

新疆西昆仑地区泥石流灾害分析与评价

元伟涛¹, 张旺生², 邢宝石¹, 韩 扬¹, 姜立芳¹, 张 会¹, 周艳升¹

(1. 山东省第四地质矿产勘查院, 山东 潍坊 261021; 2. 中国地质大学(武汉) 地球科学学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要: [目的] 评价研究区泥石流的危险性, 找出适合新疆西昆仑地区泥石流灾害研究的技术和方法。[方法] 以新疆西昆仑山脉西段马尔洋地区为研究对象, 在充分收集、研究前人资料和有效利用其他信息源的基础上, 通过对研究区 ETM⁺ 影像数据的研究, 对研究区泥石流灾害点进行了判读。结合 DEM 数据, 对该区地形地貌进行了研究。[结果] 选取了合适的泥石流灾害危险性评价指标体系。一般危险区、中度危险区、高度危险区、极度危险区, 面积分别为: 31.69, 40.70, 38.31, 25.83 km², 所占比例分别为: 23.21%, 29.81%, 28.06%, 19.92%。[结论] 研究区泥石流灾害极度危险区和高度危险区占总面积的 47.98%, 主要分布在研究区的中部和西北部区域, 为泥石流灾害高度危险性易发区。

关键词: 泥石流; 遥感信息; 层次分析法; 新疆; 西昆仑

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)01-0303-05

中图分类号: P642.23

文献参数: 元伟涛, 张旺生, 邢宝石, 等. 新疆西昆仑地区泥石流灾害分析与评价[J]. 水土保持通报, 2016, 36(1): 303-307. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.01.054

Analysis and Evaluation on Debris Flow Disaster in West Kunlun Area of Xinjiang Region

YUAN Weitao¹, ZHANG Wangsheng², XING Baoshi¹,

HAN Yang¹, JIANG Lifang¹, ZHANG Hui¹, ZHOU Yansheng¹

(1. Shandong Provincial NO.4 Institute of Geological and Mineral Survey, Weifang, Shandong 261021, China; 2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract: [Objective] To explore the technology and method of the analysis and evaluation of debris flow disaster in the west Kunlun area of Xinjiang Region. [Methods] Taking Maeryang area of Xinjiang Region as the research area, and studied the characteristics of the geological environment in the region with the collected previous data and other information sources. Through interpretation of ETM⁺ images on the study area, the debris flow sites were identified. The terrain and topographic characteristics were also analyzed with DEM data. [Results] The appropriate indicators were selected for debris flow hazard assessment, and an index system was developed for risk assessment. The general risk area, medium risk area, high-risk area and extremely dangerous area were 31.69 km², 40.70 km², 38.31 km² and 25.83 km², with an area ratio of 23.21%, 29.81%, 28.06% and 19.92%, respectively. [Conclusion] Extremely and high danger zone in the study area account for 47.98% of the total area, mainly distribute in the northwest and central regions, and which is highly dangerous geologic disaster occurrence areas.

Keywords: debris flow; remote sensing information; AHP; Xinjiang Region; West Kunlun Mountains area

泥石流是中国山区最为常见的自然地质灾害之一。遥感技术和 GIS 数据处理方法在泥石流灾害的调查、分析、评价等方面发挥了重要作用, 国内外学者为此做了大量的探索和研究, 取得了一系列令人瞩目的研究成果^[1-3]。胡卸文等^[4]分析了唐家山堰塞湖大

水沟泥石流发育特征并对其危险性进行了评价; 魏永明等^[5]通过对甘肃省舟曲特大泥石流的遥感影像特征分析得出高分辨率影像的光谱特征可用于圈定泥石流灾害的范围; 魏斌斌等^[6]采用灰色关联法对北川县泥石流危险性进行了评价。

收稿日期: 2015-08-16

修回日期: 2015-10-09

资助项目: 河南省国土资源厅“新疆西昆仑地区铁矿普查”(06WX-1)

第一作者: 元伟涛(1986—), 男(汉族), 山东省昌邑市人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为灾害遥感与 GIS 应用。E-mail: yuweitao@163.com。

通讯作者: 张旺生(1955—), 男(汉族), 湖北省武汉市人, 博士, 教授, 主要从事遥感地质学、地质灾害学研究。E-mail: Zhangwangsheng@163.com。

