

# S210线芦山-宝兴段崩塌灾害危险性分析及防治对策建议

王 萌,何思明,张小刚

(中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所,山地灾害与地表过程重点实验室,四川 成都 610041)

**摘要:**“4·20”芦山地震发生后,作为进出地震灾区的生命线工程省道S210芦山-宝兴段多处发生崩塌滚石等次生地质灾害,阻断交通,威胁来往群众的生命安全,严重影响了抗震救灾和灾后的恢复重建。通过对此路段进行崩塌灾害现场考察,得出此路段的崩塌灾害多发生在大于 $40^\circ$ 的坡体上,坡向为SW、W和NW,易发岩性为灰岩、砂岩、白云岩和砾岩,切割深度多大于16m。通过GIS进行因子叠加分析,将此路段划分为3级危险度区域,并根据芦山地震灾区崩塌滚石灾害成因机制、分布与活动特征、成灾方式与危害对象,提出了相应的防治对策与建议。

**关键词:**4·20芦山地震;S210线;崩塌;危险度评估;防治对策

**文章编号:**1003-8035(2014)03-0101-06

**中图分类号:**P642.21

**文献标识码:**A

## 0 引言

据中国地震台网测定,北京时间2013年4月20日8时02分46秒,在四川省雅安市芦山县龙门乡、宝胜乡、太平镇交界(北纬 $30.3^\circ$ ,东经 $103.0^\circ$ )发生里氏7.0级地震,震源深度13km。震中位于龙门山前缘构造带南段双石-太平区段。该地震造成的构造破裂主要沿NE走向的大川-双石断裂分布,震源断层错动的基本性质为压型上冲兼小幅度右旋走向滑动,破坏力强。此次地震最大烈度IX度,等震线长轴呈北东走向分布,受灾范围约 $18\ 682\text{km}^2$ <sup>[1-2]</sup>。

省道S210芦山-宝兴段依山傍河而建,是芦山县至宝兴县的唯一一条公路通道。公路沿线山脉纵横,地表崎岖,不良地质现象十分发育。据不完全统计,自“5·12”汶川特大地震以来,2008年12月开始重建的省道210线一年内因山体自然崩塌造成交通中断的次数已经远远超过了10次。“4·20”芦山地震发生后,作为进出地震灾区的生命线工程多处发生崩塌滚石等次生地质灾害,阻断交通,威胁来往群众的生命安全,严重影响了抗震救灾和灾后的恢复重建。笔者于震后从芦山县思延乡出发,沿S210线直到宝兴县穆坪镇,沿途考察公路两侧的崩塌、滑坡等地质灾害,开展此路段的崩塌灾害危险性评估及防治对策研究工作。其研究结果可为灾后重建提供一定参考依据和基础。

## 1 自然环境背景

研究区范围内的省道S210芦山-宝兴段起于芦

山县思延乡,止于宝兴县穆坪镇,全长约43km,位于四川盆地的西部边缘,为盆地到青藏高原的过渡地带,地质构造复杂,地质条件十分脆弱。

研究区海拔680~1272m,地貌属垂直地貌,地形以山地为主,属邛崃山区,地势由西北向东南逐渐降低。芦山向斜位处大川-双石断裂南东盘,而该断裂活动性为右旋粘滑。由于断裂的活动产生由北东向南西的掀斜作用,使其轴向为北东的芦山向斜北东端翘起成为必然。这种断裂活动产生的掀斜作用延伸影响到再南端的雅安向斜,其向斜轴部在雅安主城区青衣江北岸翘起南岸倾覆。

研究区地层岩性主要包括了9种类型:观雾山组( $D_3gw$ ),名山组( $E_{1-2}m$ ),芦山组( $E_3l$ ),大溪砾岩( $K_2E_1d$ ),奥长花岗岩( $Pt\gamma o$ ),第四系冲积层( $Qh^{al}$ ),飞仙关组( $T_1f$ ),须家河组( $T_3x$ ),灯影组( $Z_2\epsilon_1d$ )。研究区地处中纬度,属于亚热带季风性湿润气候,垂

