

金阳县谷德乡热水河沟泥石流分区特征 与发展趋势预测

陈康亮, 向波, 赵海松, 徐鸿彪, 陈沛

(四川省公路规划勘察设计院有限公司, 成都 610041)

摘要: 为查明热水河沟泥石流对沿江高速和流域居民的影响,通过现场调查、数据统计和定量预测等方法,分析了泥石流形成条件,论述了其分区特征,并对泥石流易发程度开展数量化综合评判分级,预测了其发展趋势。研究结果表明,热水河流域地形陡峻,支沟发育,物源丰富,降雨集中,总体上有利于泥石流灾害的孕育;该泥石流属暴雨沟谷型泥石流,易发程度为易发,目前处于发展期(壮年期),未来再次暴发风险较高,需采取综合措施进行防治。

关键词: 泥石流; 形成条件; 分区特征; 发展趋势

中图分类号: P642.23 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)10-0192-08

凉山州金阳县地形陡峻,峡谷深切,地质构造极其发育,地质灾害广布,全县共发育泥石流48处,约占地灾数量的1/3^[1]。泥石流因携带大量泥沙、石块等而具有巨大动能,破坏性强,冲击力强,致灾效应明显,容易造成人员伤亡和财产损失,导致公路桥梁损毁及道路中断。研究热水河沟泥石流的形成条件与分区特征,预测其发展趋势,可为沿江高速及热水河流域地灾防治提供支撑。

目前对于单沟泥石流的发育特征、形成机制和发展趋势,已有较多研究成果。杨德宏等^[2]通过归纳泥石流孕灾背景和典型特征,计算泥石流特征值,分析了藏东南培龙贡支泥石流的形成机理与发展趋势。吉日伍呷等^[3]选择凉山州喜德县中坝村山火泥石流为研究对象,通过无人机摄影、实地调查和室内试验等手段,对中坝村拉达沟泥石流的灾害发育特征和形成机制进行了分析,评价了单沟泥石流危险度。张生海等^[4]以烟台栖霞市生木树泥石流为研究对象,分析了泥石流发育特征和类型,在评价其易发程度、发生频率和发展阶段的基础上,结合泥石流形成条件定性分析了发展趋势。李东等^[5]为研究汶川强震区典型窄陡沟道型泥石流发育特征,在实地勘察的基础上,以室内试验为主要手段,

得到了该类泥石流的地形地貌和物源发育特征,以及堆积物的颗粒级配及其黏土矿物组成。李婧玥等^[6]通过野外调查与地理信息系统(geographic information system, GIS)统计分析,研究了北京市延庆区石窑村南地沟泥石流的分区特征与形成条件,综合14个影响因子对泥石流发育阶段进行了识别,并预测了其发展趋势。李彩侠和马煜^[7]结合实地调查和理论计算的方法,对贵州望谟县姚家湾沟泥石流成因进行了探讨,并依据泥石流发育特征和动力学参数,预测了其易发性。吴庆安等^[8]以舟曲小流域泥石流沟为研究对象,以灰色关联度为基本方法建立了泥石流危险度评价模型,并以实际调查数据对模型进行了验证。侯江萍和周俊^[9]通过野外调查和室内测试分析,研究了贵州望谟县乐旺镇纳巴泥石流发育特征,分析了形成原因和发展趋势。以上成果多是从泥石流形成条件和发育特征出发定性分析其发展趋势,对于发展趋势的定量预测研究较少。

以热水河沟2017年“7·18”泥石流为研究对象,通过野外调查等主要手段,从地形地貌条件、沟道条件、物源条件和水源条件出发评价了泥石流形成条件,详细论述了其分区特征,并综合泥石流易发

