

# 一颗印沟泥石流评价及震后预测

冯文凯<sup>1</sup>, 杜杰<sup>2</sup>, 石豫川<sup>1</sup>, 陈倩<sup>3</sup>, 魏昌利<sup>3</sup>, 李长顺<sup>3</sup>

(1. 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, 成都 610059; 2. 中国石化西南油气分公司工程技术研究院, 四川 德阳 618000; 3. 四川省地质调查院水工环中心, 成都, 610031)

**摘要:** 一颗印泥石流沟位于四川省西北部理县境内, 具有典型泥石流沟谷特征, 历史上曾经暴发过大型泥石流。“5·12”汶川地震在沟谷中形成了丰富的松散固体物源, 同时导致沟谷流通区中出现多处堵塞, 初步推测震后 10~20 a 将处于泥石流活跃期。通过野外考察及遥感影像数据, 获得地震前后沟谷的流域特征信息, 对比分析地震前后沟谷内物源分布情况及稳定状况后, 得出地震后沟谷内不稳定物源量增多, 同时受震后堰塞影响, 泥石流活动强度增大, 泥石流峰值流量成倍增长等结论, 这些将为合理评价地震后泥石流发展趋势, 在灾后重建过程中为泥石流的预测、预报及防治工作提供参考。

**关键词:** 一颗印沟; 形成机制; 汶川地震; 堰塞; 震后预测

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)06-0068-06

## Evaluation and Prediction After Earthquake of the Yikeyin Debris Flow

FEGN Wen-kai<sup>1</sup>, DU Jie<sup>2</sup>, SHI Yu-chuan<sup>1</sup>, CHEN Qian<sup>3</sup>, WEI Chang-li<sup>3</sup>, LI Chang-shun<sup>3</sup>

(1. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Engineering Research Institute of Sinopec Southwest Oil Gas Branch Company, Deyang, Sichuan 618000, China; 3. Center of Hydrogeology and Environmental Geology Sichuan Institute of Geological Survey, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** Yikeyin valley is located in Li County of northwest Sichuan province, which has the typical characteristics of debris flow, and had historically broken out large-scale debris flow. ‘5·12’ Wenchuan earthquake induced a mass of secondary mountainous disasters such as collapse, landslide and at the same time lead to appear a number of jams in the circulation area, we preliminary estimated that will make the debris flow ravines be active in 10~20 years after earthquake. Through field study and remote sensing image data, we obtained the basic characteristics of the valley basin before and after the earthquake, then compared with the source on the distribution and stability in the valley before and after the earthquake, we made a series of conclusion, such as: unstable source increases, and also because of Jam activity intensity increases, peak flow increase exponentially after the earthquake, on this basis we could get a reasonable evaluation of the development trend of the debris flow after the earthquake, additionally in the post-disaster reconstruction process, which could provide the reference for the debris flow in predicting, forecasting and prevention and control work.

**Key words:** Yikeyin valley; formation; Wenchuan earthquake; jam; prediction after earthquake

一颗印沟位于四川省理县朴头乡, 杂谷脑河右岸, 距离下游的理县县城约 6.2 km。地理坐标为: 东经 103°13′; 北纬 31°41′。沟源海拔约 4 920 m, 沟口海拔约 1 948 m, 最后汇入杂谷脑河, 主沟长 15.47 km, 平均纵坡降 192.1‰, 总汇水面积 47.48 km<sup>2</sup>, 见

图 1。调查表明, 该沟泥石流活动较频繁, 最近的两次活动是在 2007 年 7 月 4 日和 7 月 17 日凌晨。汶川地震后, 该泥石流沟谷中形成大量松散固体物源, 沿沟谷两侧分布较为密集, 虽然地震后尚未有活动发生, 但野外调查物源区沟谷局部形成堰塞, 易发生大

收稿日期: 2010-05-05

资助项目: 国家自然科学基金项目(40802073);“科技减灾、重建家园”专项基金项目(DZJK-0811);国家重点基础研究发展计划(973)项目(2008CB425801)

