

大渡河左岸小河沟泥石流特征及其危险性评估研究

程礼来¹, 吴俊峰²

(1. 河南省地矿局地球物理勘查队, 郑州 450053; 2. 成都理工大学 地质灾害与环境保护国家重点实验室, 成都 610059)

摘要:四川省泸定县得妥乡大渡河左岸小河沟泥石流位于大岗山库区, S211 省道在沟口通过, 2009 年曾发生一次规模较大的泥石流, 该泥石流的继续活动既可影响大岗山电站的库容, 同时影响 S211 的运行安全, 有必要对其危险性进行评估。通过高精度遥感、现场大比例尺测绘及地质灾害危险性分析揭示, 小河沟是一条处于发展期的沟谷型泥石流, 具备泥石流发育的地形条件, 形成区物源丰富, 降雨量充沛且集中。该沟泥石流易发程度中等, 为暴雨型、中频、粘性泥石流, 危险性大。20 年一遇暴雨泥石流对大岗山库区的淤积量为 5 400 m³, 对 S211 危险性大, 对大岗山库区的影响表现为淤积, 影响程度有限。

关键词:小河沟泥石流; 特征; 危险性评估

中图分类号: P642. 23

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)01-0087-05

The Characteristics and Its Risk Evaluation Study of Xiaohegou Debris Flows, Right Bank of Daduhe River

CHENG Li-lai¹, WU Jun-feng²

(1. Geophysical Prospecting Team of He'nan Geological and Mineral Bureau, Zhengzhou 450053, China; 2. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Xiaohegou debris flows, right bank of Daduhe River, Detuo Commune, Luding County, Sichuan Province, is located in the reservoir region and the S211 pass from the mouth of the gully. A large scale debris flow happened in 2009, if the activities of the gully will happen in the future, it influenced not only the reservoir but also S211. By high accuracy remote sensing, the large scale geological mapping and geohazard risk analysis reveals that the Xiaohegou debris flow is developing one, with favorite landform. The source region is covered with rich colluvial, fluvial and landslide accumulation, the rainfall is rich and concentrated in the Summer, geological survey reveals that it is a medium easy-happening, storm type, medium frequency, viscous debris flow with large fatalness. The sand supply of 20-year debris flow to Dagangshan reservoir is about 5 400 m³, but it will frighten the safety of S211.

Key words: debris flow of Xiaoheyou; characteristics; risk evaluation

小河沟位于四川省泸定县得妥乡境内, 大渡河左岸, 沟口距大岗山坝址约 11.2 km。该沟 2009 年爆发泥石流, 中断 S211 省道, 并在沟口造成大渡河暂时性堵河, 沟口拱桥净空减小一半。研究该沟泥石流特征, 评价其活动对大岗山电站库区及 S211 省道的影响, 具有重要的现实意义。

1 泥石流形成条件

(1) 地形。小河沟源于海拔约 2 750 m 处, 最后

在海拔约 1 027 m 处流入大渡河, 主沟长约 4.7 km, 流域面积 10.36 km², 平均纵坡降 370‰, 具备了典型的泥石流沟地形地貌特征, 即形成区、流通区和堆积区区分明显。形成区三面环山, 冲沟发育, 主沟叫马塘子沟, 最大的一条支沟为郭家沟, 沟内常年有流水; 四吊一沟较短, 为季节性流水沟谷, 沟谷总体坡度 30°~45°; 流通区沟顺直, 谷较狭窄, 呈“V”字型, 沟壁坡度大于 60°; 沟口以大角度与大渡河交汇。

沟谷流域内植被因受地形地貌、地层岩性等的影

收稿日期: 2010-07-05

修回日期: 2010-08-07

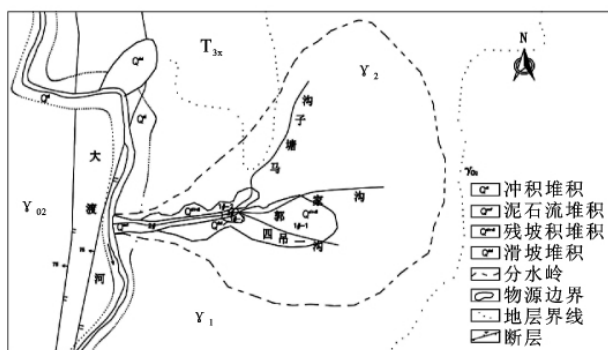
资助项目: 国家自然科学基金项目(40672174); 中国地调局项目(1212010914010); 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2008CB425801)

