

姬永涛, 王鲜, 郝业, 等. 基于斜坡单元的陕西省城镇地质灾害风险调查评价——以西安市蒋村街道为例[J]. 灾害学, 2022, 37(4): 211–219. [JI Yongtao, WANG Xian, HAO Ye, et al. Investigation and Evaluation of Urban Geo-hazards Risk in Shaanxi Province Based on Slope Unit——A Case Study of Jiangcun street in Xi'an[J]. Journal of Catastrophology, 2022, 37(4): 211–219. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2022.04.032.]

基于斜坡单元的陕西省城镇地质灾害风险调查评价*

——以西安市蒋村街道为例

姬永涛, 王鲜, 郝业, 胡鹏, 王鑫, 韩秀清, 乔丁丁

(陕西天地地质有限责任公司, 陕西 西安 710054)

摘 要: 以陕西省西安市蒋村街道为研究区, 在地质灾害隐患早期识别和详细调查的基础上, 总结分析了研究区地质灾害的分布特征和形成条件; 基于高精度 DEM 数据, 对研究区具备孕灾条件的区域划分了斜坡单元并逐坡开展了大比例尺(1:10 000~1:2 000)调查, 查清了孕灾地质环境条件和危险区范围内的承灾体, 通过统计分析确定了研究区地质灾害发育的主要影响因子, 利用层次分析法确定各因子权重, 采用综合指数法实现了所有斜坡单元的地质灾害易发性评价, 并以不同频率(10%、5%、2%、1%)下的年最大日降雨量作为灾害触发因素, 进行了基于极值降雨假设的地质灾害危险性评价, 在此基础上采用定性评价和模型方法分别进行了地质灾害的易损性和风险评价, 确定了研究区内每一个斜坡的风险等级。通过典型区域实地核查, 验证了评价结果的可靠性, 并与研究区以往调查评价结果进行了对比分析。

关键词: 地质灾害; 风险评价; 斜坡单元; 城镇; 陕西

中图分类号: X43; X915.5; P642 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2022)04-0211-09

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2022.04.032

开展地质灾害风险评价有助于及时研判区域地质灾害形势, 针对性地采取风险管控措施, 减轻地质灾害造成的损失^[1-2]。为此, 我国先后部署开展了不同比例尺和调查单元的地质灾害调查工作^[3], 如研究区近年来依次开展了 1:100 000 地质灾害调查与区划、1:50 000 地质灾害详细调查、1:50 000 地质灾害风险调查评价等。然而已有研究大多基于历史灾害的基础调查数据进行地质灾害区划或风险评价, 很少将潜在风险指标纳入区域地质灾害风险评价的体系之中, 或由于调查比例尺和数据精度的限制, 导致风险评价结果较粗, 不能很好地指导地质灾害防灾减灾工作的准确实施。

当前以 GIS 空间分析技术为支撑, 基于高精度基础数据进行的区域地质灾害风险评价能够定量分析和评价区域地质灾害发生的可能性及灾害损失, 可为防灾减灾、国土空间规划和工程建设选址等提供重要的科学依据, 现已成为地质灾害防治领域研究的重要热点问题^[4-5]。基于此, 本次以陕西省西安市蒋村街道为研究区, 在利用高精度光学遥感数据和雷达卫星数据进行地质灾害隐患早期识别的基础上, 基于高精度 DEM, 对研究区具备孕灾条件的区域划分斜坡单元, 并逐坡开展了大比例尺(1:10 000~1:2 000)地质灾害详细调查, 做到了“一坡(沟)一卡”, 全面系统地识别

了可能的地质灾害隐患, 并获取了影响研究区地质灾害形成的主要地质环境因素和危险区范围内准确的承灾体信息; 通过构建地质灾害风险评价体系, 利用 GIS 技术从研究区地质灾害易发性、危险性、易损性和风险性 4 个方面进行了综合分析, 最终确定了研究区内每一个斜坡的风险等级; 通过选取典型区域进行野外实地核查, 验证了评价结果的可靠性, 并与该区域以往调查评价结果对比, 显示本次评价显著提高了研究区地质灾害风险评价的精度, 为进一步实施地质灾害精准管控奠定了坚实基础。

1 研究区地质环境条件及地质灾害概况

1.1 地质环境条件

蒋村街道位于陕西省西安市鄠邑区西南、秦岭北麓, 地理坐标介于 108°25′~108°32′ E, 33°54′~34°7′ N 之间, 南北长约 27.3 km, 东西宽约 6 km, 总面积 131.46 km²。境内地势南高北低, 海拔 2 720~500 m, 构成明显的秦岭山地—山前冲洪积扇—冲洪积平原地貌。境内主要河流为甘河,

* 收稿日期: 2022-06-07 修回日期: 2022-08-02

基金项目: 陕西省自然资源厅“陕西省西安市鄠邑区蒋村街道 1/1 万地质灾害风险调查评价”(陕自然资勘发[2021]3 号)

第一作者简介: 姬永涛(1967-), 男, 汉族, 陕西乾县人, 高级工程师, 主要从事地质勘查、地质灾害研究及管理工作。

E-mail: smdz.jyt@163.com

属渭河二级支流,沿南北向主沟道大致将研究区分割为东西两个部分。研究区属暖温带半湿润大陆性季风气候,多年平均降水量为 638.4 mm,降水量自南向北逐渐降低,年际最大降水量为 1 039.9 mm(1983 年),最少为 322.9 mm(1995 年),年内降水主要集中在 7—9 月。

