

文章编号: 1004- 4574(2011) 02- 0177- 06

基于 RS 与 GIS 的毕节地区滑坡灾害危险性评价

李 蕾^{1,2}, 黄 玫², 刘正佳^{2,3}, 徐庆勇^{1,2}, 同晓娟¹, 陆佩玲¹

(1 北京林业大学 林学院, 北京 100083 2 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;
3 山东师范大学 人口资源与环境学院, 山东 济南 250014)

摘 要: 基于遥感和地理信息系统技术, 用空间主成分分析法构建评价指标体系, 并用层次分析法确定评价指标权重, 以滑坡危害最重的贵州省毕节地区为研究区, 选取地层岩性、降水量、土地利用、坡度等 9 个滑坡孕险因子作为评价指标, 对该研究区进行了滑坡灾害危险性评价。通过与研究区的历史滑坡灾害记录结果进行比较发现, 评价结果与实际状况较为吻合, 说明该方法能较有效地用于对区域滑坡灾害危险性的评价。

关键词: 滑坡; 危险性评价; 毕节地区; 地理信息系统; 遥感

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

RS & GIS-based evaluation of landslide hazard in Bijie Prefecture Guizhou Province

LI Lei^{1,2}, HUANG Mei², LIU Zheng-jia^{2,3}, XU Qing-yong^{1,2}, TONG Xiao-juan¹, LU Pei-ling¹

(1 College of Forestry Science, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China 2 Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, Beijing 100101, China 3 College of Population, Resource and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

Abstract Based on remote sensing(RS) data and geographic information system(GIS) software, landslide hazard evaluation for Bijie area Guizhou Province was assessed by using spatial principal component analysis to establish evaluation indices and using analytic hierarchy process (AHP) to determine weights of evaluation indices. Nine factors were selected, such as formation lithologic character, precipitation, landuse type, slope grade and so on. The results are basically in agreement with actual conditions. This study method presented can be used to evaluate landslide hazard accurately.

Key words landslide; hazard assessment; Bijie Prefecture; geographic information system (GIS); remote sensing (RS)

毕节地区是贵州省受滑坡灾害影响最为严重的地区之一, 该区域 93.3% 的面积为高原和山地, 境内属喀斯特地貌, 沟壑纵横, 河流深切, 地表崎岖, 土地破碎, 地面坡度大, 降水充沛, 地质灾害频繁, 尤其是滑坡灾害最为突出^[1]。据实际观测数据统计, 1960年至 2007年, 毕节地区发生滑坡约 734 个, 其中大型滑坡和超大型的就有 60 个。仅滑坡灾害直接经济损失已超过 1600 万元。滑坡灾害造成了严重的经济损失和人员伤亡, 尤其是这种威胁的时空变化趋势在近半个世纪以来呈现急剧上升的态势^[2]。随着社会和经济的飞速发展, 环境的压力不断增加, 人们已经逐渐认识到防治滑坡灾害和降低灾害损失对生态环境和社会发展的重要

收稿日期: 2010- 05- 21 修回日期: 2010- 12- 26

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2008BAK50B01)

作者简介: 李蕾 (1984-), 女, 硕士研究生, 主要从事灾害研究。

通讯作者: 黄玫, E-mail: huangm@gsnrr.ac.cn

性。

近年来遥感 (RS) 和地理信息 (GIS) 技术被广泛用于滑坡危险性评价领域, 取得了大量研究成果^[3-7]。本文结合 RS 和 GIS 对毕节地区滑坡灾害危险性进行区划, 以期为该地区滑坡灾害防治和生态环境保护提供科学依据。

