

谢婉丽, 滕宏泉, 杜蕾, 等. 基于 GIS 结合模糊信息方法在灾害危险性区划中的应用——以大西安地区崩滑地质灾害为例[J]. 灾害学, 2018, 33(3): 111–116. [XIE Wanli, TENG Hongquan, DU Lei, et al. The Application of Evaluation Method Combing Fuzzy Information with GIS to Mapping Susceptibility and Risk of Geological Disasters of Landslide and Collapse in Greater Xi'an Region[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(3): 111–116. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.03.021.]

## 基于 GIS 结合模糊信息方法在灾害危险性区划中的应用 ——以大西安地区崩滑地质灾害为例\*

谢婉丽<sup>1</sup>, 滕宏泉<sup>2,3</sup>, 杜蕾<sup>1</sup>, 盖海龙<sup>1</sup>, 成天娥<sup>4</sup>, 黄北秀<sup>1</sup>

(1. 西北大学 地质学系, 大陆动力学国家重点实验室, 陕西 西安 710069; 2. 矿山地质灾害成灾机理与防控重点实验室, 陕西 西安, 710065; 3. 陕西省地质调查院, 陕西 西安 710065; 4. 西北大学 城市与环境学院/外语学院, 陕西 西安 710069)

**摘 要:** 大西安地区的滑坡、崩塌主要分布在关中盆地黄土台塬边缘及高阶地前缘地带, 这些灾害直接或间接地影响到了居民的生活或生产安全, 开展滑坡、崩塌地质灾害易发性和危险性区划研究是城市发展的需要。根据大西安地区地质环境条件、自然地理条件、崩滑灾害的发育现状特征, 结合降雨量及人类工程活动情况, 选取地形地貌、地层岩性、地质灾害的发育现状作为影响该区地质灾害的主要因素, 建立了大西安地区地质灾害易发性和危险性区划评价指标体系; 运用模糊信息原理建立模糊信息综合评价模型, 基于 GIS 系统对大西安地区的滑坡、崩塌地质灾害进行易发性和危险性进行了分区区划及其综合评定。评价结果表明, 大西安地区滑坡和崩塌灾害高易发区面积为 2 138.6 km<sup>2</sup>, 占大西安地区总面积的 13.85%; 主要分布在大西安地区南部的周至县、户县、长安区, 东南部的蓝田县和临潼区, 以及蒲城县东部、北部, 泾阳县的西南部。高危险区面积为 258.2 km<sup>2</sup>, 占全区总面积的 1.7%; 主要位于周至秦岭山前地带和蓝田白鹿塬边。该成果不仅可为大西安建设过程中的防灾减灾、规划设计、施工与运营提供依据, 而且可充分挖掘大西安范围内高质量环境与土地资源的开发潜力, 避免和减少各类灾害的发生, 最大限度地促进城市发展与环境协调具有重要意义。

**关键词:** GIS; 地质灾害; 模糊信息评价模型; 大西安

**中图分类号:** X43; P694; TU4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2018)03-0111-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.03.021

“十三五”时期是建设西安国际化大都市全面发展的关键时期, 在关中—天水经济区规划实施的大背景下, 西安面临千载难逢的发展机遇。按照大西安发展规划, 大西安的建设范围广阔, 主要包括西安市行政辖区及咸阳市的秦都区、渭城区、泾阳县、三原县和兴平市; 渭南市的富平县、蒲城县, 总面积约 1.56 万 km<sup>2</sup>。建设过程中的政府决策、防灾减灾、规划设计、施工与运营管理等环节都面临着许多与岩土体和地质环境相关的重大问题。大西安地处关中平原渭河断陷盆地的中部, 地貌地层多变, 地形起伏大切割深, 基底构造复杂, 潜伏着构造活动背景, 活动断裂发育, 存在多种易滑地层。此外连阴雨也较常见, 地下

