

文章编号: 1008 - 2786 - ( 2014 ) 1 - 81 - 08

# 汶川地震区红椿沟泥石流形成物源量动态演化特征

蒋志林 朱 静 常 鸣 唐得胜 黄 勋

( 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“5·12”汶川地震时,映秀-北川断裂通过的映秀镇红椿沟流域内产生了大量的碎屑体,约为  $384.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,为泥石流的发生提供丰富的固体物源条件。2010-08-14,红椿沟暴发特大型泥石流,冲断公路,堵塞岷江致使江水改道,威胁映秀新区。为研究物源区演变特征,选取 3 期影像,并结合野外调查资料,通过 Arc-Gis 分析发现:地震前,红椿沟植被良好,未发现大规模地质灾害,流域内沟道均属于清水沟。地震后,流域内滑坡崩塌数量为 68 处,滑坡面积为  $101.12 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,沟道总长度 5 752 m,沟道总面积  $11.82 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。受上盘效应影响,沟右岸滑坡发育强于左岸,左岸大多为小型浅层滑坡。2010 年“8.14”泥石流后,受地表径流和泥石流的冲刷、侵蚀、切割作用影响,使部分滑坡“复活”或产生新的滑坡,流域内滑坡个数 77 处,新增 9 处,变化率为 13.23%,滑坡面积  $139.80 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,新增  $38.68 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,变化率 38.25%。沟道总长度 8 851 m,新增 3 099 m,沟道总面积  $17.48 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,新增  $5.66 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。泥石流暴发后,流域内仍有固体物源量约为  $344.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,泥石流治理工程可控制物源量约为  $92.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,在极端降雨条件下,仍有暴发大规模泥石流的可能。

**关键词:** 汶川地震; 泥石流; 滑坡; 动态演变; 遥感解译

**中图分类号:** P642.23

**文献标志码:** A

2008 年“5.12”汶川地震后,遥感技术在应急抢险、救灾、损失评估、危险区划和恢复重建中发挥了重要的技术支撑作用<sup>[1-2]</sup>。在滑坡、泥石流灾害调查、流域固体物源分析和监测预警中,高分辨率影像也已成为重要的信息获取方法,特别是近年来高分辨率的遥感影像在泥石流发育环境、危险性评估和易损性<sup>[3-4]</sup>分析中得到广泛应用。

“5·12”地震诱发了大量同发型和后发型的滑坡、崩塌体堆积于流域沟道内,形成了大量物源,为泥石流的发生提供丰富的固体物源条件。震后的几个汛期,在地震灾区相继出现了高频性、群发性、突发性泥石流<sup>[5]</sup>。2010-08-13,绵竹市清平乡暴发特大山洪泥石流,6 000 余人受灾,大面积房屋受损,桥梁被毁,绵(竹)茂(县)公路中断,为国内 20 多年来规模最大的一次山洪泥石流灾害<sup>[6]</sup>。2010-08-13,都江堰龙溪河流域 44 条沟暴发泥石流,

大量灾后重建设施被摧毁,造成重大的财产损失<sup>[7]</sup>。2010-08-14,汶川县映秀镇红椿沟暴发特大泥石流,泥石流冲断都(江堰)汶(川)公路,堵塞岷江致使江水改道,威胁映秀新区,8 000 余人被迫转移<sup>[8]</sup>。汶川地震区泥石流灾害已成为灾区的最大隐患。

结合 1999 年台湾集集大地震、1932 年日本关东地震的研究成果,许强等<sup>[9]</sup>指出,汶川地震形成了巨量泥石流物源,地震后数年内,泥石流将是影响灾区恢复重建的最大地质灾害隐患。崔鹏等<sup>[10]</sup>指出,泥石流将在今后很长的一段时间内处于活跃期,泥石流暴发频率和规模将明显增加。唐川等<sup>[11]</sup>也指出,汶川震区降雨诱发滑坡、泥石流敏感性极高,只要在经历较大的降雨条件下都将导致滑坡、泥石流的活动。

很多学者针对泥石流的发生机理、起动条件、活

收稿日期( Received date ): 2013 - 03 - 04; 改回日期( Accepted ): 2013 - 04 - 15。

基金项目( Foundation item ): 科技基础性工作专项项目( 编号: 2011FY110100 ) 和地质灾害防治地国家重点实验室自主研究基金( SKLGP2011Z008 )。[Supported by the Ministry of Science and Technology of China( Grant No. 2011FY110100 ) and Independent research fund of State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geo-environment Protection ( SKLGP2011Z008 ) . ]

作者简介( Biography ): 蒋志林( 1987 - ),男,硕士研究生,研究方向: 工程地质、地质灾害、遥感与 GIS 应用。[Jiang Zhilin ( 1987 - ), male graduate student, work mainly on engineering geology geological disasters, RS and GIS applically. ] E-mail: 652019285@qq.com

