

文章编号: 1006-4362(2023)03-0015-08

“8·3”鲁甸地震背景下甘沟流域泥石流危险性评价

阮正峰¹, 霍建宇², 李四堂², 雷阳², 周旭萌³, 杨加明¹,

罗奕⁴, 熊弢¹, 熊太友⁵, 郭婷婷¹

- (1. 昆明理工大学国土资源工程学院, 昆明 650093; 2. 云南地质工程勘察设计院有限公司, 昆明 650093;
3. 云南地矿地质工程有限公司, 昆明 650041; 4. 赛恩斯环保股份有限公司, 长沙 410007;
5. 东方地球物理勘探有限公司, 成都 610213)

摘要: 2014年8月云南省鲁甸县发生6.5级地震, 位于震源中心地带的甘沟流域受地震影响, 诱发大量次生地质灾害, 流域内松散堆积物增加, 泥石流灾害的潜在危险增大, 对沟口集镇造成威胁。本文基于对甘沟流域野外实地调查, 综合考虑降雨对震后泥石流的影响, 选取泥石流规模、流域面积、日最大降雨量、主沟长度、相对高差、流域切割密度、不稳定沟床比等7个评价因子, 通过调整分辨系数为0.2272的灰色关联法确定其客观权重, 并在此基础上采用多因素综合评价方法计算泥石流危险度, 对其进行危险性定量评价。结果表明, 震后甘沟流域泥石流危险性属中度危险, 诱发中等规模泥石流的可能性较大。

关键词: 甘沟泥石流; 灰色关联法; 多因素综合评价法; 危险性评价

中图分类号: P642.23 **文献标识码:** A

RISK ASSESSMENT OF DEBRIS FLOW IN GAN GOU RIVER BASIN UNDER THE BACKGROUND OF “8·3” LUDIAN EARTHQUAKE

RUAN Zeng-feng¹, HUO Jian-yu², LI Si-tang², LEI Yang², ZHOU Xu-meng³,

YANG Jia-ming¹, LUO Yi⁴, XIONG Tao¹, XIONG Tai-you⁵, GUO Ting-ting¹

- (1. Faculty of Land Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;
2. Yunnan Geological Engineering Survey and Design Research Institute Co. LTD, Kunming 650093, China;
3. Yunnan Geology and Mineral Geology Engineering Co. LTD, Kunming 650041, China;
4. Sainz Environmental Protection Co., LTD, Changsha 410007, China;
5. Dongfang Geophysical Exploration Co., Ltd., Chengdu 610213, China)

Abstract: On August 3, 2014, an earthquake occurred in Ludian, Yunnan Province. The Gangou River Basin in the center of the earthquake was affected by the earthquake, which induced a large number of secondary geological disasters. The increase of loose accumulated materials and the potential danger of debris flow disasters posed a threat to the towns in the river mouth. Based on the field investigation of the Gangou watershed, considering comprehensively the impact of rainfall on debris flow after the earthquake, this paper selected seven evaluation factors, such as debris flow scale, drainage area, maximum daily rainfall, main channel length, drainage area relative relief, drainage area cutting density and

收稿日期: 2022-08-27 改回日期: 2022-11-14

基金项目: 国家自然科学基金(51064012; 51264018; 41402272); 云南省教育厅科学研究基金项目(2018JS029)

shifting bed proportion to determine the objective weights through the adjustment of the gray correlation method with the resolution coefficient of 0.227 2, on the basis of which, the multi-factor comprehensive evaluation method was used to calculate the risk of debris flow and its risk quantitative evaluation. The results showed that the risk of debris flow in Gangou river basin was moderate and the possibility of inducing medium-scale debris flow was greater.

Key words: debris flow in Gangou Valley; grey correlation method; multi-factor comprehensive evaluation method; risk assessment

泥石流是指发生于山区或地形险峻地区的突发性地质灾害现象,对人类的财产和生命造成巨大的危害及威胁^[1,2]。泥石流危险性评价是对泥石流潜在危险性进行客观的评估,一般用危险度定量表征其危险性。近年来,许多学者对泥石流危险性评价方法进行了诸多研究,利用层次分析法、模糊综合评判法、人工神经网络法、信息量法、机器学习法等方法对泥石流危险性进行评价^[3]。由于诱发泥石流灾害由多个因素共同作用,其原因较为复杂,故需综合多个因素进行计算,因此,各因素权重的选取具有局限性,评价方法缺少主观依据。本文根据数据的客观规律调整分辨系数,使灰色关联法获得的客观权重更加可靠。通过多因素综合评价法将客观权重与量化后的数据结合对泥石流灾害危险性进行定量评价。

