

基于GIS的重庆巫山县崩塌灾害危险性分区评价*

唐红梅, 韩明明, 闫凝

(重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074)

摘要:【目的】对位于三峡库区的重庆巫山县进行崩塌灾害危险性分区评价。【方法】遴选了地貌类型、地形相对高差、地形坡度、地层岩性、距断裂构造距离、年均降雨量、植被覆盖度、土地利用类型等8个危险性评价指标及分级指标体系,利用层次分析法与专家系统获得了8个评价指标的权重系数,建立了崩塌灾害危险性评价综合指数模型。基于GIS技术,实现了8个危险性评价指标的单因素危险性分区、等面积及行政区划多因子空间叠加分区,获得了该县崩塌灾害危险性分区评价图。【结果】巫山县崩塌灾害低危险区、中危险区、高危险区和极高危险区分别占全县面积的16.9%,36.4%,31.5%和15.2%。以巫山县行政区划中的26个乡镇(街道)为单位,其中位于极高危险区的有6个乡镇(街道),位于高危险区的有9个乡镇(街道),位于中危险区的有8个乡镇(街道),位于低危险区的仅有3个镇(街道)。【结论】研究结果对巫山县崩塌地质灾害的防治具有重要参考价值。

关键词:崩塌灾害;层次分析法;GIS;危险性分区;巫山县

中图分类号:P642.21

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2019)05-0072-08

危岩崩塌是山区主要地质灾害类型之一,它的发生具有突发性特点,所导致的危害也十分严重,是一种在全球范围内泛生性的重大地质灾害。在中国中西部,危岩崩塌的发生区域极为广泛。随着中国公路、铁路、水运等交通基础设施的大力兴建,危岩崩塌灾害和人们的生活关系日趋密切,随时都有可能对人们的生命财产安全造成巨大威胁与重大损失,因此对崩塌灾害进行危险性分区评价具有重要的现实意义。

有关地质灾害危险性评价方法的应用十分广泛。叶四桥等人^[1]利用AHP-Fuzzy方法评价了万州首立山危岩,得到了较为可靠的评价结果。杨宗信等人^[2]利用信息熵原理,计算了评价因子的权重,建立了长江三峡库区危岩体的定量评价模型。唐红梅等人^[3]结合层次分析法与综合模糊数学法,从三峡库区灰岩地区大型崩塌体发生影响因素中选取了陡崖高度、陡崖结构特征、地质构造、崩塌体规模、主控结构面等10个评价指标,建立了崩塌体评价模型及评价指标体系,并用实例验证了评价模型的合理性。苏生瑞等人^[4]以G4217线汶川—理县段公路沿线发育的崩塌为例,选取了坡向、坡度等12个影响因子作为崩塌危险性评价指标,建立了危险性分级评价体系,联合使用熵权法和层次分析法,获得了有关影响因子的权重,然后与未确知测度理论结合,最终建立了综合评价模型,并对研究区内20个崩塌进行危险性评价。刘晓然等人^[5]应用可变模糊集理论对地震崩塌危险性进行了评价,在与其他方法计算结果进行对比后,发现可变模糊集方法在地震崩塌危险性评价上有更好的适用性。武中鹏等人^[6]选取含裂隙倾角、裂隙占比、充水占比不同工况下危岩的失稳概率、地面建筑物、植被覆盖度、地形起伏度等因素,通过数值模拟获得落石的影响范围,提出防治措施。柳依莎等人^[7]选取地形坡度、地层岩性、距离地质断层距离、到地面水体距离、土地利用类型和到交通干线距离为评价因子,应用信息量模型,对重庆市涪陵区进行了地质灾害危险性评价。高买燕等人基于RocFall数值模拟获得了落石威胁范围,利用层次-集对分析法获得了权重系数与评价模型,并将崩塌区分为极高危险、高危险、中危险及低危险共4个等级^[8]。孙敬辉等人以重庆市南川区甑子岩危岩体崩塌地质灾害为研究对象,根据危岩体结构面发育情况与崩塌落石特征确定模型尺寸,运用RocFall软件对崩塌落石的能量、速度、运动轨迹、落点位置、冲击力等进行模拟计算,对崩塌落石区进行了落石风险评估^[9]。高志勇以三峡库区重庆主城段崩塌灾害为例,进行了暴雨诱发的地质灾害遥感监测

* 收稿日期:2019-06-26 修回日期:2019-09-03 网络出版时间:2019-09-26 11:24

资助项目:国家自然科学基金(No. 51678097; No. 51378521)

第一作者简介:唐红梅,女,研究员,博士,博士生导师,研究方向为地质灾害减灾理论与防治技术,E-mail:hmtang6778@sina.com

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20190926.1123.018.html>

与评估研究^[10]。

此外,在危险性分区评价中,刘传正等人^[11]基于区域地质灾害评价预警的递进分析理论与方法,分别计算了三峡库区地质灾害的“发育度”“潜势度”“危险度”和“危害度”,并采用图斑合并的方法编制了相应的“四度”区划图。GIS技术在地质灾害危险性分区评价中也得到了较广泛的应用,如林孝松等人^[12]选取了暴雨强度、地貌条件、地质岩性、年均降雨量、植被覆盖度、地质构造等6个因子建立了评价指标体系,利用了层次分析法和专家效率相耦合的方法确定了指标权重,建立了孕灾环境综合指数模型,并利用GIS软件将重庆市地质灾害孕灾环境分成了4个区。唐红梅等人^[13]选取了灾害体、地表坡度、植被、水文、岩性、高程、库水位等7个评价因子通过GIS技术完成了对重庆市万州区地质灾害的危险性分区评价。齐洪亮等人^[14]进行了连阴雨诱发公路崩塌类灾害区域危险性评价,选取研究区域的年平均连阴雨次数、地形坡度、地表破碎程度、岩土体性质、植被特征等建立了评价指标,并将危险性分为5个等级,然后利用GIS技术实现了陕西省连阴雨诱发公路崩塌类灾害区域危险性评价。庄建琦等人^[15]以都汶公路沿线为例,选择遥感技术结合GIS技术评价了地震崩塌滑坡的危险性。

