

文章编号: 1000-0690(2001)04-0334-05

GIS 支持的澜沧江下游区泥石流爆发危险性评价

闫满存, 王光谦, 刘家宏

(清华大学水利水电工程系, 北京 100084)

摘要: 澜沧江下游区是我国泥石流灾害相对频发的地区之一。在分析泥石流形成发育影响因素的基础上, 指出澜沧江下游区泥石流的爆发主要受沟道坡度、植被覆盖度/土地利用和降水等环境因素影响。据此, 构建了泥石流爆发危险性评价数据库、知识库和危险性评价数字环境模型。在 ARQ INFO GIS 的支持下, 提取了坡度、植被盖度和降雨量等主要泥石流危险性评价指标。依据知识库对各类因子进行了分级和赋权, 对澜沧江下游区泥石流爆发危险性进行了区划。

关 键 词: 澜沧江下游; 泥石流灾害; 因素; GIS; 评价

中图分类号: P642.23 文献标识码: A

泥石流是我国山区较为常见的一类自然灾害现象, 由于它具有突发性、历时短和破坏性强等特点, 常在瞬间淹没农田村庄、冲毁道路桥梁和水利建筑物, 造成水位上涨甚至发生溃坝性洪水。1986 年 7 月发生在澜沧江下游区思茅地区墨江县和普洱县的泥石流灾害阻塞公路涵洞 280 个, 冲毁挡土墙 3 000 m³, 毁桥 30 座, 破坏通讯线路 2 500 m, 死亡约 62 人^[1], 造成了无可挽回的经济损失和生命伤亡。近年来, 人类不合理经济活动的加剧, 加之本很脆弱的生态环境, 泥石流、滑坡和水土流水等山地灾害呈现频发态势。因此, 面对 21 世纪我国西部大开发战略的实施, 加强澜沧江流域环境保护与管理的力度, 对泥石流危险性进行准确评价, 将为流域生态环境保护和建设、减灾防灾体系规划和建设, 以及国际河流管理提供重要依据。

泥石流爆发涉及泥石流形成与发展以及下垫面状况。对滑坡泥石流爆发危险性分析的研究目前已有很多工作, 并有分布分析法、定性分析法、确定性分析法、频度分析法和统计分析法等多种评价方法^[2]。但由于这些分析方法均涉及大量的空间数据, 因此是一项十分艰巨和耗时的工作^[3]。近年来, GIS 技术的飞速发展, 及其在灾害研究中应用的深化, 处理泥石流、滑坡等灾害空间数据变得较为容易^[4]。Walsh^[5]等应用 GIS 对泥石流形态特征进行

了可视化, Wadge^[6]等应用 GIS 技术进行了地貌灾害危险性和人口易损性的评价。目前利用 GIS 技术对滑坡进行危险性分析的涉猎较多^[7~13]。而利用 GIS 技术进行区域性泥石流爆发危险性分析尚不多^[14]。为此, 作者试图利用 GIS 技术, 通过建立泥石流评价数据库和知识库, 对澜沧江下游泥石流爆发危险性进行评价。

