

金沙江流域(云南境内) 山地灾害危险性评价

唐 川

(云南大学云南省地理研究所, 云南 昆明 650223)

摘 要: 云南境内的金沙江流域是斜坡不稳定的敏感区, 根据 1988- 2000 年的区域调查和统计, 区内发育山地灾害点 1697 处, 其中流域面积大于 1 km^2 的泥石流沟 808 条, 体积大于 $1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的滑坡 580 处, 体积大于 1000 m^3 的崩塌 309 处。用于山地灾害危险性评价的主要敏感因子包括岩土体类型、山坡坡度、降雨、土地利用、地震烈度和人类活动。在对这些因子进行了敏感性评价的基础上, 应用 GIS 对敏感因子集成评价而产生了云南金沙江流域山地灾害危险性评价图。评价结果表明: 高危险区面积占全区面积 6464 km^2 的 8.77% , 中危险区占全区总面积的 41.51% , 低危险区占 41.12% , 无危险区占 8.60% 。山地灾害危险性评价图可以帮助规划者或工程师在土地发展规划中选择最佳建设场所, 以减轻灾害的影响。

关键词: 金沙江流域; 山地灾害; 因子敏感性; 危险性评价; GIS

中图分类号: P694

文献标识码: A

金沙江流域由于其河流的侵蚀、切割, 山地及高原边缘地带形成山谷相间、地表破碎的高山、极高山、中山地形; 经历多次构造运动, 地震频发; 受季风气候控制, 降雨量时空分布不均, 多暴雨和风暴, 水土流失严重, 加之不合理的人类活动, 使该地区的泥石流、滑坡、崩塌等山地灾害频繁发生, 灾情日趋严重。每年都要造成大量人员伤亡和巨额的经济损失, 成为金沙江流域社会、经济发展和自然环境的重要限制性因素之一。因此, 开展金沙江流域山地灾害危险性评价对于进一步认识该地区的自然灾害形成的环境背景、发生规律和发展趋势, 对该地区的减灾防灾和保障国民经济的持续发展、生物多样性保护、合理开发和利用资源, 促进流域社会发展、经济建设都具有现实意义。

山地灾害危险性评价是分析和预测某区域未来某时段内山地灾害的孕灾环境和致灾因子的各种危险性指标的变化情况, 并估计它们的概率分布。山地灾害危险性评价一直是我国灾害学研究的重点课题^[1], 对其理论方法和实践应用的探索已取得了显著的成果^[2-8], 其研究已从过去单一的、定性研究

向综合化、定量化发展; 特别是这些成果为其后深入开展泥石流等山地灾害风险评价奠定了重要基础^[9-15]。由于山地灾害危险性评价涉及的内容多、影响因素复杂, 这些均给评价图的编制造成了较大的困难; 山地灾害的发生既有随机性, 又具有可预测性; 其随机性包括山地灾害发生的不确定性。

本文以云南境内的金沙江流域为研究区。前人已对该地区的滑坡泥石流危险区划和评价作了大量研究^[16-21], 在此基础上, 我们进一步开展了区域性调查和分析, 在理论上探讨山地灾害危险度的集成分析和评价的方法, 特别是探讨如何将 GIS 分析和成图技术应用于山地灾害形成的环境因子的敏感性分析和危险性评价中, 从而解决这类信息量大、系统复杂的问题, 力图真实地反映该区域的山地灾害危险度的空间特征。

1 流域概况

金沙江是长江的上游河段, 在云南境内的主干河长约 1560 km , 流域面积 108763 km^2 , 包括云南

收稿日期(Received date): 2004- 03- 02; 改回日期(Accepted): 2004- 05- 08。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金资助项目(49861001)。[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 49861001.]

作者简介(Biography): 唐川(1961-), 男, 安徽合肥人, 博士, 研究员, 主要从事自然灾害、地貌学和水文地质研究[Tang Chuan: male, born in 1961, Hefei City, Anhui Province, Ph.D., professor, studying natural hazards, geomorphology and hydrogeology. E-mail: tang@public.km.yn.cn]

省的迪庆、丽江、大理、昆明、楚雄、曲靖、昭通等 7 个地州市的 49 个县(市、区)。流域海拔最高 5 596 m, 最低 267 m, 高差达 5 329 m, 坡度大于 25°的土地面积 48.2%。该地区现有人口 1 890 万, 约为云南省总人口的 45%, 人口密度为 128 人/km²。金沙江流域是长江上游的主要水源地和泥沙源, 长江三峡大坝宜昌观测断面的来沙中 45.8% 来自金沙江^[22], 金沙江流域多年平均输沙量为 2.4×10^8 t, 多年平均土壤侵蚀量为 1.59×10^9 t^[22,23]。金沙江流域云南部分的水土流失居全省六大流域之首, 水土流失面积达 4.7×10^4 km², 占流域面积的 42.83%, 输入江河的泥沙中主要是由于滑坡、泥石流等日益严重的山地灾害活动而导致的泥沙转移^[16-18], 例如金沙江流域的云南东川小江两岸泥石流强烈活动每年平均将 4×10^7 t 固体物质注入小江, 而小江每年又将 6×10^6 t 泥沙输入金沙江主河道, 对金沙江水利

水电建设和航道的开发利用带来了困难。

金沙江流域云南部分的山地灾害区域资料来源, 主要包括云南省地理研究所于 1988~ 2000 年对全省区域山地灾害实地调查和部分地区遥感解译结果, 云南省计委于 1989 年组织的各地州县计委系统对山地灾害的调查、防治勘察资料, 云南省地矿局“七五”期间完成的云南省地质灾害及调查的资料, 以及每年云南省防汛抗旱指挥部、云南省气象局的灾情通报资料。根据上述工作, 我们将研究区范围山地灾害进行了汇总和编目, 以 GIS 为平台, 整合了云南省防洪空间信息系统的数据^[24], 构建了金沙江流域云南境内的山地灾害空间数据库, 并编制了山地灾害分布图(图 1)。该图标绘出山地灾害点共 1697 处, 其中规模 $> 1 \times 10^4$ m³ 滑坡灾害点 580 处, 流域面积 > 1 km² 泥石流沟 808 条, 规模 $> 1 000$ m³ 崩塌 309 处。