作者简介: 程礼来(1958—), 男, 高级工程师, 现从事地质灾害及地球物理勘探工作。E-mail: cl5804@163.com

通信作者: 吴俊峰(1984—), 男, 博士, 从事地质灾害及区域地质环境研究。E-mail: wangys60@163.com

响,其垂直分带性非常明显。沟底至海拔 1 500 m, 为人类活动集中区域,植被以农作物和果树为主,海拔 1 500~2 200 m 植被类型以乔灌木为主,2 200 m 以上植被类型以森林为主。小河沟上游两岸植被较好,覆盖率 70% 以上。

(2)地层与构造活动。小河沟流域内的岩性主要为澄江期的花岗岩(γ_2),流域右侧支沟马塘子沟内有部分三叠系白果湾组(T_3bg)的砂板岩,此外第四系(Q_{3-4})堆积物广泛分布于小河沟沟口、沟道内及两岸的缓坡地带,主要包括坡残积物、泥石流堆积物和少量的崩塌、滑坡堆积体(图 1)。沟内可见裸露花岗岩基岩,细小节理发育,但闭合较好,岩体较完整。右侧支沟内的砂板岩整体完整性较差,易被风化剥蚀。根据现场调查及 1:20 万区域地质图,小河沟流域内无断层通过,但研究区经历了中更新世的剥蚀夷平及中更新世晚期以来的强烈隆升区,岩体中构造节理及浅表层岩体卸荷裂隙及风化裂隙发育,为丰富的物源形成奠定了良好的条件。



γ_2 :花岗岩; γ_{02} :花岗闪长岩; T_3bg :三叠系白果湾组; Q :第四系。

图 1 小河沟流域地质图

(3)水文气象。研究区属四川盆地亚热带湿润气候区,气候垂直变化明显,四季分明,年平均气温一般为 13~18℃,极端最低气温一般-5℃左右,最高气温多发生在 7—8 月。因受焚风影响形成少雨区,多年平均年降水量在 700 mm 左右,但降水量主要集中在 5—10 月,其中又以 6—9 月最多。雨季均发生过暴雨,最大日降水量达 100 mm 以上(2009 年)。小河沟流域降雨多以地表径流的形式流入沟中,以降雨

为主要水动力,常年流水,沟源有泉水出露。

(4)人类活动。人类工程活动在形成区较为活跃,从沟口 1 027~1 500 m 高程均为人类工程活动区,机耕道开挖、削坡、大于 30°的斜坡上开垦坡地及植被的破坏,加速了雨水的侵蚀作用,堆积前缘的掏蚀临空降低了堆积体的稳定性,为堆积体失稳并堵塞沟道创造了条件。

2 泥石流沟特征

2.1 泥石流沟功能分区特征

小河沟泥石流的功能区划分如下:小河沟泥石流物源区与清水汇流区大致以 1 600 m 高程为分界线(见图 2)。清水汇流区纵坡降约 487.27‰,植被茂盛,沟谷狭窄,偶见零星崩落的块石堆积于沟底。

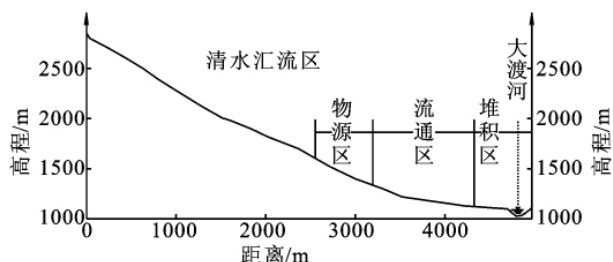
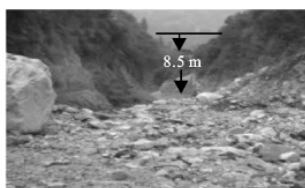


