

汶川震区银厂沟区域 8·18 暴雨泥石流灾害成灾机理与特征*

黄勋 唐川 乐茂华 唐得胜 蒋志林

(地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室(成都理工大学) 成都 610059)

摘要 2012年8月18日汶川震区的银厂沟区域暴发群发性泥石流,造成人员伤亡,公路、房屋等基础设施严重受损。这场泥石流灾害发生在汶川地震极震区内,是地震与强降雨共同作用下的结果,因此研究其成灾机制和灾害特征对于进一步认识强震区泥石流活动具有重要意义。本研究采用地面调查和遥感解译方法,分析银厂沟区域泥石流形成条件的变化。研究结果表明强震条件下崩塌、滑坡等产生的松散固体物质,是泥石流活动的物质基础;沟道受松散岩土体堵塞,有利于泥石流规模放大;“快速激发型”的雨量特征为泥石流暴发提供了动力。在此基础上讨论了泥石流起动、运动和堆积过程,总结了泥石流活动特征,发现泥石流沿发震断裂呈“带状”分布,成因组合上属于“降雨控制型”,尚处于“青年期”,且在成灾模式上满足“致承耦合”效应。

关键词 泥石流 成灾机理 活动特征 汶川地震 银厂沟区域

中图分类号:P642 **文献标识码**:A

MECHANISM AND CHARACTERISTICS ON DEBRIS FLOW HAZARDS IN YINCHANGGOU AREA TRIGGERED BY RAINSTORM ON AUGUST 18, 2012

HUANG Xun TANG Chuan LE Maohua TANG Desheng JIANG Zhilin

(State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

Abstract A group of debris flow hazards occurred at Yinchanggou area on August 18, 2012. This area was part of the epicenter region of Wenchuan earthquake. These debris flows greatly impacted the community of the Yinchanggou area and produced some casualties. This event also damaged many roads and other infrastructures. Debris flow hazards resulted from the coaction of the rainstorm and earthquake. Therefore, it is significant for better understanding of characters of debris flows to conduct the research on the mechanism in extreme seismic area. Field investigation and interpretations of aerial photographs were used to analyze variation of debris flow factors. This study demonstrates that loose mass generated by the collapse and landslides provided abundant materials for debris flows. The blockage of channel increased the scale of debris flow. Rainstorm like rapid triggering response pattern provided power for debris flow initiation. After discussing initiation, motion and deposition process, this study discovers that debris flows distributed like a band along fault and were very young. The trigger and control factors depend mainly

* 收稿日期: 2012-10-20; 收到修改稿日期: 2013-02-28.

基金项目: 科技部科技基础性工作专项项目(2011FY110100), 四川省教育厅自然科学基金重点项目(11ZA047)资助.

第一作者简介: 黄勋, 主要从事泥石流相关研究. Email: huangxun198671@163.com

on the rainfall condition. Besides, these hazards resulted from the coaction of debris flow itself and community.

Key words Debris flow, Mechanism, Activity characteristics, Wenchuan earthquake, Yinchanggou area

1 引言

2012年8月17~18日,在持续强降雨作用下,位于汶川地震极震区的银厂沟区域暴发群发泥石流灾害,区内共暴发12处泥石流,总冲出量达 $59.92 \times 10^4 \text{m}^3$,大量泥砂冲毁、淤埋了1.2km公路、3座桥梁和20余处房屋,交通中断,电力及通信设施被毁,致使银厂沟成为“孤岛”,近3000名游客被困,并造成1人死亡,1人失踪,直接经济损失达5亿元。道路及通信的中断,对后续的抢险救援工作造成了巨大阻力。

本文根据对银厂沟区域“8·18”暴雨泥石流灾害的野外调查,并结合室内遥感解译数据,分析了泥石流成灾原因、致灾机理与灾害特征,进一步认识了汶川震区泥石流活动特征和形成机理,为未来泥石流灾害的防护设计、早期预警与风险评估等提供了科学依据。

2 研究区环境背景

研究区位于四川省彭州市北部,距离震中映秀44km,北川66km,成都74km,地理位置为东经 $103^\circ 49' \sim 103^\circ 56'$,北纬 $31^\circ 21' \sim 31^\circ 29'$,总面积为 110km^2 。在地质构造上,处于龙门山断裂带中段与盆山的结合部,映秀—北川断裂横穿该区,其总体走向为 $\text{NE } 30^\circ \sim 50^\circ$,断裂导致地表破裂,以兼有右旋走滑分量的逆断层型破裂为主,最大垂直位移6.2m,最大右旋走滑位移 $4.9 \text{m}^{[1]}$ 。区内地表多被第四系松散堆积物覆盖,出露地层主要为三叠系上统须家河组砂岩(T_3x)和元古界黄水河群(P_{thn})花岗岩(图1)。

在地貌类型上,研究区地处四川盆地西北缘,属构造侵蚀中-高山地貌,区内高山、峡谷和宽谷相间分布,具有山高、谷深和坡陡的特点^[2]。区内最高峰为西北端的九峰山(3315m),最低点为白水河岸边(1170m),相对高差2145m。区内地表水系属沱江水系的湔江东源白水河流域,白水河在研究区内全长13km,天然落差300m,平均宽度为8~20m,呈SW流向横穿研究区,与映秀—北川断裂基本平行。主河道两岸沟谷发育,主要支流有大海子沟、小海子

