

# 基于 CF-Logistic 模型的雅砻江新龙段 地质灾害易发性评价

付树林<sup>1</sup>, 梁丽萍<sup>2</sup>, 刘延国<sup>3</sup>

(1.太原学院 文化与旅游系, 太原 030032; 2.四川省地质矿产勘查开发局物探队,  
成都 610000; 3.西南科技大学 环境与资源学院, 四川 绵阳 621010)

**摘要:**为了减轻地质灾害对人类生产、生活的影响,通过易发性评价对地质灾害易发区进行划分,对于地质灾害防治具有重要意义。以雅砻江中上游新龙段为研究区,初选坡度、坡向、起伏度、坡形、工程岩组、降雨、与水系距离、与道路距离和与断层距离为评价因子。以 236 处地质灾害隐患点为依据,运用确定系数法计算各评价因子分级的确定性系数(CF),将 CF 值带入逻辑回归模型(Logistic),剔除未通过显著性检验的评价因子,建立了 CF-Logistic 模型。通过 ArcGIS 空间分析平台,对研究区进行了地质灾害易发性评价,并将单一的 CF 模型作对比,运用 ROC 曲线检验模型精度。结果表明:极高易发区最主要分布在贯通南北的 G227 线两侧,该处同时也是雅砻江主干两岸,面积为 245.53 km<sup>2</sup>,占比 2.69%;高易发区主要分布在中部断层周围,面积 573.48 km<sup>2</sup>,占比 6.28%;中、低、极低易发区面积分别为 1 518.54, 4 245.11, 2 553.05 km<sup>2</sup>。模型精度结果显示:CF-Logistic 模型(0.889)优于单一的 CF 模型(0.878),可以更加精确地划分研究区易发性分区。

**关键词:**易发性; 确定系数法; 逻辑回归法; 雅砻江; 新龙县

中图分类号:P694

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)04-0404-07

## Assessment on Geohazard Susceptibility in Xinlong Section of Yalong River Based on CF-Logistic Model

FU Shulin<sup>1</sup>, LIANG Liping<sup>2</sup>, LIU Yanguo<sup>3</sup>

(1.Department of Culture and Tourism, Taiyuan University, Taiyuan 030032, China;  
2.Geophysical Prospecting Team of Sichuan Geological & Mineral Bureau, Chengdu 610000, China; 3.School of  
Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China)

**Abstract:** In order to reduce the impact of geological disasters on human production and life, the areas prone to geological disasters were divided through the assessment of susceptibility, which is of great significance to the prevention and control of geological disasters. Taking the Xinlong section of the middle and upper reaches of the Yalong River as the research area, we selected the gradient, aspect, undulation, slope shape, engineering rock group, rainfall, distance from water system, distance from road and distance from fault as evaluation factors. Based on 236 hidden danger points of geological disasters, the determination coefficient method was used to calculate the certainty factor (CF) of each evaluation factor classification, the CF value was brought into the logistic regression model (Logistic), and the evaluation factors that had not passed the significance test were eliminated to establish CF-Logistic model. Through the ArcGIS spatial analysis platform, the susceptibilities of geological disasters of the study area were evaluated, and the single CF model was compared, and the accuracy of the model was verified by the ROC curve. The results show that the extremely high-prone areas mainly distribute on both sides of the G227 Highway that runs through the north and south, and these areas are also the main bank of the Yalong River, cover the area of 245.53 km<sup>2</sup>, and account for 2.69% of the total area; the high-prone areas mainly distribute around the central fault,

cover the area of 573.48 km<sup>2</sup>, and account for the proportion 6.28% of the total area; the medium, low and very low prone areas are 1 518.54 km<sup>2</sup>, 4 245.11 km<sup>2</sup>, and 2 553.05 km<sup>2</sup>, respectively. The model accuracy results show that the CF-Logistic model (0.889) is better than the single CF model (0.878), and can more accurately divide the susceptibility zone of the study area.