水活动较强烈。加之该区人口密度相对大, 人类工程活动强度高。导致大西安地区滑坡和崩塌种类齐全, 滑坡和崩塌密度较大, 活动强度相对较高, 其中主要以滑坡灾害尤甚。大西安地区的滑坡、崩塌主要分布在关中盆地黄土台塬边缘及高阶地前缘地带, 比如泾阳南塬、白鹿塬等地, 这些灾害直接或间接地影响到了居民的生活或生产安全。摸清滑坡和崩塌等地质灾害易发程度及其危险性, 不仅可为大西安建设过程中的防灾减灾、规划设计、施工与运营提供依据, 而且可充分挖掘大西安范围内高质量环境与土地资源的开发潜力。

\* 收稿日期: 2017-11-22 修回日期: 2018-03-013

基金项目: 国家自然科学基金项目(41772323); 国家重点研发计划项目(2017YFD0800501); 陕西省国际科技合作与交流计划项目(2016KW-030); 国土资源部黄土地质灾害重点实验室开放基金(KLGLAMLR201502)

第一作者简介: 谢婉丽(1974-), 女, 陕西大荔人, 副教授, 博士, 主要从事地质灾害及其防治研究。

E-mail: xiewanli@nwwu.edu.cn

通讯作者: 滕宏泉(1974-), 男, 陕西长安人, 高级工程师, 从事地质灾害调查及其防治研究. E-mail: 630167271@qq.com

本文在对大西安滑坡和崩塌进行了详细调查的基础上,结合大西安地区地质环境条件、自然地理条件、崩滑灾害的发育现状及行政区划,根据崩滑地质灾害分区的原则、方法和要求,运用模糊信息原理建立模糊信息综合评价模型,对大西安地区的滑坡、崩塌地质灾害进行综合评定,基于 GIS 软件对该区进行崩滑灾害易发性区划和危险性区划<sup>[1-5]</sup>。工程建设中避免和减少各类灾害的发生,最大限度地促进城市发展与环境协调具有重要意义。

## 1 地质灾害易发性和危险性分区依据

大西安地区地势南高北低,南部为秦岭山地,秦岭以北为骊山低山丘陵、黄土台塬和渭河冲积平原,地形复杂、地貌多变。由于大西安地区范围大,不同地区的地形地貌、地质岩性、降雨量、人类工程活动有一定的差别。在易发性区划中为了准确的对大西安地区的易发性进行区划,方便模型在计算机中运行程序,我们根据大西安地区地质环境条件、自然地理条件、崩滑灾害的发育现状特征,结合降雨量及人类工程活动情况<sup>[1,5]</sup>,分成三大区域(I 区、II 区和 III 区)分别进行崩滑灾害易发性评价。

I 区包括周至、户县、长安区、杨凌及蓝田县五个地区,区域面积为 7 870.18 km<sup>2</sup>,占总面积的 51.26%。地貌上主要为河谷平原、山前洪积平原、黄土台塬、黄土丘陵和基岩山地等五种地貌单元。

II 区包括临潼、灞桥、蒲城、三原、泾阳及富平六个区,地貌单元主要有黄土台塬、阶地和低山丘陵。区域面积为 5 398.36 km<sup>2</sup>,占总面积的 35.16%。

III 区包括城五区、高陵县、咸阳市(秦都区、渭城区)、兴平及阎良区五个区,总面积为 2 084.82 km<sup>2</sup>,占总面积的 13.58%。地貌单元主要为冲洪积平原和阶地。

本文结合大西安自然区域划分后的地质环境条件、自然地理条件及地质灾害的发育现状<sup>[4-5]</sup>,对地貌单元较多、滑坡崩塌地质灾害较发育、类型较复杂的 I 区和 II 区在定性评价基础上,选用模糊综合评判进行定量评价;对于由相对比较稳定的平原及阶地组成、地质灾害较不发育的 III 区则采用定性评价的方法进行地质灾害易发性区划。

