

## 贡嘎山东坡湾东河泥石流的特征及危险度评价<sup>\*</sup>

余 涛<sup>1,2</sup>, 谢 洪<sup>1</sup>, 王士革<sup>1</sup>, 孔纪名<sup>1</sup>, 刘正梁<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, 成都 610041; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

**摘 要:** 湾东河是大渡河上游的一条支流, 流域面积 170.6 km<sup>2</sup>, 河床比降 137.5‰。通过对湾东河主河与支沟泥石流形成条件、特征进行分析得知, 主河暴发低频率泥石流, 一般 50~100 a 才活动一次, 流体性质以过渡性为主; 支沟银厂沟和板板棚沟为中-低频率泥石流沟, 中等规模的泥石流分别 10~20 a 和 20~30 a 发生一次, 大规模和特大规模的泥石流 50~100 a 活动一次, 流体性质均为黏性泥石流。3 条河(沟)均为高度危险的泥石流沟, 危险度值分别为 0.68, 0.70 和 0.61。

**关键词:** 泥石流; 湾东河; 形成条件; 危险度

**中图分类号:** P642.23

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2008)03-0242-04

## Characteristics and Hazard Assessment of Wandong River Debris Flow on East Slope of Gongga Mountain

SHE Tao<sup>1,2</sup>, XIE Hong<sup>1</sup>, WANG Shi-ge<sup>1</sup>, KONG Ji-ming<sup>1</sup>, LIU Zheng-liang<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:** Wandong River is a tributary of the Dadu River on the upper reach, with 170.6 km<sup>2</sup> of basin area and 137.5‰ of riverbed gradient. By research on formation condition, characteristic of debris flow in main river and tributaries, we know that main river often breaks out low frequency and transitional debris flow, with return period of 50~100 years. Debris flow happened in Yinchang Gully and Banbanpeng Gully are medium-low frequency debris flow, with return period of 10~20 years and 20~30 years for the moderate-scaled debris flows, 50~100 years for the large-scaled ones. All of the debris flows in tributaries are viscous. This paper has also discussed debris flow hazard assessment in Wandong River. Yinchang Gully and Banbanpeng Gully are the high hazard debris flow gullies, with the hazard degree of 0.68, 0.70, 0.61, respectively.

**Key words:** debris flow; Wandong river; formation condition; hazard

湾东河位于四川省泸定县得妥乡境内, 为大渡河右岸的一级支流, 发源于贡嘎山东侧, 自西向东流, 在河流中段左岸先后有板棚沟和板板棚沟等加入, 经两叉河至大河湾折向北流, 于左岸纳入银厂沟后, 向东流约 2 km 注入大渡河(图 1)。河长 29.0 km, 集水面积 170.6 km<sup>2</sup>。流域地理位置介于北纬 29°27′-29°35′, 东经 101°55′-102°10′。

流域位于川西高原与四川盆地交接带上, 地势较高, 总的趋势西高东低。上游的分水岭高程在 4 000~6 410 m, 下游的分水岭高程相对较低, 在 1 500~4 000 m。地形起伏大, 河谷狭窄, 河床坡降陡, 为典型的高山峡谷<sup>[1]</sup>。

### 1 泥石流活动概况

经实地考察和对老乡的访问, 1948 年 7 月 24 日傍晚, 银厂沟发泥石流, 造成 2 人死亡, 毁坏房屋 3 间, 沟边的水稻田被淤埋, 并搬运几块巨石到现在湾东温泉附近; 1976 年银

厂沟再次暴发泥石流, 造成 8 人死亡; 1994 年银厂沟又暴发泥石流, 把湾东河堵断, 堵断的时间持续了一夜, 在银厂沟汇入湾东河的汇口处, 泥石流堵河的痕迹目前仍然保留得很清楚。考察发现, 在板板棚沟和主河内也有大量的泥石流堆积物存在, 且形态完整。由此说明, 第四纪以来, 湾东河主河及其支沟内泥石流一直较为活跃。

### 2 泥石流形成条件

#### 2.1 地形条件

湾东河及其支流河谷狭窄, 多呈“V”形。裸露基岩分布在山脊陡壁地段, 在河谷宽缓地带的台地上有冰水和泥石流堆积层。湾东河流域最高点海拔 6 410 m, 最低点为河口与大渡河交汇处水面, 海拔约 1 050 m; 流域内跌水发育, 沟床陡急; 相对高度 2 630~5 360 m, 河(沟)床比降 137.50‰~