重庆市巫山县位于三峡库区腹地,区域内地形起伏大,地质构造复杂,人类活动频繁,易促成崩塌灾害的演变和发生。为此,本研究遴选了崩塌灾害危险性影响因子,利用层次分析法确定了评价指标的权重系数,构建了崩塌灾害危险性评价指标体系,并建立了崩塌危险性综合指数评价模型,最后基于GIS技术实现多因子叠加,对巫山县的崩塌灾害进行了危险性分区与评价,以期对巫山县崩塌灾害的防治提供参考资料。

1 评价指标体系构建

1.1 评价指标遴选

崩塌灾害发生常是内因和外因综合作用的结果。根据巫山县自然地理、地质环境、人类活动等情况,同时考虑了指标参数的可获得性、研究范围和研究精度的要求,从而构建了崩塌灾害危险性分区评价指标体系。遴选出的8个危险性分区评价指标如下。

1.1.1 地貌类型 崩塌灾害常发生于地势陡峻的山区、河流库岸地区及峡谷地区。巫山县地形以丘陵山区为主,同时长江水系横穿切割形成陡峭峡谷,为崩塌灾害的孕育提供了良好的地貌条件。

1.1.2 地形相对高差 地形相对高差的大小影响着斜坡形成后应力重分布与应力在坡缘和坡脚的集中程度。地形相对高差越大,在斜坡的坡肩位置会形成拉应力和坡脚的剪应力集中区集中区增大,随着坡高的增加应力集中会线性增长。所以地形相对高差越大,斜坡岩体危岩崩塌越容易形成与发育。

1.1.3 地形坡度 地形坡度对崩塌的发生有着极大的影响。随着斜坡坡度的增加,斜坡坡肩的拉应力也明显增加,更容易造成斜坡岩体后缘的拉裂破坏,最终导致崩塌灾害的发生。

1.1.4 地层岩性 不同的地层具有不同的岩性。不同岩性的化学成分、物理力学性能和风化能力也不同。巫山县区域内为由沉积岩组成的斜坡,软硬岩层相间。在差异风化的作用下,软弱岩层部分形成凹岩腔,上部硬岩岩体下部临空,形成危岩体,从而导致崩塌灾害的发生。同时,巫山县境内碳酸盐类地层广布,岩溶发育,加剧了陡高斜坡岩体的崩塌的发生。

1.1.5 距断裂构造距离 巫山县境内断层及褶皱地质构造较为发育。断裂带往往控制着崩塌灾害发育地带的延伸方向、发育规模和分布密度。岩体结构受断裂影响遭到破坏,节理裂隙发育,为地表水的入渗提供了通道,致使岩体的完整性和连续性明显下降。同时,地质构造对地形地貌也有影响,从而间接影响了崩塌灾害发育的临空条件。

1.1.6 年均降雨量 降雨对于斜坡岩体稳定性的影响主要体现为:雨水在斜坡岩体后缘的入渗,在岩体中形成了动、静裂隙水压力,并且雨水沿着已有的岩体裂隙下渗,岩溶作用会加深加宽已有的岩体裂隙。同时下渗的裂隙水会软化斜坡岩体的软弱夹层部分,降低岩体的力学参数,加剧软弱夹层上覆斜坡岩体的变形破坏,最终导致崩塌灾害的发生。

1.1.7 植被覆盖度 斜坡表面植被的覆盖状况对斜坡的稳定性也会造成影响。斜坡表面如果植被覆盖率高,能减轻风化作用对斜坡表面岩体的破坏作用,能降低雨水对坡面冲刷的流动速度和下渗速度,同时植物的根茎对斜坡岩体有一定的根固作用。植被覆盖度指植被在单位面积内的垂直投影面积占单位面积的百分比。NDVI为归一化植被指数,能反映植被的生长状况及空间分布密度,取值范围为 $[-1, 1]$ 。NDVI为负值表示地面覆盖为水域等;为0表示裸岩或者裸土;为正值表示地面上有植被覆盖。植被覆盖度越大,NDVI的值越大^[15],它的计

算公式如下:

$$V_{NDVI} = \frac{V_{NIR} - R}{V_{NIR} + R} \quad (1)$$

式中: V_{NDVI} 为 NDVI, V_{NIR} 为遥感影像的近红外波段灰度值, R 为遥感影像的可见光红波段灰度值。

1.1.8 土地利用类型 人类活动可近似地采用土地利用类型来表示。随着城镇化进程的加快,人们对土地的需求越来越大。随着公路、铁路等交通基础设施的修建,不可避免地要对斜坡进行挖填。在坡脚的开挖降低了斜坡岩体的稳定性,容易导致崩塌灾害的发生。巫山县煤炭等矿产资源丰富,采矿活动造成的地下采空区改变了上覆岩体的应力状态,导致斜坡岩体应力重分布,加剧了原本稳定的斜坡变得不稳定。