## 2 模糊综合评判应用

地质环境与地质灾害系统十分复杂,影响因素较多,有时难以确定每一影响因素所起作用的大小。目前较常用的地质灾害区划方法主要有:

层次分析法、模糊综合评判法、敏感因子分析法等<sup>[5-7]</sup>。模糊综合评判是以隶属度来描述模糊界限的一种数学方法,目前在综合评价中应用较成功。其基本特征就是根据原始信息能够对其相应的必然型或统计型规律进行模糊识别。

总所周知,崩塌及滑坡灾害的诱发因素多、发生机理复杂,加之其受灾体的多样性,在对其进行易发或稳定性分区评价标准中具有模糊性,而且各影响因素之间具有模糊性或不确定性,崩塌及滑坡灾害的诱发因素无法采用量化指标统一,无法用经典的数学模型进行量化分析。因此,采用模糊综合评判法对崩滑灾害进行易发和危险性分区,既可以全面考虑各个影响因素,又可采用隶属度来描述模糊界限使影响因素的模糊性得以体现,同时可以充分结合当地具体情况,采用专家打分的方法发挥专家的作用,获得更客观、符合实际情况的评价结果<sup>[1,6-7]</sup>。通过定性和定量因素相结合进行评价,不但可以扩大信息量,而且可以使评价精度得以提高。

### 2.1 I 区崩滑灾害易发性区划

#### 2.1.1 评价单元的划分

结合 I 区地质环境条件及灾害发育特征,采用 2 km × 2 km 网格单元进行各种指标的定量统计工作。

#### 2.1.2 模糊综合评价过程

在分析大西安地区崩滑灾害发育特征与分布规律的基础上,结合该区易发程度,建立模糊综合评判中的评判结果集为:

$$J = \{J_1, J_2, J_3, J_4\}. \quad (1)$$

式中:  $J_1$  为灾害高易发区;  $J_2$  为灾害中易发区;  $J_3$  为灾害低易发区;  $J_4$  为灾害不易发区。

本文根据大西安地区地质环境条件、自然地理条件、崩滑灾害的发育现状特征,结合降雨量及人类工程活动情况,选取地形地貌、岩土体类型、灾害点发育密度作为影响该区地质灾害的主要因素作为评价因子。这样选取的因子具有区域代表性又易于量化,本次评判因子(评价指标)集为:

$$Y = \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5\}. \quad (2)$$

式中:  $Y_1$  为地形地貌;  $Y_2$  为土体类型;  $Y_3$  为灾害点发育密度;  $Y_4$  为年降雨量;  $Y_5$  为人类工程活动强度。

在崩滑灾害中,各个影响因素即各个指标对灾害易发性起着不同的效果,因此需要采用权重来体现每种因素的影响程度,权重系数取值越大,说明该因子对灾害易发程度的影响越大,反之则小。因此权重的确定的准确性与合理性对灾害易发性的评判结果显得十分重要。根据模糊综合评

判建模要求, 结合该区大量实例统计, 综合专家 模糊集合:

打分采用隶属度函数对上述评价因子进行量化,

$$A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}。$$

(3)

则崩滑灾害易发程度分区指标见表 1, 并将其记作

表 1 崩滑灾害易发程度分区评价指标

评价指标	权重	崩滑灾害 高易发区	崩滑灾害中易发区	崩滑灾害低易发区	崩滑灾害 不易发区	
基本条件	地形地貌	0.13	黄土台塬区	中低山区	高中山区	平原、 阶地区
	岩土体	0.12	黄土及松散 堆积层	坚硬块状侵入体、坚硬—较 坚硬层状中浅变质岩类	坚硬块状侵入体、坚硬—较 坚硬块状深变质岩类	松散粘性 碎石土类
	斜坡结构	0.12	土质斜坡	单层、双层或多层结构、 岩体节理裂隙发育。	单层结构、岩体整体性较 好，无软弱结构面存在	地势平坦， 无斜坡结构
诱发因素	降水	0.11	>700	650 ~ 700	600 ~ 650	<600
	人类工程活动	0.1				
灾害表现	发育面密度/ (10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> )	0.21	>5	0 ~ 5	0	0
	发育度/ (处/km <sup>2</sup> )	0.21	>0.10	0.10	0	0