境内出露的地层主要有:元古界宽坪群变质岩,古生界碳酸盐岩和碎屑岩,第四系碎石土和粘性土。变质岩主要分布于秦岭北麓山前大断裂南侧,受断裂构造影响,岩石完整性差、破碎严重;碳酸盐岩和碎屑岩分布于南部中山区,岩石致密坚硬,多呈中—中厚层状结构;碎石土主要分布于冲洪积扇区以及甘河沿岸,主要为全新统砂卵石夹含砂质粘土层,松散、渗透性强;粘性土分布于北部冲洪积平原区。境内主要易崩易滑地层为风积、残坡积含碎石粘性土和碎屑堆积物。

境内大的构造断裂主要有三条,其中与地质灾害关系密切的断裂为秦岭北麓山前大断裂,东西向横贯全境,断裂地貌非常清楚;以秦岭北麓山前大断裂为界可分为两个构造单元,南部山区为北秦岭加里东褶皱带组成部分,北部平原为渭河断陷的组成部分,现仍有南升北降活动。

1.2 地质灾害隐患识别和发育特征

研究表明,利用高分辨率光学遥感数据和合成孔径雷达干涉测量(InSAR)技术可以有效反映滑坡、崩塌等地质灾害发生的可能性和准确位置,是区域地质灾害隐患早期识别的新技术^[6]。因此,本次首先通过无人机航拍和三维倾斜摄影,获取了研究区分辨率优于 0.5 m 的光学遥感影像(图 1);同时利用 Stacking 技术对研究区 2019 年 10 月至 2021 年 5 月期间的 55 景 Sentinel-1A 数据进行处理,获取了地表年平均形变速率图(图 2)。基于以上两项技术对研究区地质灾害隐患进行了早期识别,共解译地质灾害隐患点 16 处,经现场核查,16 处解译点均有变形迹象,结合变形程度和威胁对象最终确认地质灾害隐患点 5 处,小范围崩、滑等不良地质现象点 11 处。在此基础上,开展了大比例尺(1:10 000 ~ 1:2 000)地质灾害隐患点和孕灾地质环境条件详细调查,对遥感解译识别结果进行补充,并为研究区地质灾害风险评价提供基础数据。

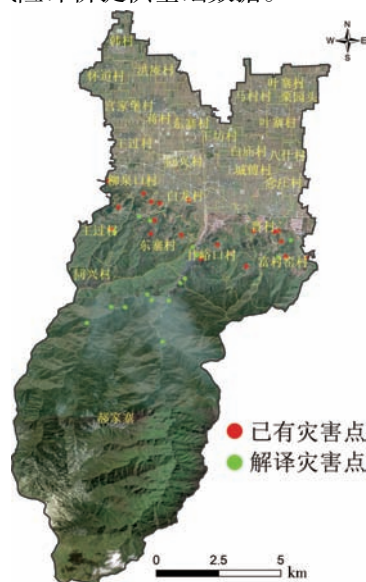


图 1 光学遥感解译

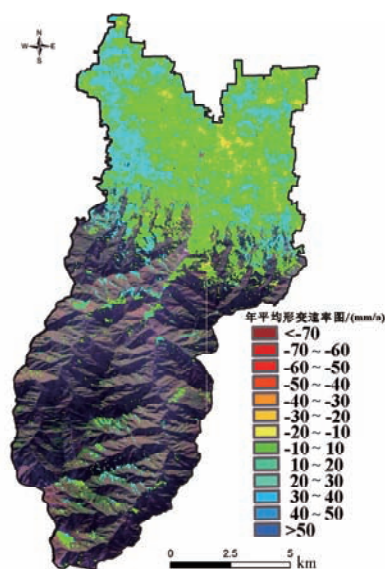


图 2 InSAR 解译

详细调查结果表明:受特殊的地质环境条件和气候等自然条件影响,加之近年来境内切坡建房、修路和陡坡种植等不合理的开发利用,导致研究区滑坡、崩塌灾害比较发育,截止 2021 年底,通过早期识别核查和现场调查共计确认地质灾害隐患点 19 处(包含解译确认的 5 处地质灾害隐患点),其中滑坡 14 处、崩塌 5 处(图 3)。境内地质灾害的分布与地貌关系密切,其发生则与降雨条件高度相关,具有小规模、集中发育的特点。境内滑坡主要以浅层堆积层的蠕滑变形居多,崩塌则以倾倒式或滑移式土质崩塌为主。19 处地质灾害隐患点直接威胁 139 户、491 人生命安全,威胁财产约 7 789 万元。

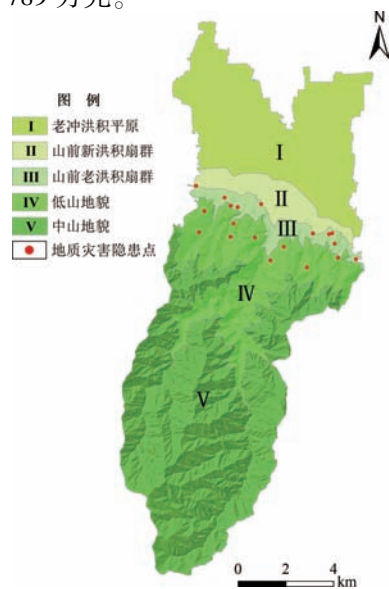


图 3 蒋村街道地质灾害隐患分布图

2 地质灾害风险评价体系构建

地质灾害的发生是致灾体在自然因素和社会因素的综合影响下作用于承灾体上产生的影响和破

坏,具有危害性、可变性、不确定性以及复杂性等特征^[7]。地质灾害风险评价是对某一特定区域,在某种特定条件下发生地质灾害时造成的人员、经济等损失的可能性预测。目前,国内外学者普遍认为地质灾害风险评价由地质灾害危险性评价和易损性评价共同组成,并从危险性和易损性两个方面构建指标体系,提出了表征风险程度的定量计算式:风险度 = 危险性 × 易损性^[8]。笔者认为,地质灾害风险评价可包括四个阶段:易发性评价、危险性评价、承灾体易损性评价和风险性评价(图4),不同阶段评价有其不同的侧重和用途。因此,本次从研究区地质灾害易发性、危险性、承灾体易损性和风险性等4个方面进行综合分析。

