



# 基于斜坡单元与组合赋权法的东川区地质灾害危险性评价

赵晓燕<sup>1</sup>, 谈树成<sup>2\*\*</sup>, 李永平<sup>1</sup>

(1. 内江师范学院 地理与资源科学学院, 四川 内江 641000; 2. 云南大学 地球科学学院, 云南 昆明 650500)

**摘要:**针对单一评价方法在地质灾害危险性评价中的弊端,采用斜坡单元与组合赋权法相结合开展地质灾害危险性评价。借助 ArcGIS 平台,以水文分析法建立斜坡单元,选取坡度、坡向、距道路的距离、距河流的距离、距断层的距离、岩性、降水量、高程、土地利用类型 9 个评价因子,采用层次分析法和熵权法相结合的组合赋权法确定评价因子的综合权重,将东川区地质灾害危险性等级划分为极高危险区、高危险区、中危险区和低危险区。研究结果表明,斜坡单元能够较好地反映微观地貌特征;危险性分区结果与地质灾害点实际分布相吻合;研究区的中东部和北部地区是地质灾害分布密集区,地质环境脆弱,人类活动明显,危险性较高。

**关键词:** 斜坡单元; 层次分析法; 熵权法; 地质灾害危险性评价; 东川区

中图分类号:X43; P694 文献标志码:A 文章编号:0258-7971(2021)02-0299-07

地质灾害是在自然因素、人文因素或者自然与人文因素共同作用下形成的对生态环境或人类生命财产造成破坏的地质作用或现象。滑坡、泥石流、崩塌地质灾害具有破坏性、突发性和频繁性的特征,其危险性和影响程度仅次于地震,是对人们的生产生活造成严重影响的自然灾害类别<sup>[1]</sup>。开展地质灾害危险性评价研究,可为地质灾害防治提供科学依据。

地质灾害危险性评价中较为核心的两个部分是评价尺度的选取和评价方法的确定,它们将决定评价结果的科学性、准确度和可行性。目前,常用的评价单元划分方法有栅格单元<sup>[2-4]</sup>、地域单元<sup>[5]</sup>、子流域单元<sup>[6]</sup>、均一条件单元<sup>[7]</sup>和斜坡单元等<sup>[8-9]</sup>。其中,栅格单元因其划分方法简单且易于计算备受学者们的喜爱,但是对地质构造复杂、地形起伏较大的地区实用性不强且精度不高<sup>[10-11]</sup>;子流域单元适用于泥石流灾害危险性区划,对滑坡、崩塌等不适用;均一条件单元没有考虑不同区域的地质环境条件差异。如何确定致灾因子的权重值,成为地质

灾害危险性评价中的另一个关键问题。常见确定权重的方法有信息量法、层次分析法、熵权法、神经网络模型、逻辑回归模型等等,根据对原始数据处理方式的不同,大致可以分为主观赋权法和客观赋权法两类<sup>[12]</sup>。主观赋权法受人为因素影响较大,主要依靠个人经验来确定权重值的大小,其评价结果具有较强的主观随意性;客观赋权法以较强的数学理论作为决策依据,但易于过度依赖客观数据,忽视了专家经验对权重确定的重要性,其评价结果往往不尽人意。针对单一评价方法的缺点和不足,基于主客观相结合的组合赋权法逐渐成为学者们的选择。Long 等<sup>[13]</sup>、贾贵义等<sup>[14]</sup>、邓越等<sup>[15]</sup>、周平华等<sup>[16]</sup>和谈树成等<sup>[17]</sup>采用层次分析法和信息量组合赋权法开展了地质灾害危险性评价,把定性和定量相结合,发现其中的规律具有较强的数理理论依据,其评价结果与实际调查吻合度较高。邢钊<sup>[18]</sup>、高立兵等<sup>[19]</sup>、叶潇潇等<sup>[20]</sup>和施龙青等<sup>[21]</sup>采用熵权法(信息熵)与层次分析法耦合赋权开展地质灾害危险性评价,通过实地验证,其评价结果与现场

