

文章编号: 1008-2786-(2017)4-598-06

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000258

四川省茂县叠溪镇新磨村特大滑坡应急科学调查

何思明^{1 2 3}, 白秀强^{3 4}, 欧阳朝军^{1 2}, 王东坡⁵

(1. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 成都 610041;

2. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041;

3. 中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心, 北京 100101;

4. 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100101; 5. 成都理工大学, 成都 610059)

摘 要: 2017 年 6 月 24 日四川省茂县叠溪镇新磨村突发特大高位顺层岩质滑坡, 造成 10 人死亡, 73 人失踪, 整个新磨村被毁的重大损失。通过对滑坡所处位置的地形、地质、降雨和历史地震综合分析, 该滑坡是由历史上多次强烈地震形成的震裂山体在持续降雨作用下触发的高位坡—碎屑流—堰塞湖灾害链。强烈地震造成的山体内部损伤可持续影响数百年以上, 是未来高烈度区地质灾害排查的重点。

关键词: 新磨村特大滑坡; 成因机制; 地震; 降雨

中图分类号: P642.22

文献标志码: C

2017 年 6 月 24 日 5 点 39 分, 四川省阿坝州茂县组富贵山山体突发高位顺层岩质滑坡, 滑坡前缘中心点坐标为 103°39′03.4″E、32°04′09.4″N(图 1), 处于岷江一级支流松坪沟左岸, 山体坡顶高程约 3400 m, 坡脚高程约 2200 m。原始斜坡上陡下缓, 上段为基岩坡体, 物源区坡度高达 50°, 下段为老滑坡堆积体坡度较缓(图 2)。山体顶部(物源区)约 283 万 m³ 的震裂山体突然滑动, 高速撞击下方坡体, 并沿程铲刮坡积块石土层(侵蚀区)后规模达到 630 多万 m³, 碎裂解体并转化为碎屑流, 运动至坡体下部老滑坡堆积体后, 形成扩散型碎屑流。一部分滑坡体直接推挤中部滑体向前滑动, 其余部分则向左右两侧抛洒堆积, 滑坡体直接摧毁新磨村, 并堵塞松坪沟形成长达 2 km 的堰塞坝体(滑坡前后的影像见图 3、图 4)。在滑坡高速滑动过程中, 在相对封闭的地形条件形成冲击气浪, 在松坪沟右岸清晰

可见高度超过 100 米的溅泥, 堆积区东侧可见倾覆向外侧的灌木(图 5)。据现场调查测量*, 滑坡堆积体平均长约 800 m, 平均宽 900 m, 平均厚度约 10 m, 滑坡体破碎解体扩容后规模约 720 万 m³(滑坡堆积体厚度见图 6)。本次高位岩质滑坡共导致 103 家房屋被毁, 10 人死亡, 3 人受伤, 73 失踪, 造成巨大的人民生命财产损失。

大规模滑坡体在高位能大梯度条件下高速运移并对地面产生了强烈的震动, 四川地震台网有 33 处地震台站清楚记录到了本次滑坡事件(图 7), 初步估算滑坡垮塌持续时间约 100 秒左右。

1 滑坡成因机制

通过对新磨村滑坡的现场勘查和分析, 发现该地区历史上曾遭受叠溪地震^[1-2]和汶川地震^[3]等多

* 四川省茂县“6.24”特大山体滑坡灾害应急调查专家组, 四川省茂县“6.24”特大山体滑坡灾害应急调查报告[R], 2017 年 6 月。

收稿日期(Received date): 2017-08-10; 改回日期(Accepted date): 2018-08-19

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金国际合作与交流项目(41661144041); 四川省科技厅重点研发计划、科技支撑计划(2017SZ0041; 2016SZ0067)联合资助[NSFC-ICIMOD(41661144041); Key Research and Development Plan, Science and Technology Support Program of Sichuan Provincial Science and Technology Department(2017SZ0041; 2016SZ0067)]

作者简介(Biography): 何思明(1968-), 男, 四川人, 博士, 研究员, 主要研究方向: 山地灾害形成机制与防治技术研究[He Siming(1968-), male, Ph. d., professor, mainly research on geohazard formation mechanism] E-mail: hsm@imde.ac.cn

