

基于普适型监测预警体系中多参数模型研究

——以云南省保山市大园子滑坡为例

孙金辉^{1,2}, 余涛^{1,2}

(1. 中国地质调查局地质灾害防治技术中心, 四川 成都 610081; 2. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734)

摘要: 为全面发展“人防+技防”的地质灾害防治技术体系, 构建以普适型监测仪器为主的地质灾害监测预警体系, 以云贵高原地区中的云南省保山市大园子滑坡为例, 详细介绍了滑坡从方案设计到数据筛选及模型设计等各环节, 主要选取降雨、位移变形和裂缝三类参数模型在监测预警体系中的应用, 通过采集地质灾害体的关键信息, 优化监测预警模型及调整阈值, 及时捕捉地质灾害体的变化信息, 依靠平台判据模型自主触发预警, 完成了普适型监测预警体系建设的关键环节, 从而实现了普适型监测预警的效果, 极大的提升了地质灾害防治体系的自动化和智能化能力。

关键词: 地质灾害监测; 普适型监测; 监测预警体系; 多参数模型; 大园子滑坡

中图分类号: P642 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2024)03-0054-06

Research on multi-parameter model based on universal monitoring and early warning system: Taking the Dayuanzi landslide in Baoshan City, Yunnan Province as an example

SUN Jinhui^{1,2}, SHE Tao^{1,2}

(1. Technical Center for Geological Hazard Prevention & Control, CGS, Chengdu Sichuan 610081, China;

2. Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

Abstract: In order to comprehensively develop the geological disaster prevention and control technology system of “civil air defense+technical defense”, and build a geological disaster monitoring and early warning system based on universal monitoring instruments, this paper takes the Dayuanzi landslide in Baoshan City, Yunnan-Guizhou Plateau as an example, introduces the various links of the geological disaster landslide from scheme design to monitoring data screening and mode model design in detail, and the application of three parameters model in the monitoring and early warning system namely rainfall, displacement deformation and crack are expounded. Through collecting key information of the geological disaster body, such as rainfall, displacement deformation and crack change, the monitoring and early warning model is optimizd, the threshold is adjusted, and the change information of the geological disaster body is captured in time. Moreover, the key link of building a universal monitoring and early warning system is completed relying on the self triggered early warning of the platform criterion model, thereby, the effect of universal monitoring and early warning is achieved and greatly improved the automation and intelligence of the geological disaster prevention system.

Key words: geological disaster monitoring; universal monitoring; monitoring and early warning system; multi-parameter model; Dayuanzi landslides

收稿日期: 2024-03-09; 修回日期: 2024-04-15 DOI: 10.12143/j.ztgc.2024.03.007

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“地质灾害防治技术应用”(编号: DD20230087)

第一作者: 孙金辉, 男, 汉族, 1983年生, 地质工程专业, 硕士, 主要从事地质灾害形成机理及防治技术、监测预警体系建设工作, 四川省成都市郫都区港华路139号, sjh20040644@163.com。

引用格式: 孙金辉, 余涛. 基于普适型监测预警体系中多参数模型研究——以云南省保山市大园子滑坡为例[J]. 钻探工程, 2024, 51(3): 54-59.
SUN Jinhui, SHE Tao. Research on multi-parameter model based on universal monitoring and early warning system: Taking the Dayuanzi landslide in Baoshan City, Yunnan Province as an example[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(3): 54-59.

0 引言

为提升地质灾害自动化、专业化监测预警覆盖面,更大程度地掌握地质灾害孕育发生条件和发展演化规律,提高灾害机理认识、监测预警精度和防灾减灾能力,自2019年起在全国范围内陆续建设了大量普适型监测仪器,通过对地质灾害及其主要诱发因素进行实时监测,及时分析研判、分级发布预警信息,为临灾响应决策提供支撑,最大限度地减少了人员伤亡和财产损失^[1]。

