

智能监测预警系统在滑坡地质灾害管理中的应用

覃事河¹, 周全², 王俊淞¹, 李美萍¹, 靳玉鹏¹

(1. 国能大渡河金川水电建设有限公司, 四川 阿坝 624100;

2. 四川中水成勘院测绘工程有限责任公司, 四川 成都 610072)

摘要:以不同类型的大型滑坡体为研究对象,从工程实际应用的角度出发,在高精度全站仪监测的基础上,首次在该工程区建立以全球导航卫星系统、三维激光扫描和微芯桩监测为最优组合的智能监测预警系统。结果表明,滑坡不同变形阶段可采取不同类型的监测手段实现监测方案的最佳组合和优势互补,监测系统的针对性和实用性得到了强化,智能监测预警系统与传统监测方法相比可靠性有保障,预测预警信息发送及时,为实时掌握滑坡变形规律以及指导地质灾害应急管理和防灾减灾科学决策提供了技术支撑,可为类似水电工程地质灾害信息化管理提供经验借鉴。

关键词:滑坡地质灾害;智慧工程;智能监测预警系统;应急管理;大型水电站

中图分类号: E926.37

文献标识码: A

文章编号: 1001-2184(2023)03-0137-04

Application of Intelligent Monitoring and Early-warning System in Landslide Geological Hazard Management

QIN Shihe¹, ZHOU Quan², WANG Junsong¹, LI Meiping¹, JIN Yupeng¹

(1. CHN ENERGY Dadu River Jinchuan Hydropower Construction Co., Ltd., Aba Sichuan 624100;

2. Sichuan Zhongshui Chengkanyuan Surveying & Mapping Engineering Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610072)

Abstract: The different landslides are taken as research objects, and from the viewpoint of engineering application, on the basis of high precision total station monitoring, the intelligent monitoring and early-warning system is established including global navigation satellite system, three-dimensional laser scanning and micro-core pile monitoring for the optimal combination for the first time. The results show that different monitoring means can be adopted at different deformation stages of landslides to achieve the best combination of monitoring schemes and complementary advantages. The pertinence and practicality of the monitoring system are strengthened. Compared with traditional monitoring methods, the system is of reliability, and the forecast and warning information is timely sent. It provides technical support for grasping the law of landslide deformation in real time, guiding the emergency management of geological disasters and scientific decision-making of disaster prevention and reduction, and also provides experience and reference for the information management of geological disasters in similar hydropower projects.

Key words: landslide geological hazard; intelligent engineering; intelligent monitoring and early-warning system; emergency management; large hydropower station

0 引言

我国西南地区水能资源丰富,但河谷深且狭窄,地质条件复杂,库岸边坡稳定性较差,具有“多、险、陡、大”的特点^[1],滑坡地质灾害普遍存在。针对这些风险,监测预警已成为科学主动防范地质灾害的重要手段,是防灾减灾的重要举措。从监测手段上讲,以往的滑坡变形监测多以传统的大地测量监测为主,数据采集需投入大量的人

力资源,且面临较为突出的安全风险,现场数据采集和分析预报之间存在时间差,预测预报的时效性不强^[2]。随着科技水平的提高和滑坡监测的现实需要,监测技术取得了长足进步^[3],监测手段更加丰富,以全球导航卫星系统、三维激光扫描和微芯桩等为代表的智能监测手段的优势逐渐凸显。笔者以大渡河智慧企业建设为抓手,以不同类型的大型滑坡体为研究对象,从水电工程实际应用的角度出发,在充分考虑滑坡地质条件的差异性、

收稿日期: 2022-10-17

变形特征、失稳风险等多种因素的基础上,结合连续监测的必要性、监测精度和监测成本综合分析,建立了智能监测预警系统,以期提升监测系统的针对性和实用性,提高监测系统的可靠性和监测工作的信息化水平,更好地指导地质灾害应急管理工作。

1 监测总体路线

基于智慧工程理念和“总体设计、分步实施、稳步推进”的建设原则^[4],以及“技防+群策群防”要求,构建全方位的地质灾害监测预警体系与决策指挥系统,实时掌握滑坡体的变形演化过程,科学有效地对地质灾害突发事件进行事前动态分析、智能预测和科学决策,形成“互联互通、信息共享、互为支撑、企地联动”的地质灾害综合防治体系,为判断滑坡体的稳定状态和发展趋势以及科学决策提供依据,打造新型工程管理模式。其中,高精度全站仪监测主要作为滑坡变形初期的监测手段,其监测数据用来验证智能化监测成果的精确性和有效性,变形加速期依托智能监测化手段实施监测,降低监测人员频繁进入滑坡区域可能带来的安全风险或无法进入变形区域造成的监测盲区。以下选取的两处典型案例中,LB滑坡体为土质滑坡体,KD滑坡体为岩质滑坡体。

