

白龙江中游泥石流冲积扇坡耕地开发潜力分析

柳金峰^{1,2}, 黄江成², 欧国强^{1,2}, 吕娟², 范建容²

(1. 中国科学院 山地灾害与地表过程重点实验室, 成都 610041; 2. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘 要:泥石流冲积扇是山区难能可贵的相对平坦土地资源, 对其进行开发利用对山区农业经济的发展具有重要意义。以白龙江中游泥石流冲积扇坡耕地为研究对象, 通过野外考察, 结合室内 Quick Bird 10 m 分辨率卫星影像解译, 选取冲积扇面积、灌溉水源、泥石流频率、防治措施、已开发比例 5 个评价因子, 对白龙江中游泥石流冲积扇坡耕地的分布、开发利用现状、开发潜力进行了分析和评价。结果表明: 一是白龙江中游 172 个泥石流冲积扇总面积约为 30.0 km², 占河谷平坦地面积的 52.07%; 二是泥石流冲积扇在白龙江干热河谷所占的面积相当大, 开发潜力高的泥石流冲积扇坡耕地有 90 个, 占总数的 52.3%。由此可见, 整个白龙江中游区泥石流冲积扇具有很好的开发潜力, 其中以沙湾—固水子段的开发潜力最高。

关键词:白龙江中游; 泥石流; 冲积扇; 坡耕地; 开发潜力

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)01-0092-05

The Developing Potentiality of Slope Farmlands on the Alluvial Fans of Debris Flows in the Midstream of Bailong River

LIU Jin-feng^{1,2}, HUANG Jiang-cheng², OU Guo-qiang^{1,2}, LÜ Juan², FAN Jian-rong²

(1. Key Laboratory of Mountain Surface Process and Hazards, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract: The alluvial fan of debris flow is valuable and relative flat land resource and it has an important significance in the development of agricultural economy in mountainous area. The slope farmlands on the alluvial fans of debris flows in the midstream of Bailong River are taken as study object. The distribution and development status of the slope farmlands in the study area are analyzed based on the field investigation and the interpretation of Quick Bird 10 meters' satellite images. Then, the developing potentiality is analyzed and evaluated by choosing alluvial fan area, water resource for irrigation, debris flow frequency, mitigation measure and developed percentage as evaluation factors. The results show that firstly the total area of 172 alluvial fans of debris flows in the midstream of Bailong River are about 30.0 km² which accounts for 52.07% of the valley flat area; secondly the alluvial fans of debris flows account for large area in the dry-hot valley of Bailong River, and there are 90 slope farmlands on the alluvial fans of debris flows with high developing potentiality accounting for 52.3% in the total amount. Therefore, the alluvial fans of debris flows in the whole midstream of Bailong River have high developing potentiality, among which Shawan-Gushuizi is the highest.

Key words: midstream of Bailong River; debris flow; alluvial fan; slope farmland; developing potentiality

我国是一个多山区国家, 而泥石流是发生在山区的一种突发性自然灾害现象, 由泥石流形成的泥石流冲积扇在山区分布广泛。泥石流冲积扇又往往是泥石流堆积泛滥成灾的主要波及区, 是由土体、水体和气体所组成的多相分散体^[1-2], 具有植物生长的基本

条件和开发利用的价值。由于山区平坦的土地资源较少, 而泥石流冲积扇由于相对地势平坦、水热条件较好, 是较好的土地资源。特别在“人地矛盾”突出的山区, 对泥石流冲积扇进行改良和开发, 有助于改善泥石流地区的生态环境状况, 有效促进当地经济的发

收稿日期: 2010-07-26

修回日期: 2010-08-17

资助项目: 国家科技支撑计划专题“秦巴山区微型冲积扇坡耕地整治与高效利用技术示范”(2008BAD98B08-2); 国家自然科学基金重点项目(40830742)

作者简介: 柳金峰(1979—), 男, 安徽泾县人, 助理研究员, 主要从事山地灾害实验与防治工程研究。E-mail: liujf@imde.ac.cn

展。如蒋家沟流域泥石流滩地开垦的试验田单产水稻可达 $10\,755\text{ kg/hm}^2$, 泥石流滩地开发利用已经成为当地增加粮食产量和脱贫致富的重要途径之一^[3-4]。

