

四川雅安芦山地震灾区次生地质灾害 评估及对策建议

兰恒星,周成虎,高 星,程维明,王治华,杨志华,李郎平,伍宇明

(中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101)

摘 要:2013年4月20日08点02分,四川雅安芦山县发生了7.0级强震。此次地震发生的区域地形条件复杂,地震烈度大,使得震区地质条件进一步恶化,在强降雨等叠加等条件下,次生地质灾害风险显著加剧。本文收集了震区地形、地质、构造断层分布、地震烈度分布、历史灾害、降雨以及卫星影像等资料,对震区的次生地质灾害的危险性从以下3个方面进行了评估:①地震力触发下震区次生地质灾害空间分布;②不同降雨触发下震区次生地质灾害空间分布及趋势分析;③地震与降雨共同作用下震区次生地质灾害空间分布。在此基础上圈定了震区次生地质灾害高危和需要重点监测防范区域,为灾害救援与重建过程中次生地质灾害的防范提出了对策建议。

关 键 词:芦山地震;次生地质灾害;危险性评估;对策建议;四川雅安

doi: 10.11820/dlkxjz.2013.04.001

1 引言

2013年4月20日08点02分,四川雅安芦山县发生7.0级强震。该地震与汶川5·12特大地震的震源机制类似,属于逆冲型浅源地震,破坏力强。

汶川地震的教训表明,除了地震本身的影响,大量的人员伤亡是由于次生灾害,特别是次生地质灾害造成的。因此在芦山地震的黄金救援期间内,快速评估震区次生地质灾害的高风险区域,确定受影响居民点和生命线工程等的位置,可以为救援、安置和今后的重建提供科学依据,避免进一步的人员伤亡和财产损失。

地震发生当天,我们迅速收集了震区地形、地质、构造断层分布、地震烈度分布、历史灾害、降雨以及卫星影像等资料,在分析震区地质灾害防范形势的基础上,着重考虑强震和降雨的影响,开展了震区次生地质灾害危险性评价工作,对震区在叠加地震力和降雨影响下的次生地质灾害的空间分布和发展趋势进行分析和预测,快速评估了次生地质灾害可能对人员生命安全、交通设施、村落等影响范围和破坏风险,提出了重点监测防范区域,为灾害救援与重建过程中次生地质灾害的防范提出对策建议。

2 震区次生地质灾害防范形势分析

震区严峻的次生地质灾害防范形势主要体现在以下3个方面:

(1)震区山高、坡陡、谷深,地形条件复杂。震区地处青藏高原东部边缘的龙门山断裂带,地形自西北向东南倾斜,大部分地区被河流切割成山地。震区海拔高差可达4000 m,山区半数以上地形坡度超过30°(如宝兴县)。地形破碎,交通不便,大大增加了地质灾害发生的可能性和救援难度。

(2)地震烈度大,震区地质条件进一步恶化。汶川5·12地震已经对本区造成了严重的影响,本次地震震中地带烈度达到破坏性较强的九度。多次强烈地震造成震区山体松动,地质条件进一步恶化,大量松散物质产生使得灾害体抗剪强度大大降低,极易触发次生地质灾害。

(3)降雨叠加,次生地质灾害风险加剧。震区为降雨丰富区域,据中央气象台预计,2013年4月21日夜間至24日,芦山地震灾区多阵雨天气,未来几日阴雨天气将进一步持续。研究表明,强震后地质灾害的降雨触发阈值将显著降低,导致芦山震区次生地质灾害风险加剧,并进一步增加救援难度。

收稿日期:2013-04; 修订日期:2013-04.

