

存储式钻孔测量仪的研制与应用

王佃明, 郭启锋, 黄磊博, 冯志峰

(中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734)

摘要: CE-1 型存储式磁敏钻孔测斜仪及 QXY-5 型存储式钻孔倾斜仪采用智能传感器、数据采集系统、大容量存储芯片, 具有小巧轻便、功能强大、测试数据准确性高、稳定性好的特点, 实现了数据的自动采集、记录和存储。介绍了 CE-1 型存储式磁敏钻孔测斜仪及 QXY-5 型存储式钻孔倾斜仪的研制和实际应用情况。

关键词: 测斜仪; 倾斜仪; 存储式

中图分类号: P634.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2008)07-0048-04

Development and Application of Memory-type Borehole Measuring Inclinometer/WANG Dian-ming, GUO Qi-feng, HUANG Lei-bo, FENG Zhi-feng (The Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

Abstract: Intelligent sensor, data acquiring system, large capacity storage chips were equipped in CE-1 memory-type magnetic borehole inclinometer and QXY-5 memory-type borehole inclinometer with high accuracy of test data and good stability. The development and application of these two apparatus are introduced in this paper.

Key words: inclinometer; tiltmeter; memory-type

0 引言

钻孔测斜仪的研究与地勘事业的发展紧密相关, 建国以后, 我国引进了苏联的几种测斜仪, 如包良可夫测斜仪等, 这些仪器的引进对当时我国测斜技术的发展及自行研制测斜仪起到了积极作用。在 20 世纪 70 至 80 年代中期, 我国研制和改进的各种类型钻孔测斜仪达 70 余种, 是我国测斜技术发展的鼎盛时期。80 年代中期后, 由于地质勘探事业的不景气, 测斜技术的发展也停滞不前。进入新世纪后, 随着我国经济社会的飞速发展, 水电大坝、铁路公路交通、桥梁、建筑、矿山、地质环境灾害整治及其它岩土工程市场等对钻孔测斜仪有了新的需求, 地勘市场也将随着新一轮地质大调查开展而逐渐复苏, 地勘工作量逐年增多, 快速高效找矿技术的推广, 研制一套高精度全方位多点连续测量钻孔倾角和方位角、使各种非磁性钻孔轨迹测量变得快速和简单易行的仪器变得迫切起来。

滑坡深部位移变形监测是滑坡稳定性监测的一种重要手段, 是滑坡整体位移变形动态综合监测的重要组成部分。在实现滑坡深部位移监测方法方面, 国内外主要采用钻孔倾斜法解决, 即在钻孔中采用埋设测斜管用倾斜仪来监测滑坡深部滑体的滑动部位、时间、滑动水平距离。

我国钻孔倾斜仪的研究起步较晚, 一些重要工

程所急需的钻孔倾斜仪, 都是从国外进口。20 世纪 80 年代, 南京水利科学院和南京自动化设备厂等一些单位研制成功了电阻应变片式钻孔倾斜仪; 1986 年航天部 33 所与北京水科院联合研制成功伺服加速度计式钻孔倾斜仪, 正式定型为 CX-01 型数字显示测斜仪, 在国内使用广泛; 随后航天部 702 所开发研究成功 5512 型滑动式测斜仪(伺服加速度计式); 冶金工业部武汉勘察研究院研制成功 CX-56 型高精度钻孔测斜仪(液体泡光电式); 为解决测斜管扭转问题, 1990 年中国水科院仪表研究所研制成功了 CN 型测扭仪。到 90 年代, 很多厂家已生产出多种类型用于土工测试的倾斜仪。目前在滑坡监测领域, 国内外深部位移监测设计孔深多在 80 m 以内, 销售的仪器也多配以 50~80 m 电缆, 采用人工提拉、有缆测量。但是, 在孔深超过 80 m, 甚至达 300 多米, 有缆人工提拉测量受到先天制约。当监测的钻孔过深时, 就使电缆卷盘过大、电缆质量过大而使监测工作强度增大。同时还会出现因电缆过重而在接头处拉断、折断导线, 或者电缆胶皮划破, 绝缘电阻值降低等现象, 这些问题大大限制了有缆倾斜仪的使用范围。