甘沟流域位于云南省昭通市鲁甸县龙头山镇,为龙泉河一级支沟,沟口正对集镇(图 1)。该流域在 1997 年 5 月曾突发泥石流,这次泥石流造成 28 人伤亡,冲毁房屋 70 余间,淹没耕地约 280 hm²,严重破坏了当地的交通、通讯及基础设施^[4](图 2)。泥石流发生后,当地政府采取拦挡坝治理措施,及时防止了该流域泥石流的发生。但经过走访调查,甘沟流域在 2017 年 6 月仍爆发了泥石流,导致一处拦挡坝出现缺口并造成了拦挡坝附近泥石流淤积(图 3)。

2014 年 8 月 3 日,云南省昭通市鲁甸县发生 6.5

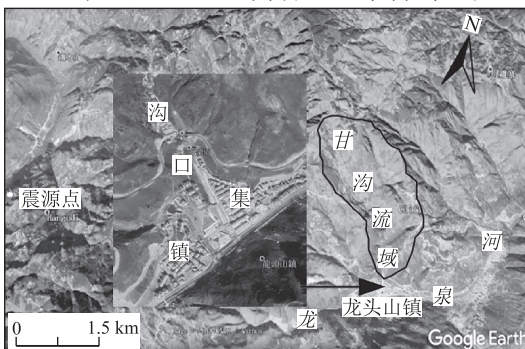


图 1 甘沟流域位置图(图片来自 Google Earth)



图 2 1997 年 5 月 8 日泥石流掩埋桥梁(调查收集)



图 3 拦挡坝缺口及附近泥石流堆积(调查收集)

级地震,甘沟流域位于震源中心位置,地震烈度达 9°(图 4)。这次地震诱发了大量的次生地质灾害,据统计,甘沟流域震后新增滑坡 6 处,崩塌 2 处及不稳定斜坡 7 处,增加松散堆积体 $30.61 \times 10^4 \text{ m}^3$,为

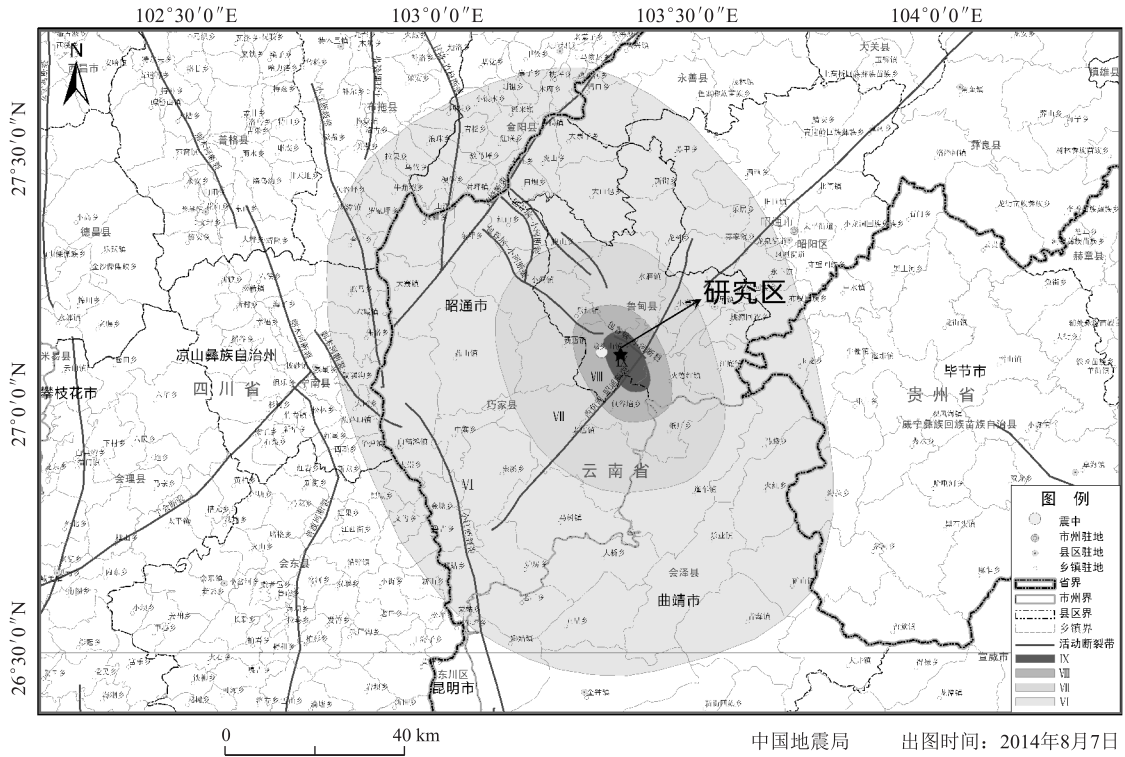


图 4 鲁甸“8·3”6.5 级地震烈度图(图片来自中国地震局)