1.2 评价指标分级赋值

根据巫山县实际的孕灾环境,结合专家意见将遴选出的 8 个危险性分区评价指标分成低危险性(I)、中危险性(II)、高危险性(III)及极高危险性(IV)共 4 个等级;由于部分评价指标是定性的,为了能对它们进行量化评价,采用赋值的方法对所有指标进行量化,按照危险性等级从低到高的顺序,依次赋值为 1,2,3 和 4(表 1)。

表 1 危险性评价指标分级赋值体系

Tab.1 The classification and evaluation system for risk assessment indicators

项目	低危险性(I)	中危险性(II)	高危险性(III)	极高危险性(IV)
地貌类型(U_{11})	平地	丘陵	低山	中山
地形相对高差(U_{12})/m	[0,20)	[20,50)	[50,90)	≥ 90
地形坡度(U_{13})/(°)	[0,10)	[10,25)	[25,40)	≥ 40
地层岩性 U_{14}	第四纪松散堆积物	泥页岩	砂岩	灰岩
距断裂构造距离(U_{15})/m	$\geq 1\ 500$	[1 000,1 500)	[500,1 000)	[0,500)
年均降雨量(U_{21})/mm	[0,1 000)	[1 000,1 100)	[1 100,1 200)	$\geq 1\ 200$
NDVI(U_{22})	[-0.11,0.1)	[0.1,0.2)	[0.2,0.3)	[0.3,0.51]
土地利用类型(U_{23})	水域	未利用地	农用地	建设用地
量化赋值	1	2	3	4

注:“土地利用类型(U_{23})”一栏中,水域含坑塘水面、水库水面、河流水面、滩涂等;未利用地含林地、自然保留地等;农用地含园
地、旱地、水田等;建设用地含公路、水工建筑、特殊用地、采矿、风景名胜等。

1.3 评价指标权重系数确定

1.3.1 构建评价指标层次结构图 运用层次分析法构建了如图 1 所示的巫山县崩塌灾害危险性评价指标层次结构图。

1.3.2 确定评价指标的权重系数 层次分析法是利用专家系统法构造危险性评价指标的判断矩阵,并对判断矩阵进行一致性检验,有关计算公式如下:

$$V_{CR} = \frac{V_{CI}}{V_{RI}}$$

式中: V_{CR} 为判断矩阵的随机一致性比率, V_{CI} 为判断矩阵的一致性指标, V_{RI} 为判断矩阵的平均随机一致性指标。

V_{CI} 由下式获得:

$$V_{CI} = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

式中: λ_{max} 为判断矩阵的最大特征根, n 为判断矩阵的阶数。

V_{RI} 由大量实验给出,对于低阶的判断矩阵,它的取值见表 2。

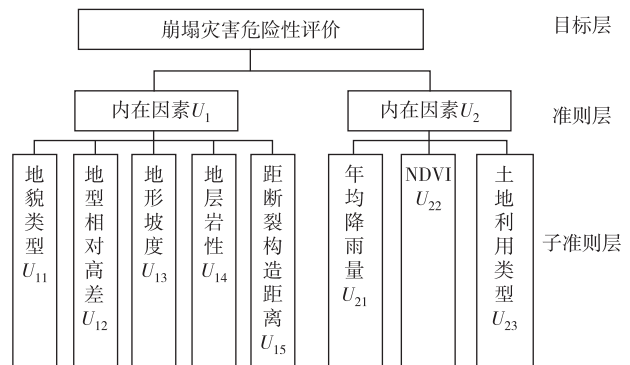


图 1 崩塌灾害危险性评价指标层次结构

Fig.1 Hierarchical structure of risk assessment indicators for collapse disasters

表 2 AHP 中 $n-V_{RI}$ 对应取值表
Tab.2 $n-V_{RI}$ Corresponding values of AHP

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
V_{RI}	0.00	0.00	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54

当 $V_{CR} < 0.1$ 时,表明判断矩阵具有较好的一致性,权重系数的分配较为合理,否则需要调整判断矩阵,直至满足一致性标准。

1) $U_{1i}-U_{2i}$ 构造准则层判断矩阵见表 3。通过计算得到 $\lambda_{max}=2, V_{CI}=0, V_{CR}=0 < 0.1$, 满足一致性检验,所取权重系数符合要求。

表 3 $U_{1i}-U_{2i}$ 判断矩阵

Tab.3 The $U_{1i}-U_{2i}$ judgment matrix

U	U_1	U_2	W_i
U_{1i}	1	2	0.667
U_{2i}	1/2	1	0.333

2) $U_{11}-U_{15}$ 构造内在因素判断矩阵见表 4。通过计算得到 $\lambda_{max}=5.068, V_{CI}=0.017, V_{CR}=0.015 < 0.1$, 满足一致性检验,所取权重系数符合要求。

表 4 $U_{11}-U_{15}$ 判断矩阵

Tab.4 The $U_{11}-U_{15}$ judgment matrix

U_{1i}	U_{11}	U_{12}	U_{13}	U_{14}	U_{15}	W_i
U_{11}	1	1/4	1/3	1/2	2	0.098
U_{12}	4	1	2	3	5	0.417
U_{13}	3	1/2	1	2	4	0.263
U_{14}	2	1/3	1/2	1	3	0.160
U_{15}	1/2	1/5	1/4	1/3	1	0.062

3) $U_{21}-U_{23}$ 构造外在因素判断矩阵见表 5。通过计算得到 $\lambda_{max}=3.009, V_{CI}=0.005, V_{CR}=0.009 < 0.1$, 满足一致性检验,所取权重系数符合要求。

