

甘建军, 吴晗, 唐春, 等. 四川理县塔斯沟多发性特大泥石流成灾机理与特征[J]. 灾害学, 2015, 30(4): 59–63. [Gan Jianjun, Wu Han, Tang Chun, et al. Mechanism and Characteristics of Multiple Catastrophic Mudslides of Tasi Ditch in Li County of Sichuan Province[J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(4): 59–63.]

四川理县塔斯沟多发性特大泥石流成灾机理与特征^{*}

甘建军^{1,2}, 吴 晗², 唐 春¹, 黄 诚¹, 陈 静¹

(1. 南昌工程学院, 江西 南昌 330099; 2. 四川省宜宾地质工程勘察院, 四川 宜宾 644002)

摘 要: 塔斯沟是一条老泥石流, 位于四川理县塔斯村, 属于汶川 8.0 级地震极重灾区。2010 年 7 月 31 日复活, 突发大型泥石流, 造成了较大的危害。在进行应急治理后, 由于其具备泥石流突发的必有条件, 仍然具有泥石流复活的可能性。在对塔斯沟泥石流现场调查, 查明沟域内松散物源分布及稳定性的基础上, 对塔斯沟泥石流的发育特征及动力学特性进行分析, 重点分析了泥石流的成灾机理和特征。研究表明: 塔斯沟泥石流物源丰富, 地形易于汇水且主沟坡降大, 水源动力足, 属易发性泥石流, 具备再次发生泥石流的基本条件, 建议采用建立导流槽, 对极危险区和危险区进行保护。研究对于高寒山区泥石流的防治具有参考意义。

关键词: 泥石流; 成灾机理; 多发性; 动力特征; 塔斯沟; 四川理县

中图分类号: X43; P642.23 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2015)04–0059–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2015.04.012

汶川 8.0 级地震使地震区山体震碎, 特别是在龙门山断裂两侧的岩土体结构破坏, 形成了众多松散堆积体, 为泥石流的发生提供了大量的物源。据调查统计^[1], 震后四川省内发生泥石流 2 400 多条, 其中大型规模以上约占 10%, 并发生了多次灾难事件。其中, 位于龙门山地震断裂带中段的塔斯沟历史上曾经 6 次改道, 属于“复活”泥石流, 成灾机理复杂, 代表性明显。

2010 年 7 月 31 日, 在局地短历时强降雨的条件下, 四川理县塔斯沟暴发了大型粘性沟谷型泥石流, 冲出方量 120 万 m³, 淤埋堆积河道长约 1 000 m, 最大堆积厚度 5 m, 造成河流改道 650 m, 死亡 1 人, 13 人受伤, 冲毁房屋数十间, 直接经济损失 7 809 万元。本文在现场调查、地质勘查和室内试验的基础上, 探讨了塔斯沟泥石流的成因和特征, 以为震区其他类似低频崩塌补给复活型泥石流的科学认识、评估和防治提供参考。

1 孕灾环境地质背景

塔斯沟地处岷江上游孟屯沟右岸, 距上孟乡政府约 1 km。研究区属高山峡谷地貌, 地势南高北低, 海拔高程 2 088 ~ 4 286 m, 相对高差 2 208 m, 最高峰位于四棚后山顶, 海拔 4 286 m

(图 1)。流域整体呈树枝状, 主要有一号、二号支沟, 流域面积 10.85 km², 长轴方向近 NE, 沟深流急, 谷坡陡峻(坡度达 45°~60°)。

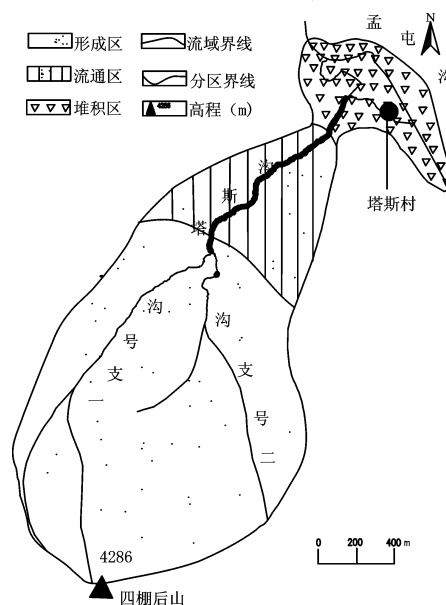


图 1 四川理县塔斯沟流域及分区示意图

勘查区出露地层为燕山期至印支期的侵入岩,

^{*} 收稿日期: 2015–04–01 修回日期: 2015–05–08

基金项目: 国家自然科学基金“岩土体与下垫面对降雨滑坡运动参数的作用机制及主控关系”(41272297); 四川省国际合作项目与交流计划项目“粘土岩微观结构及渗透特性对封闭机理的影响研究”(2014HH0007)

