

汶川地震陕西重灾区地质灾害风险区划探讨^{*}

王雁林¹, 郝俊卿², 赵法锁³, 李 芳⁴

(1. 长安大学 建筑工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 西安财经学院 商学院, 陕西 西安 710061;
3. 长安大学 地球工程与测绘学院, 陕西 西安 710054; 4. 陕西省地质环境监测总站, 陕西 西安 710054)

摘 要:以汶川地震陕西的勉县、宁强、略阳三个重灾县的地质灾害防治区划为研究对象, 借鉴国际上的自然灾害风险概念, 基于1:5万地质灾害详细调查精度, 在勉、略、宁地区地质灾害危险性评价和承灾体地质灾害社会经济易损性评价基础上, 通过GIS平台, 进行了勉县、略阳、宁强地区的地质灾害风险区划初步研究, 划分了勉、略、宁地区地质灾害风险区划结果。研究表明: 勉、略、宁地区地质灾害风险区划属于细观层面的地质灾害风险区划。勉、略、宁地区地质灾害风险区可以划分为高、中、低和极低4级风险区, 高中风险区占到全区面积的60%, 是今后勉略宁地区地质灾害防治的重点。

关键词: 地质灾害; 风险区划; 汶川地震; 陕西; 勉、略、宁地区

中图分类号: P642.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2011)04-0035-05

地质灾害不仅具有自然属性, 还具有社会属性, 这就决定了地质灾害评价不能局限于传统的地质成因、工程治理等方面的技术研究, 同时还应侧重地质灾害的风险预测与风险控制。自1970年代以来, 美国、澳大利亚、日本等发达国家开始进行比较系统的地质灾害风险评价及相关理论方法研究并应用于工程实践中, 研究的重点从地质灾害风险的基本概念到逐步定量化预测研究探索和实际的程度^[1]。中国香港针对区域内的切坡建立了较完整的切坡分级系统, 并应用于风险管理实践中^[2]。国内对灾害风险研究起步较晚, 目前国内学术界关于地质灾害风险研究多为基本概念、基本原理、基本方法的分析和讨论以及特定地区的风险预测研究, 比较有代表性的研究有: 殷坤龙系统探讨了全国以及县域层面的滑坡灾害风险区划方法^[1]; 张茂省系统研究了地质灾害风险调查的方法^[3]; 王雁林探讨了省域地质灾害风险区划的思路与方法^[4]。上述层面的地质灾害风险区划研究促进了区域地质灾害风险区划的理论与方法, 但总体上地质灾害风险区划的研究还不系统, 对区划尺度、风险分析基本单元、区划目的与原则、区划方法、区划实用性等方面有待加强。

近年来县市地质灾害调查与区划的实践表明, 原有的地质灾害区划精度与内容难以满足防灾减灾和地质灾害评价预测要求, 开展地质灾害风险

区划, 可以有效降低地质灾害可能造成的人员伤亡和财产损失, 是地质灾害防治管理的重要方向之一^[1-8]。陕西省的勉县、略阳、宁强三县, 简称勉略宁地区, 地处秦巴山地, 面积8 817 km², 处于秦岭-大别缝合带和扬子板块西北缘龙门-锦屏缝合带的交汇区, 地质构造复杂, 地质灾害多发、易发。受汶川特大地震影响, 勉略宁地区遭受了严重的人员伤亡和经济损失, 被国家划定为重灾区。勉略宁地区曾在2000-2003年和2006-2007年开展过1:100 000的地质灾害普查和补充普查工作。受限于当时的地质灾害调查工作精度较低, 加之地质灾害普查的工作主要是以调查核查地质灾害隐患点为主, 以及对地质灾害的社会属性重视不够, 难以满足地质灾害防治的需求。通过开展本项地质灾害风险区划研究工作, 不仅为地震灾区重灾区地质灾害防治提供了科学依据, 同时也是对地质灾害风险区划的有益探索。

1 研究思路和方法

借鉴联合国有关自然灾害风险的定义: 风险是危险性与易损性的乘积, 其中危险性是灾害的自然属性, 可用灾害规模和发生概率表达; 易损性则是灾害的社会属性, 可用承灾体财产、生命、

