

贵州山区地质灾害危险源识别方法

——以盘州市盘关镇重点区为例

冷洋洋^{1,3}, 魏伦武², 赖琪毅³

(1. 贵州省地质环境监测院, 贵州 贵阳 550081; 2. 中国地质调查局成都地调中心, 四川 成都 610081; 3. 成都理工大学, 四川 成都 610059)

[摘要] 本文依托贵州省重点地区地质灾害详细调查及风险评价示范项目, 以盘州市盘关镇重点区为例, 提出了一套从斜坡单元划分、单元地质灾害易发指数计算、易发指数阈值计算, 到单元地质灾害危险源评判, 编制研究区地质灾害危险源分布图等地质灾害风险识别新方法。在研究区地质灾害危险源分布图的基础上, 可预测不同暴雨频率地质灾害危险源危险区范围, 编制不同暴雨频率危险源危险区范围分布图, 根据降雨强度与暴雨频率的关系, 可以使重点区地质灾害风险气象预报更加科学合理。

[关键词] 贵州山区; 斜坡单元; 地质灾害; 危险源; 识别方法

[中图分类号] P694 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943(2021)03-326-08

1 引言

2019年, 贵州省开展了20处重点区域1:1万地质灾害详查及风险评价项目, 如此大比例尺的地质灾害调查及风险评价项目规模性开展, 特别是探索性地将风险评价运用于生产, 为地方政府提供风险管控决策做出了有力的技术保障, 在全国尚属首次。目前, 在地质灾害风险评价工作中, 国内外学者多采用基于GIS划分斜坡单元开展地质灾害易发性评价, 半定量化的确定地质灾害敏感性指标, 对各敏感性指标进行叠加处理, 并进行粗略的易发性、危险性分区, 并缺少有效的验证。其斜坡单元的划分方法因仅考虑地形地貌控制因素, 未结合斜坡结构、地层岩性及岩土体组合特征, 要与贵州山区典型灾害的孕灾条件相互协调, 具有一定的局限性。基于此, 本文以斜坡单元为研究对象, 通过多

因素进行划分, 针对斜坡进行逐坡的评价调查, 开展易发性定量计算, 利用阈值的确定进行危险源识别, 从而完成贵州山区地质灾害风险识别。

2 研究区地质环境特征

2.1 地形地貌

研究区位于六盘水市盘关镇, 属云南高原向黔中山原过渡的斜坡地带, 地势整体南高北低, 中南部隆起。山岭、沟谷延伸方向与地质构造线基本一致, 主要呈NE向展布。区内地形起伏较大, 河流发育, 切割强烈, 沟谷纵横, 平地及坝子较少, 海拔高程在1450~2685.9m, 如图1所示。

2.2 地层岩性

研究区内二叠系、三叠系与第四系的地层均

[收稿日期] 2020-03-12 **[修回日期]** 2021-04-26

[基金项目] 贵州省地质灾害综合防治体系建设(2018年度)课题-乌蒙山区地质灾害与地质环境承载力协调系统研究, 黔财建[2018]426号。

[作者简介] 冷洋洋(1987—), 男, 高级工程师, 博士研究生, 长期从事水工环地质调查及地质灾害防治工作。

有出露。其中以二叠系上统龙潭组(P_3l)、三叠系下统飞仙关组(T_1f)及永宁镇组(T_1y)发育最全,

出露面积最广,局部河流阶地和斜坡、洼地有第四系冲积、残坡积、崩积等松散堆积物分布。其中,龙潭组泥岩及飞仙关组二段泥岩多发生滑坡,三叠系中下统永宁镇组灰岩地层和三叠系下统飞仙关组砂泥岩地层较孕育崩塌地质灾害。

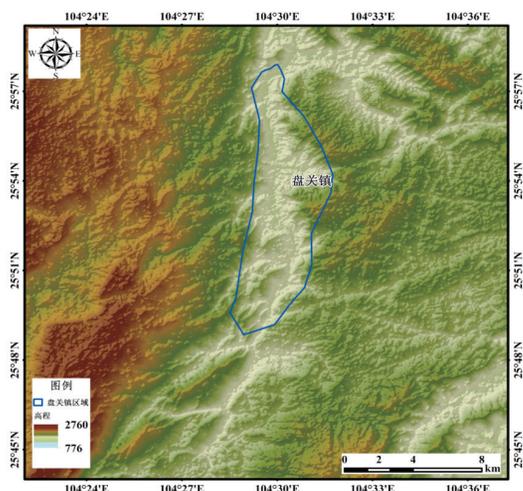


图1 研究区地形地貌图

Fig. 1 Topographic map of the study area

2.3 斜坡结构及类型特征

研究区内的斜坡结构类型按物质组成划分两大类:松散土质斜坡和岩质斜坡;其中岩质斜坡按岩体结构划分为层状岩体斜坡、块状岩体斜坡。坡体结构组合对坡体的稳定性影响明显,斜坡结构类型与灾害点关系密切,研究表明,区内顺向斜坡稳定性最差,横向斜坡次之,逆向斜坡稳定性相对较好。对于不同灾种来看,滑坡在顺向斜坡中发育密度最高,而崩塌主要发育于逆向坡中,主要类型见图2。

