doi: 10.19388/j.zgdzdc.2022.04.07
引用格式: 徐伟,王祖全,倪德兴,等.日喀则市谢通门县尼玛弄自然村坡面泥石流发育特征及防治对策[J].中国地质调查,2022,9(4):56-65.(Xu W,Wang Z Q,Ni D X,et al. Development characteristics and prevention measures of slope debris flow in Nimanong Natural Village of Xietongmen County in Shigatse City[J]. Geological Survey of China,2022,9(4):56-65.)

日喀则市谢通门县尼玛弄自然村坡面泥石流发育特征及防治对策

徐 伟[1,2], 王祖全[3], 倪德兴[4], 铁永波[1]
(1.中国地质调查局成都地质调查中心,四川 成都 610081; 2.成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室,四川 成都 610059; 3.四川合利工程咨询有限公司,四川 成都 610041; 4.中冶成都勘察研究总院有限公司,四川 成都 610023)

摘要: 坡面泥石流具有规模小、分布广、暴发突然、流动快、过程短、冲击力大等特征,是一种危害十分严重的自然灾害。为了查明西藏日喀则市谢通门县尼玛弄自然村坡面泥石流的发育特征,以野外精细化调查和测量为工作方法,在查明泥石流区域地质环境及分区特征、主沟支沟的沟道特征、形成条件、物源转化关系的基础上,综合研判泥石流的发展趋势并划定了危险区范围。结果表明:流域内松散固体物源总量约为 22.72×10^4 m^3,可能参与泥石流活动的动储量约为 7.82×10^4 m^3;坡面泥石流一旦遭遇大暴雨,势必引发较大规模的泥石流灾害;泥石流的综合致灾能力较强,受灾体的抗灾能力较弱,泥石流治理紧迫性等级为Ⅰ级;提出"导流槽+截流槽+导流堤"和"导流防护堤"两种工程治理方案,为该区泥石流防治工作提供参考。

关键词: 坡面泥石流;发育特征;防治对策;谢通门县
中图分类号: P681.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-8706(2022)04-0056-10

0 引言

泥石流是包含大量泥、砂和石块等介于滑坡和水流的气、液、固三相的流体,呈稀性紊流和黏性层流等运动状态,是常见的山区地质灾害之一[1-3],具有形成过程复杂、暴发性强、破坏性大等特点。坡面泥石流是一种发生在有碎屑堆积物的陡坡上,由降雨引发的高浓度碎屑与水的混合物沿坡面运动的现象[4],其规模小、分布广、暴发突然、流动快、过程短、冲击力大,是一种危害十分严重的自然灾害。

关于坡面泥石流的研究主要集中在以下几方面:①在分析坡面泥石流发育特征的基础上,提出针对性的防治对策与防灾模式[5-12];②通过研究坡面泥石流与降雨量之间的关系,开展降雨预报模型、临界雨量、主成分分析等研究[13-16];③采用模型试验方法,开展坡面泥石流形成过程、物源启动、演化模式等研究[17-21];④通过分析坡度、地貌要素、水力作用等与坡面泥石流的关系,探讨泥石流物源动储量估算方法[22-26]。以上研究取得了较多进展和成果,为坡面泥石流防治积累了丰富的经验。

尼玛弄自然村坡面泥石流位于西藏自治区日喀则市谢通门县,主要威胁对象为沟道和坡脚的30户142人、道路桥梁及部分耕地,威胁财产约1 800万元。该坡面泥石流每年均呈小规模暴发,2020年9月12日、2021年8月11日曾发生泥石流,一次固体物质冲出量分别为1 000 m^{3}和1 500 m^3。在野外精细化调查和测量的基础上,查明了坡面泥石流的区域地质环境特征、分区特征、形成条件等,分析其灾害现状,并预测潜在发展趋势,提出针对性防治措施,对泥石流防治具有重要意义,为类似地区泥石流

收稿日期: 2022-03-30; **修订日期:** 2022-07-12。
基金项目: 中国地质调查局"川西地区特大地质灾害链调查评价(编号: DD20221746)"项目资助。
第一作者简介: 徐伟(1986—),男,高级工程师,主要从事地质灾害调查评价和岩土体稳定性研究工作。Email: 052054@163.com。

的防治和山区城镇的防灾减灾工作提供参考。

1　区域地质环境特征

尼玛弄自然村坡面泥石流位于西藏自治区日喀则市谢通门县列巴乡多康村尼玛弄自然村(图 1、图 2)。谢通门县属高原亚寒带半干旱季风气候,日照充足,空气干燥稀薄,多大风,夏秋多雨,干湿季节分明,降水主要集中在 6—9 月,占全年降水量的 87%。该县水系发育,河网密布,主要水系为雅鲁藏布江及其支流达那普曲、布曲藏布、洛足藏布、那东曲、荣曲等,该泥石流沟口为雅鲁藏布江。

