

中国科技核心期刊 《中国科学引用文数据库》来源期刊 Caj-cd规范获奖期刊

THE CHINESE JOURNAL OF GEOLOGICAL HAZARD AND CONTROL

云南德钦县一中河泥石流成灾特征及危险性评价

宋 银,陈 亮,王 研,何 清,杨 林,巴净慧,陈 典

Formation mechanism and hazard assessment of debris flow in Yizhong River, Deqin County, Yunnan Province

SONG Yin, CHEN Liang, WANG Yan, HE Qing, YANG Lin, BA Jinghui, and CHEN Dian

在线阅读 View online: https://doi.org/10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202307040

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于数值模拟的群发性泥石流危险性评价

Risk assessment of mass debris flow based on numerical simulation: An example from the Malu River basin in Min County 曹鹏, 侯圣山, 陈亮, 冯振, 王立朝, 李昂, 刘军友 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(2): 100–109

汉源县工业园区硝厂沟泥石流成灾机理及其堆积范围分析

Disaster mechanism and its deposition area of the Xiaochang gully debris flow in Hanyuan County industrial park 蓝再成, 胡卸文, 曹希超, 黄光林, 白金钊, 冯霄 中国地质灾害与防治学报. 2024, 35(3): 61-69

云南维西哈达沟中频泥石流特征及堵溃危险性分析

Characteristics of intermediate frequency debris flow and analysis of the hazard of blockage in Hada gully, Weixi County of Yunnan Province

王翔弘绅, 胡桂胜, 杨志全, 倪化勇 中国地质灾害与防治学报. 2023, 34(2): 42-52

考虑降雨敏感度的泥石流危险性评价

Debris flow risk assessment considering different rainfall sensitivity: A case study in southeast Tibet 黄艳婷, 郭永刚 中国地质灾害与防治学报. 2023, 34(1): 129–138

汶川县绵镇板子沟 "8·20" 大型泥石流堵河特征及危害性预测

The river blockage characteristics of "8 \cdot 20" large-scale debris flow and the hazard prediction in Banzi gully in Miansi Town, Wenchuan County

王东伟,游勇,李道凌,柳金峰,孙昊,吕小波,王壮 中国地质灾害与防治学报. 2022, 33(1): 58-66

四川省冕宁县华岩子沟火后泥石流成灾机理

Disaster mechanism of post-fire debris flow in Huayanzi gully, Mianning County, Sichuan Province 张绍科, 胡卸文, 王严, 金涛, 杨瀛 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(5): 79-85



关注微信公众号,获得更多资讯信息

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202307040

宋银,陈亮,王研,等. 云南德钦县一中河泥石流成灾特征及危险性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2024, 35(5): 103-109. SONG Yin, CHEN Liang, WANG Yan, et al. Formation mechanism and hazard assessment of debris flow in Yizhong River, Deqin County, Yunnan Province[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2024, 35(5): 103-109.

云南德钦县一中河泥石流成灾特征及危险性评价

宋 银¹,陈 亮¹,王 研¹,何 清^{2,3},杨 林¹,巴净慧¹,陈 典¹ (1.云南地质工程第二勘察院有限公司,云南昆明 650218;2.中国地质科学院,北京 100081; 3.中国地质环境监测院,北京 100081)