动形式、暴发频率规模和致灾方式等方面做了大量研究<sup>[12]</sup>,但是针对泥石流物源区动态变化以及发展演变方面的研究相对较少。唐川等<sup>[13]</sup>选取北川县8条泥石流沟作为研究区域,基于遥感技术和GIS分析功能,对震后和相继汛期的暴雨后泥石流源地变化特征进行了遥感动态分析,重点分析了泥石流源地的滑坡崩塌堆积体变化,研究结果表明:震后北川高烈度区在一场暴雨过程后,新增滑坡面积达24.4%;该研究成果推动了强震区泥石流动态变化方面的研究。

映秀镇红椿沟是汶川震区泥石流灾害最为严重的沟之一,本文选择该沟为研究区,结合地震前、后和泥石流发生后的3期遥感影像,解译统计出流域内滑坡崩塌体和沟道堆积体的变化,结合对泥石流的实地调查,分析泥石流动态变化,总结震后以及暴雨后泥石流活动的强度和发展趋势,为汶川震区泥石流灾害的风险评价、预测预报提供科学依据。

## 1 流域概况

2010-08-12,映秀镇范围内开始降雨,至8月14日凌晨降雨量加大,到泥石流发生的前期降雨量总计达到162.1 mm。14日凌晨3时左右,红椿沟上游及其甘溪铺、大水沟、新店子等3条支沟同时暴发泥石流,至5时左右结束(简称“8·14”泥石流)。此次泥石流不仅冲毁淤埋在建的都(江堰)汶(川)高速公路及G213国道,更是堵断了岷江形成壅塞体。泥石流形成的堆积扇总长470 m,最大宽度350 m,总面积为96 500 m<sup>2</sup>,导致岷江约150 m宽的河道全部淤满,河水水位上涨,改道右岸形成20~30 m宽的溢洪道,迫使洪水冲入映秀新镇,造成映秀镇的洪水泛滥<sup>[8]</sup>。

红椿沟位于汶川县映秀镇东北侧,岷江左岸(图1),沟口堆积扇区为映秀镇灾后恢复重建区,都汶高速公路以及G213国道也通过沟口。流域汇水面积5.90 km<sup>2</sup>,主沟纵长3.6 km,最高点高程2 168.4 m,沟口与岷江交汇处高程880 m,相对高度1 288.4 m,主沟平均纵坡降约358‰,上游支沟中,新店子沟段纵坡较大,达538‰,以下沟段总体上纵坡略缓,且呈现陡缓相间的变化特征。映秀镇属于中山河谷地区,位于四川台地的边缘与龙门山准地槽南延部分的过渡带上,汶川地震的发震断裂映秀-北川断裂地表破裂带从映秀向北东延伸达180~

190 km,走向介于NE30°~50°之间,倾向北西,刚好沿红椿沟谷穿过。红椿沟流域地形总体上属深切切割构造侵蚀中山地形,具有岸坡陡峻,切割深度较大的特点,中上游呈深切“V”型谷,下游沟口段沟床较宽缓,呈“U”型谷。流域内以花岗岩为主,中细粒闪长岩次之。受地形以及汶川地震影响,岩石破碎,裂隙发育,多被切割为块状,为崩塌、滑坡的发育提供了有利条件。

映秀镇属于四川盆地边缘亚热带湿润季风气候区,属川西多雨中心区,是暴雨常出现的地区之一,四季分明,气候温和,多年平均降水量1 253.1 mm,最大年降水量1 688 mm(1964年),最小年降水量836.7 mm(1974年),夏季暴雨频繁,历时短、强度大,6—9月降雨量占全年降雨量的60%~70%。

## 2 数据来源

为了分析汶川震区映秀镇泥石流源地特征的变化,本文选取不同时期的遥感数据,通过解译调查,分析其变化特征。选择分析映秀红椿沟“8·14”泥石流源地特征的遥感数据包括地震前(2007年4月)分辨率为15 m的TM影像、地震后2008-05-18国土资源部遥测中心获取的0.8 m左右的高分辨率光学航空影像,以及“8·14”泥石流暴发后2010-10-20获取的分辨率为1 m的Ikonos影像(表1)。其中,地震前的TM影像,信息量丰富,其独特中红外、近红外波段能较好的反映出植被覆盖信息,因此该期影像主要用作判定地震前红椿沟是否发生大规模地质灾害,其解译结果,不和其他两期影像做直接比较,不影响最终分析结果。地震后的高分辨率航空影像,清晰、色彩饱和,能清晰识别地物特性、判定地质灾害特征。泥石流暴发后的Ikonos影像,薄雾、云层活动较少,地物清晰,能清晰判定出泥石流活动的痕迹。对3期影像数据进行预处理,包括镶嵌融合、多光谱变换、图像增色、影像精确配准等,在此基础上,物源地的滑坡、崩塌体和沟道内松散堆积体在遥感影像上显示的形态、色彩、色调、灰度、影像结构等均与周围地物存在一定的差异,达到满足解译条件。