甘沟泥石流爆发提供充足物质来源^[5]。受地震影响,泥石流沟道中有崩塌堆积物,随着松散物源增加,拦挡坝已经被填满,失去了拦挡作用(图 5~6)。地震的发生,一方面造成该流域内物源量增加,促进了泥石流的爆发^[6];另一方面,震区泥石流有明显的滞后特征,其在震后的 10~20 a 仍将处于活跃期^[7,8]。因此,震后甘沟流域在 10~20 a 内,若受强降雨影响,诱发泥石流灾害的可能性依然较大。该流域一旦发生泥石流,将威胁位于沟口集镇附近 1000 余人的生命财产安全及道路、桥梁设施。因此,本文通过对甘沟流域进行泥石流危险性评价,探讨其发展趋势,以期对泥石流的防治、预警提供理论支撑以及科学依据。

1 甘沟流域泥石流形成条件分析

1.1 地形条件

甘沟流域呈树叶状形态,整个流域自北向南延展,流域面积 3.45 km²,主沟长度 3.66 km,主沟纵坡降约 275‰。甘沟流域内河流下蚀、侧蚀较为严重,河谷切割深度较大,易发生泥石流灾害。

甘沟流域属于强构造侵蚀高中山地区,受河流侵蚀作用影响,下切严重,呈现为构造侵蚀中山峡谷地貌,两侧山势较为陡峭,沟谷切割深度大。整个流域呈北高南低之势,东西两侧海拔在 2 574~



图 5 拦挡坝附近泥石流淤积^[4]



图 6 崩塌堆积物^[4]

1 566 m 之间,相对高差约 1 008 m,在河流侵蚀作用下,沟谷及沟谷两侧剥蚀现象较为严重,使流域地

貌呈现出多样性的特点。主沟两侧滑坡区坡度在 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 之间,易引发滑坡、崩塌、泥石流等灾害^[9]。因此,该流域具备适宜滑坡、泥石流发育的地形条件。

1.2 降雨条件

甘沟流域位于东经 $103^{\circ}22'48.05''$,北纬 $27^{\circ}07'2.93''$ 处,属温带高原季风气候。据鲁甸县气象资料,甘沟流域每年5~9月降雨集中,雨季月平均雨量约150 mm,占全年降雨量约79%,其中,6~8月降雨较强烈,约为年降雨量的1/2,日最高降雨可达93.2 mm(图7)。根据研究表明,降雨量是泥石流水源条件重要的影响因素之一^[10,11]。因此,甘沟流域雨季集中性强降雨极易诱发泥石流灾害,为泥石流的启动提供了充足的降雨条件。

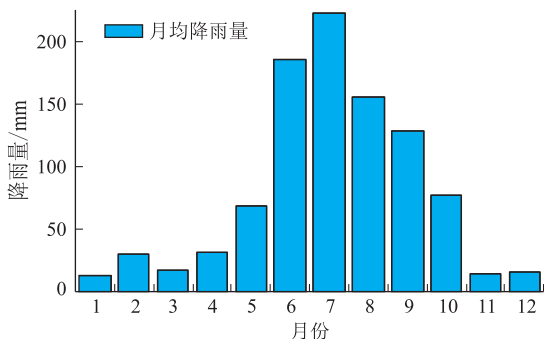


图7 甘沟流域月平均降雨情况柱状图(中国气象局)

综上,甘沟流域在地形地貌、地质构造、地层岩性和气候等因素影响下,极易形成沟谷型降雨泥石流,其主要诱发条件主要有以下3个方面:独特的地形条件、雨季降水提供的动力条件及丰富的固体物源条件^[9]。其中,甘沟流域北高南低的地势和陡峭的地形易爆发泥石流;区域内地层易风化且破碎,部分地层岩性具有亲水性,抗剪强度低,风化、侵蚀作用明显,在地震作用影响下,岩体易发生滑坡、崩塌等地质灾害现象,为泥石流的启动提供了充足的物质来源;每年6~8月的集中强降雨为流域集水启动泥石流提供了水力条件。

1.3 物源条件

甘沟流域位于滇东多字型构造与绿汁江-小江南北构造带东缘共同作用地带,在两大构造带作用之下,断裂众多、岩石风化较为严重。此外,该流域地壳运动活跃,地震频发,2014年至今,鲁甸地区共发生地震40余次,震源深度大多介于5~10 km,特别是“8.3”鲁甸地震,加剧岩体的节理发育,致使沟谷两侧坡体失稳,诱发滑坡、崩塌,增加了充足物质来源。

