



基于 GIS 与信息量模型法的 山东省临沂市地质灾害风险评价

方玉钦¹,高丽梅²,祝丽媛¹,窦连波¹,李宁²,陈晓梅²,韩磊¹,桂思英^{1*}

(1. 山东省地质矿产勘查开发局第七地质大队,山东 临沂 276006;2. 临沂市自然资源开发服务中心,山东 临沂 276000)

摘要:2021 年临沂市实施地质灾害风险普查项目,在已有地质灾害调查成果的基础上,采用信息量模型方法进行计算评价,利用 GIS 的空间分析功能对评价影响因子图层进行空间叠加分析,利用统计学中的自然断点法(natural-break)进行山区崩塌、滑坡及泥石流易发性分区,并结合崩塌、滑坡及泥石流发育分布图及近 20 年统计的已发生的崩塌、滑坡及泥石流灾害对图件进行局部修正。结合地质灾害主要诱发因素(地震或强降水)的空间差异划分地质灾害危险性,综合考虑地质灾害危险性及承灾体的易损性,划分地质灾害风险等级,为临沂市地质灾害防治管理提供基础依据。

关键词:地质灾害;信息量模型;GIS;风险等级;临沂市

中图分类号:P694

文献标识码:A

doi:10.12128/j.issn.1672-6979.2025.11.007

0 引言

自 1990 年以来,临沂市陆续开展过不同比例尺的地质灾害调查与勘查工作,积累了大量的基础资料。但与新时期综合防灾减灾、统筹抵御各种地质灾害,推进地质灾害防治体系和防治能力现代化的总体要求还有着明显的差距。迫切需要实施地质灾害风险调查和重点地质灾害隐患调查工程,全面掌握地质灾害风险底数和区域防灾减灾救灾能力,建立健全综合地质灾害风险调查、隐患排查及综合风险评估和区划的工作机制、技术体系和业务体系,为提高地质灾害防治能力奠定基础。

基于临沂市 1:10 万地质灾害风险普查成果,通过 GIS 整合各种数据源,形成一张完整的地理信息图。选取 5 个主要影响地质灾害现状和地质灾害发生的评价因子,基于 GIS 和加权信息量模型^[1-12]进行临沂市地质灾害易发性、危险性和风险性评价,为临沂市地质灾害防治及地质灾害预警提供科学依据。

1 地质灾害孕灾地质条件分析

1.1 “地灾调查遥感应用 8+N”新模式

遥感部分提取了正射影像图、DEM 专题图、道路提取专题图、建筑物提取专题图、水体提取专题图、坡度分析图、坡向分析图、植被覆盖率分布图 8 个图件作为地灾调查遥感解译的基础图件,结合地面形变速率图等其他图件的“8+N”模式,为本次地质灾害调查提供了丰富的基础数据。

1.2 地形地貌与地质灾害

崩塌滑坡泥石流主要分布于东北部切割较强的低山丘陵区,包括蒙阴、沂水、平邑、费县的大部分,面积约 5 339.39 km²,发育地质灾害点 247 处,地质灾害发育平均密度为 6.03 个/100 km²;地面塌陷主要位于平原区,面积 11 820.94 km²,因地下采矿及地下水开采等人为工程活动强烈,地面塌陷地质灾害发育强烈,地质灾害发育平均密度为 0.82 个/100 km²。

收稿日期:2025-06-21;修订日期:2025-07-24;编辑:王敏

基金项目:山东省地质灾害风险普查项目(37000021P14000310076E)

作者简介:方玉钦(1988—),男,湖北黄冈人,高级工程师,主要从事水工环、生态修复等研究工作;E-mail: 123fangyuqin@2008.sina.com

* 通信作者:桂思英(1987—),女,山东临沂人,工程师,主要从事水工环、生态修复等研究工作;E-mail: guisy1018@163.com

1.3 工程地质岩组与地质灾害

临沂市崩塌、滑坡及泥石流灾害主要分布于变质岩岩体中，碳酸盐岩类及变质岩岩体坚硬、性脆，易形成高陡边坡而失稳，当岩体内裂隙发育或山麓地带坡积及残积层堆积较厚时，通常发生崩塌、滑坡、泥石流。地面塌陷主要发育于松散类土体分布区，发育灾害点 97 处，其中 72 处采空塌陷成因为人类地下采矿活动造成，25 处岩溶塌陷因大量开采地下水造成。