表 2 评价指标隶属度取值表

评价指标	指标类型	隶属度			
		高易发	中易发	低易发	不易发
地形地貌	冲积洪积平原	0	0	0	1
	黄土台塬	0.3	0.1	0.1	0.5
	≤1800 m 低中山区	0.4	0.3	0.2	0.1
	>1800 m 高中山区	0	0	1	0
	坚硬块状侵入岩类	0.3	0.3	0.4	0
	坚硬—较坚硬块状中深变质岩类	0	0.4	0.6	0
	较坚硬薄层状浅变质岩类	0.5	0.3	0.2	0
	黄土类土	0.3	0.1	0	0.6
	松散粘性土碎石土	0.4	0.3	0.2	0.1
	单层结构、岩体完整性好	0	0	1	0
地质环境条件	单层或双层结构、岩体有一定节理	0.2	0.3	0.5	0
	双层结构、堆积层与板岩、千枚岩接触	0.5	0.3	0.2	0
	软弱基底(黄土斜坡)	0.6	0.4	0	0
崩滑灾害	0	0	0.2	0.3	0.5
	0.1	0.1	0.5	0.3	0
	0.2	0.5	0.4	0.1	0
	0.3	0.6	0.3	0.1	0
发育点密 度/(处/ $\text{km}^2$ )	0	0	0.2	0.3	0.5
	0 ~ 3	0.5	0.4	0.1	0
	> 3	0.8	0.2	0	0
崩滑灾害发 育面密度/ ( $10^4 \text{ m}^2/\text{km}^2$ )	0	0	0.2	0.3	0.5
	0 ~ 3	0.5	0.4	0.1	0
	> 3	0.8	0.2	0	0
	< 600				
	600 ~ 650				
	650 ~ 700				
	700 ~ 750				
年降水量/mm	750 ~ 800				
	800 ~ 850				
	> 850				

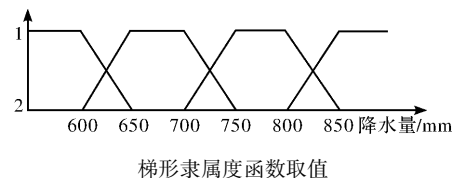


表 3 评价指标取值表

因素	级别	崩塌灾害高易发区	崩塌灾害中易发区	崩塌灾害低易发区	崩塌灾害不易发区
	指标				
地形地貌(坡度)/(°)		陡倾(>50)	中等倾(35~50)	较倾(25~35)	平缓(<25)
土体类型		结构松散类土体(4) 胶结差的半紧密土体(3) 胶结较好的半紧密土体(2) 胶结好的紧密土体(1)			
灾点发育密度/(个/km <sup>2</sup> )		≥3	1~2	0~1	0
年降水量/mm		>650	580~650	500~580	<500
植被覆盖程度		稀疏(4)	较稀疏(3)	较密(2)	密(1)

表 4 模糊综合评判的权重系数表

评价指标	地形地貌	土体类型	灾害点发育密度	年降雨量	植被覆盖程度	人类工程活动强度
权重系数	0.19	0.10	0.30	0.12	0.09	0.20

表 5 崩塌灾害易发区划分标准

因素	崩塌灾害易发区		
	中易发区	低易发区	不易发区
地质环境条件	有产生崩塌、滑坡等地质灾害的地形地貌条件、地质构造发育,人类工程活动强烈	有产生崩塌、滑坡等地质灾害的地形地貌条件、地质构造一般人类工程活动较强烈	地形平坦
地质灾害隐患	有崩塌、滑坡等地质灾害隐患点	目前未发现地质灾害隐患点	目前未发现地质灾害隐患点

