

基于GIS与AHP属性辨识模型的地质灾害危险性评价^{*}

——以涪陵页岩气开采区为例

文桃^{1,2}, 周自强², 应赛¹, 王升^{1,3}, 白双莱¹, 周江生¹

(1. 长江师范学院 重庆市建筑物全生命周期健康检测与灾害防治工程研究中心, 重庆 涪陵 408100;

2. 甘肃省科学院地质自然灾害防治研究所, 兰州 730000; 3. 山东大学 岩土与结构工程研究中心, 济南 250061)

摘要:【目的】建立新的区域性地质灾害评价模型,对涪陵页岩气开采区的地质灾害危险性进行评价。【方法】根据涪陵页岩气开采区的地质、水文和气候特征,选取归一化植被指数(NDVI)、土地类型、坡度、坡高、年峰值周降雨量、年峰值日降雨量等6个主要因素作为评价指标。基于GIS平台,采用AHP属性辨识模型对研究区的地质灾害进行危险性评价。【结果】涪陵页岩气开采区的地质灾害危险性较高,极高危险区面积为146.6 km²,高危险区面积为743.6 km²,两者分别占开采区总面积的9.6%和52.8%。通过开采区173个历史地质灾害点的验证表明,评价的地质灾害危险性区划与历史地质灾害点的空间分布一致,其中98个分布于极高危险区,56个分布于高危险区,分布于中危险区和低危险区的仅有19个。用受试者工作特征曲线法对上述评价结果进行精度评估,曲线下的面积百分比达82.8%,验证了评价模型的可行性。【结论】研究结果对涪陵页岩气开采区输气管线、道路和房建等的规划和防灾减灾具有重要指导意义。

关键词:地质灾害;危险性评价;AHP属性辨识模型;GIS

中图分类号:P694;X43

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2020)04-0068-07

涪陵页岩气田总面积约640 km²,是中国首个大型页岩气田。涪陵页岩气开采区地质灾害发育,目前已勘明的潜在崩塌、滑坡、泥石流和不稳定边坡等地质灾害有59处^[1],严重威胁着开采区内道路和输气管线的安全。例如2016年6月,滑坡导致涪陵页岩气管道破裂,造成页岩气泄漏事故,由此带来了经济损失和安全威胁。因此,开展涪陵页岩气开采区地质灾害危险性评价研究,对保障开采区内道路和输气管线的安全运行具有重要意义。

区域性地质灾害危险性评价常以一个大的区域作为研究对象,建立研究区地质灾害危险性评价的数学模型,根据选取的地质灾害危险性评价指标,通过具有强大空间信息处理能力的地理信息系统(GIS)进行分析。地质灾害危险性评价指标多根据研究区的地质水文环境、气候条件、地形地貌、人类活动等因素来选取^[2-5],评价指标的权重常采用定性的专家打分法、定量的熵权法、定性与定量结合的层次分析(AHP)等方法来确定^[2-8],而评价模型则多采用信息量模型、模糊综合评判模型、神经网络模型、Logistic回归模型等^[2-6, 8-10]。然而,上述常采用的评价模型大多存在不足:信息量模型与Logistics回归模型是多元统计分析方法,它们分析的准确性取决于实际地质灾害数据样本的大小,然而收集大量的历史地质灾害数据较为困难;而神经网络模型是否合理受训练样本的控制,过于依赖训练样本;同样地,模糊综合评判模型存在模糊性与不确定性,主观性较强,不能充分利用已有的有效信息。

为提高区域地质灾害危险性评价的准确性、减少对训练样本的依赖和避免主观性过强的问题,可在充分发挥GIS系统优势的基础上,引入AHP法与属性理论建立了地质灾害危险性评价的AHP属性辨识模型。该模型的优点在于:属性理论解决的是确定性问题,既能充分利用获得的有效信息量化评价指标,又能准确识别危险等级;AHP法则可以利用专家丰富的经验,识别地质灾害不同影响因素的权重,修正各评价指标对灾害等级的

^{*} 收稿日期:2020-04-02 修回日期:2020-06-23 网络出版时间:2020-09-07 16:28

资助项目:国家自然科学基金(No. 51722904);重庆市教育委员会科技项目(No. KJ1601217);甘肃省科学院青年项目(No. 2019QN-04);甘肃省科学院创新团队项目(No. CX201801);甘肃省科学院应用研究与开发项目(No. 2018KJ-05);教育部春晖计划项目(No. Z2016178)

第一作者简介:文桃,男,副教授,博士,研究方向为岩土力学与地质灾害防治,E-mail:wtrm722@126.com;通信作者:周自强,男,研究员,E-mail:zzq01118@163.com

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20200904.1415.018.html

贡献度^[11-13]。鉴于上述背景,本研究以涪陵页岩气开采区为研究区域,采用AHP属性辨识模型进行了地质灾害危险性评价分析,从而为研究区的地质灾害预警防治和道路、输气管线的规划提供科学指导。

1 AHP 属性辨识模型

1.1 AHP 权重分析法

AHP法是专家根据经验和1~9标度层次分析法决策各评价指标权重的方法^[2-3,13],具体分析步骤如下。

1) 根据1~9标度层次分析法构造判断矩阵:

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \cdots & q_{1j} \\ q_{21} & q_{22} & \cdots & q_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{i1} & q_{i2} & \cdots & q_{ij} \end{bmatrix}。$$

式中 q_{ij} 表示第 i 个评价指标相比第 j 个评价指标对评价对象的重要程度。

2) 权重计算。判断矩阵 Q 的各行几何平均值计算公式为:

$$\bar{w}_i = \left(\prod_{j=1}^m q_{ij} \right)^{\frac{1}{m}}, i = 1, 2, \dots, m。$$

