

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2021.02.025

基于层次分析法的咸阳市多灾种自然灾害 综合风险评价

冯卫^{1,2,3}, 唐亚明^{2,3,*}, 马红娜^{2,3}, 宿晓虹^{2,3}, 陈新建¹

(1. 长安大学地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710064; 2. 自然资源部黄土地质灾害重点实验室, 陕西 西安 710054; 3. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘要:当今世界地质灾害、洪水灾害和地震灾害等多种自然灾害频发,灾害群聚与群发现象导致灾情加重,人们越来越关注如何降低多灾种自然灾害的风险。以陕西省咸阳市为例,将咸阳市地质灾害、洪水灾害和地震灾害结合起来,开展多灾种自然灾害风险综合评价。研究表明,咸阳市多灾种自然灾害风险分区呈现出明显的空间差异性,整体上渭河河谷沿线地段和西北侧的中低山丘陵区风险程度以中风险和高风险为主,主要集中在秦都区城区东南侧、武功县西北侧、乾县城区、三原县城区东侧、淳化县城区、彬州市城区以及旬邑县城区,其他区域自然灾害风险程度以低风险和极低风险为主。研究成果可为咸阳市应急管理和国土空间规划带来一定的借鉴意义和指导作用。

关键词:自然灾害;多灾种;层次分析法;风险评价;咸阳市

中图分类号:P642

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2021)02-0282-07

Comprehensive Risk Assessment of Multi-hazard Natural Disasters in Xianyang City Based on AHP

FENG Wei^{1,2,3}, TANG Yaming^{2,3,*}, MA Hongna^{2,3}, SU Xiaohong^{2,3}, CHEN Xinjian¹

(1. School of Geological Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;
2. Key Laboratory for Geo-hazards in Loess Area, MNR, Xi'an 710054, Shaanxi, China;
3. Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Natural disasters as geological disasters, floods, and earthquakes etc frequently occurred worldwide nowadays. The aggravation of the clustered disasters makes it an increasing concern how to reduce the risk of these disasters. This paper carried out a comprehensive assessment on the risk of multi-hazard natural disasters in Xianyang city of Shaanxi province. The results show that the risk zone presents obvious spatial differences. Overall, the risk is much higher along the Weihe Valley and the northwestern mid-low hilly areas, spreading mainly in the southeast of Qindu District, the northwest of Wugong county, the urban area of Qianxian county, the eastern urban area of Sanyuan county, the urban area of Chunhua county, Binxian city and Xunyi county. In other regions,

收稿日期:2020-05-21;修回日期:2020-09-28

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“晋陕黄土高原河曲—韩城段灾害地质调查”(DD20190642)。

作者简介:冯卫(1983-),男,辽宁盖州人,高级工程师,博士研究生,主要从事地质灾害调查及风险管理研究。E-mail:fengwei0510@qq.com。

*通讯作者:唐亚明(1973-),女,教授级高工,博士,主要从事地质灾害调查及风险管理研究。E-mail:tangyaming73@sohu.com。

the risk of natural disasters is comparatively low. The results provide some references and guidance for the emergency managing and land space planning of Xianyang city.

Keywords: natural disaster; multi-hazard; AHP; risk assessment; Xianyang city

当今社会经济发展和人口数量急剧增长,城市内的各类资源环境矛盾日益突出,自然灾害对城市造成的影响也越来越大,并逐渐成为当今人类社会面临的最主要问题之一(闪淳昌,2005)。许多学者针对各单项灾种开展了一系列深入的风险评价和风险管理研究(Fell R,2008;吴树仁,2012;唐亚明,2015)。随着当今世界地质灾害、洪水灾害和地震灾害等多种自然灾害频发,灾害群聚和群发现象导致灾情加重,人们越来越关注如何降低多灾种自然灾害的风险。