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2007-08-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(40501008)

作者简介: 余涛(1981-), 男, 四川泸州人, 在读硕士, 主要从事泥石流与山地环境研究。E-mail: shetao81618@163.com

通信作者: 谢洪(1959-), 男, 四川成都人, 研究员, 主要从事泥石流等山地灾害及防治研究。E-mail: xhong@imde.ac.cn

261.74 % (表 1)。

湾东河两岸斜坡坡度多为 30 ~ 40°,河谷平均宽 50 ~ 100 m;支流交汇处河谷相对开阔,河谷宽 100 ~ 200 m。而其下游两大支沟——银厂沟和板板棚沟,沟谷两岸斜坡坡度在 35 ~ 50°, > 35° 的陡坡面积占支沟总面积的 36.4 %,沟谷平均宽 40 ~ 50 m。银厂沟和板板棚沟流域完整系数( )分别为 0.222 6 和 0.380 9,相对切割程度值( $h$ )为 0.118 6。流域完整系数较大、相对切割程度值较低,说明其具有良好的汇流条件,有利于山洪泥石流的形成。

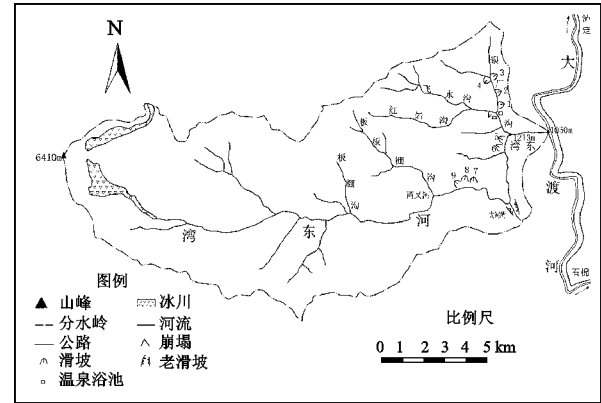


图 1 湾东河流域形态

表 1 湾东河、银厂沟、板板棚沟流域特征值

名称	沟口 高程/ m	最高点 高程/ m	相对 高度/ m	流域 面积/ km <sup>2</sup>	主沟 长度/ km	沟床纵 比降/ ‰
湾东河	1050	6410	5360	170.032	28.229	137.50
银厂沟	1213	4298	3085	29.971	8.870	244.84
板板棚沟	2060	4690	2630	12.799	7.583	261.74

无论是湾东河,还是支沟银厂沟和板板棚沟,由于河(沟)道两侧的山坡坡度大,极有利于坡面物质的能量释放和转化,既有利于崩塌和滑坡的发育,又有利于松散固体物质向沟床集中;加之河(沟)床陡急,使坡面和沟床上的松散固体物质拥有强大的势能,遇到暴雨时,受坡面和沟谷径流激发,启动形成泥石流。

2.2 地质地貌条件

湾东河流域出露的地层主要有泥盆系(D)、二叠系(T)、三叠系(P),岩性以灰白色至深灰色块状白云岩、板岩和石英岩为主,此外还有石英砂岩、大理岩、千枚岩、闪长岩和花岗岩等。

该流域所在地区处于川滇南北向构造带北端,区内断裂密集。发育有 3 组大断裂:以大渡河断裂为主的南北向断裂,以鲜水河断裂(磨西断裂带为其南延部分)为主的北西向断裂,以玉农溪断裂为主的北东向断裂<sup>[2]</sup>。沿断裂发育的沟谷两岸岩石十分破碎,坡积物丰富,如穿过湾东河下游的磨西断裂,其破碎带宽度 30 ~ 120 m,最宽达 200 m,断裂带内岩体极度破碎,断层泥发育。闪长岩和花岗岩在构造裂隙切割下,完整性受到破坏,沿结构面易于发生错动和崩塌,为泥石流提供了众多大石块。石英砂岩、炭质板岩、大理岩、黑色砂板岩以及千枚岩岩体受断裂活动挤压后岩体十分破碎,极