沟、洛河桥沟等,均为长流水沟。

气候条件上,属四川盆地西北缘的亚热带湿润气候区,亦位于著名的青衣江—鹿头山暴雨区内。总体来讲,气候温和,雨量丰沛,年降雨量最大达2000mm,夏季暴雨频繁,且强度大、历时短,暴雨频率为80%~87%,最大日降雨量达250mm,最大小时降雨量达65mm,降雨集中在6~8月,约占全年雨量的62.9%。

据资料,汶川地震前,研究区内并无泥石流灾害暴发,各沟谷均为非泥石流沟;而在“5·12”地震后,诱发大量次生地质灾害,新增滑坡13处、崩塌11处、不稳定斜坡1处,规模以中小型为主;大量松散固体物质或“悬挂”于斜坡体上,或堆积于沟道内,为泥石流暴发提供了潜在物源,震后泥石流灾害的频率和规模明显增大,表现出“高频性”特征。据统计,在震后的4个雨季内,研究区内共暴发群发性泥石流7次,其中2008年4次(“5·18”、“7·14”、“9·24”和“9·26”泥石流)、2009年1次(“7·17”泥石流)、2010年1次(“8·18”泥石流)、2011年1次(“7·2”泥石流),泥石流冲出物质多次冲毁路桥,阻断交通,淤埋房屋,造成重大经济损失,给灾后重建工作带来了巨大阻碍。

3 泥石流成因分析

暴雨泥石流形成具备3个基本条件:物源条件、降雨条件和地形条件,其中形成泥石流的能量来源主要为地形相对高度提供的势能和势能转化的动能,以及暴雨径流提供的动能^[3]。在强震区,地震作用诱发大量崩塌、滑坡,为泥石流起动提供了丰富的松散物源,更利于泥石流活动^[4,5]。

3.1 物源条件

震区泥石流活动中的固体物质来源主要受岩石性质、风化作用、地质构造等条件控制,特别是与地震活动强度关系密切。

研究区位于龙门山断裂带中段,主要出露两套地层(图1):(1)三叠系上统须家河组(T_3x),岩性为泥质灰岩夹黑灰色炭质页岩和砂岩、页岩,主要出露于河谷两岸,岩体节理裂隙发育,完整性较差。(2)元古界黄水河群(P_{thn}),岩性为黑云正长花岗

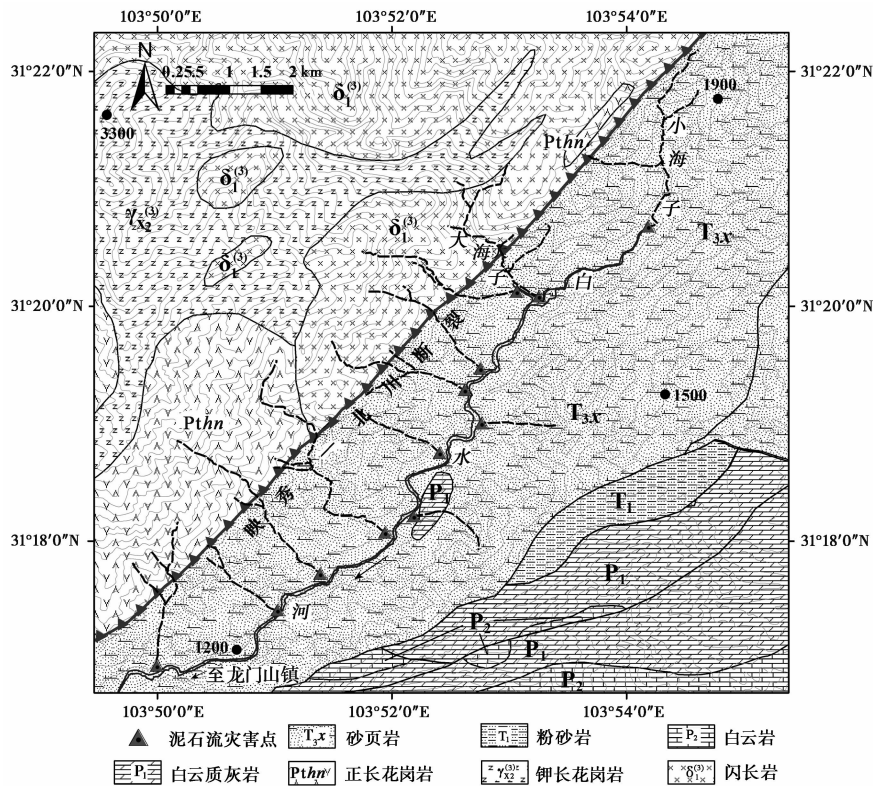


图 1 银厂沟区域地质简图

Fig. 1 Geological map of Yinchanggou area

岩,主要出露于研究区西北部,受龙门山断裂和湿润气候的影响,岩层风化强烈,极为破碎。黑云正长花岗岩空隙和裂隙的发育程度均高于黑褐色砂岩;随着应变速率的增加,两组岩体的抗剪强度都有相应增加的趋势。汶川地震使两组岩体均达到了其抗剪强度,因此岩体的剪切破坏是导致区内滑坡发生的主要原因之一^[6]。