对研究区开展“8·14”泥石流源地信息提取工作时,地震前TM影像由于分辨率的限制,影像主要通过植被覆盖情况来确定研究区内是否有重大地质灾害发生。地震后的高分辨率航空影像上,滑坡体



图 1 红椿沟区域概况图

Fig. 1 The overview of Hongchun gully

与周围稳定地形有明显的差别,在色彩上,新滑坡呈现均匀的灰色、灰白色,周围稳定地形则颜色较暗,滑坡边界明显可见;在形态上,地震诱发的滑坡大多呈长条形、簸箕形、马蹄形、弧形或不规则形等,表面粗糙,起伏不平。泥石流暴发后的 Ikonos 影像上,由于沟道两岸的山体被径流侵蚀,或产生的滑塌痕迹比较新鲜,滑坡体从影像上极容易识别。新发生的滑坡,坡体大多由松散堆积物组成,表面具有较强的波谱发射能力,影像上表现出色彩比较明亮,老滑坡颜色较暗,而周围稳定地形呈现浅灰色。在形态上,后壁呈现围椅状,与周围稳定体在平面上有明显分界线,在前部有形状如舌状伸入沟谷或者河道中,即滑舌等特征的地形均为滑坡标志。但是两期影像上,对于后缘产生细小裂隙的潜在不稳定斜坡,则不能从图像上识别。

表 1 影像数据信息

Table 1 The information of image date

分类	类型	日期	全色分辨率/m
地震前	TM	2007-04-19	15
地震后	航片	2008-05-18	0.8
暴雨泥石流后	Ikonos	2010-10-20	1.0

为估算研究区内松散物源的厚度,针对地震诱发滑坡以及震区的地质地理情况,本文采用唐川等<sup>[16]</sup>提出的计算滑坡堆积物厚度的数学模型,该模型的适用性在北川和清平已得到验证。映秀镇和北川县所处地震烈度一样,均为 XI 度;滑坡类型相似,

都是由地震引发的残坡积或者崩坡积层滑坡,坡度也相近;两地的地貌相似,属深切构造侵蚀中山地形。因此可以采用该模型。该模型如下,利用它可以计算出滑坡体的堆积厚度

$$t = 1.432 \ln(S_L) - 4.985$$

式中  $t$  为滑坡体平均厚度(m),  $S_L$  为滑坡面积( $m^2$ )。通过该模型计算,得到在地震后红椿沟滑坡堆积体的厚度为 0~12 m,其中厚度最大的为 S1 滑坡,达到 12.23 m,整个研究区内滑坡堆积体平均厚度 7.28 m。

沟道松散堆积物是泥石流起动的重要物源之一,本文主要从沟道面积和长度分析其变化。地震后航空影像上的泥石流沟道,由于有流水或者含水性较高,整体色调较暗。一般来说,沟道与两岸有明显色调变换时,即为沟道边界,再综合 DEM 或者 TIN,可确定沟道的宽度。泥石流暴发后 Ikonos 影像上,由于沟道内有泥石流流过的痕迹和停留下的土石混合物,其表面具有较强的波谱反射能力,在影像上色彩比较明亮,和沟道两岸暗色调相比,存在明显的界线,可以确定沟道的宽度。对于沟道长度,终点为和岷江交汇处,起点为上游不能清晰判读出沟道,并且和完整的植被相接触处。对于部分支沟,起点则为大面积滑坡的坡脚,该类支沟是由地表径流冲刷形成。

根据以上方法,解译结果如图 2。地震前 TM 影像上无大规模地质灾害发生,地震后滑坡体 68 处,面积为  $101.12 \times 10^4 m^2$ ,面积最大的为  $16.6 \times 10^4 m^2$ ,面积最小的为  $556.6 m^2$ ,滑坡面积占整个研究区面积的 17.3%;泥石流暴发后滑坡体 77 处,面积  $139.8 \times 10^4 m^2$ ,面积最大为  $17.7 \times 10^4 m^2$ ,面积最小为  $142.5 m^2$ ,滑坡面积占整个研究区面积 23.5%。

### 3 泥石流动态演变分析

#### 3.1 成因

##### 3.1.1 地形

红椿沟属于深切构造侵蚀中山地貌,流域地形总体上上陡下缓,沟床纵坡降较大且上游跌坎多,沟道内常年有流水。在汶川地震后,产生了大量的滑坡、崩塌,堆积于沟道中,致使沟道堵塞严重,典型是 S1、S2 滑坡处产生的堵塞,其中 S2 下滑后堵塞沟道,沿沟道堆积长度约 60 m,堆积高度 10~30 m, S2 处产生堵塞与红椿沟沟口高差超过 600 m,堵塞体