近几十年来,国内外学者针对多灾种形成的灾害风险开展了一定程度的研究。美国联邦应急管理局(FEMA)与国家建筑科学研究院(NIBS)联合开发了基于GIS平台的多灾种风险评估软件包HAZUS-MH,对美国各个行政区开展了洪水灾害、地震灾害和飓风灾害的综合风险评估(FEMA,2004)。欧洲委员会联合研究中心提出了JRC综合风险评估法,并对欧洲多个国家开展了天气灾害的综合风险评估(Lavalle C et al.,2005)。史培军对灾害系统的性质、动力学机制、综合减灾范式以及灾害科学体系等进行了一系列探讨,构建了由灾害科学、应急技术和风险管理共同组成的“灾害风险科学”学科体系(史培军,1996,2009)。葛全胜等在系统论述国内外自然灾害风险研究理论方法的基础上进行了地级市、县、村三级尺度的自然灾害综合风险评估研究(葛全胜,2008)。盖程程等为了解决多灾种耦合的风险评估问题,提出了针对自然灾害和事故灾难耦合的风险评估方法(盖程程,2011)。明晓东等在厘定多灾种以及多灾种风险基本概念的基础上,系统综述了国内外有较大影响的多灾种风险评估方法及其分类体系(明晓东,2013)。倪晓娇等以长白山地区为研究区,采用极差法、层次分析法和综合指数法进行了基于多灾种自然灾害风险水平的长白山地区生态安全综合评价(倪晓娇,2014)。

目前,陕西省内各县市的多灾种风险研究尚处于空白状态。笔者以陕西省咸阳市为例,将咸阳市地质灾害、洪水灾害和地震灾害结合起来,开展多灾种自然灾害风险综合评价,以期为咸阳市应急管理和国土空间规划提供一定的理论指导。

1 研究区概况

咸阳市位于陕西省中部,东与铜川市、渭南市为邻,西与宝鸡市接壤,北同甘肃省庆阳市、平凉市毗连,南接西安市,辖9县、2区、2市,面积为10 196.35 km²。咸阳市属大陆性季风气候,多年平均降水量为518.27 mm,最大年降水量为812.33 mm,最小年降水量为369.42 mm,渭河从咸阳市南界自西向东流过,泾河自西北向东南流经全境。全市以横亘于中部的嵯峨山、九峻山和五峰山为界分为地貌景观迥异的南北2个区。北部总体为黄土高原南缘,除转角、石门一带为子午岭南端石质低山区外,主要为黄土残塬梁峁沟壑区;南部为渭河平原。区内地层岩性由老到新依次为寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、古近系、新近系和第四系。在区域地质构造上属于中朝准地台西南部的二级地质构造单元渭河断陷带内,区域地震构造上属于华北地震区。

现阶段对咸阳市影响较为重大的灾害类型包括地质灾害、洪水灾害和地震灾害3种类型。地质灾害以崩塌、滑坡、泥石流为主;洪水灾害以山前山洪和平原区内涝为主;地震灾害以地裂缝、地表断层、砂土液化、黄土震陷为主(图1)。笔者从这3类灾害入手,开展相应的自然灾害综合风险评价。

2 总体思路和研究方法

2.1 总体思路

首先,以栅格单元作为评价单元,兼顾咸阳市已有的各类自然灾害发育情况,针对每类灾种分别采用层次分析法(analytic hierarchy process,简称AHP)进行计算,求出各类灾种的危险性分析结果。其次,在上述各类危险性分析结果的基础上,再次采用层次分析法进行计算,得出多灾种危险性综合评价结果。最后,在多灾种危险性综合分析结果的基础上,对危害后果(人员、财产及易损性)进行量化,将危险性量化结果与危害后果量化结果进行栅格乘积运算,进而得出多灾种自然灾害综合风险评价结果。

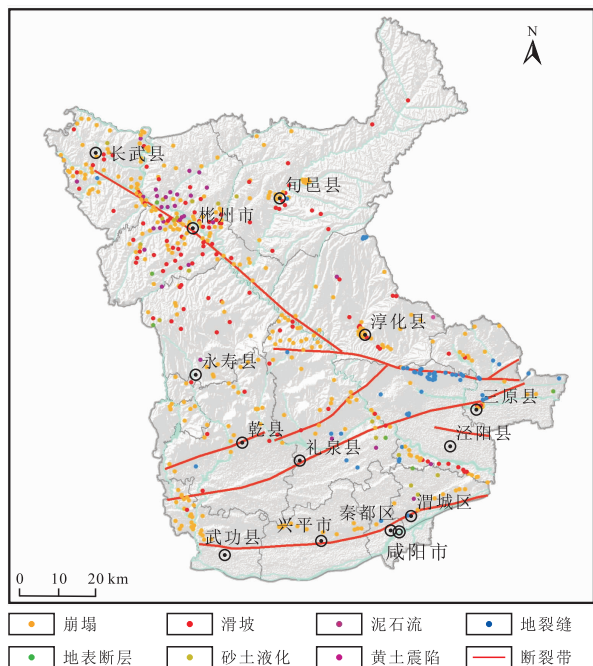


图1 咸阳市地质环境与灾害分布简图

Fig. 1 Sketch map of geological environment and disasters distribution in Xianyang city