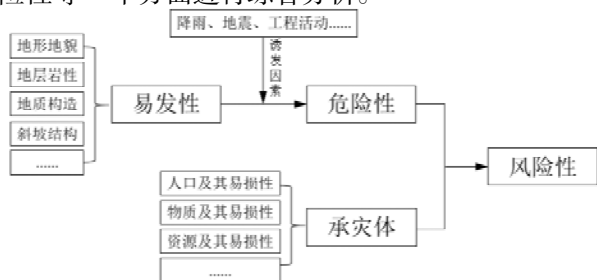


图4 地质灾害风险评价系统示意图

2.1 评价单元确定

区域地质灾害风险评价中常用的单元类型有网格单元、地域单元、均一条件单元、子流域单元、斜坡单元等,其中斜坡单元是滑坡、崩塌等地质灾害发育的基本单元,并且在各类控制或影响因素中,斜坡和沟谷的发育阶段对滑坡、崩塌的形成具有明显的控制作用^[9]。因此,本次采用斜坡单元作为评价单元,以研究区地理底图和精度5 m的DEM数据为基础,结合地质环境条件,按照地形地貌、地层岩性、地质构造等的相似、相近程度,将研究区具备孕灾条件的区域(去除北部平原区)划分为661个斜坡单元,并逐一进行了圈定编号,斜坡单元总面积为89.49 km²,占研究区总面积的68.07%(图5)。为了保证评价结果的合理性,按照5 m × 5 m 栅格大小将研究区DEM数据离散为5 258 918个单元格,在此基础上进行指标提取,并按照最大面积法转化为斜坡单元评价指标。



图5 蒋村街道斜坡单元划分图

2.2 地质灾害易发性评价方法

地质灾害易发性反映某一特定区域内,由地质环境条件现状综合决定的地质灾害发生的可能性,是评定某一区域内地质灾害发生概率的自然属性。目前国内外对易发性评价常用方法主要有逻辑回归法、神经网络法、综合指数法、信息量法、支持向量机等^[10-11]。本次选取综合指数法,利用设定的规则将一系列与地质灾害发生相关的影响因子无量纲化,采用权重来区别各个影响因子对地质灾害易发性的贡献,然后加权计算得到斜坡单元地质灾害易发性综合指数:

$$Y_i = \sum_{j=1}^n F_j \times S_j \quad (1)$$

式中: Y_i 为第 i 个斜坡单元易发性综合指数; F_j 为第 i 个斜坡单元 j 类指标权重; S_j 为第 i 个斜坡单元第 j 类指标赋值; n 为影响因子项数。

2.3 地质灾害危险性评价方法

地质灾害易发性仅考虑了影响地质灾害发育的静态因素,未考虑在特定时间段发生某种影响地质灾害形成的诱发因素。故本次通过总结分析研究区地质灾害的形成机理,考虑降雨为研究区地质灾害发生的主要诱发因素,采用基于极值降雨假设的地质灾害危险性评价方法(即基于研究区历史上有地质灾害发生的事实,假设有监测记录以来,最大日降雨量 $L_{\max/\text{day}}$ 为灾害发生的触发因素),计算各斜坡单元的危险性指数:

$$H_i = \frac{Y_i}{Y_{\max}} P_i \quad (2)$$

式中: H_i 为某种工况下第 i 个斜坡单元危险性指数; Y_i 为第 i 个斜坡单元易发性指数; Y_{\max} 为最大易发性指数; P_i 为某种工况下第 i 个斜坡单元的给定时间段内的失稳概率, $P_i = L/L_{\max/\text{day}}$, $L_{\max/\text{day}}$ 为有监测纪录以来研究区日最大降雨量, L 为不同频率(10%、5%、2%、1%)下的年最大日降雨量。

2.4 地质灾害承灾体易损性评价方法

承灾体是指遭受地质灾害危害的对象,如人员、物质、资源或生态环境等,易损性是在地质灾害发生时,对危险范围内的承灾体所可能产生的损伤、破坏程度的评估^[12]。本次根据研究区实际情况,选取人员易损性和物质易损性作为地质灾害承灾体易损性的评价指标。人员易损性主要考虑人口密度和年龄结构,物质易损性主要考虑建(构)筑物结构、用途、层数和道路的交通等级,各评价指标和权重见表1。

2.5 地质灾害风险性评价方法

结合地质灾害危险性与承灾体易损性,综合确定各斜坡单元地质灾害风险性的计算公式如式3。其中,根据承灾体评价对象的不同,风险评价可分为人员伤亡风险评价和经济损失风险评价,按照表2划分斜坡单元风险等级后,以“就高原则”确定斜坡单元综合风险等级:

$$R_i = \sum_{j=1}^n H_i \times E_j \times V_j \quad (3)$$

式中: R_i 为某工况下第 i 个斜坡单元的风险值; H_i 为某工况下第 i 个斜坡单元危险性指数; E_j 为某工况下第 i 个斜坡单元第 j 个承灾体价值(人员数量,单位人;经济价值,单位万元); V_j 为某工况下第 i 个斜坡单元第 j 个承灾体易损性。

