

汶川地震区绵远河流域泥石流形成区的崩塌滑坡特征

常 鸣, 唐 川, 李为乐, 赵学宏, 黄翔超

(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)

摘 要: 2008 年汶川地震以后, 四川省绵竹市清平乡表面覆盖了大量松散堆积物, 这些物源在震后的几年中易受到暴雨激发, 导致大量浅层崩塌、滑坡的形成, 尤其在泥石流形成区。研究泥石流形成区崩塌、滑坡特征, 有助于分析滑坡向泥石流转化的特点。2010 - 08 - 13 绵远河流域发生强降雨致使数十条沟暴发泥石流, 在统计了研究区内 20 条沟泥石流形成区内的 386 个崩塌、滑坡后, 利用野外调查及高精度遥感影像, 将 386 个崩塌、滑坡全部解译, 并利用 GIS 分析统计出崩塌、滑坡在坡度、坡向、高程、沟道纵坡降、地层岩性、沟壑密度因子上的分布特征, 得出在海拔 1 700 ~ 2 400 m 范围内崩塌、滑坡密度最大; 坡度是影响崩塌、滑坡分布的重要因素, 随着坡度的增加密度也越来越大, > 70° 时极易失稳; 滑坡的方向垂直于发震断层明显多于平行于发震断层; 纵坡降在 500‰ ~ 600‰ 的区间内崩塌、滑坡大量分布; 石炭系灰岩出露的地层容易产生大量崩塌、滑坡, 尤其在下硬上软的岩层上面; 在微度水土流失的区域, 崩塌、滑坡分布集中, 因此要加强该区域的监测预警。

关键词: 汶川地震; 崩塌; 滑坡; 泥石流; 绵远河流域

中图分类号: P642. 2

文献标识码: A

“5. 12”汶川地震以后, 大量的崩塌、滑坡被触发^[1-2], 其增加大量的松散物源, 并可能在暴雨条件下导致泥石流的产生, 因此地震活动不仅诱发大量崩塌、滑坡, 还能够导致震后降雨产生泥石流^[3-4]。

四川省绵竹市清平乡受“5. 12”汶川地震影响强烈, 是震后泥石流活动强烈的典型区域。“5. 12”汶川地震后绵远河流域多处崩塌、滑坡出现, 产生了大量固体松散物质, 为泥石流的暴发提供了充足的物源。绵远河流域于 2010 - 08 - 13T12: 30 受强降雨的影响暴发群体性泥石流, 毁坏了沿河两岸 100 多所房子, 其中文家沟泥石流携带大约 $300 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的固体物质汇入绵远河, 形成了大型堰塞坝彻底阻断了绵远河的正常流动, 由此带来的洪水淹没了街道、房屋, 约 5 000 居民乘坐直升机撤离^[5]。

为了进一步分析绵远河流域泥石流特别是形成

区崩塌、滑坡的基本特征、转化趋势, 本文共统计了研究区流域内暴发泥石流的 20 条沟形成区崩塌、滑坡的基本特征, 重点利用 ARCGIS 软件并根据研究区内的特点选择适当的因子进行分析, 主要进行高程、坡度、坡向、沟道纵坡降、沟壑密度、地层岩性 6 个因子的分析。希望通过对泥石流形成区的崩塌、滑坡特征的分析, 尤其是它们在 6 个因子上的分布特征, 找到崩塌、滑坡的分布规律, 为今后震区内崩塌、滑坡及其向泥石流转换的研究提供一定的理论依据。另外, 根据本文研究的崩塌、滑坡的分布特点, 可以及时地为地震区灾后房屋重建的选址以及耕地的复垦提供合理的场所, 尽最大的努力减少灾区人民生命安全及财产的损失。

收稿日期(Received date): 2012 - 05 - 015; 改回日期(Accepted): 2012 - 06 - 05。

基金项目(Foundation item): 国家科技支撑计划课题(2011BAK12B01) 。[This research is supported by the National Science and Technology Support Plans Program (2011BAK12B01) .]

作者简介(Biography): 常鸣(1985 -) 男, 博士研究生, 研究方向: 环境地质、地质灾害、遥感与 GIS 应用。[Chang Ming (1985 -) , male, Ph D , majoring in environment geology, “3S” technologies and geological hazards.] E - mail: changmxq@126. com

