

RS 和 GIS 技术在县级区域泥石流危险区划中的应用研究^{*}

——以四川省泸定县为例

李为乐¹, 唐 川¹, 杨武年¹, 袁佩新²

(1. 成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059;

2. 四川省遥感中心, 四川 成都 610081)

摘 要: 泥石流危险度评价是泥石流灾害预测预报和减灾防灾工作中的重要内容和决策基础。以泸定县为例, 利用 RS、GIS 技术, 以流域范围为评价单元, 选取影响泥石流发育和形成的因子, 采用数理统计方法和层次分析法得出各因子对泥石流的敏感系数和权重, 最后建立县级区域泥石流危险度多因子综合评价模型, 从而实现区域泥石流危险度评价。

关键词: 泥石流; 危险区划; RS; GIS; 敏感性; 四川泸定

中图分类号: P642.23; TP79; P208 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2008)02-0071-05

0 引言

泥石流是由土、石等固体物与水相混合在重力作用下沿陡峻沟坡运动的饱和流体^[1]。泥石流危险度是指遭到泥石流损害的可能性大小, 它是泥石流本身具有的一种特性, 主要用于灾前评估^[2]。泥石流危险度评价是当前国内外泥石流研究领域的热点之一, 也是泥石流灾害预测预报和减灾防灾工作中的重要内容和决策基础。国际上对泥石流危险性评价非常重视, 有关危险度的研究也相对较早^[3,4]。进入 20 世纪 90 年代以来, GIS 与 RS 技术的发展为泥石流危险性评价的空间分析提供了强有力的工具, 使危险性评价的空间数据集成化更简便、分析速度更快, 精度更高, 从而大大促进了该领域快速发展^[5-9]。当前, 泥石流危险区划的方法主要有直接指标法和间接指标法, 直接指标法是根据泥石流本身的特征: 例如泥石流密度、活动频率、规模等进行建模分区^[10], 间接指标法是根据区域内的地形、地层岩性、地质构造、降雨等因素进行评价分区。由于直接指标法需要研究区完整的泥石流资料, 在许多区域泥石流资料还不是很完整的情况下, 间接指标法有更大的优势, 这也是当前泥石流危险区划的主流。

根据研究范围, 泥石流危险度评价可以分为单沟泥石流危险度评价和区域泥石流危险度评价。单沟泥石流危险度评价是指对一条泥石流沟或相邻近、具有统一动力活动过程和破坏对象的几条泥石流沟或沟群进行评价, 区域泥石流危险度评价是对一个流域、一个地区或更大的自然、行政区域内的泥石流灾害进行评价。由于区域泥石流危险性评价关系到国家的区域规划和重点工程的建设, 因此很早就受到国家的重视。国内唐川、刘希林等学者较早展开了区域泥石流危险性研究^[11-13], 提出了区域泥石流危险度的多因子综合评价模型。从 20 世纪 80 年代末期到 90 年代末, 多因子综合评价模型经历了 4 个阶段的发展已经不断完善并趋于成熟, 并逐步应用于实践当中。此外还有一些正在探讨的方法如分形评价法、人工神经网络法、信息熵理论评价法、灰色关联分析法等。但与国外同期研究水平相比, 我国泥石流危险度评价研究尚存在很多不足之处: 许多评价与分区图采用手工编制, 效率低且不利于储存、查询和数据更新, 虽然 RS 和 GIS 方法已用于危险性评价工作中, 但还不是主流; 评价精度低, 评价单元多以县或更大区域为单位, 影响预测效果, 在减灾决策中的作用尚未充分发挥作用^[5]。

前人的研究^[10-13]多是对省区级大区域进行评

^{*} 收稿日期: 2007-09-30

基金项目: 四川省国土资源厅 2005 年县(市、区)地质灾害调查项目([2005]1406)资助

作者简介: 李为乐(1982-), 安徽太湖县人, 硕士研究生, 研究方向为 3S 技术在数字国土及地质灾害评价与防治中的应用。

E-mail: whywl01@163.com

价,评价比例尺较小(一般小于 1:50 万),泥石流沟以点元分布,而对于县级小区域的泥石流危险度评价,评价比例尺比较大(1:10 万或 1:5 万),泥石流沟以面元分布,因而在在评价方法和指标选择也应该有所区别。本文以泸定县为例,探讨以 RS 和 GIS 技术为技术手段,以流域范围为评价单元,综合运用数理统计方法和层次分析法实现县级区域泥石流危险度评价的技术方法。