^{*} 收稿日期: 2011-04-25

基金项目: 陕西省教育厅(08JK051); 陕西省气象局(2008Z-2); 中国地质调查局(2007水环地灾-3)

作者简介: 王雁林(1975-), 男, 山西运城人, 博士, 从事地质环境保护管理和科研工作. E-mail: wangyanlin236@163.com

经济、环境等表达。因此地质灾害风险区划是在地质灾害危险性区划和地质灾害经济社会易损性区划叠加基础上形成的地质灾害风险区划，它从研究内容上包括地质灾害危险性区划、易损性区划以及两者叠加基础上的风险区划。结合地质灾

害风险区划和自然灾害区划成果^[9-10]，作者认为，地质灾害风险区划从层次上可以划分为宏观、微观和微观三个层次。不同层次的风险区划，决定了风险区划的类型、用途、内容以及风险区划的比例尺精度的差异性(表1)。

表 1 地质灾害风险区划的类型、用途、内容与精度

层次	研究类型	主要用途	区划内容	比例尺精度	服务期
宏观层面	国家域、重要流域、省域	圈定地质灾害防范的重点区域，为规划阶段的土地利用或重大建设提供预防措施	地质灾害危险性评价与社会经济易损性评价指标不少于 3 项，区划内容较概略，满足规划要求	1 : 100 000 或更小	5 年，与国家、省战略规划相匹配
细观层面	重点区域、县域	明确地质灾害防治区域，为重大工程或城镇、集镇、园区建设提供防灾减灾；为地质灾害防治提供具体目标	地质灾害危险性评价指标不少于 3 项，社会经济易损性评价指标不少于 3 项，区划内容较详细，满足计划要求	1 : 50 000 ~ 1 : 5 000	2 ~ 3 年，与县域或城镇等战略规划相匹配
微观层面	单体	用于重大地质灾害隐患防治	地质灾害危险性评价与社会经济易损性评价指标不少于 6 项，区划内容应详细，满足工程防治要求	1 : 5 000 或更小	1 年以内，年度修编，满足动态变化需要

宏观层次的风险区划包括国家、重要流域或者省域空间范围的风险区划。这类层次的风险区划的主要用途是为圈定地质灾害发生区域、范围，为国家战略规划提供预防措施。风险区划的内容要求比较概略，危险性评价指标和地质灾害社会经济易损性指标要求不少于 3 项，风险调查的比例尺精度相对较小，一般为 1 : 100 000 或更小比例尺；风险区划的服务期间一般较长，与国家的经济社会发展规划同步。

细观层次的风险区划包括重点区域、县域范围的风险区划。这类层次的风险区划的主要用途是明确重点关注和采取防治措施的地质灾害区域，为重大工程或城镇、集镇、园区建设提供选址。风险区划的内容要求较详细，对于研究区的地质灾害危险性评价指标不少于 6 项，地质灾害社会经济易损性评价指标不少于 3 项，风险调查的比例尺精度一般为 1 : 50 000 ~ 1 : 5 000。风险区划的服务期一般与县域规划、计划相匹配。

微观层次的风险区划主要是指单体地质灾害风险区划。这类层次的风险区划主要用途是为重大地质灾害隐患防治提供依据，为场地建设或利用提供防灾减灾依据。风险区划内容要求详细，危险性评价指标与社会经济易损性评价指标不低于 6 项，风险调查的比例尺精度应在 1 : 5 000 以上或更大。风险区划的服务期一般较短，需要及时对风险内容进行补充调查、评价，动态变化较快。

勉略宁地区地质灾害风险区划属于细观层面的地质灾害风险区划。勉略宁地区作为汶川地震

的重灾区，地质灾害风险调查、评价、区划是勉略宁地区灾后恢复重建和经济社会发展的重要支撑。随着勉略宁地区 1 : 50 000 的地质灾害调查工作的开展，获取了地质灾害风险区划的各类数据，特别是开展了重点地区的 1 : 10 000 的精细调查，地质灾害风险评价区划工作具备了相应的条件。在本研究中，充分利用 GIS 平台的空间分析功能，进行数据采集、存储、管理、分析和建库，开展各项评价工作。本研究主要思路是在分析勉略宁地区地质灾害环境条件和地质灾害发育特征基础上，综合考虑各类地质环境条件和地质灾害特征，对勉略宁地区进行地质灾害危险性评价与区划；根据勉略宁地区社会经济状况及承灾能力，进行承灾体地质灾害社会经济易损性评价与区划，最后在地质灾害危险性区划和经济社会易损性区划叠加基础上，进行勉略宁地区地质灾害风险区划，为地质灾害防治提供科学依据。