作者简介: 甘建军(1975–), 男, 江西永新人, 博士, 工程师, 讲师, 主要从事岩土工程和边坡稳定性的研究和实践工作。

E-mail: sedkj2006@126.com

有黑云母二长花岗岩、白云母花岗岩(γ_5^1)及白云母斜长花岗岩(γ_5^2)和三叠系上统(西康群)新都桥组(T_3^{sd})、侏倭组(T_3^w)和第四系冲洪积层(Q_3^{al+pl})、残坡积层(Q_4^{el+dl})、崩积层(Q_4^{col})、泥石流堆积层(Q_4^{sef})地层组成。沟口泥石流堆积层较厚,最厚度达 50 m。泥石流堆积区面积 1.06 km²。

研究区属龙门山地震带中段,经历了多次构造运动影响,地层褶皱紧密、尖棱、倒转、揉皱、拖拉现象十分普遍,致使岩石破碎,裂隙发育,岩石区域轻微变质,有利于地质灾害的发育。其次,地震对于区域滑坡、崩塌、泥石流等的形成、发育(复活)有一定影响。地质构造活动剧烈,物理现象较发育,地震活动曾多次发生。

2 塔斯沟大型泥石流的基本特征

根据震后勘察^[2],研究区平面上呈“簸箕形”,水系呈“Y 字形”发育,树枝状分叉多,易于汇水;剖面上后缘陡峭,中部缓倾,前缘平缘,具有震区大型泥石流复活的独特形成及发展特征(图 2)。



图 2 塔斯沟泥石流照片(摄于 2015 年 1 月 30 日)

2.1 泥石流形成区基本特征

塔斯沟两河口以上为泥石流的形成区,平面形态呈叶脉状,海拔高程从 2 540 ~ 4 286 m,相对高差 1 746 m,该沟段流域面积约 8.46 km²,地貌

上属高中山 ~ 高山,以构造作用为主,具有强烈的冰川刨蚀切割作用及剥蚀切割作用。出露地层主要为 γ_5^1 白云母花岗岩,受风化及构造裂隙影响,两侧沟壁岩体较破碎,不良地质现象较发育,大量崩塌物质堆积在沟谷两侧山坡上,为泥石流形成提供了丰富物源。1#支沟,位于塔斯沟沟道左侧,沟域前部分形态上呈现“V”字型,后部相对宽缓,整个呈一个小型漏斗状,其后缘距离塔斯沟沟口约 6.0 km,沟心段长约 3.56 km,流域面积约 3.48 km²,海拔高程 2 540 ~ 4 286 m,相对高差约 1 746 m,沟纵坡降 397‰。

2.2 泥石流流通区的基本特征

流通区由两河口至塔斯沟出口,高程 2 186 ~ 2 540 m,沟段长约 2.44 km,相对高差 354 m,平均纵坡 145‰,面积约 2.39 km²,地貌上属高中山,以构造作用为主,具有强烈的剥蚀切割作用及部分冰川刨蚀切割作用。该沟段两岸岸坡陡峻,呈“V”型沟谷,沟底宽度 10 ~ 30 m,支沟不发育。受汶川特大地震影响,该段沟谷两侧现状地质灾害较发育,崩滑现象发育,沟床堵塞严重,也为泥石流提供了较丰富物源。沟口受老君沟电站出水洞施工开挖弃渣影响,在沟内堆积了大量工程弃渣,也为泥石流形成提供了丰富物源。

2.3 泥石流堆积区的基本特征

塔斯沟出口至孟屯沟之间的宽缓地段为泥石流堆积区,高程 2 084 ~ 2 186 m,该段为老堆积扇,当地居民又称为塔斯坝(堆积扇),沟口泥石流堆积扇长约 1 600 m,宽约 660 m,扩散角约 110°,堆积扇面积约 1.06 km²,平均纵坡降 99‰;地貌上属高中山间平坝,以构造作用为主,具有强烈的剥蚀切割作用及部分冰川刨蚀切割作用。堆积扇上居民较多,地震后,堆积扇上大多数居民房屋遭受一定的破坏,塔斯沟溪流经数次改道后,目前从堆积扇南东侧边缘汇入孟屯沟。受多次泥石流堆积影响,目前该地段孟屯沟被推移到北侧近山脚地段。据计算该泥石流重度为 1.58 t/m³,属稀性泥石流(表 1)。