易风化剥落形成细粒碎屑,有利于崩塌、滑坡的发育,同时提供大量的细粒物质。

湾东河流域主要受西北面的鲜水河地震带和南面的安宁河地震带的影响。1970 年至 2004 年 3 月记录到 2.0 M<sub>S</sub> 4.6 的现代小震共计 2 408 次。地震活动较强烈,地震烈度较大时可以诱发滑坡和崩塌,为泥石流提供物质来源。

贡嘎山主峰地区,第四纪以来的抬升幅度已达 5 000 m 左右<sup>[3]</sup>。地处贡嘎山东坡的湾东河流域,其整体上升幅度也不会太小。从而导致山坡陡峻,流水深切,沿山坡高陡临空面发育,致使岩体风化加快、裂隙发育,山坡稳定性差,为崩塌、滑坡等各种重力地质现象的发育提供了有利条件,也为泥石流发育提供了大量的松散固体物质。湾东河上游分水岭地带为贡嘎山现代冰川分布区的一部分,在河谷两侧和谷底留下了大量的冰碛物(含冰水堆积物),这些冰碛物成为了泥石流活动的主要松散固体物源。多数冰碛物堆积位置低,利于补给泥石流,或为山洪直接裹挟补给泥石流,或形成崩塌和滑坡,或堵塞沟道为泥石流提供固体物质补给。

2.3 水源条件

湾东河流域径流主要来源于降水、冰川、积雪融水及地下水补给,径流年内变化受降水和融雪控制。通过对湾东河邻近区域不同高程的气象站——磨西站和中科院贡嘎山站(海螺沟站)的降水观测资料分析可知,贡嘎山东坡地带降水丰沛,年降水量 1 030.83 ~ 1 963.97 mm,降水量随高度升高而增多明显,海拔 3 000 m 地带年降水量达 1 963.97 mm。年最大 24 h 暴雨均值 48.1 ~ 57.9 mm<sup>[4-5]</sup>。

由图 2 可知,该区域全年降水分布不均,在干季和湿季降雨量存在较大差异。即降水主要集中于夏半年,其中磨西站、贡嘎山站 6 ~ 8 月降水占全年降水量 55.62 % 和 47.48 %。降雨丰沛,有明显的雨季,外加高山冰雪融水。当发生暴雨时,极有可能激发泥石流等山地灾害活动,使得湾东河地区拥有泥石流发育所必须的水源条件。

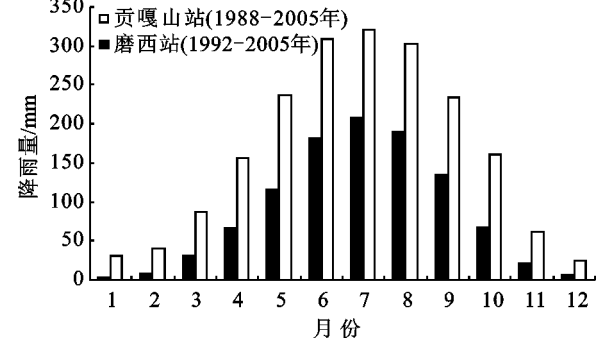


图 2 贡嘎山东坡多年月平均降雨量

2.4 人类活动

受地理条件和生活习惯的影响,当地的居民除砍伐树木作烧柴和建筑材料外,还在春季烧山施肥,并进行陡坡耕作。在银厂沟和飞水沟两侧都有坡度超过 30° 的耕地,使得水土流失严重,一旦遇暴雨,大量泥沙石块一起涌入沟里,导致泥石流的发生。当地居民伐木后,用顺山坡溜木的方式取木,形成的溜木槽由于受降雨汇水冲刷逐渐变宽变深,加快水流的汇流时间,最终演化为滑坡或崩塌,为泥石流的发生提供

固体物质来源,而一些树木滑落到沟中,造成沟道的堵塞,可能会造成堵河(沟)型泥石流的发生。

湾东河流域断裂密集,地热和水利资源丰富,在湾东下游河口已经和正在新建多处温泉浴池及其配套设施(如公路、度假村等),在河口还将新建电站。使得开挖坡脚,破坏原有植被以及随意堆放弃渣的现象多处存在,容易导致滑坡、崩塌,增加沟内松散固体物质,为加速泥石流的发育提供了条件。

