

汶川地震次生山地灾害危险性评价及 震后减灾对策经济学分析^{*}

刘连中¹, 刘洪江^{2,3}, 朱怀方²

(1. 重庆师范大学 初等教育学院, 重庆 北碚 400700; 2. 云南财经大学 城市管理与资源环境学院, 昆明 650223; 3. 中国科学院 地理科学与资源环境研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

摘 要:从地形地貌、地质、气候、水文、植被、灾害状况、人类活动等 7 个方面选取 11 个因子,采用定性定量相结合的方法,引入危险性指数来评价汶川地震次生山地灾害的危险性大小,并利用 GIS 技术,按区域因素“相同或相似归类、相异分级”的原则,将研究区分为高度危险区、中度危险区、低度危险区和无危险区等四个等级,进行次生山地灾害危险性评价与区划,并运用最优灾害成本模型对减灾投入进行经济性评价,从而提出合理的防灾减灾对策与建议。

关键词:汶川地震; 山地灾害; 危险性评价; 最优成本模型; 经济

中图分类号: P642. 23

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)01-0210-04

Dangerous Evaluation for the Secondary Mountain Hazard of Wenchuan Earthquake and Its Economic Mitigation Model

LIU Lian-zhong¹, LIU Hong-jiang^{2,3}, ZHU Huai-fang²

(1. School of Primary Education, Chongqing Normal University, Beibei, Chongqing 400700, China; 2. School of Urban Management and Resource & Environment, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650223, China; 3. State Key Lab. of Resource and Information, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: From seven aspects: topography, geology, climate, hydrology, vegetation, disaster situation, and human activities, 11 factors are selected to evaluate the Wenchuan Earthquake-induced disasters by using a combination of qualitative and quantitative methods, with the help of risk index. According to regional factors, and “the same or similar classification, the different classification” principle, together with the use of GIS technology, the study area is divided into 4 grades: high risk areas, medium-risk areas, low-risk areas and safety areas. By conducting secondary mountain hazard assessment and zoning as well as the use of optimal cost model of disaster risk reduction into the economic evaluation, reasonable disaster prevention and mitigation measures and suggestions are raised.

Key words: Wenchuan earthquake; secondary mountain hazard; debris flow; dangerous assessment; optimal cost model; economics

2008 年 5 月 12 日 14 点 28 分,中国四川省汶川县发生了里氏 8.0 级地震,其波及范围之广、引发次生山地灾害之多、危害和救灾难度之大,均为历史罕见。由于地震重灾区位于四川盆地与龙门山交界

的山前平原地带,地质构造复杂,地貌高差大,断裂发育,地震直接引发了大量崩塌、滑坡、泥石流、堰塞湖等次生山地灾害,对山区城镇村庄、道路交通、水利水电工程和生态环境等造成严重破坏,给灾区抗

^{*} 收稿日期: 2009-08-31

基金项目: 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室开放基金项目;中国科学院知识创新工程重要方向项目“重大山地灾害综合风险分析的理论与方法”(KZCX2-YW-Q03-5)

作者简介: 刘连中(1970-),男,重庆长寿人,硕士,高级讲师,研究方向:灾害地貌学。E-mail: cqllz991027@163.com

通信作者: 刘洪江(1971-),男,重庆江津人,博士,副教授,研究方向: 3S 技术与数字减灾。E-mail: hjliu@imde.ac.cn

震救灾和恢复重建带来了巨大的困难^[1],因此本文进行了震后山地灾害危险性评价并从灾害经济学角度探讨震后减灾的经济学模型。

1 汶川地震概况

汶川地震是一次以逆冲为主、兼少量右旋走滑分量的挤压型断层地震,属于单向破裂宏观线性浅源地震^[2],断层向西北方向倾斜,走向为 229°,释放的标量地震矩为 4.4×10^{21} Nm^[3],能量辐射源跨度达 600 km。汶川地震波及大半个中国,灾区面积约 50 万 km²、其中重灾区位于青藏高原向四川盆地的过渡地带、包括四川、甘肃和陕西三省的 8 个市(州) 32 个县(市、区),面积约 10 万 km²,最大烈度达 11 度,倒塌房屋 778.91 万间,2 473 座水库出险,5.3 万 km 公路受损,死亡和失踪 87 149 人、1 000 多万人无家可归,直接经济损失 8 451.4 亿元,引发的崩塌、滑坡、泥石流等次生山地灾害举世罕见^[4]。汶川地震不仅激活了部分老崩塌滑坡点,还产生大量新的次生山地灾害,且山地灾害不但具有即时的巨大破坏性,还具有长期的潜伏性和延续性^[5]。