1 泥石流灾害历史与现状

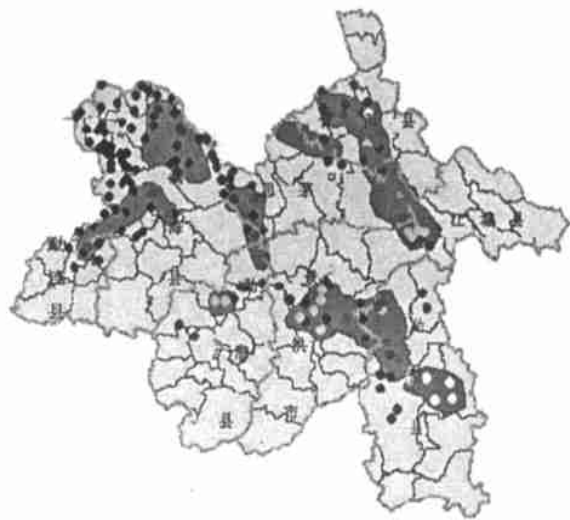
澜沧江发源于青藏高原唐古拉山脉, 是一条跨国河流, 出境后称为湄公河, 流域跨越中国、缅甸、老挝、泰国、柬埔寨和越南六国, 干流全长 4 880 km。研究区位于 20°10'~23°10'N 和 99°10'~101°50'E 的澜沧江下游区。区内干流总长 672 km, 流域面积约 57 530 km²。流域内滑坡、泥石流灾害分布广、类型多、活动频繁。研究区勐连县、澜沧县、普洱县、勐海县、思茅市、景洪市、江城和勐腊县历史上大型滑坡、泥石流事件约 170 宗(图 1)。调查并结合航片判读分析, 澜沧江中下游分布有滑坡、泥石流危险地段达 1 152 处。其中, 滑坡危险地段 490 处, 危险性泥石流沟 662 条。据 1990 年航运部门资料, 澜沧江下游景云桥至国境全长 541 km 河段发育大小险滩 133 处, 这些险滩均为滑坡、泥石流强烈活动的结果表现。沿一些支流河谷滑坡、泥石流呈明显集中

收稿日期: 2000-03-09; 修订日期: 2000-05-28

基金项目: 云南省与清华大学合作项目“澜沧江下游区域综合开发协调管理的信息与决策支持系统建设”。

作者简介: 闫满存(1962-), 男, 甘肃临洮人, 博士后。主要从事 GIS 应用开发工作。Email: mcyan_cn@sina.com

分布,如小黑河两岸分布有地震诱发的滑坡 200 多处,迎春河、北桥河分布有暴雨形成的泥石流沟 71 条,滑坡 59 处。区域上,滑坡、泥石流主要分布于孟连-澜沧-景谷一线以北地区。近年,随着山区人类经济活动的日益加剧,澜沧江中下游岸坡变形破坏严重,古滑坡出现明显复活的迹象,滑坡、泥石流活动出现频发态势。



(黑点代表滑坡,灰点代表泥石流,颜色愈浅泥石流规模愈小)

图 1 澜沧江下游区历史滑坡泥石流灾害分布图

Fig.1 Locations of landslides and debris flows in history
in the lower Lancang River watershed

2 泥石流爆发危险性评价数据/知识库的建立

泥石流爆发危险性是从泥石流孕育与激发的自然属性出发,即形成泥石流灾害的致灾因子、孕灾环境条件来判断泥石流危险程度。泥石流爆发危险性评价指标的选择依赖于泥石流灾害形成与发展的控制与诱发因素或条件。根据其作用机理,可将影响泥石流危险评价的因子划分为: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、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(特别是暴雨)和人为活动等,为泥石流的发育与发展提供动力。

2.1 数据库的建立

泥石流爆发危险性评价数据库原始数据包括 1:25 万地形图、1:25 万植被覆盖图、1:25 万土地利用图、1:25 万降水分布图等基础图件。这些图件均

要通过数字化输入 Arc/Info Coverage,成为泥石流爆发危险性评价的基础数据。

2.2 知识库的建立

知识的收集包括该区泥石流爆发典型事例、以往泥石流的最新研究成果和文献。通过分析筛选发现,澜沧江下游区泥石流的爆发是适宜的沟道坡度、稀疏的地表植被、大量固体松散物质与丰沛降雨或暴雨综合作用的结果。

1) 沟道坡度:沟道地形与泥石流爆发的危险程度密切相关。地形的影响主要表现在地形高程和地形变化程度,地形变化大的沟谷,有利于泥石流的形成。在 GIS 中绝对高程可用数字高程模型来表达,地形变化程度常用坡度表示,坡度反映了相邻栅格间的高程变化程度。沟道坡度的陡缓决定着松散物质分布和聚集程度。丁永建认为,沟道坡度为 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 时,利于泥石流发育,而最适宜泥石流发育的沟道坡度为 $6^{\circ} \sim 17.5^{\circ}$ [15]。据对成昆铁路沿线泥石流沟统计,泥石流频发地段山坡平均坡度在 $23.8^{\circ} \sim 45.6^{\circ}$ [16] 间,97% 的山坡坡度在 $28^{\circ} \sim 45.6^{\circ}$ [16]。Dai Fuchen 对香港暴雨型泥石流沟的研究指出,泥石流高发区地形坡度为 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$, $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 泥石流发生的概率是 $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 的 7 倍 [17]。据此,可归纳出沟道坡度与泥石流爆发适宜性关系(表 1)。