1 研究区概况

泸定县位于四川省甘孜藏族自治州东南部,界于 $101^{\circ}49' \sim 101^{\circ}27'E$, $29^{\circ}27' \sim 30^{\circ}5'N$ 之间,面积 $2\,168.71\text{ km}^2$ 。泸定地处康藏高原向四川盆地过渡地带,境内山高坡陡,河谷幽深,地势西高东低,大渡河由南向北纵贯全境,两岸支沟发达。境内海拔相对高差悬殊达 $6\,570\text{ m}$,高山终年白雪皑皑,河谷地却又四季分明,属典型的亚热带季风气候。年均气温 $16.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,年平均降雨量 664.4 mm 。境内平坝、台地、山原、高平原、冰川等俱全,属典型的立体气候,为国内所罕见^[14]。区内大渡河两岸泥石流十分发育,每逢雨季都会给当地居民的生命财产带来严重威胁,其中有 3 条泥石流沟威胁泸定县城。

2 泥石流分布的遥感解译

区域泥石流危险度评价一般研究范围较大,且在山区,采用常规方法进行野外调查,周期长、劳动强度大、投入成本高且现势性差,不利于数据更新,而利用遥感地质解译与野外调查验证结合的方法可以快速经济地查明研究区内泥石流的分布特征、规模大小及其活动性。泥石流形态在 ETM 以及更高精度的遥感影像上极易辨认,通常沟谷型泥石流可以在遥感影像上清楚地看到其形成区、流通区和堆积区(图 1、2)。沟谷型泥石流形成区一般呈瓢形或漏斗形,山坡陡峭,支沟呈树枝状,植被稀少,岩石风化严重,常常可以在影像上看到滑坡崩塌的发生;流通区多为一深切峡谷、沟床短而直,纵坡较形成区缓;堆积区位于沟口,纵坡较平缓,常形成扇形堆积,轮廓明显,呈浅色调。山坡型泥石流多发生在坡度 $>35^{\circ}$ 的斜坡上,流域面积小,只有形成区和堆积区,形态多呈“金鱼状”。

