

测斜仪量值溯源体系的探究



阮李英, 王珂, 宋青豫

河南省商丘市质量技术监督检验测试中心, 商丘 4761000

【摘要】 对于测斜仪目前国家没有统一的检定规程或校准规范, 为了更好地保证量值溯源准确可靠, 对不同类型测斜仪给出了明确的技术指标, 并给出了相应检定装置的技术指标, 对检定方法进行了详细论述, 对测斜仪计量性能的量值溯源和不确定度进行了分析。

【关键词】 测斜仪; 检定; 量值溯源; 不确定度

DOI: 10.12338/j.issn.2096-9015.2020.0028

【引用本文】 阮李英, 王珂, 宋青豫. 测斜仪量值溯源体系的探究 [J]. 计量科学与技术, 2021, 65(7): 73-76.

Research on the Traceability System of Inclinometer

RUAN Liying, WANG Ke, Song Qingyu

Shangqiu Quality and Technical Supervision, Inspection and Testing Center, Shangqiu 4761000, China

【Abstract】 There is no unified verification regulation or calibration specification for inclinometers. To better ensure the accuracy and reliability of measurement traceability, this paper gives clear technical indicators for different types of inclinometers, and gives the technical indicators of corresponding verification devices, discusses the verification methods in detail, and analyzes the measurement traceability and uncertainty of the measurement performance of inclinometers.

【Key words】 inclinometer, verification, traceability, uncertainty

0 引言

测斜仪被广泛用来测量油田或矿山钻井的井斜角、方位角和工具面角, 它利用重力加速度表和磁通门传感器分别感应地球的重力场和地磁场来测量被测目标的井斜角和井斜方位角、侧向位移及地面沉降等, 具有耐久性、高精度和快速反应等优点。

对于测斜仪, 目前国家没有统一的检定规程或校准规范, 各工程矿业、各计量技术机构单位采用的校准方法、参数及技术要求各不相同, 并且不够规范和完善。为了更好地保证量值溯源准确可靠, 保证测斜仪在岩土工程设计、施工及其使用安全中满足测量要求, 我们参考了相关企业标准、学术期刊上的论文等技术资料, 并进行了大量的实验, 采用科学合理、便于操作的原则, 对测斜仪的校准进行了实践性的探究。

1 概述

根据仪器的工作原理与使用途径不同, 测斜仪可以分为照相式测斜仪、电子单多点测斜仪、陀螺测斜仪、有线随钻测斜仪、无线随钻测斜仪、矿用测斜仪(定向式、非定向式)和滑动式岩土测斜仪等类型, 主要由探头、电缆、数据处理仪及计算机等部分组成, 其示意图见图 1。

2 测斜仪的检定

2.1 检定项目及要求

针对测斜仪技术要求, 分别对照照相式测斜仪、电子单多点测斜仪、陀螺测斜仪、有线随钻测斜仪、无线随钻测斜仪、矿用测斜仪(定向式、非定向式)和滑动式岩土测斜仪等类型的各项技术指标提出检定项目及要求, 如表 1 所示。

