信息量模型引入 AHP 的地质灾害危险性评价

——以贵州省松桃县为例

陆沙锋1.张 辉1.谢配红1,2

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局 106 地质大队,贵州 遵义 563000;2. 中国地质大学(武汉),湖北 武汉 430074)

[摘 要]在松桃县地质灾害危险性评价中,将层次分析模型(AHP)引入信息量模型,选取地层、 坡度、坡向、斜坡结构等8评价因子,分别对松桃县滑坡和崩塌两种主要灾种进行危险性评价, 并将评价结果按就高不就低原则叠加,实现了区域性的地质灾害危险性评价,并提出地势平缓 区的解决思路,有效避免了常规性信息模量评价中出现夸大地形平缓区域地质灾害危险性等级 的不合理结果。最终评价精度为80.3%,表明评价结果较好,可为相似区域的危险性评价提供 参考。

[关键词]地质灾害;信息量模型;层次分析模型;危险性评价

[中图分类号]P56;P642.22 [文献标识码]A [文章编号]1000-5943(2022)04-392-08

地质灾害危险性研究可为地方各级政府有效 开展自然灾害防治和应急管理工作。目前随着 GIS 技术的快速发展,地质灾害在易发性、危险性 评价等方面变得更加有效。国外的 NILSEN 等人 最早利用 GIS 技术对加利福尼亚的区域地质灾害 进行了易发性评价(NILSEN, T, H, et al, 1977), 国 内的刘希林(1988)率先在定性与定量结合分析的 基础上提出了多因子综合评价模型对地质灾害危 险性进行了评价。此后,国内众多学者借助 GIS 技术,利用各种理论和评价模型对地质灾害易发 性、危险性进行了评价(范强等,2015;许冲, 2012;孟祥瑞等,2016;宋亚娅等,2020)。目前常 用的地质灾害易发性及危险性评价模型包括:Logistic 回归法(黄健敏等,2016)、证据权法(郭长 宝等,2019)、信息量法(陈立华等,2020;张钟远 等,2022;张云波等,2022)、神经网络模型(张苏 平等,2003)、层次分析法(辛存林等,2020;张旭

光等,2012)、模糊评判法(常青等,2014)、确定性 系数法(刘月等,2020),概率指数模型(陈玉等, 2013)、以及多种方法耦合模型(田春山等,2016) 等。其中特别是信息量法、层次分析法等在地质 灾害易发性和危险性评价中最为常见(谭真艳 等,2021)。

由于常规的信息量法在山区地质灾害危险性 评价中没有考虑评价因子在评价体系中的重要程 度及影响情况,导致评价结果缺乏准确性。因此 针对信息量模型存在的不足,本文在信息量模型 中引入层次分析模型进行地质灾害危险性评价。 对于地质灾害以滑坡和崩塌为主的松桃县,为了 避免将一些地形平缓的区域尤其是县城及周边区 域评价为中危险及以上不合理结果,本文提出圈 定平坝区的解决思路,可为相似区域的危险性评 价提供参考。

[[]收稿日期]2022-07-02 [修回日期]2022-10-10

[[]基金项目]贵州省地矿局 106 地质大队科研项目资助(黔地矿 106 科合[2021]5 号);贵州省地矿局科研项目资助(黔地 矿科合[2017]13 号)。

[[]作者简介]陆泌锋(1995—),男,工程师,硕士研究生,从事水文地质、工程地质、环境地质研究。E-mail:1185547524 @qq.com。

[[]通讯作者]张辉(1987—),男,高级工程师,从事水文地质、工程地质、环境地质研究。E-mail:418099356@qq.com。

1 研究区概况

松桃县位于贵州省东北部,面积2859.1 km²。 境内山多地少,地质构造发育,地层岩性及其组合 多样,地质环境条件复杂,属贵州省地质灾害易发 区,如2020年7月8日发生的甘龙镇石板村田堡 组滑坡造成7人死亡,2016年6月11日发生的蓼 皋街道稿坪村水电站崩塌造成2人死亡。