摘要:云南省德钦县是我国遭受泥石流灾害最严重的地区之一。德钦县一中河曾多次暴发大规模的泥石流灾害,对沟口 处居民区及 G214 国道造成严重破坏和巨大经济损失。为探明一中河上游源区潜在物源在暴雨+地震工况下形成泥石流 灾害的危险区范围和启动机制,在现场调查和成因分析的基础上,以无人机贴近摄影成果高精度的 DEM 为地形数据,运 用 RAMMS 软件对暴雨+地震工况下体积为 16.05×10⁴ m³ 的泥石流进行模拟,划定了一中河流域内两处危险区,并阐述了一 中河泥石流灾害成灾模式。研究结果表明:一中河泥石流属于高原山区沟谷型黏性泥石流,具有规模大、高易发、危害 大的特点,其成灾机制概括为高位崩滑体-碎屑流-泥石流-堰塞湖-溃决洪水的沟谷灾害链;危险区 I 位于 G214 国道至德 维路区域,危险区 II 为沟口区域,此区域易发生堆积和堵塞,危险性极高;泥石流运动过程中最大流速达 23.93 m/s,最大冲 击力为 1 000 kPa,最大堆积深度为 9.33 m,泥石流一次最大冲出体积约 8×10⁴ m³,危险区范围约 0.31 km²。结果可为一中河 泥石流治理工程提供科学依据,对德钦县地质灾害综合防治能力提升具有重要实际意义。

关键词:德钦县;泥石流;G214国道;成灾机制;危险区;数值模拟

中图分类号: P642.23 文献标志码: A 文章编号: 1003-8035(2024)05-0103-07

Formation mechanism and hazard assessment of debris flow in Yizhong River, Deqin County, Yunnan Province

SONG Yin¹, CHEN Liang¹, WANG Yan¹, HE Qing^{2,3}, YANG Lin¹, BA Jinghui¹, CHEN Dian¹

(1. Yunnan Geological Engineering Second Reconnaissance Institute Co.Ltd., Kunming, Yunnan 650218, China;

2. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

3. China Institute of Geo-Environment Monitoring, Beijing 100081, China)

Abstract: Deqin County in Yunnan Province is among the most severely affected regions in China by debris flow disasters. The Yizhong River in Deqin County has witnessed numerous large-scale debris flow disasters, causing significant damage and substantial economic losses to residential areas and the G214 national road. To elucidate the range of hazard zones and initiation mechanisms of debris flow disaster triggered by potential sources in the upstream Yizhong River under conditions of heavy rainfall and earthquakes, this study conducted field investigations and causal analyses. High-precision Digital Elevation Model (DEM) data derived from close-range UAV aerial photography were utilized as topographic data. The RAMMS software simulated a debris flow of 16.05×10^4 m³ under heavy rain and earthquake conditions. Two hazardous zones within the Yizhong River Basin were delineated, and the disaster initiation mode of debris flow in Yizhong River was expounded. The results show

收稿日期: 2023-07-28; 修订日期: 2023-11-17 投稿网址: https://www.zgdzzhyfzxb.com/

第一作者: 宋 银(1994—), 男, 江西宜春人, 硕士, 工程师, 主要从事地质灾害防治工作。E-mail: 473828258@qq.com 通讯作者: 陈 亮(1992—), 男, 江西赣州人, 硕士, 工程师, 主要从事水工环地质工作。E-mail: 1091337873@qq.com

that the debris flow in Yizhong River belongs to the gully-type viscous debris flow typical of plateau mountainous regions, characterized by large scale, high frequency, and severe impact. Its disaster mechanism is summarized as a gully and valley disaster chain involving high-altitude landslide, debris flow, dammed lake, and flood breach. Risk zone I is located in the area from G214 national road to Dewei Road, while risk zone II is in the gully mouth area prone to accumulation and blockage, presenting high risk. During debris flow movement, the maximum flow velocity reached 23.93 m/s, maximum impact force was 1 000 kPa, maximum accumulation depth was 9.33 m, and the maximum single outburst volume of debris flow was approximately 80 000 m³, with a danger area of about 0.31 km². The research results provide a scientific basis for debris flow control projects in Yizhong River and are of practical significance for improving the comprehensive prevention and control of geological hazards in Deqin County.

