

·地质灾害危险性 with 风险评估实例·

陕西省宝鸡市渭滨区地质灾害风险评价

张春山^{1,2}, 何淑军¹, 辛 鹏¹, 孙炜锋^{1,2}, 谭成轩^{1,2}, 吴树仁^{1,2}, 王 涛¹, 刘 鑫¹

ZHANG Chun-shan^{1,2}, HE Shu-jun¹, XIN Peng¹, SUN Wei-feng^{1,2},

TAN Cheng-xuan^{1,2}, WU Shu-ren^{1,2}, WANG Tao¹, LIU Xin¹

1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 国土资源部新构造运动与地质灾害重点实验室, 北京 100081

1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;*

2. *Key Laboratory of Neotectonic Movement & Geohazard, Ministry of Land and Resources, Beijing 100081, China*

摘要:在渭滨区地质灾害详细调查的基础上,通过统计分析确定了各类地质灾害危险性和易损性的主要影响因素,采用模型方法和定性评价方法分别进行了地质灾害的危险性评价和易损性评价,在此基础上进行了地质灾害风险评价。渭滨区地质灾害类型主要为滑坡、崩塌、泥石流 3 种,共发育地质灾害隐患点 123 个,其中有 16 个点直接威胁人民的生命和财产。分别统计了渭滨区各乡镇地质灾害的多少和危害程度,总结了区域内地质灾害的分布特征,分析了地质灾害的形成条件,建立了地质灾害风险评价的指标体系,确定了地质灾害危险性、易损性和风险的判别标准,进行了地质灾害风险性评价与区划。共划分为极高风险区、高风险区、中风险区、低风险区和极低风险区 5 个等级。

关键词:宝鸡市渭滨区;地质灾害;危险性评价;易损性评价;风险评价

中图分类号:P694

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2009)08-1053-11

Zhang C S, He S J, Xin P, Sun W F, Tan C X, Wu S R, Wang T, Liu X. Risk evaluation of geological hazards in Weibin District, Baoji City, Shaanxi Province, China. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(8):1053-1063

Abstract: Based on detailed investigation of geological hazards in Weibin District, Baoji City, this paper has selected the main influence factors for geo-hazard fatalness and vulnerability evaluation by statistic analysis, and later specific evaluation was carried out using the experimental modeling and qualitative method, thus resulted into comprehensive risk evaluation. There are three major geological hazards types, namely landslide, collapse, debris-flow in Weibin District. In total there are 123 potential troubles, and of which 16 are imposing certain threat to people's life and property. This paper has concluded the amount and fatalness of geo-hazard in all the towns and villages of Weibin District, and summarized the distribution feature and analyzed the forming conditions of geological hazards within this area, moreover, and an index system of systematic geo-hazard risk evaluation was set up. Assessment specification and rule for fatalness, vulnerability and risk are specified, thus a regional geo-hazard risk evaluation and zoning is carried out. 5 levels are classified in terms of geo-hazard risk, namely extra-high risk, high risk, medium risk, low risk and extra-low risk.

Key words: Weibin District of Baoji City; geological hazards; fatalness assessment; vulnerability assessment; risk evaluation

风险评价和风险管理是当前国际上研究的热点问题^[1-3],目前还没有形成统一的认识,特别是评价方法和因素选取因人而异,但基本上认为风险

是由危险性和易损性 2 部分构成的^[4-19]。可用下式表示:

$$R=P_H \times P_L \times P_S \times V_{(D:T \text{ 或 } P:T)} \times E \quad (1)$$

收稿日期:2009-05-07;修订日期:2009-05-18

科技项目:科技部科技支撑项目(编号:2006BAC04B05、2008BAK47B04)、中国地质调查局地调项目(编号:1212010640401)和国土资源部新构造运动与地质灾害重点实验室、中国地质科学院重点开放实验室专项资金联合资助

作者简介:张春山(1964-),男,博士,研究员,从事地质灾害、地应力、环境地质等方面的科研工作。E-mail:zhangcs401@sina.com

式中: R —滑坡造成的潜在风险(财产损失或人口伤亡数); P_H —滑坡年发生概率; P_L —滑坡影响承灾体(人或财产)的空间概率; P_S —滑坡影响承灾体(人或财产)在空间上的时间概率; $V_{(0,T)}$ —一个体的易损性(指人); $V_{(P,T)}$ —承灾体的易损性(指物或财产); E —承灾体的价值或人口数量。

本文在渭滨区地质灾害详细调查并收集县市调查资料和社会经济资料的基础上,通过统计分析确定了地质灾害危险性评价、易损性评价和风险评价的主要影响因素,采用模型方法和定性评价方法分别进行了地质灾害的危险性评价、易损性评价和风险评价。渭滨区地质灾害类型主要为滑坡、崩塌、泥石流、地裂缝 4 种。地质灾害的危险性是指地质灾害发生的可能性。地质灾害的易损性是指发生地质灾害对受威胁的对象所造成的损失程度或可能造成的损失。地质灾害的风险是指地质灾害活动可能造成的破坏损失。地质灾害的危险性评价与易损性评价共同组成地质灾害风险评价的基础。研究地质灾害风险的目的就是为政府部门进行地质灾害的宏观决策、区域国土资源规划、减灾防灾提供基础依据。目前,国内外尚没有地质灾害危险性评价的统一方法和标准。易损性评价则更是进行得很少且方法各异,有的用已往破坏损失率代表,有的用承灾体的总价值代表,也有人用社会总资产代表^[4-5,12-16,19]。风险评价目前虽然是国内外研究的热点,但大都以单灾体评价为主,区域上在国外不进行风险评价,国内开展得也较少,因此开展此项研究是非常必要的,可以提高风险评价的理论水平,具有重要的理论意义,还可以为地质灾害的防治与管理提供基础依据和参考资料,具有重要的实践意义。地质灾害是否会发生,发生的可能性有多大,其造成的破坏损失可能是多少,一直是国内外研究的重点^[3,5]。地质灾害风险评价的方法很多,目前用得较多的方法有层次分析法、经验模型法、数理统计模型法、信息模型法、模糊评判模型法、灰色模型法、模式识别模型法、非线性模型法等,这些方法各有优缺点^[5,17-19]。本文在进行地质灾害详细调查的基础上,采用经验模型方法和数理统计模型法对渭滨区地质灾害进行了定量的危险性评价、易损性评价,并在此基础上进行了风险评价。本文危险性评价采用经验模型法,根据专家已往的工作经验,将其他条件相似的地区的模型用于对评价区的评价,这种方法各因子的权值是由专家评