松桃县发育地质灾害 167 处,其中滑坡 135 处、崩塌 22 处、泥石流 9 处、地面塌陷 1 处(图 1)。 可以看出,松桃县地质灾害以滑坡为主,其次为崩 塌,因此本文以 157 处滑坡和崩塌地质灾害作为 分析评价的样本。



图 1 松桃县地质灾害分布图 Fig. 1 Geological hazard distribution map of Songtao county 1—滑坡:2—崩塌:3—泥石流:4—地面塌陷

2 孕灾地质条件分析

2.1 地层

以往研究人员常将工程地质岩组作为孕灾条件之一,但通过统计分析,并不是所有的软质岩都 易产生滑坡,也不是所有的硬质岩都易产生崩塌, 松桃县地质灾害具有很强的地层倾向性,因此用 地层作为孕灾因子更具有针对性。

通过统计分析,可将松桃县滑坡和崩塌的孕 灾地层划分为极高、高、中、低四个等级。从图 2 (a)中可以看出,松桃县滑坡和崩塌地质灾害与地 层的相关性明显。

2.2 坡度

从图 2(b)中可以看出,松桃县崩塌均发育于 坡度大于 45°的斜坡上;滑坡在 25°~45°的斜坡上 最为发育,其次为 15°~25°的斜坡。

2.3 坡向

从图 2(c)中可以看出,松桃县滑坡和崩塌地 质灾害隐患在南东及北西坡向上较为发育,与松 桃县北东-南西向的基本构造格架一致,这是区域 构造作用的结果。

2.4 斜坡结构

从图 2(d)中可以看出,松桃县的滑坡灾害密 度在顺向坡中最大,其次为斜向坡和横向坡,反向 坡则是滑坡发育较少的斜坡结构类型。顺向坡尤 其是倾角较缓的顺向坡,其坡度一般不大,受岩土 交界面或地层中软弱夹层控制,易发生规模较大 的岩土混合型滑坡。

崩塌灾害均为岩质斜坡,在斜向坡及横向坡 中较为发育。

2.5 断层距离

从图 2(e)中可以看出,断层距离与地灾点密 度总体呈反相关关系,说明距离断层越远,发生地 质灾害的可能性越低。断层劣化了一定范围内的 岩体结构,使岩体破碎易形成崩塌,并使岩体更容 易受到后期风化作用的影响,导致在斜坡表层形 成了厚度较大的堆积体地貌,从而容易形成滑坡。

2.6 深切沟谷及河谷距离

从图 2(f)中可以看出,深切沟谷及河谷距离 与地灾点密度尤其是崩塌地质灾害反相关关系明 显。河流的快速下切形成了深切沟谷及河谷,使 两岸形成了陡坡甚至陡崖,陡崖易产生崩塌。陡 坡使斜坡呈凸型,基岩出露,易产生土质滑坡,若 在顺向坡中,且含有软弱夹层时,易产生岩质 滑坡。

3 地质灾害影响因素分析

3.1 降水

松桃县地质灾害主要发生在 5-7 月,占地质

3.2

滑坡。

人类工程活动

松桃县人类工程活动对滑坡地质灾害影响较 大,主要为公路切坡。从图 2(h)中可以看出,地

灾点密度与公路距离呈反相关关系。公路切坡对

滑坡地质灾害的影响主要为揭露了软弱夹层和基

覆界面,前者易产生岩质斜坡,后者易产生土质

灾害总数的 83.8%。从图 2(g)中可以看,降水量 与地灾点密度的关系在单日最大降水量大于 104 mm时总体呈正相关,而在降水量小于 104 mm 时却呈反相关。通过分析发现,出现异常的原因 是由于降水量小于 104 mm 的地区主要位于松桃 县西北部,该区域极高和高孕灾地层极为发育,顺 斜坡分布广泛,且人为切坡强烈,因此在降水量相 对不大的条件下也容易诱发滑坡。