1.4 斜坡结构与地质灾害

1.4.1 山坡坡度与地质灾害

坡度对地质灾害有很明显的影响与控制作用，坡度的不同会直接影响到斜坡地质体的稳定性，也会影响斜坡变形失稳的模式产生影响，坡度还会影响斜坡上的应力分布和大小，进而影响滑坡、崩塌、泥石流等灾害的势能条件和影响范围。调查区内查明的 247 处崩塌、滑坡及泥石流地质灾害点及隐患点地形坡度均大于 20° ，有 59 处地形坡度大于 30° （图 1）。

1.4.2 起伏高度与地质灾害

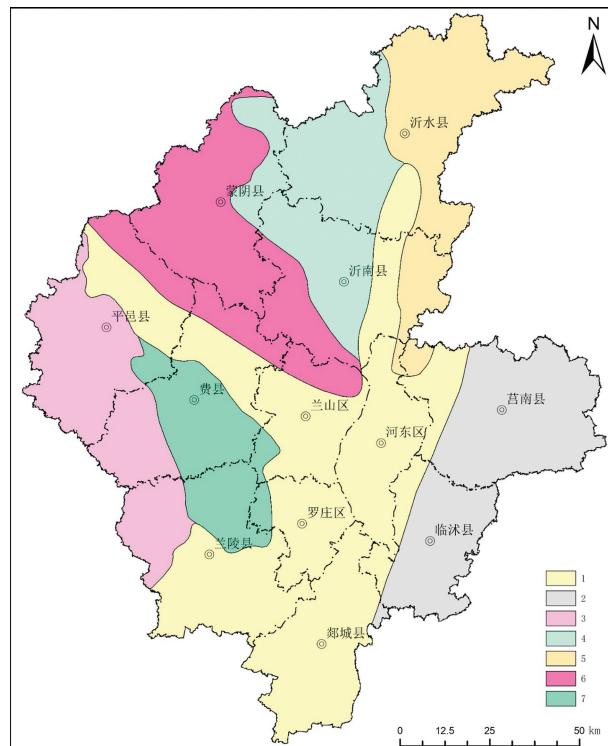
调查区的山区地形起伏高度以 $<10\text{ m}$ 的平坦地形为主,约占总面积的93.25%。地质灾害隐患的数量与地形起伏高度呈近正态分布趋势。起伏高度小于30 m时,地形起伏是影响崩塌、滑坡、泥石流的重要因素,随着起伏高度的增加隐患数量逐渐增多,当起伏高度达10~30 m时隐患数量达到最大,之后随着起伏高度的增加逐渐减少,当起伏高度大于30 m时,人类活动的强度随着起伏高度的增加明显降低,隐患数量随着起伏高度的增加逐渐减少。

2 地质灾害易发性评价

2.1 崩塌、滑坡、泥石流地质灾害易发性评价

2.1.1 信息量模型方法

地质灾害的形成受多种因素影响,信息量模型反映了一定地质环境下最易致灾因素及其细分区间的组合,通过特定评价单元内某种因素作用下地质灾害发生频率与区域地质灾害发生频率相比较实现的,由于每个评价单元受众多因素的综合影响,各因素又存在若干状态,各状态因素组合条件下地质灾害发生的总信息量可用公式1确定:



1—临沂—郯城冲积洪积层较不稳定亚区；2—临沐变质岩侵入岩及冲积层稳定—较不稳定亚区；3—四海山变质岩侵入岩稳定—较不稳定亚区；4—沂南碳酸盐岩较不稳定亚区；5—沂山—四十里堡变质岩碳酸盐岩等较不稳定亚区；6—蒙山变质岩碳酸盐岩较不稳定亚区；7—费县碳酸盐岩较不稳定亚区。

