

Application of Submerged Analysis in Risk Assessment of Mountain Torrents (Debris Flows)

—A Case Study in Dahu Valley, Lingbao City, Henan Province

Yiran Wen*, Aidi Huo#, Lan Li

School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an Shaanxi
Email: 792018699@qq.com, #huoaidi@163.com

Received: May 3rd, 2019; accepted: May 17th, 2019; published: May 24th, 2019

Abstract

The mountain torrent (debris flow) is a sudden geological disaster, which lasted for a short time. Once the debris flow occurs, the consequences will be disastrous. This research, through the submerged analysis of the debris flow in the Dahu valley, Lingbao City, Henan Province, based on the hydrological simulation and the model of the HEC-RAS, HEC-GeoRAS coupled GIS, we have obtained the three-dimensional display of the submerged range of the torrential (debris flow) and the submerged depth and submerged area of the debris flow. And then carries on the risk assessment to the main lake road and its ditch, the debris flow risk assessment result provides the scientific basis for or the early warning, prevention and control of debris flows in the Dahu valley. The study found that in the 30-year flood conditions, 60-year flood conditions and 120-year flood conditions, the five settlements in Dahu valley will be submerged. We can make a preliminary judgment that the hidden trouble of debris flow is very serious in Dahu valley. It belongs to the debris flow ditch with high risk. The debris flow has both source and topographic conditions, once the water resources are reached, the debris flow will endanger the life and property safety of the lower reaches of the valley. The risk assessment result is basically consistent with the actual situation of the debris flow disaster and the disaster situation occurring in Dahu valley. This study realizes the combination of three-dimensional submerged analysis and disaster risk assessment, this achievement provided a new idea for the prediction and forecasting of mountain torrents (debris flow). It also has a certain reference value for other similar debris flow in the aspect of this study.

Keywords

Dahu Valley, Xiaoqinling, Submerged Analysis, Mountain Torrents (Debris Flow), Risk Assessment

*第一作者。

#通讯作者。

淹没分析在山洪泥石流风险评估中的应用初探

——以河南省灵宝市大湖峪山洪泥石流沟为例

温轶然^{*}, 霍艾迪[#], 李 兰

长安大学环境科学与工程学院, 陕西 西安
Email: 792018699@qq.com, [#]huoaidi@163.com

收稿日期: 2019年5月3日; 录用日期: 2019年5月17日; 发布日期: 2019年5月24日

摘 要

山洪泥石流是一种突发性的地质灾害, 历时短暂, 破坏性大。本文通过对河南省灵宝市大湖峪山洪泥石流沟进行淹没分析, 在水文模拟基础上, 用HEC-RAS、HEC-GeoRAS耦合ArcGIS模型对山洪泥石流进行分析, 实现了山洪泥石流淹没范围的三维显示, 获得泥石流淹没水深及淹没面积。进而对大湖峪主峪道及其支沟进行风险评估, 所得的泥石流风险评估结果为泥石流的防治和预警提供了科学依据。研究中发现该流域遭遇30年、60年和120年一遇山洪泥石流时, 大湖峪五个居民点均会被淹没。因此可以初步判断大湖峪矿区泥石流灾害的隐患相当严重, 属于具有高风险的泥石流沟。其发生泥石流的物源条件、地形条件都已具备, 一旦水源情况达到, 泥石流就会危及到流域下游居民区的生命及财产安全。这一风险评估结果与大湖峪历史发生的泥石流灾害和灾情的实际情况基本相符。本研究实现了三维淹没分析与灾害风险评估的结合, 为山洪泥石流的预测预报和风险评估研究提供了新思路, 也为其他类似泥石流区域进行该方面的研究有一定参考价值。

关键词

大湖峪, 小秦岭, 淹没分析, 山洪泥石流, 风险评估

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

山洪泥石流是指在山谷、陡峭地区由于大雨, 暴雪或其他自然灾害引起的, 并携带大量沉积物和石块的现象。山洪泥石流具有突发性、不确定性的特点。进入 21 世纪, 全球平均每年有近千人死于山洪灾害, 造成的经济损失高达每年 463 亿美元[1]。预警作为应对山洪灾害的防御措施, 引起了世界各国的重视。中国从 20 世纪 80 年代起开始山洪灾害预警相关研究, 并在 21 世纪初明确了以山洪预警等非工程措施为主的山洪灾害防御和综合治理思路[2]。