2.2 层次分析法基本原理

层次分析法是比较常用的对各因子、指标进行赋权的方法之一(邓雪等,2012)。该方法把复杂问题按照主次或支配关系分组而形成有序的递阶层次结构,利用数学方法确定每一层中所有元素的相对重要性权值,最后通过排序结果来确定最终权重,是一种解决多目标复杂问题的定性与定量相结合的决策分析方法。它包括:①建立递阶层级结构。②构造两两判断矩阵。③由判断矩阵计算被比较元素对于该准则的相对权重,并进行一致性检验(表1)。

表1 两两比较矩阵 B_{ij} 的取值及含义表

Tab. 1 The value and meaning of the pairwise comparison matrix B_{ij}

B_{ij} 的取值	含义
1	i 和 j 同样重要
3	i 比 j 稍微重要
5	i 比 j 明显重要
7	i 比 j 强烈重要
9	i 比 j 极端重要
2, 4, 6, 8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	若因素 i 与 j 的重要性之比为 B_{ij} , 那么因素 j 与 i 的重要性之比 $B_{ji} = 1/B_{ij}$

以 A 表示准则, $B_i, B_j (i, j=1, 2, \dots, n)$ 表示因素, B_{ij} 表示 B_i 对 B_j 的相对重要性, 则由 B_{ij} 可组成一个两两判断矩阵 $P = (B_{ij})_{n \times n}$ (B_{ij} 的取值及含义如表1)。对矩阵的每一行向量求几何均值并归一化, 所得特征向量 W_i 即为各指标权重。对判断矩阵还需进行一致性检验, 一致性指标的计算公式为:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

式中: λ_{\max} 为判断矩阵的最大特征值, 计算公式为:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(PW)_i}{W_i} \quad (2)$$

式中: $(PW)_i$ 为向量 PW 的第 i 个元素; W_i 为正规化处理的 W 的对应元素。

最后检验时使用一致性比例进行判定, 其公式为:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

式中: RI 为 1~9 阶矩阵的平均随机一致性指标。若 $CR < 0.1$, 认为判断矩阵的一致性是可以接受的; 若 $CR > 0.1$, 则应对矩阵做适当修正。

3 多灾种自然灾害危险性分析

3.1 建立评价指标模型

选取斜坡坡度、坡向、坡高、工程地质岩组、地质灾害发育程度和距公路距离 6 项主要因素作为地质灾害的危险性评价指标; 选取斜坡坡度、坡向、高程、工程地质岩组、距水系距离和年平均降水量作为洪水灾害的危险性评价指标; 选取斜坡坡度、工程地质岩组、黄土震陷程度、砂土覆盖区域、地震动峰值加速度和距断裂带距离作为地震灾害的危险性评价指标。分别构造各灾种的判断矩阵, 计算出最大特征值和对应的特征向量, 并进行判断矩阵一致性检验。结果显示均满足一致性检验, 可作为计算用的权向量, 各灾种的危险程度量化评分表见表 2、表 3、表 4。

3.2 各单灾种危险性分析

按照各类灾害危险性划分的依据及要求, 以“区内相似、区间相异”为原则, 并结合每个评价单元危险性计算结果, 将相应的研究区划分为高危险区、中危险区、低危险区和极低危险区 4 类(图 2、图 3、图 4)。

表 2 咸阳市地质灾害危险程度量化评分表
Tab. 2 Quantitative score table for geological disaster in Xianyang city