收稿日期:2013-07-03;修订日期:2013-08-21

基金项目:国家青年科学基金“基于参数时变效应的震后降雨浅层滑坡易发性研究”(Y4K1030030);国家科技部重点国际合作项目“降雨型滑坡泥石流实时监测预警与示范研究”(2013DFA21720);科技部十二五科技支撑计划“龙门山地震带小流域泥石流滑坡灾害综合风险评估技术研究及示范”(2011BAK12B01)

作者简介:王 萌(1980—),女,陕西省安康市人,博士,助研,现从事基于3S技术滑坡风险评价及预警报研究。

E-mail:wm@imde.ac.cn

直气候明显,大部分地区气候温和,降水多集中在夏季,年均降雨量 993.7mm。区内主要河流为灵关河,为青衣江的支流。

## 2 S210 线芦山-宝兴段崩塌灾害危险性评估

芦山地震灾区由于地处高山峡谷地貌,地质环境脆弱,新构造运动活跃,给地质灾害的产生提供了良好的发育环境。通过野外调查,此次地震诱发的地质灾害以中小型崩塌为主(图 1)。崩塌灾害呈现出分布广、数量多的特点,主要分布在道路转弯、斜坡陡坎等地段,对公路等生命线工程造成了严重的破坏,制约了抢险救灾与灾后重建工作的顺利开展。



图 1 S210 线芦山-宝兴段崩塌灾害

Fig. 1 Collapse disaster of S210 line  
Lushan-Baoxing segment

### 2.1 S210 线芦山-宝兴段崩塌灾害分布

通过野外调查,从芦山县思延乡到宝兴县穆坪镇的 S210 线上沿途共分布对省道直接构成威胁的崩塌灾害 34 处(图 2),规模多为中小型崩塌。

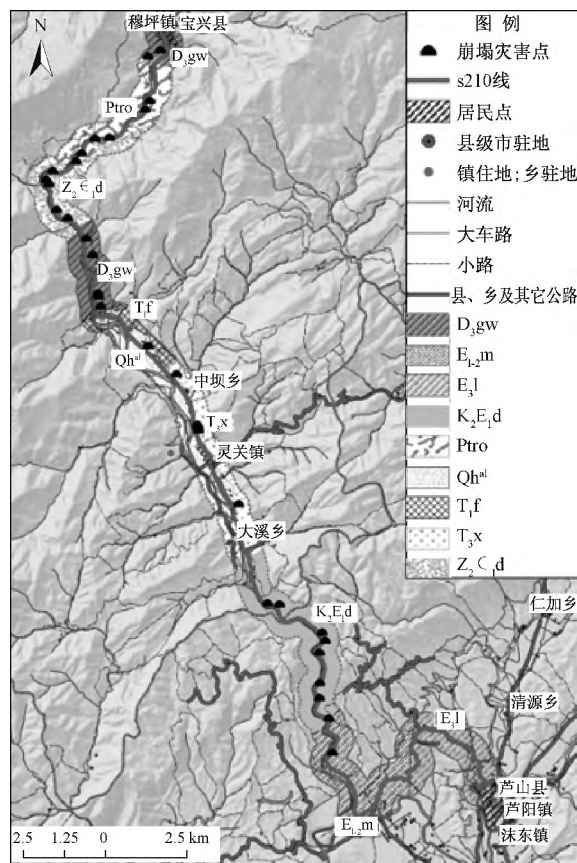


图 2 S210 芦山-宝兴段崩塌灾害分布图

Fig. 2 Collapses disaster distribution map of S210  
Line Lushan-Baoxing Segment

#### 2.1.1 与坡度的关系

坡度是控制崩塌发生位置最重要的因素,一般来说,坡度越大越利于崩塌的发生。将研究区坡度图层按照  $10^\circ$  的间隔,划分为 7 级:  $0^\circ \sim 10^\circ$ ,  $10^\circ \sim 20^\circ$ ,  $20^\circ \sim 30^\circ$ ,  $30^\circ \sim 40^\circ$ ,  $40^\circ \sim 50^\circ$ ,  $50^\circ \sim 60^\circ$ ,  $>60^\circ$ 。然后将崩塌灾害分布图层与坡度图层进行叠加,分析崩塌灾害与坡度的相关关系(图 3)。