表 1 承灾体易损性评价指标因子、权重及赋值分级表

承灾体类型	评价指标	权重	分级	赋值
人员	人口密度/(人/m ²)	0.8	≥0.2	0.8~1.0
			0.03~0.20	0.5~0.8
			<0.03	0.3~0.5
	年龄结构 (中青年:幼老年)	0.2	<1	0.7~1.0
			1~3	0.5~0.7
建(构)物	结构类型	0.5	≥3	0.3~0.5
			钢结构	0.2~0.4
			钢筋混凝土结构	0.4~0.6
			砖混结构	0.6~0.8
	建筑类型	0.4	其他简易结构	0.8~1.0
			学校、医院	0.8~1.0
	层数	0.1	其他	0.6~0.8
			<3层	0.3~0.5
			3~7层	0.5~0.7
			7~15层	0.7~0.8
道路	道路	1	≥15层	0.8~1.0
			高速公路、铁路	0.8~1.0
			国家级公路	0.5~0.8
			省级公路、一般铁路	0.3~0.5
			县级道路	0.2~0.3
物质			乡村公路	0.1~0.2

表 2 地质灾害风险等级划分标准表

风险等级	极高风险	高风险	中风险	低风险
人员伤亡风险/人	$R \geq 30$	$10 \leq R < 30$	$3 \leq R < 10$	$R < 3$
经济损失风险/万元	$R \geq 1\ 000$	$500 \leq R < 1\ 000$	$100 \leq R < 500$	$R < 100$
综合风险	以“就高原则”确定			

3 西安市蒋村街道地质灾害风险评价

3.1 数据来源

西安市蒋村街道地质灾害风险评价基础数据主要包括：地形、地质、植被覆盖度、土地利用、地质灾害及社会发展等，通过收集、实测、现场调查及勘查等多种方式获得。其中，1:10 000 数字化地形图、1:50 000 地质图、精度优于 5 m 的 DEM、精度优于 1.0 m 的遥感影像、植被覆盖度、土地利用现状、社会发展等数据通过收集获得；1:2 000 数字化地形图、精度优于 1 m 的 DEM、精度优于 0.5 m 的遥感影像通过实测获得；地质灾害、斜坡结构、切坡高度等通过野外调查及勘查获得；承灾体房屋和人员信息通过收集第三次国土调查数据结合现场调查比对和行政村核实确定。

3.2 地质灾害易发性评价

根据研究区地质灾害发育特征及形成条件，选取坡度、坡高、坡向、坡型、地层岩性、地质构造、斜坡结构、切坡高度、道路、植被等 10 个影响因子建立了研究区地质灾害易发性多指标综合评价体系。同时，考虑到指标选取的客观性和不同指标因子的独立性，利用 GIS 软件的多元分析模块对上述因子进行相关性分析^[13]，保证了评价因子选取的合理性。

基于对研究区地质灾害影响因素和形成机理分析，采用层次分析法(AHP)，比较各指标的相对重要性，通过构造判断矩阵计算各因子权重^[14]，并结合试算最终确定各指标权重系数，进而对指

标重分类后分别赋值，确立了以斜坡为单元的地质灾害易发性评价指标体系及量化分值表(表 3)。利用 GIS 平台中的栅格计算工具对各指标影响指数进行叠加，从而得到蒋村街道各斜坡单元地质灾害易发性综合指数为 1.27~4.58，进一步将斜坡单元地质灾害易发性划分为极高易发($4 < Y_i \leq 5$)、高易发($3 < Y_i \leq 4$)、中易发($2 < Y_i \leq 3$)和低易发($1 < Y_i \leq 2$)4 个等级，研究区斜坡单元地质灾害易发性分布图如图 6 所示。据统计，蒋村街道 661 处斜坡单元中，地质灾害极高易发性斜坡 36 个，面积合计为 1.70 km²，占蒋村街道总面积的 1.29%；高易发性斜坡 280 个，面积合计为 20.09 km²，占比 15.28%；中易发性斜坡 162 个，面积合计为 27.53 km²，占比 20.94%；低易发性斜坡 183 个，面积合计 40.17 km²，占比 30.56%。同时，由图 6 可看出，研究区地质灾害易发性的空间特征明显：地质灾害极高易发性和高易发性斜坡主要位于秦岭北麓山前大断裂周围、秦岭山前洪积扇与低山区过渡区域和甘峪沟主沟道内，这与以上区域地形坡度较大、构造断裂发育、岩体破碎较严重，且斜坡结构主要为土质斜坡或岩土复合斜坡，坡体覆盖层厚度较大，人类工程活动较为频繁等有关；地质灾害中易发性斜坡主要位于低山区中部和中山区零散区域，该区域斜坡结构主要为岩质斜坡或岩土复合斜坡，坡面覆盖层较薄、农耕地少，多为林草地或荒山草坡，交通不发达、人口密度低、人类工程活动少；低易发性斜坡主要位于南部中山区，该区域河谷深切、山高坡陡、山峰尖立，斜坡主要为直线型岩质斜坡，植被茂密，