2) 植被盖度/土地利用:植被对泥石流形成具有重大的影响。茂密的植被能抑制或削弱泥石流活动,降低泥石流发生概率,甚至能根除泥石流形成的条件,消除泥石流活动。植被主要通过水文效应和抑制土层侵蚀达到削弱泥石流活动的目的。Sidle 等 [18] 和 Greenway [19] 的调查显示,木本植被对泥石流的爆发起到非常重要的抑制作用,庞大的植物根系增强了坡面的稳定性。坡面失稳多发生在裸露和草本植被斜坡上,天然森林植被区很少。一般而言,植被覆盖度高,斜坡受流水侵蚀作用弱,泥石流爆发危险性小,规模也小,反之亦然(表 1)。

3) 松散堆积层:崔之久等人 [20] 对北京地区泥石流的研究认为,沟谷内的松散风化层大于 1m 就有可能发生泥石流,且堆积层越厚,发生泥石流的规模越大。澜沧江流域出露的地层包括中新代红层、煤系地层、玄武岩和花岗岩等。这些岩石在炎热多雨的气候条件下,易形成较厚风化壳。风化壳一般发育在山体的中下部,这里植被覆盖度相对较差,人类经济活动相对剧烈,为泥石流的发生提供了丰富的物质来源。而且断裂带密度越大,地层的破碎程

表 1 澜沧江下游区泥石流危险性评价指标关系

Table 1 Correlation of debris flow propensity with assessment index in the lower Lancang River watershed

泥石流危险等级	无危险 I	低危险 II	中危险 III	高危险 IV	极高危险 V	指标权重
沟道坡度(°)	0~ 6	6~ 10	10~ 18	18~ 30	≥30	0.50
植被盖度(%)	100~ 80	80~ 60	60~ 40	40~ 20	≤20	0.30
降雨量(mm)	1 200~ 1 400	1 400~ 1 600	≥2 000	1 600~ 1 800	1 800~ 2 000	0.20

度越高,越容易风化产生大量的松散固体物质,在其它条件一定时,泥石流发生的可能性就越大。

4) 降雨强度:降雨为泥石流发生与发展提供动力。一般而言,日降雨量 ≥50 mm 的暴雨能触发泥石流。在澜沧江下游区,年降水量都在 1 200~ 2 500 mm 之间,且降雨时间分配变化大,5~ 9 月份降水约占全年总降水的 70%~ 80%,往往一个月的降雨量占全年的 1/4~ 1/2,一个月的降雨又往往分配到几次降雨过程,在一些地区形成暴雨中心,直接控制滑坡泥石流发生的时空分布。据唐川等^[21]对澜沧江流域滑坡泥石流调查,日雨量 ≥60~ 80 mm,或前 5 天累计降水 100~ 120 mm,当日雨量 ≥40 mm 为滑坡泥石流高发时段;日雨量 80~ 100 mm,或前 5 天累计降水为 120~ 150 mm,当日雨量 ≥60mm,为滑坡泥石流中等发生时段;日雨量大于 100 mm,或前 5 天累计降水 ≥150 mm,当日雨量 ≥80 mm,为滑坡泥石流发生的低频时段。而且泥石流的强度往往随降雨量的增加而增加。根据上述降雨与泥石流发育的规律,可归纳出泥石流出现概率与降水量的关系(表 1)。

