

和田县朗如乡米提孜村泥石流灾害 形成条件及动力学特征分析

敬广秀¹, 吴绍英²

(1.新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第一水文工程地质大队,新疆 乌鲁木齐 830091;

2.新疆维吾尔自治区地质环境监测院,新疆 乌鲁木齐 830091)

摘要:米提孜村泥石流位于昆仑山北坡田县西南部,泥石流流域面积 8.63 km^2 ,在强降雨条件下,沟道内形成较强的汇流,沟谷中下游泥沙在汇流启动下,形成泥石流,严重威胁进出山口居民的生命财产安全。通过研究成灾背景条件及基本特征,得出米提孜村泥石流形成条件及动力学特征,研究成果有助于开展该泥石流的防治工作。

关键词:泥石流灾害;地质背景;形成条件;动力学特征;和田县

和田县地处欧亚大陆腹地,南部为昆仑山,北部为塔克拉玛干沙漠,研究区位于昆仑山脉北麓,塔里木盆地。研究区南部山区地形起伏较大,冲沟发育,北部平原区地形开阔、平坦。泥石流流域面积为 8.63 km^2 ,发育5处泥石流,编号依次为N1、N2、N3、N4、N5,空间分布特征见图1。

近几年暴雨频发且雨量集中,由于植被发育条件差,加之南部中高山区基岩裸露、地形陡峻,致使坡面径流快速向沟道内汇集,携带中下游松散物源形成泥石流^[1],目前已有泥石流翻越简易排导渠进入村民果园、房屋院子。因此,研究米提孜村泥石流形成条件及动力学特征,可为后续防治工程的实施提供理论依据。

1 研究区地质背景条件

1.1 地貌类型条件

研究区位于昆仑山北麓中低山区,海拔 $1\ 560\sim 2\ 278\text{ m}$,地势南高北低。泥石流形态呈NWS向展布,形成流通区无明显界线,向北开口堆积。按地貌成因和形态特征,研究区微地貌可划分为构造侵蚀中低山区、山前冲洪积平原两种地貌类型(图2)^①。

构造侵蚀中低山区 主要分布于泥石流沟沟口以南区域,区内地形高低起伏,相对高差为 $50\sim 300\text{ m}$,两侧山体坡度为 $15^\circ\sim 65^\circ$ 。该区域发育

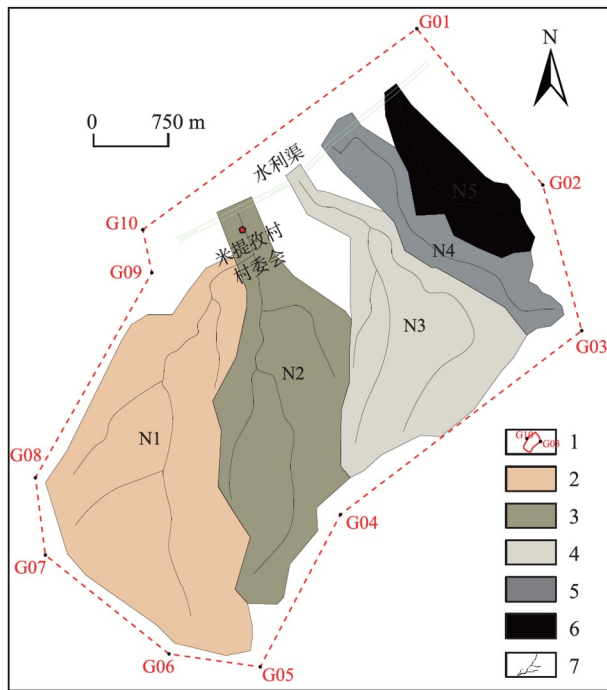


图1 泥石流空间分布特征图

Fig.1 Spatial distribution characteristics of debris flow

1.研究区范围及拐点编号;2.N1 泥石流流域范围;3.N2 泥石流流域范围;
4.N3 泥石流流域范围;5.N4 泥石流流域范围;
6.N5 泥石流流域范围;7.泥石流沟道