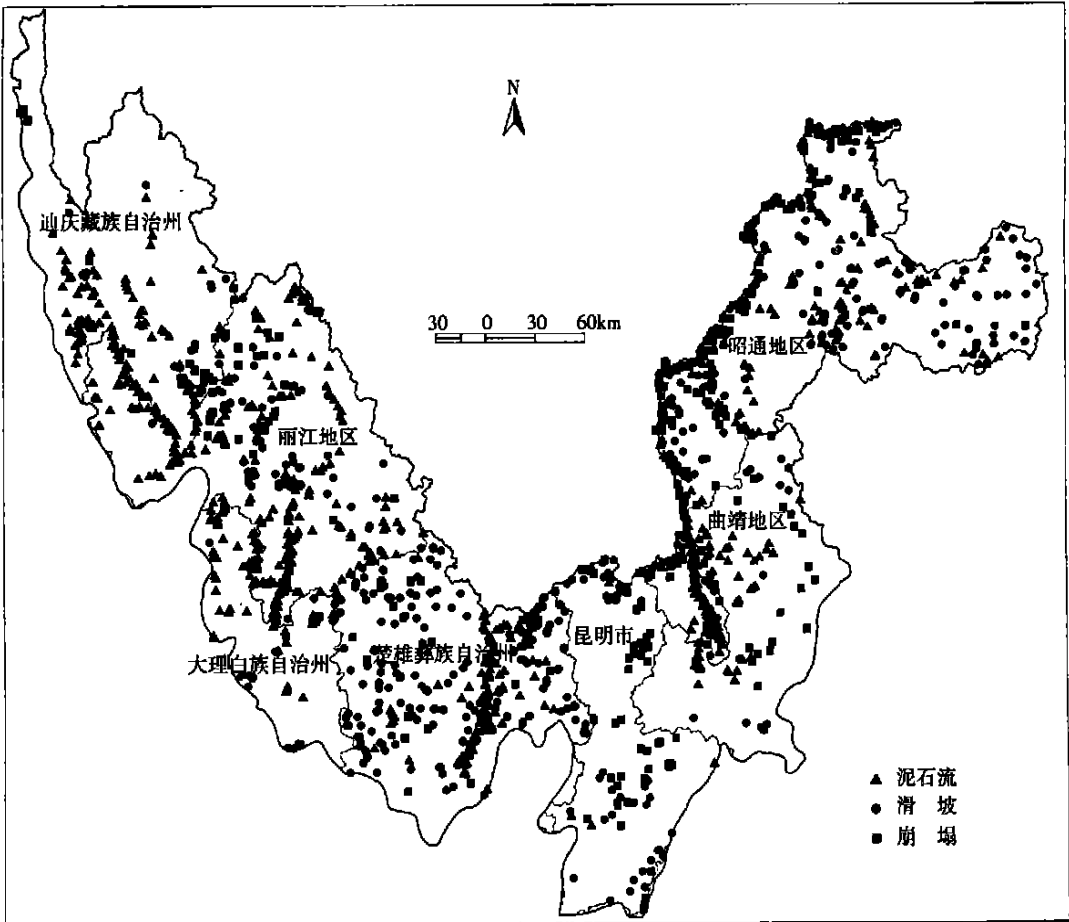


图 1 云南金沙江流域山地灾害区域分布图

Fig. 1 Regional distribution of mountain hazards in the Jinshan River Watershed of Yunnan

2 评价指标

影响山地灾害形成的自然和人为因素众多, 因素之间的关系也错综复杂, 历史上的山地灾害发生的数量、分布范围、活动规模都直接反映了其发育的背景环境的地形地貌、地层岩性、地震活动和水文气象条件对其形成和分布的控制作用; 此外, 土地利用方式、地下水状况、人类活动等因素也对山地灾害形成有较程度的影响。为了突出反映本研究区的山地灾害形成的主导因子作用, 我们参考了许多在山地灾害危险性评价研究中所采用的评价因子^[16- 18, 24- 30], 同时结合本研究拟采用的 GIS 技术

进行危险性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 6 个评价指标, 即岩性指标(岩土体类型)、地震与地质构造指标(地震烈度)、地形指标(坡度)、降水指标(暴雨日数)、人为活动指标(土地利用和公路分布), 这些因子在山地灾害危险性评价中的作用分析如下:

2.1 岩性因子

根据原岩的工程力学性质和抗风化程度, 我们采用云南省地质矿产局 1984 年编制的 1: 50 万云南省岩土体类型图及说明书的数据资料, 将云南金沙江流域出露的岩层概化为四大建造类型、16 种岩组, 表 1 列出了这些岩组的岩体工程地质特征。我们将这 16 类岩组作为研究区山地灾害危险性评价

表 1 云南金沙江流域岩土体类型表
Table 1 Rock and soil types of the Jinshan River Watershed of Yunnan