针对目前国内各种测斜仪、倾斜仪在实际测量中的不足, 我所研制了 CE-1 型存储式磁敏钻孔测斜仪和 QXY-5 型存储式钻孔倾斜仪。

收稿日期: 2008-05-31

基金项目: 中国地质大调查项目“高陡边坡地质安全监测预警技术示范”(编号: 1212010740905)

作者简介: 王佃明(1982-), 男(汉族), 山东寿光人, 中国地质科学院探矿工艺研究所助理工程师, 信息工程专业, 从事钻孔测斜仪、地质灾害监测仪器和地质灾害监测防治技术研究及开发工作, 四川省成都市郫县成都现代工业港港华路 139 号, wdm@cgiat.com。

1 测量原理

1.1 存储式磁敏钻孔测斜仪原理

钻孔顶角(θ)的测量采用 2 个垂直安装的单轴加速度计来完成,方位角(α)的测量采用三轴磁力计完成,同时还有一个独立安装的温度传感器。测斜仪下孔工作后,测得的钻孔倾斜和弯曲数据存储在仪器内部的大容量存储器中,在仪器提出钻孔后通过 RS232 或 RS422 接口连接 PC 机读出数据,进行数据处理、分析和图形显示。仪器工作原理框图见图 1。

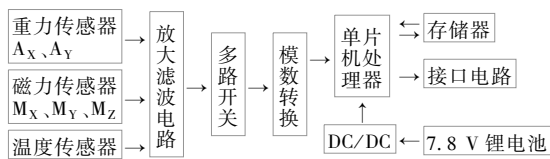


图 1 存储式磁敏钻孔测斜仪原理框图

三轴磁力计测出地磁场 H 分别在载体 x 轴、 y 轴和 z 轴的分量 H_x 、 H_y 和 H_z ;加速度计测出 2 个相互垂直轴的重力分量俯仰角(p)与横滚角(γ)测量传感器。在无罗差的情况下, H 、 θ 、 γ 的关系为:

$$H_x = H_x \cos\theta + H_y \sin\theta \sin\gamma - H_z \sin\theta \cos\gamma$$

$$H_y = H_y \cos\gamma + H_z \sin\gamma \quad (1)$$

式中: H_x 、 H_y 、 H_z ——磁传感器在 $\theta \neq 0$ 、 $\gamma \neq 0$ 状态下测得的 3 个地磁场分量。

钻孔方位角 α 为:

$$\alpha = \arctan |H_y/H_x| \quad (2)$$

钻孔顶角 θ 为:

$$\theta = \arctg \sqrt{\text{tg}^2 p + \text{tg}^2 \gamma} \quad (3)$$

1.2 钻孔倾斜仪的测量原理

在岩土体中施工钻孔、安装测斜管,当岩土体产生变形时,通过测量测斜管轴线与铅垂线之间夹角变化量,来监测土、岩石和建筑物的侧向位移。钻孔倾斜仪测量原理如图 2 所示。

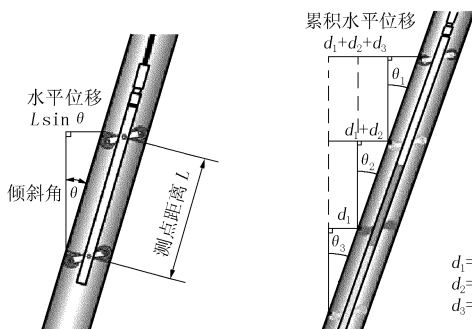


图 2 钻孔倾斜仪测量原理

如图 2 所示,带有导向滑轮的倾斜仪在测斜管

中按倾斜仪标距 L 逐段测出测斜管与铅垂线的夹角 θ_i ,分别求出不同高程处水平位移 d_i ,即:

$$d_i = L \sin\theta_i$$

由测斜管底部测点开始逐段累加,可得任一高程处的实际水平位移 b_n ,即:

$$b_n = \sum_{i=1}^n d_i$$

而测斜管管口累积水平位移为 B :

$$B = \sum_{i=1}^N d_i$$

式中: d_i ——测量段的水平位移; L ——测量点的分段长度,即仪器标距; θ_i ——测量段测斜管与铅垂线的夹角; b_n ——自孔底开始第 i 个测点的水平位移; B ——本次测量管口的水平位移; N ——本监测孔分段数量, $N = H/L$; H ——孔深。