2 地质灾害危险性评价与区划

2.1 勉略宁地区地质灾害危险性评价与区划

地质灾害危险性程度评价指标体系的构建，是在考虑评价指标体系构成的系统性、实用性、规范性、科学性原则^[11-15]基础上，结合研究区地质灾害实际，选取地形地貌(图 1a)、地质构造(图 1b)、地形坡度(图 1c)、岩土体类型(图 1d)、降水等值线(图 1e)、隐患点分布图(图 1f)等，作为地质灾害危险性评价指标。

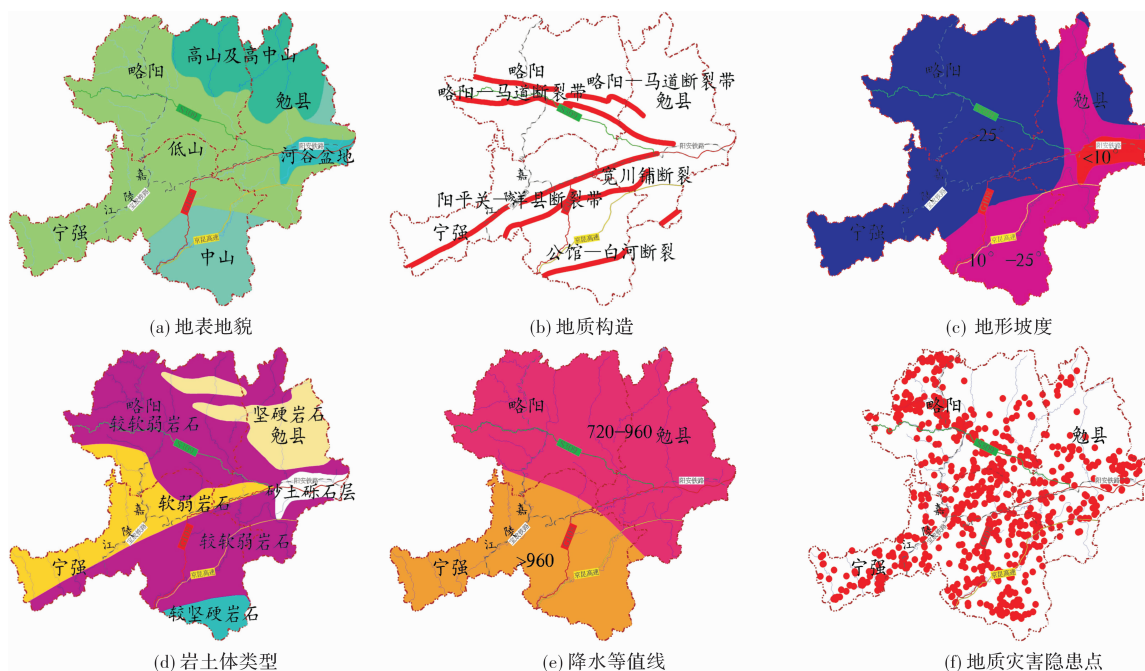


图1 勉略宁地区地质灾害危险程度区划评价指标示意图

2.2 计算单元剖分和评价方法

计算单元采用栅格剖分。勉略宁地区总面积为 8 817 km², 将全区 1: 50 000 地形图范围内按 1 cm × 1 cm 剖分成 8 885 个网格, 每个完整网格面积为 1 km²。评价方法采取基于 GIS 的信息量叠加分析法。利用 GIS, 建立影响地质灾害的地貌、构造、岩土体、坡度等评价指标的基础图件, 形成因子分布图, 建立基础数据库和图形库。在前述评价指标分析和数据归一化基础上, 利用 GIS 的空间叠加和统计功能, 采用单元危险程度概率模型, 计算每一个评价单元的所有指标值。