Fig. 2 Relationship diagram between the area ratio of pregnancy disaster factor classification and the geological disaster density

4 地质灾害危险性评价

4.1 评价模型

信息量法是目前发展较为成熟的方法,信息 量值越大,表明发生地质灾害的可能性越大,单个 因子信息量值的计算公式如下:

$$I(X_{i}, x_{i}) = \ln \frac{N_{1}/N}{S_{1}/S}$$
(1)

式中: N_i 为在因子 X_i 的特定类别 x_i 中地质 灾害的个数;N为调查区灾害点总数; S_i 为因子 X_i 的特定类别 x_i 所占单元面积;S为调查区总面积。

但在上述信息量模型中,各评价因子的信息 量值没有考虑评价因子在评价体系中的重要程度 及影响情况,因此本文在信息量模型中引入层次 分析模型进行评价,该方法即考虑了信息量值,又 考虑了各因子的权重。加权信息量值的计算公式 如下:

$$Q(X_i, x_i) = W_i \cdot {}_{l}n \frac{N_1/N}{S_1/S}$$
(2)

式中:Wi为评价因子权重。

4.2 评价因子

危险性评价因子由易发性评价因子和影响因 子组成。基于前文的分析,易发性评价选取坡度、 坡向、地层、斜坡结构、断层距离、深切沟谷及河谷 距离等6个因子,滑坡灾害考虑降水和公路距离2 个影响因子;松桃县崩塌灾害基本不受人类工程 活动影响,因此不予考虑。各评价因子见图3。



Fig. 3 Evaluation factor classification

2022年39卷

4.3 加权信息量值的确定

4.3.1 权重的确定

评价因子的权重采用层次分析法确定。借助 层次分析法将所面临的复杂问题分解为一个个独 立的层面,而后建立层次模型,各自独立处理(图 4)。



图 4 层次结构模型

Fig. 4 Hierarchy model

在已建立的层次结构模型基础上,通过依次 对评价因子进行两两对比,结合松桃县实际情况, 确定各个因子的相对重要程度,根据1-9标度法 赋值,创建评价标准值,依次进行排序,最终得到 各因子的权重值,见表1。由于松桃县的地质灾 害主要为滑坡和崩塌,各因子在滑坡和崩塌中的 重要性不同,因此需分别计算权重。

4.3.2 加权信息量值的确定

根据全县滑坡和崩塌样本数量的统计,按公式(1)和公式(2)分别计算出滑坡和崩塌易发性的加权信息量值,见表2、表3。

表1 地质灾害因子权重表

Table 1 The v	veight t	able of	geological	disaster	factor
---------------	----------	---------	------------	----------	--------

目标层	准则层	准则层 权重	方案层	方案层 权重	组合权重 W
			坡度	0.20	0.130
			坡向	0.11	0.072
滑坡灾害危险性		地层	0.25	0. 163	
		发性 0.65	斜坡结构	0.18	0.117
	汤反忹		断层距离	0.13	0.085
			深切沟谷及 河谷距离	0.13	0. 085
			降水	0.64	0. 224
	影响 因素	0.35	公路距离	0.36	0. 126

ź	续表				
目标层	准则层	准则层 权重	方案层	方案层 权重	组合权重 W
			坡度	0.26	0. 169
			坡向	0.11	0.072
崩堤			地层	0.20	0.130
埦灾	易发性	0.65	斜坡结构	0.17	0.111
害			断层距离	0.13	0.085
危 险 性		深切沟谷及 河谷距离	0. 13	0. 085	
	影响 因素	0.35	降水	1.00	0.350

