

单沟泥石流灾害危险性评价研究

侯兰功, 崔 鹏

(中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘 要: 对以往的泥石流危险性评价方法进行了总结, 介绍了模糊数学、灰色理论和 GIS 技术在泥石流危险性评价中的应用。最后, 通过对单沟泥石流危险性评价的研究, 提出了改进后的评价模型, 在该模型中可以充分体现降雨作为激发因子的作用。

关键词: 泥石流; 危险性评价; 评价模型

中图分类号: P642 23

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2004)02-0125-04

The Study on Assessment of Debris Flow Hazards in the Solo Channel

HOU Lan-gong, CU I Peng

(Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract: The authors summarize the used methods on the assessment of debris flow hazards, and introduce fuzzy mathematics, grey theory and GIS which is applied to the assessment of debris flow hazards. In the end, through the study on assessment of debris flow hazards in the solo channel, an improved model is given. In this model, the influence of rainfall can be shown.

Key words: debris flow; hazards assessment; assessment model

1 前 言

泥石流是发生在山区的常见自然灾害, 它是由土、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。每年在世界各地都会有大量的泥石流灾害事件发生。在我国北自黑龙江双鸭市, 南至海南岛石碌县、东起台湾闽林瑞穗, 西到新疆自治区的喀什鸭子口和慕士塔格山麓, 广袤国土上约有 26 个省(区)、市分布几万条泥石流沟^[1]。因此, 我国成为世界上泥石流灾害最严重的国家之一, 全国广大山区几乎都具备泥石流形成的基本条件。在自然因素和人为活动的共同作用下, 造成我国泥石流分布广泛、类型多样、活动频繁、灾害严重的局面。近几十年来, 平均每年造成的直接经济损失达 10 亿元之多, 死亡人数近千人^[2], 并且, 随着人类社会活动的不断增强, 人们对自然资源的过度索取和对环境的持续破坏, 使泥石流等自然灾害更趋严重。因此, 必须加强泥石流灾害的研究、评估、预测预报和减灾管理, 组织实施经济有效的防治工程, 从而尽可能防范灾害的发生和尽量减轻灾害损失。为了科学合理地组织实施泥石流灾害减灾防灾工程, 首要任务就是对灾害发生的可能性、危险性、危害范围 and 程度有一个基本的认识和评价, 即灾害危险性评价。

1.1 泥石流控制因子

泥石流是产生于地表的一种复杂的自然地理过程。影响泥石流发生、发展、运动和堆积的环境背景因子非常多, 累计起来有 70 多种^[3], 其中与泥石流活动关系最直接的是土、水、坡三大因素(土代表泥石流形成的物质来源; 水为泥石流形成提供载体和动力条件; 坡为泥石流运动提供地形地貌条件)。对不同地区、不同泥石流沟, 因子的影响程度不同。因此, 选取不同的因子会产生不同的评价结果。在泥石流危险性的综合判定中, 所选因子应遵循以下原则: 科学性、正确性、全面性、独立性、代表性、简便性和实用性。另外, 所选因子也应该考虑其是否能量化。

1.2 危险性评价的内容

危险性评价是灾情评估、预测、防灾救灾决策的基础, 它不仅反映了泥石流的活跃程度, 还反映了泥石流的可能破坏能力。根据研究范围, 可以将灾害危险性评价分为点评价、面评价^[4]。(见表 1)泥石流灾害点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, 它是其它评价工作的基础, 其特点是评价面积小, 致灾体(泥石流)和承灾体清晰明确, 评价精度高, 采用的指标、模型以及得出的评价结果定量化程度高。面评价是对一个流域、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, 其特点是面积大, 致灾体的成灾条件复杂,

收稿日期: 2003-11-05

基金项目: 国家杰出青年基金项目(40025130)

作者简介: 侯兰功(1979-), 男, 安徽人, 硕士研究生, 主要从事泥石流灾情评估研究。

致灾因素多样, 承灾体类型多, 分布广, 特征复杂, 许多因素具有较高程度的模糊性和不确定性, 因此采用的指标多为相对指标, 评价结果定量化程度较低。

表 1 不同范围的评价内容

点评价	面评价
泥石流活动概率, 划分成灾范围及不同强度的危险区	泥石流活动频次, 强度, 规模, 危害范围及在不同地区具有的破坏能力

1.3 危险性评价的意义

泥石流是突发性的灾害过程, 历时短暂, 一旦成灾, 往往损失严重。因此, 进行泥石流灾害发生前的危险性评价, 具有重要的实际意义, 它不仅为国家和地区经济发展、产业布局提供依据, 而且还能为布设防灾减灾工程提供决策支持, 是减轻灾害损失重要的非工程措施, 其意义体现在以下几个方面^[2]:

(1) 为区域经济发展中长远规划提供基础背景资料, 为工农业生产布局提供依据。在规划项目建设、产业布局、环境保护等方面, 可充分考虑受泥石流灾害威胁程度, 合理规划, 使经济建设和防灾减灾工程相协调, 从而避免失误。

(2) 为评价重点建设工程的适宜性和工程布设提供依据。在有泥石流灾害威胁存在的山区(地区), 泥石流灾害危险性评价结果可为重点工程建设选址和方案优化提供经济效益分析依据, 为城市工程、公路、铁路、港口等交通设施建设与维护提供方案比选的经济分析依据。

(3) 直接为科学而经济地组织实施防灾减灾工程服务。根据评价结果, 可充分论证防灾减灾工程的合理性、有效性, 优化方案, 从而做到科学减灾, 经济有效地防灾。

2 泥石流危险性评价研究现状

国际上对泥石流危险性评价非常重视, 有关危险性的研究也相对较早。1977 年日本足立胜治等开展了泥石流发生危险度的判定研究^[5], 主要从地貌条件、泥石流形态和降雨 3 个方面判定泥石流发生率。其中每个方面分若干要素, 每个要素又分若干等级, 每个等级给出相应的判别得分, 然后统计计算泥石流发生和不发生的可能性大小, 即泥石流发生危险度。1988 年日本高桥保等开展了扇形地上泥石流危险度的评价研究^[6], 主要探讨建筑物的损害与泥石流堆积厚度的关系。1990 年日本久保田哲也等再次开展了泥石流发生危险度的判定研究^[7], 主要从短历时降雨的有效降雨量和降雨强度来研究泥石流发生的可能性。在我国, 与泥石流危险度有关的研究最早见于 1986 年谭炳炎泥石流的严重程度的综合评判^[8]。自谭炳炎首先将模糊理论用于泥石流严重程度的判别以来, 该理论在泥石流危险性评价上得到了很大的发展^[9~11]。近年来, 随着广大科研工作者对泥石流危险性评价研究的重视程度加深, 以及其它学科的理论、研究成果和新技术的引入, 使得对泥石流危险性评价的研究得到了长足的发展, 研究的深度不断加大, 研究成果的实用性和可操作性不断加强。总结近年来国内的相关研究成果发现, 其中主要用到的评价方法有以下几种:

2.1 模糊数学综合评判法在危险性评价中的应用

模糊数学理论应用于危险性评价中为研究和处理具有

双重不确定性的事物提供了新方法, 其核心就是用参数间的模糊关系替代数学假设基础上求出的解析关系。

Fuzzy 的二级综合评判法^[12,13]就是将全部参评因子集合 U 按某种属性分成几类, 先对每一类做综合评判, 然后分别对评判结果进行“类”之间的高层次的综合评判。设已知因子集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, 选取评价集合 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 。又设对各因子的权重分配为 U 上的模糊子集 A , 记为 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 。其中 a_i 为第 i 个因子 u_i 所对应的权, 且一般

均规定为: $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ 。对第 i 个因子的单因素评判向量为 V 上的模糊子集 $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$ 。于是单因子评判矩阵 R 为: $R = (r_{ij})_{n \times m}$ 。则总的二级综合评判结果, 即为 $B = A \cdot R$ 。根据 B 的值, 我们可以划分泥石流的危险度, 从而为当地的防治工作及其预测提供比较实际的理论依据。

在泥石流危险性评价中对于该模型的研究, 应用较多^[14~17]。在此模型中, 参评因素如何选择, 如何分类, 以及参评因素的权重和各因素子集权重的确定方法, 均对泥石流危险性评价的研究工作有所影响。