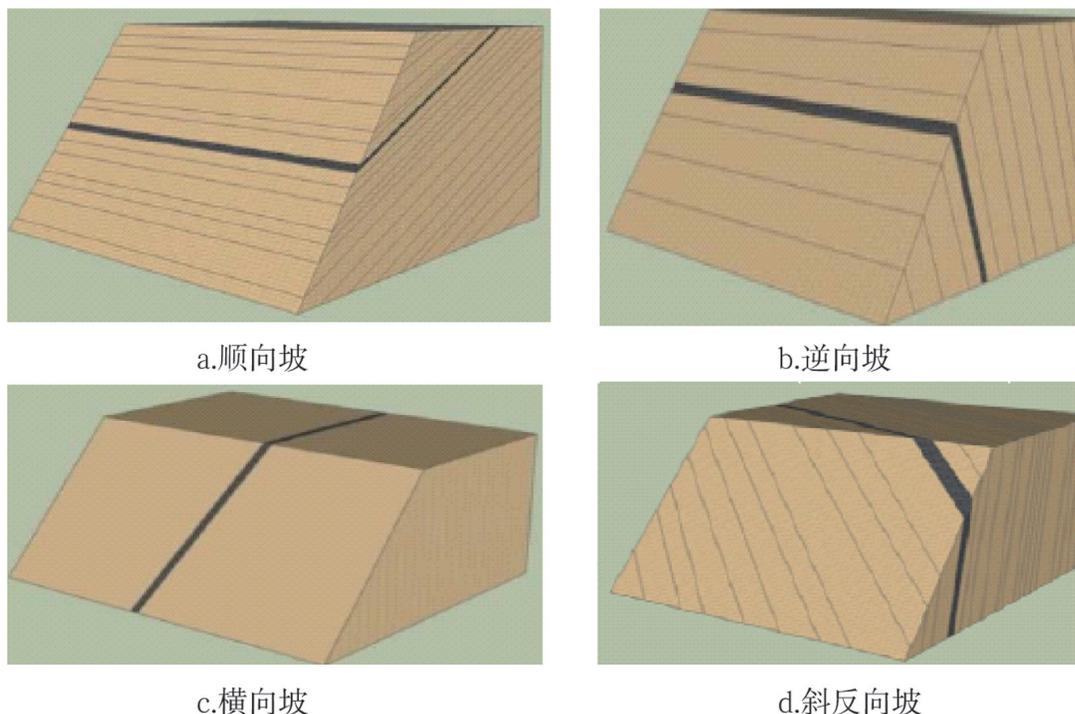


图2 研究区内主要斜坡类型

Fig. 2 Major slope types of the study area

2.4 地质构造

研究区位于扬子准地台黔北台隆六盘水断陷普安旋扭构造变形区,其中普安山字型构造奠定了测区构造的基本轮廓。普安山字型构造出露于研究区北东部。该山字型构造主要由普安县罐子窑-马鞍山-张家屯-鸡场坪一线的弧形紧密褶皱构造带组成。山脉走向与构造线一致,属于前弧

及西翼反射弧的主要褶皱有:罐子窑-张家屯倒转向斜、李家寨-核桃寨倒转背斜、鱼塘-旧营倒转向斜。主要断裂有:李家寨-马鞍山压性断裂、白块-核桃寨压性断裂、鸡场坪断裂等。褶皱轴向及断裂走向在旧营-核桃寨一线为NW-SE向,旧营以东转为东西向,并向南凸出呈弧形。正对着前弧内侧的一系列南北走向的褶皱及压性断裂为山字型脊柱,主要有猴子地向斜、格所背斜等。