全孔段测量完成后,可以得出沿测斜管轴线不同孔深的水平位移的变化情况。

钻孔倾斜仪内部工作原理框图如图 3 所示。

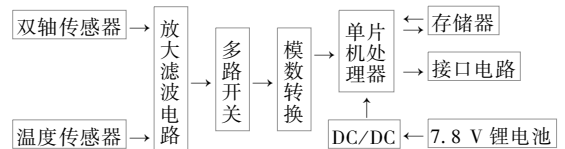


图 3 钻孔倾斜仪内部工作原理方框图

2 仪器的使用及数据处理

2.1 仪器数据的存储及读取方法

两种仪器在设计过程中都取消了常规的电缆,改用钢丝绳下放提拉仪器。测量数据自动存储,减少了野外测量过程中测量人员手工记录或人工读取数据的不便。因取消了通信电缆,这 2 个仪器在测量过程中均不能实时的读取测量数据,而是数据自动存储,这 2 种仪器均是根据记录时间跟孔深关系来正确获得测点的数据。

两种仪器在“启动指示插头”连通时,已开始工作,数据等间隔(一般为 1 或 2 s)自动测量存储,人工无法操作和干预。

测斜仪需人工记录工作时间的长短和相应的孔深。因此,时间记录的准确与否就格外重要,必须专人记录。在测量结束后,只需在数据处理软件中输入对应孔深时记录的时间和开始工作时的时间间隔(s)即可。

而倾斜仪则不需要人工记录时间,这样为了正确地获得所需要的数据,就必须保证探头部分与地面孔深记录仪部分时钟同步,即在探头插上启动指

示插头后按要求在规定的时间内启动孔深记录仪(通常设定为启动指示插头指示灯亮后 1 s 开启孔深记录仪,并按下确定键,记录开始测量的时间)开始同步测量。测量结束后,只需用数据处理软件分别读出地面孔深记录仪跟探头的数据即可,不需要手工计算。

2.2 仪器使用方法

2.2.1 测斜仪测量步骤

(1) 仪器使用前须与 PC 机连机,利用 CE-1 型测斜仪随机软件将仪器内部存储卡原有的记录擦除干净。

(2) 安装“启动指示插头”,指示灯亮表明仪器已经在工作,此时用秒表开始记录时间 $T_0 = 0$ 。

(3) 安装好密封垫圈,拧上测斜仪探管的端盖,即可下井测斜。测量过程中,仪器将自动按 2 s 的时间间隔进行测斜采样,并存储数据。

(4) 将仪器下放到钻孔需要测斜的孔段,等仪器稳定后(至少停留 2 min 以上),测量人员记录下测点的时间 T_i 和孔深 H_i 。

(5) 继续下放仪器到另一需要测斜的孔段,同样等仪器稳定后开始计时。

(6) 测量结束后,拧开仪器端盖,拔下“启动指示插头”,将测斜仪与 PC 机连接,读出仪器内记录的测量数据。

(7) 利用 CE-1 型测斜仪随机软件进行分析处理,并根据记录下的每个测点的时间 T_i 及孔深 H_i ,计算出每个测点的顶角及方位角值。

2.2.2 倾斜仪测量步骤

每次新的野外测量前,都应先将探头及孔深记录仪内的数据清零,以保证测量的准确性、条理性。探头插上启动指示插头后在规定的时间内启动孔深记录仪(通常设定为启动指示插头指示灯亮后 1 s 开启孔深记录仪,并按下确定键,记录开始测量的时间),开始时间同步。将仪器送入孔内,开始从孔底向上每隔 0.5 m 采集 1 组数据,相应地面孔深记录仪同步记录该测点的时间,依次测量至孔口后将探头旋转 180°,同时按下孔深记录仪“180 测量”键,再下到孔内重复操作。全孔测完后将探头和孔深记录仪分别与 PC 机相连传送数据。监测过程中孔内采集到的数据是否有效取决于孔深记录仪是否记录了该测点的时间。