判断矩阵 Q 的各行几何平均值的归一化值计算公式为: $w_i = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{i=1}^m \bar{w}_i}$ 。判断矩阵 Q 的归一化特征向量为: $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)$, 其中 w_i 即为各评价指标的综合权重值。

3) 一致性检验。一致性由一致性指标(CI)和平均随机一致性比率(CR)来检验,后者的计算还需用到平均随机一致性指标(RI)。RI的取值见表1。CI和CR的计算公式为:

$$V_{CI} = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1}, V_{CR} = \frac{V_{CI}}{V_{RI}}。$$

式中 V_{CI} , V_{CR} 和 V_{RI} 分别为CI, CR和RI, λ_{\max} 为判断矩阵特征向量 W 的最大特征值。仅当CI与CR的值均小于0.1时,计算得到的权重值 w_i 才符合研究的精度要求。

表1 RI的取值

Tab.1 Value of RI

矩阵阶数(n)	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

1.2 综合属性辨识模型

综合属性辨识模型的建立分为以下几步。

1) 单指标属性测度函数 $\mu_{ik}(t)$ 为评价指标 I_i 和风险等级 C_k 间的属性关系式,计算公式为:

$$\mu_{i1}(t) = \begin{cases} 1, t < a_{i1} - d_{i1} \\ \frac{a_{i1} + d_{i1} - t}{2d_{i1}}, a_{i1} - d_{i1} < t < a_{i1} + d_{i1}, \\ 0, t > a_{i1} + d_{i1} \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{ik}(t) = \begin{cases} 0, t < a_{ik-1} - d_{ik-1} \\ \frac{t - a_{ik-1} + d_{ik-1}}{2d_{ik-1}}, t < a_{ik-1} - d_{ik-1} \leq t \leq a_{ik-1} + d_{ik-1} \\ 1, a_{ik-1} + d_{ik-1} < t < a_{ik} - d_{ik} \\ \frac{a_{ik} + d_{ik} - t}{2d_{ik}}, a_{ik} - d_{ik} \leq t \leq a_{ik} + d_{ik} \\ 0, t > a_{ik} + d_{ik} \end{cases}, \quad (2)$$

$$\mu_{iK}(t) = \begin{cases} 0, t < a_{iK-1} - d_{iK-1} \\ \frac{t - a_{iK-1} + d_{iK-1}}{2d_{iK-1}}, a_{iK-1} - d_{iK-1} \leq t \leq a_{iK-1} + d_{iK-1} \\ 1, t > a_{iK-1} + d_{iK-1} \end{cases} \quad (3)$$

(1)~(3)式中 t 为第 i 个评价指标的实测值; a_{ik-1} 和 a_{ik} 分别为第 i 个评价指在风险等级 C_k 级区间的下限值和上限值, k 满足 $k=1,2,\cdots,K-1$; d_{ik} 由以下两式计算:

$$d_{ik}=\min\{|b_{ik}-a_{ik}|,|b_{ik+1}-a_{ik}|\},$$

(4)

$$b_{ik}=\frac{a_{ik-1}+a_{ik}}{2}。$$

(5)

(4)式中 k 满足 $k=1,2,\cdots,K-1$;(5)式中 k 满足 $k=1,2,\cdots,K$ 。

2) 多指标综合属性测度函数计算公式为:

$$\mu_k(\mu_{ik})=\sum_{i=1}^m\omega_i\mu_{ik}。$$

(6)

式中 ω_i 为第 i 个指标综合权重值,且 $0\leq\omega_i\leq 1$,同时满足 $\sum_{i=1}^m\omega_i=1$ 。

3) 置信度准则及风险性等级判别,假设风险等级有序集为 $F=\{C_1,C_2,\cdots,C_K\}$,当 $C_1<C_2<\cdots<C_k$ 时,若满足

$$k^*=\max\left\{l:\sum_{k=l}^K\mu_k\geq\lambda,1\leq l\leq k\right\},$$

(7)

则风险等级为 C_k^* [14-16]。式中 λ 为置信度, $\lambda\in(0.5,1]$,通常取为 $0.6\sim 0.7$ 。

2 研究区地质灾害危险性评价

2.1 评价指标与评价体系

涪陵页岩气开采区位于三峡库区腹地的武陵山区,地形以山地、丘陵和台地为主。研究区内水系发达,地质环境复杂,降水充足,暴雨频发。根据地质灾害的主要诱发因素,结合研究区的气候、地形和水文特征,本研究选取坡度、坡高、归一化植被指数(NDVI)、年峰值周降雨量、年峰值日降雨量、土地类型等 6 个因素作为评价指标,将各评价指标的危险性等级划分为 4 级:低危险(C_1)、中危险(C_2)、高危险(C_3)和极高危险(C_4),并定义各评价指标不同危险等级的属性值区间为($a_{ik-1}\sim a_{ik}$),从而构建起研究区地质灾害危险性评价指标体系(表 2),各评价指标的属性值分布见封二彩图 1。

表 2 地质灾害危险性评价指标体系
Tab.2 Index system of geological disaster risk assessment

指标	分级				数据来源
	$C_1(a_{i0}\sim a_{i1})$	$C_2(a_{i1}\sim a_{i2})$	$C_3(a_{i2}\sim a_{i3})$	$C_4(a_{i3}\sim a_{i4})$	
坡度(I_1)/($^{\circ}$)	0~15 及 >60~90	>15~25	>25~33	>33~60	1:50 000 DEM 数据
坡高(I_2)/m	0~55	>55~90	>90~120	>120	1:50 000 DEM 数据
年峰值周降雨量(I_3)/mm	0~50	>50~90	>90~115	>115	涪陵区气象局
年峰值日降雨(I_4)/mm	0~30	>30~45	>45~60	>60	涪陵区气象局
NDVI(I_5)	0.8~1	0.55~<0.8	0.3~<0.55	<0.3	Landsat8 卫星
土地类型(I_6)	林地(0~1)	建筑用地(>1~2)	荒裸地(>2~3)	水系(>3~4)	Landsat8 卫星

