

文章编号: 1000-0690(2002)03-0300-05

基于 GIS 技术的泥石流风险评价研究

唐 川^{1,2}, 朱大奎¹

(1. 南京大学城市与资源学系, 江苏 南京 210093; 2. 云南省地理研究所, 云南 昆明 650223)

摘要: 为了满足对自然灾害预测不断增长的紧迫要求, 泥石流风险评价成为帮助决策过程重要的基础工具之一。即使泥石流风险性各组分的评价很困难, 但地理信息系统可辅助提出这种风险性制图的有关方法。我们以云南省为研究区, 选取6个成因因子参与泥石流危险度敏感性分析, 通过将研究区易损性评价图与危险性评价图叠加分析, 编制出云南省泥石流风险评价图。该图描述了在现有自然条件和人类活动下的泥石流风险敏感区。研究成果为全面反映灾情, 确定减灾目标, 优化防御措施, 进行减灾决策提供了重要依据。

关 键 词: 泥石流; 危险性; 风险评价; 地理信息系统

中图分类号: P642.23 文献标识码: A

泥石流风险评价是根据对山地斜坡赋存的环境条件和泥石流活动历史记录的分析, 划分出各区域泥石流危险等级并评估对人类和财产可能造成的灾害损失严重程度^[1]。泥石流风险评价能够准确、快捷反映区域泥石流活动现状和发展趋势, 又能高度地概括和预测泥石流对人类和财产可能造成危害程度, 这是泥石流防治工作中一项重要的非工程措施。泥石流风险评价能够为管理规划、工程建设和投资决策者提供有价值的框架图^[2, 3]。近年来泥石流风险评价与制图发展较快, 但决策者在土地规划决策中常常忽视潜在泥石流的风险性。针对这一问题, Cooke 和 Doorukawp(1974)指出规划者和决策者必须重新认识由地貌学家完成的风险评价图, 改变以往主要由工程学家花费巨额资金进行有限数量和尺度的泥石流风险评价^[4]。

近十多年来, GIS 技术使泥石流风险评价的空间数据集成化更简便、分析速度更快、精度更高, 促进了该领域快速发展^[5~14], 相关研究大量涌现, 意大利学者 A. Carrara 系统总结了近年来滑坡(含泥石流)风险制图的技术方法和存在的问题^[5]。目前泥石流风险评价工作关键在于 GIS 专家、统计专家和地学工作者共同对相关空间数据获取、处理和分析, 开发可靠性强的评价模型^[9~14]。我国开

展泥石流风险评价研究起步较晚, 1996 年本文作者以德国波恩市城区南部为研究区探讨了滑坡危险性和风险评价原理和方法^[1, 15], 刘希林讨论了泥石流风险区划的易损度计算方法^[16]。

本文以云南省为研究区, 对泥石流危险性、易损性和风险性进行多目标、多层次的集成分析和评价, 将 GIS 数据分析和成图技术引入该研究, 对解决这类数据量宏大、系统复杂的问题进行了探讨, 真实地反映了区域泥石流风险的空间特征。

1 泥石流风险评价技术方法

泥石流风险评价框架分四个主层次, 各层次利用地理信息系统(GIS)、遥感(RS)和全球定位系统(GPS)进行数据采集、存储、管理、分析和建库, 其四个主层次包括基础信息分析、泥石流分布、危险性(hazard)评价和风险(risk)评价。具体的技术程序分四步: (1) 利用层次1完成的基础信息图形数据库制作因子分析图, 并建立以栅格形式的各因子的图层数据库; (2) 根据泥石流发生的区域环境因子和灾害点分布图叠合分析, 对参评因子进行敏感性评价; (3) 应用统计学方法进行区域泥石流危险性定量计算; 并按照一定的原则和分级标准, 进行区域泥石流危险度的划分和归类, 并与研究区泥石

收稿日期: 2001-04-14; 修订日期: 2001-09-18

基金项目: 云南省九五科技攻关项目(95C16-1)和国家自然科学基金资助项目(49861001)。

作者简介: 唐川(1961-), 男, 安徽合肥人, 研究员, 主要研究方向: 灾害地貌学、地质灾害、环境评价、水文地质。E-mail: tang@public.