工程地质岩组		岩 性	抗压强度(MPa)	软化系数
岩浆岩建造	坚硬的块状为主的侵入岩岩组	花岗岩、辉绿岩、辉绿岩、辉长岩、闪长岩等	99. 9~ 196. 0	0. 65~ 0. 83
	坚硬的块状为主的喷出岩岩组	玄武岩、安长岩	123. 6~ 241. 7	0. 61~ 0. 93
变质岩建造	坚硬的中~ 厚层状为主的石英岩岩组	石英岩		
	坚硬的薄层状为主的片麻岩、混合岩、变粒岩岩组	片麻岩、混合岩、夹片岩、石英岩、大理岩	135. 7 (片麻岩)	0. 67 (片麻岩)
	较坚硬的薄层状为主的片岩岩组	片岩	98. 6	0. 46
	较坚硬、软弱的薄层状为主的千枚岩、板岩岩组	千枚岩、板岩夹砂岩、石英岩	38. 7(千枚岩)	0. 56(千枚岩)
			29. 0(板岩)	0. 53(板岩)
碎屑岩建造	坚硬的中~ 厚层状为主的砂岩、砾岩岩组	长石石英砂岩、长石砂岩、砾岩	81. 1~ 118. 4	0. 77
	较坚硬、软弱的中~ 厚层状为主的砂砾岩夹粘土岩岩组	砂岩、砾岩	65. 0~ 93. 4	0. 69~ 0. 77
		泥岩	30. 3~ 39. 9	0. 14
	较坚硬、软弱的中~ 厚层状及页片状为主的砂砾岩、粘土岩互层岩组	砂砾岩	59. 2~ 72. 3	0. 42~ 0. 63
		泥岩、页岩	36. 8~ 62. 8	0. 53~ 0. 66
	较坚硬、软弱的中~ 厚层状为主的粘土岩夹砂砾岩岩组	泥岩、页岩	29. 7~ 97. 3	0. 7
		砂砾岩	88. 5~ 107. 6	0. 53~ 0. 68
	软弱的中~ 厚层状为主的粘土岩岩组	粉砂质泥岩、灰质粉砂岩、页片状页岩	3. 0~ 30. 1	0. 35~ 0. 64
碳酸盐岩建造	坚硬的中~ 厚层状为主的强、中喀斯特化的石灰岩、白云岩岩组	生物碎屑灰岩、细晶白云岩、白云质灰岩、燧石灰岩	84. 9~ 94. 0	0. 74~ 0. 76
	坚硬的中~ 厚层状为主的弱喀斯特化的大理岩岩组	大理岩	109. 3	0. 84
	坚硬、较坚硬的薄~ 厚层状为主的中喀斯特化的碳酸盐岩夹碎屑岩岩组	灰岩、白云岩、砂岩、泥岩及页岩	83. 3~ 93. 6(碳酸盐岩), 26. 3~ 89. 6(碎屑岩)	0. 72~ 0. 75(碳酸盐岩), 0. 50~ 0. 75(碎屑岩)
	坚硬、较坚硬的中~ 厚层状及页片状为主的弱岩溶化的碳酸盐岩与碎屑岩互层岩组	灰岩、白云岩和砂岩、页岩、泥岩	72. 0~ 119. 2(碳酸盐岩), 35. 5~ 119. 3(碎屑岩)	0. 77(碳酸盐岩), 0. 17~ 0. 78(碎屑岩)

的因子敏感性评价的属性。

2.2 地震因子

考虑到地震烈度因子中已包含了区域断裂构造的内涵,在进行金沙江流域山地灾害危险性评价时,未选用断裂构造因子,而是采用 1990 年国家地震局颁布的 1:400 万中国地震烈度评价图为依据,并将图件数字化,存储于 GIS 平台的 1×1 km 解析度的栅格中,并将其比例尺与其他数字图层相匹配。研究区主要分布在 VI、VII、VIII 和 $> IX$ 的地震烈度区内,由此划分为 4 个属性因子,参与因子敏感性的分析。

2.3 地形因子

涉及山地灾害危险性评价的地形因子采用了 1995 年国家测绘局完成的 1:25 万数字地理底图,应用 ARC/INFO 生成金沙江流域的数字高程模型和坡度图。为了分析不同地形坡度条件下的山地灾害危险度,将坡度值划分 $0 \sim 5^\circ$ 、 $6^\circ \sim 10^\circ$ 、 $11^\circ \sim 15^\circ$ 、 $16^\circ \sim 20^\circ$ 、 $21^\circ \sim 25^\circ$ 、 $26^\circ \sim 30^\circ$ 、 $31^\circ \sim 35^\circ$ 、 $36^\circ \sim 40^\circ$ 和大于 40° 共 9 个属性,参与地形坡度因子的敏感性的评价。

2.4 降水因子

为了表征暴雨空间分布特征对山地灾害危险程度的影响,选择了平均大到暴雨权重综合日数作为因子参与评价。统计的是根据云南金沙江流域的 16 个站为代表站的 1960–2000 年共 40 年的逐月各日资料,统计方法是根据各站的逐日雨量资料,将大到暴雨划分为 $40.0 \sim 79.9$ mm、 $80.0 \sim 179.9$ mm 和 > 180.0 mm 三个雨量级。权重确定方法是以日雨量 $40.0 \sim 79.9$ mm 的大到暴雨计为 1 次,出现 $80.0 \sim 179.9$ mm 计为 2 次,出现 > 180.0 mm 计为 4 次,即把各级雨量综合到大到暴雨次数上,以此分析研究区内的暴雨分布和地区的差异。在 GIS 支持下用多年平均的大到暴雨以上权重综合日数等值线图生成 TIN,并转换为数字高程模型。为了定量反映降雨对山地灾害危险程度的影响,将暴雨权重综合日数分布按 < 0.5 、 $0.5 \sim 1.0$ 、 $1.1 \sim 1.5$ 、 $1.6 \sim 2.0$ 、 $2.1 \sim 3.0$ 、 $3.1 \sim 4.0$ 、 $4.1 \sim 5.0$ 、 $5.1 \sim 6.0$ 、 $6.1 \sim 7.0$ 、 $7.1 \sim 8.0$ 、 $8.1 \sim 9.0$ 、 $9.1 \sim 10$ 和 > 10 日共计 13 个属性因子赋给各 1×1 km 栅格单元,参与因子敏感性的分析。

2.5 土地利用因子

由云南省地理研究所完成的 1:50 万云南省土地利用图,较为全面系统地反映了云南省土地利用

开发的基本特征、区域差异和分布规律。该图采用三级分类系统,第一级按国民经济部门结构分为 10 个类型;第二级按土地利用方式和经营目的分为 33 个类型;第三级按土地利用方式的内部形态、地形部位以及林型、疏密度等分为 48 个三级类型,形成山地灾害危险性评价因子敏感性评价的属性,其主要类型见表 2。

