

四川省“8·13”特大泥石流灾害成生机理与防治原则

李朝安^{1,2}, 胡卸文¹, 李冠奇², 马显春²

(1. 西南交通大学 地球科学与环境工程学院, 成都 610031; 2. 中铁西南科学研究院有限公司, 成都 611731)

摘要:2010年8月12日—14日强降雨过程导致“5·12”汶川地震的极重灾区映秀镇、龙池镇、清平乡集中暴发了大面积泥石流灾害,损失惨重。针对四川“8·13”泥石流三大典型泥石流沟所表现出来的共同特点,研究地震重灾区泥石流灾害成生机理,对泥石流灾害治理及灾害预警工作具有极其重要意义。首先研究了映秀镇、龙池镇、清平乡典型泥石流灾害的基本情况及其地质环境条件,泥石流的分布规律、成生规律和表现形式。(1)本次泥石流主要集中分布在发震断裂构造带附近,呈带状分布;(2)它们在地震之前就是泥石流沟;(3)沟内斜坡稳定性原本就差,加之在“5·12”地震作用下后,稳定性更差,且有更多的物源进入到沟中,在沟内形成大大小小的堵塞体,在降雨期对地表径流起“堵沟蓄能—溃决消能”作用,在堵塞体溃决时,流水之挟砂、抽槽等作用大大增强而形成大规模、突发性泥石流。针对这类泥石流的特点及成生机理,最后提出了相应的泥石流的防治原则:一是治沟必须与治坡相结合;二是工程措施的兴建应与其功能的维护(维修)相结合;三是防灾工程与建设开发相结合;四是泥石流监测预警应同时布置在潜在的“堵塞体”的上下游侧。

关键词:泥石流;成生机制;防治;汶川地震区

中图分类号:P694

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)02-0257-07

Formation Mechanism of the ‘8·13’ Catastrophic Debris Flow in Sichuan and the Principles of Controlling

LI Chao-an^{1,2}, HU Xie-wen¹, LI Guan-qi², MA Xian-chun²

(1. Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2. China Railway Southwest Research Institute Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: The heavy rainfall from August 12 to 14th, 2010 led to a large area of debris flow in the serious quake-hit of the ‘5·12’ Wenchuan earthquake such as Yingxiu Town, Longchi Town and Qingping Township. It caused the serious damage. According to the common characteristics of the three typical debris flows which happened on 13th, August, exploring the formation mechanism of debris flow in earthquake-hit area has great meaning for the controlling and disaster early warning about the debris flow. This paper first introduces the basic condition and the geological environment condition about the typical debris flows in the hardest hit Yingxiu, Longchi, Qingping Township. It also explores the distribution, the formation mechanism and the performance pattern of the debris flow. First, this debris flow is mainly distributed in the vicinity of fault with the zonal distribution. Second, they are the trenches of debris flow before the earthquake. Third, the stability of the slope in the trench is poor. And on the effect of the ‘5·12’ Wenchuan earthquake, the conditions got worse, there are more things going into the trench, which form large or small blockage. During the rainfall, the surface runoff forms the pattern of debris flow which can ditch block storage and burst of energy dissipation. When the blocking body bursts, the water runs with the sand, the pumping groove and they enhance the formation of large, sudden landslides. According to the characteristics and the mechanisms of debris flow, this paper concludes the controlling principles of earthquake debris flow. First, the comprehensive measures of controlling the gully and slope should be combined. Second, project implementation and their functions maintenance should be combined. Third, the disaster controlling of projects and the construc-

tion should be combined. We can also say that we should combine the controlling of the debris flow with the project of the slope controlling and the road reinforcement about the groove side. Fourth, the debris flow monitoring and warning should also be arranged in the potential of the plug body on the downstream side.

Key words: debris flow; formation mechanism; controlling; Wenchuan earthquake zone

汶川“5·12”特大地震导致发震断裂附近山体更加破碎,斜坡稳定性更差,使灾区山地区域的地质环境更加脆弱,泥石流固体物源剧增,暴雨后易暴发不同程度的泥石流灾害^[1]。汶川特大地震发生至今已有三年多,经历了近 4 个雨季,震后暴雨诱发了大量的泥石流灾害,2008 年四川“9·24”暴雨,2009 年 7—8 月暴雨,2010 年 8 月 13 日及 8 月 18 日暴雨、2011 年 7 月暴雨均诱发了大量的灾害性泥石流,给灾区人带来巨大的灾难,造成了大量人员伤亡和经济损失,影响地震灾区的恢复重建。特别是 2010 年 8 月 12—14 日暴雨导致四川汶川地震极重灾区集中暴发大面积大规模泥石流灾害,给人民生命财产安全及灾后恢复重建带来了极大的损失和影响。2010 年 8 月 12 日—14 日,四川省部分地区普降大到暴雨,局部地区大暴雨,地震灾区多处暴发了泥石流灾害,造成了惨重的损失,其中汶川地震极重灾区汶川县映秀镇、都江堰市龙池镇、绵竹市清平乡是集中暴发区,这次泥石流被相关部门统称为四川省“8·13”特大泥石流灾害,本文以该次泥石流为例进行研究。