**Keywords:** susceptibility; certainty factor method; logistic regression; Yalong River; Xinlong County

新龙县位于雅砻江中游高山峡谷地带,地处青藏高原东南边缘,恰处于活动性断裂的交汇处。该地断层分布,地质条件复杂,且气候复杂多变,降水季节变化大。在强降雨的作用下,研究区很容易诱发地质灾害<sup>[1-2]</sup>。2020 年 7 月连续不断的强降雨使得长江下游淮河流域等地区遭受水灾,同时四川省也多次发布暴雨蓝色预警。强降雨不仅让河流水位迅速上升,使得河流冲垮部分路段,而且也诱发了大量的滑坡泥石流等自然灾害。据甘孜州公路建设服务中心消息,2020 年 7 月 16 日 9 时 30 分,受洪水冲刷影响,G227 线(原 S217)甘孜州新龙县境内色威乡 K1586+600~650 处路基全幅冲毁断道。7 月 23 日上午,由于持续降雨影响,G227 线(原 S217)甘孜州新龙县境内乐安乡 K1562+216 处突发泥石流,导致切格亚珠西中桥被冲毁。随着通县油路的建设完工,新龙已经成为连接国道 317 线、318 线的桥梁以及贯穿甘孜州南北两路的大通道,在交通上起着重要的作用。该处发生地质灾害不仅为来往车辆通行带来不便,更会威胁到人的生命安全。地质灾害易发性评价,是指在查明研究区地质环境背景的基础上,回答该区哪儿更易于发生地质灾害这样一个空间概率问题,是对区域地质灾害发生的可能性进行预测,对于区域灾害防治具有现实意义<sup>[3-5]</sup>。

地质灾害易发性评价可以追溯到 20 世纪 60 年代,评价方法由最初的定性描述逐步转变为定量描述。21 世纪以来定量评价方法逐渐增多,主要依靠 GIS 和数学模型进行地质灾害易发性评价。常用的数学模型方法有信息量法<sup>[6-7]</sup>、层次分析法<sup>[8-9]</sup>、确定性系数法<sup>[10-12]</sup>、逻辑回归法<sup>[13-14]</sup>、支持向量机法等<sup>[15-16]</sup>。不同的模型方法各有优缺点,研究者往往在进行评价的过程中,通过尝试运用不同的模型进行对比以及将两种模型相结合,经过模型准确性检验,选择精度高的评价模型,最终得到易发性分区<sup>[17-21]</sup>。确定性系数法计算出的 CF 值直接代表着各评价因子分级指标对地质灾害的贡献程度,可以客观地反映各评价因子不同分级为地质灾害发生提供的贡献率,且模型运算简单,得到了广泛的应用。然而各因子之间存在差异性,需要通过确定评价因子权重来解决。逻辑回归模型可以很好地解决评价因子权重的问题,但

需要将评价因子量化,且忽略了每个评价因子下分级指标的贡献程度。将两种方法有效结合,CF 值直接带入逻辑回归中进行权重计算,相互弥补了模型本身的不足,使得模型更加完善。

# 1 研究区概况

新龙县隶属四川省甘孜藏族自治州,位于四川甘孜州中部,雅砻江流域中上游。其地跨北纬 30°23′—31°32′,东经 99°37′—100°54′,东与炉霍县、道孚县相连,南与雅江县、理塘县接壤,西与白玉县毗邻,北与甘孜县分界,西北与德格县相接。研究区位于青藏高原东南边缘,属川西山原和横断山脉地接触带,地势北高南低,平均海拔 3 500 m,最高点为北部卡瓦洛日雪山,海拔 5 992 m,最低点为南部子拖西乡当巴村,海拔 2 960 m。县内雅砻江自北向南纵贯全境,呈“V”字形深切县境,形成中部雅砻江大峡谷和两岸呈东西向展布的丘状高原区,主要为深切割高山峡谷地貌、中深切高山地貌、高原低山丘陵地貌、现代冰川及冰蚀地貌 4 种地貌类型。由于其特殊的高山峡谷地貌,境内气候垂直性地带差异明显,常年平均气温 7.4℃,最寒冷为头年 12 月至次年 1 月,极端最低气温 -19.2℃,最热为 7 月,极端最高气温 33.6℃。年平均降水量为 636.2 mm,雨量少而不均。时有山洪、滑坡、泥石流等地质灾害发生。

# 2 研究方法

## 2.1 确定系数法

确定性系数(Certainty Factor, CF)是一个概率函数,其假设将来发生地质灾害的条件和过去发生地质灾害的条件相同,表达式为:

$$CF = \begin{cases} \frac{PP_a - PP_s}{PP_a(1 - PP_s)} & PP_a \geq PP_s \\ \frac{PP_a - PP_s}{PP_s(1 - PP_a)} & PP_a < PP_s \end{cases} \quad (1)$$

式中:PP<sub>a</sub>为地质灾害在评价因子 a 类中发生的概率,应用时为评价因子 a 类中存在的地质灾害个数与因子 a 类的面积的比值;PP<sub>s</sub>为地质灾害在整个研究区发生的先验概率,即为整个研究区域的地质灾

害的个数与研究区面积的比值。CF 的变化区间为  $[-1,1]$ ,正值代表地质灾害发生的确定性高,较易发生地质灾害;负值代表地质灾害发生的确定性较低,不易发生地质灾害;当计算结果接近 0 表示该因子在分类中不能确定是否容易发生地质灾害。