Keywords: Deqin County; debris flow; G214 national road; disaster mechanism; risk zone; numerical simulation

0 引言

泥石流是我国西南山区常见的一种地质灾害之一, 具有突发性、危害范围广、破坏性大等特点^[1-3]。德钦 县是泥石流发育最严重的地区之一,泥石流暴发常会造 成县城区公路及民房建筑冲毁,给当地居民带来巨大的 经济损失。

近年来,数值模拟方法在泥石流灾害分析预测研究 中应用越来越广泛^[4]。王俊豪等^[5]运用 FLO^{2D} 软件模拟 德钦县直溪河泥石流不同暴雨周期下运动情况,并预测 泥石流的致灾范围;宋兵等^[6]利用 RAMMS 软件模拟白 沙沟泥石流 20 年一遇泥石流流量,预测不同洪水频率 下的运动状况。熊冲冲等^[7]利用 RAMMS 软件对锄头 沟泥石流进行模拟,得到泥石流运动参数特征;段学良 等^[8]运用 MASSFLOW 软件模拟杰仲沟极端条件下泥石 流灾害的运动过程,并评价其危险性。因此,运用数值 模拟分析方法预测泥石流的危险区范围,对泥石流防治 工程因害设防具有重要的意义。

目前,对于一中河泥石流的动力学特征进行数值模 拟的研究较少,多为传统的地面调查方法和定性评价。 为查清一中河上游源区潜在物源在暴雨+地震极端工况 下形成泥石流灾害的影响范围和成灾机制,本文利用无 人机贴近摄影高精度 DEM 作为地形数据,运用 RAMMS 软件模拟了一中河泥石流的运动过程,预测并评价其危 险性及范围,对于今后一中河泥石流防灾减灾工程具有 实际意义。

1 研究区概况

德钦县位于滇西北地区,地处横断山区纵谷地带, 属于典型的高山峡谷地貌。一中河位于德钦县升平镇, 为芝曲河左岸一级支沟。沟口分布有德钦县第一中 学、县委政府及公租房小区, G214 国道和德维公路多 次穿越泥石流沟流通区。一中河泥石流属于高原山区 沟谷型黏性泥石流,具有规模大、高易发、危害大的特 点。2019—2022年汛期曾多次发生泥石流灾害,对 G214国道和沟口建筑造成严重影响。

研究区经历了漫长的地质演变时期,构造行迹复杂,地震活跃,属于典型的高寒、高海拔、高烈度地区。 流域内主要分布灰色、深灰色板岩、变质石英砂岩、硅 质岩夹流纹岩。区域内活动构造运动发育,主要受第四 系活动断裂德钦—中甸大断裂(F3)和鲁村东断裂(F4) 影响较大(图1)。受活动断裂及次级断裂影响,岸坡岩 体结构破碎,节理裂隙发育,变质作用强烈。在短时集 中降雨即暴雨时期,一中河就会暴发大小规模不等的泥 石流灾害。

1.1 地形地貌

一中河流域平面形态为树叶状,呈东西向展布,表 现为东高西低。流域面积约 3.33 km²,主沟长 2.58 km。 最高点为 4 540 m,最低点为 3 066 m,相对高差 1 474 m, 沟床纵坡 189.80‰ ~ 765.70‰,沟域整体为冰蚀槽谷地 形,沟域内相对高差大,沟谷纵坡大。一中河流域全貌 如图 2 所示。形成区由南、北支沟组成,汇水面积仅 0.45 km²,海拔介于 4 390 ~ 3 314 m,高差 1 076 m,该段 沟长 1.99 km,平均纵坡为 765.70‰。流通区平均纵坡 为 282.40‰,堆积区平均纵坡为 189.80‰(图 3)。沟床 呈深"V"型,宽 1.0 ~ 5.0 m,岸坡坡度 30° ~ 80°。由于上 游源区未设工程,沟床纵坡降大,地表径流条件良好,坡 面侵蚀作用强烈,裸坡区松散岩体崩塌剥落发育,为泥 石流活动提供了持续的固体物源。