四川省“8·13”特大泥石流灾害三个集中暴发区域最为典型的泥石流沟为汶川县映秀镇红椿沟泥石流、绵竹市清平乡文家沟泥石流、都江堰市龙池镇八一沟泥石流,四川省国土资源厅均立项进行了专项治理。但是“8·13”暴雨诱发的泥石流中,即使是已往实施完成或正在实施的治理工程,均被本次泥石流摧毁,表明了地震后震区泥石流的分布规律、启动条件、暴发规模、活动形式和危害方式等方面与非地震区有显著差别。因此,本文通过对四川省“8·13”特大泥石流集中暴发的 3 个区域的 3 条典型泥石流沟泥石流灾害的归纳总结,探讨其规律性,研究该类泥石流成生机理及防治方法,为今后对此类大规模、突发性泥石流灾害的防治提供了可资借鉴的依据。

1 典型泥石流灾害介绍

1.1 映秀镇红椿沟泥石流灾害

在“8·13”强降雨期间,映秀镇绝大部分沟道均发生了一定规模的泥石流灾害,呈现出“逢沟必发”、“沟沟吹喇叭”的景象如图 1 所示^[2]。根据泥石流成因及影响,选取具有典型代表意义的红椿沟泥石流进行介绍。



图 1 岷江流域映秀镇至老虎嘴段“8·13”泥石流航拍图
1.1.1 红椿沟泥石流灾害概况 红椿沟泥石流位于汶川县映秀镇东北侧,岷江左岸,沟口堆积扇区为映秀镇场镇灾后恢复重建规划区,都江堰至汶川高速公路及 G213 国道亦穿越泥石流堆积区。红椿沟地震前属于活动性较弱的低频泥石流沟,有泥石流灾害史。汶川地震后,受地震作用,沟内的物源条件发生了较大变化,物源丰富,泥石流转为高危险性泥石流沟。2010 年 8 月 12 日 17:00,映秀镇开始普遍降雨,当日累计降雨量 19.9 mm,13 日继续降雨,累计降雨量为 126.8 mm,到 8 月 14 日凌晨 3:00 时暴发了泥石流为止,累计的降雨量 162.1 mm,到 14 日 7:00,累计降雨量 220 mm 左右。本次红椿沟泥石流峰值流量计算值高达 745.76 m³/s,总冲出松散固体物质约 70 万 m³,冲毁和淤埋在建的都汶高速公路及 G213 国道,其中约 40 万 m³ 泥石流松散固体物质冲入岷江,形成宽约 100 m、长 350~400 m 的堰塞体,堵断岷江主河道,导致河水改道冲入映秀新镇,引发洪水泛滥,造成映秀镇 13 人死亡、59 人失踪,受灾群众 8 000 余人被迫避险转移^[3]。

2010 年 8 月 18 日的映秀镇强降雨使红椿沟再一次暴发泥石流灾害,使岷江河道再一次被堵塞,造成映秀镇二次洪涝灾害(图 2)。



图 2 红椿沟“8·13”特大泥石流沟口灾害情况航拍图

1.1.2 红椿沟泥石流灾害成因分析 映秀镇红椿沟泥石流灾害的形成主要受地质构造、地震活动、地形地貌、地层岩性的控制,映秀镇位于汶川地震发震断裂带和震中附近,该断裂同时也是岩浆岩边界,坡面岩体破碎、风化变质程度均较强,在强烈地震作用下向沟中提供了大量的松散固体物源,斜坡稳定性也更差,在强降雨期间,导致了这场灾害性泥石流的暴发,原本是一个有可能预测到的结果。