地震的剧烈活动引起大量山体震裂松动,在山脊部位地震动荷载的“高程放大效应”显著,直接触发滑坡产生^[7],滑坡集中于海拔 1600~2900m 范围内。该区滑坡以高速—远程滑坡为特征,经历了剧烈启动抛掷—快速撞击飞行—铲刮减速碎屑流—堆积掩埋等阶段^[8],最终在沟道中堆积巨厚松散岩土体,这种堆积物胶结和固结程度都很差,孔隙度大,在流水冲刷下,极易产生底蚀和侧蚀,使泥砂迅速发生输移流动^[9]。汶川地震诱发区内大量崩塌、滑坡。遥感解译结果显示(图 2、表 1),滑坡总规模为 $5025.91 \times 10^4 \text{ m}^3$,方量最大的是谢家店子滑坡,体积为 $400.00 \times 10^4 \text{ m}^3$ ^[8],洛河桥沟流域内崩滑体最为密集,总体积可达 $1528.64 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。研究区内滑坡集中于映秀—北川断裂上盘,呈现出明显的“上盘效应”,这是由于逆冲断裂发震时其上盘地表的加速

度峰值高于下盘,上盘破坏比下盘更为严重^[10]。同时泥石流活动也主要发育于断裂上盘,上盘为 10 处,下盘仅有 2 处,且均为小型泥石流。

流域内松散物源主要以两种方式储存:(1)坡面堆积型:山体强烈变形后,未能整体滑移所停留在斜坡上的堆积体,其堆积角度临近自然休止角,稳定性极差。遇到暴雨冲刷,或是整体下滑,或是滑坡表层及前缘松散体物质输移到沟床中,参与泥石流活动^[11];(2)沟道堆积型:滑坡转化为碎屑流过程中的解体松弛以及碎屑流高速运动过程中沿途裹挟铲刮浅表层松散物质^[12],远程流动后停淤于沟道内,这类堆积体固结差、较松散,若遇到流水冲刷,极易受到侵蚀,参与泥石流活动。

3.2 降雨条件

根据设置在海汇桥气象站之实测数据,2012 年 7 月降雨量偏少,月降雨量为 212.7mm,8 月上半月降雨量增幅也较小。泥石流暴发(2012 年 8 月 18 日 1:15 时)前 1 日,即 17 日凌晨 2:00 时开始降雨,但雨量很小(2:00~9:00 时,9.1mm),且中间停雨 11h,自 21:00 时开始降雨增大,17 日累积降雨量为 186.1mm。18 日 0:00~1:00 时海汇桥气象站记录

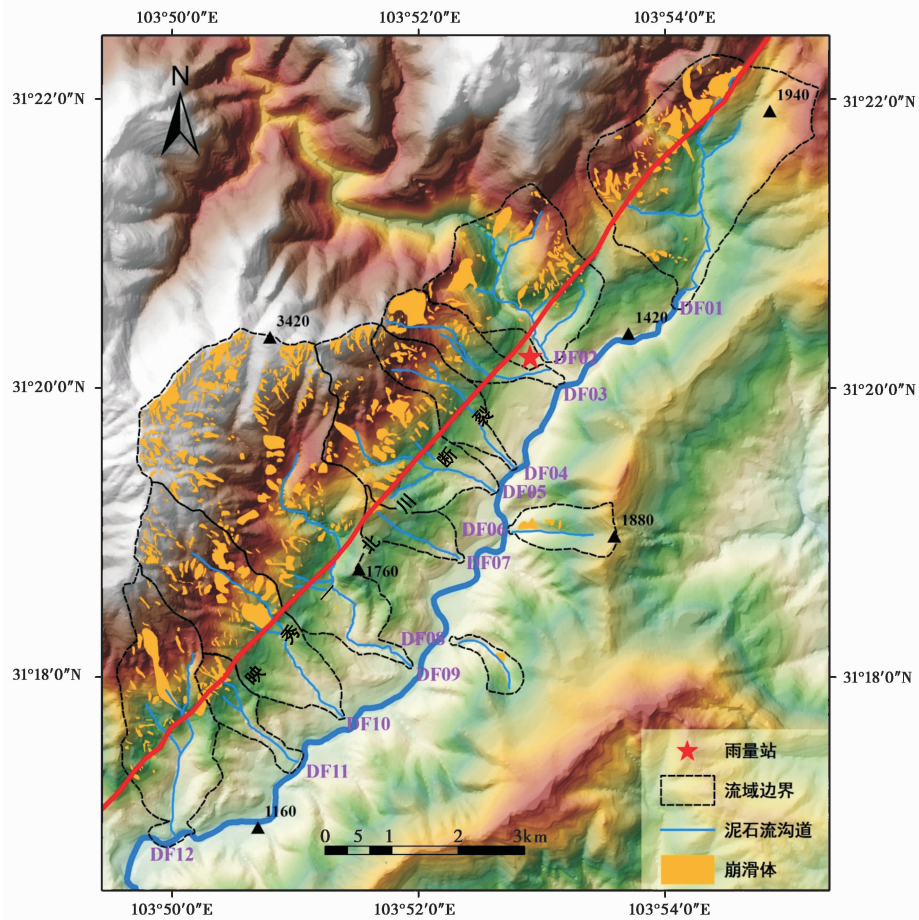


图2 银厂沟区域泥石流流域特征及地震诱发的滑坡特征

Fig. 2 Catchment of Yinchanggou area debris flow and characterization of the coseismic landslides