1.2 水源条件

区内水文地质条件复杂,主要为孔隙水和裂隙水, 以面状散流或泉的形式出露于基岩陡坎处。区内主要 接受大气降雨补给。一中河属高寒山区季节性河流,年



图 1 研究区位置及断裂分布图 Fig. 1 Location of the study area and distribution of faults



200 m

图 2 一中河流域全貌图 Fig. 2 Full overview of Yizhong River Basin

流量变化较大,流量 0.1~5 m³/s。根据资料统计,德钦 县全年平均降雨量 640 mm,降雨主要集中在 5—10 月。 最大日降雨量为 74.7 mm,最大 5 min 降雨达 7.1 mm, 具有短时集中强降雨的特点。暴雨为泥石流活动提 供良好的水动力条件,是一中河泥石流灾害的主要激发 因素^[9]。 1.3 物源条件

目前,通过采用无人机贴近摄影-InSAR 边坡雷达 监测-地面绳桥勘测的调查技术,基本查清了一中河流 域内地质灾害隐患、泥石流物源分布以及高位崩滑体 的地质结构与变形特征。岸坡岩体受到风化、冻融和 降雨等外动力地质作用影响,形成了多处高陡危岩带, 为泥石流形成提供了丰富的固体物源。一中河泥石流 物源主要包括冰碛物、滑坡、危岩崩塌、沟床堆积物、 沟岸坍塌和坡面侵蚀物源,沟床堆积物为主要物源。根 据此次调查,初步估算一中河泥石流松散固体物源储量 约为 1.141 2×10⁶ m³,可移储量约 25.23×10⁴ m³,一次最 大可移动储量约 2.34×10⁴ m³。一中河泥石流物源统计 见表 1。

2 泥石流发育特征及成灾模式

2.1 泥石流分区特征

一中河泥石流具有高海拔高纵坡降特性,属于典型



图 3 一中河泥石流沟 A—A'纵剖面图

Fig. 3 Longitudinal profile of A—A' section of Yizhong River debris flow gully

Table 1 Statistical table of sources of Yizhong River debris flow								
面积/(10 ⁴ m ²)	4.0	4.30	10.94	1.24	0.30	31.20	51.98	
体积/(10 ⁴ m ³)	30.0	40.12	27.25	3.70	0.80	12.25	114.12	
可移储量/(10 ⁴ m ³)	2.75	9.52	8.98	1.95	0.80	1.23	25.23	
一次最大可移储量/(10 ⁴ m ³)	0.14	0.55	0.90	0.39	0.24	0.12	2.34	

— 中河泥石流物源统计表 主 1

的高原山区暴雨沟谷型黏性泥石流,泥石流运动分区特 征明显[10]。根据一中河沟谷的地形、水流条件和物源 的分布特征,可分为泥石流的形成区、流通区和堆积 区,如图2所示。此外,一中河泥石流运动学特征具有 明显的链式规律,一般按高程从高到低可分为:高位启 动区、惯性加速区、动力侵蚀区和流通堆积区[11]。其 中,高位启动区为跌水坎以上基岩裸坡区,发育多个高 位崩滑体,因位置高而具有较大的势能。跌水坎以下 至 G214 国道处为惯性加速区和动力侵蚀区,以侧向侵 蚀、铲刮作用为主,多发育岸坡塌滑和坡面侵蚀。G214 国道以下至沟口为流通堆积区。

2.2 泥石流流体特征

2022年汛期暴发了5次泥石流,每次持续时间30~ 50 min。通过调查发灾时的泥石流流体情况,现场测得 泥石流容重为 2.2 t/m³, 龙头高达 2.5 m, 弯道超高达 1.2 m,

泥石流一次最大冲出量达 20 000 m³, 堆积物多为卵砾 石,无分选,磨圆度差。在G214国道以下的桥洞渡 槽易发生堵塞。一中河泥石流暴发特点为历时短、流 速快,堵塞严重,弯道超高和龙头较高,具有阵性,沿 途揭底拉槽现象明显,铲刮作用强烈,规模不断补给 壮大。

