

刘蕴琨, 巨能攀, 刘秀伟, 等. 贵州省崩滑灾害影响因子易发区间评价[J]. 灾害学, 2020, 35(3): 201–207. [LIU Yunkun, JU Nengpan, LIU Xiuwei, et al. Susceptibility Assessment on Influencing Factors of Collapses and Landslides in Guizhou Province[J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(3): 201–207. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.03.037.]

贵州省崩滑灾害影响因子易发区间评价*

刘蕴琨¹, 巨能攀¹, 刘秀伟², 张成强¹, 解明礼¹, 赵伟华¹

(1. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059;

2. 贵州省地质环境监测院, 贵州 贵阳 550001)

摘要: 贵州省脆弱的地质环境和大量的人类工程活动使其成为地质灾害频发地区。基于 GIS 空间分析功能和确定系数法对贵州 5 288 个滑坡和 2 614 个崩塌以点为评价单元进行数据挖掘, 选取工程岩组、矿山相对密度、公路、水系、高程、坡度、坡向七个影响因子作为评价指标, 根据灾害点的分布规律和野外调查情况对因子重分级, 分别将滑坡和崩塌在不同区间的敏感程度量化为 CF 值, 得到影响因子的易发区间。研究表明: 滑坡的易发高程为 950~2 000 m、易发坡度为 8°~25°, 崩塌的易发高程为 1 000~1 900 m、易发坡度为大于 30°, 崩塌在高程较高、坡度较陡的区域易发性大于滑坡; 滑坡和崩塌的易发坡向为南向、西南向、西向, 且在南向最为敏感; 滑坡和崩塌的易发工程岩组为软硬相间岩类; 水系对 1 500 m 范围内的滑坡影响较大, 对 1 250 m 范围内的崩塌影响较大, 影响程度随距离增大而减小; 与公路距离小于 750 m 是滑坡的易发区, 与公路距离小于 1 000 m 是崩塌的易发区; 采矿活动对滑坡和崩塌均有影响。研究结果可为贵州开展防灾减灾工作提供数据支撑。

关键词: 崩塌; 滑坡; 影响因子; 贵州省

中图分类号: P642; X43; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2020)03-0201-07
doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.03.037

我国西南地区地质灾害具有分布范围广泛、影响因素多, 成因机制复杂等特点, 给人民生命财产造成极大的威胁。贵州省作为全国地质灾害发生频率最高的省份之一, 根据贵州省政府公开的文件显示, 截止 2018 年年底, 已查明地质灾害隐患点有 12 231 处, 灾害高中易发区约占全省面积的 77%, 其中滑坡崩塌的数量占灾害总数的比例最大。

大量学者对贵州省地质灾害的研究主要围绕单体地质灾害展开。郑光运用航拍手段和 GBSAR 监测技术分析纳雍县“8.28”崩塌的动力学机制, 揭露了采矿活动对边坡失稳的影响效果显著^[1]; 张克亮将野外现场踏勘与力学分析结合, 发现江口县土司城滑坡发生的主要诱因是坡脚开挖^[2]。大比例尺研究内容精细, 易得出局部区域内地质灾害的影响因子, 但在评价贵州省区域性地质灾害影响因子易发区间时, 单体地质灾害的研究成果受不同区域地质环境差异的影响往往不再适用。目前, 以中小比例尺为研究尺度对地质灾害的研究已经取得一定的成果, 姚玲基于 RS 和 GIS 探索深圳市斜坡类地质灾害的分布特征^[3], 田春山采用 CF 和 Logistic 回归模型研究广东省地质灾害易

发区域^[4]。我国幅员辽阔, 不同地区地质灾害发育情况存在差异, 贵州省地质灾害点多面广, 区域性地质灾害研究资料较少, 应结合其自身特点展开研究。

本文选取贵州省地质灾害台账数据中的 5 288 个滑坡和 2 614 个崩塌作为数据支撑, 运用统计学理论与空间分析知识对数据进一步挖掘, 得出滑坡和崩塌关于不同影响因子的易发区间。研究成果可提高对贵州省滑坡和崩塌分布规律与易发程度的认识, 并为贵州省防灾减灾工作提供参考。

1 研究区概况

贵州位于中国西南地区, 云贵高原东部, 整体走势西高东低, 总面积约 176 167 km²。属于亚热带季风气候, 雨量充沛。区域内岩溶发育, 具有典型的喀斯特地貌。地层分布齐全, 从震旦系到第四系均有出露。岩性以沉积岩为主, 其中碳酸岩最多, 陆源碎屑岩次之, 变质岩和火成岩分布范围相对较少^[5]。区域内水系切割剧烈, 沟谷

* 收稿日期: 2019-12-30 修回日期: 2020-03-20

基金项目: 国家自然科学基金(41907250); 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室自主课题(SKLG2018Z014)

第一作者简介: 刘蕴琨(1997-), 女, 四川达州人, 硕士研究生, 主要从事地质灾害评价研究. E-mail: 1129805220@qq.com

通讯作者: 巨能攀(1973-), 男, 四川巴中人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事地质工程和岩土工程研究.