表 1 四川省理县塔斯沟泥石流特征值

汇水面积/km	主沟长/km	主沟平均坡降/‰	植被覆盖率/%	两岸坡度/(°)	d_{max}/m	固体物源/万 m ³	补给方式
10.85	6.0	184	70	45 ~ 60	1.4	86.89	冲蚀
泥痕爬高/m	泥石流重度/(t/m ³)	泥石流流速/(m/s)	设计峰值流量 5%/(m ³ /s)	校核峰值流量 2%/(m ³ /s)	流体冲击力/(t/m ²)	泥石流性质	泥石流类型
1.5 ~ 2.0	1.58	7.15	80.51	100.54	11.1	稀性	沟谷型

注:本表特征值为 2010 年 7 月 31 日泥石流发生后的调查值;泥石流重度根据现场取样和查表法综合确定;流速采取中铁第一勘察设计院、第二勘察设计院和第三勘察设计院、以及北京市政院 4 个经验公式计算综合取值。

表 2 塔斯沟崩滑堆积物地震前后分布特征表

分布位置	物源类型	静态储量/(万 m ³) 可运移储量/(万 m ³)				分布高程/m	距沟口 距离/km	现状稳定性
		震前	震后	震前	震后			
形成区	滑坡堆积体 Q _{4sef}	26.90	40.28	8.00	19.12	2 620 ~ 4 186 m	6.6	潜在不稳定
	1#支沟 泥石流堆积体 Q _{4dol}	0.38	0.38	0.13	0.13	2 540 ~ 3 980 m	4.8	不稳定
	坡残积 Q _{4^{dl+el}}	0.08	0.08	0.08	0.08	2 540 ~ 3 780 m	5.2	不稳定
	2#支沟 滑坡堆积体 Q _{4sef}	32.01	53.17	10.67	20.67	2 650 ~ 3 700m	4.5	不稳定
	泥石流堆积体 Q _{4dol}	0.60	0.60	0.20	0.20	2 540 ~ 3 210m	3.8	潜在不稳定
流通区主沟	坡残积 Q _{4^{dl+el}}	0.11	0.11	0.11	0.11	2 780 ~ 3 320m	4.0	不稳定
	滑坡堆积体 Q _{4sef}	13.50	31.85	0.32	11.82	2 375 ~ 2 510m	2.2	不稳定
	泥石流堆积体 Q _{4dol}	0.37	0.37	0.12	0.12	2 186 ~ 2 490m	1.6	潜在不稳定
	坡残积 Q _{4^{dl+el}}	0.05	0.05	0.05	0.05	2 286 ~ 2 320m	1.5	不稳定

3 塔斯沟泥石流的成灾机理分析

存在大量的古崩滑堆积物是该大型泥石流触发的基础;汶川地震及突发降雨共同作用是泥石流“复活”的主因,地震使古泥石流沟两侧岩土体及沟谷堆积体松散,降雨为泥石流的形成提供动力及水源条件;陡峭的地形为泥石流提供了高位势能^[3](图3)。