km.yn.cn

流灾害分布特征相印证与修改,完成泥石流危险性评价图,这是泥石流风险评价的核心内容之一;(4)建立社会经济易损性指标体系,并以县(市)为单元完成云南省灾害易损性评价;(5)利用 ARC/INFO 提供的计算与分析工具,对危险性评价、易损性评价结果进行组合评判,按一定叠合数值划分每个栅格的风险度,作为本研究最终成果评价图。

2 泥石流危险性评价

2.1 评价指标与空间数据集成

为突出反映泥石流的主导因子作用,本文参考了许多研究所采用的评价因子^[1~14],结合 GIS 技术进行评价所要求的因子容量、可图形化和经济可靠性,重点选择了地形指标(坡度)、岩性指标(岩土体类型)、降水指标(暴雨天数)、地震与地质构造指标(地震烈度)、人为活动指标(土地利用和公路分布)。这些因子的空间数据从云南省泥石流信息系统数据库中存储的图形数据提取,主要包括 1:50 万自然环境系列图:云南省地形坡度图、土地利用图、岩土体类型图、地震烈度区划图、暴雨综合天数分布图和水系分布图;云南省社会经济特征空间数据,包括:云南省各县(市)人口密度分布图、房屋资产分布图、GDP 分布图、耕地分布图和公路线分布图。泥石流调查编目数据和空间分布数据通过表格编辑器录入数据库。上述 GIS 空间数据由一系列数据平面(层)组成,数据平面由一张数字专题地图及其相关联的属性数据库组成,两者间的联系由关键码实现。属性数据采用标准的 DBF(DBASE)数据格式,便于与其它数据管理系统相连,其兼容性、可移植性强。空间数据采用矢量结构,通过记录坐标的方式尽可能精确地表示点、线、面(多边形)等地理实体。空间坐标为连续的、允许任意位置、长度和面积的精确定义,并进行空间分析。

2.2 因子敏感性评价

因子敏感性分析采用统计学方法^[1,18],并充分发挥出 GIS 分析功能,对研究区泥石流灾害点与各因子的每个属性进行相对频率组合的定量计算。具体方法是:①建立评价因子的 GIS 图形数据库;②建立云南省泥石流灾害点的 GIS 空间数据库,并提取泥石流灾害点所处位置各因子属性数据;③分别计算泥石流灾害点和各因子属性的相对组合频率,即敏感性分析,并计算各因子每 1 000 km² 内灾害点密度,以表示每因子属性的敏感性;

设 F_{mn} 为因子 m 的某属性 n 的灾害点出现的敏感性; N_{mn} 为某因子 m 中某属性 n 的灾害点出现数, S_{mn} 为某因子 m 某属性 n 的面积;那么各因子属性中灾害点的敏感度按下式计算:

$$F_{mn} = N_{mn} / S_{mn} \text{ (单位: 个/1 000 km}^2\text{)}$$

根据上述方法应用 GIS 的统计分析模块对岩土体类型、地形坡度、土地利用、地震烈度、暴雨综合天数、公路分布共六大因子的敏感性进行计算和统计,从而计算出每个因子属性的敏感性。因子敏感性分析结果表明地形坡度在 30°~45° 的敏感性最高,这类坡度范围的斜坡最易产生泥石流;岩土类型对泥石流发育影响明显,特别是土体、软弱的中-厚层状为主的粘土岩岩组;较坚硬、软弱的薄层状为主的千枚岩、板岩岩组、坚硬的中-厚层状为主的石英岩岩组、坚硬的薄层状为主的片麻岩、混合岩、变粒岩岩组等五大岩土类型更易发育泥石流;泥石流最敏感土地类型主要有城镇用地、工矿用地、裸土、裸沙、泥石流滩;距离公路带在 1 km 范围的地区敏感性达到最大值;泥石流敏感性与地震烈度关系表明了与实际情况极为吻合的规律,地震烈度 IX 地带敏感性最高;计算结果表明暴雨分布与泥石流敏感性在部分地区不一致的特征,不参与以下危险性和风险的评价,分析其主要原因是,云南省属印度洋季风气候区,绝大部分地区 85% 以上的降水集中于雨季,即使在干热河谷区,雨季 6~8 月的总雨量也多在 400 mm 以上。这样的雨量已达到或超过我国一些半干旱、半湿润泥石流强烈活动地区的雨季总降水量,如甘肃武都、天水等地。