隶属度按下式计算:

$$\mu(x) = \frac{x_i - x}{x_i - x_{i+1}}, x_{i+1} < x < x_i, i = 1, 2, 3, 4. \quad (4)$$

式中:  $x$  为各评价单元指标的实测值,  $x_i$  分别为灾害等级的界限值。各评价单元的隶属度可以用  $x$  代入上式求得。结合区内具体情况,采用专家评价的方法给出相关评价因子隶属度(表 2),对于定量描述的评价指标可采用梯形隶属度函数进行取值。按西安地区多年平均降水量等值线图,把降水量分成小于 600 mm, 600~650 mm, 650~700 mm, 700~750 mm, 750~800 mm, 800~850 mm, 大于 850 mm。如降水量易发区划分为 IV 级, I 级为不易发区, IV 级为高易发区,其取值如表 2 所示。

在每一个网格单元内,依据各评价因子对应的数据,通过数据叠加并进行模糊综合评判,运用 MAPGIS 软件的空间分析功能得到每各网络单元崩塌灾害发育程度的类型,并经过局部平滑、图斑合并和碎块处理,实现易发性区划(图 1)。

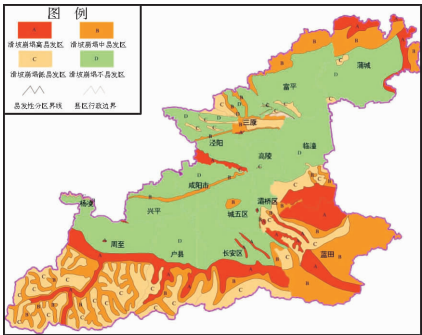


图 1 大西安滑坡崩塌易发性区划图

2.3 II 区崩塌灾害易发性区划

对于 I 区和 II 区来说,不仅其地质环境有明

显不同,崩塌灾害的类型、分布、发育程度也存在差异性。II 区的地质灾害易发性区划思路 and I 区相似,评价指标取值见表 3,其评价结果见图 1。通过计算,确定各致灾因子的权重值如表 4 所示。

2.4 III 区崩塌灾害易发性区划

根据 III 区内崩塌灾害发育的实际情况,采用定性分析法进行易发区的划分。

崩塌灾害的发生是由诸多因素引起,定性分析时,应考虑地质灾害诱发的基本因素及主要因素,如地形地貌、岩土体类型、地质构造、容量工程活动等,然后将利于崩塌灾害产生的诸多因素叠加,再结合实际调查的地质灾害历史和现状划分易发区<sup>[11-16]</sup>。

评价单元的划分:一般是以崩塌灾害形成的地质环境条件的差异性确定。当条件相同时划归一区。

根据上述区划方法,结合野外实际调查及行政区划等,将 III 区崩塌灾害易发程度分区划分为:中易发区、低易发区、不易发 3 个区,评价标准如表 5 所示。

根据区内地形地貌特点等地质环境条件与崩塌灾害发育的客观实际情况,结合行政区划,并考虑到周边邻区已取得的成果资料,进行综合分区评价并进行必要的修正,完成了 III 区崩塌灾害易发区划分。

3 大西安滑坡崩塌易发性分区处理与结果

3.1 大西安滑坡崩塌易发性分区处理

根据大西安滑坡崩塌空间分布特征及发育规

律, 得到 I、II 及 III 区的滑坡崩塌易发性区划图。然后再把三个地区的易发性区划图拼接, 得到最终的整个大西安滑坡崩塌易发性区划图(见图 1)。

### 3.2 大西安滑坡崩塌易发性分区结果及概述

根据图 1, 得到了大西安滑坡崩塌易发性分区结果, 与实际调查所形成的感性认识和定性分析结果基本一致。分析结果显示, 大西安滑坡崩塌易发程度存在四级, 即高易发区(A)、中易发区(B)、低易发区(C)、不易发区(D)。