E-mail: jnp@cdu.edu.cn

两侧河流的冲刷和河谷的下切作用形成临空面,地质环境脆弱。特殊的地理环境埋藏着丰富的矿产资源^[5],区域内煤矿总量高达 $2\,400 \times 10^9$ t,主要发育于上二叠统龙潭组、长兴组岩层中,其他矿产资源,如磷、铝、锰、金、铅锌、重晶石的储量也很丰富^[6]。

2 评价方法

2.1 影响因子选取

滑坡和崩塌的形成主要与内部基础地质环境条件和外部诱发因素有关。地质环境条件是灾害发生的基础,主要包括斜坡几何特征、岩土体特征、水文特征;外部诱发因素是灾害发生的导火线,主要包括人类工程活动。故本文选取如下7种影响因子进行研究:(1)斜坡几何特征:①高程;②坡度;③坡向。(2)岩土体特征:工程岩组。(3)水文特征:水系。(4)人类工程活动:①道路;②矿山相对密度。

2.2 影响因子易发区间定量评价

本文研究区域面积很大,单个滑坡或崩塌的相对面积较小,可近似用点表示,因此把点作为评价单元展开研究(图1)。已有研究对影响因子分级评价时普遍采用等间距法^[7],该方法忽视了研究区域内灾害的分布特征。本文将影响因子分

为两类:连续型和离散型,对连续型变量提取每个灾害点影响因子的实际值,将变量不同值处的灾害点数量累加,得到区域内灾害的累计分布曲线,以曲线的突变点作为分级的基础,并结合小范围内分级面积比和滑坡个数比对影响因子划分评价区间;对离散型变量结合野外实际调查结果进行分区;对于坡向,根据实际经验,采用与离散型变量相同的划分方法。