判获得的。本文采用统计分析模型进行易损性评价,在统计分析评价区社会经济条件的基础上,计算各种因素与地质灾害的相关程度,即可能造成的损失率或破坏程度,其权值由统计分析获得。由于概率计算方法很难实现,因此本文把危险性、易损性均用指数来表示,把危险性指数与易损性指数相互叠加,从而获得评价单元的风险指数。这种方法比较适合于高山峡谷区或高山与高原(或平原)过渡地区。本文采用的 GIS 方法可以进行快速评价和制图,在减灾防灾中,特别是应急救灾中能发挥更大的作用。

1 地质环境条件及地质灾害概况

渭滨区位于陕西省宝鸡市南部,为宝鸡市城区之一,距西安市 181 km。地理坐标介于东经 $106^{\circ}26'32''\sim 107^{\circ}8'11''$ 与北纬 $34^{\circ}35'17''\sim 35^{\circ}6'45''$ 之间。总面积 845 km^2 。本区地势南高北低,地形由南向渭河谷地倾斜,构成明显的山地—梁峁—河谷阶地地形。属暖温带大陆性季风气候,1981—2005 年多年平均降水量 577.2 mm ,年际最大降水量是 923 mm (2003 年),最低 340.4 mm (1995 年)。年内降水主要集中在 7—9 月。

出露的地层主要有中元古界秦岭群变质岩,古生界寒武系、奥陶系海相沉积建造,中生界三叠系、侏罗系、白垩系及新生界新近系、第四系河湖相建造及黄土。岩浆岩主要为印支期和燕山期岩浆岩,分布于西南部的关山—八渡镇的大底村一带,呈不规则岩基产出,部分呈岩株产出,与元古宙变质岩地层呈侵入接触关系,局部为断层接触。其中白垩系砂岩、泥岩互层和新近系红粘土、黄土地层是本区的易滑地层。其他地层的风化残坡积物和碎屑堆积也是易滑地层。

本区地质构造可分为两大构造单元,以固关—八渡断裂为界,东北属中朝准地台鄂尔多斯台向斜南缘,西南属北秦岭加里东褶皱带的陇山褶皱束。区内构造以 NW 向断裂构造为主,其次为 NNE 向。NW 向断裂构造大多为深大断裂,而 NNE 向断裂构造大多为次生构造。

渭滨区地质灾害比较发育,根据 2008 年地质灾害的详细调查结果,截止到 2006 年 12 月,共发育地质灾害隐患点 123 个,其中有 16 个点人民生命财产直接受到威胁。渭滨区辖 5 个街道和 6 个乡镇,除 5

个街道外,6个乡镇均发生过地质灾害,据初步统计分析,共威胁 239 户、981 人,1456 间房屋,威胁资产 2301.23 万元(表 1、表 2)。地质灾害类型主要为滑坡、崩塌、泥石流 3 种。崩塌包括岩质崩塌和土质崩塌 2 种,多数为小型崩塌;滑坡包括黄土滑坡、黄土与基岩复合滑坡、残坡积层滑坡、基岩滑坡等,以黄土滑坡为主,多数为牵引式滑坡;泥石流主要为小型,发育于基岩山区的冲沟中。

2 地质灾害风险评价体系

地质灾害风险评价是对风险区发生不同强度地质灾害活动的可能性及其可能造成的损失进行的定量化分析与评估。地质灾害风险评价的目的是反映评价区地质灾害总体风险水平与地区差异,为指导国土资源开发、保护环境、规划与实施地质灾害防治工程提供科学依据。

地质灾害风险评价主要包括 2 个方面的内容。

一是危险性分析——通过对历史地质灾害活动程度和地质灾害各种活动条件的综合分析,评价地质灾害活动的危险程度,确定地质灾害活动的密度、强度(规模)、发生概率(发展速率)和可能造成的危害区的位置、范围。

二是易损性分析——通过对风险区内各类受灾体的数量、价值和不同种类、不同强度地质灾害的抵御能力进行综合分析,评价承灾区的易损性,确定可能遭受地质灾害危害的人口、工程、财产和国土资源的数量(或密度)及其破坏损失率。

危险性分析和易损性分析是地质灾害风险评价的基础,通过这 2 个方面的分析,确定风险区位置、范围和地质灾害活动的分布密度、时间概率,进而确定可能遭受地质灾害的人口、工程、财产资源、环境的空间分布与破坏损失率。这 2 个方面的分析相互

表 1 渭滨区各乡镇地质灾害统计结果
Table 1 Statistics of geo-hazard in various townships of Weibin District