作者简介: 冯文凯(1974-), 男, 河南省原阳县人, 副教授, 博士后, 主要从事区域稳定与岩体稳定以及地质灾害评价与防治方面的教学与研究工作。E-mail: fwkhy@163.com

型溃决型泥石流,因而正确评价该泥石流的流域特征、形成机制及震后的发展趋势,对泥石流的预测预报具有重要的现实意义。

## 1 泥石流的形成环境特征

### 1.1 自然背景特征

一颗印沟流域属于典型的中高山峡谷区,地形切割较深,沟谷整体形态呈典型的“V”型谷,两侧岸坡陡峭,沟源呈高山雪岭地貌,自高程 2 600 m 处出现支沟发育,支沟长度较短且切割较浅,仍处于下切阶段。

整个沟谷流域因海拔高差悬殊,地形复杂,气候差异显著,具有山地立体型气候特征,降雨量各月分配不均,降水集中在 5-9 月,累计达 420.6 mm,占全年降水量的 69%,而 10 月至次年 4 月降雨量仅 189.0 mm,占全年降水量的 31%,全年降雨呈双峰型分布,5-9 月是降水高峰期,每年雨季开始和临近结束有两次大的降水过程,见图 2。

沟域内植被因受海拔高度、垂直气候分带等的综合影响,具有随海拔高度而变化的特征;海拔 4 000 m 到沟源分水岭段,植被覆盖率较低,以低矮灌木及草地为主;海拔 4 000 m 以下区段,覆盖率较高(80%),以松树和杂灌类覆盖为主,全流域沟底植被覆盖较差。

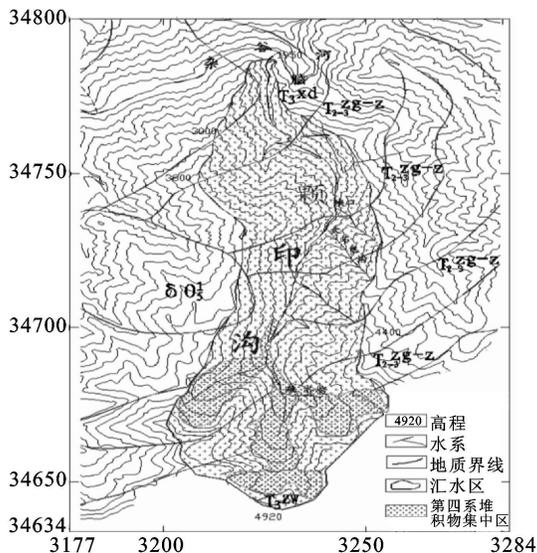


图 1 一颗印沟工程地质图

### 1.2 地质背景特征

一颗印沟域内出露岩层主要为三叠系中统杂古脑组( $T_{2z}$ )、上统侏侏组( $T_{3zw}$ )和新都桥组( $T_{3xd}$ )地层,以及第四系堆积物,其中三叠系地层主要为浅海相成因,岩性主要为变质砂岩、板岩、结晶灰岩、千枚岩等。

在大地构造上,沟域处于金汤弧构造的东翼-薛城-卧龙“S”型构造带之三岔倒转向斜中段,东临北东向九顶山构造带及茂汶断裂带,流域内弯月形次级褶皱较发育,未见大的断裂构造通过。岸坡基岩主要发育有 3 组裂隙:① $N60^{\circ}W/NE \angle 85^{\circ}$ (层面);② $N80^{\circ}W/SW \angle 54^{\circ}$ ;③ $N50^{\circ}E/SE \angle 20^{\circ}$ ,节理裂隙切割,使岩体完整性大大降低。

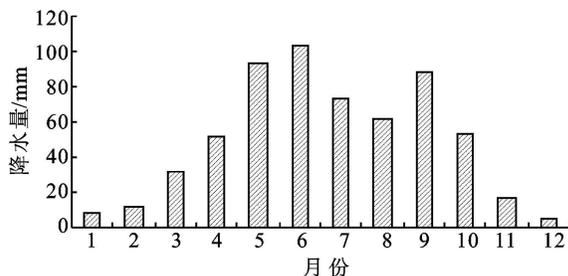


图 2 理县常年降水量分布图

一颗印沟常年水量较为丰富,主要接受大气降水补给,由于沟内两岸边坡陡峭,不利地表水的渗入,降雨多以地表径流的形式流入沟中,并最终排入杂谷脑河,部分渗入松散堆积体中形成孔隙水;沟源高山积雪融水也是重要的水源。