表1 银厂沟区域泥石流流域特征值

Table 1 Debris flow catchment characteristics in Yinchanggou area

编号	名称	流域面积/ km ²	沟道长度/ km	相对高差/ m	纵比降/ (%)	滑坡体积/ 10 ⁴ m ³	堆积总量/ 10 ⁴ m ³	形态系数 <i>F</i>	性质	规模
DF01	小海子沟	5.11	3.37	640	189.91	690.31	0.80	0.45	黏性	小型
DF02	大海子沟	2.93	2.60	860	330.77	465.34	1.20	0.43	黏性	中型
DF03	海汇桥沟	1.09	2.52	1360	539.68	263.84	21.30	0.17	黏性	大型
DF04	边界沟	1.10	2.17	1060	488.48	89.46	0.75	0.23	黏性	小型
DF05	灌子沟	2.83	2.22	820	369.37	539.47	1.23	0.57	黏性	中型
DF06	猪圈门沟	0.70	1.22	460	377.05	29.33	0.42	0.47	稀性	小型
DF07	香樟树沟	0.61	1.44	560	388.89	18.39	1.36	0.29	黏性	中型
DF08	易家湾沟	0.30	1.02	260	254.90	8.20	0.29	0.29	稀性	小型
DF09	洛河桥沟	7.48	4.12	900	218.45	1528.64	7.58	0.44	黏性	中型
DF10	青杠沟	3.37	3.05	1360	445.90	629.59	4.50	0.36	黏性	中型
DF11	谢家店子沟	0.70	1.48	560	378.38	400.00	10.34	0.32	黏性	大型
DF12	响水洞沟	2.98	2.94	960	326.53	363.33	10.15	0.34	黏性	大型

注: 泥石流规模与总量关系: 总量 $<1 \times 10^4 \text{m}^3$, 小型; $1 \times 10^4 \text{m}^3 \leq \text{总量} < 10 \times 10^4 \text{m}^3$, 中型; $10 \times 10^4 \text{m}^3 \leq \text{总量} < 50 \times 10^4 \text{m}^3$, 大型。

1h 雨量为 41mm, 1:15 时泥石流暴发, 2:00 时左右结束, 总历时约 45min。由于气象站提供雨量数据

以 h 为单位, 所以笔者认为 2012 年银厂沟“8·18”泥石流暴发的前期降雨量为 227.1mm, 其中最大 1h

(17日23:00时~18日0:00时)降雨量达70.3mm,相当于20a一遇的1h降雨量,最终诱发银厂沟泥石流的激发雨量可能出现在18日0:00~1:00时,该小时最大雨强为41mm。图3说明了诱发银厂沟泥石流的降雨过程和强度特征。

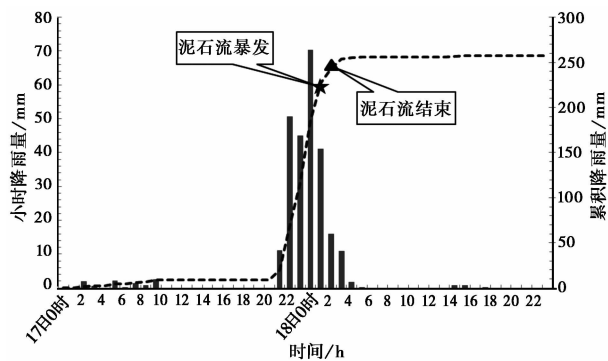


图3 泥石流暴发前后降雨累积曲线

Fig. 3 Cumulative curve of rainfall prior to and after debris flow occurrence

据周伟等^[13]的研究成果,该次泥石流暴发的雨量特征属于“快速激发型”,降雨过程呈现“陡升陡降”的趋势,最大雨强出现后立即暴发泥石流。从降雨历时来看,17日2:00~20:00时,降雨量很少,全部入渗土体;17日21:00时~18日1:00时,降雨转为大到暴雨,土体入渗率迅速降低,短时间内土体达到饱和,出现超渗产流,最后整体失稳滑移,产生泥石流。