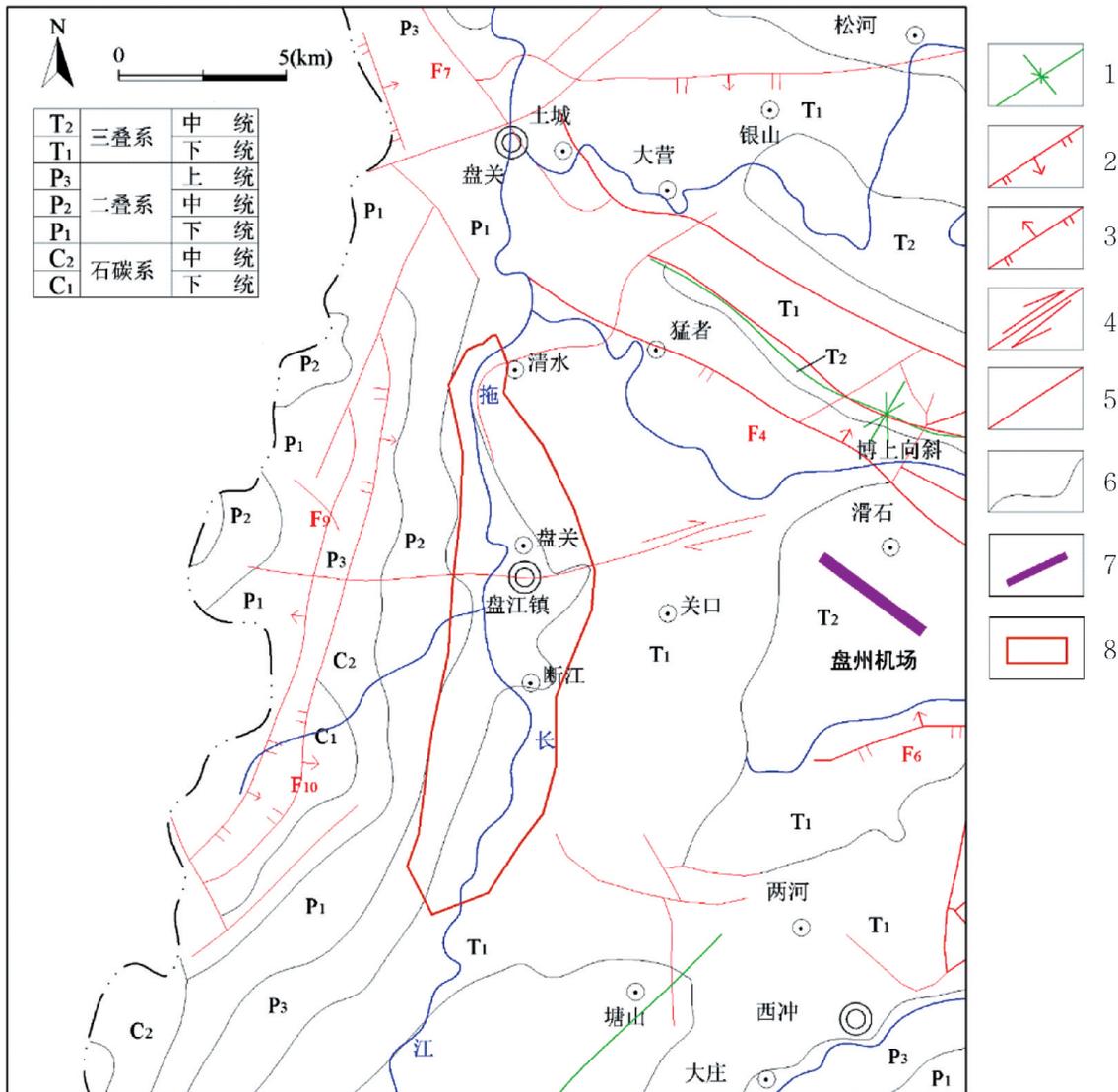


图3 研究区地质构造图

Fig. 3 Geological structure of the study area

1—向斜;2—正断层;3—逆断层;4—平移断裂;5—性质不明断裂;6—地质界线;7—机场场址;8—研究区构造名称
 (一)普安山字型构造;F4 丫口寨-下拉达断层;F6 猴场屯断层;F9 打么沟断层;F10 水银场断层;(二)北东向构造带:(03)博上向斜

3 研究方法

3.1 技术路线

在野外工作过程中,经过分析区内典型地质灾害的特征及发育规律,划定斜坡单元。确立地质灾害易发性评价因子,运用层次分析法、信息叠加法等手段,计算出区内各斜坡单元内的易发值判定易发程度,实现区域地质灾害易发性评价,通过对斜坡单元易发性分析和评价找出其潜在地质灾害,即“危险源”。通过 GIS 进行解译及赋值计算,进一步确定各单元内人口密度值和财产密度

值。地质灾害隐患及斜坡危险源在一定概率下失稳可能形成的危险区范围为风险评价单元,对研究区所有单元开展危险性评价,即完成危险源风险识别,其技术路线见图 4。

3.2 斜坡单元划分

(1)定义

斜坡单元是对具有威胁对象的斜坡地质体单元进行圈定(易进松,2018),传统上划分斜坡单元是以地形地貌法为主,且通过区域 DEM 的自动提取方法使用较多,用山谷线(山脊线)去划分集水域,将沟谷两边划分成斜坡,提取山谷线和山脊线作为斜坡单元边界(黄启乐,2017),这种方法适用