本次“5·12”汶川地震的发震断裂“映秀—北川主断裂”沿红椿沟沟谷主方向穿越整个流域,断层西北为平武茂汶褶皱带火山岩区,断层东南属四川台地边缘,以花岗岩为主,中细粒闪长岩次之,为火成岩与花岗岩的边界,构造活动强烈,风化壳厚而植被欠佳,裂隙发育,岩体破碎、松散。红椿沟沟谷呈V型谷,纵坡比降大,沟道上游跌坎多,显出新构造运动期间山体强烈抬升的特征。受汶川地震强烈作用,导致沟谷两岸坡体大面积失稳(图3),风化层(带)滑坡和断层破碎带滑坡成为斜坡破坏的主要型式,形成较大规模崩塌、滑坡堆积,为泥石流的形成提供了重要的松散物质,这些滑坡堆积物胶结和固结很差,在流水冲刷下,极易产生底蚀和侧蚀,继续滑入沟中,堵塞沟水或排水不畅,使泥沙迅速发生输移流动。红椿沟流域内发育大小规模滑坡体共70处,滑坡平面总面积为76.1万 m^2 ,厚度变化较大,从1~18 m不等,估算流域滑坡总体积可达284.3万 m^3 。此外,在泥石流物源区70%以上的沟道都堆积了大量松散堆积物,这些大量的松散固体物质是泥石流强烈活动的重要补给源。



图3 红椿沟两岸坡体大面积失稳

红椿沟流域面积5.35 km^2 ,地形总体上属深切构造侵蚀低山和中山地形,具有岸坡陡峻,切割深度较大的特点,中上游呈深切切割“V”型谷,下游沟口段沟床较宽缓,呈“U”型谷。主沟纵长3.6 km,平均纵坡降约358‰,呈现陡缓相间的空间变化特征。沟域内两侧山高坡陡,坡度为 $35^\circ\sim 50^\circ$,由于地形陡峻,表层土体结构松散及岩石节理裂隙发育,多被切割成块状,为崩塌、滑坡等不良地质现象的发育提供了有利条件。红椿沟流域的形成区与流通区沟道较顺直,

有利于雨水的快速汇流,使得松散物质容易起动,并在运动过程中流速快、能量消耗少。汶川地震后,沟谷地形发生了明显变化,沟道堆积和堵塞现象严重,加之陡峻的山坡和沟床为坡面和沟床松散堆积物势能的释放和转化为动能提供了有利条件。

1.1.3 红椿沟泥石流形成与启动 红椿沟地处火成岩与花岗岩边界,映秀—北川主断裂沿红椿沟沟谷穿过,处于活动强烈地带,加之汶川地震作用,岩体结构破碎、小型风化带滑坡广泛分布,降雨沿坡面下渗量普遍增大,又进一步降低斜坡的稳定性。在强降雨作用下,首先是坡面侵蚀失稳,经沟床再搬运形成小规模泥石流。随着降雨持续作用,引起红椿沟上游多处滑坡强烈活动,在中游沟道两岸坡松散残坡积堆积层发生大面积滑塌,在局部较狭窄的沟段造成严重堵塞,形成不同大小的堵塞体,流域上游洪水迅速汇流后,冲刷沟谷和斜坡松散固体堆积物,夹带泥沙的洪水(泥石流)在各个堰塞体后,形成堵沟、断流、蓄能作用,达一定程度堰塞体突然溃决而形成携砂能力更大的泥石流。根据调查资料显示,在高程1080 m和1500 m处分别形成有一定规模的滑坡堰塞体,高程1080 m处的滑坡堰塞体滑坡总方量约65万 m^3 ,滑坡整体下滑并严重堵塞沟道,沿沟道堆积长度约150 m,堆积高10~40 m。高程1500 m处的滑坡堰塞体滑坡总方量约24万 m^3 ,该滑坡堰塞体沿沟道堆积长度约60 m,堆积高10~30 m,滑坡堰塞体溃决作用致积蓄水能的瞬时释放是导致“8·13”特大泥石流灾害的根源。沟中大大小小的堵塞体,其蓄能—溃决作用对泥石流流量的增加也起了决定性的作用。

1.2 青平乡文家沟泥石流灾害

2001年8月12日下午18:00至13日凌晨4:00,“5·12”汶川地震极重灾区四川省绵竹市清平乡出现局地大暴雨,清平乡场镇区有11条沟同时暴发泥石流,泥石流灾害大范围损毁和掩埋了清平乡场镇,直接经济损失达6亿元左右。本次泥石流灾害在清平乡场镇形成了长达3.5 km,宽400~500 mm,平均厚约5 m(最大厚度超过13 m),总方量约600万 m^3 的堆积和淤埋区,覆盖面积达120万 m^2 左右^[4]。泥石流的堆积物质主要来自于清平乡场镇北(绵远河上游)的文家沟和走马岭沟。选取具有典型代表性的文家沟泥石流进行介绍。

1.2.1 文家沟泥石流灾害概况 文家沟泥石流位于四川省绵竹市西北部山区的清平场镇北侧,属绵远河上游的一级支沟。“5·12”汶川地震为泥石流提供了非常丰富的松散固体物源,在震后的4个雨季里,截至目前为止,文家沟先后于2008年9月24日、2010