乡 镇	灾 害 点 数			合计
	滑坡	崩塌	泥石流	
八鱼镇	8	2	1	11
马营镇	15	1	1	17
石鼓镇	28	2		30
神农镇	14	2	5	21
高家镇	21	1		22
晁峪乡	15	5	2	22
总计	101	13	9	123

联系,形成具有层次特点的地质灾害风险评价系统(图 1)。

3 地质灾害风险评价指标

(1)根据地质灾害形成机理和形成条件,选出了对地质灾害具有控制作用和影响较大的因素作为风险评价的主要因子。

研究区的地形地貌明显地控制了地质灾害的形成,受控于工程地质的岩土组合类型,与活动构造和断裂关系密切,与河流水系的发育程度、降雨量和人类工程活动密切相关。根据这些影响因素的资料程度和地质灾害的形成条件,分别选择了 10 种因子和 7 种因子作为危险性和易损性评价的因子(表 3),风险评价则是危险性和易损性的综合反映。

(2)建立地质灾害风险评价指标体系:根据不同影响因子构建各自的分级标准和赋值标准(表 4、表 5)。

4 地质灾害风险评价技术方法及流程

(1)数据预处理:依据指标体系对主要影响因素

表 2 渭滨区地质灾害详细调查点数
Table 2 Statistics of points of detailed survey of geo-hazard in Weibin District

地质灾 害类型	已知 点数	排除已 知点数	新增 点数	合计	重大地 质灾害 隐患点	中等地 质灾害 隐患点	一般地 质灾害 隐患点	威胁人 数/人	威胁房 屋/间	其 他
滑坡	13		88	101	5	24	72			危及公路约 3.2km、
崩塌	2		11	13			13	981	1456	铁路约 300m、水库 1
泥石流	1		8	9			8			座、引水渠约 300m、
合计	16		107	123	9	24	93	981	1456	牲畜约 2374 头

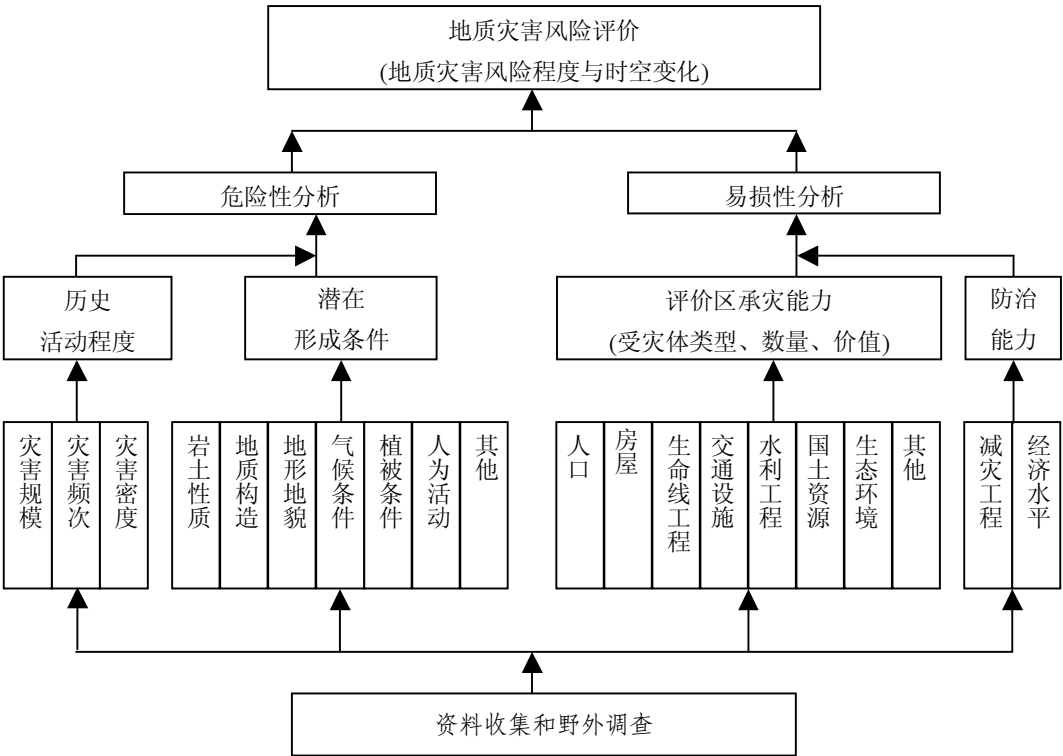


图 1 地质灾害风险评价系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of geo-hazard risk evaluation system

进行赋值；能够直接用数据表示的因素直接用数据表示；不能直接用数据表示的描述性因素，通过数据概化赋值后转化为数值数据。为了在计算过程中方便使用,使指标无量纲化,对所有指标均进行了归一化处理。

