

湖北省阳新县暴雨(强降雨)地质灾害风险阈值研究

张新宜, 潘梦莹, 童红梅, 吴松, 黎奇, 罗旋, 林丽华

黄石市气象局, 湖北 黄石

收稿日期: 2026年6月8日; 录用日期: 2026年8月21日; 发布日期: 2026年9月1日

摘要

本文对阳新县的地质灾害隐患点信息和地质灾害信息进行汇总, 并对地质灾害的种类进行分类, 确定不同种类地质灾害的重点防范区; 应用阳新县国家站降水资料(1974~2024年)、区域站降水资料(2014~2024年)和地质灾害资料, 研究重点防范区暴雨(强降雨)与不同种类地质灾害发生的关系, 确定了暴雨风险阈值, 建立了不同种类地质灾害的致灾模型, 并应用2025年全年的降水资料对模型进行检验, 结果表明: 不是所有中高风险都会导致灾害发生, 但灾害的发生, 在模型结果里会有所提示, 该研究成果为预警精准化提供核心定量依据, 效果显著。

关键词

地质灾害, ID曲线模型, 致灾模型

Study on Risk Threshold of Geological Disasters Induced by Heavy Rainfall in Yangxin County, Hubei Province

Xinyi Zhang, Mengying Pan, Hongmei Tong, Song Wu, Qi Li, Xuan Luo, Lihua Lin

Huangshi Meteorological Bureau, Huangshi Hubei

Received: June 8, 2026; accepted: August 21, 2026; published: September 1, 2026

Abstract

This paper summarizes information on geological disaster hidden danger points and geological disasters in Yangxin County, classifies the types of geological disasters, and identifies key prevention zones for different types of geological disasters. Using precipitation data from national stations

文章引用: 张新宜, 潘梦莹, 童红梅, 吴松, 黎奇, 罗旋, 林丽华. 湖北省阳新县暴雨(强降雨)地质灾害风险阈值研究[J]. 自然科学, 2026, 14(5): 529-534. DOI: 10.12677/ojns.2026.145057

(1974~2024) and regional stations (2014~2024) in Yangxin County, along with geological disaster data, the study investigates the relationship between heavy rainfall (intense precipitation) and the occurrence of different types of geological disasters in key prevention zones. The rainfall risk thresholds are determined, and disaster-inducing models for different types of geological disasters are established. The models are validated using precipitation data for the entire year of 2025. The results show that not all moderate-to-high risk events lead to disasters; however, disaster occurrences are indicated in the model outputs. The research provides core quantitative support for precise early warning, demonstrating significant practical effects.

Keywords

Geological Disaster, Intensity-Duration (ID) Curve Model, Disaster-Inducing Model

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

近年来,极端天气气候事件总体呈多发态势,所引发的地质灾害致灾严重。2024年6月中旬,华南地区遭受大范围强降雨袭击,引发严重洪涝和地质灾害,造成3省(区)280万人不同程度受灾,死亡失踪91人,直接经济损失321.3亿元;2024年4月中下旬至5月初,广东多地持续强降雨和强对流天气引发严重暴雨洪涝和地质灾害,造成68.1万人不同程度受灾,死亡失踪74人,直接经济损失55.4亿元。