年7月31日、2010年8月13日、2010年8月18日、2010年9月18日共暴发了5次泥石流灾害^[5],其中2010年8月13日发生的泥石流灾害最为严重。2010年8月12日15:00至8月13日2:00,绵竹清平乡发生局地大暴雨,持续历时10 h多,累计降雨量达227.5 mm,降雨强度大于90 mm/h,在强降雨的激发下,文家沟于13日凌晨0:30左右暴发特大泥石流灾害泥石流,持续时间长达数小时。泥石流冲塌绵远河上游幸福大桥后堵塞老清平大桥,致使绵远河堵塞、水位抬高、河水改道。泥石流堆积扇长约1 600 m,宽200~500 m(平均300 m),最大淤积深度超过15 m(平均7 m),总堆积物质量约310万m³。此次泥石流灾害共造成7人死亡,5人失踪,39人受伤,约479户农房受损,卫生院、学校和农房等设施严重受损或被掩埋,农田被毁约20 hm²,水、电、通讯全部中断,清平至汉旺公路被泥石流冲毁掩埋,直接经济损失4.3亿元(图4)。



图4 文家沟“8·13”特大泥石流在绵远河清平乡镇段淤埋情况

1.2.2 文家沟泥石流成因分析 清平乡位于汶川地震发震断裂龙门山中央断裂(映秀—北川断裂)地带,区内地质构造作用强烈、断裂发育、褶皱保存不完整,多为推覆体内的次级褶皱,方向多变,岩层多陡倾、直立乃至倒转,裂隙发育、岩体破碎,为山地灾害的形成提供了有利条件。在本次汶川强烈地震作用下提供了大量的松散固体物源,斜坡稳定差,受强降雨下渗激发斜坡失稳,导致了这场群发性灾害泥石流的暴发。文家沟刚好处于“5·12”汶川地震的发震断裂“映秀—北川主断裂”与分支断裂交叉部位的压应力集中区这一特殊部位,“5·12”汶川地震时地震烈度为IX—X度,属极重灾区。受汶川地震强烈作用,文家沟沟谷两岸坡体稳定性降低,形成较大规模崩塌、滑坡体,并曾经堵塞河道形成4处堰塞湖,滑坡形成的堆积物方量就达5 000万m³以上,为泥石流的形成提供了重要的松散物质,这些滑坡堆积物胶结和固结很差,在流水冲刷下,极易产生潜蚀和侧蚀,使泥砂迅速发生输移流动,为后期的泥石流活动埋下了严重的隐患。

文家沟沟谷在地貌上属构造侵蚀中切割陡峻低—

中山地貌、斜坡冲沟地形。文家沟流域面积7.81 km²,主沟长3.25 km,沟床平均纵坡降467.4‰。沟谷岸坡陡峻,切割深,纵坡降大,迭水坎多,横断面呈V型。在汶川地震影响下,沟谷地形发生了明显变化,沟道堆积和堵塞现象严重。这样的地形和沟道条件为坡面和沟床松散堆积物及沟水势能转化为动能提供了有利条件。

“5·12”汶川地震为文家沟泥石流提供了非常丰富的松散固体物源,在一定的降雨雨强下会诱发泥石流。根据在汶川特大地震震后的4个雨季里,文家沟先后暴发了5次泥石流均与强降雨有关,因此降雨是激发大规模泥石流形成的重要因素。

1.2.3 文家沟泥石流的形成与启动 文家沟地处龙门山中央断裂下盘的龙门山褶皱断束的太平推覆体前缘,处于构造活动强烈地带,加之受“5·12”汶川地震作用,岩体裂隙发育、结构破碎,沟谷斜坡稳定性更差,沟床松散固体物源丰富,在沟道内形成大大小小的堰塞体。在强降雨作用下,首先是坡面侵蚀,沟床搬运形成小规模泥石流。随着降雨持续作用,中、上游沟道两岸坡松散残坡堆积层发生大面积滑塌,在局部较狭窄的沟段造成严重堵塞,也形成不同大小的堵塞体,泥石流在各个堵塞体后暂时淤积,形成断流、蓄能作用,达一定程度堰塞体突然溃决形成更大规模的洪水和泥石流。“8·13”泥石流后在文家沟留下了“槽谷”和“峡谷”宽窄相间出现的沟谷地貌就是泥石流在沟道中遇堵塞体蓄能—溃决作用形成的,对泥石流流量的增加也起了决定性的作用,使其破坏能力增强,这也是震区泥石流破坏性极大的原因之一。