图 1　泥石流暴发现场照片

Fig. 1　Photo of debris flow eruption

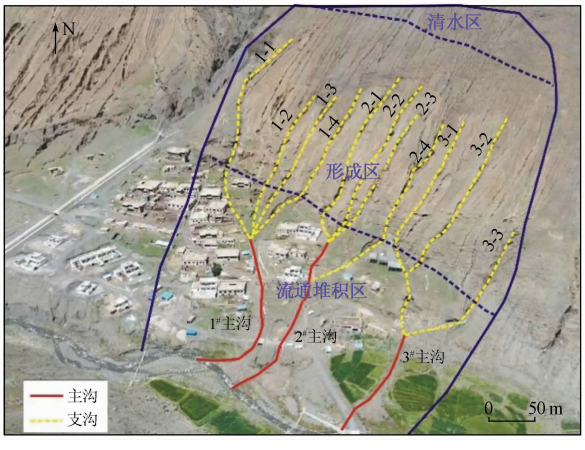


图 2　坡面泥石流全貌和分区特征

Fig. 2　Overview and zoning characteristics of slope debris flow

谢通门县地处青藏高原中部雅鲁藏布江北岸,冈底斯山脉横贯东西,地势总体北高南低,地貌类型为构造侵蚀剥蚀山地、山麓斜坡堆积平原、河流侵蚀堆积平原及冰川。研究区为构造侵蚀中高山地貌,流水作用及寒冻风化作用较强。

谢通门县位于雅鲁藏布江断裂带谢通门县段近北侧,由于印度板块沿雅鲁雅布江结合带向北对欧亚板块进行俯冲,形成了包括雅鲁藏布江断裂带在内的一系列规模巨大的 EW 向断裂带,并伴生 NE 向、NW 向、近 SN 向断裂(图 3)。研究区主要发育雄麦—木塔乡断裂,走向 NNE,具有强烈的活动性,断线较平直,断层南东侧主要为第四系松散堆积,北西侧以典中组(E_1d)、帕那组(E_2p)、年波组(E_2n)火山岩和闪长岩、花岗岩为主。

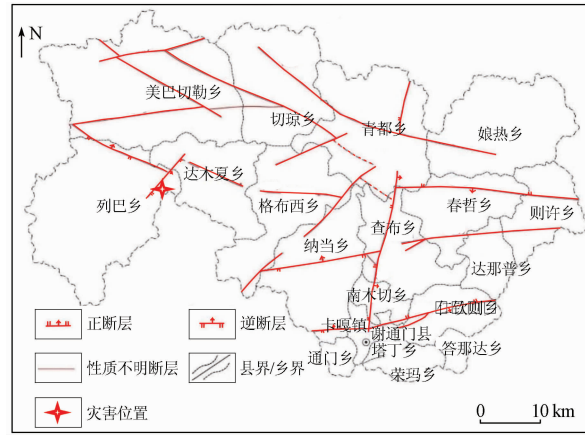


图 3　谢通门县地质构造纲要图

Fig. 3　Geological structure of Xietongmen County

研究区下覆地层为中新统乌郁群(N_2wy)砂页岩,区域内未见基岩出露。斜坡中上部为第四系残坡积物(Q_4^{el+dl}),下部为坡洪积物(Q_4^{dl+pl})碎石(屑)土。

谢通门县新构造运动较剧烈,造成区内的地质环境较脆弱。县域及周边地区地震频发,根据《GB 18306—2015 中国地震动参数区划图》[27],研究区的地震反应谱特征周期为 0.40 s,地震动峰值加速度值为 0.15 g,抗震设防烈度为Ⅷ度。

2　泥石流分区特征

2.1　泥石流沟道特征

坡面泥石流由若干条坡面冲沟组成,沟域形态为不规则舌形,受构造影响呈不对称分布。沟域整体纵向长 200 ~ 700 m,宽 100 ~ 400 m,沟域最高点高程 4 766 m,最低点高程 4 365 m,最大高差 401 m,平均坡降 557‰,沟域面积 0.225 km^2。整个坡面泥石流沟域由上向下划分为清水区、形成区(物源区)及流通堆积区。斜坡整体上陡下缓,斜坡上部坡度 30° ~ 35°,斜坡下部坡度 25° ~ 30°,斜坡前缘流通

堆积区坡度 15° ~25°。坡面泥石流主要分为 3 条主沟,分别为 1#主沟、2#主沟和 3#主沟(图 2),每条主沟无明显的沟域界限,主沟越往上分叉支沟越多,斜坡上部呈毛细血管型浅沟槽。

(1)1#主沟。位于坡面泥石流沟域西侧,长约 410 m,沟道宽 3 ~15 m,深 1 ~8 m。流通堆积区沟道相对宽缓且浅,主沟沟道纵比降约 232‰; 斜坡中下部的形成区沟道相对窄陡且深,主沟沟道纵比降约 600‰,局部甚至形成高 1 ~3 m 的跌水,两岸岸坡多呈陡坎状,局部形成凹腔。

沟道于流通堆积区往上分叉为 4 条主要支沟,由西向东分别为 1 -1 支沟、1 -2 支沟、1 -3 支沟和 1 -4 支沟。1 -1 支沟长约 260 m,沟底宽 3 ~7 m,深 2 ~10 m,支沟沟道上陡下缓,纵坡降约 400‰; 1 -2 支沟长约 255 m,沟底宽 3 ~6 m,深 3 ~10 m,支沟沟道上陡下缓,纵坡降约 510‰; 1 -3 支沟长约 236 m,沟底宽 4 ~15 m,深 3 ~8 m,支沟沟道上陡下缓,纵坡降约 480‰; 1 -4 支沟长约 255 m,沟底宽度 2 ~12 m,深 2 ~7 m。支沟沟道上陡下缓,纵坡降约 520‰。

(2)2#主沟。位于坡面泥石流沟域中部,长约 373 m,沟道宽 5 ~11 m,深 1 ~9 m,流通堆积区沟道相对宽缓且浅,主沟沟道纵比降约 325‰; 斜坡中下部的形成区沟道相对窄陡且深,主沟沟道纵比降约 630‰,局部甚至形成高 1 ~3 m 的跌水,两岸岸坡多呈陡坎状,局部形成凹腔。