1 研究区概况

本研究以贵州省毕节地区行政边界作为研究区域, 介于东经 $103^{\circ}36' - 106^{\circ}43'$ 和北纬 $26^{\circ}21' - 27^{\circ}46'$ 之间。毕节地区位于贵州省的西北部, 包括毕节市、大方县、黔西县、金沙县、织金县、纳雍县、威宁彝族回族苗族自治县、赫章县 8 个县市, 研究区总面积 $26\ 853\ \text{km}^2$, 最高海拔 $2\ 900\ \text{m}$, 最低海拔 $457\ \text{m}$, 最大高差 $2443\ \text{m}$ 。研究区属喀斯特地貌, 几乎所有县(市) 都有岩溶分布。年平均降水量在 $854 \sim 1\ 444\ \text{mm}$ 之间, 降水时空分布不均, 75% 左右的降水量集中在 4-9 月, 且多为暴雨和大暴雨。该区域地质灾害频繁, 尤其是滑坡灾害最为突出。

2 研究方法

2.1 数据来源与预处理

滑坡灾害研究数据包括: 分辨率为 $100\ \text{m}$ 的 DEM 数据、 $1:50$ 万河流数据、 $1:50$ 万道路数据、 $1:50$ 万断裂带数据、 $1:50$ 万地质构造数据、以上数据均来源于数字地质图。分辨率为 $1\ 000\ \text{m}$ 的土地利用数据和分辨率为 $1000\ \text{m}$ 归一化差分植被指数 (NDVI) 数据由中国科学院资源环境科学数据中心提供。1960-2005 年滑坡灾害记录数据由贵州省地质环境监测院提供, 多年平均降水量数据由贵州省气象局提供。

数据处理时, 首先利用 ArcGIS 9.3 中的 Add XY Data 工具将各属性数据转化为空间数据, 然后运用 ArcGIS 将矢量 DEM 数据转成栅格格式, 通过 Conversion Tools 中的 To Raster 实现格式转化。然后用 Spatial Analyst Tools 下的 Surface 直接通过 slope 和 curvature 提取坡度和曲率。最后将其他所有矢量数据统一转化为栅格格式。

由于本研究数据的空间分辨率不同, 如 $1:50$ 万数据的空间分辨率在 40 到 $80\ \text{m}$ 之间, DEM 数据的分辨率为 $100\ \text{m}$, 本研究将所有数据空间分辨率统一到 $500\ \text{m}$ 空间栅格。同时将所有栅格数据统一使用 Krasovsky 椭球体坐标和 Albers 投影。通过 Data Management Tools 中的 Projections And Transformations 实现统一所有指标的坐标系统和投影。

2.2 危险性评估方法

2.2.1 指标选取

在参考国内外危险性评价指标的基础上, 结合研究区域的自然状况, 本研究选取如下 9 个指标作为初选指标: 地层岩性、灾害点到道路的距离、年均降水量、灾害点到河流的距离、坡度、断裂带密度、土地利用以及 NDVI 和曲率。

由于滑坡的形成和当地的地层岩性、河流分布和断裂带分布密切相关。滑坡体常沿着断层线、河网和断裂带呈线状或带状分布, 因此选择地层岩性、灾害点到河流的距离和断裂带密度的距离作为反映。同时, 由于研究区滑坡多是降雨触发, 故选择多年平均降雨量为重要指标。地形如坡度和曲率也会影响滑坡的稳定性。地面曲率是对地形表面一点扭曲变化程度的定量化度量因子, 在一定程度上反映了高程和坡向的变化程度。曲率增大, 变化程度加大, 滑坡发生可能增大。随着坡度的增加, 剪切力增大, 滑坡发生的概率增大。坡度较大的地方往往崩塌会为滑坡的发生提供大量的物质来源, 从而为滑坡发生创造条件^[3]。因此, 选择坡度和曲率这两个地形因子作为反映。

