

基于组合方法的多尺度地质灾害危险性评价

——以河北高阳县为例

孙晓悦^{1,2}, 郝仕龙¹, 翟文华¹, 杨常青³, 王丹³, 杨帆³, 王闯¹

(1. 华北水利水电大学, 郑州 450046; 2. 中国地质科学院水文地质与环境地质研究所, 石家庄 050061;
3. 保定市城市设计院, 保定 071000)

摘要: 地质灾害的种类繁多,且危害性极大,河北省高阳县由于地表水资源不足,长期开采地下水资源,导致区域地质灾害频发,主要表现为地面沉降和地裂缝。采用地震动峰值加速度、坡度、地下水开采模数、地质地貌、人口密度、水位、断裂带、土体结构及人均GDP分布特征作为危险评价因子,构建层次结构模型,对高阳县地质灾害危险性进行分区评价,并采用模糊评价法进行综合评价。研究表明:AHP-模糊综合评价法方法能够有效地对高阳县地质灾害危险性进行评价,高阳县地质灾害高、中、低危险区域面积分别占研究区总面积的41.51%、36.61%、21.88%。其中西演镇和庞佐乡高危险区域所占比例高达97.28%、96.08%。模糊评价结果显示高阳县整体地质灾害危险性等级为中等。

关键词: 模糊数学; 层次分析; 地质灾害; 危险性评价; 高阳县

中图分类号: P694; P56; X4 **文献标识码:** A

MULTI-SCALE GEOLOGICAL HAZARD ASSESSMENT BASED ON COMBINATION METHOD-A CASE STUDY OF GAOYANG COUNTY, HEBEI PROVINCE

SUN Xiao-yue^{1,2}, HAO Shi-long¹, ZHAI Wen-hua¹, YANG Chang-qing³,
WANG Dan³, YANG Fan³, WANG Gang¹

(1. North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China;
2. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences,
Shijiazhuang 050061, China; 3. Baoding Urban Design Institute, Baoding 071000, China)

Abstract: There are many kinds of geological disasters, and the harm is great. Gaoyang County, Hebei Province, due to the shortage of surface water resources, long-term exploitation of groundwater resources, resulting in frequent regional geological disasters, mainly manifested as land subsidence and ground cracks. Using the peak acceleration of ground motion, slope, groundwater mining modulus, geological geomorphology, population density, water level, fracture zone, soil structure and per capita GDP distribution characteristics as risk assessment factors, a hierarchical structure model was built to evaluate the geological hazard risk in Gaoyang County, and the fuzzy evaluation method was used for comprehensive evaluation. The results show that the AHP-fuzzy comprehensive evaluation method can effectively evaluate the geological hazard in Gaoyang County, and the area of high, medium and low geological hazard areas in Gaoyang County accounts for

41.51%, 36.61% and 21.88% of the total area of the study area, respectively. Among them, the proportion of high risk areas in Xiyen Town and Pangzuo Township is as high as 97.28% and 96.08%. The fuzzy evaluation results show that the overall geological hazard level of Gaoyang County is medium.

Key words: fuzzy mathematics; analytic hierarchy process; geological hazard; risk assessment; Gaoyang county

地质灾害危险性评价作为防灾减灾的重要环节,也是区域经济发展和基础设施建设的重要参考^[1]。其主要任务可以归纳为:确定孕灾因子及其权重,并研究计算某一区域一定时段内发生地质灾害的可能性,为减少人民生命和财产损失提供参考。高阳县位于京津保护地区率先联动发展和雄安新区大规模开发建设双重辐射的独特区位,面临着前所未有的机遇,基础建设、纺织业的大力发展,使得地方经济的发展与地质灾害的矛盾日益突出,为了满足经济发展的需要,对地质灾害的研究显得尤为迫切和重要。高阳县地处中朝准地台、华北断坳、冀中台陷和高阳台凸,区域地质较为复杂,区域常年开采地下水,使得地裂缝和地面沉降地质灾害频繁发生,严重威胁到当地经济发展和人民生活。通过对地质灾害进行系统性的分析评价,判断区内地质灾害危险性程度,并根据危险区分布,提前做好防治工作,可以避免和减少人员伤亡和财产损失,也可为地灾预警及灾后重建工作提供决策依据。