2.6 人类活动因子

考虑到研究区公路修建是人类活动最频繁,对斜坡稳定性影响最明显,而且具有区域性特点,选用公路作为人类活动的一个代表性危险指标因子,与土地利用类型共同作为人类活动因子参与山地灾害危险性评价。具体的做法是将 1:25 万研究区公路线系统作缓冲区(Buffer)处理,将公路两侧不同距离的区域确定为可能的山地灾害危险带,经栅格化处理后参与敏感性的分析。根据对云南境内受山地灾害影响最典型的中甸到西藏边境的盐井线和羊街至东川的公路进行了实地调查和统计,总结公路线的空间分布与山地灾害活动带的关系;通过这些分析和对比,将研究区的公路对山地灾害最大影响带确定为 3 km。依此分析结果,在作公路缓冲区分析中,划分了距离主要公路 1.0 km 以内区域、1.0 km \sim 2 km、2.1 km \sim 3.0 km 和 3.0 km 以外区域四个等级的危险区。

3 因子敏感性分析

区域山地灾害危险性是由影响斜坡稳定性因素综合评定的,分析和优选评价因子并确定其贡献率是山地灾害危险性评价的基础和关键。Aniya (1985) 和唐川(1998)讨论的滑坡危险评价的原理和方法可用于本研究中,其技术路线是采用了以栅格为样本的图层数据统计学方法,对研究区山地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方法^[10, 25]。该分析方法强化了山地灾害活动历史和现今分布状况对危险性评价中的致灾因子的影响程度,这种技术路线符合 Varnes 于 1984 年提出的山地灾害危险度分区的基本原理^[31],即过去和现在是预测未来的关键。具体技术方法是:①建立评价因子的 GIS 图形数据库,并划分因子属性;②建立山地灾害点的 GIS 空间数据库,提取山地灾害点所处位置各因子属性数据;③分别计算山地灾害点和各因子属性的相对组合频率,并计算每 $1\,000\text{ km}^2$

内灾害点数量, 以表示每个属性因子的敏感性。

设 F_{mn} 为因子 m 的某属性 n 的灾害点出现的相对频率(因子敏感性); N_{mn} 为某因子 m 中某属性的灾害点出现数, S_{mn} 为某因子某属性的面积; 那么各因子属性中灾害点的敏感性按该式计算:

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

根据上述方法应用 GIS 的叠合统计分析工具

对地形坡度(9 个属性因子)、岩土体类型(18 个属性因子)、土地利用(24 个属性因子)、地震烈度(4 个属性因子)、暴雨综合天数(13 个属性因子)、公路分布(4 个属性因子) 共 6 个因子 72 个属性的敏感性进行计算和统计。按敏感性计算模式的步骤可确定每个因子属性的相对频率和敏感性, 其计算结果见表 2 所示。

表 2 各评价因子敏感性计算结果(单位: 个/1 000 km²)

Table 2 Calculative results of susceptibility of assessment factors

地形坡度 (°)	敏感性	岩土类型	敏感性	土地利用 类型	敏感性	地震烈度	敏感性	公路缓冲 区(km)	敏感性	暴雨日 数(d)	敏感性
0~ 5	4. 75	坚硬的侵入岩岩组	8. 35	水田	23. 56	VI	7. 12	> 3. 0	6. 12	< 0. 5	13. 45
6~ 10	10. 89	坚硬的喷出岩岩组	9. 83	梯田	20. 89	VII	12. 67	2. 1~ 3. 0	10. 76	0. 5~ 1. 0	19. 23
11~ 15	12. 87	坚硬的石英岩岩组	13. 35	平坝旱地	8. 45	VIII	19. 66	1. 1~ 2. 0	16. 96	1. 1~ 1. 5	21. 75
16~ 20	14. 23	坚硬的片麻岩、混合岩、变粒岩岩组	14. 30	坡旱地	16. 34	≥IX	27. 72	< 1. 0	28. 45	1. 6~ 2. 0	16. 34
21~ 25	17. 16	较坚硬的片岩岩组	9. 61	轮耕地	9. 09					2. 1~ 3. 0	13. 19
26~ 30	20. 35	较坚硬、软弱的千枚岩、板岩岩组	15. 45	茶园	15. 98					3. 1~ 4. 0	11. 95
31~ 35	24. 86	坚硬的砂岩、砾岩岩组	7. 03	橡胶园	3. 11					4. 1~ 5. 0	9. 12
36~ 40	29. 23	较坚硬、软弱的砂砾岩夹粘土岩岩组	11. 70	针叶林	8. 62					5. 1~ 6. 0	10. 34
> 40	32. 08	较坚硬、软弱的砂砾岩、粘土岩互层岩组	14. 06	阔叶林	6. 93					6. 1~ 7. 0	6. 98
		较坚硬、软弱的粘土岩夹砂砾岩岩组	13. 92	针阔混交林	9. 55					7. 1~ 8. 0	9. 78
		软弱的粘土岩岩组	16. 34	竹林	4. 73					8. 1~ 9. 0	8. 84
		坚硬- 软弱的碎屑岩夹碳酸盐岩岩组	6. 39	灌丛	12. 54					9. 1~ 10	9. 36
		坚硬的石灰岩、白云岩岩组	7. 65	疏幼林	10. 98					> 10	16. 98
		坚硬的大理岩岩组	9. 73	高山亚高山草甸草场	2. 98						
		坚硬、较坚硬的碳酸盐岩夹碎屑岩岩组	8. 54	草山草坡	9. 96						
		坚硬、较坚硬的碳酸盐岩、碎屑岩互层岩组	12. 39	疏林灌丛草坡	19. 61						
		土体(单层结构)	30. 45	城镇用地	56. 77						
		水体	0. 00	冰川永久积雪	11. 90						
				裸岩	12. 52						
				裸土、裸沙、泥石滩	96. 50						
				裸岩草坡	5. 56						
				裸岩灌丛	4. 45						
				高山灌丛	4. 34						
				高寒荒漠草场	36. 12						