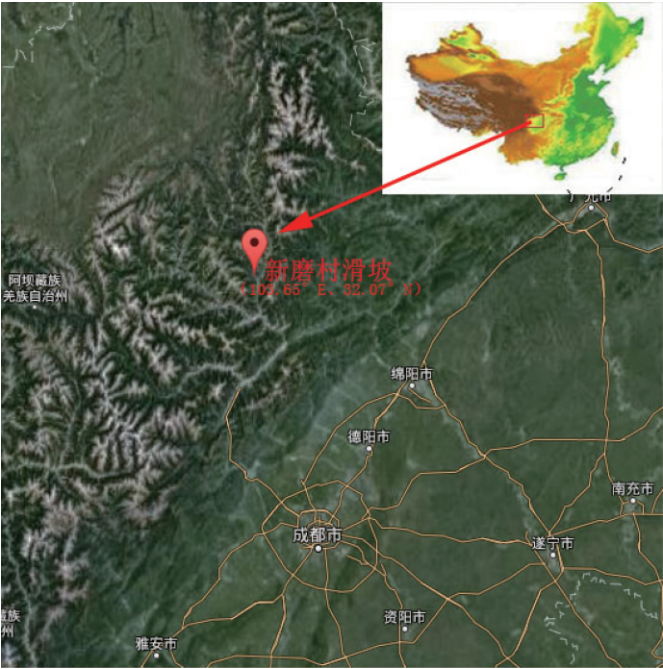


图 1 叠溪镇新磨村滑坡体位置

Fig. 1 Location of landslide body in Xinmo Village , Diexi Town

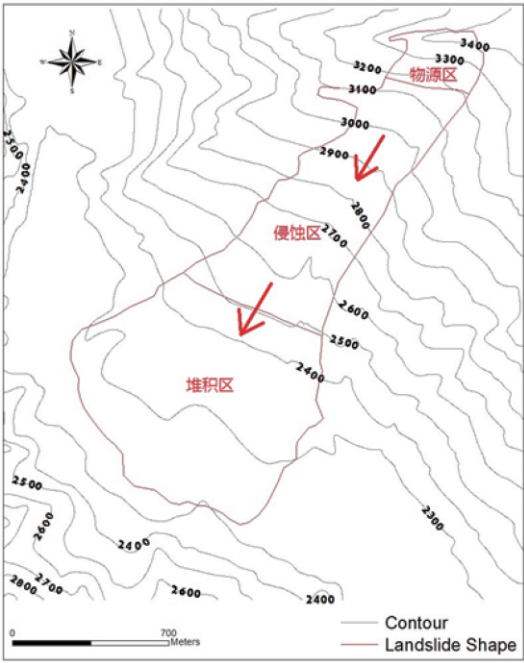


图 2 叠溪镇新磨村地形图

Fig. 2 Geomorphology of Xinmo Village , Diexi Town



图 3 滑动前影像

Fig. 3 Image taken before landslide



图 4 滑动后影像

Fig. 4 Image taken after landslide

次地震作用 ,导致山体震裂破碎 在长期重力和降雨等自然因素作用下 ,引发的特大型地质灾害 ,具有滑坡—碎屑流—堰塞湖灾害链的显著特征^[4-6]。下面主要从新磨村的地形地质条件、地震效应和降雨作用分析其形成机制。

1. 1 滑坡区地形地质条件

新磨村位于青藏高原第一阶梯到四川盆地第二

阶梯的过渡地带 ,造就了本地区高差悬殊 ,最高海拔达 5230 m ,西北方向海拔差异 1000 ~ 2500 m ,东南方向差异 500 ~ 1500 m。由于青藏高原的隆起 ,板块的抬升所造成该地区的河谷下切十分明显 ,流经本区域的岷江呈“V”峡谷 ,而流经新磨村的松坪沟正是岷江的一级支流 ,因此 ,新磨村所在位置的山体也十分陡峭 ,后面山体上坡段在滑坡前坡度高达 50°(图 8) 。