监测预警体系建设是地质灾害防治技术体系“人防+技防”中的重要组成部分,近年来大量弥补了地质灾害防治技术体系中人防体系建设的欠缺和短板,尤其是在全国汛期地质灾害多发频发的环境中提前预报和告警的作用下,最大限度地保障了人民群众生命财产安全^[2]。如陕西临潼“2·24”马斜村崩塌避险,监测数据异常后,加密观测,4户15人成功撤离避险;四川通江“9·29”三华顶滑坡灾害避险,监测点数据发生异常,触发红色预警,紧急转移受威胁区域群众57户87人;云南玉溪“8·1”水塘村泥石流避险,监测设备提前10 min告警,受威胁的68户264名群众在10 min内成功转移避险^[3]。为了提高监测预警体系的运行成效,提升监测预警仪器的有效性,科学合理的方案设计和阈值设定成为关键环节,本文以云贵高原地区的云南省保山市隆阳区隆阳区瓦渡乡大园子滑坡为例,详细阐述该监测点的监测预警设计理念及阈值设定等关键因素,研究多参数模型在此类地质灾害中的设计方法^[4]。

1 隆阳区瓦渡乡大园子滑坡概况

云南省保山市隆阳区瓦渡乡浪坝田老田组大园子滑坡位于大园子聚集点下侧,滑坡前缘坐标 $99^{\circ}25'36''E, 25^{\circ}11'26''N$ 。

滑坡后缘高程1572 m,前缘高程1528 m,相对高程44 m,长约110 m,宽约90 m,滑体厚4~7 m,平均厚约5 m,总面积约7800 m²,方量约为3.69万m³,属小型土质滑坡。滑坡主滑方向为46°,平均坡度20°,平面形态呈“长舌状”,如图1所示。根据野外现场调查,受强降雨影响,自1980年左右出现变形滑移;近年来滑坡中部、前缘房屋陆续出现裂缝,局部出现下挫,据调查询问最大下挫深度0.1 m,延伸长度约50 m。经过调查访问,2007年水库放水后,滑坡出现严重下挫,形成高约0.5 m的错台,后

期降雨期间下挫趋势持续进行。根据滑坡形成机理,判断该滑坡为受连续强降雨和水库排蓄水诱发的土质滑坡,推测滑带已基本贯通,处于欠稳定状态。目前该滑坡威胁后缘及两侧边部的居民达19户79人。

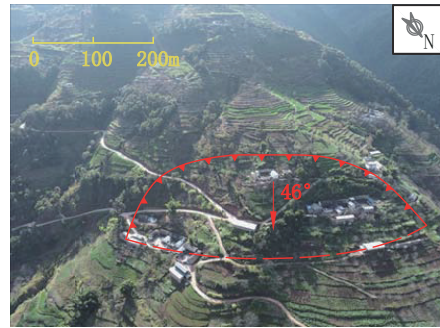


图1 大园子滑坡全貌(2022)

Fig.1 Panoramic view of the landslide (2022)

结合野外调查,分析认为诱发该滑坡的主要因素为强降雨。由于滑坡后缘山体地形开阔,且坡度较陡,有利于地表水的汇集,坡体表面由于排水不畅,导致局部低洼地带形成积水,在此条件下,造成滑体自重增加,滑动面土体抗剪强度降低,在水压力作用影响下,滑坡体下滑力迅速增大,坡体出现变形迹象,导致坡体失稳,从而形成滑坡。从变形破坏机制看,滑坡整体变形前期以沿前缘临空面变形开始并向后逐渐牵引扩展为主,滑坡沿基岩及覆盖层软弱面接触面逐级向后牵引滑动。

1.1 滑坡变形特征及监测方案布置

滑坡后缘以陡坎为界,左侧以道路拉裂处为界,右侧以浅切冲沟为界,滑坡前缘以沟底为界。滑坡前缘为澜沧江小湾水电站蓄水区。现场调查可见部分房屋墙体出现裂缝,道路与地坪出现多处顺坡向裂缝,如图2所示。

经现场踏勘,初步判定滑体为一小型土质滑坡,强降雨是诱发该滑坡发生变形破坏的主要因素,在强降雨发生变形破坏后,先后造成前缘滑塌以及后部裂缝下挫变形^[5-7]。综合分析,该滑坡处于持续变形阶段,推测滑坡滑带已基本贯通,滑坡处于不稳定状态。一旦再次遇到持续强降雨,坡体变形将会进一步加剧,直至整体发生滑移破坏。

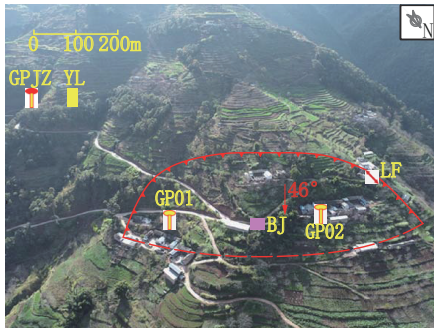
根据滑坡变形特征,依据普适型监测预警规范制定了该滑坡普适型设备监测方案,于滑坡表层布