图 1 临沂市孕灾地质条件图

$$I = \sum_{i=1}^n \ell_n \frac{N_i/N}{S_i/S} \quad (1)$$

式中： I —对应特定单元地质灾害发生的总信息量，指示地质灾害发生的可能性，可作为地质灾害易发性指数； N_i —对应特定因素、第 i 状态（或区间）条件下的地质灾害面积或地质灾害点数； S_i —对应特定因素、第 i 状态（或区间）的分布面积； N —调查区地质灾害总面积或总地质灾害点数； S —调查区总面积。

2.1.2 评价单元的确定

根据临沂市地质灾害调查工作的精度和灾害发育分布,综合考虑实际情况,划分成 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的 1 719 740 个网格单元,其中山区 890 303 个网格单元。

2.1.3 评价因子的选取

根据临沂市地质灾害的发育分布规律及地质环境条件,筛选坡度、起伏度、工程地质岩组、地质构造、地貌类型5个影响因子,作为地质灾害易发性分区的评价指标^[13-18]。

2.1.4 地质灾害易发性评价结果

崩塌、滑坡及泥石流地质灾害易发性评价选择坡度、起伏度、工程地质岩组、地质构造及地貌类型

5 个影响因子,结合地质灾害发育情况,采用信息量模型方法进行计算评价,各评价因子信息量值见表 1。

表 1 崩塌、滑坡及泥石流地质灾害易发性评价各评价因子信息量统计表

评价因子	状态	信息量计算				信息量值
		N _i	S _i	N	S	
坡度	<10°	63	146036046	305	171615841	-1.415772
	10°~20°	117	17187988	305	171615841	1.3429099
	20°~30°	79	6245760	305	171615841	1.9624917
	30°~45°	45	2058144	305	171615841	2.5098046
	45°~60°	1	86323	305	171615841	1.8746059
	>60°	0	1580	305	171615841	-∞
起伏度	平坦,<10m	189	165100480	305	171948060	-0.437927
	微起伏,10~30m	116	6822627	305	171948060	2.2602263
	小起伏,30~50m	0	24360	305	171948060	-∞
	中起伏,50~70m	0	546	305	171948060	-∞
	大起伏,>70m	0	47	305	171948060	-∞
工程地质岩组	坚硬的块状—似层状喷出岩岩组	7	9977743	305	171959767	-0.927498
	坚硬、较坚硬中厚—厚层状灰岩岩组	28	16586145	305	171959767	-0.049414
	坚硬的块状变质岩岩组	147	40924778	305	171959767	0.7056456
	较坚硬的薄层状页岩、砂岩岩组	1	1316059	305	171959767	-0.847693
	较坚硬的薄层状页岩夹灰岩岩组	97	17543905	305	171959767	1.1369531
	黏性土单层结构	2	23374822	305	171959767	-3.031564
	坚硬的层状混合岩化变质岩岩组	2	9426662	305	171959767	-2.123446
	较坚硬的中厚—厚层状碎屑岩岩组	1	814006	305	171959767	-0.367264
	坚硬的块状侵入岩岩组	17	7374004	305	171959767	0.2622013
	上层黏性土土多层结构	0	40176	305	171959767	-∞
	上层黏性土下层砂性土双层组构	3	44451297	305	171959767	-3.268833
	坚硬较坚硬的薄层状页岩砂岩夹灰岩岩组	0	130170	305	171959767	-∞
地质构造 (断层距离)	<0.5km	9	15435959	305	171975198	-1.112437
	0.5~1km	16	15110598	305	171975198	-0.515769
	1~1.5km	16	14508734	305	171975198	-0.475124
	1.5~3km	61	39282884	305	171975198	-0.132877
	>3km	203	87637023	305	171975198	0.2670409
地貌类型	中山	30	4430715	305	171973918	1.3396675
	低山	186	26114863	305	171973918	1.3902731
	丘陵	76	58484691	305	171973918	-0.311001
	山间平原	13	65616110	305	171973918	-2.191841
	山前倾斜平原	0	17327539	305	171973918	-∞