甘沟流域内主要出露新生界第四系泥石流堆积层、残破积层及中生界二叠系上统、下统。上覆为第四系含角砾粉质黏土,下伏地层岩性主要为二叠系玄武岩、灰岩、白云质灰岩、砂岩及泥岩等。受地震影响,流域内岩土体强度快速降低,容易参与泥石流活动^[8]。上述岩性中,玄武岩、灰岩、白云质灰岩受构造、风化等作用下,岩体破碎;砂岩、泥岩具有亲水性,遇水软化后物理力学性质降低,岩体较为破碎。受地震及构造作用的影响,该流域内岩层易发生滑坡、崩塌等地质灾害,形成松散堆积体,易爆发泥石流。查阅文献得知,甘沟流域内松散物源主要分为3种:沟道物源、坡面物源、崩滑物源。沟道物源主要为沟道床、岸坡内堆积的山洪或早期泥石流松散堆积体;坡面物源主要是指分布于山腰及坡脚的残坡积物,在甘沟中上游至流域分水岭区域大量分布;崩滑物源是指因地震等作用导致的两岸山体崩塌、滑坡等形成的堆积体,主要分布于形成区主沟岸坡。其中沟道物源总量为 $13.84\times 10^4\text{ m}^3$,坡面物源总量分别为 $113.14\times 10^4\text{ m}^3$,崩滑物源总量为 $118.88\times 10^4\text{ m}^3$,总静储量为 $235.86\times 10^4\text{ m}^3$,可能参与泥石流启动的总动储量为 $106.727\times 10^4\text{ m}^3$ 。物源总体分布情况见图8。

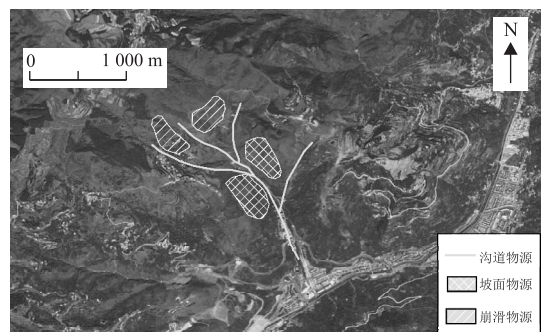


图8 甘沟流域物源分布平面图

2 甘沟流域泥石流危险性评价

2.1 评价理论和方法

泥石流的危险性评价是对泥石流在未来一段时间内发展趋势的评估,一般用危险度定量表征其危险性^[9,11,12]。由于诱发泥石流灾害由多个因素共同作用,其原因较为复杂,故需综合多个因素进行计算。多因素综合评价方法适用于多因素共同影响的复杂问题,为泥石流危险度计算提供了合适的解决方法,其表达式为^[13]:

$$H = \sum_{i=1}^n \omega_i X_i \quad (1)$$

其中, H 为泥石流的危险度(0~1); ω_i 为相对应变

量权重; X_i 为泥石流评价因子。

本文根据数据的客观规律调整分辨系数,使灰色关联法获得的客观权重更加可靠。通过多因素综合评价法将客观权重与量化后的数据结合对泥石流灾害危险性进行定量评价,最终确定评价结果,并将评价结果进行分级。分级标准采用刘希林泥石流危险度分级,将危险度分为 4 级,0~0.35 为轻度危险,0.35~0.6 为中度危险,0.6~0.85 为高度危险,0.85~1 为极度危险^[14]。

2.2 评价因子选取

地震诱发大量次生地质灾害,使流域内固体松散物源储量增加,放大了泥石流规模^[15,16]。危险性评价因子的选取应具有明确的物理意义和代表性,各因子间相互独立并易获取及量化。根据震后甘沟流域泥石流松散物源的增加情况、适宜泥石流发生的地形地貌及雨季集中降雨等条件选取以下 7 个评价因子来评价甘沟流域泥石流危险性^[14,17,18]。

泥石流规模 x_1 (m^3): 单次泥石流(可能)的最大冲出量,决定着遭受泥石流损害可能性的大小,是直接影响因素之一。

流域面积 x_2 (km^2): 影响着沟谷流域松散物源量进而影响泥石流规模。

主沟长度 x_3 (km): 决定泥石流沿程接纳松散物源量,影响泥石流破坏力。

流域相对高差 x_4 (km): 决定泥石流的势能,是泥石流的动力条件。

流域的切割密度 x_5 (km/km^2): 反应支沟侵蚀情况。

不稳定沟床比 x_6 (%): 反应泥沙补给情况。

日最大降雨量 x_7 (mm): 日最大降雨量反映了流域时段降雨与瞬时降雨情况。

在进行定量化分析前,需将不同量纲的评价因子数据归一化处理,使原始数据转化为 0~1 范围之间,如表 1。其中, $x_1 \sim x_6$ 根据刘希林提出的转化函数进行转化^[17]; x_7 的转化: 当 x_7 大于 100 mm 时取 1, 当 x_7 小于等于 100 mm 时,按线性比例取值^[14]。