2.3 链式灾害成灾机制

根据一中河泥石流不同物源条件和启动机制分类, 可分为三种成因类型(图 4):一是暴雨型泥石流,松散 堆积层在短时集中降雨工况下,地表径流易形成暴雨型 泥石流;二是溃决型泥石流,由于一中河沟谷侵蚀切割 较深,岸坡岩体易发生坍塌堵塞沟道,演变为溃决型泥 石流;三是崩滑流型泥石流,上游源区发育高位危岩带 及崩滑体,在暴雨+地震极端工况下,可能发生高位岩体 崩滑-碎屑流-泥石流链式灾害[12-16]。



图 4 一中河泥石流启动机制 Fig. 4 Starting mechanism of Yizhong River debris flow

综合上述三种类型的泥石流启动机制,根据一中河 泥石流高位崩滑体的失稳机理、分布位置、启动特征等, 对沟域内提供物源的链式灾害进行分析,归纳其成灾机 制为高位崩滑体-碎屑流-泥石流-堰塞湖-溃决洪水的沟 谷灾害链(图 5)。在暴雨+地震极端工况下,发生此类 链式灾害的风险极大。崩滑体位于流域的顶部,具有较 大的势能,失稳碰撞解体后转化为碎屑流,以较高的速 度冲向下游。一中河频繁暴发的泥石流侵蚀冲刷坡脚, 导致沟岸坡体失稳,汇入沟道转化为泥石流。泥石流运 动过程中不断铲刮沿程碎屑物质,补给固体物源,从而 壮大泥石流的规模,这样不仅改变了流体性质和运动特 征,而且急剧增加了暴发泥石流链式灾害的可能性[17]。



图 5 一中河泥石流灾害成灾机制示意图



3 泥石流运动过程数值模拟

3.1 模型选取

RAMMS 软件中泥石流模块能够较好地模拟泥石 流的运动过程,获得最大流速、堆积深度和冲击力等动 力学特征参数^[18]。经研究表明,泥石流运动过程中会受 各种因素影响而改变流体的性质。考虑到泥石流运动过 程中固体颗粒之间的摩擦阻力,本文采用 Voellmy 流变 模型,该模型是基于 Voellmy 摩擦流变学。模型如下:

$$S = \mu N + \frac{\rho g u^2}{\varepsilon} \tag{1}$$

式中:S——摩擦阻力/Pa;

$$u - \bar{\pi} \bar{x} / (m \cdot s^{-1});$$

$$\rho$$
——密度/(kg·m⁻³);

ε——湍流系数/(m·s⁻²);

摩擦系数反映流动的行为。摩擦系数(μ)决定了流体开始停止流动的时刻,湍流系数(ε)决定了流体快速流动的时刻^[19-20]。该模型被广泛用于模拟山区沟谷型 泥石流的运动过程。为预测一中河上游源区潜在高位 崩滑体失稳后沿途铲刮形成泥石流链式灾害的危险性, 本次模拟工况采取暴雨+地震的极端工况,设计暴雨频 率为 1%,地震强度为Ш级。地震为上游潜在高位崩滑 体失稳并参与泥石流活动提供必要条件。

3.2 参数设置

前人研究表明, Voellmy 模型 μ 取值范围为 0.1~ 0.3, ε 取值范围为 150~250 m/s²。通过多次与已发生泥 石流灾害对比,本文选取模拟参数 μ =0.1, ε =200 m/s²。 ρ 为 2 200 kg/m³,物源体积为 16.05×10⁴ m³。泥石流正 应力(N)为软件自动计算,随着泥石流流体厚度的增加 而增大。

3.3 模拟结果

根据初步估算一中河流域上游源区潜在物源体积为16.05×10⁴ m³,对此进行暴雨+地震极端工况下泥石流运动过程模拟预测,历时 t=2 135 s,并分析其影响范围和危险性。泥石流运动过程中最大流速、最大堆积深度和最大冲击力分布,如图 6 所示。