图5 倾覆的灌木

Fig. 5 Overturned shrubs

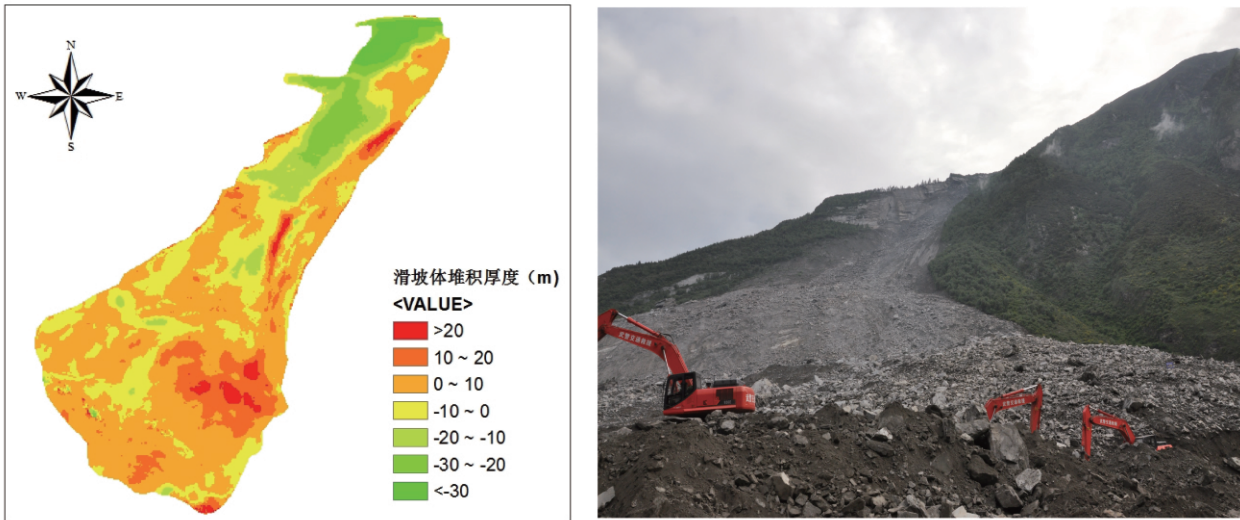


图6 新磨村滑坡体堆积厚度

Fig. 6 Thickness of the Xinmo landslide accumulation

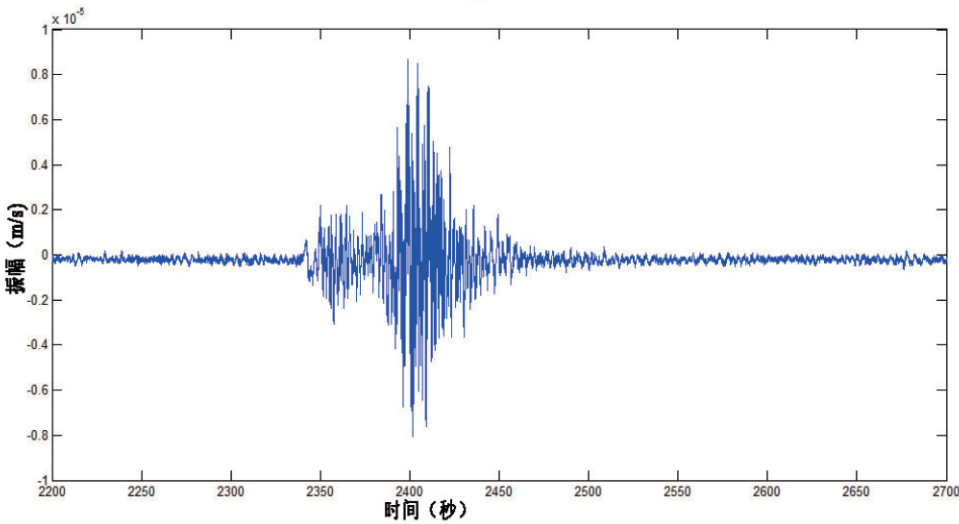


图7 新磨村滑坡产生的地震动信号

Fig. 7 Seismic signals caused by the Xinmo landslide

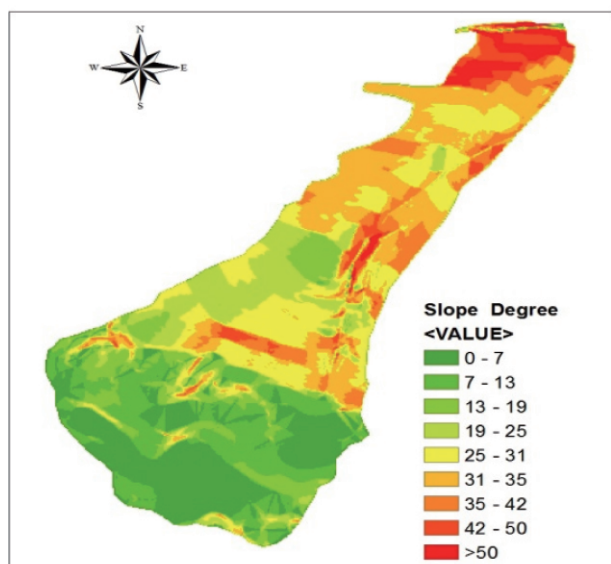


图8 新磨村滑坡体滑前坡度图

Fig.8 Slope before failure

沿松坪沟两岸存在大量的湖相和坡体沉积,尤其在位于松坪沟左岸的富贵山上坡段(3100~3450 m)广泛发育崩塌碎屑流,主要堆积在海拔大约2200 m处。滑坡体所在坡体为顺向结构,出露三叠系杂谷脑组浅灰色薄-中厚层状变质石英砂岩,产状 $184^{\circ}\angle 53^{\circ}$,倾向与斜坡倾向近于一致。节理裂隙较为发育,主要为两组优势结构面: $100^{\circ}\angle 70^{\circ}$ 、 $195^{\circ}\angle 40^{\circ}$ 。该区地区多次遭受地震作用,断裂构造发育,山体震裂明显,岩体结构破碎。

1.2 历史地震的震裂效应

新磨村地处青藏高原东缘向四川盆地过渡的龙门山逆冲断裂带上,自公元1169年以来,共发生破坏性地震25次,其中里氏6级以上地震20次^[7]。而对新磨村滑坡影响比较的大的地震就属叠溪地震