(2)权值确定:统计分析各主要影响因子对地质灾害形成和风险的贡献大小,在此基础上确定各主要影响因素的权值。

(3)建立风险评价的数学模型:依据各因素的权重值建立数学模型,包括危险性、易损性和风险评价模型。

地质灾害的风险程度可用风险性指数来表示。风险性指数越高,未来发生地质灾害的风险性就越大。风险性指数是在危险性分析和易损性分析的基础上获得的,可用危险性指数和易损性指数的乘积来表示。风险性评价指数可用下列数学模型表示。

$$FX_i=Xz\cdot WX_i\cdot YS_i$$

表 3 渭滨区地质灾害风险评价要素

Table 3 Geo-hazard risk evaluation factors in Weibin District

序号	危险性评价要素	权值	易损性评价要素	权值
1	灾害点(面)密度	0.2	人口	0.25
2	地形坡高	0.12	社会总产值	0.25
3	地形坡度	0.15	土地利用程度	0.07
4	工程地质岩组	0.14	公路	0.12
5	断裂	0.08	铁路	0.08
6	降雨量	0.07	防治能力(工程)	0.1
7	植被度	0.06	房屋	0.13
8	水系	0.05		
9	公路	0.09		
10	铁路	0.04		

$$WX_i=\sum_{j=1}^mR(j)\cdot X(i,j)$$
$$YS_i=\sum_{j=m+1}^mR(j)\cdot X(i,j)$$

式中:FX_i—评价单元的风险性指数;WX_i—评价单元的危险性指数;YS_i—评价单元的易损性指数;

表 4 渭滨区滑坡地质灾害危险性评价条件分级标准

Table 4 Specification of different levels of slide fatalness evaluation in Weibin District

因 素	极危险条件	中等危险条件	低危险条件	极低危险条件
灾害点密度 (个/100km ²)	>20	10~20	0~10	0
坡高/m	50~60	40~50、60~100	10~40、>100	<10
地形地貌	坡度/°	20~30、40~50	10~20、>50	<10
高程/m	700~800	600~700	800~1000	<600、>1000
断裂构造	位于断裂带内，且 断裂与河谷斜坡交 汇的部位	位于断裂带两侧 2km 的范围内	位于断裂带两侧 4km 的范围内	远离断裂带 4km 的范围以上
工程岩组	黄土与红粘土组合 类，松散碎屑物类	砂岩夹泥岩类	纯黄土和沉积岩类	坚硬岩组类（花 岗岩、变质岩）
水文地质条件	充分出露隔水层	局部出露隔水层	基本不出露隔水层	不出露隔水层
植被种类和覆盖度	以农作物为主， 森林覆盖率<10%	以农作物和经济林 为主，森林覆盖率 为 10%~30%	以经济林和森林为 主，森林覆盖率为 30%~60%	以原始森林为主，森林覆盖 率大于 60%
多年平均降雨量	<650 mm	650~700 mm	700~750 mm	>750 mm
水 系	千河二级和三级支 沟，向两侧 0.5 km	千河二级和三级支 沟，向两侧 1 km	千河干流和四级 以上支流 1 km	千河四级以上 支流>1 km
人类活动	人类活动强烈区： 铁路、公路两侧 2 km	人类活动中等区： 城镇、村庄、水库 周边 2km	人类活动较弱区： 耕作区、果林区	人类活动极弱区： 未开发的 原始森林地区
赋 值	1.0	0.6	0.3	0.1

X_z —修正系数，使风险性指数的值落在一定的范围内； M —关联因子总数； m —危险性要素关联因子总数； $R(j)$ —各关联因子的权重值； $X(i,j)$ —各关联因子概化后的数据。

(4)进行危险性、易损性和风险评价并提出减灾对策:根据风险评价结果进行风险区划,依据社会发展需要提出减灾对策建议。

5 渭滨区地质灾害风险评价

5.1 渭滨区地质灾害风险评价数据来源及处理方法

渭滨区地质灾害风险评价的数据主要来源于县市地质灾害详细调查报告,收集前人与地质灾害相关的资料,国家测绘局编绘的 1:5 万数字化地形图,1:20 万地质图、1:5 万地质图、1:5 万遥感影像资料、土地利用现状图、统计年鉴等(表 6)。

其数据处理方法和分级标准见表 4、表 5 和表 6。

5.2 渭滨区地质灾害危险性评价

选取 10 种主要评价因子进行危险性评价(表3),

其权值主要依据统计分析中对地质灾害的贡献大小而确定,然后利用 GIS 空间分析平台,按 500 m×500m 的单元进行数据处理,利用权值与各主要因子相乘叠加后进行栅格运算得到地质灾害的危险性指数,然后进行归一化处理,按危险性指数进行等差分级(表 7),共分成 5 级:极高危险区、高危险区、中危险区、低危险区、极低危险区(图 2、表 8)。

5.3 渭滨区地质灾害易损性评价

选取 7 种主要评价因子进行易损性评价(表 3),其权值主要依据统计分析中对地质灾害贡献的大小而确定,然后利用 GIS 空间分析平台,按 500 m×500m 的单元进行数据处理。由于研究区资料有限,易损性的破坏损失程度难以通过计算获得,因此在研究过程中利用当地的承灾体指标来表示易损性。利用权值与各主要因子相乘叠加后进行栅格运算得到地质灾害的易损性指数,然后进行归一化处理,按易损性指数进行等差分级(表 7),共分成 5 级:极高易损区、高易损区、中易损区、低易损区、极低易损区(图 3)。

表 5 渭滨区滑坡地质灾害易损性评价条件分级标准

Table 5 Specification of different levels of slide vulnerability evaluation in Weibin District