计算采用单元危险程度概率模型公式:

$$H = R(F_{DI} + F_{YAN} + F_{GOU} + F_{PO} + F_{YU}), \quad (1)$$

式中: H 为单元危险程度概率值; F_{DI} 为单元地形地貌危险程度概率值; F_{YAN} 为单元岩性危险程度概率值; F_{GOU} 为单元构造危险程度概率值; F_{PO} 为单元坡度危险程度概率值; F_{YU} 为单元降雨量危险程度概率值; R 为单元地质灾害发育度, 表示单元内已发生地质灾害和地质灾害隐患点的处数。

经过对各因子信息叠加, 得到地质灾害易发程度评价结果。在此基础上采用等间距法, 按照 (<0.25 , $0.25 \sim 0.5$, $0.5 \sim 0.75$, >0.75) 作为危险程度分区界限值, 进行危险程度划分。将区域划分为极低危险区、低危险区、中危险区、高危险区 4 个不同等级的区域。在定量计算基础上, 综合考虑各种因素, 得出勉略宁地区地质灾害危险程度区划。

2.3 危险程度分区

结果按照上述危险性评价与区划方法, 得到勉县、宁强、略阳地区地质灾害危险区划结果, 见图 2。由图 2 可以看出, 勉略宁地区的地质灾害高、中危险区主要分布断裂带比较集中发育、岩性多为软弱或较软弱的岩土体地区, 该类地区坡度多 $>25^\circ$ 。

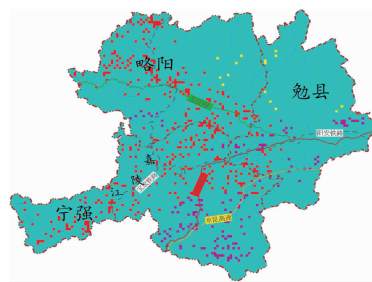


图2 地质灾害危险程度区划结果示意图

3 地质灾害社会经济易损性评价与区划

3.1 评价指标选取

地质灾害造成的人员伤亡和经济损失和很大程度上还取决于承灾体的承受能力, 即地质灾害的社会经济易损性。易损性评价涉及到不同类别的承灾体易损性特征的获取以及社会承灾能力的量化与评价。易损性评价对象包括自然属性和社会属性的评价因子, 如自然资源、财产、人的生命等。评价指标的选取, 除了考虑前述地质灾害

危险程度评价与区划的评价指标选取原则外, 还需要充分考虑评价指标的易得性。据此, 考虑到本研究区社会经济统计数据获取可行性及经济性并根据特点, 本研究选取勉县、略阳、宁强县乡镇人口密度(人/km²)、单位 GDP(10⁴ 元/km²)、耕地面积(ha/km²)作为易损性特征指标(图3)。本研究中各乡镇的人口、GDP、耕地面积来源于各县资料。

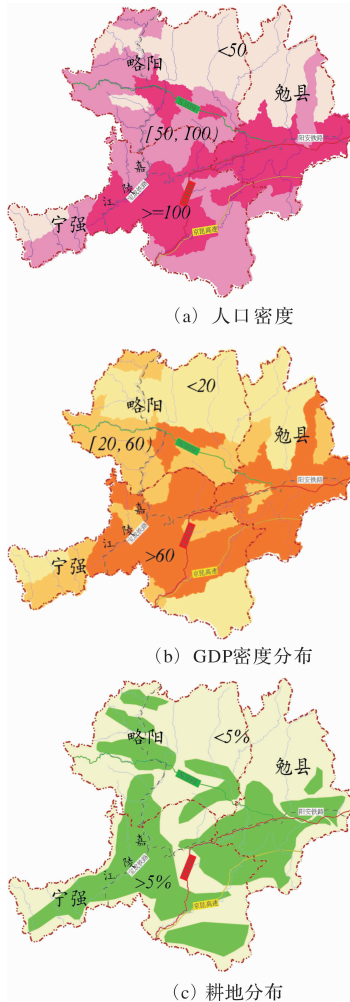


图3 地质灾害社会经济易损性评价指标示意图

3.2 易损性计算模型

易损性评价涉及到评价单元的划分问题。为便于危险程度区划结果进行叠加分析, 本研究中同样采用栅格剖分计算, 计算方法同上。易损性评价取决于两个要素即灾害强度和受灾体本身特性^[16]。考虑到研究区调查工作程度, 灾害强度主要考虑单元格灾害点密度, 易损性因子主要考虑人口密度、GDP 密度和耕地分布作为计算因子。