1 研究区概况

研究区地处四川省绵竹市清平乡西北部的山区,地理位置 $103^{\circ}50'45'' \sim 104^{\circ}10'12''E$ $31^{\circ}30'00'' \sim 31^{\circ}36'00''N$ 。区内主要河流为绵远河,隶属沱江水系,沿河正在建设九寨沟环线的重要支线绵(竹) - 茂(县)公路。绵远河发源于九顶山南麓的大盐井沟,它途经清平乡、天池乡到达汉旺镇出山,主河长度约为 43 km,汇水面积 420 km^2 。在研究区绵竹市境内其长度约为 21 km,河床宽约为 800 m,两岸多为卵砂石,平均坡降约为 8‰ 。据统计绵远河多年平均径流量为 $15.7 \text{ m}^3/\text{s}$,年径流深度约为 $1\ 200 \text{ mm}^{[16]}$ 。研究区流域内支流水系多呈树枝状,河流强烈下切侵蚀,切割深度一般为 800 m,地表侵蚀严重。“5.12”汶川地震过后研究区内产生了大量的崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害,尤其是 2010-08-13 和 2010-08-19 2 次强降雨引发了 2 次大规模的群体泥石流暴发,致使沟口处 380 余户民房不同程度受损,7 人死亡、多人受伤,而且将绵茂公路汉旺 - 清平段彻底阻断,给当地居民带来严重的经济损失及生命安全损失。

另外,研究区中部有映秀 - 北川断裂带穿过,其地质构造作用非常强烈,属于四川西北部的龙门山推覆构造带,构造断裂十分发育,岩层多为陡倾直立,有些甚至是倒转,裂隙极为发育,导致岩体破碎,为崩塌、滑坡的形成提供了有利的条件。研究区内含有大量的滑坡及少量的崩塌体,由于研究区位于强震区范围内,因此大量斜坡都存在小规模块石坠落这种崩塌,大部分以大规模的剪切滑坡形式出现的。

为了研究泥石流灾害的形成机理,探讨泥石流形成的基本条件,本文选择绵远河流域 20 条泥石流沟作为研究区(图 1)。由于导致泥石流暴发的主要物源位于形成区,而且崩塌、滑坡的起因都是由地震引发的,因此本文将崩塌、滑坡看为地质灾害的整体进行探讨。分析研究泥石流形成区崩塌、滑坡的特征有助于理解崩塌、滑坡向泥石流的转换特性,加深由地震而引发的灾害链形成及转化机制的研究,本文重点对暴发泥石流的 20 条沟的泥石流形成区崩塌、滑坡特征进行研究。

2 崩塌滑坡特征

根据 2010 年 10 月分辨率为 1 m 的航片并结合

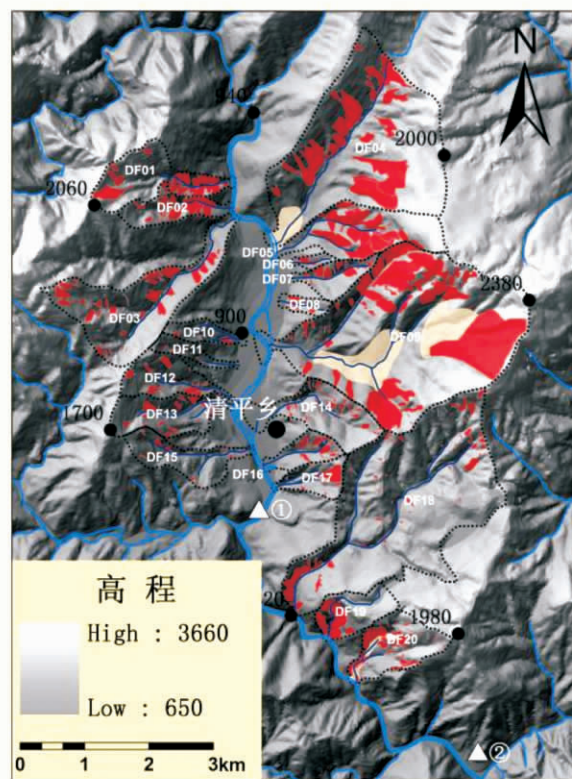


图 1 研究区泥石流及崩塌、滑坡分布图

Fig. 1 The distribution of debris flow, collapse and landslide in the study area

野外现场勘查,本文将研究区 20 条沟泥石流形成区的崩塌、滑坡全部解译,共统计了 386 处崩塌、滑坡,其中形成区面积为 27.68 km^2 ,崩塌、滑坡面积为 5.42 km^2 ,占形成区面积的 19.58% (表 1)。

本文根据实地调查的崩塌、滑坡的厚度,将崩塌、滑坡分为浅层崩塌、滑坡和深层崩塌、滑坡 2 种类型。

崩塌、浅层滑坡: 20 条沟泥石流形成区的崩塌、滑坡以浅层为主,特点是坡体不完整,坡度比较陡峭,厚度及体积较小,一般在几立方米至数千立方米之间(图 2、图 3),它们大部分分布在泥石流沟道的两侧。“5.12”地震后其形成的大量松散碎屑物质堆积到斜坡表面、坡脚或者沟道中,为泥石流启动提供了重要的物质来源,伴随着强降雨等极端天气,这些崩塌、滑坡就会转化成泥石流。