利用上表,得到其计算数据,见表 2。

2.3 判断评价因子的权重

评价因子的权重反映了各因子对泥石流危险度的贡献情况。邓聚龙在 1987 年提出了一种结合数据无统计规律以及适用于非线性的定量分析法,通过对数据进行无量纲化,选出参考序列并计算得出各因素间的密切程度,从而确定其权重^[20]。灰色关联法过程如下:

2.3.1 序列及无量纲化^[20,21]

选取泥石流的规模大小作为参考序列,利用其余评价因子作为比较序列,如下:

表 1 单沟泥石流危险度评估因子的转换函数^[14,17]

评价因子与转化值(0~1)	转换函数($x_1 \sim x_8$ 为实际值)
X_1	$X_1 = 0$, 当 $x_1 \leq 1$ $X_1 = \log_m / 3$, 当 $1 < x_1 \leq 1\ 000$ $X_1 = 1$, 当 $x_1 > 1\ 000$
X_2	$X_2 = 0.245\ 8x_2^{0.349\ 5}$, 当 $0 \leq x_2 \leq 50$ $X_2 = 1$, 当 $x_2 > 50$
X_3	$X_3 = 0.290\ 3x_3^{0.537\ 2}$, 当 $0 \leq x_3 \leq 10$ $X_3 = 1$, 当 $x_3 > 10$
X_4	$X_4 = 2x_4 / 3$, 当 $0 \leq x_4 \leq 1.5$ $X_4 = 1$, 当 $x_4 > 1.5$
X_5	$X_5 = 0.05x_5$, 当 $0 \leq x_5 \leq 20$ $X_5 = 1$, 当 $x_5 > 20$
X_6	$X_6 = x_6 / 60$, 当 $0 \leq x_6 \leq 60$ $X_6 = 1$, 当 $x_6 > 60$
X_7	$X_7 = x_7 / 100$, 当 $0 \leq x_7 \leq 100$ $X_7 = 1$, 当 $x_7 > 100$

表 2 甘沟流域泥石流计算数据

评价因子	泥石流规模 ^[19] / $10^4\ m^3$	流域面积 / km^2	主沟长度 / km	流域相对高差 / km	流域切割密度 / km/km^2	不稳定沟床比 / $\%$	日最大降雨量 ^[3] / mm
原始值	2	3.45	3.66	1.008	2.96	77	93.2
转换值	0.1	0.379	0.583	0.672	0.148	1	0.932

参考序列: $X_0 = \{x_0(1), x_0(2), x_0(3), \dots, x_0(k)\}, k=1, 2, 3, \dots, n;$

比较序列: $X_i = \{x_i(1), x_i(2), x_i(3), \dots, x_i(k)\}, i=1, 2, 3, \dots, m.$

其中, m 为评价因子的个数; n 为泥石流的条数。

将所有数据均值化,得到一个无量纲数列^[20]。

2.3.2 关联系数计算

点 k 的最大绝对差及最小绝对差计算过程如下^[22]:

$$(1) \Delta_{0j}(k) = |x_0(k) - x_j(k)| \quad (2)$$

$$(2) \Delta_{\max} = \max_0 \max_j |x_0(k) - x_j(k)| \quad (3)$$

$$(3) \Delta_{\min} = \min_0 \min_j |x_0(k) - x_j(k)| \quad (4)$$

关联系数计算过程如下:

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{\min} + K\Delta_{\max}}{\Delta_{0j}(k) + K\Delta_{\max}} \quad (5)$$

其中, $k=1, 2, 3, \dots, n.$

上式中的 K 为分辨系数,在传统的关联分析中,分辨系数一般取 0.5,但实际上,对分辨系数的取值进行改进,有助于提升关联系数计算结果的准

确性,进而使评价指标的权重更为合理。分辨系数 K 的确定方法如下^[23]:

$$\Delta_v = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n |x_0(k) - x_i(k)| \quad (6)$$

并记 $X = \frac{\Delta_v}{\Delta_{\max}}$, 则 K 的取值范围为: $X \leq K \leq 2X$; 上述计算中, 当 $\Delta_{\max} > 3\Delta_v$ 时, $X \leq K \leq 1.5X$; 当 $\Delta_{\max} \leq 3\Delta_v$ 时, $1.5X \leq K \leq 2X$ 。