基金项目:国家自然科学基金项目(41072241,41272354)。

作者简介:兰恒星(1972-),博士,研究员,主要从事自然灾害与遥感、地理信息系统等研究。E-mail: Lanhx@lreis.ac.cn

3 强震与降雨作用下震区次生地质灾害空间分布与危险性评估

分别对地震力和降雨触发条件下震区次生地质灾害危险性的空间分布进行了评估,得到综合考虑强震和降雨二者共同作用下震区次生地质灾害危险性的空间分布,圈定了高危区域。

(1) 地震力触发下震区次生地质灾害空间分布

针对芦山震区地形地质条件和本次地震峰值加速度等实测数据,采用Newmark动力模型和斜坡极限平衡模型,对芦山地震动力作用下的山体动力位移进行了定量的计算。分析了地震动力作用下山体斜坡物质松散程度现状,进行了地震力触发下斜坡稳定性的分析,对地震动力触发次生地质灾害的发生概率进行了评估(图1)。

Newmark模型以无限斜坡模型为基础,加入地震动力峰值加速度参数,实现了地震力触发下斜坡稳定性的分析(Newmark, 1965)。以斜坡上的块体遭受地震力触动的累积位移量作为检测边坡对其的反应,同时可以作为评估地震力造成斜坡岩土体

松散破坏程度的重要指标。在评估的过程中涉及有效凝聚力、滑坡深度、岩土体容重、摩擦角、坡度等重要参数。根据震区的地质分布图和《工程岩体分级标准》手册进行相关岩土参数的赋值;坡度等地形参数通过Aster的30 m×30 m的DEM计算的坡度数据;滑坡深度采用Khazai和Sitar统计的坡度和滑坡深度关系进行深度计算(Keefer, 2000)。然后以峰值地动加速度(PGA)和临界加速度的拟合关系得到地震动力位移,用Newmark动力位移和实际观测的滑坡分布进行匹配,计算得到地震动力滑坡发生概率(Jibson et al, 2000; Rodriguez-Peces et al, 2011),用于评估由于地震力造成的滑坡危险性。

评估结果显示,从芦山县到宝兴县之间的双石镇、太平镇、穆坪镇、宝盛乡、灵关镇、中坝乡等区域由于地震触发的次生地质灾害危险性等级为高,局部地区极高。

(2) 不同降雨触发下震区次生地质灾害空间分布及趋势分析

根据地质构造、地形地貌和触发条件等因素分析出震区次生地质灾害的关键致灾因子,建立了震区次生地质灾害危险性评价模型(Lan et al, 2003, 2004),对不同降雨触发条件下的次生地质灾害空