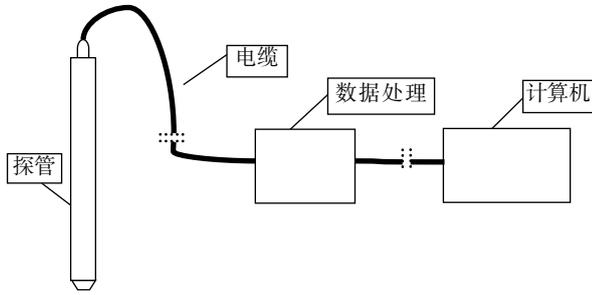


图 1 测斜仪示意图

Fig.1 Schematic diagram of inclinometer

表 1 检定项目及要 求

Tab.1 Verification items and requirements

测斜仪类型	检定项目	测量范围	最大允许误差
照相式测斜仪	井斜角	0° ~ 10°	±0.2°
		0° ~ 20°	±0.2°
		15° ~ 90°	±0.4°
	方位角	0° ~ 360°(井斜角 ≥ 5°)	±1.5°
陀螺测斜仪	井斜角	0° ≤ 井斜角 < 70°	±0.20°
		井斜角 ≥ 70°	±0.25°
	方位角		±0.5°(井斜角 < 20°)
		0° ~ 360°	±0.2°+自由漂移项(井斜角 ≥ 20°)
电子单多点测斜仪	重力工具面角	0° ~ 180°	±0.3°
		0° ~ 360°	±2°
		0° ~ 360°	±2°
无线随钻测斜仪	工具面角	井斜角 ≤ 5°	±5.0°
		井斜角 > 5°	±2.0°
		井斜角 ≤ 5°	±5.0°
有线随钻测斜仪	井斜角	井斜角 ≤ 5°	±5.0°
		井斜角 > 5°	±2.0°
		井斜角 > 5°	±2.0°
矿用测斜仪	方位角	0° ~ 180°	±0.3°
		0° ~ 360°	±2.0°
		0° ~ 360°	±2.0°
滑动式岩土测斜仪	井斜角	-90° ~ +90°	±0.2°
		0° ~ 360°	±1.0°
		0° ~ 360°	±1.0°
滑动式岩土测斜仪	井斜角	-15° ~ +15°	
		-30° ~ +30°	±0.1% F·S
		-53° ~ +53°	

注: 矿用测斜仪水平放置时井斜角为0°, 非定向类矿用测斜仪对重力工具面角不作要求。F·S为滑动式岩土测斜仪的全量程。

2.2 通用技术条件

外观应无明显的机械损伤、脱漆和锈斑, 应有牢固的铭牌标志, 标明仪器名称、规格型号、生产厂家和仪器编号等, 字迹应清晰, 可活动部分应灵活、平稳, 与计算机连接处应密封完好。

2.3 检定用设备

针对测斜仪的检定项目, 选用合适的检定用测量标准设备, 见表 2。

表 2 检定用设备一览表

Tab.2 Checklist of equipment

仪器名称	技术要求
测斜仪校验台	井斜角MPE:±0.05°
	方位角MPE:±0.1°
	工具面角MPE:±0.1°

2.4 检定项目

检定项目如表 3 所示。

表 3 检定项目一览表

Tab.3 List of verification items

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检查
外观及部分相互作用	+	+	+
井斜角示值误差	+	+	-
方位角示值误差	+	+	-
磁性工具面角示值误差	+	+	-
重力工具面角示值误差	+	+	-

注: 表中需检定的项目用“+”表示, 可以不检定的项目用“-”表示。

3 检定方法

3.1 外观及各部分相互作用

目测观察和手动试验。

3.2 测斜仪各项示值误差的检定

测斜仪种类繁多, 原理相同, 操作都是相似的, 可根据不同类型测斜仪的检定项目进行检定。现以照相测斜仪、无线(有线)随钻测斜仪各项示值误差的检定作为示例, 进行详细叙述。

3.2.1 照相式测斜仪各项示值误差的检定

1) 把测斜仪放置到测斜仪校验台(以下简称校验台)上用夹具夹紧;

2) 设置校验台井斜角为 20°, 方位角分别为 0°、90°、180°、270°, 从测斜仪上读取各测量位置的方位角误差值;

3) 对井斜角范围为 15° ~ 90°的照相测斜仪, 分别在井斜角 20°、40°、60°、80°对照相测斜仪进行测量, 记录照相测斜仪各测量位置的井斜角误差值;

4) 对井斜角范围为 10°或 20°的照相测斜仪, 分别在井斜角 2°、4°、6°、8°或 4°、8°、12°、16°对照相测斜仪进行测量, 记录照相测斜仪各测量位置的井斜角误差值;

5) 取井斜角各点误差值中绝对值最大者作为测斜仪井斜角的示值误差, 取方位角各点误差值中绝对值最大者作为测斜仪方位角的示值误差。

3.2.2 无线(有线)随钻测斜仪各项示值误差的检定

1) 把测斜仪放置到校验台上用夹具夹紧, 通电预热时间大于 15 min;

2) 校验台井斜角分别设定为 0°、3°, 工具面角在每个井斜角分别调为 0°、90°、180°、270°, 待数据稳定后记录测斜仪各测量位置的井斜角及磁性工具面角误差值;

3) 校验台工具面角设定为 0°, 井斜角分别设定为 10°、15°、30°、45°, 在每个井斜角位置使方位角分别设定为 0°、90°、180°、270°, 记录测斜仪各测量位置的井斜角、方位角误差值;

4) 校验台井斜角设定为 45°, 方位角分别设定为 0°、90°, 记录重力工具面角为 0°、90°、180°、270°时, 测斜仪各测量位置的井斜角、方位角、重力工具面角误差值;