阳新县地处鄂东南低山丘陵区,属幕阜山脉向长江冲积平原过渡地带,西部和南部山脉密集,地质岩层构造复杂,地表水系及地下潜伏的岩溶,具有易于发生地质灾害的自然地质条件。国内有很多学者对此进行过相关研究,孙鹏[1]等对横断山区汶川县滑坡泥石流降雨致灾阈值进行研究,为汶川县极端降雨诱发滑坡泥石流灾害事件的防灾减灾提供精细化预报预警;李慧娟[2]等对湖北省地质灾害调查进行评价展望;向进洋[3]等对湖北省突发地质灾害诱因的时空分布特征与风险防控对策进行研究;严亮轩等[4]等采用基准阈值和阈值调整方案构建斜坡尺度的降雨诱发斜坡失稳风险的气象预警模型;龚泉冰[5]等针对传统单一I-D(降雨强度-历时)缺陷,构建了降雨强度-累计有效降雨双指标预警模型。上述学者的研究都取得了一定的进展,阳新县年降雨量大,是全省的暴雨多发地区,有气象记录以来湖北省国家站日最大降雨量538.7毫米发生在阳新,强降雨利于诱发山体滑坡、泥石流等地质灾害,特别是持续降雨和汛期,地质灾害高发。近些年来,阳新县城镇建设、公路铁路建设、矿产资源开发等工程活动日益增强,不同程度破坏了地质结构和地表植被,人为诱发的地质灾害日趋增多,其中洋港镇崩山村卜峰尖泥石流在2015年被湖北省国土资源厅确定为省级地质灾害重点督办点,也是泥石流地质灾害防范的重中之重。所以对阳新县的地质灾害暴雨风险阈值研究,具有重大意义。本文针对县域地貌类型复杂,全域阈值适应性不足的问题,区分不同地质灾害诱发机理差异,结合短临降雨优化模型,有效提升了复杂山区县域地质灾害的精细化预警精度与适用性。

2. 资料与方法

2.1. 研究资料

为阳新县历史地质灾害和险情信息(资料来源为阳新县自然资源和规划局,2025年版);阳新县国家站降水资料(1974~2024年),区域站降水资料(2014~2024年)。阳新县的历史地质灾害主要为泥石流、滑坡、不稳定斜坡、崩塌和地面塌陷,有记录以来的地质灾害和险情发生过182次,其中151次发生在6

月和7月, 占比83%, 其中较严重的灾害均发生在6月和7月。

2.2. 方法

阳新县南部为500~800米的山地, 北部为低海拔平原, 降雨空间异质性较大, 利用 surfer 软件, 采用克里金差值方法将站点雨量数据处理为格点雨量栅格, 再叠加灾害点经纬度信息, 将站点雨量处理为灾害点对应的降雨量; 再研究降雨-历时与灾害发生的关系, 确定ID曲线, 并根据不同灾害的致灾机制不同, 分别建立模型。

3. 模型建立

3.1. I-D 阈值模型的建立

降雨是诱发地质灾害最主要、最常见的因素, 直接决定灾害发生的时间、规模和范围, 建立I-D(降雨强度-历时)临界曲线模型:

I-D 临界曲线模型是基于降雨诱发地质灾害的统计规律提出的经典预警模型, 早期研究多以累计降雨量作为预警指标, 但难以区分不同降雨模式对灾害启动的影响, 大量灾害实例表明, 触发地质灾害的临界降雨强度随降雨历时增加呈幂函数衰减, I-D模型正是基于这一规律建立, 通过收集区域历史地质灾害与对应降雨资料, 采用最小二乘法拟合得到 $I = a * D^{-b}$, 定量判断不同降雨条件下地质灾害的发生风险, 是目前地质灾害气象预警中的经典基础模型, 也是国际通用的降雨临界模型, 被广泛应用于全球不同地质和气候区。

I-D模型指在一定地质环境条件下, 触发地质灾害所需的降雨强度:

$$I = a * D^{-b}$$

I : 降雨强度(mm/h)

D : 降雨历时(h)

a 、 b 为拟合参数

两边取自然对数, 则:

$$\ln I = \ln a + b \ln D$$

令:

$$y = \ln I$$

$$A = \ln a$$

$$x = \ln D$$

则:

$$y = A + bx$$

对 n 组 (x_i, y_i) ,

$$b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$A = \frac{\sum y_i - b \sum x_i}{n}$$

再还原:

$$a = e^{-A}$$

即求得拟合参数 a 与 b ，经过计算得到：

$$a = 15.36, b = 0.61$$

即阳新县地质灾害风险 I-D 临界曲线为

$$I = 15.36 * D^{-0.61}$$

降雨历时、强度及雨量对照如表 1 所示：

Table 1. Comparison table of rainfall duration, intensity and rainfall amount

表 1. 降雨历时、强度及雨量对照表

降雨历时 D (h)	降雨强度(mm/h)	雨量(mm)
1	15.36	15.36
3	7.86	23.58
6	5.15	30.89
12	3.37	40.49
24	2.21	53.05