收稿日期:2020-04-20; 接受日期:2020-09-27; 网络出版日期:2021-01-20

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(121201203000160009); 云南大学“服务云南行动计划”(2016ZD07); 内江师范学院校级科研项目(2019QN01)。

作者简介:赵晓燕(1990-),女,四川人,硕士,助教,主要研究 GIS 与灾害地质。E-mail: 843358083@qq.com。

\*\* 通信作者:谈树成(1970-),男,河南人,博士,教授,主要研究矿产地质、环境地质与灾害地质。E-mail: shctan@ynu.edu.cn。

调查结果相符合,实用性较高. Shi 等<sup>[22]</sup>运用信息熵计算砂岩厚度、冲洗液耗量、岩心采收率、断层分形维数和褶皱分形维数 5 个评价指标的权重,并用改进的集对分析评价准则确定地下水潜力等级. Xu 等<sup>[23]</sup>首先采用主成分分析方法进行岩爆特征选择,在计算出新的参数基础上,采用信息熵确定岩爆预测因子的权重验证模型的正确性.由此可见,信息熵确定权重的方法不仅运用在地质灾害评价领域,也可应用在岩土工程和地下水探测领域.

本文在对东川区地质地理环境调查和分析的基础上,采用斜坡单元法进行评价尺度的确定,运用层次分析法和熵权法组合赋权开展东川区地质灾害危险性评价,其评价结果与野外实地验证相吻合,可以为东川区地质灾害的防治与土地资源的规划提供一定的借鉴和参考.

## 1 研究区概况

研究区位于云南省东北部的小江流域,地处云贵高原北部边缘地区,隶属于云南省昆明市,地理范围为  $102^{\circ}47' \sim 103^{\circ}18' E$ ,  $25^{\circ}57' \sim 26^{\circ}32' N$ ,总面积为  $1858.79 km^2$ . 区内山高谷深、地势险峻,最高海拔  $4344.1 m$ ,最低海拔  $695 m$ ,海拔相差  $3649.1 m$ ;受小江断裂带的影响,属于强地震区,地表岩石破碎且稳定性较差;属亚热带季风气候,受地形和大气环流的影响,垂直地带明显,年平均降水量约为  $1000.5 mm$ ,月最大降水量  $208.3 mm$ ,日最大降水量  $153.3 mm$ ,年蒸发量为  $1856.4 mm$ . 其中雨季集中在 5—9 月,夏季多出现局地性单点暴雨,降水量充沛,侵蚀作用强烈,形成了深切的峡谷地貌. 研究区矿产资源种类多、分布广且储量丰富,尤其是铜矿和铁矿,拥有两千多年的铜矿开采史,伐木炼铜、过度垦殖等人类活动导致森林资源遭到毁灭性的破坏,植被覆盖率低. 岩性涵盖变质岩、岩浆岩和沉积岩三大岩类,其中以第四系的洪积相分布最广,主要分布在山间盆地和河谷区. 由于区内独特的地质地理环境以及人类活动的长期干预和破坏,致使东川区滑坡、泥石流和崩塌地质灾害频发,其中尤以泥石流灾害最为严重.

## 2 斜坡单元划分的原理及划分结果

地质灾害评价中较为重要的是研究“谁”的安全性,即确定评价对象. 滑坡、泥石流和崩塌地质灾害的发生与地形、地质、边坡破坏力学机理与环

境边界有着密不可分的关系. 斜坡单元是基于沟谷面划分的评价单元,对局部地区的地形地貌有良好的表现作用,同时对滑坡、泥石流、崩塌地质灾害有较强的控制作用,故常作为地质灾害评价的基本单元<sup>[7]</sup>.