表 5 $U_{21}-U_{23}$ 判断矩阵

Tab.5 The $U_{21}-U_{23}$ judgment matrix

U_{2i}	U_{21}	U_{22}	U_{23}	W_i
U_{21}	1	1/2	1/3	0.163
U_{22}	2	1	1/2	0.297
U_{23}	3	2	1	0.540

综合表 2~5,获得准则层与子准则层各影响因子的权重系数如表 6 所示。通过公式

$$V_{CR} = \frac{\sum_{j=1}^m a_j V_{CIj}}{\sum_{j=1}^m a_j V_{RIj}}$$

(a_j 为评价因子权重系数)计算得 $V_{CR}=0.014 < 0.1$, 满足一致性的要求,因此各个指标所取的权重系数符合要求。所获得的各个危险性评价指标权重系数见表 7。从表 7 中可见,地形相对高差的权重系数最高,然后地形坡度、土地利用类型、地层岩性、植被覆盖度、地貌类型和年均降雨量的权重系数依次降低,距断裂构造距离的权重系数最低。

表 6 准则层与子准则层各影响因子的权重系数

Tab.6 Weighting factors of each impact factor of the criterion layer and sub-criteria layer

目标层	准则层	准则层权重系数	子准则层	子准则层权重系数
巫山县崩塌灾害危险性分区评价	内在因素 (U_{1i})	0.667	地貌类型 (U_{11})	0.098
			地形相对高差 (U_{12})	0.417
			地形坡度 (U_{13})	0.263
			地层岩性 (U_{14})	0.160
			距断裂构造距离 (U_{15})	0.062
外在因素 (U_{2i})	0.333	年均降雨量 (U_{21})	0.163	
		NDVI (U_{22})	0.297	
		土地利用类型 (U_{23})	0.540	

1.4 崩塌灾害危险性评价模型

崩塌灾害危险性评价模型的建立是进行崩塌危险性区划的基础。通过建立崩塌灾害危险性评价的数学模型,达到对崩塌灾害进行定量评价的目的。巫山县崩塌灾害危险性评价的数学模型为基于层次分析法的综合评价指数法,计算公式如下:

$$I = \sum W_i U_i$$

式中: I 为第 i 个评价指标的危险性综合指数, W_i 为第 i 个评价指标的权重系数, U_i 为第 i 个评价指标评价等级。根据表 7 中的指标权重系数, 则危险指数综合评价模型为:

$$I = 0.066U_{11} + 0.278U_{12} + 0.175U_{13} + 0.107U_{14} + 0.014U_{15} + 0.054U_{21} + 0.099U_{22} + 0.18U_{23}$$

表 7 评价指标的权重系数

Tab. 7 Weighting factors of evaluation indicators

评价指标	权重系数	评价指标	权重系数
地貌类型(U_{11})	0.066	距断裂构造距离(U_{15})	0.041
地形相对高差(U_{12})	0.278	年均降雨量(U_{21})	0.054
地形坡度(U_{13})	0.175	NDVI(U_{22})	0.099
地层岩性(U_{14})	0.107	土地利用类型(U_{23})	0.180

2 基于 GIS 系统的崩塌灾害危险性分区评价

选用基于栅格的评价单元划分, 由于采用的 DEM 数字高程模型精度是 30 m, 故栅格单元的大小确定为 30 m × 30 m。在地形图上将巫山县总共划分为 3 280 365 个网格单元。将得到的 8 个危险性评价指标的单因素分布图按照表 1 中的分类赋值标准分别进行赋值, 重分类之后生成单因素危险性分区评价图(封二彩图 2)。

2.1 地貌类型分区评价

通过 ArcGIS 10.5 的 3D Analyst → TIN → 创建 TIN 工具, 将提取的巫山县等高线和等高点数据生成 TIN, 再利用 TIN to Raster 工具将 TIN 转换成栅格 DEM 数字高程模型, 得到的巫山县数字海拔高程模型。巫山县的地表海拔高程最高点为 2 680 m, 海拔高程最低点为 73.1 m。将地表高程按照表 1 的 [73.1, 200), [200, 500), [500, 1 000) 和 [1 000, 2 680] 的分级标准分成低危险性(I)、中危险性(II)、高危险性(III)及极高危险性(IV)共 4 个级别, 并分别赋值 1, 2, 3 和 4, 得到的地貌类型单因素危险性分区评价图如封二彩图 2a 所示。

2.2 地形相对高差分区评价

利用地形相对高差来描述地形起伏度的大小。采用统计单元内的地形相对高差作为标准, 利用已经生成的巫山县 DEM, 通过 ArcGIS 10.5 的 Spatial Analyst → 邻域分析 → 焦点统计工具, 邻域分析下拉选项选择矩形单位选择像元, 统计类型选择 RANGE, 得到了地形相对高差分布图。将巫山县地形相对高差按照表 1 的分级标准分成低危险性(I)、中危险性(II)、高危险性(III)、极高危险性(IV)等 4 个级别, 并分别赋值 1, 2, 3 和 4, 然后重分类。重分类之后得到巫山县地形相对高差单因素危险性分区评价图如封二彩图 2b 所示。

2.3 地形坡度分区评价

通过 ArcGIS 10.5 的 3D Analyst → 栅格表面 → 坡度工具, 在巫山县 DEM 的基础上生成了巫山县坡度分布图。将得到的巫山县地形坡度按照 [0, 10), [10, 25), [25, 40) 和 [40, 78.6] 的分级标准分成低危险性(I)、中危险性(II)、高危险性(III)及极高危险性(IV)共 4 个级别, 并分别赋值 1, 2, 3 和 4, 然后重分类。重分类之后得到巫山县地形坡度单因素危险性分区评价图如封二彩图 2c 所示。