注:NDVI 和土地类型均采用 2013 年 8 月 Landsat8 卫星的多光谱遥感数据,降雨量由涪陵区 2013 年日降雨量统计得到

基于 AHP 法计算各评价指标的权重值,计算结果见表 3。表 3 中判断矩阵的 CI 和 CR 的值分别为 0.012 8 和 0.01,均小于 0.1,因而符合一致性检验。

2.2 属性测度计算与危险性等级评价

采用栅格单元法进行各评价指标的属性测度计算和危险性等级评价分析。由于分析所需的适宜栅格大小与地图的比例尺有关,这里根据栅格大小经验公式[17]:

$$G_s=7.49+0.000\ 6S-2.0\times 10^{-9}S^2+2.9\times 10^{-15}S^3$$

确定适宜的栅格尺寸,式中 G_s , S 分别为最佳栅格单元大小、地图比例尺分母数值。本研究中地图比例尺为

1:50 000,经过上述经验公式确定的最佳栅格大小为 32.5 m,故取 32.5 m×32.5 m 作为分析时的栅格单元大小。

2.2.1 单指标属性测度计算 根据表 2 中各评价指标的危险性等级值域划分标准,将图 1 中各评价指标的栅格单元实测值 t_i 分别代入(1),(2)和(3)式中,基于 ArcGIS 平台,对各评价指标的属性测度进行计算分析。限于篇幅,本研究仅以坡度结果作为示例(封三彩图 2)。

2.2.2 多指标综合属性测度计算 基于 ArcGIS 平台,将各评价指标的单指标属性测度值代入(6)式中,并结合各评价指标的权重 w_i (表 3)进行多指标综合属性测度计算,结果见封三彩图 3。

2.2.3 地质灾害风险性等级判别 基于置信度准则对涪陵页岩气开采区地质灾害的危险性进行等级判别。由于危险性等级越高对该区域的威胁越大,故令 $C_1 < C_2 < C_3 < C_4$,并满足(7)式。根据多指标综合属性测度的计算结果和(7)式,取置信度 $\lambda=0.6$,对地质灾害危险性等级进行判别分析,得到涪陵页岩气开采区地质灾害危险等级区划图(图 4)。

3 研究区地质灾害危险性评价分析

通过对图 4 中属性栅格单元的统计分析,得到了涪陵页岩气开采区不同危险等级地质灾害区的面积百分比(图 5)。结合图 1、图 4 和图 5 对涪陵页岩气开采区地质灾害危险性评价结果进行分析。结果表明,在本研究采用的年峰值日降雨量和年峰值周降雨量条件下,研究区内地质灾害危险性较高,4 个等级的危险区的具体情况如下。

1) 极高危险区(C_4)分布受水系、地形地貌和建筑用地的影响主要集中在长江、乌江沿岸阶地以及武陵山乡、大木乡和荔枝街道的山地区域;其次则分布于白涛街道、包鸾镇、江东街道和焦石镇的重丘陵区 and 建筑用地影响区。该区面积为 146.6 km²,占整个研究区面积的 9.6%。极高危险区分布受建筑用地分布的影响,说明人类活动引起的地形地貌、植被等环境破坏加剧了研究区地质灾害的发生。

2) 高危险区(C_3)分布受水域、荒裸地和地形地貌的影响,较为集中地分布于长江、乌江沿线和包鸾镇、大木乡、江东街道、白涛街道、罗云乡、清溪镇等地的缓丘陵区。高危险区分布最为广泛,面积为 743.6 km²,占整个研究区面积的 52.8%。

3) 中危险区(C_2)分布主要受地形地貌的影响,分布于研究区内地势较为平缓的低、缓丘陵区,由于低、缓丘陵区多位于微丘陵区以及山区、重丘陵区的谷地和台地区域,因此该区域分布较为分散。中危险区在焦石镇与罗云乡交界、南沱镇、江北街道东部、龙桥街道和白涛街道东部等地的分布相对集中,面积为 202.4 km²,占整个研究区面积的 14.5%。

4) 低危险区(C_1)的分布也主要受地形地貌的影响,主要分布于低、缓丘陵区坡度低于 15°的平缓地带,与中危险区(C_2)交互相连分布,面积为 316.3 km²,占整个研究区面积的 23.1%。

4 评价结果验证

目前常采用的地质灾害评价结果验证方法有历史灾害验证法和受试者工作特征曲线(ROC)法两种,其中以历史灾害验证法为优^[18]。历史灾害验证法是将历史地质灾害点与评价结果的危险等级区划进行叠加分析,统计分布于不同危险区的地质灾害点百分比来进行验证,极高危险区和高危险区的地质灾害点百分比越大,评价结果越准确。将遥感解译、现场勘察得到的以及截至 2013 年有记载的涪陵页岩气开采区 173 个历史地质灾害点与该区域地质灾害危险等级区划进行叠加后,结果如图 4 所示。对图 4 进行统计分析,得到了不同危险区历史地质灾害点的占比(图 5)。图 5 表明:173 个历史地质灾害点中,有 98 个位于极高危险区(C_4),占比为 56.7%,历史地质灾害点的密度为 0.93 个·km⁻²;另有 56 个分布于高危险区(C_3),占比为 32.4%,历史地质灾害点密度为 0.075 个·km⁻²;而分布于中危险区(C_2)和低危险区(C_1)的历史地质灾害点很少,其中中危险区(C_2)仅有