不仅使洪水大量汇集,也是大量的潜在固体物源。研究区沟道顺直<sup>[8]</sup>,有利于洪水的快速汇流,使松散物源容易起动的同时,也耗能较少,加快水流速度。在持续降雨条件下,产生洪水动力条件较强,极易产生泥石流。

### 3.1.2 物源

“5·12”汶川地震的发震断裂映秀—北川断裂沿红椿沟沟谷方向贯穿整个研究区,受其影响,区内岩体极为破碎,尤其流域内岩石以花岗岩为主,有利于碎屑物以及碎屑流的产生,震后诱发了大量的崩塌、滑坡等不良地质现象,产生的崩滑体堆积于沟道或者部分悬挂于陡峻的斜坡上,在泥石流暴发时,能快速加入。受地震高烈度和深山切割地形的影响,大量的滑坡、崩塌体堆积在主沟和上游3条支沟中。在地貌演变历史上,支沟的碎屑物向下游主沟集中,主沟中沟道堆积物十分丰富。震后由于物源量的激增,在强降雨条件下极易产生地表径流,冲刷、侵蚀、切割沟道和坡脚,并参与了“8·14”特大泥石流的起动。

### 3.1.3 降雨

映秀“8·14”特大泥石流灾害的发生,除研究区所处地貌、地质背景和激增了大量的物源条件之外,最主要的是与当地强降雨密切相关。2010-08-14凌晨,泥石流暴发前1h的降雨量达16.4 mm,暴发前3h累计降雨量达到23.4 mm,前期累计降雨量达到162.1 mm。持续的高强度降雨引起上游支沟多处滑坡强烈活动,在中游大面积松散堆积层滑动进入沟道,在局部较窄的沟段形成堵塞,上游洪水汇流后,冲刷、侵蚀沟谷和斜坡松散堆积物,导致滑坡堵塞体突然溃决,形成大规模泥石流<sup>[14]</sup>。

## 3.2 泥石流动态演变特征

### 3.2.1 滑坡崩塌演变特征

地震前,流域内植被覆盖完好,未发现有重大地质灾害。流域恰处于映秀—北川断裂的上盘,地质构造复杂,新构造运动十分强烈,受“上盘效应”<sup>[15]</sup>对斜坡稳定性影响,右岸的滑坡、崩塌明显比左岸更为发育(图3)。地震对泥石流物源地的最典型影响是诱发大量的滑坡、崩塌、不稳定斜坡等地质灾害,从而为地震后泥石流的活动提供相当的物源,据唐川等<sup>[8]</sup>估算,地震后新增物源约为 $384.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。从地震前和地震后遥感影像对比可以看出,地震后红椿沟的上游源地及下游沟道两岸发育大面积规模不同的滑坡、崩塌体,部分滑坡体局部位移后,“悬

挂”于陡峻的斜坡上,部分滑坡体完全脱离母体,堆积于沟道形成堵塞体。

红椿沟最典型的堵塞体是离沟口1 km处的S1滑坡。滑坡顺坡长约590 m,平均宽约210 m,厚度4~12 m,总方量约 $65 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,下滑后造成沟道堵塞。根据唐川等<sup>[8]</sup>野外调查结果,该处堵塞长达150 m,堆积高度为10~40 m,沟段累积物源量约 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。此处堵塞造成流域上游洪水迅速汇流后,猛烈冲刷沟谷和斜坡松散固体堆积物,导致了堵塞体突然溃决,最终形成大规模泥石流。根据遥感解译的结果,对滑坡、崩塌体进行统计,地震后红椿沟流域内新增滑坡、崩塌体68处,新增面积为 $101.12 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,新增物源方量为 $384.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

“8·14”泥石流暴发后,滑坡体表层松散堆积物被降雨导致的地表径流强烈的冲刷、侵蚀,转移进入沟道,直接为泥石流形成提供丰富物源。在受到强降雨侵蚀,孔隙水压力变大,土体抗剪强度下降,最终导致失稳,形成新滑坡体的同时,“8·14”强降雨导致部分大型滑坡局部“复活”<sup>[13]</sup>,在影像上具体表现如图4所示,受暴雨影响,滑坡面积向后缘方向扩大,前缘部分垮塌,当坡脚遭受泥石流侵蚀,部分堆积物进入沟道并参与进泥石流活动。与之相反的是沟的左岸,从影像和现场调查发现,出现了部分植被恢复区,其为泥石流活动提供的物源方量较少。沟左岸的滑坡大多为中型浅层滑坡,堆积物厚度较小,为泥石流提供物源也较少。沟左岸处于断裂的下盘,和处于上盘的右岸对比,再次证明“上盘效应”对斜坡稳定性的影响。