注:地质灾害数为 0;理论信息量值为-∞。

利用 GIS 的空间分析功能对 5 个评价影响因子图层进行空间叠加分析,利用统计学中的自然断点法(natural break)将易发性区划重新分类后,生成以信息量大小衡量的山区崩塌、滑坡及泥石流地质灾害易发性分区图,并结合临沂市崩塌、滑坡及泥石流发育分布图及近 20 年统计的已发生的临沂市崩塌、滑坡及泥石流灾害对图件进行局部修正^[19-20],得出中、低、非易发区。

2.2 地面塌陷地质灾害易发性评价

地面塌陷易发性根据 2016—2020 年 12 月临沂

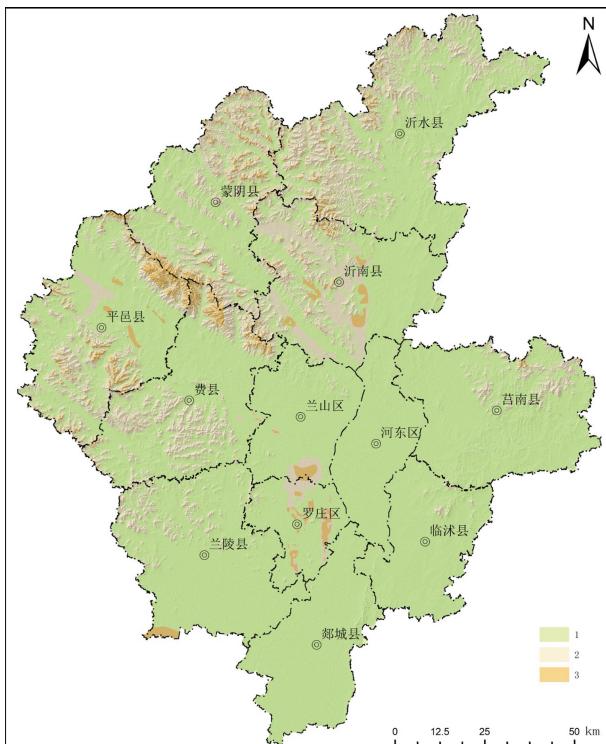
市开展的不同程度的采空区调查报告查明的采空区范围及顶板深度来评价,岩溶塌陷易发性根据岩溶发育情况及岩溶塌陷地质灾害分布情况评价。

2.3 地质灾害易发评价结果

根据地质灾害易发区分原则将临沂市地质灾害易发区划分为地质灾害中易发区、地质灾害低易发区和地质灾害非易发区,易发区内细分为崩塌、滑坡、泥石流为主的易发区和地面塌陷地质灾害易发区(图 2)。

临沂市地质灾害中易发区总面积约为

568.48 km², 约占全区总面积的3.31%, 共发育地质灾害167处, 其中崩塌81处, 滑坡1处, 泥石流1处、岩溶塌陷20处、采空塌陷63处; 临沂市地质灾害低易发区总面积约为3 392.16 km², 约占全区总面积的19.73%, 共发育地质灾害200处, 其中崩塌141处, 滑坡36处, 泥石流16处、岩溶塌陷2处、采空塌陷5处; 临沂市地质灾害非易发区总面积约为13 230.56 km², 约占全区面积的76.96%, 共发育地质灾害37处, 占全区地质灾害总数9.16%, 其中崩塌20处, 滑坡8处, 泥石流2处, 岩溶塌陷3处, 采空塌陷4处。



1—非易发区; 2—低易发区; 3—中易发区。

图2 临沂市地质灾害易发性评价图

3 地质灾害危险性评价

3.1 评价方法

根据临沂市气象局提供的临沂市2016年1月—2021年12月时间范围内各雨量站的年平均降雨量, 利用GIS的空间分析功能, 生成降雨等值线图, 将降雨量作为一个评价因子, 与地质灾害易发性评价指标体系一起组成危险性评价指标体系。表2所示为降雨指标的信息量值计算结果, 然后将降雨指标信息量与易发性评价总信息量叠加各因子得到