收稿日期: 2024-02-02

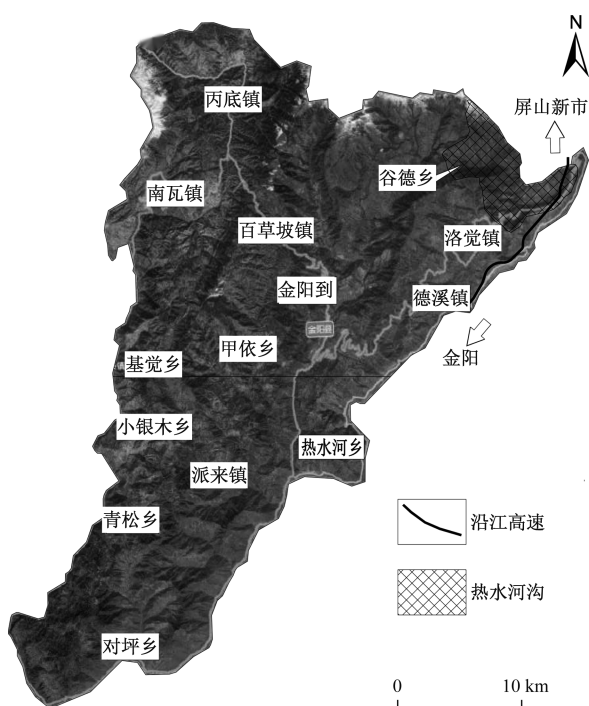
基金项目: 四川省交通运输科技项目(2021-A-02; 2021-A-04)

作者简介: 陈康亮(1996—),男,甘肃定西人,硕士,助理工程师,研究方向为公路特殊路基及地质灾害防治;向波(1973—),男,四川荣县人,博士,教授级高级工程师,研究方向为公路工程地质灾害防治;赵海松(1989—),云南宣威人,高级工程师,研究方向为岩土工程勘察;徐鸿彪(1985—),男,广东潮州人,硕士,高级工程师,研究方向为公路特殊路基、岩土及边坡勘察;陈沛(1969—),男,四川成都人,硕士,正高级工程师,研究方向为公路特殊路基及地质灾害防治。

程度评判结果,对热水河沟泥石流发展趋势进行了重点分析和定量预测,提出了综合防治措施建议,以期为该地区沟谷型泥石流防治提供参考。

1 研究区地质环境概况

金阳县位于四川省凉山州东南边沿,地理位置位于东经 $102^{\circ}56'30''\sim 103^{\circ}30'20''$,北纬 $27^{\circ}22'10''\sim 27^{\circ}57'40''$ 。热水河沟位于金阳县东北角(图 1),行政区划属谷德乡,区内居民以彝族为主,热水河沟口有 4 户居民,流通区以上受泥石流威胁的超过 20 户居民。G4216 线屏山新市至金阳段高速公路(以下称“沿江高速”)为 G4216 线成都至丽江高速公路的重要一段,其自东北向西南从热水河下游穿越热水河沟,在沟内与热水河平行展线约为 2 km,多以桥梁形式通过。



基于自然资源部审图号 GS(2024):0568 制作,无修改

图 1 热水河沟地理位置

研究区地处云贵高原与四川盆地两大地貌单元接壤的大凉山向川中盆地过渡地带,海拔 $600\sim 3\,652\text{ m}$,相对高差 $3\,052\text{ m}$,地形坡度 $30^{\circ}\sim 70^{\circ}$,属强烈侵蚀高中山-高山地貌。山高谷深,河谷狭窄,多形成深“V”形谷,植被以花椒树、矮小灌木及杂草为主,沟底植被覆盖率为 $10\%\sim 20\%$,岸坡及山体为 $30\%\sim 50\%$,生态环境较脆弱。

区内第四系广泛分布于沟道及两侧岸坡,局部基岩出露,以砂岩和灰岩为主,白云岩次之,偶见玄武岩;因受构造影响,岩层产状变化大,岩体节理裂

隙发育,表层岩体较破碎。

研究区位于扬子准地台西部的二级构造单元上扬子台褶带西北侧,西邻康滇地轴,东接四川台拗,构造类型以东北(NE)向和北南(NS)向的褶皱、断裂为主,发育有 2 处褶皱、4 处断层,褶皱以背斜为主,断层以逆断层为主,包含两条晚更新世活动断裂(马路断裂和莲峰断裂)。马路断裂全长 32 km ,断裂带宽 $30\sim 40\text{ m}$,其南端在大兴南面金沙江左岸与莲峰断裂斜接;莲峰断裂全长达 150 km ,断裂带宽 $30\sim 40\text{ m}$,属于切割较深的基底大断裂,历史上断裂带沿线曾发生多次中小地震,最大发震能力 6.5 级。

