

# 基于 GIS 的三江并流区泥石流危险性评价

王欢, 丁明涛, 陈廷方

(西南科技大学 环境与资源学院, 四川 绵阳 621010)

**摘要:** 三江并流区位于怒江、澜沧江、金沙江三江并流地带, 是中国泥石流灾害频发地区。在分析泥石流灾害特征的基础上, 选取坡度、岩性、断裂、植被和人类工程活动作为三江并流区泥石流危险性评价指标。基于 ArcGIS 平台建立了泥石流危险性评价数据库、图形数据库和属性数据库, 通过对各评价因子归一、分级和赋权处理, 建立了泥石流危险性评价模型, 对三江并流区泥石流危险性进行了评价, 得到危险性区划图。研究结果与实际灾情吻合, 可为确定减灾目标, 优化防灾措施, 制定减灾决策等提供重要依据。

**关键词:** 泥石流; 危险性评价; GIS; 三江并流区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)05-0167-04

中图分类号: P642.23

## GIS-based Risk Assessment of Debris Flows in Three-Parallel-River Area

WANG Huan, DING Ming-tao, CHEN Ting-fang

(School of Environment and Resources, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China)

**Abstract:** The three-parallel-river area is referred to as the parallel drainage basins of Nujiang, Lancang and Jinsha rivers, where debris flows occur frequently. Based on analyzing the characteristics of debris flow disasters occurred in this area, five indexes including slope, lithology, fracture, vegetation and human activity, were chosen as the evaluation indices of debris flow hazards. Supported by ArcGIS, databases of debris flow hazard assessment, graphics and attribute tables were established. The study developed models for risk assessment and obtained the hazard zonation map of the area by normalizing, classification and weighting the evaluation factors. The results agreed well with the actual debris flow events and can provide an important basis for identification the potential disaster targets, optimization of disaster prevention measures and disaster reduction policy making.

**Keywords:** debris flow; hazard assessment; GIS; three-parallel-river area

泥石流危险性评价是通过对泥石流活动历史及其暴发频率、规模的纪录及泥石流暴发区赋存环境条件的分析, 依据一定的危险性评价单元, 采用一定的评价模型, 计算出划分单元泥石流危害等级, 并评估对人类和财产可能造成的灾害严重程度的技术方法<sup>[1]</sup>。我国对泥石流的研究起步相对较晚, 经过几个阶段的发展, 区域泥石流危险性评价已形成了较为成熟的方法。刘希林等<sup>[2-3]</sup>通过建立多因子综合评价模型, 并在此基础上完成了由分段函数代替差分法确定权值的改进。唐川<sup>[4]</sup>对泥石流评价方法做了较为全面的总结, 除了较为成熟的多因子综合评价之外, 还包括灰色关联分析法、人工神经网络法、信息熵理论

评价法和分形理论评价法<sup>[5-7]</sup>。随着 GIS 技术的迅速发展及日趋完善, 其高效的数据管理功能、数据处理及分析功能等逐渐成为泥石流危险度评价研究中的主要工具, 使得对泥石流空间数据的管理十分便捷, 并且能够及时更新, 大大促进了泥石流危险性评价研究的发展<sup>[8-10]</sup>。2001 年唐川, 朱静<sup>[11]</sup>在 GIS 支持下(如栅格化、属性分类、多层叠合、缓冲区分析、建立数字高程模型等)完成了对滇西北地区泥石流的灾害评价。2010 年潘赞等<sup>[12]</sup>利用 GIS 技术, 以辽宁省鞍山市岫岩满族自治县为例, 针对泥石流灾害研究过程中的不确定性, 应用确定因子法对泥石流灾害危险性区划进行研究, 得到了岫岩县泥石流危险性区划图。

收稿日期: 2010-12-04

修回日期: 2011-01-12

资助项目: 国家科技基础性工作专项项目“澜沧江中下游与大香格里拉地区综合科学考察”(2008FY110300-06-1); 国家科技支撑计划项目“重大滑坡、泥石流灾害综合风险评估技术”(2008BAK50B04)