1.3 龙池镇八一沟泥石流灾害

2010年8月13日和18日四川省都江堰市龙池镇受局地强降雨影响,龙池镇龙池湖片区最高降雨量达到256.2 mm,龙溪河达到314 m³/s,是有历史记载以来最大流量,在龙池镇沿龙溪河18 km长度范围内有44条沟暴发泥石流,泥石流冲出量达800万m³,使刚刚重建好的龙池镇旅游设施毁于一旦,受灾人数达5 149人,农林作物受灾面积达95 hm²,交通、电力、通讯、供排水、天然气等基础设施以及农家乐、乡村酒店、景观景点等旅游配套设施均遭受严重破坏,造成重大的生命财产损失。其中八一沟泥石流最为严重。

1.3.1 八一沟泥石流灾害概况 八一沟位于都江堰龙池镇云华村,属于岷江一级支流龙溪河右岸的次级支沟,流域面积约8.63 km²,主沟全长约4.45 km。八一沟在地震前就是一条多期次老泥石流沟,历史上发生过3期次大规模泥石流。汶川大地震造成大量松散物质堆积于八一沟及其支沟沟谷和两岸斜坡地

带,斜坡稳定性较差,并于 2008 年 5 月 14 日、5 月 19 日和 2009 年 7 月 17 日在降雨影响下连续暴发了 3 次泥石流,体积约 114.3 万 m^3 。3 次泥石流淹没了茶马古道、都汶公路连接线、耕地、安置房屋等^[6]。

2010 年 8 月 13 日 14:00 左右,龙池镇开始降雨,1 h 后降雨量增大,约 16:00 暴发大规模泥石流,17:40 泥石流转为洪水流,降雨于次日早 7:00 停止。此次泥石流失踪 2 人,受伤 1 人,冲毁 36 余间民房,板房 100 余间,掩埋都汶路连接线 280 m,冲毁或淤埋谷坊、拦砂坝 11 座,排导槽全埋,轻微堵塞主河道龙溪河,影响紫坪铺水库,安置区水、电、道路等基础设施全部被毁,造成直接经济损失约 1 500 万元^[7]。

1.3.2 八一沟泥石流成因分析 在地质构造上,虹口映秀断裂和灌县断裂均从八一沟中上游沟段穿过,虹口映秀断裂为汶川特大地震发震断裂映秀—北川断裂的一部分,在八一沟流域内断裂破碎带宽达 30 m。龙池—虹口断裂带 3~5 km 宽度带区域内地震最高烈度达 VI 度^[8],新构造运动强烈,主要表现在地区性不均匀升降和断裂的继承性活动。区内地质构造作用强烈、断裂发育、岩体破碎,沟谷斜坡稳定性差,为泥石流灾害的形成提供了有利条件。

八一沟流域内出露的地层岩性主要有第四系崩滑堆积物 Q_4^{del} 、第四系洪积物 Q_4^{pl} 、第四系崩坡堆积物 Q_4^{e+dl} ,第四系地层主要分布在堆积区和流通区,以碎块石为主。形成区出露地层主要为元古代澄江—晋宁期的中粒斜长花岗岩 γ_{o2} 及震旦系下统火山岩组 Za 的灰绿色安山岩、凝灰岩及安山玄武岩为主,风化强烈,又在断裂带附近,裂隙发育、岩体破碎、斜坡坡面失稳,为泥石流提供了丰富的固体物源。

八一沟沟谷在地貌上属构造侵蚀中切割陡峻低—中山地貌。八一沟泥石流流域面积约 8.63 km^2 ,主沟全长约 4.45 km,沟床平均纵坡降 376.1‰,主沟泥石流主要由大干沟泥石流、小干沟泥石流和小湾沟泥石流汇集而成。支沟沟道狭窄,沟谷切割深,迭水坎多,横断面呈 V 字型,沟床平均纵坡均超过 500‰ 以上,支沟两岸斜坡较陡峻,坡度大多在 25° 以上,支沟断面呈 V 型。支沟多沿映秀断裂带的分支断裂发育,流域内元古代澄江—晋宁期斜长花岗岩及震旦系下统火山岩经历了多期强烈构造运动,岩体十分破碎。“5·12”汶川地震造成八一沟内山体开裂松弛,斜坡稳定性差,曾发生大量的崩塌、滑坡,物源丰富,总计约 757.61 万 m^3 ,其中可能参与泥石流活动的动储量约 438.34 万 m^3 。滑坡及崩塌进入沟中形成跌坎或堵塞体,这样的迭坎或堰塞体在强降雨期间经过蓄能—溃决而形成灾害性泥石流。汶川地震为八一沟