### 1.3 不合理人类活动

人类活动不仅指工程建设(城镇、工厂、公路、水电、水利等),还包括采矿、采药、民房、耕种、砍伐等生产、生活活动,这些都会不同程度地加剧泥石流灾害的发生。如图 3,在一颗印泥石流沟出现了大量的乱砍乱伐现象这种做法是不合理的又是令人担忧的。反过来,泥石流灾害又对人类工程活动构成危害,这充分说明泥石流灾害与人类活动是相互作用的。人类活动对流域地质环境的破坏应引起高度重视<sup>[1]</sup>。



图 3 人类不合理砍伐造成沟谷两侧岸坡坍塌

## 2 沟谷特征

一颗印沟流域形态呈典型的“葫芦”型,沟源地形开阔,物源较为丰富。流域内发育数条小支沟,越靠近支沟后缘切割相对越深,主要分布在右岸;主沟沟谷最宽处可达 103 m,主要呈 U 字型,少数地段呈 V

字型,最窄处 $< 5\text{ m}$ ;谷坡两岸基岩裸露,跌坎发育,岸坡坡度在 $25^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 之间。总的来看,该沟具有典型泥石流沟特征,即有明显的汇水物源区、流通区和堆积区,见图 4。

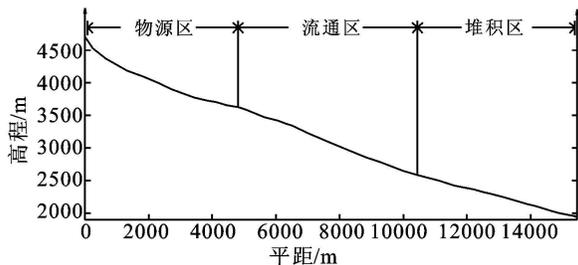


图 4 一颗印沟(主沟)纵坡降变化

## 2.1 汇水物源区

该区位于沟谷后缘,高程在 $3\ 450\text{ m}$ 以上,区内主沟沟谷长约 $5.81\text{ km}$ ,纵坡降 $161\text{ ‰}$ ,形态较宽缓,汇水面积约 $25\text{ km}^2$ ,汇水功能显著;沟源地形开阔,为常年积雪区,蕴藏着丰富的冰水堆积物,在冰雪融化季节具有同时提供物源及丰富水源的能力;由于该区海拔较高,昼夜温差大风化严重,岩体完整程度差,且植被覆盖率低,因此,发育较多崩坡积及残坡积物。总之,该区物源丰富,且有足够的水动力条件,是泥石流的重要形成区。

## 2.2 流通区

该区位于高程 $2\ 600\text{ m}$ (靠近峡口)以上到 $3\ 450\text{ m}$ ,长约 $4.63\text{ km}$ ,沟床坡降较大,平均约 $185\text{ ‰}$ ,主沟沟谷较为狭窄,总体呈“V”型,沟底宽度一般 $6\text{ m}$ 左右,局部地段呈“一线天”地形,纵坡降达 $364\text{ ‰}$ ,见图 5;沿沟沟床发育多级跌水,总的来看,该区沟床纵坡降不大,但狭窄的沟床、裸露的基岩以及跌坎,仍对泥石流产生较大的加速作用;同时,狭窄的沟床和急转弯也易发生堵塞,造成更大的下泄势能积累。



图 5 流通区典型沟谷形态

## 2.3 堆积区

该区分布在沟口到沟内高程约 $2\ 600\text{ m}$ 处,长约 $5.04\text{ km}$ ,沟床纵坡降约 $125\text{ ‰}$ ,该段沟谷沟底宽 $40\sim 60\text{ m}$ ,总体呈“U”型,沟谷较宽且相对平缓,见图

6,可大大降低到达沟口泥石流的流速和流量,成为泥石流的临时或永久停积场所,但停积在沟床上的泥石流或洪积物可能成为再次暴发泥石流的补给物源<sup>[2]</sup>。