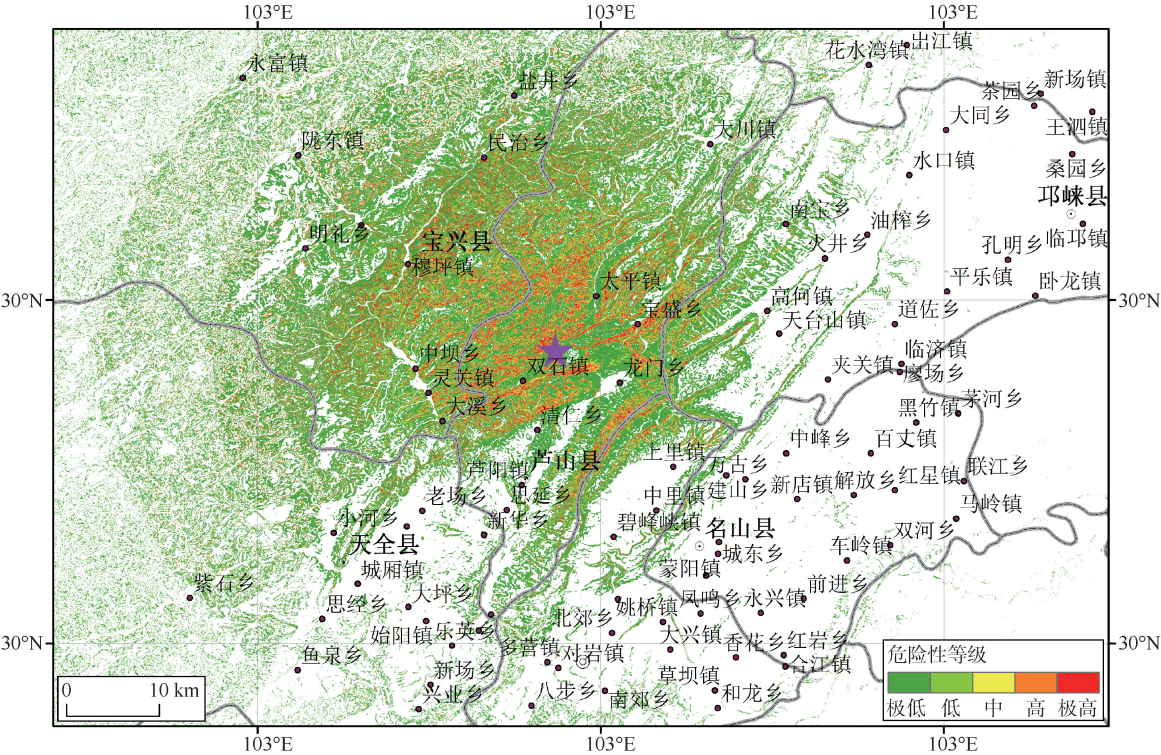