目前国内外学者对地质灾害危险性评价进行了大量的研究,但仍存在一些问题:定性或定量评价方法均存在一定缺陷。定性方法主要基于决策者的主观判断及经验积累,评价结果具有较强的主观随意性^[2-3]。定量方法主要基于对客观数据的理论分析,但这种方法过度依赖于客观数据,而忽视了专家经验的重要性,且计算得到的结果往往差强人意^[4-6],多尺度地质灾害危险性评价研究比较欠缺。受方法、数据等一系列条件的限制,国内的相关研究多以区、县、流域或更小的行政单位为研究单元,在多尺度上开展的研究相对较少。

本文在对高阳县地质灾害调查和分析的基础上,通过对地质灾害孕育环境和发生条件进行分析,结合前人对该区的相关研究,通过主观评判的方式,选取 10 种具有普遍适用性的评价因子。运用层次分析法构建层次模型,对上述因子进行主观权重的赋值;运用方差膨胀因子法和容差法检验所评价因子的一致性,剔除共线性因子^[7];分别运用层次分析法和模糊综合法对高阳县地质灾害危险性进行分区

评价和整体评价。以期为高阳县城发展规、防灾减灾预警、灾后重建工作提供参考,也可为类似地区的地灾防治提供借鉴。

1 研究区概况

高阳县地处河北省中部(图 1),保定市东南部,北临雄安新区,西与清苑毗邻,南与蠡县、肃宁接壤,东与河间、任丘相接。位于黄淮海中北部低平原区,地势低平开阔,坡度总体 $<5^\circ$,平均海拔高度 9.8 m;年平均气温为 11.9℃,年平均降水量 515.2 mm;属海河流域大清河水系,境内包括潞龙河、孝义河和小白河;处于太行山东麓高阳冲积平原,县域有两大构造带,高阳断裂构造带和西柳断鼻群构造。高阳县内主要的地质灾害为地面沉降以及地裂缝,其中有 6 处地裂缝弱发育区域,1 处地裂缝中等发育区域,主要位于西演镇以及庞佐乡。对于地面沉降,全区年平均沉降量最大区域是沉降值为 90 mm 的区域。

2 数据与方法

2.1 研究数据

本文以高阳县 9 个乡镇为研究对象,使用的基础数据包括高阳县 2018 年 1:25 万土地变更调查数据,1:25 万土地利用分布图,30 m 分辨率的 DEM 数据。使用的地质环境数据包括地裂缝和地面沉降调查数据、地质构造、地形地貌数据等。使用的社会经济数据包括 2018 年高阳县各乡镇常住人口数、GDP 数据、地下水开采利用数据等。数据来源于 2018 年《河北省经济年鉴》、《保定市统计年鉴》、高阳县水资源优化配置报告、非首都功能疏解区环境地质调查、国际科学数据服务平台以及保定市自然资源和规划局、农业局等多家部门机构。