(a)最大流动速度



(b)最大堆积深度



(c)最大冲击力



由模拟结果可知, 泥石流流速、堆积深度和冲击力 等变化特征主要受地形影响, 泥石流堆积呈不规则扇 形, 总体表现出冲刷-淤积-运动-堆积的特点。在暴雨+ 地震极端工况下一中河泥石流最大流动速度达 23.93 m/s, 最大堆积深度达 9.33 m, 最大冲击力为 1 000 kPa。经过 拦挡坝之后, 运动速度并没有明显减小, 从 G214 国道 处以 8~15 m/s 的速度冲向下游, 沿途泥石流漫槽, 在沟 口形成宽度约 300 m 的堆积扇, 泥石流冲出体积约 8× $10^4 \, m^3{}_{\odot}$

由于 G214 国道以下渡槽的排导能力有限, 泥石流会 漫出渡槽, 运动至下游沟口时会冲进县城区, 致灾影响 范围较大。将对下游居民区、德钦一中和县政府等地 区造成巨大的威胁, 并且随着泥石流物源增加, 泥石流 影响范围和冲出量也不断扩大, 甚至可能堵塞芝曲河。

4 危险区划分

结合泥石流现场调查情况,通过对暴雨+地震极端 工况下一中河泥石流运动过程的模拟,得到泥石流运动 速度、堆积深度和冲击力等动力学参数分布特征,总体 表现出冲刷-淤积-运动-堆积的规律,预测并划定了两处 危险区,如图7所示。



图 7 一中河泥石流危险区范围 Fig. 7 Risk zone of Yizhong River debris flow

危险区 I 位于 G214 国道至德维路区域,此处沟道 变窄,泥石流流动速度较大,渡槽及涵洞易发生堵塞和 漫槽现象,影响范围约 0.13 km²。

危险区 II 位于沟口区域,此处弯道较多,易发生堆积,影响范围约 0.18 km²。因此,在暴雨+地震极端工况下,此区域危险性较高,须提高 G214 国道下游渡槽的排导能力,应采取有效的工程防治措施。

5 结论

(1)G214 国道在流通区穿过, 危险区 I 位于国道至 德维路区域, 此处沟道变窄, 流速较大, 破坏力强。最大 流速达 23.93 m/s, 最大冲击力为 1 000 kPa。影响范围达 0.13 km²。泥石流冲出的泥砂砾石会造成国道被冲埋。 因此, 提高 G214 国道以下渡槽的排导能力为首要工作。

(2)危险区 II 为沟口区域,此区建筑物较集中,涉 及德钦县第一中学、县委政府和公租房小区等地区。 泥石流沟口处弯道较多,且此区域易发生堆积,最大 泥深为 9.33 m,泥石流冲出体积约 8×10⁴ m³,影响范围 达 0.18 km²。应加强对渡槽基础的防护。

(3)根据一中河泥石流不同启动机制,分为暴雨型

泥石流、溃决型泥石流和崩滑流型泥石流三种成因类型。其成灾机制为暴雨+地震极端工况下高位岩体发生崩塌、滑坡后转变为碎屑流,沿程铲刮沟床松散物源, 泥石流规模不断壮大,进而引发溃坝或堵塞河道等次生地质灾害链。对于一中河泥石流链式灾害的形成特征 与演化机制,其防治工程应重点关注成链过程,采取有效的灾害链防灾减灾工程措施,为避险搬迁与应急处置 方案提供理论依据。

参考文献(References):