表 3 评价指标判断矩阵与权重
Tab. 3 Judgment matrix and weights of evaluation indices

指标	指标						权重 w_i
	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	
I_1	1	4	2	2	3	3	0.265
I_2		1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	1	$\frac{1}{2}$	0.195
I_3			1	$\frac{1}{2}$	2	2	0.141
I_4				1	3	2	0.223
I_5					1	$\frac{1}{2}$	0.051
I_6						1	0.125

注:各指标具体含义见表 2

8 个,占比为 4.6%,历史地质灾害点密度为 $0.04 \text{ 个} \cdot \text{km}^{-2}$;低危险区(C_1)仅有 11 个,占比为 6.4%,历史地质灾害点密度较中风险区更低,仅为 $0.035 \text{ 个} \cdot \text{km}^{-2}$ 。上述结果证实了基于 AHP 属性辨识模型的涪陵页岩气开采区地质灾害危险性评价结果具有很好的准确性。另外采用 ROC 法对评价结果进行验证,结果见图 6。图 6 中曲线下的面积百分比(AUC)为 82.8%,同样证实了评价结果具有较高的有效性和较好的参考价值。

5 结论与建议

综上所述,本研究得出以下结论和建议:

1) 在本研究采用的年峰值日降雨量和年峰值周降雨量条件下,涪陵页岩气开采区地质灾害危险性较高,极高危险区和高危险区面积分别占到全区面积的 9.6% 和 52.8%,其中:极高危险区主要集中在长江、乌江沿岸阶地以及武陵山、大木乡和荔枝街道的山地区域,面积为 146.6 km^2 ;高危险区较集中地分布于长江、乌江沿线和包鸾镇、大木乡、江东街道、白涛街道、罗云乡、清溪镇等地的缓丘陵区,分布面积最广,达 743.6 km^2 ;中等危险区和低危险区地质灾害很少发生,分布于涪陵页岩气开采区地势较为平缓的低、缓丘陵区,它们的分布较分散,二者总面积为 518.7 km^2 ,占全区面积的 37.6%。

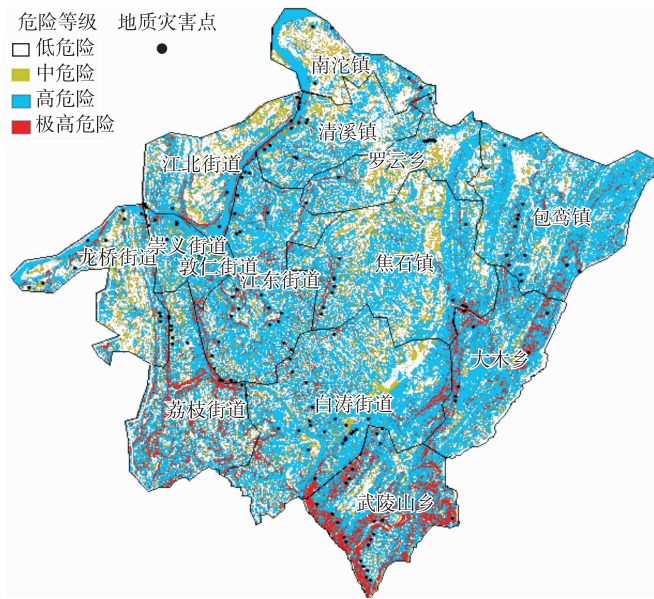


图 4 涪陵页岩气开采区地质灾害危险等级区划图

Fig. 4 Risk zoning map of geological disaster in Fuling shale gas field

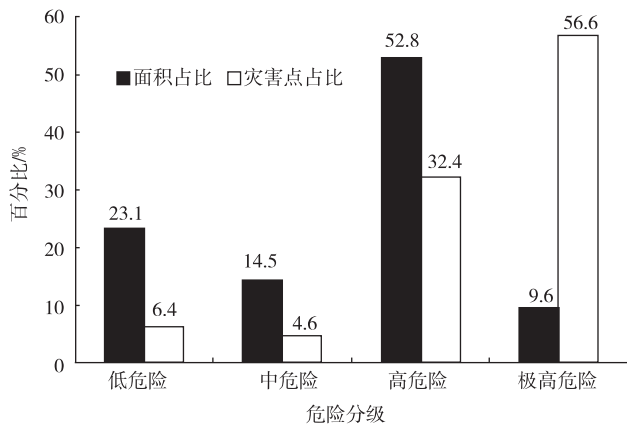


图 5 不同危险区的面积占比和地质灾害点占比

Fig. 5 Percentages of area and geological disaster points in different dangerous area

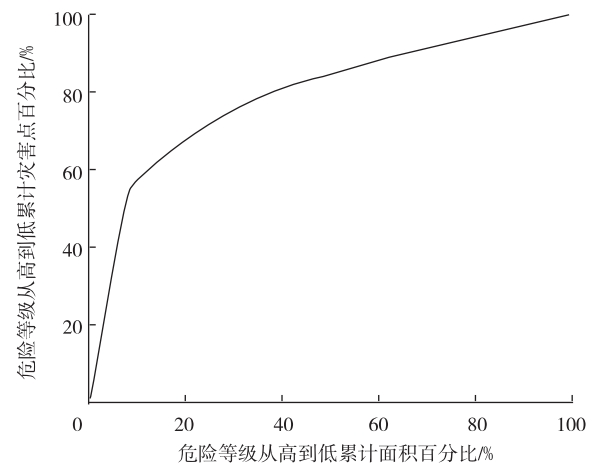


图 6 地质灾害危险性评价结果 ROC 曲线

Fig. 6 ROC graph of geological disaster risk assessment

2) 应加强对极高风险区地质灾害的现场勘察和监测预警,对有安全隐患的区域需及时治理;高风险区内应结合天气预报与本模型进行地质灾害超前评价,进行适当的现场监测,提高有经验人员的巡防力度;中危险区和低危险区内可根据暴雨恶劣天气和本模型进行地质灾害评估,并做好巡防预警工作。