斜坡单元是集水区的一部分,依据斜坡的自然特征,将山谷线与山脊线交汇所组成的坡面定为斜坡单元,运用水文分析的方法确定山谷线(汇水线)和山脊线(分水线). 本文运用 ArcGIS 中的水文分析工具对东川区 DEM 数据进行提取划分出斜坡单元,在斜坡单元划分时,需要遵循地质灾害点尽量处于一个斜坡上(除泥石流灾害外);划分出的斜坡单元与实际的山体斜坡要吻合;斜坡单元的精度要满足地质灾害评价需要的 3 个原则. 斜坡单元具体的划分方法和流程如下:首先,进行正反向洼地 DEM 填充,生成水流流向图;其次,计算正反向水流的汇流累积量,设置一定的流量阈值,生成正反向河网图和集水流域;最后,根据调查的地形实际情况对生成好的斜坡单元进行人工检视和修正,得到由汇水区和分水线组成的区域单元即为斜坡单元(图 1).

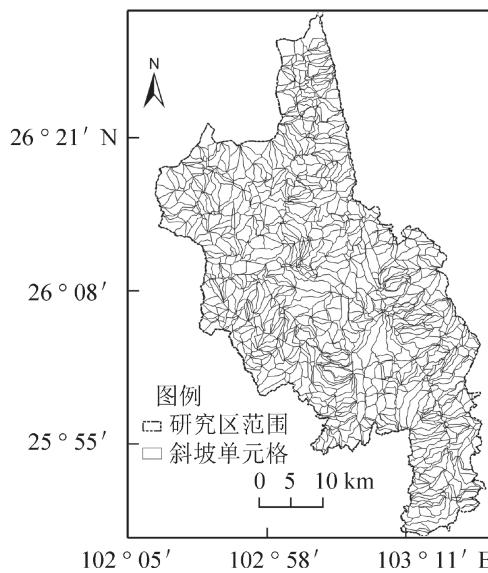


图 1 东川区斜坡单元划分结果  
Fig. 1 Division results of slope unit in Dongchuan District

## 3 危险性评价分区及结果分析

**3.1 评价指标因子的选取** 通过对滑坡、泥石流和崩塌地质灾害孕育环境和发生条件的分析,研究结合东川区野外实地调查的数据和资料,借鉴前人在东川区地质灾害研究中指标因子的选取以及影

响东川区地质灾害发生致灾因子的分析,本文选取坡度、高程、地层岩性、距断层的距离、坡向、土地利用类型、距道路的距离、距河流水系的距离以及降水量 9 个因子作为评价指标。根据每个评价因子

的特征以及对地质灾害发生的贡献程度,参考众多学者对指标因子分级量化的方法,将研究区的 9 个评价指标进行了量化分级,其具体的分级情况如表 1 所示。

表 1 东川区地质灾害评价指标因子及分级

Tab. 1 Classification of index factors for geological hazard evaluation in Dongchuan District

分级	坡度/ (°)	高程/m	地层岩性	距断层的 距离/m	坡向/(°)	土地利用 类型	距道路的 距离/m	距河流水系的 距离/m	降水量/ mm
1	<15	<2000	硬岩	>1 500	西(225~315)	林地/水域	>900	>1 500	≤800
2	15~30	2 000~2 500	软硬间夹岩	1 000~1 500	北(315~360, 0~45)	建设用地	600~900	1 000~1 500	>800
3	30~45	2 500~3 000	软岩	500~1 000	南(135~225)	耕地	300~600	500~1 000	—
4	>45	>3 000	松散黏土	<500	东(45~135)	裸地	<300	<500	—

**3.2 层次分析法的计算** 层次分析法是一种主观赋权法,将与决策相关的元素分解为目标层、要素层和因子层,在此基础上进行定性和定量分析。根据各指标因子对地质灾害发生的重要程度,运用专家打分法确定各评价指标因子不同分级的判别分值,构造判断矩阵,综合确定各层次各因素之间的权重。首先,将每个评价因子的权重值与对应因子的判别分值求积,得到单个评价单元的权重值;其次,对所有评价单元权重值进行叠加求和,得到该研究区地质灾害的评价值,具体的计算方法如下:

$$W_j = \sum_{j=1}^n \theta_j Q_j, \quad (1)$$

式中,  $W_j$  为层次分析法求得的各评价因子的权重值;  $\theta_j$  为第  $j$  类评价指标的权重;  $Q_j$  为第  $j$  类指标的赋值;  $n$  为评价指标的个数。