地震前研究区内无大规模的地质灾害发生。地震后研究区内滑坡堆积体的厚度为0~12 m,平均厚度为7.28 m。沿主沟方向的6处主要滑坡(见图3)的平均堆积厚度为11.07 m。本文选择沿主沟的6个滑坡堆积体的平均厚度,作为泥石流暴发后滑坡堆积体的平均厚度。据四川华地建设工程有限公司的勘察结果,该6处滑坡堆积体的平均厚度为8 m,比地震后减少了3.07 m。由于泥石流暴发后的勘察结果的精度有限,以及滑坡个数选择较少,该计算结果有一定的局限性。

根据遥感解译统计显示(图5):“8·14”泥石流暴发后,红椿沟流域内滑坡、崩塌体为77处,增加9处,总面积达到 $139.8 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,增加 $38.68 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。由于泥石流的暴发,导致大量碎石冲出沟道,整个流域内约 $71.1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的物源参与泥石流活动<sup>[8]</sup>,



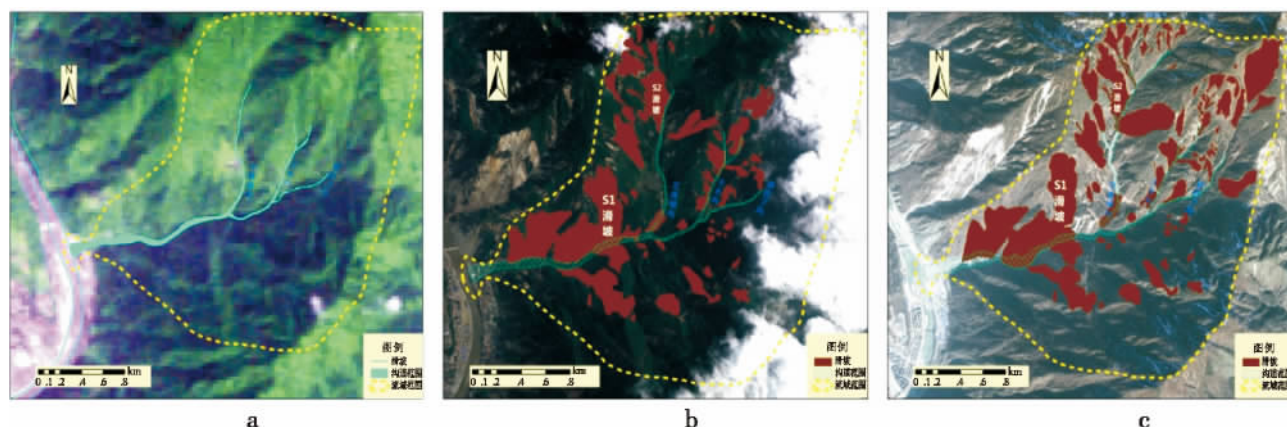


图 2 红椿沟的 3 期影像解译

(a 为地震前 TM 影像解译结果, b 为地震后航空影像解译结果, c 为泥石流暴发后 Ikonos 影像解译结果)

Fig. 2 The interpretation results of three periods image in Hongchun Gully

(a: the interpretation results of TM image before earthquake; b: the interpretation results of aerial photographs after earthquake;

c: the interpretation results of Ikonos image after debris flows)

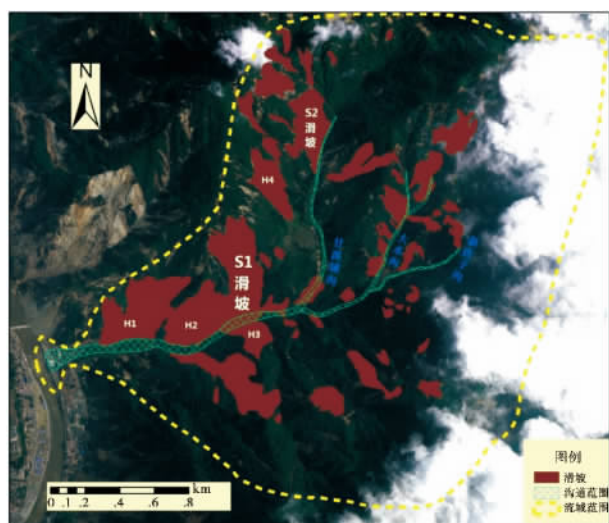


图 3 地震后地质灾害遥感解译结果

Fig. 3 The geological disaster interpretation results after earthquake

其中约  $39.7 \times 10^4 \text{ m}^3$  进入岷江, 约  $31.4 \times 10^4 \text{ m}^3$  滞留沟道内, 泥石流暴发后整个流域仍有  $344.6 \times 10^4 \text{ m}^3$  固体物源。

### 3.2.2 沟道松散堆积体演变特征

沟道堆积物主要是地震诱发的滑坡、崩塌堆积于沟道的某一段, 或者是经洪水冲刷、侵蚀、搬运后沿沟道堆积分布的碎屑体, 沟道堆积物也是泥石流重要的物源之一。“5·12”地震之前, 根据 2009 年广汉地质工程勘察院对红椿沟调查, 该沟历史上曾发生过两次泥石流, 一次为 20 世纪 30 年代初期; 另一次为 1962 年 8 月, 泥石流冲出沟口, 部分堵塞岷江河道。通过震前遥感影像调查, 震前红椿沟植被