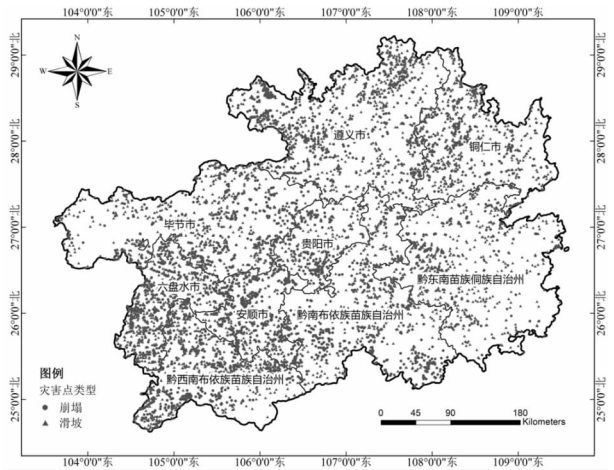


图1 贵州省崩塌、滑坡分布图

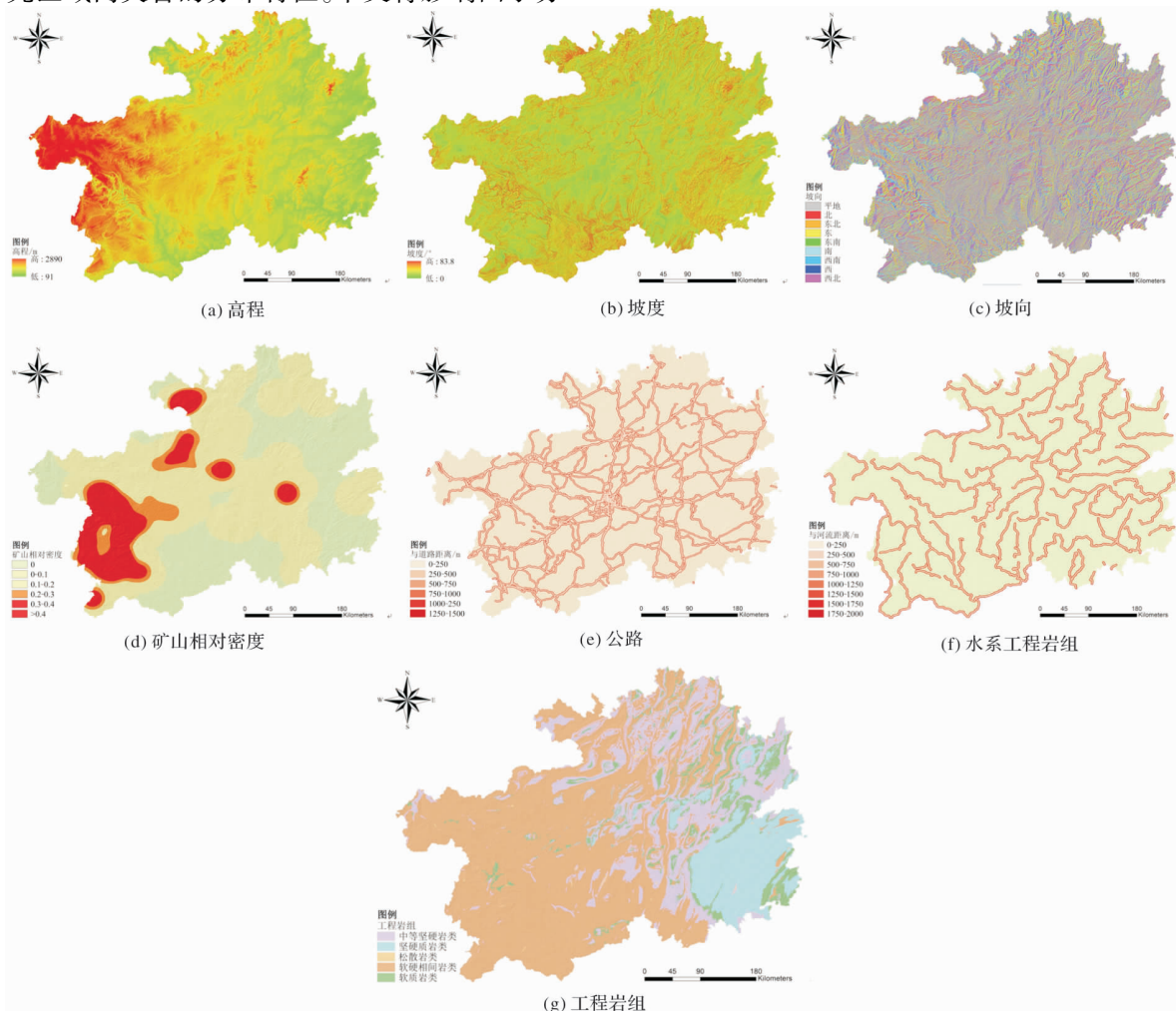


图2 研究区影响因子分布图

选用确定系数法对灾害影响因子在不同区间的易发程度定量评价^[8-10], 该方法是基于概率学理论建立计算某一子事件在整个事件中发生可能性大小的数学模型, 将灾害在影响因子不同区间的易发程度用 CF 值量化, 具体计算公式如下:

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

式中: PP_a 为灾害在影响因子分级区间 a 中发生的条件概率, 以分级区间 a 中发生地质灾害的百分比表示; PP_s 为整个研究区域内发生灾害的先验概率, 以整个研究区域内发生地质灾害的百分比表示。

3 影响因子易发区间分析

3.1 数据源

研究区内滑坡和崩塌的数据主要来源于贵州省地质灾害台账, 以 1:25 万地质图 GDEM V2 30M 分辨率高程数据和矿产分布相对密度图为基础, 基于 DEM 数据提取高程、坡度、坡向图, 通过对水系和道路建立缓冲区得到水系、道路缓冲分布图, 将地质图根据工程岩组的分类方法进行面域融合, 得到工程岩组分布图, 叠加分析崩滑地质灾害在不同影响因子下的易发区间(图 2)。

3.2 灾害点与高程的关系

高程对地质灾害的影响主要体现在斜坡在不同高程处阳光照射面积、汇水量、植被覆盖率、岩土体势能均存在差异^[11-12]。通过 DEM 数据提取每个灾害点的高程值, 统计结果如图 3 所示。滑坡主要分布在高程为 450 ~ 2 000 m 区域内, 且在 450 ~ 1 450 m 区间, 滑坡累计发生数量曲线斜率明显增大, 因此, 研究滑坡时, 把高程分为五级: 0 ~ 450 m, 450 ~ 950 m, 950 ~ 1 450 m, 1 450 ~ 2 000 m, >2 000 m; 崩塌主要发生高程为 500 ~ 1 900 m, 当高程为 500 ~ 1 000 m 时, 分级面积比大于崩塌个数比, 说明此范围内崩塌密度较低, 在高程为 1 000 ~ 1 400 m 时, 崩塌累计发生数量曲线斜率最大, 当高程大于 1 400 m 时, 崩塌累计发生数量曲线斜率变缓, 故研究崩塌时, 把高程分为五级: 0 ~ 500 m, 500 ~ 1 000 m, 1 000 ~ 1 400 m, 1 400 ~ 1 900 m, >1 900 m。