作者简介: 王欢(1986—), 女(汉族), 重庆市人, 硕士研究生, 主要从事地质灾害风险评价与防治研究。E-mail: carol.blue@163.com。

通信作者: 丁明涛(1981—), 男(汉族), 山东省日照市人, 博士, 讲师, 主要从事地质灾害评估与风险分析研究。E-mail: mingtaoding@163.com。

目前,国内对三江并流区在旅游和土地方面的研究已经比较成熟,但对地质灾害的研究还仅限于局部地质灾害发育规律和时空分布的初步分析,缺少对泥石流流的系统分析研究。本文以成都山地灾害所负责的澜沧江中下游与大香格里拉地区综合科学考察结果为依据,通过对研究区域主要山地灾害类型及其分布的实地调查,结合遥感影像数据,获取研究区大量灾害数据集,在此基础上,建立区泥石流发生域危险性评价的数据库和知识库,实现对三江并流区泥石流的危险性评价。

## 1 研究区域概况

### 1.1 自然环境概况

怒江、澜沧江、金沙江 3 条大河在我国西南地区紧密相邻,并列南流,构成独特的纵向岭谷区,被称之为三江并流区。研究区属于广义上的三江并流区,位于东经  $98^{\circ}25'—100^{\circ}37'$ ,北纬  $25^{\circ}2'—30^{\circ}20'$ ,主要包括西藏昌都地区部分、四川甘孜州西北部分及云南迪庆州、怒江州、丽江市和大理州部分共 38 个县,总面积约  $1.21 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。研究区位于青藏高原南延部分的横断山脉纵谷地区,是东亚、南亚和青藏高原 3 大地理区域的交汇处,是世界上罕见的高山地貌及其演化的代表地区。区内海拔 5 000 m 以上的山峰 100 余座,冰川作用发育,山脉纵隔东西,三江深切,岭谷相间,相对高度逾 3 000 m,是闻名于世的多高山峡谷的纵向岭谷地貌区<sup>[13]</sup>。受印度洋与太平洋气流影响,大部分地区多年平均降水量在 1 000 mm 左右,总体上是东部降水多于西部,多年平均降水量可达到 1 500~1 900 mm。但因受季风影响,区域内具有明显的干湿季,以丽江为例,其 1971—2000 年 30 a 间的 5—10 月份降雨量总和为 9 024 mm,占全年总降水量的 93.2%。总的说来,研究区地质活动非常强烈,地貌高差悬殊,垂直气候差异鲜明,地形和气候变化强烈。

### 1.2 泥石流灾害分布特征

三江并流区是我国泥石流活动最为强烈的地区之一,根据我国泥石流灾害危险区划,属于西南印度洋流域极大危险的泥石流区和东南太平洋流域危险的泥石流区,具有分布广泛、类型复杂、活动频繁、危害严重等特点<sup>[14]</sup>。由于受研究区的地貌、地质构造、水系以及人类活动的影响,滑坡泥石流等灾害主要集中在大地貌单元过渡带、断裂带和地震带、河流切割强烈相对高度大的地区、降水丰沛和暴雨多发的地区以及植被破坏严重的地区。

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源

(1) 野外调查。本次野外实地考察从 2009 年 8 月 17 日自迪庆州香格里拉县开始,至 9 月 10 日至大理县结束,重点考察了三江并流区的迪庆州香格里拉县、乡城县、稻城县、得荣县、德钦县、维西县、兰坪县、剑川县、云龙县、永平县和大理县。通过实地踏勘,结合当地国土、水利、建设等部门提供的相关资料,对本区域的泥石流灾害发育分布规律有了一个总体的认识和了解。