本文运用层次分析法构建了影响地质灾害发生的层次模型,构建的判断矩阵并进行权重计算和一致性检验,通过专家打分法对评价指标进行了分级赋值,最后运用公式(1)计算出每个评价指标因子的权重值,如表 2 所示。

**3.3 熵权法的计算** 熵权法又称信息熵,是一种客观赋权法。信息熵越大,信息的不确定性越大,其效用值越小,反之其效用值越大。影响地质灾害发生的影响因子有很多,不同的影响因子对地质灾害发生的贡献程度不同,运用信息熵可以定量地衡量评价因子差异程度的大小,能够反映各评价因子的效用价值,可用来计算评价因子的权重值。首先,构建评价指标矩阵,矩阵由若干斜坡单元与每个斜坡单元的 9 个评价指标所构成;其次,进行标准化处理得

到标准化矩阵,由于影响地质灾害发生的评价指标中,不同指标分级对地质灾害发生的贡献大小不同,通过标准化处理后,将数据转化为无量纲的数据进行比较;最后,运用公式(2)和公式(3)建立信息熵,运用公式(4)计算各评价指标的权重值,其权重值越大对地质灾害发生的贡献率越大,越容易触发地质灾害的发生,反之越小。本文运用熵权法对东川区影响地质灾害发生的 9 个评价指标开展了评价,计算出各个评价指标的熵权值。见表 2。

表 2 层次分析法(AHP)、熵权法以及两种方法耦合得到的权重值

Tab. 2 The weight value obtained by analytic hierarchy process(AHP), entropy weight method and coupling the two methods

评价 因子	层次分析法 权重	熵权法 权重	综合 权重
坡度	0.112 6	0.093 6	0.075 0
高程	0.029 7	0.171 3	0.036 2
地层岩性	0.059 5	0.108 1	0.045 8
距断层的距离	0.029 8	0.068 4	0.014 5
坡向	0.047 3	0.046 8	0.015 8
土地利用类型	0.077 4	0.100 2	0.055 2
距道路的距离	0.154 7	0.087 9	0.096 9
距河流水系的距离	0.326 0	0.245 4	0.569 7
降水量	0.163 0	0.078 2	0.090 8

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}}, \quad (2)$$

$$E_j = -K \sum_{j=1}^n P_{ij} \ln P_{ij}, \quad (3)$$

$$V_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^n (1 - E_j)}, \quad (4)$$

式中,  $P_{ij}$  表示评价指标  $j$  在第  $i$  个样本中出现的频率,  $0 < P_{ij} < 1$ ;  $r_{ij}$  表示第  $i$  个样本的第  $j$  项评价指标无量纲处理后的值;  $V_j$  表示  $j$  评价指标地质灾害危险性的综合权重;  $E_j$  表示第  $j$  项评价指标的信息熵;  $n$  为评价指标的个数,  $K$  为常量.

**3.4 综合权重值的计算** 通过将主观赋权法与客观赋权法得到的权重值进行耦合, 能够避免单一评价方法的缺点和不足. 本文利用乘数归一法(公式(5))将层次分析法和熵权法得到的权重值进行耦合, 得到各评价指标因子的综合权重值(表 2).

$$F_{\text{总}} = \sum_{j=1}^n W_j V_j, \quad (5)$$

式中,  $F_{\text{总}}$  表示评价单元的综合权重值,  $W_j$  表示层次分析法求得的各评价因子的权重值;  $V_j$  表示熵权法求得的各评价因子的权重值.

**3.5 评价结果分析** 运用 ArcGIS 中的自然断点法对层次分析法与熵权法耦合得到的权重值进行了重新分类, 将研究区地质灾害危险程度分为极高危险区、高危险区、中危险区和低危险区, 得到东川区地质灾害危险性评价图(图 2). 综合权重值越大, 地质灾害危险性程度越高, 发生滑坡、泥石流、崩塌等地质灾害的可能性越大.