白龙江中游区是整个白龙江流域乃至全国泥石流分布最为密集的地段, 其泥石流形成的冲积扇在白龙江流域最具代表性^[5-6]。本文以白龙江中游区干旱河谷的泥石流冲积扇坡耕地为研究对象, 并对其分布、利用现状、开发潜力进行深入分析研究。

1 白龙江中游流域概况

白龙江属长江水系, 是长江的二级支流, 嘉陵江的一级支流, 发源于甘南藏族自治州碌曲县南缘。流经四川、甘肃两省的碌曲、若尔盖、迭部、舟曲、宕昌、武都、文县、青川及广元 9 个县。于广元昭化城北部汇入嘉陵江。白龙江流域面积 $32\,810\text{ km}^2$, 多年平均流量 $339\text{ m}^3/\text{s}$, 多年平均径流量 106 亿 m^3 。白龙江中游为舟曲县城至文县碧口镇段, 长 199 km , 控制流域面积 $15\,456\text{ km}^2$ 。

2 白龙江中游泥石流冲积扇坡耕地分布及开发利用现状

2.1 白龙江中游泥石流冲积扇分布

白龙江中游区中、大尺度流域是我国泥石流最发育的地区之一。灾害性泥石流因分布面积广、发生频率高、造成经济损失大等特点在我国居前位。据不完全统计, 有史料记载以来灾害性泥石流共计约 240 次, 仅 1950—1990 年的 40 a 间就发生 79 次, 死亡 643 人, 直接经济损失约 2.2 亿元^[7]。通过野外考察, 白龙江中游区共分布有泥石流 172 条, 结合 Quick Bird 10 m 分辨率卫星影像解译, 得到该段泥石流冲积扇坡耕地的分布情况。

2.1.1 舟曲县城—沙湾段 舟曲县城—沙湾段共分布有泥石流冲积扇 27 个(图 1), 泥石流冲积扇总面积 298.58 hm^2 , 其中左岸泥石流冲积扇 12 个, 总面积为 150.74 hm^2 , 占此段 50.5%; 右岸泥石流冲积扇 15 个, 总面积为 147.84 hm^2 , 占此段的 49.5%。由于此段白龙江河谷地貌基本属于高山峡谷—宽谷的过渡段, 主河河谷较狭窄, 所以发育的泥石流冲积扇规模均较小, 面积最大是真节沟泥石流冲积扇, 其堆积长度约 750 m, 堆积宽度约 990 m, 面积为 38.65 hm^2 。

2.1.2 沙湾—固水子段 沙湾—固水子段共分布有泥石流冲积扇 86 个(图 2), 泥石流冲积扇总面积 $2\,550.91\text{ hm}^2$, 其中左岸泥石流冲积扇 52 个, 总面积

为 $1\,619.00\text{ hm}^2$, 占此段 63.5%; 右岸泥石流冲积扇 34 个, 总面积为 931.91 hm^2 , 占此段的 36.5%。