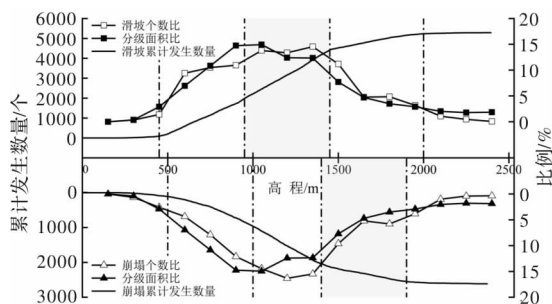


图3 高程因子统计与分级

统计高程重分级后灾害在影响因子不同区间

的 CF 值, 据表 1 和表 2 结果显示, 滑坡在高程为 950 ~ 2 000 m 时 CF 为正, 且 950 ~ 1 450 m 范围内 CF 值最大, 为 0.133, 在高程范围为 1 450 ~ 2 000 m 时 CF 值次之, 为 0.103, 说明滑坡易发高程为 950 ~ 2 000 m, 在 950 ~ 1 450 m 范围内发生频率最高; 崩塌的易发区间是高程为 1 000 ~ 1 900 m 的区域, 在 1 400 ~ 1 900 m 时 CF 值最大, 为 0.233, 最易产生崩塌, 当高程超过 2 000 m 时, 发生崩塌和滑坡的频率均显著减少。研究区域内崩塌的高程易发区间略高于滑坡, 这与物体的势能随着高程增加而增大, 不稳定岩体易直接形成崩塌下落密切相关。

3.3 灾害点与坡度的关系

坡度是斜坡的重要几何参数之一, 通过影响岩土体沿坡面的分力进而影响失稳岩体的下滑速度和脱离坡体的方式, 对斜坡的成坡历程和未来的发展趋势亦有影响^[13-14]。

统计不同坡度孕育的灾害体数量, 分别得到滑坡和崩塌的累计发生数量曲线, 并以 5° 为间隔对研究区坡度初步分级, 得到不同范围内面积比曲线和灾害体个数比曲线。根据图 4 可知, 滑坡主要发生坡度为 $8^\circ \sim 45^\circ$, 在 $8^\circ \sim 25^\circ$ 时, 滑坡累计发生数量曲线斜率较大, 此区间内滑坡数量增长率最大。当坡度为 $25^\circ \sim 45^\circ$, 滑坡累计发生数量曲线斜率减小, 坡度大于 45° 时, 曲线趋于平缓, 滑坡个数比曲线接近 0, 在这个坡度范围内不利于滑坡发生。因此, 坡度作为滑坡的影响因子时可分为四级: $0^\circ \sim 8^\circ$, $8^\circ \sim 25^\circ$, $25^\circ \sim 45^\circ$, $>45^\circ$ 。崩塌主要发生坡度为 $8^\circ \sim 50^\circ$, 坡度小于 8° 时, 发生崩塌的频率近似为 0, 在 $8^\circ \sim 30^\circ$ 范围内, 分级面积比大于崩塌个数比, 滑坡密度较小, 在 $30^\circ \sim 50^\circ$ 范围内, 分级面积比小于崩塌个数比, 滑坡密度较大, 因此, 坡度作为崩塌的影响因子时可分为四级: $0^\circ \sim 8^\circ$, $8^\circ \sim 30^\circ$, $30^\circ \sim 50^\circ$, $>50^\circ$ 。

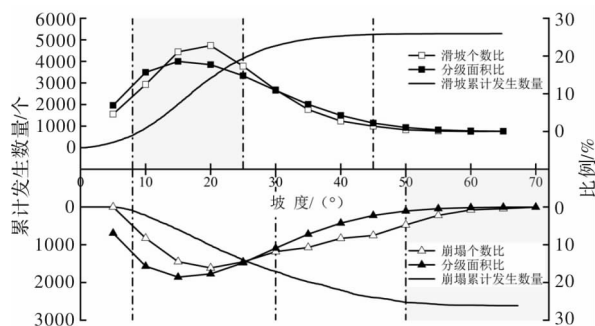


图4 坡度因子统计与分级

根据滑坡和崩塌在坡度不同区间的 CF 值可知(见表 1、表 2), 滑坡在坡度为 $8^\circ \sim 25^\circ$ 的区间内 CF 值最大, 为 0.146, 说明此区间滑坡的易发程度最高; 崩塌在坡度大于 50° 时 CF 值最大, $30^\circ \sim 50^\circ$ 次之, $0^\circ \sim 8^\circ$ 最小, 说明崩塌在斜坡坡度较大的区域中发育情况更好。当斜坡坡度较小时, 不稳定坡体时效变形缓慢, 易孕育滑坡; 当斜坡坡度较大时, 为不稳定斜坡失稳提供了产生剧烈变形的外界条件, 更易产生崩塌。

表 1 滑坡与连续变量关系表

评价因子	因子分级	分级面积/km ²	滑坡个数/个	CF
高程/m	0~450	5 777.148	93	-0.471
	450~950	66 724.827	1 898	-0.054
	950~1 450	70 575.374	2 431	0.133
	1 450~2 000	24 450.237	815	0.103
	>2 000	8 639.414	51	-0.808
坡度/(°)	0~8	27 823.682	569	-0.325
	8~25	102 029.137	3 568	0.146
	25~45	43 317.879	1 115	-0.146
	>45	2 996.298	36	-0.607