经过多期泥石流的叠加,形成了目前的堆积区形态,长达 $5\sim 6\text{ km}$ ,呈倒梯形,即堆积区沟床宽窄交替,见图 7,较老的堆积物平均厚度为 $1\text{ m}$ ,最厚的地方达 $2\text{ m}$ ,物质成分主要为块碎石夹泥砂,母岩多为砂岩、花岗岩、千枚岩组成,块碎石含量 $50\%\sim 60\%$ ,其中 $> 20\text{ cm}$ 粒径的块石含量约 $40\%$ ,碎石含量约 $30\%$ ,泥沙含量约 $30\%$ 。

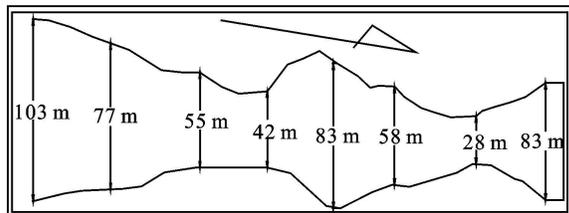


图 6 典型倒梯形堆积形态



图 7 泥石流淤堵宽缓沟道数公里

## 2.4 物源特征

一颗印沟物源总体比较丰富,是一个长期积累的过程,由于成因不同,其积累所经历的时间也不一样,集中程度也有所差别<sup>[3]</sup>。因此,物源按成因和集中程度大致可分为以下几种:

2.4.1 物源区松散崩坡积及冰水堆积物 主要分布于沟源,高程大致 $3\ 450\text{ m}$ 以上,见图 8,由于受区域上薛城-卧龙“S”型构造带之三岔倒转向斜作用影响,岩体完整程度较差,同时由于岩性主要为 $T_{3xd}$ 、 $T_{3zw}$ 变质砂岩、板岩、炭质千枚岩等,岩性本身也较差,加上昼夜温差较大,进一步加快了岩体的风化破碎,导致该处易积累大量崩坡积物,且多为细粒物质,同时冰雪(川)的消退也积累了一定的冰水堆积物。据统计,该区物源分布面积约 $8.9\text{ km}^2$ ,物源量约 $2\ 000\text{ 万 m}^3$ ,沟源丰富的物源在强大的水动力作用下,导致泥石流在此形成。

2.4.2 流通区崩坡积及洪积物 流通区沟谷狭窄,物源相对较少,仅局部小的坡面沟谷或支沟在雨季会

携带少量洪积块碎石土进入主沟;同时,沟两侧也存在少量的较稳定的崩坡积物,仅坡脚受沟水淘蚀而出现垮塌,见图9,需要强调的是这部分物源的存在,它不但在遭受冲刷的情况下可以提供物源,同时局部的垮塌虽然方量小,但仍可能堵塞相对较窄的沟谷,从而有可能引起大型泥石流。

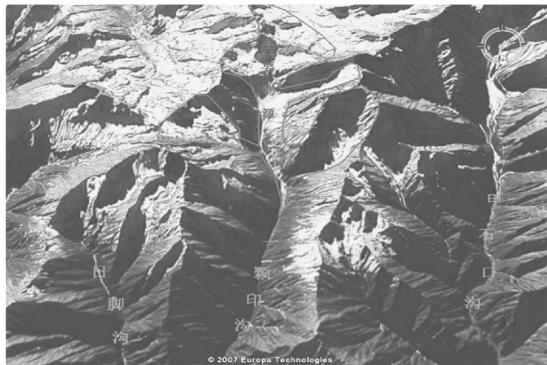


图8 物源主要集中在分布区(据遥感影像)



图9 流通区沟谷两侧物源

2.4.3 堆积区洪积物及泥石流堆积物 由流通区进入堆积区,高程大概2 600 m以下,沟谷开阔,地形较缓但纵坡降仍达125‰,见图10,快速下泄的泥石流呈带状沿途撒开,各段因为地形平缓开阔,又具有一定的纵向展布,呈倒梯型,沟口入江处形成小扇形区。堆积区上的物质较为丰富,集中在沟床及两岸缓坡平台之上,沟床两侧堆积物受沟水淘蚀,尤其是洪水的刨蚀作用,能提供较多不稳定物源直接参与到泥石流的形成过程之中,使得泥石流在该区不仅没有停淤而且有进一步加大的趋势,这也是2007年相隔13 d连续暴发两次泥石流的原因。