区内地震活动强烈且频繁,根据昆明地震大队对该区所做的地震调查和总结,“滇东和川西南地区地震活动频繁,近 70 年来(至 1978 年),由仪器记载的破坏性地震有 22 次,其中 8 级以上 6 次”。另外,通过宏观调查和零星记载还有 4 次地震。最晚一次地震时间为 1974 年 5 月 11 日,即永善-大关(7.1 级)地震。根据《中国地震动峰值加速度区划图》及《中国地震动反应谱特征周期区划图》,区内地震动峰值加速度为 $0.1g$ (g 为重力加速度),地震动反应谱特征周期值为 0.45 s ,地震基本烈度为 VII 度。

2 泥石流形成条件

2.1 地形地貌与沟道条件

热水河属金沙江一级支流,流域面积为 56.11 km^2 ,主沟长度约为 18 km ,平面上呈不规则多边形,中上游沟道局部表现为蛇形弯曲,沟尾山脊最高海拔为 $3\,652\text{ m}$,沟口最低海拔为 600 m ,相对高差 $3\,052\text{ m}$ 。沟道总体纵比降较大,上陡下缓,下游至溪洛渡水库交汇段纵比降 $50\%\sim 100\%$,中上游 $100\%\sim 200\%$,流域后缘可达 400% 。流域整体植被覆盖率约为 35% ,主沟上游右侧植被覆盖率高,支沟植被覆盖率较低。流域水系呈树枝状,主要发育有 7 条支沟,其中中游 3 条,均位于主沟右侧,上游 4 条,主要位于主沟左侧(图 2、表 1)。支沟分布不对称,其沟长为 $1.368\sim 4.580\text{ km}$,沟床纵比降为 $226\%\sim 575\%$ 。

主、支沟两侧山体高耸陡峭,为“V”字形,岸坡坡度为 $30^{\circ}\sim 70^{\circ}$,一般较顺直。陡峻的地形为崩塌、滑坡等地质灾害的发育提供了基础,同时也为雨水的快速汇集和雨水对坡面的冲刷创造了先天条件。

2.2 物源条件

热水河泥石流沟物源丰富,分布范围广。据实地调查,2017 年“7·18”泥石流主要物源位于主沟上



图4 崩滑型物源



图5 沟道型物源



图6 坡面型物源

万 m^3 。根据相邻区域的数据显示,热水河流域土壤侵蚀强度级别为“强”,根据(SL 190—2007)《土壤侵蚀分类分级标准》^[10]中动储量统计计算公式,若土壤平均流失厚度按 5 mm/年、时间按 20 年计算,坡面侵蚀物泥石流流动储量为 150 万 m^3 。

2.2.4 人工堆积物源

人工堆积物源总储量为 255.1 万 m^3 ,其中可启动参与泥石流活动的动储量为 65.2 万 m^3 。该类物源主要为地方道路修建时就地堆弃的弃渣(图 7),其次为采矿弃渣,大多随意堆放于斜坡和沟道内,



图7 人工堆积物源

总计 17 处。堆积物一般以松散块石为主,粒径较大。据现场调查,直接参与 2017 年“7·18”泥石流活动的人工堆积物源较少。

2.3 水源条件

热水河流域位于金阳县谷德乡,属亚热带气候区,气候类型为亚热带干热河谷气候。金阳县降雨总体不丰富,且时空分布不均匀。县域降雨量自南向北、向西逐渐增多,热水河流域多年平均降雨量为 825~850 mm;根据 1971—2012 年金阳县降雨量数据统计(图 8),县域多年平均降雨量为 788.1 mm,且降雨主要集中在 5—10 月,约占全年总降雨量的 88.9%;局部暴雨现象时有发生,全年降雨以大雨($\geq 25 \text{ mm/d}$)为主^[11]。据金阳水文站气象观测数据,历史上有记录的 10 min 最大降雨量为 24.0 mm,1 h 最大降雨量为 56.7 mm,24 h 最大降雨量为 103.8 mm,远大于四川省泥石流触发雨强统计结果。