2.4 地层岩性分区评价

从巫山县 1:50 000 地质图中矢量化提取巫山县主要的地质岩性, 根据巫山县地质图中地层的分区情况, 将主要的地层岩性分为 9 类, 得到了巫山县地层岩性分布图。将巫山县这 9 种主要的岩性归并为第四纪松散堆积物、泥页岩、砂岩及灰岩, 分别赋值 1, 2, 3 和 4, 利用 ArcGIS 10.5 的要素转栅格工具, 得到巫山县地层岩性因素危险性分区评价图如封二彩图 2d 所示。

2.5 距断裂构造距离单因素评价

从巫山县 1:200 000 地质构造纲要图中对巫山县主要的地质构造信息进行矢量化提取。利用 ArcGIS 10.5 的 Spatial Analyst → 距离 → 欧氏距离工具, 将得到的断裂构造矢量图进行缓冲区分析。将距断裂构造距离按照 ≥ 1500 , [1000, 1500), [500, 1000) 和 [0, 500) 分成 4 个级别即低危险性(I)、中危险性(II)、高危险性(III)及极高危险性(IV), 并分别赋值 1, 2, 3 和 4, 然后重分类。重分类之后得到的巫山县距断裂构造距离因素危险性分区评价图(封二彩图 2e)。该图显示, 距离七曜山大断裂、邓家断裂、竹贤断裂越近, 危险性越大。

2.6 年均降雨量单因素评价

利用从中国气象数据网获得的资料绘制巫山县年均降雨量等值线图, 再利用 ArcGIS 10.5 软件的空间插值功能利用克里金插值法获得巫山县年均降雨量分布图, 将巫山县的年均降雨量按照 [981.5, 1 000), [1 000,

1 100), [1 100, 1 200]及[1 200, 1 304.4]分成低危险性(I)、中危险性(II)、高危险性(III)及极高危险性(IV)共4个级别,并分别赋值1,2,3和4,然后重分类。重分类之后得到巫山县年均降雨量单因素危险性分区评价图,如封二彩图2f所示。

2.7 植被覆盖度单因素评价

利用(1)式提取研究区的NDVI,影像时间为2017年10月28日。植被NDVI按照[-0.11, 0.1), [0.1, 0.2), [0.2, 0.3)和[0.3, 0.51]分成低危险性(I)、中危险性(II)、高危险性(III)及极高危险性(IV)共4个级别,并分别赋值1,2,3和4,然后重分类。重分类之后得到了巫山县植被覆盖度单因素危险性分区评价图(封二彩图2g)。

2.8 土地利用类型单因素评价

将巫山县土地利用类型分成水域、未利用地、农用地和建设用地4个类型,危险性级别分别为低危险性(I)、中危险性(II)、高危险性(III)及极高危险性(IV),并分别赋值为1,2,3和4,利用ArcGIS 10.5的要素转栅格工具,最终得到巫山县的土地利用类型单因素危险性分区评价图如封二彩图2h所示。

3 基于GIS的巫山县崩塌灾害危险性分区评价结果

将所得的8个评价指标的单因素危险性分区评价图通过GIS技术进行空间叠加分析,得到的巫山县崩塌灾害危险性分区评价综合指数图如封二彩图3所示。将危险性综合指数分为[1, 1.93), [1.93, 2.27), [2.27, 2.63)和[2.63, 3.71]共4个级别。根据这4个级别,重分类之后将巫山县划分为低危险区,中危险区,高危险区和极高危险区共4个类别,得到的巫山县崩塌灾害危险性分区评价图如封二彩图4所示。根据封二彩图4,获得巫山县崩塌灾害危险性分区中,低危险区、中危险区、高危险区及极高危险区的面积比分别占巫山县总面积的16.9%, 36.4%, 31.5%和15.2%。

统计各个乡镇对应的崩塌灾害危险性综合指数的平均值,将危险性平均综合指数按照[1.97, 2.03), (2.03, 2.22], (2.22, 2.33)和(2.33, 2.55]分成低危险性(I)、中危险性(II)、高危险性(III)、极高危险性(IV)共4个危险性级别,得到以乡镇街道为统计单位的巫山县崩塌灾害危险性分区评价结果如封二彩图5所示:巫山县26个乡镇街道中,有抱龙镇等6个乡(镇)位于极高危险区;大溪乡等9个乡(镇)位于高危险区的;三溪乡等8个乡(镇)位于中危险区;仅大昌镇、高唐街道和龙门街道共3个镇(街道)位于低危险区(封二彩图5)。

4 结束语

本研究以三峡库区巫山县崩塌灾害为研究对象,遴选了地貌类型、地形相对高差、地形坡度、地层岩性、距断裂构造距离、年均降雨量、植被覆盖度及土地利用类型共8个危险性评价指标,构建了评价指标分级体系,通过层次分析法获得了8个评价指标的权重系数,建立了巫山县崩塌灾害综合指数危险性评价模型。在研究过程中,采用GIS空间叠加技术,利用已构建的综合指数评价模型,选取等面积法得到了8个评价因素的危险性分区评价图,并对它们进行了空间叠加,获得了巫山县崩塌灾害危险性综合指数图与危险性分区评价图。由该图可知:巫山县崩塌灾害中危险区面积最大,占全县面积的36.4%;其次是高危险区面积,占全县面积的31.5%;极高危险区和低危险区占全县面积比例较小,分别为15.2%和16.9%。