岩体完整性较好,覆盖层薄,交通条件极差、人迹罕至,人类活动对地质环境的破坏微弱。

表3 地质灾害易发性评价指标体系及量化分值表

序号	评价指标			
	指标	权重	指标分类	赋值
1	坡度/(°)	0.1	<15	1
			15~30	3
			30~45	5
			45~60	2
			>60	4
2	坡向/(°)	0.05	N(337.5~22.5)	5
			NE(22.5~67.5)	4
			E(67.5~112.5)	3
			SE(112.5~157.5)	2
			S(157.5~202.5)	1
			SW(202.5~247.5)	2
			W(247.5~292.5)	3
			NW(292.5~337.5)	4
3	坡高/m	0.1	<20	1
			20~50	2
			50~100	3
			100~150	4
			>150	5
4	坡型	0.05	凸形	5
			凹形	3
			直坡	1
5	岩土体	0.15	坚硬块状侵入岩类	2
			较坚硬层状碳酸盐岩	3
			碎屑岩类	3
			较坚硬中深变质岩类	4
			松散粘性碎石土类	5
6	距断裂距离/m	0.1	<50	5
			50~100	4
			100~300	3
			300~500	2
			>500	1
7	距道路距离/m	0.15	<50	5
			50~100	4
			100~200	3
			200~500	2
			>500	1
8	植被覆盖度/m	0.05	-0.11~0.26	5
			0.27~0.36	4
			0.37~0.43	3
			0.44~0.5	2
			0.51~0.61	1
9	斜坡结构	0.15	岩质斜坡	2
			崩滑堆积体斜坡	3
			土质斜坡	4
			岩土复合斜坡	5
10	切坡高度/m	0.1	<5	2
			5~10	3
			10~15	4
			>15	5

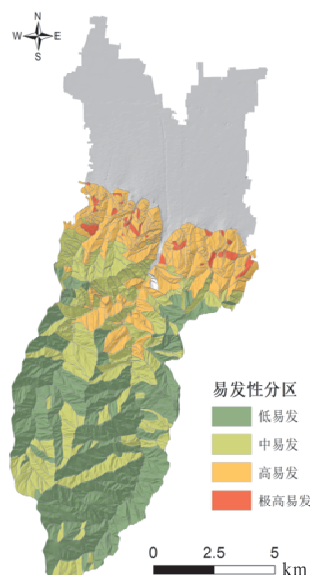


图6 地质灾害易发性分布图

根据研究区地质灾害发育现状,采用 ROC 曲线对斜坡单元地质灾害易发性评价结果进行检验^[15](图7),结果显示预测精度为 89.7%,表明上述评价方法和结果较为合理。

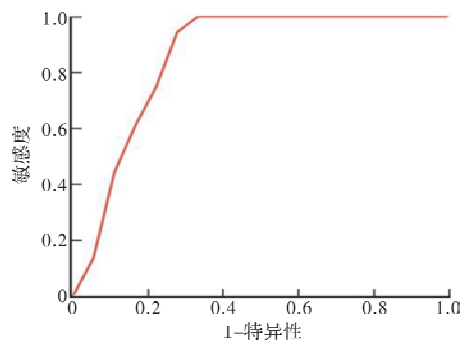


图7 易发性评价结果 ROC 验证曲线

3.3 地质灾害危险性评价

根据资料分析及实地调查,研究区内地质灾害形成几乎都与降雨有关,在降雨时间地质灾害的发生概率明显增高,因此选取降雨为蒋村街道地质灾害发生的诱发因素。

研究区有监测记录以来最大日降水量值为 130.6 mm(1991 年 7 月 28 日),参照研究区多年降水量数据,选取 10%、5%、2%、1% 概率下的年最大日降水量分别为 35 mm、75 mm、150 mm、200 mm。在斜坡单元易发性评价的基础上,利用 GIS 叠加不同降雨工况条件下的斜坡失稳概率,得到不同工况下斜坡单元危险性指数,按照极高危险($Y_i > 0.8$)、高危险($0.8 \geq Y_i > 0.6$)、中危险($0.6 \geq Y_i > 0.4$)和低危险($0.4 \geq Y_i > 0$)划分为 4 个等级(图8)。

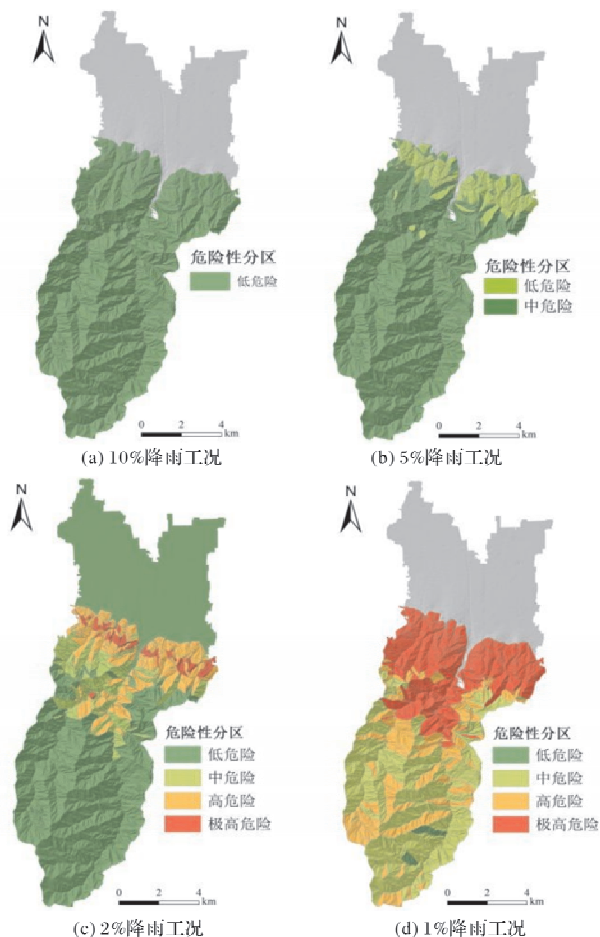


图8 不同降雨工况下地质灾害危险性分布图

3.4 地质灾害承灾体易损性评价

本次依据研究区第三次国土调查数据,在现场调查中对各斜坡单元内承灾体进行比对,对于有疑议的数据与所属行政村核实确定,共调查斜坡区承灾体425户、1766人、各类房屋1913间、道路总里程52.5 km。按照表1进行了各类承灾体易损性评价,得到研究区地质灾害承灾体易损性评价图(图9)。