危险性总信息量。划分出地质灾害高危险、中危险、低危险3种级区(不易发区直接认定为低危险区)(图3)。

3.2 评价结果

临沂市地质灾害高危险区总面积约为630.81 km², 约占全区总面积的3.67%, 共发育地质灾害174处, 其中崩塌86处, 滑坡4处, 泥石流1处、岩溶塌陷20处、采空塌陷63处; 临沂市地质灾害中危险区总面积约为2 826.75 km², 约占全区总面积的16.44%, 共发育地质灾害182处, 其中崩塌131处, 滑坡31处, 泥石流16处、岩溶塌陷2处、采空塌陷1处, 地裂缝1处; 临沂市地质灾害低危险区总面积约为13 733.64 km², 约占全区面积的79.89%, 共发育地质灾害48处, 占全区地质灾害总数11.88%, 其中崩塌25处, 滑坡10处, 泥石流2处, 岩溶塌陷3处, 采空塌陷8处。

4 地质灾害风险评价

地质灾害风险评价应将危险性和易损性评价结果叠加运算, 采用矩阵分析方法, 确定临沂市地质灾害风险评价区划结果。

4.1 地质灾害易损性评价

本次临沂市易损性评价承灾体数据来源分为两方面: 一是根据获取的临沂市遥感影像图提取建筑、道路根据易损性赋值进行重分类; 二是根据调查获取地质灾害点及隐患的威胁人口数量, 采用核密度算法获得人员易损性, 再进行重分类。

从受地质灾害直接威胁人口数量(采用核密度算法获得人员易损性)、交通设施(从遥感影像图提取建筑、道路)、其他生活设施进行易损性叠加分析, 划分为高、中及低3类。

4.2 地质灾害风险评价

叠加危险性、易损性, 划分为地质灾害中风险及低风险区(不易发区直接认定为低风险区), 见图4。

临沂市地质灾害中风险区主要分布在临沂市西北部、西南部及莒南望海楼—莒南涝坡镇—莒南文疃镇—临港朱芦镇一带中低山—丘陵区, 沂南、兰山岩溶发育区, 沂南金矿、平邑和兰陵石膏矿、罗庄、探沂和义堂煤矿、临港铁矿采空区及影响区等分布有承灾体的区域, 总面积约为1 714.95 km², 约占全区总面积的9.98%。临沂市地质灾害低风险区主要分