2.2 研究方法

2.2.1 模糊综合评价法

模糊综合评价法以模糊数学为基础,将一些边界不清楚、不容易量化的因素定量化,从多个因素对被评价对象隶属等级状况进行综合性评价的一种方

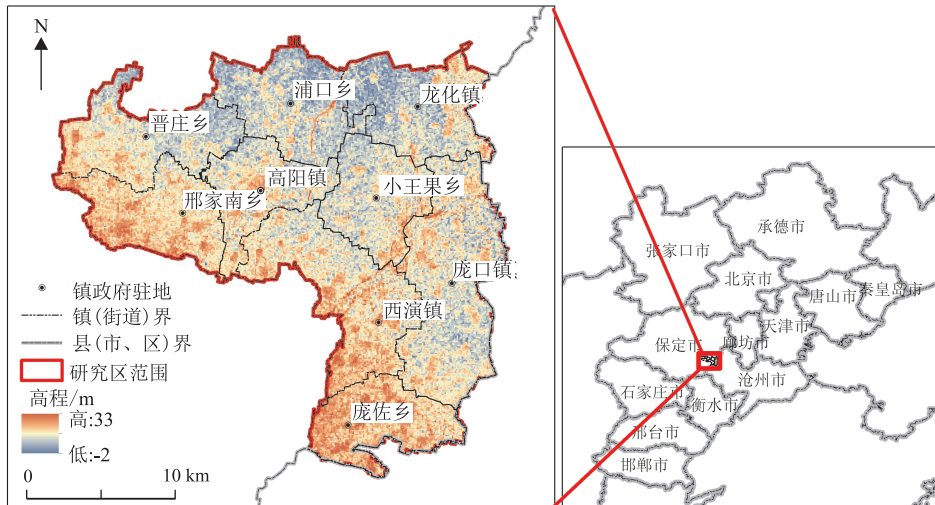


图1 研究区位置

法^[8]。采用模糊数学法对高阳县进行综合性的地质灾害危险性评价主要分为4个步骤:

(1) 选取影响高阳县地质灾害的评价因子,将各个评价因子组合成一个评价因子集 U 。根据研究区实际地质情况,结合当地的自然地质条件以及地质灾害的种类,筛选出符合实际情况的危险评价因子,确定评价方案的指标论域:

$$U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\} \quad (1)$$

式中, U_m 为评价因子。

(2) 为每个影响高阳县地质灾害危险等级的危险评价因子确定定量的指标,且每个评价因子各个危险等级的指标和为1,将这些评价指标值聚集在一起集合成评价集为:

$$V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\} \quad (2)$$

式中, V_m 为评价因子定量指标。

(3) 在确定完评级因子集合和评价集后,根据评价因子 n 与评价指标 m 的一一对应关系,建立隶属矩阵 R 。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, r_{nm} 为隶属度。

(4) 确定各个评价因子的权重,将评价矩阵与权重关系进行对应相乘,利用结果对高阳县进行综合性的地质灾害危险性评价。

2.2.2 层次分析法

层次权重分析法^[14],又称为AHP。层次分析法将每个问题分解组合成不同的问题组织结构。按照各个影响因素之间的相关程度和其隶属水平程度,将各个影响因素按不同的维度和层次对其进行

归纳,形成一个多维度的分析和结构模型,最终将各个影响因素的相关性归结至最低级别(包括决策措施、计划、方案、办法等),相对最高级别(包括总体目标)确定相对重要的权重或者是相对优先级进行调度。本文主要采用AHP来确定每个因子的权重。

权重计算:判断矩阵的每一列都近似了权重的分配情况,因此可以用全部列向量的算数平均值来估计权重向量 W ,即:

$$W_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \frac{a_{ij}}{\sum_{n=1}^k a_{ij}}, i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

式中, a_{ij} 为判断矩阵中元素 a_i 相对于 a_j 的重要程度; $\frac{a_{ij}}{\sum_{n=1}^k a_{ij}}$ 为计算判断矩阵的特征向量; n 为判断矩阵的阶数; k 为专家数。

计算一致性指标 CI :

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

其中, λ_{\max} 为判断矩阵的最大特征值; n 为判断矩阵的阶数。

计算一致性比例 CR :

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

其中, RI 为一致性指标,当 CR 值小于0.10的时候,则说明判断矩阵无误。

3 危险性评价及结果分区

3.1 评价因子选取及危险等级划分

根据高阳县实际地理情况及地质灾害发育情况,将影响研究区地质灾害危险性的各种因素归纳

为 7 个方面^[9-13]:构造稳定性、地面稳定性、介质稳定性、地裂缝发育、地面沉降、抽取地下水^[15]和人类活动强度($C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7$),这 7 个方面进而又分为 10 个评价因子^[16](图 2)($D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6, D_7, D_8, D_9, D_{10}$)(图 3),依据以往研究成果及高阳县实际情况,结合地质灾害研究现状,依据表 1 评价指标等级划分,对各个评价因子危险性等级进行划分^[17]。经检验文中构建的判断矩阵的一致