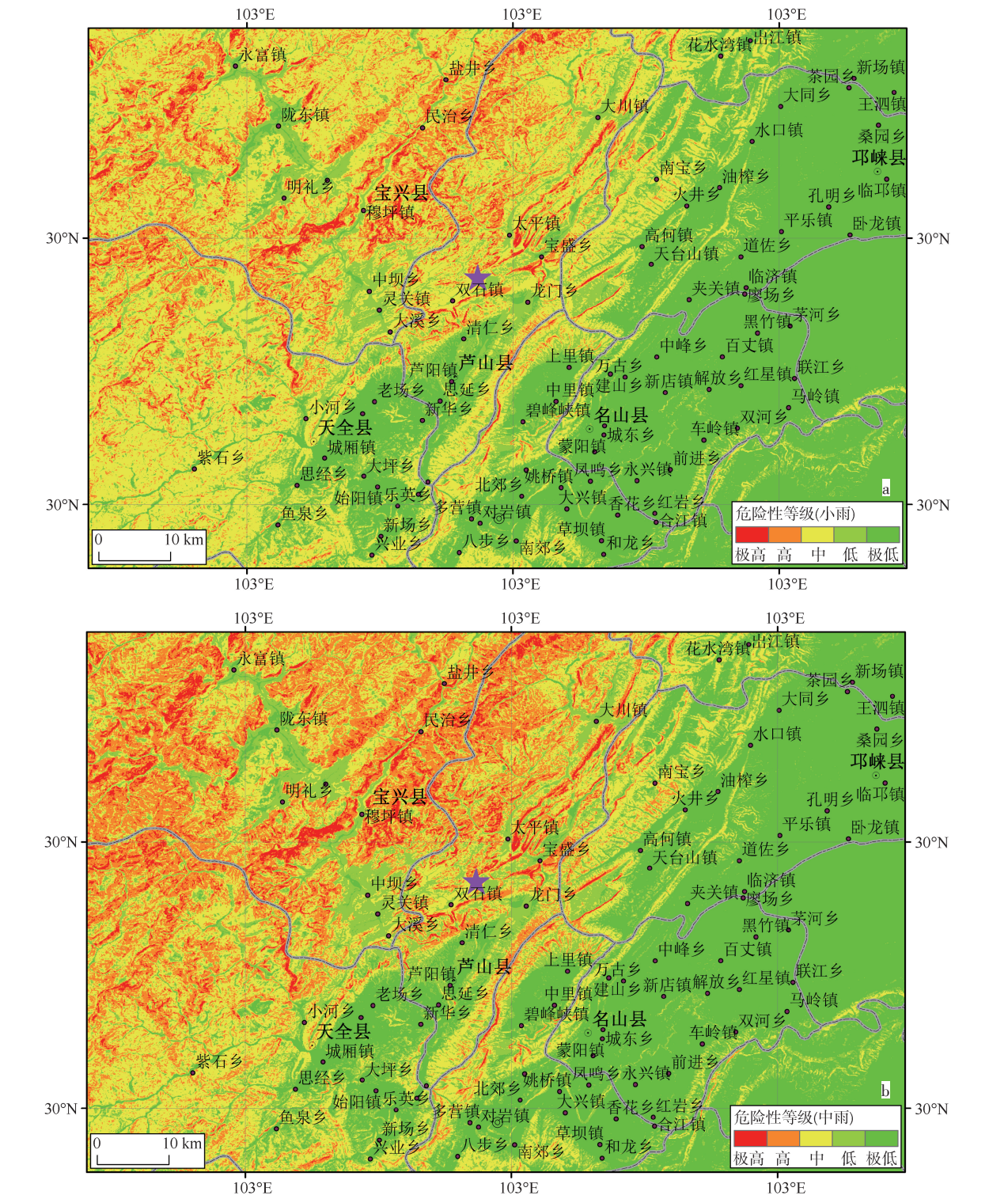