相对独立的5条“V”型沟谷,沟谷上游地形呈“簸箕状”,坡顶为棱角状,坡面冲沟发育,地形地貌

收稿日期:2023-05-18;修订日期:2023-07-20

第一作者简介:敬广秀(1985-),男,工程师,甘肃漳县人,2012年毕业于新疆大学勘查技术与工程专业,现从事水文地质、工程地质和环境地质方面的工作;E-mail: 601290989@qq.com

① 新疆地质工程勘察院.和田县-和田市地质环境基础调查(地质灾害详细调查),2018

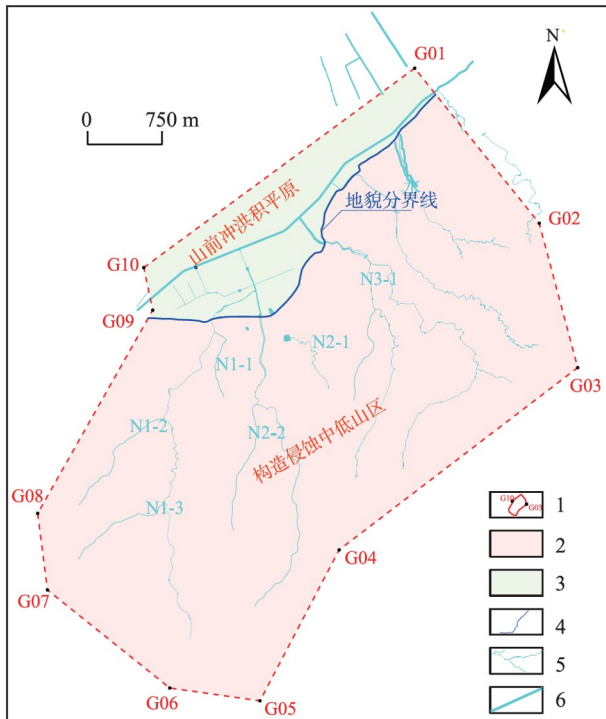


图2 研究区地貌类型图

Fig.2 Landform type map of the study area

1.研究区范围及拐点编号;2.构造侵蚀中低山区;3.山前冲洪积平原;
4.地貌分界线;5.泥石流沟道;6.水利渠

条件利于地表水的汇集。沟谷中下游沟槽发育,均为水流切割掏蚀而成。坡体之上发育少量植被,以矮小草本植被为主,植被覆盖率小于5%,不利于水土保持。

山前冲洪积平原 主要分布于泥石流沟沟口以北区域,地势开阔,总体南高北低,地形坡降为20‰,高差35 m,南北长度约2.7 km至喀拉喀什河。出山口至河岸阶地间的山前平原被人为改造,分布有居民区、农田等,植被发育,以人工种植农作物、栽种树木等为主,植被覆盖率约30%。受灾对象较为集中,且防灾能力相对较差。