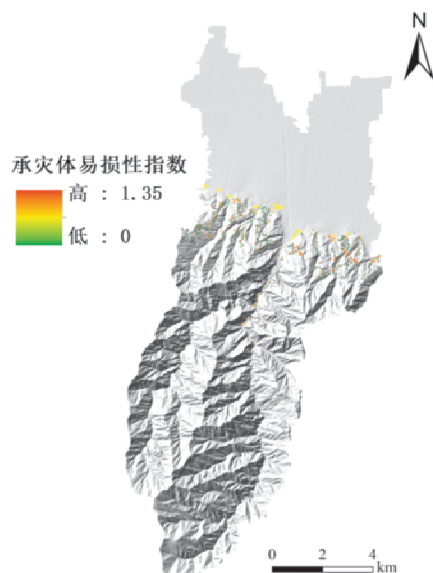


图9 承灾体易损性评价图

3.5 地质灾害风险性评价

在地质灾害危险性和承灾体易损性评价的基础上,根据地质灾害风险评价模型计算各斜坡单元风险性指数,其中危险性指数考虑研究区最大可能降雨条件,选用2%降雨工况下危险性指数参与计算。经计算,蒋村街道各斜坡单元人员伤亡风险指数介于0~38.96、经济损失风险指数介于0~1311.62,分别按照表2划分风险等级后,以“就高原则”确定的斜坡单元综合风险等级如图10所示。

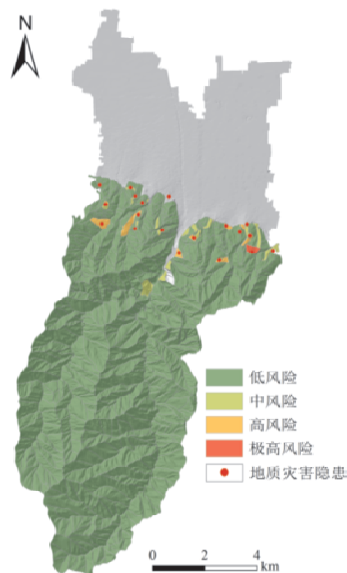


图10 斜坡单元综合风险评价图

根据评价结果,蒋村街道风险等级极高斜坡1个、高风险斜坡11个、中风险斜坡24个、低风险斜坡625个,极高、高、中风险等级斜坡主要分布于甘峪沟口及两侧的低山区、冲洪积扇区。其中,极高风险斜坡1处,位于富村窑村,面积约0.15 km²,占研究区总面积0.11%;高风险斜坡11处,分布于富村窑村、东寨村、王过村、甘峪口村,面积合计0.86 km²,占比0.73%;中风险斜坡24处,主要分布于柳泉口村、曹村、富村窑村、东寨村、王过村、甘峪口村、郝家寨村,面积合计1.22 km²,占比0.97%;低风险斜坡625处,为极高、高、中风险等级斜坡以外的斜坡区域,面积合计87.26 km²,占比66.38%。

4 评价结果验证与讨论

4.1 评价结果实地验证

为了检验本次评价结果的可靠性,选取1处极高风险等级斜坡和1处高风险等级斜坡进行了野外实地验证。

极高风险斜坡(图11、图12)位于蒋村街道富村窑村,地貌类型为山前冲洪积扇,斜坡结构为土质斜坡,地层为第四系洪积层粉质黏土和砂砾石层,斜坡原始坡型为直线型陡坡,因村民于斜坡中下部开挖坡体修筑平台形成“陡坡—平台—陡坡”的阶梯状坡型,切坡形成的陡坎高度6~15 m;现场调查发现该坡体房前道路裂缝3~10 cm,多

处民房院墙有明显倾斜拉张裂缝, 缝宽 2 ~ 5 cm, 房后陡坎局部发生滑塌, 坡体上部有高约 1.5 ~ 2.0 m 错坎, 资料显示该斜坡在 2012 年 7 月强降雨期间曾发生过局部滑动, 部分村民房屋受损, 直接经济损失约 20 万元; 该斜坡范围共有居民 24 户、95 人, 房屋 87 间, 威胁财产约 1 450 万元, 综合风险等级评价为极高风险合理。