2 工程应用

2.1 LB滑坡体监测预警分析

2.1.1 滑坡体基本情况

LB古滑坡堆积体的主要物质成分是碎石土,其中块碎石含量约55%~60%,一般粒径3~15 cm,块石一般粒径20~60 cm,含量约10%,碎石成分主要为片岩、白云质大理岩、千枚岩等,中下部块碎石风化强烈,强度低,下伏基岩为千枚岩、片岩及大理岩等,岩层总体倾向下游,岩体较完整^[5]。滑坡平面形态总体上呈似圈椅状的长条舌型,与周界山体呈陡缓交界,边界较为清晰。

2016年11月,滑坡发生了沿基覆界面的整体复活。复活的滑坡为崩坡积土层受前缘牵引产生的“逐级后退式”土质滑坡,复活后的滑坡沿省道公路长约300 m,前缘与后缘高差约310 m,厚度约25~30 m,总体积350万 m^3 ~450万 m^3 。

2.1.2 监测系统构成与主要功能

在高精度全站仪监测分析技术的基础上,对滑坡主要变形区域实施了自动化监测,即全球导

航卫星系统(global navigation satellite system, GNSS),用于相互验证监测数据的可靠性。滑坡表面累计布设高精度全站仪测点36个,形成了清晰的“四纵一横”的监测剖面;主变形区布设GNSS测点6个,用于滑坡变形加速阶段的预警分析。全球导航卫星系统数据观测模式为静态测量模式,24 h不间断地观测,设备分别采用徕卡GM10接收机和AR10天线,供电系统采用180 W太阳能板和12V150AH胶体蓄电池,通讯采用4G无线传输方式并通过智能手机无线网络将数据发送到后方。

2.1.3 应用成效

选取了两组临近的人工测点和自动化测点成果进行对比分析。一组测点为滑坡中部1号断面~2号断面之间的TP4人工测点和GPS-4自动化测点,两点相距约5 m。另一组测点为滑坡上部2号断面的2~3人工测点和GPS-2自动化测点,两点相距约3 m。

为便于比较并验证两种监测手段在某一时间段内的变形量级及趋势,特选取2017年5月27日~2018年1月17日时间段的数据进行分析。对比发现,人工测点TP4和自动化测点GPS-4、2-3测点和自动化测点GPS-2在2017年5月27日~2018年1月17日期间的变形方向基本一致(顺河向均为“-”,顺坡向均为“+”)。其次,从变形量级而言,测点TP4和自动化测点GPS-4在水平合绝对值位移量仅相差17.2 mm,日均水平合位移量仅相差0.1 mm,沉降量相差148.2 mm,日均沉降量仅相差-0.6 mm;测点2-3和自动化测点GPS-2在水平合绝对值位移量相差74.6 mm,日均水平合位移量仅相差0.3 mm,沉降量仅相差15.9 mm,日均沉降量仅相差0.1 mm。由此可见,TP4和GPS-4、2-3和GPS-2这两组监测点在变形趋势上表现出很好的一致性。人工监测数据与自动化测值对比,误差存在的主要原因在于精度问题,全站仪观测误差在2~3 mm以内,而GNSS的观测精度受卫星数量、现场地形地貌、气候条件与数据解算量等影响,如果按照24 h数据解算,水平位移和垂直位移的精度分别约3 mm和5 mm。

以2-3人工测点和GPS-2自动化测点为例,其顺河向、顺坡向和垂直向累计位移曲线见图

1. 需要说明的是, 2-3 测点个别时段的位移曲线不连续是由于受极端天气影响, 现场不具备人工采集数据的条件, GPS-2 测点个别时段的位移曲线不连续主要是受终端服务器停电和现场信号偏弱的影响。