在长期的演化过程中, 大部分的滑坡基本处于稳定状态, 但由于人类的不合理社会建设和活动, 如公路建设、土地利用方式的改变等, 导致这种稳定状态失衡发生滑坡。因此选择灾害点到道路的距离和土地利用为初选因子。地表植被覆盖也会影响滑坡边坡的稳定性, 茂密的植被能削弱坡体的形变, 提高滑坡的稳定性, 降低滑坡发生的可能性。植被不同对滑坡稳定性的影响不同, 根较深的植被(如森林) 固土能力较强, 在减少径流泥沙方面有显著更效果。因此作为反映植被覆盖度的归一化差分植被指数 (NDVI) 入选为初选指标。

2.2.2 初选指标的筛选

为减少评价指标之间的相关性, 避免指标重复而影响评价的精确性。本研究使用主成分分析法对初选的评价指标进行筛选。主成分分析法是运用统计分析原理将原来众多具有一定相关性指标重新组合成一组新的相互无关的综合指标, 而原指标所包含的大量信息仍能得到保持的一种统计方法^[8]。本研究所采用的空间主成分分析是在 ArcGIS 下, 在 Workstation 的 GRID 模块中运用 PRINCOMP 函数, 其原理是通过旋转原始空间轴的方法, 把相关性大的多个空间数据转化为较少的不相关的综合指标。在 ArcGIS 平台下, 首先通过 raster calculator(栅格计算器)对初选因子进行标准化处理后, 然后运用 GRID 模块进行空间主成分分析。分析得到各因子相关性极小, 表明初选指标具有较好的独立性和代表性。因此 9 个初选指标均被选取为评价指标。

2.2.3 指标量化分级

在危险性评价之前要先对这些指标进行分级, 根据各评价指标特征, 采用聚类分析和参照相关文献、研究区实际情况对初选指标进行分级。聚类分析是根据事物本身的特性研究个体分类的一种多元统计方法, 原则是同一类中的个体有较大的相似性, 不同类中的个体差异较大。本研究使用社会科学统计软件包 (SPSS), 采用 R-型(变量)聚类分析, 分级依据是各评价指标的数值统计特征。用聚类分析的方法把灾害点到道路的距离、灾害点到河流的距离、断裂带密度、曲率、NDVI 年均降水量、坡度因子分为 5 级。

由于坡度越大越容易产生滑坡, 所以依据聚类分析的结果将坡度从大到小分为 5 级, 分别赋值 1~5 数值越小越容易产生滑坡。

随着曲率的增加, 滑坡也越来越不稳定^[9], 同坡度相似将其聚类分析的结果分别赋值 1~5 数值越小越容易产生滑坡。

断裂带密集的地区, 是滑坡灾害频发的地区, 断裂带密度越大, 发生滑坡的危险性越大^[9], 所以根据对断裂带密度聚类分析的结果, 将断裂带密度从大到小分为的 5 级分别赋值 1~5, 从 1 到 5 对滑坡发生的影响越来越小。

滑坡常沿着河网分布, 灾害点到河流的距离越近表明该地区滑坡越不稳定^[9], 依据聚类分析对灾害点的河流的距离的分级结果, 距离从小到大分别赋值 1~5 数值越小越容易产生滑坡。

灾害点到道路的距离越近, 滑坡发生的危险性越大^[9], 将聚类分析的 5 级结果从小到大分布赋值 1~5 从 1 到 5 滑坡越来越稳定。

NDVI 越大表明植被状况越好, 越不利于滑坡的产生, 因此根据聚类分析的结果将 NDVI 分为 5 级, 分别赋值 1~5 数值越大越不利于滑坡的产生。

年均降水量越大, 越容易产生滑坡。根据聚类分析的结果数值从大到小分别赋值 1~5 数值越大越不利于滑坡的产生。

地层岩性指标的分级则是根据其各岩层的类型和分布特征^[21], 以是否有利用滑坡的稳定分为: 易发岩层区、较易发岩层区、中度稳定区、较稳定岩层区、稳定岩层区 5 类, 分布赋予 1 到 5 的值, 如图 8 所示。