图2 滑坡中部显著变形

Fig.2 Significant deformation in the middle of the landslide

置位移监测点 GNSS3 处、拉线裂缝监测点 1 处、声光报警器 1 台以及遥测雨量计 1 处, 共计 4 类 6 套监测设备, 剖面布设采用横向为主的布设方式, 针对变形重点区域布设裂缝计, 用于捕捉滑坡主要变形体的变化趋势, 其余采用 GNSS 布设, 用于控制滑坡重点区变形^[8]。监测方案布置如图 3、图 4 所示。



图例
 GNSS 基站 (GPJZ) 雨量监测站 (YL)
 GNSS (GP) 声光报警器 (BJ)
 裂缝计 (LF) 滑坡范围下滑方向

图3 普适型监测方案

Fig.3 Universal monitoring scheme

1.2 监测设备选择

隆阳区瓦渡乡大园子滑坡为土质滑坡, 主要影响因素为降雨, 监测方案中需要掌握滑坡位置处降雨数据和滑坡体变形数据, 通过野外调查寻找滑坡体显著变化位置增加典型位置监测手段, 故该滑坡监测方案选择翻斗式雨量计监测滑坡点处雨量数据, 采用 GNSS 位移计控制滑坡主要变形区的位移变形数据^[9], 针对滑坡体上变形强烈的墙体选择裂缝计控制其变化数据, 数据实时上传云南省监测预警平台(见图 5), 通过模型设计及阈值设定, 以达在滑坡变化启动中形成预警信息, 同时监测预警信

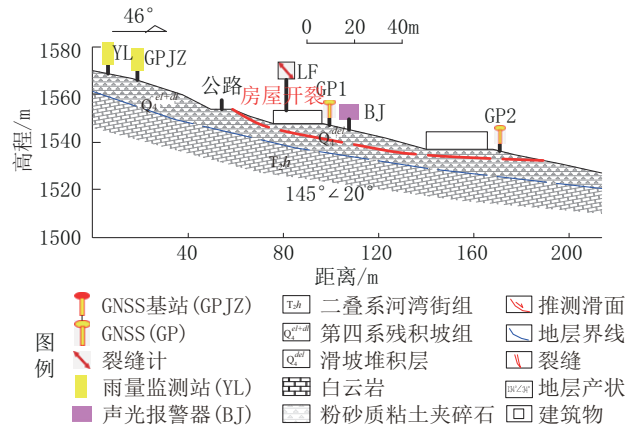


图4 大园子滑坡监测方案剖面

Fig.4 Section diagram of Dayuanzi Landslide monitoring scheme

息通过短信及现场广播的方式进行发布, 达到及时预警及时撤离的效果^[10]。



图5 云南省地质灾害监测预警平台

Fig.5 Platform for monitoring and early warning of geological hazards in Yunnan province

2 监测模型设计与阈值设定

监测预警坚持“以人为本, 科技防灾”的原则, 在群测群防的基础上统筹兼顾技防与人防, 通过宏观迹象巡查、监测数据分析和区域地质灾害气象预警综合研判隐患风险等级; 群测群防监测在发现可辨识的灾害前兆时, 可进行临灾预警, 并根据预案及时采取应对措施^[11]。依据地表变形与降雨等关键指标监测数据开展地质灾害专业预警, 主要分为单参数预警方式与多参数综合预警方式^[12]。

单参数预警主要通过单一设备直接获取或计算得到的指标判据来确定灾害发生的可能性, 阈值应在机理认识、历史经验的基础上研究设定并动态调整^[13]。该滑坡主要监测仪器设置阈值见表 1。