5) 取井斜角各点误差值中绝对值最大者作为测斜仪井斜角的示值误差, 取方位角各点误差值中绝对值最大者作为测斜仪方位角的示值误差, 取工具面角各点误差值中绝对值最大者作为测斜仪工具面角的示值误差。

4 测斜仪井斜角示值误差测量结果的不确定度评定

4.1 测量方法

测斜仪井斜角的示值误差是用测斜仪校验台直接测量进行检定的。

4.2 数学模型

$$\delta = b_i - a_i$$

式中: δ 为测斜仪井斜角的示值误差; b_i 为被检点处测斜仪的读数; a_i 为被检点处测斜仪校验台的

读数。

4.3 方差和灵敏系数

依据方差公式 $u_c^2(\delta_i) = \sum \left(\frac{df}{dx_i} \right)^2 u^2(x_i)$, 得 $u_c^2 = c_b^2 u_b^2 + c_a^2 u_a^2$,

式中: 灵敏系数 $c_b=1, c_a=-1$; u_c 为示值误差的合成标准不确定度; u_b 为被检测斜仪的重复性引入的不确定度分量; u_a 为测斜仪校验台示值误差引入的不确定度的分量。

4.4 输入量的标准不确定度分量评定

4.4.1 测斜仪校验台示值误差引入的不确定度的分量 u_1

不确定度的分量 u_1 按 B 类标准不确定度进行评定, 测斜仪校验台的允许示值误差为 $\pm 0.05^\circ$, 假设该区间内为均匀分布, 则:

$$u_1 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.0288^\circ$$

根据经验, 估计其相对标准不确定度为 10%, 则自由度 $\nu_1=50$ 。

4.4.2 由被检测斜仪的重复性引入的不确定度分量 u_2

测斜仪的重复性为 0.01° (实验数据), 测量了 10 次, 故不确定度分量 $u_2 = 0.01^\circ$, 自由度 $\nu_2 = 9$ 。

4.5 扩展不确定度的评定

4.5.1 合成标准不确定度分析

- 1) 各类标准不确定度分量汇总表见表 4。
- 2) 合成标准不确定度 u_c 的评定

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2} = \sqrt{0.0288^2 + 0.01^2} = 0.03^\circ$$

$$\text{自由度 } \nu_{eff} = \frac{0.03^4}{\frac{0.0288^4}{50} + \frac{0.01^4}{9}} = 58$$

4.5.2 扩展不确定度的评定

查表得 $t_{95}(58) = k_{95} = 2.01$, 则包含概率为 95% 区间的扩展不确定度为:

$$U_{95} = k_{95} \cdot u_c = 2.01 \times 0.03^\circ \approx 0.06^\circ$$

4.6 测量不确定度的报告与表示

测斜仪井斜角示值误差的测量不确定度为:

$$U_{95} = 0.06^\circ, \nu_{eff} = 58$$

表 4 标准不确定度分析一览表

Tab.4 List of standard uncertainty analysis

标准不确定度分量 $u(x_i)$	标准不确定度分量来源	标准不确定度分量值	灵敏系数 c_i	$ c_i \times u(x_i)$	自由度
u_1	测斜仪校验台示值误差	0.0288°	1	0.0288°	50
u_2	测斜仪的重复性	0.01°	1	0.01°	5

5 结论

依据有效、合理的检定方法,选用适合的标准器设备,对测斜仪井斜角、方位角和工具面角(重力工具面角、磁性工具面角)等技术指标进行了检定验证,并对测斜仪井斜角示值误差测量结果的不确定度进行了评定。从而解决了测斜仪的量值统一及其溯源问题,使其在石油、矿山和大坝建设等行业中,发挥了重要的作用。

参考文献

[1] 国家质量监督检验检疫总局. 通用计量术语及定义: JJF1001-2011[S]. 北京: 中国质检出版社, 2011.

[2] 国家质量监督检验检疫总局. 测量不确定度评定与表示: JJF1059.1-2012[S]. 北京: 中国质检出版社, 2013.

[3] 国家质量监督检验检疫总局. 国家计量检定规程编写规则: JJF1002-2010[S]. 北京: 中国质检出版社, 2010.

[4] 国家市场监督管理总局. 岩土工程仪器 测斜仪: GB/T38204-

2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.