3 泥石流特征

3.1 泥石流活动特征

(1)湾东河流域泥石流活动具有支沟的频率高、主河的频率低;河(沟)上游频率高、下游频率低的特点。湾东河主流流域面积大,有较强的水沙调节能力,上游支沟发生的较小规模的泥石流在中游就由于支流大量水体的汇入而变性为高含沙山洪,仅大规模的泥石流活动才能到达下游,大规模和特大规模的泥石流要 50~100 a 才活动一次,为低频率泥石流;银厂沟,中等规模的泥石流 10~20 a 发生一次,大规模和特大规模的泥石流 50~100 a 活动一次,为中频率泥石流;板板棚沟,中等规模的泥石流 20~30 a 发生一次,大规模和特大规模的泥石流 50~100 a 活动一次,属中-低频率泥石流。

(2)泥石流与滑坡活动联系密切,具有链发性和群发性的特点。湾东河流域发育有多处滑坡,其中银厂沟内有 4 处小型坡积层滑坡和 1 处崩塌,在湾东河下游左岸有 5 处滑坡(图 1)。泥石流发生严重的切割沟床坡脚,破坏植被,使得坡脚被淘空诱发滑坡、崩塌;而上游在大暴雨的激发下,凹型坡面内的土体饱水后突然起动,沿着基岩面向下快速运动,形成崩塌、滑坡,在运动中转化为泥石流向下流动,在山坡上留下长条状的侵蚀凹槽,最后泥沙停积在坡脚,形成倒石堆状的堆积体或直接进入沟道转化为沟谷泥石流<sup>[6]</sup>。滑坡、崩塌一方面为泥石流提供了大量的固体物质,另一方面较大的滑坡、崩塌往往压缩甚至堵断河(沟)道,一旦崩溃又对下游造成洪水乃至泥石流灾害,从而形成一个闭合的恶性灾害循环。

3.2 泥石流特征值的分析与计算

3.2.1 泥石流的性质及容重

湾东河流域的泥石流的堆积物中有巨石存在,且有明显的垄状堆积和石背石现象,如银厂沟沟口处有一长 160 m,宽 18.7 m,高差 10 m,坡度 9° 的老泥石流堆积物。流域出露的岩石中,层理(或片理)及裂隙发育,表层风化较为强烈,山坡上土层厚度一般可达 1 m 以上,并含有黏粒较多的细粒物质,在发生大暴雨的情况下,这些细粒物质集中而大量地顺坡进入沟道补给泥石流,使流体的浆体变得较浓稠。经过实地考察泥石流堆积物及样品数据分析得知,湾东河泥石流流体性质以过渡性为主,容重 1.7~1.9 t/m<sup>3</sup>,银厂沟和板板棚沟泥石流容重 2.0~2.3 t/m<sup>3</sup>,为黏性泥石流。

3.2.2 泥石流峰值流量<sup>[7]</sup>

泥石流峰值流量的计算采用配方法,即假定泥石流与暴雨洪水同频率并同时发生,计算断面的暴雨洪水设计流量全部变成泥石流流量。在计算过程中,还适当考虑沟道的堵

塞,乘以堵塞系数  $D$ ,计算公式如下:

$$Q_c = Q(1 + )D \tag{1}$$

式中: $Q_c$ ——设计泥石流峰值流量(m<sup>3</sup>/s);——泥石流修正系数, $= (r_c - r_w) / (r_s - r_c)$ ;  $r_c$ ——泥石流容重(t/m<sup>3</sup>);  $r_w$ ——水容重(t/m<sup>3</sup>);  $r_s$ ——泥沙比重(t/m<sup>3</sup>);  $D$ ——泥石流堵塞系数

表 2 不同频率下的泥石流主要特征值

河(沟)名	泥石流特征值	$P=3.3\%$	$P=2\%$	$P=1\%$	$P=0.5\%$
湾东河		949	1020	1183	1353
银厂沟	峰值流量/ (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	272	346	473	667
板板棚沟		109	139	190	268
湾东河	一次泥石流冲出	307	324	362	400
银厂沟	固体物质总量/ 万 m <sup>3</sup>	58	79	114	169
板板棚沟		24	33	49	71