深层崩塌、滑坡: 由于“5.12”地震的强大推力还导致一些深层滑坡的形成,例如安县的大光包滑坡、研究区内的文家沟滑坡、小岗剑滑坡等。这些深层滑坡具有瞬间高速运行,破坏力巨大,容易堵塞河道形成堰塞湖等特点。文家沟大滑坡是典型的深层

滑坡,位于 $104^{\circ}09'20''$ $31^{\circ}33'25''$,滑坡面积约为 2.9 km^2 ,体积约为 $5 \times 10^7 \text{ m}^3$,前后缘高差约为 1362 m ,坡体总长约 4.1 km (图4)。它的特征:远程抛射、加速度大、形成临空面、固体物质碎屑化。对文家沟进行纵剖面分析(图5),文家沟大滑坡到转换为碎屑流的过程完全符合了特大地震直接诱发的高位、远程、超高速的中-深部岩质巨型滑坡-碎屑流。其中,滑体厚度 $20 \sim 30 \text{ m}$,初始体积约 $2750 \times 10^4 \text{ m}^3$,并最终在文家沟沟谷中留下总体积达 $5000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的堆积物,最大堆积厚度近 150 m 。文家沟滑坡发生滑动是一个非常复杂的过程,它的发生和发展由多个因素共同控制。首先,在形成条件上文家沟滑坡拥有合适的坡高和坡度,能为大滑坡的形成提供一系列的基础物质和势能;其次,文家沟两侧斜坡地形高陡,上缓下陡的地形为滑坡发育提供了有利地形;最后,文家沟的主沟道与西北侧方向的龙

门山中央断裂带距离很近,导致岩层大多陡倾,节理裂隙发育强烈,岩体破碎,为滑坡的发生提供了充足的物源。另外滑源区岩性以砂岩、灰岩为主,纵坡将达到 33° ,地震发生的过程中,山体不断开裂松散,随着地震力不断加大,使顶部滑坡具有了一定的加速度,并被临空抛射出去,遇到右侧山体阻挡后,一部分滑坡破碎分散沉积,另一部分侵蚀、包裹坡面及沟道中的松散堆积体后继续沿沟道向河谷方向运行,如此往复撞击山体,并携带大量固体物质直至所有能量在运行过程中耗尽后堆积停留在沟口处。据研究区清平乡和楠木沟(距文家沟 6 km)雨量计统计,具体位置见图1中的①、②,文家沟2008-08-13前期降雨量达到 137.6 mm ,当达到 22.5 mm/h 时,泥石流暴发,堆积在沟道中和沟道两侧的崩塌、滑坡等松散物质开始运移向泥石流转化。

2.1 高程因子



图2 娃娃沟泥石流浅层滑坡

Fig. 2 The shallow landslide in Wawa gully



图3 草墩沟泥石流浅层滑坡

Fig. 3 The shallow landslide in Caodun gully



图4 文家沟泥石流深层滑坡示意图

Fig. 4 The deep landslide in Wenjia gully

利用 Arcgis 软件由绵远河流域 $1:5$ 万等地形图得到泥石流形成区的DEM,将崩塌、滑坡图层与DEM进行叠加分析。研究区内崩塌、滑坡从海拔 $900 \sim 2400 \text{ m}$ 的范围内分布,但是在 $1700 \sim 2400 \text{ m}$ 的崩塌、滑坡密度显著增加(表2),此结果验证了在地震重灾区崩塌、滑坡分布的规律,说明同样适用于泥石流形成区的崩塌、滑坡特征。此外,根据野外勘察发现,在海拔高的地方,崩塌、滑坡分布广泛而且明显,原因是受到降雨、风化等外界自然条件影响,岩体自身卸荷十分强烈,当遇到强降雨的极端天气时候,崩塌、滑坡受自身重力影响向沟道滚动,将巨大的势能转化为动能,为泥石流的形成提供了部分初始动能。但是如果高程一直增加,崩塌、滑坡的相对数量将会减少。

表 1 泥石流形成区基本特征

Table 1 The basic characteristic of formative region of debris flow in study area