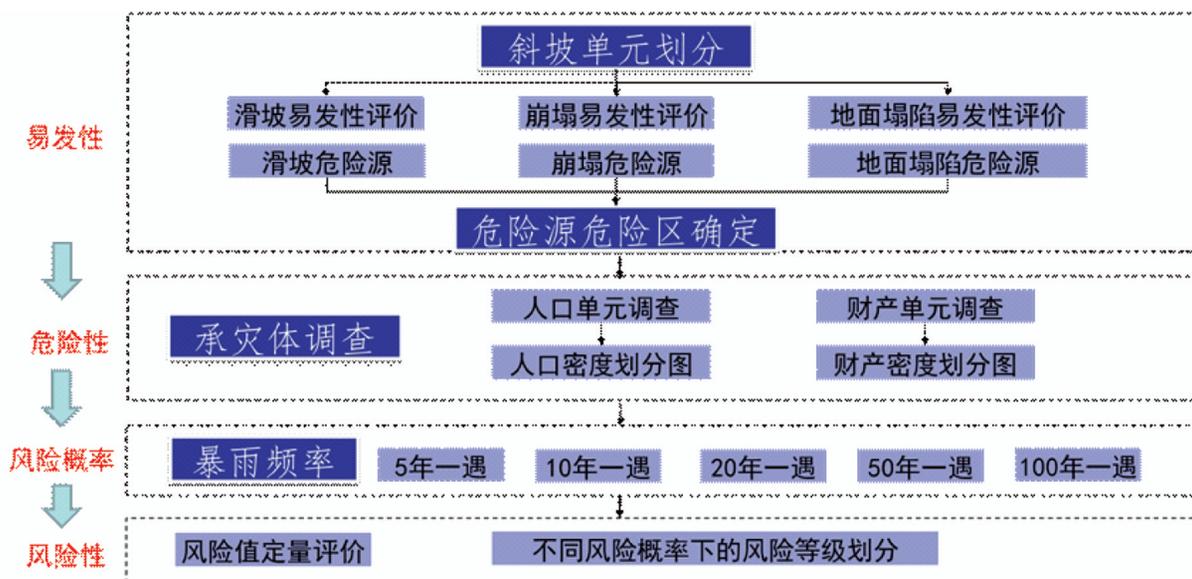


图4 地质灾害风险识别技术路线

Fig. 4 The technology thought for Risk identification of geological hazards

于山区泥石流或地质结构单一地区。对于有着复杂地质结构背景,矿产资源发达的贵州山区来说,仅通过地形地貌确定斜坡单元是不精确的。必须考虑小单元的划分。

(2) 斜坡单元精准划分

斜坡单元划分须遵循“山到顶,坡到脚”的完整斜坡圈定,两侧边界以临空面切断为界。根据坡体地质结构岩性组合、结构面、结构面与临空面的组合关系的差异性,按“区内相似,区际相异”的原则进行斜坡单元划分。按物质组成可划分为基岩斜坡与土质斜坡,其中基岩斜坡可划分为层状结构斜坡与完整岩体斜坡(如侵入岩)。层状结构斜坡根据斜坡坡向与岩层倾向的关系由可划分为顺向坡、逆向坡、斜向坡、横向坡和水平斜坡5类,同1个斜坡结构类型中,可根据其岩性(岩体)组合特征的差异性,进一步精确细分斜坡单元。

3.3 危险源判别

危险源在应急管理行业提法较多,根据ISO45001中危险源的定义,危险源是可能引起伤害和疾病的来源因素。安全风险分级管控包括识别危险源、评估风险等级、控制风险,隐患排查包括识别隐患、处理隐患(李娅,2019)。关于危险源含义的研究,(田水承,2006)认为,危险源是危险的物质、能量及灾变信息的爆发点,是产生与强化负效应的核心,并提出3类危险源的理论。结合上述含义,笔者认为地质灾害危险源是在一定时

期内可能发生滑坡、崩塌、泥石流、地裂缝、地面沉降等灾害的地质体。

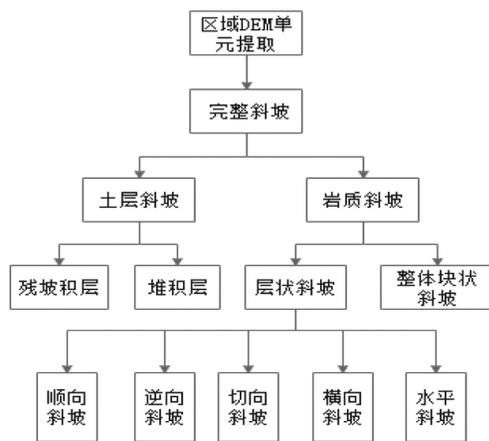


图5 斜坡单元类型划分

Fig. 5 The partition for types of slope units

危险源的辨识指识别危险源的存在并确定其特性的过程。危险源辨识的方法很多,各种方法从切入点和分析过程上,都有其各自的适用范围或局限性(李红旭,2011)。对于贵州山区城镇地质灾害危险源,由于地质结构复杂,致灾因素繁多,致灾机理复杂,是多种因素耦合的结果。因此,不能简单运用现有的危险源评价方法,必须通过对斜坡单元易发性分析和评价找出各评价单元内的潜在地质灾害。

3.4 易发指数计算

地质灾害易发性属自然属性,与威胁对象、灾情和险情等无关,用地质结构体可能发生地质灾

害的程度来度量,反映不同灾种的易发程度,可能发生的概率越高,则易发性越大。根据崩塌、滑坡(不稳定斜坡)等灾种的内因和外因,建立地质灾害易发程度的指标量化判别模式。运用层次分析法、信息叠加法等手段并借助GIS平台生成各因子相应的等级划分图进行评估单元取值,采用下列公式(丁俊,2006)计算单元的滑坡和崩塌易发性指数。

$$E_{f_{bh}} = \sum_{i=1}^9 a_i \cdot \frac{x_{ij}}{40} \quad (\text{公式 1})$$

式中: $E_{f_{bh}}$ —滑坡和崩塌易发性评估指数;
 a_i —环境变量权重;
 A_j —环境变量得分。

3.5 阈值及危险源区划分

选取研究区滑坡、崩塌典型斜坡单元,进行单元滑坡易发性指数计算,根据全区地质灾害易发性评价结果,结合现场调查所取得的认知,在典型地质灾害单体易发性评价的基础上进行综合分析,确定易发指数阈值。若斜坡单元滑坡易发指数 \geq ,即为滑坡危险源,斜坡单元崩塌易发