地质灾害评价因子	量级划分								权重值	最大特征值	一致性检验
	严重(A)	得分	中等(B)	得分	轻微(C)	得分	一般(D)	得分			
坡度(°)	>35	40	25~35	30	15~25	10	<15	1	0.118	6.450	CR=0.073 <0.1, 满足一致性检验
坡向(°)	南(157.6~202.5)或南东(112.6~157.5)或南西(202.6~247.5)	40	东(67.6~112.5)或西(247.6~292.5)	30	北东(22.6~67.5)或北西(292.6~337.5)	10	北(0~22.5)或平地(-1)	1	0.038		
坡高(m)	>80	40	50~80	30	20~50	10	<20	1	0.049		
工程地质岩组	松散岩组	40	软硬相间岩组	30	较软岩组或软弱岩组	10	较硬岩组	1	0.228		
地质灾害发育程度	发育	40	较发育	30	轻微发育	10	不发育	1	0.441		
距公路距离(m)	<500	40	500~1 500	30	1 500~2 500	10	>2 500	1	0.125		

表 3 咸阳市洪水灾害危险程度量化评分表
Tab. 3 Quantitative score table for flood disaster in Xianyang city

洪水灾害评价因子	量级划分								权重值	最大特征值	一致性检验
	严重(A)	得分	中等(B)	得分	轻微(C)	得分	一般(D)	得分			
坡度(°)	山前山洪>25或平原区内涝<5	40	山前山洪 15~25或平原区内涝 5~15	30	山前山洪 5~15或平原区内涝 15~25	10	山前山洪<5或平原区内涝>25	1	0.085	6.469	CR=0.076 <0.1, 满足一致性检验
坡向(°)	南(157.6~202.5)或南东(112.6~157.5)或南西(202.6~247.5)	40	东(67.6~112.5)或西(247.6~292.5)	30	北东(22.6~67.5)或北西(292.6~337.5)	10	北(0~22.5)或平地(1)	1	0.048		
高程(m)	山前山洪>1 500或平原区<900	40	山前山洪 1 200~1 500或平原区 900~1 200	30	山前山洪 900~1 200或平原区 1 200~1 500	10	山前山洪<900或平原区>1 500	1	0.154		
工程地质岩组	松散岩组	40	软硬相间岩组	30	较软岩组或软弱岩组	10	较硬岩组	1	0.037		
距水系距离(m)	渭河干流<1 000	40	渭河干流在 1 000~2 000或泾河干流<500	30	渭河干流在 2 000~3 000或泾河干流在 500~1 000之间或其他支流<500	10	其他区域	1	0.244		
年平均降水量(mm)	>590	40	550~590	30	530~550	10	<530	1	0.431		

表4 咸阳市地震灾害危险程度量化评分表

Tab. 4 Quantitative score table for earthquake disaster in Xianyang city

地震灾害 评价因子	量级划分								权重 值	最大 特征值	一致性 检验
	严重(A)	得分	中等(B)	得分	轻微(C)	得分	一般(D)	得分			
坡度(°)	>35	40	25~35	30	15~25	10	<15	1	0.037		
工程地质 岩组	松散岩组	40	软硬相间岩组	30	较软岩组或软弱岩组	10	较硬岩组	1	0.048		
黄土震陷 程度	严重震陷区	40	中等震陷区	30	轻微震陷区	10	不震陷区	1	0.085		
砂土覆盖 区域	渭河河漫滩 及一级阶地	40	泾河河漫滩 及一级阶地	30	其余河流河 漫滩及一级阶地	10	其他地区	1	0.154		
地震动峰值 加速度(g)	0.20	40	0.15	30	0.10	10	0.05	1	0.244		
距断裂带距离 (m)(仅考虑晚 更新世至今的 断裂带)	<200	40	200~800	30	800~1 500	10	>1 500	1	0.431		