(2) 遥感数据。本文使用的遥感影像是 SPOT 影像(2.5 和 10 m 2 种分辨率;2006 年和 2008 年),购买的影像基本覆盖整个研究区,另外将 Google Earth 中的遥感影像(SPOT 5 影像,10 m;2009 年)加以补充。

根据本文统计,已查明研究区内灾害性泥石流沟 1 352 条,获取了这些泥石流沟的位置、规模以及历史灾情的数据资料,为深入分析奠定了基础。

### 2.2 泥石流危险性评价数据库的建立

研究三江并流区泥石流危险性的原始资料包括地形图、地质图、行政区划图、土地利用图、植被类型图,以及该地区社会、经济等方面的资料。在此基础上,通过 ArcGIS 数字化处理原始纸质资料,结合遥感数据影像和实地考察获得的研究区灾害点数据,建立了该区的灾害数据库。

### 2.3 评价指标的选取及权重的确定

泥石流危险性评价指标的选择,依赖于泥石流灾害形成与发展的基本条件和可能发生的控制与诱发因素或条件。在实际条件允许的情况下,评价指标的选取应尽量遵循相对一致性原则、定量指标与定性指标相结合原则、主导因素原则以及自然区界与行政区界完整性原则。根据其作用机制,一般可将影响泥石流危险性评价的因子分为主控因子和触发因子:主控因子为泥石流发育的基础条件,包括地形、地貌、地层、植被、断裂层、土壤等,这些因子具有相对的稳定性,它们为泥石流的发生、发展奠定了物质基础和创造了运行通道;触发因子包括降雨和人为活动等,为泥石流的发育与发展提供动力<sup>[15]</sup>。

本文根据野外实地考察结果,室内分析泥石流的分布特征,并参阅大量近几年泥石流危险性研究成果和相关文献,筛选出对该地区泥石流发生起一定主导作用的、便于研究区域数据资料与空间资料匹配、关系密切的 5 个指标,包括坡度、岩性、断裂、植被和人

类工程活动。其中,人类工程活动主要考虑道路修建情况,通过以道路为中心构建缓冲区来进行危险性评价。

由于各指标的计量单位不同,属于半定性半定量取值,而且取值范围变幅较大,因此必须要对上述因

子进行归一化处理。本文采用 4 级量化指标简明地反映各因子对泥石流灾害的危险度,用不同级别反映对泥石流发育影响程度的差异,分值越高,说明其对泥石流的影响程度越大,发生泥石流危险程度及发生等级越高。其归一化处理方案见表 1。

表 1 泥石流危险性评价指标量级

评价指标	指标分级	级数得分
坡度	<25°	1
	25°~30°	2
	30°~35°	3
	>35°	4
岩性	结合紧密的砾石	1
	山麓碎石堆和岩崩物(中粒)	2
	半成岩和松散层(黄土状亚黏土层、残坡积、冲洪积和冰渍层)	3
	泥岩、页岩、千枚岩、片岩、板岩、粉砂岩、砂页岩互层地区	4
断裂	>3.0 km	1
	2.1~3.0 km	2
	1.1~2.0 km	3
	<1.0 km	4
植被	林地以针叶林、阔叶林或针阔混交林等为主	1
	林地以竹林、草地为主	2
	林地以稀疏林、未成林为主	3
	林地以稀疏裸地或无植被为主	4
人类工程活动 (道路缓冲区)	>3.0 km	1
	2.1~3.0 km	2
	1.1~2.0 km	3
	<1.0 km	4

在指标体系中,由于各指标对泥石流发育影响程度不同,它们的权重系数也不相同。采用层次分析法<sup>[16]</sup>,确定各指标的权重如表 2 所示。

表 2 指标权重值

评价指标	坡度	岩性	断裂	植被	人类工程活动
权重	0.239	0.307	0.153	0.080	0.221

#### 2.4 GIS 支持下危险性评价模型建立与分区

本文采用栅格数据结构,所有评价因子通过统一投影变换、统一数据结构、统一评价单元,对每一评价单元进行分析,使空间综合转化为多维矩阵地图代数运算。在 ArcGIS 平台下,采用 Gauss—Kruger(Beijing 1954)投影系统,以三江并流区的 38 个县为评价对象,对评价因子各类资料做如下处理:

(1) 建立评价因子数据层。将前期收集的相关基础资料进行整理,通过扫描数字化得到矢量数据,

然后将各种数据转换成 ArcGIS 的 shapefile 格式的图层。

(2) 矢量数据栅格化。利用 ArcGIS 直接对多种矢量数据复合分析处理比较复杂,因此需转换矢量数据的数据结构,得到栅格数据进行空间分析。本文利用 ArcGIS Analyst 扩展模块对地形数据进行分析,建立 DEM 模型,得到研究区的坡度图(附图 1)。

(3) 栅格数据归一化。根据上述危险性评价指标的分级标准,采用 4 级量化指标,归一化处理各评价因子。4 表示对泥石流的形成影响最大,1 表示对泥石流影响最小,本文详列了坡度、岩性、断裂、植被、道路因子危险性评价分级图(附图 1—6)。

(4) 栅格数据代数运算。采用运算模型  $D = 0.239 \times \text{坡度} + 0.307 \times \text{岩性} + 0.153 \times \text{断裂} + 0.080 \times \text{植被} + 0.221 \times \text{人类工程活动}$ ,利用 Raster Calculator 函数进行栅格代数运算。 $D$  值代表区域内相对危险程度,其值越大危险程度也越大,反之则越小。同时,确定研究区泥石流危险等级划分标准(表 3)。

表 3 三江并流区泥石流危险等级划分标准

危险等级	极高危险区	高危险区	中危险区	低危险区
计算值 $D$	$>2.5$	$2.5\sim 2.0$	$2.0\sim 1.5$	$<1.5$

以 ArcGIS 为平台,用运算模型  $D$  计算出的危险度值,根据表 3 中的划分标准,将研究区危险性分为极高危险区、高危险区、中危险区和低危险区 4 个等级,实现三江并流区泥石流危险性评价区划图(详见附图 6)。

### 3 泥石流危险性评价结果分析

从研究区危险性评价分区图可以看出,泥石流极高危险区和高危险区基本呈条带分布,南部地区危险性明显高于北部地区。极高危险区集中在福贡县、泸水县、贡山县东部沿南北走向一带,剑川县、洱源县东部沿东南走向一带,水平县、云龙县、漾濞县交接地区,永胜县西部地区以及腾冲县部分地区;高危险区主要分布于福贡县、水平县、兰坪县大部分地区,丽江、保山县、泸水县西部,以及云龙县、芒康县和剑川县大部分地区;中危险区主要有木里藏族自治县、香格里拉西南部,宁保县西部,丽江东部,迪庆东南部,以及得荣县和维西县大部分地区;低危险区主要分布于香格里拉东北部,理塘县东南大部分地区、芒康东北部、迪庆大部分地区,以及稻城县、乡城县和德钦县部分地区。通过野外实地调查和遥感影像解译得出的灾害点分布情况检验泥石流危险性评价的分区,结果吻合,表明本文选取的评价指标和方法合理可行。

### 4 结论

(1) 本文基于 ArcGIS 平台收集、整理原始资料,建立了三江并流区泥石流危险性评价数据库,为研究区泥石流危险性评价的图形和属性数据的存储、编辑、管理、更新和使用提供方便。