3 泥石流分区特征

2017 年 7 月 18 日,在经历强降雨后,热水河沟暴发泥石流,虽未造成人员伤亡,但部分村村道路及大片农作物被冲毁,直接经济损失达 100 万元。

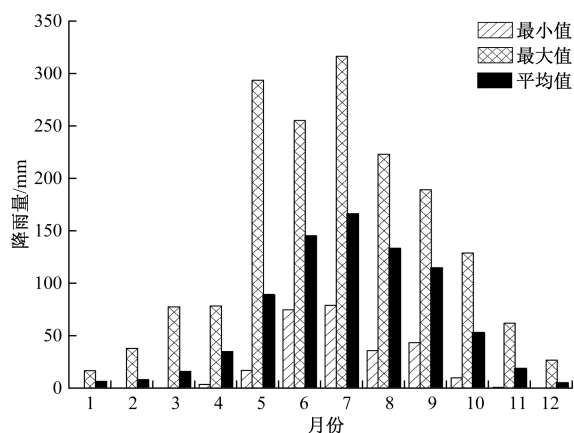
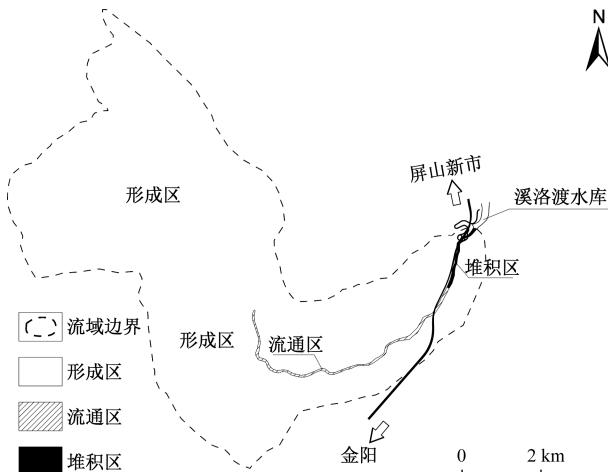


图8 金阳县 1971—2012 年单月降雨量

经现场调查,此次泥石流物源主要为上游沟道两岸斜坡松散层、崩坡积体等,少部分来源于中下游沟道两岸人工弃渣、崩塌、滑坡堆积体,因此将海拔1 440 m以上及中下游沟道两岸松散堆积体区域定义为泥石流形成区,将沟底高程700~1 440 m区域定义为泥石流流通区,将沟底高程600~700 m区域定义为泥石流堆积区,如图9所示。



基于国家测绘局审图号 G48E001006 和 G48E002006 制作,无修改

图9 热水河沟泥石流分区特征

3.1 形成区特征

形成区沟道长度约为8.4 km,面积请为55.36 km²,平均纵比降为197‰,沟床较顺直,呈“V”形,泥石流物源非常丰富。主要表现为3大特征:①两岸岸坡陡峭,覆盖层松散,稳定性差,基岩出露地带裂隙发育,崩塌、滑坡、坡面泥石流沟发育,固体物源丰富;②该段沟床堆积物丰富,河流下蚀作用较强,为堆积物的运移提供了一定动力条件;③该段人类工程活动频繁,产生的工程弃渣未能统一、合理堆放,为泥石流活动提供了人工堆积物源。

3.2 流通区特征

流通区沟道长度约为7.5 km,面积为0.66 km²,平均纵比降为99‰,沟床弯曲,宽为15~100 m,两岸岸坡坡度为35°~60°,呈“V”形。主要表现出两大特征:①具明显冲淤特征,沟道顺直段河床冲刷能力较强,往往形成5~10 m的跌水陡坎,而沟道弯曲段则阻塞较为严重,常形成河床淤积;②沟道内物质以漂卵石及碎块石为主,粒径较大,可见最大块石为3.1 m×2.3 m×2.5 m,且成分相对杂乱。