2.2 逻辑回归法

逻辑回归模型描述的是二元因变量(0 代表地质灾害不存在,1 代表地质灾害存在)与其自变量之间的关系,逻辑回归函数为:

$$P=\frac{1}{1+e^{-(\alpha+\beta_1x_1+\cdots+\beta_nx_n)}}\tag{2}$$

式中: $P$  为滑坡发生的概率; $\alpha$  为截距; $\beta$  为回归系数  
输出结果  $P$  的范围为 0~1。0 表示发生地质灾害的概率为 0,1 代表发生地质灾害的概率为 100%。将等式两边取自然对数得  $\ln[P/(1-P)]$ ,并作为因变量,将影响因子  $X_i(i=1,2,\cdots,n)$  作为自变量,建立线性回归方程:

$$\ln\frac{P}{1-P}=\alpha+\beta_1x_1+\beta_2x_2+\cdots+\beta_nx_n=\alpha+\beta x\tag{3}$$

2.3 确定性系数—逻辑回归综合模型

将根据公式(1)计算出 CF,作为评价因子分级指标的贡献度,并将 CF 值带入逻辑回归模型中,通过 SPSS 逻辑回归分析得到各评价因子的回归系数,确定评价因子权重。通过两个模型的结合,最终得到 CF-Logistic 模型。

3 易发性评价

3.1 评价因子

评价因子的选取是影响地质灾害易发性评价结果的重要因素,本文根据前人研究经验以及野外实地考察结果,主要考虑自然环境本身的影响因素,选择坡度、坡向、起伏度、坡形、工程岩组、降水、与水系距离、与道路距离、与断层距离,共 9 个评价因子,并将每个评价因子分级(图 1)。