和汶川地震。新磨村滑坡位置距离1933年3月25日叠溪7.5级地震震中仅3.4 km,地震烈度高达IX度,地震动峰值加速度高达0.2g,并且山体高程具有放大效应,因此,对山体造成了巨大的破坏,形成震裂山体。后期又遭受到包括2008年汶川地震在内的多次地震动力作用,斜坡变形加剧,岩体进一步遭受损伤破坏^[8-10]。同时,也为后期降雨入渗过程的物理化学侵蚀提供了物理条件,加速顺层滑坡切割分离边界的形成。

1.3 气候与降雨特征

叠溪镇新磨村气候条件复杂,属于温带半干旱河谷与高原季风气候,具有干燥多风,冬冷夏凉、昼夜温差大、地区差异大的特点。全镇年平均气温 13.5°C ,多年平均降水量为800 mm左右,雨量充足,年日照数为1554小时,降水集中在5~10月,年平均气温 6°C 。一月份平均气温为 $2.8\sim 8^{\circ}\text{C}$,七月份平均气温 22.5°C 。根据叠溪镇新磨村附近雨量观测站记录显示,5月份以来降雨量持续增加,其中6月7—22号总降雨量达57~86 mm,而6月23—24号降雨量为4.4~11.4 mm,致使灾害发生前新磨村6月份总降雨量高达78~100 mm,较常年同期偏多42%,入汛以来累计降雨量竟超过200 mm(图9)。长期的低强度持续降雨,为雨水沿岩体裂缝入渗创造了条件。而雨水在裂隙岩体或土坡体发生破坏的过程中主要体现在两个方面:(1)后缘推力和物理化学侵蚀,由于雨水的不断的入渗形成孔水压力对危岩体或土坡体产生向下的推力,并且水不断周围物质发生离子交换从而促进裂隙进一步变大^[11-12];(2)危岩体或土坡体底部的软化和孔水压力增加,由于雨水沿后缘裂隙不断向下入渗,然后