综上所述,前人对泥石流灾害的研究区域主要集中在经济发达程度高,人口相对稠密的地区,对西部边境区域的研究很少。本文以新疆西昆仑山脉西段马尔洋地区为研究区,拟利用遥感和 GIS 技术,研究该区域易引发泥石流的地形地貌及植被等因素,并对研究区已发生的泥石流信息进行解译,最后基于层次分析法,对研究区泥石流的危险性进行评价。以期为找出适合新疆西昆仑地区泥石流灾害研究的技术和方法提供科学依据。

1 研究区概况

研究区中心位于新疆塔什库尔干县城东南约 80 km,东经 75°33′45″—75°43′30″,北纬 37°20′00″—37°25′00″,面积 136.52 km²。研究区属高山区,地形切割强烈,地势陡峻,区内最高处在研究区西部,为 5 210 m,最低处在走克本东侧的马岭足诺依河谷中,为 3 400 m,相对高差 1 810 m。

区内属寒温带干旱气候,夏天少雨,冬季多雪。气温较低,最低温度-36℃,最高温度 20℃,年平均气温 3.4℃。年平均湿度 0.5%~12%。每年 5—9 月为无霜期。10 月至翌年 4 月为冰冻期,冻土深度大于 2 m。全年降水量 120~150 mm,蒸发量 2 324 mm,年日照时数 2 857 h。区内土壤和植被垂直分带比较明显,4 800 m 以上属高山冰碛粗骨土和高山冷荒漠土,植被稀少;4 000~4 800 m 属高山草甸土和泥炭质草甸土,植被矮小,草本,生长期很短;3 000~4 000 m 属山地草原和高山草甸栗钙土带,发育草本及木本植物,以草本为主,木本植物多生长于大河岸边居民区附近。区内有史记载没有发生过地震。

2 资料收集与处理

2.1 遥感影像收集与处理

2.1.1 影像预处理 本文所用的遥感影像数据由美国第 7 号资源卫星于 2012 年 7 月 20 日拍摄,将经过校正配准的图像根据研究区范围对影像进行裁剪处理以满足操作应用。工作中主要是根据 1:100 000 地形图的边界对影像进行分幅裁剪,利用 Arc/info 绘制精确的边界多边形(Polygon),将 Arc/info 多边形转换成栅格图像文件,通过掩膜运算(Mask)得到研究区的遥感图像。

2.1.2 各波段数据的相关分析 利用 ENVI 软件的 Statistics 模块,统计图像各波段相关系数,根据各波段数据特征统计分析和相关分析,将有用信息波段划分为 3 组:波段 2 和 3,波段 4,波段 5 和 7。所有可

能的波段组合为 245,247,345,347 这 4 种。根据最佳指数法(OIF)公式,得出计算结果(表 1)。

表 1 ETM⁺ 波段组合方案最佳指数法 OIF 计算结果

波段组合方案	245	247	345	347
OIF 计算结果	22.823	23.512	25.189	25.915

由最佳指数法计算结果可知,波段 3,4,7 组合的 OIF 最大。结合 3,4,7 波段的光谱特性和用途可以看出,波段 3,4,7 适合本文研究的岩性、植被、构造信息提取。所以选择波段 3,4,7 组合为本文研究的最佳波段组合。选取波段 347 作为假彩色合成的 RGB 波段。

2.2 GIS 数据处理

(1) 在 MAPGIS 软件下,在 1:10 000 矢量地形图中提取等高线图层。(2) 运用 MAPGIS 软件的高程自动赋值功能,对等高线赋予高程值属性。(3) 进行拓扑错误检查,包括线段重叠、不封闭、自相交,坐标点重叠,为保证后期构建 DEM 的效果,清除高程值为零的微小线段。(4) 数据格式转换,将 MAPGIS 下的 wt,wl,wp 点线面文件,通过过渡格式 E00 文件,转换为 ArcGIS 软件支持下 Shapefile 格式下的 Point,Polyline,Polygon 点线面文件。(5) 在 ArcGIS 软件下生成该地区数字高程模型(DEM)。

3 基于 DEM 和遥感影像的灾害信息提取

3.1 泥石流灾害点解译

本文结合研究区的遥感影像图、地形图、三维遥感影像,综合考虑研究区泥石流的形成区、流通区和堆积区的影像特征^[7],实现研究区泥石流灾害点解译,通过判读,解译出研究区泥石流灾害点 44 处,通过插值得到研究区泥石流灾害点密度分布图(图 1)。