表 2 滑坡危险性加权信息量值计算表

Table 2 Calculation table of landslide risk

weighted information quantity

因子	组合权重 (W)	分级	信息量值 (I)	加权信息 量值(Q)
		$0 \sim 15$	-3.3191	-0.431 5
₩ 亩 (0)	0 120	$15 \sim 25$	0.0503	0.006 5
収度(*)	0.130	$25 \sim 45$	1.226 3	0.1594
		>45	-1.5190	-0.197 5
		$0 \sim 90$	-0.6494	-0.046 8
	0.070	$90 \sim 180$	0.472 6	0.034 0
坝 问(*)	0.072	$180 \sim 270$	-0.4277	-0.030 8
		$270 \sim 360$	0. 111 1	0.008 0
		极高孕灾地层	1.158 5	0.188 8
地民	0 163	高孕灾地层	0.618 1	0.1008
地/云	0. 105	中孕灾地层	-0.120 2	-0.019 6
		低孕灾地层	-1.872 8	-0.305 3
		顺向坡	0.465 6	0.054 5
斜披结构	0. 117	斜向坡	0.058 8	0.006 9
附收知钩		横向破	-0.128 3	-0.015 0
		逆向坡	-0.767 6	-0.089 8
断层距离 (m)	0. 085	<200	0.1034	0.008 8
		$200\sim500$	0.209 5	0.0178
		$500 \sim 1\ 000$	0.246 2	0.020 9
		>1 000	-0.196 6	-0.016 7
		<300	0.066 2	0.005 6
深切沟谷	0.005	$300 \sim 600$	0.2063	0.017 5
	0.085	$600 \sim 900$	-0.188 0	-0.016 0
1-1-1 (m)		>900	-0.084 7	-0.007 2
		<104	1.3109	0.2936
		$104 \sim 108$	-0.056 4	-0.012 6
		$108 \sim 112$	-0.021 6	-0.004 8
50 年一遇	0.004	$112 \sim 116$	0.008 2	0.001 8
半口) (mm)	0. 224	$116 \sim 120$	-0.407 5	-0.091 3
()		$120 \sim 124$	-0.295 9	-0.066 3
		$124 \sim 130$	0.2905	0.065 1
		>130	0.5009	0.1122

续表				
因子	组合权重 (W)	分级	信息量值 (1)	加权信息 量值(Q)
		<100	0.6799	0.085 7
公路距离	0 126	$100 \sim 200$	0.088 0	0.011 1
(m)	0. 120	$200 \sim 300$	-0.485 1	-0.061 1
		>300	-1.1970	-0.150 8

表 3 崩塌危险性加权信息量值计算表

Table 3 Calculation table of collapse risk weighted

information quantity					
因子	组合权重 (W)	分级	信息量值 (1)	加权信息 量值(Q)	
		$0 \sim 15$	0.000 0	0.000 0	
₩亩(0)	0 160	$15 \sim 25$	0.000 0	0.000 0	
収度(*)	0. 169	$25 \sim 45$	0.000 0	0.000 0	
		>45	2.694 1	0.4553	
		$0 \sim 90$	-1.032 3	-0.074 3	
	0.072	$90 \sim 180$	0.494 8	0.035 6	
	0.072	$180 \sim 270$	-0.458 8	-0.033 0	
		$270 \sim 360$	0.233 6	0.016 8	
		极高孕灾地层	1.6787	0.2182	
바르	0 120	高孕灾地层	-0.045 9	-0.006 0	
地伝	0. 150	中孕灾地层	0.1479	0.019 2	
		低孕灾地层	0.000 0	0.000 0	
		顺向坡	-0.716 0	-0.079 5	
斜坡结构	0. 111	斜向坡	-0.052 0	-0.005 8	
		横向破	0.404 8	0.044 9	
		逆向坡	-0.252 6	-0.028 0	
		≤200	0.1264	0.0107	
断层距离	0.005	$200\sim500$	0.414 3	0.035 2	
(m)	0. 085	$500 \sim 1\ 000$	-0.275 3	-0.023 4	
		≥1000	-0.095 5	-0.008 1	
		≤300	1.2192	0.103 6	
深切沟谷 西河公	0.085	$300 \sim 1\ 600$	0.019 1	0.001 6	
及河谷 距离(m)	0.085	$600 \sim 900$	-1.5917	-0.135 3	
		≥900	0.000 0	0.000 0	
		<104	1.3109	0.458 8	
		$104{\sim}108$	-0.056 4	-0.019 7	
		$108 \sim 112$	-0.021 6	-0.007 6	
50 年一遇	0.250	$112 \sim 116$	0.008 2	0.002 9	
モロP年小 (mm)	0.350	$116 \sim 120$	-0.407 5	-0.142 6	
× /		$120 \sim 124$	-0.295 9	-0.103 6	
		$124 \sim 130$	0.2905	0.1017	
		>130	0.5009	0.1753	