2.3 区域图层叠代评价

本评价对象涉及全省范围约 38.4 万 km²,受财力、人力等因素的影响,且由于泥石流形成条件的复杂性,各评价因子的影响程度也不尽相同,而且开展大范围泥石流流体危险性评价的标志和等级又是相当不分明,因此采用区域图层叠代综合评价法进行泥石流危险评价,该方法虽然只能达到半定量的程度,但很适合目前研究程度,且容易把握。技术上主要利用 ARC/INFO 提供的叠合分析工具,应用 GIS 分析将上述编制的多层空间数字图层进行数值化和归一化处理,即按 1、2、3 和 4 数值分别赋给每个评价栅格,我们将上述 5 个敏感因子的叠代综合数值分别按 ≥ 16 、15~12、11~8 和 ≤ 7 作为划分高、中、低和微度危险区的上下限阈值,并用不同色斑表示各危险等级的区域,由此得到云南

省泥石流危险性评价图。评价结果是全省泥石流高度危险区的面积约 36 300 km², 占全省总面积的 9. 49%; 中度危险区 11 573 km², 占 37. 36%; 低度危险区面积 163 725 km², 占 42. 79%; 微度危险区面积 36 602 km², 占 9. 57%。

3 泥石流风险评价

20 世纪 80 年代以来, 我国泥石流灾害发生频率和危害程度日趋严重。泥石流灾害造成的损失和危害很大程度上取决于承灾体承受能力, 即社会经济易损性的大小。1994 年以来, 对自然灾害承灾体易损性研究日益引起国际上的普遍关注^[20]。

近几年, 许多学者对自然和经济易损性作了深入研究, 并对多种自然灾害的易损性建立了分析体系和评价方法或模型, 并将它们用于指导高风险地区人们的防灾救灾^[21~29]。易损性的经济评价主要是用费用-效益分析方法(泥石流风险中常用投保比)确定防灾工程和生物措施的花费。社会易损性是评价山区人类及其财产受泥石流灾害威胁的一个主要因素。由于泥石流灾害分布面积广, 危害范围大, 成灾复杂, 对承灾体所产生的自然、社会和经济影响也相当复杂。目前在风险评价方面所做的研究是有限的, 因为要将泥石流危险评价结果与潜在的灾害损失相结合进行的风险评价是很复杂的难题, 直观方法是将土地利用图叠合在泥石流危险性评价图上, 按等级标准进行泥石流风险分区或区划, 为泥石流风险的规范管理和减灾决策提出重要的理论指导, 这是泥石流风险评价的最终产品。

泥石流风险评价是泥石流危险性和易损性的综合函数, 必须考虑区域泥石流易损性特征。基于泥石流风险损失率的易损性分析主要有以下几个方面的困难: ①调查承灾体的分布及估算其价值极

其困难而且耗资巨大; ②不同类别的承灾体易损性特征难以得到, 目前仅对农作物、房屋等很少几类承灾体易损性特征研究较为成熟; ③难以定量分析社会承灾能力。一般认为社会经济条件可以定性反映区域的灾损敏度, 即易损性的高低。社会经济发达的地区, 人口、城镇密集, 产业活动频繁, 承灾体的数量多、密度大、价值高, 遭受泥石流风险时人员伤亡和经济损失就大。值得注意的是, 社会经济条件较好的地区, 区域承灾能力相对较强, 相对损失率较低, 但区域绝对损失率和损失密度都不会因此而降低。同样等级的泥石流危险, 发生在经济发达、人口密集的地区可能造成的损失往往要比发生在荒芜人烟的经济落后的地区大得多。社会经济指标的获得相对较为容易, 一般可以从各类统计年鉴中查找得到。关于采用何种社会经济指标来反映区域社会经济易损性的大小, 目前尚无定论。综上所述, 综合考虑云南省区域特点和以县(市)为单位的数据, 本研究采用人口密度、房屋资产、耕地百分比、单位面积工农业产值作为泥石流风险评价的社会经济易损性指标, 其计算方法为:

易损性综合指标值= $A + B + C + D$
式中: A 为各县(市)人口密度/全省总人口密度; B 为各县(市)房屋资产/全省平均房屋资产; C 为各县(市)GDP/全省平均GDP; D 为各县(市)耕地面积/全省平均耕地面积。

将易损性计算结果分别按 ≥ 0.70 、 $0.69 \sim 0.50$ 、 $0.49 \sim 0.30$ 和 ≤ 0.29 作为划分极高、高、中和低易损性的限界限值, 其等级划分结果见表 1; 需要进一步说明的是上述计算方法是根据云南区域特点而定的, 具有相对意义。

泥石流风险评价是泥石流危险性与易损性的综合, 为了便于应用ARC/INFO系统的地图代数

表 1 云南省社会经济易损性分析结果
Table 1 The analysis results of social and economic vulnerability of Yunnan Province

易损级别	县(市)名称
低易损性	德钦、绥江、水富、贡山、大关、维西、福贡、兰坪、华坪、剑川、泸水、永仁、云龙、元谋、漾濞、永平、姚安、牟定、马龙、富民、南华、南涧、梁河、呈贡、易门、澄江、双柏、陇川、峨山、镇康、瑞丽市、畹町市、元江、双江、西畴、普洱、沧源、红河、屏边、绿春、河口、西盟、江城、孟连
中易损性	中甸、盐津、威信、宁蒗、鲁甸、永胜、鹤庆、洱源、大姚、宾川、武定、巍山、弥渡、嵩明、盈江、路南、施甸、师宗、龙陵、晋宁、华宁、江川、永德、新平、镇沅、临沧、通海、石屏、耿马、景谷、麻栗坡、元阳、马关、思茅市、金平
高易损性	永善、彝良、巧家、禄劝、祥云、禄丰、罗平、宜良、昌宁、凤庆、景东、云县、泸西、路西市、丘北、富宁、建水、砚山、开远市、墨江、蒙自、勐海、勐腊
极高易损性	镇雄、丽江、昭通市、会泽、宣威市、昆明市、寻甸、曲靖市、富源、大理市、腾冲、保山市、陆良、楚雄市、安宁市、弥勒、玉溪市、广南、文山、个旧市、澜沧、景洪市

功能进行泥石流风险评价, 我们同样按归一化数值分别赋给危险性和易损性因子图层, 形成1 000×1 000 m 格栅的数据层, 参与风险评价的集成分析。根据叠代分析, 以数值 ≥ 7 、6~ 5、4~ 3 和 ≤ 2 分别确定高、中、低和微度风险度等级, 由此得到云南省泥石流风险评价图(图 1); 由该图可计算出泥石流风险度在各地州市的分布面积(表 2), 其泥石流风险度高的地区的共同特点是区域斜坡稳定性较差、泥石流灾害点较多, 尤其是云南省人口分布密度较大、资产较高的地区。

由于本研究涉及的大量空间数据和参评因子在某些条件下是非确定性的或不充足的, 其评价图基本反映出研究区的泥石流潜在活动性、易损性和风险性的相对差异, 要解决区域评价的精确性问题, 需要尽可能将地质、地貌数据和工程勘察结合到危险性评价中去, 并且进一步探讨不同类型承灾体易损性的评价模型, 以提高灾害风险评价的可靠性。