泥石流提供了非常丰富的松散固体物源,在合适降雨及沉积条件下,易暴发泥石流。

1.3.3 八一沟泥石流形成与启动 八一沟流域处于龙门山映秀断裂带上,流域内元古代澄江—晋宁期斜长花岗岩及震旦系火山岩岩体破碎,斜坡较陡峻,处于构造活动强烈地带,加之受“5·12”汶川地震作用,岩体裂隙发育、结构破碎,沟谷斜坡稳定性较差,沟床松散固体物源丰富,在沟道内形成大大小小的堵塞体。在强降雨作用下,首先在斜坡体表面形成冲刷侵蚀作用,形成纹沟、细沟、冲沟和坡面泥石流,运动到堵塞体后,在堵塞体内侧形成断流、蓄能作用,达一定程度堰塞体突然溃决形成更大规模的泥石流,对泥石流流量的增加也起了决定性的作用,使其破坏能力大大增强,这也是“8·13”泥石流破坏性极大的主要原因。

2 “8·13”泥石流共同特征

(1) 泥石流沟沿断裂带发育,斜坡稳定性差。红椿沟地处火成岩与花岗岩破裂边界,映秀—北川主断裂沿红椿沟谷穿过;文家沟处于龙门山中央断裂下盘的龙门山褶皱断束的太平推覆体前缘,刚好处于“5·12”汶川地震的发震断裂“映秀—北川主断裂”与支断裂交叉部位的应力集中区,次级褶皱、断裂发育;八一沟位于龙门山前山断裂与发震中央断裂接合部,虹口映秀断裂和灌县断裂均从八一沟穿过,虹口映秀断裂为汶川特大地震发震断裂映秀—北川断裂的一部分,在八一沟流域内断层破碎带宽达 30 m。

(2) “5·12”汶川特大地震为泥石流形成提供了丰富的物源。三条泥石流沟均处于“5·12”汶川地震发震断裂附近,区域地质构造接合部,构造活动强烈,岩体破碎,地形较陡峻,斜坡稳定性差,加之受“5·12”汶川地震作用,为泥石流的形成提供了海量的物源。

(3) 均属于“5·12”地震作用强的重灾区,在强烈地震作用下,在原有基础上有更多的物源到沟中,成为堵(拦)水流障碍物或“堤”“坎”,对沟道中的洪水或泥石流形成拦蓄作用,同时堵塞体自身的稳定性较差,极易形成洪水蓄满、翻坝溃决,即“蓄能—溃决”,形成更大规模、破坏性更强的泥石流。

(4) “8·13”泥石流峰值流量均超过正常流量,事后根据调查资料计算,“8·13”特大泥石流中各沟峰值流量分别如下:红椿沟泥石流计算峰值流量 745.76 m^3/s ,文家沟泥石流最大峰值流量 1 530 m^3/s ,八一沟泥石流最大峰值流量 1 082 m^3/s 。究其原因主要为泥石流在沟床中运动时,受大大小小的滑坡、崩塌堰塞体堵塞,形成“蓄能—溃决”模式,堰塞体溃决对泥石流流量起到放大作用。

(5)在“5·12”前或以后进行过治理,但在“8·13”特大泥石流中,均遭受不同程度的破坏,工程未发挥预期效果。

3 泥石流形成和启动机理

四川省“8·13”特大泥石流灾害在空间上多沿“5·12”汶川地震的发震断裂附近集中暴发,主要集中在暴发地点为映秀镇、清平乡、龙池镇,其特点是松散固体物源丰富、峰值流量大、冲出固体物质多、破坏力强,成生机理显示较清楚。

受“5·12”汶川地震的影响,在重灾区泥石流沟内存在海量固体物源,斜坡稳定性差,坡面表土层松散,在降雨期间,坡面表土层饱和和受面流冲刷作用,易形成坡面泥石流。坡面泥石流汇入沟谷中,如能顺畅地流走,即使带走冲刷沟道内的松散固体物质也只会形成规模较小的泥石流,其破坏性小。但是由于汶川地震影响,岩土体结构松散,斜坡稳定性差,可发生滑坡及崩塌而在沟内形成大大小小的堰塞体,加之降雨过程中沟道汇水集中冲刷,岸坡临空失稳,进入沟中也会形成堵(拦)水流障碍物或‘堤’‘坎’。当坡面泥石流或雨水汇流入沟道,在沟道中运动,遇到这些堵塞体、堵(拦)水流障碍物或‘堤’‘坎’时,就会受堵蓄流蓄能,往往这些堰塞体及堵(拦)水流障碍物或‘堤’‘坎’自身的稳定性也较差,当洪水、泥石流积蓄到临界点极易溃决,形成更大的泥石流,在一级一级的蓄能—溃决过程中,形成规模巨大、破坏力极强的灾害性泥石流。这也是这三条泥石流峰值流量巨大的原因之一,“8·13”特大泥石流过后对流域内泥石流发生后留下的痕迹调查也证明了这点。

