

文章编号: 1008 - 2786 - (2018)5 - 806 - 07

DOI: 10. 16089/j. cnki. 1008 - 2786. 000376

四川省盐源县玻璃村“7·19”特大滑坡灾害 应急科学调查

伍康林^{1,2}, 陈宁生^{1,3*}, 胡桂胜^{1,3}, 黄娜^{1,3}, 张勇^{1,2}

(1. 中国科学院水利部、成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 成都 610041)

摘 要: 2018 年 7 月 19 日四川省盐源县玻璃村突发特大土质滑坡, 损毁房屋 65 户 186 间, 造成直接经济损失 1300 万元。由于预警预报及时, 区域内 97 户 437 人成功避险, 无人员伤亡。通过对滑坡区域进行现场调访、无人机航拍、实验分析等方法, 对该区域的地质、降雨、滑动变形特征和过程进行分析, 研究了滑坡的成因, 预测其发展趋势, 提出减灾建议。滑坡是在区域脆弱地质环境背景, 陡倾地形的影响, 降水和地表径流联合作用下, 古滑坡堆积体复活的结果; 滑坡堆积体存在转化为泥石流灾害的风险; 过去排查的地质灾害隐患点的科学合理性需要进一步研究确认。盐源县玻璃村滑坡是典型的避险成功案例, 县、乡、村、组 4 级监测网络的群测群防工作对此次成功的灾害避险起到重要作用, 可为相似灾害的避险工作提供借鉴。同时应对流域滑坡泥石流采取工程措施, 完成灾害体的综合整治。

关键词: 盐源县; 群测群防; 特大滑坡; 形成特征; 减灾建议

中图分类号: P642. 21

文献标志码: C

2018 年 7 月 19 日凌晨 5 点 40 分左右, 四川省凉山彝族自治州盐源县桃子沟玻璃村山体发生土质滑坡自然灾害。灾害发生于桃子沟中游右岸岸坡玻璃村 7、8 组, 滑坡后缘右侧坐标位置为 101°01'29. 30"E, 27°29'44. 60"N。由于群测群防工作到位, 提前安排监测人员, 预警预报及时, 信息传递畅通, 避险预案启动果断, 以及避灾措施得力, 实现了成功避险, 共计撤离疏散 97 户 437 人, 直接避免了 65 户 281 人因灾伤亡。此次发生滑坡灾害的玻璃村并没有被划作地质灾害隐患点, 为何灾害会突然发生呢? 当地政府和村民从发现滑坡到成功实现避险, 有哪

些经验值得我们借鉴呢? 带着这些问题, 笔者通过对滑坡区域进行现场调访、无人机航拍、实验分析等方法, 对该区域的地质、降雨、滑动变形特征和过程进行分析, 研究了滑坡的成因, 预测其发展趋势, 并结合当地情况提出减灾建议以及工程治理措施。群测群防理论在地质灾害避险中已经得到运用, 但是避险成功的实际案例仍较为欠缺^[1,2], 本文通过现场调访, 整理了滑坡发生前研究区域的群测群防工作的过程, 分析了当地是如何组织群众成功避险, 为今后滑坡灾害预警和治理提供参考。

收稿日期 (Received date): 2018 - 08 - 23; **改回日期** (Accepted date): 2018 - 10 - 28

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金国际(地区)合作与交流项目(41661134012); 中科院山地所“一三五”方向性项目(SDS - 135 - 1705)。[Project of International Cooperation and Exchange of National Natural Science Foundation of China (41661134012); The 135 Strategic Program of the IMHE, CAS(SDS - 135 - 1705)]

作者简介 (Biography): 伍康林(1996 -), 男, 四川南充人, 博士研究生, 研究方向为山地灾害形成机理及防治技术。[WU Kanglin, male, born in Nanchong, Sichuan Province, Ph. D. candidate, research on formation mechanism and prevention of mountain disasters]. E-mail: wukanglin18@ mails.ucas. ac. cn.

* **通讯作者** (Corresponding author): 陈宁生(1965 -), 男, 福建南安人, 研究员, 博士生导师, 研究方向为山地灾害形成机理与防治。[CHEN Ningsheng(1965 -), male, born in Nan'an, Fujian Province. Ph. D., professor, specialized in formation mechanism and prevention of mountain disasters]. E-mail: chennsh@ imde. ac. cn.