3 泥石流爆发危险性评价模型

泥石流危险性评价模型的建立主要基于“数字环境模型”^[22]。数字环境模型的数据可以是矢量数据结构,也可以是栅格数据结构。本文采用栅格数据结构,所有评价因素因子均要通过统一投影变换、统一的数据结构、统一格网,达到对每一格网点(象元点)进行分析,使其空间综合转化为多维矩阵地图代数运算。澜沧江下游区泥石流评价数字环境模型涉及地形地貌、植被覆盖、土地利用、降水的空间分布、活动层厚度等指标。通过筛选,选取对泥石流发生最有影响的三类指标,即沟道坡度、降水强度、植被盖度。具体过程如下:

1) 以 Arc/Info GIS 为平台,将澜沧江下游区 1:25 万等面积割锥投影地形图数据通过 Arcin 带 line 参数建立 TIN 模型,然后用 Tinarc 将 TIN 转换为多边形矢量数据,生成坡度数据。对多年平均降雨量

数据进行空间内插使其离散化,生成降水量等直线数据。在此基础上,通过 Arcin 生成 TIN,并将 TIN 转换为降雨量多边形矢量数据。将坡度数据、降雨量数据和植被盖度数据通过 Tintlattice 或 polygrid 转化为栅格数据,栅格大小设置为 100 m × 100 m,共生成 3 258 × 2 707 个栅格。

2) 将坡度数据、降雨量和植被盖度数据通过变换转换为具有统一比例尺、统一割圆锥投影、统一分辨率(100 m × 100 m)、统一行列数(3 258 × 2 707)的栅格阵列,每一栅格为一分析单元,代表实际面积 100 × 100 m²。整个研究区被划分为 3 258 × 2 707 个分析单元。采用统一的地理坐标,统一的转换方法后,不同栅格数据相对实际位置具有良好空间重合性。完全满足栅格单元空间逻辑代数运算,也满足评价预测和查询的要求。

3) 由于泥石流危险性评价各指标间的量纲不统一,没有可比性,须对各类指标进行无量纲化和分级。在 Arc/Info 平台上,利用 Grid 模块 reclass 函数,按照建立的知识库对坡度、降雨量和植被数据进行重分类,将坡度、降雨量和植被盖度自高而低分为 5 级(见表 1),不同级别反映对泥石流发育影响程度的差异。

4) 在指标模型中,由于各指标对泥石流发育影响程度的不同,它们的权系数也不相同。通过分析各类指标对泥石流影响程度,赋予坡度、植被和降雨量指标的权系数分别为 0.50、0.30、0.20(见表 1)。将各种因子在统一的空间框架中,通过空间叠加分析运算,属性项合并,可得到澜沧江下游区泥石流爆发潜在危险性评价图或区划图(图 2)。

从图 2 可以看出,泥石流高危险和极高危险地段基本呈条带分布,主要包括澜沧县中部自西北而东南呈条带分布的泥石流密集多发带,普洱市与思茅市和江城县交界地带为泥石流频发地段,如 1986 年 7 月的泥石流灾害。另外,景洪市与勐腊县的交接地带也为泥石流多发地段;泥石流的中等危险区主要分布在高危险区的外围,如澜沧县西南部,勐连县中部、思茅市东南部、勐腊县中部;无危险区和低

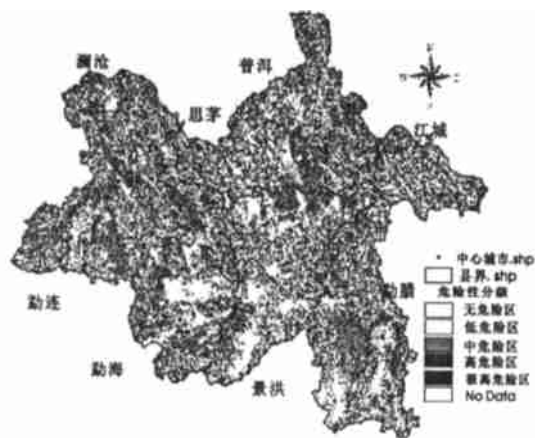


图 2 澜沧江下游地区泥石流危险性区划图

Fig. 2 Regionalization of debris flow risk
in the lower Lancang River watershed

危险区则主要分布在景洪市、思茅市和勐海县等河谷。通过泥石流危险性分区图与历史泥石流分布图的叠加,发现泥石流高危险区与历史上泥石流高密度区十分吻合,泥石流中等危险区与历史上泥石流相对多发区很吻合。这反映了评价指标选取和评价方法合理可靠,结果可用于指导防灾减灾规划体系建设。