图1 地震力触发下震区次生地质灾害危险性空间分布
Fig.1 Distribution of secondary geohazard induced by seismic force

间分布进行分析,并进行了等级划分,确定了不同降雨条件下的高危区域(图2)。研究表明,雅安地区日降雨量达到 50 mm 时触发滑坡的概率约为 35%,日降雨量达到 100 mm 时触发滑坡的概率约为 60%。考虑到未来几天雅安地区的阴雨天气,对 3 种降雨情况下的震区次生地质灾害危险性进行了

评价,分别为:(a) 小雨(20 mm/d)、(b) 中雨(50 mm/d)和(c) 大雨(100 mm/d)。

从图中可以看出,位于震区西北侧的宝兴县及其附属乡镇的次生地质灾害对于降雨因素更为敏感,危险性等级高,需要重点防范。随着降雨强度的增加,受威胁区域显著扩大。芦山县北侧的太平



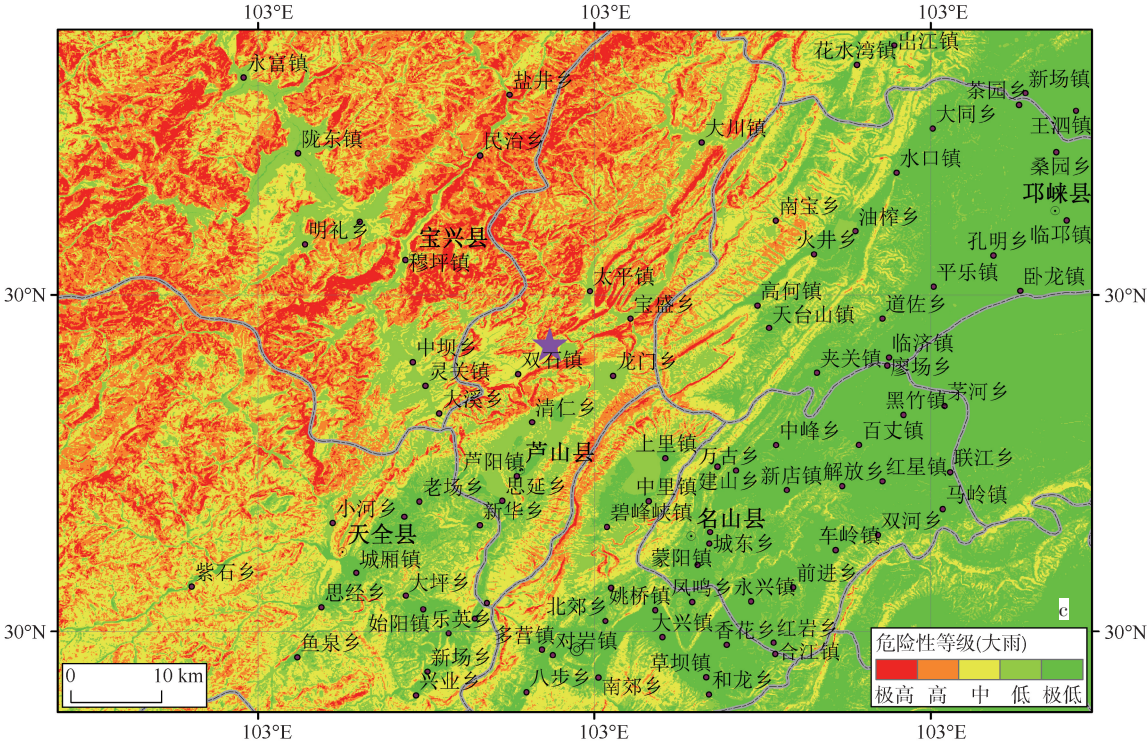


图2 不同触发条件下震区次生地质灾害危险性空间分布(a.小雨;b.中雨;c.大雨)
Fig. 2 Distribution of secondary geohazard induced by light(a), moderate(b) and intensive(c) precipitation

镇、宝胜乡等区域也受到次生地质灾害的严重威胁。

(3) 地震与降雨共同作用下震区次生地质灾害空间分布

将地震力触发下和降雨触发下震区次生地质灾害的评价结果参数进行归一化处理,同时考虑不同降雨情况的发生概率,并综合考虑地震次生地质灾害危险性的各种孕灾环境因子(斜坡安全性指标

(*SI*)、地震烈度、高程、相对高差、坡度、地质岩性、断层、震后地表松弛指标等),得到地震和降雨共同作用下震区次生地质灾害危险性综合评估结果图(图3)(Leroi, 1996; 陈剑等, 2005)。

对处于各危险等级的居民点(村)进行了详细的统计(表1)。评估显示,震区受到严重次生地质灾害的区域(高、极高)超过 1500 km²,主要集中在宝兴县和芦山县的北半侧境内。

表1 震区次生地质灾害各级危险区影响的居民点分布表
Tab.1 Residential locations affected by secondary geological hazards induced by earthquake

危险性	面积/km ²	影响居民点(村)
极高	298.19	长河坪,大佛岩,购山,红石子,坪头,太平镇
高	1251.67	么堂子,扎角坪,关林沟,杂顶山,新店子,天街寺,马桑坪,老华溪,岩脚下,平基口,生姜坪 穿洞子电站,洞口上,白茶坪,白铜尖子,大池山,盐井坪,健康村,黄沙坪,老熊桥,普生岗防火站, 小鱼溪,大池沟,马路山,大坪上,地瓜坪,雅斯德,四人同,万担坪,棕树坪,向阳坪,小胡椒,昂州煤 矿,国需山,花板槽,柏春坪,赤竹坪,大沟,黄店子,老场电站,许家湾,六家寨,铁炉头,桃子坪,灯 杆坪,硫铁矿电站,横山岗电站,杨磨房,骆井溪,科落坪,大路井,山坪,蜂桶寨,百里,道子上,木坪 子,龙池口,接官坪,门坎山,小茶园,张家山,挡巴沟,干海子,九里岗,门坎山,宋家坪,黄家窝,中 岗电站,两河口电站,侯安坪,马家林,梨儿坪,大通桥,西岭镇,马桑坝,两河口,沙湾头
中	1313.77	
低	4463.44	其他
极低	9171.57	