沟道于流通堆积区往上分叉为 4 条主要支沟,由西向东分别为 2 -1 支沟、2 -2 支沟、2 -3 支沟和 2 -4 支沟。2 -1 支沟长约 264 m,沟底宽 2 ~7 m,深 2 ~8 m,支沟沟道上陡下缓,纵坡降约 430‰; 2 -2 支沟长约 256 m,沟底宽 3 ~16 m,深 3 ~9 m,支沟沟道上陡下缓,纵坡降约 550‰; 2 -3 支沟长约 276 m,沟底宽 2 ~8 m,深 3 ~6 m,支沟沟道上陡下缓,纵坡降约 570‰; 2 -4 支沟长约 260 m,沟底宽 4 ~12 m,深 2 ~6 m,支沟沟道上陡下缓,纵坡降约 510‰。

(3)3#主沟。位于坡面泥石流沟域中部,长约 367 m,沟道宽 2 ~9 m,深 1 ~6 m。流通堆积区沟道相对宽缓且浅,主沟沟道纵比降约 363‰; 斜坡中下部的形成区沟道相对窄陡且深,主沟沟道纵比降约 585‰,局部甚至形成高 1 ~2 m 的跌水,两岸岸坡多呈陡坎状,局部形成凹腔。

沟道于流通堆积区往上分叉为 3 条主要支沟,从西往东分别为 3 -1 支沟、3 -2 支沟和 3 -3 支沟。3 -1 支沟长约 203 m,沟底宽 3 ~5 m,深 2 ~5 m,支沟沟道上陡下缓,纵坡降约 540‰; 3 -2 支沟长约 238 m,沟底宽 2 ~10 m,深 2 ~6 m,支沟沟道上陡下缓,纵坡降约 520‰; 3 -3 支沟长约 223 m,沟底宽 2 ~13 m,深 1 ~5 m,支沟沟道上陡下缓,纵坡降约 510‰,于斜坡中上部分叉为 4 条小支沟。

2.2 清水区特征

清水区主要分布于斜坡上部,呈近三角形分布,面积为 0.013 km^2,扇宽 230 m,长约 130 m,平均坡度约 35°,该区域覆盖层较薄,主要为残坡积碎石土,厚度一般 <2 m,上部集雨较少,可参与物源较少,故将其划分为清水区。

2.3 形成区(物源区)特征

形成区分布于斜坡清水区以下至斜坡坡脚区域,面积为 0.155 km^2,地形陡峻,斜坡坡度多数为 25° ~35°,沟道平均纵比降约 580‰。上部斜坡坡面沟槽呈“毛细血管”型紊乱分布,沟槽深 0.2 ~1 m,多数较浅,于斜坡中部逐渐归流形成 15 条深切沟槽,沟槽深 1 ~8 m(图 4)。该区域沟道均切割深陡,岸坡普遍比较直陡,局部甚至形成凹腔,沟槽受差异性侵蚀,局部形成跌水(图 5)。

该区域斜坡洪坡积碎石土地层发育,厚度 >2 m,植被不发育,坡面易受暴雨侵蚀冲刷松散堆积物,形成坡面径流,在洪水冲刷侵蚀下,斜坡体上的松散堆积物极易发生岸坡垮塌和揭底冲刷,为泥石流的发育提供了松散固体物源。

图 4 泥石流形成区深切沟槽

Fig. 4 Deep kurf erosion in debris flow forming area

图 5　泥石流形成区沟道跌水

Fig. 5　Ditch drop in debris flow forming area

2.4　流通堆积区特征

流通堆积区分布于斜坡前缘,威胁对象区域 30 户 142 人,面积 0.057 km^2。该区地形相对较缓,北侧坡度较陡(图 6),沟道揭底冲刷及侧蚀强烈,为主要的流通区,沟道深 1 ~ 3 m,宽 4 ~ 15 m,平均纵比降约 340‰。岸坡较陡直,局部形成凹腔,易垮塌进入沟道,沟道堆积物较厚,易被揭底冲刷,为主要沟道堆积物源区。南侧沟道更为宽缓(图 7),沟道

图 6　泥石流流通堆积区北侧沟道特征

Fig. 6　Characteristics of the north ditch in debris flow accumulation area

图 7　泥石流流通堆积区南侧堆积物特征

Fig. 7　Characteristics of the southern side in debris flow accumulation area

深 0.5 ~ 2 m,局部沟道淤积不明显,平均纵比降约 210‰,沟道堆积层较厚,堆积物以粒径 2 ~ 5 cm 的碎石为主,含量约 40%,其余以砂为主。

两岸岸坡均为缓坡区域,受沟道洪水冲刷,陡坎较发育且稳定性较差,易被洪水侧蚀冲刷发生崩滑进入沟道参与泥石流活动。流通堆积区前部较宽缓,大部分泥石流固体物质运移并堆积在此。

3　泥石流形成条件

3.1　固体物源条件

坡面泥石流松散固体物源较丰富,物源分布范围广泛,几乎在整个坡面泥石流区域均有分布。但物源数量分布类型较集中,大部分松散固体物源以斜坡区坡面侵蚀物源为主,其次为沟道物源。

沟道堆积物源主要为各沟道中下游沟道相对宽缓区域的原沟道堆积物及沟道岸坡物源,斜坡区松散堆积物源在暴雨径流的坡面侵蚀、揭底冲刷及侧蚀作用下,形成夹砂洪水甚至小规模泥石流,经不同距离的搬运转移堆积于斜坡坡脚的主沟中下游,形成沟道堆积物源。