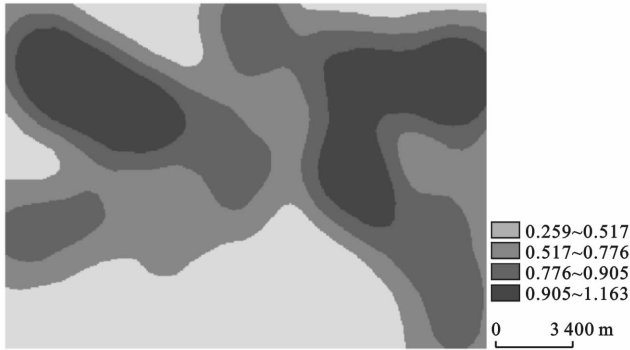


图 1 西昆仑地区泥石流灾害点密度分布

3.2 地形地貌信息

3.2.1 地形起伏度 地形起伏度(relief amplitude)

是研究地貌形态、划分地貌类型的重要指标^[8]。其计算公式如下:

$$R=H_{\max}-H_{\min}$$
 (1)

式中: R ——地形起伏度; H_{\max} ——单位面积内的高程最大值; H_{\min} ——单位面积内的高程最小值。

在 ArcGIS 软件下加载 DEM 数据,在 Spatial Analysis 模块中使用 Neighborhood Statistics 命令,设置 Statistic 值为最大值,领域的类型为矩形(也可以为圆),领域大小为 750 m,得到的最大值层面 A;用相同的方法,把 Statistic 值设置为最小值,得到层面 B;在 Analysis 菜单下使用 Calculator 命令,计算 $A-B$,即可得到地形起伏度图(图 2)。

根据刘新华等^[9-10]关于中国地形起伏度的研究成果,结合研究区地形地貌的实际情况,将研究区地

形起伏度分为 4 个等级统计分析:小于 75 m 为微起伏,75~200 m 为小起伏,200~400 m 为中起伏,大于 400 m 为大起伏,等级统计结果如表 2 所示。

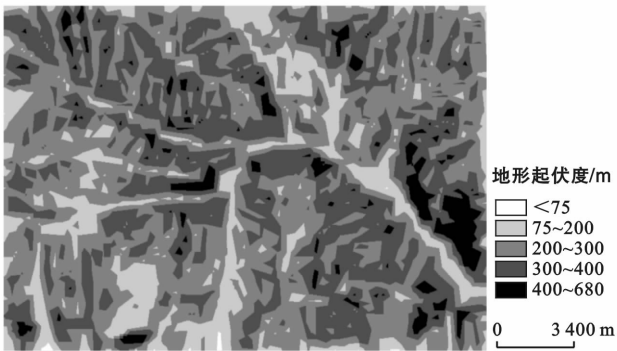


图 2 新疆西昆仑地区地形起伏度

表 2 研究区地形起伏度各等级统计

地形起伏度等级	起伏度(M)	像元数	面积百分比/%	地貌类型
微起伏	<75	56	0.13	微小丘陵
小起伏	75~200	5 923	14.62	切割丘陵地及缓起伏的高地
中起伏	200~400	32 782	80.94	切割高地、切割山地
大起伏	>400	1 739	4.29	高山

3.2.2 河网密度 河网密度能准确的反映地表切割破碎程度,它是研究区气候、岩性、地形、植被等因素综合影响的结果。ArcGIS 软件提取河网特征是在水文分析模块(Hydrology)下进行的。具体流程包括:(1)洼地填充(FILL);(2)水流方向的确定(flow direction);(3)汇流累积数据计算(flow accumulation);(4)河网络提取:基于 DEM 的沟谷网提取采用的是最大坡降法,即可得到地形起伏度图(图 3)。

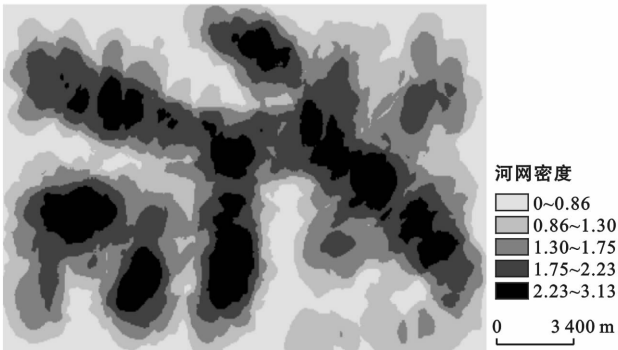


图 3 新疆西昆仑地区河网密度示意

3.2.3 坡度 坡度指过该点的切平面与水平面的夹角,表征地表面在该点的倾斜程度。地面坡度不但是地貌研究的重要部分,也是自然地理特征及生产力布局的重要基础数据,具有重要的理论意义和应用价值^[11]。上文已在 ArcGIS 软件中生成了规则格网 DEM,基于此,利用 Surface 菜单的 Drive Slope 工具即可得到研究区坡度图(图 4)。