高易发区主要分布在大西安地区南部的周至县、户县、长安区, 东南部的蓝田县和临潼区, 以及蒲城县东部、北部, 泾阳县的西南部。高易发区总面积为 2 138.6 km<sup>2</sup>, 占大西安地区总面积的 13.85%。

中易发区主要包括南部的周至、户县、长安三个县区南部的中山区、蓝田东南部的山前洪积扇区以及蒲城、富平的北部。中易发区总面积为 3 294.09 km<sup>2</sup>, 占大西安地区总面积的 21.34%。

滑坡、崩塌低易发区主要包括南部周至、户县、长安、蓝田四个县区南部的基岩山区, 以及泾阳的东北部和三原的中部。低区总面积为 2 629.64 km<sup>2</sup>, 占大西安地区总面积的 17.03%。

大西安地区滑坡崩塌不易发区分布广泛, 主要位于渭河两岸的冲积平原, 包括周至、户县、长安的北部平原区, 临潼的北部, 富平和蒲城的南部以及西安市区。不易发区总面积为 7 377.23 km<sup>2</sup>, 占大西安地区总面积的 47.78%。

## 4 滑坡、崩塌地质灾害危险性区划

在滑坡、崩塌灾害分布与易发程度分区图的基础上, 进行 2 km × 2 km 的网格划分。在软件中, 将划分的网格与网格内易发程度(高易发、中易发、低易发、不易发)和灾害点危害程度(巨型、大型、中型、小型)叠加, 得出每个单元格的危险程度(高危险、中危险、低危险、非危险), 并将单元格的危险程度分别取值 4, 3, 2, 1<sup>[8-16]</sup>。然后对各个单元格的危险程度进行赋值, 用 MAPGIS 软件自动生成等值线, 结合野外地质调查情况, 人工辅助计算机画出地质灾害危险程度分区图。

危险性分区结果显示大西安地区崩塌、滑坡危险性可分为 2 个高危险区, 4 个中危险区, 4 个低危险区, 其他为不危险区。高危险区主要位于周至秦岭山前地带和蓝田白鹿塬边。高危险区面积为 258.2 km<sup>2</sup>, 占全区总面积的 1.7%; 中危险区主要位于周至—户县—长安—蓝田的中部秦岭山前洪积扇后缘区、蒲城的东北部、富平的北部以及泾阳的南部, 面积为 4 611.8 km<sup>2</sup>, 占全区总面积的 29.8%; 低危险区主要位于周至—户县南部基岩山区、蒲城的北部及三原的西部, 面积为 3 399.3 km<sup>2</sup>, 占全区总面积的 22%; 不危险区为剩余的其他部分, 主要是冲洪积平原地区, 面积为 7 188.8 km<sup>2</sup>, 占全区总面积的 46.5%。

剖分的网格与易发性分区、灾害点(仅含坐标信息的点)叠加效果图后, 根据划分步骤, 得到崩

塌滑坡危险性分区图(图 2)。

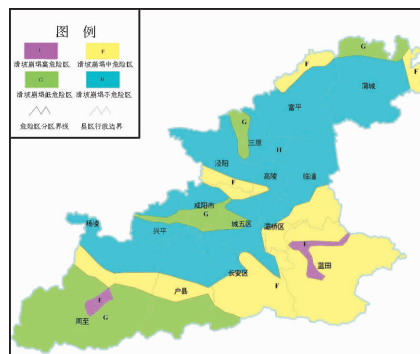


图2 大西安地区滑坡崩塌灾害危险性区划图

## 5 结论

(1) 根据大西安地区地质环境条件、自然地理条件、崩塌灾害的发育现状特征, 结合降雨量及人类工程活动情况, 选取地形地貌、地层岩性、地质灾害的发育现状作为影响该区地质灾害的主要因素, 建立了大西安地区地质灾害易发性和危险性区划评价指标体系; 运用模糊信息原理建立模糊信息综合评价模型, 基于 GIS 系统对大西安地区的滑坡、崩塌地质灾害进行易发性和危险性进行了分区区划及其综合评定。利用 GIS 软件详细地分析了该区地质灾害(滑坡和崩塌)易发程度, 将该区灾害易发程度划分为高易发区、中易发区、低易发区和不易发区四级。