3.2.3 泥石流输送固体物质量

一次泥石流冲出固体物质总量按下式计算:

$$V_s = C_v \cdot V_c = (r_c - r_w) V_c / (r_s - r_w) \tag{2}$$

式中: $V_s$ ——通过计算断面固体物质实体总量(m<sup>3</sup>);  $V_c$ ——泥石流径流量(m<sup>3</sup>)。

经过实地考察和计算,湾东流域各条泥石流不同频率下泥石流洪峰流量和一次泥石流冲出固体物质总量见表 2。

4 危险度评价

据 1 100 万《四川与重庆泥石流分布及危险度区划图》所示,湾东河流域地处泥石流最重度危险区<sup>[8]</sup>。在此本文再采用 MFCAM 模型对上述 3 条泥石流沟的单沟危险度进行计算,该方法选择了泥石流规模  $M$ 、泥石流发生频率  $F$  两个主要因子以及流域面积  $S_1$ 、主沟长度  $S_2$ 、流域相对高差  $S_3$ 、流域切割密度  $S_6$ 、不稳定沟床比例  $S_9$  等 5 个次要因子,共计 7 个评价因子的转换值进行危险度评价<sup>[9]</sup>。计算公式为

$$H_{\text{单}} = 0.29M + 0.29F + 0.14S_1 + 0.09S_2 + 0.06S_3 + 0.11S_6 + 0.03S_9 \tag{3}$$

指标取值及其转换值见表 3,4。将各评价因子转换值代入式(3),得到湾东河、银厂沟和板板棚沟的泥石流危险度值分别为 0.68、0.70 和 0.61,根据单沟泥石流危险度分级标准,上述 3 条沟的危险度值均在 0.6~0.8,属于高度危险的泥石流沟。

湾东河流域泥石流危险度高,但由于 1948 年、1976 年、1994 年血的教训,使得当地居民具有一定的防灾意识,住房大都建在较高位置,远离泥石流的直接威胁。但是一些新建温泉浴池(图 1)、公路和耕地位置较低,在泥石流的流通区或堆积区里,一旦发生泥石流,不是被冲毁就是被淤埋,并可能造成人员伤亡。

5 防灾减灾措施

湾东河及其支沟银厂沟和板板棚沟均属于高度危险的泥石流沟,虽然湾东河流域的人口较少,居民有一定的防灾意识,但防灾工作仍不能放松,防治工作应该以预防为主、防治结合的方法进行。

表 3 单沟泥石流危险度评价因子的转换函数

转换值(0~1)		转换函数( $m, f, s_1, s_2, s_3, s_6, s_9$ 为实际值)	
$M$	$M=0$ , 当 $m=1$ 时	$M=\lg m/3$ , 当 $1<m<1000$	$M=1$ 当 $m>1000$
$F$	$F=0$ , 当 $f=1$ 时	$F=\lg f/2$ , 当 $1<f<100$	$F=1$ , 当 $f>100$
$S_1$	$S_1=0.2458s_1^{0.3495}$	当 $0<s_1<50$	$S_1=1$ , 当 $s_1>50$
$S_2$	$S_2=0.2903s_2^{0.5372}$	当 $0<s_2<10$	$S_2=1$ , 当 $s_2>10$
$S_3$	$S_3=2s_3/3$	当 $0<s_3<1.5$	$S_3=1$ , 当 $s_3>1.5$
$S_6$	$S_6=0.05s_6$	当 $0<s_6<20$	$S_6=1$ , 当 $s_6>20$
$S_9$	$S_9=s_9/60$	当 $0<s_9<60$	$S_9=1$ , 当 $s_9>60$

表 4 MFCAM 模型评价因子实际值及其转换值

沟 名	项 目	泥石流规模/ ( $10^3\text{ m}^3$ )	发生频率/ %	流域面积/ $\text{km}^2$	主沟长度/ $\text{km}$	流域相对 高差/ $\text{km}$	流域切割 密度/ $\text{km}$	不稳定沟床 比例/ %
湾东河	实际值	3240	2	170.03	28.23	5.36	0.79	0.34
	转换值	1	0.15	1	1	1	0.4	0.57
银厂沟	实际值	790	2	29.97	8.87	3.09	1.52	1
	转换值	0.97	0.15	0.87	0.94	1	0.76	1
板板棚沟	实际值	330	2	12.8	7.58	2.63	1.38	0.87
	转换值	0.84	0.15	0.6	0.86	1	0.69	1