这些松散固体物质一般不会一次性补给,而是逐步地补给,且该流域松散土物源补给是不连续的。首先是松散土体物源区在地表径流的作用下大量进入主沟道,这部分物质大部分被沟道径流带走,少部分残留于沟床两岸,在大暴雨等突发情况下,上游形成的高含沙水流或稀性泥石流对沟岸强烈侵蚀,在行进过程中带走大部分支沟堆积物,从而加大高含沙水流

或泥石流的容重,最终形成更大规模的泥石流,故可以看出本区物源的补给方式中残坡积物是通过连续补给方式为泥石流提供细颗粒物质,而支沟堆积物则是以大规模的不连续补给方式提供给泥石流<sup>[4]</sup>。



图10 堆积区沟床不稳定物源

### 3 形成机制及发育历史

#### 3.1 形成机制分析

一颗印沟具备发生泥石流的自然条件,比如:汇水面积大,短期内便可汇集丰富的水量,尤其是后缘较开阔,更利于水量的汇集;沟源物源较丰富,流通区及部分堆积区沿途又可以补充,为泥石流的形成提供了物质基础;其中流通区狭长弯曲的沟谷加上跌坎发育,不但起到加速作用,同时更易于堵塞,造成更大规模泥石流的发生。这些可从以下现场调查有所体现:

(1) 2007年连续两次发生的泥石流均为黏性泥石流,细粒物质主要为泥砂,由上游向下游块碎石含量逐渐降低,粒径逐渐变小。而泥石流发生前,这些细粒物质在峡口以下沟内是没有的,说明主要来源于沟源。

(2) 据上山挖药的老乡口述,沟源2007年发生了一次雪崩(推测可能有大量风化碎屑物夹杂),形成大规模的不稳定物源,且多细粒物质。

(3) 流通段沟谷狭窄,由泥石流携带的大量长大的木料推测,流通段曾发生堵塞;而沟内原来存在于流通区(峡口以上,沟底狭窄)的一6.3 m×3.3 m×3.2 m的巨石被携带至堆积区(被搬运了约1 km多的距离),泥石流发生前沟内断流也说明发生过堵塞,见图11。

#### 3.2 历史发育过程

据调查,一颗印沟一般10年左右暴发一次较大的洪流,除2007年暴发大规模泥石流外,该沟曾于1944年(距今65年)发生过一次类似2007年发生的大型泥石流,而1984年、1996年又先后发生过两次相对较小的泥石流。

2007年7月4日,据老乡回忆,泥石流发生前沟

内出现断流(持续时间约 1 h),当时沟水慢慢变混,呈泥浆状,而后沟水变稠且水中漂浮较多的枯木枝等杂物,整个泥石流过程中听见“咯咯”的石块碰撞响声,流速缓慢,泥石流过后沟床形态面目全非,时隔 13 d,即 7 月 17 日凌晨,该沟再次暴发相同规模的泥石流,泥石流造成沟内一小型水电站正在施工的 4# 引水隧洞完全堵塞,施工场地及临时搭建的工棚受损,未完工的拦水闸几乎完全被毁,沟内流水改道,见图 12,同时,泥石流还冲毁淤埋了下游段宽缓沟道两侧的部分农田,给当地农民造成了较大的经济损失。泥石流冲到沟口,堵塞了杂谷脑河约半小时,壅水高达 6 m。



图 11 泥石流携带的巨石(6.3 m×3.3 m×3.2 m)