从上世纪五十年代, 计算机和遥感测量技术的结合以及地理信息系统的快速发展, 形成了多种风险评估方法, 遥感和 GIS 技术在大范围的洪水淹没灾情分析的应用上也更为成熟可靠[3]。赵士鹏[4]通过山洪灾害的强频分析, 以灾变系数为指标针对闽江上游地区的山洪灾害进行了风险评估。唐川、师玉娥[5]在其基础上, 提出了一套基于 GIS 的从数据采集到空间属性数据库建立、评价指标体系选择、预测评价

分析及山洪灾害危险性评价与风险区划的技术路线和方法体系。管珉、陈兴旺[6]利用该思路,以江西省小流域地理地图为基础,对暴雨气候、地形坡度、河网分布等因子进行分析,得到江西省山洪灾害危险性评价图,并将其与易损性评价图进行叠加,完成江西省山洪灾害风险区划研究。唐川[7]、朱静[8]在对云南省文山县城进行城市山洪灾害易损性分析、风险评价时引入了山洪淹没范围、淹没水深两个指标,提高了山洪易损性、预期损失评估的准确性,进一步完善了山洪风险评价的指标体系。林孝松等[9]构建了由微地貌类型、地形坡位、汇流累积量和植被覆盖度等组成的山区镇域山洪危险分区指标体系,并用于重庆市跳石镇山洪灾害危险性分区。许小华、何雯[10]将土地利用作为一个风险评估的新因子,得到了更加合理可靠的江西省山洪灾害风险等级划分。周毅[11]利用 HEC-RAS、ArcView GIS 耦合 HEC-GeoRAS,对疏勒河流域的昌马水库溃坝洪水演进进行了模拟。霍艾迪[12]采用单元分类抽样法利用 GIS 技术做出地质灾害敏感性评价。

本文通过对河南省灵宝市大湖峪山洪泥石流沟进行淹没分析,在水文模拟基础上,用 HEC-RAS、HEC-GeoRAS 耦合 ArcGIS 对山洪泥石流进行分析,实现了山洪泥石流淹没范围的三维显示,获得泥石流淹没水深及淹没面积。进而对大湖峪主峪河道及其支沟进行风险评估,所得的泥石流风险评估结果为泥石流的防治和预警提供了科学依据。

2. 研究区概况及数据准备

研究区概况

大湖峪位于陕西省和河南省两省交界处的小秦岭金矿带东段的北麓,海拔 680~2120 m,相对高差 1440 m。是河南省灵宝市阳平河的山区河流,为常年性河流。主干水系为黄河一级支流大湖峪河,呈南北走向,发源于小秦岭山地并向北汇入黄河。研究区大湖峪河流总长约 10.61 km,主沟平均纵比降 135.7%。大湖峪属于暖温带大陆性季风气候,研究区年平均气温 13.8℃。多年平均降水量为 645.8 mm,最大年降水量 984.7 mm (1958 年),最小年降水量 318.7 mm (1997 年)。降水多集中在 7 月、8 月、9 月,这 3 个月的降水量可占全年降水量的 50.8%,且多为暴雨。由于河流均处于山区上游且多数为季节性河流,所以旱季流量很小甚至干枯,雨季水量变化很大。多年平均蒸发量 1616.4 mm,年最大蒸发量 1972.2 mm,年最小蒸发量 1221 mm。山势陡峭,沟床比降大,平均都在 10%~15.2%。地形有利于坡面径流迅速汇集,具有强大的侵蚀和搬运能力,每逢暴雨,容易形成山洪泥石流。

3. 研究方法和数据来源

3.1. 淹没分析方法

本研究由 DEM 数据利用 SWAT 模型把研究区域划分成一系列子流域,根据实测气象、径流数据及流域土地利用图、土壤类型图构建研究区域降水-径流模型,并对该模型进行校准和敏感性分析,以日为时间步长模拟该流域径流量,根据气象部门的降水预报,对该流域未来的径流量进行模拟预报研究。

