

基于流域单元的泥石流区域危险性评价

王晓朋, 潘 懋, 徐岳仁

(北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871)

摘 要: 进行泥石流区域危险性评价时, 首先要选取合适的单元作为评价单元。在前人的研究成果中已有多种评价单元, 如栅格单元、斜坡单元、单一条件单元等。作者认为国内评价工作中常采用的栅格单元、行政区划单元都没有体现泥石流发生特定的地貌条件, 故提出以流域为评价单元的思路。根据水文学 D8方法, 介绍了在计算机协助下基于 DEM 数据自动完成流域单元划分的方法, 并以辽宁省鞍山市岫岩满族自治县作为实例, 将全区划分为 1 024个流域单元。将流域划分结果与历史灾害点位置相对比, 每个流域内基本上只包含一个灾害点, 该情况说明流域划分精度满足研究工作需要。在此基础上利用人工神经网络进行泥石流区域危险性评价。结果显示, 以流域作为评价单元能充分体现泥石流发生的地貌特征和物理机制, 利于评价指标取值, 而且危险性结果与实际情况吻合较好, 可为政府部门制定减灾防灾决策提供参考。

关键词: 泥石流; 区域危险性评价; 流域单元

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

我国泥石流区域危险性评价开始于 20世纪 80年代, 经过十多年的发展已行成一套相对成熟的评价思路。国内学者刘传正对区域滑坡泥石流灾害的评价做了总结^[1]。作者认为进行区域评价时, 首先要选取合适的单元作为模型的计算单元, 该单元意味着内部最大相似性及单元间的相异性。国外学者 Guzzetti^[2]把单元分为 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。

在国内泥石流区域危险性评价工作中, 计算单元大部分采用栅格单元^[3], 其优点是利用 GIS即可实现单元的快速剖分, 同时栅格数据为矩阵形式, 借助计算机可以快速完成运算; 但这种评价单元与地质、地貌或其他环境信息缺乏联系, 无法体现泥石流发生的实际情况。刘希林曾以行政区域这种不规则多边形作为评价单元^[4], 该评价结果虽然有利于为各级政府制定防灾减灾决策及开展抗灾救灾工作提供科学依据, 但是行政区域依然与泥石流发生相关的地貌、地质等环境因素缺乏联系。

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。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, 本文提出以流域作为评价单元的泥石流区域危险性评价思路。

1 流域单元的划分方法

为分水线所限, 有径流流入干流及其支流的集水面积称为流域^[5], 它是泥石流发生的基本地形单元。本次研究根据水文学 D8方法, 基于 DEM 借助计算机自动完成流域单元划分, 其流程为:

1.1 分析水流方向

首先将研究区划分为大小相同的栅格, 一个栅格的水流方向指从单元格流出的方向, 根据水流可能流出的八个方向以 2的幂次方进行编码(图 1), 即 D8方法。使用 D8方法从格网 DEM 中计算出每

收稿日期 (Received date): 2005-06-25; 改回日期 (Accepted): 2006-01-19.

基金项目 (Provincial project): 辽宁省鞍山市地质灾害评价预警系统 (辽国资项发 [2004]6号) ["The evaluated and forecast system of geological disaster in Anshan city of Liaoning province" which is supported by Liaoning province [2004]6]

作者简介 (Biography): 王晓朋 (1979-), 女, 满族, 博士研究生, 研究方向为地质灾害和 GIS, E-mail: pipwangxp@163.com (Wang Xiaopeng (1979-), female, Han nationality, Ph.D. major in geological disaster and GIS)

个单元的流向,得到水流方向矩阵。

1.2 分析汇流累积

通过计算每个栅格的汇流累积值,输入水流方向矩阵,得到汇流累积值矩阵。水流从一个单元出发的汇流累积过程如图 2 所示,任意点的汇流累积等于所有流入该点的单元的数目,可用下式进行计算

$$f(C_g) = \sum_{u=1}^n S_u$$

其中, C_g 表示目标点, S_u 表示流入该点的点源。

1.3 提取沟谷

沟谷信息是一个矩阵,如果一个单元属于沟谷,则被置为 TRUE,否则置为 FALSE。通过用户指定的一个汇流面积阈值,将汇流面积大于指定阈值的单元作为沟谷保留下来形成沟谷网络矩阵。