图 12 泥石流冲毁拦水闸

## 4 地震后沟谷情况

“5·12”汶川大地震造成流域内大量坡体稳定性降低,地表结构破坏,土体松动,形成大量固体松散物质堆积于山坡及沟道中,为泥石流的发育与形成提供了必要的条件。

(1) 堆积区:地震发生后,堆积区也新增了一些崩塌堆积物,局部堆于沟内,见图 13;震后堆积区沟谷相对较为狭窄地段出现小规模坍塌,直接以稳定坡角紧邻沟道堆积,这些震后形成的松散固体物质一方面迫使沟水改道,另一方面,直接提供物源,极大延长泥石流过程时间。

(2) 流通区:相对狭窄的流通区表现出多处犬牙交错的小型崩塌堆积物,对流水起到阻隔作用,极端情况下将会产生小规模堵塞,直接影响到震后泥石流的暴发规模,见图 14。

在“5·12”地震发生后,这里出现了历时约半个小时的断流。断流前水流速度是 1.8 m/s 左右,断水方量约为 1.6 万 m<sup>3</sup>。野外调访资料表明,一颗印沟后缘物源区-流通区段,有 3 处大型堵塞,处于后缘的跳水岩沟、正沟、石板蓬沟三条物源区支沟汇合区下游段,形成三个堰塞坝,堰塞湖水深 3~4 m,坝高大于 10 m。另外,石板蓬沟垮塌得最为严重,物源最为丰富。



图 13 震后堆积区沟谷岸坡松散坡体垮塌



图 14 震后流通区沟谷岸坡坡体失稳后垮塌

(3) 物源区:根据物源区-流通区堰塞坝的形成推测,地震后物源区可能存在冰水堆积物、风化岩体的崩塌现象,固体物质极为丰富。由于震后降雨量相对较小,不足以引起大量堆积体的失稳启动,但正如丹巴邛山沟暴发的大规模泥石流,在持续降雨作用下,失稳坡体达到饱和状态后,在强暴雨诱发作用下,失稳坡体呈碎屑流形式汇入主沟内,可产生大规模的泥石流。

## 5 地震前后预测

### 5.1 地震前后易发程度判断

地震前,在对泥石流沟谷综合特征分析的基础

上,对一颗印沟天然状况下诸因素打分(95分),综合评价该沟属于易发泥石流沟<sup>[5]</sup>。

震后沟谷新增较多松散堆积物,且直接作用在沟道两侧,直接参与泥石流的形成,这在泥石流易发程度评价因素中增加较大分值,即产砂区所占比例增大,因而震后其易发程度可能由易发向极易发转变。

### 5.2 发生频率判断

一颗印沟于1944年发生过一次类似2007年发生的大型泥石流,而1984年、1996年又先后发生过两次相对较小的泥石流。由此推断,该沟发生大型泥石流的周期是50~60 a,而小型泥石流的周期大概8~12 a,属于II<sub>2</sub>类低频降雨+冰雪融水型沟谷泥石流<sup>[6]</sup>。

由于全球气候变暖,冰雪消退,岩体的风化速度加快,一定程度上将使后缘物源积累时间缩短,泥石流的发生概率可能有所提高。特别在“5·12”地震后,物源区出现一些崩塌及堰塞,变得很不稳定,遇强降雨则极易频繁发生小规模的泥石流,甚至发生溃决型大型泥石流,其发生频率较震前有所增大<sup>[7]</sup>。

### 5.3 泥石流所处发展阶段判别

一颗印沟流域的降雨量、降雨类型、雨强和暴雨频率不变,因此诱发泥石流的外动力条件没有改变,泥石流暴发的基本规律不会发生改变。

根据访问和调查,一颗印沟在历史上共暴发过两次较大规模的泥石流,其泥石流的形成主要和其流域的地形地貌以及气候有关;松散的物体较为丰富,局部的集中降雨是泥石流形成的关键因素;同时,沟域内人类活动相对较强,对生态环境的影响主要表现在任意砍伐,加之“5·12”汶川地震导致沟内地质环境进一步脆弱,为不良地质现象的发育提供了条件<sup>[8]</sup>,综合判定,震后一颗印沟转变为发展期。

