

# 川西地区低频率泥石流的特征

林明安<sup>1,2</sup>, 王士革<sup>1</sup>, 范晓岭<sup>3</sup>, 卢钺昀<sup>4</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 资源与环境学院 北京 100049; 3. 北京城建勘测设计研究院有限责任公司, 北京 100101; 4. 中国土木工程集团有限公司, 北京 100038)

**摘要:** 泥石流按其暴发频率分为高频率(每年发生一次或多次)、中频率(数年至 30 a 发生一次)和低频率(30 a 以上发生一次)泥石流 3 类。低频率泥石流具有暴发周期长, 规模大, 危害严重等基本特点。选取川西地区不同频率的泥石流沟道进行对比研究, 结果表明, 该区低频率泥石流还具有两个典型特征: 低频率泥石流流域具有植被覆盖度高, 不良地质现象数量少且规模小的特点; 低频率泥石流在侵蚀过程中以沟床冲刷为主且侵蚀速度快, 泥沙输移比高。关于低频率泥石流上述两点特征的研究, 对泥石流的预防和治理有重要指导意义。

**关键词:** 泥石流; 低频率; 特征; 川西地区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)01-0227-05

中图分类号: P642.23

## Characteristics of Low-frequency Debris Flow in Mountain Area of Western Sichuan Province

LIN Ming-an<sup>1,2</sup>, WANG Shi-ge<sup>1</sup>, FAN Xiao-ling<sup>3</sup>, LU Cheng-yun<sup>4</sup>

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu, Sichuan 610041, China; 2. Department of Resources and Environment, Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Beijing Urban Construction Exploration & Surveying Design Research Institute Co., LTD., Beijing 100101, China; 4. China Civil Engineering Construction Corporation, Beijing 100038, China)

**Abstract:** Debris flow can be divided into three types according to its outbreak frequency: high-frequency (one or many times in a year), medium-frequency (one time in several to 30 years), and low-frequency (one time in more than 30 years). Low-frequency debris flow often burst fiercely without any anticipation and cause serious harm. Based on the analysis of the data from debris flow gullies with different outbreak frequencies, the characteristics of low-frequency debris flow are summarized. Watersheds with Low-frequency debris flow are characterized by high vegetation coverage and a small number and small-scale of adverse geological phenomena. The groove bed scour of low-frequency debris flow is dominant and erosion rate and sediment transport capacity are high. Understanding the characteristics of low-frequency debris flow has important significance in guiding debris flow prevention.

**Keywords:** debris flow; low-frequency; characteristics; Western Sichuan Province

泥石流按照暴发频率可分为高频率(每年发生 1 次或多次)、中频率(数年至 30 a 发生 1 次)、低频率(30 a 以上发生 1 次)泥石流 3 类<sup>[1]</sup>。低频率泥石流具有暴发周期长, 规模大和危害重等基本特点。川西地区位于四川省西部, 地处青藏高原东南缘, 地面海拔 4 000~4 500 m。该区地质构造复杂, 地震活跃, 地势起伏大, 降水集中, 泥石流、滑坡、崩塌等地质灾害活动频繁, 特别是低频率泥石流灾害, 已成为制约

当地经济发展的瓶颈。本文选取川西地区不同频率的泥石流沟道进行对比研究, 结果表明, 该区低频率泥石流与中高频泥石流在流域特征以及泥石流的侵蚀特征上有明显差异。

### 1 川西地区泥石流形成条件

川西地区位于青藏高原与四川盆地两大地貌单元的结合部位, 具有山高谷深, 地形陡峻, 区域性深大

收稿日期: 2009-03-18

修回日期: 2009-07-21

资助项目: 水利部公益性行业科研专项经费“岷江上游滑坡泥石流溃坝洪水监测与防御”(200801032); 国家自然科学基金项目“非集中固体物质补给的低频率泥石流形成机理研究”(40871054)

作者简介: 林明安(1984—), 男(汉族), 山东省曹县人, 硕士研究生, 主要从事泥石流防治研究。E-mail: lma@sogou.com.

通信作者: 王士革(1950—), 男(汉族), 四川省阆中县人, 研究员, 学士, 研究方向为山地灾害及防治。E-mail: wsg@im.de.ac.cn.