坡面侵蚀物源主要为覆盖较厚的残坡积土体及洪坡积土体,坡面水土流失严重,形成密布顺坡向的深切冲沟,为泥石流活动提供了丰富的面状物源。

物源量的估算采用分布面积与平均厚度的乘积来确定,公式为

$$V = A \cdot h \text{ 。} \tag{1}$$

式中: V 代表物源体积, 10^4 m^3; h 代表物源平均厚度, m; A 代表物源分布面积, 10^4 m^2。

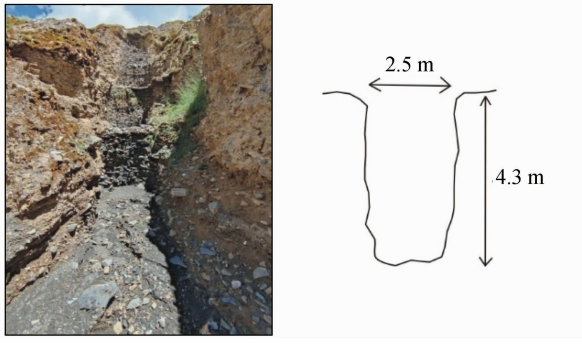
坡面侵蚀型物源量的动储量计算,分区按侵蚀模量计算工程有效期内侵蚀总量,按常年洪水可输移的粒径所占比例折减。沟道堆积冲刷揭底是泥石流动储量的重要部分,由堆积物粒径确定启动流速,根据不同频率泥石流流速判断其启动粒径,再根据级配计算可启动颗粒的数量。

本次共调查物源点 4 处,其中沟道堆积物源 3 处(图 8、图 9),主要以 3 条主沟流通堆积区北侧沟道切割较深区域为主,3 条主沟对应沟道物源编号分别为 G1、G2、G3。坡面侵蚀物源 1 处,由于斜坡区沟道分布密集,且斜坡区无明显的沟域分界,整

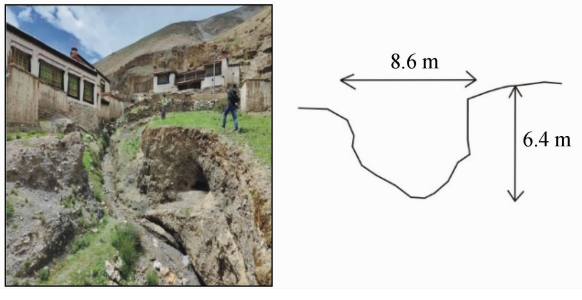
个斜坡区松散堆积区均有可能转变为泥石流固体物源参与泥石流,故将整个斜坡区域划为 1 个坡面侵蚀物源(P01)。根据实地调查及计算结果,坡面泥石流流域内共有松散固体物源总量 22.72 × 10^4 m^3,可能参与泥石流活动的动储量为 7.82 × 10^4 m^3。其中沟道堆积固体物源总量为 1.35 × 10^4 m^3,占物源总量的 5.92%,可能参与泥石流活动的动储量为 0.34 × 10^4 m^3,占动储总量的 4.30%;坡面侵蚀物源总量 21.38 × 10^4 m^3,占物源总量的 94.08%,可能参与泥石流活动的动储量 7.48 × 10^4 m^3,占动储总量的 95.70%。各物源点基本情况如表 1 所示。

图 8 沟道堆积物源特征

Fig. 8 Characteristics of ditch deposits sources



(a) 形成区沟道



(b) 流通区沟道

图 9 形成区、流通区沟道剖面示意图

Fig. 9 Schematic diagrams of channel section in formation area and circulation area

表 1 泥石流物源基本情况统计结果

Tab. 1 Basic situation statistics of debris flow sources

编号	位置	目前物源总量/10^4 m^3	所占物源总量比/%	估算动储量/10^4 m^3	所占动储总量比/%
G1	1#主沟中下游	0.72	3.18	0.18	2.31
G2	2#主沟中下游	0.29	1.27	0.07	0.93
G3	3#主沟中下游	0.33	1.47	0.08	1.07
沟道物源小计		1.35	5.92	0.34	4.30
P01	3 条主沟中上游	21.38	94.08	7.48	95.70
坡面物源小计		21.38	94.08	7.48	95.70
合计		22.72	100.00	7.82	100.00

3.2 水源条件

根据《中国暴雨统计参数图集》[28]中的中国百年一遇 24 h 点雨量等值线图、中国百年一遇 60 min 点雨量等值线图,研究区百年一遇日、小时点雨量分别为 60 ~ 70 mm、25 ~ 30 mm。根据《T/CAGHP 006—2018 泥石流灾害防治工程勘查规范(试行)》[29]附录 D 表 D.1,西藏地区可能发生泥石流 $H_{24(D)}$、$H_{1(D)}$ 界限值分别为 30 mm、15 mm(表 2),该区的百年一遇日、小时点雨量大于其界限值,完全具备了引发泥石流灾害的降雨条件。

流域地形条件有利于降雨的汇集和加速,沟域

表 2 可能发生暴雨泥石流的 $H_{24(D)}$、$H_{1(D)}$、$H_{1/6(D)}$ 界限降雨量值

Tab. 2 $H_{24(D)}$, $H_{1(D)}$, $H_{1/6(D)}$ limited rainfall value of debris flow