按上述步骤可计算出每个因子属性的相对频率和敏感性。因子敏感性分析结果表明地形坡度在 26~ 40° 及大于 40° 山地的敏感性最高, 这类坡度范围的斜坡最易产生山地灾害; 岩土体类型对山地灾害发育影响明显, 特别是 ①土体; ②软弱的中- 厚层状为主的粘土岩岩组; ③较坚硬、软弱的薄层状为主的千枚岩、板岩岩组; ④坚硬的薄层状为主的片麻岩、混合岩、变粒岩岩组; ⑤坚硬的中- 厚层状为主的石英岩岩组等岩土类型更易发育山地灾害; 山地灾害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; 此外, 冰川永久积雪地、高寒荒漠草场也显示了较高的敏感度, 这是由于崩塌分布数量较多的原因; 距离公路带距离在 1.0 km 范围的敏感性达到最大值; 山地灾害敏感度与地震烈度关系表明了实际情况极为吻合的规律, 地震烈度 ≥IX 地带敏感度最高; 计算结果表明区域暴雨分布与山地灾害敏感性不一致的特征, 其主要原因是, 云南金沙江流域属印度洋季风气候区, 年降水量在 1 000 mm 以上, 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中国一些半干旱、半湿润地区, 例如甘肃武都、天水等地区的山地灾害强烈活动地区的年降水量, 这表明金沙江流域的绝大部分地区降水已能满足山地灾害强烈活动对水分的要求。由于金沙江流域降水多集中在 5- 10 月, 占全年降水量的 80% 以上, 而且暴雨日数一般都在 1 d 以上, 多者达 4 d, 尤其多是中心小, 强度大的局地性暴雨, 极易引发山地灾害, 这表明该地区的降水已成为山地灾害活动的必要条件。为了综合反映金沙江流域的不同暴雨强度对山地灾害数量和规模的影响, 在危险性评价中, 仍将暴雨空间分布特征作为评价因子进行分析。

4 综合评价

研究涉及云南金沙江流域 108 763 km² 的范围。由于该流域山地灾害形成条件的复杂性, 各评价指标因子的影响程度也不尽相同, 而且开展大范围山地灾害危险性评价的标志和界级又是相当不分明, 因此在技术上采用区域图层叠代综合评价法进行危险性评价。本文作者通过对金沙江流域及其一些大流域区域性山地灾害区域性评价的实践认为: 采用因子叠置法是一条较理想的技术路线, 这种方法主要优点在于: 指标因子划分明确、方法简便, 特别是容易利用 GIS 空间分析工具处理和计算, 因而该方法被国内外普遍被采用^[27- 30]。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, 切实可行。

由于各评价因子的计量单位不同, 属半定性半定量取值, 而且取值范围变幅较大, 因此必须要对数据进行标准化处理。应用 GIS 分析将编制的多层空间因子数字图层进行数值化和归一化处理, 即根据对因子属性的敏感性计算结果, 分别按数值> 20、20~ 16、15~ 10 和小于 10 的四个区间值作为划分 6 个评价因子的高、中、低和无危险的上下界限值。该界限值的划分依据主要考虑到所计算得出的各因子属性敏感度的数值分布范围, 以便于将复杂的因子属性整合为可反映出不同因子对山地灾害危险性评价的贡献大小, 其归一化处理方案见表 3。

根据归一化处理结果, 每个因子被划分出四个危险性等级。应用 GIS 处理模块将因子数据图层作 1 km × 1 km 解析度的栅格化处理, 按 1、2、3 和 4 数值分别赋给每个制图栅格单元, 分别反映因子的

表 3 各因子危险度划分与赋值
Table 3 Hazard division and given values of factors

地形坡度		岩土体类型		土地类型		地震烈度		暴雨天数		公路缓冲区	
敏感度 分级	危险度 赋值	敏感度 分级	危险度 赋值	敏感度 分级	危险度 赋值	敏感度 分级	危险度 赋值	敏感度 分级	危险度 赋值	敏感度 分级	危险度 赋值
> 20	4	> 20	4	> 20	4	> 20	4	> 20	4	> 20	4
20- 16	3	20- 16	3	20- 16	3	20- 16	3	20- 16	3	20- 16	3
15- 10	2	15- 10	2	15- 10	2	15- 10	2	15- 10	2	15- 10	2
< 10	1	< 10	1	< 10	1	< 10	1	< 10	1	< 10	1

高、中、低和无危险的四个等级。通过 ARC/INFO 或 ARCVIEW 的 overlay 工具进行各因子的叠置运算, 由此产生了一个新的分析结果图层。为了评价云南金沙江流域山地灾害危险度的相对分布规律, 我们将每个栅格单元计算获得的数值按平均分割法进行危险等级划分, 其划分标准见表 4。按此分类方法即可将云南金沙江流域评价出不同危险等级山地灾害的活动区域, 按红、黄、蓝、绿四种颜色或不同色斑分别表示山地灾害危险性的不同等级, 由此得到云南金沙江流域山地灾害危险性评价图(图 2)。

山地灾害危险性评价结果经过反复与中国科学院成都山地灾害与环境研究所完成的长江上游滑

坡、泥石流危险度区划研究成果进行对比分析^[16-18], 将本研究区划出的高、中、低危险度分布区域与其相应的不同危险区进行面积统计, 其拟和度为 87%; 此外也与本研究完成的区域滑坡、泥石流沟分布现状和展布规律作了对比分析, 我们认为本研究提出的云南金沙江流域山地灾害危险性评价结果是符合实际情况的。