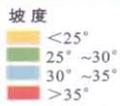
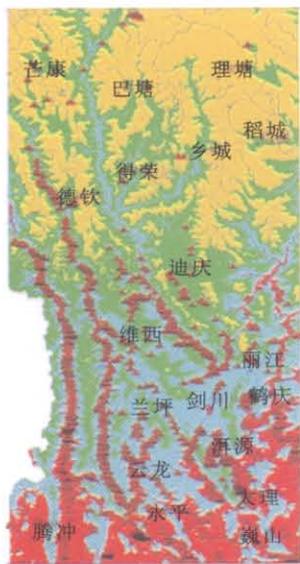
(2) 三江并流区泥石流灾害发生主要受坡度、岩性、断裂、植被、和人类工程活动 5 个因素影响,通过对各影响因子权重确定、归一化、分级处理,建立危险性评价模型,在 ArcGIS 支持下完成了研究区泥石流危险性评价,得出危险性评价分区图,为该区域泥石流灾害的预防和防治提供重要依据。

(3) 利用层次分析法确定权重,结合 ArcGIS 栅

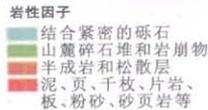
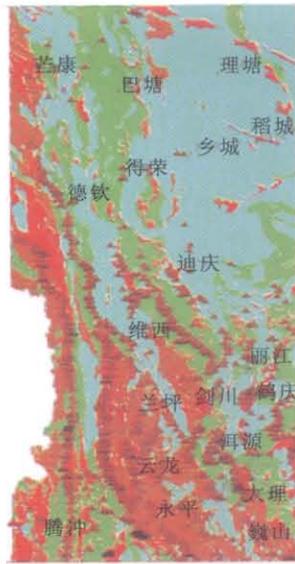
格数据的代数运算叠加处理,是地质灾害危险性评价的主要趋势,可以很大程度提高地质灾害评价的效率。大量实践证明,恰当选取评价指标,此方法合理可靠。

#### [参 考 文 献]

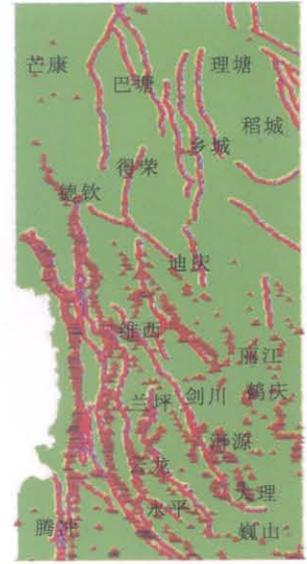
- [1] 刘洪江,韩用顺,江玉红,等. 云南昆明东川泥石流危险性评价[J]. 水土保持研究, 2007, 14(6): 241-244.
- [2] 刘希林. 区域泥石流危险度评价研究进展[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13(4): 2-8.
- [3] 刘希林. 我国泥石流危险度评价研究: 回顾与展望[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(4): 2-8.
- [4] 唐川. 泥石流危险性评价研究进展[J]. 灾害学, 2007, 22(1): 106-111.
- [5] 刘丽,王士革. 滑坡、泥石流区域危险度二级模糊综合评判初探[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(3): 51-59.
- [6] 郑明,王兰生. 分形理论在区域地质灾害预测中的应用[J]. 地质灾害与环境保护, 1998, 9(3): 1-4.
- [7] 汪明武. 基于神经网络的泥石流危险度区划[J]. 水文地质工程地质, 2002, 29(2): 18-19.
- [8] Carrara A. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard[J]. Earth Surface Processes and Landforms, New York, 1991, 16(1): 427-445.
- [9] Carrara A, Cardinal I M, Guaaetti F. Uncertainty in assessing landslide hazard and risk[J]. ITC Journal, 1992(2): 172-183.
- [10] 苏强平,汪西林,关文彬. 基于 GIS 下的岷江干旱河谷地区泥石流发生域危险性评价[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(2): 98-102.
- [11] 唐川,朱静. GIS 支持下的滇西北地区泥石流灾害评价[J]. 水土保持学报, 2001, 15(6): 84-87.
- [12] 潘赟,丛威青,潘懋. 基于 GIS 的辽宁省岫岩县泥石流灾害危险性区划研究[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2010, 46(4): 601-606.
- [13] 欧朝蓉. GIS 和遥感 RS 在滇西北三江并流区地貌环境演化研究中的应用[D]. 昆明: 云南师范大学, 2004.
- [14] 唐川,刘琼招. 中国泥石流灾害强度划分与危险区探讨[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1994(5): 31-35.
- [15] 苏鹏程,倪长健,孔纪名,等. 区域泥石流危险度评价的影响因子识别[J]. 水土保持通报, 2009, 29(1): 128-132.
- [16] 刘涛,张洪江,吴敬东,等. 层次分析法在泥石流危险度评价中的应用: 以北京市密云县为例[J]. 水土保持通报, 2008, 28(5): 6-10.