CR=
0.076<
6.469
0.1,满
足一致
性检验

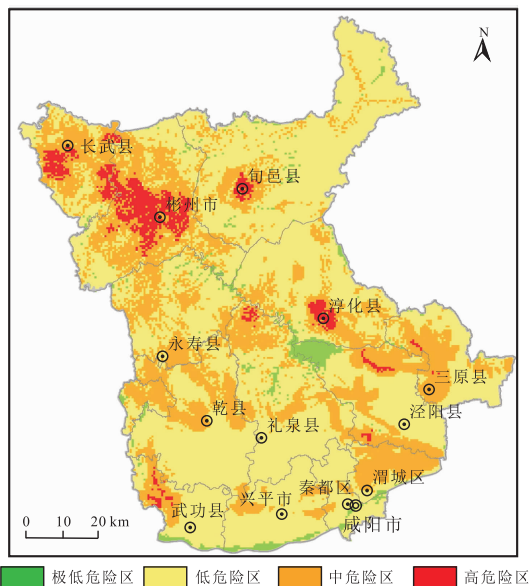


图2 咸阳市地质灾害危险性分区评价图

Fig. 2 Evaluation map of geological disaster analysis in Xianyang city

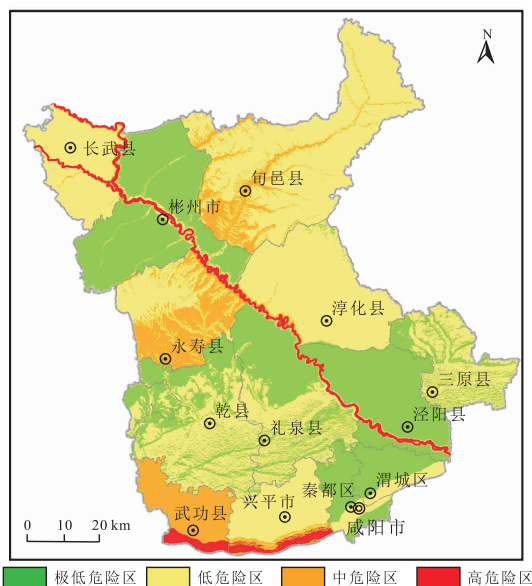


图3 咸阳市洪水灾害危险性分区评价图

Fig. 3 Evaluation map of flood disaster analysis in Xianyang city

从整体上看,地质灾害高危险区主要分布于北部的中低山丘陵区,尤其是在彬州市、长武县、旬邑县和淳化县为较集中,其他区域相对较低;洪水灾害高危险区主要分布于渭河河流两侧武功县至咸阳市城区段沿线以及泾河河流两侧区域,其他区域相对较低;地震灾害高危险区主要分布于渭河断裂带沿线(横穿武功县、兴平市、秦都区及

渭城区)、扶风-礼泉-富平断裂带局部段(礼泉县县城至三原县城区沿线)、岐山-乾县-蒲城断裂带局部段(乾县县城至淳化县南段)以及口镇-关山断裂带局部段(永寿县东侧至三原县北侧段),其他区域相对较低。

3.3 多灾种危险性综合分析

在上述地质灾害危险性分析结果、洪水灾害危

险性分析结果和地震灾害危险性分析结果的基础上,采用层次分析法进行计算,进而得出多灾种危险性综合评价结果(图 5)。根据层次分析法计算结果,咸阳市重大灾害危险性分区的 3 个指标权重(地质灾害危险性分区、洪水灾害危险性分区和地震灾害危险性分区)依次为 0.539、0.297、0.164。从 3 个

指标权重中可以看出,地质灾害危险性分区是影响咸阳市重大灾害危险性分区的最重要因素,其次为洪水灾害危险性分区,最后是地震灾害危险性分区。

4 多灾种自然灾害综合风险评价

风险评价是在上述多灾种危险性综合分析的基础上,对危害后果(人员、财产及易损性)进行量化(表 5),将危险性量化结果与危害后果量化结果(危害后果=人口数量或财产价值×易损率)进行栅格乘积运算,进而得出多灾种自然灾害综合风险评价结果(图 6)。