2.3.3 关联度计算

将上述关联系数求平均值, 计算其关联度, 公式如下^[20]:

$$r_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \hat{\xi}_i(k) \quad (7)$$

2.3.4 权重计算

$$\bar{r}_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m r_i \quad (8)$$

$$\omega_i = \bar{r}_i / \sum_{i=1}^m \bar{r}_i \quad (9)$$

2.4 甘沟流域危险性评价

本文结合文献[14]中的9条泥石流沟数据与甘

沟泥石流数据共同构成关联序列, 通过均值化处理, 计算其关联度, 从而获取评价因子的权重。

2.4.1 关联度计算

将均值化的数据分别代入公式(2)~(7)中, 即可得到评价因子的关联度。本文通过求出参考序列和比较数列在 k 处的绝对差值, 绝对差的最大值 $\Delta_{\max} = 6.231$, 最小值 $\Delta_{\min} = 0.001$, 由公式(6)可得 $\Delta_v = 0.943827$, 则 $X = 0.151469$ 。因 $\Delta_{\max} > 3\Delta_v$, 表明序列存在异常值, 需削弱 Δ_{\max} 的作用, 故 $K = 1.5X$, 取 0.227203 。通过分辨系数计算的关联度如表3。

通过表3可知: 当 $K = 0.2272$ 时, 关联度分布区间为 $[0.75046, 0.63492]$; 当 $K = 0.5$ 时, 关联度分布区间为 $[0.85403, 0.77247]$, 关联度分布区间变大, 说明 K 的取值抑制了 Δ_{\max} 的影响。

2.4.2 权重计算

将关联度代入公式(8)、(9)中, 可得到各评价因子的权重, 结果如表4。

表3 不同分辨系数下的关联度

K	r_{12}	r_{13}	r_{14}	r_{15}	r_{16}	r_{17}
0.2272	0.75046	0.67169	0.67809	0.65602	0.63492	0.63591
0.5	0.85403	0.79932	0.80411	0.79186	0.77247	0.77443

表4 甘沟流域泥石流危险性的7个评价因子的权重

评价因子	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
权重 $K=0.2272$	0.1989	0.1493	0.1336	0.1349	0.1305	0.1263	0.1265
$K=0.5$	0.17253	0.14734	0.13790	0.13873	0.13662	0.13327	0.13361

2.4.3 危险度计算

根据刘希林对泥石流危险度的划分(表5), 将表2、表3中的转换值及所占权重代入到公式(1)中, 计算得出泥石流的危险度 H , 利用文献[14]中的泥石流数据与甘沟结合验证, 结果如表6。

表5 泥石流危险度分级标准

泥石流危险度	≤ 0.35	$0.35 \sim 0.60$	$0.60 \sim 0.85$	≥ 0.85
泥石流危险性	轻度危险	中度危险	高度危险	极度危险

表6 危险度及危险级别

沟名	本文方法		危险级别	文献[14]		相对误差	
	危险度			危险度	危险级别	$K=0.2272$	$K=0.5$
	$K=0.2272$	$K=0.5$					
观音寺沟	0.2831	0.2956	轻度危险	0.2499	轻度危险	13.28%	18.27%
大鱼坝沟	0.4678	0.4807	中度危险	0.4470	中度危险	4.66%	7.54%
直溪沟	0.5227	0.5319	中度危险	0.4999	中度危险	4.55%	6.41%
白纸房沟	0.5196	0.5303	中度危险	0.5411	中度危险	3.97%	1.99%
美翁沟	0.6803	0.6947	高度危险	0.7263	高度危险	6.34%	4.35%
五郎庙河	0.4528	0.4688	中度危险	0.4323	中度危险	4.74%	8.44%
大箐沟	0.6937	0.7025	高度危险	0.7116	高度危险	2.52%	1.29%
蒋家沟	0.9447	0.9510	极度危险	0.9998	极度危险	5.51%	4.88%
白泥沟	0.5456	0.5493	中度危险	0.5675	中度危险	3.85%	3.21%
甘沟	0.5086	0.5248	中度危险				