易损性计算指数采用如下计算方法:

$$F = \sum G_a \times G, \quad (2)$$

式中: 易损值为 F ; 易损因子属性为 G_a ; 单元格

灾害密度为 G 。

采用易损性指数计算方法, 计算评价单元所有指标值。采用等间距法, 确定易损程度分区界限值, 将区域划分为极低易损区、低易损区、中易损区、高易损区四个不同等级的区域, 并给出各单元确定的易损程度等级标准, 在定量计算分级分区基础上, 综合考虑各种因素, 得出研究区地质灾害易损程度分区。

3.3 易损性分区结果

按照上述易损性分区原则和方法, 结合前人已有的研究成果, 进行地质灾害易损性划分, 分区结果见图4。

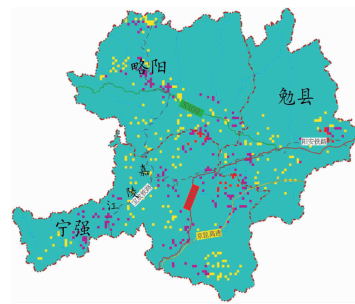


图4 社会经济易损性评价结果示意图

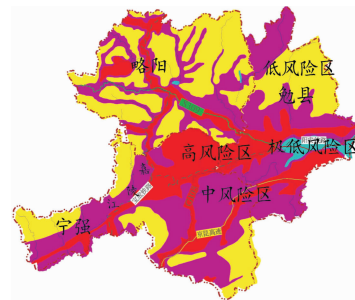


图5 勉略宁地区地质灾害风险区划示意图

4 地质灾害风险评价与区划

地质灾害风险评价是将危险性程度与易损性相乘得到地质灾害风险的过程。地质灾害风险区划图是以地质灾害危险程度区划图、地质灾害易损性区划图为基础, 采用风险评价原理叠加, 进行地质灾害风险区划制图。栅格剖分计算同易发程度区划中应用方法。每个单元格的易损值与危险值进行叠加分析。计算公式如下:

$$G = D \cup F, \quad (3)$$

式中: G 为单元格风险度; D 为单元格危险值; F 为单元格易损值。

采用风险度指数计算每个评价单元的所有指标值, 得到评价区地质灾害风险评价结果。同时采用上述等间距法, 确定风险程度分区值, 将全

区划分为极低风险区、低风险区、中风险区、高风险区。地质灾害风险区划结果见图 5。由图 5 可见, 地质灾害高风险区(红色图斑)分布在宝成铁路沿线、嘉陵江两岸、汉江盆地、西汉高速沿线, 面积 1 890 km²。地质灾害中风险区(粉红色图斑)分布在汉江平原周边地区, 面积 3 453 km²。地质灾害低风险区(黄色图斑)分布在勉略宁的周边地区, 面积 3 012 km²。地质灾害极低风险区(淡蓝色图斑)分布在汉江平原, 面积 160 km²。

5 结论与讨论

(1) 勉县、略阳、宁强三县是汶川地震陕西重灾区, 现有的地质灾害评价与区划难以满足防治需求, 开展地质灾害风险区划是目前地震灾区重灾区地质灾害防治管理的薄弱环节, 也是急需开展的重大课题。

(2) 地质灾害风险区划可以划分为宏观、细观和微观三个层次。不同层次的风险区划, 决定了风险区划的类型、用途、内容以及风险区划的比例尺精度的差异性。认为勉略宁地区的地质灾害风险区划属于细观层面的地质灾害风险区划。

(3) 以地质灾害危险性区划、承灾体地质灾害易损性区划为基础, 基于 GIS 平台, 将勉略宁地区的地质灾害风险区划分为高、中、低、极低 4 级风险区。其中地质灾害高风险区面积 1 890 km², 地质灾害中风险区面积 3 453 km², 地质灾害低风险区面积 3 012 km², 地质灾害极低风险区面积 462 km²。地质灾害高中风险区占到全区总面积的 60%, 这些地区应成为今后地质灾害防治的重点。