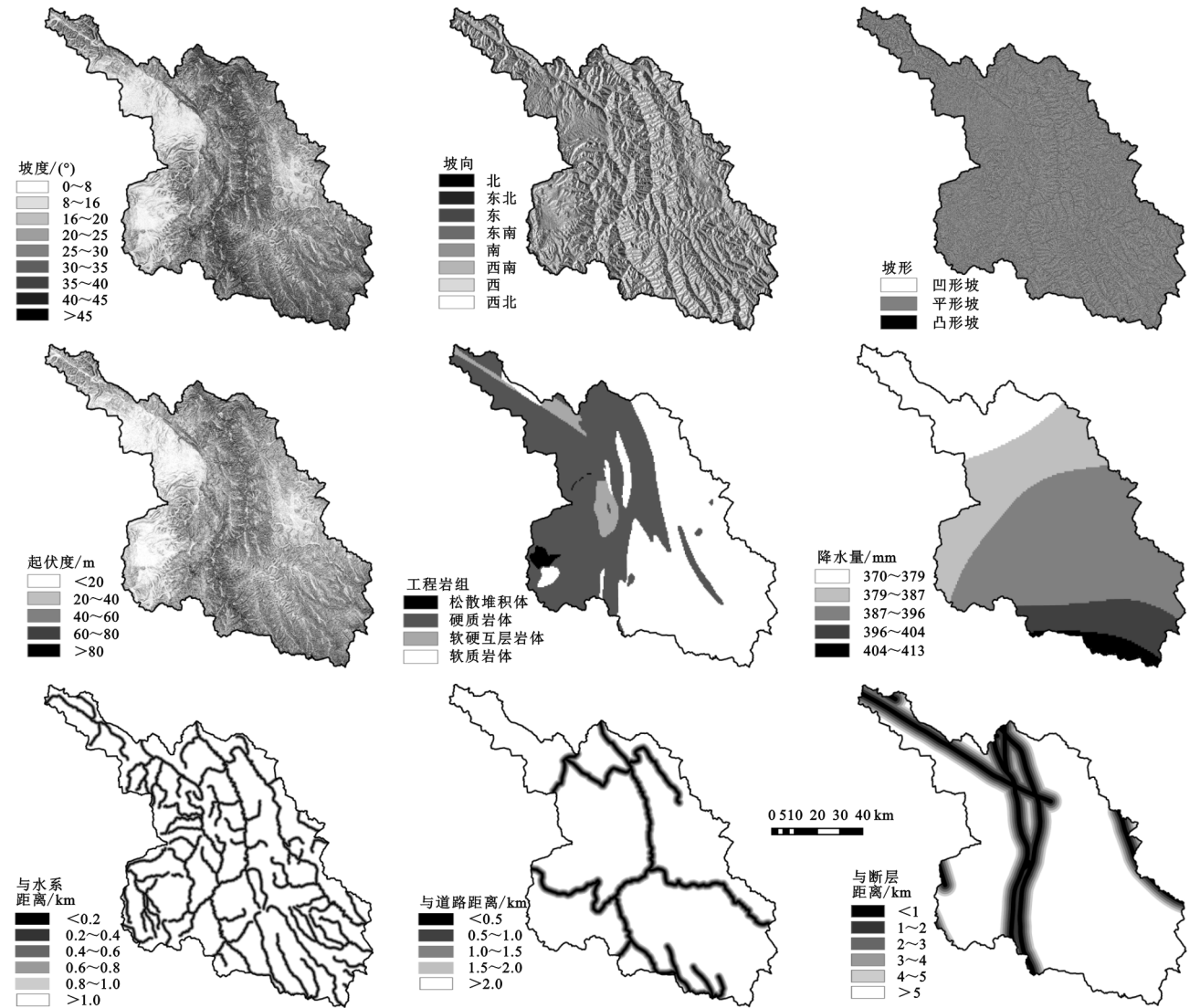


图 1 评价因子分级



(1) 坡度。坡度的大小往往决定了地表松散物质发生位移并形成地质灾害的可能。运用 ArcGIS 表面分析工具根据研究区 DEM 提取坡度信息,将坡度分为 9 级,由坡度分级图可知,新龙县中部及雅砻江两岸坡度较陡,东西两侧的高原低山丘陵区坡度较小。坡度在  $25^\circ$  以上的面积占总面积的 45.51%。地质灾害随着坡度的升高先增多后减少,在坡度为  $20^\circ\sim 25^\circ$  时,地质灾害数量最多,为 49 处,占总灾害的 20.76%。

(2) 坡向。不同的坡向所受太阳的辐射强度不同,导致山坡形成有差异的水热比规律,其一定程度上影响着地质灾害的发生。运用 ArcGIS 表面分析工具根据研究区 DEM 提取坡向信息,将坡向分为北、东北、东、东南、南、西南、西和西北。从统计数据来看,研究区地质灾害集中在东、东北以及西南和西北方向,共计 151 处,占总灾害的 63.98%。

(3) 起伏度。起伏度指一定区域内最高点与最低点的差值,即相对高差。相对高差越大,坡体上堆积的松散堆积物就越易受到重力影响而滑落,从而形成地质灾害。基于 ArcGIS 表面分析工具,分别提取范围高程最大值和最小值,再利用栅格计算器,将最大值减去最小值,得到流域起伏度分布,研究区起伏度分为  $<20\text{ m}$ ,  $20\sim 40\text{ m}$ ,  $40\sim 60\text{ m}$ ,  $60\sim 80\text{ m}$  以及  $>80\text{ m}$ 。地质灾害点集中在起伏度  $20\sim 40\text{ m}$ ,共 105 处,占比 44.50%。

(4) 坡形。根据坡面形态的不同,坡形可以分为凹形坡、凸形坡和平形坡。剖面曲率可以用来表示坡形,它是指坡度沿最大坡降方向上的坡度变化率。剖面曲率大于 0 表示斜坡表面向外凸起,小于 0 表示斜坡表面向内凹入,0 表示斜坡表面平直。为了方便统计,将剖面曲率小于  $-0.1$  的归为凹形坡,大于  $0.1$  的归为凸形坡,介于  $-0.1$  与  $0.1$  之间的归为平形坡。由于凸形坡下部没有承载体,地质灾害一般发生较多,研究区 136 处灾害点位于凸形坡,占比 57.63%。

(5) 工程岩组。工程岩组是对区域内岩性相同,主要指成因相同和岩石物质成分相似的岩石进行重新分类,其作为坡体的物质组成,对地质灾害的发生起着重要的作用。区域内工程岩组主要为硬质岩组和软质岩组,松散堆积体和软硬互层岩组分布较少。其中硬质岩组主要分布在研究区东侧,地质灾害数量为 160 处;软质岩组主要分布在研究区西侧,地质灾害数量为 70 处。

(6) 降雨。降雨是地质灾害的主要诱发因子之一,除了降雨对斜坡表面的冲刷外,实际上是渗入斜坡的雨水通过与岩土之间发生各种作用,最终诱发地质灾害。本文选择流域周围德格、甘孜、道孚、巴塘、

新龙、理塘、康定以及小金共 8 个站点 2009—2019 年夏季(6—8 月)降水总量,并进行插值得出流域降雨分布。由图 1 可知,研究区夏季降水总量为  $370\sim 413\text{ mm}$ ,且由北向南降雨依次增多。将降雨等分成 5 段,降水为  $387\sim 396\text{ mm}$  时地质灾害数量最多,为 159 处,占比 67.37%。