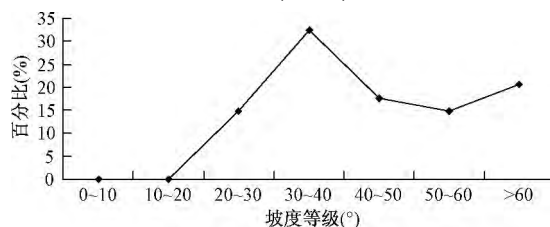


图 3 崩塌灾害与坡度相关关系

Fig. 3 The relationship between collapse and slope gradient

从图 3 中可以看出,崩塌灾害主要分布在  $30^\circ \sim 40^\circ$  坡度范围内,大于  $40^\circ$  的坡体发育的崩塌数量占到总数的 52.98%。小于  $20^\circ$  的坡体没有崩塌灾害的

发生。崩塌灾害的发育受坡度因素控制效果显著。

### 2.1.2 与坡向的关系

坡向是指斜坡临空面的朝向,可影响到斜坡的水热条件,使自然地理诸要素具有规律性分异,从而导致崩塌灾害发育存在坡向性。将研究区坡向图层按照  $45^\circ$  的间隔,划分为 9 种类别: Flat ( $-1^\circ$ ), North ( $0^\circ \sim 22.5^\circ$ ),  $337.5^\circ \sim 360^\circ$ ), Northeast ( $22.5^\circ \sim 67.5^\circ$ ), East ( $67.5^\circ \sim 112.5^\circ$ ), Southeast ( $112.5^\circ \sim 157.5^\circ$ ), South ( $157.5^\circ \sim 202.5^\circ$ ), Southwest ( $202.5^\circ \sim 247.5^\circ$ ), West ( $247.5^\circ \sim 292.5^\circ$ ), Northwest ( $292.5^\circ \sim 337.5^\circ$ )。然后与崩塌灾害分布图层进行叠加,分析崩塌灾害与坡向之间的相关关系(图 4)。

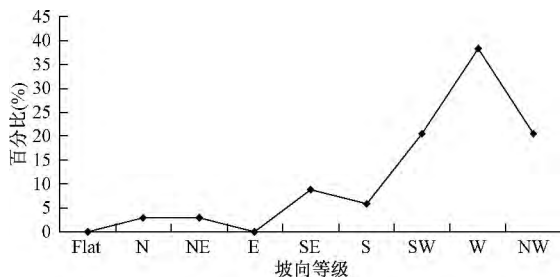


图 4 崩塌灾害与坡向相关关系

Fig. 4 The relationship between collapse and slope aspect

从图 4 中可以看出,崩塌灾害主要分布在 SW、W 和 NW 这三种坡向中,发育的崩塌数量占到总数的 79.41%。这是由于公路走向自南向北,依河傍山而建。临路的山体朝向多偏西,受风化、人工开挖影响显著,在地震力的作用下更容易发生崩塌。

### 2.1.3 与地层岩性的关系

地层岩性是崩塌灾害发生的基础,可以控制崩塌灾害的发育并为其提供物质来源。不同岩性的地层由于其本身物理化学特性可以对崩塌灾害发育做出不同的贡献。研究区地层岩性主要包括了 9 种类型: 观雾山组 ( $D_3gw$ ), 名山组 ( $E_{1-2}m$ ), 芦山组 ( $E_3l$ ), 大溪砾岩 ( $K_2E_1d$ ), 奥长花岗岩 ( $Pt\gamma o$ ), 第四系冲积层 ( $Qh^{al}$ ), 飞仙关组 ( $T_1f$ ), 须家河组 ( $T_3x$ ), 灯影组 ( $Z_2 \in_1d$ )。各地层的岩性描述如表 1:

从表 1 中可以看出,崩塌灾害主要分布在  $D_3gw$  和  $K_2E_1d$  中,发育的崩塌数量占到总数的 47.06%,其次为  $T_3x$  和  $Z_2 \in_1d$ ,发育的崩塌数量占到总数的 29.42%。岩性主要为灰岩、砂岩、白云岩和砾岩。