土地利用指标分级参照黄方等^[10]的分级标准: 常绿阔叶林、落叶针叶林和混交林为第 1 级, 灌木丛为第 2 级, 草原为第 3 级, 耕地、农田等为第 4 级, 城镇建设用地、裸地等为第 5 级, 分别赋予 1~5 的值, 如图 9 所示。各指标的量化分级结果如表 1 所示, 等级越高越不利于滑坡的产生:

2.2.4 评价因子权重

各指标对滑坡的稳定性影响不同, 所以确定各指标的影响大小是滑坡灾害危险性评价中的一个重要环节^[9, 11]。层次分析法 (AHP) 是一种将定性与定量相结合来确定各评价因子的合理权重的方法, 具有层次性、系统性、代表性等特点。一般包括 3 个步骤: (1) 决策者对构成一个复杂问题的所有要素进行层次分解; (2) 对这些要素在考虑它们之间内在关联性的基础上按规定给予一定的数值; (3) 通过求解这些数值构成的矩阵得到因子权重^[4, 12]。最后要进行一致性检验, 当 CR (随机一致性比率) < 0.1 时, 一致性满意; 相反就需调整判断矩阵直到满意。

本研究采用层次分析法 (AHP) 确定评价指标的权重。首先在 EXCEL 软件中通过层次分析法 (AHP) 计算出各评价指标的权重: 构造判断矩阵, 得到各因子的权重, 各因子权重和为 1。然后进行一致性检验, 检验结果 CR < 0.1, 具有满意的一致性。各评价因子权重值如表 2 所示。其中, 权重最大的是地层岩性和到道路的距离, 为 0.2709 降水量其次, 权重为 0.1405, 曲率权重最小 0.0177。

表 1 毕节市滑坡灾害危险性评价指标量化分级

Table 1 Quantized classification of hazard evaluation indices of landslide in Bijie City

评价指标	评价等级				
	1	2	3	4	5
地层岩性	易发岩层区	较易发岩层区	中度岩层区	较稳定岩层区	稳定岩层区
降水量 /mm	> 1 212	1 161~ 1 212	1 119~ 1 611	1 084~ 1 119	≤ 1 084
NDVI	≤ 0. 12	0. 12~ 0. 28	0. 28~ 0. 31	0. 31~ 0. 34	> 0. 34
坡度 / (°)	> 26	19~ 26	14~ 19	9~ 14	≤ 9
曲率	> 0. 6	0. 1~ 0. 6	- 0. 3~ 0. 1	- 0. 8~ - 0. 3	≤ - 0. 8
断裂带密度 / (m· km ⁻²)	> 17	13~ 17	12~ 13	10~ 12	≤ 10
土地利用程度	城镇建设用地、 稀少植被	耕地、农田	草原	灌木丛	有林地
到河流距离 /m	≤ 685	685~ 1 078	1 078~ 1 532	1 532~ 2 183	> 2 183
到道路距离 /m	≤ 3 769	3 769~ 5 822	5 822~ 8 124	8 124~ 11 359	> 11359

表 2 评价指标的权重

Table 2 Weights of evaluation indices

评价指标	1	2	3	4	5	6	7	8	9	权重
地层岩性	1	1	3	4	5	5	7	7	9	0. 270 9
到道路距离	1	1	3	4	5	5	7	7	9	0. 270 9
降水	1/3	1/3	1	2	3	3	5	5	7	0. 140 5
到河流距离	1/4	1/4	1/2	1	2	2	4	4	6	0. 098 2
坡度	1/5	1/5	1/3	1/2	1	1	3	3	5	0. 066 6
断裂带密度	1/5	1/5	1/3	1/2	1	1	3	3	5	0. 066 6
土地利用	1/7	1/7	1/5	1/4	1/3	1/3	1	1	4	0. 034 3
植被覆盖	1/7	1/7	1/5	1/4	1/3	1/3	1	1	4	0. 034 3
曲率	1/9	1/9	1/7	1/6	1/5	1/5	1/3	1/3	1	0. 017 7

