

甘肃省岷县两处滑坡普适型监测预警研究

侯圣山, 李昂, 刘明学, 陈亮, 冯振, 王立朝

中国地质环境监测院(自然资源部地质灾害技术指导中心), 北京, 100081

关键词: 地质灾害; 滑坡; 监测; 预警; 风险

地质灾害监测预警是降低地质灾害风险的一项重要工作。我国地质灾害监测预警工作始于 20 世纪 80 年代, 先后在长江三峡库区、四川雅安、云南新平、陕西镇安等地建成涵盖区域环境要素监测和典型地质灾害单体监测的监测预警系统, 应用了多种监测手段和监测设备, 开发了数据库和信息系统, 能够有效监控灾害变形和诱发因素的时间变化, 做出了有益的尝试(中国地质环境监测院, 2008; 丁继新等, 2004; 侯圣山等, 2014)。

2014 年以来, 中央和地方按照预防为主、综合防治的总体原则, 将地质灾害防治工作重点从灾后治理转移到灾前预防, 建立健全地质灾害调查评价、群测群防、监测预警、搬迁避让、工程治理、科普宣传及应急处置等在内的综合防治体系, 在多个省份开展了监测预警建设, 建设了数百处地质灾害监测系统, 投入数千套仪器设备, 取得了较好的监测预警效果, 也取得了大量建设经验(孙世国等, 2016)。

党的十八大以来, 中央加大了自然灾害防治工作力度, 提出了更高的要求。自然资源部陆昊部长提出要“研究原理、提前预警”的具体要求, 中国地质调查局部署了普适型地质灾害监测预警设备的研发和现场试验工作(李慧等, 2020)。

按照中国地质调查局统一部署, 笔者在甘肃省岷县建设了两处地质灾害监测预警点, 选点遵照“危险性、代表性、可行性”的三原则, 重点选择群测群防难度大、变形失稳较明显、成灾风险相对高的滑坡体。

1 监测点基本情况

岷县位于甘肃南部, 属于西秦岭北支中段, 紧

邻长江流域和黄河流域的分界线, 洮河穿流而过, 为典型的中高山侵蚀地貌, 县域平均海拔 2500 m, 是甘肃省滑坡、泥石流活跃区之一。岷县气候类型主要为高寒湿润气候带, 多年平均降水量为 560.8 mm, 6~8 月降水占总降水量的 60%以上, 受地形及海拔高度影响, 降雨的时空分布差异较大, 呈现出由河谷到山顶, 降雨量随海拔高度升高逐渐增大的趋势(王春磊和徐大录, 2013)。

岷县的主要地质灾害类型为泥石流、滑坡, 但泥石流多流域面积巨大, 且具有洪水的性质; 致灾特征受水文过程控制多于岩土过程。考虑到典型性、代表性, 在岷县选择了两处中等规模的滑坡——马场村滑坡和文斗学校滑坡开展普适型监测预警建设工作。

马场村滑坡位于岷县梅川镇马场村马场沟沟口左岸低山山前第一斜坡带。该滑坡处于构造剥蚀中低山地貌区, 地势陡峻, 植被稀少, 以耕地为主的人类活动强烈, 经人类耕作活动的改造坡面形态呈台阶状。滑坡前方为马场沟冲洪积堆积区, 地势平台, 其上主要为居住和基础设施为主, 马场村和国道 212 线就分布在此区域。

经初步踏勘, 该滑坡平面形态呈不规则簸箕状, 滑坡体长约 120 m, 宽 180 m, 厚 5 m, 滑坡面积 $1.98 \times 10^4 \text{ m}^2$, 体积 $10.8 \times 10^4 \text{ m}^3$, 规模为中型。滑坡主滑方向为 291° , 滑体后壁坡度 42° 左右, 滑体坡面平均坡度为 28° , 滑体前缘坡脚局部因人为削坡建房而形成高 8 m, 坡度 65° 左右的人工边坡。目前, 该滑坡体中下部发育弧形裂缝, 经访问得知裂缝系 2015 年出现, 垂直下错距离约 10~45 cm, 延伸长度约 30 m, 基本贯通。滑体前缘村民新建房屋墙体挤压变形开裂(图 1)。

马场村滑坡为一处具有古滑坡局部复活特征

注: 本文为中国地质调查局地质调查项目(编号: DD20221748/DD20190645)及国家重点研发计划项目(编号: 2021YFC3000505/2021YFB2301304)的成果。

收稿日期: 2023-12-10; 改回日期: 2024-02-05; 责任编辑: 蔡志慧。DOI: 10.16509/j.georeview.2024.s1.111

作者简介: 侯圣山, 男, 1977 年生, 博士, 正高级工程师, 主要从事地质灾害调查监测相关研究; Email: houshengshan@mail.cgs.gov.cn。