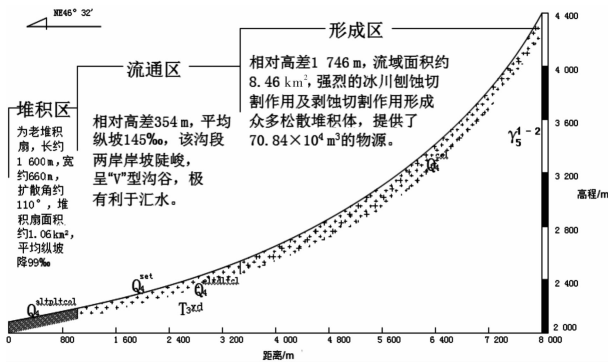


图 3 塔斯沟高陡峡谷地形为泥石流提供了充足的动力条件

3.1 地震与物源

研究区属龙门山地震带中段,从 1952 – 2008 年间的不完全统计,共发生地震 197 次,7 级以上地震 4 次(1933 年 8 月 5 日茂县叠溪 7.5 级地震、1973 年 2 月 22 日炉霍 7.2 级地震、1976 年 8 月 16 日松潘平武 7.2 级地震及 2008 年汶川 8.0 级特大地震)^[4]。研究区共有崩滑堆积体 35 处,其中形成区 26 处、流通区 9 处;汶川 8.0 级特大地震震前固体物源总量约 74 万 m³,震后增加了 12.9 万 m³。震前可运移物源总量约 19.7 万 m³,震后增加 32.6 万 m³。汶川地震新形成的崩滑堆积物源主要分布于 1#支沟和流通区主沟。崩塌堆积物主要以花岗岩块石、碎石、粉土及腐殖土为主,这些松散堆积物极有利于泥石流灾害的发生^[5](表 2)。

3.2 降雨与水源

研究区位于川西北山区,气候受地形影响显著,雨量少但降雨集中,常出现局部性暴雨和冰雹。据理县气象站 1958 – 2008 年实测气象资料,理县上孟乡多年年均降雨量 780.9 mm,降水集中在雨季(5 – 9 月),根据有时间记载的地质灾害事件进行统计显示,地质灾害波动曲线与降雨量波动曲线呈现正相关关系。雨量随海拔高度升高而增加,平均降雨梯度约为 4 mm/100 m。据暴雨天气过程分析,2010 年 7 月 31 日研究区暴雨强度在海拔 2 800 ~ 3 000 m 地带为最大,总雨量至少 50 mm,其中 1 h 雨强和 10 分钟雨强大约分别为 40 mm 和 20 mm 以上,初步估算暴雨的短历时雨强的频率达 100 年以上。塔斯沟是孟屯沟右岸的一级支流,支沟呈树枝状,沟道弯曲较多。沟内常年平均水深约 0.3 ~ 0.8 m,年水位变化幅度约 1 ~ 2 m。沟口处丰水期(5 ~ 9 月)流量 7.8 ~ 18 m³/s,占全年径流量的 81%,20 年一遇洪峰流量为 25.2 m³/s;由于集雨面积较大(>10 km²),沟域狭长(>6 km²),沟谷比降大(>305‰)的原因,洪水具有量大、峰高、历时较短的特点,这为泥石流暴发形成提供了丰富的水源条件。

3.3 起动与破坏

研究区的属于典型的山区沟谷多发型泥石流,其启动破坏受到岩性、暴雨、地形地貌、洪水流量等的影响,存在大量的松散堆积物是前提条件,其中关键因素是暴雨量。根据《泥石流灾害防治工程勘查规范》(DZ/T 0220 – 2006)^[6](以下简称《规范》)和《四川省水文手册》,计算出泥石流的特征值如表 2。由于无泥石流发生时的实际观测数据,对理县塔斯沟泥石流的分析,主要依据调访资料,类比利用目前泥石流运动特征及动力特征研究的成果进行分析^[7–8]。

3.3.1 泥石流的流速计算

根据《规范》推荐的西南地区中铁第二勘察设

计院(式 1)、中铁第三院勘查设计公式(式 2)计算:

$$V_c = \frac{1}{\sqrt{\gamma_H \phi + 1}} \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}, \tag{1}$$

$$V_c = (15.5/a) H_{\frac{2}{3}}^{\frac{1}{2}} I_c^{\frac{1}{2}}. \tag{2}$$

式中: V_c 为泥石流断面平均流速, m/s; $1/n$ 为清水沟床糙率系数, 查水文手册; R 为水力半径, 一般可用平均水深 H (m), I 或 I_c 为泥石流水力梯度(‰), 近似取沟谷纵坡坡度; ϕ 为泥沙修正系数, 经计算, $\phi = 0.55$ 。计算结果见表 3。

表 3 泥石流流速计算表

计算断面	流速(式(1))		流速(式(2))	
	$H = 1.5 \text{ m}$	$H = 2 \text{ m}$	$H = 1.5 \text{ m}$	$H = 2 \text{ m}$
塔斯坝	7.15 m/s	8.66 m/s	6.76 m/s	8.19 m/s

塔斯沟泥石流发生时, 其流体深度约在 1.5 ~ 2.0 m, 但均倾向于 1.5 m 这个结果, 同时结合泥石流沟在塔斯坝堆积区的沟槽深度, 最终确定流体深度取 1.5 m, 故塔斯沟泥石流流速推荐取 7.15 m/s^[9]。