3.3 堆积区特征

堆积区前缘与溪洛渡水库相接,交汇处断面呈

“U”形,无明显堆积扇,主要沿沟道堆积(图10)。该段沟道长度约为2.10 km,面积为0.084 km²,平均纵比降为48‰,宽为20~100 m,平均宽度约为40 m。据调查,2017年“7·18”泥石流暴发后,该段河床整体抬高1.5~4 m,平均抬高约为2 m,且越靠近下游河床抬高越大,新增泥石流堆积体约为16.8万 m³。堆积区一般以漂卵石及碎块石为主,成分较为杂乱,含泥量相对较低;沟口与溪洛渡水库交汇处堆积物以卵石与碎石为主,粒径一般为2~20 cm。另外,因河床抬高,该段河流对两侧岸坡的侧蚀作用加强,导致部分坡面临空,进而产生滑塌。



图10 热水河沟口堆积物(2017年10月20日)

4 泥石流易发程度综合评判及发展趋势预测

4.1 泥石流易发程度数量化综合评判分级

根据热水河沟泥石流基本特征,按照 T/CAGHP 006—2018《泥石流灾害防治工程勘查规范(试行)》^[12]附录 G“泥石流沟的数量化综合评判及易发程度等级标准表”,进行泥石流易发程度数量化综合评判,结果显示热水河沟泥石流易发程度评分为108分,属易发程度,故热水河沟再次暴发泥石流的可能性较大。

4.2 泥石流发展趋势预测

泥石流发展趋势是多因素综合影响的结果,可以通过活动历史调查访问及地形地貌、物源水源、地震等多因素进行定性分析而获得,也可以通过多因子综合评判、经验公式定量预测而获得。这里以野外调查成果为基础,综合采用定性分析和定量预测的方法进行泥石流发展趋势预测。

4.2.1 泥石流发展趋势定性分析

1) 从泥石流活动历史分析其发展趋势

通过全流域调查,热水河流域中下游老泥石流

堆积台地发育,堆积物已出现不同程度胶结,说明该流域在地质历史时期曾多次暴发泥石流。据走访调查,流域近现代泥石流活动较为活跃,在2017年“7·18”泥石流暴发之前,曾于20世纪40年代、70年代、1991年、2006年多次暴发泥石流,泥石流暴发频率从20~30年/次逐渐演变为10~20年/次。故热水河沟仍可能发生泥石流,且暴发频率为中频。

2) 从地形地貌分析其发展趋势

泥石流的发生和发展过程受地形地貌影响大。热水河流域总体地形陡峻,最大高差达3 052 m,沟道平均纵坡降为115‰,两岸岸坡坡度为30°~70°,多呈“V”形,流域的产流、汇流条件均较好。从地形地貌来看,完全满足泥石流的发生条件。

3) 从物源条件分析其发展趋势

热水河流域物源类型丰富,且分布面积广、储量大。据调查统计,松散固体物质总量为2 029.6万m³,其中动储量为408.5万m³,为泥石流活动提供了充足的物源。

4) 从水源条件分析其发展趋势

由上文可知,热水河流域多年平均降雨量在800 mm左右,且降雨主要集中在5~10月,全年降雨以大雨为主,故夏季降雨强度容易达到泥石流触发雨强,导致泥石流发生。

5) 从地震条件分析其发展趋势

区内地震基本烈度为VII度,地震活动强烈且频繁。根据已有研究成果,一般地震过后,地震区泥石流沟进入活动期,其规模和频率都会增强^[13]。如表2所示,地震后引发的泥石流规模普遍增大,流量可达到非地震条件下的3.7~15倍,同时地震对次生泥石流活动的影响期可长达20年,而活动最为频繁、规模最大的泥石流多出现在震后5~6年^[13-14]。