指数,则为崩塌危险源。基于地质灾害易发性评价结果及阈值,结合研究区内已有地质灾害隐患点所处的地质环境条件,将地质灾害危险源共划分为滑坡危险源、崩塌危险源和地面塌陷危险源。

4 数据采集与分析

4.1 斜坡单元数据采集

按照上述方法,将研究区共划分为80个斜坡评价单元,如图6,每个单元大小见表1。

4.2 易发性计算与分析

在地质灾害形成的因素中选取地势地貌、岩体性质、岩体结构、地质构造、降水作用、人为工程活动等作为环境地质变量,对各因素的影响大小赋予不同的权重和分值。并按照影响因子的普遍认识,将评分标准量化如表2。

按公式1,将上述因子进行计算,并经过自然断点法得出下述分段结果(表3)。

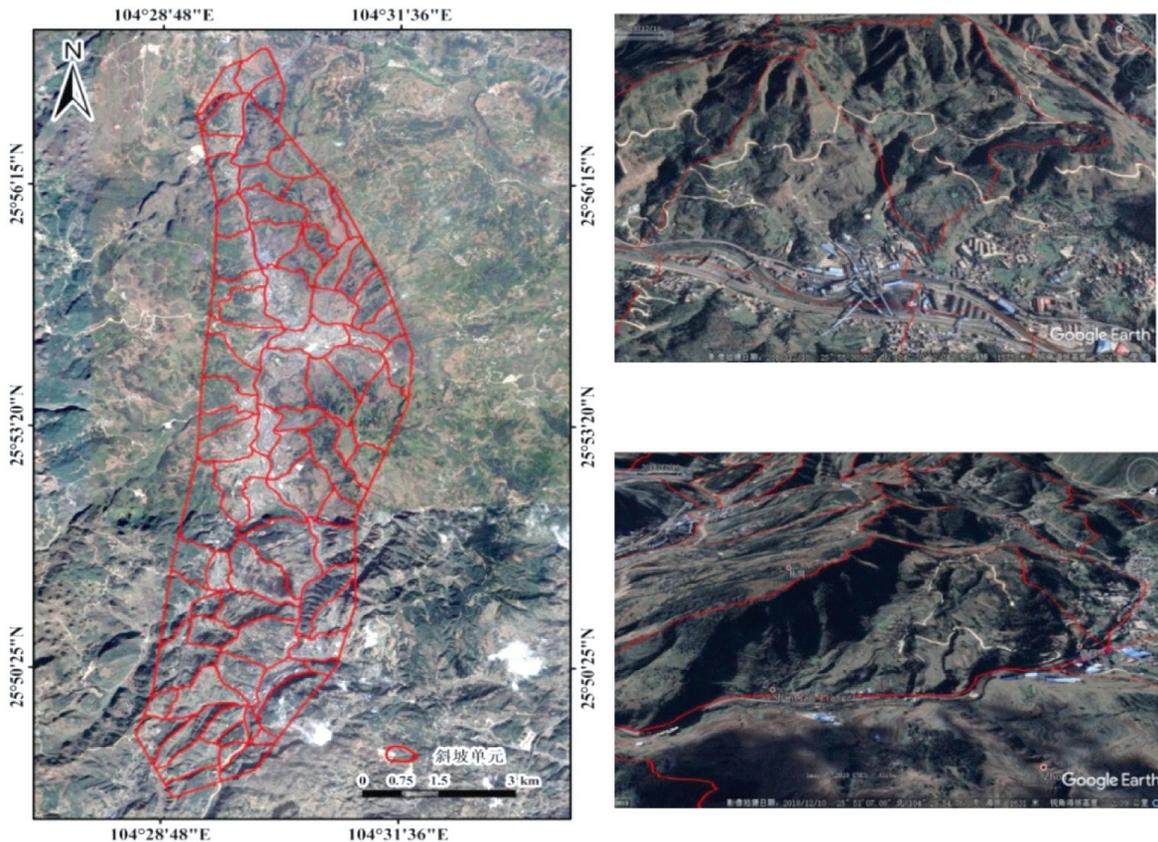


图6 斜坡单元划分图

Fig. 6 Partition of slope units

表1 研究区斜坡单元划分面积统计

Table 1 Areas statistic of slope units in the study area

斜坡单元 编号	面积(km ²)						
1	0.50	21	1.15	41	0.29	61	1.14
2	0.48	22	0.70	42	0.29	62	0.50
3	0.48	23	0.76	43	0.12	63	1.22
4	0.43	24	0.70	44	0.44	64	0.71
5	0.27	25	0.75	45	0.64	65	0.54
6	0.24	26	0.64	46	1.45	66	1.53
7	0.96	27	0.62	47	0.96	67	1.53
8	0.50	28	0.95	48	0.81	68	1.53
9	0.92	29	0.81	49	0.77	69	0.27
10	0.78	30	0.64	50	0.75	70	0.89
11	0.49	31	0.52	51	0.98	71	0.57
12	0.71	32	0.80	52	0.98	72	0.65
13	0.78	33	0.96	53	1.09	73	0.39
14	0.78	34	1.28	54	1.54	74	0.64
15	0.77	35	0.97	55	0.77	75	0.40
16	0.74	36	0.39	56	0.79	76	0.17
17	0.80	37	0.83	57	0.96	77	0.20
18	0.80	38	0.44	58	0.88	78	0.16
19	0.46	39	0.38	59	0.24	79	0.55
20	0.75	40	0.44	60	0.75	80	0.55