图 2 小河沟泥石流纵坡降图

小河沟泥石流物源区纵坡降约 411.21‰,物源主要为用于耕种的残坡积堆积物和沟道附近的崩塌堆积、洪积或古泥石流堆积体(照片 1),其中在紫雅村附近发育有一小型覆盖层滑坡,体积约 4 万 m^3 ,主滑方向 40°。物源以黏土、碎石、块石为主,成分为花岗岩、砂板岩等,结构松散。小河沟流通区纵坡降约 182.30‰,区内沟道狭窄且在近沟口段有局部弯道,弯道的岩壁上可以清楚地看到 2009 年 9 月份泥石流撞击留下的泥痕(照片 2)。流通区以下直达大渡河为小河沟泥石流的堆积区,该区纵坡降约 61.08‰,长约 30 m,根据野外调查,该沟在大渡河强烈切割区形成一个具有一定规模的泥石流堆积扇(扇长 82 m,宽 15 m,扩散角 130°)(照片 3—4),该沟曾发生过大型泥石流造成短时间的堵河,溃坝后大部分的泥石流物质被河流冲走,如今大渡河在枯水季节局限在靠右岸一侧流动(照片 4)。



照片 1 物源区坡体表层冲沟



照片 2 流通区沟底堆积物及沟壁泥痕



照片 3 沟口堆积扇扇顶(沟口堵塞)



照片 4 小河沟泥石流沟口堆积扇

小河沟上游两岸缓坡地带形成大量结构松散,稳定性差的残坡积堆积体,在沟道内则夹有部分古泥石流残留堆积体(物质成分花岗岩和闪长岩为主,分选差,胶结较好,磨圆较好,由漂砾石夹泥沙组成)和崩塌堆积体,该部分物源的整体稳定性较好,按临界坡度 30° 划为稳定或半稳定物源。小河沟物源见表 1。

综上所述,该沟物源总量较多,约为 130.8万 m^3 ,其中约有 20.3万 m^3 为结构松散的不稳定物源,易被降雨或泥石流冲蚀形成物源。

表 1 小河沟泥石流物源特征一览表

编号	特征描述	植被情况	物源总量/ 万 m^3	不稳定物 源量/万 m^3
1#-1	沿主沟右侧的缓坡分布,结构松散。下部为崩坡积层,块、碎石为主,有架空结构;上面覆盖有黏土,颗粒较小,该堆积体面积约有 80万 m^2 ,平均厚度 1 m ;	以农作物、 果林为主	80	11.4
1#-2	沿主沟左侧的缓坡分布,结构松散。下部为崩坡积层,块、碎石为主,有架空结构;上面覆盖有黏土,颗粒较小,该堆积体面积约有 46万 m^2 ,平均厚度 1 m ;	以农作物、 果林为主	46	7
1#-3	位于郭家沟和马塘子沟交汇出,子雅村路口,为覆盖层滑坡,层厚约 2.5 m ;	以农作物为主	4	1.6
2#	主要沿沟谷分布,沟壁较陡的位置,分两种情况:(1)基岩因风化,节理裂隙发育产生的崩塌;(2)古泥石流堆积体在外力作用下,临空面失稳,产生的垮塌。且需按具体情况划分为半稳定或不稳定物源,总体方量较小;	小型灌木	0.248	0.2
3#	沿沟道分布于流通区上游一段,胶结较好,整体呈稳定状态,仅临空面易受洪水,降雨剥蚀。	小型灌木	0.556	0.1

表 2 小河沟泥石流易发程度评判表

序号	影响因素	影响因素严重程度	得分
1	崩塌、滑坡及水土流失 (自然和人为的)的严重程度	崩塌、滑坡等重力侵蚀严重, 表土疏松,冲沟十分发育。	21
2	泥沙沿程补给长度比/%	$60\sim 30$	12
3	沟口泥石流堆积活动程度	大渡河偏向右岸	9
4	河沟纵坡/%	$>12^{\circ}$	12
5	区域构造影响程度	强抬升区,6 级以上地震区	9
6	流域植被覆盖率/%	>60	1
7	河沟近期一次变幅/m	<0.2	1
8	岩性影响	风化和节理发育的硬岩	4
9	沿沟松散物贮量/(万 $\text{m}^3\cdot\text{km}^{-2}$)	>10	6
10	沟岸山坡坡度/ $(^{\circ})$	>32	6
11	产沙区沟槽横断面	V 型谷	5
12	产沙区松散物平均厚度/m	$5\sim 1$	3
13	流域面积/ km^2	10.36	3
14	流域相对高差/m	>500	4
15	河沟堵塞程度	严重	4