因 素	极易损条件	中等易损条件	低易损条件	极低易损条件
人口密度	>5000 人/ km ²	500~5000 人/ km ²	10~500 人/ km ²	<10 人/ km ²
社会总产值	>5000 万元/ km ²	500~5000 万元/ km ²	10~500 万元/ km ²	<10 万元/ km ²
土地利用程度	极高, 占国土资源的比例>70%	高, 占国土资源的比例 30%~70%	低, 占国土资源的比例 10%~30%	极低, 占国土资源的比例<10%
公 路	公路两侧 1km	公路两侧 2km	公路两侧 2~4km	公路两侧>4km
铁 路	铁路两侧 1 km	铁路两侧 2 km	铁路两侧 2~4 km	铁路两侧>4 km
防治能力(工程)	极低, 没有水库、护坡及植被防护工程	低, 基本没有水库、护坡及植被防护工程	较高, 有水库、护坡及植被防护工程	高, 有较大水库、护坡及植被防护工程
房屋结构和密度	农村土木房屋及窑洞	农村砖瓦房及城镇土木房屋	农村砖混结构及城镇砖瓦结构房屋	城镇砖混结构房屋
	>10000 间/ km ²	2000~10000 间/ km ²	500~2000 间/ km ²	<500 间/ km ²
赋 值	1.0	0.6	0.3	0.1

5.4 渭滨区地质灾害风险评价

利用危险性和易损性相乘叠加进行栅格运算得到地质灾害的风险指数, 然后进行归一化处理, 按风险指数进行等差分级(表 7), 共分成 5 级: 极高风险区、高风险区、中风险区、低风险区、极低风险区(图 4)。

在定量风险评价的基础上, 将形成条件和易损性条件类似的地区进行归并, 人工勾画出风险综合分区图, 亦分为 5 级: 极高风险区、高风险区、中风险区、低风险区、极低风险区(图 5、表 9)。

(1) 地质灾害极高风险区面积约 30.85 km², 占总面积的 3.65%, 共发育灾害点 29 处, 灾点密度 0.94 处/km²。该区主要分布于神农镇益门堡至偏桥清姜河两岸、高家镇南部寺沟岭以北部分地区和晁峪乡的黑山湾—苟家岭、孔柯槽一带, 渭河北岸的北嘴村附近和神农镇的乔家河—峪泉村、石鼓镇的甘沟村局部分布。

(2) 地质灾害高风险区面积约 76.87 km², 占总面积的 9.10%, 共发育灾害点 35 处, 灾点密度 0.46 处/km²。该区主要分布于高风险区的周边神农镇至东峪口的清姜河两岸, 神农镇与石鼓镇的峪泉村—高家河村一带和晁峪乡以东、高家镇以南李家山—黑山湾—寺沟岭一带。此外在清水河岔口、晁峪乡渭河北的固川河、落河一带也有分布。

(3) 地质灾害中等风险区面积约 182.63 km², 占

总面积的 21.61%, 共发育灾害点 34 处, 灾点密度 0.19 处/km²。该区主要分布于晁峪乡西北、高家镇以北神农镇, 石鼓镇东南和沿着清姜河两岸的外围部分地区, 此外在清水河、马尾河和深沙河两岸断续地分布。

(4) 地质灾害低风险区面积约 287.59 km², 占总面积的 34.04%, 共发育灾害点 19 处, 灾点密度 0.07 处/km²。该区主要分布于晁峪乡西北部的外围、南部的阳坡林家沟陈家滩一带, 神农镇李家河—深沙河一带, 石鼓镇的石嘴头村、凉泉村—沙河沟村和清水河—西岔河一带, 八渔镇的八渔村—寨子岭村的区域。

(5) 地质灾害极低风险区面积约 265.41 km², 占总面积的 31.41%, 共发育灾害点 6 处, 灾点密度 0.02 处/km²。该区主要分布于晁峪乡南部的阳坡以南的部分地区、石鼓镇南部的庙沟一带和马营镇清水河支流东岔河附近等区域, 此外分布在马营镇、八渔镇附近至渭河边界的部分区域及城区街道等地区。

6 结 语

本项研究成果属于对区域地质灾害风险研究的探索和尝试。在国内外已有的研究成果中, 风险评估主要集中于单体研究和更大区域的研究(如以县市为单元的全国性研究), 由于乡镇以下单元的评价

表 6 渭滨区地质灾害数据来源及处理方法

Table 6 Geo-hazard data source and processing method in Weibin District

项目	序号	评价因子	资 料 来 源 及 处 理 方 法	权值
危 险 性	1	灾害点(面)密度	县区地质灾害详细调查报告,收集前人与地质灾害相关的资料,按灾害发生的面积、灾害点的数量与单元面积相比,分别获得面密度和点密度	0.20
	2	地形坡高	由国家测绘局编绘的 1:5 万地形图数字化后,在 GIS 软件中直接获得各计算单元的最大坡高,单位为 m	0.12
	3	地形坡度	由国家测绘局编绘的 1:5 万地形图数字化后,在 GIS 软件中直接获得各计算单元的最大坡度,单位为°	0.15
	4	工程地质岩组	由 1:20 万地质图和 1:5 万地质图按不同地层的力学性质划分为力学性质相近的 7 个工程岩组	0.14
	5	断裂	由 1:20 万地质图和 1:5 万地质图资料直接获得,按距断裂的垂直距离进行缓冲分区	0.08
	6	降雨量	据收集的当地降雨资料并编绘等值线图后进行分区	0.07
	7	植被度	据 1:5 万遥感影像资料解译获得森林植被的覆盖度后进行分级分区	0.06
	8	水系	由国家测绘局编绘的 1:5 万地形图和 1:5 万遥感影像资料获得并进行水系分级	0.05
	9	公路	由国家测绘局编绘的 1:5 万地形图和 1:5 万遥感影像资料获得并进行公路分级	0.09
	10	铁路	由国家测绘局编绘的 1:5 万地形图和 1:5 万遥感影像资料获得并进行铁路分级	0.04
易 损 性	1	人口	根据县乡统计资料、1:5 万地形图和 1:5 万遥感影像资料按房屋面积多少分配获得单位面积内的人口	0.25
	2	社会总产值	根据县乡统计资料、1:5 万地形图和 1:5 万遥感影像资料按国土面积多少分配获得单位面积内的社会总产值	0.25
	3	土地利用程度	根据渭滨区的土地利用现状图获得土地利用程度并进行分级	0.07
	4	公路	根据县乡统计资料、1:5 万地形图、1:5 万遥感影像资料和渭滨区交通图进行长度统计,按单位线密度计算数值	0.12
	5	铁路	根据县乡统计资料、1:5 万地形图、1:5 万遥感影像资料和渭滨区交通图进行长度统计,按单位线密度计算数值	0.08
	6	防治能力(工程)	根据县乡统计资料、1:5 万地形图和 1:5 万遥感影像资料,统计各乡镇内现有的水库、大坝、各种工程护坡、退耕还林面积和植被发育程度,结合当地的社会总产值,综合分析各区域的防治能力并进行分级	0.1
	7	房屋	根据县乡统计资料、1:5 万地形图和 1:5 万遥感影像资料,按房屋分布面积统计单位面积内的房屋密度,单位为间/km ²	0.13