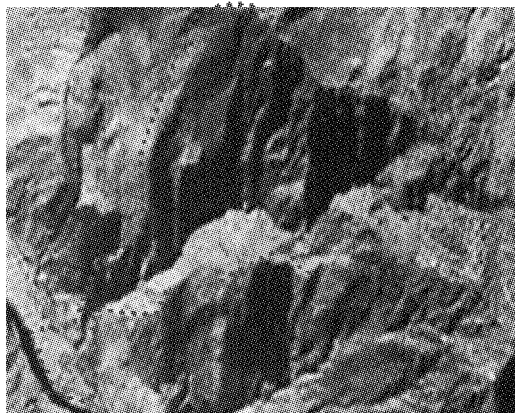


图 1 金华沟泥石流全流域 ETM 影像



图 2 金华沟泥石流堆积扇 IKONOS 影像

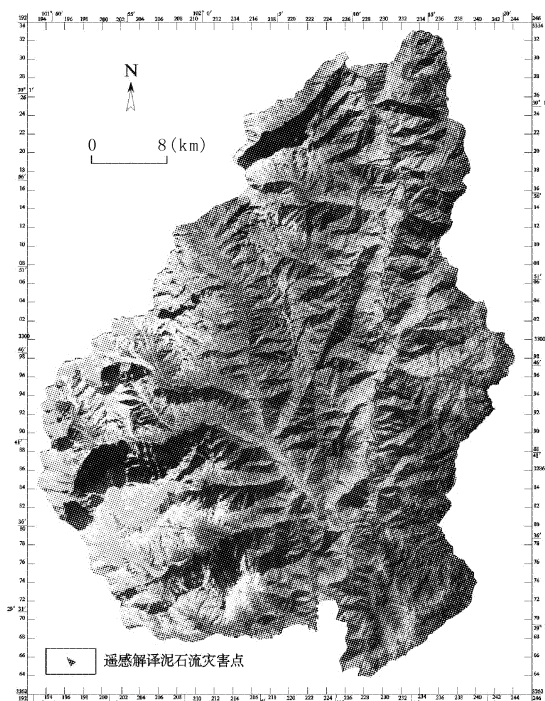


图 3 泸定县泥石流遥感解译成果

研究先利用 ETM 影像对泸定县全县的泥石流进行了解译,共解译泥石流灾害点 131 个(图 3),

并对其类型、规模、活动性进行了统计分析(表1)。对于泸定县城区等重点地带,利用高精度的 QUICKBIRD 和 IKONOS 影像进行泥石流流域特征的解译和危险范围的圈定。在泥石流遥感解译

时,可以在遥感处理软件里将遥感影像旋转 180° 形成正立体(图1)或将影像与 DEM 数据进行叠合进行三维虚拟,可以更好地对泥石流进行判别和范围圈定。

表 1

遥感解译泥石流特征统计表

	类 型			规 模				活动性	
	沟谷型	坡面型	冰雪型	巨型	大型	中型	小型	高	低
泥石流个数	79	49	3	2	6	29	94	125	6

3 评价单元确定

国外学者 Guzzetti^[15]把评价单元分为 5 种:栅格单元、地貌单元、均一条件单元、流域单元及地形单元。在国内的评价工作中多采用栅格单元、行政区划单元,然而泥石流的发生与山区基本地貌单元有着密切关系,泥石流沟谷的地貌特征、丰富的物质补给条件以及降雨是泥石流发生的必要条件^[16],这些单元都没有很好地体现泥石流发生特定的地貌条件。为了在区域危险性评价过程中充分体现泥石流的内因作用,提高评价因子取值的可靠性,我们以流域单元为评价单元。由于研究区已知泥石流的流域面积均大于 1 km²,因此选取 1 km² 为最小流域面积。利用 1:10 万的等高线数据,在 ARCGIS 软件下将研究区划分为 874 个流域单元,最大单元面积 13.25 km²,平均 2.48 km²。

4 评价指标选取、敏感性分析及权重确定

4.1 指标选取

影响泥石流形成的自然因素众多,因素之间的关系错综复杂,评价指标的选取将直接影响最后的评价结果。泥石流危险度评价指标的选取早在 1989 年就有学者开展过研究,通过对影响泥石流的 17 个评价因子的关联度计算,选出 1 个主要因子和 7 个次要因子作为泥石流危险度评价的主要指标^[2]。然而这 8 个指标中部分指标是针对大区域的,如泥石流沟密度,对县级小区域不是很适宜。在参考前人研究的基础上,选取沟道密度(B1)、地层岩性(B2)、年平均降雨量(B3)、地形坡度(B4)、地质构造缓冲区(B5)、公路缓冲区(B6)6 个指标。

4.2 指标敏感性分析

前人研究多根据各指标量化后的属性类按照一定的顺序由大到小逐级进行危险度赋值,然而各属性类对泥石流的敏感程度是有区段性的,而

且不同研究区域也有差异,如地形坡度指标在属性类 30°~40°对泥石流的敏感程度最高^[17],坡度 <20°或 >80°都极不易发生泥石流。本文采用统计学方法对研究区泥石流灾害点与各指标的每个属性类进行相对频率组合定量计算,确定其敏感性,进行危险度赋值,具体方法是:将各指标矢量化,进行属性类划分,利用 GIS 的空间分析工具统计出各指标各属性类内已有泥石流灾害点的个数,并计算各属性类内每 100 km² 的泥石流灾害点个数,以表示其敏感性。设 F_{mn} 为指标 m 的某属性类 n 的灾害点出现的相对频率(指标敏感性); N_{mn} 为某指标 m 中某属性类 n 的泥石流个数; S_{mn} 为某指标 m 某属性类 n 的面积;则指标敏感性计算公式为:

$$F_{mn} = N_{mn} / S_{mn} (\text{个}/100 \text{ km}^2)。(1)$$

计算出属性类的敏感性后便可以对每个属性类按照敏感性大小,给定的阈值进行危险度赋值了,危险度量值分别为 1、2、3、4。表 2 为各评价指标的敏感性分析和危险度赋值的具体情况。