断裂发育,地壳抬升强烈,岩层破碎,降雨集中等特征,是我国泥石流极度活跃区域和重度危险区域。

### 1.1 区域地貌条件

川西山地按地貌类型可以分为川西北强烈隆起高山高原区和川西南上升山地区 2 个大区,前者又可分为龙门山断裂褶皱强烈侵蚀斜坡式中山区、贡嘎山构造强烈侵蚀极高山区、雅砻江构造侵蚀深切河谷山原区、沙鲁里山侵蚀剥蚀丘状高原区、金沙江东岸构造侵蚀高山峡谷区、岷江邛崃山构造侵蚀脊状高山区、红原若尔盖构造剥蚀沼泽化平坦高原区及石渠色达构造剥蚀丘状高原区等 8 个小区;后者又可分为小相岭凉山构造侵蚀中山山原区和西昌盐源构造侵蚀宽谷盆地中山区 2 个小区。

该区境内山脉绵延,山体高大,雄伟俊俏,主要山脉与江河相间并列,南北贯通。自东至西有:岷山山脉、龙门山山脉、邛崃山脉、大雪山脉等。岷江、大渡河、雅砻江和金沙江受山脉走向控制,呈南北向发育,侵蚀切割强烈,形成高山峡谷地貌,谷狭坡陡,一般切割深度达 1 500~2 500 m。随着干流侵蚀基准的降低,其支流水系也剧烈侵蚀下切,沟道短小、陡急,跌坎多,沟谷多为“V”字型峡谷,山坡坡度多在 30°~50°以上,坡面稳定性差。尤其是在活动性断裂带和地震带,极易发生崩塌、滑坡,为泥石流的形成提供了有利条件<sup>[2]</sup>。

### 1.2 区域地质条件

川西山地位于我国 3 大构造域之一的特提斯—喜马拉雅构造域,在四川境内大致以北川—汶川—康定—小金河为界,以西是松潘—甘孜褶皱系和三江褶皱系(槽区),为冒地槽型沉积。西部槽区构造线多为北西和北北西向,或呈向南凸出的弧形褶皱。

从全国地震分布区域来看,川西地区位于青藏高原北部地震区,地震活动强烈,频率高,历史上多次发生强烈地震,对山坡稳定性、岩层以及岩体完整性造成严重破坏。

该区内出露地层从元古界到新生界都有,川西北部高原及中部以中生代三叠系(T)地层分布最广,主要是古生界的陆源碎屑—火山碎屑岩、碳酸盐岩及三叠系西康群。川西山地从岷江上游的茂县、松潘至青衣江上游的宝兴及其西南地区,广泛分布着前震旦系、志留系、泥盆系的片岩、千枚岩、板岩,这些出露于中高山区的软弱岩石,一方面,抗风化能力弱,易风化成岩屑、岩块堆积在斜坡、冲沟地段;另一方面这些软弱岩层又常常构成斜坡变形破坏的滑动面或边界。在这些岩石分布的地区,常常孕育滑坡,成为泥石流的固体物质来源<sup>[3-4]</sup>。

### 1.3 区域水源条件

在全国气候分区中,将川西南山地划分为中亚热带,川西高原和川西中部高山峡谷区划分为青藏高原气候区。川西北高原年降水量在 600~800 mm,川西中部年降水量明显的由东往西逐渐减少,从 800 mm 以上减至 400 mm 以下,最西部的金沙江部分地区不足 400 mm,为全省最少雨区。降水量季节变化大,冬干夏雨,雨季各月降水量分布较均匀,常从 5 月下旬或 6 月上旬开始,6—9 月份是雨季,各月降水量相近,川西南山地多在 150~200 mm 左右,川西中部、北部 100~150 mm 左右。川西南山地日降雨强度多在 100~170 mm 左右,川西北高原日降雨强度多在 40~60 mm。川西的这种冬干夏雨降雨特点,再加上山地气候的垂直差异性,极易形成高强度暴雨,往往成为泥石流的主要激发因素。