表 1 监测仪器设置模型

Table 1 Setup model of the monitoring instrument

仪器类型	监测参数	蓝色预警	黄色预警	橙色预警	红色预警
雨量计	降雨量 $M/$ mm	前 1 日 $42 \leq M < 60$ 或前 12 小时 $30 \leq M < 45$	前 1 日 $60 \leq M < 86$ 或前 12 小时 $45 \leq M < 68$	前 1 日 $86 \leq M < 105$ 或 前 12 小时 $M \geq 68$	前 1 日 $M \geq 105$
GNSS 位 移计	位移量 $X、Y、$ $Z/(mm \cdot d^{-1})$	$18 \leq X < 28$ 或 $25 \leq Y < 50$ 或 $30 \leq Z < 55$	$28 \leq X < 200$ 或 $50 \leq Y$ < 300 或 $55 \leq Z < 250$	$200 \leq X < 600$ 或 $300 \leq Y$ < 600 或 $450 \leq Z < 800$	$X \geq 600$ 或 $Y \geq 600$ 或 $Z \geq 800$
裂缝计	变形量 $T/$ mm	前 1 日 $18 \leq T < 70$ 或前 3 日 $36 \leq T < 140$	前 1 日 $70 \leq T < 150$ 或 前 3 日 $140 \leq T < 300$	前 1 日 $150 \leq T < 230$ 或 前 3 日 $300 \leq T < 460$	前 1 日 $T \geq 230$ 或前 3 日 $T \geq 460$

注: X 表示水平位移量, Y 表示垂直位移量, Z 表示综合位移量。

从图 6、图 7 中可以看出大园子滑坡整个汛期的雨量分布及累计雨量值的变化情况, 进入 2023 年 5 月滑坡处雨量出现缓慢增加趋势, 且在 7 月 4 日达到该年汛期的单日极值雨量 81.4 mm, 后期单日雨量未出现单日暴雨, 从整体趋势来看, 在 7—10 月累计雨量值达到全年雨量值的 80%。图 7 可明显看出从 2023 年 1 月至 2024 年 2 月期间, GNSS 水平位移 X 从 4.8 mm 增加至 37.3 mm, 垂直位移 Y 从 -29.9 mm 增加至最大 5.4 mm, 合位移 Z 从 10.4 mm 增加至 41.7 mm, 数据显示 GNSS 布设位置经过汛期演变, 整体呈缓慢蠕动下滑过程, 位于同一坐标系中的 $X、Y$ 分量均在持续增加, 综合变形即 $X、Y$ 的合向量 Z 也呈现同一变化, 与现场变形迹象吻合。且图中显示, 该滑坡变形特征主要为汛期暴雨峰值前期为缓慢蠕动变形, 在长期雨水作用下, 滑坡又出现缓慢蠕动现象。 $X、Y、Z$ 空间关系如图 8 所示。

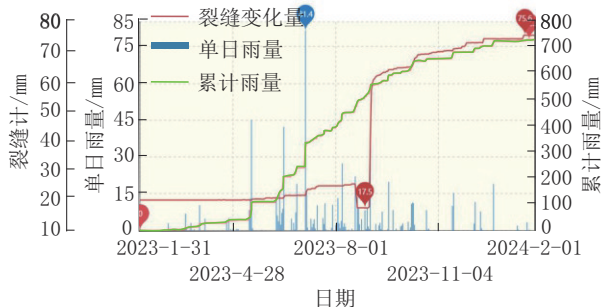


图 6 雨量与裂缝关系

Fig.6 Relationship between rainfall and cracks

经过汛期暴雨作用后, 滑坡显著位置 GNSS 位移计出现变形蠕动趋势, 由图 7 可知在汛期前期滑坡仍处于缓慢蠕动过程中, 现场判断后调整 GNSS 阈值从原来的水平变形速率 30 mm 降低为 18 mm, 以期达到预警效果。后期到达主汛期后 GNSS