1 区域背景条件

1.1 基本情况

桃子沟为甲米河左岸一级支流,主沟长度15 km,沟域面积约17.5 km²,沟源海拔3346 m,沟口2062 m,相对高差1284 m,主沟平均纵比降85‰,海拔2360 m以上沟域中上游地形较缓,纵比降70‰左右,2360 m以下沟域中下游平均纵比降达到149‰。沟域形态呈长条形,中上游沟道两岸山坡坡度达30°以上,中下游两岸地形相对平缓,主要为居住区及耕地,滑坡沟段以下无人居住。滑坡灾害损毁房屋65户186间,因灾损毁耕地约300亩。损毁道路、沟渠、安全饮水管道、桥梁等,直接经济损失达1300万元。

1.2 滑坡区地质环境条件

玻璃村滑坡区夹持于北东向卧罗河断裂、麦架山断层之间,次级断层发育,岩性破碎。区域地震活动频繁,历史上该区域曾在1467年和1976年发生6.8级和6.7级地震,2017年9月12日滑坡区附近又发生4.7级地震。区域地貌上属横断山区南段,为剥蚀侵蚀中高山区。年降水量900 mm,滑坡区海拔2700m,区域冻融风化作用十分发育,受冻融风化和构造运动的影响^[3,4],区域风化壳较厚,可达30 m以上。区域由于耕地面积较大,并且历史上森林砍伐严重,流域内植被主要为次生林,生态水土保持能力不强^[5]。该区域夏季点状暴雨多,属地质灾害易发区^[6]。滑坡区出露地层主要有二叠系峨眉山玄武岩、二叠系乐平组砂岩夹煤系和三叠统青天堡组砂岩、泥质粉砂岩。

该地区经历了1976年甲米里氏6.9级地震,1998年的盐塘里氏6.2级地震。盐源县处于大地构造活动带,地震活动较频繁。据统计,已发生的5级以上地震20多次,同时也产生崩塌、滑坡以及泥石流等次生地质灾害。据《中国地震动参数区划图》(GB18306—2015),盐源县地震烈度为Ⅶ度和Ⅷ度。滑坡所在地桃子乡玻璃村的地震烈度为Ⅷ度,地震加速度为0.2 g。

2 滑坡变形特征及过程

玻璃村“7·19”滑坡位于盐源县桃子乡,其平面形态呈舌形,纵向(南北方向)长约1900 m,横向

(东西方向)宽约300~400 m,滑坡面积57×10⁴ m²,主滑方向320°~345°,滑坡总体积1800×10⁴ m³,后缘高程2700 m,前缘高程2362 m,前后缘高差338 m,为特大型土质滑坡。

从形态上滑坡可分为上、下两个相互关联的2段(图1)。上段平面形态呈舌形,后缘高程2700 m,前缘高程2530 m,前后缘高差170 m,分为上段坡源区和上段侵蚀区。纵向(南北方向)长约1200 m,横向(东西方向)宽约300~400 m,滑坡面积33×10⁴ m²。主滑方向345°,体积约1080×10⁴ m³,为推移式整体滑动,滑体上树木、房屋基本保留其原有相对位置。前缘形成坡度较缓的大面积滑覆区;两侧缘中后部形成高约30余米的垂直陡坎,边界呈直线,可见巨型擦痕;后缘位于原通往桃子乡公路附近,滑坡陡坎高约60 m,坡度70°,并形成积水洼地。滑坡区域整体坡度约25°~30°,除后缘陡壁外,滑体坡度较缓。下段平面形态呈舌形,后缘高程2500 m,前缘高程2362 m,前后缘高差138 m,被划分为下段堆积区(图2)。纵向(南北方向)长约800 m,横向(东西方向)宽约300~400 m,滑坡面积24×10⁴ m²。主滑方向320°,体积约800×10⁴ m³,为牵引式滑动,滑体上树木、房屋倾倒变形严重。滑坡整体坡度约8°~45°,前缘150 m坡度较缓,局部形成反向缓坡;中后缘较陡,后缘壁基岩面局部裸露,产状342°/32°,为顺向缓倾坡。后缘呈不规则