表2 崩塌易发性量化评分标准

Table 2 The grading standard for collapse susceptibility

序号	影响因子	权重	等级划分及得分			
			高易发(40)	中易发(30)	低易发(10)	不易发(1)
1	坡度(°)	0.15	>55	55~45	45~30	<30
2	坡向(°)	0.05	67.5~247.5	247.5~337.5	0~67.5	337.5~360
3	地层岩性及 岩土体结构	0.15	块状厚层状、坚硬 岩石岩、体破碎或 软、硬相间。	软硬相间的层状结 构岩体及碎裂状 岩体。	片状变质岩。	块状岩浆岩岩性单 一或厚层状岩体软 弱岩体。
4	地质构造	0.1	陡峭斜坡走向与区 域性断裂平行 几组 断裂的交汇部位褶 皱核部 褶皱走向与 坡面平行。	断裂密集分布褶皱 走向与坡面方向 斜交。	节理裂隙不发育褶 皱走向垂直于破面 方向。	断裂褶皱构造不 发育。
5	新构造活动 与地震	0.05	强烈抬升区活动断 裂发育地震活动强 烈地震烈度>9度。	抬升区活动断裂较 发育地震活动较强 烈地震烈度7度~ 9度。	相对稳定区地震烈 度<7度。	稳定区地震活动 微弱。
6	高程(m)	0.05	>500	400~500	300~400	<300
7	人类工程活动	0.05	人工爆破震动剧烈 矿业开采普遍其它 人为活动强烈。	人工爆破震动较剧 烈矿业开采普遍其 它人为活动较 强烈。	人工爆破震动微弱 矿业开采不普遍其 它人为活动轻微。	无人工爆破震动, 矿业开采很少其它 人为活动轻微。
8	降雨三日 最大降水量 (mm)	0.2	>200	200~>85	85~≥40	<40
9	崩塌发生率 与崩塌规模	0.2	常有中型以上的崩 塌发生或存在重型 以上的危岩体,常 有小规模崩塌或落 石发生。	常有小型崩塌发生 或存在小型的危石 存在时有落石 发生。	无崩塌发生无危岩 体存在 常有小规模 崩塌或落石发生。	无崩塌现象

表3 地质灾害易发性程度划分标准

Table 3 The partition standard for geological hazards susceptibility

灾种	易发性划分			
	高易发(4)	中易发(3)	低易发(2)	不易发(1)
滑坡	$E_{fH} \geq 0.34$	$0.30 \leq E_{fH} < 0.34$	$0.30 \leq E_{fH} < 0.25$	$0 \leq E_{fH} < 0.25$
崩塌	$E_{fB} \geq 0.34$	$0.30 \leq E_{fH} < 0.34$	$0.30 \leq E_{fH} < 0.25$	$0 \leq E_{fH} < 0.25$

4.3 阈值的确定

研究区滑坡和崩塌灾害所在斜坡单元易发指数均大于0.25,根据易发性评价结果,结合现场调查所取得的认知,在典型地质灾害单体易发性评价的基础上进行综合分析,本次风险评价工作易发指数阈值 $E_{fhh(阈)} = 0.34$ 。

斜坡单元滑坡易发指数 $E_{fhh(滑)} = 0.34 \geq 0.34$,视为滑坡危险源,斜坡单元崩塌易发指数 $E_{fhh(崩)} = 0.34$,视为崩塌危险源。

5 结果与讨论

根据上述评价方法,对研究区内的80个斜坡单元的地质灾害易发性进行评价。其主要斜坡单元评价结果见表4。在评价时,结合区域专项环境地质调查所取得的资料,对各斜坡单元分类使用滑坡与崩塌易发评价指标体系,将评价结果叠加后,得到地质灾害易发分区评价图7。

表4 研究区主要斜坡单元地质灾害易发性评价结果汇总

Table 4 The calculation results for geological hazards susceptibility of major slope units

类型	斜坡编号及易发指数							
斜坡单元	xp1	xp2	xp3	xp4	xp5	xp6	xp7	xp8
易发性指数	0.37	0.33	0.29	0.35	0.32	0.26	0.35	0.32
易发程度	高	中	低	高	中	中	高	中
斜坡单元	xp9	xp10	xp11	xp12	xp13	xp14	xp15	xp16
易发性指数	0.35	0.31	0.30	0.34	0.30	0.35	0.28	0.35
易发程度	高	中	中	高	中	高	低	高
斜坡单元	xp17	xp18	xp19	xp20	xp21	Xp23	xp23	xp24
易发性指数	0.30	0.29	0.39	0.30	0.39	0.29	0.32	0.29
易发程度	中	低	极高	中	极高	低	中	低