## 2 川西低频率泥石流的流域特征

低频率泥石流流域同中高频率泥石流流域都具有泥石流形成的基本条件,但是在植被覆盖情况,不良地质现象的规模上差异较大。

### 2.1 川西低频率泥石流流域植被覆盖度相对较高

川西低频率泥石流沟道植被覆盖度相对较高,一般大于 70%,水土流失轻微。如四川甘洛利子依达沟,流域面积 24.32 km<sup>2</sup>,流域内自然植被好,林地占全流域面积的 91.3%,在缓坡和高台上有少量耕地,水土流失较轻微。相反,高频率泥石流沟道植被覆盖度相对较差,在 10%~20%之间,几乎全为裸露的荒山秃岭,水土流失严重(芦花沟除外,因该沟自 1958 年以来,经过人工造林,封山育林,流域覆盖度达 68%)。如哈尔木沟,流域面积 6.4 km<sup>2</sup>,处于杂谷脑河中下游,由于交通便利,森林采伐较为强烈。目前流域内只有海拔 2 900 m 以上有少量桦木林,海拔 3 100~3 200 m 以上才有成片森林存在,海拔 2 900 m 以下山坡部分生长有稀疏灌丛或草被,大部分为荒山秃岭,大于 25°的陡坡耕地比比皆是,植被覆盖度较低(表 1)<sup>[5,12]</sup>。

### 2.2 低频率泥石流沟道的不良地质现象数量少,规模小

低频率泥石流沟道不良地质现象数量少,规模小,其物质补充周期相对较长。如同处雅安市石棉县境内的海流沟和出路沟,都属大渡河流域,沟口直线距离不到 5 km,区域地质构造相同,但流域地质构造差别较大,不良地质现象在规模和数量上有很大差别。出路沟主沟长 19.55 km,流域面积 76.17 km<sup>2</sup>,在流域中上游有大渡河断裂、磨西断裂、大发断裂、银

屏山—小金河断裂等几条区域性的大断裂穿越, 此外还发育有众多小断层, 岩体破碎, 不良地质现象以滑坡为主, 有基岩滑坡、浅表层滑坡等, 其中最大的足富村滑坡方量可达  $3.30 \times 10^7 \text{ m}^3$ , 最小的水打坝滑坡也有  $3.13 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。

而海流沟主沟长 13.42 km, 流域面积  $61.24 \text{ km}^2$ , 仅有黄草山断裂穿越上游, 发育有 4 条小断层, 规模不大, 据实地考察, 其沟道未发现大规模滑坡, 崩塌虽然较多, 但规模不大, 并无十分明显的泥石流固体物质集中补给区。

表 1 低频率同中高频率泥石流沟道特征对比

沟谷名称	频率	流域地质概况	地层岩性	不良地质现象及规模	植被覆盖
利子依达沟	低频	川滇南北向构造带北段东部扬子地台北缘, 乌斯河向南延伸的区域性正断层将流域分为东西两个半块。	全为震旦系地层, 主沟下部主要为下震旦统中基性火山岩和紫红色长石石英砂岩, 东部主要为砂岩、砾岩、泥岩、白云质灰岩及白云岩。	沿断层两侧崩落的巨石为该沟巨砾的主要来源, 主沟两侧崩塌、滑坡在沟床内堆积了大量松散固体物质。	自然植被好, 林地占全流域面积的 91.3%, 在缓坡和高台上有少量耕地, 水土流失轻微, 上游沟岸较稳定, 已长幼树。
佛堂坝沟	低频	无大的断裂带穿过, 小断裂较为发育, 规模较小, 发育有小的构造裂隙。	岩性较为单一, 以元古代晋宁—澄江期第四期花岗岩为主。	岩性坚硬, 风化较弱, 山坡陡峻, 坡面松散碎屑堆积物较少, 主要为基岩崩塌, 颗粒粗大, 在沟道长期积累。	植被覆盖度在 80% 以上。
海流沟	低频	位于康滇地轴北段, 黄草山断裂穿越上游, 发育有 4 条小断层, 规模不大。	出露岩石以澄江期花岗岩为主, 其次为三叠系上统白果湾组的砂岩、泥岩和灰岩等。	无大规模滑坡, 崩塌虽较多, 但规模较小, 没有发现其固体物质集中补给区, 其物质主要来自偶尔的崩塌以及坡面水土流失的物质。	自然植被较好, 覆盖度在 85% 以上。
出路沟	高频	位于康滇地轴北段, 发育有多条区域性大断裂, 还存在众多小断层。	以泥盆系下统地层为主, 主要为沉积岩、变质岩等。	主要存在断裂带滑坡、基岩滑坡、浅表层滑坡, 又有潜在滑坡体、古泥石流台地、人工堆积物等, 且规模巨大。	植被覆盖度相对较差。
芦花沟	高频	断裂带穿过整个流域。	三叠系砂岩地层。	主要以滑坡、崩塌、溜滑为主, 并且随着溯源侵蚀的加剧, 两岸滑坡崩塌规模增大, 数量增加。	植被覆盖度较高。
哈尔木沟	高频	位于松潘—甘孜褶皱带东部, 受强烈构造运动作用, 岩层极度褶皱, 形成断裂, 熊尔山逆断层斜穿流域中上游。	出露岩石以中生代浅变质岩为主, 岩性为千枚岩类结晶灰岩、千枚岩类石英岩、变质砂岩、灰岩、页岩等。	崩塌、滑坡活动强烈, 沿沟两侧山坡发育有 5 个大滑坡, 滑坡体面积 $1.16 \text{ km}^2$ , 占流域面积 18%, 其前缘均已进入沟床, 按每年输入杂谷脑河物质总量计算, 足够泥石流活动 350~700 a。	植被覆盖度仅 20% 左右。