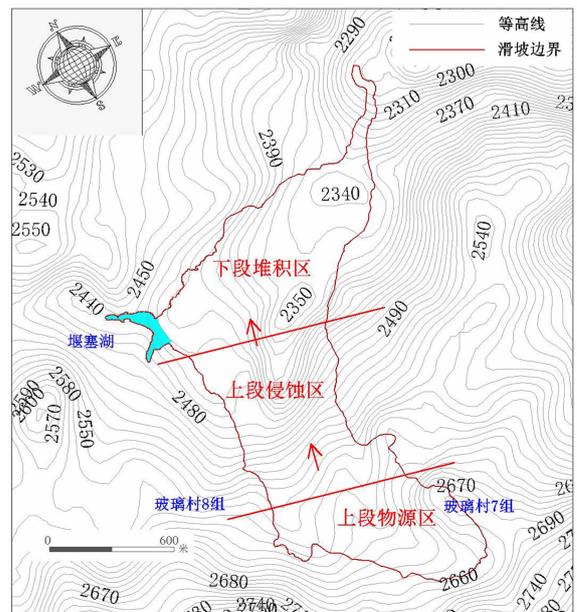


图1 桃子乡玻璃村滑坡全貌

Fig. 1 Topographic map of Boli landslide

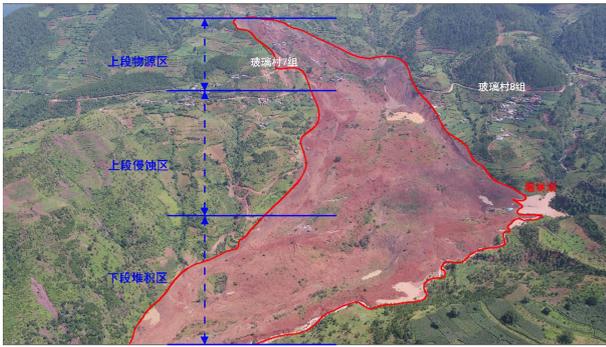


图2 桃子乡玻璃村滑坡分区特征图

Fig. 2 Different zones of Boli landslide

圈椅状, 滑坡壁高约 80 m, 坡度 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$, 侧缘中后部形成高约 50 m 的垂直陡坎, 边界呈锯齿状。

玻璃村滑坡是在降水的激发作用下, 经历蠕滑变形和滑动 2 个阶段形成的。蠕滑变形阶段发生于 7 月 14—18 日, 调查表明 7 月 14 日后下部滑坡区发生明显变形, 出现大量裂缝, 原有冲沟两侧岸坡出现大面积坍塌, 公路桥梁错断损毁; 18 日, 上部滑坡区出现大面积下错裂缝, 坡体中部沟道水出现断流, 并于下滑体前部出现地下水溢出现象。在前期降水和超渗产流的作用下, 19 日凌晨 5 点 40 分左右发生滑坡并形成灾害, 滑动阶段持续时间数十秒。滑坡发生后滑体堆积于桃子沟, 长约 1000 m, 堆积体的后部形成长 200 m、宽 70 m、体积约 30000 m^3 的堰塞水体, 堰塞沟段平均比降 115% 。目前水体已漫过堰塞堤, 形成龙口下泄。

3 滑坡成因分析

玻璃村滑坡是在区域脆弱地质环境背景, 陡倾地形的影响下, 降水和地表径流联合作用下, 古滑坡堆积体复活的结果。

在内外动力作用下玻璃村发育有一规模巨大的古滑坡(图 3), 盐源县桃子乡玻璃村“7·19”滑坡为一巨型古滑坡复活形成的。滑动前区域发育有面积约为 1.64 km^2 的古滑坡, 古滑坡堆积物主要为南东侧的玄武岩风化壳滑动形成的堆积物。滑坡后缘老滑坡壁明显, 呈圈椅状洼地。古滑坡的发育受区域北东向的麦架坪—玻璃村滑坡和冻融与中强地震的强烈作用的影响, 形成特厚的风化壳并滑动形成。