年均降雨量/mm	界限降雨量/mm			代表地区(以当地统计结果为准)
	$H_{24(D)}$	$H_{1(D)}$	$H_{1/6(D)}$	
>1 200	100	40	12	浙江、福建、台湾、广东、广西壮族自治区、江西、湖南、湖北、安徽及云南西部、辽宁东部、西藏自治区东南部等省(区)山区
800 ~ 1 200	60	20	10	四川、资州、云南东部和中部、陕西南部、山西东部、辽宁东部、黑龙江、吉林、辽宁西部、河北北部和西部等省(区)山区
500 ~ 800	30	15	6	陕西北部、甘肃、内蒙古自治区、北京郊区、宁夏回族自治区、山西、新疆维吾尔自治区部分、四川西北部、西藏自治区等省(区)山区
<500	25	15	5	青海、新疆维吾尔自治区、西藏自治区及甘肃、宁夏回族自治区两省(区)的黄河以西地区

内植被不发育,为地表径流提供了有利的地表条件,有利于泥石流的形成和运移。

3.3　物源转化关系

目前,该沟域内松散固体物源量为 22.72 × 10^4 m^3,可能参与泥石流活动的动储量为 7.82 × 10^4 m^3。这些物源分布在下游沟槽及两侧岸坡坡洪积堆积区及整个山体斜坡区,并非同时参与一次泥石流活动,原因如下。

(1)区域降雨分配不均。只有在该坡面泥石流区出现集中降雨或暴雨洪水时,斜坡区坡面侵蚀物源才可能参与泥石流的活动。

(2)堆积物特征。各个物源点的物源参与泥石流活动受堆积物特征影响,该坡面泥石流物源粒径普遍为 2 ~ 8 cm,颗粒细,堆积松散,在降雨强度达到一定限值后,极易被冲刷携带,故暴发小规模泥石流的可能性大,频率高。

(3)地形地貌影响。该区域主要坡面物源区斜坡坡度大,水动能大,松散堆积物厚,径流切割深,沟道深切后岸坡极易垮塌堆积于沟道内,再次被洪水或泥石流揭底冲刷后参与泥石流活动。同时,斜坡区无明显的沟域分界,径流冲刷易将沟槽不断扩大,不同沟槽可能出现合并或改道现象。

4　发展趋势与危险性

综合分析尼玛弄自然村坡面泥石流的分区特征及形成条件,发现随着时间的推移,沟内松散堆积物源变得更加松散,斜坡区松散堆积物源也一定程度上有所增加,坡面侵蚀加剧。可参与泥石流活动的松散固体物源量不断增加,一旦遭遇暴雨,势必引发较大规模的泥石流灾害。

泥石流危险区范围主要为沟口缓坡最大可能冲刷及淤埋堆积区域,面积为 53 516 m^2,主要对沟道和坡脚的 30 户 142 人的生命财产、道路桥梁及部分耕地构成直接威胁。根据威胁对象距离泥石流流通区和堆积区的远近、受威胁程度,将威胁对象区域划为直接受威胁的极危险区及间接受威胁的一般危险区(图 10)。

根据《DZ/T 0220—2006 泥石流灾害防治工程勘查规范》[30]进行综合量化判别,计算出尼玛弄自然村坡面泥石流致灾能力 F = 7 分,综合致灾能力较强;受灾体的承灾能力 E = 6 分,抗灾能力较弱。根据综合致灾能力和受灾体综合承灾能力进行治理紧迫性分析,判定尼玛弄自然村坡面泥石流治理紧迫性等级为 I 级,即治理紧迫。

图 10　泥石流危险区划分

Fig. 10　Zoning division of debris flow hazard area

5　泥石流防治对策

5.1　既有防治工程

坡面泥石流位于尼玛弄沟谷型泥石流左岸斜坡区域,尼玛弄沟谷型泥石流已进行“拦挡坝 + 排导槽”的工程治理措施(图 11)。目前,坡面泥石流无专门的工程治理措施,仅 2021 年发生泥石流后,采取了编织土袋拦挡临时措施,既有防治工程完全无法对坡面泥石流起到永久防治作用。

图 11　既有防治工程全貌

Fig. 11　Overview of existing prevention and control projects

5.2　防治对策

坡面泥石流所在斜坡上部坡度 30° ~ 35°,斜坡下部坡度 25° ~ 30°,斜坡前缘流通堆积区整体坡度 15° ~ 25°,沟域内植被不发育,以上条件有利于降雨的汇集和地表径流的形成。

在现场精细化调查和测量的基础上,结合坡面泥石流特征及保护对象,并结合工程的可行性,提出以下工程治理措施及防治对策。

(1)采用“导流槽 + 截流槽 + 导流堤”的工程治理措施(图 12),在坡面泥石流斜坡下部(威胁对象后缘)相对较宽缓区域修建导流槽,导流槽每跨现有沟道处设置截流槽,将泥石流导流至 3# 冲沟位置后,于 3# 主沟及支沟修建导流堤,最终将整个斜坡泥石流或洪水引流至主河(尼弄普曲),以保护沟道斜坡前缘居民的生命财产安全。

沿 1 – 1# 支沟右岸(陡坎下)起设置导流槽至 3# 主沟,导流槽总长 211 m; 导流槽跨冲沟设置截流槽共计 9 段; 沿 3# 主沟右岸设置 A 段导流堤 143 m,并与导流槽外边墙连接; 沿 3 – 3# 支沟左岸及 3# 主沟左岸设置 B 段导流堤 100 m。

图 12 “导流槽 + 截流槽 + 导流堤”部署图

Fig. 12 Deployment map of “diversion channel + intercepting channel + diversion dike”