表 2 崩塌与连续变量关系表

评价因子	因子分级	分级面积/km ²	滑坡个数/个	CF
高程/m	0~500	9 077.972	109	-0.193
	500~1000	72 193.604	855	-0.204
	1 000~1400	57 299.154	1 082	0.217
	1 400~1 900	26 129.156	503	0.233
	>1 900	11 467.113	65	-0.622
坡度/(°)	0~8	27 823.682	91	-0.782
	8~30	121 229.663	1615	-0.104
	30~50	25 969.438	818	0.537
	>50	1 144.214	90	0.824

3.4 灾害点与坡向的关系

不同坡向的边坡接受太阳光的照射时长不同,因此坡表植被生长速率、岩土体风化程度等存在差异^[15]。通过 DEM 数据提取研究区坡向分布图,按照平地、北、东北、东、东南、南、西南、西、西北九个方向划分区间,并与崩滑灾害点分布图叠加分析,统计结果如图 5。平地无崩塌和滑坡发生,研究区域不同坡向的分级面积相差较小,当坡向为南、西南、西时,分级面积比曲线在滑坡发生频率和崩塌发生频率柱状图内侧,说明这三个方向滑坡崩塌的密度较大,据表 3 计算结果显示,滑坡和崩塌在坡向为南、西南、西时,CF 值均大于 0,且坡向为南方向时最大,滑坡的 CF 值为 0.184,崩塌的 CF 值为 0.151,说明坡向为南方向是滑坡和崩塌的易发方向。

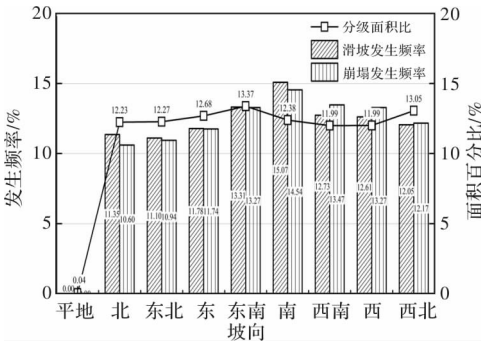


图 5 坡向分级统计图

3.5 灾害点与工程岩组的关系

地层岩性是造成斜坡物理化学性质差异的内在因素,是地质灾害发生的物质基础。黄润秋根据岩土体特征将岩土体分为坚硬岩体、中等坚硬岩体、软弱岩体、松散体四大类^[16],以此为基础,

结合贵州省独特的地质环境,将研究区工程岩组划分为五类:硬质岩类、中等硬质岩类、软硬相间岩类、软质岩类、松散岩土类(表 4)。

据表 3 和图 6 统计结果显示,在软硬相间岩类中,滑坡发生频率为 73.00%,CF 值为 0.169,崩塌发生频率为 79.99%,CF 值为 0.240,滑坡和崩塌的易发性均较高,这与斜坡特殊的岩土体组合特征有关。软质岩是天然锁水层,地下水的浸润和地表水的下渗作用使其饱水软化,抗滑能力降低,同时,因软硬岩体抗风化能力差异,软岩在临空面易风化形成凹腔,部分岩体下方失去支撑,斜坡发生协调变形稳定性降低,产生地质灾害。硬质岩和中等硬质岩中滑坡的 CF 值较小,在这个范围内滑坡的易发程度较低。在硬质岩类中崩塌的 CF 值为 -0.759,坚硬岩类中崩塌的 CF 值为 -0.056,说明硬质岩类岩体较中等硬质岩类岩体更坚硬,不容易损伤,产生崩塌的可能性更低。软质岩类和松散岩土类易产生浅表层滑坡,无崩塌发生。