在地震影响下,岩体裂隙张开速度和风化速度均加速,流域内覆盖层抗剪强度也相应降低,从而促进了崩塌、滑坡的发展,为泥石流的发生提供了更为充足的物源。

6) 从干旱气候条件分析其发展趋势

已有研究表明,干旱的气候环境有利于山洪泥石流的暴发,且与泥石流规模存在着耦合关系^[15]。

干旱导致松散堆积物中的黏土颗粒收缩,发生降雨后又迅速吸水膨胀,孔隙水压力急剧增大,土体抗剪强度降低,使得泥石流暴发风险大大增加^[16]。在同等降雨强度和岸坡坡度等条件下,表层土体干旱松散的边坡更容易发生泥石流,且暴发历时短,规模大^[17]。热水河流域全年降雨量较为丰富,且时空分布不均衡,降雨主要集中在5—10月,约占全年降雨量的88.9%,全年降雨以大雨为主,气候干湿交替明显。干湿交替的气候为泥石流物源的进一步增加提供了可能,间接促进了泥石流的发生、发展。

7) 从溪洛渡水库修建分析其发展趋势

水库对泥石流活动的影响表现出一定的双重性。一方面,溪洛渡水库的修建对区内气候影响较为明显。经走访调查,2016年至今主要表现为旱季时间延长和雨季降雨量增加,二者均加剧了沟内泥石流物源的新增趋势,增加了雨季暴发泥石流的风险。另一方面,水库对泥石流的活动也会有所减缓。若泥石流堆积区位于库水位线影响范围内,泥石流堆积范围将缩小,运移距离也会相应缩短^[18];水库蓄水后,将在一定程度上降低泥石流沟的纵比降,减缓泥石流的活动性和破坏性^[19]。

综上所述,热水河沟泥石流活动历史长,流域地形陡峻,松散固体物质丰富,水源条件充足,地震活动强烈,气候干湿交替且降雨集中,在今后较长时间内,泥石流活动趋势将进一步增强,特别是在地震、强降雨等因素的偶然作用下,暴发大规模泥石流的可能性大大增加。

4.2.2 泥石流发展趋势预测

1) 泥石流发展阶段识别

根据详细调查结果,依据T/CAGHP 2006—2018《泥石流灾害防治工程勘察规范(试行)》^[12]进行热水河沟泥石流发展阶段识别,识别因子包括主流侵蚀关系、沟口扇型和沟口河型等14个,如表3所示。

经综合识别可知,热水河沟泥石流目前处于发展期(壮年期),未来在强降雨和人类工程活动双重影响下,存在暴发较大规模泥石流的风险,容易对沿江高速及中下游两岸居民造成灾害性影响。

表2 地震次生泥石流流量变化统计结果

沟名	地点	地震发生时间	泥石流暴发时间	泥石流流量/(m ³ ·s ⁻¹)		增加倍数(震后/震前)
				震前	震后	
通戈顶沟	巴塘县	1989-04	1998年	21.0	128.3	6.1
满天星沟	彭州市	2008-05-12	2008-07-26	96.5	355.9	3.7
化石板沟	北川县	2008-05-12	2008-09-24	23.2	348.0	15

表3 热水河沟泥石流发展阶段综合识别

识别标记	热水河沟泥石流发育现状
主支流侵蚀关系	主沟侵蚀速度>支沟侵蚀速度
沟口扇型	沟口无明显堆积扇,但河床高度在明显增长
沟口河型	主流河型基本稳定,但形成暂时性堵塞
挤压主流	主流偏移,侧蚀作用加强
新老扇叠压	新老扇叠置覆盖外延,新扇规模逐步增大
扇面变幅	2 m
松散物储量	$36.17 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$
松散物边坡	高度多大于30 m,坡度多在32°以上
滑崩塌岸泥沙补给	滑崩塌等不良地质现象发育
沟槽侵蚀变形	纵向:强切蚀、溯源冲刷发育,沟槽不稳 横向:纵向切蚀为主,横向切蚀发育
沟坡坡型	陡峻
沟道沟型	顺直束窄
植被覆盖	覆盖率在下降,约为35%
触发雨强	较大
发展阶段	发展期(壮年期)