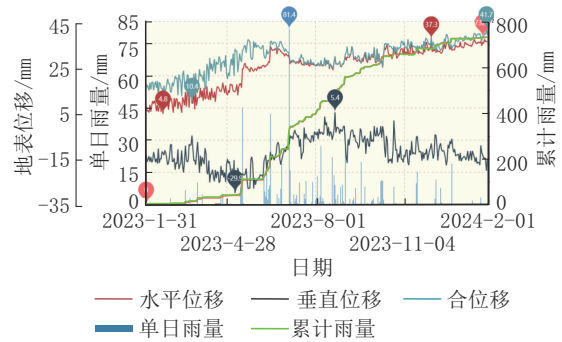


图 7 雨量与 GNSS 位移关系

Fig.7 Relationship between rainfall and GNSS displacement

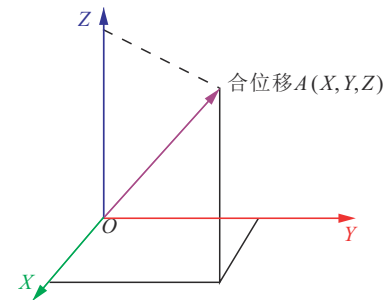


图 8 $X、Y、Z$ 空间关系

Fig.8 Spatial relationship of $X、Y、Z$

数据呈现持续增长变化, 与累计雨量值曲线呈吻合状态, 且与滑坡缓慢蠕动的现状一致。该仪器在 10 月 11—15 日达到模型设定值, 陆续触发平台产生黄色预警。

同时裂缝数据于 2023 年 8—9 月出现明显变化 (图 9), 并于 2023 年 9 月 2 日出现突变, 触发模型产生蓝色预警信息, 后期呈持续增加状态, 该仪器采集数据与滑坡实际情况吻合。

预警平台的触发不仅来源于单参数阈值设置, 同时多参数综合预警主要通过多个指标判据的组合



图9 滑坡变形加剧

Fig.9 The intensified deformation of the landslide

来综合确定灾害发生的可能性^[14]。预警模型应基于灾害隐患的地质特征、影响因素及发展变化趋势,在综合分析变形与破坏特征的基础上确定,并根据机理认识与监测数据及时调整^[15]。目前蓝色预警、黄色预警采用单参数模型,橙色预警、红色预警采用多参数模型^[16],该滑坡主要多参数综合预警见表2。

根据单参数阈值设定与多参数模型设计,既可以实现有效预警,又可以最大程度上避免误报等情

表2 大园子滑坡多参数模型设计

Table 2 Design of multi parameter model for Dayuanzi Landslide

预警级别	蓝色预警	黄色预警	橙色预警	红色预警
雨量计	单参数	单参数	GNSS黄且 裂缝黄	GNSS橙且 裂缝橙
GNSS位移计	单参数	单参数	雨量计黄且 裂缝黄	雨量计橙且 裂缝橙
裂缝计	单参数	单参数	雨量计黄且 裂缝黄	雨量计橙且 裂缝橙

况发生^[17]。如大园子滑坡出现的阈值突破设定数据后的蓝色预警,以及由于现场持续变化触发的黄色预警等(如图10所示),均有效地实现了成功预警,后期经过群测群防员的现场核实并由政府相关部门发布撤离避险通知,从根本上实现了“人防+技防”的双重保障^[18]。

序号	预警时间	预警等级	预警描述	预警状态	操作
1	2023-10-15 23:00:00	黄色预警	在瑞阳区瓦渡乡浪坝村老田组大园子滑坡的03GP01(地表位移)触发单参数预警,03GP01(地表位移)黄色预警,滑坡仪触发黄色预警。	已关闭	查看预警模型 查看曲线
2	2023-10-14 22:00:00	黄色预警	在瑞阳区瓦渡乡浪坝村老田组大园子滑坡的03GP01(地表位移)触发单参数预警,03GP01(地表位移)黄色预警,滑坡仪触发黄色预警。	已关闭	查看预警模型 查看曲线
3	2023-10-13 21:00:00	黄色预警	在瑞阳区瓦渡乡浪坝村老田组大园子滑坡的03GP01(地表位移)触发单参数预警,03GP01(地表位移)黄色预警,滑坡仪触发黄色预警。	已关闭	查看预警模型 查看曲线
4	2023-10-12 20:00:00	黄色预警	在瑞阳区瓦渡乡浪坝村老田组大园子滑坡的03GP01(地表位移)触发单参数预警,03GP01(地表位移)橙色预警,滑坡仪触发黄色预警。	已关闭	查看预警模型 查看曲线
5	2023-10-11 19:00:00	黄色预警	在瑞阳区瓦渡乡浪坝村老田组大园子滑坡的03GP01(地表位移)触发单参数预警,03GP01(地表位移)黄色预警,滑坡仪触发黄色预警。	已关闭	查看预警模型 查看曲线
6	2023-10-11 15:00:00	蓝色预警	在瑞阳区瓦渡乡浪坝村老田组大园子滑坡的03GP01(地表位移)触发单参数预警,03GP01(地表位移)蓝色预警,滑坡仪触发蓝色预警。	已关闭	查看预警模型 查看曲线
7	2023-09-21 07:00:00	蓝色预警	在瑞阳区瓦渡乡浪坝村老田组大园子滑坡的03GP01(地表位移)触发单参数预警,03GP01(地表位移)蓝色预警,滑坡仪触发蓝色预警。	已关闭	查看预警模型 查看曲线
8	2023-09-20 06:00:00	蓝色预警	在瑞阳区瓦渡乡浪坝村老田组大园子滑坡的03GP01(地表位移)触发单参数预警,03GP01(地表位移)蓝色预警,滑坡仪触发蓝色预警。	已关闭	查看预警模型 查看曲线
9	2023-09-07 01:00:00	蓝色预警	在瑞阳区瓦渡乡浪坝村老田组大园子滑坡的03GP01(地表位移)触发单参数预警,03GP01(地表位移)黄色预警,滑坡仪触发蓝色预警。	已关闭	查看预警模型 查看曲线
10	2023-09-06 00:00:00	蓝色预警	在瑞阳区瓦渡乡浪坝村老田组大园子滑坡的03GP01(地表位移)触发单参数预警,03GP01(地表位移)橙色预警,滑坡仪触发蓝色预警。	已关闭	查看预警模型 查看曲线