图 11 极高风险斜坡全貌

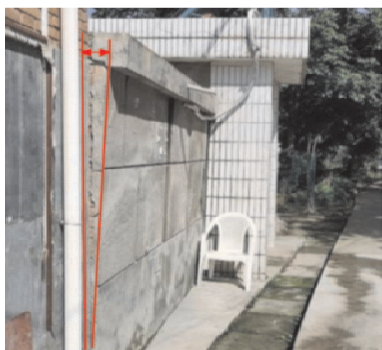


图 12 房屋院墙裂缝



图 13 高风险斜坡全貌



图 14 房后坡体局部滑动

高风险斜坡(图 13、图 14)位于蒋村街道王过村, 地貌类型为秦岭北麓低山区, 斜坡结构类型为岩土复合斜坡, 出露地层为第四系残坡积粉质黏土和下元古界宽屏群石英片岩; 村民切坡建房形成的陡坎高约 6 ~ 10 m, 上部斜坡经人工修整后呈中间低、两侧高的内凹型坡, 降雨时易汇集水流; 经实地调查, 2021 年 9 月份强降雨期间, 该坡体房前道路约 20 m 发生滑塌, 部分民房墙体有拉张裂缝, 缝宽 1 ~ 3 cm, 房后坡体局部发生滑动堆积至村民院墙, 调查时坡体上有多处拉张裂缝, 裂缝宽 3 ~ 10 cm, 延伸约 10 m; 据调查, 该斜坡于 2012 年、2019 年雨季也曾发生局部滑动; 该斜坡范围共有居民 4 户、9 人, 房屋 12 间, 威胁财产约 150 万元, 综合风险等级评价为高风险合理。

4.2 1:10 000 与 1:50 000 风险调查评价结果对比

为说明本次 1:10 000 风险评价结果与以往评价精度的不同, 特截取 2021 年完成的西安市鄠邑区 1:50 000 风险调查评价结果中的蒋村街道部分进行对比, 如图 15、图 16 所示。

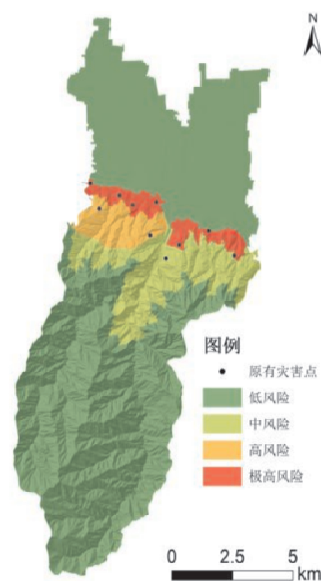


图 15 1:50 000 风险调查评价结果



图 16 1:10 000 风险调查评价结果

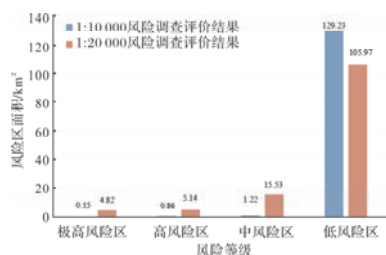


图 17 两次风险调查评价结果对比柱状图

本次 1:10 000 风险调查评价确定的中风险以上斜坡面积合计 2.23 km²，1:50 000 风险调查评价确定的中风险以上斜坡面积合计 25.49 km²，相比减少 23.26 km²，减少幅度 91.25%，占研究区总面积 17.69%。其中，极高风险区、高风险区、中风险区面积分别减少 4.67 km²、4.28 km²、14.31 km²，减少幅度分别为 96.89%、83.27%、92.14%。

分析以上差异产生的原因主要有两方面：调查的精度和评价依据的基础数据精度。首先，1:50 000 风险调查评价时以郭邑区为研究区，侧重于地质灾害隐患点调查，调查比例尺为 1:50 000 ~ 1:10 000；本次 1:10 000 风险调查评价以蒋村街道为研究区，将全区具备孕灾条件的斜坡区划分斜坡单元逐一开展调查，在调查地质灾害隐患点的同时注重孕灾地质环境条件的调查，调查比例尺为 1:10 000 ~ 1:2 000；相比而言，本次对研究区地质灾害和孕灾条件的调查更细致，通过本次调查确认增加了 9 处地质灾害隐患点，较以往调查的地质灾害隐患点增加 90%，也说明了本次调查的精度更高。其次，1:50 000 风险评价时采用的基础数据中 DEM 精度为 12.5 m、地形数据比例尺为 1:50 000 ~ 1:10 000、遥感卫星数据精度为 2 ~ 1 m，承灾体数据仅调查了地质灾害隐患点威胁范围的承灾体，地质灾害风险评价时主要依据灾害点分布密度圈定风险区；而本次评价时以斜坡为单元，采用的 DEM 精度为 5 m、地形数据比例尺为 1:10 000 ~ 1:2 000、遥感卫星数据精度为 1 ~ 0.5 m，承灾体数据以第三次国土调查数据为基础，对涉及人员的承灾体现场调查了每一处建（构）筑物内的人员情况，并与当地政府进行了核实，地质灾害风险评价时充分考虑了研究区地质灾害发育的地质环境条件。从图 15、16 可看出，1:50 000 风险调查评价仅划分中风险以上风险区 4 个，风险区范围均较大；本次 1:10 000 风险调查评价共划分中风险以上风险区 36 个，划定的风险区范围更具体。同时可看出，本次划分的中风险以上风险区基本位于 1:50 000 风险调查评价划分的中风险以上风险区范围内，且包含了研究区 90% 以上的中风险等级以上地质灾害隐患点，本次划分的中风险以上斜坡区地质灾害发育密度为 6.73 处/km²，1:50 000 风险调查评价划分的中风险以上斜坡区地质灾害发育密度为 0.39 处/km²。