性比例均小于 0.1,符合一致性,最终得出 D 层 10 个因子的综合权重,结果见表 1。

3.2 共线性计算

在确定了评价因子之后,对本次选取的指标因子进行共线性相关的统计分析,若所选的各个因子相互独立不存在一致性,则说明所选因子可用^[18-20]。本文采用方差膨胀因子法(VIF)和容差法来检验所筛选评价因子的一致性,采用SPSS统计分析软件

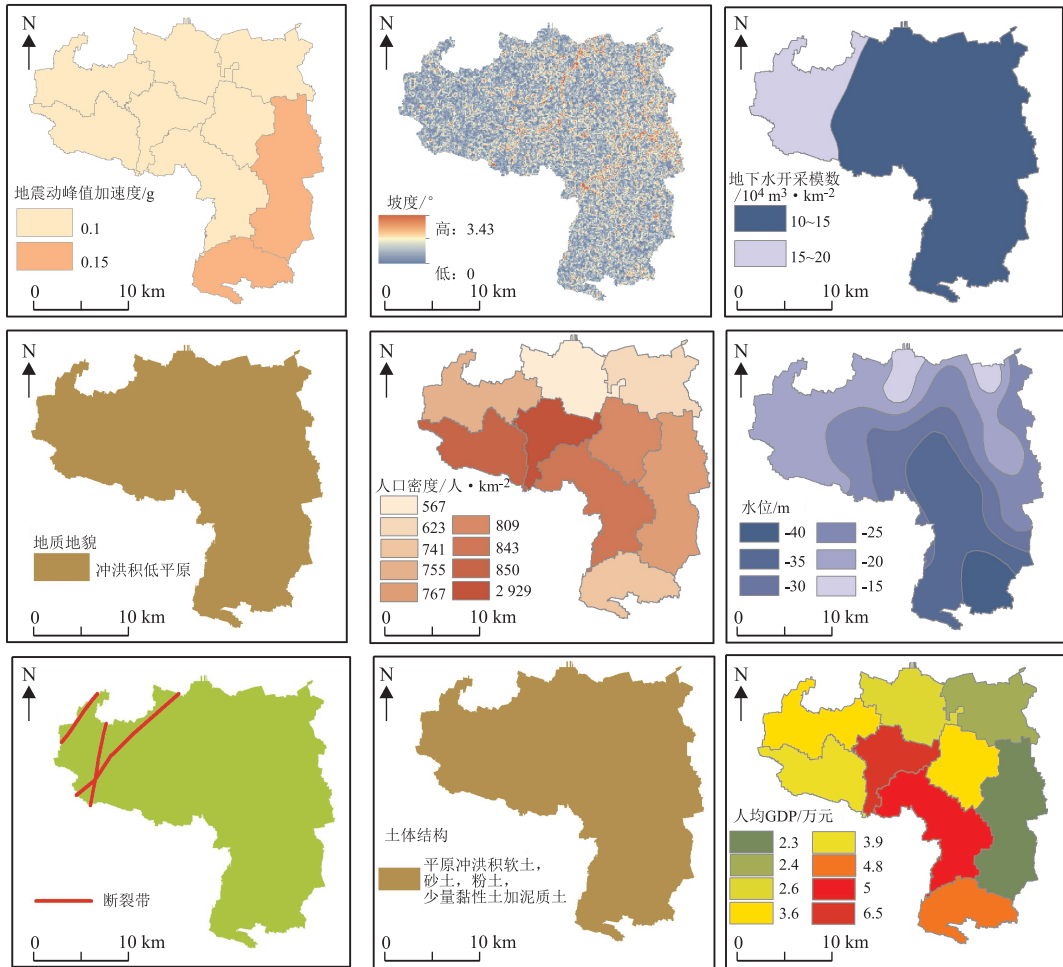


图 2 评价因子图

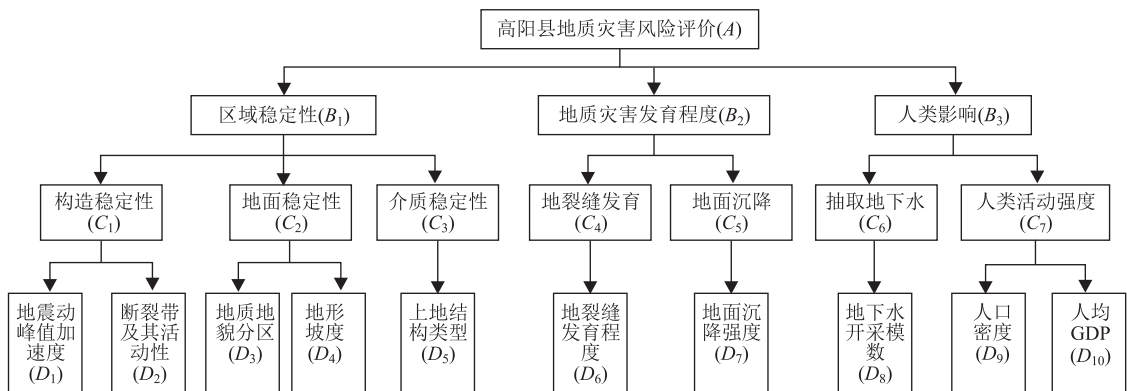


图 3 层次分析模型

表 1 评价指标危险性等级划分表

指标层次		评价指标等级划分			权重		
		低危险	中等危险	高危险			
地质灾害 风险 评价 (A)	构造稳定性(C ₁)	地震动峰值加速度/g(D ₁)	≤0.05	0.05~0.20	0.20~0.40	0.032 2	
		断裂带及其活动性(D ₂)	断裂分布少, 现今活动微弱	断裂活动分布较多, 距现今有过活动	活动断裂分布较多, 距现今活动较强烈	0.096 6	
	区域稳定性(B ₁)	地质地貌分区(D ₃)	平原区, 地势平坦	平原区, 地势起伏较小	山前地区, 地形地区相对较大	0.032 8	
		地面稳定性(C ₂)	地形坡度(D ₄)	<30	30~50	>50	0.016 4
	介质稳定性(C ₃)	土体结构类型(D ₅)	丘陵平原交互带, 粘性土砂土加砾石, 下面为基岩	平原冲洪积软土, 砂土, 粉土, 少量粘性土加泥质土	滨海海积软土和盐渍土夹淤泥质土及人工填土	0.168 9	