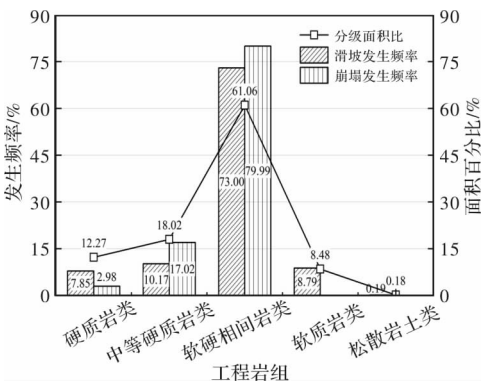


图 6 工程岩组分级统计图

表 3 灾害点与离散型变量关系表

评价因子	因子分级	分级面积/km ²	滑坡		崩塌	
			个数/个	CF	个数/个	CF
坡向	平地	61.874	0	-1.000		-1.000
	北	21 550.262	600	-0.075	277	-0.135
	东北	21 608.280	587	-0.098	286	-0.109
	东	22 341.048	623	-0.073	307	-0.075
	东南	23 554.748	704	-0.004	347	-0.007
	南	21 811.953	797	0.184	380	0.151
	西南	21 114.623	673	0.060	352	0.112
	西	21 130.984	667	0.051	347	0.098
	西北	22 993.236	637	-0.079	318	-0.069
工程岩组	硬质岩类	21 608.334	415	-0.367	78	-0.759
	中等硬质岩类	31 745.801	538	-0.443	445	-0.056
	软硬相间岩类	107 560.469	3860	0.169	2091	0.240
	软质岩类	14 931.842	465	0.037	0	-1.000
	松散岩土类	320.560	10	0.039	0	-1.000
矿山相对密度	0	60 400.589	1494	-0.180	720	-0.199
	0~0.1	75 433.793	2003	-0.119	999	-0.109
	0.1~0.2	11 032.782	316	-0.047	222	0.267
	0.2~0.3	10 196.577	391	0.224	227	0.339
	0.3~0.4	7 251.203	338	0.367	165	0.353
	>0.4	11 852.055	746	0.539	281	0.380
与道路距离/m	0~250	8 184.794	430	0.442	206	0.417
	250~500	6 943.709	277	0.255	151	0.322
	500~750	6 287.307	200	0.058	104	0.105
	750~1 000	5 799.899	172	-0.012	94	0.086
	1 000~1 250	5 411.368	158	-0.028	57	-0.293
	1 250~1 500	5 122.939	137	-0.112	55	-0.279
	非缓冲区	138 416.894	3914	-0.060	1947	-0.053
与水系距离/m	0~250	4 157.139	222	0.451	92	0.334
	250~500	4 138.674	216	0.438	123	0.508
	500~750	4 111.838	200	0.395	89	0.319
	750~1 000	4 091.408	147	0.170	85	0.290
	1 000~1 250	4 072.348	145	0.162	71	0.151
	1 250~1 500	4 054.247	133	0.088	54	-0.104
	1 500~1 750	4 027.623	111	-0.084	53	-0.115
	1 750~2 000	4 001.631	119	-0.010	51	-0.143
	非缓冲区	143 512.000	3995	-0.075	1996	-0.064

表 4 工程岩组分类依据

工程岩组	地层组合	主要岩性
硬质岩类	Pt _{3bx} ¹ 、Pt _{3l} ¹ 、Pt _{3p} ¹ 、 Pt _{3q-p} ¹ 、Pt _{3q} ¹ 、Pt _{3f} ¹ 、 Pt _{3w} ¹ 、Pt _{3j} ¹ 、Pt _{3g} ¹	板岩、凝灰岩、坚硬块状大理岩、玄武岩
中等硬质岩	E、K ₂ 、D ₃ 、D ₂ 、D ₁ 、O ₁ 、O ₂ 、ε ₃ 、 ε ₂ 、Z ₂ 、Pt _{2fj} ¹ 、Pt _{2sb} ¹	厚层中-细砂岩、粉砂岩、厚层块状砾岩、 中厚层白云岩、灰岩
软硬相间岩类	K、J ₃ 、J ₂ 、J ₁ 、T ₃ 、T ₂ 、T ₁ 、P ₂ 、P ₁ 、 C ₂ 、C ₁ 、D ₁₋₂ 、O ₁	页岩与泥质灰岩互层、石英砂岩夹泥岩、页岩、 砂页岩夹煤及铝质岩
软质岩类	N、CIP、S1、ε1、Z1	软弱层状黏土岩、泥岩、页岩
松散岩土类	Q	松散堆积物、黏土、破碎岩体

3.6 灾害点与矿山的关系

贵州省矿产资源丰富, 主要集中分布在西部, 其他区域零星分布, 频繁的采矿活动形成大面积采空区, 当顶板的承载能力超过其极限承载强度时, 顶板冒落, 斜坡应力重调整, 产生地质灾害^[17]。根据图 7 显示, 贵州省矿山相对密度为 0 的区域的面积百分比为 34.29%, 发生滑坡的频率为 28.25%, 发生崩塌的频率为 27.54%, 崩滑灾害点密度均小于面积百分比, 当矿山相对密度大于 0.1 时, 分级面积比曲线在灾害发生频率柱状图内侧, 说明已发生矿产开采的区域崩滑灾害点密度比未发生矿产开采区域大, 采矿活动对滑坡和崩塌的产生有显著影响。从表 3 的 CF 值可看出, 随着矿山相对密度增加, 崩塌和滑坡的易发程度呈上升趋势, 当矿山相对密度大于 0.2 时, 滑坡的 CF 值为正, 滑坡在此区域内受矿山影响, 当矿山相对密度大于 0.1 时, 崩塌就受到矿产开采的影响, 说明崩塌受采矿活动影响的面积大于滑坡。但当矿山相对密度大于 0.4 时, 滑坡的 CF 值为 0.539, 崩塌的 CF 值为 0.380, 滑坡对矿山相对密度高的区域敏感性大于崩塌。