5 结论与展望

(1) 蒋村街道共发育地质灾害隐患点 19 处，其中滑坡 14 处、崩塌 5 处，滑坡主要以浅层堆积层的蠕滑变形居多，崩塌则以倾倒式或滑移式土

质崩塌为主，境内地质灾害的分布与地貌关系密切，其发生主要受降水条件影响，具有小规模、集中发育的特点。

(2) 蒋村街道地质灾害极高风险斜坡 1 处，位于富村窑村，面积 0.15 km²，占研究区总面积 0.11%；高风险斜坡 11 处，分布于富村窑村、东寨村、王过村、甘峪口村，面积合计 0.86 km²，占比 0.73%；中风险斜坡 24 处，主要分布于柳泉口村、曹村、富村窑村、东寨村、王过村、甘峪口村、郝家寨村，面积合计 1.22 km²，占比 0.97%；低风险斜坡面积合计 87.26 km²，占比 66.38%。极高、高、中风险斜坡主要分布于甘峪沟沟口及两侧的低山区和冲洪积扇区。

(3) 通过评价结果实地验证并与以往评价结果对比，本次调查评价精度更高，明确了研究区内地质灾害风险分布区域和特征，为针对性地采取预防、避让、治理或者相结合的方式实施地质灾害防治和风险管控提供了依据，有利于提高防灾减灾工作的可操作性和时效性，做到有的放矢。

地质灾害风险评价中易发性评价和危险性评价是基础，承灾体易损性评价是核心，灾害点和风险区管控是应用。应深化地质灾害风险评价与监测预警、减灾规划、防治工程效益的结合度，加快现代网络技术在地质灾害防治领域的应用，准确、及时传送地质灾害预警信息。开发适用的边坡分级管理系统，加强地质灾害风险管控。

参考文献：

- [1] 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): 1205-1216.
- [2] 齐信, 唐川, 陈州丰, 等. 地质灾害风险评价研究[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(5): 33-40.
- [3] 袁湘秦, 赵法锁, 陈新建, 等. 陕西省绥德县地质灾害易发性区划[J]. 灾害学, 2017, 32(1): 117-125.
- [4] 胡金, 李波, 杨艳锋. GIS 在云南鲁甸县地质灾害易发性分区中的应用[J]. 灾害学, 2008, 23(1): 73-75, 87.
- [5] 李春燕, 孟晖, 张若琳, 等. 中国县域单元地质灾害风险评估[J]. 水文地质工程地质, 2017, 44(2): 160-166.
- [6] 周超, 常鸣, 徐璐, 等. 贵州省典型城镇矿山地质灾害风险评估[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, 45(11): 1782-1791.
- [7] 尚志海, 王兴水, 袁丽芬. 广东省紫金县地质灾害风险评价[J]. 水土保持研究, 2013, 20(6): 102-105, 124.
- [8] 袁蒲菁. 柞水县地质灾害风险评价[D]. 西安: 长安大学, 2015.
- [9] 尚慧, 倪万魁, 程花. 斜坡单元划分在彭阳县地质灾害危险性区划中的应用[J]. 中国水土保持, 2011, 3(6): 48-50.
- [10] 王念秦, 郭有金, 刘铁铭, 等. 基于支持向量机模型的滑坡危险性评价[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(35): 70-78.
- [11] 李冠宇, 李鹏, 郭敏, 等. 基于聚类分析法的地质灾害风险评估: 以韩城市为例[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(25): 10629-10638.
- [12] 张以晨, 郎秋玲, 陈亚南, 等. 基于自然灾害风险评价框架的省级地质灾害风险区划方法探讨: 以吉林省为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2020, 31(6): 104-110.
- [13] 易靖松, 张勇, 石胜伟, 等. 基于斜坡单元的山区城镇地质灾害风险快速评价研究: 以江口镇为例[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(8): 72-78.
- [14] 作拨云, 滕宏泉, 李勇, 等. 陕西镇安县地质灾害特征及其危险性分区[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2014, 25(4): 81-88, 96.
- [15] 杨柳, 牟鑫亮, 李晨, 等. 延安市宝塔区地质灾害风险评估[J]. 山地学报, 2020, 38(5): 679-690.

Investigation and Evaluation of Urban Geo – hazards Risk in Shaanxi Province Based on Slope Unit——A Case Study of Jiangcun Street in Xi’ an

JI Yongtao, WANG Xian, HAO Ye, HU Peng, WANG Xin, HAN Xiuqing, QIAO Dingding
(*Shaanxi Tiandi Geology Co. , LTD, Xi’ an 710054, China*)

Abstract: Taking Jiangcun Street, Xi’ an City, Shaanxi Province as the study area, based on the early identification and detailed investigation of geo – hazards, we summarize and analyze the distribution characteristics and formation conditions of geo – hazards in the study area; Based on the high – precision DEM data, the slope units are divided for the areas with disaster pregnant conditions in the study area, and a large – scale (1:10 000 ~ 1:2 000) survey is carried out slope by slope to find out the disaster pregnant geological environmental conditions and the disaster bearing body within the dangerous area. The main influencing factors of geological disaster development in the study area are determined through statistical analysis, and the weight of each factor is determined by analytic hierarchy process, The comprehensive index method is used to evaluate the geological disaster susceptibility of all slope units, and the annual maximum daily rainfall at different frequencies (10% , 5% , 2% , 1%) is used as the disaster trigger factor to evaluate the geological disaster risk based on the extreme rainfall hypothesis. On this basis, the vulnerability and risk of geological disasters are evaluated by qualitative evaluation and model method, The risk level of each slope in the study area is determined. The reliability of the evaluation results is verified by field verification in typical areas, and the results are compared with the previous investigation and evaluation results in the study area.

Keywords: geological hazards; risk evaluation; slope unit; towns; Shaanxi province