4 防治原则

映秀镇红椿沟泥石流、清平乡文家沟泥石流、龙池镇八一沟泥石流在地震前或地震后均进行过治理,何以原来的治理不成功呢?究其原因是对地震重灾区泥石流的启动和发展机理认识不够清楚,其相应措施针对性和预测性不强。由于沿发震断裂带发育的沟谷斜坡稳定性差,在沟谷内原本储存有巨量松散固体物质。而沟道上堵塞体及堵(拦)水流障碍物或‘堤’‘坎’则起到堵水蓄能作用,当能量的积蓄到临界点或水流翻‘坝’时,极易引起这些天然‘坝’体的溃决,瞬时增加泥石流流量形成破坏性极强的泥石流,根据三条沟内原有防治工程的破坏失效情况,面对于重灾区沟谷内海量的固体物源,仅仅修建拦渣坝拦截固体物源而不及及时清库和固坡是远远不够的。通过对地震重灾区泥石流成生及启动机制分析,从以预防为主

角度,消除和削弱泥石流形成的三大条件(尤其是物源和水动力条件)。提出以下的泥石流防治原则:

(1)治沟与治坡相结合。“8·13”泥石流之所以峰值流量很大,破坏力极强,一个重要原因是两侧岸坡破坏严重而带到沟中的固体物源量较多且易堵塞沟槽,使沟水积聚而不能及时排泄,因而治沟应同时治坡,消除沟道堵水的可能性,使水(泥石流)流路顺畅。对于这类沿岩浆岩边界和断层带发育的沟坡,应按照生物措施与工程措施相结合的原则进行固坡。生物措施宜以植矮乔和灌木为主,必要时局部可采用开放型工程措施。切勿封堵地下水排泄通道。工程措施中一般也可兼植矮乔、灌木等。

(2)工程措施的兴建应与其功能的维护(维修)相结合,以往有的拦渣坝的失事正是为了增大库容而增大坝高,将坝体上游水位抬得太高后,对坝下地基的强烈侵蚀所致。都江堰水利工程虽然看起来显不宏伟,却是世界上唯一的一个经过两千多年仍在发挥效益的水利工程。这与其‘深掏低筑’和多年的维修是分不开的。对那些在“8·13”泥石流之后一味强调提高工程设计标准和希望‘一劳永逸’的意见,笔者实难苟同。

一般说来,对泥石流沟的上游段,多是低于5 m的谷坊坝、格栅坝等为主。下游段(所谓的流通区和堆积区)则排导工程为主。其实,物源往往不一定是在上游,下中游的大、中型滑坡入沟堵洪更加可怕。所以,在适当位置修建拦渣坝,防止泥石流的形成和进入江河也很有必要,但仍应以低坝为宜,以免上下游水位差过大。库容则以能吸纳一次较大泥石流固体物质即可。事后及时将其清除,以保证设计功能。

(3)将防灾与建设相结合。低矮拦渣坝(含谷坊坝、格栅坝)等之上游近坝段均可就地取材做成反滤结构,以促成其淤积物自然分选,并将其用于固坡(压脚)、筑路、修渠和扩大耕地之土石料。这些工作可与维修清库合并进行。

(4)对于可能出现滑坡入沟“蓄洪(能)—溃堤释能”型泥石流的预警系统,应在可能失稳形成堵沟的潜在滑坡或崩塌体上下游段同时布设泥位监测仪器,监测泥位(水位)暴涨暴落等灾害前兆信息^[9],才能更加准确和更加超前地进行预警。

5 结语

汶川“5·12”地震后近年来重灾区泥石流灾害频发,给灾区灾后恢复重建工作及人民的生命财产安全带了严重的威胁。本文通过介绍四川省“8·13”暴雨泥石流集中暴发区中的三条典型泥石流沟灾害,探讨其孕育和启动机制。汶川地震发震断裂映秀—北川

断裂附近是灾后泥石流集中暴发区域,其泥石流有固体物源丰富、峰值流量大、破坏力强、一次冲出量大等特点,其启动过程主要与沟内在强烈地震中或在降雨过程中形成的堵塞体及堵(拦)水流障碍物或“堤”“坎”的“蓄能—溃决”有关。通过对地震重灾区泥石流成生机制分析,面对灾区沟谷海量的松散固体物质,结合灾区恢复重建工作,提出“治沟与治坡相结合,工程措施的兴建应与其功能的维护(维修)相结合,将防灾与建设相结合,该类泥石流预警应关注堵塞体”的 4 条具体防治原则。

本次四川省“8·13”特大泥石流部分泥石流在之前均进行过治理,但对地震重灾区泥石流的启动和发展机理认识不够清楚,其相应措施针对性和预测性不强,导致原来的治理不成功。因此,从防灾的视角看,我国西部地震区泥石流治理尚有很多问题待探讨^[10],现场有很多珍贵的现象需要去解读。本文通过有限的调查和资料,进行了初步总结,一管之见,欢迎共同探讨,不当之处盼指正。

参考文献:

[1] 李朝安,谭炳炎,胡卸文.汶川 5·12 地震公路灾害分析和防治对策[J].自然灾害学报,2009,18(6):97-104.