2) 最大危险区预测

由泥石流活动历史可知,热水河沟泥石流自1991年暴发后活动频率逐渐增加,先后于2006和2017年再次暴发,已由低频转变为中频,非常有必要进行最大危险区预测。一般地,单沟泥石流危险区以堆积区致灾程度最高,这里采用经验公式^[12]对热水河沟泥石流堆积区的最大危险区进行预测:

$$S = 0.667LB - 0.083B^2 \frac{\sin R}{1 - \cos R} \quad (1)$$

式中: S 为最大危险区范围, km^2 ; L 为泥石流最大堆积长度, km , $L = 0.8061 + 0.0015A + 0.000033W$; B 为泥石流最大堆积宽度, km , $B = 0.5452 + 0.0034D + 0.000031W$; R 为泥石流堆积幅角, ($^\circ$), $R = 47.8296 - 1.3085D + 8.8876H$; A 为流域面积, km^2 ; W 为松散固体物质总量, 10^4 m^3 ; D 为主沟长度, km ; H 流域最大高差, m 。

据调查结果, $A = 56.11 \text{ km}^2$, $W = 408.5 \times 10^4 \text{ m}^3$, $D = 18 \text{ km}$, $H = 3052 \text{ m}$ 。将以上数据代入式(1)计算得,热水河沟泥石流最大堆积长度为0.9037 km,最大堆积宽度为0.6191 km,堆积幅角为51.4016°,最大危险区范围为0.307 km^2 ,容易对沿江高速和下游居民构成威胁。

4.3 防治措施建议

(1)平整和清理物源,规范工程活动。泥石流形成区物源种类多、储量大,在雨水、风化等外动力地质作用下,很容易往沟道运移,为泥石流提供巨大的固体物质来源。在主要物源中,人工堆积弃渣占了12.6%,后期工程活动还将产生新的弃渣,若对工程弃渣堆放不加以规范,人工堆积物源势必继续增加。

(2)在合适位置设置拦沙坝、排导槽及岸坡防护等工程措施。物源丰富的支沟中下游可设置拦沙坝,拦截泥沙;对于主沟流通区和堆积区,可结合地形与需防护对象,于局部设置排导槽,定期进行清淤;对于物源量大、稳定性差或岸坡失稳易造成主沟堵塞、形成堰塞湖的岸坡,采取一定的防护与排水措施,如深层加固、坡面防护、坡脚渠化及坡面截排水等。

(3)开展长期监测,通过仪器监测、专人排查和群测群防等手段建立泥石流监测预警机制,并结合降雨等气象条件适时调整监测和排查频率。

5 结论

(1)热水河流域面积为56.11 km^2 ,主沟长为18 km,沟道呈现“上陡下缓”特征;形成区和流通区断面呈“V”形,形成区物源丰富,流通区具明显冲淤特征;堆积区断面呈“U”形,无明显堆积扇。

(2)热水河流域地形陡峻,支沟发育,总体有利于泥石流灾害的孕育;流域物源丰富,物源总储量为2029.6万 m^3 ,可参与泥石流活动的动储量为408.5万 m^3 ,包括了崩滑型、沟道型、坡面型及人工堆积物源等4种补给来源;流域多年平均降雨量在800 mm左右,且降雨主要集中在5—10月,全年降雨以大雨为主。

(3)热水河沟泥石流属中频暴雨沟谷型泥石流,易发程度为易发,目前处于发展期(壮年期),未来暴发泥石流的风险较高;预测结果表明,泥石流最大堆积长度为0.9037 km,最大堆积宽度为0.6191 km,堆积幅角为51.4016°,最大危险区范围为0.307 km^2 ,容易对沿江高速和下游居民构成威胁。

(4)建议从以下方面对该泥石流进行综合防治:①平整和清理物源,规范工程活动;②局部设置拦沙坝、排导槽及岸坡防护等工程措施;③通过仪器监测、专人排查和群测群防等建立泥石流监测预警机制。