### 3 川西低频率泥石流的侵蚀特征

泥石流的侵蚀方式主要包括坡面径流侵蚀、斜坡重力侵蚀和沟床冲刷侵蚀 3 类, 侵蚀方式决定着泥石流的固体物质来源。川西低频率泥石流同高频率泥石流相比较, 其泥石流侵蚀方式和侵蚀速度方面表现差异较大。

#### 3.1 侵蚀方式以沟床冲刷侵蚀为主

泥石流侵蚀方式分析, 云南东川蒋家沟及盈江浑水沟高频泥石流斜坡重力侵蚀作用明显, 其主要固体物质来自斜坡重力侵蚀, 平均占泥石流侵蚀方式的 91%, 仅有 9% 为坡面径流侵蚀和沟床冲刷侵蚀作用; 而川西山地的汉罗沟、中沟、利子依达沟、陆王沟、干溪沟等低频率泥石流沟, 其侵蚀方式主要来自沟床

的冲刷侵蚀作用,平均占到泥石流侵蚀方式的 85%,而且坡面径流侵蚀较小,仅占 1%(图 1)。

由此可见,低频率泥石流形成的固体物质来源主要来自沟床冲刷侵蚀作用,其侵蚀方式以沟床冲刷侵蚀为主。该类泥石流在罕见的暴雨洪水作用下,河床的冲刷侵蚀破坏河床的粗化层,发生溃决性迁移,可在极短的时间内将河床下切数米至 10 m 余,发展成为规模巨大的泥石流。

如四川甘洛利子依达沟,流域面积 24.3 km<sup>2</sup>,1981 年 7 月暴发特大泥石流,其沟道内地质条件较好,植被覆盖率高,斜坡重力侵蚀及坡面径流侵蚀作用不大,其物质来源主要来自沟床冲刷侵蚀作用,占

70%左右,沟床被下切数米,一些地方由于沟道冲刷而存在基岩出露。

### 3.2 侵蚀速度快

低频率泥石流暴发后,瞬间对沟道地貌条件改变较大,具有侵蚀速度快的特点。经比较,选取了一次泥石流过程输沙量与流域面积的比值和输移比(流域输沙量同流域内侵蚀量之比)两个特征来表现泥石流流域侵蚀速度的快慢。