基于以上研究区地质灾害危险性分区的科学性和适用性, 本文将从区域综合特性的体现、危险性分区结果与野外实际调查灾害点的吻合度进行探讨和分析.

(1) 区域地理环境特征的体现情况. 东川区地理环境特征中地形地貌、岩性、河流水系等孕灾条件, 可以反映在地质灾害危险性评价等级中. 因此, 能否良好地从宏观角度顾及到局部区域的地形特征是衡量地质灾害危险性分区科学性的重要指标. 本文将野外实际调查灾害点与危险性评价结果相比较, 发现以斜坡单元为尺度开展的评价, 能够很好地表达局部地区的地形地貌特征, 对地质灾害发生的孕灾环境体现较为合理. 以图 3 为例, 从野外调查图可以看出崩塌面清晰, 岩石破碎且堆积在山

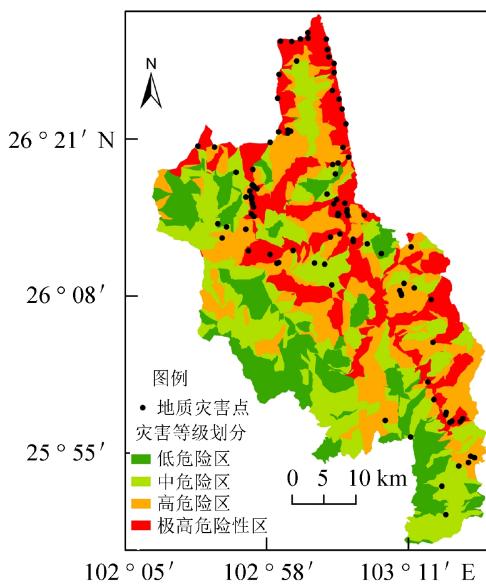


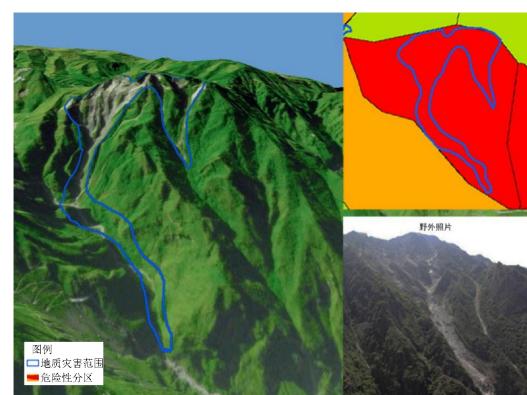
图 2 东川区地质灾害危险性评价结果图

Fig. 2 The risk assessment result chart of geological hazard in Dongchuan District

谷, 从区域综合宏观角度可以整体定为高危区域.

(2) 东川区地质灾害危险性分区结果与地质灾害点实际分布的吻合情况. 本文通过对东川区地质灾害危险性分区的面积和地质灾害个数进行统计, 分析灾害点在每个分区所占的比例进一步衡量两者之间的吻合度, 如表 3 所示. 运用层次分析法与熵权法耦合所得的地质灾害危险性分区中, 高危险区和极高危险区的面积为  $907.344 \text{ km}^2$ , 86.73% 的地质灾害点落在了这 2 个区域. 可见, 东川区地质灾害的危险性分区与地质灾害分布情况的吻合度较高, 评价结果具有一定的准确性和科学性.

(3) 东川区的高危险区和极高危险区主要分布在中东部和北部, 区域内河流水系发达, 地势起伏



蓝线勾画部分为受地貌影响下的崩塌地质灾害; 红色区域为地质灾害评价结果中的极高危险区.