2.2.5 评价模型

根据上述研究得到的评价因子和各评价因子权重,建立了贵州省滑坡灾害危险性评价数学模型:

$$Hazard = 0. 270 9 \times F + 0. 270 9 \times HA + 0. 140 5 \times P + 0. 098 2 \times Hr + 0. 066 6 \times S + 0. 066 6 \times Dfz + 0. 034 3 \times L + 0. 034 3 \times NDVI + 0. 017 7 \times C$$

其中 Hazard 表示滑坡灾害危险等级; F 为地层岩性评价等级; HA 为灾害点到道路的距离评价等级; P 表示多年平均降水量评价等级; Hr 是灾害点到河流的距离评价等级; S 为坡度评价等级; Dfz 为断裂带密度评价等级; L 为土地利用类型评价等级; NDVI 为归一化差分植被指数评价等级; C 为曲率评价等级。

3 危险性评价结果与分析

3.1 滑坡危险性等级空间分布

在 ArcGIS 的空间分析环境,对各指标进行权重叠加运算。自然断点法是一种根据数值统计分布规律分级和分类的统计方法,它能使类与类之间的不同最大化^[13]。在 ArcGIS 平台上,采用自然断点法 (nature breaks classification) 把研究区域的滑坡灾害危险性等级分为极重度危险区、重度危险区、中度危险区、轻度危险区、微度危险区,如图 1 所示。

由图 1 可见,滑坡灾害危险性整体呈现从东向西研究区危险性等级逐渐降低的趋势,中东部地区危险性等级低。滑坡的极重度危险区和重度危险区主要分布在毕节市中部毕节市、赫章、纳雍和北部边缘的金沙、织金北部地区,轻度危险区和微度危险区主要集中在西部威宁市中东部大方、黔西和织金中部地区。

经统计表明,微度危险区占总研究区域的 6.89%,轻度危险区占研究区域的 20.50%。中度危险区占研究区域面积的 24.69%,重度和极重度危险区分别占研究区域面积的 25.66%、和 22.24%,总和占整个研究区面积的 47.91%。说明毕节市半数以上的区域处于不稳定状态,极有可能发生滑坡或已发生过滑坡,应予以重视。

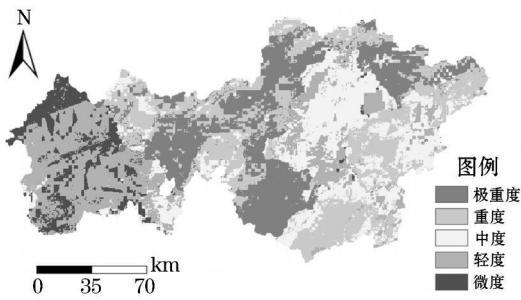


图 1 毕节市滑坡灾害危险性等级图

Fig 1 Classification map of landslide hazard in Bijie City

表 3 不同级别滑坡危险区面积占研究区域面积百分比

Table 3 Ratio of areas with different classes of landslide hazard in study area

分区类型	栅格个数 / 个	面积 /10 ² km ²	百分比 /%
极重度危险区	23 620	59.73	22.24
重度危险区	27 251	68.92	25.66
中度危险区	26 221	66.31	24.69
轻度危险区	21 772	55.06	20.50
微度危险区	7 320	18.51	6.89

3.2 滑坡危险性评价结果验证

在 ArcGIS 平台上, 我们将实际观测获取的滑坡灾害数据与滑坡危险性等级图进行叠加, 得到如图 2 所示的滑坡危险性验证图。

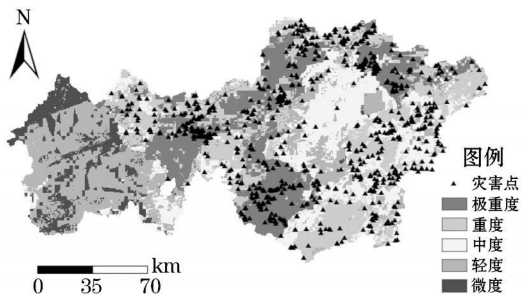


图 2 滑坡危险性验证图

Fig 2 Validation diagram of landslide hazard

表 4 研究区滑坡分布结果

Table 4 Statistics of landslide distribution in study area

分区类型	灾害点个数 / 个	百分比 /%
极重度危险区	306	36.21
重度危险区	343	40.59
中度危险区	150	17.75
轻度危险区	44	5.21
微度危险区	2	0.24