2.2 灰色系统理论在危险性评价中的应用

泥石流活动是多种因素共同作用的结果, 在复杂的泥石流形成条件中, 不同因素的作用方式和影响程度各不相同, 各种因素都处于不断变化之中。其中有的因素是可以明确判断度量的, 而多数因素则是不能完全确定, 或是模糊不清的, 这就形成了一个灰色系统。灰色关联分析的基本原理和方法是: 首先用均值化方法把原始数据做无量纲化处理, 得到均值化矩阵, 然后计算主导因子序列与各关联因子序列相互比较的绝对差值, 并找出最大绝对差值和最小绝对差值, 最后按公式(1)计算主导因子与关联因子间的关联度。

$$R(j) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\Delta_{\min} + K \cdot \Delta_{\max}}{\Delta(i, j) + K \cdot \Delta_{\max}} \quad (1)$$

式中: $R(j)$ ——主导因子与其它各因子间的关联度, N ——样本数, i ——第 i 个样本, j ——第 j 个关联因子, $\Delta(i, j)$ ——主导因子与关联因子比较后的绝对差值, Δ_{\max} ——所有差值序列中的最大绝对差值, Δ_{\min} ——所有差值序列中的最小绝对差值, K ——经验系数。

在对泥石流危险性进行评价时, 先运用灰色关联度的计算结果确定所选用各影响因子的权重值, 然后建立相应的评价模型^[18~27]。如刘希林^[18,19]运用该方法确定评价因子权重

后建立的评价模型: $R_d = \sum G D_i$

式中: G_i ——赋予评价因子的值, D_i ——因子权重, 该模型在实际中得到了较广泛的应用, 属于比较成熟的模型。

张春山^[20]的评价模型:

$$W X D = \sum_{j=1}^{M-1} X_2(i, j) \cdot D_j + [1 - X_2(i, p)] \cdot D_p$$

式中: $W X D$ ——泥石流危险度, $X_2(i, j)$ ——归一化处理后的数据, D_j ——第 j 项指标(关联因子)的权重值, M ——因子总数, P ——植被度项(因子)。

灰色系统理论中的关联度分析是确定主次因子之间关系密切程度的一种方法^[28], 通过关联度分析, 可以优选并确定出哪些因子是重要的和应该保留的, 哪些因子是不重要的

和可以删去的。关联度分析是对一个发展变化系统的状态和趋势的定量化比较, 计算量小, 量化结果可靠^[24]。

2.3 GIS 技术在危险性评价中的应用

泥石流爆发涉及泥石流形成与发展以及下垫面状况, 单一的数学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。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^[29]。Walsh^[30]等应用 GIS 对泥石流形态特征进行了可视化, Wadge^[31]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^[32~38], 而利用 GIS 技术进行区域性泥石流爆发危险性分析尚不多^[39~41], 是个具有广阔研究空间的课题。在目前已经有的研究成果中, 研究人员用到 GIS 中的 Arc/info 软件来进行危险性分析评价。以 Arc/info 为平台, 将研究区的地形图数据以及所选其它因子数据通过 Arc/tn 建立 tin 模型, 并将 tin 转换为相应的多边形矢量数据。将所得各数据通过变换转换为具有统一比例尺、统一投影、统一分辨率、统一行列数的栅格阵列, 每一栅格就是一分析单元。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的空间重合性。可以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。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, 因此还要对各类指标进行无量纲化和分级。在 Arc/info 平台上, 利用 grid 模块的 reclass 函数, 对处理后的数据进行重分类。通过分析各类指标对泥石流影响程度, 赋予它们不同的权重。最后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, 就可得到所研究区域的泥石流危险性评价图或区划图。

通过对已有的研究工作的分析发现, 运用 GIS 技术对泥石流危险性进行评价, 可以大大降低工作量, 同时可以提高评价的精度和实用性。可以预计, 在将来的评价研究工作中, GIS 技术将被更广泛的应用。

2.4 其它方法

除了上述提到的几种方法外, 在危险性评价中, 还有其它一些方法被应用到。如: 多元回归分析法, 神经网络法等, 但其应用的范围没有前面提到的 3 种方法广, 故这里没有进行专门的介绍。

3 泥石流危险性评价研究

泥石流是各种自然因素和人为因素综合作用的结果, 其形成过程复杂, 暴发突然, 来势凶猛, 历时短暂, 破坏力大。泥石流的发生可以看作是地质灾害从量变到质变的一个过程,

参考文献:

- [1] 国家防汛抗旱总指挥部办公室, 中国科学院成都山地灾害与环境研究所山洪泥石流滑坡灾害及防治[M]. 北京: 科学出版社, 1994 80- 94
- [2] 罗元华 论泥石流灾害风险评估方法[J]. 中国矿业, 2000, 9(6): 70- 72
- [3] 刘希林, 唐川, 张松林 沟谷泥石流危险度评价研究[J]. 水土保持学报, 1993, 7(2): 20- 25
- [4] 张梁, 张业成, 罗元华, 等 地质灾害灾情评估理论与实践[M]. 北京: 地质出版社, 1998
- [5] 足立胜治, 德山久仁夫, 中筋章人, 等 土石流发生危险度の判定に於て[J]. 新砂防, 1977, 30(3): 7- 16
- [6] 高桥保, 中川一, 佐藤宏章 扇状地における土砂泛滥灾害危险度の评价[J]. 京都大学防灾研究所年报, 1988, 31(B- 2): 655- 676
- [7] 久保田哲也, 正务章, 板垣昭彦 流域の任意地点における短时间降雨预测手法と土石流发生危险度判定图の開発[J].

而其量变到质变的一个拐点就是泥石流发生的激发因子。因此在泥石流危险性评价模型中应体现出泥石流激发因子在其发生过程中的作用。在我国暴雨型泥石流分布最广, 可以搜集的资料也最多最全, 因此对此类泥石流的危险性评价研究较多, 也较系统。通过对该型泥石流的研究发现: 泥石流的物质来源在没有突发事件(地震、滑坡、人为倾倒固体残渣等)的影响下是经过漫长的风化、风力搬运等作用积累起来的, 而形成泥石流的地形地貌条件亦是长期地质作用的结果, 在众多泥石流影响因子中降雨是形成时间短暂(几小时、几天内就可能降雨发生)、发生频率高的一个因子。因此对于泥石流危险性评价来说, 与泥石流物质来源和地形地貌相关的因子在评价过程中是稳定的, 而降雨作为暴雨型泥石流的激发因子是随时间变化的, 在评价模型中应充分体现降雨的这一特性及其作为激发因子的作用。本文在已有的泥石流危险性评价研究成果基础上, 采用灰色关联度法确定评价因子的权重, 建立危险性评价模型, 在此模型中能够体现泥石流激发因子的作用。

单沟泥石流危险度计算公式: $H = (\sum G D_j)^{\frac{1}{p}}$

式中: G_i ——赋予评价因子的值为因子权重, D_j ——危险度(其取值范围在 0~ 1 之间), p 为根据降雨强度确定的级别(由于中雨、大雨、暴雨均可激发泥石流^[1], 故根据 24 h 内降雨量划分降雨强度: 10~ 25 mm/24 h 为中雨, 其强度为 1; 25 ~ 50 mm/24 h 为大雨, 强度为 2; 50 mm/24 h 以上为暴雨, 强度为 3)。

由此建立的评价模型能够体现出降雨强度对泥石流发生的作用, 由于降雨强度不是固定的, 是随着时间和气象条件变化的, 因此该模型也使得泥石流危险性评价结果具有随时间动态变化的特点, 与实际情况也较为吻合。但该模型也存在一定问题, 那就是在计算中需要开方运算, 和以往的评价模型相比计算结果可能出现偏大现象, 这样虽然可以提高人们对于泥石流危险的警觉性, 但也可能会造成在泥石流灾害防治中的投入成本过大的现象, 因此对于该模型还需要在后续工作中去验证和完善。

4 结 语

未来灾害学的发展方向之一是对灾害作整体的综合评价。因此, 对泥石流危险性评价的准确性是直接影响整体综合评价的要素之一。同时, 社会的发展也要求最终的评价结果具有可操作性、直观可视性。这对泥石流危险性评价工作提出了更高的要求, 需要广大科研工作者更加不懈的努力才能达到这一目标。