表 1 地层岩性描述<sup>[3]</sup>

Table 1 The description of lithology

地层岩性	岩性描述
第四系冲积层 ( $Qh^{al}$ )	现代河漫滩冲积物
芦山组 ( $E_3l$ )	棕红色泥岩夹粉砂岩
名山组 ( $E_{1-2}m$ )	棕红色泥岩夹石英粉砂岩、灰黑色页岩
大溪砾岩 ( $K_2E_1d$ )	紫、灰紫色厚层块状粗砾岩夹含砾砂岩及砂岩透镜体
须家河组 ( $T_3x$ )	浅灰色厚层中粗粒 - 细粒岩屑砂岩、岩屑石英砂岩夹粉砂岩、泥岩及薄煤层、底部发育底砾岩。
飞仙关组 ( $T_1f$ )	紫红色中薄层粉砂质泥岩、砂岩夹白云岩及白云化微晶灰岩。
观雾山组 ( $D_3gw$ )	深灰色中厚层微晶灰岩、白云岩夹生物碎屑灰岩、灰质白云岩及生物礁白云岩。
灯影组 ( $Z_2 \in_1d$ )	灰白色中厚层块状葡萄状白云岩、大理岩化白云岩夹少量绢云千枚岩。
奥长花岗岩 ( $Pt\gamma o$ )	侵入岩的一种,浅灰白色中粒、中粗粒奥长花岗岩

然后将崩塌灾害分布图层与地层图层进行叠加,分析崩塌灾害与地层岩性之间的相关关系(图 5)。

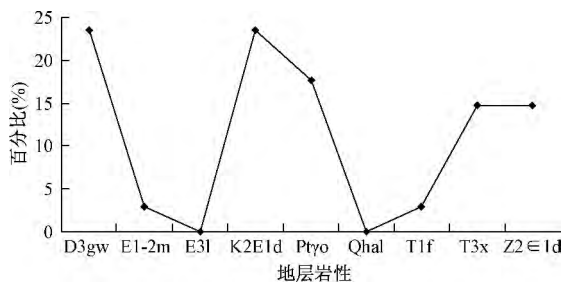


图 5 崩塌灾害与地层岩性相关关系

Fig. 5 The relationship between collapse and stratum

### 2.1.4 与地层切割深度的关系

地表切割深度是指地面某点的邻域范围的平均高程与该邻域范围内最小高程的差值。它反映了地表被侵蚀切割的情况。随着斜坡变高变陡,坡体的应力状态发生改变,张力带范围的扩大,在坡脚处形成应力集中而使坡体的稳定性不断降低。这里邻域分析采取了  $10 \times 10$  的网格,即  $100m \times 100m$  的单元面积。地表切割深度分布范围从  $0 \sim 262m$ ,采用自然断点法将研究区地表切割深度分为 5 级:  $0 \sim 16m$ ,  $16 \sim 31m$ ,  $31 \sim 49m$ ,  $49 \sim 82m$ ,  $82 \sim 266m$ 。然后将崩塌灾害分布图层与地表切割深度图层进行叠加,分析崩塌灾害与地表切割深度之间的相关关系(图 6)。

从图 6 可以看出,崩塌灾害主要发育在地表切割

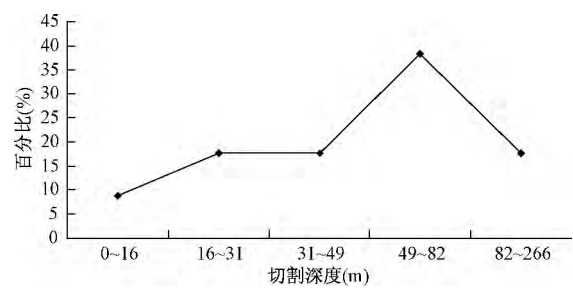


图6 崩塌灾害与地表切割深度相关关系

Fig. 6 The relationship between collapse and cutting depth

深度 49 ~ 82m 范围内,崩塌数量占到总数的 38. 23%。大于 16m 的范围内的崩塌数量占到总数的 91. 18%。

2. 1. 5 与断层距离的关系

发震断层一般来说主要控制地震诱发崩塌灾害的空间分布特征,距离发震断层越近,崩塌灾害越发育,规模也越大。将距断层的距离按 2km 的间隔划分成 6 级: 0 ~ 2km, 2 ~ 4km, 4 ~ 6km, 6 ~ 8km, 8 ~ 10km, > 10km。然后将崩塌灾害分布图层与断层距离图层进行叠加,分析崩塌灾害与断层距离之间的相关关系(图 7)。