2 震后次生山地灾害危险性评价

山地灾害的发生与所处的地形地貌、地层岩性、地质构造等内在条件密切相关,同时降雨、地震、人类工程活动等外部因素也起着重要作用,并受到水文、植被、土壤等地理环境的影响。因此,研究震后次生山地灾害的危险性,就必须综合考虑上述多种因素的作用。

2.1 评价依据

根据灾区遥感调查、野外考察和实地调查数据,结合中国科学院成都山地灾害与环境研究所、国土资源部、中国地质调查局等部门的调查资料,在充分认识山地灾害历史及现状的基础上,分析汶川地震对山地灾害发育的影响,选择对山地灾害起主要作用的因素与指标,按区域因素的相同或相似“归类”、“相异”分级的原则,进行次生山地灾害危险性评价。

2.2 评价方法

震后次生山地灾害危险性评价引入“危险性指数 P ”,用以确定不同区域的次生山地灾害的危险程度的高低,即危险性的大小。危险性指数为

$$P_i = \sum_{i=1}^n w_i \cdot X_i \quad (i=1,2,3, \dots, n) \quad (1)$$

式中: P_i ——各评价单元危险性指数; w_i ——控制山地灾害危险程度的各类因素作用权重; X_i ——控制山地灾害危险程度的各类因素的指数^[6]。

所选定的控制山地灾害的危险程度的因素包括地质、地貌、气候、水文、植被、灾害状况和人类活动等 7 个方面的 11 个主要因素,并按照各因素的具体情况确定其划分标准和对应的归一化指数。

2.3 分级标准

山地灾害危险性指数值(P_i)综合反映了研究区内孕灾环境条件的地震动参数对形成山地灾害的可能贡献,其值越大,危险性程度越高。根据研究区内山地灾害危险性指数值的总体幅度,按危险程度的高低,将研究区分为四个等级,其分级标准如下(表 1)^[7]。

表 1 震后次生山地灾害危险性分区标准

危险性指数 P_i	<0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	>0.7
危险程度	基本无危险区	低度危险区	中度危险区	高度危险区

2.4 评价结果

根据以上评价方法、危险性分级标准和各评价单元危险性概率值,对研究区次生山地灾害危险性进行评价和区划(表 2),其结果为:高危险区涉及 20 个县、90 个乡镇,面积 7 691.63 km²、占重灾区总面积的 10.5%;中等危险区涉及 20 个县、205 个乡镇,面积 20 385.2 km²、占重灾区总面积的 27.7%;低危险区涉及 27 个县、431 个乡镇,面积 38 570.06 km²、占重灾区总面积的 52.4%;基本无危险区涉及 12 个县、113 个乡镇,面积 6 920.76 km²、占重灾区总面积的 9.4%。

(1)高度危险区。该区主要分布于龙门山活动断裂带上包括汶川地震的主要重灾区。具有高陡边坡、干旱河谷、断裂带、软弱岩组等不良地质条件,岩层极为破碎,山区地表结构破坏严重,松散固体物质丰富,极易形成滑坡、崩塌、泥石流等地震次生山地灾害。

由于该区地震次生山地灾害危险性很高,破坏能力巨大,土壤侵蚀强烈,耕地十分稀少而贫瘠,土地、资源和环境的承载力很低,一般不宜进行大规模以上建设,但区内仍有不少不连续的、呈孤岛状分布的危险性较低或较安全、乃至安全的小地块存在。这些地块如经过勘察和论证是安全的或通过山地灾害防治能保障其安全,仍可建设为人口密度低的农林牧业区,也可建设乡镇政府驻地等,但人口密度一定要控制在土地、资源和环境的合理承载能力之内。

(2)中度危险区。该区主要分布于安县、北川羌族自治县、崇州市、都江堰市、汉源县等 21 个县(市、区) 205 个乡镇。地震对该区影响程度中等,区内滑坡、崩塌、泥石流灾害以中型为主,在峡谷地段高陡