2.3 2009 年泥石流活动特征

小河沟上游左侧的四吊一支沟是 2009 年泥石流最为严重的支沟。持续 $4\sim 5\text{ h}$ 的暴雨,引发了泥石流灾害。四吊一支沟泥石流在转弯处崩塌堵塞,随后,溃决,夹杂大量泥石的流体飞泄而下,主沟沟口泥位达 8.5 m 。另外郭家沟支沟泥石流现象较为严重,沟内随处可见崩塌堆积体。其余两沟泥石流较轻。

2.2 历史泥石流活动特征

跟据作者现场调查访问,小河沟每年雨季均有小规模泥石流发生,因历时短,固体物源少,为稀性泥石流,危害小,没有引起人们重视,未获得具体的数据。历史上较大的一次是 1983 年 7 月份雨季,规模比 2009 年略小,在沟口也有推挤大渡河并形成险滩现象,几年后就被大渡河冲刷消失了。据老乡介绍,1983 年泥石流发生与耕地挤占沟道,雨季垮塌堵塞有关。

沟口的 S211 公路被堵,桥洞堵塞近一半(照片 3-4),根据现场配浆试验,泥石流容重大 18.6 kN/m^3 ,调查当时老乡描述的堆积物规模复原测量及计算复核,2009 年泥石流的输沙量约 $5\,400\text{ m}^3$ 。小河沟泥石流的暴发与其沟谷发育形态、人类改造及降雨有密切的关系。分析该沟泥石流暴发周期为 20 年一遇,属于中频的粘性降雨型泥石流。小河沟泥石流沟的

汇水面积较大,支沟发育,沟内岩体除右侧马塘子沟为砂板岩地层,岩性较破碎外,其余都为花岗岩,岩体总体较完整。沟内物源主要为残坡积堆积体,在沟内广泛分布,暴雨时,雨水带走坡体上的松散物质,并形成冲沟,在强大水动力条件下,所有物质汇入主沟,崩塌形成的大块石在狭窄沟道内堵塞,后溃决,形成冲击力极强的粘性泥石流,冲出沟口,流入大渡河。综上所述,强降雨与堵塞—溃决是小河沟 2009 年泥石流形成的两个基本条件,小河沟泥石流属于降雨型沟谷堵塞—溃决型泥石流。

3 危险性评价

按照泥石流易发程度评价^[1],对小河沟天然状况下诸因素打分进行综合评价,其评分值参见表 2,评分值为 100(表 2),属于中等易发泥石流沟。

为了分析泥石流现状及对工程建设形成危害的潜在危险性,采用地质灾害危险性分析的方法,分析研究区泥石流危险性指数构成,建立危险性分析结构模型^[1-2]。

以小河沟流域范围作为分析单元,分析影响泥石流潜在活动强度的各种控制条件,在此基础上建立泥石流危险性指数计算模型,从而确定泥石流灾害的发育特征。参考前人的分析经验,采用下式计算泥石流危险性指数(Z_w):