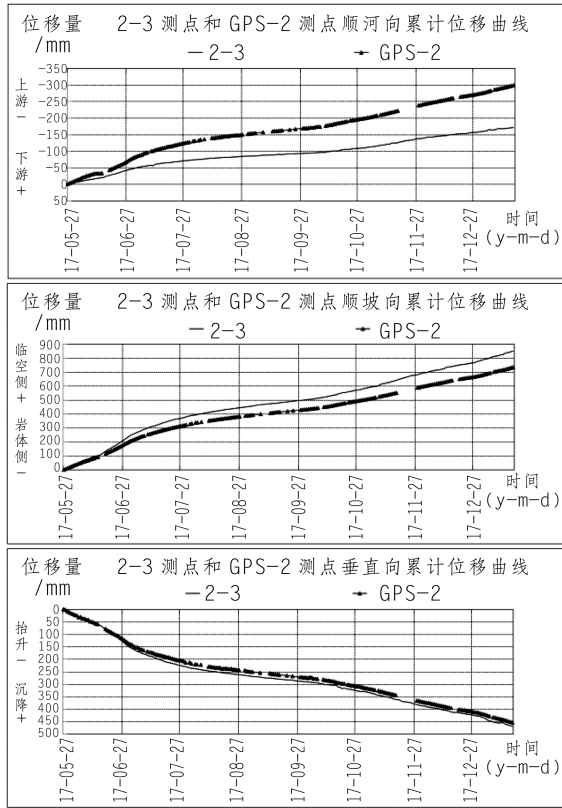


图 1 位移曲线图

2.2 KD 滑坡体监测预警分析

2.2.1 滑坡体基本情况

KD 滑坡体上部为崩坡积堆积层, 基岩岩性为绿片岩夹千枚岩, 中下部基岩岩层产状 $N10^{\circ}\sim 30^{\circ}W/NE\angle 40^{\circ}\sim 55^{\circ}$, 走向与该库段坡向基本一致, 为顺向边坡。

滑移后, 滑坡体沿库区省道公路长约 480 m, 滑坡顺河宽 410~530 m, 横河长 340 m, 滑动深度约 30~46 m, 总体积约 450 万 m^3 , 滑坡平面形态总体上呈典型的“M”型。滑坡体表面有多处危岩体或孤石群分布^[6], 其中最大孤石 40 m \times 10 m \times 15 m, 孤石群总方量约 15 万 m^3 。2018 年 2 月 10 日至 14 日期间, 滑坡体出现整体滑动破坏, 最大滑距近 20 m。

2.2.2 系统构成与主要功能

由于岩质滑坡在时间上的突发性和空间上的

分散性甚至隐蔽性, 该滑坡的综合智能监测预警系统包括全球导航卫星系统、三维激光扫描监测和微芯桩监测预警系统等, 并在此基础上辅助其他智能化手段对地形地貌进行测量复核。总体上, 监测断面按“四横四纵”布置。

GNSS 监测自动化在 LB 古滑坡体中有着监测预警的成功经验, KD 滑坡区域同样布设了 GNSS 监测自动化测点, 避免临滑阶段监测人员无法进入现场开展监测工作。累计布设 GNSS 监测自动化测点 6 个, 变形区域外稳定基岩处布设 GNSS 基准站 1 个。2018 年 1 月上旬, GNSS 自动化监测预警系统开始发挥作用。

首次采用三维激光扫描技术非接触式获取了包括危岩体与孤石群在内的整个滑坡体的三维点云数据, 突破了传统点对点这种单点式监测的限制, 其有效性已得到验证。累计布设测站 20 个, 扫描设备为 VZ-400 三维激光扫描仪, 扫描方式主要是沿着省道复建公路从下游往上游依次架站扫描, 原则上, 每 7 d 沿着公路对整个滑坡区域全方位架站扫描一次。

针对滑坡表面分布的大量危岩体或孤石群, 首次使用微芯桩监测预警系统。应用于该滑坡体的微芯桩监测系统硬件包含微芯桩 14 个; 一杆式采集测站 1 个; 应急式测站 1 台; 软件主要包括 iSafety 云平台 and 工程安全卫士 APP 等。通过微芯桩监测预警系统, 实现了滑坡表面大量危岩体或孤石群倾斜、倾向和震动三个指标的实时监测, 根据这三个指标来判断危岩块体是否有失稳现象, 并进一步评价监测点所处区域内发生局部垮塌的概率和危险性。当监测值超过事先设置的预警阈值后, 放置于现场的便携式设备将会立即报警, 手机客户端亦将同步收到预警信息^[7]。

2.2.3 应用成效

全球导航卫星系统和三维激光扫描监测成果客观真实的反应了滑坡体变形及失稳过程, 充分论证了智能监测系统的可靠性, 更体现了智能监测预警系统的优越性, 特别是 2018 年春节前夕提前 4 d 预警了省道公路滑坡段的垮塌, 避免了春节人流高峰期的重大事故。滑坡加速变形特别是临滑阶段, GNSS 监测自动化发挥了极其重要的优势。该工程充分利用了全站仪的高精度特点、GNSS 监测自动化和微芯桩监测的实时监测优