3) 研究区内 173 个历史地质灾害点的区域分布与评价结果的危险性区划分布一致,同时在评价结果有效性的 ROC 曲线验证中,它的评价有效率 AUC 值达到 82.8%,证明评价结果准确有效,可为涪陵页岩气开采区的地质灾害防治提供参考。

4) 在区域性地质灾害危险性评价中,本研究建立的 AHP 属性辨识模型能有效减少对实际历史地质灾害训练样本的依赖,避免主观性过强的缺点,因此可为有关区域特别是地质灾害样本缺乏区域的地质灾害危险性评价提供科学、有效的途径。

参考文献:

- [1] 范宏喜. 走进焦石坝: 聚焦重庆涪陵页岩气田开发中的地质环境影响评价[J]. 水文地质工程地质, 2016(2): 171-172.
FAN H X. Arrive at Jiaoshiba: focusing on the geological environment impact assessment in the development of Fulingshale gas field in Chongqing[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2016(2): 171-172.
- [2] 张波, 石长柏, 肖志勇, 等. 基于GIS和加权信息量的湖北鄂州地质灾害易发性区划[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2018, 29(3): 101-107.
ZHANG B, SHI C B, XIAO Z Y, et al. Geologic hazards susceptibility assessment in E'zhou city of Hubei province based on GIS and weighted information value[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2018, 29(3): 101-107.
- [3] 赵帅, 赵洲. 基于信息量模型的地质灾害易发性评价[J]. 水力发电, 2019, 5(3): 27-32.
ZHAO S, ZHAO Z. Geological hazard risk assessment based on information quantity model[J]. Water Power, 2019, 5(3): 27-32.
- [4] 谭玉敏, 郭栋, 白冰心, 等. 基于信息量模型的涪陵区地质灾害易发性评价[J]. 地球信息科学学报, 2015, 17(12): 1554-1561.
TAN Y M, GUO D, BAI B X, et al. Geological hazard risk assessment based on information quantity model in Fuling district, Chongqing city, China[J]. Journal of Geo-information Science, 2015, 17(12): 1554-1561.
- [5] 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 W L, TENG H Q, DU L, et al. 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[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(3): 111-116.
- [6] 杨根云, 周伟, 方教勇. 基于信息量模型和数据标准化的滑坡易发性评价[J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(5): 674-683.
YANG G Y, ZHOU W, FANG J Y. Assessment of landslide susceptibility based on information quantity model and data normalization[J]. Journal of Geo-information Science, 2018, 20(5): 674-683.
- [7] 杜敏, 闻德保, 周苏娅. 基于GIS的公路边坡地质灾害危险性评价[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2018, 15(4): 59-65.
DU M, WEN D B, ZHOU S Y. Risk assessment of highway slope geological disasters based on GIS[J]. Journal of Changsha University of Science and Technology (Natural Science), 2018, 15(4): 59-65.
- [8] 夏晨皓, 朱静, 常鸣, 等. 基于概率数学方法与GIS的泥石流敏感性分析及评价: 以汶川县为例[J]. 长江科学院院报, 2017, 34(10): 34-44.
XIA C H, ZHU J, CHANG M, et al. Susceptibility assessment of debris flow using a probabilistic and GIS approach: a case study on the Wenchuan county[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2017, 34(10): 34-44.
- [9] 裴惠娟, 陈晋, 李雯. 甘肃省地质灾害风险评估[J]. 灾害学, 2017, 32(2): 97-102.
PEI H J, CHEN J, LI W, et al. Geological disaster risk assessment in Gansu province[J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(2): 97-102.
- [10] 牛全福, 冯尊斌, 张映雪, 等. 基于GIS的兰州地区滑坡灾害孕灾环境敏感性评价[J]. 灾害学, 2017, 32(3): 29-35.
NIU Q F, FENG Z B, ZHANG Y X, et al. Susceptibility assessment of disaster environment for landslide hazard based on GIS in Lanzhou area[J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(2): 29-35.
- [11] 王升, 文桃, 应赛, 等. 基于变权-属性模型的三峡库区高陡边坡风险辨识与工程应用[J]. 三峡生态环境监测, 2017, 2(4): 59-65.
WANG S, WEN T, YING S, et al. Engineering application of attribute model with varying weights in risk identification of high and steep slope in Three Gorges reservoir area[J]. Ecology and Environmental Monitoring of Three Gorges, 2017, 2(4): 59-65.
- [12] 李志强, 杨涛, 王亚平, 等. 边坡稳定性动态辨识及工程应用[J]. 中外公路, 2018, 38(5): 7-13.
LI Z Q, YANG T, WANG Y Q, et al. Dynamic identification of slope stability and application[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2018, 38(5): 7-13.
- [13] 王升. 隧道突涌水灾害区域性动态风险评估与预测预警及工程应用[D]. 济南: 山东大学, 2016.
WANG S. Regional dynamic risk assessment and early warning of tunnel water inrush and application[D]. Jinan: Shandong University, 2016.
- [14] 张强, 刘克, 高自友. 属性综合评价系统在城市交通规划中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22(6): 113-120.
ZHANG Q, LIU K, GAO Z Y. An application of attribute synthetic evaluation system in urban traffic planning[J]. Systems Engineering-theory & Practice, 2002, 22(6): 113-120.
- [15] 周宗青, 李术才, 李利平, 等. 岩溶隧道突涌水危险性评价的属性识别模型及其工程应用[J]. 岩土力学, 2013, 34(3): 818-826.
ZHOU Z Q, LI S C, LI L P, et al. Attribute recognition model of fatalness assessment of water inrush in karst tunnels and its application[J]. Rock and Soil Mechanics,