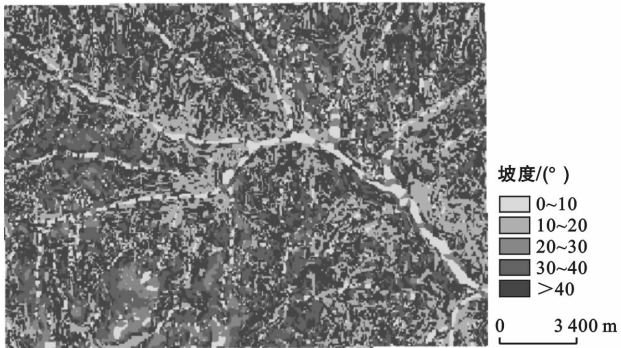


图 4 新疆西昆仑地区坡度

3.2.4 坡向 在 ArcGIS 软件中生成规则格网 DEM,利用 Aspect Analysis 菜单下的的 Surface 工具即可得到研究区坡度图(图 5)。

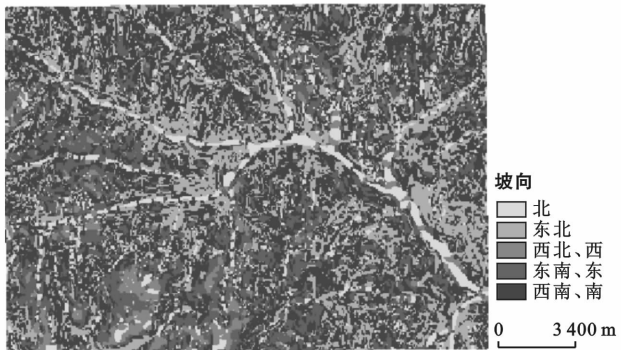


图 5 新疆西昆仑地区坡向

3.3 植被覆盖度

植被覆盖度计算公式如下^[12]：

$$f_g = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (2)$$

式中： f_g ——植被覆盖度；NDVI——归一化植被指数； $NDVI_{\max}$ ——归一化植被指数最大值； $NDVI_{\min}$ ——归一化植被指数最小值。

利用 ArcGIS 软件的 Raster Calculator 工具,根据上述公式进行植被覆盖度的计算。

将研究区植被覆盖度分为 V 类:高覆盖度(80%~100%)、较高覆盖度(60%~80%)、中高覆盖度(40%~60%)、中覆盖度(20%~40%)、低覆盖度(0%~20%)。

4 泥石流灾害危险性评价

4.1 评价指标体系

4.1.1 泥石流现状指标 选取现有灾害点密度为泥石流现状指标。灾害点密度反映已发生的泥石流灾害的聚集程度,在一定程度上反映研究区泥石流灾害的危险性,对未来灾害的发生有一定的预测意义。

4.1.2 岩性指标 研究区主要岩石类型为大理岩、片理化闪长岩、斜长角闪岩、燕山晚期细粒花岗岩、黑云石英片岩、二云石英片岩、红柱石黑云石英片岩根据各类岩石的风化快慢程度,按照其对泥石流危险性的影响排序为:斜长角闪岩>燕山晚期细粒花岗岩>红柱石黑云石英片岩>黑云石英片岩>二云石英片岩>大理岩>片理化闪长岩。

4.1.3 地形地貌指标 选取地形起伏度、坡度、坡向为影响泥石流危险性的地形地貌指标。地形起伏度以相对高差的形式充分反映了地表的起伏特征,是地

貌因素选取的重要指标。地形起伏度大的区域往往具有较大的潜在势能,发生泥石流灾害的可能性较大。较陡的坡度是泥石流形成的必备条件之一,但是根据前人的研究发现,泥石流发生的可能性并不是随着坡度的增大而增加。DaiFuchu、程康等^[13]的研究结果表明 30°~40°的坡度发生泥石流的概率最大,当坡度小于 10°或大于 40°发生泥石流的可能性很小。坡向对于山地生态有着较大的作用。山地的方位对日照时数和太阳辐射强度有影响。根据谭万沛,王成华的研究成果^[14],由于太阳热力对坡向的不对性作用,北半球西南坡、南坡泥石流发生的频率、程度要远远地大于北坡和西北坡。