(2)采用“导流防护堤”的工程治理措施(图 13),依据 3 条主沟道在斜坡坡脚修建导流堤,下游流通堆积区设置单边甚至双边防护堤,最终将泥石流或洪水导流至主河(尼弄普曲),以保护沟道、斜坡前缘居民的生命财产安全。

沿 1# 主沟右岸设置 1# 导流堤 282 m; 沿 1 – 4# 支沟及 1# 主沟左岸设置 2# 导流堤 160 m; 沿 2 – 1# 支沟及 2# 主沟右岸设置 3# 导流堤 174 m; 沿 2 – 4# 支沟及 2# 主沟右岸设置 4# 导流堤 151 m; 沿 3# 主沟右岸设置 5# 导流堤 154 m; 沿 3 – 3# 支沟左岸及 3# 主沟左岸设置 B 段导流堤 100 m,与方案(1)一致。

依据《T/CAGHP 006—2018 泥石流灾害防治工程勘查规范(试行)》[29] 有关排导槽的规定,横断面应满足泥石流排泄的要求,排导槽的过流能力应大于设计流量。因此,6 段导流堤结构初步可设计为: 导流堤呈等腰梯形断面,基础埋深 1.0 m,有效高 2.5 m,顶宽 1 m,基底宽 2.4 m,两侧侧坡比 1∶0.2,每隔 10 m 设置一道伸缩缝,采用 C20 混凝土结构。

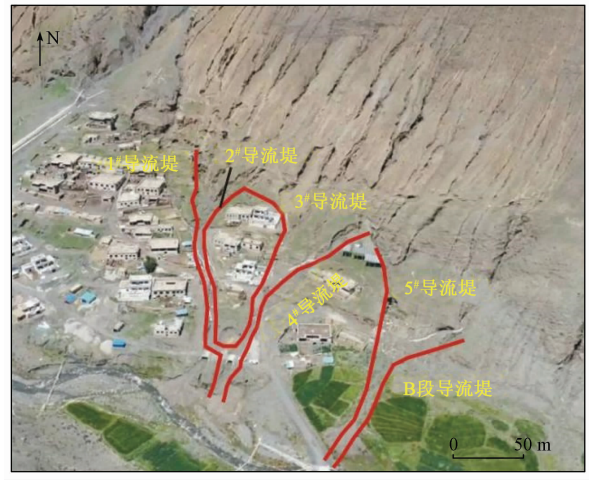


图 13 导流防护堤部署图

Fig. 13 Deployment map of “diversion protection dike”

6 结论

(1)尼玛弄自然村坡面泥石流由 3 条主沟 11 条支沟组成,松散固体物源较丰富且分布范围广泛,物源类型以坡面侵蚀物源为主,其次为沟道物源,共有松散固体物源总量 22.72×10^4 m^3,可能参与泥石流活动的动储量为 7.82×10^4 m^3。

(2)随着时间推移,尼玛弄自然村坡面泥石流的松散堆积物源不断增加,坡面侵蚀不断加剧,一旦遭遇暴雨,势必引发较大规模的泥石流灾害,对沟道和坡脚的 30 户 142 人生命财产、道路桥梁及部分耕地构成直接威胁。

(3)尼玛弄自然村坡面泥石流的综合致灾能力较强,受灾体的综合抗灾能力较差,泥石流的治理紧迫性为 I 级,即治理紧迫。

(4) 通过“导流槽 + 截流槽 + 导流堤”及“导流防护堤”的工程治理措施,可有效保护沟道、斜坡前缘居民的生命财产安全。

参考文献(References):

[1] 唐川,梁京涛. 汶川震区北川 9 · 24 暴雨泥石流特征研究[J]. 工程地质学报,2008,16(6):751 – 758.

Tang C, Liang J T. Characteristics of debris flows in beichuan epicenter of the Wenchuan earthquake triggered by rainstorm on september 24, 2008[J]. J Eng Geol, 2008, 16(6): 751 – 758.

[2] 许强. 四川省"8 · 13"特大泥石流灾害特点、成因与启示[J]. 工程地质学报, 2010, 18(5): 596 – 608.
Xu Q. The 13 august 2010 catastrophic debris flows in Sichuan Province: Characteristics, genetic mechanism and suggestions[J]. J Eng Geol, 2010, 18(5): 596 – 608.

[3] 刘传正, 苗天宝, 陈红旗, 等. 甘肃舟曲 2010 年 8 月 8 日特大山洪泥石流灾害的基本特征及成因[J]. 地质通报, 2011, 30(1): 141 – 150.
Liu C Z, Miao T B, Chen H Q, et al. Basic feature and origin of the "8 · 8" mountain torrent – debris flow disaster happened in Zhouqu County, Gansu, China, Aug. 8, 2010[J]. Geol Bull China, 2011, 30(1): 141 – 150.

[4] 李艳富, 王兆印, 施文婧, 等. 汶川震区的坡面泥石流调查研究[J]. 泥沙研究, 2011, 1(1): 1 – 7.
Li Y F, Wang Z Y, Shi W J, et al. Investigation of slope debris flows in Wenchuan earthquake area[J]. J Sediment Res, 2011, 1(1): 1 – 7.

[5] 柳金峰, 游勇, 陈晓清, 等. G213 线都汶路豆芽坪坡面泥石流及其防治方案[J]. 山地学报, 2015, 33(5): 611 – 618.
Liu J F, You Y, Chen X Q, et al. A slope debris flow in the Dujiangyan – Wenchuan highway and its prevention[J]. Mt Res, 2015, 33(5): 611 – 618.