(7) 与水系距离。河流水系的切割主要为地质灾害提供了临空面,地质灾害具有沿主干水系分布的特点<sup>[22]</sup>。县域内主要河流为雅砻江,自北向南流经全境 208 km,有阿色曲、麦曲河、霍曲、嘎拉西河、甲拉西河、切衣河、尤拉西河、子拖西河等雅砻江支流 13 条。通过制作水系缓冲区,将与水系距离分为  $<0.2\text{ km}$ ,  $0.2\sim 0.4\text{ km}$ ,  $0.4\sim 0.6\text{ km}$ ,  $0.6\sim 0.8\text{ km}$ ,  $0.8\sim 1\text{ km}$  以及  $>1\text{ km}$ 。地质灾害随着与水系距离的增加而减少,主要集中在距离水系  $0.2\text{ km}$  内,共 118 处,占比 50%。

(8) 与道路距离。道路的建设对部分地区边坡稳定性造成了一定的破坏,从而导致地质灾害的发生。研究区主要道路呈“王”字分布,通过制作道路缓冲区,将与道路距离分为  $<0.5\text{ km}$ ,  $0.5\sim 1\text{ km}$ ,  $1\sim 1.5\text{ km}$ ,  $1.5\sim 2\text{ km}$  以及  $>2\text{ km}$ 。地质灾害与道路距离存在负相关关系,多集中在与道路距离  $0.5\text{ km}$  之内,共 114 处,占比 48.31%。

(9) 与断层距离。地质灾害的发育一般都与断裂构造密切相关,尤其是在区域性断裂构造的交叉复合部位,由于岩石较为破碎,常常形成有利于地质灾害形成和发育的构造条件<sup>[23]</sup>。研究区有较大断层分布,其中,坐景寺—昂给断层(甘孜—理塘断裂)、擦岗隆洼—古鲁断裂、亚火—卓西断裂(马尼干戈—拉波断裂),具深切割特点的壳层大断裂。将与断层距离分为  $<1\text{ km}$ ,  $1\sim 2\text{ km}$ ,  $2\sim 3\text{ km}$ ,  $3\sim 4\text{ km}$ ,  $4\sim 5\text{ km}$  以及  $>5\text{ km}$ ,统计显示,与断层距离大于  $5\text{ km}$ ,地质灾害数量较多,为 139 处,但在与断层距离  $2\text{ km}$  内,地质灾害密度较大。

### 3.2 评价模型

(1) 各评价因子分级赋值。地质灾害易发性评价之前,首先应该对评价因子分级进行 CF 计算。本文以研究区 236 处地质灾害为基础数据,通过统计坡度、坡向、起伏度、坡形、工程岩组、降雨、与水系距离、与道路距离和与断层距离评价因子分级的灾害点数量与各分级面积,带入公式(1)中,得到每个评价因子分级指标的 CF 值(表 1)。

CF 值可以客观反映地质灾害发生的确定性,其值越大说明地质灾害发生的确定性越高。通过计算的 CF 值可看出:坡度在  $20^\circ\sim 25^\circ$  以及在  $40^\circ\sim 45^\circ$  和大于  $45^\circ$  的

地方地质灾害发生的确定性最高;除了东南和西北方向为负值,其他方向均为正值,其中西和东北方向最易发生地质灾害;起伏度在 20~40 m 以及大于 80 m 时易发生地质灾害,CF 值均较高;凸形坡有利于地质灾害的形成,CF 值为正,凹型和平行为负值;从工程岩组来看,

地质灾害主要发生在硬质岩组;降水在 387~396 mm,地质灾害点数量最多,CF 值最大;与水系和道路距离和 CF 值呈负相关,随着距离的增加,CF 值基本逐渐变小;从断层来看,距离断层 3 km 以内,确定性系数均较大,极易容易发生地质灾害。