1.4 沟谷去短枝

当生成的沟谷图层中的沟谷太密,需要去除短枝。需要指定一个沟谷长度阈值,如果外部沟谷段长度小于指定的阈值,那么就删除这一段沟谷,否则

保留,这样可以避免产生过短的外部沟谷。

1.5 沟谷编码

基于水流方向和沟谷图层进行沟谷编码,即根据一定的算法搜索顺序依次给每个沟谷段赋予从一开始的连续的自然数,可以区分每个沟谷段,从而可以利用沟谷编码来进行流域划分。

1.6 沟谷分级

把最细的、位于顶端的不再有分支的细沟称为第一级河流,由两个以上的第一级河流组成第二级河流,以此类推,而主流则为最后一级,即最高一级河流,如图 3 所示。

1.7 流域划分

输入水流方向矩阵和沟谷编码矩阵,结果生成一个流域划分矩阵,矩阵的每个单元被赋予一个数值,这个数值表明它属于哪个流域。流域的结构沿用了 Shreve(1967)描述的树状流域结构,整个流域被分割成一个个子流域,每个子流域好像是树状图上的一片“叶子”(图 4)。

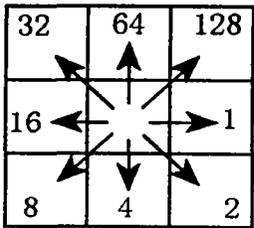


图1 D8水流方向编码

Fig.1 Coding of direction of flow in 8 directions

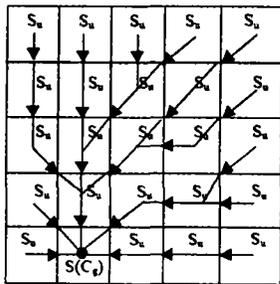


图2 汇流累积过程图

Fig.2 Process of conflux

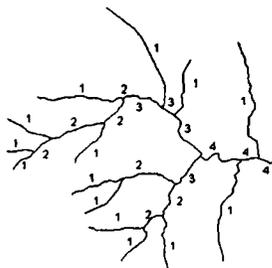


图3 沟谷分级方法

Fig.3 Classification of ravine

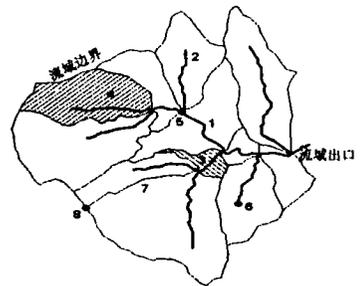


图4 流域结构模式图

- 1. 内部沟谷段 2. 外部沟谷段
- 3. 内部汇流区 4. 外部汇流区
- 5. 沟谷结点 6. 沟谷源点
- 7. 分水线段 8. 分水线

Fig.4 Structure of slop unite

2 应用实例

2.1 研究区概况

岫岩满族自治县(简称岫岩县)位于辽东半岛北部,总面积为 4 502 km²,属暖温带湿润季风气候区,年均降水量 750~ 1 000 mm。区内断裂构造发育,以北东向为主,北西向次之。岩性以花岗岩为主,多分布在海拔 800~ 1 000 m 以上的山岭地区。境内人类工程经济活动比较强烈的是矿业和森林采伐,两者均破坏原生地质环境。20 世纪 50 年代以来岫岩地区共发生泥石流约 200 处(图 5)。其中范

围较大、灾情严重的 3 次发生在 1982 1987 1989 年 3 次特大暴雨过程中^[6]。

2.2 流域划分结果

基于岫岩地区 1: 50 000 数字化地形等高线图,采用前面阐述的流域划分方法,将研究区分为 1 024 个流域单元,结果如图 5 所示。

划分结果中流域面积的平均值为 4 km²,个别地势平缓区域的流域面积偏大。将泥石流灾害点投影到流域划分图上可以看到,每个流域内基本上只包含一个灾害点,个别流域出现两个灾害点,该情况说明本次流域划分精度满足研究工作需要。