(上接第 256 页)

通过遥感地质解译图可以清晰地辨别出吐哈盆地主要由北东向、北西向两组大断裂控制,三塘湖盆地主要由近东西向、北西向两组大断裂控制。环形构造主要由侵入体所致,或与隐伏的地层褶皱或弯曲有关,环形构造可以为预测成矿区提高较好的解译依据。线性、环形构造的解译研究可以重新或深入地认识研究区构造发育和分布规律,充分体现出遥感技术在地质调查中的宏观应用,很大程度上降低了野外调查的难度,并提高了调查的准确度;综合分析了该区的两个主要含煤区的成煤条件与聚煤规律,为该区的煤炭资源调查提供了依据;编制了工作区区域构造解译图,遥感地质解译图,为今后的区域调查做了铺垫;随着卫星遥感信息获取技术的进步,对于解决煤矿地质中的构造规律,岩溶发育、地下水活动、煤层瓦斯分布具有重要的作用。

参考文献:

[1] 李小彦,晋香兰,李贵红.西部煤炭资源开发中“优质煤”概念及利用问题的思考[J].中国煤田地质,2005,17(3):5-8.
[2] 张泓,李恒堂,熊存卫,等.中国西北侏罗纪含煤地层与聚煤规律[M].北京:地质出版社,1998.
[3] 吴传荣,张慧,李小彦,等.西北早一中侏罗世煤岩煤质

[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):610-621.
[3] 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.
[4] 苏鹏程,韦方强,冯汉中,等.“8·13”四川清平群发性泥石流灾害成因及其影响[J].山地学报,2011,29(3):337-347.
[5] 余斌,马煜,吴雨夫.汶川地震后四川省绵竹市清平乡文家沟泥石流灾害调查研究[J].工程地质学报,2010,18(6):827-836.
[6] 张自光,张志明,张顺斌.都江堰市八一沟泥石流形成条件与动力学特征分析[J].中国地质灾害与防治学报,2010,21(1):34-38.
[7] 马煜,余斌,吴雨夫等.四川都江堰龙池“8·13”八一沟大型泥石流灾害研究[J].四川大学学报,2011,43(增刊1):92-98.
[8] 沈军辉,朱容辰,刘维国,等.“5·12”汶川地震诱发都江堰龙池镇干沟泥石流可能性地质分析[J].山地学报,2008,26(5):513-517.
[9] 李朝安,胡卸文,王良玮.山区铁路沿线泥石流泥位自动监测预警系统[J].自然灾害学报,2011,20(5):74-81.
[10] 李朝安,魏鸿.西南地区泥石流灾害及防灾预警[J].中国地质灾害与防治学报,2004,15(3):34-37.

与煤变质研究[M].北京:煤炭工业出版社,1995.
[4] 程克明,熊英,曾晓明,等.吐哈盆地煤成烃研究[J].石油学报,2002,23(4):13-17.
[5] 赵长毅,何忠华,程克明,等.吐哈盆地煤中基质镜质体生烃潜力与特征[J].科学通报,1994,39(21):1979-1981.
[6] 赵长毅,程克明,王飞宇.吐哈盆地煤成烃主要贡献组分剖析[J].沉积学报,1997,15(2):95-99.
[7] 李聪聪,孙顺新,王新民,等.遥感技术在云南省昭通地区煤炭资源调查评价中的应用[J].中国煤炭地质,2010,22(10):17-18.
[8] 吕录仕,孙顺新,冯富成,等.西部煤炭资源调查评价中遥感技术的应用[J].中国煤炭地质,2005(5):32-33.
[9] 谭克龙,夏镛华,卢中正.遥感技术在矿井地质中的应用研究[J].遥感信息,1995(3):19-21.
[10] 林亮,曹代勇,占文锋,等.柴达木盆地北缘煤田构造特征的遥感解译[J].中国煤炭地质,2008,20(1):8-9.
[11] 于学政,曾朝铭,燕云鹏,等.遥感资料应用技术要求[M].北京:地质出版社,2010.
[12] 毛耀保.青海省杂多囊谦地区构造演化与聚煤作用分析[J].地球科学与环境学报,2010,32(3):228-229.
[13] 宋维刚,宋生春,董琳,等.青海东北部木里煤田江仓矿区构造特征及其对煤系地层、煤层的控制[J].西北地质,2008,41(3):79-85.