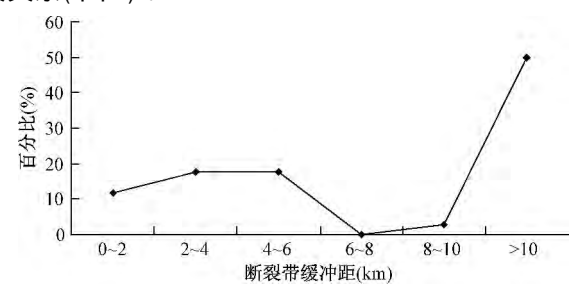


图7 崩塌灾害与断层距离相关关系

Fig. 7 The relationship between collapse and fault proximity

从上表可以发现,芦山地震中断层的距离效应并不显著。离断层最近的地方分布崩塌灾害比例并不是最高,这与通常的认识有所差别。说明此次地震诱

发的崩塌受断层距离因素控制不显著,主要受到其他因素,如地层岩性、地形地貌等影响会更大。

2. 2 S210 线芦山 – 宝兴段崩塌灾害危险性评估

根据对 S210 线芦山 – 宝兴段崩塌灾害发育条件和诱发条件等的分析,利用 GIS 技术,将以上危险性评价因子按照一定的权重进行叠加分析<sup>[4-6]</sup>,即可得到危险性评价分区结果(图 8)。结果分为 3 个等级:崩塌灾害低危险度区、崩塌灾害中危险度区及崩塌灾害高危险度区。评价描述见表 2。