编号	沟道名称	泥石流形成区				
		流域面积 /km ²	高差 /m	沟道坡度 /°	崩塌、滑坡	
					个数	面积/km ²
DF01	黑滩子沟	0.93	780.00	26.80	14.00	0.16
DF02	刘瘸子沟	0.45	300.00	36.90	24.00	0.15
DF03	雍家沟	2.03	440.00	44.40	34.00	0.31
DF04	走马岭沟	4.52	1000.00	21.30	19.00	0.98
DF05	罗家沟	1.51	600.00	28.00	19.00	0.51
DF06	洞子沟	0.09	420.00	33.10	3.00	0.01
DF07	娃娃沟	0.43	560.00	31.40	12.00	0.14
DF08	滴洞沟	0.12	1140.00	35.60	2.00	0.01
DF09	文家沟	5.85	280.00	25.20	45.00	2.26
DF10	簸箕沟	0.25	280.00	28.00	4.00	0.01
DF11	草墩沟	0.22	620.00	34.00	6.00	0.01
DF12	蒲家沟	0.66	580.00	33.50	13.00	0.06
DF13	麻柳湾沟	0.70	1100.00	27.40	22.00	0.07
DF14	蔺家沟	0.88	540.00	22.70	30.00	0.08
DF15	广桥沟	0.77	500.00	21.70	18.00	0.03
DF16	太阳沟	0.38	540.00	39.80	24.00	0.11
DF17	蔡家沟	0.38	500.00	37.90	7.00	0.15
DF18	灰沟	6.05	580.00	14.20	50.00	0.17
DF19	石灰沟	0.53	740.00	16.50	3.00	0.05
DF20	小岗剑沟	0.93	860.00	35.70	37.00	0.15
总和		27.68			386.00	5.42

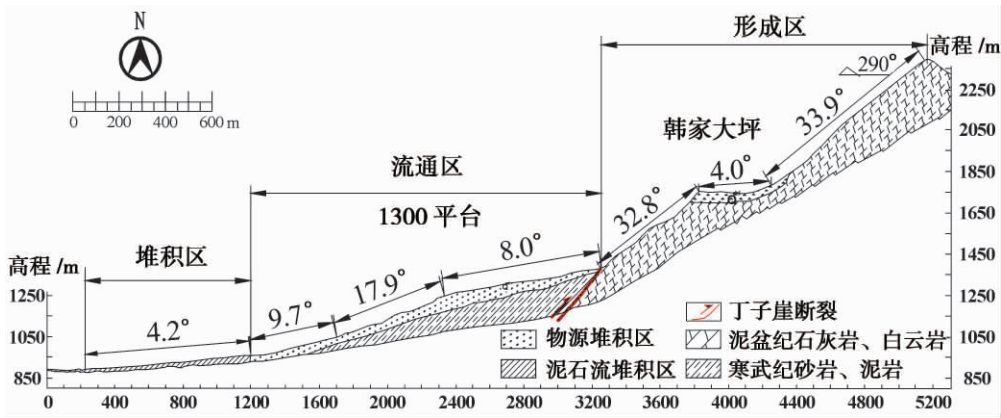


图 5 文家沟主沟道纵剖面图

Fig. 5 The main vertical section in Wenjia gully

表 2 崩塌滑坡的高程因子特征

高程 /m	总面积 /km ²	面积比例 /%	崩塌滑坡		
			实际面积 /km ²	面积百分比 /%	密度比 /%
900 ~ 1 300	5.24	18.93	1.01	18.63	19.27
1 300 ~ 1 500	8.78	31.72	1.66	30.63	18.91
1 500 ~ 1 700	6.96	25.14	1.12	20.66	16.09
1 700 ~ 1 900	3.31	11.96	0.72	13.28	21.75
1 900 ~ 2 400	3.39	12.25	0.91	16.79	26.84
合计	27.68	100.00	5.42	100.00	19.58

2.2 山坡坡度因子

一般来说,当山坡坡度 α 越来越大的时候,崩塌、滑坡的坡角也会随之变大,这样既能够使得崩塌、滑坡沿坡体方向向下的重力($F1 = G\sin\alpha$)会增大,也会使得摩擦阻力($F2 = \mu G\cos\alpha$)减小,这样就会使崩塌、滑坡更加容易发生(图 6)。坡度一般指的是崩塌、滑坡与水平地线的夹角,它反映的是地表面位于该地点的倾斜程度的大小(表 3)。

2.3 坡向因子

坡向一般是指坡体面对的方向,它对崩塌、滑坡有很大的影响,一般来说由于局地气候的不同,地理要素表现的不一致,阳坡的日照时间明显比阴坡长久,而且其辐射强度大、温度高、热量充沛。由于水热条件的差异,阳坡土体比较松散破碎,易发生小规模成片的崩塌、滑坡,阴坡土体较厚,水分保持充沛,易发生大规模的深层滑坡,如文家沟大滑坡。

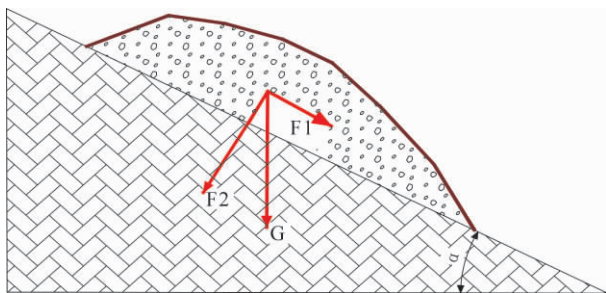


图 6 崩塌、滑坡力学分析示意图

Fig. 6 The collapse and landslide mechanics analysis map

根据对遥感影像图的分析,虽然处在同一个山体,但由于崩塌、滑坡的坡向不一致使得它们发育情况差异很大,背向断裂带的崩塌、滑坡明显发育的比面向断裂的多。研究区断裂呈现 NW - SE 走向,泥石流形成区崩塌、滑坡表现为在上盘 NW 方向比 SE