- 新砂防, 1990, 42(6): 11- 17.
- [8] 谭炳炎 泥石流沟严重程度的数量化综合评判[J]. 水土保持通报, 1986, 6(1): 51- 57.
- [9] 蒋忠信 新建铁路泥石流沟的判别和发展趋势预测[A]. 第四届全国泥石流学术讨论会论文集[C]. 兰州: 甘肃文化出版社, 1994 259- 270
- [10] 白志勇 泥石流沟的判别分析[A]. 第四届全国泥石流学术讨论会论文集[C]. 兰州: 甘肃文化出版社, 1994 281.
- [11] 唐川, 刘洪江, 朱静 泥石流扇形地危险性评价研究[J]. 干旱区地理, 1997, 20(3): 21- 29
- [12] 张跃, 宿芬, 邹寿平 模糊数学方法及其应用[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1992
- [13] 唐川, 周钜乾, 朱静, 等 云南崩塌滑坡危险度分区的模糊综合分析法[J]. 水土保持学报, 1994, 8(4): 48- 54
- [14] 苏经宇, 周锡元, 等 泥石流危险等级评价的模糊数学方法[J]. 自然灾害学报, 1993, 2(2): 83- 90
- [15] 许信旺 怀柔县泥石流沟谷危险度 FUZZY 评判[J]. 安庆师范学院学报(自然科学版), 1997, 3(4): 14- 17.
- [16] 刘丽, 王士革 云南昭通滑坡、泥石流危险度模糊综合评判[J]. 山地研究, 1995, 13(4): 261- 266
- [17] 刘丽, 王士革 滑坡、泥石流危险度二级模糊综合评判初探[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(3): 51- 59
- [18] 刘希林, 张松林, 唐川 沟谷泥石流危险度评价研究[J]. 水土保持学报, 1993, 7(2): 20- 25
- [19] 刘希林, 等 泥石流危险性评价[M]. 北京: 科学出版社, 1995 3- 26
- [20] 张春山 北京地区泥石流灾害危险性评价[J]. 地质灾害与环境保护, 1995, 6(3): 33- 39
- [21] 刘希林 泥石流危险度判定的研究[J]. 灾害学, 1988, 3(3): 10- 15
- [22] 刘希林, 唐川, 张松林 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
- [23] 刘希林, 张松林, 唐川 中国西南山区沟谷暴雨泥石流危险度判定的基本原理和方法[J]. 云南地理环境研究, 1993, 5(2): 62- 70
- [24] 刘希林 灰色模型和回归分析在泥石流预测中的应用——以蒋家沟泥石流年输沙量预测为例[J]. 灾害学, 1989, 4(2): 26- 30
- [25] 朱静 泥石流沟判别与危险度评价研究[J]. 干旱区地理, 1995, 18(3): 63- 71
- [26] 刘希林, 云南昭通地区泥石流灾害及其危险度评价[J]. 灾害学, 1991, 6(4): 47- 51.
- [27] 刘希林 我国泥石流危险度评价研究: 回顾与展望[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(4): 1- 8
- [28] 邓聚龙 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1987 73- 81.
- [29] Dikau R, Cavallin A, Jager S. Databases and GIS for landslide research in Europe[J]. *Geomorphology*, 1996, 15(3- 4): 227- 239
- [30] Walsh S J, D R Bulter. Morphometric and multispectral image analysis of debris flow s for natural hazard assessment [J]. *Geocarto International*, 1997, 12(1): 59- 70
- [31] Wadge G, A P Wiskocki, E J Pearson. Spacial analysis in GIS for natural hazard assessment[A]. M F, Goodchild, B O, Parks, L T Steyaert *Environmental Modelling with GIS*[M]. Oxford: Oxford University Press, 1993 332- 338
- [32] 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.
- [33] 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
- [34] Van Westen C J, Rengers N, Terlien M T J, et al Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS based hazard zonation[J]. *Geologische Rundschau*, 1997, 86(4): 1- 14
- [35] Terlien M T J, C J Van Westen, T W J Van A sch. Deterministic modeling in GIS-based landslide hazard assessment [A]. (A Carraa F Guzzetti) *Geographic Information Systems in Assessing Natural Hazards*[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995 57- 78
- [36] Binaghi E L, Luzi P Madella, F Pergalani, et al Slope instability zonation: A comparison between certainty factor and fuzzy dempster- shafer approaches[J]. *Natral Hazards*, 1998, 17: 77- 97.
- [37] Dhakal A S, Amada A, Anlyam. 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
- [38] 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
- [39] 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
- [40] 闫满存 GIS 支持的澜沧江下游区泥石流爆发危险性评价[J]. 地理科学, 2001, 21(4): 335- 338
- [41] 许信旺 地理信息系统支持下泥石流危险度评估研究[J]. 安庆师范学院学报(自然科学版), 1997, 3(1): 19- 21.