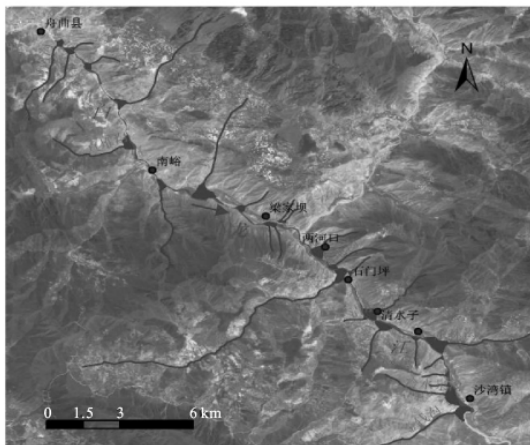


图1 白龙江中游舟曲县城—沙湾段泥石流冲积扇分布图

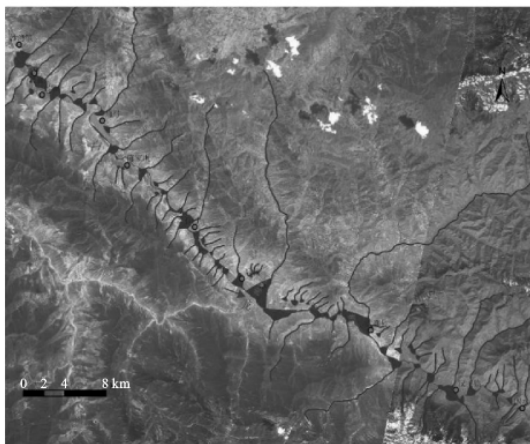


图2 白龙江中游沙湾—固水子段泥石流冲积扇分布图

沙湾—固水子段属白龙江中游的宽谷段, 泥石流规模大、暴发频繁, 常堵江为患的北峪河、石门沟, 以及每年发生数次至十数次、常堵塞交通或淤埋大片农田的泥湾沟、火烧沟、大湾沟等, 均分布在此段, 并在沟口形成了很多大型泥石流冲积扇。其中最大是沟坝河泥石流冲积扇, 该冲积扇最大堆积长度 2.3 km , 最大堆积宽度 2.4 km , 总面积 3.01 km^2 。此外, 国内有名的危害严重的甘家沟也分布在此段, 此沟泥石流危害十分严重, 除了直接威胁沟口汉王镇数千人的生命财产安全, 经常淹没农田和阻断公路; 50 年代以来, 甘家沟泥石流曾 4 次堵断白龙江, 每次约 $2\sim3\text{ h}$, 回水几公里, 淹没农田千余亩, 毁坏大批水利和交通设施; 由于甘家沟泥石流规模巨大, 活动十分频繁, 沟口冲积扇的发展十分迅速, 挤占了原河床的 $2/3$, 将河床压缩到不足 50 m 宽, 其沟口冲积扇的发展还严重阻碍洪水下泄, 泥沙大量淤积造成河床迅速抬升, 使该段河床平均每年上升 10 cm ^[8]。经过数次泥石流的堆积, 目前沟口形成了长约 1.36 km , 宽约 1.9 km , 面积约 1.34 km^2 的大型泥石流冲积扇。

2.1.3 固水子—碧口段 固水子—碧口段共分布有泥石流冲积扇 59 个(图 3),泥石流冲积扇总面积 155.99 hm²,其中左岸泥石流冲积扇 33 个,总面积为 75.64 hm²,占此段 48.5%;右岸泥石流冲积扇 26 个,总面积为 80.35 hm²,占此段的 51.5%。

由于此段白龙江河谷地貌基本属于高山峡谷段,白龙江主河河谷较狭窄,加之此段泥石流以稀性泥石流为主,所以发育的泥石流冲积扇规模均较小。面积最大是桔柑沟泥石流冲积扇,其堆积长度约 410 m,堆积宽度约 650 m,面积为 15.89 hm²;面积最小的是羊寺坝沟泥石流冲积扇,其堆积长度约 80 m,堆积宽度约 100 m,其面积为 0.32 hm²。