(1)加强雨季期间的雨量监测。引发泥石流灾害的主导因子是降雨,建议当地政府在流域内建立雨量观测站,通过监测暴雨来预报泥石流。培训当地老百姓,使其掌握简易的监测方法,做到群测群防。设计好泥石流发生时的避让路线,一旦发生危险,及时组织群众撤离<sup>[10]</sup>。

(2)根据当地人烟稀少的特点,避让搬迁费用远小于治理费用,结合四川省县、市地质灾害防治规划和新农村建设,由当地政府组织处于泥石流危险区的群众进行避让,搬迁至安全地带。

(3)湾东河流域生态环境脆弱,易于发生泥石流和滑坡等灾害。应通过封山育林、恢复植被,减少水土流失,减慢地表侵蚀速度,改变或控制泥石流的形成条件。同时加强林业管理,严格实行林木砍伐审批制度,引导当地居民改变生活习惯,尽量减少陡坡耕作、乱砍乱伐和烧山施肥,特别要减少溜木对坡面的破坏;减少集中砍伐,在砍伐的地方及时植树造林。对于工程以及旅游、道路等配套设施的建设应尽量与河(沟)道保持一定的距离。加强对环境的保护,减少环境的扰动,尽量避免对山体进行大开挖,对公路边坡进行支护,并建设排水系统;施工应设置弃土场,严禁弃渣乱堆乱倒<sup>[11]</sup>。工程建设中落实谁破坏谁治理的原则,做到人与自然、经济发展和环境保护的和谐发展,把泥石流的危害降到最低。

(4)湾东河流域水能资源丰富,对拟建水电站应加强挡水坝过流坝面及对引水隧道进口的防护,同时在坝上游适当位置建拦砂坝,拦截粗粒物质和漂木,固定沟床,防治泥石流对首部枢纽建筑物的破坏。电站引水压力管道可采用埋深的方法通过泥石流沟,埋深在泥石流冲刷深度以下,同时,在管道通过的段沟道内建固床坝,控制泥石流对沟道的侵蚀,管道上部建防护层,防止泥石流对管道冲刷<sup>[12]</sup>。

(5)湾东河地热资源丰富,一方面新建温泉浴池等项目要建在泥石流等山地灾害的危险区外,不能建在位置低处;

另一方面,对于湾东河内已有的温泉浴池,在雨季要加强对降雨的观测,在降雨时段不营业,人员也不能居住其中,其他季节营业期间也要注意安全。

参考文献:

[1] 王士革,谢洪,孔纪名,等.泸定县湾东水电站银厂沟、板板棚沟泥石流专题研究报告[R]. 2007:6-15

[2] 吕儒仁.贡嘎山东坡和北坡的山地灾害[J].山地研究, 1991,9(2):131-135.

[3] 陈富斌.横断山系新构造研究[M].成都:成都地图出版社,1992:42.

[4] 吕儒仁.贡嘎山区一次特大泥石流[J].冰川动土, 1992,14(2):174-177.

[5] 胡发德.四川贡嘎山地区的泥石流及其防治[J].水土保持通报,1985,5(5):37-41.

[6] 王士革.山坡型泥石流的危害与防治[J].中国地质灾害与防治学报,1999,10(3):45-48.

[7] 四川省水利电力厅.四川省中小流域暴雨洪水计算手册[M].1984.

[8] 钟敦伦,谢洪,韦方强,等.四川与重庆泥石流分布区划及危险度图[Z].成都:成都地图出版社,1997:4-7.

[9] 刘希林,莫多闻.泥石流风险评价[M].成都:四川科学技术出版社,2003:13-32.

[10] 陈晓清,崔鹏,陈斌如,等.海螺沟 050811 特大泥石流灾害及减灾对策[J].水土保持通报,2006,26(3):122-126.

[11] 陈廷方,崔鹏.人类活动与泥石流灾害及山区土地砂石化[J].水土保持研究,2005,12(5):83-85.

[12] 贾海波,石豫川,吉峰,等.某水电站库区泥石流灾害特征及其防治对策[J].水土保持研究,2007,14(1):111-112.