向发育,在下盘 SE 向稍多。利用 Arcgis 对研究区 DEM 进行坡向分析得到坡向表 4,发现崩塌、滑坡的坡向以 225° ~ 315° 居多,其密度比例也是居多,又根据形成区的滑坡做成玫瑰花图(图 7),发现在形成区崩塌、滑坡的滑向垂直于发震断层明显多于平行于发震断层,这与李为乐统计的整个研究区域的崩塌、滑坡特征是吻合的^[7],此外,根据动力学理论唐春安利用数值方法对强震区滑坡失稳过程进行模拟,得到在背向震源方向的情况下更加容易发生崩塌、滑坡^[8]。

2.4 沟道纵坡因子

沟道纵坡是指泥石流沟的沟道陡缓程度,本文主要统计研究区泥石流形成区的沟道纵坡。利用 Arcgis 的自动统计功能,计算出泥石流崩塌、滑坡在各个沟道纵坡的分布(表 5),可以得到在沟道纵坡 500‰ ~ 600‰ 的范围内滑坡、崩塌的面积最大。

表 3 崩塌滑坡的坡度特征

坡度 /°	总面积 /km ²	面积比例 /%	崩塌滑坡体		
			实际面积 /km ²	面积百分比 /%	密度比 /%
< 20	3.20	11.56	0.18	3.32	5.63
20 ~ 30	5.51	19.91	0.91	16.79	16.52
30 ~ 40	10.30	37.21	2.06	38.01	20.00
40 ~ 50	6.58	23.77	1.58	29.15	24.01
50 ~ 60	1.68	6.07	0.55	10.15	32.74
> 70	0.41	1.48	0.14	2.58	34.15
合计	27.68	100.00	5.42	100.00	19.58

表 4 崩塌滑坡的坡向特征

坡向/°	总面积 /km ²	面积比例 /%	崩塌滑坡体		
			实际面积 /km ²	面积百分比 /%	密度比 /%
0 ~ 45	2.35	8.49	0.27	4.98	11.49
45 ~ 90	1.57	5.67	0.21	3.87	13.38
90 ~ 135	3.32	11.99	0.44	8.12	13.25
135 ~ 180	3.98	14.38	0.73	13.47	18.34
180 ~ 225	2.52	9.10	0.53	9.78	21.03
225 ~ 270	4.19	15.14	1.04	19.19	24.82
270 ~ 315	5.81	20.99	1.53	28.23	26.33
315 ~ 360	3.94	14.23	0.67	12.36	17.01
合计	27.68	100.00	5.42	100.00	19.58

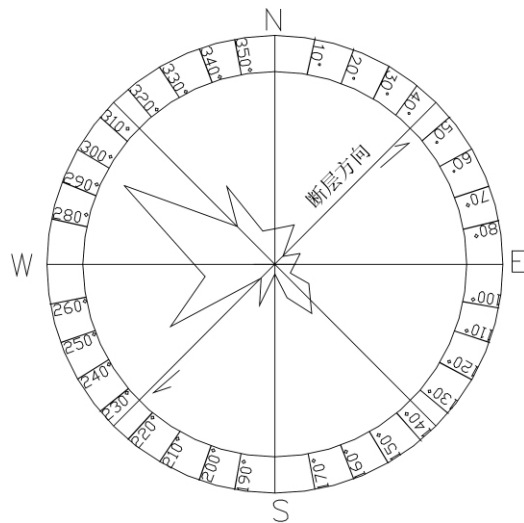


图 7 滑坡滑向玫瑰图

Fig. 7 The collapse and landslide mechanics analysis map

表 5 崩塌滑坡在沟道纵坡降因子上的特征

Table 5 The basic characteristic of geologic hazard in gully slope factor

沟道纵坡降 /%	总面积 /km ²	面积比例 /%	崩塌滑坡体		
			实际面积 /km ²	面积百分比 /%	密度比 /%
200 ~ 300	10.90	39.38	1.32	24.35	12.11
300 ~ 400	2.44	8.82	0.38	7.01	15.57
400 ~ 500	5.01	18.10	0.83	15.31	16.57
500 ~ 600	7.12	25.72	2.28	42.07	32.02
600 ~ 700	2.21	7.98	0.61	11.25	27.60
合计	27.68	100.00	5.42	100.00	19.58