前者是对单位面积上的侵蚀量的一种间接体现,后者则直接表示了泥石流的侵蚀速度。一次泥石流过程输沙量与流域面积的比值和输移比越大,泥石流侵蚀速度也就越快。

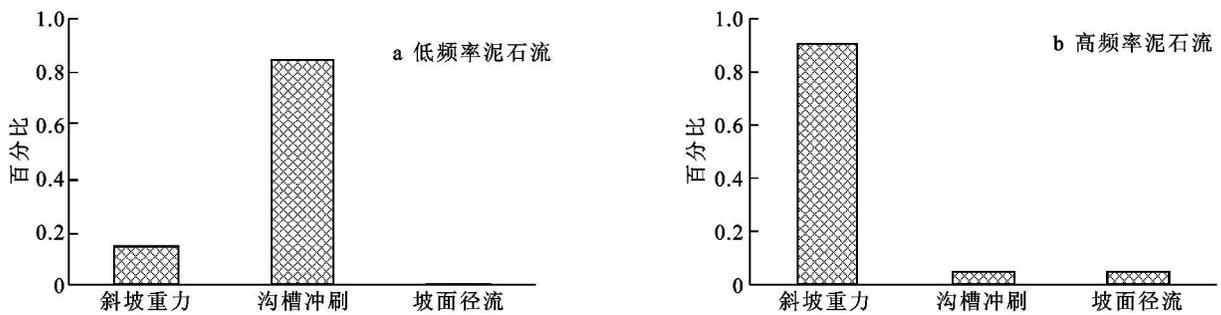


图 1 低频率与高频率泥石流侵蚀方式作用比较

表 2 不同频率泥石流沟侵蚀方式及一次泥石流过程输沙模数与输沙比

频率	沟名	流域面积/ km <sup>2</sup>	发生时间	不同侵蚀方式的比例			一次泥石流过程输 沙量与流域面积比 值/(10 <sup>4</sup> t · km <sup>-2</sup> )	一次泥石 流过程输 沙量/10 <sup>4</sup> t	同次降雨 的侵蚀量/ 10 <sup>4</sup> t	泥沙输 移比
				斜坡 重力	沟床 冲刷	坡面 径流				
高频率 泥石流	东川蒋家沟	47.10	19650706	0.90	0.05	0.05	0.04	2.00	2.07	0.97
			19660625	0.87	0.09	0.04	0.17	8.00	8.43	0.95
			19750704	0.93	0.03	0.04	0.30	14.00	14.86	0.94
			19760608	0.91	0.04	0.05	0.62	2.80	2.81	1.00
	盈江浑水沟	4.50	19770709	0.91	0.04	0.05	1.69	7.60	7.68	0.99
			19780729	0.93	0.03	0.04	2.09	9.40	10.07	0.93
低频率 泥石流	泸沽汉罗沟	2.90	19750512	0.19	0.80	0.01	9.13	26.48	5.30	5.00
	西昌中沟	18.00	19570629	0.16	0.83	0.01	5.30	95.40	13.30	7.17
	甘洛利子依达沟	24.32	19810709	0.29	0.70	0.01	9.15	222.60	55.65	4.00
	雅安陆王沟	2.40	19791102	0.04	0.95	0.01	11.00	26.50	7.95	3.33
	雅安干溪沟	10.10	19791102	0.04	0.95	0.01	4.46	45.05	12.60	3.58

注:① 数据来自康志成《中国泥石流研究》<sup>[13]</sup>原表,并作适当修改。② 文中选取云南的观测资料进行对比分析,主要原因是云南的泥石流观测资料齐全,可信度高;加之四川、云南在我国泥石流分布上同属川滇横断山地泥石流严重区域,都具有新构造运动强烈,断裂发育,山高谷深坡陡,滑坡发育,崩塌严重,雨季有充沛的降水,且多暴雨,地震强烈而频繁,泥石流形成的大尺度环境相近等特点,资料具有可对比性。

统计资料中可以发现,低频率泥石流的一次泥石流过程输沙量与流域面积的比值远大于高频率泥石流,有些甚至为高频率泥石流的数十倍,一般大于  $4 \times 10^4$  t/km<sup>2</sup>,高频率泥石流其值最大的为云南盈江

浑水沟 1978 年 7 月 29 日暴发的泥石流,也仅为  $2.23 \times 10^4$  t/km<sup>2</sup>。

高频率泥石流的输移比普遍接近于 1.0,这说明高频率泥石流每年的流域侵蚀量稍大于输沙量,基本

上处在一个平衡的状态;低频率泥石流输移比最大的为四川西昌的中沟,1957年6月29日暴发的泥石流,达7.17,最小的四川雅安陆王沟也达到了3.0。低频率泥石流这种输移特征与其具有间歇期密切相关。在间歇期内,常年流水仅带走流域侵蚀作用的小部分泥沙,大部分泥沙及其大颗粒物在沟道中沉积,其输移比要小于1.0;当泥石流暴发时,掀揭沟道内多年积累的固体物质,输沙量要远大于同次降雨产生的侵蚀量,输移比较大(图2)。