(2) 易发性分区图表明: 高易发区面积为 2 138.6 km<sup>2</sup>, 占大西安地区总面积的 13.85%, 主要分布在大西安地区南部的周至县、户县、长安区, 东南部的蓝田县和临潼区, 以及蒲城县东部、北部, 泾阳县的西南部。中易发区面积为 3 294.09 km<sup>2</sup>, 占大西安地区总面积的 21.34%, 主要包括南部的周至、户县、长安三个县区南部的中山区、蓝田东南部的山前洪积扇区以及蒲城、富平的北部。低易发区面积为 2 629.64 km<sup>2</sup>, 占大西安地区总面积的 17.03%, 主要包括南部周至、户县、长安、蓝田四个县区南部的基岩山区, 以及泾阳的东北部和三原的中部。不易发区分布广泛, 面积为 7 377.23 km<sup>2</sup>, 占大西安地区总面积的 47.78%, 主要位于渭河两岸的冲积平原, 包括周至、户县、长安的北部平原区, 临潼的北部, 富平和蒲城的南部以及西安市区。

(3) 在滑坡、崩塌灾害分布与易发程度分区图的基础上, 结合灾害点危害程度, 通过 GIS 软件详细地分析了该区地质灾害发生的危险性, 将区内地质灾害危险程度化为高危险、中危险、低危险、非危险四个等级。

(4) 危险性分区结果显示: 大西安地区崩塌、滑坡危险性可分为 2 个高危险区, 4 个中危险区, 4 个低危险区, 其他为不危险区。高危险区主要位于周至秦岭山前地带和蓝田白鹿塬边。高危险区面积为 258.2 km<sup>2</sup>, 占全区总面积的 1.7%; 中危



险区主要位于周至—户县—长安—蓝田的中部秦岭山前洪积扇后缘区、蒲城的东北部、富平的北部以及泾阳的南部,面积为4 611.8 km<sup>2</sup>,占全区总面积的29.8%;低危险区主要位于周至—户县南部基岩山区、蒲城的北部及三原的西部,面积为3 399.3 km<sup>2</sup>,占全区总面积的22%;不危险区为剩余的其他部分,主要是冲洪积平原地区,面积为7 188.8 km<sup>2</sup>,占全区总面积的46.5%。

## 参考文献:

- [1] 王平. 自然灾害综合区划研究的现状与展望[J]. 自然灾害学报, 1999(1): 21–29.
- [2] 邱海军. 区域滑坡崩塌地质灾害特征分析及其易发性和危险性评价研究——以宁强县为例[D]. 西安: 西北大学, 2012.
- [3] 张新蕊. 宝鸡地区黄土斜坡地质灾害危险性区划研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2011.
- [4] 阮沈勇, 黄润秋. 基于GIS的信息量法模型在地质灾害危险性区划中的应用[J]. 成都理工大学学报, 2001, 28(1): 89–92.
- [5] 牛树轩. 基于加权信息量法的西北黄土高原地质灾害易发性分区评价研究——以延河流域为例[D]. 西安: 长安大