根据 HEC-RAS 软件,由降雨预测的径流推求各断面的水位,得到各流域不同控制断面的水位高程。对于淹没范围研究,本文根据有源淹没,建立基于 GIS 的适合山区丘陵地区的淹没范围模型。利用 ArcGIS 中的 Spatial Analysis/Tope to raster 对河道控制断面上的水位进行空间插值计算,生成符合实际的洪水高程面。运用 GIS 中的栅格计算器,计算实际淹没水深及淹没范围,淹没水深 = 空间插值洪水高程面 - 底层 DEM 高程,并对计算水深结果进行分类,分为大于 0 和小于 0,大于 0 的部分即为此洪水高程时的洪水淹没范围水深分布。把水深图层与研究区的卫星图像相叠加,用 GIS 的可视化功能,可以直观的显示淹没区范围,计算淹没区面积,评估淹没区损失。

利用 HEC-RAS 模型分析河道山洪泥石流需要研究区一系列的几何资料, 包括河网结构及走向、断面分布等。河网几何数据通过 HEC-GeoRAS 耦合 ArcView GIS 来方便地建立。由于研究区域河流纵比降较大, 根据实际情况共布设了 24 个断面。因洪峰流量往往决定是否会发生山洪泥石流淹没及淹没的最大范围。本研究根据大湖峪泥石流流域的山洪泥石流资料, 分别模拟了三十年一遇、六十年一遇、一百二十年一遇的山洪泥石流演进过程。本研究采用河网中河段起始断面的正常水深作为模型边界条件, 流态采用急流来进行山洪演进分析, 得到山洪的水位水面线图。当 HEC-RAS 来模拟山洪泥石流计算完成后, 根据计算的洪峰流量, 输入到 HEC-RAS 洪水演进模型中进行山洪(泥石流)淹没演进分析, 将计算结果导入到 GIS 中进行山洪(泥石流)淹没范围三维显示, 从三维山洪(泥石流)淹没范围图中可以直观的读取淹没范围。该淹没范围的计算可为山洪泥石流风险分析提供基础依据。技术流程图如图 1 所示:

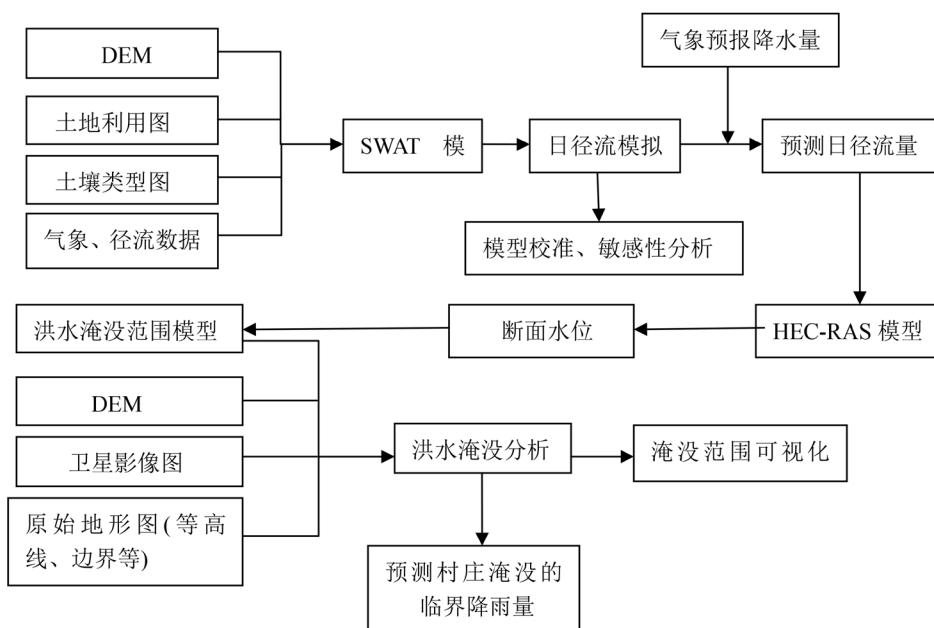


Figure 1. Technical flowchart
图 1. 技术流程图

3.2. 山洪泥石流风险评估方法

泥石流灾害风险评估的总的思路是灾害识别 → 灾害调查 → 风险分析 → 风险评估[13]。对泥石流灾害的风险评估首先要确定可能的泥石流的沟道及泥石流可能威胁的范围; 在确定评估范围的前提下, 应该详细研究泥石流通道, 主要包括泥石流基本特征调查及承灾体调查两方面。以详实的调查为依托, 从危险性和危害性两方面定性分析, 随后进行定量计算泥石流风险; 最后根据风险许可标准确定泥石流风险。