4.4 危险性评价及分区

在评价之前,首先确定平坝区,因为对于地质

灾害主要为滑坡和崩塌的松桃县而言,平坝区地形 平缓,发生滑坡及崩塌的可能性较低,为了防止后 续评价过程中将平坝区的危险性评价为中危险以上 的不合理结果。本文将境内大面积坡度小于 8°的区 域概化后作为平坝区(图 5),并在评价过程中通过条 件判别直接将该区域的危险性评价为低危险等级。



图 5 松桃县平坝区分布图 Fig. 5 Distribution map of Pingba area in Songtao county 1—平坝区;2—非平坝区

平坝区确定后,利用 GIS 的空间分析功能,在 每个评价单元中分别将滑坡和崩塌各评价因子的 危险性加权信息量值进行相加,从而得到各个评价 单元中滑坡和崩塌危险性总信息量值,分别得到滑 坡和崩塌的危险性栅格图,并按自然断点法将滑坡 和崩塌的危险性划分为极高、高、中、低四个等级, 再将两者按就高不就低的原则叠加,生成总地质灾 害的危险性栅格图,见图 6,最后将危险性评价栅格 图基于相似性、相近性的原则概化,形成松桃县地 质灾害危险性分区图,见图 7。各区统计见表 4。



 图 6 松桃县地质灾害危险性评价栅格图
 Fig. 6 Grid diagram of geological hazard risk assessment in Songtao county
 1一极高危险;2一高危险;3一中危险;4—低危险



图 7 松桃县地质灾害危险性分区图

Fig. 7 Geological hazard risk zoning map in Songtao county 1-极高危险;2-高危险;3-中危险;4-低危险;5-地灾点

	1	松桃县地质灾害危险性评价结果统计表	
--	---	-------------------	--

Table 4 Statistical table of geological hazard risk

assessment results in Songtao county

危险性分区	亚区 数量 (个)	面积 (km ²)	面积 占比 (%)	灾害 点数量 (个)	灾害点 密度 (处/km ²)
极高危险区	6	182.18	6.4	50	0.274 5
高危险区	15	1 034.02	36.2	89	0.086 1
中危险区	13	729. 59	25.5	25	0.034 3
低危险区	8	913.31	31.9	3	0.003 3

4.5 评价结果验证

ROC 曲线可对危险性评价结果的准确性进行 检验。曲线之下与横坐标轴包围的面积为 AUS 值,该值是衡量评价质量的指示器,AUS 值越接近 于1,说明评价结果越准确。由图 8 可以看出,松 桃县地质灾害危险性评价的 AUS 值为 0.803,即 评价精度为 80.3%,说明评价结果较好。



5 结论

(1)松桃县地质灾害受坡度、坡向、地层、斜坡 结构、断层距离、深切沟谷及河谷距离、降水和人 为切坡的影响较大,地质灾害往往在上述因素综 合作用下产生。

(2)松桃县地质灾害的分布与危险分区的相关性较好,通过 ROC 曲线验证, AUS 为 0.803, 说明评价精度较高, 评价方法合理。

(3)对于极高危险区和高危险区,要尽量避免 大规模城镇和工程建设,尤其是要限制大规模的 人为切坡,避免人为主动诱发地质灾害。

[参考文献]