古滑坡堆积于陡倾的含煤砂泥岩上, 形成了有利于滑坡的地质条件。区域的古滑坡堆积于倾向北



图3 玻璃村古滑坡

Fig. 3 Ancient landslide of Boli Village

西, 倾角约 35° 的二叠系乐平组砂岩夹煤系地层上(图 4)。由于基覆界面的坡度较陡, 同时古滑坡堆积体的坡度平均约 25° , 前缘坡度达 30° 以上, 所以地形上满足滑坡的发育。



图4 古滑坡堆积的含煤砂泥岩

Fig. 4 Coal-bearing sand-mudstone

滑坡区域及周边多为未固结的粘性土及砂土, 土质疏松, 再加上经过多年的垦殖、采伐、放牧等人为活动, 使得该区域植被主要为次生林。次生林的广泛分布使该区域生态系统的稳定性和抗逆作用减弱^[7,8], 在遇到长时间降雨的情况下保持坡体稳定的作用较弱, 利于滑坡的发育和启动。

降水和沟道渗流的联合作用驱动古滑坡复活形成玻璃村滑坡灾害。根据盐源县气象局的降雨数据显示, 在滑坡发生前桃子乡连续降雨 14 天, 降雨量超过 349 mm。7 月 14—19 日, 滑坡区持续强降雨, 小时雨强达 $18 \sim 31 \text{ mm}$, 累计降雨量达到 138.9 mm (图 5)。古滑坡堆积体的后缘发育 3 条常流水冲沟, 由于流域的生态持水能力受人类活动的影响有所降低^[9], 降雨直接的渗流和后缘冲沟径流的入渗使原老滑坡巨厚松散堆积体土体趋于饱和状态, 坡

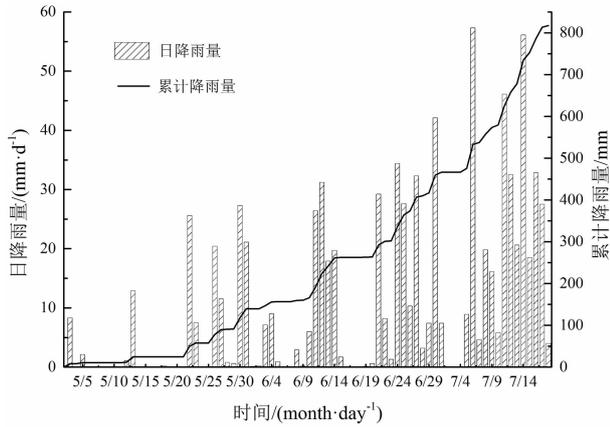


图 5 玻璃村滑坡前降雨过程曲线图

Fig. 5 Curve of rainfall in Boli Village before the landslide

体自重急剧增加,沿基覆界面形成贯通滑面后^[10,11],滑坡整体启动。

4 发展趋势与风险特征

玻璃村后缘残留古滑坡堆积体存在小规模滑动的风险。目前玻璃村滑坡趋于稳定,滑坡体前缘已达桃子沟左岸,难以进一步滑动,后缘滑面已裸露(基岩面),绝大部分滑体已滑落(图 6),由于坡度较陡,仍然存在局部小规模滑落的可能性;两侧缘斜坡形成较高陡的临空面,在强降雨条件下,两侧缘在垂直主滑方向存在向滑体内牵引式变形的风险。