表 4 山地灾害危险等级划分标准

Table 4 Division standard of hazard level of mountain hazards

	高危险区	中危险区	低危险区	无危险区
计算值	> 16	15- 12	11- 8	< 8

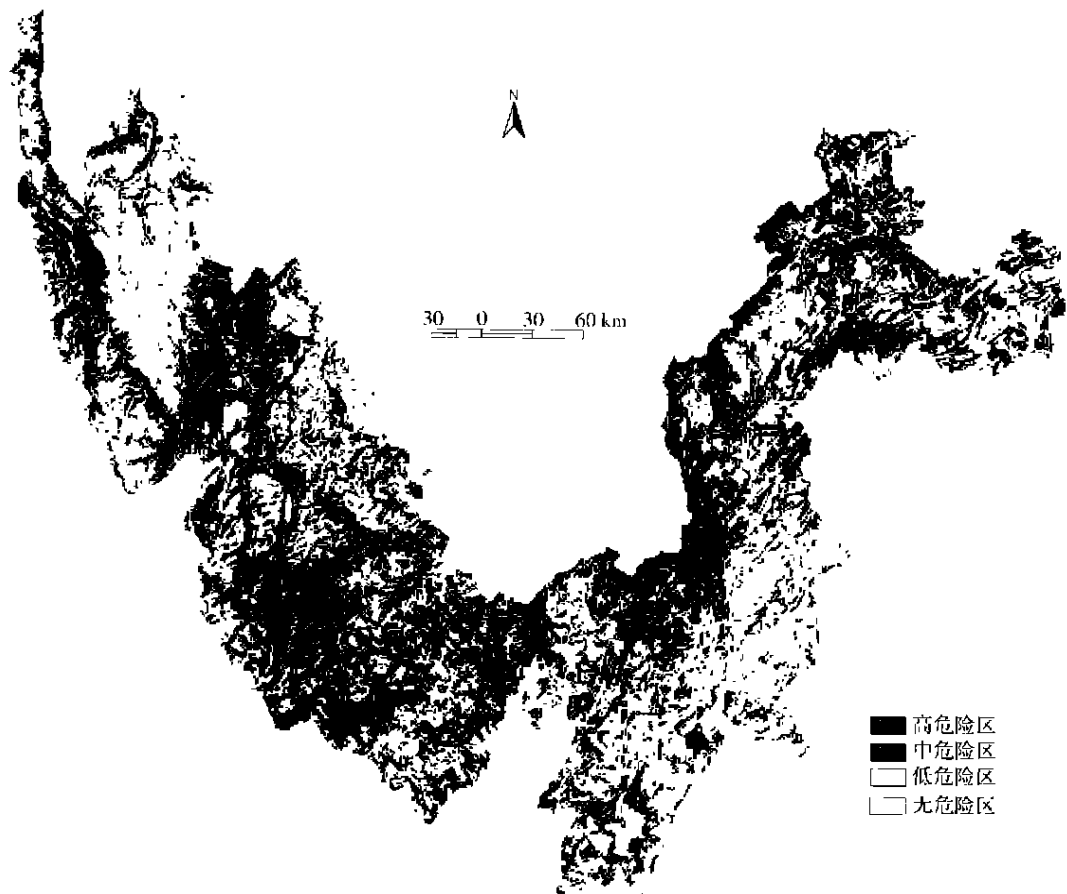


图 2 云南金沙江流域山地灾害危险度评价图

Fig. 2 Hazard assessment map of mountain hazards in the Jinshan river watershed of Yunnan

5 主要结论

1. 山地灾害危险性评价作为一种重要的非工程性措施, 是山地灾害风险管理的基础和前提, 评价

结果输入到山地灾害易损性分析模型, 即可得到山地灾害灾情的估计值, 进而为制订国土规划、社会发展规划和减灾对策预案提供科学依据。本文以 Varnes 提出的“过去和现在是预测未来的关键”作为山地灾害危险性评价的基本原理, 整合了研究区

山地灾害活动历史信息和现今空间分布特征,采用图层数据统计学方法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,从而明确了不同危险因子在危险区划中的贡献。

2. 本文以云南金沙江流域为研究区,构建了与区域山地灾害孕灾环境和致灾因子有关的 1:25 万比例尺空间图形数据库;以 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 的评价单元对山地灾害危险性进行了空间分析,最终编制了研究区的山地灾害危险性评价图,其评价结果经过多次反复与研究区的现存山地灾害分布密度和规模进行对比,提出的金沙江流域山地灾害危险性评价图是符合实际情况的。

3. 通过对山地灾害危险度评价表明,研究区高危险区面积约 $6\,464\text{ km}^2$,占全区面积的 8.77%,中危险区面积约 $30\,593\text{ km}^2$,占全区总面积的 41.51%,低危险区面积 $30\,309\text{ km}^2$,占全区总面积的 41.12%,无危险区面积 $6\,335\text{ km}^2$,占全区总面积的 8.60%。云南金沙江流域的山地灾害危险程度在区域分布上现出明显的地带差异性,其高危险分布带与区域大断裂走向相吻合,并且沿主要河流及支流两岸成带状分布,对于地表自然结构扰动大的人类活动场所,如城镇、公路沿线以及矿山剥采区附近,多为山地灾害高-中危险区。

4. 研究结果表明将 GIS 技术引入山地灾害分析与制图中,整合了研究区山地灾害活动历史信息和现今空间分布特征,更详细地阐述 GIS 在山地灾害危险性评价中的特殊功能和评价效果,尤其是在因子敏感性计算和参评因子优选上充分显示了 GIS 对图形数据和参数数据分析管理的优越性,能够更精确地、更经济地进行区域山地灾害的危险性评价和评价。

6 方法讨论

1. 探讨的区域山地灾害危险性能反映出山地灾害潜在活动性的差异分区和整体特征,其目的不是以精确的方式计算山地灾害发生概率,也不能代表单沟泥石流或单体滑坡、崩塌的危险度,所完成的山地灾害危险性评价图不能认为是大量野外调查、观测和勘察的集成,因为用于山地灾害评价的环境空间信息和评价因子在某些条件下是非确定性的或是不充足的,要进一步解决区域山地灾害发生预测预报的精确性问题,还需要结合具体的工程地质