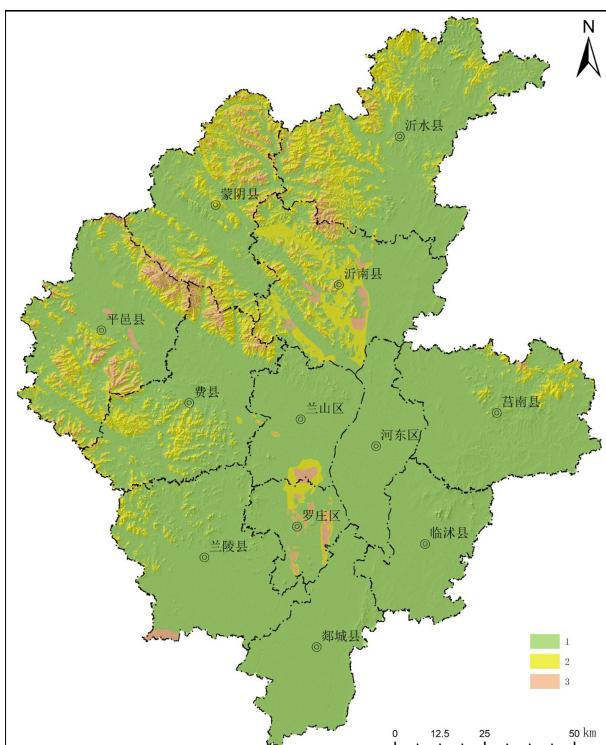
布在沂沭河冲积平原区、山间平原区及无承灾体分布的中低山—丘陵区，总面积约为

15 476.25 km²，约占全区总面积的 90.02%。

表 2 降雨因子信息量值计算

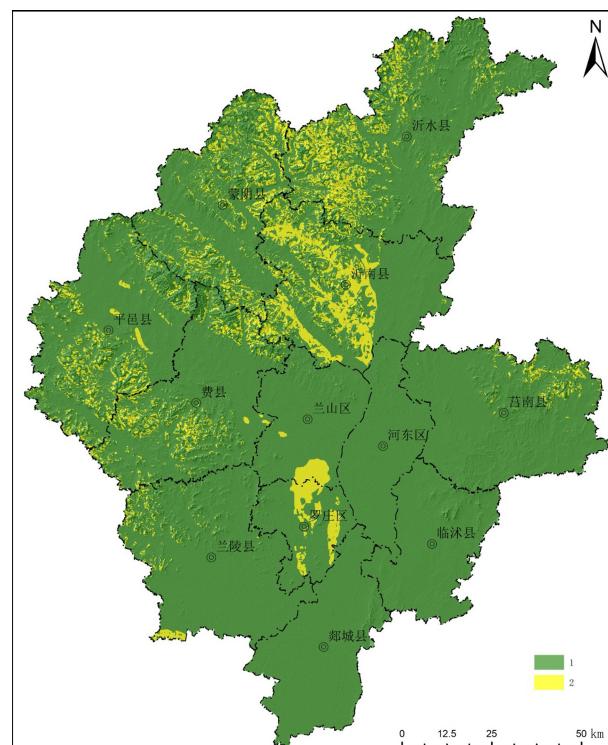
评价因子	状态	信息量计算				信息量值
		N _i	S _i	N	S	
降雨量/mm (年平均降雨量)	<780	25	19261612	305	172001790	-0.312045
	780~790	38	9135178	305	172001790	0.8526466
	790~800	73	13258528	305	172001790	1.1330116
	800~810	55	15512730	305	172001790	0.6928653
	810~820	45	13753634	305	172001790	0.6125525
	820~830	34	12178095	305	172001790	0.4539148
	830~840	26	16086746	305	172001790	-0.092706
	840~850	5	15291925	305	172001790	-1.690694
	850~860	3	14634968	305	172001790	-2.157608
	860~870	1	17227565	305	172001790	-3.419318
	870~880	0	20238043	305	172001790	-∞
	>880	0	5422766	305	172001790	-∞

注：地质灾害数为 0；理论信息量值为 -∞。



1—低危险区；2—中危险区；3—高危险区。

图 3 临沂市地质灾害危险性评价图



1—低风险区；2—中风险区。

图 4 临沂市地质灾害风险评价图

5 结论

(1) 通过以往工作方法的研究，结合新技术新方法的引进，摸索了“地质灾害调查空天地深”模型及“地灾调查遥感应用 8+N”新模式。提取了正射影像图、DEM 专题图、道路提取专题图、建筑物提取专

题图、水体提取专题图、坡度分析图、坡向分析图、植被覆盖率分布图 8 个图件作为地灾调查遥感解译的基础图件，结合地面形变速率图等其他图件的“8+N”模式，为本次地质灾害调查提供了丰富的基础数据。

(2) 采用信息量模型方法利用 GIS 的空间分析功能，对 5 个评价影响因子图层进行空间叠加分析，利用统计学中的自然断点法(naturalbreak)进行易

发性、危险性和风险性的划分,与以往地质灾害评价方法对比受人为主观影响小,精度高,效率高,与实际吻合度高。

(3)本次风险普查成果已在沂蒙山区地质灾害防治得到有效应用,成效显著,示范效果明显。

参考文献:

- [1] 姚静,任涛,翟星,等.基于 GIS 和加权信息量模型的平山县地质灾害易发性评价[J].河北地质大学学报,2021,44(3):47–53.
- [2] 黄佳铭,刘羊,楼康明,等.基于 GIS 和信息量模型的坡面孤石发育程度评价[J].城市勘测,2022(6):185–191.
- [3] 郑盛业,梁竞.基于 GIS 和信息量模型的广西岑溪市地质灾害易发性评估[J].内蒙古煤炭经济,2022(23):169–171.
- [4] 李中权.基于信息量模型法评价青阳县地质灾害易发性[J].现代矿业,2022,38(9):91–94.
- [5] 李玉文,袁颖,李琛曦,等.基于加权信息量法的涞水县地质灾害易发性评价[J].防灾科技学院学报,2021,23(3):34–43.
- [6] 朱永浩,李思南.基于信息量模型的瓮安县地质灾害易发性评价[J].有色金属设计,2021,48(3):87–91.
- [7] 徐敏,崔玉龙,袁文华,等.基于 GIS 和信息量法的伊犁黄土滑坡易发性评价[J].河南城建学院学报,2021,30(4):25–31.
- [8] 余杰,陈钰,彭慧,等.基于 GIS 信息量模型的地质灾害易发性分区评价:以黄梅县为例[J].资源环境与工程,2021,35(5):702–707.
- [9] 马振,谭光超,季璇.基于 GIS 的信息量法在九畹溪流域地质灾害易发性评价中的应用[J].资源环境与工程,2021,35(5):667–673.
- [10] 张凡,江思义,李海良,等.基于 GIS 的昭平县地质灾害易发性分区评价研究[J].资源信息与工程,2021,36(5):37–40.
- [11] 康鹏宇,孙士伟,林清禄,等.基于 GIS 与信息量模型法的山东省蒙阴县地质灾害易发性评价[J].山东国土资源,2023,39(6):37–43.
- [12] 苏宝成,郝骐,伊丽,等.基于 GIS 分析的泰安市地质灾害风险评价[J].山东国土资源,2023,39(6):37–43.
- [13] 邓必荣,罗华来,欧阳克贵.江西赣南宁都县青塘地区地质灾害易发性评价分析[J].地下水,2021,43(6):217–219.
- [14] 金朝,费雯丽,丁卫,等.基于信息量模型和 Logistic 回归模型的地质灾害易发性评价:以十堰市郧阳区为例[J].资源环境与工程,2021,35(6):845–850.
- [15] 于林弘,殷焘,杨宁,等.山东烟台白洋河岩溶水系统岩溶塌陷发育规律及易发性评价[J].山东国土资源,2022,38(12):54–60.
- [16] 胡龙,沈立,李慢慢,等.山东济宁任城区采煤塌陷地治理和生态修复研究[J].山东国土资源,2022,38(12):61–65.
- [17] 李信,阮明,杨峰,等.基于 GIS 技术和信息量法的地质灾害易发性研究:以海南省昌江县为例[J].地质与资源,2022,31(1):98–105.
- [18] 张云波,曾磊,付弘流,等.基于信息量模型法的石阡县地质灾害易发性评价[J].地质灾害与环境保护,2022,33(1):44–49.
- [19] 张钟远,徐世光,李超,等.基于 GIS 和加权信息量模型的长春县城地质灾害易发性评价[J].地质灾害与环境保护,2022,33(1):37–43.
- [20] 温鑫,范宣梅,陈兰,等.基于信息量模型的地质灾害易发性评价:以川东南古蔺县为例[J].地质科技通报,2022,41(2):290–299.

Geological Hazard Risk Assessment in Linyi City in Shandong Province Based on GIS and Information Modeling Method

FANG Yuqin¹, GAO Limei², ZHU Liyuan¹, DOU Lianbo¹, LI Ning², CHEN Xiaomei², HAN Lei¹, GUI Siying¹
(1. No.7 Geological Brigade of Shandong Provincial Exploration Bureau of Geology and Mineral Resources, Shandong Linyi 276006, China; 2. Linyi Natural Resources Development Service Center, Shandong Linyi 276000, China)

Abstract: In 2021, a geological hazard risk survey project has been carried out in Linyi city. Based on the existing geological hazard survey results, information quantity model method has been used to calculate and evaluate. The spatial analysis function of GIS has been used to perform spatial overlay analysis on the evaluation impact factor layers. The natural break method in statistics has been used to partition the susceptibility of landslides, landslides and debris flows in mountainous areas. Combining with the distribution map of landslide flow development and the statistics of landslide flow disasters that have occurred in the past 20 years, local correction of maps have been carried out. Based on spatial differences of main triggering factors of geological disasters (earthquakes or heavy precipitation), taking into account geological hazard risk and the vulnerability of the disaster bearing body, geological hazard risk has been divided. It will provide a basic basis for the prevention and control management of geological disasters in Linyi city.

Key words: Geological hazards; information quantity model; GIS; risk level; Linyi city