1.2 地层特征及分布

研究区主要出露长城系、新近系、第四系(图3)。

长城系 受山前断裂构造影响,南部地层抬升,在N1、N2泥石流沟口以南大面积出露,其余泥石流沟零星出露。

新近系上新统 地层呈砖红色,在研究区东南部N3、N4、N5泥石流沟南侧出露,地层厚度较大。

第四系 ①中—上更新统。分布在研究区南部泥石流出口堆积区、泥石流沟道两侧山体中下部。在N1、N2泥石流流域第四系中—上更新统覆

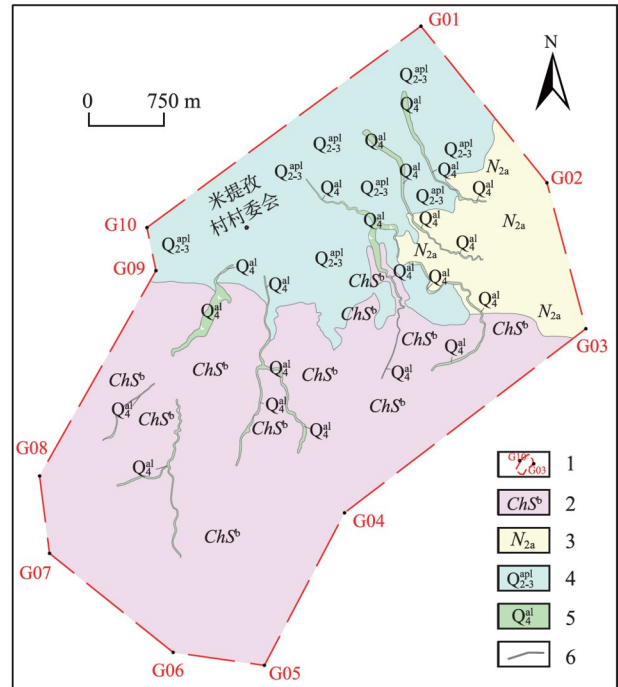


图3 研究区地层分布图

1.研究区范围及拐点编号;2.长城系石英片岩;3.新近系上新统砂页岩;
4.第四系中—上更新统;5.粉细砂、砂卵石;6.地质界线

盖较薄,主要分布于沟道两侧坡脚处;N3、N4、N5泥石流沟下游两侧山体分布较厚,上游仅在沟道两侧坡脚处少量分布。地层岩性为冲洪积砂质粉土层、卵石层,坡积粗砂、角砾等,该层为主要泥石流物源;②全新统。主要分布在研究区泥石流沟道内,岩性以砂砾石为主,呈青灰、杂色,干燥,松散,厚度不均,泥石流下游沟道厚3~8 m,上游及支沟内厚0.5~1.5 m。

1.3 地下水类型条件

研究区地下水类型为第四系松散岩类孔隙水和基岩裂隙水。①第四系松散岩类孔隙水。分布在北部山前洪积扇及河谷阶地。上部含水层为粉细砂,厚度大于4 m,下部为砂砾石层,地下水埋深大于5 m。补给来源为南部山区基岩裂隙水侧向径流和大气降水入渗,N5沟谷两侧存在农业灌溉水入渗补给的情况。该类地下水由山前洪积扇向河谷阶地径流,径流途径较短,最终排泄至喀拉喀什河,水量约1 500 m³/d;②基岩裂隙水。广泛发育于南部中高山区,含水层岩性为长城系变质岩,地下水埋深较大,水量较贫乏。地下水补给来源主要为南部昆仑山山区侧向径流和大气降水(补给量较少)。地下水通过岩石裂隙由南部中高山区向北部低山、河谷地带径流,最终排泄于喀拉喀什河,未见地下水露头。

2 泥石流形成条件

据现场走访及试验所得泥石流性状特征分析,米提孜村泥石流可划分为中频、沟谷暴雨坡面侵蚀型稀性泥石流,N1、N2为水石(沙)型泥石流,N3、N4、N5为泥石型泥石流。将上述5条泥石流在出山口南侧划分为形成流通区,流域内坡积、洪积物在坡面径流作用下被冲蚀搬运到沟道内,在沟谷中下游汇集中,在出山口北侧堆积。丰富的松散固体物质,陡峭的地形和短时强降雨是形成泥石流启动的必要条件^[2]。

2.1 地形条件

米提孜村泥石流沟呈“V”字型,N1、N2、N3沟道长分别为3.18 km、3.19 km、3.49 km,纵坡分别为108.7‰、160.4‰、107.9‰,沟谷宽0.3~1.3 km,沟床底部宽6~25 m,两侧山坡平均坡度约25°。N4、N5沟道长分别为2.65 km、1.60 km,纵坡分别为55.4‰、73‰,沟谷宽0.15~0.5 km,沟床底部宽3~25 m,两侧山坡平均坡度约20°。泥石流沟谷中上游基岩裸露,植被不发育;N1、N2泥石流中下游山体陡峻,坡体第四系覆盖层较薄,N3、N4、N5中下游地形相对变缓,坡体第四系覆盖层相对较大。该地形有利于地面径流及固体物质的汇集、运移^[3]。

2.2 泥石流物源条件

米提孜村泥石流类型为沟谷型,南侧山体基岩出露,植被稀疏,覆盖层极薄且具有铁钙质胶结,坡体相对稳定;中下游沟道内松散堆积物厚度相对较大。N1、N2泥石流中上游整体基岩出露,局部堆积有第四系,厚度、规模较小,坡面松散物源忽略不计,沟道内平均厚度0.3 m。中下游沟道第四系厚1~9 m,平均厚度3 m。中下游坡面分布较薄的第四系,平均厚0.5 m。N3、N4、N5泥石流沟道中上游基岩出露,局部堆积第四系,厚度、规模较小,坡面物源可忽略不计,沟道内平均厚0.5 m。中下游至出山口沟道及两侧坡面覆盖第四系松散堆积、坡积物,厚度平均0.8 m;沟道内松散物厚2~8 m,平均5 m。因此