图 6 滑坡后缘裸露滑面

Fig. 6 Slip surface of the rear edge

滑坡堆积体存在转化为泥石流灾害的风险。玻璃村滑体堵塞桃子沟,形成堰塞体的后缘发育体积约 30 000 m³ 的水体(图 7),在强降水的作用下,降

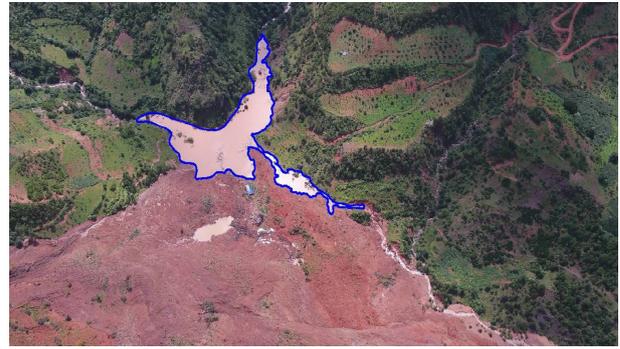


图 7 滑坡中段处形成的堰塞湖

Fig. 7 Barrier lake induced by landslide

水形成的山洪可能侵蚀堰塞水体,并侵蚀滑坡堆积体形成泥石流,进一步堵溃主河形成灾害,危害甲米河二级、三级电站和沟口省道 307 公路桥。

区域内其他没有准确预判的古凹槽堆积滑坡体复活的风险依然存在。玻璃村滑坡灾害是古滑坡体复活的结果。初步调查发现区域内还发育有诸如核桃村南侧的古滑坡堆积体。这一山区的人类耕种和居住别无选择地位于古的滑坡堆积体和泥石流堆积扇上,形成了长期“与灾共舞”的局面。此次发生灾害的玻璃村滑坡此前并没有确认为地质灾害隐患点,因此过去排查的地质灾害隐患点的科学合理性需要进一步研究。

5 群测群防实践

群测群防对我国的地质灾害易发区的灾害预警和避险起着重要作用^[12],通过专家及相关技术人员对各级部门、群众进行灾害初步判断,连续巡查,险情通报,合理自救等内容的宣传培训,建立畅通的通信网络,为滑坡等地质灾害的监测、预警和避险提供有利条件。盐源县的群测群防体系可分为县、乡、村、组 4 级监测网络。灾害发生前的一个月,桃子乡降雨天数达到 27 天,滑坡前连续降雨达 14 天。从 7 月 13 日开始,玻璃村 7、8 组的居民开始发现地表、房屋开裂等情况并及时上报后,通过监测人员调查核实后,各部门根据具体情况指挥群众进行了分批次疏散撤离。最终在 19 日玻璃村滑坡滑动之前成功完成 97 户,437 人的避险工作,群测群防工作效果显著(图 8)。

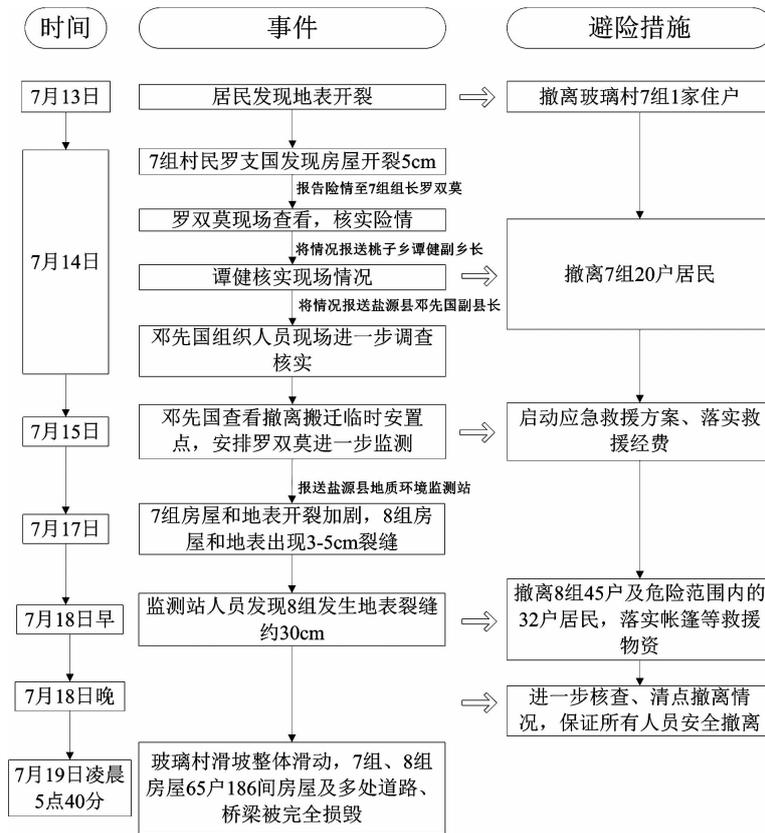


图8 玻璃村滑坡群策群防示意图

Fig. 8 Schematic diagram of prevention system of landslide

6 减灾建议

结合现场勘察、调访和实验等方法,确定此次玻璃村“7·19”特大土质滑坡灾害为古滑坡体复活,陡峭地形和长时间降水共同作用的结果。而此次滑坡发生前的群测群防工作及时疏散了灾害区域的居民,避免了人员伤亡。