[6] 铁永波, 徐如阁, 刘洪, 等. 西昌市泸山地区典型火后泥石流特征与成因机制研究——以响水沟左岸 3#支沟为例[J]. 中国地质调查, 2020, 7(3): 82 – 88.
Tie Y B, Xu R G, Liu H, et al. Study on the characteristics and formation mechanism of the typical post – fire debris flow in Lushan area of Xichang City: A case study of 3# branch on the left bank of Xiangshuigou[J]. Geol Surv China, 2020, 7(3): 82 – 88.

[7] 罗冠枝, 陈全明, 王国卫. 坡面泥石流灾变易损性分析评价及防灾模式[J]. 防灾减灾学报, 2018, 34(4): 19 – 25.
Luo G Z, Chen Q M, Wang G W. Analysis evaluation and disaster prevention model of slope debris flow disaster vulnerability[J]. J Disaster Prev Reduct, 2018, 34(4): 19 – 25.

[8] 黄海, 石胜伟, 谢忠胜. 杂谷脑河下游坡面泥石流发育特征及防治对策[J]. 水土保持研究, 2013, 20(6): 111 – 116.
Huang H, Shi S W, Xie Z S. Occurrence characteristics and preventions of the debris flow on slope in the lower reaches Zagunao river[J]. Res Soll Water Conserv, 2013, 20(6): 111 – 116.

[9] 王海芝, 胡福根, 于淼, 等. 北京市房山区霞云岭"7 · 20"坡面泥石流特点及形成因素浅析[J]. 城市地质, 2021, 16(4): 399 – 403.
Wang H Z, Hu F G, Yu M, et al. Characteristics and formation factors of slope debris flow on "7 · 20" in Xiayunling, Fangshan District, Beijing[J]. Urban Geol, 2021, 16(4): 399 – 403.

[10] 唐尧, 王立娟, 赵娟, 等. 遥感技术在"6 · 17"丹巴堵江泥石流灾害链灾区应急救援抢险决策中的应用[J]. 中国地质调查, 2020, 7(5): 114 – 122.
Tang Y, Wang L J, Zhao J, et al. Application of remote sensing technology in emergency rescue decision about "6 · 17" Danba River debris flow disaster chain[J]. Geolo Surv China, 2020, 7(5): 114 – 122.

[11] 王仁超, 孔纪名, 崔云. 西南山区长输油气管道坡面泥石流成灾特征与防治——以云南昆明水节箐高位溃决型泥石流为例[J]. 山地学报, 2018, 36(5): 813 – 820.
Wang R C, Kong J M, Cui Y. Characteristics and countermeasures of slope debris flow in Kunming of Yunnan Province of China[J]. Mt Res, 2018, 36(5): 813 – 820.

[12] 熊俊, 马超, 张嘉. 浙西南山区乡镇坡面型泥石流成灾模式研究方法探讨[J]. 浙江国土资源, 2021(S1): 72 – 81.
Xiong J, Ma C, Zhang J. Discussion on disaster model research methods of slope debris flow in mountainous areas of southwest Zhejiang[J]. Zhejiang Land Resour, 2021(S1): 72 – 81.

[13] 刘成, 徐刚. 坡面泥石流活动与降水之间的关系初探——以重庆北碚地区为例[J]. 水文地质工程地质, 2006, 33(4): 94 – 97.
Liu C, Xu G. A preliminary study of the relationship between debris flow on slope and precipitation – a case study in Beibei, Chongqing[J]. Hydrogeol Eng Geol, 2006, 33(4): 94 – 97.

[14] 余斌, 朱云波, 刘秧. 坡面泥石流降雨预报模型[J]. 水科学进展, 2017, 28(6): 839 – 848.
Yu B, Zhu Y B, Liu Y. Prediction model of hillslope debris flows[J]. Adv Water Sci, 2017, 28(6): 839 – 848.

[15] 汤人杰, 徐光黎, 汤忠强. 温州群发性坡面泥石流临界雨量研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2019, 30(3): 60 – 66.
Tang R J, Xu G L, Tang Z Q. Study on critical rainfall of grouped slope debris flows in Wenzhou[J]. Chin J Geol Hazard Control, 2019, 30(3): 60 – 66.

[16] 秦海燕, 雷玉芬, 袁波. 引发陡斜坡坡面泥石流的高强度降雨主成份分析[J]. 地球科学前沿, 2019, 9(9): 846 – 853.
Qin H Y, Lei Y F, Yuan B. Principal component of rain fall or heavy rain fall induced debris flow of hillslope on slope foundations[J]. Adv Geosci, 2019, 9(9): 846 – 853.

[17] 王腾飞, 姚磊华, 陈爱华. 暴雨条件下麻柳沟坡面泥石流形成过程试验研究[J]. 水文地质工程地质, 2014, 41(4): 119 – 124.
Wang T F, Yao L H, Chen A H. Model test study of the maliugou debris flow under rainstorm[J]. Hydrogeol Eng Geol, 2014, 41(4): 119 – 124.

[18] 乔建平, 李明俐, 杨宗佶, 等. 基于模型试验的泥石流坡面物源启动预警模型[J]. 水科学进展, 2018, 29(1): 64 – 72.
Qiao J P, Li M L, Yang Z J, et al. Warning model study of debris flow slope source starting based on experimental method[J]. Adv Water Sci, 2018, 29(1): 64 – 72.

[19] 吕立群, 陈宁生, 卢阳, 等. 基于人工降雨实验的坡面泥石流启动力学计算[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(1): 52 – 59.
Lü L Q, Chen N S, Lu Y, et al. Mechanical model of slope debris flow initiation based on artificial rainfall experiment[J]. J Nat Disasters, 2013, 22(1): 52 – 59.