3.2. 不同地质灾害致灾模型的建立

I-D 临界曲线作为降雨地质灾害预警模型应用广泛，但仍存在若干局限，首先 I-D 模型仅关注降雨强度与历时两个变量，未纳入前期累积雨量，无法反应土体在前期降雨过程中的饱和程度，而阳新的三种地质灾害致灾机制差异显著，I-D 曲线仅提供一条临界阈值线，无法实现风险等级的逐步递进，针对上述不足，引入前 24 小时雨量和前期累积雨量作为重要影响因子，以弥补土体前期含水量无法体现的缺陷。

24 h 雨量 R_{24} ：

前期累计雨量 R_{total} ：

$$R_{total} = \sum_{i=1}^n k^i * R_i$$

R_i ： i 天雨量

k ： 衰减系数

n ： 有效天数(3 天)

则灾害风险指数致灾判别模型为：

$$Y = \alpha \cdot (a * D^{-b}) + \beta \cdot R_{24} + \gamma \cdot \sum_{i=1}^n k^i * R_i$$

简化为：

$$Y = \alpha \cdot I + \beta \cdot R_{24} + \gamma \cdot R_{total}$$

Y ： 灾害风险指数

I ： 降雨强度(mm/h)

R_{24} ： 24 h 雨量(mm)

R_{total} ： 前期累计雨量(mm)

α 、 β 、 γ ： 相关系数

3.2.1. 泥石流地质灾害致灾模型

泥石流的地质灾害重点防范区域(高风险区域)为洋港镇, 灾害隐患点有两个, 一是洋港镇崩山村, 另一个是洋港镇田畔村, 其中崩山村卜峰尖泥石流在 2015 年被湖北省国土资源厅确定为省级地质灾害重点督办点, 也是泥石流地质灾害防范的重中之重。泥石流地质灾害重点防范区域洋港镇。

短时强降雨是触发泥石流的主要因素, 短时强降雨导致土体入渗快, 汇流迅速, 1 h 雨强对启动机理起控制作用, 故雨强权重最高; 24 h 雨量决定土体饱和程度, 为次要触发因子; 前期雨量影响弱, 仅起辅助饱和作用, 权重最低。结合区域泥石流灾害事件统计拟合:

确定 $\alpha = 0.85, \beta = 0.10, \lambda = 0.05$

则: $Y_{泥} = 0.85I + 0.10R_{24} + 0.05R_{total}$

$40 \leq Y_{泥} < 60$: 中风险, 沟谷松散物趋于饱和, 可能启动

$Y_{泥} \geq 60$: 高风险, 强冲刷条件充分, 极易发生泥石流

3.2.2. 滑坡、崩塌和不稳定斜坡地质灾害致灾模型

滑坡、崩塌、不稳定斜坡重点防范区域(高风险区域)为洋港镇、龙港镇、王英镇、白沙镇、浮屠镇、兴国镇、枫林镇。

前期降雨决定初始含水率, 24 h 雨量控制土壤饱和度, 1 h 雨强控制冲刷与快速入渗, 经灾害与降雨数据回归验证:

确定 $\alpha = 0.70, \beta = 0.20, \lambda = 0.10$

则: $Y_{滑崩} = 0.70I + 0.20R_{24} + 0.10R_{total}$

$40 \leq Y_{滑崩} < 60$: 中风险, 浅表层饱和, 局部失稳可能

$Y_{滑崩} \geq 60$: 高风险, 边坡易整体滑动崩塌

3.2.3. 地面塌陷地质灾害致灾模型

地面塌陷的重点防范区域(高风险区域)为洋港镇、龙港镇、王英镇、排市镇、三溪镇、木港镇、白沙镇、浮屠镇、兴国镇、枫林镇、陶港镇、富池镇。

地面塌陷属长期渗流、软化、潜蚀渐进型灾害, 前期有效降水控制地下水位变化、土体软化及空洞充填物失稳, 前期累积降雨量影响较大, 结合坍塌事件时序与降雨过程拟合:

确定 $\alpha = 0.30, \beta = 0.25, \lambda = 0.45$

则: $Y_{塌陷} = 0.30I + 0.25R_{24} + 0.45R_{total}$

$40 \leq Y_{塌陷} < 60$: 中风险, 土体软化, 渗压升高, 存在隐伏塌陷风险

$Y_{塌陷} \geq 60$: 高风险, 洞体充填物失稳, 地面极易塌陷

三种致灾模型适用性如表 2 所示:

Table 2. Applicability of three hazard-inducing models
表 2. 三种致灾模型适用性

等级	种类	泥石流	滑坡、崩塌和不稳定斜坡	地面塌陷
中风险		$40 \leq Y_{泥} < 60$	$40 \leq Y_{滑崩} < 60$	$40 \leq Y_{塌陷} < 60$
高风险		$Y_{泥} \geq 60$	$Y_{滑崩} \geq 60$	$Y_{塌陷} \geq 60$

4. 结论与讨论

用阳新县地质灾害重点防范区的 2025 年国家站和区域站全年逐日、逐时降雨资料,应用 ID 曲线模型和泥石流、滑坡/崩塌/不稳定斜坡、地面塌陷三种地质灾害致灾模型计算重点防范区的地质灾害致灾风险。达到阈值的次数为 326 时次(国家站 1 个,区域站 29 个)。

泥石流、滑坡/崩塌/不稳定斜坡、地面塌陷三种地质灾害致灾模型计算致灾风险,如表 3:

Table 3. Hazard risks caculated by three types of geological disaster-inducing models
表 3. 三种地质灾害致灾模型计算的致灾风险

灾害种类及等级	次数
泥石流中风险	0
泥石流高风险	1
滑坡/崩塌/不稳定斜坡中风险	11
滑坡/崩塌/不稳定斜坡高风险	5
地面塌陷中风险	13
地面塌陷高风险	4

课题研究的模型建立所用资料截止至 2024 年 12 月 31 日,使用 2025 年阳新县地质灾害重点防范区的降水资料以及气象灾害信息进行检验,

2025 年阳新县地质灾害信息:4 月 11 日在枫林镇沿冲村一里坳出现滑坡和落石,无人员伤亡和财产损失。

天气实况:4 月 11 日 08 时~4 月 12 日 08 时,阳新县多云转中到大雨,局部暴雨,单站大暴雨,伴有雷暴大风、短时强降水、局地小冰雹,最大降雨量 121.5 毫米出现在枫林镇枫林站,小时最大降雨量 62.1 毫米出现在 20~21 时,20~22 时三小时累计雨量 94.5 毫米。

模型运行结果:满足 I-D 临界曲线, $Y_{\text{滑崩}} = 66.2$, 风险等级为高风险。

通过对 2025 年全年的降水资料检验发现,不是所有中高风险都会导致灾害发生,但灾害的发生,在模型结果里会有所提示,所以在实际工作中,根据模型的结果要进行综合分析研判是否发布预警产品。

同时模型的建立受数据源以及地质环境复杂性制约,也存在一定的局限性:(1) 模型对地质条件的刻画存在简化处理,难以完整表征真实地质结构差异;(2) 模型未实现人为扰动动态量化,区域内人类活动具有随机性和动态变化特征,难以通过静态地质参数完全表征。模型在实际业务中有待于进一步优化。

参考文献

- [1] 孙鹏,胡磊,胡玉乾,等. 横断山区汶川县滑坡泥石流降雨致灾阈值研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2023, 59(2): 187-195.
- [2] 李慧娟,杨涛,陈梦源,等. 湖北省地质灾害调查评价进展与展望[J].中国地质灾害与防治学报, 2026, 37(1): 134-144.
- [3] 向进洋,邵安阳,陶峰,等. 湖北省突发地质灾害诱因的时空分布特征与风险防控对策[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2026, 37(0): 1-16.
- [4] 严亮轩,张义顺,龚泉冰,刘谢攀,朱浩濛,殷坤龙,陈丽霞. 降雨诱发斜坡失稳风险的气象预警[J]. 浙江大学学报(工学版), 2024, 58(6): 1174-1184.
- [5] 龚泉冰,殷坤龙,肖常贵,陈丽霞,严亮轩,曾韬睿,刘谢攀. 基于 I-D 阈值的滑坡气象预警双指标模型[J]. 地质科技通报, 2024, 43(1): 262-274.