2.3 数据处理

两个仪器均配备了智能处理软件,测量人员只需记录相关时间即可,无须手动处理数据,这些人性

化的设计大大减少了测量人员的室内繁琐的数据处理工作。

2.3.1 测斜仪数据处理

根据记录下的每个测点的时间及孔深,在数据处理软件中输入要计算的孔深及该点的时间(如图 4 所示),处理结果如图 5 所示。

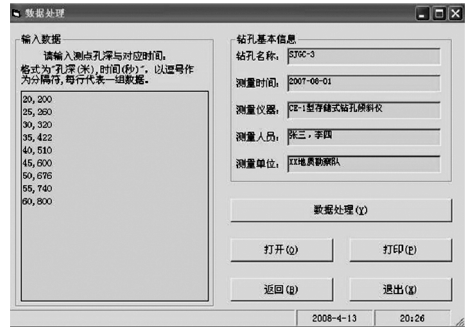


图 4 CE-1 型测斜仪软件数据处理——输入孔深和时间



图 5 CE-1 型测斜仪软件数据处理结果

2.3.2 倾斜仪数据处理

测量结束后在软件数据输入模块里按顺序分别读出孔深记录仪和倾斜仪的数据,软件会自动计算结果。数据读取如图 6 所示,数据处理结果如图 7 所示。

此外,软件有自动绘图功能,该项可更直观清晰地反应出测量钻孔的变化趋势及位移变化大小,图 8 为 AB 向比较示意图。

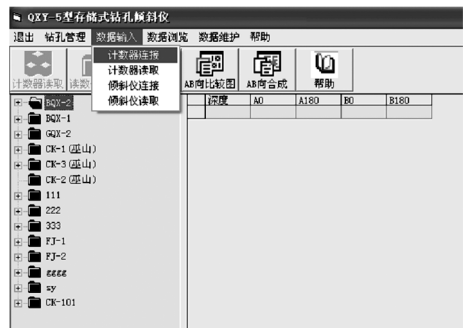


图 6 XY-5 型倾斜仪软件数据读取

表格浏览

选择钻孔: 祥和湖ML-05 选择记录: 2008-1-13 13:16:58 A向导 B向导 打印预览 退出

孔深(m)	A初(mm)	A0值	A180值	A变(mm)	A累积(mm)	B初(mm)	B0值	B180值	B变(mm)	B累积(mm)
00.00	823.00	-01.41	00.00	-823.70	-37395.85	131.50	-00.11	-02.01	-130.55	-158.96
00.50	810.50	-01.57	-00.01	-811.28	-36572.15	128.50	-00.17	-01.98	-127.59	-28.41
01.00	798.50	-01.31	00.04	-799.18	-35760.87	80.50	00.06	-02.00	-79.47	99.18
01.50	888.00	-01.58	00.02	-888.79	-34961.69	-145.00	-00.22	-02.03	145.91	178.65
02.00	880.00	-01.84	00.01	-880.93	-34072.90	-91.00	-00.50	-02.11	91.80	32.74
02.50	849.00	-01.94	-00.01	-849.96	-33191.97	-66.50	-00.43	-02.22	67.39	-59.06
03.00	826.00	-02.07	00.03	-827.05	-32342.01	-51.00	-00.46	-02.32	51.93	-126.45
03.50	818.50	-01.60	00.06	-819.33	-31514.96	-24.00	-00.02	-02.29	25.14	-178.38
04.00	822.50	-01.69	00.08	-823.36	-30695.63	09.50	-00.02	-02.25	-08.38	-203.52
04.50	829.50	-02.04	00.09	-830.57	-29872.25	75.50	-00.32	-02.23	-74.54	-195.14
05.00	860.00	-01.58	00.17	-860.87	-29041.68	51.50	-00.04	-02.21	-50.42	-120.60
05.50	869.00	-01.57	00.12	-869.85	-28180.81	36.50	00.18	-02.30	-35.26	-70.18
06.00	812.50	-01.58	00.19	-813.36	-27310.96	25.00	00.31	-02.40	-23.64	-34.92
06.50	776.50	-01.54	00.19	-777.37	-26497.58	35.00	00.31	-02.40	-33.64	-11.28
07.00	783.50	-01.55	00.19	-784.37	-25720.21	-16.50	00.26	-02.35	17.80	22.36
07.50	888.00	-01.55	00.23	-888.69	-24935.84	-25.50	00.27	-02.33	26.80	04.56
08.00	842.50	-01.58	00.20	-843.36	-24046.95	-44.50	00.27	-02.33	45.80	-22.24
08.50	816.50	-01.40	00.03	-817.22	-23203.57	-25.50	00.16	-02.20	26.68	-68.04
09.00	799.00	-01.19	-00.16	-799.50	-22366.35	-22.50	00.01	-02.07	23.54	-94.72
09.50	793.50	-01.21	-00.14	-794.03	-21586.85	-06.50	00.00	-02.04	07.52	-118.26
10.00	772.50	-01.16	-00.14	-773.01	-20792.82	39.00	00.01	-02.06	-37.96	-125.78
10.50	860.00	-01.22	-00.13	-860.55	-20019.81	98.00	-00.05	-02.02	-97.02	-87.82
11.00	872.50	-01.21	-00.16	-873.02	-19159.26	58.50	-00.04	-02.03	-57.51	09.20
11.50	875.50	-01.20	-00.15	-876.02	-18286.24	43.50	-00.24	-01.82	-42.71	66.71
12.00	923.00	-01.19	-00.15	-923.52	-17410.22	30.00	-00.46	-01.60	-29.43	109.42
12.50	906.50	-01.19	-00.16	-907.02	-16486.70	32.50	-00.44	-01.61	-31.91	138.65
13.00	975.50	-01.15	-00.15	-976.00	-15579.68	-62.50	-00.40	-01.66	63.13	170.76
13.50	1017.50	-01.16	-00.12	-1018.82	-14673.68	-60.00	-00.36	-01.60	60.66	107.63