沟道纵坡是体现崩塌、滑坡稳定性的重要因子之一,当崩塌、滑坡堆积在泥石流沟道中时,受沟道

纵坡降的影响,在降雨条件的影响下崩塌、滑坡的孔隙水压力就会增大,致使地质灾害体顺着沟道方向启动,随着势能不断向动能转化,崩塌、滑坡最终转化为泥石流。

2.5 地层岩性因子

通过对研究区泥石流沟地层岩性的调查,发现有 7 个地质年代的地层出露(表 6),其中崩塌、滑坡分布比较广泛的 3 种地层是石炭系、寒武系和震旦系,占了崩(滑)体总面积的 73.18%。河谷及沟道地带主要是由第四系粘土和卵石组成,本文主要研究泥石流形成区的崩塌、滑坡特征,因此在第四系中其分布很少,这与唐川通过对绵远河流域研究得到第四系主要分布河流阶地和堆积扇的结论相一致^[9]。由于泥石流形成区地表支离破碎,在“5.12”地震中发生了大量的浅表层和深层的崩滑体,总面积达到 5.42 km²,约占泥石流形成区崩塌、滑坡总面积的 1/5,其密度比例达 19.58%。石炭系岩性主要为灰岩夹少量粉砂岩,崩(滑)体密度最大约为 31.38%,文家沟的大滑坡位于这个地层中。寒武系岩性主要为含砾砂岩、页岩、磷质灰岩,崩(滑)体面积最大为 2.82 km²,密度比为 25.41%,是小泥石流流域崩滑体的主要分布地区,主要位于清平乡附近。震旦系岩性主要为白云岩、砾岩、砂岩,上部为硬岩下部为软岩的结构非常有利于大型滑坡的产生。此外,研究区中还有三叠系、二叠系、泥盆系地层分布,其岩性都包含了灰岩,利用 Arcgis 将地层岩性和崩(滑)体进行叠加分析(图 8),可以得到石炭系、寒武系和震旦系利于崩(滑)体发育,而且上部为硬岩下部为软岩的地层更容易发生大型滑坡。

表 6 崩塌滑坡的地层岩性特征

Table 6 The basic characteristic of geologic hazard in lithology factor

地层岩性	岩性描述	总面积 /km ²	面积比例 /%	崩塌滑坡体		
				实际面积/km ²	面积百分比/%	密度比/%
第四系	含砾石砂质粘土、泥质砂砾卵石层	0.18	0.65	0.00	0.00	0.00
三叠系	粉砂岩、灰岩	1.58	5.71	0.23	4.24	14.56
二叠系	石灰岩、铝铁岩、灰岩夹页岩	4.86	17.56	0.29	5.35	5.97
石炭系	灰岩夹少量粉砂岩	3.25	11.74	1.02	18.82	31.38
泥盆系	白云岩夹灰岩、石英砂岩、页岩	3.72	13.44	0.57	10.52	15.32
寒武系	含砾砂岩、页岩、磷质灰岩	11.10	40.10	2.82	52.03	25.41
震旦系	白云岩、砾岩、砂岩	2.99	10.80	0.49	9.04	16.39
合计		27.68	100.00	5.42	100.00	19.58

2.6 沟壑密度因子

沟壑密度是反应地表土壤在外界环境下不断侵蚀的程度,它是研究崩(滑)体向泥石流转换的关键因子。当坡体表面有沟壑存在时,遇到降雨或土体水分饱和时,促使水流沿沟壑方向运动,便会加剧坡面的侵蚀,尤其是当斜坡边界和坡脚受到严重切割变形时会降低整个斜坡的稳定性,从而产生崩塌、滑坡,可为泥石流暴发提供大规模物源。本文根据《水土保持技术规范》对泥石流形成区的水土流失强度进行统计,共分为6个等级,从微度流失至重度流失依次划分。

本文利用 Arcgis 中的 fishnet 命令及 overlay 工具对泥石流形成区的沟壑密度进行分析,得到沟壑密度分布表(表7)。从表中可以看出泥石流的形成区大部分分布在水土微度流失范围内,从而导致崩塌、滑坡也主要分布在这个范围内,说明绵远河流域在微度水土流失的情况下就可以产生大量崩(滑)体,另外可以看出在强度流失范围内地质灾害体的密度最大占48.65%,随着流失强度的增加基本上导致斜坡表面松散体已经全部滑移,多数基岩出露,所以崩塌、滑坡密度比例有所下降,通过野外勘察进行比对,情况基本吻合。说明即使在微度流失情况下,该区域在暴雨等极端天气条件下可以暴发大规模泥石流,必须加强对该区域的监测预警^[10]。