灾害风险等级评估方法采用国际通用的灾害风险的定义计算泥石流的风险, 计算公式如下:

$$\text{泥石流灾害风险} = \text{泥石流发生概率} * \text{泥石流可能造成的后果} \quad (1)$$

泥石流是山区独特的一种自然地质现象, 其发生必须具备 3 个基本条件: 有陡峭便于集水集物的地形; 上游堆积有丰富的松散固体物质; 短期内有突然性的大量流水。小秦岭地区已经具备泥石流的地形条件及物源条件。由于小秦岭地区山势陡峭、岩石裸露, 对雨水的入渗、截流、调节作用小, 地表径流强度大, 因此当有暴雨天气时, 极易引发研究区山洪、泥石流等地质灾害。通过淹没分析得到的淹没范

围结合研究区的降雨条件,即可得到研究区的山洪泥石流发生概率图。基于 HEC 的山洪泥石流淹没分析,模拟研究区内五个居民点在三种不同频率下泥石流发生时的淹没面积及水深,即可得到研究区山洪泥石流发生的后果图。

泥石流发生概率按表 1 进行评定,泥石流可能造成的后果按表 2 进行评定,然后利用上述泥石流灾害风险计算公式计算泥石流灾害的风险,最后通过表 3 评定泥石流灾害的风险等级。

Table 1. Risk probability of mountain torrents

表 1. 泥石流发生概率表

泥石流发生概率	赋值	对泥石流发生概率的详细描述
经常	5	大多情况下都会发生泥石流
很可能	4	多数情况下可能发生泥石流
有时会	3	某些情况下会发生泥石流
有时可能	2	某些时候可能发生泥石流
很少	1	只在特定环境下会发生泥石流

Table 2. Consequences caused by mountain torrents

表 2. 泥石流可能造成的后果表

泥石流可能造成的后果	赋值	对泥石流可能造成的后果的详细描述
轻微	1	没有人员伤亡,经济损失小,社会影响小,对环境也没明显影响。
较轻	2	死亡人数小于 3,威胁人数小于 10,直接经济损失小于 100 万元,潜在经济损失小于 500 万元。
较重	3	死亡人数 3~10,受威胁人数 10~100,直接经济损失 100~500 万元,潜在经济损失 500~5000 万元。
严重	4	死亡人数 10~30,受威胁人数 100~1000,直接经济损失 500~1000 万元,潜在经济损失 5000~10,000 万元。
极严重	5	死亡人数大于 100,受威胁人数大于 1000,直接经济损失大于 1000 万元,潜在经济损失大于 10,000 万元

Table 3. Disaster risk classification of mountain torrents

表 3. 泥石流灾害风险分级

泥石流灾害风险分级	赋值	泥石流风险范围值	实施洪水灾害风险防范措施的优先级
极高风险	V	19~25	需要立即行动以减轻可能灾害的影响
高风险	IV	13~18	高优先级进行风险防范
中风险	III	9~12	中优先级进行风险防范
中低风险	II	4~8	中低优先级进行风险防范
低风险	I	1~3	低优先级进行风险防范

对灵宝市山洪泥石流的发生进行风险评估。

在对大湖峪地区做出初步评估分析后,通过实地考察灵宝市的自然动力因素及人类活动因素,结合室内淹没分析,采用和大湖峪相同的评估方法和标准对灵宝市山洪泥石流的发生进行较准确的风险评估,为今后该区域防灾减灾提供理论支撑。

4. 结果及分析

4.1. 淹没分析结果

根据计算的洪峰流量,输入到 HEC-RAS 洪水演进模型中进行山洪(泥石流)淹没演进分析,将计算结果导入到 GIS 中进行山洪(泥石流)淹没范围三维显示,从三维山洪(泥石流)淹没范围图中可以直观的读取淹没范围。得到三种不同频率下的山洪泥石流淹没水深的三维显示图,淹没面积如表 4 所示。