4 讨论与结论

澜沧江下游泥石流灾害的孕育、发生和发展主要受地形坡度、松散堆积物发育程度、植被盖度、土地利用强度、降雨强度等因素的控制。通过建立泥石流灾害评价数据库和知识库,构建了泥石流灾害危险性数字环境模型。在 Arc/Info GRID 分析功能的支持下,通过对泥石流主控因子和触发因子的定量描述与综合,实现了澜沧江下游区两市、六县泥石流灾害危险性评价。对比分析发现,泥石流高危险与历史上泥石流灾害的密集区很吻合,表明指标选取和评价方法合理可靠,可用于指导防灾减灾规划体系建设。

参考文献:

- [1] 康志成主编. 中国泥石流灾害与防治[M]. 北京: 科学出版社, 1996. 27~ 28.
- [2] Mantovani F, R Soeters, C J Van Westen. Remote sensing techniques for landslide studies and hazard zonation in Europe[J]. *Geomorphology*, 1996, 15: 213~ 225.
- [3] 刘希林, 唐川. 泥石流危险性评价[M]. 北京: 科学出版社, 1995. 62~ 79.
- [4] Dikau R, Cavallin A, Jager S. Databases and GIS for landslide research in Europe[J]. *Geomorphology*, 1996, 15 (3~ 4): 227~ 239.
- [5] Walsh S J, D R Bulter. morphometric and multispectral image analysis of debris flows for natural hazard assessment[J]. *Geocarto International*, 1997, 12 (1): 59~ 70.
- [6] Wadge G, A P Wislocki, E J Pearson. Spatial analysis in GIS for natural hazard assessment[A]. *Environmental Modelling with GIS* [C]. (M. F., Goodchild, B. O., Parks and L.T. Steyaert, editors) Oxford University Press, Oxford, 1993. 332~ 338.
- [7] Gupta R P, Joshi B. Landslides hazard zoning using the GIS approach: A case study from the Ranganga Catchment Himalayas[J]. *Engineering Geology*, 1990, 28: 119~ 131.
- [8] Mejia- Navarro M, Wohl E E, Oaks S D. Geological hazards, vulnerability, and risk assessment using GIS: model for Glenwood Springs, Colorado[J]. *Geomorphology*, 1994, 10(1): 331~ 354.
- [9] Van Westen C J, Rengers N, Terlien M T J, Soeters R. Prediction of the occurrence of Slope instability phenomena through GIS - based hazard zonation[J]. *Geologische Rundschau* 1997, 86(4): 1~ 14.
- [10] Terlien M T J, C J Van Westen, T W J Van Asch, Deterministic modeling in GIS- based landslide hazard assessment[A]. *Geographic Information Systems in Assessing Natural Hazards* [C]. (A. Carraa and F. Guzzetti, editors), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1995, 57~ 78.
- [11] Binaghi E L, Luzi P Madella, F Pergalani, A Rampini. Slope instability zonation: A comparison between certainty factor and fuzzy dempster- shafer approaches[J]. *Natural Hazards*, 1998, 17: 77~ 97.
- [12] Dhakal A S, Amada A, Anya M. landslide hazard mapping and its evaluation using GIS: An investigation of sampling schemes for a grid cell based quantitative method[J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1999, 66(8): 981~ 989.
- [13] Dhakal A S. Landslide hazard mapping and the application of GIS in the Kulehani watershed Nepal[J]. *Mountain Research and Development*, 1999, 19(1): 3~ 16.
- [14] 赵士鹏, 周成虎, 谢又予, 等. 泥石流危险性评价的 GIS 与专家系统集成方法研究[J]. *环境遥感*, 1996, 11(3): 212~ 218.
- [15] 丁永建. 山区小流域洪水过程中泥沙搬运方式的初步研究[J]. *地理学报*, 1989, 44(4): 487~ 495.
- [16] 中国科学院成都山地灾害与环境研究所. 泥石流研究与防治[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1989.
- [17] Dai Fuchu, C F Lee, Wang Sijing. Analysis of rainstorm induced slide debris flows on natural terrain of Lantau island, Hong Kong[J]. *Engineering Geology*, 1999, 52: 279~ 290.
- [18] Sidle R C, Pearce A J, O' loughlin C L. Hillslope stability and land use. *Water Resources Monograph* 11, Ameri flows an example from Marin County, California. Engican Geophysical Union[M]. Washington, DC. 1985. 201~ 223.
- [19] Greenway D R. Vegetation and slope stability[A]. In: slides investigation and mitigation, Transportation Research Anderson, M. G., Richards, K. S. (Eds.), *Slope Stability* [C]. Wiley, New York, 1987. 187~ 230.