势,快速准确地捕捉滑坡体的形变和危岩块体的细微变化进行预警预报。

微芯桩监测预警系统的数据显示,截至2019年10月,已累计发出红色预警657次,黄色预警1961次。滑坡体整体滑移前后,该监测预警系统及时发出了避险警报,成功地引导现场避险近10余次。其中,2018年2月6日至2月9日,微芯桩倾斜持续发出红色预警,截至2月9日,多个微芯桩倾角超过 10° ,滑坡体下方省道复建公路于当晚垮塌。

3 结语

选取了极具代表性的土质滑坡体和岩质滑坡体为研究对象,在充分考虑滑坡的复杂性和差异性,以及传统高精度全站仪监测手段的基础上,从工程实际应用的角度出发,建立了智能监测预警系统。

(1)与传统人工监测手段相比,智能监测预警系统的可靠性强,发挥了现代化监测标杆的引领作用,特别是在滑坡体临滑阶段,智能监测预警系统克服了传统人工监测手段的诸多不足,实现了滑坡体全天候24h不间断自动监测预警,产生了极其显著的安全效益、经济效益和社会效益,为水电工程地质灾害风险管理提供了新思路,也提升了水电工程地质灾害防治水平与智能化管理水平。

(2)水电工程多位于地形地貌复杂的山区,GNSS监测自动化信号会受其地形地貌等因素影响,进而影响监测精度。岩质滑坡体的滑移具有突发性和不确定性,在这种情况下,通过增加数据解密频次作为变形趋势分析,其结果仍具有参考价值。

(3)首次将三维激光扫描监测技术应用在岩

质滑坡体的变形监测中,这种技术改变了传统的单点式测量分析方式,体现了监测的智能化和便捷化,有利于滑坡的整体分析和稳定判断。

(4)首次将微芯桩监测预警系统应用于岩质滑坡表面的危岩体或孤石群监测,事先将微芯桩固定在危岩块体上实时感知边坡的细微变化,数次引导现场成功避险,这在表面分布有大量危岩块体的滑坡监测预警方面有推广价值。

参考文献:

- [1] 黄润秋. 论中国西南地区水电开发工程地质问题及其研究对策[J]. 地质灾害与环境保护, 2002, 13(1): 1-5.
- [2] 华博深, 石建舟. 金厂坝滑坡体监测方法及变形分析[J]. 水电站设计, 2019, 35(2): 86-89.
- [3] 霍东平, 张彬, 彭东还, 等. 滑坡变形监测技术研究现状与展望[J]. 工程勘察, 2015(8): 461-470.
- [4] 涂扬举. 数据驱动智慧企业[J]. 企业管理, 2018(2): 100-103.
- [5] 覃事河, 周全. 多种智能监测手段在滑坡预警中的应用研究[J]. 四川水力发电, 2020, 39(5): 71-74, 80.
- [6] 覃事河. 基于三维激光扫描技术的滑坡监测预警研究[J]. 四川水力发电, 2021, 40(1): 123-126, 130.
- [7] 覃事河, 靳玉鹏, 李登聪. 微芯桩监测预警系统在大型岩质滑坡体中的应用[J]. 云南水力发电, 2021, 37(7): 46-49.

作者简介:

覃事河(1984-),男,湖北五峰人,高级工程师,硕士,从事水电工程建设管理工作;

周全(1985-),男,湖北荆州人,工程师,学士,从事水电工程安全监测技术工作;

王俊淞(1994-),男,四川仁寿人,助理工程师,学士,从事水电工程安全管理工作;

李美萍(1995-),女,四川仁寿人,硕士,从事水电工程建设管理工作;

靳玉鹏(1991-),男,甘肃武威人,工程师,学士,从事水电工程建设管理工作。

(责任编辑:吴永红)

四川绰斯甲水电站斜井导井正式贯通

2023年5月28日,国家能源集团四川公司绰斯甲水电站压力管道斜井2米直径导井正式贯通,提前64天完成节点目标。绰斯甲水电站位于四川省阿坝州壤塘县和金川县境内,为绰斯甲河干流(曾克寺—麦斯卡段)“一库四级”水电开发方案的第三级水电站,工程规模为大型(2)型,设计装机容量39.2万千瓦。其中,压力管道斜井水平倾角60度,斜井段长174.5米、开挖直径8.9米。为保证斜井导井顺利贯通,该公司针对斜井导井施工易偏向的情况,成立QC攻关组并借鉴类似工程经验,通过对定位钻头超声波定位技术和适时纠偏控制,确保了先导孔一次贯通,中心偏差仅15.2厘米。在扩孔施工中,安排专业地质人员对扩孔渣料进行收集、分析、建档,形成完整的地质实勘资料,为后续钻爆开挖和安全支护提供了有力支撑。

(摘自《国家能源集团四川公司网》)