Table 4. Inundation is of different frequency of mountain torrents

表 4. 研究区不同山洪泥石流频率下淹没面积

地名	30 年一遇淹没面积/m ²	60 年一遇淹没面积/m ²	120 年一遇淹没面积/m ²
蜜蜂湾	600.08	742.52	1425.43
黄家瑶	22,615.50	25,350.19	27,452.02
南河村	4569.72	5284.91	5746.04
大湖村	28,321.95	38,887.84	45,360.72
大湖北桥	38,593.23	41,723.22	46,945.34

将三种频率下山洪泥石流淹没情况对比可得:

1) 六十年一遇山洪泥石流淹没范围较三十年一遇山洪泥石流有所增大,其中蜜蜂湾淹没面积增大 142.44 m²;黄家瑶淹没面积增大 2734.69 m²;南河村淹没面积增大 715.19 m²;大湖村淹没面积增大 10565.89 m²;大湖北桥淹没面积增大 3129.99 m²。

2) 当发生一百二十年一遇山洪泥石流时,蜜蜂湾淹没面积较六十年一遇泥石流增大 682.91 m²;黄家瑶淹没面积增大 2101.83 m²;南河村淹没面积增大 461.13 m²;大湖村淹没面积增大 6472.88 m²;大湖北桥淹没面积增大 5222.12 m²。

4.2. 风险分析结果

将泥石流发生概率赋值标准及可能造成的结果赋值标准,分别结合大湖峪实际情况,可得大湖峪山洪泥石流发生概率图(图 2)及山洪泥石流可能造成的后果图(图 3)。

大湖峪里的矿山大约从上世纪 80 年代开始进行大规模无序的矿山开采,截止调查日期,采矿坑口数千个,形成矿渣方量约 5000 × 10⁴ m³。根据河南省泥石流灾害记载,大湖峪过去曾多次发生泥石流灾害,给当地居民带来了巨大的人身安全威胁和经济损失。

通过山洪泥石流发生概率图(图 2)可以看出大湖峪地区存在泥石流灾害形成的重大隐患,且主要发生在大湖峪主沟和大湖峪西峪。一旦大湖峪地区达到泥石流发生的条件,该地区大多数情况下就会发生泥石流。根据图 1 b 可分析出,当山洪泥石流发生时,将大湖峪主沟和大湖峪西峪造成极严重的后果:通常死亡人数大于 100,受威胁人数大于 1000,直接经济损失大于 1000 万元,潜在经济损失大于 10,000 万元。且该地区不同地方均会受到不同程度的影响。

通过图 2、图 3,结合公式(1),可得到了大湖峪山洪泥石流风险计算图(如图 4),可看出大湖峪地区山洪泥石流发生概率大,而且一旦发生,造成的后果也十分严重。大湖峪主峪道发生山洪泥石流风险度极高,可达 25,需立即采取行动以减轻可能的灾害影响。

因为大湖峪地区多山地,地形十分陡峭,地质条件复杂,沟谷发育,地形起伏大。岩石较破碎,夏季多暴雨,地表植被覆盖率较低。所以处于山洪泥石流灾害高发区且泥石流规模较大,对研究区内国民

经济建设和人民生命财产造成了极为重大的损失。由图 5 可得，大湖峪地区北部山区山洪泥石流灾害分级可达 V 级，有极高风险。

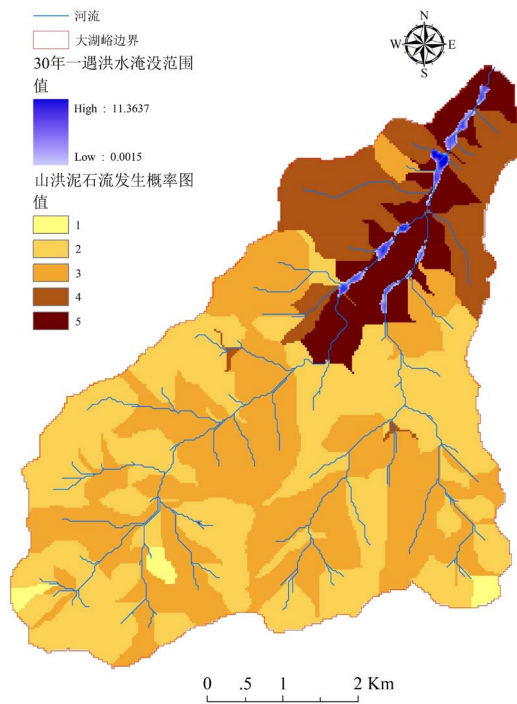


Figure 2. Risk probability of mountain torrents in Dahu valley, Xiaoqingling
图 2. 大湖峪山洪泥石流发生概率图

