

# 黑水县芦花沟泥石流灾害治理现状与建议

张金山<sup>1</sup>, 王士革<sup>1</sup>, 孟国才<sup>1,2</sup>, 张桂香<sup>1,2</sup>

(1 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 芦花沟是岷江水系黑水河中游右岸一级支流, 历史上曾多次暴发泥石流, 对黑水县城芦花镇造成了严重的危害和威胁。自上世纪80年代对其进行综合治理后, 泥石流得到了有效控制。但由于工程年久失修, 加之近几年降水量偏高, 该沟泥石流有进一步活跃的趋势。仅2004年就发生了3次泥石流, 其中09-30泥石流冲出物近  $1 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 规模较大, 并在排导槽中产生堵塞, 幸得当地政府及时启动紧急预案进行了疏通, 县城才得以平安。为了消除隐患, 减轻灾害, 我们对该沟泥石流进行了调查分析, 提出了相应的应急措施和进一步防治对策。

**关键词:** 芦花沟; 泥石流; 治理

**中图分类号:** P642.23

**文献标识码:** A

芦花沟位于四川省阿坝藏族羌族自治州黑水县, 是岷江水系黑水河中游右岸一级支流, 沟口地理位置为  $102^\circ 50' 0'' \text{ E}$ ,  $32^\circ 4' 42'' \text{ N}$ , 地处岷江干旱河谷向川西湿润区的过渡地带。该沟源于海拔3000 m的塔子窝山梁子, 自西向东于海拔2310 m处汇入黑水河, 全长1.8 km, 高差690 m, 平均比降达345‰, 流域面积0.92 km<sup>2</sup>, 是一条活动性较强的灾害性泥石流沟, 黑水县城芦花镇就建在其堆积扇上。

芦花沟是一条老泥石流沟, 历史上多次暴发, 对黑水县城芦花镇造成了严重的危害和威胁。自上世纪80年代对其进行综合治理后, 泥石流得到了有效控制, 取得了预期效果。但经过近20年的运行, 后期又缺乏必要的维修, 加之近几年降水量偏高, 芦花沟泥石流有进一步活跃的趋势。为了查明原因, 消除隐患, 本文在全面考查该沟的基础上, 对泥石流发育现状、工程受损状况进行了分析, 并提出了治理的应急措施及下一步规划。

## 1 泥石流发育的背景条件

### 1.1 岸坡陡峻, 沟床纵比降大

芦花沟形成于塔子窝山梁子之东南坡, 是一个由坡面向沟谷发育的年轻沟谷。受山地强烈上升和黑水河剧烈的下切的影响, 山高坡陡, 两岸山坡坡度在  $35^\circ \sim 50^\circ$  间。由于沟谷发育不充分, 加上沟内拦挡坝内拦蓄了大量固体物质, 沟谷较宽, 呈“U”型谷, 但沟谷纵比降很大, 上游泥石流形成区达696‰, 中游为380‰, 下游排导槽段为174‰。陡峻的地形为泥石流的发育提供了强大的动力条件。

### 1.2 岩性松软, 滑坡发育

流域处于青藏高原东部边缘, 属构造破碎带, 断裂发育, 岩体破碎。实测形成区出露基岩, 岩层产状  $62^\circ \angle 5^\circ$ , 裂隙以  $20^\circ \angle 61^\circ$ 、 $10^\circ \angle 88^\circ$  两个相互垂直者为主。出露地层为  $T_3 zh$ 、 $T_2 z$  及  $T_1 h$  岩性以浅变质石英砂岩、千枚岩夹灰岩及粉-细砂岩为主, 性质

收稿日期 (Received date): 2006-01-01; 改回日期 (Accepted): 2006-03-11。

基金项目 (Foundation item): 中国科学院知识创新项目“岷江上游生态极度退化区山地灾害综合防治试验示范” (项目编号: KSCX1-07-01-04)。

[Supported by the knowledge innovation project of Chinese Academy of Science, national natural science foundation key project (ID: 49831010).]