表 1 评价因子分级及 CF

评价因子	评价分级	CF 计算			评价因子	评价分级	CF 计算		
		灾害点 个数/个	面积/ km <sup>2</sup>	CF			灾害点 个数/个	面积/ km <sup>2</sup>	CF
坡度/(°)	0~8	19	1057.85	-0.30	工程岩组	松散堆积体	0	78.3	-1.00
	8~16	38	1833.42	-0.19		硬质岩体	160	4216.02	0.34
	16~20	29	950.03	0.17		软硬互层岩体	6	359.13	-0.35
	20~25	49	1203.07	0.38		软质岩体	70	4602.33	-0.41
	25~30	27	1177.07	-0.10	降雨/mm	370~379	26	1611.25	-0.37
	30~35	13	1072.51	-0.53		379~387	21	2077.38	-0.61
	35~40	16	854.14	-0.27		387~396	159	4319.67	0.32
	40~45	23	573.48	0.37		396~404	23	975.21	-0.08
	>45	22	535.89	0.39		404~413	7	282.18	-0.03
坡向	北	20	1127.48	-0.31	与水系距离/km	<0.2	118	658.95	0.88
	东北	40	1172.12	0.26		0.2~0.4	50	636.17	0.69
	东	35	1196.51	0.13		0.4~0.6	16	635.47	-0.01
	东南	19	1157.08	-0.36		0.6~0.8	17	624.7	0.06
	南	31	1139.13	0.06	与道路距离/km	0.8~1	4	602.35	-0.74
	西南	34	1178.68	0.12		>1	31	6100.74	-0.80
	西	42	1151.8	0.31		<0.5	114	461.36	0.92
	西北	15	1134.66	-0.49		0.5~1	33	436.02	0.68
	<20	38	2295.51	-0.36	与断层距离/km	1~1.5	12	418.8	0.11
起伏度/m	20~40	105	3244.98	0.22		1.5~2	7	420.1	-0.35
	40~60	46	2299.5	-0.22		>2	70	7523.06	-0.64
	60~80	28	1016.04	0.08		1	28	719.98	0.35
	>80	19	427.46	0.44		2	25	647.8	0.35
坡形	凹<0	100	4552.5	-0.14		3	22	548.76	0.37
	平	0	42.02	-1.00		4	10	477.48	-0.18
	凸>0	136	4662.92	0.13		5	12	413.15	0.13
						>5	139	6450.25	-0.16

(2) 权重计算。逻辑回归模型可通过 SPSS 计算,将有地质灾害点和无地质灾害点各 236 处,是否发生地质灾害作为因变量(1 代表地质灾害样本点,0 代表非地质灾害样本点)。利用 ArcGIS 软件分析功能提取每个点在所有评价因子上的 CF 值,将评价因子分类级别的 CF 值作为自变量。将因变量和自变量带入 SPSS 进行二元回归分析,计算回归系数,逻辑回归结果见表 2。

应用统计软件 SPSS 进行数据回归分析,得到各个影响因素的逻辑回归系数值,通常 Sig.值<0.05 统计有意义。由检验结果可知(表 2),坡度、坡向、起伏度以及坡形的 Sig.>0.05,故剔除上述 4 个评价因

子。将通过显著性检验(Sig.<0.05)的变量代入模型,对应的 β 作为评价指标权重。

(3) CF-Logistic 模型。根据计算的 CF 值以及通过逻辑回归计算结果,CF-Logistic 模型如下:

$$Y=0.933X_1+2.105X_2+1.466X_3+1.739X_4+1.326X_5$$
$$P=1/(1+e^{-Y})$$

(4)

式中:P 为发生地质灾害的概率,值为[0,1];X<sub>1</sub>—X<sub>5</sub>分别为工程岩组、降水、与道路距离、与断层距离和与水系距离的分级指标 CF 值。

3.3 评价结果与检验

运用栅格计算器,根据模型进行评价因子的叠加

和公式计算,得到研究区地质灾害易发性计算结果。将结果利用自然间断法划分地质灾害易发性等级,即极低易发区、低易发区、中易发区、高易发区和极高易发区,生成基于 CF-Logistic 模型的新龙县地质灾害易发性区划图(图 2A)。作为对比,采用单一的 CF 模型进行易发性评价,同样也生成易发性区划图(图 2B)。

表 2 基于确定性模型的逻辑回归分析结果

评价因子	$\beta$	S.E	Wals	df	Sig.
坡度	0.890	0.552	2.596	1	0.107
坡向	0.571	0.479	1.418	1	0.234
起伏度	-0.412	0.651	0.401	1	0.527
坡形	-0.203	0.979	0.043	1	0.836
工程岩组	0.933	0.385	5.868	1	0.015
降水	2.105	0.405	27.015	1	0.000
与道路距离	1.466	0.219	44.946	1	0.000
与断层距离	1.739	0.620	7.869	1	0.005
与水系距离	1.326	0.192	47.640	1	0.000
常量	-0.056	0.137	0.168	1	0.682