- 2013, 34(3):818-826.
- [16] 程乾生. 属性识别理论模型及其应用[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1997, 33(1):12-20.
- CHENG Q S. Attribute recognition theoretical model and application[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 1997, 33(1):12-20.
- [17] 李军, 周成虎. 基于栅格 GIS 滑坡风险评价方法中网格大小选取分析[J]. 遥感学报, 2003, 7(2):86-92.
- LI J, ZHOU C H. Appropriate grid size for terrain based landslide risk assessment in Lantau island, Hong Kong [J]. Journal of Remote Sensing, 2003, 7(2):86-92.
- [18] 陈钢, 汤明高, 周泓, 等. 山区线性工程地质灾害风险动态评价方法及应用[J]. 防灾减灾工程学报, 2019, 39(3):24-532.
- CHEN G, TANG M G, ZHOU H, et al. Dynamic risk assessment method of geological hazard of linear engineering in mountainous area and its application[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2019, 39(3):524-532.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

Geologic Hazard Risk Assessment Based on GIS and AHP Attribute Identification Model: Taking Exploration Area of Fuling Shale Gasfield as an Example

WEN Tao^{1,2}, ZHOU Ziqiang², YING Sai¹, WANG Sheng^{1,3}, BAI Shuanglai¹, ZHOU Jiangsheng¹

(1. Chongqing Engineering Research Center for Structure Full-Life-Cycle Health Detection and

Disaster Prevention, Yangtze Normal University, Fuling Chongqing 408100;

2. Geological Hazards Prevention Institute, Gansu Academy of Sciences, Lanzhou 730000;

3. Geotechnical and Structural Engineering Research Center, Shandong University, Ji'nan 250061, China)

Abstract: [Purposes] A new regional geological disaster evaluation model is established to evaluate the risk of geological disaster in Fuling shale gas development area. [Methods] According to the characteristics of geological, hydrological and climatic of Fuling shale gas production area, six main influence factors were chosen as the evaluation indices including NDVI, land type, degree of slope, height of slope, annual peak daily precipitation and annual peak weekly precipitation. Based on GIS platform, the risk assessment of geological hazard of exploration area in Fuling shale gas field is identified by using AHP attribute identification model. [Findings] The results show that the risk of geological hazard of exploration area in Fuling shale gas field is high, the extremely high hazard area of 146.6 km² and the high hazard area of 743.6 km² take up 9.6% and 47.8% respectively in total exploration area. The high accuracy of proposed model is verified by 173 geological hazard points with historical records in research area, for resulting the risk zoning of geological disaster based on the evaluation results is consistent with the spatial distribution of geological hazard points, the spatial distribution show that 98 points distribute in extremely high hazard area, 56 points distribute in high hazard area, and only 19 points distribute in moderate and low hazard area. Using ROC curve to evaluate the accuracy of geological disaster evaluation results, the AUC value is 82.8%, showing that the evaluation model is reasonable. [Conclusions] The conclusion presents important references for construction planning of gas transmission pipelines, roads and buildings and disaster prevention and mitigation in exploration area.

Keywords: geological hazard; risk assessment; AHP attribute identification model; GIS

(责任编辑 方 兴)

(接正文17页)

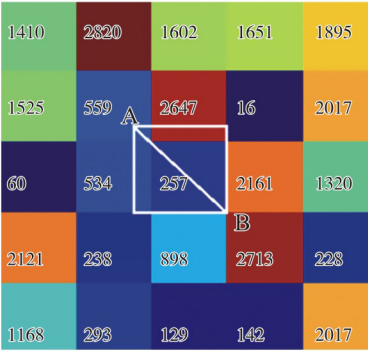


图3 噪声干扰计算方式示意图
Fig. 3 Schematic diagram of noise interference calculation method

(接正文52页)



图3 三峡水库白帝城岸坡治理工程
Fig. 3 Control engineering of bank geological disaster at Baidicheng in the Three Gorges reservoir



图4 万州太白公园危岩支撑结构
Fig. 4 Support structure of perilous rock at Taibaiyan, Wanzhou

(接正文52页)