- [20] 崔之久, 谢又予. 关于北京山区的泥石流爆发周期的初步探讨 [A]. 北京市科委主编. 首都圈自然灾害与减灾对策 [C]. 北京: 气象出版社, 1992. 158~ 165.
- [21] 唐川, 朱静. 澜沧江中下游滑坡泥石流分布规律与此同时危险区划 [J]. 地理学报, 1999, 54(增刊): 84~ 92.
- [22] 高志强, 刘纪远, 庄大方. 基于遥感和 GIS 的中国土地资源生态环境质量同人口分布的关系研究 [J]. 遥感学报, 1999, 3 (1): 66~ 70.

GIS-Based Risk Assessment of the Debris Flows in the Lower Lancang River Watershed

YAN Ma-cun, WANG Guang-qian, LIU Jia-hong

(*Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084*)

Abstract: Debris flow hazards are an inherent but dangerous and costly element of mountainous environments in the lower Lancang River watershed. Conventional hazard map provide useful inventories of hazardous sites but provide little insight into the potential area of the hazards, this approach tends to rely heavily on subjective interpretation of the landscape. Assessing and predicting mountainous hazards potential using geographic information systems (GIS) are receiving increasing attention over years. Based on the spatial analysis of driving and triggering factors promoting the occurrence and development of debris flows in the Lancang River watershed a database and repository are constructed for assessing the area susceptible for debris flows in the area. A correlation of the occurrence of debris flows with slope gradient, vegetation cover and rainfall are also presented for providing multivariate statistical data available for assessing risk of the debris flows in the area. Using Arc/Info grid module all data in Arc/Info coverage, including contour, vegetation cover and rainfall are transformed into TIN data and DEM and further into raster gradient, vegetation and rainfall with raster of 100 m X 100 m. With the repository used for assessing the potential of the occurrence of debris flows, The classification of gradient, vegetation and rainfall with five ranks, in agreement with five risk ranks of debris flows: highest, high, moderate, less and none are implemented on Arc/info platform. A digital environmental model (DEM) to assess the debris flow risk in the lower Lancang river watershed. is employed to implement the processes of spatial algebra overlay. Raster gradient, vegetation and rainfall data with a weight of 0.5, 0.3 and 0.2, respectively are imported into same grid environment with to produce a new map, showing the potential zones of the debris flows with different risk ranks of the lower Lancang river watershed. With the overlay of conventional map of the debris flow hazards in history in the area with assessment result, it can be shown that the highest and high risk zones of assessment results are in agreement with the dense zones of debris flows in history and also indicate that the index selected and methods used for assessing the risk of debris flows in the Lancang river watershed are rational and credible for conducting the debris flow disaster control and mitigation in the area. and for helping mitigate the associated risk.

Key words: Lower Lancang River; Debris-flows; Factors; GIS; Assessment