图 3 斜坡单元尺度下区域评价分析

Fig. 3 Analysis of regional evaluation at the scale of slope unit

表 3 东川区地质灾害危险性区划统计

Tab. 3 Statistics of geological hazard regionalization in Dongchuan District

危险性分区	面积/ km <sup>2</sup>	比例/ %	地质灾害数量/ 处	灾害比例/ %
极高危险区	414.717	22.43	57	58.16
高危险区	492.627	26.65	28	28.57
中危险区	582.85	31.53	10	10.21
低危险区	358.599	19.39	3	3.06

较大, 人类开矿及修建道路活动明显, 坡面植被稀少且岩土体结构松散, 滑坡、泥石流、崩塌地质灾害发育且分布密集, 危险性较高。

#### 4 结论

以东川区的崩塌、滑坡、泥石流地质灾害为研究对象, 以斜坡单元为地质灾害易发性分区手段, 采用层次分析法和熵权法相结合的组合赋权法开展评价, 从区域综合特性的体现、危险性分区结果与野外实际调查灾害点的吻合情况进行了分析, 得出以下结论:

(1) 以斜坡单元为地质灾害发育的基本单元, 并将其作为研究尺度的评价单元, 体现河流和沟谷发育阶段对地质灾害的控制作用, 能够较好地反映区域中微观的地貌特征, 并综合体现地质环境控制因素对灾害发育的影响作用, 与地质灾害发生的危险状况相契合, 使东川区的评价结果更贴近于实际。

(2) 将危险性分区面积与灾害点个数进行统计, 发现东川区评价分区结果与地质灾害点实际分布情况相吻合, 分级层次明显且危险性等级分区的准确性较高。

(3) 东川区地质灾害主要分布在中东部和北部地区, 地质环境脆弱, 人类活动明显, 危险性较高。

#### 参考文献:

- [1] 刘肖姬. 东川地区滑坡危险性的遥感和 GIS 评价 [D]. 北京: 中国地质大学, 2015.
- Liu X J. Dongchuan landslide hazard evaluation using remote sensing and GIS[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2015.
- [2] 谈树成, 赵晓燕, 李永平, 等. 基于 GIS 与信息量模型的地质灾害危险性评价——以云南省丘北县为例 [J]. 西北师范大学学报: 自然科学版, 2018, 54(1): 67-76.
- Tan S C, Zhao X Y, Li Y P, et al. Risk assessment on the geological disasters based on GIS and information content model: Taking Qiubei County, Yunnan Province as an example[J]. Journal of Northwest Normal University: Natural Science, 2018, 54(1): 67-76.
- [3] 谈树成, 赵娟娟, 杨林, 等. 基于 GIS 和信息量-快速聚类模型的滑坡易发性研究——以云南省福贡县为例 [J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2018, 40(6): 1 148-1 158. DOI: [10.7540/j.ynu.20180268](https://doi.org/10.7540/j.ynu.20180268).
- Tan S C, Zhao J J, Yang L, et al. Evaluation of landslide susceptibility based on GIS and the information value & the K-means cluster model: Take Fugong County as an example[J]. Journal of Yunnan University: Natural Sciences Edition, 2018, 40(6): 1 148-1 158.
- [4] 唐川, 马国超. 基于地貌单元的小区域地质灾害易发性分区方法研究 [J]. 地理科学, 2015, 35(1): 91-98.
- Tang C, Ma G C. Small regional geohazards susceptibility mapping based on geomorphic unit[J]. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(1): 91-98.
- [5] 张永双, 郭长宝, 姚鑫, 等. 青藏高原东缘活动断裂地质灾害效应研究 [J]. 地球学报, 2016, 37(3): 277-286. DOI: [10.3975/cagsb.2016.03.03](https://doi.org/10.3975/cagsb.2016.03.03).
- Zhang Y S, Guo C B, Yao X, et al. Research on the geohazard effect of active fault on the eastern margin of the Tibetan Plateau[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2016, 37(3): 277-286.
- [6] 胡瑞林, 范林峰, 王珊珊, 等. 滑坡风险评价的理论与方法研究 [J]. 工程地质学报, 2013, 21(1): 76-84. DOI: [10.3969/j.issn.1004-9665.2013.01.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-9665.2013.01.009).
- Hu R L, Fan L F, Wang S S, et al. Theory and method for landslide risk assessment-current status and future development[J]. Journal of Engineering Geology, 2013, 21(1): 76-84.
- [7] 邱海军. 区域滑坡崩塌地质灾害特征分析及其易发性和危险性评价研究——以宁强县为例 [D]. 西安: 西北大学, 2012.
- Qiu H J. Study on the regional landslide characteristic analysis and hazard assessment: A case study of Ningqiang County[D]. Xi 'an: Northwest University, 2012.
- [8] Jia N, Mitani Y, Xie M, et al. GIS deterministic model-based 3D large-scale artificial slope stability analysis along a highway using a new slope unit divisionmethod[J]. *Natural Hazards*, 2015, 76(2): 873-890. DOI: [10.1007/s11069-014-1524-6](https://doi.org/10.1007/s11069-014-1524-6).
- [9] Wang K, Zhang S J, Tellez D, et al. A new slope unit extraction method for regional landslide analysis based on morphological image analysis[J]. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2019, 78(6): 4 139-4 151. DOI: [10.1007/s10064-018-1389-0](https://doi.org/10.1007/s10064-018-1389-0).