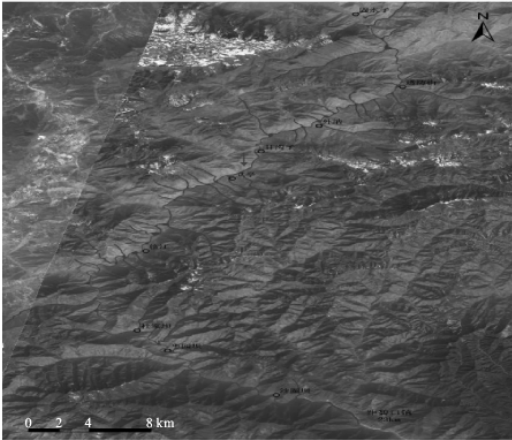


图 3 白龙江中游固水子—碧口段泥石流冲积扇分布图

2.2 白龙江中游泥石流冲积扇坡耕地开发利用现状

根据表 1 不同地段面积分布统计结果(数据从 2005 年土地利用图中提取),整个白龙江中游冲积扇面积 3 005.48 hm²,河谷平坦地面积为 5 771.54 hm²,其所占比例为 52.1%,表明泥石流冲积扇在白龙江干热河谷所占的面积相当大,其对整个白龙江农业的发展具有重要的意义。从白龙江各段情况来看,舟曲—沙湾段的泥石流冲积扇占河谷平坦地的比例为 47.1%;沙湾—固水子段的泥石流坡耕地占河谷平坦地的比例为 56.4%;固水子—碧口段的泥石流冲积扇占河谷平坦地的比例为 25.4%。泥石流冲积扇占河谷平坦地的比例沙湾—固水子段最高,其次是舟曲—沙湾段和固水子—碧口段,其中沙湾—固水子段的白龙江干热河谷是整个白龙江流域所占比例最大的,此段白龙江的河谷宽广,适合于发展农业,同时此段泥石流也是整个白龙江流域发育最密集的区域,其泥石流冲积扇坡耕地对于整个白龙江流域农业的发展具有重要的意义。

白龙江中游泥石流冲积扇的开发利用主要包括居民住宅用地、耕地、经济林地等,农作物种植以小麦、玉米、马铃薯为主,占粮食作物的 80%,其次为水

稻、谷子、糜子、洋麦、荞麦、青稞、高粱等,冬小麦 6—7 月收获后,复播玉米或荞麦、蔬菜等,是白龙江中游的主要产粮区;经济作物主要有油橄榄、花椒、油菜、棉花、柑桔、石榴等,目前大力发展的油橄榄,其种植面积正不断增大^[7]。初步统计,整个白龙江泥石流冲积扇已开发利用的面积为 2 808.20 hm²,占总面积的 93%,其开发利用程度很高。

表 1 白龙江中游泥石流冲积扇面积与河谷平坦地面积关系

区域	泥石流冲积扇	河谷平坦地	所占
	面积/hm ²	面积/hm ²	比例/%
舟曲—沙湾段	298.58	633.47	47.1
沙湾—固水子段	2550.91	4524.88	56.4
固水子—碧口段	155.99	613.19	25.4
白龙江中游	3005.48	5771.54	52.1

3 白龙江中游泥石流冲积扇坡耕地开发潜力评价

3.1 评价指标的选取

为了对白龙江中游干热河谷的泥石流冲积扇坡耕地的开发潜力进行评价,选取冲积扇面积、灌溉水源、泥石流频率、防治措施、已开发比例 5 个因子,开展泥石流冲积扇坡耕地开发潜力评价。

(1)泥石流冲积扇面积。此因子影响可开发利用的绝对面积,泥石流冲积扇面积越大,其可用于农业开发利用的空间越大,所以其开发潜力越大。对白龙江中游 172 个泥石流冲积扇的面积进行统计见表 2。

表 2 白龙江中游泥石流冲积扇面积分级统计表

分级/hm ²	泥石流冲积扇 个数/个	面积/ hm ²	占总面积的 百分比/%
<1	21	13.74	0.5
1~10	81	320.45	10.7
10~50	57	1278.78	42.5
50~100	9	652.58	21.7
>100	4	739.93	24.6
合计	172	3005.48	100

从表 2 中可知,白龙江泥石流冲积扇面积主要集中在 10~50 hm²,占总面积的 42.5%。

(2)灌溉水源。是否有灌溉水源,决定了农作物的产量。对于有灌溉条件的泥石流冲积扇坡耕地,其开发潜力越高。对白龙江中游的 172 个泥石流冲积扇的灌溉情况进行统计,其中有 43 个泥石流冲积扇有较好的灌溉条件,主要通过引水渠灌溉;40 个泥石流冲积扇有一定的灌溉条件,部分耕地能够被灌溉;有 89 个泥石流冲积扇无任何的灌溉条件,只能靠降水。所以,白龙江干旱河谷的泥石流冲积扇坡耕地缺水问题,是制约该区农业发展的一个重要影响因素。

(3)泥石流频率。泥石流暴发频率越高,其对泥石流冲积扇坡耕地的威胁越大。一旦暴发泥石流,泥石流将淤埋冲积扇坡耕地,造成巨大损失。泥石流暴发频率越高,其冲积扇坡耕地开发潜力越低。对于白龙江中游的泥石流沟,41 条属于高暴发频率、90 条中等暴发频率和 41 条低暴发频率。因此,白龙江流域广泛发育的、活动频繁的泥石流是制约泥石流冲积扇坡耕地开发的另一个重要因素。