- 常青,刘琳,苗利勇.2014. 基于模糊综合评判法临潼区地质灾害 危险性评价[J]. 中国人口资源与环境,24(S1):355-358.
- 陈立华,李立丰,吴福,等.2020. 基于 GIS 与信息量法的北流市地 质灾害易发性评价[J].地球与环境,48(4):471-479.
- 陈玉,郭华东,王钦军.2013. 基于 RS 与 GIS 的芦山地震地质灾害 敏感性评价[J]. 科学通报,58(36):3859-3866.
- 范强,巨能攀,向喜琼,等.2015. 基于结果验证的信息量法地质灾 害易发性评价——以贵州省开阳县为例[J].人民长江,46 (15):65-68.
- 黄健敏,赵国红,廖芸婧,等.2016. 基于 Logistic 回归的降雨诱发 区域地质灾害易发性区划及预报模型建立——以安徽歙县 为例[J].中国地质灾害与防治学报,27(3):98-105.
- 刘希林.1988. 泥石流危险度判定的研究[J]. 灾害学,310-15.
- 刘月,王宁涛,周超,等.2020. 基于 ROC 曲线与确定性系数法集 成模型的三峡库区奉节县滑坡易发性评价[J]. 安全与环境 工程,27(4):61-70.
- 孟祥瑞,裴向军,刘清华,等.2016. GIS 支持下基于因子分析法的 都汶路沿线地质灾害易发性评价[J].中国地质灾害与防治 学报,27(3):106-115.
- 宋亚娅,张航泊.2020. 基于加权模糊概率的地质灾害易发性评价 模型研究[J].人民长江,51(11):109-115.
- 谭真艳,罗晓龙,陈怡,等.2021. 渝东北典型盆缘山区高位崩滑灾 害风险评价——以巫溪县宁桥片区为例[J]. 中国地质灾害 与防治学报,32(5):70-78.
- 田春山,刘希林,汪佳.2016. 基于 CF 和 Logistic 回归模型的广东 省地质灾害易发性评价[J].水文地质工程地质,43(6):154 -161+170.
- 辛存林,施紫越,任文秀,等.2020. 甘肃天水市北山地质灾害危险 度区划[J]. 兰州大学学报(自然科学版),56(1):16-24.
- 许冲.2012. 汶川地震滑坡灾害分布规律与危险性评价[J]. 岩石 力学与工程学报,31(2):432-432.
- 张苏平,王兰民,马尔曼.2003. GIS 技术和神经网络模型在地震地

质灾害小区划中的应用研究[J]. 西北地震学报,25(4):44-50.

张旭光,李瑞冬.2012. 基于层次分析法和 GIS 的甘肃省武山县地 质灾害易发性区划研究[J]. 甘肃地质,21(3):71-78.

张云波,曾磊,付弘流,等.2022. 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,33(1):44-49.

- 张钟远,徐世光,李超,等.2022. 基于 GIS 和加权信息量模型的绿 春县城地质灾害易发性评价[J].地质灾害与环境保护,33 (1):37-43.
- NILSEN T H, BRABB E E. 1977. 18 slope-stability studies in the San Francisco Bay region, California [J]. Reviews in Engineering Geology, 233-244.

Risk Assessment of Geological Disaster by Introducing Information Quantity Model AHP

LU Bi-feng¹, ZHANG Hui¹, XIE Pei-hong^{1,2}

(1. 106 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Zunyi 563000, Guizhou, China; 2. China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, Hubei, China)

[Abstract] The analytic hierarchy process is introduced into the information quantity model in the risk assessment of geological hazards in Songtao county. And eight factors including stratum, slope, aspect, slope structure, etc, are selected to evaluate the risk of landslide and collapse in Songtao county. The evaluation results are superimposed according to the principle of actual situation, and the regional geological hazard assessment is realized. By putting forward the solution idea of the flat terrain area, the unreasonable result of exaggerating the risk level of geological disasters in the flat terrain area in the conventional information modulus evaluation is effectively avoided. The final evaluation accuracy was 80. 3%, indicating that the evaluation results were good, which can provide reference for risk assessment of similar areas.

[Key Words] Geological disaster; Information quantity model; Analytic hierarchy model; Risk assessment