中数据资料难以获得,因而研究相对较少。本次研究以 500 m×500 m 的单元进行数据整理,虽然在操作上可以借助计算机进行,但数据却是在大量的遥感资料、调查资料和统计分析资料的基础上获得的,如

地质灾害的点和发生范围在野外调查过程中不可能全部调查清楚,而对遥感资料进行解译就可以解决资料的来源。植被资料、各类水利工程等均可从遥感资料获得。这就为地质灾害的风险评估提供了新的

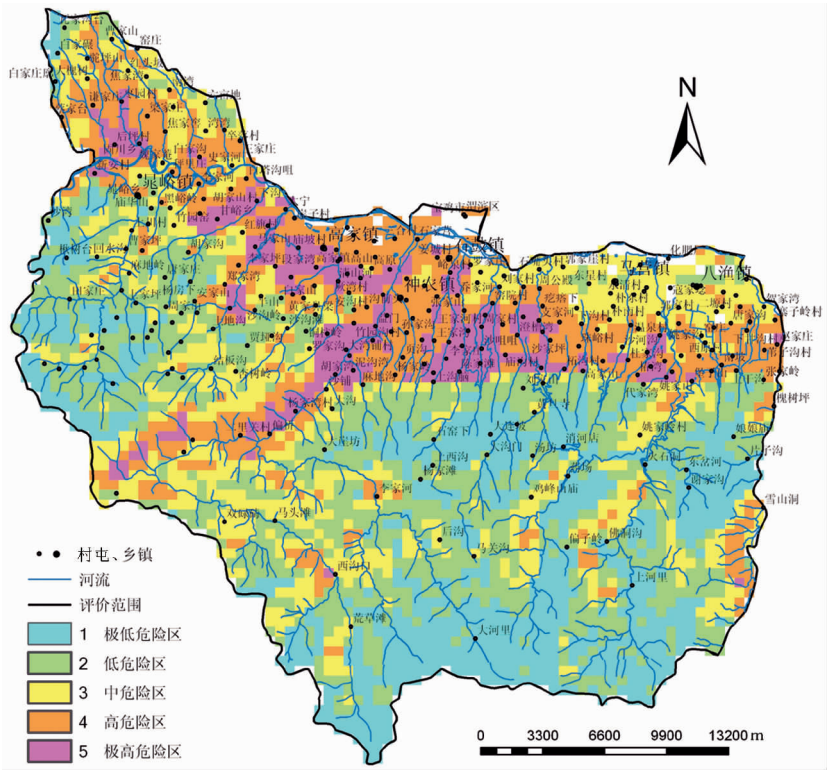


图 2 渭滨区地质灾害危险性分区 Fig. 2 Zoning of geo-hazard fatality in Weibin District

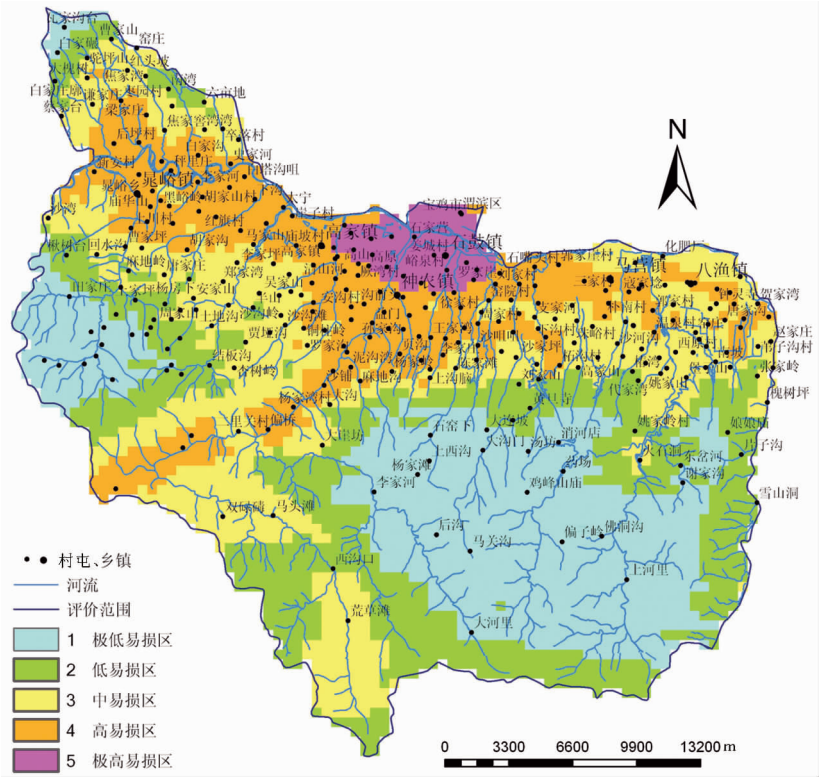


图 3 渭滨区地质灾害易损性评价分区 Fig. 3 Zoning of geo-hazard vulnerability in Weibin District

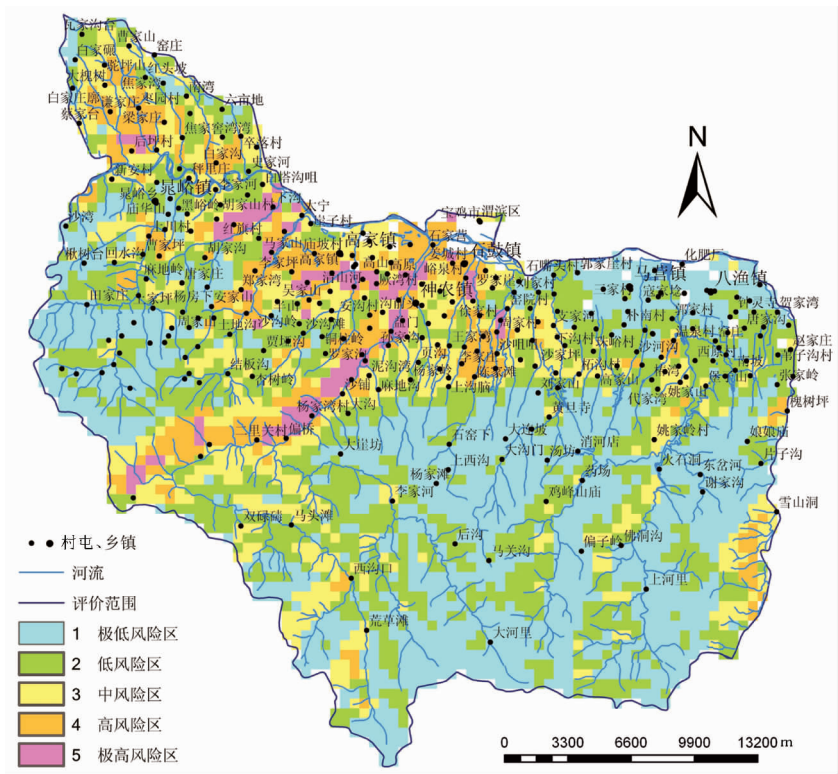


图 4 渭滨区地质灾害风险评价分区