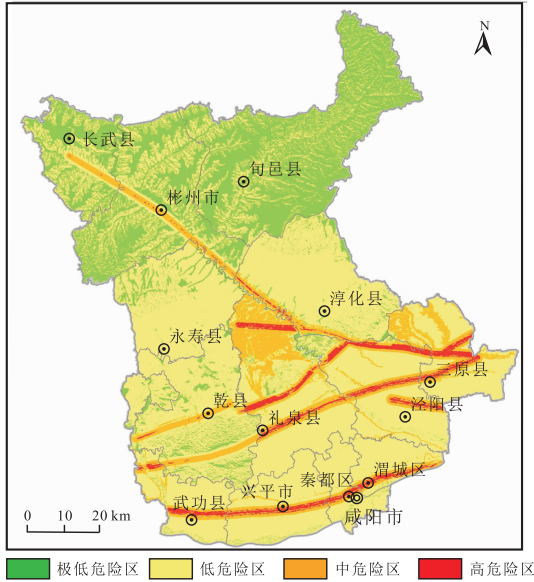


图 4 咸阳市地震灾害危险性分区评价图

Fig. 4 Evaluation map of earthquake disaster analysis in Xianyang city

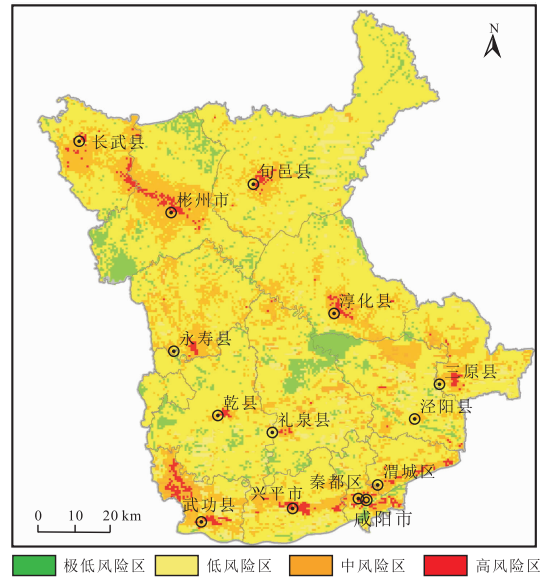


图 6 咸阳市多灾种自然灾害风险分区评价图

Fig. 6 Evaluation map of multi-hazard natural disaster analysis in Xianyang city

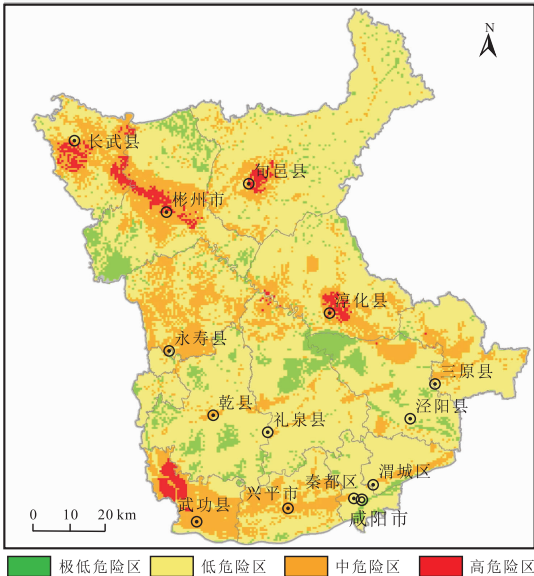


图 5 咸阳市多灾种自然灾害危险性分区评价图

Fig. 5 Evaluation map of multi natural disaster risk assessment in Xianyang city

表 5 承灾体类型、价值及易损性估算值表

Tab. 5 Estimate values of hazard bearing body type, value and vulnerability

类型	单位价值(万元/m ²)	易损率
人员	不估算	0.5
城镇用地	0.5	0.2
农村居民用地	0.08	0.5
采矿用地	0.2	0.2
机场用地	0.3	0.1
自然保护区用地	0.04	0.8
风景名胜用地	0.1	0.5
农用地	0.02	1
其他用地	0.01	1

综合分析认为,咸阳市自然灾害高风险区所占面积很小,零星分布于秦都区城区东南侧、武功县西北侧、乾县县城区、三原县城区东侧、淳化县城区、彬州市城区以及旬邑县城区,总面积约 65.57 km²,占全区面积的 0.64%;自然灾害中风险区分布面积较广,主要分布于武功县城区至渭城区城区沿线地带、永寿县城区东侧、三原县城区外围、淳化县城区外围、彬州市中部区域、旬邑县城区外围以及长武县南侧,总面积约 1 974.42 km²,占全区面积的 19.40%;自然灾害低风险区分布面积最广,遍布于各个区(县),总面积约 6 576.48 km²,占全区面积的 64.63%;自然灾害极低风险区分布面积较大,主要分布在彬州市、旬邑县、礼泉县、乾县、武功县城区至秦都区城区沿线北侧区域以及渭河河谷区局部地段,总面积约 1 558.42 km²,占全区面积的 15.32%。