图5 危岩树干型支撑
Fig. 5 Trunk-like support structure for perilous rock

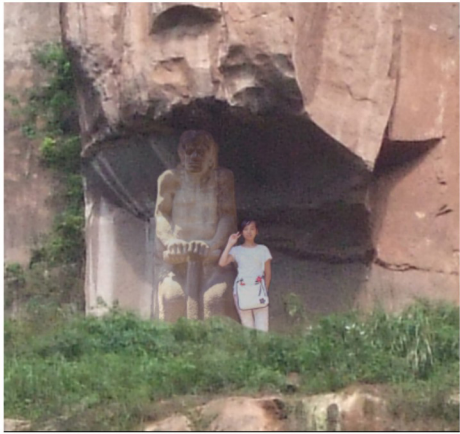
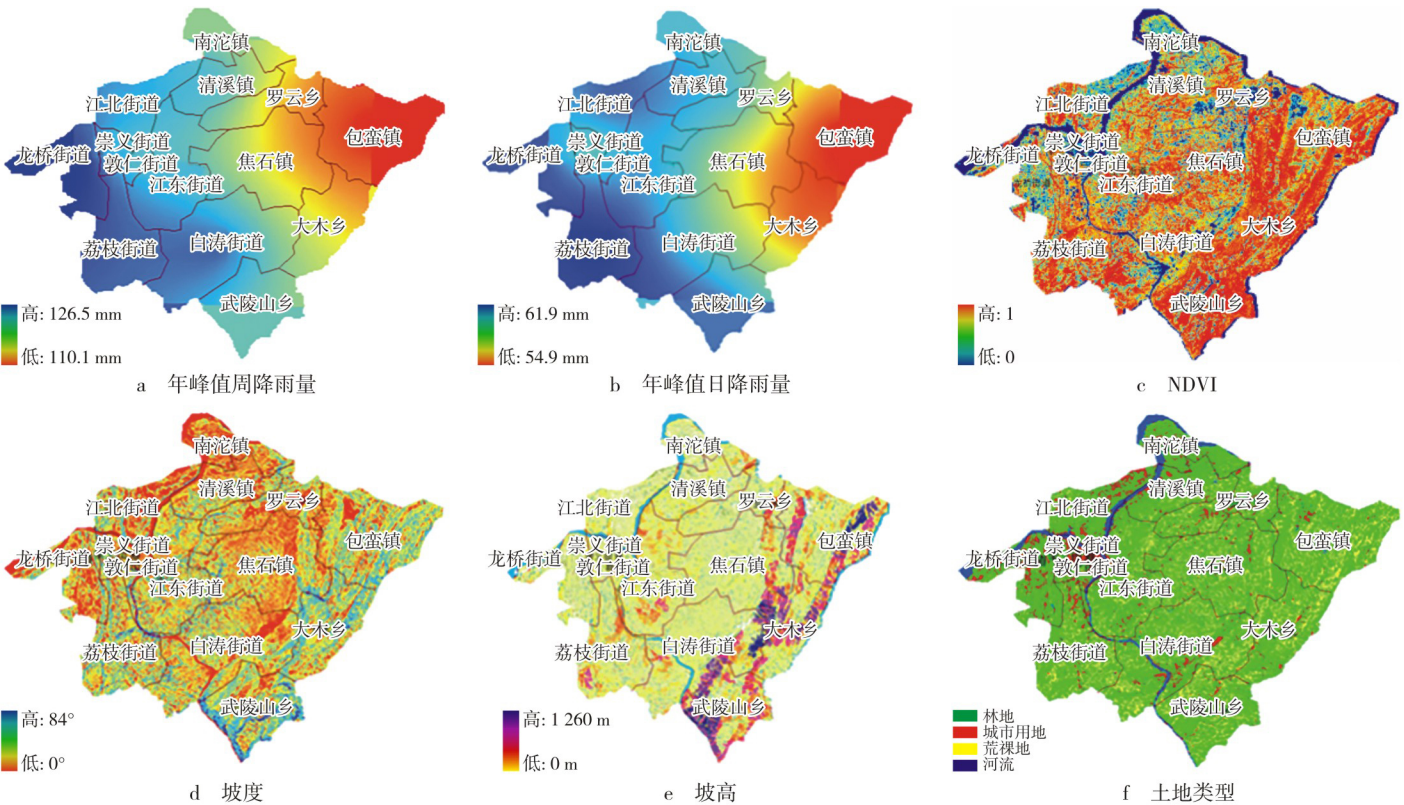


图6 佛撑结构
Fig. 6 Buddha statue-like support structure



图7 艺术型抗滑桩
Fig. 7 Artistic anti-slide pile

(接正文70页)



注：地图底图来源于BIGEMAP地图下载器百度地图，审图号GS(2018)5572号，下同

图1 涪陵页岩气开采区地质灾害危险性评价指标分布图
Fig. 1 Distribution map of risk evaluation indexes of geological disaster in Fuling shale gas filed

(接正文71页)