- [1] 刘希林, 唐川. 泥石流危险性评价[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
 [LIU Xilin, TANG Chuan. Danger assessment on debris flow [M]. Beijing: Science Press, 1995. (in Chinese)]
- [2] 殷 跃 平. 链 状 地 质 灾 害 的 特 征 与 防 范 应 对 [J].中 国 地 质 灾 害 与 防 治 学 报, 2017, 28(3): 3. [YIN Yueping. Characteristics of chain geological disasters and countermeasures [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2017, 28(3): 3. (in Chinese with English abstract)]
- [3] 于国强,张霞,顾小凡,等.基底侵蚀作用对黄土坡面泥流动力过程影响机制研究[J/OL].中国地质,(2024-07-05)[2024-07-28]. [YU Guoqiang, ZHANG Xia, GU Xiaofan, et al. Influence of the basal erosion on kinetic process of loess slope debris flow [J/OL]. Geology in China, (2024-07-05)[2024-07-28]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.p.2024 0704.1646.002.html. (in Chinese with English abstract)]
- [4] 乔成,欧国强,潘华利,等.泥石流数值模拟方法研究进展[J].地球科学与环境学报,2016,38(1):134-142.
 [QIAO Cheng, OU Guoqiang, PAN Huali, et al. Review on numerical modeling methods of debris flow [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2016, 38(1):134-142. (in Chinese with English abstract)]
- [5] 王俊豪,管建军,魏云杰,等.德钦县城直溪河泥石流成 灾模式及运动过程模拟[J].水文地质工程地质,2021, 48(6):187-195. [WANG Junhao, GUAN Jianjun, WEI Yunjie, et al. A study of the disaster model and movement process simulation of debris flow in the Zhixi River of Deqin County [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2021, 48(6):187-195. (in Chinese with English abstract)]
- [6] 宋兵,沈军辉,李金洋,等. RAMMS 在泥石流运动模拟 中的应用——以白沙沟泥石流为例 [J]. 泥沙研究, 2018, 43(1): 32 - 37. [SONG Bing, SHEN Junhui, LI Jinyang, et al. Application of RAMMS model on simulation of debris flow in the Baisha Gully [J]. Journal of Sediment Research, 2018, 43(1): 32 - 37. (in Chinese with English abstract)]
- [7] 熊冲冲,胡卸文,刘丁毅,等.基于 RAMMS 锄头沟泥石 流运动过程模拟 [J].四川地质学报,2021,41(1):107-

· 108 ·

111. [XIONG Chongchong, HU Xiewen, LIU Dingyi, et al. Simulation of debris flow activity in the Chutou gully based on RAMMS [J]. Acta Geologica Sichuan, 2021, 41(1): 107 – 111. (in Chinese with English abstract)]

- [8] 段学良,马凤山,郭捷,等.基于 Massflow 模型的西藏仁布 杰仲沟泥石流运动特征分析 [J].中国地质灾害与防治学 报,2019,30(6):25-33. [DUAN Xueliang, MA Fengshan, GUO Jie, et al. Movement characteristics of Jiezhonggou debris flow of Renbu, Tibet based on massflow model [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2019, 30(6):25-33. (in Chinese with English abstract)]
- [9] 刘珍.云南德钦县城泥石流物源汇集模式探讨[J].云 南地质, 2020, 39(2): 284 - 287. [LIU Zhen. A probe into the convergence model of debris flow in Deqin, Yunnan [J]. Yunnan Geology, 2020, 39(2): 284 - 287. (in Chinese with English abstract)]
- [10] 王研.云南省德钦县一中河泥石流形成机制和防治对策
 [D].北京:中国地质大学(北京), 2016. [WANG Yan. The forming conditions and engineering revention of Yizhong River debris flow in Yunnan Province Deqin County [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2016. (in Chinese with English abstract)]
- [11] 张楠.舟曲三眼峪沟泥石流灾害形成机理及综合防治研究[D].武汉:中国地质大学,2018. [ZHANG Nan. Study on formation mechanism and comprehensive prevention of debris flow disasters in Sanyanyu Valley, Zhouqu [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2018. (in Chinese with English abstract)]
- [12] 杨兴国,曹志翔,邢会歌,等.冰碛土滑坡—泥石流—堰 塞湖灾害链发展过程机理与模拟技术研究构想[J]. 工程科学与技术,2022,54(3):1-13. [YANG Xingguo, CAO Zhixiang, XING Huige, et al. Research framework of the program: dynamic evolution mechanism and simulation of moraine landslide — debris flow — dammed lake disaster chain [J]. Advanced Engineering Sciences, 2022, 54(3):1-13. (in Chinese with English abstract)]
- [13] 王翔弘绅, 胡桂胜, 杨志全, 等. 云南维西哈达沟中频泥 石流特征及堵溃危险性分析 [J]. 中国地质灾害与防 治学报, 2023, 34(2): 42-52. [WANG Xianghongshen, HU Guisheng, YANG Zhiquan, et al. Characteristics of intermediate frequency debris flow and analysis of the hazard of blockage in Hada gully, Weixi County of Yunnan Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2023, 34(2): 42-52. (in Chinese with English abstract)]
- [14] 赵聪,梁京涛,铁永波,等.西藏雅鲁藏布江峡谷特大巨型泥石流活动与泥沙输移特征研究[J].中国地质灾害与防治学报,2024,35(4):45-55.[ZHAO Cong, LIANG Jingtao, TIE Yongbo, et al. Study on the activities of the massive debris flows and sediment transport characteristics in the Grand