	地质灾害发育程度(B ₂)	地裂缝发育(C ₄)	地裂缝发育程度(D ₆)	不发育	低发育	中等发育	0.272 7
		地面沉降(C ₅)	地面沉降强度/mm(D ₇)	0~10	10~30	30~50	0.181 8
	抽取地下水(C ₆)	地下水开采模数/10 ⁴ m ³ ·km ⁻² (D ₈)	10~20	20~30	30~40	0.132 4	
	人类影响(B ₃)	人类活动强度(C ₇)	人口密度/人·km ⁻² (D ₉)	<400	400~600	600~1 000	0.044 1
			人均 GDP/万元(D ₁₀)	<2	2~3	>3	0.022 1

进行计算。首先在研究区内均匀选取 100 个点, 将各点所有影响评价因子的属性值提取并保存到 xls 文件中, 再将其导入到统计分析软件当中, 采用分析-回归-线性模块进行评价因子共线性分析计算, 计算结果见表 2。

表 2 评价因子共线性计算结果

评价因子	VIF	容差
地震动峰值加速度	1.662	0.623
断裂带及其活动性	1.086	0.927
地质地貌分区	1.096	0.912
地形坡度	1.235	0.827
土地结构类型	1.090	0.918
地裂缝发育程度	1.996	0.513
地面沉降强度	1.884	0.568
地下水开采模数	1.157	0.865
人口密度	1.259	0.841
人均 GDP	1.063	0.949