的土质滑坡, 监测主要针对滑坡变形、土体含水量及降雨量开展, 计划布设 4 台 GNSS、2 套裂缝计、1 台雨量计和 1 套含水量监测仪 (3 个探头, 埋深分别为 0.5 m、1.0 m 和 1.5 m)。这一方案的实施, 将实时监测滑坡区裂缝变形、绝对位移、土体含水量变化和降雨情况, 从而对滑坡的变形及诱发因素进行监控。

文斗学校滑坡位于岷县梅川镇文斗九年制学校北山第一斜坡带前缘。地貌单元属构造剥蚀中低山区, 地层岩性上部为坡积、残积碎石土, 下部为二叠系下统十里墩组 (P_{1sI}) 石英砂岩、粉砂岩、板岩。文斗学校滑坡为残坡积堆积层老滑坡, 滑坡体长 120 m, 宽 100 m, 主滑方向 175° , 平均坡度 25° , 体积约 $18.0 \times 10^4 \text{ m}^3$, 属中型滑坡。目前, 滑坡前缘发育一处坡宽为 60 m, 坡长 45 m, 坡度 65° 的不稳定斜坡。2019 年 7 月, 该斜坡中部出现一条裂缝, 延伸长度 25 m, 缝宽 5~30 cm。目前, 该斜坡仍处于不稳定状态, 严重影响坡脚文斗中学操场和教学楼, 威胁人口约 500 人, 险情大, 危险性大。

针对文斗学校滑坡坡度大、威胁群众多的特点, 计划布设 4 台 GNSS、2 套裂缝计、1 台雨量计和 1 套声光报警器。

2 监测设备选型

本次滑坡监测设备技术参数及技术特征如下:

普适型 GNSS 接收机: ①全开放天空静态解算精度: 平面优于 $\pm 5 \text{ mm}+1 \text{ ppm}$, 高程优于 $\pm 10 \text{ mm}+1 \text{ ppm}$; ②星频: BDS: B1/B2, GPS L1/L2, L2, GLONASS G1/G2; ③工作温度: -40°C 至 80°C ; ④工作湿度: 最大 98% RH; ⑤采用天线、主机一体化结构; ⑥防水防尘: IP67; ⑦供电: 无日照能连续正常工作时间 10 天; ⑧通讯: 内置全网通通信模块, 支持移动、联通、电信 2/3/4G 传输; ⑨支持通电自启。

普适型雨量计: ①最大瞬时雨量 0.4 mm/s ; ②分辨力: 不低于 0.5 mm ; ③测量准确度: 误差范围 $\leq \pm 5\%$; ④通讯: 支持 2/3/4G 全网通; ⑤供电系统: 无日照至少连续正常工作时间不小于 30 d; ⑥工作温度: -20°C 至 65°C ; ⑦工作湿度: 最大 98% RH; ⑧防水防尘: IP66; ⑨可与无线网关集成安装。

普适型无线位移计 (2 m): ①量程: $0 \sim 2000 \text{ mm}$; ②分辨力: 0.2 mm ; ③测量精度: $\pm 0.1\% \text{ F} \cdot \text{S}$; ④具备阈值触发功能, 触发阈值 1.5 mm , 位移变化值超



图 1 马场村滑坡前缘房屋挤压开裂

过阈值, 则自动上报位移计数据; ⑤通讯: 支持 2/3/4G 全网通或短距无线方式; ⑥短距无线通信能力: 空旷 3 km/遮挡情况不低于 500 m; ⑦待机功耗: $3.7 \text{ V}/60 \mu\text{A}$; ⑧供电系统: 一体化集成 $5 \text{ V}/1 \text{ W}$ 光伏充电, 20 Ah 可充电锂电池, 无日照工作时间可达 2 a; ⑨支持休眠状态下随时唤醒; ⑩工作温度: -20°C 至 65°C ; ⑪工作湿度: 最高 98% RH; ⑫防水防尘: IP66。

普适型土壤含水率监测仪: ①量程: $0 \sim 100\%$; ②温度范围: $-20 \sim 80^\circ\text{C}$; ③精度: $0 \sim 50\%$ 范围内为 $\pm 2\%$ 。

3 马场村滑坡成功预警

2021 年 9 月 16 日, 马场村滑坡监测数据出现异常 (图 1), 预警系统自动判别, 先后触发蓝色、黄色、橙色和红色预警, 并自动发送短信给相关政府部门人员、群测群防监测人员、地质技术人员、危险区群众。各方合作迅速处置, 及时撤离危险区群众 (图 2), 滑坡未造成人员伤亡。

位于滑坡中后部的 04LF01 号裂缝监测仪最先发出预警, 分别于 2021 年 9 月 16 日的 20:07:06、20:23:07、20:25:41 和 20:26:08 发出蓝色、黄色、橙色和红色预警。随后, 当天晚上 22:14:02, 01GP01 号 GNSS 地表位移监测仪也触发了红色预警。

监测数据显示 (图 1), 马场村滑坡从 2021 年 9 月 16 日 20:11 开始启动, 至 17 日 05:11, 9 h 累计滑动 2150 mm, 滑动速度约 239 mm/h 。2021 年 9 月 17 日 05:11 后, 滑动速度变慢, 至 18 日 00:14 滑动停止, 19 h 累计滑动 816 mm, 滑动速度约为 43.1 mm/h 。本次滑坡的滑动速度呈现慢—快—慢的