2.4.4 结果分析

通过对上述计算结果的分析可知:(1)根据相关文献记载,1997年甘沟流域特大泥石流的直接诱发因素是短时强降雨,本文考虑降雨条件对该流域泥石流的影响,评价结果更符合该流域泥石流的实际情况^[24]。(2)本文对于泥石流危险度的计算结果与文献^[14]存在一定的差异,但两者泥石流危险性一致,由此可知:本文根据评价因子间的关联度确定各因子权重构建评价模型是合理的,并且通过调整分辨系数,使相对误差范围控制在2%~14%,尤其是对中度危险泥石流相对误差控制在5%以内,验证了甘沟流域泥石流危险性评价结果的可靠性。(3)受地震影响,该流域诱发了大量的次生地质灾害,积累了大量松散物质。2014年8月3日至今,甘沟流域危险度为0.5086,属中度危险,在雨季强降雨的诱发下,易发生中等规模泥石流灾害。通过2017年6月份发生的泥石流灾害可以证明这一点。(4)通过相关研究,遭受地震后山区泥石流灾害有明显的滞后作用,震后10~20a泥石流灾害仍处于活跃期^[6-9],由此可知,甘沟流域在未来一段时间内诱发中等规模泥石流的可能性仍然较大。

3 甘沟流域泥石流危险区预测

泥石流堆积区对研究泥石流形成具有重要的意义,预测泥石流堆积区的最大危险范围,可以为泥石流灾害防灾减灾提供一定的科学依据。本文依据《泥石流灾害防治工程勘察规范》中的经验公式预测甘沟流域泥石流堆积区的最大危险范围^[25]:

$$s = 0.6667L \times B - 0.0833B^2 \sin R / (1 - \cos R) \quad (10)$$

式中, L 、 B 是泥石流最大堆积长度及宽度(km)^[25]:

$$L = 0.8061 + 0.0015A + 0.000033W$$

$$B = 0.5452 + 0.0034D + 0.000031W$$

R 是泥石流堆积幅角(度)^[25]:

$$R = 47.8296 - 1.3085D + 8.8876H$$

其中, A 为流域面积, km^2 ; W 为松散固体物质储量, 10^4 m^3 ; D 为主沟长度, km ; H 为最大高差, m 。

通过计算可知,甘沟流域泥石流的堆积长度、宽度分别为0.8191 km和0.565 km;堆积幅角为 51.9992° ;最大危险范围达 0.254 km^2 。通过计算数据结合该流域沟口的实际情况,甘沟流域最大可能危险范围如图9,故该泥石流对沟口集镇有成灾的可能,并且对龙泉河有堵江的危险。

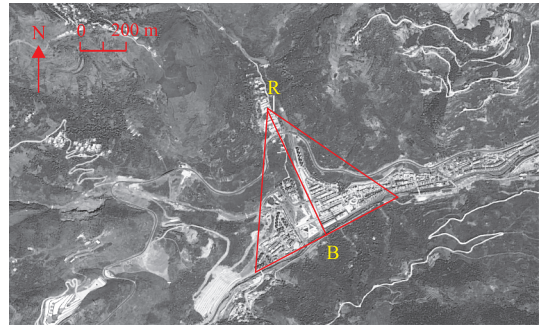


图9 甘沟流域泥石流最大可能危险范围
(图片来自 Google 地图)

4 防治措施及建议

根据甘沟流域危险程度及发展趋势,提出以下防治措施与建议。

(1) 防治工程

建议可对现有已淤满3座拦挡坝进行叠坝加高,并根据松散物源储量合理新建拦挡坝^[26];对现有的泥石流排导槽进行清淤,保证过流能力;对震后形成的滑坡、崩塌堆积物采取生物防治措施,尽快恢复植被,加强固土能力。

(2) 加强监测

降雨是甘沟泥石流的主要诱发因素,建议在雨季加强对甘沟流域的监测,安排专人进行巡逻。如遇强降雨天气,应做好应急措施,巡逻人员发现异常应及时发出警报。

5 结论

甘沟流域受地震影响,诱发大量次生地质灾害,增加了松散物源储量,在地形、地貌、构造、岩性、气候等共同作用下,泥石流诱发条件得到了发展,使泥石流灾害成为该流域潜在危险性较高的地质灾害。

本文基于评价因子的客观性及全面性,利用7个评价因子(泥石流规模、相对高差、主沟长度、流域面积、流域切割密度、不稳定沟床、日最大降雨量等)对震后泥石流危险性进行评价。以泥石流规模为主要危险因子应用调整分辨系数后的灰色关联法确定其客观权重并采用多因素综合评价法构建定量化评价模型,评价结果较为合理、可靠,为该流域泥石流的防治提供了理论支撑。

本文根据灰色关联法得到甘沟流域泥石流危险度为0.5086,属于中度危险等级。根据震后泥石流的滞后作用,该流域诱发中等规模泥石流的可能性仍较大,特别是雨季强降雨条件下,甘沟流域易发生泥石流灾害。