3.3.2 泥石流流量计算

采用雨洪修正法对泥石流流量进行计算(式 3), 如表 4 所示。

$$Q_c = K_Q \cdot Q_p \cdot D_c; \tag{3}$$

$$K_Q = 1 + \phi = 1 + \frac{\gamma_c - 1}{\gamma_H - \gamma_c}. \tag{4}$$

式中: Q_p 为频率为 P 的暴雨洪水设计流量, m³/s; K_Q 为泥石流流量修正系数, 可如式(4)计算; γ_c 为泥石流重度, t/m³, γ_H 为泥石流固体物质比重, t/m³; D_c 为堵塞系数。

表 4 塔斯沟主沟泥石流峰值流量 m³/s

计算断面	设计频率/%				
	1	2	5	10	20
塔斯坝沟口	116	100	80.5	65.3	49.9

根据泥痕调查法, 主沟口断面泥石流流量为 105.51 m³/s, 与频率 1% 的泥石流爆发流量近似, 表明计算结果与现场调查结果比较符合。

3.3.3 泥石流冲击力及冲起高度

泥石流整体冲击力采用《规范》中的公式(5)进行计算, 计算结果见表 5。

$$\delta = \lambda \frac{\gamma_c}{g} V_c^2 \sin \alpha, \tag{5}$$

式中: δ 为泥石流流体整体冲击压力, Pa; g 为重力加速度(取 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$); α 为建筑物受力面积与泥石流冲压力方向的夹角(°); λ 为建筑物形状系数, 矩形建筑物 λ 取 1.33; γ_c 为泥石流容重, t/m³, 根据勘查计算, 取 1.6。

泥石流单块最大冲击力按式(6)计算, r 为动能折减系数, 对圆形端 $r = 0.3$; $C_1 + C_2 = 0.005$; W 为石块重量, 最大岩块按直径 1 m 算, 岩石容重 18 kN/m³算, 共 75.36 kN。

$$F = r V_c \sin \alpha [W/C_1 + C_2]^{1/2} \tag{6}$$

表 5 塔斯沟泥石流设计概率下冲击力预测

设计概率/%	1	2	5	10	20
设计流速/(m/s)	7.15	6.45	5.75	4.82	3.76
整体冲击力/(kN/m ²)	11.1	9.03	7.18	5.45	3.07
单块最大冲击力/kN	263.34	237.56	211.77	177.53	138.48

3.3.4 危害与评价

根据《规范》中的泥石流沟易发程度数量化评价标准, 对崩滑水土流失的严重程度、泥砂沿程补给长度比、沟口泥石流堆积活动程度、河沟纵坡降等 15 个因素进行打分, 判定泥石流为易发。结合塔斯沟堆积扇大小, 主河河型被逼弯曲程度, 泥石流补给长度、松散物贮量、松散体变形量大小, 暴雨强度指标 R , 综合判定塔斯沟泥石流活动强度为强。根据泥石流活动危险区划分标准, 结合泥石流危害对象造成的人员伤亡、财产损失和对当地社会经济的影响程度以及治理工程现状, 将塔斯沟泥石流堆积扇划分为 3 个区。极危险区: 塔斯沟水沟两侧至孟屯沟边的扇形区域, 面积 $3.12 \times 10^5 \text{ m}^2$, 占扇区面积 29.43%; 危险区: 极危险区右侧前缘日京寨搬迁点以及左侧的区域, 面积 $2.24 \times 10^5 \text{ m}^2$, 占总面积的 21.13%; 影响区: 高于危险区与危险区相邻的地区, 它不会直接与泥石流遭遇, 但却有可能间接受到泥石流危害的牵连而发生某些级别的灾害的地区, 面积 $5.24 \times 10^5 \text{ m}^2$, 占总面积的 49.43%^[10]。

4 结论与讨论

塔斯沟与其附近的卡子沟泥石流、朴头乡甲司口泥石流一样, 属于高寒山区型易发性特大型泥石流, 有其共有的形成和发育分布特征^[11-12]。

(1) 从地形地貌来看, 该类泥石流汇水一般为圈椅状、舌状、扇状、叶脉状等地形, 汇水面积较大, 一般超过 10 万 km²。汇水区后缘坡降极大, 一般为 350‰ 以上; 主沟口至后缘山顶的相对高差普遍超过 2 000 m 以上; 前者容易聚水, 后者则增加了水的动力条件。