根据崩塌灾害危险性综合指数,对巫山县26个乡镇街道进行了危险性分区,结果显示该县有6个乡(镇)处于极高危险区,有9个乡(镇)处于高危险区,有8个乡(镇)处于中危险区,仅有3个镇(街道)处于低危险区。本研究成果对巫山县崩塌地质灾害的防治具有重要参考价值。

参考文献:

- [1] 叶四桥,唐红梅,祝辉.基于AHP-Fuzzy方法的危岩危险度评价[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2006,30(5):800-803.
YE S Q, TANG H M, ZHU H. Evaluation of dangerous rock risk based on AHP-Fuzzy method[J]. Journal of Wu-
- han University of Technology (Transportation Science and Engineering), 2006, 30(5): 800-803.
- [2] 杨宗信,乔建平,田宏岭,等.长江三峡库区危岩体的空间预测方法[J].地质通报,2009,28(8):1098-1102.
YANG Z J, QIAO J P, TIAN H L, et al. Spatial prediction

- method for dangerous rock masses in the Three Gorges reservoir area of the Yangtze river[J]. Chinese Journal of Geology, 2009, 28(8): 1098-1102.
- [3] 唐红梅, 韩明明, 王林峰. 基于 AHP-Fuzzy 法的灰岩地区崩塌体失稳危险性评价[J]. 灾害学, 2019, 34(3): 1-7.
TANG H M, HAN M M, WANG L F. Hazard assessment of collapsed rock mass in limestone area based on AHP-Fuzzy method[J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(3): 1-7.
- [4] 苏生瑞, 周阳, 周泽华, 等. 基于 EW-AHP 和未确知测度理论的崩塌危险性评价[J]. 工程地质学报, 2019, 27(3): 577-584.
SU S R, ZHOU Y, ZHOU Z H, et al. Hazard assessment of collapse using EW-AHP and unascertained measure theory [J]. Journal of Engineering Geology, 2019, 27(3): 577-584.
- [5] 刘晓然, 杨淳, 王威. 基于可变模糊集的地震崩塌危险性评价[J]. 安全与环境学报, 2018, 18(2): 571-575.
LIU X R, YANG Z, WANG W. Risk assessment of earthquake collapse based on variable fuzzy sets[J]. Journal of Safety and Environment, 2018, 18(2): 571-575.
- [6] 武中鹏, 刘宏, 董秀群, 等. 单体危岩崩塌灾害危险性评价: 以贵州威宁县新发乡樊家岩为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2019, 30(2): 30-34.
WU Z P, LIU H, DONG X Q, et al. Hazard assessment of rockfall disaster of a dangerous rock: a case study at Fanjiayan, Xinfa township, Weining county of Guizhou province [J]. Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2019, 30(2): 30-34.
- [7] 柳依莎, 杨华. 基于信息量模型的地质灾害危险性评价研究: 以重庆市涪陵区为例[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2012, 29(4): 34-40.
LIU Y S, YANG H. Research on risk assessment of geological hazards based on information model: taking Fuling district of Chongqing as an example [J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2012, 29(4): 34-40.
- [8] 高买燕, 唐红梅, 曾云松, 等. 崩塌灾害危险性评价方法及应用[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2013, 32(3): 446-450.
GAO M Y, TANG H M, ZENG Y S, et al. Rockfall hazard assessment method and its application [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2013, 32(3): 446-450.
- [9] 孙敬辉, 石豫川. 重庆甄子岩崩塌落石动力学特征及危险性分区[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2019, 30(3): 6-11.
SUN J H, SHI Y C. Dynamics and hazard zoning of collapse and rockfall in Zengziyan, Chongqing[J]. Journal of Geological Hazards and Prevention Engineering of China, 2019, 30(3): 6-11.
- [10] 高志勇. 暴雨诱发的地质灾害遥感监测与评估: 以三峡库区重庆主城段崩塌灾害为例[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
GAO Z Y. Remote sensing monitoring and assessment of geological hazards induced by heavy rain; taking the collapse of the main city section of Chongqing in the Three Gorges reservoir area as an example[D]. Chongqing: Southwest University, 2010.
- [11] 刘传正, 李铁锋, 温铭生, 等. 长江三峡库区地质灾害空间评价预警研究[C]//中国灾害防御协会. 全国突发性地质灾害应急处置与灾害防治技术高级研讨会论文集. 兰州: 中国灾害防御协会, 2010: 128-143.
LIU C Z, LI T F, WEN M S, et al. Space assessment and early warning research on geological disasters in the Three Gorges reservoir area[C]//China Association for Disaster Prevention. Proceedings of the national symposium on emergency response and disaster prevention technology for sudden geological hazards. Lanzhou: China Association for Disaster Prevention, 2010: 128-143.
- [12] 林孝松, 唐红梅, 陈洪凯, et al. 重庆市地质灾害孕灾环境分区研究[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(7): 3-9.
LIN X S, TANG H M, CHEN H K, et al. Study on the environmental division of geological disasters in Chongqing[J]. Chinese Journal of Safety Science, 2011, 21(7): 3-9.
- [13] 唐红梅, 林孝松, 陈洪凯, 等. 重庆万州区地质灾害危险性分区及评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(3): 1-5.
TANG H M, LIN X S, CHEN H K, et al. Risk zoning and evaluation of geological hazards in Wanzhou district, Chongqing[J]. Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2004, 15(3): 1-5.
- [14] 齐洪亮, 田伟平, 李家春. 陕西省连阴雨诱发公路崩塌类灾害区域危险性评价[J]. 长安大学学报(自然科学版) 2016, (3): 7-12.
QI H L, TIAN W P, LI J C. Regional risk evaluation of highway collapse induced by continuous rain in Shaanxi province[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science), 2016, (3): 7-12.
- [15] 庄建琦, 崔鹏, 葛永刚, 等. "5·12"汶川地震崩塌滑坡危险性评价: 以都汶公路沿线为例[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(Supp. 2): 3735-3742.
ZHUANG J Q, CUI P, GE Y G, et al. Risk assessment of collapses and landslides caused by 5.12 Wenchuan earthquake: a case study of Dujiangyan-Wenchuan highway[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(Supp. 2): 3735-3742.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