图10 监测预警平台触发信息

Fig.10 Triggered information of the monitoring and early warning platform

3 结论

通过对云南省保山市隆阳区瓦渡乡大园子滑坡展开地质灾害普适型仪器监测,根据现场实际情况科学设计了滑坡的监测预警方案,实时优化监测预警阈值数据,编制多参数预警模型,充分利用云南省监测预警信息平台,实现了对滑坡的整体监测,并结合人防体系完成了地质灾害防治的预警工作。

(1)大园子滑坡为小型土质滑坡,主要表现为滑体土体饱和导致滑体产生拉张裂缝和垮塌现象。从大园子滑坡的监测预警体系运行情况分析看,对

于关键环节和关键部位的监测,可有效实现地质灾害体的监测预警效果。

(2)监测数据曲线明显揭示了此滑坡的变形特征,通过对雨量数据、GNSS位移数据及裂缝计数据分析,可以看出滑坡的降雨量与滑坡变形量呈现延迟耦合关系,符合蠕动式滑坡的特点。

(3)单参数阈值设定与多参数模型设计对于提高监测效果成功率非常关键,同时可以有效减少仪器误报率。

(4)后期利用大数据分析滑坡中长期数据,为

进一步研究滑坡变形机制及发展趋势提供有效数据支撑,从而实现滑坡监测的智能化识别。

参考文献(References):