Fig. 4 Zoning of geo-hazard risk evaluation in Weibin District

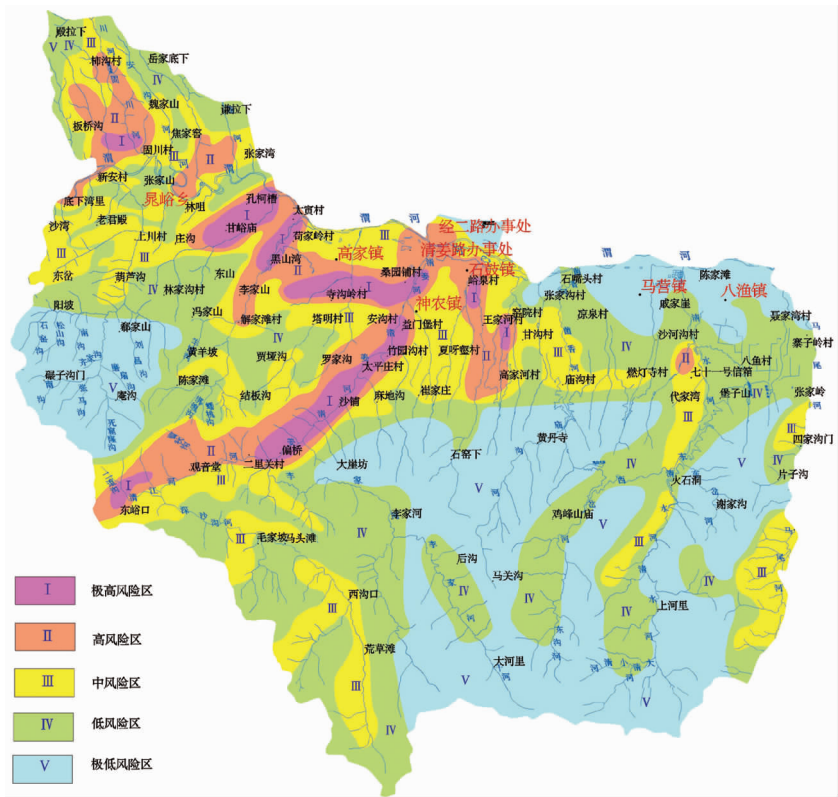


图 5 渭滨区地质灾害综合风险评价分区

Fig. 5 Zoning of comprehensive geo-hazard risk evaluation in Weibin District

表 7 地质灾害风险评价等级划分

Table 7 Classification of different geo-hazard levels

项目	指数和等级	极高	高	中	低	极低
危险性评价	危险性指数	0.8~1.0	0.6~0.8	0.4~0.6	0.2~0.4	0.0~0.2
	危险性等级	极高危险	高危险	中危险	低危险	极低危险
易损性评价	易损性指数	0.8~1.0	0.6~0.8	0.4~0.6	0.2~0.4	0.0~0.2
	易损性等级	极高易损	高易损	中易损	低易损	极低易损
风险评价	风险指数	0.8~1.0	0.6~0.8	0.4~0.6	0.2~0.4	0.0~0.2
	风险等级	极高风险	高风险	中风险	低风险	极低风险