4.1.4 水文气象指标 研究区属寒温带干旱气候,全年降水量 120~150 mm,蒸发量 2 324 mm,降雨对泥石流灾害的形成影响不大。泥石流形成的诱发性因素主要是由于冰雪融水和风力的作用加剧了松散碎屑物在河网的搬运和堆积。所以选取河网密度作为研究区泥石流评价的水文气象指标,河网密度越大,地表切割破碎程度越大,地表径流越容易汇集,发生泥石流的潜在危险性就越大。

4.2 评价指标量化

本文参照国内外泥石流危险性评价的研究成果,综合考虑研究区泥石流灾害的影响因素以及评价指标的空间差异性和代表性,选取了灾害点密度、岩性、地形起伏度、沟谷密度、坡度、坡向、植被覆盖度 7 个评价因子。根据其对泥石流灾害危险性影像程度的高低划分为 5 个等级,分别赋值为 0.2,0.4,0.6,0.8,1.0。等级越高,赋值越大,对泥石流灾害发生的影响程度越大(表 3)。

表 3 评价指标危险性等级划分及量化取值

评价指标	危险性等级划分/量化取值				
	I 级(0.2)	Ⅱ级(0.4)	Ⅲ级(0.6)	Ⅳ级(0.8)	V 级(1.0)
灾害点密度	0~0.259	0.259~0.517	0.517~0.776	0.776~0.905	0.905~1.163
岩性	大理岩、片理化闪长岩	黑云石英片岩、二云石英片岩	红柱石黑云石英片岩	燕山晚期细粒花岗岩	斜长角闪岩
地形起伏度	<75	75~200	200~300	300~400	>400
河网密度	0~0.86	0.86~1.30	1.30~1.75	1.75~2.23	2.23~3.13
坡度/(°)	<10	>40	10~20	20~30	30~40
坡向	北	东北	西北、西	东南、东	西南、南
植被覆盖度/%	80~100	60~100	40~60	20~40	0~20

4.3 权重确定

本文利用层次分析法^[15-16],通过 matlabe 软件进行运算确定了研究区内泥石流灾害危险性因子的权重。影响泥石流灾害危险性因素的排序看,因素有:灾害点密度、沟谷密度、地形起伏度、坡度、岩性、坡向

和植被覆盖度,其权值分别为:0.372 7,0.269 9,0.140 6,0.090 4,0.065 5,0.036 7,0.024 2。

4.4 评价结果分析

危险性评价采用危险性指数作为评价模型,对各评价因子进行综合分析并分区(图 6)。具体公式为:

$$D_L = \sum_{i=1}^n W_i \times I_i \quad (3)$$

式中: D_L ——危险性指数; W_i ——各评价指标的权重; I_i ——第 i 个指标的量化分值。

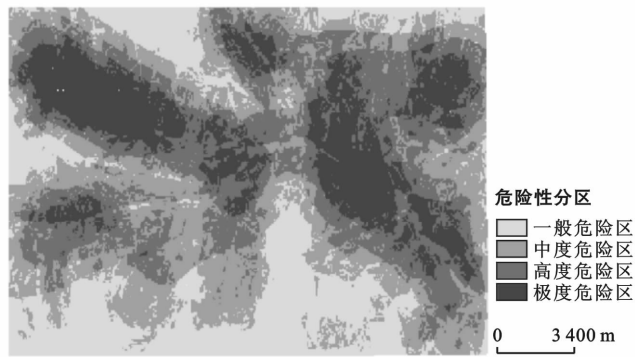


图6 泥石流灾害危险性评价分区

(1) 极度危险区。极度危险区综合评价指数为 0.773 8~0.955 9, 面积 25.83 km², 占研究区总面积的 19.92%。主要分布在研究区的中部和西北部区域。该区域内灾害点密度大, 沟谷密集, 地形起伏大, 岩性以易风化的斜长角闪片岩为主, 碎屑物质较多, 物源丰富, 极易于泥石流的发育。

(2) 高度危险区。高度危险区综合评价指数为 0.591 7~0.773 8, 面积 38.31 km², 占研究区总面积的 28.06%。主要分布在研究区的西南和东北区域。该区域灾害点密度较大, 岩性以黑云石英片岩为主, 植被覆盖度低, 坡向以易于岩石风化的南坡和西南坡为主。