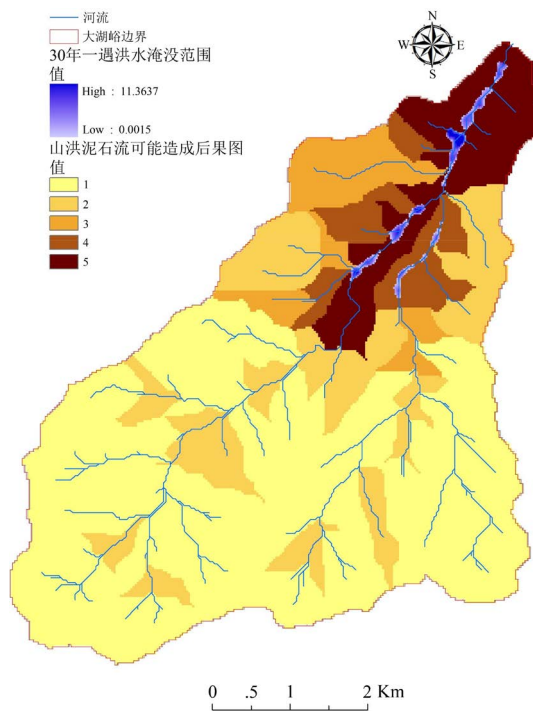


Figure 3. Consequences caused by mountain torrents in Dahu valley, Xiaoqingling
图 3. 大湖峪山洪泥石流可能造成的后果图

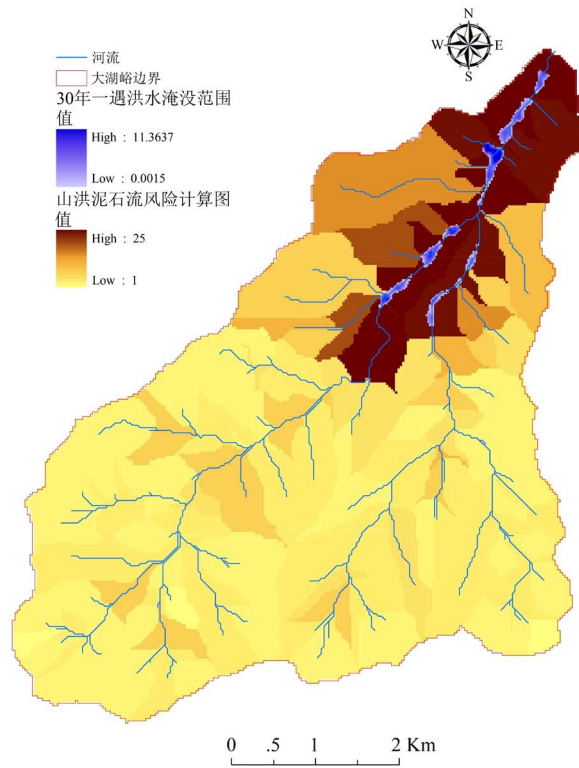


Figure 4. Risk calculation of mountain torrents in Dahu valley, Xiaoqingling
图 4. 大湖峪山洪泥石流风险计算图