- [1] 马娟,赵文祎,齐干,等.基于普适型监测的多参数预警——以三峡库区卡门子湾滑坡为例[J].西北地质,2021,54(3):259-269.
MA Juan, ZHAO Wenwei, QI Gan, et al. Study on the multi-parameter early warning based on universal equipment: A case of Kamenziwan Landslide in the Three Gorges Reservoir [J]. Northwestern Geology, 2021, 54(3):259-269.
- [2] 杨江涛,李波,李伯宣,等.自贡市地质灾害专群结合监测预警模式升级与实践[J].中国地质灾害与防治学报,2020,31(6):130-134.
YANG Jiangtao, LI Bo, LI Boxuan, et al. Upgrading and practice of early warning of geological disaster special group combination in Zigong City [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2020, 31(6):130-134.
- [3] 梁京涛,赵聪,王军.斜坡 InSAR 变形监测效果野外判定方法研究[J].人民长江,2022,55(1):126-131.
LIANG Jingtao, ZHAO Cong, WANG Jun. Research on field evaluation method for slope InSAR deformation monitoring effect [J]. Yangtze River, 2022, 55(1):126-131.
- [4] 吴忠银.滑坡灾害中GNSS自动化监测预警系统技术浅析[J].西部资源,2021,(5):197-200.
WU Zhongyin. Analysis of GNSS automated monitoring and early warning system technology in landslide disasters [J]. Western Resources, 2021(5):197-200.
- [5] 艾国栋,李云青,资丽君,等.天然和暴雨条件下的物质点滑坡变形机制分析[J].钻探工程,2023,50(5):23-28.
AI Guodong, LI Yunqing, ZI Lijun, et al. Analysis of deformation mechanism of landslide under natural and rainstorm conditions based on material point method [J]. Drilling Engineering, 2023, 50(5):23-28.
- [6] 苗朝,张勇,李乾坤,等.基于PFC2D的缓倾顺层滑移-溃曲型岩质滑坡破坏机制分析[J].钻探工程,2023,50(5):11-17.
MIAO Zhao, ZHANG Yong, LI Qiankun, et al. The deformation mechanism analysis of gently inclined and consequent sliding-buckling rock landslides based on PFC2D [J]. Drilling Engineering, 2023, 50(5):11-17.
- [7] 崔华丽,谯鹏志,王佃明.库水位变动情况下库岸边坡稳定性研究——以白鹤滩水电站石圪垱滑坡为例[J].钻探工程,2023,50(5):36-42.
CUI Huali, QIAO Pengzhi, WANG Dianming. Study on stability of reservoir bank slope under fluctuated water level: A case of Shigenao Landslide in Baihetan Hydropower Reservoir [J]. Drilling Engineering, 2023, 50(5):36-42.
- [8] 何满潮.滑坡地质灾害远程监测预报系统及其工程应用[J].岩石力学与工程学报,2009,28(6):1081-1090.
HE Manchao. Real-time remote monitoring and forecasting system for geological disasters of landslides and its engineering application [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(6):1081-1090.
- [9] 李姣,何明.湖南常德雷家山滑坡特征及变形监测分析[J].中国资源综合利用,2021,39(8):79-82.
LI Jiao, HE Ming. Characteristics and deformation monitoring analysis of Leijiashan Landslide in Changde, Hunan [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2021, 39(8):79-82.
- [10] 喻小,赵其华,张垚豪等.GNSS实时监测在滑坡预警的应用:以陕西省周至G108路段滑坡为例[J].人民长江,2019(10):126-130.
YU Xiao, ZHAO Qihua, ZHANG Chenghao, et al. Application of GNSS real-time monitoring in landslide early warning: Case of Landslide of G108 section in Zhouzhi County, Shannxi Province [J]. Yangtze River, 2019(10):126-130.
- [11] 李乾坤,苗朝,程英建,等.川东巴中市恩阳区近水平土质滑坡破坏模式及专业监测预警[J].钻探工程,2023,50(5):43-51.
LI Qiankun, MIAO Zhao, CHENG Yingjian, et al. Damage patterns of near-horizontal soil landslides and professional monitoring and warning in Enyang District, Bazhong City, East Sichuan [J]. Drilling Engineering, 2023, 50(5):43-51.
- [12] 王珣,刘勇,李刚,等.基于西原模型的蠕变型滑坡预警判据及滑坡智能监测预警系统研究[J].水利水电技术,2018,49(8):29-38.
WANG Xun, LIU Yong, LI Gang, et al. Nishihara model-based study on pre-warning criteria for creeping landslide and landslide intelligent monitoring and pre-warning system [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2018, 49(8):29-38.
- [13] 徐开祥,黄学斌,付小林,等.三峡水库区地质灾害群测群防监测预警系统[J].中国地质灾害与防治学报,2007(3):88-91.
XU Kaixiang, HUANG Xuebin, FU Xiaolin, et al. Group monitoring and early warning system of geological hazards in the Three Gorges Reservoir Area [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2007(3):88-91.
- [14] 白洁,巨能攀,张成强,等.贵州兴义滑坡特征及成功预警研究[J].工程地质学报,2020,28(6):1246-1258.
BAI Jie, JU Nengpan, ZHANG Chengqiang, et al. Study on characteristics and successful early warning of Xingyi landslide in Guizhou [J]. Journal of Engineering Geology, 2020, 28(6):1246-1258.
- [15] 叶青,赵全麟.三峡工程库区滑坡监测几个问题的探讨[J].人民长江,2000,31(6):7-9.
YE Qing, ZHAO Quanlin. Problems about monitoring of landslide in TGP reservoir area [J]. Yangtze River, 2000, 31(6):7-9.
- [16] 郭晓岚,涂亚庆.滑坡监测方法及新进展[J].中国仪器仪表,2001(1):10-12.
WU Xiaolan, TU Yaqing. Methods and new development of landslide activity monitoring [J]. China Instrumentation, 2001(1):10-12.
- [17] 许强.对滑坡监测预警相关问题的认识与思考[J].工程地质学报,2020,28(2):360-374.
XU Qiang. Understanding and thinking on landslide monitoring and early warning [J]. Journal of Engineering Geology, 2020, 28(2):360-374.
- [18] 刘传正.中国地质灾害监测预警站网建设构想[J].地质通报,2002(12):869-875.
LIU Chuanzheng. Conception on the construction of geological hazard monitoring and early warning station network in China [J]. Geological Bulletin, 2002(12):869-875.

(编辑 王文)