### 5.4 泥石流活动强度及规模判别

**5.4.1 泥石流活动强度** 泥石流的活动强度可以通过一些流域背景条件进行判别,如堆积扇的规模和特征、降水强度、固体松散物质的储量。通过对一颗印沟的调查表明,该沟内松散固体物质的堆积量大,堆积扇规模较大,主河河型的变化微弯,泥砂补给长度比>60%,综合以上实际情况进行分析,一颗印沟泥石流的活动强度属于强类型;震后沟内松散固体物源量增多,尤其是不稳定物源的增加,导致震后其活动强度将有所增强。

**5.4.2 泥石流暴发规模** 一般而言,要产生泥石流必须使得土体达到一定的含水量,而间接前期降雨和直接前期降雨正是通过使土体含水量增加,抗剪强度减小,改变土体稳定状态,从而对泥石流的形成起作用,如2003年7月11日四川丹巴县邛山沟发生的特

大泥石流,正是由于前期连续的降雨导致土体基本达到饱和状,在后期的暴雨作用下形成了特大型泥石流,造成了极大的危害<sup>[9]</sup>。

对于一颗印沟,“5·12”地震致使后缘古冰川堆积物垮塌,两侧谷坡物源震裂,变形严重,局部垮塌形成堰塞。但震后至今还未暴发大规模泥石流,主要是受前期降雨强度的限制。另外,从流域内物源分布情况及沟谷内可能存在的堵塞来分析,沟内可参与泥石流形成的物源正在富集,尤其是细粒物质;同样受地震的影响,流通区存在堵塞,尤其是犬牙交错性质的小规模堵塞,形成涌水,在后续沟水持续作用下溃决,将形成大规模的泥石流。

理论计算表明,地震前,一颗印沟泥石流峰值流量为163.92 m<sup>3</sup>/s,震后沟内极易产生堵塞,阻塞系数根据实际情况相应提高,计算泥石流峰值流量为372.56 m<sup>3</sup>/s,可以看出,震后一颗印沟暴发泥石流规模,原因就在于沟内存在丰富的松散物源,同时存在堵塞的可能性,一旦形成溃决型泥石流,一颗印沟泥石流的规模及危害性将远远超过地震前的规模。

## 6 结论

(1) 一颗印泥石流沟具有汇水面积大,沟内松散物源丰富的特点,历史上曾经暴发过多次大规模泥石流,泥石流对沟下游居民及水电建设构成较大威胁。

(2) 通过对泥石流流域特征的分析,尤其是针对三区特征的调查分析,一颗印泥石流沟具有典型泥石流沟的特征,具备暴发泥石流的三大条件。

(3) 汶川地震造成沟内松散物源增多,尤其是直接参与到泥石流形成的物源,沟内局部地段形成堰塞,震后易发生溃决型泥石流。

(4) 震后泥石流沟危险性增大,主要体现在:泥石流易发程度判断震后由易发-极易发转变;发生频率较之震前有所增大,形成频繁发生的小型泥石流;震后泥石流沟处于发展期,地震导致沟谷向衰退期转变时间加长;震后泥石流活动强度将有所增强。

(5) 地震之后,一颗印沟未曾暴发泥石流,这主要受震后降雨强度的限制,而实际上泥石流沟内聚集大量的松散固体物源,多以细粒物质出现,在合适的雨强或冰雪融水作用下,加上沟内局部堵塞,极易暴发规模较大的溃决型泥石流。

综上分析推测,一颗印沟泥石流将在今后较长一段时间内处于强烈活跃期,泥石流暴发规模和频率将显著增加,危害灾区人民生命财产安全,特别是村庄、道路、水利水电工程和农田等。

方向发展的。

从总体上看,耕地、园地和林地的生态服务居前3位,它们对土地利用系统的生态服务价值贡献率达到92%以上。其中,2001-2008年耕地的生态服务价值从59.80%降到40.19%,园地、林地的生态服务价值分别从25.77%、8.72%提高到39.20%、12.90%。另外,水域的生态服务价值也有一定提高,未利用地的生态服务价值稍有降低。园地、林地面积增加对生态系统服务价值增加的贡献较大,主要与园地、林地的生态系统服务价值系数明显高于耕地的生态系统服务价值系数有关。