根据表 2 可得, 所筛选出的危险性评价因子的 VIF 以及容差都满足条件(VIF 值小于 10 同时容差大于 0.1), 因此所选出的评价因子之间不存在共线性, 即各个评价因子之间相互独立, 彼此之间不会产生相互影响, 可以用于高阳县地质灾害危险性评价。

3.3 区域危险性评价

地质灾害的危险程度通常用危险性指数来表示, 危险性指数越高, 发生地质灾害的可能性越大。利用 GIS 技术对地质灾害进行危险性区划, 是基于区域稳定性、地质灾害发育程度和人类影响进行叠加分析, 生成地质灾害危险性分区图。本文采用的表达公式如下:

$$R = a_1 \times B_1 + a_2 \times B_2 + a_3 \times B_3 \quad (7)$$

其中, R 表示危险指数; B_1 表示区域稳定性指数; B_2 表示地质灾害发育程度指数; B_3 表示人类影响指数; a_1 、 a_2 、 a_3 表示权重。

本文主要采用栅格计算器来计算最终的结果, 区域危险性评价结果如图 4 所示。

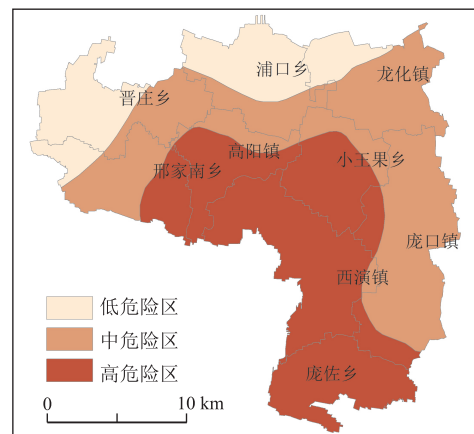


图 4 地质灾害评价分区

高阳县区域地质灾害危险性分区(表 3)分析如下:

(1) 低危险区域

高阳县地质灾害低危险区域面积最小, 面积为 107 km², 占高阳县总面积的 21.88%, 其中有 4 个乡镇不包含地质灾害低危险区域。在蒲口乡地质灾害低危险区占比最大, 约占蒲口乡总面积的 56.14%, 其原因为蒲口乡人口密度小, 地下水开采

模数不高。

(2) 中等危险区域

高阳县地质灾害中等危险区域面积为 179 km²,占高阳县总面积的 36.61%,区域内不包含重要的交通节点,仅有公路穿过。地质灾害中等危险

区在每个乡镇中都有分布,但占比不同,其中龙化镇占比最高,占比为 69.81%,庞佐乡占比最少,占比为 3.92%。区域内年平均沉降量不大,地质灾害发育情况为仅在庞口镇包含一处地裂缝弱发育地区。

表 3 高阳县各乡镇地质灾害分区统计

乡镇	低危险区域/km ²	中等危险区域/km ²	高危险区域/km ²	低危险占比/%	中等危险占比/%	高危险占比/%
高阳镇	0	10	30	0	25	75
邢家南乡	8	25	16	16.33	51.02	32.66
晋庄乡	33	22	0	60	40	0
西演镇	0	2	69	0	2.72	97.28
蒲口乡	32	25	0	56.14	43.86	0
小王果庄	0	13	31	0	29.55	70.45
龙化镇	16	37	0	30.19	69.81	0
庞口镇	19	52	8	24.05	65.82	10.13
庞佐乡	0	2	49	0	3.92	96.08