参考文献:

- [1] 殷坤龙, 张桂荣. 滑坡灾害风险分析[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 1-15.
- [2] 黄润秋. 地质灾害风险评价与管理[M]. 北京: 地质出版社, 2010: 1-15.
- [3] 张茂省, 唐亚明. 地质灾害风险调查的方法与实践[J]. 地质通报, 2008, 27(8): 1205-1212.
- [4] 王雁林, 郝俊卿, 赵法锁, 等. 陕西省地质灾害风险区划初步研究[J]. 西安科技大学学报, 2011, 31(1): 46-53.
- [5] 张梁, 张建军. 地质灾害风险区划理论与方法[J]. 地质灾害与环境保护, 2000, 10(1): 323-329.
- [6] 金江军, 潘懋, 李铁锋. 区域滑坡灾害风险评价方法研究[J]. 山地学报, 2007, 25(2): 197-201.
- [7] 管珉, 陈兴旺. 江西省山洪灾害风险区划初步研究[J]. 暴雨灾害, 2007, 26(4): 339-344.
- [8] 张春山. 汶川地震重灾区地质灾害风险评价的重要意义和方法[J]. 四川行政学院学报, 2010, 3: 54-59.
- [9] 楚敬龙, 王金生, 腾彦国, 等. 基于 GIS 的滑坡危险性区划研究[J]. 地球科学与环境学报. 2010, 32(4): 409-416.
- [10] 邹铭, 范一大, 杨思全, 等. 自然灾害风险管理与预警体系[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 48-69.
- [11] 张楠楠. 自然灾害风险管理研究[M]. 北京: 中国商业出版社, 2010: 1-11.
- [12] 王雁林, 陕西省地质灾害实例分析及致灾模式探讨[J]. 灾害学, 2008, 23(3): 57-61.
- [13] 王雁林. 陕南地区滑坡灾害气象预报预警及其防范对策探讨[J]. 地质灾害与环境保护, 2005, 16(4): 345-350.
- [14] 殷杰, 尹占娥, 许世远, 等. 灾害风险理论与风险管理方法研究[J]. 灾害学, 2009, 24(2): 7-11.
- [15] 石莉莉, 乔建平. 基于 GIS 和贡献权重叠加方法的区域滑坡灾害易损性评价[J]. 灾害学, 2009, 24(3): 46-50.
- [16] 张艳, 刘丹强, 周璐红. 地质灾害土地资源易损性评价定量探讨[J]. 水文地质工程地质, 2010, 37(3): 122-127.

A Discussion on Regional Risk Zoning of Geological Hazard in the Worst-hit Area of the Wenchuan Earthquake in Shaanxi Province

Wang Yanlin¹, Hao Junqing², Zhao Fasuo¹ and Li Fang³

(1. School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. School of Business, Xi'an Financial and Economic University, Xi'an 710061, China;

3. College of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

4. Geo-environmental Monitoring Central Station of Shaanxi Province, Xi'an 710054, China)

Abstract: Taking Mianxian County, Lueyang County and Ningqiang County in Shaanxi where were severely hit by the Wenchuan earthquake, as the research object, a preliminary study is made on geo-hazard zoning of Mianxian-Ningqiang-Lueyang area, in terms of the international concept of natural hazard, based on 1:50 000 detailed geological disaster investigation and hazard zoning of geo-hazard and vulnerability zoning of geo-hazard, by use of MAPGIS platform. The result shows that geological hazard risk zoning of Mianxian-Lueyang-Ningqiang area is micro-zoning of geological hazard risk and the geo-hazard risk zoning of Mianxian-Lueyang-Ningqiang area can be divided into 4 levels of risk as high, medium, low and very low. The area of high and medium risk covers about 60% of the area of Mianxian-Lueyang-Ningqiang, where would be the key areas of geo-hazard prevention in Mianxian-Lueyang-Ningqiang area.

Key words: geological hazard; risk zoning; Wenchuan earthquake; Shaanxi; Mianxian-Lueyang-Ningqiang area