勘察、地貌调查和降雨分析,使山地灾害危险性评价图在减灾防灾中发挥出其更显著的作用。

2. 评价指标因子的选取与单沟泥石流或单体滑坡、崩塌危险指标因子的选取有显著的差别,如何涵盖影响区域山地灾害危险度的主导因素是评价的关键和难题之一。山地灾害危险性评价作为地貌评价的一种特殊类型,应该尽可能以多因子的综合分析评价为主线,但是如果选取的因子过多,会降低主导因子在评价中的突出作用,而且也不便数据资料的整合,同时增大了计算分析的难度。因此要针对评价的对象进行致灾成因的综合分析,尽可能提取能够反映山地灾害形成的地质、地形、降雨、土地利用、人类活动等起主导作用的因子。

3. 评价因子的等级划分和危险分区指标只能是反映其相对的差异性,不同的研究者可能有不同的划分标准,从而导致评价的对象可能存在一定程度的相异,这要依据我们所要对山地灾害危险性评价的预期目标和评价原则而确定研究方法和路线,并作出评价方案。目前多数的区域性的分析和评价主要是突出其区域灾害发生危险性概率分布的相对差异性,以便于在实际减灾防灾中确定防御的重点区域和对象。

4. 尽管应用 GIS 技术能够容易地划分出不同解析度的评价单元,提高了评价的精度,所获得的山地灾害危险性评价亦是以栅格单位表示,但是评价结果应该进一步整合,特别是如何将评价结果与行政区域边界、流域边界进行整合,这样的评价结果更便于各级行政政府部门和不同流域管理机构在防灾减灾决策中的广泛应用。

参考文献(References):

- [1] Liu Xilin, Mo Duowen. Risk assessment on debris flow [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 2002. 1~8. [刘希林,莫多闻. 泥石流风险评价[M]. 成都:四川科技出版社, 2002. 1~8.]
- [2] [Tang Bangxi, Lui Shuqing, Lui Shijian. Distribution and hazard zonation of debris flow in China (scale: 1:6 000 000). Chengdu: Chengdu Atlas Press, 1991. [唐邦兴、柳素清、刘世建. 中国泥石流分布及其灾害危险区划图(1:600万). 成都:成都地图出版社, 1991.]
- [3] Liu Xilin, Tang Chuan. Hazard assessment on debris flow [M]. Beijing: Science Press, 1989. 1~9. [刘希林,唐川. 泥石流危险性评价[M]. 北京:科学出版社. 1995. 1~9.]
- [4] Liu Xilin. Approach on hazard zonation of debris flow [J]. *Journal of Catastrophology*, 1988, 4(4): 3~9. [刘希林. 泥石流危险区划的探讨[J]. 灾害学, 1989, 4(4): 3~9.]