3.3 地形条件

龙门山断裂带强烈运动和河流侵蚀作用,造就了研究区特殊的高山峡谷地貌。区内流域相对高差大,最高点海拔为3315m,最低点为1170m,相对高差达2145m,与都江堰龙溪河流域相似。各泥石流的相对高差260~1360m,最大的是海汇桥沟和青杠沟,最小的是易家湾沟。受新构造抬升运动的影响,各沟纵坡比降大,集中于35‰左右,沟道上游发育多级跌水坎,最高可达20余米。沟道两侧地势陡峻,坡度多为40°~60°,呈“V”型谷,这种山高、谷深、坡陡的地形,为坡面和沟道堆积物起动和势能转化为动能提供了有利条件。汶川地震后,各沟沟谷形态发生明显变化,以映秀—北川断裂为界,沟道上游山体破碎,发育大量崩滑体,多集中于坡度20°~50°的范围内,呈现出明显的“坡度控制”效应;下游沟道内为高速远程滑坡转化为碎屑流所堆积的厚层松散土体,沟道堆积和堵塞现象严重。此外,研究区

内各泥石流沟流域面积较小,一半以上流域面积均<1km²,且多呈长条状、柳叶状,这种流域形态特征有利于径流快速汇集,便于起动松散土体,且沟道较为顺直,在运动过程中能量消耗少,流速快,有利于泥砂输移。

4 泥石流形成、运动和堆积过程分析

研究区内泥石流起动分为坡面起动型(土力类)和沟道起动型(水力侵蚀型)两种类型。

崔鹏等^[14]认为地震滑坡导致山体覆被遭到破坏,基岩出露,遇强降雨时,松散堆积层的侵蚀速率和坡面汇流速率迅速增加。崩塌滑坡形成的基岩面坡度较大,也较光滑,水流糙率很小,降雨产汇流迅速,水流速度大,侵蚀力强。入渗的雨水迅速饱和崩滑堆积体,降低其力学强度,增加其自重,从而导致松散坡体失稳下滑,并与沟道内汇流的洪水耦合,形成泥石流。这种快速的起动模式与“快速激发型”雨量特征是一致的。该区内坡面起动型泥石流以大海子沟和小海子沟为典型。图4a所示为大海子沟松散固体物质主要堆积于斜坡底部,若遇暴雨,或整体、或局部失稳下滑,参与泥石流活动。

关于沟道起动模式,笔者在刘传正^[15]的研究成果基础上进行分析。刘传正认为文家沟泥石流成因分为“渗流管涌—暂态雍水—溃决滑塌”的造沟作用模式和“溯源侵蚀—冲刷刨蚀—侧蚀坍塌—混合奔流(搅拌机)”的扩沟作用模式。研究区内各泥石流沟并不像清平文家沟被全部淤满,沟道形态保持基本完整,笔者认为其模式主要为侵蚀下切的扩沟模式,即“溯源侵蚀—冲刷刨蚀—侧蚀坍塌—混合裹挟(Entrainment)”,这类泥石流在成因模式上属于“侵蚀型”泥石流。研究区内沟道起动型泥石流以谢家店子沟和海汇桥沟为代表。

受活动断裂和风化作用等内外动力耦合作用,谢家店子滑坡发育于风化强烈的彭灌杂岩体内(花岗岩、闪长岩等),在地震作用下产生冲击抛射,后顺沟谷倾泻而下,沿途铲刮沟谷内斜坡碎屑物质,最终堆积于沟道内^[16]。这些松散堆积体内空隙排泄地下水潜流能力不足,快速降雨汇水因自然排泄不及导致松散体内滞留的地下水位迅速雍高瞬态及短时地下水压力急剧增大,渗透变形逐步加大致使表层坡体失稳、溃决和滑塌,后续强降雨汇流进而产生溯源侵蚀、冲刷刨蚀和侧蚀坍塌^[15],使得沟道不断被加深拓宽,此过程中流体沿程携带的固体物质如



图4 泥石流坡面起动(a)和沟道起动(b)

Fig. 4 Debris flow initiation on slope(a) and in gully(b)



图5 泥石流搬运巨石(a)和淤埋房屋(b)

Fig. 5 Boulder transported and building buried by debris flow

同“滚雪球”一般快速混合裹挟,在较短的时间内搬运大量松散颗粒物质,扩大泥石流规模。图4b所示即为泥石流扩大加深的沟道,宽约15~20m,深约8~12m。

“8·18”泥石流的运动过程的主要特点是阵发性堵溃导致泥石流峰值流量放大效应。根据现场调查和遥感解译发现,多条泥石流沟被松散固体物质堵塞,如谢家店子特大型滑坡,沟内冲出固体物质总量达77355.5m²,沟内堆积厚度约30m,其方量达200×10⁴m³,沟道内部分地形被完全改变^[14]。这些堵塞体在汇集大量流体后,形成局部雍水,并在短时间内发生溃决,瞬间释放其拦挡的物质,造成泥石流瞬时洪峰流量猛增。现场调查发现沟道内出现的宽窄相间的“大肚子”便是阵发性堵溃的表现。溃决后的泥石流具有强大的侵蚀力^[11],浆体裹挟巨石强烈铲刮沟床,致使沟道下切加深拓宽,泥石流流体沿程不断获得物质补给。另外,泥石流活动还产生强烈的溯源侵蚀,沟道源头不断向分水岭方向后退,沟道长度大大增加。