作者简介 (Biography): 张金山 (1972-), 男 (汉族), 甘肃古浪人, 自然地理学硕士, 主要从事山地灾害的研究及防治工作。 [Zhang Jinshan (1972-), male (Han), born in Gulang Gansu province, major in mountain hazards mitigation theories and control. E-mail: zjsz@163.com.]

软弱,易于风化。另外沟谷两岸滑坡发育,特别是上游泥石流形成区,随溯源侵蚀的进行,形成临空面,滑坡与表层滑塌发育,山坡上原来的植被随坡面一同滑下,大量的土体砂石进入沟谷为泥石流提供了充足的固体物质;而且上游两岸陡坡表层土体在降雨时还可能饱水直接转化为泥石流。

### 1.3 雨量丰沛,多暴雨

芦花沟流域属温带半湿润气候,降雨充沛,局部地区暴雨强度大。据 1956~1980年 24 a间的降水资料统计,黑水县降水比较丰沛,年平均降水量为 833 mm。干湿季节分明,雨量主要集中在 5~9月,占年降水总量的 76%。最大日降水量 52.3 mm (1977-07-29),日雨量  $\geq 50$  mm 的暴雨日数为 0.1,日雨量  $\geq 25$  mm 的暴雨日数为 2.8。暴雨特点是,局部性强,历时短,强度大。实测最大 6 h 降雨量为 50.3 mm,最大 30 min 雨强达到 31.9 mm,最大 10 min 雨强达 22.0 mm<sup>[1]</sup>。这种短历时、高强度的局部暴雨,对沟泥石流的形成十分有利,成为泥石流的激发因素<sup>[2]</sup>。

由于芦花沟的地形、固体物质及水源条件对泥石流发育有利,泥石流常对芦花镇产生严重危害,上世纪 80 年代对其进行了综合治理,整个工程于 1987 年竣工。

## 2 以往泥石流治理及其效果

芦花沟综合治理工程措施以排为主,排导、拦蓄、稳坡、停淤等措施相结合,并辅以截水排流方案。下游排导槽方案,长 465 m,按 50 a 一遇的泥石流为设计标准,并在下游右岸,筑起一道长 140 m 的腰带堤,形成面积 0.019 8 km<sup>2</sup> 的停淤场。中游修建混凝土砌块石重力坝 8 座、潜坝 4 座,总库容量约  $0.87 \times 10^4$  m<sup>3</sup>;在源头修建截水沟一道(排水量 1 m<sup>3</sup>/s),将水排入沙板沟(图 1)。同时还辅以营造水源涵养林和水流调节林,实行退耕还林、封山育林等生物措施<sup>[3]</sup>。

工程竣工后防治泥石流效果显著,有效保护了县城人民的生命财产安全。拦砂坝群拦蓄砂石总量达 10 000 m<sup>3</sup>,一方面控制了到达下游的固体物质,减小了泥石流规模,另一方面淤满后的拦砂坝抬高了沟床,形成梯级基准面,有效地控制了泥石流下切

沟床,保护了沟道及两岸,淤积物质覆盖于原两岸坡之上压住坡脚,稳定滑坡,使岸坡趋于稳定<sup>[4]</sup>。两岸再未形成新的滑坡,原滑坡也逐渐停止滑动,坡面上灌木、乔木生长,提供给泥石流的物质量大大减少。而且排导槽多次将一定规模的泥石流顺利排入主河,防灾减灾效果显著。

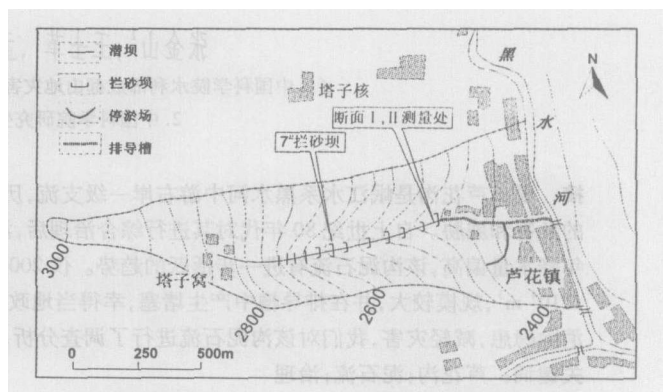


图 1 芦花沟流域及泥石流治理工程布置图

Fig 1 Luhua drainage area and the distribution of debris flow controlling works  
(注:据参考文献[4]图 1 绘制)