注: $\beta$ 为各变量的回归系数;S.E 为标准误差;Wals 为卡方值;df 为自由度;Sig.为显著性水平。

根据地质灾害易发性评价结果(图 2)可看出,两种模型划分结果均与地质灾害点分布基本吻合,极高易发区主要沿道路分布,其中包括贯通南北的 G227 两侧,同时此处也是雅砻江干流经过的地方,其次包括连接东西的乡道和县道两侧。高易发区主要分布在支流两侧以及零星分布在中部的断层周围。中易发区和低易发区主要分别集中在研究区中部的西侧和东侧,该区域分布很大原因是受到降雨因子的影响,分区较明显。极

低易发区主要分布在北侧的高原。但从图上看两个模型地质灾害易发性分区的聚散程度有明显差别,CF-Logistic 模型评价分区比较聚集,CF 模型评价分区相对较分散,从管理角度来说,聚集性强的较容易管理以及进行土地利用的整体规划。

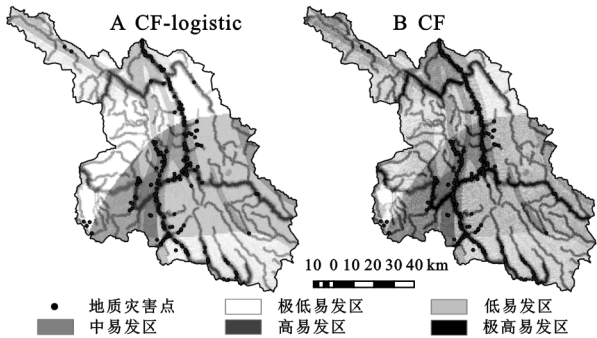


图 2 CF-Logistic 模型与 CF 模型评价结果对比

通过统计两个模型不同分区的面积以及灾害点个数,得到易发性分区结果统计表(表 3)。可看出 CF 模型的极高易发区和高易发区地质灾害点分布较多,但 CF-Logistic 模型由于分区内面积较小,灾害点密度较高。检验模型的精确度,一般学者都用受试者工作曲线(ROC)来进行验证。ROC 是以敏感度(真阳性率)为纵坐标,1-特异度(假阳性率)为横坐标绘制而成,很多学者用来验证模型精确度,一般认为 ROC 越左凸,模型的精确度越高。其曲线下方面积(AUC)来反映模型准确度,AUC 越接近与 1,则说明模型精确度越高。为了有效检测模型的精度,本文不仅将 CF-Logistic 模型进行 ROC 验证,同时还将单一的 CF 模型进行验证,从而对比模型精度的大小。

表 3 易发性分区结果统计

易发性分区	模型	面积/ km <sup>2</sup>	面积 比例/%	灾害点 个数/个	灾害点 比例/%	灾害点密度/ (个·km <sup>-2</sup> )
极低易发区	CF	1621.54	17.75	3	1.27	0.0019
	CF-Logistic	2553.05	27.95	2	0.85	0.0008
低易发区	CF	2806.70	30.72	5	2.12	0.0018
	CF-Logistic	4245.11	46.47	22	9.32	0.0052
中易发区	CF	2663.98	29.16	26	11.02	0.0098
	CF-Logistic	1518.54	16.62	37	15.68	0.0244
高易发区	CF	1491.93	16.33	50	21.19	0.0335
	CF-Logistic	573.48	6.28	82	34.75	0.1430
极高易发区	CF	551.20	6.03	152	64.41	0.2758
	CF-Logistic	245.53	2.69	93	39.41	0.3788

将 472 个样本点(地质灾害点 236 处,无地质灾害点 236 处)分别代入两个模型当中,利用 SPSS 分析功能得到评价模型 ROC 曲线,由图 3 可以看出,CF-Logistic 模型曲线更接近左上角,说明 CF-Logistic

模型精确更高。通过计算曲线下方面积 AUC,CF-Logistic 模型 0.889,CF 模型 0.878。结果表明 CF-Logistic 模型适用于新龙县地质灾害易发性评价,得到的分区结果具有合理性。

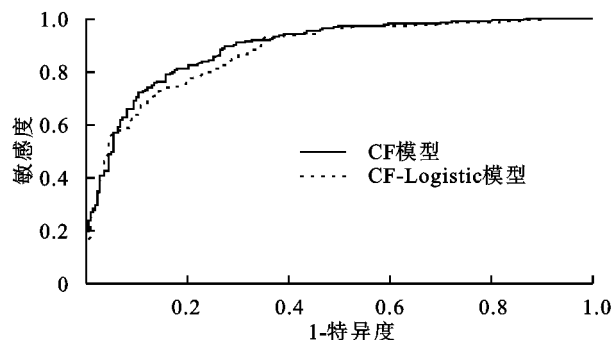


图3 各模型 ROC 曲线

## 4 结论

(1) CF-Logistic 模型可结合两个模型的优点,在计算评价因子分级指标贡献率大小的基础上确定各因子权重,且可以剔除未通过显著性检验的评价因素,在评价结果中强化对地质灾害影响较大的因素,划分较为客观,从而可提高模型的精确度。