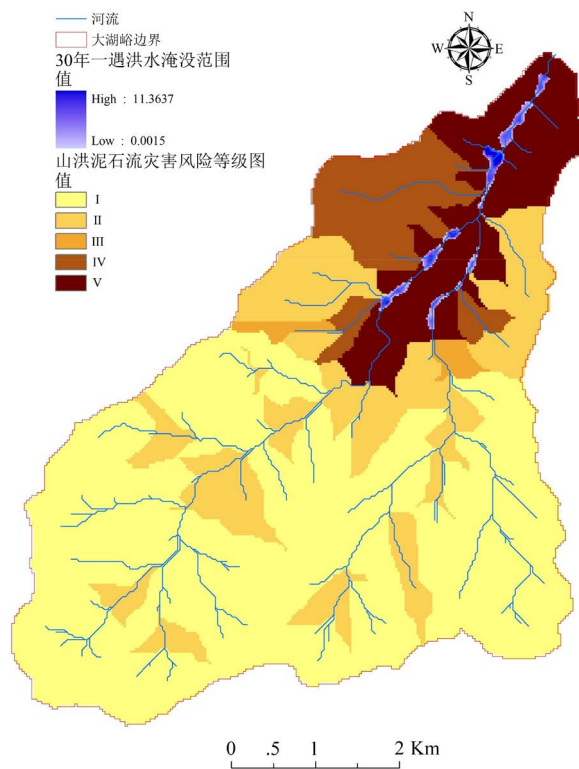


Figure 5. Disaster risk classification of mountain torrents in Dahu valley, Xiaoqingling
图 5. 大湖峪山洪泥石流灾害风险分级图

根据上述公式、表格、结论，及大湖峪的具体情况来看，大湖峪矿渣的随意堆放且与地表物质没有任何粘结关系，在暴雨情况下势必会发生泥石流灾害。可以初步判断大湖峪矿区泥石流隐患相当严重，其发生泥石流的物源条件、地形条件都已具备。一旦水源情况达到，泥石流就会危及到流域下游居民区的生命及财产安全。这一风险评估结果与大湖峪历史发生的泥石流灾害和灾情的实际情况基本相符。

在对大湖峪地区做出初步评估分析后，采用相同的评估方法和标准对灵宝市山洪泥石流的发生进行风险评估，得到灵宝市山洪泥石流风险分级图(图 6)。

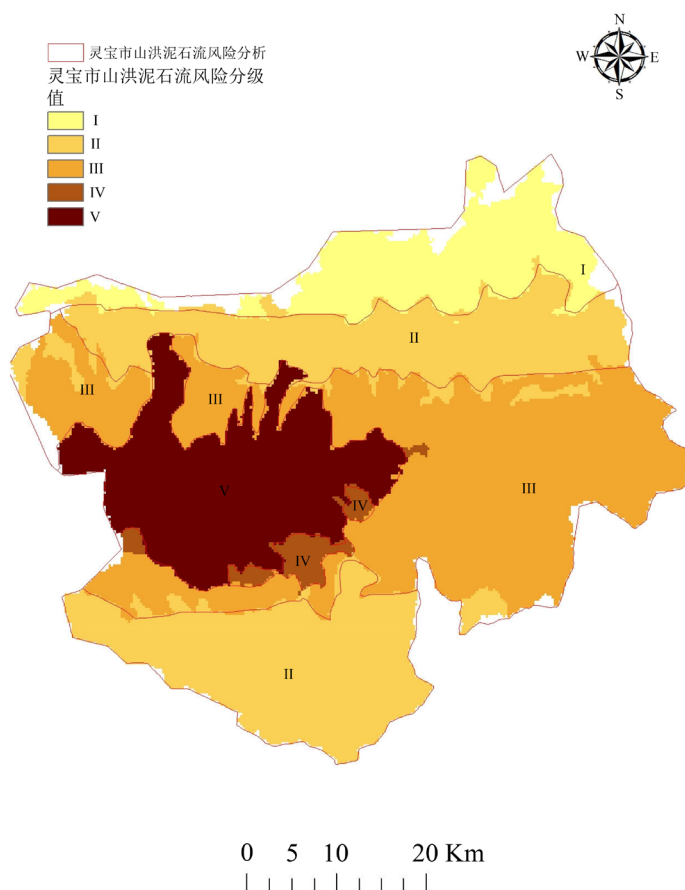


Figure 6. Disaster risk classification of mountain torrents in Linbao city
图 6. 灵宝市山洪泥石流风险分级图

灵宝市泥石流灾害高易发区分布在西峪 - 大湖峪 - 武家山以南小秦岭中山，区内共有泥石流沟 22 条 [14]。山洪泥石流灾害分级可达 V 级，危害程度一般为重大级、特级，破坏性强，一旦发生将给人民生命财产造成极大的损失。