$$Z_w = \alpha(Z_1 A_1 + Z_q A_q) \tag{1}$$

表 3 小河沟泥石流潜在活动强度控制条件判别表

形成条件		极不充分	不充分	较充分	充分	特别充分
		0	1	3	6	10
地质条件	地质构造	△极不发育,仅少量小型断裂	不发育,只有小型断裂	较发育,少量主干断裂	发育,有大型断裂或大量主干断裂	特别发育,巨大断裂带;断裂密集带;断裂复合带
	新构造运动	地震和构造变形微弱	不强烈,地震和构造变形较弱	△较强烈,6 级以上地震和构造变形较明显	强烈,发生过 7 级以上地震;构造变形强烈	特别强烈,发生过多次 7 级以上地震;构造变形特别强烈;有大量崩塌、滑坡
	松散堆积物数量/(万 m ³ ·km ⁻¹)	<0.5	0.5~2	2~5	5~10	△>10
地形地貌	地貌类型	平原及残丘	高原、丘陵	切割不剧烈的高原、山地	△切割较剧烈的高原、山地	切割特别剧烈的高原、山地及其与平原过渡带
	相对高差/m	<200	200~300	300~500	500~1000	△>1000
	山坡坡度/(°)	<15	15~25	25~32	32~40	△>40
	主沟坡降/%	<3	3~6	6~12	12~18	△>18
气候条件	年降雨量/mm	北方<200 南方<800	北方 200~400 南方 800~900	△北方 400~600 南方 900~1000	北方 600~800 南方 1000~1200	北方>800 南方>1200
	暴雨比例/%	<10	10~20	△20~30	30~40	>40
	森林覆盖率/%	△>50	30~50	20~30	10~20	<10
人类活动	植被破坏	无破坏	局部破坏	△部分破坏	破坏较严重	破坏特别严重
	坡沟破坏	无破坏	局部破坏	△部分破坏	破坏较严重	破坏特别严重

式中: Z_1 ——泥石流的历史强度; Z_q ——泥石流的潜在强度; A_1 ——历史强度的权重; A_q ——潜在强度的权重,分别为 0.3 和 0.7; α ——修正系数,泥石流取 0.46^[3-5]。历史灾害强度按下式计算:

$$Z_1 = G \cdot P \tag{2}$$

式中: G ——历史活动规模的评判等级分值; P ——活动频率的评判等级分值。根据泥石流的堆积体积和活性各取 0~5 间的数值。该值是依据工作经验按两类因素分别取值后叠加形成的。

潜在泥石流危险强度按下式计算:

$$Z_q = K \cdot (D \cdot A_d + X \cdot A_x + Q \cdot A_q + R \cdot A_r) \tag{3}$$

式中: D ——控制泥石流形成与发展的地质条件的标度分值; X ——地形地貌条件的标度分值; Q ——控制泥石流形成与发展的气候植被条件的标度分值; R ——控制泥石流形成与发展的人为条件充分程度的标度分值。评分标准采用张业成等人的研究成果^[3-5],其具体内容和评判标准见表 3(带△项为小河沟特征)。 A_d, A_x, A_q, A_r 为 4 类泥石流形成条件的权重(表 4)。 K 为修正系数,取 0.7。以上分析中所使用的权重是张业成先生等采用专家问卷调查的方法并对调查结果采用层次分析后获得的,依据充分,结果可信。根据上述原则对小河沟的泥石流危险程度进行判别。

根据以上标准和小河沟的实际情况,危险性指数计算参数 D 、 X 、 Q 、 R 值分别为:13,36,6,6; G 、 P 值分别为 4,4;经计算潜在危险性 Z_q 为 10.724,历史危险性 Z_l 为 16,小河沟泥石流危险性指数 Z_w 为 5.66。按照危险性指数判别标准(表 5):小河沟泥石流为危险性大。

泥石流危险度的评价方法很多^[6-12],这里采用单沟泥石流危险度评价方法^[13-14]。改进单沟泥石流危险度评价方法采用 7 个评价因子,除主要内在因子泥石流规模 m 和发生频率 f 外,其它次要环境因子分别是流域面积 s_1 、主沟长度 s_2 、流域相对高差 s_3 、流域切割密度 s_6 和不稳定沟床比例 s_9 。这 5 个次要因子可从流域地形图上比较准确地获取。次要因子是采用双系列关联度分析方法筛选的,所以其判定结果可信度较高。

单沟泥石流危险度计算公式为

$$H_{\text{单}}=0.29M+0.29F+0.14S_1+0.09S_2+0.06S_3+0.11S_6+0.03S_9$$

(4)

式中: $M, F, S_1, S_2, S_3, S_6, S_9$ 分别为 $m, f, s_1, s_2, s_3,$

s_6, s_9 的转化值。按照单沟泥石流危险度评价因子的转换函数表 7,计算可得相应的转换值表 8。

表 4 各种影响条件对地质灾害强度的作用权重

地质灾害 种类	地质 条件	地形地貌 条件	气象、 植被条件	人为 因素
小河沟泥石流	0.20	0.30	0.22	0.10

表 5 泥石流危险性等级划分

危险性等级	危险性小	危险性中等	危险性大
危险性指数	<2	2~4	>4

根据公式(4),小河沟泥石流的危险度为 H 为 0.57,按照分级标准:极低危险($0<H<0.2$)、低度危险($0.2<H<0.4$)、中度危险($0.4<H<0.6$)、高度危险($0.6<H<0.8$)、极高危险($0.8<H<1.0$),可知小河沟属于中度危险的泥石流沟,与实地调查小河沟泥石流的定性结果吻合。