(2) 从物源来看, 泥石流发生区域处于高地应力区, 一般位于地震断裂带附近, 坡体岩土体较破碎, 加之高寒山区的常年积雪, 导致山体被融

裂, 崩积于坡脚形成松散堆积体, 特别是汶川地震使松散堆积体增添 30 万 m^3 , 为泥石流的发生提供了充分的物源。

(3) 塔斯沟沟口的泥石流流量受陡峭地形及沟口狭窄因素的影响, 流速可达 $105.51 \text{ m}^3/\text{s}$, 且携带的泥石流最大岩块冲击力极大, 最高达 260 kN 多, 导致此次泥石流冲毁了沟口的建筑物, 并冲上河谷对面山坡。

鉴于塔斯沟泥石流具备多发性、突发性和危害性的特点, 建议对沟口农户采取搬迁避让, 并在堆积区的沟谷左岸(靠塔斯村一侧)设置混凝土挡土墙导流, 引导水流或泥石流排向孟屯河下游, 并对沟口堆积扇作耕地恢复, 使山区有限的土地得到充分利用。

参考文献:

- [1] 许强, 黄润秋. 5.12 汶川大地震诱发大型崩塌灾害动力特征初探[J]. 工程地质学报, 2008, 16(6): 721-729.
- [2] 四川省宜宾地质工程勘察院. 理县塔斯沟泥石流应急治理工程地质勘查报告[R]. 宜宾: 四川省宜宾地质工程勘察院, 2009.
- [3] 黄润秋. 汶川大地震触发的地震效应分析[J]. 工程地质学报, 2009, 17(1): 19-28.
- [4] 四川省地质矿产局. 中华人民共和国区域地质调查报告 1: 5 万幅(映秀幅 H-48-27-D, 都江堰幅 H-48-28-C)[Z]. 成都: 四川省地质矿产局, 1996.
- [5] 胡卸文, 吕小平, 黄润秋, 等. 唐家山堰塞湖大水沟泥石流发育特征及堵江危害性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(4): 850-858.
- [6] 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.
- [7] 四川省水利电力局水文总站. 四川省水文手册[R]. 成都: 四川省水利电力局水文总站, 1979.
- [8] Masami Saito, Tohru Araya, Futoshi Nakamura. Sediment production and storage processes associated with earthquake-induced landslides in okushiri island, 1993[J]. Sabo Gakkaishi, 1993, 47(6): 32-37.
- [9] 甘建军, 吴晗, 黄润秋, 等. 汶川地震区典型堆积体成灾模式研究[J]. 灾害学, 2013, 28(4): 40-44.
- [10] 甘建军, 孙海燕, 黄润秋, 等. 汶川县映秀镇红椿沟特大泥石流形成机制初步研究[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 5-10.
- [11] 李云, 陈晓清, 游勇, 等. “梯-潭”型泥石流排导槽研究初析[J]. 灾害学, 2014, 29(4): 173-175.
- [12] 黄润秋, 许强, 裴向军, 等. 汶川地震地质灾害研究[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 850-858.

Mechanism and Characteristics of Multiple Catastrophic Mudslides of Tasi Ditch in Li County of Sichuan Province

Gan Jianjun^{1,2}, Wu Han², Tang Chun¹, Huang Cheng¹ and Chen Jing¹

(1. Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330099, China;

2. Geological Engineering Investigation Institute of Yibin in Sichuan Province, Yibin 644002, China)

Abstract: Tasi ditch, which located in Sichuan Province, is an old landslide and belong to Wenchuan M8. 0 earthquake disaster zone. This old debris resurrection on July 31, 2010, then development into a large landslides suddenly, and became a larger damage. Although people carry out the emergency management along the Tasi Ditch, but still have the possibility of mudslides resurrection in this area, because there have a good condition of debris flow sudden. On the basis of site investigation, find out loose the distribution and its stability of the source domain, the author analysis the development of gully debris characteristics and kinetics characteristics, Analyses the mechanism and characteristics of debris flow. The result show that Tasi Ditch have more rich loose deposits, and have a easy catchment and big grade in terrain main ditch, and have plenty of water power, so that it belongs to the liability debris flow, and have the basic conditions of the mudslide again. In the end, the author recommended to establish a diversion trench, to protect most of danger and the danger zone. The research has reference meaning for alpine mountain landslide prevention.

Key words: debris flow; mechanism; multiple mudslide; dynamic characteristic; Tasi Ditch; Li County of Sichuan Province