表 8 地质灾害定量计算风险评价结果

Table 8 Results of quantitative geo-hazard risk evaluation

项目	危险性单元	极高	高	中	低	极低
危险性评价	危险性单元数	274	621	781	915	789
	面积/km ²	68.50	155.25	195.25	228.75	197.25
	占全区/%	8.11	18.37	23.11	27.07	23.34
易损性评价	危险性单元数	105	652	924	813	886
	面积/km ²	26.25	163.00	231.00	203.25	221.50
	占全区/%	3.11	19.29	27.34	24.05	26.21
风险评价	危险性单元数	104	324	638	1037	1277
	面积/km ²	26.00	81.00	159.50	259.25	319.25
	占全区/%	3.08	9.59	18.88	30.68	37.78

表 9 地质灾害综合风险评价结果

Table 9 Results of comprehensive geo-hazard risk evaluation

项目	危险性单元	极高	高	中	低	极低
风险评价	危险性单元数	104	324	638	1037	1277
	面积/km ²	26.00	81.00	159.50	259.25	319.25
	占全区/%	3.08	9.59	18.88	30.68	37.78
	灾害点数	29	35	34	19	6
	灾点密度(处/km ²)	0.94	0.46	0.19	0.07	0.02

技术和方法。

该方法在 2008 年 5 月 12 日四川省汶川 8 级大地震中得到了应用，为快速评价地质灾害的风险程度提供了一定的技术支撑,取得了较好的效果。

根据风险评估的结果，各级政府部门在地质灾害高风险区进行各类工程建筑活动时，应对地质灾害进行必要的工程防治或加大工程本身的强度。同时也要有保护环境意识，进行地质环境的长期生态治理。

高风险区和低风险区在条件变化后可以相互转换。风险是由危险性和易损性 2 个方面的因素

构成的,高危险和高易损组合区肯定是高风险区，中危险和中易损组合也可能形成高风险区或中风险区，高危险和低易损组合或低危险与高易损组合则可能形成中风险或低风险区，低危险和低易损组合肯定形成低风险区。高风险区如果居民搬迁到安全的地方后就可能变为低风险区，低风险区内如果进行了大量的经济开发活动，易损性升高后就会变成高风险区。

参考文献

[1]张春山,韩金良,孙炜锋,等.陕西陇县地质灾害危险性分区评价[J].

- 地质通报,2008,27(11):1795-1801.
- [2]刘希林.四川省泥石流风险评价[J].灾害学,2000,15(3):7-11.
- [3]Van Westen C J, Van Asch T W J, Soeters R. Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult?[J] Original Paper, Bulletin of Engineering Geology and Environment, 2005, 64:5-23.
- [4]张春山,张业成,马寅生,等.区域地质灾害风险评价要素权值计算方法及应用[J].水文地质工程地质,2006,33(6):84-88.
- [5]张春山,吴满路,张业成.地质灾害风险评价方法及展望[J].自然灾害学报,2003,12(1):96-102.
- [6]张春山,张业成,张立海.中国崩塌、滑坡、泥石流灾害危险性评价[J].地质力学学报,2004,10(1):27-32.
- [7]魏平新,汤连生,张建国,等.基于 GIS 的广东省滑坡灾害区划研究[J].水文地质工程地质,2005,32(4):6-9.
- [8]张春山.北京北山地区泥石流灾害危险性评价[J].北京地质,1996,8(2):11-20.
- [9]张梁,张业成,罗元华,等.地质灾害灾情评估理论与实践[M].北京:地质出版社,1998.
- [10]张春山,张业成,胡景江,等.中国地质灾害时空分布特征与形成条件[J].第四纪研究,2000,20(6):559-566.
- [11]Azm S Al-homoud, Gutaiba A Al-masri. An expert system for analysis and design of cut slopes and embankments[J]. Environmental & Engineering Geoscience. 1999,5(2): 157-172.
- [12]Bell F G. Geological Hazards, Their assessment, avoidance and mitigation[M]. Published by E & FN Spoon, London, 1999:648.
- [13]Fell R, Ho K K S, lacasse S, et al. A framework for landslide risk assessment and management [C]//Fell, Couture, Eberhardt. Landslide risk management.Hungr, Taylor & Francis Group, London, 2005, ISBN 04 1538 043 X.
- [14]Nichl J E, Shaker A, Wong M S. Application of high-resolution stereo satellite images to detailed landslide hazard assessment [J]. Geographology, 2006,76(1/2):68-75.
- [15]Wu Shuren, Jin Yimin, Zhang Yongshuang, et al. Investigation and assessment of landslide hazards of Fengdu County in the reservoir region of Three Gorges Project on the Yangtze River[J]. Environmental Geology, 2004,45:560-566.
- [16]张永波,张礼中,周小元,等.地质灾害信息系统的设计与开发[M].北京:地质出版社,2001.
- [17]殷跃平,康宏达,陈波.三峡工程移民区滑坡防治与利用技术研究[J].地质灾害与环境保护,2000,11(2):135-140.
- [18]殷跃平,柳源.中国地质灾害防治研究——对国际减灾十年活动(1990—2000)的思索[J].工程地质学报,2000,(增刊):1-10.
- [19]张梁,张业成,高兴和,等.地质灾害经济学[M].石家庄:河北人民出版社,2002.