- [10] 黄启乐, 陈伟, 唐绪波, 等. 区域地质灾害评价中斜坡单元划分方法研究 [J]. 自然灾害学报, 2017, 26(5): 157-164.  
Huang Q L, Chen W, Tan X B, et al. Study on the method of slope unit zoning in regional geo-hazards risk assessment[J]. Journal of Natural Disasters, 2017, 26(5): 157-164.
- [11] 张光政, 张世涛, 陶时雨, 等. 基于斜坡单元的滑坡崩塌灾害易发性区划研究——以泸水县为例 [J]. 云南师范大学学报: 自然科学版, 2016, 36(3): 66-72.  
Zhang G Z, Zhang S T, Tao S Y, et al. The study of susceptibility assessment of landslide and collapse based on slope units—Taking Lushui County as an example[J]. Journal of Yunnan Normal University: Natural Sciences Edition, 2016, 36(3): 66-72.
- [12] 江强强, 方堃, 章广成. 基于新组合赋权法的地质灾害危险性评价 [J]. 自然灾害学报, 2015, 24(3): 28-36.  
Jiang Q Q, Fang K, Zhang G C. Assessment of geohazards risk based on new combined weight method[J]. Journal of Natural Disasters, 2015, 24(3): 28-36.
- [13] Long N T, Smedt F D. Application of an analytical hierarchical process approach for landslide susceptibility mapping in A Luoi District, Thua Thien Hue Province, Vietnam[J]. Environment Earth Sciences, 2012, 66(7): 1739-1752. DOI: [10.1007/s12665-011-1397-x](https://doi.org/10.1007/s12665-011-1397-x).
- [14] 贾贵义, 全永庆, 黎志恒, 等. 基于组合赋权法的白龙江流域甘肃段地质灾害危险性评价 [J]. 冰川冻土, 2014, 36(5): 1227-1236.  
Jia G Y, Quan Y Q, Li Z H, et al. Geo-hazards assessment for the Gansu segment in Bailongjiang River Basin by using combination weighting method[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2014, 36(5): 1227-1236.
- [15] 邓越, 周廷刚, 蒋卫国. 都江堰市地质灾害危险性及潜在影响评估 [J]. 灾害学, 2016, 31(2): 196-199. DOI: [10.3969/j.issn.1000-811X.2016.02.037](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-811X.2016.02.037).  
Deng Y, Zhou T G, Jiang W G. Assessment of geological disaster hazard and potential impact in Dujiangyan City[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(2): 196-199.
- [16] 周平华, 李英成, 白洁, 等. 新源县汇水域单元滑坡灾害易发性评价 [J]. 测绘科学, 2017, 42(9): 82-87.  
Zhou P H, Li Y C, Bai J, et al. Susceptibility assessment of landslide hazard to catchment unit in Xinyuan County[J]. Science of Surveying and Mapping, 2017, 42(9): 82-87.
- [17] 谈树成, 刘雪斌, 谢亚亚, 等. 某拟建高速公路地质灾害易发性评价 [J]. 水土保持研究, 2019, 26(3): 373-380.  
Tan S C, Liu X B, Xie Y Y, et al. Assessment on susceptibility of geohazard for a proposed expressway[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2019, 26(3): 373-380.
- [18] 邢钊. 基于信息熵与 AHP 模型的白龙江流域泥石流危险性评价 [D]. 兰州: 兰州大学, 2012.  
Xing Z. Debris flow risk assessment of Bailongjiang Basin based on information entropy and AHP model[D]. LanZhou: LanZhou University, 2012.
- [19] 高立兵, 苏军德. 基于信息熵与 AHP 模型的小区域泥石流危险性评价方法 [J]. 水土保持研究, 2017, 24(1): 376-380.  
Gao L B, Su J D. Risk assessment method of debris flow in residential area based on information entropy and AHP model[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(1): 376-380.
- [20] 叶潇潇, 钱德玲, 朱志鹏, 等. 基于组合赋权法的中巴公路奥依塔克至布伦口段泥石流危险性评价 [J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 246-251.  
Ye X X, Qian D L, Zhu Z P, et al. Hazard assessment of debris flow at Aoyitake-Bulunkou section of China-Pakistan highway based on combined weight method[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(1): 246-251.
- [21] 施龙青, 张荣邀, 韩进, 等. 基于熵权法-层次分析法耦合赋权的多源信息融合突水危险性评价 [J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2020, 39(3): 17-25.  
Shi L Q, Zhang R O, Han J, et al. Water inrush risk assessment with multi-source information type fusion based on EWM-AHP comprehensive weighting[J]. Journal of Henan Polytechnic University: Natural Science, 2020, 39(3): 17-25.
- [22] Shi S Q, Wei J C, Xie D L, et al. Prediction analysis model for groundwater potential based on set pair analysis of a confined aquifer overlying a mining area[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2019, 12(4): 115. DOI: [10.1007/s12517-019-4267-6](https://doi.org/10.1007/s12517-019-4267-6).
- [23] Xu C, Liu X L, Wang E Z, et al. Rockburst prediction and classification based on the ideal-point method of information theory[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2018, 81: 382-390. DOI: [10.1016/j.tust.2018.07.014](https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.07.014).