(4)防治措施。从总体上说,整个白龙江流域泥石流的防治水平仍很低,在泥石流冲积扇上如果没有任何防治措施,会严重影响到其坡耕地的开发利用。调查统计发现,白龙江中游的泥石流冲积扇,只有 18 个有一定的防治措施,其防治措施主要包括排导槽、

单侧导流堤、拦砂坝等,但是这些防治措施设计标准都较低,不能真正意义上对泥石流有较好的防治效果;有 25 条泥石流沟有部分的防治措施,如冲积扇上的小段单侧导流堤,其防治效果差,没有什么实际防治效果;其余 129 条泥石流冲积扇上无任何防治措施,泥石流一旦暴发,将直接危害冲积扇的坡耕地。

(5)已开发利用比例。泥石流冲积扇是否开发,其开发比例的大小,是劳动人民在长期与泥石流做斗争中总结出来的经验,如果一个泥石流冲积扇,其开发利用的比例较高,证明其可开发利用的潜力越大。

3.2 评价指标量化及方法

在指标选取后,需对评价的指标进行分级、量化。将选取的 5 个评价因子分级如下。

表 3 泥石流冲积扇坡耕地开发潜力评价因子分级与量化

评价因子	泥石流冲积扇开发潜力		
	高(量化值 3)	中(量化值 2)	低(量化值 1)
泥石流冲积扇面积 X_1/hm^2	>50	10~50	<10
灌溉水源 X_2	有较好的灌溉条件	有一定的灌溉条件	无灌溉条件
泥石流频率 X_3	暴发频率低	暴发频率中等	暴发频率高
防治措施 X_4	有防治措施	有一定的防治措施	无防治措施
开发利用比例 $X_5/\%$	>60	30~60	<30

为了确定各个因子的权重,构造判断矩阵如下:

$$A=b_{ij}$$

	冲积扇面积	灌溉水源	泥石流频率	防治措施	开发利用比例
冲积扇面积	1	2	3	3	5
灌溉水源	1/2	1	2	3	3
泥石流频率	1/3	1/2	1	2	3
防治措施	1/3	1/2	1/2	1	2
开发利用比例	1/5	1/3	1/2	1/2	1

通过层次分析法计算^[9],确定本项研究中泥石流冲积扇面积、灌溉水源、泥石流频率、防治措施和开发利用比例的权重系数为:0.41,0.24,0.15,0.12,0.08。判断矩阵的最大特征根经过检验,证明权重系数的计算结果基本合理。白龙江中游泥石流冲积扇坡耕地开发潜力指数(R)采用以下方法计算:

$$R=0.41X_1+0.24X_2+0.15X_3+0.12X_4+0.08X_5$$

评价结果分为三级:低开发潜力(0~1)、中等开发潜力(1~2)和高开发潜力(2~3)。

3.3 评价结果

根据上述评价因子,对白龙江中游 172 个泥石流冲积扇坡耕地进行开发潜力评价,其评价结果见表 5。

从表 4 中可以看出,整个白龙江中游 172 个泥石流冲积扇坡耕地,有 24 个属于低开发潜力,占总数的 13.95%,其面积仅占总面积的 1.08%;58 个属于中等开发潜力,占总数的 33.72%,其面积占总面积的 6.79%;有 90 个属于高开发潜力,占 52.33%,其面

积占总面积的 92.14%,说明整个白龙江泥石流冲积扇具有巨大的开发潜力。从分段区域来看,沙湾一固水子段,其泥石流冲积扇坡耕地的开发潜力在整个白龙江中游居首位。

4 结 论

(1)白龙江中游泥石流分布广泛,在造成危害的同时,形成的泥石流冲积扇是山区难能可贵的相对平坦土地资源,其开发利用对整个白龙江农业的发展具有重要的意义。

(2)对白龙江中游泥石流冲积扇坡耕地开发潜力评价的结果表明,172 个泥石流冲积扇坡耕地有 90 个为高开发潜力,表明整个白龙江泥石流冲积扇具有巨大的开发潜力,其中以沙湾一固水子段的开发潜力最高。

(3)本文对泥石流冲积扇坡耕地开发潜力的评价是从泥石流频率、规模及坡耕地开发利用现状方面进行的,今后应从泥石流堆积物理化性质着手,进一步对其开发潜力进行评价。

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.