[5] 中华人民共和国地质矿产部. 测斜仪通用技术条件: DZ0023-91[S]. 北京: 中国标准出版社, 1991.

[6] 国家能源局. 电子式井斜仪校准方法: SY/T6587-2012[S]. 北京: 石油工业出版社, 2012.

[7] 国家发展和改革委员会. 电子单多点测斜仪: SY/T 6626-2005[S]. 北京: 石油工业出版社, 2005.

[8] 国家发展和改革委员会. 定向井测量仪器测量及检验 第4部分 有线随钻类: SY/T 5416.4-2007[S]. 北京: 石油工业出版社, 2007.

[9] 李建军. 测斜仪在桩基钻孔测斜检测中的应用 [J]. 建筑知识, 2012(B11): 272-273.

[10] 宫浩. 基于 BMC156 的矿用测斜仪测量单元设计 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2019(5): 48-52.

[11] 宫浩. 基于 STM32 的矿用随钻测斜仪低功耗模式研究 [J]. 电子测量技术, 2019, 42(6): 33-36.

[12] 孔海东, 杨绍战, 曹校勇, 等. 钻孔测斜仪在隧道仰坡位移监测中的应用 [J]. 价值工程, 2019(18): 116-118.

本文编辑: 李润芝

(上接第 24 页)

3.3 医疗机构网络授时服务应用

时间是医院开展医疗就诊、药理分析等过程中的关键参数。医院药物试验机构对标本采集时间、送达时间、失效时间以及检测时间均有严格的先后时间顺序要求,一旦时间顺序混乱,将导致检验结果不准确,甚至造成临床的误诊,严重时引发医疗纠纷。因此,医院信息系统的时间记录准确,设备或系统的时间统一就显得格外重要。基于本文研究成果,以国家时间频率计量中心重庆应用中心建立的时间标准为参考,建立广域网多路径 NTP(网络时间协议)网络授时系统,为临床试验给药、采血等关键环节提供了重要的时间同步保障。

4 结论

随着国民经济发展,导航定位、深空探测等领域对时间频率的稳定度和准确度提出了越来越高的要求,利用 NIMDO 构建精密时间频率溯源系统,可以实时有效地向 UTC(NIM)溯源,将高精度区域时间频率标准向下一级应用部门传递,从而提供高精度时间频率计量服务。

参考文献

[1] 林弋戈, 梁坤, 方占军. 时间单位—秒的演进 [J]. 中国计量, 2018, 5(8): 16-17.

[2] Kun L, Hang Y, Fei Z, et al. Disciplined oscillator system by UTC(NIM) for remote time and frequency traceability[C]. European Frequency & Time Forum. IEEE, 2015.

[3] 高小珣, 高源, 张越, 等. GPS 共视法远距离时间频率传递技术研究 [J]. 计量学报, 2008(1): 80-83.

[4] 梁坤, 张爱敏, 杨军, 等. 时间与频率标准远程校准: JJF1206-2018[S]. 国家市场监督管理总局, 2018.

[5] 龙波, 尤捷雯, 张宇, 等. 基于 NIMDO 的远程时间频率溯源 [J]. 计量与测试技术, 2019(8): 9-11.

[6] 龙波, 王菊凤, 黄徐瑞哈, 等. 基于 NIMDO 及光纤传递的高精度时间同步系统研究 [J]. 计量学报, 2019, 40(5): 904-909.

[7] 赵莎. 基于卫星共视法的电网时频测量及同步技术 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 12(14): 49-52.

[8] 张越, 高小珣. GPS 共视法定时参数的研究 [J]. 计量学报, 2004, 25(2): 167-170.

[9] Kun L, Qingyi C, Kai H, et al. REPLICATING UTC(NIM) REMOTELY FOR TIME AND FREQUENCY TRACEABILITY[J]. IJEE, 2019, 26(4): 147-155.

[10] 梁坤, 郝爽雨. NIMDO 远程时间溯源装置——构建精准时间溯源传递体系 [J]. 科技纵览, 2019(7): 78-79.

[11] 班亚, 袁静, 刘洪静, 等. 提高守时系统可靠性的关键技术及方法研究 [J]. 计量学报, 2019, 40(6A): 164-168.

[12] 王锐, 袁静, 班亚, 等. 原子时算法分析与对比 [J]. 计量学报, 2020, 41(3): 363-368.

本文编辑: 霍伟炜