(3) 中度危险区和一般危险区。中度危险区、一般危险区综合评价指数分别为 0.409 7~0.591 7, 0.227 6~0.409 7, 面积 40.70 km², 31.69 km², 占研究区总面积的百分比分别为 29.81% 和 23.21%。主要分布在研究区海拔较高的西南和南北区域。这两个区域等高线稀疏, 地形起伏不大, 地势平坦, 植被覆盖度高, 岩性以二云石英片岩和片理化闪长岩为主, 现阶段无泥石流灾害发育, 潜在发生泥石流的可能性小。

5 结论

(1) 将 DEM 和遥感影像相结合提取研究区的地形地貌、植被等信息对泥石流灾害的危险性评价具有重要意义。通过研究得出: 该研究区地貌类型以 200~400 m 中度起伏的切割山地、切割高地为主, 占研究区总面积的 80.94%; 坡度主要以 15°~35°, 35°~55° 的陡坡和极陡坡为主, 分别占研究区总面积的 46.94% 和 41.28%, 这些因素都易于泥石流灾害的发育。

(2) 通过建立研究区泥石流灾害危险性评价指

标体系得出, 研究区泥石流灾害极度危险区和高度危险区占总面积的 47.98%, 主要分布在研究区的中部和西北部区域, 为泥石流灾害高度危险性易发区。

(3) 由于各种主客观条件的限制, 对该地区泥石流形成的动力学性质缺少必要分析, 泥石流灾害危险性指标体系的构建尚需进一步的完善。

【参考文献】

- [1] 王学良, 李建一. 基于层次分析法的泥石流危险性评价体系研究[J]. 中国矿业, 2011, 20(10): 113-117.
- [2] 胡卫忠. 新疆的干旱环境与滑坡、泥石流及其防治对策[J]. 地质灾害与环境保护, 1994, 5(3): 1-7.
- [3] 况顺达, 王尚彦, 戴传固, 等. 喀斯特地区典型遥感影像特征: 以贵州省为例[M]. 北京: 地质出版社, 2005.
- [4] 胡卸文, 吕小平, 黄润秋, 等. 唐家山堰塞湖大水沟泥石流发育特征及堵江危害性评价[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(4): 850-858.
- [5] 魏永明, 郭华东, 陈玉茜, 等. 甘肃省舟曲特大泥石流的遥感影像特征及古泥石流遥感识别的地质意义[J]. 第四纪研究, 2014, 34(2): 325-335.
- [6] 魏斌斌, 赵其华, 韩刚, 等. 基于灰色关联法的地震灾区泥石流危险性评价: 以北川县泥石流为例[J]. 工程地质学报, 2013, 21(4): 525-533.
- [7] 童立强, 张晓坤, 程洋, 等. “8·7”甘肃舟曲县特大泥石流灾害感解译与评价研究[J]. 遥感信息, 2011, 17(5): 109-114.
- [8] 涂汉明, 刘振东. 中国地势起伏度研究[J]. 测绘学报, 1991, 20(4): 311-319.
- [9] 罗伟, 鄢志武, 薛重生. 基于 DEM 的岩溶地区地形地貌特征提取与分析[J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2013, 47(3): 436-440.
- [10] 汤国安, 杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析试验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [11] 王志刚, 涂人猛, 孙佳佳, 等. 基于地类、坡度与植被的小流域土壤侵蚀量估算方法: 以毕节市毛家湾小流域为例[J]. 长江科学院院报, 2012, 30(2): 22-26.
- [12] 元伟涛, 王瑞燕, 修洪敏, 等. 黄河三角洲垦利县生态环境敏感性评价[J]. 水土保持通报, 2010, 30(6): 214-218.
- [13] 程康, 何君莲, 张魏, 等. 西藏山南地区泽曲公路罗木得滑坡稳定性分析[J]. 武汉理工大学学报, 2004, 26(12): 69-75.
- [14] 王成华, 谭万沛, 罗晓梅. 小流域滑体危险性区划研究: 以孙水河为例[J]. 山地学报, 2000, 18(1): 31-36.
- [15] 洪士林, 王艳华. 基于层次分析法的县级土地整治规划实施效益评价: 以袁州区为例[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(28): 9945-9947.
- [16] 刘建林, 黄向向. 基于 AHP 的丹江流域生态修复模式评价指标优选[J]. 人民黄河, 2012, 34(6): 95-97.