“8·18”泥石流同时还表现出强大的搬运能力。虽然流域面积小、沟道长度短,但其变现出的输移能力不可忽视,堆积扇上直径为2~4m的巨石随处可见(图5a),一次泥石流冲出量最大可达21.30×



图6 海汇桥沟泥石流发生前后堆积扇特征

Fig. 6 Depositional characteristics of Haihuiqiao gully prior to and after debris flow occurrence
a.摄于2012-4-20; b.摄于2012-8-23

10⁴m²(海汇桥沟)(图6),属于大型泥石流,形成的堆积扇宽210m,长300m,总面积达6.3×10⁴m²,淤埋多处宾馆、停车场、公路等基础设施(图5b)。“8·18”泥石流运动堆积特征与泥石流形成区松散物质储量丰富、沟道短且陡、降雨强度大等有密切关系。

5 泥石流特征分析

5.1 沿发震断裂呈“带状”分布

受控于物源分布特征,研究区内共有12条沟暴发泥石流,其中10条发育于发震断裂的上盘,占总数的83%,仅有2条规模较小的沟位于下盘(17%),整个区域泥石流沿断裂呈“带状”分布,符合该规律的还有北川“9·24”泥石流和映秀、龙池、清平“8·13”泥石流。此外,该区泥石流均暴发于地震烈度XI度区内。

5.2 成因组合上的“降雨控制型”

地震作用产生了大量崩塌、滑坡等不良地质体,为泥石流起动提供了丰富的松散固体物质;山体上部滑坡高位剪出,下部集中大量松散土体,造成沟道堵塞,改变了沟道微地貌。地震后,物源条件和地形条件都已具备,因此,在强震背景下泥石流暴发的关键因子是降雨条件。降雨规模和频率直接影响泥石流的规模和频率,这类泥石流在成因条件组合上属于“降雨控制型”。研究发现地震后汶川震区泥石流暴发的前期累积雨量和激发雨量都较震前降低^[11, 14],泥石流暴发的水土条件容易达到耦合状态,在时间上表现为“高频性”,空间上表现为“群发性”。

5.3 发育阶段的“青年期”

震后泥石流活动将进入活跃期,唐川^[17]认为至少在近10a内,滑坡和泥石流活动趋势是强烈的。银厂沟区域震前并无泥石流灾害,但2008年地震后每年雨季都会暴发泥石流,其频率和规模增幅明显,表明该区泥石流发育阶段正处于“青年期”,即流域内固体松散物质储量丰富,泥石流暴发阈值低,暴发频率高,冲出总量大,沟道侵蚀严重等。主要表现为以下方面:

(1)本文引用“形态系数”,以指示泥石流流域形态和发育阶段,如下式:

$$F = A/L^2$$

式中, F 为流域形态系数; A 为流域面积(km²); L 为沟道长度(km)。Huayong NI^[18]认为 F 值较小,说明流域形态多呈长条状,沟道发育处于青年期;相反地,若 F 值较大,流域长宽比接近1,说明流域形态近似呈圆形,沟道发育处于老年期(表1),银厂沟区域各沟 F 值位于0.17~0.57之间,相对较小,这说明该区内各泥石流流域多呈长条状且处于青年期阶段,这一结论与野外调查结果是相符的。

(2)泥石流沟道极不稳定,流径变幅大。海汇桥泥石流沟下游受滑坡碎屑流影响,沟道被松散物质淤满形成长550m、宽600m的扇形坡地,震后其下游沟道发育于坡地南端,流向SE,2011年之后沟道被堵塞迫使泥石流改道,向NE重新造沟、扩沟,形成新的泥石流沟道。在特殊条件下,不排除泥石流再次改道的可能性。

(3)冲出量与物源量比值小。区内最大物源量出现于洛河桥沟,总体积为1528.64×10⁴m³,本次泥石流最大冲出量为21.30×10⁴m³(海汇桥沟),各泥石流沟冲出量与物源量比值为0.12%~8.07%,这表明各流域内松散物源储量丰富,若出现超过临界雨量的降雨,该区还会发生泥石流灾害,规模可能会更大。

5.4 成灾模式上的“致承耦合”效应

“8·18”银厂沟泥石流灾害是致灾体和承灾体耦合作用的结果。就致灾体而言,区内各泥石流沟物源丰富、沟床纵比降大、泥砂补给段长,冲出物质容重大,多为黏性泥石流,具有流速快、流量大、冲击力强等特征。本次泥石流的承灾体主要为房屋、道路和游客。由于研究区处于汶川地震XI级烈度区内,强烈地震动导致大量房屋发生结构性的损伤,抗冲击能力差,以致在后续泥石流灾害中发生倒塌。区内房屋、公路等基础设施布置不甚合理,多数暴露于泥石流冲出范围内,“8·18”泥石流冲毁多段公路,以致交通中断,加大了救灾难度。区内受灾人口多为60岁以上的老人和10岁以下的儿童,其灾害反应能力和抗灾救灾能力相对较差,人员伤亡的可能性较高,人口易损度大。