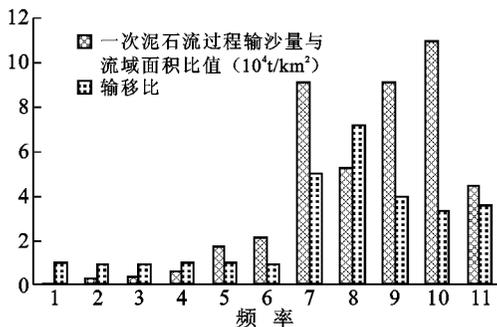


图2 不同频率泥石流沟在一次泥石流过程中的输沙量与流域面积比值及输移比

注:高频:1,2,3为云南蒋家沟,4,5,6为云南浑水沟;低频:7~11分别为汉罗沟、中沟、利子依达沟、陆王沟、干溪沟。

## 4 结论

川西地区由于其特殊的地理位置和气候条件,是泥石流、滑坡、崩塌等山地灾害的多发区。研究该区泥石流的特点,特别是低频率泥石流的特征,对今后泥石流的预警预报和治理都具有重要的指导意义。本文选取川西地区典型泥石流沟道进行对比研究,结论有以下两点。

(1) 该区的低频率泥石流具有区域植被覆盖度高,不良地质现象数量少且规模小的特点。高频率泥石流区域植被覆盖度一般在都30%以下(除个别进行特殊生态保护的区域,植被覆盖度要高些);但是,低频率泥石流区域植被覆盖度一般都在80%以上,好的区域植被覆盖度甚至可达到90%。

(2) 该区低频率泥石流在侵蚀过程中以沟床冲刷为主且侵蚀速度快,泥砂输移比高。高频率泥石流沟道的侵蚀方式以斜坡侵蚀为主,一般平均占侵蚀方

式的90%;但是低频率泥石流沟道的侵蚀以沟床冲刷为主,一般平均占侵蚀方式的85%。另外,高频率泥石流沟道的泥沙输移比一般在1.0左右,换言之高频率泥石流沟道的泥沙侵蚀量和泥沙搬运量基本处于平衡状态;但是,低频率泥石流沟道的泥沙输移比一般在3.0~7.0,即常年的流水仅仅带走了很少一部分泥沙,大部分泥沙在沟道内积累,作为下一周期泥石流暴发的固体物质储备。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所. 中国泥石流[M]. 北京: 商务印书馆, 2000: 364-365.
- [2] 唐邦兴, 柳素清, 刘世建, 等. 川西北地区山地灾害成因分析[C]//首届全国泥石流滑坡防治学术会议论文集. 昆明, 1993.
- [3] 符文熹, 聂德新, 任光明, 等. 川西泥石流分布特征与防治原则研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1998, 9(1): 41-46.
- [4] 段丽萍, 郑万模, 李明辉, 等. 川西高原主要地质灾害特征及其影响因素浅析[J]. 沉积与特提斯地质, 2005, 25(4): 95-98.
- [5] 李德基, 吕儒仁, 唐邦兴, 等. 四川甘洛利子依达沟泥石流及其防治[C]//全国泥石流防治经验交流会论文集. 重庆, 1982.
- [6] 谢洪, 钟敦伦. 岷江上游汶川县佛堂坝泥石流特征及危险性分区[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(4): 30-33.
- [7] 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所. 海流沟地质灾害研究[R]. 2005.
- [8] 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所. 出路沟地质灾害研究[R]. 2005.
- [9] 邓胜强, 张勤, 罗增益, 龙头石水电站出路沟泥石流灾害地质工程评价[J]. 盐城工学院学报: 自然科学版, 2006, 19(3): 56-59.
- [10] 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.
- [11] 张金山, 王士革, 孟国才, 等. 黑水县芦花沟泥石流灾害治理现状与建议[J]. 山地学报, 2006, 24(2): 181-185.
- [12] 谢洪, 韦方强, 钟敦伦. 哈尔木沟泥石流形成剖析[C]//第四届全国泥石流学术讨论会论文集. 兰州, 1994.
- [13] 康志成, 李焯芬, 马蔼乃, 等. 中国泥石流研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 189.