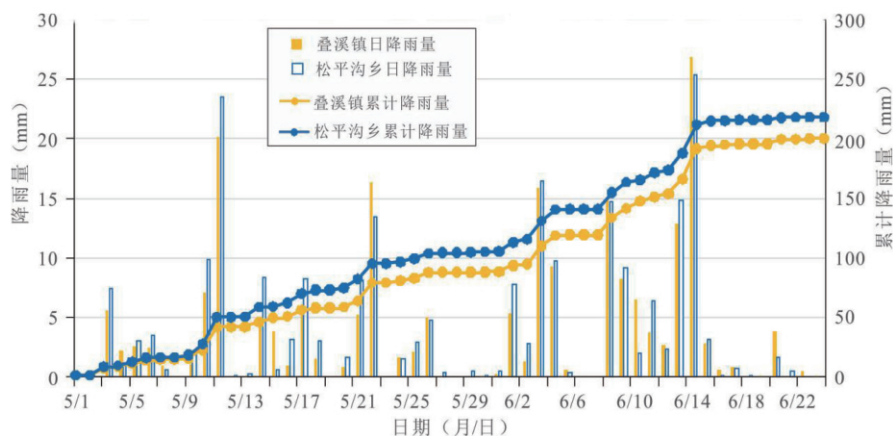
图9 新磨村滑坡滑前降雨过程曲线图^[*]

Fig.9 Curve of rainfall process in the Xinmo village before landslide

在重力作用会对危岩体下部相对软弱夹层进行侵蚀和软化从而降低了岩体的抗剪强度,同时,也降低了垂直坡体的压力和增加了平行坡体的下滑力^[13-15]。因此,新磨村滑坡发生前的长期低强度降雨是重要的一个触发因素。

2 结论与建议

新磨村“6·24”特大山体滑坡位于龙门山断裂带高山峡谷区,百年内遭受叠溪地震和汶川地震两次七级以上特大地震作用,顺层山体震裂破碎,在长期重力和降雨等自然因素作用下引发的特大型地质灾害,并以滑坡—碎屑流—堰塞湖灾害链形式形成巨灾。

新磨村高位山体滑坡的发生,表明地震造成的山体破坏的影响可以上达百年,而距2008年汶川地震才刚过9年,意味着龙门山断裂带在未来相当长的时间内还是高危险区,有必要利用高分卫星,INSAR与无人机等高新技术对潜在高危山体进行排查,以确定潜在风险源,采取相应措施以保证人民生命和财产安全。

致谢:感谢四川省茂县“6·24”特大山体滑坡灾害应急调查专家组和山地学报朱颖彦副主编在本文写作过程中所给予的建议和支持。

参考文献 (References)