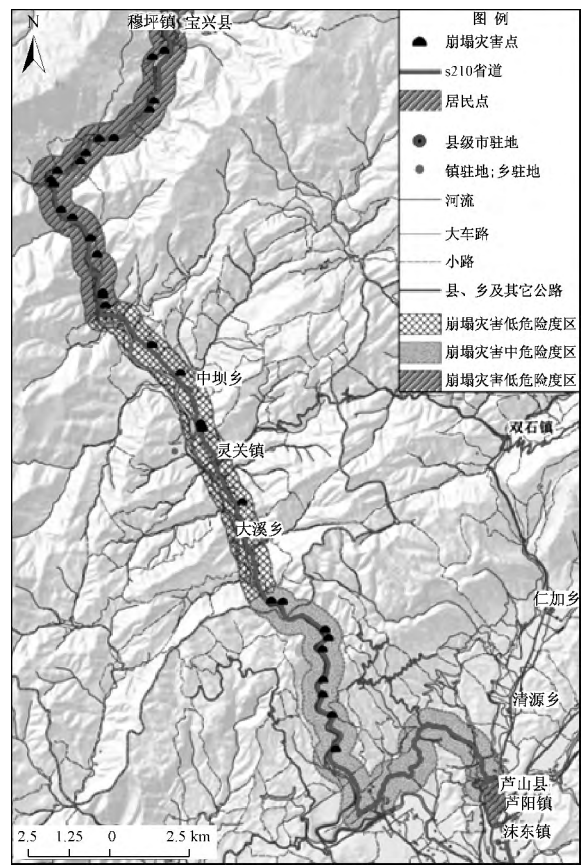


图8 S210 芦山 – 宝兴段崩塌灾害危险度分区图

Fig. 8 Collapse hazard zonation map of S210 line Lushan-Baoxing Segment

表2 S210 线芦山 – 宝兴段崩塌灾害危险性评价分区表

Table 2 Collapse hazard assessment of S210 line Lushan-Baoxing Segment

危险度级别	长度( km)	描述
低危险度区	11	主要分布在宝兴县青林坪至宝兴县小关子。区内仅少数地区具备产生小型崩塌灾害的地貌、构造环境条件,主要发育于白垩系、古近系砾岩中。在自然状态下,发生灾害的可能性很小,在遇到大的降雨或其它诱发因素,如地震和人工开挖等作用时,发生灾害的可能性增加。
中危险度区	19	主要分布在芦山县思延乡至宝兴县青林坪。区内大多数地区具备了产生中型和小型崩塌灾害的地貌、构造环境必要条件,主要发育于三叠系砂岩、泥岩中,分布零星,具备触发灾害的暴雨、地震、河水冲蚀、重力侵蚀、人工开挖等条件,有利于灾害的发生。
高危险度区	13	主要分布在宝兴县小关子至宝兴县穆坪镇。区内巨大部分地区具备了产生大型、中性崩塌灾害的地貌、构造环境等必要条件,主要发育于泥盆系的灰岩、白云岩和花岗岩地层中,分布密集,具备触发灾害的暴雨、地震、河水冲蚀、重力侵蚀等多项充分条件,十分有利于灾害的发生。

### 3 S210 线芦山 - 宝兴段崩塌灾害防治对策建议

崩塌滚石灾害是芦山地震的主要次生地质灾害类型。根据芦山地震灾区崩塌滚石灾害成因机制、分布与活动特征、成灾方式与危害对象,结合中科院山地所崩塌滚石灾害减灾研究成果<sup>[7-10]</sup>,对芦山地震灾区崩塌滚石灾害防治根据不同的区域提出以下建议:

#### 3.1 S210 线崩塌滚石灾害防治对策

S210 线崩塌滚石灾害具有点多面广、线状分布的特点,针对不同崩塌危险度等级区域采用以下措施进行防治:

##### (1) 崩塌灾害低危险区

清除危险障碍物,如对危岩定点爆破处理,采用轻钢结构棚洞,并结合监测预警进行防治。新型棚洞具有抗冲击能力强、施工速度快、不影响正常交通等优点,特别适合应急减灾,已应用于都汶高速公路崩塌滚石灾害防治。

##### (2) 崩塌灾害中危险区

清除危险障碍物,采用被动网拦截,搭建轻钢结构棚洞,并结合监测预警进行防治。

##### (3) 崩塌灾害高危险区

清除危险障碍物,采用被动网拦截,搭建轻钢结构棚洞,并结合监测预警进行防治。对于桥墩,采用“耗能减震复合垫层结构”进行防治(图 10)。

#### 3.2 S210 线沿途村镇崩塌滚石灾害减灾对策

S210 线沿途村镇崩塌滚石灾害相对集中,建议采用主动加固与被动防护相结合的措施进行综合防护:

##### (1) 对单个危岩体采用爆破方式清除。

##### (2) 对较大规模危岩区采用锚固工程主动加固。

(3) 沿崩塌滚石运动路径设置多级拦挡结构,包括高能级被动网、柔性拦石墙组合结构、微型钢管群桩滚石拦截系统等。

### 4 结论

“4·20”芦山地震发生后,作为进出地震灾区的生命线工程省道 S210 芦山 - 宝兴段多处发生崩塌滚石等次生地质灾害,堵断交通,威胁来往群众的生命安全,严重影响了抗震救灾和灾后的恢复重建。通过对此路段进行崩塌灾害现场考察,得出此路段的崩塌

灾害多发生在大于 40° 的坡体上,坡向为 SW、W 和 NW,地层为 D<sub>3</sub>gw 和 K<sub>2</sub>E<sub>1</sub>d,岩性主要为灰岩、砂岩、白云岩和砾岩,切割深度多大于 16m。而断裂带距离对崩塌灾害发育的控制作用并不显著,与常规认识有所差异,并非距断裂带越近崩塌越发育。通过 GIS 进行因子叠加分析,将此路段划分为 3 级危险度区域:崩塌灾害低危险度区、崩塌灾害中危险度区及崩塌灾害高危险度区。并根据芦山地震灾区崩塌滚石灾害成因机制、分布与活动特征、成灾方式与危害对象,提出了防治对策与建议。对于交通干线崩塌滚石灾害具有点多面广、线状分布的特点,针对不同崩塌灾害危险度等级区域,采用被动网拦截,搭建轻钢结构棚洞,并结合监测预警进行防治。对于公路沿途村镇崩塌滚石灾害相对集中,建议采用主动加固与被动防护相结合的措施进行综合防护。