[20] 张万顺,乔飞,崔鹏,等. 坡面泥石流起动模型研究[J]. 水土保持研究,2006,13(4):146 – 149.
Zhang W S,Qiao F,Cui P,et al. The study on the numerical model of debris flow on the slope[J]. Res Soil Water Conserv,2006,13(4):146 – 149.

[21] 唐红梅,陈洪凯,唐兰. 坡面泥石流演化模式及其试验[J]. 山地学报,2014,32(1):98 – 104.
Tang H M,Chen H K,Tang L. Evolution model and test of slope debris flow[J]. Mt Res,2014,32(1):98 – 104.

[22] 曾凡伟,徐刚,李青,等. 坡度阀值与坡面泥石流——以重庆市北碚区为例[J]. 山地学报,2004,22(5):568 – 571.
Zeng F W,Xu G,Li Q,et al. Critical gradient and debris flow on slope a case study in Beibei,Chongqing[J]. J Mt Sci,2004,22(5):568 – 571.

[23] 徐刚. 坡面泥石流流域地貌要素的概率分布[J]. 自然灾害学报,2005,14(2):70 – 74.
Xu G. Probability distribution of geomorphic factor of debris flow on mountain slope[J]. J Nat Disasters,2005,14(2):70 – 74.

[24] 何坤,沈军辉,刘海,等. 稀性坡面泥石流粗颗粒在不同水力作用下的起动[J]. 山地学报,2015,33(6):721 – 725.
He K,Shen J H,Liu H,et al. Starting contidtions of the coarse particles about diluted slope debris flows under clear water conditions[J]. Mt Res,2015,33(6):721 – 725.

[25] 杨瀛,胡卸文,王严,等. 火后泥石流流域坡面侵蚀物源动储量估算方法探讨[J]. 工程地质学报,2021,29(1):151 – 161.
Yang Y,Hu X W,Wang Y,et al. Preliminary study on methods to calculate dynamic reserves of slope erosioning materials transported by post – fire debris flow[J]. J Eng Geol,2021,29(1):151 – 161.

[26] 王丽娟,马超,苗绿. 坡面泥石流形态和堆积特征研究[J]. 自然灾害学报,2020,29(6):98 – 106.
Wang L J,Ma C,Miao L. Morphological and depositional characteristics of slope debris flow[J]. J Nat Disasters,2020,29(6):98 – 106.

[27] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB 18306—2015 中国地震动参数区划图[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
General Administration of Quality Supervision,Inspection and Quarantine of the People's Republic of China,Standardization Administration of the People's Republic of China. GB 18306—2015 Seismic ground motion parameters zonation map of China[S]. Beijing:Standards Press of China,2016.

[28] 水利部水文局,南京水利科学研究院. 中国暴雨统计参数图集[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006.
Hydrology Bureau of the Ministry of Water Resources,Nanjing Hydraulic Research Institute. Atlas of Rainstorm statistical Parameters in China[M]. Beijing:China Water Power Press,2006.

[29] 中国地质灾害防治工程行业协会. T/CAGHP 006—2018 泥石流灾害防治工程勘查规范(试行)[S]. 北京:中国标准出版社,2018.
China Geological Disaster Prevention Engineering Industry Association. T/CAGHP 006—2018 Specification of Geological Investigation for Debris Flow Stabilization[S]. Beijing:Standards Press of China,2018.

[30] 中华人民共和国国土资源部. DZ/T 0220—2006 泥石流灾害防治工程勘查规范[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. DZ/T 0220—2006 Specification of Geological Investigation for Debris Flow Stabilization[S]. Beijing:Standards Press of China,2006.

Development characteristics and prevention measures of slope debris flow in Nimanong Natural Village of Xietongmen County in Shigatse City

XU Wei[1,2], WANG Zuquan[3], NI Dexing[4], TIE Yongbo[1]

(1. *Chengdu Center, China Geological Survey, Sichuan Chengdu*, 610081, *China*; 2. *State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Sichuan Chengdu* 610059, *China*; 3. *Sichuan Heli Engineering Consulting Co., Ltd Center, Sichuan Chengdu*, 610041, *China*; 4. *Chengdu Surveying Geotechnical Research Institute Co., Ltd. of MCC, Sichuan Chengdu*, 610023, *China*)

Abstract: Slope debris flow has the characteristics of small scale, wide distribution, sudden outbreak, fast flow, short process and large impact force, which is a very serious natural disaster. To find out the development characteristics of slope debris flow of Nimanong Natural Village in Xietongmen County of Rikaze City of Tibet, the authors in this paper adopted fine field investigation and measurement as working method to find out the characteristics in geological environment , the debris flow area division, main channel and branch lander channel characteristics, the debris flow formation conditions and the debris flow provenance transformation relations. Therefore, the development trend of debris flow was analyzed and the danger area was delimited. The results show that the total

amount of loose solid sources in the basin are about 22.72×10^4 m^3, and the kinetic reserves that may be involved in debris flow activities are about 7.82×10^4 m^3. The debris flow disaster at large scale would be induced once the slope debris flow erupted. The comprehensive disaster – causing ability of debris flow is strong, and the disaster – resisting ability of the affected body is poor, which makes the urgency of debris flow treatment to be grade I. Two treatment schemes of "diversion channel + intercepting channel + diversion dike" and "diversion protection dike" are put forward to provide technical support for prevention and controlling of debris flow.

Keywords: slope debris flow; development characteristics; prevention measure; Xietongmen County

(责任编辑: 常艳)