3 讨论与结论

本文根据地震后影像解译的结果及野外实地勘察,利用 Arcgis 对绵远河流域内20条沟泥石流形成区内的崩塌、滑坡进行统计,共386处,其面积为5.42 km²。

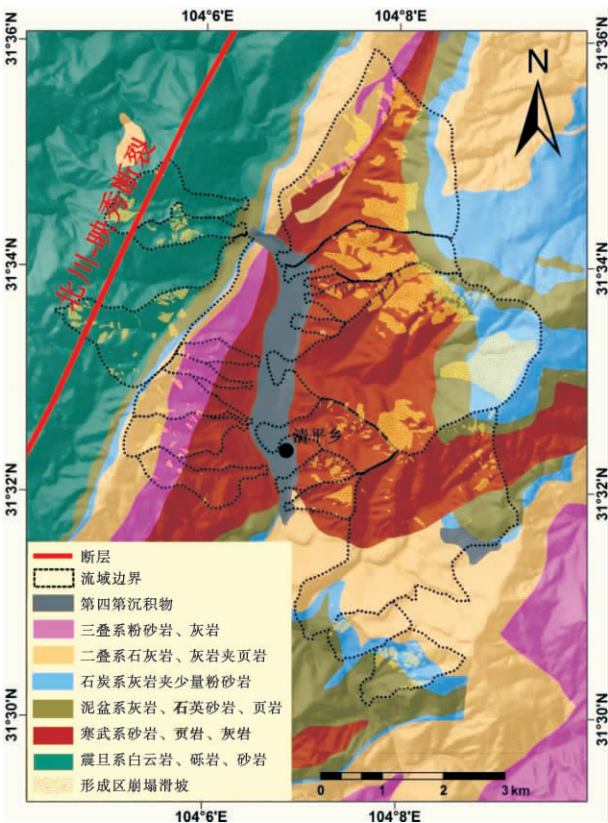


图8 研究区地质简图

Fig.8 The simplified geological map of the study area

1. “5.12”汶川地震过后,研究区内产生了大量的崩塌、滑坡,海拔在900~2400 m的范围内,但是在1700~2400 m范围内的密度显著增加,这一高程范围与该区域深谷地段的高程范围大体一致,该区域岩体卸荷非常强烈,地震响应比较突出,容易为泥石流暴发提供物源。

2. 研究区在坡度<30°的崩塌、滑坡密度比例较小,随着坡度的增加,崩塌、滑坡的密度也在不断增

表7 崩塌滑坡在沟壑密度因子上的特征

Table 7 The basic characteristic of geologic hazard in drainage density factor

沟壑密度 km/km ²	总面积 km ²	面积比例 %	崩塌滑坡体		
			实际面积/km ²	面积百分比/%	密度比/%
0~1(微度流失)	25.89	93.53	5.03	92.80	19.43
1~2(水土轻度流失)	0.19	0.69	0.05	0.92	26.32
2~3(水土中度流失)	0.25	0.90	0.06	1.11	24.00
3~5(水土强度流失)	0.37	1.34	0.18	3.32	48.65
5~7(水土极强度流失)	0.70	2.53	0.07	1.29	10.00
>7(水土重度流失)	0.28	1.01	0.03	0.55	10.71
合计	27.68	100.00	5.42	100.00	19.58

加,尤其是坡度 $>50^{\circ}$ 的时候,密度比例急剧增加,说明在坡度陡峭的地方易于崩塌、滑坡的发生,间接为泥石流的形成提供了物源,此外,在坡度陡峭的地方势能比较大,当其滚动滑落时,势能就会转化为动能,为泥石流的暴发提供一定的能量。

3. 研究区崩塌、滑坡的坡向以 $225^{\circ} \sim 315^{\circ}$ 居多,其密度比例也是居多。研究区的断层走向为NE-SW方向,根据滑坡玫瑰花图,得到崩塌、滑坡的滑向垂直于发震断层明显多于平行于发震断层。

4. 研究区泥石流沟道纵坡在 $500\% \sim 600\%$ 的滑坡、崩塌面积最大,随着沟道纵坡的增加地质灾害体所占的密度相对增加,在降雨条件及孔隙水压力的影响下地质灾害体顺着沟道方向启动,随着势能不断向动能转化,崩塌、滑坡最终转化为泥石流。

5. 研究区内崩塌、滑坡分布比较广泛的三种地层是石炭系、寒武系和震旦系,占崩(滑)体总面积的73.18%,岩浆岩、白云岩等硬岩发育广泛,利于崩(滑)体的产生,此外上部为硬岩下部为软岩的地层更容易发生大型滑坡,从而为大型泥石流的暴发提供充足的物质来源。

6. 泥石流的形成区大部分分布在水土微度流失范围内,大量的崩塌、滑坡也主要分布在这个范围内,说明即使在微度水土流失的情况下,绵远河流域也可以在降雨等因素影响下暴发大规模泥石流,必须要严格加强对该区域的监测预警。

参考文献(References)

