$ ，则误差扩展不确定度为 $U=k \times u_r(\Delta) = 0.008\%$ ， $k=2$ 。

附录 B

示值误差校准安装方式

示值误差校准安装方式如图 B.1 所示。

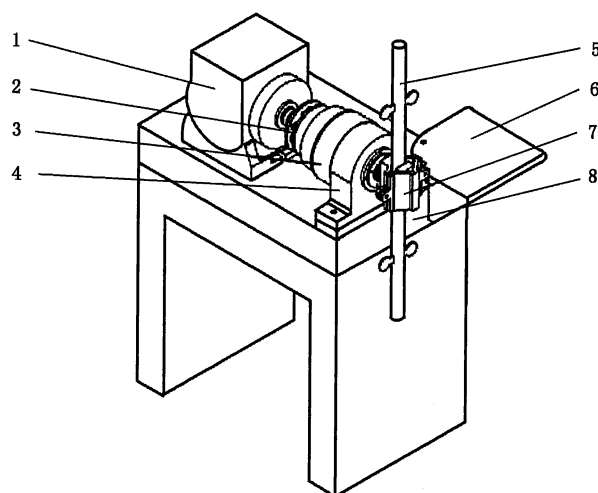


图 B.1 示值误差校准示意图

- 1—转角驱动机构；
- 2—同轴拨盘；
- 3—角度编码器；
- 4—承载转轴座；

- 5—钻孔测斜仪；
- 6—扩展平台；
- 7—样品夹具；
- 8—平台。

附录 C

校准证书内页格式

校准环境： 温度： _____℃ 相对湿度： _____%

校准地点： _____ 其他： _____

1. 外观及各部分相互作用

☐良好

☐缺陷描述：

2. 灵敏度

测量序号 i	1	2	3	4	5	6
测角/(′)	0′~1′	1′~2′	2′~3′	3′~4′	4′~5′	5′~6′
输出/(V 或 无量纲)						
灵敏度/ S_i						
灵敏度均值 \bar{S} ：						

3. 示值引用误差

序号	分度台给定标准 角度值 λ_i	受校测斜仪示值 X_i 或 Y_i	对应角度示值 α_i $\alpha_i = \arcsin \frac{X_i}{500}$ $\alpha_i = \arcsin \frac{Y_i}{K}$	角度示值绝对误差 $\Delta_i = \alpha_i - \lambda_i$	示值引用误差 $\frac{\Delta_i}{FS} \times 100\%$
1	-30.0°				
2	-20.0°				
3	-15.0°				
4	-10.0°				
5	-5.0°				
6	-2.0°				
7	-1.0°				
8	-0.5°				
9	-0.4°				
10	-0.3°				
11	-0.2°				
12	-0.1°				
13	0.0°				

序号	分度台给定标准 角度值 λ_i	受校测斜仪示值 X_i 或 Y_i	对应角度示值 α_i $\alpha_i = \arcsin \frac{X_i}{500}$ $\alpha_i = \arcsin \frac{Y_i}{K}$	角度示值绝对误差 $\Delta_i = \alpha_i - \lambda_i$	示值引用误差 $\frac{\Delta_i}{FS} \times 100\%$
14	+0.1°				
15	+0.2°				
16	+0.3°				
17	+0.4°				
18	+0.5°				
19	+1.0°				
20	+2.0°				
21	+5.0°				
22	+10.0°				
23	+15.0°				
24	+20.0°				
25	+30.0°				
示值引用误差:					

4. 示值漂移

测点	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次
3°							
示值漂移:							

5. 绝缘电阻

测点	1	2	3	4	5	6	7
示值/MΩ							

校准员:

核验员:

中 华 人 民 共 和 国
国 家 计 量 技 术 规 范
钻 孔 测 斜 仪 校 准 规 范

JJF 1550—2015

国家质量监督检验检疫总局发布

*

中国质检出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

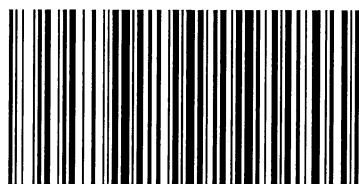
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.25 字数 20 千字
2016年3月第一版 2016年3月第一次印刷

*

书号: 155026·J-3101 定价 21.00 元



JJF 1550-2015

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107