面对仍然存在的潜在滑坡体启动和滑坡体转化为泥石流的可能,笔者建议首先应加强区域地质灾害隐患点的科学预判。针对这一区域地质构造活动和冻融风化作用强烈的背景,基于极端降水和产汇流区域以及地貌凹槽区域古滑坡的堆积特征指标,进行滑坡泥石流灾害风险的科学预判和排序,复核过去排查的结果,进一步科学明确减灾对象。

其次应加强监测预警与应急处置,有效防控突发地质灾害的发生。加强滑坡后缘残留松散堆积体的监测,加强滑坡堆积体稳定性的监测,尽快疏通甲米河泥石流堵塞堆积体,尽快排泄滑坡堆积体上游堰塞的水体,以防二次灾害的发生。

最后进行滑坡,泥石流灾害的综合防治。建议进行流域滑坡,泥石流灾害勘查任务书的编制,进行勘察设计和施工,完成灾害体的综合整治。治理方案可在滑坡堆积体前沿设计拦挡坝一座,坝后滑坡堆积体修建排导槽,排导槽两侧开发耕地,并将此工程作为我国的地质灾害防治与国土开发综合利用的示范点。

参考文献 (References)

[1] 刘海南, 李永红, 杜江丽, 等. 陕西省神木县地质灾害群测群防体系现状与对策[J]. 灾害学, 2016(1):144 - 147 [LIU Hainan, LI Yonghong, DU Jiangli, et al. Present situation and measures of mass monitoring and preventing system of geological hazards of Shenmu in Shaanxi [J]. Journal of Catastrophology, 2016 (1): 144 - 147]

[2] 何秉顺, 常清睿, 褚明华. 山洪灾害防治群测群防体系建设探析[J]. 中国水利, 2012 (13):44 - 46 [HE Bingshun, CHANG Qingrui, CHU Minghua, et al. Control of mountain flood with public participation in monitoring and prevention [J]. China Water Resources, 2012(13):44 - 46]

[3] 陈宁生, 刘美, 刘丽红. 关于山洪与泥石流灾害及其流域性质判别的讨论 [J]. 灾害学, 2018 (1): 39 - 43. [CHEN

- ningsheng, LIU mei, LIU lihong, et al. A discussion on how to discriminate the hazard and watershed properties of mountain torrent and debris Flow [J]. *Journal of Catastrophology*, 2018(1):39 – 43]
- [4] CHEN N, CHEN M, LI J, et al. Effects of human activity on erosion, sedimentation and debris flow activity – A case study of the Qionghai Lake watershed, southeastern Tibetan Plateau, China [J]. *The Holocene*, 2015, **25**(6): 973 – 88
- [5] 刘伟. 西藏贡嘎巨型超高速远程滑坡地质灾害链特征研析 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2002, **13**(3): 9 – 18 [LIU Wei. Study on the characteristics of huge scale-super highspeed-long distance landslide chain in Yigong, Tibet[J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2002, **13**(3):9 – 18]
- [6] HOU T S, XU G L, SHEN Y J, et al. Formation mechanism and stability analysis of the Houba expansive soil landslide [J]. *Engineering Geology*, 2013, **161**(14):34 – 43
- [7] 朱教君, 刘世荣. 次生林概念与生态干扰度[J]. *生态学杂志*, 2007, **26**(7): 1085 – 1093 [ZHU Jiaojun, LIU Shirong. Conception of secondary forest and its relation to ecological disturbance degree[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, **26**(7): 1085 – 1093]
- [8] HUANG Xiaobo, LI Shuaifeng, Su Jianrong, et al. The relationship between species richness and ecosystem multifunctionality in the Pinus yunnanensis natural secondary forest [J]. *Biodiversity Science*, 2017, **25**(11): 1182 – 1191
- [9] IVERSON R M. Landslide triggering by rain infiltration[J]. *Water Resources Research*, 2000, **36**(7):1897 – 1910
- [10] NIAN, FENG, YU, et al. Strength behavior of slip-zone soils of landslide subject to the change of water content [J]. *Natural Hazards*, 2013, **68**(2):711 – 721
- [11] 张群, 许强, 甯娜. 降雨条件下低缓浅层土质滑坡稳定性影响因素及耦合研究[J]. *水文地质工程地质*, 2014, **41**(5):90 – 94 [ZHANG Qun, XU Qiang, MI Na. A study of the stability influence factors and coupling for inclined-shallow soil landslides under the condition of rainfall[J]. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2014, **41**(5):90 – 94]
- [12] 薛宁波, 马清文, 王成华. 地质灾害易发山区群测群防体系与突发性灾害预警[J]. *中国水土保持科学*, 2008, **6**(s1):12 – 15 [XUE Ningbo, MA Qingwen, WANG Chenghua. System of operated by mass people and warning of sudden outburst hazards in geological hazards mountainous area[J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2008, **6**(s1):12 – 15]