- [1] Cui Peng, Wei Fangqiang, Cheng Xiaoqing, et al. Geo-hazards in Wenchuan earthquake area and countermeasures for disaster reduction [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences 2008 23(4): 317 - 323 [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 23(4): 317 - 323]
- [2] Yin Y, Wang F, Sun P. Landslide hazards triggered by the 2008 Wenchuan earthquake, Sichuan, China [J]. Landslide, 2009(6): 139 - 151
- [3] Khattak G A, Owen L A, Kamp U, et al. Evolution of earthquake - triggered landslides in the Kashmir Himalaya, northern Pakistan [J]. Geomorphology 2010, 115: 102 - 108
- [4] Koi T, Hotta N, Ishigaki I, et al. Prolonged impact of earthquake - induced landslides on sediment yield in a mountain watershed, The Tanzawa region, Japan [J]. Geomorphology 2008, 101: 692 - 702
- [5] Tang C, van Asch T W J, Chang M, et al. Catastrophic Debris flows on 13 August 2010 in the Qingping area, southwestern China: The combined effects of a strong earthquake and subsequent rainstorms [J]. Geomorphology 2011, doi: 10.1016/.
- [6] Huang Runqiu, Li Weile. Research on development and distribution of geo-hazards induced by the Wenchuan earthquake on 12th May, 2008 [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008 27(12): 2585 - 2592 [黄润秋, 李为乐. “5.12”汶川大地震触发地质灾害的发育分布规律研究[J]. 岩石力学与工程学报 2008 27(12): 2585 - 2592]
- [7] Li Weile, Huang Runqiu, Tang Chuan, et al. Landslides triggered by “5.12” Wenchuan earthquake in the Mianyu River Basin, China [J]. Journal of Mountain Science 2011 29(4): 483 - 492 [李为乐, 黄润秋, 唐川, 等. 汶川地震触发的绵远河流域崩塌、滑坡的特征[J]. 山地学报 2011 29(4): 483 - 492]
- [8] Tang Chuan, Zuo Yujun, Qin Sifeng, et al. Spalling and slinging pattern of shallow slope and dynamics explanation in the 2008 Wenchuan earthquake [C] // Proceedings of the 10th conference on Rock Mechanics and engineering, China, 2009: 258 - 262 [唐春安, 左宇军, 秦泗凤, 等. 汶川地震中的边坡浅层散裂与抛射模式及其动力学解释[C] // 第十届全国岩石力学与工程学术大会论文集 2009: 258 - 262]
- [9] C Tang, T W J van Asch, M Chang, et al. Catastrophic Debris flows on 13 August 2010 in the Qingping area, southwestern China: the combined effects of a strong earthquake and subsequent rainstorms [J]. Geomorphology, 2011: 1 - 65
- [10] Zhao X H, Chang Ming, Huang X C. Disaster feature analysis of Wenjia Gully debris flow in Qingping, Wenchuan Earthquake Area [J]. South - to - North Water Diversion and Water Science & Technology 2011 9(5): 107 - 110 [赵学宏, 常鸣, 黄翔超. 汶川震区清平乡文家沟泥石流灾害特征分析[J]. 南水北调与水利科技 2011 9(5): 107 - 110]

The Characteristic of Collapse and Landslide by Wenchuan Earthquake in Debris Flow for Mative Region along the Mianyuan River Basin ,China

CHANG Ming ,TANG Chuan ,LI Weile ,ZHAO Xuehong ,HUANG Xiangchao

(State Key Laboratory for Geo - Hazard Prevention and Geo - Environment Protection ,Chengdu University of Technology ,Chengdu 610059 ,China)

Abstract: After the 2008 Wenchuan earthquake ,an abundance of loose co-seismic material sources were present in the Qingping town Mianzhu city of Sichuan province ,where in later years served as source material for rainfall-induced shallow landslides ,especially in forming region of debris flow. The characteristic of collapse and landslide in forming region of debris flow can help to analyze landslide transform to debris flow. A heavy rain occurred on August 13th along Mianyuan River ,where a number of debris flow occurred. A spatial database ,which included 386 landslides in forming region of 20 debris flows ,was developed and analyzed using high precision image and field survey within the Mianyuan River basin. We also used GIS to census the rule of distribution of landslides in gradient ,slope direction ,elevation ,and channel gradient ,the lithology of stratum and drainage density factors.

After analysis of the statistics in six evaluation factors ,we find that the largest landslide density in the scope of 1 700 ~2 400 m ,the slope is the important factor of landslide distribution ,with the increase of slope ,the density will increase.

When landslide slope $> 70^{\circ}$,it can is instabiliy. The aspect of perpendicular of the landslide significantly more than parallel to the seism genic faults; a lot of collapse landslides highly concentrated in the 500‰ ~ 600‰ slope of gully; the carboniferous strata of limestone can easily produce the large amount of collapse landslide ,especially in the soft soil above the hard bedrock zone. The landslide concentrating distribute in micro degrees of soil erosion area ,so we should strengthen the monitoring and warning system in this area.

Key words: Wenchuan earthquake; collapse ; landslide; debris flow; Mianyuan River