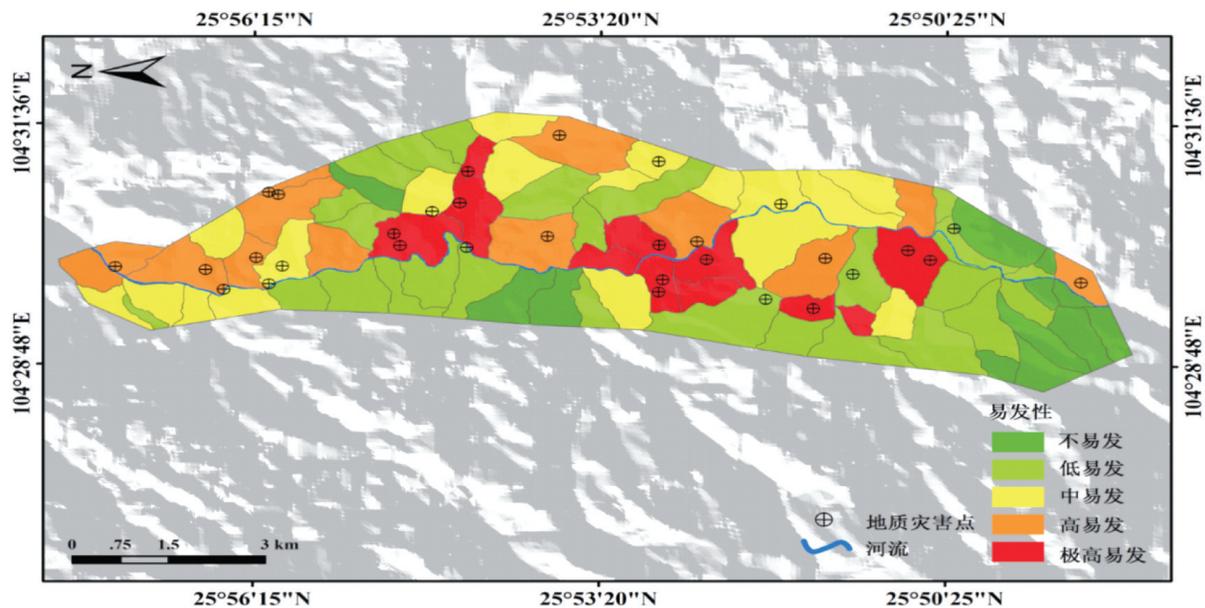


图7 盘关镇地质灾害易发性评价图

Fig. 7 The calculation result for geological hazards susceptibility of Panguan

按照阈值计算结果,研究区共有地质灾害危险源31处(图8),主要集中在拖长江沿岸,其分布具有分散性和集中性,其中滑坡危险源共16处,占全区地质灾害总数的52%,主要集中在盘关镇中部、沿河流和构造分布较为明显;地

面塌陷危险源共12处,占全区地质灾害总数的38.7%,主要分布受人类工程活动影响较大的地区;崩塌危险源共3处,占全区地质灾害总数的9.7%,分布在主要分布于二、三叠系地层中,受地层岩性影响较为明显。

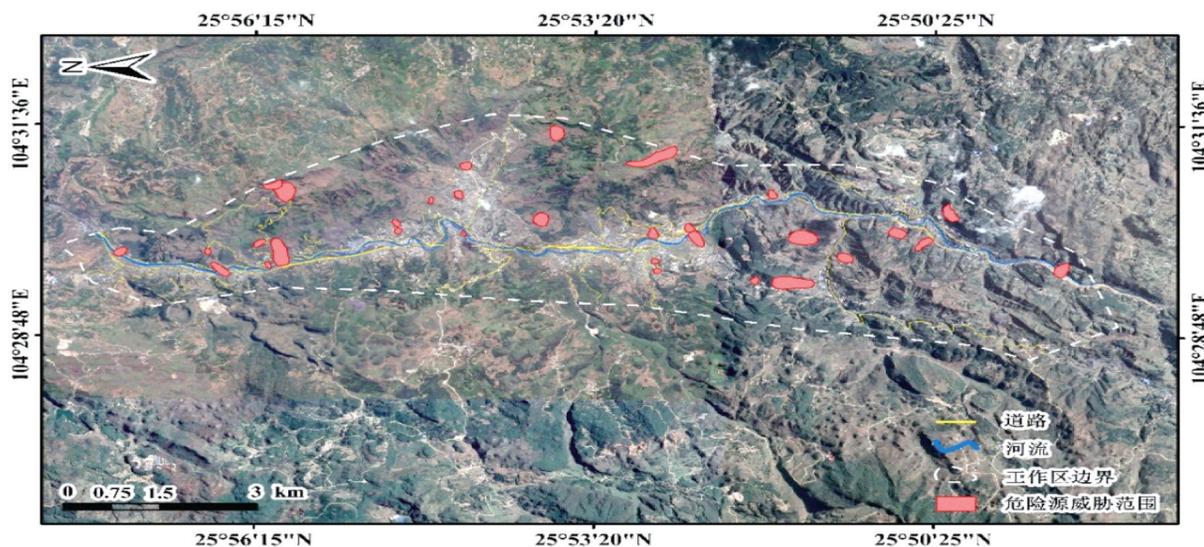


图8 盘关镇危险源分布及威胁范围

Fig. 8 The locations and ranges for hazards in Panguan town

经过验证,通过上述方法判定的危险源结果与实际情况较为吻合。在研究过程中,将地质灾害危险性评价单元和风险评价单元作为地质灾害危险区的基本单元,建立了一套适合贵州山区城镇地质灾害危险源寻找与判定的方法体系,其成果意义如下:

(1) 利用危险源判别方法,预测计算不同暴雨频率地质灾害危险源的危险区范围,并得出危险源分布图,结合降雨强度与暴雨频率的关系,可为下一步贵州省县级地质灾害风险气象预警预报工作及地质环境承载力协调系统提供技术支撑。

(2) 通过该方法得出的地质灾害危险源位置、大小、威胁范围、威胁人数与威胁财产、地质灾害发生不同险情的概率等成果资料,可为地方人民政府进行地质灾害风险决策与风险管控提供科学依据。

下一步,将继续完善地质灾害风险识别体系研究工作,进一步开展斜坡单元智能化划分,加强地貌单元识别工具的二次开发,以减少在实际工作中人工辨识所产生的复杂工作量,实现山区地质灾害风险快速识别。

[参考文献]

程露,周波. 2019. 基于纹理分水岭的斜坡单元提取算法[J]. 计算机应用,39(6):1810-1815.

丁俊,倪师军,魏伦武,等. 2006. 西南地区城市地质环境风险分区评价方法[M]. 成都,四川科学技术出版社.

黄启乐,陈伟,唐绪波,等. 2017. 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,26(5):157-163.

黄启乐,陈伟,傅旭东. 2018. 斜坡单元支持下区域泥石流危险性AHP-RBF评价模型[J]. 浙江大学学报(工学版),52(9):1667-1674.

霍艾迪,张骏,卢玉东,等. 2011. 地质灾害易发性评价单元划分方法-以陕西省黄陵县为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版),41(2):523-528.

赖琪毅,赵宾,杨麒麟,等. 2020. 盘州市盘关镇重点区域地质灾害详细调查及风险评价报告[R]. 贵阳:贵州省地质环境监测院.

冷洋洋,尤英锋,任帮政,等. 2020. 赤水市官渡至石堡重点区域地质灾害详细调查及风险评价报告[R]. 贵阳:贵州省地质环境监测院.

李红旭. 2011. 山区公路边坡地质灾害危险源辨识评价方法[D]. 北京:中国科学院研究生院.

李娜,傅贵. 2019. 关于危险源含义的再分析[J]. 中国安全科学学报,29(7):1-4.

田水承,李红霞,王莉. 2006. 三类危险源与煤矿事故防治[J]. 煤炭学报,31(6):705-710.

易进松,张勇,石胜伟,等. 2018. 基于斜坡单元的山区城镇地质灾害风险快速评价研究-以江口镇为例[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),45(8):72-78.

TIAN Shuicheng, LI Hongxia, WANG Li. 2006. Three types hazard theory and prevention of coal mine accidents[J]. Journal of China Coal Society,31(6):705-710.

(下转第350页)

(上接第333页)

New Identification Method for Geological Hazard Source in Mountainous Areas: A Case Study on the Key Area in Panguan Town, Panzhou City, Guizhou Province

LENG Yang-yang^{1,3}, WEI Lun-Wu², LAI Qi-Yi³

(1. Guizhou Institute of Geo-environment Monitoring, Guiyang 550081, Guizhou, China; 2. Chengdu Center of Geological Survey, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China; 3. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

[**Abstract**] Based on the Detailed Investigation of Geological Hazards and the Demonstration Project of Risk Assessment in key areas of Guizhou province. Taking the key area of Panguan town in Panzhou City as an example, this paper puts forward an innovative method for distinguishing geological hazard risk, which includes dividing slope units, calculating geological hazard proneness and its threshold value index, estimating the risk source of per geological hazard, compiling hazard distribution map of geological hazard in the study area. Relying on distribution map of the geological hazard sources and combining with the frequency of different rainstorms, the range of hazardous sources of geological disasters can be predicted and the distribution map of dangerous areas and sources can be compiled. and the meteorological forecast of geological hazard risk in key areas can be more scientific and reasonable according to the relationship between rainfall intensity and rainstorm frequency.

[**Key Words**] Mountainous areas; Slope units; Geological hazard; Identification method

贵州省地质博物馆建成开馆

荣获2020至2021年度中国建设工程“鲁班奖”的贵州省地质博物馆于近日建成开馆,免费向公众开放。该馆建筑面积4万余平方米,展陈面积1.6万余平方米,共收藏古生物化石、矿物晶体、岩(矿)石标本、地质资料等藏品10余万件。馆内设“神秘贵州”“多彩贵州”“富饶贵州”“奋进贵州”等常设展厅。贵州省地质博物馆气势恢宏,立足国际视野,突出贵州特色,寓教于乐,既注重科学知识普及,又体现科学文化内涵,是开展地学科普、研学,提升公民地球科学素养、传承科学文化的教育基地。(图见封面)

(贵州省地质学会、贵州省地质博物馆供稿)