图 4 典型滑坡演变特征

(蓝线为地震后解译结果, 红线为泥石流暴发后解译结果)

Fig. 4 Typical landslide evolution characteristics

Blue line is the results of after earthquake, the red is after debris flows)

覆盖完好, 但受遥感影像分辨率限制, 无法量测沟道宽度以及松散堆积物数量。

本文主要根据地震后和泥石流暴发后的沟道长度和面积变化分析沟道变化。地震后, 沟道总长度为 5 752 m, 总面积为  $11.82 \times 10^4 \text{ m}^2$ , 流域内表层土体结构松散, 岩石裂隙极为发育, 斜坡体大多失稳, 形成规模不一的滑坡体。滑坡及松散堆积物在流水冲刷作用下, 极易产生底蚀和侧蚀, 形成地表径流, 导致沟道变长, 并呈树枝状分布。“8·14”强降雨后, 受前期流水以及后期泥石流冲刷作用, 致使斜坡以及斜坡上的“悬挂体”垮塌进入沟道, 加宽沟道。另外, 在流域内的 S1 滑坡处, 形成了大面积滑坡堰塞体堵塞沟道, 汇集大量洪水溃决后, 切割沟道两侧坡底, 致使沟道拓宽 25 ~ 30 m。据遥感解译结果统

计(见图5),“8·14”泥石流暴发后,沟道总长度为8 851 m,增加3 099 m,沟道总面积为 $17.48 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,增加 $5.66 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。

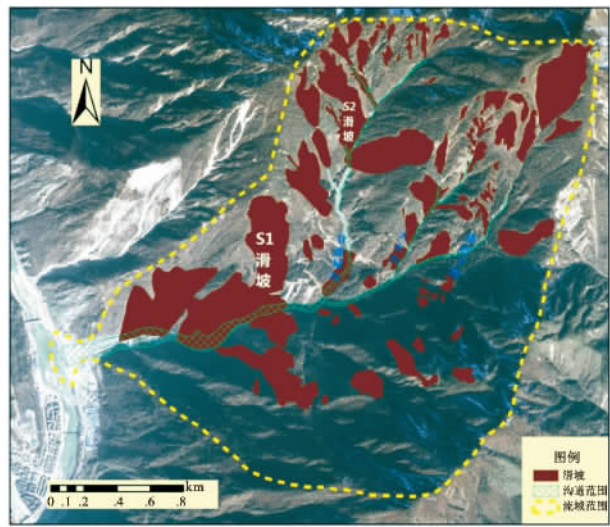


图5 泥石流暴发后解译结果  
Fig.5 The interpretation results after debris flows

4 研究结果分析及泥石流发展趋势

4.1 研究结果

本文通过三期遥感影像和野外调查,对红椿沟泥石流物源地滑坡和沟道进行统计,结果如表2。从统计结果可以看出:地震前,未有滑坡出现。地震后,受地震影响,流域内新增滑坡68处,面积 $101.12 \times 10^4 \text{ m}^2$ ;沟道长度面积不变,变化主要是沟道内堆积物厚度增加,具体增加无法从影像上获得,估算整个流域内新增物源量约为 $384.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。泥石流暴发后,流域内滑坡77处,增加9处,变化率为13.23%;滑坡面积 $139.8 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,增加 $38.68 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,变化率为38.25%;沟道长度8 851 m,增加3 099 m,变化率为53.88%;沟道面积 $17.48 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,增加 $5.66 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,变化率为47.88%。估算流域内还存在物源量为 $344.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,具有为泥石流再次启动提供物源量的可能。

4.2 泥石流发展趋势

丰富的固体物源是泥石流暴发的潜在条件,2010年对红椿沟进行了治理,在主沟及上游3个支沟建有3个谷坊群,7个格拦坝,2个格栅坝,累计可控制物源量为 $92.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。但是从地震后影像和现场调查资料显示,红椿沟在地震后存在大量物源,约为 $384.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,经过“8·14”泥石流后,冲出方

量约为 $39.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,流域内还存有 $344.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ (未含新增部分),远多于可控制物源量。同时红椿沟地形条件特殊,纵坡比降大,沟道上游跌坎多,坡表松软堆积物和碎裂岩石较多,在降雨条件下能快速加入泥石流流动中。所以红椿沟在极端降雨条件下,仍有暴发大规模泥石流的可能。建议汛期之前,应及时清淤,缓解大坝拦挡压力。

表2 统计结果  
Table 2 Statistical results

统计项目	地震前	地震后	泥石流后	变化	变化率
沟道长度/m	未统计	5 752	8 851	3 099	53.88%
沟道堆积面积/ $10^4 \text{ m}^2$	未统计	11.82	17.48	5.66	47.88%
滑坡数/个	0	68	77	9	13.23%
滑坡面积/ $10^4 \text{ m}^2$	0	101.12	139.8	38.68	38.25%