边坡带,也常有大型地震次生山地灾害发生。灾害分布总体不甚密集,次生山地灾害主要是高陡危险

边坡,其中软弱岩组,尤其是千枚岩、片岩分布区是主要的次生山地灾害多发区。

表 2 汶川地震 32 重灾区县次生山地灾害危险性评价统计表

危险性 分区	涉及的行政区		评价结果	
	县名	乡镇个数	面积/ km ²	占总面积 百分比/ %
基本无 危险区	安县、德阳市旌阳区、都江堰、黑水、罗江、绵竹、宁强、彭州、三台、什邡、盐亭、中江	113	6920.76	9.4
低危 险区	安县、北川、苍溪、崇州、德阳市旌阳区、都江堰、广元市利州区和元坝区、汉源、黑水、剑阁、江油、理县、罗江、茂县、绵阳市涪城区和游仙区、绵竹、彭州、青川、三台、松潘、文县、汶川、盐亭、中江、梓潼	431	38570.06	52.4
中等 危险区	安县、北川、崇州、都江堰、广元市利州区和朝天区、汉源、剑阁、江油、理县、茂县、绵竹、彭州、平武、青川、什邡、松潘、文县、汶川、小金	205	20385.24	27.7
高危 险区	安县、北川、崇州、都江堰、广元市利州区和朝天区、汉源、黑水、剑阁、江油、茂县、绵竹、彭州、平武、青川、什邡、松潘、文县、汶川、小金	90	7691.63	10.5

由于该区地震次生山地灾害危险性中等,破坏能力中等,土壤侵蚀中等,耕地面积较大且具有一定肥力,土地、资源和环境的承载力中等,一般不宜进行大规模资源开发和经济建设,但区内有一定量的较安全、乃至安全的连续地块存在。这些地块如经过勘察和论证是安全的或通过山地灾害防治能保障其安全的,那么这些地块不仅可以开发为人口密度较高的农林牧业区,而且可以建设中等规模及以下的工矿企业、乡镇政府驻地 and 中等规模的县城等,当然人口密度仍应控制在土地、资源和环境的合理承载能力之内。

(3) 低度危险区。主要分布于安县、北川羌族自治县、崇州市、都江堰市、汉源县等 28 个县(市、区)的 431 个乡镇。该区受地震影响相对较小,低度危险区起主要作用的是微地貌和小构造,如大于 25° 的斜坡、危岩斜坡、裂隙发育的部位等常发生滑坡和崩塌等,但泥石流少见。低度危险区内地震次生山地灾害以中小型为主。

由于该区地震次生山地灾害危险性低,破坏能力较小,土壤侵蚀较轻,耕地较多且肥沃,土地、资源和环境的承载力较高,区内有连续的较安全、乃至安全的区域存在。在这些区域不仅可以进行现代化农业建设(高寒地区除外),也可以开展大规模资源开发和经济建设,如大中型水利水电工程、大型工矿企业和大型城市建设等,但人口密度仍应与土地、资源和环境保持协调发展。

(4) 基本无危险区。主要分布于安县、德阳市旌阳区、都江堰市、黑水县、罗江县、绵竹市、宁强县、彭州市、三台县、什邡市、盐亭县和中江县,共 12 个县(市、区)的 113 个乡镇。该区主要为平原区,由于不具备山地灾害形成条件,因此一般不存在山地灾害

活动,但受人类工程建设、经济活动或流水侵蚀作用影响,偶有局部溜滑、塌岸发生。即使在此次地震中受地震影响强烈的地区,成规模的地震次生山地灾害也十分稀少。

由于该区在这次地震中,区内位于龙门山山前地带的部分区域也遭受地震的强烈破坏,但仅受地震作用的制约,不受地震次生山地灾害的影响。因此该区的资源开发和经济建设,在采用合理的地震烈度(动参数)设防的条件下,一切均可按照安全区进行布局。

3 汶川地震震后山地灾害最优成本模型减灾对策分析

最优成本模型是建立在将灾害成本划分为预防成本和损失成本两类基础之上的,模型通过这两类成本与灾害发生可能性之间的关系,确定灾害总成本的最低点。模型中的变量有灾害预防成本、灾害损失成本、灾害总成本和灾害发生可能性,分别用 C_1 、 C_2 、 D_c 和 p 表示。

对于山地灾害而言,灾前投入成本越大,灾害发生的可能性就会越低, C_1 表示灾害预防成本曲线,二者呈负相关关系;而一个区域灾害发生的概率越大,造成的损失就越大, C_2 表示灾害损失成本曲线,两者呈正相关关系; D_c 表示灾害总成本曲线,即投入成本与损失成本之和。 D_c 曲线上最低点 A,在该点 D_c 关于 p 一阶导数为 0;A 点所对应的 C^* 为最低灾害成本, p^* 为最低灾害成本下的灾害发生可能性。