6 结 论

(1)汶川地震诱发崩塌、滑坡所产生的松散岩土体,为泥石流暴发提供了固体物源。位于映秀—

北川断裂上盘的元古界花岗岩受强烈地震动作用,发生剪切破坏,是触发滑坡的主要原因之一。高速远程滑坡—碎屑流带来的松散物质堆积堵塞沟道,改变了沟道微地貌,有利于大规模泥石流的形成。强降雨是诱发强震区泥石流的控制性因素,泥石流暴发的前期累积雨量为 227.1mm,激发雨量为 41mm,最大 1h 雨量相当于 20a 一遇雨量,属于快速激发型。

(2)泥石流起动机制分为坡面起动型(土力型)和沟道起动型(水力侵蚀型),其中沟道起动模式主要为侵蚀下切的扩沟模式,即“溯源侵蚀—冲刷刨蚀—侧蚀坍塌—混合裹挟(Entrainment)”。泥石流阵发性堵溃导致流量放大,使流体具有强大的侵蚀和搬运能力。

(3)震区泥石流活动具有如下特点:泥石流沿发震断裂呈“带状”分布;成因组合上的“降雨控制型”,在空间上表现为群发性,时间上表现为高频性;发育阶段上处于“青年期”,流域形态系数较小,流域多呈长条状,沟道极不稳定、变幅大,且流域内松散物源异常丰富,具备泥石流再次暴发的可能性;成灾模式上的“致灾耦合”效应,致灾体与承灾体相互作用导致灾害发生,在未来的减灾防灾工作中应综合考虑这两方面影响,不可偏废一方。

参 考 文 献

- [1] 徐锡伟, 闻学泽, 叶建青, 等. 汶川 M_s 8.0 地震地表破裂带及其发震构造[J]. 地震地质, 2008, **30**(3): 598~629.
Xu Xiwei, Wen Xueze, Ye Jianqing, et al. The M_s 8.0 Wenchuan earthquake surface ruptures and its seismogenic structure. *Seismology and Geology*, 2008, **30**(3): 598~629.
- [2] 马煜, 马东涛, 李峰, 等. 汶川强震区泥石流特征研究——以银厂沟东林寺—海汇桥段为例[J]. 桂林理工大学学报, 2011, **31**(3): 352~356.
Ma Yu, Ma Dongtao, Li Feng, et al. Characteristics of earthquake debris flow in Wenchuan earthquake area—A case from Donglinsi-Haihui bridge in Yinchang gully. *Journal of Guilin University of Technology*, 2011, **31**(3): 352~356.
- [3] 谢洪, 钟敦伦, 矫震, 等. 2008 年汶川地震重灾区的泥石流[J]. 山地学报, 2009, **27**(4): 501~509.
Xie Hong, Zhong Dunlun, Jiao Zhen, et al. Debris flow in Wenchuan earthquake area in 2008. *Journal of Mountain Science*, 2009, **27**(4): 501~509.
- [4] Ching-Weei Lin, Chjeng-Lun Shieh, Bee-Deh Yuan, et al. Impact of Chi-Chi earthquake on the occurrence of landslides and debris flows: Example from the Chenyulan river watershed, Nantou, Taiwan[J]. *Engineering Geology*, 2003, **71**: 49~61.
- [5] Ching-Weei Lin, Shou-Heng Liu, Sen-Yuan Lee, et al. Impacts of the Chi-Chi Earthquake on subsequent rainfall-induced landslides in central Taiwan[J]. *Engineering Geology*, 2006, **86**: 87~101.
- [6] 刘玲霞, 李向全, 周志超, 等. 强震条件下谢家店滑坡碎屑流发生机制试验研究[J]. 水文地质工程地质, 2011, **38**(3): 104~109.
Liu Lingxia, Li Xiangquan, Zhou Zhichao, et al. An experimental study of the initiation mechanism of landslide debris flow under a strong earthquake. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2011, **38**(3): 104~109.
- [7] 王涛, 石菊松, 吴树仁, 等. 汶川地震触发文家沟高速远程滑坡—碎屑流成因机理分析[J]. 工程地质学报, 2010, **18**(5): 631~644.
Wang Tao, Shi Jusong, Wu Shuren, et al. Formation mechanism of Wenjiagou high-speed and long-runout debris flow avalanche triggered by Wenchuan earthquake. *Journal of Engineering Geology*, 2010, **18**(5): 631~644.
- [8] 苏生瑞, 张永双, 李松, 等. 汶川地震引发高速远程滑坡运动机理数值模拟研究——以谢家店子滑坡为例[J]. 地球科学与环境学报, 2010, **32**(3): 277~287.
Su Shengrui, Zhang Yongshuang, Li Song, et al. Numerical analysis on motion mechanism of high speed and long runout landslide by Wenchuan earthquake—Taking Xiejiadianzi landslide as an example. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2010, **32**(3): 277~287.
- [9] 唐川, 李为乐, 丁军, 等. 汶川震区映秀镇“8·14”特大泥石流灾害调查[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2011, **36**(1): 172~180.
Tang Chuan, Li Weile, Ding Jun, et al. Field investigation and research on giant debris flow on August 14, 2010 in Yingxiu town, epicenter of Wenchuan earthquake. *Earth Science—Journal of China University of Geoscience*, 2011, **36**(1): 172~180.
- [10] 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.
Huang Runqiu, Li Weile. Research on development and distribution rules of geohazards induced by Wenchuan earthquake on 12th May, 2008. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2008, **27**(12): 2585~2592.
- [11] 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 Chuan, Liang Jingtao. Characteristic of debris flow in Beichuan epicenter of the Wenchuan earthquake triggered by rain-storm on September 24, 2008. *Journal of Engineering Geology*, 2008, **16**(6): 751~758.
- [12] 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 Qiang. The 13 August 2010 catastrophic debris flows in Sichuan province: Characteristic, genetic mechanism and suggestions. *Journal of Engineering Geology*, 2010, **18**(5): 596~608.
- [13] 周伟, 唐川, 周春花. 汶川震区暴雨泥石流激发雨量特征[J]. 水科学进展, 2012, **23**(5): 650~655.