表 2 指标敏感性分析和危险度赋值

指标	指标属性类	总面积/km ²	泥石流个数	敏感性	赋值
沟道密度/ m/km ²	< 400	30.85	1	3.2	1
	400 ~ 600	169.77	8	4.7	2
	600 ~ 800	480.58	15	3.1	1
	800 ~ 1 000	681.54	40	5.9	2
	1 000 ~ 1 200	444.73	29	6.5	3
	1 200 ~ 1 400	142.16	17	12.0	4
	> 1 400	217.17	20	9.2	4
地层岩性	晋宁期超基性岩	0.58	0	0.0	1
	晋宁期基性岩	3.11	0	0.0	1
	晋宁期花岗岩	190.16	11	5.8	2
	晋宁期钾长花岗岩	36.48	2	5.5	2
	燕山期花岗岩	401.99	3	0.7	1
	康定群	862.24	79	9.2	4
	震旦系下统安山岩段	22.44	1	4.5	2
	震旦系下统流纹岩段	13.98	1	7.2	3
	奥陶系	4.59	0	0.0	1
	志留系	8.15	0	0.0	1
	泥盆系	44.88	1	2.2	1
	二叠系下统	96.54	9	9.3	4
	二叠系上统	197.59	10	5.1	2
	三迭系中统雷口坡组	0.46	0	0.0	1
	三迭系上统居里寺组	113.45	2	1.8	1
	三迭系上统须家河组	70.50	5	7.1	3
	侏罗系中统沙溪庙组	18.09	1	5.5	2
	第四系	83.49	6	7.2	3

年降雨量 /mm	< 700	699.76	32	4.6	2
	700 ~ 800	551.61	33	6.0	3
	800 ~ 900	433.46	41	9.5	4
	900 ~ 1 000	275.02	25	9.1	4
	> 1 000	208.87	0	0.0	1
坡度/°	< 25	558.14	2	0.4	1
	25 ~ 30	254.59	14	5.5	2
	30 ~ 35	374.49	49	13.1	4
	35 ~ 45	810.76	63	7.8	3
	> 45	170.29	3	1.8	1
地质构造 缓冲区/km	< 1	363.43	44	12.1	4
	1 ~ 2	302.15	27	8.9	3
	2 ~ 3	223.42	13	5.8	2
	3 ~ 4	178.01	9	5.1	2
	4 ~ 5	164.48	9	5.5	2
	5 ~ 6	148.03	6	4.1	2
	6 ~ 7	118.20	4	3.4	1
公路缓 冲区/km	< 1	873.61	106	12.1	4
	1 ~ 2	349.41	15	4.3	3
	2 ~ 3	237.81	6	2.5	2
	> 3	707.89	4	0.6	1

4.3 指标权重

层次分析法是多目标的综合评价指标权重确定的主要方法之一^[18]。该方法已在许多领域得到应用,取得了显著成果^[19]。表 3 为研究选取的评价指标通过专家打分构建的判断矩阵。在 Matlab 软件下求得该判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}=6.326\ 0$, 一致性指标 $CR=0.051\ 7<0.1$, 说明判断矩阵有很好的-致性,判断合理。最大特征值对应的特征向量为 (- 0.179 4, - 0.731, - 0.502 5, - 0.352 3, - 0.225 2, - 0.078 5), 对特征向量进行归一化处理即得到各指标的权重 ω_i (表 3)。