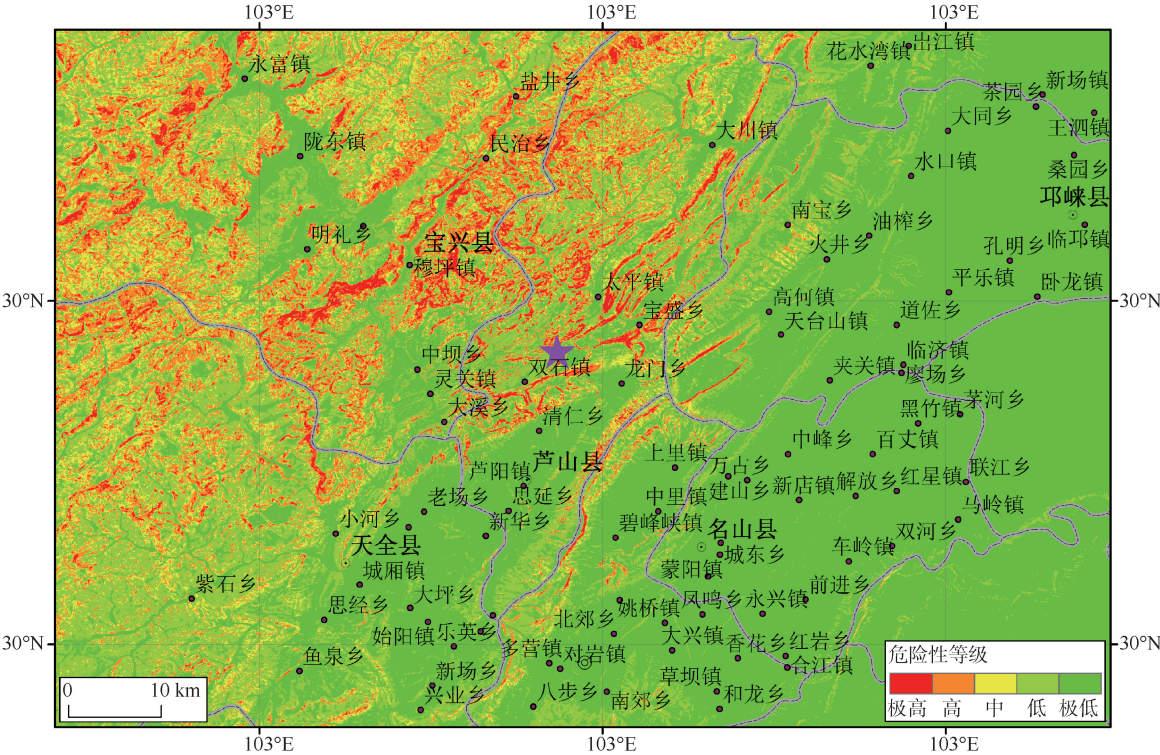


图3 芦山震区次生地质灾害危险性综合评估图

Fig. 3 Map of comprehensive secondary geohazard assessment in Lushan seismic area

4 对策及建议

- (1) 震区次生地质灾害引发严重伤亡可能性大,亟需加强风险评估和隐患排查。此次地震诱发的次生地质灾害造成大范围破坏的可能性高,有可能引发较重大伤亡。需要快速评估次生地质灾害对潜在的人员生命安全、交通设施、村落等影响范围和破坏风险,圈定重点的监测防范区域,迅速排查并采取有效措施预防次生地质灾害造成的新的人员伤亡和财产损失。同时应密切监控余震可能造成的新的次生地质灾害。
- (2) 强震和降雨叠加导致次生地质灾害加剧,加强动态监测预警和应急防范。由于芦山震区特殊的地质、地形地貌特征,在强烈地震和今后阴雨天气共同作用下,震后次生地质灾害会进一步加剧,亟需开展相关的应急防范工作。在灾害救援和重建过程中,应着重考虑降雨因素的影响,灾害治理工程中要做好导水排水工作。加强降雨预报和地质灾害预警与防范协调工作,密切注意气象部门的降雨预报,根据预报结果对相应的高危险区域及时预警,特别是加强夜间的预警和防范。
- (3) 圈定高危区域,集中重点防范和局部积极

避让相结合,做好应急救援预案。位于震中西北侧的宝兴县和芦山县北侧是次生地质灾害影响严重的地区,需要进行重点防范。进一步确定次生地质灾害高风险的具体区域,灾民安置和灾区重建应避让次生地质灾害高危区域,远离陡峭沟谷、强风化和构造破碎等不稳定斜坡区域。并对高风险区内居民点分布和道路受损情况进行预测评估,制定地震诱发次生灾害预警和快速救援预案。