5 结论

(1)咸阳市主要的灾害类型包括地质灾害、洪水灾害和地震灾害 3 种。地质灾害是影响咸阳市综合风险分区的最重要因素,其次为洪水灾害,最后是地震灾害。

(2)咸阳市多灾种自然灾害风险分区呈现出明显的空间差异性,整体上渭河河谷沿线地段和西北侧的中低山丘陵区风险程度以中风险和高风险为主,主要集中在秦都区城区东南侧、武功县西北侧、乾县县城区、三原县城区东侧、淳化县城区、彬州市城区以及旬邑县城区,其他区域灾害风险程度以低风险和极低风险为主。

(3)首次对陕西省咸阳市开展了多灾种自然灾害综合风险评价,评价结果可以为咸阳市应急管理和国土空间规划带来一定的借鉴意义和指导作用。

参考文献(References):

闪淳昌. 建立突发公共事件应急机制的探讨[J]. 中国安全生产科学技术, 2005, 1(2): 24-26.

SHAN Chunchang. Study on the Emergency Mechanism of Major Public Events[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2005, 1(2): 24-26.

吴树仁, 石菊松, 张春山, 等. 滑坡风险评估理论与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2012.

WU Shuren, SHI Jusong, ZHANG Chunshan, et al. Theory and Technique of Landslide Risk Assessment[M]. Beijing: Science Press, 2012.

唐亚明, 张茂省, 李政国, 等. 国内外地质灾害风险管理对比及评述[J]. 西北地质, 2015, 48(2): 238-246.

TANG Yaming, ZHANG Maosheng, LI Zhengguo, et al. Review and Comparison on Inland and Overseas Geohazards Risk Management[J]. Northwestern Geology, 2015, 48(2): 238-246.

史培军. 再论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(4): 6-17.

SHI Peijun. Theory and practice of disaster study[J]. Journal of Natural Disasters, 1996, 5(4): 6-17.

史培军. 五论灾害系统研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(5): 1-9.

SHI Peijun. Theory and practice on disaster system research in a fifth time[J]. Journal of Natural Disasters, 2009, 18(5): 1-9.

葛全胜, 邹铭, 郑景云, 等. 中国自然灾害风险综合评估初步研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008.

GE Quansheng, ZOU Ming, ZHENG Jingyun, et al. Integrated Assessment of Natural Disaster Risks in China [M]. Beijing: Science Press, 2008.

盖程程, 翁文国, 袁宏永. 基于 GIS 的多灾种耦合综合风险评估[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2011, 51(5): 627-631.

GAI Chengcheng, WENG Wenguo, YUAN Hongyong. Multi-hazard risk assessment using GIS in urban areas [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2011, 51(5): 627-631.

明晓东, 徐伟, 刘宝印, 等. 多灾种风险评估研究进展[J]. 灾害学, 2013, 28(1): 126-145.

MING Xiaodong, XU Wei, LIU Baoyin, et al. An Overview of the Progress on Multi-Risk Assessment[J]. Journal of Catastrophology, 2013, 28(1): 126-145.

倪晓娇, 南颖, 朱卫红, 等. 基于多灾种自然灾害风险的长白山地区生态安全综合评价[J]. 地理研究, 2014, 33(7): 1348-1360.

NI Xiaojiao, NAN Ying, ZHU Weihong, et al. Study on comprehensive assessment of ecological security in Changbai Mountain Region based on multi-hazard natural disasters risk[J]. Geographical Research, 2014, 33(7): 1348-1360.

邓雪, 李家铭, 曾浩健, 等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(7): 93-100.

DENG Xue, LI Jiaming, ZENG Haojian, et al. Research on Computation Methods of AHP Wight Vector and Its Applications[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2012, 42(7): 93-100.

Fell R, Corominas J, Bonnard C, et al. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning [J]. Engineering Geology, 2008, 102(3-4), 85-98.

Fema. Using HAZUS-MH for Risk Assessment[R]. Federal Emergency Management Agency, 2004.

Lavalle C, De Roo A, Barredo J, et al. Towards an European integrated map of risk from weather driven events: a contribution to the evaluation of territorial cohesion in Europe[R]. Technical EUR Reports, EUR, 2005.