表 6 单沟泥石流危险度评价因子的权重系数

评价因子	M	F	S_1	S_6	S_2	S_3	S_9
权重	10	10	5	4	3	2	1
权重系数	0.29	0.29	0.14	0.11	0.09	0.06	0.03

表 7 危险度评价因子和转换函数

评价因子	初始值	转换因子	转换函数
m 泥石流规模/万 m^3	130.8	M	$M=0, m\leq 1$ 时; $M=\lg m/3, 1<m\leq 1000$ 时; $M=1, m>1000$ 时
f 泥石流发生频率(次/100 a)	5	F	$F=0, f\leq 1$ 时; $F=\lg f/2, 1<f\leq 100$ 时; $F=1, f>100$ 时
s_1 流域面积/ km^2	10.36	S_1	$S_1=0.2458s_1^{0.3195}, 0<s_1\leq 50$ 时; $S_1=1, s_1>50$ 时
s_2 主沟长度/ km	4.7	S_2	$S_2=0.2903s_2^{0.5372}, 0<s_2\leq 10$ 时; $S_2=1, s_2>10$ 时
s_3 流域相对高差/ km	1.723	S_3	$S_3=2s_3/3, 0<s_3\leq 1.5$ 时; $S_3=1, s_3>1.5$ 时
s_6 流域切割密度/($km\cdot km^{-2}$)	0.68	S_6	$S_6=0.05S_6, 0<s_6\leq 2$ 时; $S_6=1, s_6>2$ 时
s_9 不稳定沟床比例	0.4	S_9	$S_9=s_9/0.6, 0<s_9\leq 0.6$ 时; $S_9=1, s_9>0.6$ 时

表 8 危险度评价因子转换值

沟名	转换因子						
	M	F	S_1	S_2	S_3	S_6	S_9
小河沟	0.71	0.35	0.56	0.67	1	0.03	0.67

小河沟泥石流易发程度评价结果为中等易发,危险性指数评价为危险性大的泥石流沟,单沟危险度评价结果为中度危险性。综合以上三种评价结果,小河沟是一条中等易发,危险性大的泥石流沟。

小河沟是一条高频中等易发的泥石流,流域内的降雨量、降雨类型、雨强和暴雨频率基本不变,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。小河沟是一条处于发展期的泥石流沟,且沟内松散物源较多,将来在类似强降雨条件下,易发生泥石流灾害。

4 结 论

通过现场调查,对小河沟泥石流有如下几点认识:(1)具备泥石流发生的地形条件;(2)沟内物源较

丰富,人类工程活动强,降雨强于集中;(3)小河沟一条处于发展期的沟谷型、暴雨型,中等易发、中频、危险性大的泥石流沟;(4)小河沟泥石流对大岗山水电站库区影响表现为淤积,但由于输砂量小,库容大,对水库影响有限,但对 S_{211} 及沿沟村道的影响较大,表现为堵塞沟口拱桥,中断交通;沟内滑坡坡脚的侵蚀将有可能诱发滑坡的复活,威胁居住滑坡上居民的生命及财产安全。

参考文献:

[1] 中华人民共和国国土资源部. 泥石流灾害防治工程勘查规范[S]. DZT0220-2006,2006.

[2] 王劲光,路玉宝. 泥石流危险性评价模型改进分析[J]. 西部探矿工程,2009(1):17-18.

[3] 张业成. 云南省东川市泥石流灾害风险分析[J]. 地质灾害与环境保护,1995,6(1):25-34.

[4] 张业成. 中国崩塌、滑坡、泥石流灾害基本特征与防治途径[J]. 地质灾害与环境保护,1993,4(1):11-18.