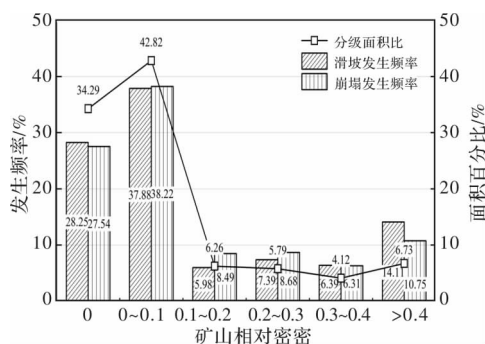


图7 矿山相对密度分级统计图

3.7 灾害点与公路的关系

贵州省毗邻云南、四川、重庆、湖南、广西五省, 是重要的交通枢纽。根据贵州省统计局公布的数据显示, 截止 2018 年年末, 公路通车里程达到 19.69 万 km, 大量公路建设带来了许多地质灾害。公路开挖削减坡脚, 降低坡体抗滑能力, 斜坡原始平衡状态受到扰动, 易失稳破坏。本文选取主要公路干线, 以 250 m 建立多级缓冲区, 统计结果如表 3 所示。公路开挖对滑坡和崩塌均有影响, 滑坡在与公路距离 750 m 范围内, 影响效果显著, 当距离大于 750 m 时, 影响效果减弱, 崩塌在与公路距离为 1 000 m 范围内更容易发生。在与公路距离为 250 m 范围内, 滑坡的 CF 值为 0.442, 崩塌的 CF 值为 0.417, 崩滑灾害的易发程度最大, 随着与公路的距离增加, 崩塌和滑坡的 CF 值逐渐减少, 易发程度逐渐降低。

3.8 灾害点与水系的关系

贵州省水系发育, 河谷下切和山地抬升使边

坡产生卸荷效应, 河流冲刷作用削减坡脚, 边坡临空面增加, 河水的浸润作用增加边坡重度, 这些作用降低边坡稳定性, 是边坡破坏的催化剂^[18]。通过对研究区域内主要水系以 250 m 建立多级缓冲区, 再与灾害点数据叠加分析可知(见表 3), 滑坡在缓冲距离为 250 m 时, CF 值最大, 为 0.451, 随着距离增加, CF 值逐渐减小, 当缓冲距离超过 1 500 m 时, CF 值为负数, 说明与水系距离大于 1 500 m 时, 滑坡受水系的影响程度较小; 崩塌在缓冲距离为 250 m ~ 500 m 时, CF 值为 0.508, 此范围内, 崩塌易发程度最大; 缓冲距离超过 500 m 时, 崩塌易发程度随距离增大而减小, 与水系距离超过 1 250 m 时, 水系对崩塌的影响程度降低。

4 结论

从贵州省滑坡和崩塌的基础地质条件和外部诱发因素两个方面选取七个影响因子, 根据灾害点的分布规律和野外实际调查情况对因子重分级, 并采用确定系数法将各影响因子在不同区间的敏感性量化, 这种方法可以直观的反应出滑坡和崩塌的影响因子易发区间。

(1) 斜坡几何特征影响其应力分布。贵州省滑坡的易发高程为 950 ~ 2 000 m, 且在 950 ~ 1 450 m 易发性最高, 崩塌的易发高程为 1 000 ~ 1 900 m, 且在 1 400 ~ 1 900 m 易发性最高, 崩塌在高程较高的区域易发性高于滑坡; 在坡度为 8° ~ 25° 的区域易发生滑坡, >30° 易发生崩塌; 滑坡和崩塌的易发坡向为南向、西南向与西向, 其中南向最为敏感。

(2) 岩土体特征决定斜坡的结构特征。工程岩组为软硬相间岩类时, 滑坡和崩塌的易发程度最大, 在软质岩类和松散岩土类中未见崩塌发生。

(3) 灾害点与水系的距离影响其受水系切割作用和浸润作用的大小。与水系距离小于 1 500 m 是滑坡的易发区间, 且在小于 250 m 范围内易发程度最大, 随着距离增大, 易发程度降低; 与水系距离小于 1 250 m 是崩塌的易发区间, 且当与水系距离为 250 ~ 500 m 时, 易发程度最大。

(4) 人类工程活动是滑坡和崩塌产生的重要诱发因素。采矿活动对崩塌的影响区域大于滑坡, 当矿山相对密度大于 0.4 时, 滑坡对采矿活动的敏感性大于崩塌; 公路开挖对崩塌的影响范围大于滑坡, 与公路距离小于 750 m 是滑坡的易发区, 与公路距离小于 1 000 m 是崩塌的易发区。

参考文献:

- [1] 郑光, 许强, 巨袁臻, 等. 2017 年 8 月 28 日贵州纳雍县张家湾镇普洒村崩塌特征与成因机理研究[J]. 工程地质学报, 2018, 26(1): 223-240.