Emergency Investigation to 7 · 19 Landslide Disaster in Boli Village, Yanyuan County, Sichuan, China

WU Kanglin^{1,2}, CHEN Ningsheng^{1,3*}, HU Guisheng^{1,3}, HUANG Na^{1,3}, ZHANG Yong^{1,2}

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Key laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Process, Chinese Academy of Science, Chengdu 610041, China)

Abstract: On July 19, 2018, a catastrophic soil landslide occurred in the Boli Village, Yanyuan County, Sichuan Province, and damaged 186 rooms of 65 houses, causing a direct economic loss of 13 million yuan. Due to the early detection of landslide from the visible cracks in the houses before the occurrence of the major landslide and the help of community-based early warning system, the dwellers (437 people in the region) were successfully evacuated with no casualties. Questionnaire survey, aerial photography and experimental analysis coupled with geological and precipitation data were analyzed for understanding its initiation process and deformation trends. Based on the detailed analysis, prevention and mitigation measures were proposed. The landslide is the result of the resurrection of the ancient landslide deposits under the influence of the steep fragile topography and the coupled action of precipitation and surface runoff. The landslide deposits still have the risk of being converted into debris flow hazards. The scientific rationality of the hidden danger points needs further research and confirmation. The landslide of Boli Village in Yanyuan County is a typical case of mass monitoring and prevention system with public participation. This system plays an important role in disaster warning and risk avoidance in geological disaster-prone areas in China. Through a good publicity and training about preliminary judgments on disasters, continuous inspections, notifications and application of self-help methods, it establishes a smooth communication network and

provides favorable conditions for monitoring, early warning and risk avoidance of geological disasters such as landslides. The system in the study area can be divided into the county, township, village and group monitoring networks, which can provide future reference for similar disasters. Furthermore, engineering measures proposed should be considered to minimize further risk of the residual loose deposits at the trailing edge of the landslide deposits. The comprehensive control of the disaster body in this region should be improved.

Key words: Yanyuan County; public participation in monitoring and prevention; catastrophic landslide; formation characteristics; mitigation suggestions

会讯:

纪念四川省地理学会成立 40 周年暨 2018 年学术年会在成都隆重召开

10 月 27 日,由四川省地理学会主办、四川师范大学地理与资源科学学院承办的“纪念四川省地理学会成立 40 周年暨 2018 年学术年会”在四川师范大学隆重召开。来自中科院成都山地所、西南大学、成都理工大学、西华师范大学等省内外 20 多个科研院所和高校的近 300 多位专家学者及研究生参加此次盛会。

会议期间还举行了四川省地理学会第九届理事会第二次全体会议,就学会党建、学会建设与发展相关事项进行了研究和讨论。

此次纪念四川省地理学会成立 40 周年暨 2018 年学术年会的隆重召开,既展示了四川省地理学会的辉煌历史和成就、增强了学会凝聚力,也为我省从事地理研究和教育的相关师生提供了一次展示成果和学术交流的平台。

(四川省地理学会 供稿 2018-10-30)