The GIS-Based Danger Zoning Evaluation of Collapse Disaster in Wushan County, Chongqing

TANG Hongmei, HAN Mingming, YAN Ning

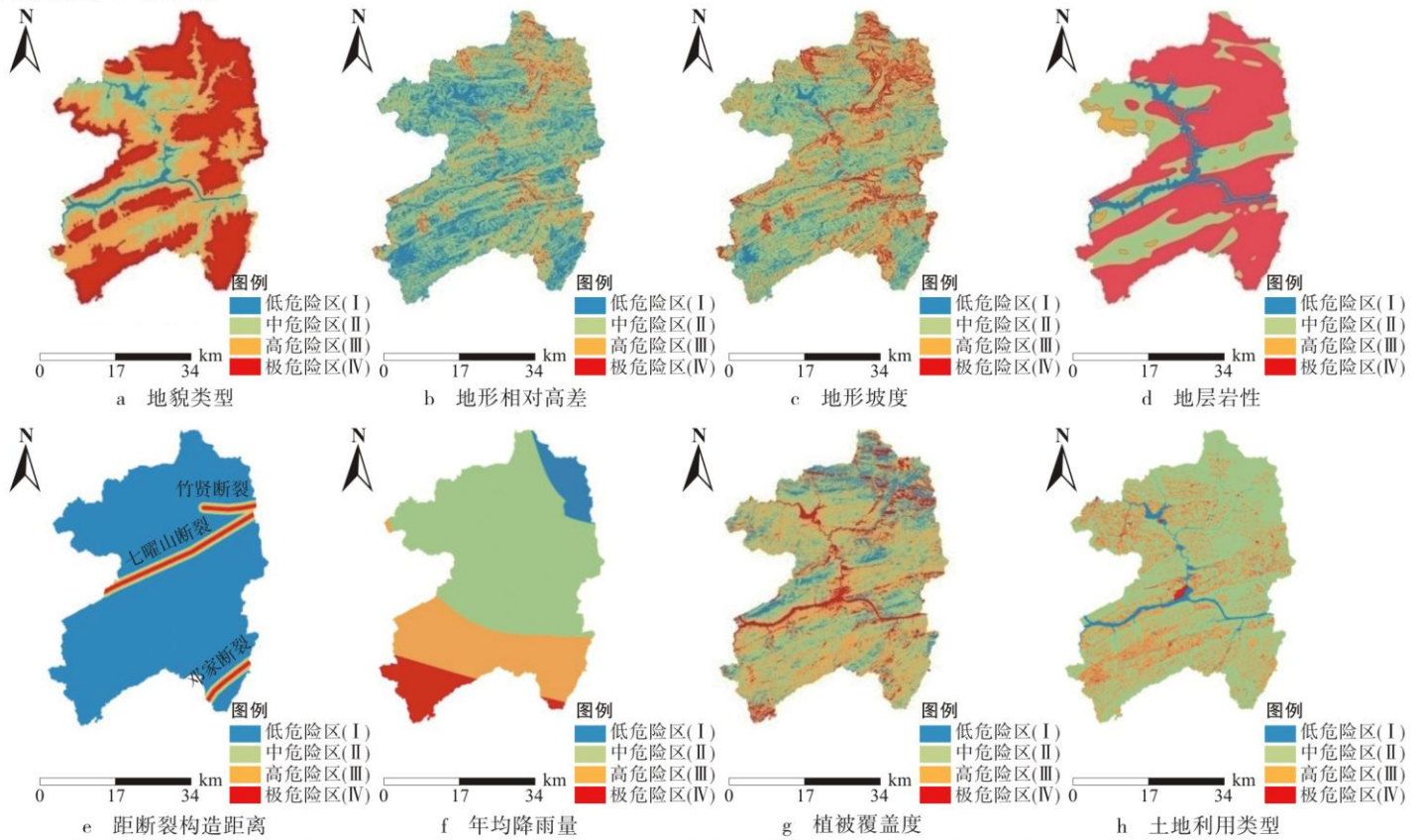
(Hehai College, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: [Purposes] To evaluate the danger zone of collapse of Wushan county, Chongqing in the Three Gorges reservoir area. [Methods] Selection eight risk assessment indicators and grading systems such as geomorphic types, relative height difference, the terrain slope, stratum layer lithology, distance from fault structure, annual average rainfall, vegetation coverage and land use type s were selected. The weight coefficients of the eight risk evaluation indicators are obtained and established comprehensive index model of collapse disaster by analytic hierarchy process and expert system. Based on GIS technology, the single factor risk zoning and equal-area spatial superposition zoning of eight risk assessment factors were realized, and the risk assessment of the collapse risk of the county was obtained. [Findings] The low-risk area, medium-risk area, high-risk area and extremely high-risk area of the collapse disaster, area ratio of Wushan county is 16.9%, 36.4%, 31.5%, and 15.2%. There are 26 townships (towns and streets) in the administrative area of Wushan county, including 6 townships (towns) in the extremely high-risk area and 9 townships (towns) in the high-risk area. There are 8 townships (towns) in medium-risk area and only 3 towns (streets) in the low-risk area. [Conclusions] The research results have important reference value for the prevention and controlling of collapse disaster in Wushan county.