- [1] 常隆庆. 四川叠溪地震调查记[J]. 地质论评, 1938: 253 - 258. [CHANG Longqing. A survey of the Dixi earthquake in Sichuan [J]. Georeview, 1938: 253 - 258]
- [2] 高继宗. 历史回顾: 1933年四川叠溪地震[J]. 中国减灾, 2008 (6): 58 - 59. [GAO Jizong. Historical review: 1933 Dixi earthquake in Sichuan [J]. Journal of Disaster Reduction in China, 2008 (6): 58 - 59]
- [3] 丁军, 朱静, 王磊等. 5.12汶川地震灾区茂县地质灾害危险性评价[J]. 水土保持研究, 2010, 17(5): 12 - 16. [DING Jun, ZHU Jing, WANG Lei, et al. Hazard Assessment of geohazards in 5.12 Wenchuan earthquake hazard area of Maoxian county [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2010, 17(5): 12 - 16]
- [4] 陈自生, 张晓刚. 1994-04-30四川省武隆县鸡冠岭滑坡-崩塌-碎屑流-堵江灾害链[J]. 山地研究, 1994, 12(4): 225 - 229. [CHEN Zisheng, ZHANG Xiaogang. A hazard-chain of landslide-collapse-debris flow-river stoppage in Wulong country, Sichuan province on april 30, 1994 [J]. Mountain Research, 12(4): 225 - 229.
- [5] 刘伟. 西藏易贡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] 韩金良, 吴树仁, 汪华斌. 地质灾害链[J]. 地质学前沿, 2007, 14(6): 11 - 23. [HAN Jinliang, WU Shuren, WANG Huabing. Geological disaster chain [J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(6): 11 - 23]
- [7] 雷建成, 高孟潭, 吕红山等. 四川及邻区抗倒塌地震区划图编制[J]. 地震学报, 2011, 33(2): 219 - 233. [LEI Jiancheng, GAO Mengtan, LV Hongshan, et al. Seismic zonation maps against collapse of structures in Sichuan and adjacent region [J]. Acta Seismologica Sinica, 2011, 33(2): 219 - 233]
- [8] 王伟. 地震动的山体地形效应[D]. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所, 2011. [WANG Wei. Effect of hill topography on ground motion [D]. Harbin: Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, 2011]
- [9] 王伟, 刘必灯, 刘欣等. 基于汶川Ms8.0地震强震动记录的山体地形效应分析[J]. 地震学报, 2015, 37(3): 452 - 462. [WANG Wei, LIU Bideng, LIU Xin, et al. Analysis on the hill topography effect based on the strong ground motion records of Wenchuan Ms8.0 earthquake [J]. Acta Seismologica Sinica, 2015, 37(3): 452 - 462]
- [10] 梁轩, 邢昊, 周俊等. 梯形山地地形效应对周围场地地震反应影响[J]. 地震工程与工程震动, 2016, 36(6): 45 - 55. [LIANG Xuan, XING Hao, ZHOU Jun, et al. Trapezoid mountain topographic effects and their impacts on seismic response of surrounding site [J]. Earthquake engineering and Engineering dynamics, 2016, 36(6): 45 - 55]
- [11] 徐则民. 水岩化学作用对斜坡水文地质及滑坡的影响[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(5): 16 - 23. [XU Zemin. Effect of chemical water-rock interaction on hydrogeology and landslide of slope [J]. Journal of natural disasters, 2007, 16(5): 16 - 23]
- [12] 吴永, 何思明, 罗渝. 震后暴雨型岩质滑坡启动机理[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(1): 135 - 139. [WU Yong, HE Siming, LUO Yu. Failure mechanism of post-earthquake rock landslide under rainfall [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(1): 135 - 139]
- [13] 兰恒星, 周成虎, 李焯芬等. 瞬时孔隙水压力作用下的降雨滑坡稳定性响应分析: 以香港天然降雨滑坡为例[J]. 中国科学: 技术科学, 2003, 33(增刊): 119 - 136. [LAN Hengxing, ZHOU Chenhu, LI Zhuofen, et al. Response analysis of rainfall landslide stability under transient pore water pressure: a case study of natural rainfall landslide in Hongkong [J]. Science in China Ser. E Technological Sciences, 2003, 33(Suppl.): 119 - 136]
- [14] 朱珍德, 邢福东, 王思敬等. 地下水对泥板岩强度软化的损伤力学分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(增刊2): 4739 - 4743. [ZHU Zhende, XING Fudong, WANG Sijing, et al. Analysis on strength softening of argillite under groundwater by damage mechanics [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(Suppl2): 4739 - 4743.
- [15] 肖学沛, 李天斌. 某滑坡炭质软岩抗剪强度受含水量影响分析[J]. 水土保持研究, 2005, 12(1): 75 - 78. [XIAO Xuepei, LI Tianbing. Analysis of Shear Strength Affected by Water Content of Char Weak Rock in One Certain Landslide [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12(1): 75 - 78]

On the Survey of Giant Landslide at Xinmo Village of Diexi Town , Maoxian Country , Sichuan Province , China

HE Siming^{1 2 3} , BAI Xiuqiang^{3 4} , OUYANG Chaojun^{1 2} , WANG Dongpo⁵

(1. Key laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Process , Chinese Academy of Science , Chengdu 610041 , China;

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

3. CAS Center for Excellence in Tibetan Plateau Earth Sciences , Beijing 100101 , China;

4. Institute of Tibetan Plateau Research , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100101 , China;

5. National Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection , Chengdu University of Technology , Chengdu 610059 , China)

Abstract: At 5:39 AM on 24 June 2017 , a massive high-position landslide-debris avalanche hit the Xinmo village of Diexi town , Maoxian country , Sichuan province , China , causing 10 deaths , 73 missing and the whole village to be buried. According to a comprehensive survey of the topography , geology , rainfall and historical earthquakes of the location of the landslide , it was found that the landslide was a typical case of high slope-debris flow-dammed lake disaster chain , which was triggered by successive rainfall and the occurrence was followed by a formation of cracked cliff induced by historical earthquakes. Therefore , it can be inferred that the internal damages developed in cliff generated by earthquakes can affect the stability of rock slope probably hundreds of years later. It should be the concern of geological hazard investigation in the earthquake-hit areas in the future.

Key words: Xinmo village giant landslide; genetic mechanism; earthquake; rainfall