泥石流中下游第四系结构松散,厚度相对较大,主要地层上部为粉细砂、下部为卵砾石层,该段为泥石流主要物源区(表1)。

2.3 水源条件

水动力条件是泥石流暴发的激发因子,暴雨型泥石流形成时水源条件是大气强降水^[3]。据和田气象站1953—2019年的气象资料分析,无论是平水年还是丰水年,低涡、冷锋低槽等都能造成小范围大暴雨。本地区暴雨主要分布在5—8月,降水过程断断续续,降水强度时大时小。历年最大一日暴雨为26.60 mm,发生在1968年,10 mm以上大雨发生频率为52%。

研究区地形陡峻,基岩裸露,入渗较小,利于短时强降雨在流域内快速汇集,在主沟道内集中后一边掏蚀沟道两侧松散物源,一边携带泥沙向下游快速运动,为泥石流启动的动力条件^[4]。

3 泥石流动力学特征

3.1 泥石流峰值流量

据泥石流防治设计需要,本次采用雨洪法计算峰值流量,据形态调查法进行现场验证。公式如下^[5]:

$$Q_c = (1 + \phi)Q_p \cdot D_c \quad (1)$$

式中: Q_c 为频率为 P 的泥石流洪峰值流量;

Q_p 为频率为 P 的暴雨洪水设计流量;

ϕ 为泥石流泥砂修正系数;

D_c 为泥石流堵塞系数。

泥石流泥沙修正系数计算公式:

$$\phi = (\gamma_c - \gamma_w) / (\gamma_H - \gamma_c) \quad (2)$$

式中: γ_H 为泥石流固体物质比重; γ_c 为泥石流流体重度; γ_w 为清水重度。

据天然重度及泥石流浆体配比试验结果,计算求得泥石流泥砂修正系数N1~N5不同断面处值依次为1.33、1.60、1.89、2.40、3.73、1.52、2.63、2.10、3.00、2.25;泥石流堵塞系数N1、N2、N3泥石流沟弯

表1 米提孜村泥石流各泥石流沟物源统计

Table 1 Statistics of debris flow sources in various debris flow gullies in Mitiz Village

泥石流	中上游				中下游				体积合计 /×10 ⁴ m ³	
	沟道面积/m ²	厚度/m	体积/×10 ⁴ m ³	坡面面积/m ²	厚度/m	体积/×10 ⁴ m ³	沟道面积/m ²	厚度/m		体积/×10 ⁴ m ³
N1	17293	0.5	0.86	463 455	0.3	13.90	28 971	3	8.69	23.46
N2	14231	0.5	0.71	654 996	0.3	19.65	31 409	3	9.42	29.78
N3	2975	0.5	0.15	448 199	0.8	35.86	43 608	5	21.80	57.81
N4	6534	0.5	0.33	340 989	0.8	27.28	31 504	5	15.75	43.36
N5	2172	0.5	0.11	415 565	0.8	33.25	21 155	5	10.58	43.93

道发育,沟道宽度有一定变化,局部存在高陡跌水陡坎,物源主要集中在沟道内及沟道两侧坡脚,集中程度中等。局部沟岸滑塌较发育,对沟道造成一定程度堵塞,堵塞程度为中等,因此取 2.0;N4、N5 泥石流沟槽基本顺直均匀,基本无卡口、陡坎,物源分布较分散,沟岸稳定,局部沟岸滑塌,对沟道堵塞程度轻微,沟道基本稳定,堵塞程度一般,因此取 1.5。

据研究区气象资料分析,确定米提孜村泥石流设计暴雨洪峰流量(表 2)。

将选取参数代入公式(1)中,计算泥石流峰值流量(表 3)。通过计算得出:①泥石流峰值流量从 N1~N5 依次递减,同泥石流流域面积呈相关比例;②N1 泥石流在 S1 断面及 S2 断面处随流域面积的减小,峰值流量增大,呈负相关,说明 N1 泥石流在 S1 断面处泥石流开始停淤,泥石流堆积区随堆积扇的抬高向沟道上游移动。