(4) 震区次生地质灾害以崩塌、滚石为主,对生命线工程威胁大,建议加强针对性预警防范和避让措施,同时密切监测大规模滑坡、泥石流隐患。震区的厚状灰岩和灰岩砂岩互层的地质条件决定了次生地质灾害的主要类型为崩塌和巨型滚石为主,这些灾害发生频率高,严重威胁震区的交通等生命线工程。在降雨等因素叠加的情况下不排除大型滑坡和泥石流发生的风险。建议对高危隐患区域进行24小时监测,同时做好紧急避让和有效撤离等预防措施。

致谢:感谢中科院地理科学与资源研究所对此工作的支持和中科院光电研究院对震区遥感影像基础资料的提供。

参考文献(References)

- Chen J, Yang Z F, Liu H Q. 2005. Landslide susceptibility zoning and its probabilistic forecast. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 24(13): 2392-2396. [陈剑, 杨志法, 刘衡秋. 2005. 滑坡的易滑度分区及概率预报模式. *岩石力学与工程学报*, 24(13): 2392-2396.]
- Jibson R W, Harp E L, Michael J A. 2000. A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps. *Engineering Geology*, 58(3-4): 271-289.
- Keefer D K. 2000. Statistical analysis of an earthquake-induced landslide distribution: The 1989 Loma Prieta, California event. *Engineering Geology*, 58(3-4): 231-249.
- Lan H X, Wu F Q, Zhou C H, et al. 2003. Hazard Spatial Prediction of Rainfall Landslide Based on GIS. *Chinese Science Bulletin*, 48(5): 507-512. [兰恒星, 伍法权, 周成虎等. 2003. GIS支持下的降雨性滑坡危险性空间分析预测. *科学通报*, 48(5): 507-512.]
- Lan H X, Zhou C H, Wang L J, et al. 2004. Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang Watershed, Yunnan, China. *Engineering Geology*, 76(1-2): 109-128.
- Leroi E. 1996. Landslide hazard risk maps at different scales: Objectives, tools and developments. *Proceeding VII International of the Symposium of Landslides*. Trondheim, Norway: 17-21 June.
- Newmark N M. 1965. Effects of earthquakes on dams and embankments. *Geotechnique*, 15(2): 139.
- Rodriguez-Peces M J, Perez-Garcia J L, Garcia-Mayordomo J et al. 2011. Applicability of newmark method at regional, sub-regional and site scales: Seismically induced Bullas and La Peca rock-slide cases (Murcia, SE Spain). *Natural Hazards*, 59(2): 1109-1124.

Secondary geological hazard assessment and hazard mitigation countermeasures in Lushan, Ya'an Earthquake, Sichuan Province

LAN Hengxing, ZHOU Chenghu, GAO Xing, CHENG Weiming, WANG Zhihua,
YANG Zhihua, LI Langping, WU Yuming

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: A strong earthquake with a magnitude of 7.0 struck the Lushan County, Ya'an City, Sichuan Province on April 20th 2013 at 8:02 AM. This seismic area is extremely prone to the secondary geological hazard due to its rugged geomorphology, adverse geological conditions caused by high seismic intensity and intensive precipitation. Important data have been collected in Lushan seismic area including topological data, geological data, tectonic data, historical geohazards, seismic intensity, rainfall data, satellite images, etc.. We conducted the comprehensive hazard assessment on secondary geological hazards including: (1) Hazard assessment and spatial distribution of secondary geohazard induced by seismic force; (2) Spatial distribution and developing trend of secondary geohazard induced by precipitation; (3) Comprehensive secondary geohazard assessment in Lushan seismic area induced by earthquake superposed by precipitation. Based on the assessment result, vital influencing regions are identified that need intensive monitoring and mitigation. This work is expected to provide important suggestions for both the emergency rescue and the reconstruction of the Lushan seismic area.

Key words: Lushan Earthquake; secondary geological hazards; hazard assessment; countermeasure and suggestion; Ya'an of Sichuan