(3) 高危险区域

高阳县地质灾害高危险区域面积最大,面积为 203 km²,占高阳县总面积的 41.51%。且在部分乡镇中,高危险区域占比较高,在西演镇内占比高达 97.28%,在庞佐乡内占比为 96.08%,在高阳镇内达 75%。其中在西演镇内,存在多处地裂缝弱发育区域,且其人口密度较高;庞佐乡内不仅存在地裂缝弱发育区域,还存在地裂缝中等发育区域,且其地地年平均沉降量在整个高阳县排名靠前;高阳镇人口密度大,人类活动强度高,且高阳镇内包含多条公路,交通便利,存在交通枢纽节点。

3.4 综合危险性评价

本文采用模糊数学法对整个高阳县进行危险性等级评价,从而确定整个高阳县的危险性等级。根据模糊数学法进行地质灾害危险性评价,首先建立评价因子集 $U = \{ (D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6, D_7, D_8, D_9, D_{10}) \}$,根据评价因子危险性等级划分(低,中,高),构建高阳县的评价矩阵 R 为:

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0.3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 \\ 0 & 0.2 & 0.8 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.16 & 0.66 & 0.18 \\ 0.1 & 0.5 & 0.4 \end{bmatrix} \quad (8)$$

将评价矩阵和 AHP 计算出的各个评价指标的权重值相结合,进行矩阵相乘,得到最终的模糊评价

模型 $B=A \times R$ (A 为权重值矩阵),得到最终的隶属度。本文采用最大隶属度法对最终的结果进行评价,表 4 为取值说明表。

最终结果采用最大隶属度法进行评价,取最大值所在的风险等级^[21],作为最终评价单元的最终危险等级,得出高阳县整体地质灾害危险等级为中等危险。但参考高阳县地质灾害评价分区图,高阳县高危险区域面积最大,分析产生这样的原因可能由于评价单元过大,影响了各个评价因子评价集^[22],且有些评级因子的权重过大,导致矩阵相乘后得到的高危险等级隶属度降低。

表 4 高阳县整体危险性等级计算结果

评价因子	危险等级			计算结果 隶属度	综合 评价
	低危险	中等危险	高危险		
地震动峰值加速度	0	1	0	b1=0.377 75 b2=0.423 56 b3=0.198 69	中等 危险
断裂带及其活动性	1	0	0		
地质地貌分区	1	0	0		
地形坡度	0.7	0.3	0		
土体结构类型	0	1	0		
地裂缝发育程度	0.5	0.3	0.2		
地面沉降强度	0	0.2	0.8		
地下水开采模数	1	0	0		
人口密度	0.16	0.66	0.18		
人均 GDP	0.1	0.5	0.4		

4 结论

本文提出一种基于 AHP-模糊综合评价法的地质灾害危险性评价模型。该模型将定性和定量方法结合起来,避免了主观随意性和过度依赖于客观数据,通过将难以全部量化处理的多目标、多准则的决策问题转化为多层次单目标问题,从而实现评价结果更加客观合理。

高阳县地质灾害危险性等级由低到高可分为低

危险区、中等危险区和高危险区,其所占比例和面积分别为:21.88%(107 km²)、36.61%(179 km²)、41.51%(203 km²),以中-高危险性为主。

高阳县地质灾害呈现西南多、东北部较少的空间格局,以庞佐乡和西演镇最为严重,需要重点防控。庞佐乡存在地裂缝弱发育以及中等发育区域,地面沉降年平均沉降量在整个高阳县最高;西演镇境内也存在地裂缝发育区,同时西演镇地面沉降年平均沉降较高,人口密度在全县排名第三。区划结果与实际相符,可为高阳县的地质灾害的防治提供科学参考。

区域评价中,西演镇和庞佐乡高危险区域占比最高,所占比例分别为97.28%和96.08%。采用模糊数学法对高阳县整体进行评价,得到高阳县整体风险等级为中等。采用不同方法对高阳县开展地质灾害区域评价与综合评价,不仅可以对评价结果进行相互印证,同时一定程度上避免了使用单一方法造成的评价结果的差异性。