Bend of the Yarlung Zangbo River Gorge, Xizang [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2024, 35(4): 45-55. (in Chinese with English abstract)]

- [15] 袁东,张广泽,王栋,等.西部山区交通廊道泥石流发育特征及选线对策[J].地质通报,2023,42(5):743-752.
 [YUAN Dong, ZHANG Guangze, WANG Dong, et al. Analysis on development characteristics of debris flow and route selection countermeasures along the traffic lines in mountain areas of Western China [J]. Geological Bulletin of China, 2023, 42(5):743-752. (in Chinese with English abstract)]
- [16] 杨强,王高峰,李金柱,等.白龙江中上游泥石流形成条件与成灾模式探讨[J].中国地质灾害与防治学报,2022,33(6):70-79.[YANG Qiang, WANG Gaofeng, LI Jinzhu, et al. Formation conditions and the disaster modes of debris flows along middle and upper reaches of the Bailongjiang River Basin [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2022, 33(6): 70 79. (in Chinese with English abstract)]
- [17] 张宪政,铁永波,宁志杰,等.四川汶川县板子沟"6•26" 特大型泥石流成因特征与活动性研究[J].水文地质 工程地质,2023,50(5):134-145. [ZHANG Xianzheng, TIE Yongbo, NING Zhijie, et al. Characteristics and activity analysis of the catastrophic "6•26" debris flow in the Banzi catchment, Wenchuan County of Sichuan Province [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2023, 50(5): 134 -145. (in Chinese with English abstract)]
- [18] 庞海松,谢骏锦,张小明,等.基于 RAMMS 数值模拟的 短时强降雨型泥石流危险性评价 [J].地质科技通报, 2024, 43(2): 215 - 225. [PANG Haisong, XIE Junjin, ZHANG Xiaoming, et al. Hazard assessment of debris flow induced by short-time heavy rainfall based on RAMMS numerical simulation [J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2024, 43(2): 215 - 225. (in Chinese with English abstract)]
- [19] 史继帅,姜亮,翟胜强.四川甘洛县黑西洛沟"8•31"泥石流动力过程[J].中国地质灾害与防治学报,2024,35(3):52-60. [SHI Jishuai, JIANG Liang, ZHAI Shengqiang. Dynamic process of the "8•31" debris flow in Luoxi gulley of Ganluo County, Sichuan Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2024, 35(3):52-60. (in Chinese with English abstract)]
- [20] 蒋涛,崔圣华,许向宁,等.基于遥感解译的典型强震区 泥石流物源发育及演化——以四川都汶高速沿线为例
 [J].地质通报,2024,43(7):1243-1254. [JIANG Tao, CUI Shenghua, XU Xiangning, et al. Distribution and evolution of debris flow in a typic meizoseismal area based on remote sensing: A case study of the Sichuan Duwen Expressway [J]. Geological Bulletin of China, 2024, 43(7): 1243 - 1254. (in Chinese with English abstract)]