参考文献

- [1] 程俊泊. 金阳县地质灾害调查成果综述及思考[J]. 甘肃水利水电技术, 2014(10): 26-29.
- [2] 杨德宏, 付伟, 常帅鹏, 等. 藏东南培龙贡支泥石流形成机理与发展趋势分析[J]. 铁道标准设计, 2020(7): 33-38.
- [3] 吉日伍呷, 田宏岭, 刘雅琴. 喜德县“6.4”山火泥石流灾害特征与防治建议[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(17): 6880-6887.
- [4] 张生海, 韩明智, 高松, 等. 栖霞市生木树泥石流隐患点

- 发育特征及发展趋势分析评价[J]. 山东国土资源, 2019(12): 40-45.
- [5] 李东, 纪杰杰, 罗登泽, 等. 强震区典型窄陡沟道型泥石流发育特征[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(15): 6005-6012.
- [6] 李婧玥, 孙永彬, 王洗, 等. 北京市延庆区石窑村南地沟泥石流特征及发展趋势预测[J]. 矿产勘查, 2021(6): 1462-1471.
- [7] 李彩侠, 马煜. 贵州望谟县姚家湾沟泥石流成因及力学特征和易发性[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(24): 62-67.
- [8] 吴庆安, 张金霞, 刘兴荣, 等. 基于灰色关联度的舟曲小流域泥石流灾害风险评价[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(25): 10713-10719.
- [9] 侯江萍, 周俊. 贵州望谟县乐旺镇纳巴泥石流发育特征与发展趋势[J]. 云南地质, 2023(2): 244-250.
- [10] 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准: SL 190—2007[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [11] 谭燕, 叶木林. 金阳县“7.31”泥石流灾害气象成因分析[J]. 安徽农业科学, 2013(23): 9710-9714.
- [12] 中国地质灾害防治工程行业协会. 泥石流灾害防治工程勘查规范(试行): T/CAGHP 006—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [13] 宋胜武. 汶川大地震工程震害调查分析与研究[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [14] 崔鹏, 韦方强, 陈晓清, 等. 汶川地震次生山地灾害及其减灾对策[J]. 中国科学院院刊, 2008(4): 317-323.
- [15] MATHER S. Rapid endothelial cell - selective loading of connexin 40 antibody blocks endothelium-derived hyperpolarizing factor dilation in rat small mesenteric arteries[J]. Circulation Research, 2005, 97(4): 399-407.
- [16] 陈宁生, 邓明枫, 胡桂胜, 等. 地震影响下西南干旱山区泥石流危险性特征与防治对策[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2010(S1): 1-6.
- [17] 钟政. 西南典型干旱河谷区松散土体坍滑起动泥石流试验研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2021.
- [18] 周琪, 蔡伟, 代琪. 水库蓄水后泥石流水下最大运动距离初探[J]. 中国水运(下半月), 2017(8): 270-271.
- [19] 李进元. 金沙江某水电站库区泥石流地质灾害研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003(3): 47-52.

Zoning Characteristics and Development Trend Prediction of Debris Flow in the Reshui River Gully of Jinyang County, Liangshan

CHEN Kangliang, XIANG Bo, ZHAO Haisong, XU Hongbiao, CHEN Pei

(Sichuan Highway Planning, Survey, Design and Research Institute Co. Ltd., Chengdu 610041, China)

Abstract: In order to investigate the influence of debris flow in the Reshui river gully on the Yanjiang expressway and residents in the basin, the formation conditions of debris flow were analyzed by means of field investigation, data statistics and quantitative prediction, and their main characteristics were discussed. The quantitative comprehensive evaluation and classification of debris flow susceptibility were carried out, and its development trend was predicted. The results show that the terrain of Reshui river basin is steep, the branch gully is developed, the source is rich, and the rainfall is concentrated, which is generally conducive to the breeding of debris flow disasters. The debris flow is a rainstorm gully debris flow, which is prone to occur. It is currently in the development period(mature period), and the risk of recurrence in the future is high, so comprehensive measures should be taken to prevent and control it.

Keywords: debris flow; formation condition; zoning characteristics; development trend