## Risk assessment of geological hazards in Dongchuan District based on the methods of slope unit and combination weighting

ZHAO Xiao-yan<sup>1</sup>, TAN Shu-cheng<sup>2\*\*</sup>, LI Yong-ping<sup>1</sup>

(1. School of Geography & Resource Science, Neijiang Normal University, Neijiang 641000, Sichuan, China;

2. School of Earth Sciences, Yunnan University, Kunming 650500, Yunnan, China)

**Abstract:** Because of the disadvantages of the single evaluation method in the risk assessment of geological disasters, the methods of slope unit and combination weighting were adopted to carry out the risk assessment of geological disasters. Geological disaster risks could be classified into four grades of being extremely high, high, middle and low danger zones in Dongchuan District, by using ArcGIS platform and hydrological analysis to build slope units and choose 9 evaluation factors such as slope gradients, slope directions, distances from the highway, distances from the river, distances from the fault, lithology, rainfall, elevation, and land use type, and by adopting the combination weight—combination of analytic hierarchy process (AHP) and entropy weight method—to determine the comprehensive weights of evaluation factors. The results show that the slope units could well reflect the microcosmic geomorphologic characteristics; the results of zoning danger regions were consistent with the actual distribution of geological hazards; the middle, eastern and northern parts of the study area demonstrated dense distributions of geological hazards, fragile geological environment, obvious human activities and high risks of geological hazards.

**Key words:** slope unit; analytic hierarchy process; entropy method; hazard assessment of geological hazards; Dongchuan District