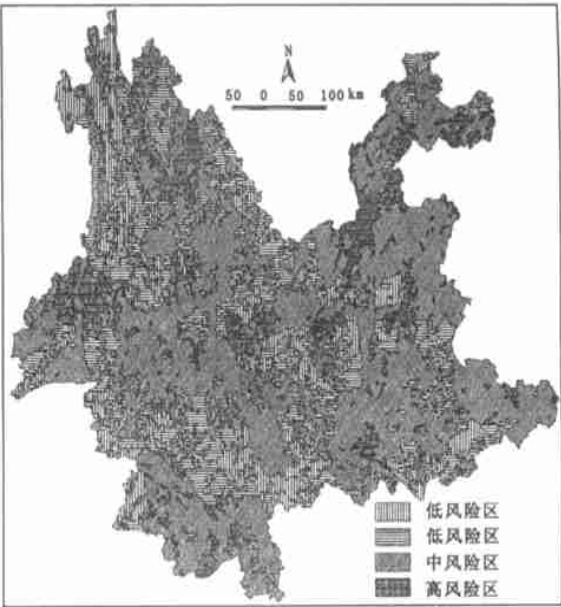


图 1 云南省泥石流风险评价图

Fig. 1 Map of debris flow risk assessment of Yunnan Province

表 2 云南省泥石流不同风险等级面积计算结果(km²)

Table 2 The calculation results of different level risk area for debris flows in Yunnan Province (km²)

地州名称	面积	微度灾害		低度灾害		中度灾害		高度灾害	
		面积	(%)	面积	(%)	面积	(%)	面积	(%)
迪庆州	23155.44	12564	54.26	6797	29.35	3580	15.46	0	0.00
昭通地区	22445.31	2292	10.21	6521	29.05	5288	23.56	7937	35.36
怒江州	14556.89	4605	31.63	3879	26.65	4134	28.40	1700	11.68
丽江地区	20530.67	4114	20.04	3763	18.33	4537	22.10	7990	38.92
曲靖市	28901.56	19437	67.25	6518	22.55	1997	6.91	752	2.60
大理州	28282.19	2237	7.91	7187	25.41	9949	35.18	8896	31.45
昆明市	20964.42	5615	26.78	6763	32.26	4090	19.51	4447	21.21
楚雄州	28365.68	4448	15.68	9644	34.00	9379	33.06	4865	17.15
保山地区	18990.39	981	5.17	6244	32.88	8054	42.41	3651	19.23
德宏州	11115.14	980	8.82	3105	27.93	4550	40.94	2388	21.48
临沧地区	23564.95	6517	27.66	7907	33.55	4262	18.09	4846	20.56
玉溪地区	14882.91	5611	37.70	6883	46.25	2307	15.50	81	0.54
思茅地区	44216.54	19452	43.99	16942	38.32	7119	16.10	542	1.23
红河州	32142.43	15126	47.06	10679	33.22	4033	12.55	2251	7.00
文山州	31375.62	24529	78.18	6221	19.83	411	1.31	0	0.00
西双版纳州	19159.63	12450	64.98	5919	30.89	623	3.25	0	0.00
全省总计	382649.77	140958	36.84	114972	30.05	74313	19.42	50346	13.16

参考文献:

[1] 唐川, Jorg Gnnert. 滑坡灾害评价原理和方法研究[J]. 地理学报, 1998, 53(增刊): 149~ 157.

[2] Jones D K C. Landslide Hazard Assessment in the Context of Development[M]. In: McCall G J H, Laming D J C and Scott S C, Geohazards nature and man made, 1992. 117~ 142.

[3] Hansen A. Landslide Hazard Analysis[M]. In: Brusden D and Prior DB, Slope Instability, 1984, 523~ 543.

[4] Cooke R U, Doornkamp J C. Geomorphology in Environment Management, an Introduction[M]. Clarendon Press, 1974. 3224~ 327.

[5] Carrara A, Cardinali M, Detti R, Guzzetti F. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1991, 16: 427~ 445.

[6] Fell R. Landslide risk assessment and acceptable risk[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1994, 31: 261~ 272.

[7] Eldeen M T. Predisaster physical Planning: Intergration of disaster risk analysis into physical planning[J]. Disaster, 1980, 4(2): 211~ 222.

[8] Bonnard C, Noverraz F. Instability risk maps from the detection to the administration of landslide prone area[A]. Proc. 4th Int.