(2) 基于 CF-Logistic 模型的新龙县地质灾害易发性评价结果显示,极高易发区主要分布在贯通南北的 G227 线两侧,以及连接东西部的乡道和县道两侧,高易发区主要分布在支流两侧以及零星分布在中部的断层周围。这两个区域的地质灾害点共计 175 处,占比 74.15%,中、低、极低易发区地质灾害大幅度减少,分区结果与地质灾害实际分布情况较符合。

(3) 为了验证评价模型精度,将 CF 模型和 CF-Logistic 模型精度进行比较,AUC 评估结果表明,CF 模型 0.878,CF-Logistic 模型 0.889,两个模型精度均较高,但 CF-Logistic 模型更加准确。

### 参考文献:

- [1] 张勇,温智,程英建.四川巴中市滑坡灾害与降雨雨型关系探讨[J].水文地质工程地质,2020,47(2):178-182.
- [2] 刘艳辉,方志伟,温铭生,等.川东北地区强降雨诱发崩滑流灾害分析[J].水文地质工程地质,2014,41(2):111-115.
- [3] 鲁霞,兰安军,母浩江,等.基于信息量模型的盘州市地质灾害易发性评价[J].科学技术与工程,2020,20(14):5544-5551.
- [4] 田春山,刘希林,汪佳.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,2016,43(6):154-161,170.
- [5] 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.
- [6] 薛强,张茂省,李林.基于斜坡单元与信息量法结合的宝塔区黄土滑坡易发性评价[J].地质通报,2015,34(11):2108-2115.
- [7] 阮沈勇,黄润秋.基于 GIS 的信息量法模型在地质灾害危险性区划中的应用成都理工学院学报[J].2001,28(1):89-92.
- [8] 赵成,张永军,赵玉红.层次分析法在甘肃省地质灾害易发性评价中的应用[J].冰川冻土,2009,31(1):182-188.
- [9] 王哲,易发成.基于层次分析法的绵阳市地质灾害易发性评价[J].自然灾害学报,2009,18(1):14-23.
- [10] 许冲,戴福冲,姚鑫,等.基于 GIS 与确定性系数分析方法的汶川地震滑坡易发性评价[J].工程地质学报,2010,18(1):15-26.
- [11] 刘艳辉,刘传正,唐灿,等.基于确定性系数模型的地质灾害多因子权重计算方法[J].中国地质灾害与防治学报,2015,26(1):92-97.
- [12] 李益敏,李驭豪,赵志芳.基于确定性系数模型的泸州市泥石流易发性评价[J].水土保持研究,2019,26(4):336-342.
- [13] 李权,曾涛,覃虎,等.基于多元逻辑回归的兰坪县崩塌滑坡敏感性评价[J].测绘与空间地理信息,2015,38(12):36-39,43.
- [14] 黄健敏,赵国红,廖芸婧,等.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,2016,27(3):98-105.
- [15] 牛瑞卿,彭令,叶润青,等.基于粗糙集的支持向量机滑坡易发性评价[J].吉林大学学报:地球科学版,2012,42(2):430-439.
- [16] 袁颖,张天亮.基于主成分分析和支持向量机的苏锡常地区地裂缝危险性预测[J].灾害学,2019,34(4):57-63.
- [17] 张晓东,刘湘南,赵志鹏,等.信息量模型、确定性系数模型与逻辑回归模型组合评价地质灾害敏感性的对比研究[J].现代地质,2018,32(3):602-610.
- [18] 田春山,刘希林,汪佳.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,2016,43(6):154-161.
- [19] 李远远,梅红波,任晓杰,等.基于确定性系数和支持向量机的地质灾害易发性评价[J].地球信息科学,2018,20(12):1699-1709.
- [20] 樊芷吟,苟晓峰,秦明月,等.基于信息量模型与 Logistic 回归模型耦合的地质灾害易发性评价[J].工程地质学报,2018,26(2):340-347.
- [21] 何原荣,傅文杰.模糊支持向量机在滑坡危险性评价中的应用[J].自然灾害学报,2009,18(5):107-112.
- [22] 李为乐,黄润秋,许强,等.“4·20”芦山地震次生地质灾害预测评价[J].成都理工大学学报:自然科学版,2013,40(3):275-281.
- [23] 王志旺,李端有,王湘桂.证据权法在滑坡危险度区划研究中的应用[J].岩土工程学报,2007,29(8):1268-1273.