### 3.3 生态服务价值与主要社会经济因子的相关分析

社会经济的发展必然会对土地利用结构产生一定的影响,本研究选取总人口、GDP和农民人均纯收入作为主要社会经济因子,探讨其与生态服务价值之间的关系。通过SPSS 13.0统计软件对其2001-2008年数据做相关性分析,其结果显示,顺平县生态系统服务价值与总人口、GDP和农民人均纯收入均表现为0.01水平下显著正相关,相关性系数分别为0.878,0.874和0.882。其中,总人口的增加,必然会增加对土地的需求,从而引发土地利用结构的变化;GDP、农民人均纯收入与生态系统服务价值朝着同方向发展,说明经济的发展未对当地的生态系统产生负向影响。可见,顺平县在发展社会经济的同时,对生态环境的保护也给予了充分的重视,同时也反映出退耕还林工程在改善顺平县生态环境的同时,注重林果业的合理发展和农民就业渠道的拓宽,从而促进了农民人均纯收入的提高,对社会经济的发展起到了一定的积极作用。

## 4 结论

(1)随着“退耕还林”工程的实施,顺平县土地利用结构发生了变化,耕地、其他农用地和未利用地面

积减少,园地、林地面积有了显著增加,极大地改善了顺平县的生态环境质量。

(2)顺平县退耕前后生态系统服务价值的变化分析结果表明:退耕后,顺平县的生态系统服务总值增加,7a间增加了5488.53万元,年增长率为2.27%,说明顺平县的退耕还林工程取得的成效是显著的。服务价值变化中,由于园地、林地的生态系统服务价值系数高于耕地的生态系统服务价值系数,故园地、林地面积增加带来的生态系统服务价值增长速度明显高于耕地减少带来的生态系统服务价值下降速度。

(3)顺平县生态系统服务价值与总人口、GDP和农民人均纯收入均表现为显著正相关,可见,顺平县在发展社会经济的同时,对生态环境的保护也给予了充分的重视,这与退耕还林工程的实施具有直接关系。

### 参考文献:

- [1] 谢高地,鲁春霞,成升魁.全球生态系统服务价值评估研究进展[J].资源科学,2001,23(6):5-9.
- [2] 张志强,徐中民,程国栋.生态系统服务与自然资本价值评估[J].生态学报,2001,21(11):1918-1926.
- [3] 武丽娜,杨君,段建南,等.中南丘陵县域土地利用变化对生态服务价值的影响:以湖南省醴陵市为例[J].水土保持通报,2009,29(4):169-173.
- [4] 赵军,杨凯.生态系统服务价值评估研究进展[J].生态学报,2007,27(1):346-350.
- [5] 查小春,赖作莲.退耕还林对铜川市农村经济结构的影响研究[J].干旱区资源与环境,2010,24(2):38-43.
- [6] 边亮,胡志斌,宋伟东.陕西省长武县土地利用变化的生态环境效应评价[J].生态学杂志,2009,28(9):1743-1748.
- [7] Costanza R, d'Arge R, deGroot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 386: 253-260.
- [8] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等.青藏高原生态资产的价值评估[J].自然资源学报,2003,18(2):189-196.
- [5] 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.
- [6] 刘计含.理县一颗印沟泥石流危害性评价[D].成都:成都理工大学,2010.
- [7] 吴积善,程尊兰,耿学勇,等.西藏东南部泥石流堵塞坝的形成机理[J].山地学报,2005,3(4):399-405.
- [8] 张信宝.有关汶川地震及次生山地灾害研究的一些科学问题[J].山地学报,2008,26(4):402-403.
- [9] 苏鹏程,刘希林,王全才,等.四川丹巴县邛山沟泥石流灾害特征及危险度评价[J].地质灾害与环境,2004,15(1):9-12.

(上接第73页)

### 参考文献:

- [1] 段永候.中国地质灾害[M].北京:中国建筑工业出版社,1993.
- [2] 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所.山洪泥石流滑坡灾害及防治[M].北京:科学出版社,1994.
- [3] 沈娜.四川省九龙县石头沟泥石流特征与防治工程措施研究[D].成都:成都理工大学,2008.
- [4] 康志成,李悼芬,马谡乃,等.中国泥石流研究[M].北京:科学出版社,2004:16-22.