经过近 20 年运行,芦花沟泥石流部分防治工程已接近其使用寿命,后期又未能继续完善和有效维护,泥石流防治工程遭到一定的损坏,出现安全隐患。

## 3 工程受损情况及后果

### 3.1 各拦砂坝库容已满,拦蓄能力降低或消失

芦花沟 7 道拦砂坝建成以来拦蓄了大量的固体物质,现在所有库容都已装满,有的泥石流堆积物已高出坝肩,甚至坝体被完全淤埋。在沟内各个坝间广泛分布有大量泥石流堆积物,有的已经高出溢流口 1~3 m,甚至从坝肩处溢出(图 2);坝内堆积的固体物质比降  $> 210\%$ ,一旦发生规模较大泥石流,这些固体物质也会启动补给泥石流,使其规模增大,使下游排导槽压力增大;同时泥石流流体在弯道处超高溢出或堵塞排导槽导致泥石流改道,会破坏两岸建筑,直接危害县城。

### 3.2 坝肩绕流破坏坝体

拦砂坝淤满后,坝内形成中部高两侧低的横向

1)四川省气象局。四川省地面气候资料累年值(1951~1980年)。

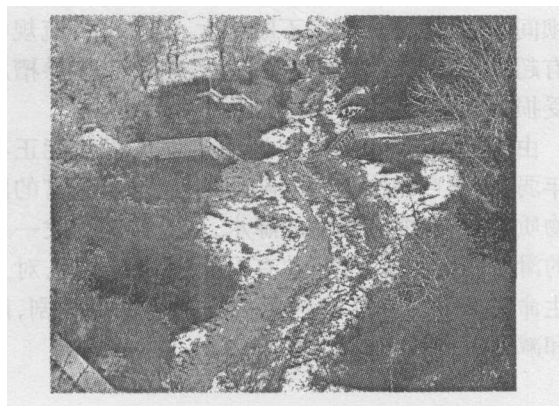


图 2 堆满砂石的拦砂坝

Fig 2 The retaining dam filled with stone and sand

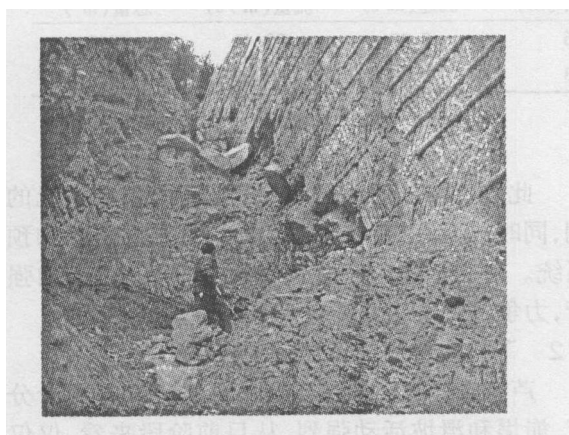


图 3 7 号拦砂坝受损

Fig 3 The damage of No 7 retaining dam

比降, 使溢流口失去作用, 泥石流由坝肩流出, 从而导致坝肩两侧较软弱的地方侵蚀严重, 侧面及下部基础被掏空, 破坏坝体。坝体一旦被破坏, 坝内拦蓄的大量固体物质下泄, 可能造成非常严重的泥石流灾害。此现象最严重的是高达 30.2 m 的 7 号坝, 其坝肩绕流已造成坝体左侧局部被掏空, 坝体稳定性受到威胁 (图 4)。