Keywords: collapse disaster; analytic hierarchy process; GIS; risk zoning; Wushan county

(责任编辑 方 兴)

(接正文76~77页)



注：底图来源于重庆市规划和自然资源局网站“重庆市标准地图服务”提供的“巫山县政区图”，审图号：渝S(2017)039号，下同。

图2 不同因素的危险性分区图

Fig. 2 The danger zoning maps of different factors

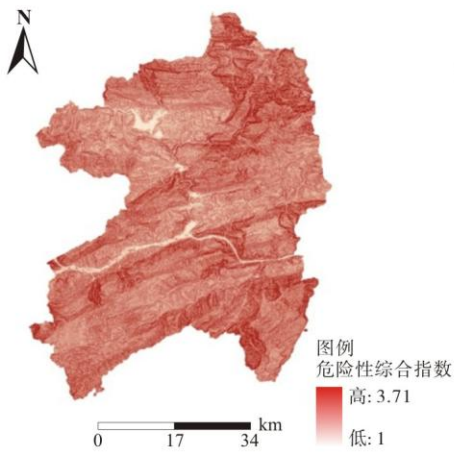


图3 崩塌灾害危险性评价综合指数
Fig. 3 The comprehensive index of risk assessment for collapse disasters

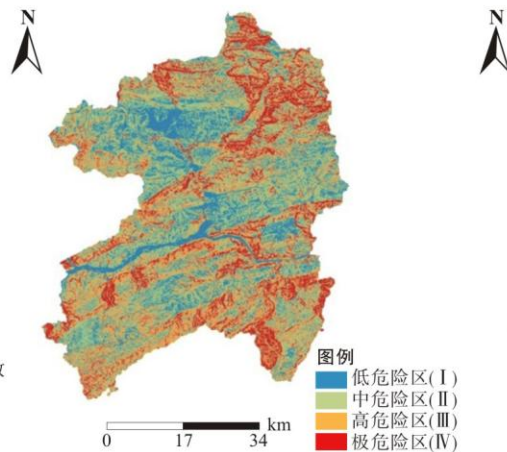


图4 崩塌灾害危险性分区评价
Fig. 4 The evaluation of the danger zone of collapse disaster

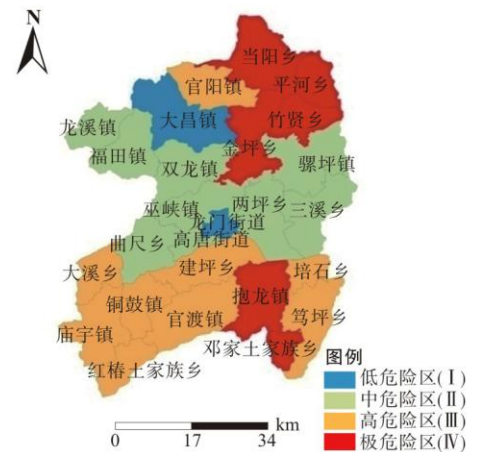


图5 行政区划的崩塌灾害危险性分区评价
Fig. 5 The Evaluation of the danger zone of collapse disaster of administrative area

(接正文80~81页)

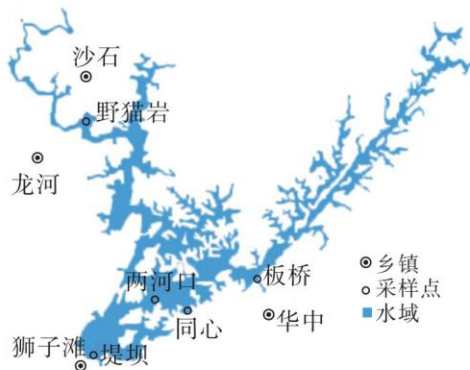


图1 采样点分布
Fig. 1 The location of the sampling sites

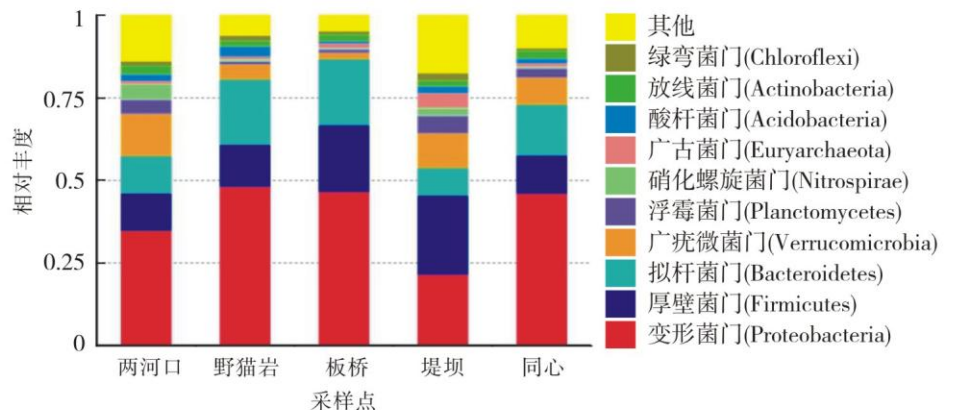


图2 底泥中主要优势菌门群落结构组成
Fig. 2 The composition of the main dominant microbial community structure in sediment