- [5] Liu Xilin. Theories and methodology of hazard zonation of debris flow[J]. *The Chinese Journal of Geological Hazards and Control*, 1993, **4**(3): 51~ 56. [刘希林. 泥石流危险度分区的理论和方法. 中国地质灾害与防治学报, 1993, **4**(3): 51~ 56.]
- [6] Tang Chuan, Zhu Jing. Distribution laws and hazard assessment of mountain disasters in the middle-upper reach of Lancang River[J]. *ACTA Geographica Sinica*, 1999, **54**(supp.): 84~ 92. [唐川, 朱静. 澜沧江中下游山地灾害分布规律和危险评价[J]. 地理学报, 1999, **54**(增刊): 84~ 92.]
- [7] Tang Chuan, Jorg Grunert. Principle and methodology of landslide risk assessment[J]. *ACTA Geographica Sinica*, 1998, **53**(suppl.): 149~ 157. [唐川, Jorg Grunert. 滑坡灾害评价原理和方法研究[J]. 地理学报, 1998, **53**(增刊): 149~ 157.]
- [8] Qiao Jianping, Zhao Yu. Study review of landslide hazard zonation[J]. *Journal of Mountain Science*, 2001, **19**(2): 157~ 160. [乔建平, 赵宇. 滑坡危险区划研究述评[J]. 山地学报, 2001, **19**(2): 157~ 160.]
- [9] Tang Chuan, Zhu Jing. Debris flow risk assessment of southwest region of Yunnan by using GIS[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, **15**(6): 84~ 87. [唐川, 朱静. GIS支持下的滇西北地区泥石流灾害评价. 水土保持学报[J]. 2001, **15**(6): 84~ 87.]
- [10] Tang Chuan, Zhu Dakui. Assessment of debris flow risk of Yunnan Province by using GIS[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, **22**(3): 300~ 304. [唐川, 朱大奎. 基于GIS技术的泥石流风险评价研究[J]. 地理科学, 2002, **22**(3): 300~ 304.]
- [11] Luo Yuanhua, Chen Chongxi. Depositional Numerical Simulation and Risk Evaluation of Debris Flow. Beijing: Geological Press: 1~ 11. [罗元华, 陈崇希. 泥石流堆积数值模拟及泥石流灾害风险评估方法[M]. 北京: 地质出版社, 2000, 1~ 11.]
- [12] Liu Xilin. Regional risk assessment of debris flow[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2000, **9**(1): 54~ 61. [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.]
- [13] Liu Xilin. Approaches to risk assessment of debris flow[J]. *Journal of Mountain Science*, 2000, **18**(4): 341~ 345. [刘希林. 泥石流风险评价中若干问题的探讨[J]. 山地学报, 2000, **18**(4): 341~ 345.]
- [14] Liu Xilin, Wang Xiaodan. Risk zonation of debris flow in Yunnan Province[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, **14**(3): 104~ 107. [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.]
- [15] Liu Xilin, Mo Duowen, Wang Xiaodan. Regional vulnerability assessment of debris flow[J]. *The Chinese Journal of Geological Hazards and Control*, **12**(2): 7~ 12. [刘希林, 莫多闻, 王小丹. 区域泥石流易损性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2001, **12**(2): 7~ 12.]
- [16] Qiao Jianping. Landslide hazard zonation of the upper reach of Changjiang River[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1994, **8**(1): 40~ 43. [乔建平. 长江上游滑坡危险度区划[J]. 水土保持学报, 1994, **8**(1): 40~ 43.]
- [17] Zhong Dunlun, Xie Hong, Wei Fangquiang. Research on regionalization of debris flow danger degree in the upper reaches of Changjiang River[J]. *Journal of Mountain Research*, 1994, **12**(2): 65~ 70. [钟敦伦, 谢洪, 韦方强. 长江上游泥石流危险度区划研究[J]. 山地研究(现山地学报), 1994, **12**(2): 65~ 70.]
- [18] Xie Hong, Zhong Dunlun, Wei Fangquiang. Debris flow hazards in the upper reaches of Changjiang River and their distribution. *Journal of Mountain Research*, 1994, **12**(2): 71~ 77. [谢洪, 钟敦伦, 韦方强. 长江上游泥石流的灾害及分布, 山地研究(现山地学报), 1994, **12**(2): 71~ 77.]
- [19] Zhou Ran. Mapping of landslide distribution and hazard prediction [A]. The Colloquium of Landslide Papers[C]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1989, 206~ 215. [周燃. 攀枝花市滑坡分布与危险区预测图的编制[A]. 滑坡论文集[C]. 成都: 四川科技出版社, 1989, 206~ 215.]
- [20] Tang Chuan, Zhu Jing. Study on landslides and debris flow of Yunnan[M]. Beijing: Commercial Press. 2003, 14~ 25. [唐川, 朱静. 云南滑坡泥石流研究[M]. 北京: 商务印书馆, 2003, 14~ 25.]
- [21] Tang Chuan. Investigation and analysis on regional features of debris flow hazards[J]. *Research on Yunnan Geographic Environment*, 1997, **9**(1): 1~ 10. [唐川. 云南泥石流灾害区域特征调查与分析[J]. 云南地理环境研究, 1997, **9**(1): 1~ 10.]
- [22] Li Wenhua. Flood and ecologic construction of the Changjiang River[J]. *Journal of Natural Resources*, 1999, **14**(1): 1~ 7. [李文华. 长江洪水与生态建设[J]. 自然资源学报, 1999, **14**(1): 1~ 7.]
- [23] Yang Shuhua, Wang Mingyi. Fundamental thought on the project of the Jinsha River Watershed(in Yunnan Province) ecological construction decision support system[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2001, **20**(supplement): 1~ 3. [杨树华, 王明毅. 金沙江流域(云南部分)生态建设决策系统研究的基本思路[J]. 生态学杂志, 2001, **20**(增刊): 1~ 3.]
- [24] Zhu Jing, Shi Yu-e. The construction frame of Yunnan GIS system for flood control. *Yunnan Geographic Environment Research*, 2003, **15**(2): 19~ 26. [朱静, 师玉娥. 云南省防洪空间信息系统构建, 云南地理环境研究, 2003, **15**(2): 19~ 26.]
- [25] Aniya, A. Landslide Susceptibility Mapping in the Amahata River Basin, Japan.- Ann. Assoc. A. m. Geogr. 1985, **75**(1): 102~ 114.
- [26] Carrara A., Cardinali M. and Guzzetti F. Uncertainty in assessing landslide hazard and risk. *ITC Journal*, 1992, (2): 172~ 183.
- [27] Dikau, R. (1990) Derivatives from detailed geoscientific maps using computer methods. *Z. Geomorphology*, **80**(suppl.): 45~ 55.
- [28] Einstein H. H. Landslide risk-systematic approaches to assessment and management. In: D. M. Cruden and R. Fell(eds.), *landslide Risk Assessment*, Rotterdam: A. A. Balkema, 1997: 51~ 109.
- [29] Jones, D. K. C. (1992) Landslide hazard assessment in the context of development. in: McCall GJH, Laming D. J. C and Scott S. C., *Geohazards-nature and man-made*: 117~ 142.
- [30] Hansen, A. Landslide Hazard Analysis[M]. - In: Bruden D and Prior DB, *Slope Instability*, 1984. 523~ 543.
- [31] Varnes, D. J. Landslide hazard zonation: A review of principle and practice, UNESCO, 75700 Paris, France, 1984.

Assessment of Mountain Disasters in the Jinsha River Watershed of Yunnan

TANG Chuan

(Yunnan University, Institute of Geography, Kunming, 650223)

Abstract: The Jinsha River Watershed of Yunnan Province are particularly prone to slope instability. Based on regional inventory of whole study area during the period from 1988 to 2000, we recorded 1697 mountain disasters, including 808 debris flow ravines with the watershed area of more than 1 km^2 ; 580 landslides with the volume of more than 10000 m^3 and 309 rockfall with the volume of more than 1000 m^3 . The study area was elected in the Jinsha River Watershed of Yunnan Province, which is seriously suffered from variety of mountain hazards. Assessment of mountain disasters is to divide the land surface into zones of varying degrees of stability, based on an estimated significance of causative factors in inducing instability. For this purpose a GIS-based approach can give an estimate of the probability of occurrence of disasters. This paper discussed the potential of combining GIS technology and hazard modeling in assessment and also outline the advantage of GIS application for hazard mapping. The major factors considered for preparation of susceptibility analysis maps include rock and soil type, slope, rainfall, land use cover, seismological intensity and human activities. An integration of these factors with certain condition yielded debris flow susceptibility values. By a GIS-based tool, these values were assessed for creating hazard zonation map in the study area. The map shows that the high hazard area takes up 8.77% of total study area of 6464 km^2 , the middle hazard area is 41.51%, and the low 41.12%, as well as no hazard area is 8.60%.

Key word: Jinsha River; mountain disasters; factor susceptibility; hazard assessment; GIS