- [2] 张克亮. 贵州江口县土司城滑坡成因分析及滑距预测[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2016, 27(3): 29–33.
- [3] 姚玲, 雷呈斌, 王明龙, 等. 基于 RS 和 GIS 技术的深圳市斜坡类地质灾害易发程度评价[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2017, 36(3): 66–72.
- [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] 吕刚. 贵州重大地质灾害及影响因素分析[J]. 贵州地质, 2016, 33(2): 108–112.
- [6] 罗炳佳, 沈诚. 贵州矿山地质环境影响评估[J]. 水文地质工程地质, 2013, 40(1): 134–138.
- [7] 杨志华, 张永双, 郭长宝, 等. 青藏高原东缘地质灾害影响因子敏感性分析[J]. 工程地质学报, 2018, 26(3): 673–683.
- [8] 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.
- [9] Shortliffe E H, Buchanan B G. A model of inexact reasoning in medicine [J]. Mathematical Biosciences, 1975, 23: 351–379.
- [10] Heckerman D. Probabilistic Interpretation for MYCINs Certainty Factors[C]//Proceedings UAI, 1985: 167–196.
- [11] 姜建伟, 赵法锁, 祝俊华, 等. 陕西省吴起县斜坡几何形态与地质灾害相关性研究[J]. 灾害学, 2018, 33(2): 188–192.
- [12] 王瑞琪, 王学良, 刘海洋, 等. 基于精细 DEM 的崩塌滑坡灾害识别及主控因素分析—以雅鲁藏布江缝合带加查—朗县段为例[J]. 工程地质学报, 2019, 27(5): 1146–1152.
- [13] 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.
- [14] 王盈, 金家梁, 袁仁茂. 藏东南地区地质灾害空间分布及影响因素分析[J]. 地震研究, 2019, 42(3): 428–437 + 456.
- [15] 杨光, 徐佩华, 曹琛, 等. 基于确定性系数组合模型的区域滑坡敏感性评价[J]. 工程地质学报, 2019, 27(5): 1153–1163.
- [16] 黄润秋, 许向宁, 唐川. 地质环境评价与地质灾害管理[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 10–415.
- [17] 李滨, 王国章, 冯振, 等. 地下采空诱发陡倾层状岩质斜坡失稳机制研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2015, 34(6): 1148–1161.
- [18] 周静静, 赵法锁, 李辉, 等. 陕西省地质灾害与影响因素相关性研究[J]. 灾害学, 2019, 34(2): 228–234.

Susceptibility Assessment on Influencing Factors of Collapses and Landslides in Guizhou Province

LIU Yunkun¹, JU Nengpan¹, LIU Xiuwei², ZHANG Chengqiang¹,
XIE Mingli¹ and ZHAO Weihua¹

- (1. *State Key Laboratory of Geological Disaster Prevention and Environmental Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;*
2. *Guizhou Institute of Geo-environment Monitoring, Guiyang 550001, China*)

Abstract: The fragile geological environment and a lot of human engineering activities in Guizhou province have caused many geological disasters. Based on the GIS spatial analysis and certainty factor analysis, we carried out data mining on 5 288 landslides and 2 614 collapses in Guizhou province with points as the evaluation unit. The seven influencing factors of rock-soil group, relative density of mine, highway, water distribution, elevation, slope and slope direction were selected as evaluation indexes. According to the distribution regularity of disaster points and field investigation, the susceptibility of landslide and collapse in different sections of influencing factors was quantified as CF value, and the range of influencing factors where is most likely to occur landslides or collapses can be obtained. The results show that landslides tend to occur in areas with elevations of 950 ~ 2 000m and slopes of 8° ~ 25°. The collapse tend to occur in the region with elevations of 1 000 ~ 1 900 m and slopes greater than 30°. Collapse is more likely to occur in higher elevations and steeper slopes than landslides. The slope is prone to landslide and collapse in the south, southwest and west directions, and is most sensitive in the south direction. Landslides and collapses prone rock-soil groups are soft and hard interphase rock-soil group. The water system has a great influence on the landslide within the range of 1 500 m, and a great influence on the collapse within the range of 1 250 m. The influence decreases with the distance increasing. The landslides prone area is less than 750 m away from the highway, and the collapses prone area is less than 1 000m away from the highway. Mining activities affect both landslides and collapses. The results can provide some datas for disaster prevention and reduction in Guizhou.

Key words: collapse; landslide; influencing factor; the Guizhou province