3.2 一次泥石流过程总量

一次泥石流总量据泥石流历时 T 和最大流量 Q_c

进行计算,计算公式如下^[5]:

$$Q = KTQ_c \tag{3}$$

研究区流域面积为 8.63 km², K 取值为 0.264;经询问村民,一次泥石流发生最长时间为 15~ 20 min,保守以 20 min, $T=1\ 200$ s 为准;相同断面处泥石流峰值流量采用表 3 数据。将上述参数代入公式(3),得出拟设防治工程所在断面一次泥石流总量(表 4)。据计算结果可知, N1、N2 泥石流沟拟设防治工程断面处,一次过程总量大之外,其余均较小。因此拦沙坝设计需着重考虑 N1、N2 防治部位库容。

3.3 泥石流冲击压力

泥石流防治设计中拦挡坝抵抗冲击力稳定性是重要的设计参数。本次泥石流采用下式计算冲击力:

$$\delta = \lambda \frac{\gamma_c}{g} v_c^2 \sin \alpha \tag{4}$$

- 式中: δ 为泥石流整体冲击压力;
 g 为重力加速度,取 $g = 9.8\text{ m/s}^2$;
 α 为建筑物受力面与泥石流冲压力方向的夹角;
 γ_c 为泥石流重度;

表2 研究区各泥石流沟不同断面处的洪峰流量
Table 2 Peak discharge at different sections of debris flow gullies in the study area

泥石流沟名称	计算断面	不同频率洪峰流量/m ³ /s						集水面积/km ²
		1%	2%	3.33%	5%	10%	20%	
N1	S1 断面	10.2	8.61	7.48	6.59	5.13	3.72	3.28
	S2 断面	9.44	7.97	6.92	6.10	4.75	3.44	3.04
N2	S3 断面	7.17	6.06	5.26	4.64	3.60	2.61	2.18
	S4 断面	5.44	4.60	3.99	3.52	2.73	1.98	1.65
N3	S5 断面	4.64	3.92	3.39	3.00	2.33	1.69	2.03
	S6 断面	4.35	3.67	3.18	2.81	2.18	1.58	1.90
N4	S7 断面	1.22	1.03	0.89	0.79	0.61	0.45	0.75
	S8 断面	1.04	0.88	0.76	0.67	0.52	0.38	0.64
N5	S9 断面	2.96	2.51	2.18	1.92	1.49	1.08	0.71
	S10 断面	2.69	2.28	1.98	1.74	1.35	0.98	0.64

表3 各泥流水文断面设计泥石流峰流量
Table 3 Design debris flow peak flow at each hydrological section of debris flow

断面编号		集水面积/km ²	1+φ	I	20 年一遇洪水流量/m ³ /s	20 年一遇泥石流峰值流量/m ³ /s
					p=5%	p=5%
N1 泥石流沟	S ₁ 断面	3.28	2.33	2.0	6.59	30.75
	S ₂ 断面	3.04	2.60	2.0	6.10	31.72
N2 泥石流沟	S ₃ 断面	2.18	2.89	2.0	4.64	26.86
	S ₄ 断面	1.65	3.40	2.0	3.52	23.94
N3 泥石流沟	S ₅ 断面	2.03	4.73	2.0	3.00	28.36
	S ₆ 断面	1.90	2.52	2.0	2.81	14.15
N4 泥石流沟	S ₇ 断面	0.75	3.63	1.5	0.79	4.30
	S ₈ 断面	0.64	3.10	1.5	0.67	3.12
N5 泥石流沟	S ₉ 断面	0.71	4.00	1.5	1.92	11.52
	S ₁₀ 断面	0.64	3.25	1.5	1.74	8.48

表4 一次泥石流过程总量计算结果
Table 4 Calculation results of the total amount of a debris flow process

泥石流沟	断面编号	集水面积/km ²	T/s	Q(p=5%)
N1	S ₂ 断面	3.04	1200	10049
N2	S ₄ 断面	1.65	1200	7583
N3	S ₆ 断面	1.90	1200	4484
N4	S ₈ 断面	0.64	1200	987
N5	S ₁₀ 断面	0.64	1200	2687

v_c 为泥石流流速; λ 为建筑物形状系数,矩形建筑物取 1.33。

拦挡坝按拟建导流堤计算,形状为矩形,故 $\lambda=1.33$;受力面与泥石流冲压方向的夹角取 50°、60°、70°、80°、90° 5种情形分别计算;据以上参数计算得,泥石流流体整体冲击力 δ (表 5)。据计算结果,冲击力