5 结论

1. “5·12”地震后研究区受地震影响,发育有规模不同的滑坡、崩塌体,共68处,总面积 $101.14 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。“8·14”泥石流后,由降雨形成的地表径流强烈的冲刷、侵蚀斜坡面,导致部分大型滑坡局部“复活”,滑坡面积向后缘方向扩大,前缘部分垮塌,当坡脚遭受泥石流侵蚀时,堆积物进入沟道并参与泥石流活动。同时由于土体抗剪强度下降,导致斜坡失稳,形成新滑坡体。最终,研究区内滑坡体个数为77个,增加9个,变化率为13.23%;滑坡面积为 $139.8 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,增加 $38.68 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,变化率为38.25%。

2. 红椿沟流域地震前植被良好,长时间无地质灾害出现。“5·12”地震后,沟道在S1、S2滑坡处均形成大规模堵塞沟道,沟道两岸均悬挂有不稳定滑坡、崩塌体。据解译结果,地震后沟道长度5 752 m,沟道面积 $11.82 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。“8·14”泥石流后,受洪水和泥石流的侵蚀,以及对两处大规模堵塞体的切割作用,沟道长度为8 851 m,增加3 099 m,变化率为53.88%。沟道面积为 $17.48 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,增加 $5.66 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,变化率为47.88%,沟口处变化最大,受堵塞体切割作用,沟道拓宽达25~30 m。

3. 映秀-北川断裂从红椿沟主沟通过,受“上盘效应”影响,红椿沟右岸滑坡、崩塌发育比左岸明显;左岸滑坡多为小型浅层滑坡,“8·14”泥石流时,提供流动物源较少。据遥感解译,地震后研究区

内新增物源量为  $384.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ , “8·14”泥石流冲出  $39.7 \times 10^4 \text{ m}^3$  进入岷江,流域内仍有  $344.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。红椿沟治理工程可控制的物源量为  $92.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,远小于研究区存在的物源量,加上红椿沟特殊的沟道条件,在极端降雨条件下,仍有暴发大规模泥石流的可能,建议汛期之前,及时清淤,缓解大坝拦挡压力。