甘沟流域泥石流堆积区的最大危险范围达0.254 km²,对沟口集镇已有成灾隐患,且有可能造成堵江危险,需根据其松散物源储量及危险程度采取合理的防治措施并加强监测,以此来减轻该流域泥石流灾害。

参考文献

- [1] 潘懋,李铁峰. 灾害地质学[M]. 北京:北京大学出版社,2012:124-132.
- [2] 邓恩松,魏学利,李宾,等. 中巴公路奥布段降雨型泥石流危险性评价[J]. 科学技术与工程,2018,18(3):1-8.
- [3] 易思材,张明文. 绿春县半坡乡某村泥石流发育特征及危险性评价[J]. 地质灾害与环境保护,2022,33(1):15-23.
- [4] 许彬. 云南鲁甸龙头山集镇甘沟泥石流活动特征与防治对策[D]. 中国地质大学(北京),2018.
- [5] 陈宁生,崔鹏,王晓颖,等. 地震作用下泥石流源区砾石土体强度的衰减实验[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(16):2743-2747.
- [6] 崔鹏,韦方强,何思明,等. “5·12”汶川地震诱发的山地灾害及减灾措施[J]. 山地学报,2008,26(3):280-282.
- [7] Y Zhiquan, H Kepeng, G Tingting. Activity evaluation of debris flow disasters in NiuMiangou valley, the epicentre of Wenchuan earthquake [J]. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, January,2015:11395-11396.
- [8] 庄建琦,崔鹏,葛永刚,等. “5·12”地震后都汶公路沿线泥石流沟危险性评价[J]. 四川大学学报(工程科学版),2009,41(3):131-139.
- [9] 杨志全,张焜,杨溢,等. 汶川县麻柳沟泥石流流动力学特征及危险性评价[J]. 地质科技情报,2016,35(5):214-220.
- [10] 魏斌斌,赵其华,韩刚,等. 基于灰色关联法的地震灾区泥石流危险性评价——以北川县泥石流为例[J]. 工程地质学报,2013,21(4):525-533.
- [11] 曹长安. 新疆 S316 省道泥石流危险性评价及治理[D]. 西安科技大学,2016.
- [12] 霍建宇,郭婷婷,徐世光,等. 永胜刘官河流域泥石流灾害危险性评价[J]. 地质灾害与环境保护,2020,31(1):9-16.
- [13] Guo Tingting, Xu Shiguang, Yang Zhiquan. Risk evaluation of debris flow in the Cheng-hai valley of Yunnan province [J]. Applied Mechanics and Materials, July, 2011, 1366 (71-78): 1560-1561.
- [14] 刘希林. 泥石流危险性评价[M]. 北京:科技出版社,1995:1-18.
- [15] 孟晓捷,胡炜,张新社,等. 四川大光包-黄洞子沟特大泥石流基本特征、成因及危险性评价[J]. 西北地质,2014,47(3):147-156.
- [16] 刘清华,唐川,常鸣,等. 汶川地震强震区映秀地区泥石流的危险性[J]. 山地学报,2012,30(5):592-598.
- [17] 刘希林. 沟谷泥石流危险度计算公式的由来及其应用实例[J]. 防灾减灾工程学报,2010,30(3):241-245+261.
- [18] 祁龙. 泥石流沟活跃程度的评价方法[J]. 山地学报,2000,18(4):365-368.
- [19] 邓兵,杨秀元,蔡玲玲,等. 甘沟泥石流调查与危险性评价[J]. 中国水土保持,2016,37(6):48-50.
- [20] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉:华中工学院出版社,1987:17-31.
- [21] 管庆军,李小玲,胡才源. 冲门口泥石流危险度评价[J]. 泥沙研究,2017,42(2):41-46.
- [22] Liu Xilin, Wang Shige, Zhang Xinbao. Influence of geologic factors on landslides in Zhaotong, Yunnan province, China [J]. Environmental Geology and Water Sciences, January, 2005,19(1):17-20.
- [23] 吕锋. 灰色系统关联度之分辨系数的研究[J]. 系统工程理论与实践,1997,17(6):50-55.
- [24] 宗德孝,高必春. 1997年5月云南昭通两次大型泥石流灾害及防御对策[J]. 灾害学,1998,13(2):67-70.
- [25] 中华人民共和国国土资源部. 泥石流灾害防治工程勘察规范[S]. 2006.
- [26] 陈华清. 基于潼关“7.23”泥石流形成模式的矿山泥石流风险评估[D]. 长安大学,2012.

作者简介: 阮正峰(1995—),男,硕士研究生,主要研究方向:工程地质。E-mail:2296881244@qq.com

通讯作者: 郭婷婷(1984—),女,副教授,硕士生导师,主要研究方向:灾害地质与水文地质。E-mail:181604785@qq.com