参考文献

- [1] 马寅生,张业成,张春山,等.地质灾害风险评价的理论与方法[J].地质力学学报,2004,10(1):7-18.
- [2] 章正高.采用层次分析法对地质灾害进行危险性评价——以汉阴县地质灾害为例[J].西安科技大学学报,2014,34(1):87-91.
- [3] 张晓东,刘湘南,赵志鹏,等.基于层次分析法的盐池县地质灾害危险性评价[J].国土资源遥感,2019,31(3):183-192.
- [4] CHEN Wenfang, XU Wei, SHI Peijun. Risk assessment of typhoon disaster at county level in the Yangtze River Delta of China [J]. Journal of Natural Disasters, 2011, 20(4): 77-83.
- [5] ZHANG Chen, WANG Qing, CHEN Jianping, et al. Evaluation of debris flow risk in Jinsha River based on combined weight process [J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(3): 831-836.
- [6] DONG Xiaohua, ZHAO Yunfa, YUAN Jie, et al. Evaluation of the time unit line of multi-objective optimization based on goal programming method [J]. Yangtze River, 2007, 38(8): 12-13.
- [7] 王高峰,叶振南,李刚,等.白龙江流域舟曲县城区地质灾害危险性评价[J].灾害学,2019,34(03):128-133.
- [8] 杨秀梅,梁收运.基于模糊层次分析法的泥石流危险度评价[J].地质灾害与环境保护,2008,19(2):73-78.
- [9] 王洪义.白城市洮儿河流域地下水超采区评价及治理[D].长春:吉林大学,2018.
- [10] 郝欣,曾江.四大因素导致地面沉降[N].中国社会科学报,2014-07-04(A05).
- [11] ZHAO Wei, LIN Jian, WANG Shufang, et al. Influence of human activities on groundwater environment based on coefficient variation method [J]. Environment Science, 2013, 34(4): 1277-1282.
- [12] Dong Lianjie, Li Xiaogen, Li Zhen, et al. Stress type collapse failure analysis of underground cavern intersection of a hydropower station [J]. Journal of North China University of water resources and hydropower (NATURAL SCIENCE EDITION), 2014, 35(5): 28-32.
- [13] 王娟,张普斌,张建国,等.基于RS和GIS的矿山环境综合评价——以甘肃省白银煤矿区为例[J].矿产勘查,2012,3(6):873-882.
- [14] 刘厚成,谷秀芝.基于可拓层次分析法的泥石流危险性评价研究[J].中国地质灾害与防治学报,2010,21(3):61-66.
- [15] 陈菊艳,朱斌,彭三曦,等.基于AHP和GIS的矿区岩溶塌陷易发性评估——以贵州林歹岩溶矿区为例[J].自然灾害学报,2021,30(5):226-236.
- [16] 胡旭芳.基于GIS的线性工程地裂缝灾害危险性评估[D].西安:长安大学,2016.
- [17] 李小根,董联杰,李震.基于GIS的滑坡三维可视化系统研究[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2014,35(2):73-75.
- [18] 武运泊,王运生,曹文正.基于AHP-模糊综合评判的岩溶塌陷危险性评价[J].中国地质灾害与防治学报,2015,26(1):43-48.
- [19] 解传银.地质灾害空间危险性评价综述[J].铁道科学与工程学报,2011,8(1):97-102.
- [20] 刘飞.基于GIS的地质灾害风险性评价[D].长春:吉林大学,2020.
- [21] Wu Chenshuang, Guo Yonggang, Su Libin. Risk assessment of geological disasters in Nyingchi, Tibet [J]. Open Geosciences, 2021, 13(1): 219-232.
- [22] Deng Shuguang, Li WenShu. Spatial case revision in case-based reasoning for risk assessment of geological disasters [J]. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 2020, 11(1): 1052-1074.

作者简介: 孙晓悦(1998—),女,河南信阳人,硕士,学生,主要从事水文地质方面的研究。E-mail:sunxiaoyue986@163.com

通信作者: 郝仕龙(1972—),男,江西永修人,博士,教授,主要从事土地资源利用研究。E-mail:haoshilong24@163.com