- Symp. Landslide[C]. 1984. 511– 516.
- [9] Brabb E E. Innovative Approaches to landslide hazard and risk mapping[A]. Proc. 4th. Int. Symp, Landslides[C]. 1984. 307– 324.
- [10] Dikau R. Derivatives from detailed geoscientific maps using computer methods[J]. Z. Geomorphology, 1990, **80**(Sup pl.): 45– 55.
- [11] Grunert J. Geomorphologische entwicklung des Bonner Raums [J]. Arb. 2. Rhein. Landeskde. 1988, 58: 165– 180.
- [12] Alison J R. A GIS for the prediction of landsliding potential and hazard in Southwest Greece [J]. Z. Geomorphology, 1993, **87**(Suppl.): 141– 149.
- [13] Hardenbicker V. Hangrutschungen im Bonner Raum, ihre naturraeumlichen und anthropogenen Vrsachen[J]. Arb. Z. Rhein, Landeskde, 1994, 64: 105– 112.
- [14] Wadge G. The potential of GIS modeling of gravity flows and slop instability [J]. Int. J. Geographical Information Systems, 1994, **2**(2): 143– 152.
- [15] 唐 川. 德国波恩地区滑坡特征与危险性评价[J]. 水土保持学报, 2000, **14**(1): 46~ 52.
- [16] 刘希林, 王小丹. 云南省泥石流风险区划[J]. 水土保持学报, 2000, **14**(3): 104~ 107.
- [17] Vames D J. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principle and Practice[M]. UNESCO, 75700 Paris, France, 1984.
- [18] Aniya A. Landslide susceptibility mapping in the Amahata River Basin, Japan[J]. Ann. Assoc. Am. Geogr. 1985, **75**(1): 102– 114.
- [19] Takahashi T. Estimation of potential debris flows and their hazardous zones: Soft Countermeasures for a Disaster [J]. Journal Disaster science, 1981, (3): 57– 65.
- [20] 孙桂华, 等(编译). 洪水风险分析制图实用指南[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992. 3~ 8.
- [21] 姜 彤, 许朋柱, 许刚. 中国山地自然灾害易损性分析[A]. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 中国地理学会山地学会(编). 山地资源开发与持续发展[C]. 成都: 成都科技大学出版社, 1997. 102~ 109.
- [22] 魏一鸣. 洪水灾害分析与评估的综合集成方法[J]. 水科学进展, 1999, **10**(1): 25~ 30.
- [23] 许飞琼. 灾害损失评估及其系统结构[J]. 灾害学, 1998, **13**(3): 80~ 84.
- [24] 金晓媚. 地质灾害灾情评估系统[J]. 水文地质工程地质, 1998, (3): 30~ 32.
- [25] 于庆车. 灾害经济损失评估理论与方法探讨[J]. 灾害学, 1996, **11**(2): 73~ 77.
- [26] 金晓东, 罗云. 区域社会经济“ 易灾性” 综合评价实践[J]. 灾害学, 1994, **8**(1): 32~ 37.
- [27] 姜 彤. 洪灾易损性概念模式[J]. 中国减灾, 1997, **7**(2): 78~ 83.
- [28] 张梁, 张业成. 地质灾害经济损失评价方法研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1999, **10**(2): 97~ 102.
- [29] 刘希林. 泥石流防灾优先性研究[J]. 地理科学, 2001, **21**(2): 113~ 117.

Assessment of Debris Flow Risk of Yunnan Province by Using GIS

TANG Chuan^{1, 2}, ZHU Da kui¹

(1. Department of Urban and Resources Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093;
2. Yunnan Provincial Institute of Geography, Kunming, Yunnan 650223)

Abstract: To satisfy the increasingly urgent demand for prediction of natural disasters, risk assessment is one of the fundamental tools for helping the decision making process. Even though individual components of debris flow risk are difficult to be accessed, the availability of geographic information systems helps in proposing pertinent methods for the mapping of such risk. This paper describes the systematic methodology used to establish a GIS capable of identifying and quantitatively rating areas of debris flow risk.

In this study we elected 6 causal factors from the initial set for susceptibility analysis of hazardous degree in Yuannan Province as study area. By overlaying vulnerability map of the study area to hazard map, debris flow risk map was created, which depicts relative risk susceptibility of areas to debris flows under existing natural conditions and human activities. The proposed method for debris flow risk assessment by geomorphologists is one of the most important methods to show hazardous situation, assure objectives of disaster reduction, optimize prevention and control measures.

Key words: debris flows; hazard; risk assessment; GIS; Yunnan Province