表5 各断面泥石流冲击力计算结果
Table 5 Calculation results of impact force of debris flow at each section

断面 编号	γ_c /t/m ³	λ	v_c /m/s	δ /kPa				
				$\alpha=50^\circ$	$\alpha=60^\circ$	$\alpha=70^\circ$	$\alpha=80^\circ$	$\alpha=90^\circ$
S ₂ 断面	1.32	1.33	1.657	3.693	4.174	4.530	4.747	4.820
S ₄ 断面	1.36	1.33	2.357	7.698	8.702	9.443	9.896	10.049
S ₆ 断面	1.41	1.33	1.076	1.663	1.880	2.040	2.138	2.171
S ₈ 断面	1.42	1.33	0.943	1.287	1.454	1.578	1.654	1.679
S ₁₀ 断面	1.45	1.33	1.129	1.883	2.129	2.310	2.421	2.458

注: δ 为泥石流整体冲击力; α 为建筑物受力面与泥石流冲击力方向的夹角; γ_c 为泥石流重度; v_c 为泥石流流速; λ 为建筑物形状系数

最大角度在正迎水面,5条泥石流中,N2泥石流冲击力最大,超过 10 kPa,为其他冲击力的 2 倍多,在拟设拦沙坝设计中需着重考虑坝体强度和稳定性。

4 结语

(1) 米提孜村泥石流严重威胁在出山口简易排导渠两侧的米提孜村委会、卫生院、鹧鸪养殖场、民房、农田、居民及牲畜等。受泥石流威胁 80 余人、鹧鸪 4 万只、羊 200 只、民房 40 间、耕地 60 亩。研究米提孜村泥石流对当地开展泥石流防灾减灾工作起重要决策依据。

(2) 米提孜村泥石流为中频沟谷暴雨坡面侵蚀稀性泥石流,N1、N2 含泥量低,为水石(沙)型泥石流;N3、N4、N5 含泥量高,为泥石型泥石流。

(3) 通过计算得出,该泥石流不同断面处峰值流量、一次泥石流过程总量和泥石流总体冲击压力等力学特征参数,为防治工程设计提供了理论参数。

参 考 文 献

- [1] 敬广秀,吴绍英.阿勒泰市小诺改特泥石流灾害特征分析[J].新疆地质,2017(35):143-145.
- [2] 王裕宜,邹仁元,李昌志.泥石流土体侵蚀与始发雨量的相关性研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(6):34-38.
- [3] 张春山,张业成,胡景江,等.中国地质灾害时空分布特征与形成条件[J].第四纪研究,2000,20(6):559-566.
- [4] 刘德兵,李毅,郭洪,等.松潘县东龙沟泥石流形成条件与动力学特征分析[J].工程勘察,2011,39(6):58-63.
- [5] 中国地质灾害防治工程行业协会.泥石流灾害防治工程勘察规范(试行)(T/CAGHP006-2018)[S].2018.

Analysis on Formation Conditions and Dynamic Characteristics of Debris Flow Disaster in Mitiz Village, Langru Township, Hetian County

Jing Guangxiu¹, Wu Shaoying²

(1.The First Hydrological Team of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources,Urumqi ,Xinjiang 840000,China;
2.Xinjiang Institute of Geological Environment Monitoring, Urumqi, Xinjiang, 840000,China)

Abstract: The debris flow in Mitiz Village is located in the southwest of Hetian County, with a drainage area of 8.63 square kilometers. Under the condition of strong rainfall, a strong confluence will be formed in the gully. The sediment in the middle and lower reaches of the gully will form a debris flow under the start of the confluence, which will pose a huge threat to the life and property safety of the villagers at the gully mouth. By studying the background conditions and basic characteristics of the disaster, the formation conditions and dynamic characteristics of the debris flow in Mitiz village are obtained.

Key words: Debris flow hazard; Geological background; Formation conditions; Dynamic characteristics; Hetian county