#### 参考文献:

- [1] 中国地震局. <http://www.cea.gov.cn/publish/dizhenj/468/553/100342/index.html> China Earthquake Administration. <http://www.cea.gov.cn/publish/dizhenj/468/553/100342/index.html>
- [2] 陈晓清,崔鹏,游勇,等. 4·20 芦山地震次生山地灾害与减灾对策[J]. 地质前缘(中国地质大学(北京):北京大学),2013,20,网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3370.P.20130503.1039.001.html>. CHEN Xiaoqing, CUI Peng, YOU Yong, et al. Secondary mountain disasters induced by the 4·20 Lushan earthquake and the disasters mitigation[J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20, Web publishing address: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3370.P.20130503.1039.001.html>.
- [3] 四川省地质调查院. 1:20 万中华人民共和国地质图(宝兴县幅). 2003. Sichuan Geological Survey Institute. 1:200 000 geological map of China (Baoxing County). 2003.
- [4] 王萌,乔建平. 基于 GIS 的沐川县滑坡危险度区划[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(1): 174 - 179. WANG Meng, QIAO Jianping. GIS-based hazard zoning of landslide in Muchuan county [J]. Journal of Natural Disasters, 2009, 18(1): 174 - 179.
- [5] 王萌,乔建平. 贡献权重模型在区域滑坡危险性评价中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(1): 1 - 6. WANG Meng, QIAO Jianping. Application of contributing weights model in regional landslides hazard

- assessment [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2010 21(1): 1–6.
- [6] WANG Meng, QIAO Jianping, HE Siming. GIS-based earthquake-triggered landslide hazard zoning using contributing weight model [J]. Journal of Mountain Science, 2010 (7/2): 339–352.
- [7] 何思明, 吴永, 李新坡. 地震诱发岩体崩塌的力学机制 [J]. 岩石力学与工程学报 2010 29(S1): 3359–3363.  
HE Siming, WU Yong, LI Xinpo. Collapse mechanism of danger rock triggered by earthquake [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29, (S1): 3359–3363.
- [8] 何思明, 李新坡, 吴永. 考虑弹塑性变形的泥石流大块石冲击力计算 [J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 28(8): 1664–1669.
- HE Siming, LI Xinpo, WU Yong. Calculation of impact force of outrunner blocks in debris flow considering elastoplastic deformation [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007 28(8): 1664–1669.
- [9] 何思明, 沈均, 吴永. 滚石冲积荷载下棚洞结构动力响应 [J]. 岩土力学 2011 32(3): 781–788.  
HE Siming, SHEN Jun, WU Yong. Rock shed dynamic response to impact of rock-fall [J]. Rock and Soil Mechanics, 2011 32(3): 781–788.
- [10] 何思明, 吴永. 新型耗能减震滚石棚洞作用机制研究 [J]. 岩石力学与工程学报 2010 29(5): 926–932.  
HE Siming, WU Yong. Research on cushioning mechanism of new-typed energy dissipative rock shed [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010 29(5): 926–932.

## Study on S210 line Lushan-Baoxing segment collapse hazard assessment and control measures

WANG Meng, HE Si-ming, ZHANG Xiao-gang

(Key Laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Processes, Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu, 610041, China)

**Abstract:** After the 4·20 Lushan Earthquake, many collapses and rock falls happened on the S210 provincial highway, which is an important lifeline to go into the earthquake-stricken area. The highway was blocked and people's lives and safety were threatened by the rocks. These secondary geological disasters affected the reconstruction and post-disaster recovery severely. Through the field investigation, it can draw a conclusion that the collapse often develops on the slopes with the gradient more than 40 degree. The aspect of slopes usually is southwest, west, or northwest. Rock types mainly are limestone, sandstone, dolomite, and conglomerate. The cutting depth of topography is more than 16m. Through GIS overlay analysis, this section was divided into three grades. And according to the collapse formation mechanism, the characteristics of distribution and activities, and harm objects, control measures and proposals were proposed.

**Key words:** 4·20 Lushan earthquake; S210 line; collapse; hazard assessment; control measures