## 参考文献(References)

- [1] Yang Junjie, Zhan Zhi, Wang Xu. Secondary seismic mountainous geological disasters survey in Wenchuan County based on spatial information science [J]. Mountain Research, 2008, 26(6): 755–760 [杨军杰, 张志, 王旭, 等. 汶川地震次生山地地质灾害遥感调查[J]. 山地学报, 2008, 26(6): 755–760]
- [2] Su Fenghuan, Liu Hongjiang, Han Yongshun. The extraction of mountain hazard induced by Wenchuan earthquake and analysis of its distributing characteristics [J]. Journal of Remote Sensing, 2008, 12(6): 956–963 [苏凤环, 刘洪江, 韩用顺. 汶川地震山地灾害遥感快速提取及其分布特点分析[J]. 遥感学报, 2008, 12(6): 956–963]
- [3] Zhu Jing, Tang Chuan. An overview of remote sensing applications for landslide research in China [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2012, 27(3): 458–464 [朱静, 唐川. 遥感技术在我国滑坡研究中的应用综述[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(3): 458–464]
- [4] Tang Chuan, Zhang Jun, Wan Shiyun, et al. Loss evaluation of urban debris flow hazard using high spatial resolution satellite imagery [J]. Scientia Geographica Sinica, 2006, 26(3): 358–368 [唐川, 张军, 万石云, 等. 基于高分辨率遥感影像的城市泥石流灾害损失评估[J]. 地理科学, 2006, 26(3): 358–368]
- [5] Tang Chuan, Liang Jingtao. Characteristics of debris flows in Beichuan epicenter of the Wenchuan earthquake epicenter by rainstorm on 9.24 [J]. Journal of Engineering Geology, 2008, 16(6): 751–759 [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): 751–759]
- [6] Chang Ming, Tang Chuan, Li Weile. The characteristic of collapse and landslide by Wenchuan earthquake in debris flow for region along the Mianyu river basin, China [J]. Mountain Research, 2012, 30(5): 561–569 [常鸣, 唐川, 李为乐, 等. 汶川地震区绵远河流域泥石流形成区的崩塌滑坡特征[J]. 山地学报, 2012, 30(5): 561–569]
- [7] Liu Qinghua, Tang Chuan. Features of Febgtongyan debris flow hazard on August 13, 2010 in Longchi town of Dujiangyan, Sichuan, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2012, 39(6): 636–642 [刘清华, 唐川. 都江堰市龙池镇“8.13”蜂桶岩泥石流灾害特征[J]. 成都理工大学学报: 科学技术版, 2012, 39(6): 636–642]
- [8] Tang Chuan, Li Weile, Ding Jun. Field investigation and research on giant debris flow on August 14, 2010 in Yingxiu town, epicenter of Wenchuan earthquake [J]. Earth Science – Journal of China University of Geosciences, 2011, 36(1): 172–180 [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, 2011, 36(1): 172–180]
- [9] Xu Qiang. The 13 August 2010 catastrophic debris flows in Sichuan province: characteristics, genetic mechanism and suggestions [J]. Journal of Engineering Geology, 2010, 18(5): 596–613 [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): 596–613]
- [10] Cui Peng, Wei Fangqiang, He Siming. Mountain disasters induced by the earthquake of May 12 in Wenchuan and the disasters mitigation [J]. Mountain Research, 2008, 26(3): 280–282 [崔鹏, 韦方强, 何思明, 等. 5·12汶川地震诱发的山地灾害及减灾措施[J]. 山地学报, 2008, 26(3): 280–282]
- [11] Tang Chuan. Activity tendency prediction of rainfall induced landslides and debris flows in the Wenchuan earthquake areas [J]. Mountain Research, 2010, 28(13): 341–349 [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(13): 341–349]
- [12] Liang Jingtao, Wang Jun, Song Yun. Temporal evolution of typical debris flow in Wenchuan earthquake areas: case study of Zoumal-gully debris flows in Mianzhu county [J]. Journal of Engineering Geology, 2012, 20(3): 318–325 [梁京涛, 王军, 宋云, 等. 汶川震区典型泥石流动态演变特征研究——以绵竹市走马岭泥石流为例[J]. 工程地质学报, 2012, 20(3): 318–325]
- [13] Tang Chuan, Ding Jun, Liang Jingtao. Remote sensing images based observational analysis on characters of debris flow source areas in Beichuan country earthquake epicenter region [J]. Journal of Engineering Geology, 2010, 18(1): 1–7 [唐川, 丁军, 梁京涛. 汶川震区北川县城泥石流源地特征的遥感动态分析[J]. 工程地质学报, 2010, 18(1): 1–7]
- [14] Tang C, Zhu Jing, Chang M, et al. An empirical statistical model for predicting debris-flow runout zones in the Wenchuan earthquake area [J]. Quaternary International, 2012, 250: 63–73
- [15] Huang Runqiu, Li Weile. Fault effect analysis of geo-hazard triggered by Wenchuan earthquake [J]. Journal of Engineering Geology, 2009, 17(1): 19–28 [黄润秋, 李为乐. 汶川大地震触发地质灾害的断层效应分析[J]. 工程地质学报, 2009, 17(1): 19–28]

## Dynamic Evolution Characteristics of Hongchun Gully Source Area of Debris Flow in Wenchuan Earthquake Region

JIANG Zhilin ZHU Jing ,CHANG Ming ,TANG Desheng ,HUANG Xun

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

**Abstract:** In “5 • 12” Wenchuan earthquake , the “Yingxiu – Beichuan” fault zone across Hongchun gully of Sichuan , China , made the area produced abundant debris , estimate  $384.3 \times 10^4 \text{ m}^3$  , it provide a rich source for debris flows. On 14th August 2010 , Hongchun gully occurred debris flows , it thrust in highway and jam Minjiang River diversions , threat new Yingxiu. In order to research the dynamic evolution of source , we select three times RS image and investigation data , compares the evolution characters of the gully by Arcgis. It indicates that: before “5 • 12” earthquake , the study areacover is good , it did not find geologic hazards , the basin stream all belong to clear ditch. After “5 • 12” earthquake , the number of landslide is 68 and the area is  $101.12 \times 10^4 \text{ m}^2$  , the total length of stream is 5 752 m and stream area is  $11.82 \times 10^4 \text{ m}^2$ . However , because of the “hanging wall effect” , the geological disaster on the right of the gully is more developing than the left , in the left , most are small and shallow landslide. After “8 • 14” debris flows , affected by the surface runoff and debris flows’ washing , cutting , it made some landslip revive and made some now landslip , the number of landslip is 77. After “8 • 14” , increased 9 landslip , and the area of landslip is  $139.80 \times 10^4 \text{ m}^2$  , increased  $38.68 \times 10^4 \text{ m}^2$  , the gradient is 38.25% , the total length of stream is 8 851 m increased 3 099 m , and the area is  $17.48 \times 10^4 \text{ m}^2$  , increased  $5.66 \times 10^4 \text{ m}^2$ . After “8 • 14” debris flow , the debris capacity  $344.6 \times 10^4 \text{ m}^3$  in the study area , and the debris flow training works can contrl  $92.8 \times 10^4 \text{ m}^3$  , so in the heavy rainstorm , it could triggered debris flow disaster again.

**Key words:** Wenchuan earthquake; debris flow; landslides; dynamic evolution; remote interpretation