通过实地调查知，灵宝市除了有形成泥石流必备的水源条件、地形条件等自然动力因素外，采矿及交通设施建设对地质环境产生了严重的影响。采矿活动不仅使山(岩)体受到破坏，增加了不稳定因素，而且产生的大量废渣堆积在坑口的沟河之内，严重堵塞了沟道，成为泥石流灾害形成的主要物源。当有暴雨情况时，需要立即行动以减轻可能灾害的影响。

5. 结论

针对大湖峪典型山洪泥石流区的特点、地形状况来研究山洪泥石流演进状况，实现了三维淹没分析

与灾害风险评估的结合, 为山洪泥石流预报研究和风险评估提供了新的思路: 通过对山洪泥石流地区进行淹没分析, 在水文模拟基础上, 用 HEC-RAS、HEC-GeoRAS 耦合 ArcGIS 模型对山洪泥石流进行分析, 实现了山洪泥石流淹没范围的三维显示, 获得泥石流淹没水深及淹没面积。通过分析并结合实际进而对泥石流地区进行风险评估, 所得的泥石流风险评估结果为泥石流的防治和预警提供了科学依据。

通过野外实地调查、室内数据分析, 对研究区大湖峪矿渣型泥石流进行了深入的研究探讨, 得到以下结论:

1) 本研究对不同频率的山洪泥石流进行演进模拟, 模拟结果显示五处居民点均有风险。其中黄家瑶、蜜蜂湾在 60 年一遇以上山洪泥石流时有了明显淹没, 流域下游部分的大湖村和大湖北桥淹没水深和淹没范围都比较严重, 对整个村庄造成的灾害损失也会比较大。

2) 大湖峪矿区泥石流隐患已经相当严重, 属于具有高风险的泥石流沟。其发生泥石流的物源条件、地形条件都已具备。一旦水源情况达到, 泥石流就会危及到流域下游居民区的生命及财产安全。这一风险评估结果与大湖峪历史发生的泥石流灾害和灾情的实际情况基本相符。

灵宝市也处于山洪泥石流灾害高发区, 具有极高风险, 一旦发生泥石流, 会对研究区内国民经济建设和人民生命财产造成极为重大的损失, 需要高优先级进行风险防范。

参考文献

- [1] Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. The International Disaster Database. 2017.
- [2] 张志彤. 我国山洪灾害特点及其防治思路[J]. 中国水利, 2007(14): 14-15.
- [3] 万新宇, 王光谦. 近 60a 中国典型洪水灾害与防洪减灾对策[J]. 人民黄河, 2011, 33(8): 1-4.
- [4] 赵士鹏. 灵宝市小秦岭金矿区泥石流沟危险性评价研究[A]. 河南地球科学通报 2008 年卷(中册). 2008: 5.
- [5] 唐川, 师玉娥. 城市山洪灾害多目标评估方法探讨[J]. 地理科学进展, 2006(4): 13-21.
- [6] 管珉, 陈兴旺. 江西省山洪灾害风险区划初步研究[J]. 暴雨研究, 2007(4): 339-343.
- [7] 朱静, 唐川. 城市山洪灾害易损性的 RS 和 GIS 分析[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2008(1): 61-67.
- [8] 朱静. 城市山洪灾害风险评价——以云南省文山县为例[J]. 地理研究, 2010(4): 655-664.
- [9] 林孝松, 林庆, 王梅力, 等. 山区镇域山洪灾害危险性分区研究——以跳石镇为例[J]. 自然灾害学报, 2015(3): 90-96.
- [10] 许小松, 何雯. 基于土地利用分析的山洪灾害危险等级划分研究[J]. 江西水利科技, 2015(4): 283-290.
- [11] 周毅. 基于 GIS 的溃坝洪水模拟与方法研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2010.
- [12] Huo, A.D., Zhang, H.X., Zhang, L., Li, H. and Hou, M. (2012) A sampled Method of Classification of Susceptibility Evaluation Unit for Geological Hazards Based on GIS. *Applied Mathematics & Information Sciences*, 6, 19-23.
- [13] 徐继维. 山区泥石流灾害风险评估研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2014.
- [14] 邢永强, 章煜. 河南省灵宝市地质灾害特征、分布情况与防治对策[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2006, 25(5): 372-376.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2330-1724，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojs@hanspub.org