通过边际分析方法可知, C_1 与 C_2 关于 p 的一阶导数绝对值相等,即为降低一个百分点的灾害发生可能性所需要增加的预防成本与由这一个百分点

灾害可能性所造成相等时,停止增加灾害预防成本,此时灾害总成本即灾害预防成本与灾害损失之和最小,这即是灾害投入的最优化原则。通过此模型对不同程度危险区灾害发生可能性进行经济性评价,假设高度危险区发生灾害的概率 P_1 为 20%,中度危险区 P^* 为 8%,低度危险区 P_2 为 4%,基本无危险区为 0.2%;假设在中度危险区 P^* 为 8%处灾害投入达到最优化,即灾害预防成本与灾害损失之和最小;对于高度危险区 P_1 ,要想减少灾害损失,必须增加灾害预防成本以降低灾害发生可能性,当预防成本达到 C^* 时,不仅降低了灾害发生可能性,还可使灾害预防成本与灾害损失之和最小,实现减灾成本最优;对于低度危险区 P_2 ,由于减灾投入过大造成不经济行为,需要减少预防投入,下降到 C^* 时便可达到灾害预防成本与灾害损失之和最小,实现减灾成本最优^[8]。

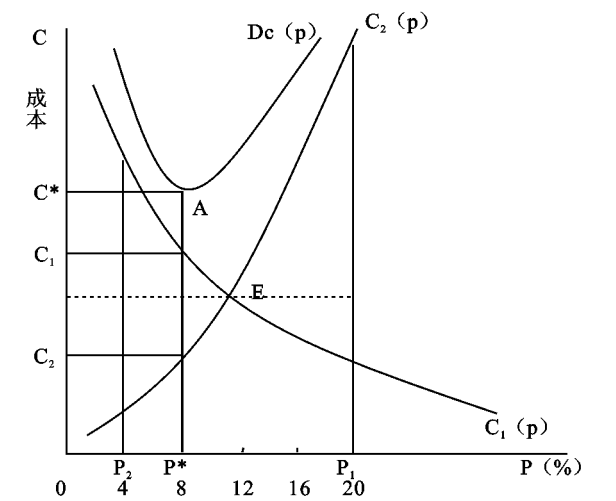


图 1 灾害发生可能性

因此根据汶川地震震情和灾害经济学最优成本分析,对于高度危险区的北川、江油、茂县、绵竹等地区的 90 个乡镇应该加大灾害防治投入力度,在这些区域,每增加一份投资其效用成倍大于其他地区,得到的收益较大。对于中度危险区的 205 个乡镇可以根据灾害的发生进行适当减灾投资;而对于低度危险区和基本无危险区则基本不用考虑减灾投资甚至减少预防投资用于高度危险区,这样可以避免该地区过度预防引起的不经济行为。

4 结 论

(1) 汶川地震为宏观线性浅源地震,主断裂带沿

龙门山北川 - 映秀断裂发育,断裂长达 300 km,为逆冲右旋走滑断裂;地震余震多、量级高、破坏性强、持续时间长。

(2) 在缺乏详尽的野外调查资料情况下,基于孕灾环境条件和地震动参数,初步建立了震后次生山地灾害危险性评价模型,进行了重灾区山地灾害危险性评价与区划,满足了汶川地震抗震救灾和灾后恢复重建等应急工作需要。

(3) 通过最优成本模型分析,对于高度危险区要进行增加灾害预防成本以降低灾害发生可能性;对于低度危险区要减少预防投入以避免过度预防的不经济行为。

致谢:本文在研究过程中得到中国科学院对地观测中心、国土资源部信息中心、国家测绘局、中国科学院成都山地灾害与环境研究所等单位提供的灾区航空影像数据、基础地理信息、震后灾害调查数据等方面的大力支持,在写作过程中得到中国科学院成都山地灾害与环境研究所钟敦伦研究员和谢洪研究员的热心指导和帮助,在此深表谢意。

参考文献:

[1] 崔鹏,韦方强,陈晓清,等.汶川地震次生山地灾害及其减灾对策[J].中国科学院院刊,2008,23(4):317-323.

[2] 易桂喜,闻学泽,王思维,等.由地震活动参数分析龙门山 - 岷山断裂带的现今活动习性与强震危险性[J].中国地震,2006,22(2):117-125.

[3] 陈运泰.汶川特大地震的震级和断层长度[J].科技导报,2008,26(10):26-27.

[4] 苏凤环,刘洪江,韩用顺.汶川地震山地灾害遥感快速提取及其分布特点分析[J].遥感学报,2008,12(6):956-963.

[5] 殷跃平.汶川八级地震地质灾害研究[J].工程地质学报,2008,16(4):433-444.

[6] Costa J E, Schuster R L. The formation and failure of natural dams[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics, 1989,26(1):1054-1068.

[7] Tamura T. Analysis of the relationship between the areal distribution of earthquake-induced landslides and the earthquake magnitudes[J]. Geological Review of Japan,1978,19(8):662-672.

[8] 徐娟.灾害经济学中的减灾投入与成本问题[J].灾害学,2006,21(2):103-105.