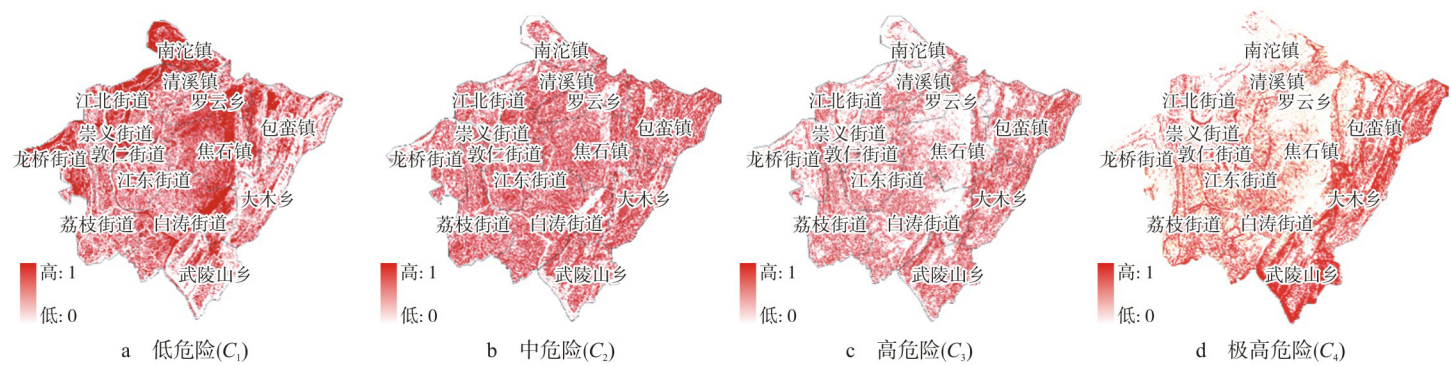


图2 坡度属性测度
Fig. 2 Attribute measure of slope

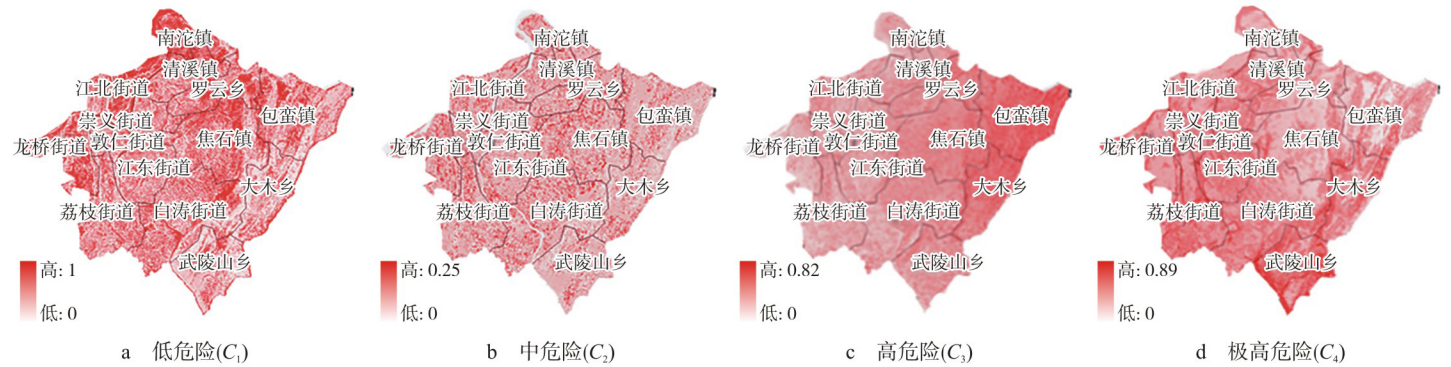


图3 多指标综合属性测度
Fig. 3 Comprehensive attribute measure of indexes

(接正文115页)

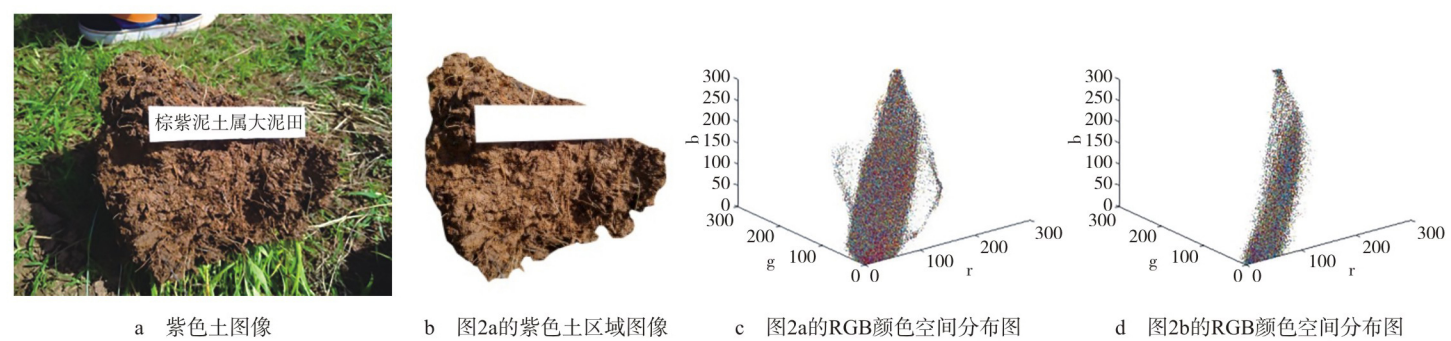


图2 图像数据分析介绍
Fig. 2 Introduction of image data analysis

(接正文141~142页)

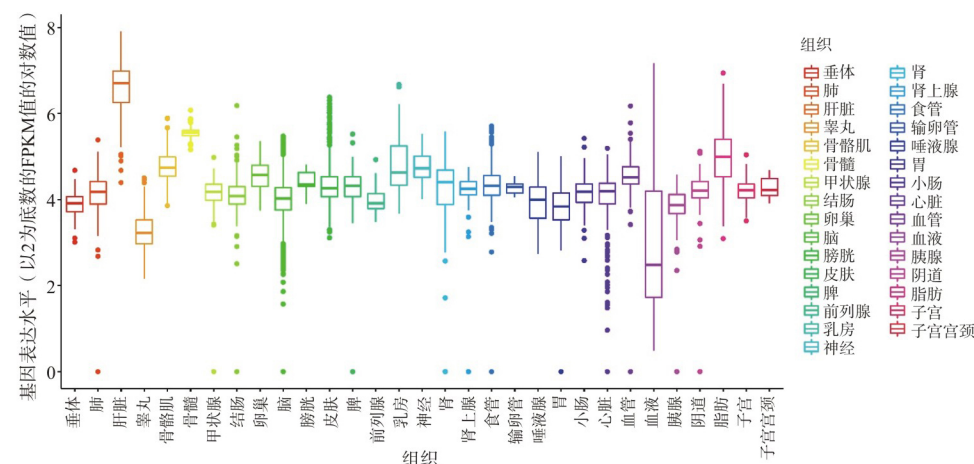


图1 MTHFD1基因在不同人体组织中的表达
Fig. 1 Expression of MTHFD1 gene in different human tissues

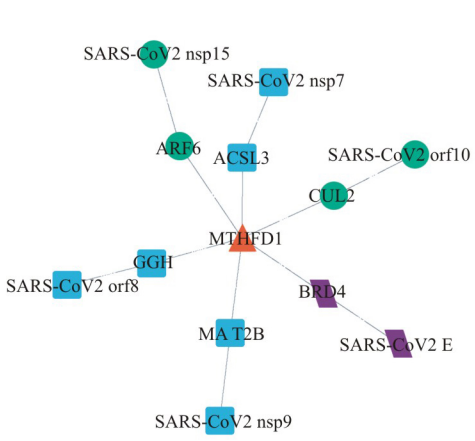


图3 与MTHFD1有交互关系的蛋白
Fig. 3 Proteins interacting with MTHFD1