### 3.3 部分坝体冲击破坏严重

上游近沟壑区近年来泥石流活动强烈, 泥石流下泄时, 最上面的坝体首当其冲, 受到剧烈的冲击, 产生破坏, 有些坝体溢流口下蚀严重, 大大减少了坝内拦蓄固体物质的数量。最上面的 4 号潜坝溢流口已下蚀 0.5 m 左右。

### 3.4 排导槽底部破坏与局部设计缺陷

由于流水、山洪及泥石流的磨蚀, 排导槽底部变得坑坑洼洼, 加上部分泥石流体粘在排导槽底部及两侧, 这不仅增大了沟床糙率, 也减小了过流断面,

不利于泥石流的排泄。城区跨越排导槽的桥梁, 其下部没有设计成斜坡, 而是呈水平状, 泥石流到此速度变慢, 易引起堵塞并溢出槽。2004-09-30 晚即因此出现险情。

## 4 2004 年泥石流概况

2004-06-30 和 09-04 芦花沟发生了两次较小泥石流并经排导槽顺利排入黑水河。其后, 09-30 芦花镇附近出现大雨, 自 18:00 时至第二天凌晨 1:00 降雨量约 23 mm, 此前两天内也是阴或小雨。这导致了芦花沟较大规模泥石流的发生。据县国土资源和水利局材料, 这次泥石流规模较大阵次计有 8 阵之多, 并一度在排导槽中堵塞, 西街桥下排导槽曾被填满溢出, 对县城造成了严重的威胁, 及时启动紧急预案进行了疏通后, 县城才得以平安。

为了确定泥石流流速及规模大小, 我们测量了断面并进行计算。经长期的水流和泥石流作用, 坝间高度超过溢流口的堆积物中形成了冲沟, 这次泥石流就流通于其中, 考虑沿途物质的补给, 选用 1 号坝堆积体上的沟道量测泥石流流通断面。根据流动时的阵性及对抛高物质的分析, 认为此次泥石流为典型的粘性泥石流, 故采用东川泥石流改进公式进行流速计算, 用形态调查法及过程概化法分别计算泥石流流量及总量<sup>[5]</sup>。

### 东川泥石流改进公式

$$V_c = K H_{c2/3} \cdot I_{c1/5}$$

式中  $V_c$  为泥石流断面平均流速 (m/s),  $K_c$  为粘性泥石流流速系数, 用内插法查表确定之 (见于参考文献 [5] 表 1),  $H_c$  计算断面的平均泥深 (m),  $I_c$  为泥石流水力坡度 (‰), 一般可用沟床纵坡代替。

### 形态调查法计算公式

$$Q_c = W_c \cdot V_c$$

式中  $Q_c$  为泥石流断面峰值流量 (m<sup>3</sup>/s),  $W_c$  为泥石流流过断面面积 (m<sup>2</sup>),  $V_c$  为粘性泥石流断面平均流速 (m/s)。

### 泥石流总量计算公式

$$W_c = 19 T Q_c / 72$$

式中  $W_c$  为通过断面的一次泥石流总量,  $Q_c$  为泥石流流量,  $T$  为泥石流过程时长 (据访问当晚泥石流持续时间由 21:00 到次日 3:00 但考虑其中间歇时间较长, 故以 8 阵为准, 每阵估计持续 30 s, 加上中间较小泥石流过程, 估计总时长为 10 min)。计算结果

如下表(表 1)。

据调查,这次泥石流的物质来源于上游的滑坡及表层滑塌,大量沟床堆积物也由于坝体的破坏成为泥石流的补给物;这里沟床纵比降达 600 ‰以上,两岸山坡坡度也在 45°~ 50°间,陡峻的地形为滑坡的发生提供了能量条件;在降雨时,大量的水分下渗进入土壤,这一方面增大了土体重量,同时也导致土壤饱水,沿坡面缓慢下移,再受沟道内水流的冲刷,便形成泥石流沿沟直泻而下,沿途还不断刮铲堆积