- Zhou Wei, Tang Chuan, Zhou Chunhua. Critical rainfall characteristics for rainfall-induced debris flows in Wenchuan earthquake affected areas. *Advances in Water Science*, 2012, **23**(5): 650~655.
- [14] 崔鹏, 庄建奇, 陈长兴, 等. 汶川地震区震后泥石流活动特征与防治对策[J]. *四川大学学报(工程科学版)*, 2010, **42**(5): 10~19.
- Cui Peng, Zhuang Jianqi, Chen Xingchang, et al. Characteristics and countermeasures of debris flow in Wenchuan area after the earthquake. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2010, **42**(5): 10~19.
- [15] 刘传正. 汶川地震区文家沟泥石流成因模式分析[J]. *地质论评*, 2012, **58**(4): 709~716.
- Liu Chuansheng. Anaysis on genetic model of Wenjiagou debris flows in Wenchuan earthquake area, Sichuan. *Geological Review*, 2012, **58**(4): 709~716.
- [16] 张永双, 石菊松, 孙萍, 等. 汶川地震内外动力耦合及灾害实例[J]. *地质力学学报*, 2009, **15**(2): 131~141.
- Zhang Yongshuang, Shi Jusong, Sun Ping, et al. Coupling between endogenic and exogenic geological processes in the Wenchuan earthquake and example analysis of geo-hazards. *Journal of Geomechanics*, 2009, **15**(2): 131~141.
- [17] 唐川. 汶川地震区暴雨滑坡泥石流活动趋势预测[J]. *山地学报*, 2010, **28**(3): 341~349.
- Tang Chuan. Activity tendency prediction of rainfall induced landslides and debris flows in the Wenchuan earthquake areas. *Journal of Mountain Science*, 2010, **28**(3): 341~349.
- [18] Huayong NI. Recent catastrophic debris flows in Luding county, SW China; Geological hazards, rainfall analysis and dynamic characteristics[J]. *Natural Hazards*, 2010, **55**: 523~542.

国际工程地质与环境协会 (IAEG) 2013 年会 暨亚洲区域工程地质大会在北京召开

国际工程地质与环境协会(IAEG)2013 年会暨亚洲区域工程地质大会于 2013 年 9 月 24 日—25 日在北京国际会议中心召开。来自 30 个国家的 234 名代表出席了大会。

大会由中国科学院地质与地球物理研究所和 IAEG 共同主办,IAEG 中国委员会、IAEG 第 29 委员会、中国科学院工程地质力学重点实验室具体承办。会议得到中国科学院、国家自然科学基金委员会、中国地质调查局、中国水电顾问集团、中国机械工业勘察设计院、中国地质科学院地质力学研究所、中铁第一勘察设计院集团有限公司、西安地质调查中心、广东省水电规划设计院等 18 家单位支持。

IAEG 亚洲区副主席黄润秋主持大会开幕式,王思敬、伍法权、庄岩、黄润秋和 Carlos Delgado 等人先后致贺词。

大会邀请 8 位学者做了特邀报告,他们是王思敬、Carlos Delgado、Paul Marinos、熊巨华、David Cruden、Donald Helm、Victor Osipov 和 Scott Burns。29 位学者做了分会场邀请报告,45 位学者做了展板交流,这些报告分别就构造活动性与动力地质灾害、重大工程的工程地质问题、海岸带与城市工程地质、工程地质新理念与新技术等领域的前沿问题进行了交流研讨,并对岩土体结构与行为、黄土与岩溶工程地质问题进行了专题交流。会议还设立特别单元,倡议了海洋工程地质、大型灾难性滑坡、黄土地质灾害等国际合作研究项目。20 家厂商、会议协办单位和 IAEG 国家小组进行了展板展示。会议期间,IAEG 所属的 4 个委员会举行工作会议,研讨了委员会的工作方式、发展战略和成果产出。

大会闭幕式,伍法权做了大会总结。指出,本次大会增进和明晰了对工程地质与环境领域前沿问题的理解;人们开始考虑梳理工程地质学科和 IAEG 的发展战略,强调学科前沿发展战略设计,并将继续通过年度全球问卷调查、各类研讨会进一步增进学科战略设计;IAEG 及其所属委员会对学科的引领作用越来越凸显。