图 7 XY-5 型倾斜仪数据处理结果

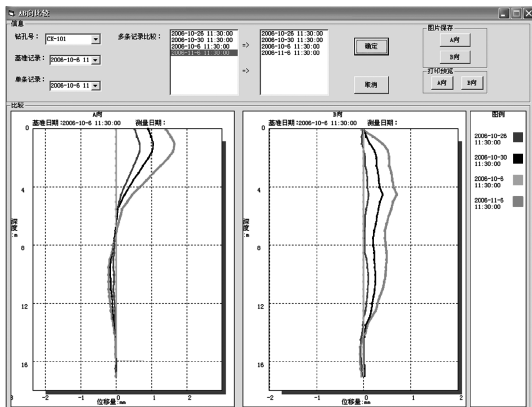


图 8 AB 向比较图

3 仪器实际应用

3.1 测斜仪实际应用情况

该仪器操作简单方便,测量时只需记录开始测量及各个测点的时间即可。仪器外径小巧,配备多种口径的扶正器,可在多种口径的钻孔中应用,可以在绳索取心钻杆内下放仪器,充分发挥绳索取心钻探工艺的优势。

该仪器先后在四川彭州市某公司石灰石矿山 1 号竖井勘察孔 SJ401 钻孔进行下孔试验测量,测量孔深 250 m,测点间距为 30 m,通过 2 次下放测量和 2 次上提测量,共计 4 次数据的比较表明:4 次测量数据能较好的吻合,说明仪器测量的重复性较好,测

量精度较高,试验获得成功。

目前,该仪器在武警黄金部队中应用,每分队大概装备该仪器 10 台,与绳索取心钻具配套使用,用于金矿勘探孔钻孔测斜。同时,据广东某铅锌矿公司 3 年的使用情况表明:仪器的测量精度较高、重复性较好,操作简单方便、性能稳定,非常适合各种非磁性钻孔测斜。

3.2 倾斜仪实际应用情况

该仪器取消传统倾斜仪中使用的通信电缆,采用钢丝绳提拉仪器,配合手动绞车和孔深记录仪的准确计数,测量数据自动存储。在测量过程中,测量人员无须再象使用传统倾斜仪那样手工记录数据,该仪器在测量过程中,测量人员只需提拉、下放仪器,注意手中计数器的孔深即可,大大减少了野外测量人员的工作量。智能的数据处理系统,在处理数据时,操作人员只需用电脑导入仪器存储的数据即可,大大减少了繁琐、枯燥的数据计算工作,深受使用人员的喜爱。

2006 年 9 月 29 日~10 月 9 日,我们使用所研制的 QXY-5 型存储式钻孔倾斜仪、孔深记录仪及 JCS-30 型手动绞车,对巴东、巫山、奉节三地深部位移监测的深孔进行了初测,共完成 8 个深孔的测试,平均孔深 196.5 m,其中最浅的孔(奉节 CK-3)

(下转第 54 页)

能可靠。实践证明,无锈蚀锚索特别适合在场地狭窄、地势险要等特殊锚固环境中使用。

3 无锈蚀锚索的特点

研究表明,无锈蚀锚索与钢质锚索相比较,具有以下突出特点:

(1) 锚索无锈蚀,在特殊锚固环境中不易发生腐蚀,耐久性强;

(2) 锚索单位体积质量为钢材的 1/4,且弯曲半径较小,易于盘绕、开卷、运输和安装,可降低劳动强度,提高作业效率;

(3) 整体锚索的结构、安装工艺与钢锚索相似,施工方便、快捷。

因此,无锈蚀锚索在海水浸蚀地层、火山灰地层及其它化学腐蚀环境等特殊锚固工程中,以及薄层混凝土包裹等特殊锚固条件下,无需防锈、防腐处理,就能取代钢锚索进行锚固,减少了锚固工程中锚索的定期更换甚至重新施工的工程量,降低了锚固工程的长期成本,提高了锚固技术的可靠性。同时,在锚索施工场地狭窄、险峻的情况下,无锈蚀锚索的运输、安装、施工极为方便、快捷,工人劳动强度大幅度降低,施工速度大幅度提高,对岩土锚固工程技术

进步意义重大。

4 结语

无锈蚀锚索作为一种新型的锚固体系,在国际上的研究应用时间较短,我们的研究也还不够深入和全面,有许多问题尚待进一步研究,比如如何降低材料加工成本,研究性能更好的配套锚固及张拉体系等,但是,它特有的耐腐蚀、强度高、质量轻、安装速度快等优点,已在现场应用中得到了充分体现,因而具有极大的市场潜力。我们相信,随着研究的不断深入,无锈蚀锚索在我国将会得到越来越多的应用,成本也将逐步降低,成为特殊锚固环境中特殊锚固工程,比钢锚索更有效、更可靠的锚固体系。

参考文献:

- [1] R. 帕卡尔尼斯, D. A. 彼得森. 一种新型锚杆——玻璃纤维锚索[J]. 阚世喆, 译. 国外金属矿山, 1994, (8): 41-45.
- [2] 采用合成树脂纤维的锚固系统[J]. 曹虹, 译. 岩土锚固工程, 1994, (3): 25-30.
- [3] 德丸昌敬. 聚酰亚胺纤维钢化塑料锚杆的试验施工[J]. 田志坤, 译. 探矿工程译丛, 1997, (2): 8-11.
- [4] 吴陶, 宋军. 非金属锚索的研究应用现状[J]. 探矿工程, 2003, (2).

(上接第 51 页)

99 m,最深的孔(巴东白土坡 BQX-2)291 m。测试达到了预期的目的,仪器工作可靠稳定,整个系统非常适合深孔使用,取得了圆满的成功。

目前该仪器主要应用于三峡库区二期库岸地质灾害监测预警工程深部位移监测及三期灾害预警监测工程(5家监测单位共装备该仪器30台)。该仪器还支持无线传输自动化监测系统,现在已经在三峡库区三期灾害监测中施工安装了9台 QXY-5 型存储式钻孔倾斜仪。到目前为止,据使用单位反映,该仪器小巧轻便、功能强大、测试数据准确性高、稳定性好,同时还大大减少了测量人员的野外工作量和繁琐的室内数据处理工作,有很好的应用前景。其中 QXY-5 型存储式钻孔倾斜仪被列为 2007 年国家重点新产品。

4 结语

实践证明,CE-1 型存储式磁敏钻孔测斜仪及 QXY-5 型存储式钻孔倾斜仪采用智能传感器、数据采集系统、大容量存储芯片,具有小巧轻便、功能强大、测试数据准确性高、稳定性好的特点,实现了数据的自动采集、记录和存储,具有良好的市场前景。

参考文献:

- [1] 汤国起. 全方位多功能钻孔倾斜仪的研制[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1998, 9(S1): 279-285.
- [2] 尚文凯, 秦建明, 田金泽, 等. 无缆监测系统在边坡变形监测中的应用[J]. 采矿工程, 2006, (2): 10-11.
- [3] 易庆林, 等. 崩塌滑坡监测方法适用性分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1996, 7(S1): 93-101.
- [4] 王佃明, 郭启锋, 冯志峰. QXY-5 型存储式钻孔倾斜仪的研制与应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007, 18(S1).
- [5] 张典荣, 朱晓荣. 高精度全方位钻孔测斜仪的研究及应用[J]. 煤田地质与勘探, 2003, (8).