于坝间的固体物质,流量不断扩大,尽管泥石流规模没有超过原防治工程的设计标准,但由于排导槽底部受损,引起排导困难,出现了险情。

由于上世纪 80 年代实施的治理工程功能正在逐年弱化,而芦花沟具有的陡峻地形,加上丰富的固体物质来源,只要有足够的降水,就会再次诱发一系列的滑坡-泥石流灾害,并有可能形成灾害链,对人民生命财产和山地环境的危害亦将进一步加剧,防灾和减灾的形势十分严峻。

表 1 芦花沟泥石流流速、流量及总量计算值一览表  
Table 1 The velocity and discharge of debris flow in Luhua gully

实测断面	过流断面面积 (m <sup>2</sup> )	泥深 (m)	沟床比降 (‰)	流速 (m/s)	流量 (m <sup>3</sup> /s)	总量 (m <sup>3</sup> )
断面 I	6.3	1.75	106	9.27	58.40	9247
断面 II	5.52	1.6	123	9.00	49.66	7863

\* 断面 I 与断面 II 之间相距 15 m。

5 防治建议

5.1 目前应急减灾措施

5.1.1 现有拦砂坝的修复和加高

从地貌发育的过程看,芦花沟是一条活动强烈的年青沟谷,沟坡和沟床稳定性差。1980 年代规划的拦砂坝作用巨大,但不少工程已明显受损,几道拦砂坝已存在不同程度的破坏现象。由于上游物质来源比较丰富,坝间堆积作用明显,并存在横向坡面,沟道变宽、抬升之后,致使拦砂坝坝肩显得低矮,起不到束流的作用,发生的泥石流出现绕过坝肩,坝后冲刷强烈。同时,7# 拦砂坝坝下基础冲刷明显,坝脚基础部分出露。因此,应尽快对 7# 拦砂坝进行坝肩的加高及坝脚的维护,以免出现坝体倾覆的危险。

5.1.2 上游新建一座拦砂坝

芦花沟正处于其发育的旺盛期,修建拦砂坝则延缓了其发展过程。考虑到上游崩塌、滑坡活动仍很剧烈,固体物质丰富,规划在 4# 潜坝上游再修一座拦砂坝,加大拦蓄固体物质的能力;同时,坝后物质回淤,还起到稳定上游坡脚,固定岸坡,减少固体物质来源的作用。

5.1.3 现有排导槽底部的修复

针对排导槽底部磨损严重,横向肋槽剪断的现象,应对其进行修补,同时清理底部及两侧粘附的泥石流浆体,增大排导槽过流断面,以防来年大的泥石流不能顺利通过,危害县城。

此外要加强形成区滑坡、崩塌及降水状况的监测,同时建立具有一定自动功能的灾害监测和预报系统。对已制定的应急预案也要落到实处,加强监管,力争将灾害损失降低到最小。

5.2 下一步滑坡泥石流减灾措施

芦花沟发育阶段决定其上游的物质来源十分丰富,崩塌和滑坡活动强烈,从目前阶段来看,仅仅依靠现有的拦砂坝和排导槽两项工程措施,还不能有效控制泥石流的发生和发展,难以达到理想的防治效果。针对芦花沟沟道和泥石流特性,还应采取进一步的防治措施,主要包括以下几个方面:

5.2.1 部分拦砂坝的加高

经过近 20 年的运行,一期工程设计的 8 座拦砂坝现已全部淤满,其拦截泥石流的功能已消失。应在已有坝体基础上加高拦砂坝,让其重新发挥拦蓄功能。

5.2.2 由现有拦砂坝上游逐年修筑拦挡工程

拦砂坝为芦花沟治理中的骨干工程,发挥着强有力的功效。随着库容的淤满,除加高已有拦砂坝外,应在现有坝群上游继续修建拦砂坝。新建拦挡工程可以控制沟床下切,稳定岸坡,逐渐控制泥石流形成区滑坡活动,减少固体物质来源,达到控制泥石流的目的。拦挡工程采取逐年修建的方案,每年根据滑坡活动情况和地形条件,由下向上修建 1~ 2 座,直到沟头。