特点,滑动共持续约 28 h,累计变形量 2986 mm

本次滑坡面积约 600 m²,滑坡方量约 1200 m³。滑坡损毁了变形区内的耕地及种植的经济作物,损坏了滑坡治理施工方修筑的部分施工便道及施工作业面,压埋滑坡下方民房及院落,造成房屋变形加剧。初步估算,滑坡直接经济损失约为 50 万元。

初步分析认为,本次局部滑动为坡脚开挖和前期降雨联合诱发。2021 年 8 月施工单位进场后,在修筑施工便道、作业面、堆料场等设施过程中,对滑坡下方进行了开挖,改变了滑坡体状态,降低了滑坡稳定性。另外,降雨量监测数据显示,2021 年 9 月 15 日 6:40~12:30 约 6 h 内,马场村滑坡区有一次 10.6 mm 的降雨过程,雨水入渗也对滑坡产生了不利影响。

4 监测与综合减灾

马场村的成功预警有效避免了灾害损失。监测预警的实施,提高了灾害防范水平,有效降低了灾害风险。由于文斗学校滑坡和马场村滑坡监测数据显示,滑坡发展较为迅速,稳定性差,地方政府及时筹措资金,安排了上述两处滑坡的工程治理工作。文斗学校滑坡采用 11 根抗滑桩加锚索为主的治理方案、马场村滑坡采用 21 根抗滑桩加排水为主的治理方案,以彻底消除滑坡隐患。

通过普适型监测工作,对滑坡发展趋势进行了精准掌控,有效降低了灾害风险,并为工程治理提供了基础数据。

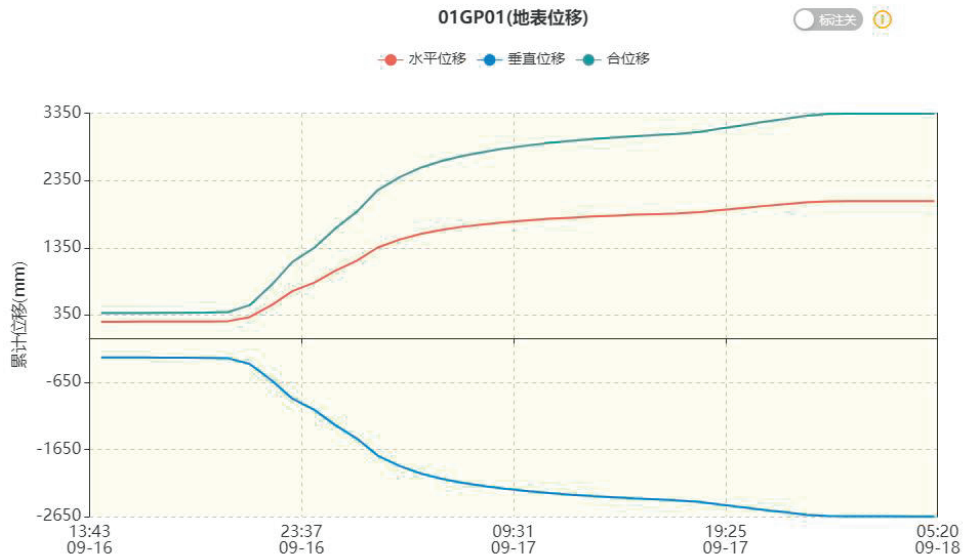


图 2 01GP01 号 GNSS 位移监测数据

参 考 文 献 / References

- 丁继新, 尚彦军, 杨志法, 张路青. 2004. 降雨型滑坡预报新方法. 岩石力学与工程学报, 23(21): 3738~3743.
- 侯圣山, 李昂, 韩冰, 周平根, 叶贺炯, 祝斌, 马维峰. 2014. 四川雅安地质灾害预警预报及分析. 中国地质灾害与防治学报, 25(4): 134~138.
- 李慧, 王欣泉, 宗爽. 2020. 现阶段我国地质灾害防治工作新思路——中国地质灾害防治工程行业协会“5·12 全国防灾减灾日”云服务活动综述. 中国地质灾害与防治学报, 31(3): 5~8.
- 孙世国, 苏振华, 王杰, 郭珮, 董彦飞. 2016. 滑坡变形组合预测方法的研究. 工程地质学报, 24(6): 1041~1047.
- 王春磊, 徐大录. 2013. 甘肃省定西市岷县地质灾害详细调查报告. 甘肃省地矿局水文地质工程地质勘察院.
- 中国地质环境监测院. 2008. 全国地质灾害防治规划研究. 北京: 地质出版社.

HOU Shengshan, LI Ang, LIU Mingxue, CHEN Liang, FENG Zhen, WANG Lichao: Research monitoring and early warning using universal instruments of two landslides in Min County, Gansu Province

Keywords: geological hazard; landslide; monitoring; early warning; risk