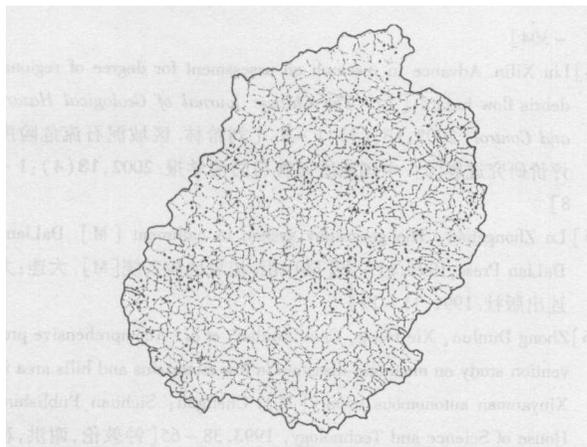


图 5 岫岩县流域单元格划分结果及灾害点分布

Fig 5 Slope unites and debris flow in Xiuyan county

2.3 评价指标分析

地质灾害危险性分析的指标, 主要是历史至灾地质作用情况和影响至灾地质作用发育地各种条件的分析^[7]。泥石流的发生是内因、外因共同作用的结果, 内因主要包括流域地质、地貌及物质补给条件, 外因主要以降雨为主。泥石流区域危险性评价即是对泥石流沟谷环境进行分析评价, 以确定发生泥石流的可能性。因此, 本文在建立评价指标体系时充分考虑与泥石流相关的各类因子。根据数据收集情况及因子相关性分析结果, 作者发现与岫岩泥石流发生关系最密切的的因子分别是流域坡度、流域面积、地质构造、岩性以及植被类型。

流域坡度的大小既影响地表汇流时间又决定残坡积物参与泥石流活动的可能性大小。根据统计分析, 岫岩流域坡度在 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 之间时最容易发生泥石流, 其次是 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$, 最不易发生泥石流的坡度是 $80^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 。

流域面积是确定沟谷水动力条件的主要参数, 岫岩地区流域面积 $< 2\text{km}^2$ 的流域最容易发生泥石流, 而随着流域面积增大泥石流发生的可能性减小。

构造运动引起地层的弯曲和错动, 对流域内的地层岩石产生不同程度的破坏。本文利用 GIS 的缓冲区分析功能, 以 100m 为步长分析在距断层 $1\ 500\text{m}$ 范围内断层对泥石流的影响。分析结果表明在距断层 $500 \sim 750\text{m}$ 处泥石流灾害最易发生, 距断层越远的地方断层对泥石流影响越小。

流域内所出露的地层岩性, 在很大程度上决定了该流域的松散物质储量。根据分析结果, 研究区内母岩为碳酸盐岩的地区最容易发生泥石流灾害, 变质岩、第四系、侵入岩泥石流发生的可能性依次降

低, 碎屑岩地区发生泥石流灾害最少。

岫岩地区植被类型分为灌草丛、林地、农作物及裸地四种, 其与泥石流的相关性从大到小依次递减。

2.4 区域危险性评价结果

在上面评价因子分析结果基础上, 本文采用人工神经网络法对研究区进行区域危险性评价。根据经验在研究区选出 289 个流域单元, 将这些流域的危险程度划分为 4 个危险级别, 由高到低分别为 4 级、3 级、2 级及 1 级危险区, 然后提取这些流域内五个因子的属性作为训练样本。当网络训练总误差达到精度要求后, 用该网络对全区进行预测, 得到如图 6 所示的结果。

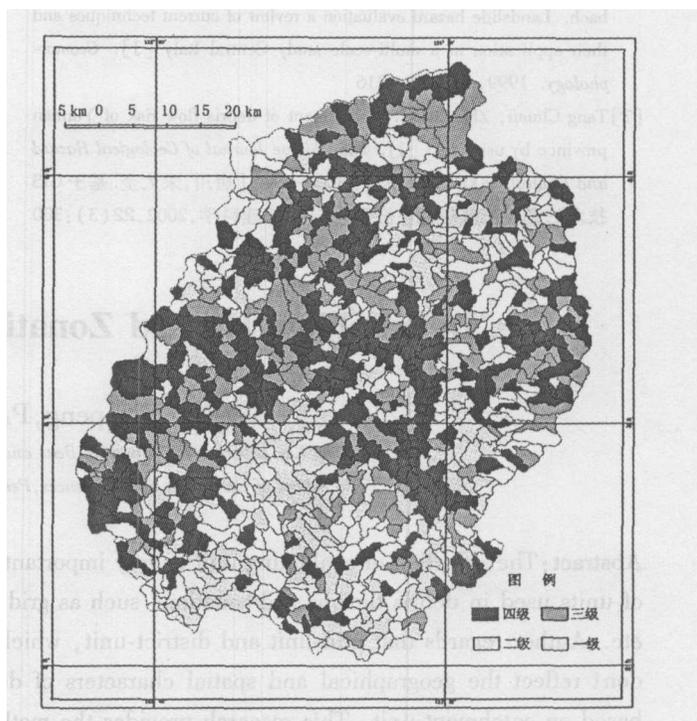


图 6 岫岩县泥石流区域危险性评价结果图

Fig 6 Debris hazard zonation in Xiuyan county

将危险性评价结果与该区历史发生泥石流灾害点分布情况对比, 三级危险区以上的区域囊括了 99% 的泥石流灾害点, 其中 4 级危险区包括 109 个; 三级危险区包括灾害点 81 个, 还有 3 个灾害点落在一、二级危险区。