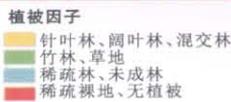
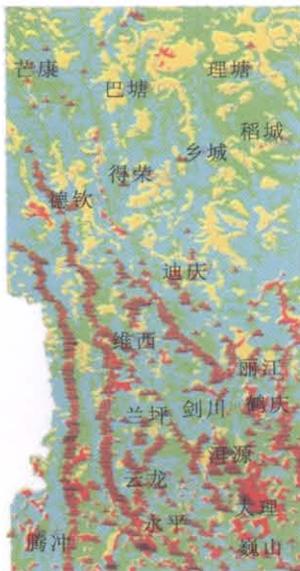
附图1 三江并流区坡度因子分级



附图2 三江并流区岩性因子分级



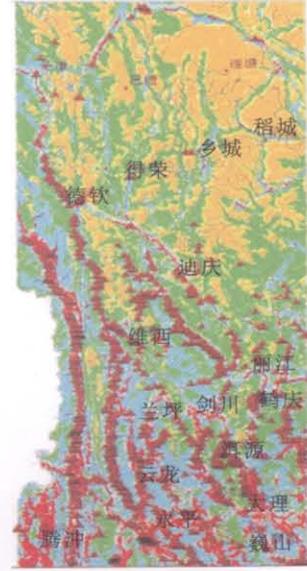
附图3 三江并流区断裂因子分级



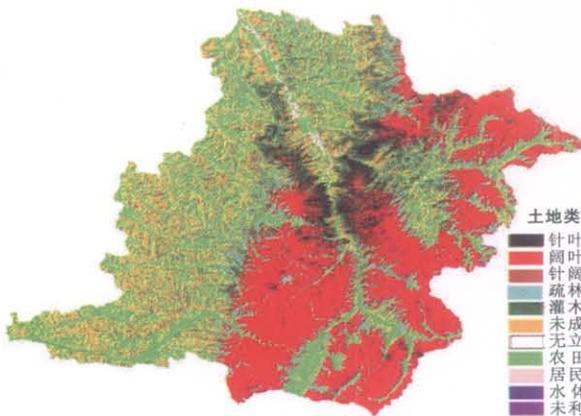
附图4 三江并流区植被因子分级



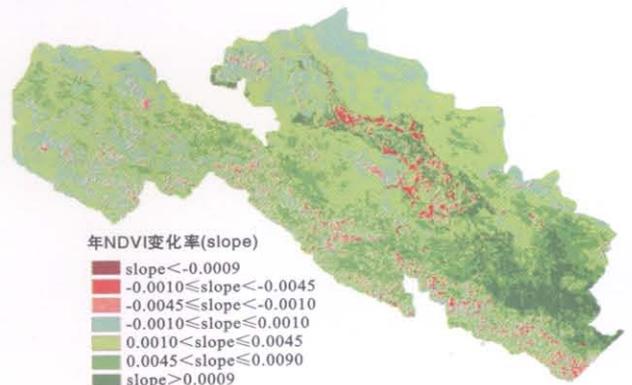
附图5 三江并流区道路因子分级



附图6 三江并流区泥石流危险性评价区划



附图7 山西省中阳县土地利用



附图8 张掖地区2000—2008年生长季NDVI变化率