- 学, 2014.
- [6] 陈国钧, 封灵. 模糊综合评判法在新宾县地质灾害易发程度分区评价中的应用[J]. 地质与资源, 2009, 18(1): 74–76.
- [7] 王哲, 易发成, 陈廷方, 等. 基于模糊综合评判的绵阳市地质灾害易发性评价[J]. 科技导报, 2012, 30(31): 53–60.
- [8] 丛威青, 潘懋, 李铁锋, 等. 基于GIS的滑坡、泥石流灾害危险性区划关键问题研究[J]. 地学前缘, 2006, 13(1): 185–190.
- [9] 高振记, 邬伦, 赵兴征. 基于GIS的深圳市滑坡危险性区划研究[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 67–74.
- [10] 张铎, 吴中海, 李家存, 等. 滇西北永胜—宾川地区滑坡发育的影响因子分析及其动力成因与意义探讨[J]. 自然灾害学报, 2016, 25(1): 176–190.
- [11] 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.
- [12] 乔建平, 王萌, 石莉莉. 区域滑坡风险评估中的风险区划与概率分析[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(2): 51–56.
- [13] 王慧彦, 薛辉. 县域自然灾害综合风险区划图编制——以滦县为例[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(3): 84–90.
- [14] 孟庆华, 孙炜锋, 张春山, 等. 陕西凤县泥石流灾害危险性评估[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(1): 121–131.
- [15] 徐玉霞. 基于GIS的陕西省洪涝灾害风险评估及区划[J]. 灾害学, 2017, 32(2): 103–108.
- [16] 裴惠娟, 陈晋, 李雯, 等. 甘肃省地质灾害风险评估[J]. 灾害学, 2017, 32(2): 97–102.

# The Application of GIS-based Fuzzy Information Method in Disaster Risk Division ——Taking the Landslide Geological Hazard in the Great Xi'an Region as an Example

XIE Wanli<sup>1</sup>, TENG Hongquan<sup>2,3</sup>, DU Lei<sup>1</sup>, GAI Hailong<sup>1</sup>, CHENG Tiane<sup>4</sup> and HUANG Beixiu<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an 710069, China;

2. Key Laboratory of Mine Geological Hazards Mechanism and Control, Xi'an 710054, China;

3. Shaanxi Institute of Geological Survey, Xi'an 710054, China; 4. College of Urban and Environmental Sciences/School of Foreign Languages, Northwest University, Xi'an 710069, China)

**Abstract:** The geological hazards of landslide and collapse in Greater Xi'an region are mainly found in the edge of loess platform areas and in the front edge of high terrace in Central Shaanxi Basin, which directly or indirectly impact the locals' life and production safety. Therefore, the research on mapping susceptibility and risk of geological hazards of landslide and collapse is necessary for urban development. Based on the geological environment, physical geography environment, the development of landslides & collapses, rainfall as well as human engineering activities in Greater Xi'an region, the present study selects landform, stratum lithology and the statuesque of geological disasters as the main factors contributing to the geological disasters and establishes an index system for mapping susceptibility and risk of geological hazards. This study first develops a fuzzy information comprehensive evaluation model based on fuzzy information theory. It then maps and evaluates susceptibility and risk of geological hazards of landslides and collapses in Greater Xi'an region based on GIS. The assessment results indicate that the regions susceptible to geological disasters of landslide and collapse cover an area of 2 138.6 km<sup>2</sup>, accounting for 13.85% of the total area of Greater Xi'an region. Such typical areas are mainly found in Zhouzhi county, Huxian County and Chang'an district which are located in the southern part of Greater Xi'an region. They are also found in Lantian county and Lintong district, the southeastern part of Greater Xi'an region as well as in the east and north of Pucheng county and the southwest of Jingyang county. The high risk areas are mainly distributed in the front zone of Qinling Mountain, Zhouzhi county and in the edge of Bailuyuan tableland, Lantian county, which cover an area of 258.2 km<sup>2</sup>, taking up 1.7% of the total area. The findings of the study will not only provide a theoretical basis for disaster prevention & mitigation, planning & designing, construction & operation in the process of building Greater Xi'an, but will explore the development potential of high-quality environment and land resources in Greater Xi'an region. The study results will also help avoid and reduce various disasters and to a maximum extent promote the balance between urban development and environmental protection.

**Key words:** GIS; geological disaster; fuzzy information evaluation model; Greater Xi'an