3 结论

采用流域作为评价单元进行泥石流区域危险性评价, 能真实体现泥石流发生的地貌特点及沟谷的

空间特征, 利于流域地貌因子取值及量化, 使评价过程更能体现泥石流发生的物理机制, 从而提高了评价结果的可靠性。此外, 最终评价结果给出的是每个流域的危险值, 这种表达方式贴近实际、直观明了, 决策管理部门可以直接针对易于发生泥石流的流域采取相应的措施, 减少泥石流可能带来的危害。

参考文献 (References)

- [1] Liu Chuanzheng Study on the early warning methods of landslide-debris flow [J]. *Hydrological and Engineering Geology*, 2004 (4): 1~6 [刘传正. 区域滑坡泥石流灾害预警理论与方法研究 [J]. 水文地质与工程地质, 2004 (3): 1~16]
- [2] Fanstoguzentij Alberto Camara Mauro Cardinali Paola Reichenbach Landslide hazard evaluation a review of current techniques and their application in a multi-scale study Central Italy [J]. *Geomorphology*, 1999 31: 181~216
- [3] Tang Chuan Zhu Dakui Assessment of debris flow risk of Yunnan province by using GIS [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control* 2002 22 (3): 300~304. [唐川, 朱大奎. 基于 GIS 技术的泥石流风险性评价研究 [J]. 地理科学, 2002 22(3): 300

~304]

- [4] Liu Xilin Advance in research on assessment for degree of regional debris flow hazard [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2002 13 (4): 1~8. [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): 1~8]
- [5] Lu Zhongchen The geography system in catchment [M]. DaLian DaLian Press 1991. 11~29 [陆中臣. 流域地貌系统 [M]. 大连: 大连出版社, 1991 11~29]
- [6] ZhongDunkun XieHong ChenZunkun et al. A comprehensive prevention study on mountain disasters in low mountains and hills area in Xiuyuan an autonomous county [M]. Chengdu Sichuan Publishing House of Science and Technology, 1993 38~65 [钟敦伦, 谢洪, 程尊兰, 等. 低山丘陵区 (岫岩满族自治县) 山地灾害综合防治研究 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1993. 38~65]
- [7] Liu Yuan Risk analysis and zoning of geological hazards (chiefly landslide, rock fall and debris flow) in china [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2003, 14(1): 1~15 [柳源. 中国地质灾害 (以崩滑流为主) 危险性分析与区划 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(1): 1~15]

Debris Flow Hazard Zonation Based on Catchment-unit

WANG Xiaopeng PAN Maq XU Yueren

(The Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, Ministry of Education,

School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract The selection of evaluating unit is very important during the debris flow assessment. There are many kinds of units used in debris flow hazard zonation, such as grid-unit, slope-unit, unique-condition unit, and district-unit etc. Author regards that grid-unit and district-unit, which were used widely in assessment of debris flow in china, don't reflect the geographical and spatial characters of debris flow. So this article proposes to assess debris flow based on catchment-unit. This research provides the method to get catchments use digital elevation model data by computer automatically. On the other hand, we took Xiuyan County in Liaoning province as target region, where occurred a lot of debris flow in 1982, 1987 and 1989, and divide the region into 1024 catchment-units. Comparing with the position of debris flows, there is almost one debris flow in one catchment and this condition shows that the division of catchment-unit is suitable to the assessment of debris flow. Based on the catchment-units, the work of debris flow hazard zonation was done by the artificial neural network. As the result, the catchment-unit has an explicit topographical and geological meaning of debris flow, based on catchment-units the computing of evaluating factors is simple and correct. According to our verification, the hazard mapping based on catchment-units accords with the distribution of debris flow in field and is helpful for planning to reduce the damage by government.

Key word debris flow; hazard zonation; catchment-unit