表 3 指标判断矩阵和权重

指标项	B1	B2	B3	B4	B5	B6	ω_i
B1	1	1/3	1/3	1/3	1/2	4	0.086 7
B2	3	1	2	3	4	5	0.353 3
B3	3	1/2	1	2	3	5	0.242 9
B4	3	1/3	1/2	1	2	5	0.170 3
B5	2	1/4	1/3	1/2	1	4	0.108 9
B6	1/4	1/5	1/5	1/5	1/4	1	0.037 9

5 综合评价分析

通过以上分析计算得出泸定县泥石流危险度多因子综合评价模型为:

$$E=0.086\ 7B1+0.353\ 3B2+0.242\ 9B3+0.170\ 3B4+0.108\ 9B5+0.037\ 9B6,$$

(2)

式中: E 为评价单元的危险度值; B_i 为指标 i 的危险度赋值。

在 GIS 软件里通过属性计算得出每个评价单元的危险度,按照一定的阈值将划分为 4 个等级,分

别代表泥石流流极高危险区、高度危险区,中度危险区和低度危险区(图 4)。其中,极高危险区面积 560.05 km²,主要分布于烹坝、岚安、田坝、杵坭 4 乡和海螺沟流域,区内解译泥石流灾害点 62 个,约占整个区域解译泥石流的一半;高度危险区面积 573.46 km²,解译泥石流灾害点 41 个;中度危险区面积 345.09 km²,解译泥石流灾害点 24 个;低度危险区面积 688.47 km²,解译泥石流灾害点 4 个。

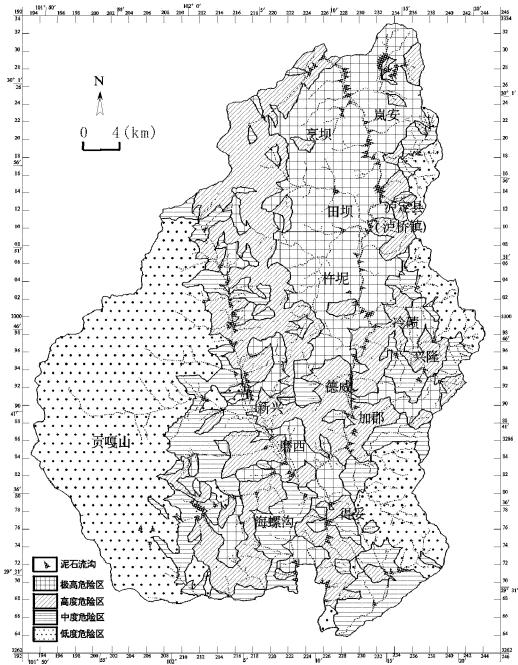


图 4 泸定县泥石流危险区划

6 结论

(1) 利用 RS 技术对区域泥石流现状进行解译,可以快速获取已有泥石流沟的空间分布、规模、活动性特征,为区域泥石流危险性评价指标敏感性分析和区划结果的检验提供依据。泸定县境内共解译大小泥石流灾害点 131 个,平均每 100 km² 有 6 个,属泥石流高易发区,泥石流是该地区的主要地质灾害。

(2) 采用数理统计方法对 6 个评价指标进行敏感性分析表明,研究区内沟道密度在 1 200 ~ 1 400 m/km²,年降雨量在 800 ~ 900 mm,坡度在 30° ~ 35°敏感性最高,最易发生泥石流灾害;地质构造和公路缓冲区在 1 km 范围的敏感性尤为突出,大多数的泥石流灾害都发生在该区域;而地层岩性中康定群是研究区面积最大的地质单元也是泥石流最为发育的单元。根据量化的敏感系数对各

指标的属性类进行危险度分级赋值更能准确反映研究区内各指标对泥石流的影响情况。

(3) 利用层次分析法原理构建多目标评价的层次结构,通过专家打分建立判断矩阵,求得各指标的权重,是多因子评价模型确定因子权重最有效的方法之一。

(4) 采用流域范围为最小评价单元,更能体现泥石流本身的自然属性,评价结果更合理。借助GIS强大的数据采集、数据加工和空间分析功能,使泥石流危险性评价速度更快、自动化程度更高、评价结果更精确。