表 4 白龙江中游泥石流冲积扇坡耕地开发潜力评价结果表

区域	统计指标	开发潜力			合计
		高	中	低	
舟曲—沙湾段	个数/个	11	15	1	27
	数量占此段比例/%	40.74	55.56	3.70	100
	面积/hm ²	242.19	55.45	0.94	298.58
	面积占此段比例/%	81.11	18.57	0.31	100
沙湾—固水子段	个数/个	62	18	6	86
	数量占此段比例/%	72.09	20.93	6.98	100
	面积/hm ²	2440.78	90.21	19.92	2550.91
	面积占此段比例/%	95.68	3.54	0.78	100
固水子—碧口	个数/个	17	25	17	59
	数量占此段比例/%	28.81	42.37	28.81	100
	面积/hm ²	86.21	58.3	11.48	155.99
	面积占此段比例/%	55.27	37.37	7.36	100
白龙江中游	个数/个	90	58	24	172
	数量占此段比例/%	52.33	33.72	13.95	100
	面积/hm ²	2769.18	203.96	32.34	3005.48
	面积占此段比例/%	92.14	6.79	1.08	100

(4)目前制约白龙江中游泥石流冲积扇坡耕地开发利用的主要因素为干旱缺水、泥石流的危害及土壤质量问题。针对干旱缺水问题,对于有灌溉水源的泥石流冲积扇坡耕地,需研究开发低成本的自流引水灌溉和水资源合理调配、高效利用技术;对于缺乏灌溉水源的泥石流冲积扇坡耕地,可重点开发雨水储藏、微水农业、节水灌溉等系统性技术;针对泥石流的危害及土壤质量问题,需围绕冲积扇坡耕地的保育、改良、安全,研究泥石流的防治和冲积扇坡耕地的综合整治,开发经济实用的新技术。

参考文献:

[1] 康志成,李焯芬,罗锦添,等.中国泥石流研究[M].北京:科学出版社,2004:23-38.
[2] 唐邦兴.中国泥石流[M].北京:商务出版社,2000:43-59.

[3] 王道杰,崔鹏,朱波,等.蒋家沟高含沙水流泥沙特性与泥石流滩地的改良[J].山地学报,2003,21(6):745-751.
[4] 张秋英.不同土地利用方式下泥石流滩地土壤空间分异特征研究:以云南小江流域为例[D].成都:中国科学院成都山地灾害与环境研究所,2006.
[5] 中国科学院兰州冰川冻土研究所,甘肃省交通科学研究所.甘肃泥石流[M].北京:人民交通出版社,1982:44-47.
[6] 黄忠恕,余应中.长江上游陇南地区泥石流分布发育特征[J].人民长江,1998,29(7):42-44.
[7] 甘肃省武都县地方志编纂委员会.武都县志[M].北京:三联书店,1998:143-200.
[8] 陈循谦.白龙江中游的泥石流灾害[J].灾害学,1987(4):36-42.
[9] 刘涛,张洪江,吴敬东,等.层次分析法在泥石流危险度评价中的应用:以北京市密云县为例[J].水土保持通报,2008,28(5):6-10.

(上接第 91 页)

[5] 马寅生,张业成,张春山,等.地质灾害风险评价的理论与方法[J].地质力学学报,2004,10(1):7-18.
[6] 王晓欣,王运生,孙耀明.大渡河野坝沟泥石流危险性分析[J].水土保持研究,2008,15(6):173-176.
[7] 唐川,刘洪江,朱静.泥石流扇形地危险性评价研究[J].干旱区地理,1997,20(3):21-27.
[8] 朱静,泥石流沟判别与危险度评价研究[J].干旱区地理,1995,18(3):63-69.
[9] 铁永波,强震区城镇泥石流灾害风险评价方法与体系研究[D].成都:成都理工大学,2009.

[10] 姜亭亭,孙世国,王丹.泥石流危险性研究现状与发展趋势分析[J].北方工业大学学报,2009(1):85-88.
[11] 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].地质灾害与环境保护,2004,15(1):9-12.
[12] 王学武,石豫川,黄润秋,等.多级模糊综合评判方法在泥石流评价中的应用[J].灾害学,2004,19(2):1-6.
[13] 刘希林,唐川,泥石流危险性评价[M].北京:科学出版社,1995:1-93.
[14] 侯兰功,崔鹏,单沟泥石流灾害危险性评价研究[J].水土保持研究,2004,11(2):125-128.