5.2.3 滑坡外缘修截水沟

塔子窝滑坡是芦花沟泥石流的主要固体物质来

源, 暴雨是泥石流的最主要激发因素, 因此, 有必要在塔子窝滑坡外缘修建一条截水沟, 减少降水进入滑坡体及滑动面的下渗量, 将激发泥石流的可能降至最低。

#### 5.2.4 排导槽的改造

考虑到泥石流的直进性和弯道超高特性, 除了对排导槽局部修整外, 排导槽部分尤其是弯道处应加高加固; 在上游拦砂坝库容已满的条件下, 下游跨排导槽的两座桥梁处行洪能力不够, 遭遇大规模泥石流时, 可能发生堵塞, 在桥梁不能改造的前提下, 可将该段排导槽原水平的槽底改造为斜坡, 坡度与其它段一致, 以增强排泄泥石流的能力。

#### 参考文献 (References)

- [1] Tang Bangxing, Liu Suqing. The research of debris flow and its control in Aba Municipality, Sichuan Province [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1993. 124~130 [唐邦兴, 柳素清. 四川省阿坝藏族羌族自治州泥石流及其防治研究 [M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993. 124~130]
- [2] Deng Yangxin. Study on the debris flow at the northern section of

- Du shan-zi Kuqa highway through Tianshan Mountains [J]. *Arid Land Geography*, 1994, 17(1): 30~37 [邓养鑫. 天山独(山子)库(车)公路北段泥石流研究 [J]. 干旱区地理, 1994, 17(1): 30~37]
- [3] Tang Wanpei, Yuan Xining. Environmental conditions and control methods of debris flows in Luhua gully. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1989, 9(6): 61~65 [谭万沛, 袁锡明. 芦花沟泥石流形成条件及其治理工程 [J]. 水土保持通报, 1989, 9(6): 61~65]
- [4] Liu Suqing, Tang Bangxing, Wang Xin. The beneficial analysis on debris flow hazards reducing engineering in the upper reaches of Minjiang River: A case study in Luhua gully in Heishui county [A]. In: Zhong Dunlin, Wang Chenghua, Xie Hong *et al.* Catalogue, database, regional rules of debris flow & landslide [C]. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science and Technology, 1998. 113~118 [柳素清, 唐邦兴, 王昕. 岷江上游泥石流减灾工程的效益分析——以黑水县芦花沟为例 [A]. 见: 钟敦伦, 王成华, 谢洪, 等. 中国泥石流滑坡编目数据库与区域规律研究 [C]. 成都: 四川科学技术出版社, 1998. 113~118]
- [5] Di Baofeng, Chen Ningsheng, Xie Wangying. Character analysis of debris flow in Luobajie gully [J]. *Journal of Mountain Science*, 2003, 21(2): 216~222 [第宝锋, 陈宁生, 谢万银, 等. 罗坝街沟泥石流特征分析 [J]. 山地学报, 2003, 21(2): 216~222]

## The Present Condition of Debris Flow and Controlling Suggestions in Luhua Gully of Heishui County

ZHANG Jinshan<sup>1,2</sup>, WANG Shige<sup>1</sup>, MENG Guocai<sup>1,2</sup>, ZHANG Guokiang<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** Luhua gully is a branch of middle reaches of Heishui River in Minjiang River system, a great number of debris flows result in serious damage and threat in Luhua Town of Heishui County. The debris flow was effectively controlled after the general control in 1980s. The debris flow has the trend of further activity because of the control works wasn't repaired for a long time and the rainfall was high in recent years. Only in 2004, three times debris flow broke out, among which the debris flow on September 30 was sweeping. The sediments of this debris flow was almost ten thousand cubic metre and the drainage canal was jammed by the stem of debris flow. The local government has to start the urgency preparative project so as to the county was on firm ground. In order to eliminate hidden trouble and reduce damage, the ash-up measures and the further countermeasure and suggestions of control were put forward by carrying out the survey on the debris flow of the gully.

**Key words** Luhua gully; debris flow; control