(5) 经解译泥石流灾害点和野外调研验证,区划结果合理,对该区域的泥石流防灾减灾具有实际指导意义,例证了选取的评价指标在县级区域泥石流危险性评价中是可取的。

参考文献:

- [1] 康志成,马嵩乃,李焯芬,等.中国泥石流研究[M].北京:科学出版社,2004:1-4.
- [2] 刘希林,唐川.泥石流危险性评价[M].北京:科学出版社,1995:1-5,62-78.
- [3] 孙绍骋.灾害评估研究内容与方法探讨[J].地理科学进展,2001,20(2):122-130.
- [4] JonesDKC. Landslide hazard assessment in the context of development [C]// McCall GJH, Laming DJC & Scott SC. Geo2hazardsnatural and Man2made. London: Chapman & Hall,1992:117-141.
- [5] 李阔,唐川.泥石流危险性评价研究进展[J].灾害学,2007,22(1):106-111.
- [6] 刘希林,赵源,倪化勇,等.四川泸定县“2005.6.30”群发性泥石流灾害调查与评价[J].灾害学,2006,21(4):58-65.
- [7] 刘希林,唐川.中国山区沟谷泥石流危险度的定量判定法[J].灾害学,1993,8(2):1-7.
- [8] 李媛媛,李晋,刘新华,等.基于3S技术的地质灾害监测信息系统构建[J].灾害学,2006,21(4):28-30.
- [9] 李剑萍.3S技术在灾害监测预测中的应用及展望[J].灾害学,2004,19(S0):83-87.
- [10] 陈晓清,谢洪.基于GIS的泥石流危险区划研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(6):46-48.
- [11] 唐川,刘琼招.中国泥石流灾害强度划分与危险区划探讨[J].中国地质灾害与防治学报,1994,5(S0):30-36.
- [12] 朱静,唐川.云南省泥石流灾害危险度分区研究[J].中国地质灾害与防治学报,1996,7(2):86-93.
- [13] 刘希林.区域泥石流风险评价研究[J].自然灾害学报,2000,9(1):54-61.
- [14] 四川省泸定县志编纂委员会.泸定县志[M].成都:四川辞书出版社,1999.
- [15] Fansto Guzzentti, Alberto Carrara, Mauro Cardinali, Paola Reichenbach. Landslide hazard evaluation a review of current techniques and their application in a multi2scale study Central Italy [J]. Gean or phology. 1999, (31): 181-216.
- [16] 王晓朋,潘懋,徐岳仁.基于流域单元的泥石流区域危险性评价[J].山地学报,2006,24(2):177-180.
- [17] 唐川,朱静.云南滑坡泥石流研究[M].北京:商务印书馆,2003:47-67.
- [18] 匡乐红,徐林荣,刘宝琛.组合赋权法确定地质灾害危险性评价指标权重[J].地下空间与工程学报,2006,2(6):1064-1068.
- [19] 王国良.层次分析法在地质灾害危险性评估中的应用[J].西部探矿工程,2006,18(9):286-288.

Research on Application of GIS and RS in Debris Flow Hazard Zonation at County Level

——A Case Study in Luding County of Sichuan Province

Li Weile¹, Tang Chuan¹, Yand Wunian¹ and Yuan Peixin²

(1. State Key Laboratory for Geo-Hazard Prevention and Geo-Environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Remote Sensing Centre of Sichuan Province, Chengdu 610081, China)

Abstract: Debris flow hazard zonation is an important part of debris flow prediction and mitigation. Taking Luding County as an example, in the unit of river basin, the factors affecting the formation and development of debris flow are selected by use of RS and GIS technology. The sensitivity coefficient and weight of each factor to debris-flow are obtained by using mathematical statistics method and analytic hierarchy process. Then multi-factor synthetic zonation model for debris flow hazard assessment in the area at county level so as to realize regional debris flow hazard assessment.

Key words: debris flow; hazard zonation; remote sensing; geographical information system; sensitivity; Luding county of Sichuan