对滑坡危险性验证图进行统计, 我们发现在毕节市的西部和中东部轻度危险区和微度危险区几乎没有滑坡灾害点分布, 在北部和中部的极重度危险区和重度危险区灾害点密集。统计结果如表 4 所示。共有 94.55% 的滑坡灾害点落在极重度危险区、重度危险区和中度危险区, 分析表明滑坡灾害危险性等级评价预测结果与野外实际调查情况基本相符, AHP 层次分析法对本研究区的滑坡危险性预测是适用的。

4 结论

本文从滑坡灾害的致灾因子、孕灾环境的自然状况出发, 使用空间主成分分析法构建评价指标体系, 采用层次分析法确定评价指标权重, 基于 RS 与 GIS 技术对贵州省毕节地区的滑坡灾害危险性进行了评价, 评价结果与实际调查情况基本相符。说明该量化评价方法具有一定的适用性和可参考性, 可为有关部门在减灾救灾决策上提供决策支持。

参考文献:

[1] 苏维词. 贵州近期的滑坡活动及防治措施 [J]. 长江流域资源与环境, 1994, 3 (1): 71 - 76.

[2] 张丽君. 世界滑坡风险管理的主要态势 [EB/OL]. 2005 <http://lbs.ln.cn/blog.php?tid=967&starttime=1122825600&endtime=1125504000>

[3] 高克昌, 崔鹏, 赵纯勇, 韦方强. 基于地理信息系统和信息量模型的滑坡危险性评价——以重庆万州为例 [J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25 (5): 992 - 996.

[4] 侯敏, 贾韶辉, 郭兆成. 基于 RS 与 GIS 的层次分析法在滑坡危险性评估中的应用——以四川宣汉天台乡滑坡为例 [J]. 现代地质, 2006, 20 (4): 668 - 672.

[5] 王萌, 乔建平. 基于 GIS 的沐川县滑坡危险度区划 [J]. 自然灾害学报, 2009, 18 (1): 174 - 179.

[6] 闫满存. 基于 GIS 的澜沧江下游滑坡灾害危险性分析 [J]. 地理科学, 2007, 27 (3): 335 - 370.

[7] 周冠华, 庄伟, 陈云浩, 席宾, 蒋卫国, 周玉才, 余广文. 基于遥感与 GIS 的滑坡灾害风险区域评估方法——以江西省广昌县为例 [J]. 自

然灾害学报, 2008, 17(6): 68-72

- [8] 于秀林,任雪松. 多元统计分析[M]. 北京: 中国统计出版社, 1999
- [9] 赵建华,陈汉林,杨树锋,陈晓敏. 滑坡危险性评价中关键因素的筛选[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(2): 87-92
- [10] 黄方,刘湘南,张养贞. GIS支持下的吉林省西部生态环境脆弱态势评价研究[J]. 地理科学, 2003, 23(1): 95-100.
- [11] 王治华. 数字滑坡技术及其应用[J]. 现代地质, 2005, 19(2): 157-164.
- [12] 樊晓一,乔建平,陈永波. 层次分析法在典型滑坡危险度评价中的应用[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(1): 72-76
- [13] WANG Si-Yuan, LU Jing-Shi, YANG Cun-Jian. Eco-environmental vulnerability evaluation in the Yellow River Basin, china[J]. Pedosphere, 2008, 18(2): 171-182