

大渡河色斯满沟泥石流形成条件及风险性评价

曹水合¹, 王运生¹, 王亚群², 狄鹏涛¹

(1. 成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059;
2. 中国水电顾问集团 北京勘测设计研究院, 北京 100024)

摘要: 色斯满沟为大渡河上游右岸一级支流, 由于该沟在历史上曾发生过泥石流, 因此其沟口处水电站工程的安全问题成为关注焦点。通过野外详细调查和室内综合分析, 探讨了该沟泥石流基本特征和形成条件, 并进行了风险性评价。研究探明: 色斯满沟主要出露燕山期花岗岩, 风化程度低, 但末次冰碛物发育, 沟口堆积扇主体形成于晚更新世末次冰期; 全新世以来, 因水源条件发生了较大变化, 以低频泥石流为主; 在极端降雨、地震及沟道等多因素耦合条件下, 色斯满沟可暴发大规模堵溃式泥石流。对色斯满沟进行泥石流风险评价, 结果为高度风险泥石流沟。

关键词: 色斯满沟; 泥石流特征; 形成条件; 工程效应; 风险性评价

中图分类号: P642.23 文献标识码: A 文章编号: 1672-1683(2014)03-0152-04

Formation Mechanism and Risk Assessment of Debris Flow in Sesiman Gully of Daduhe River

CAO Shui he¹, WANG Yun sheng¹, WANG Ya qun², DI Peng tao¹

(1. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Hydrochina Beijing Engineering Corporation, Beijing 100024, China)

Abstract: Sesiman gully is the main tributary at the right bank of upstream of Daduhe River. Debris flow occurred in the gully, thus the security of hydropower station at the gully entrance is an important problem. In this paper, on the basis of field investigations and comprehensive laboratory analysis, the formation conditions and risk assessment of debris flow in the Sesiman gully were discussed. The results showed that (1) the host rock of Sesiman gully is Yanshanian granite which has low weathering degree, but the glacial till is well developed and the main deposit fan at the gully entrance was formed in Last Glacial of Late Pleistocene; (2) the hydrologic conditions have varied significantly with the occurrence of low frequency debris flow since Holocene; and (3) a huge dam breaking debris flow can occur under the conditions of earthquake and extreme rainfall. The risk assessment results of debris flow in the Sesiman gully indicated that the gully has high risk of occurrence of debris flow.

Key words: Sesiman gully; debris flow characteristics; formation conditions; engineering effect; risk assessment

色斯满沟为大渡河上游右岸一级支流, 主要由南北两条支沟构成, 沟域面积 57.4 km², 沟口高程 2 092 m, 沟源高程 4 440 m, 主沟纵长 16.5 km, 沟床平均比降 177.65‰。色斯满泥石流沟是一个老泥石流沟, 调查发现该沟与上游高频的八步里泥石流沟^[1]不同, 近代发生频率较低, 沈波、马东涛等^[2]也认为色斯满沟在未来一定时期内暴发泥石流的规模是逐年减小的。但是该沟口存在的较大堆积扇, 却难以有合理解释。鉴于色斯满沟位于拟建安宁水电站坝址上游 300 m, 其潜在的泥石流活动对拟建水电站的安全建设和运行产生具有重要的工程效应^[3]。因此, 查明泥石流形成条件^[4]、分析其成因机理^[5]及特征, 并对其进行风险性评价。

1 泥石流形成条件分析

1.1 地形地貌

色斯满沟沟域地形总体上属深切切割构造侵蚀低山、中山和中高山地形。主沟沟谷深切, 主要沟谷段呈“V”型和局部沟段呈“U”型; 支沟发育, 坡降变化大, 但分布不对称, 常年流水支沟主要分布于主沟右岸; 沟谷侵蚀切割强烈, 岸壁陡峻, 一般坡度 35°~55°。沟域内人类活动较少, 植被覆盖率较高(表 1)。沟域内总体上地形陡峻, 地形临空条件发育。

1.2 地层岩性及物源

色斯满沟沟域内出露的地层岩性主要有: 侏罗纪花岗岩

收稿日期: 2013-12-05 修回日期: 2014-04-22 网络出版时间: 2014-05-08

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.03.032.html>

基金项目: 中国地质调查局项目“西南历史强震触发重大滑坡调查与机理研究”(1212011220156)

作者简介: 曹水合(1989-), 男, 河南尉氏人, 硕士研究生, 主要从事地质灾害防治与区域稳定性评价研究。E-mail: caoshuihe2008@163.com

表1 主要沟道特征

Table 1 Basic information of the major gully

沟道名称	面积 / km ²	沟道长度 / km	平均纵坡 (%)	泥石流分区	植被覆盖率 (%)
主沟	57.4	16.53	177.65	—	92
1号	3.82	2.2	179	流通区	97
2号	3.87	2.1	225	流通区	98
3号	2.03	2.8	386	形成区	98
4号	1.47	2.5	363	形成区	96
南支沟	12.24	4	245	形成区	93
5号	7.65	1.4	341	形成区	90

体,分布于流域1号沟与主沟交汇上游段;侏倭组中-厚层灰深灰色变质长石石英砂岩、板岩,主要出露于沟域1号沟与主沟交汇至下游段。此外,沟域内广泛分布第四系堆积物,包括冰水堆积物、泥石流堆积物、冲洪积物、残坡积物、崩坡积层等。泥石流堆积物和冲洪积物主要分布于沟道、沟口堆积区,以碎块石为主,黏土含量低;冰水堆积物主要分布于海拔较高的冰水台地区,主要由碎块石土或黏性土夹碎块石组成。松散堆积物结构松散,稳定性差,为泥石流的发生提供了物源条件。据野外调查(表2),泥石流堆积物源以冰碛物为主,占总物源量84%,其次为沟道物源、坡面物源及崩滑物源。区域对比揭示,冰碛物为末次冰期冰盛期的产物,间冰段及冰川消融期冰融水丰富,因此晚更新世晚期为固体物源主要输出期。进入冰后期,沟内冰川消失,物源产出以粗颗粒崩滑及坡面物源为主。

表2 物源特征

Table 2 The material sources

物源类型	物源总量/万 m ³	物源动储量/万 m ³
崩滑物源	23.6	8.4
沟道物源	90.8	28.3
坡面物源	241.3	7.3
冰碛物源	1 810.6	286.5
总计	2 166.3	330.5

1.3 地质构造与地震活动

在大地构造部位上,色斯满沟位于甘孜-松潘地槽褶皱系之二级构造单元巴颜喀拉褶皱带的东南部,西为鲜水河断裂带,东为龙门山断裂带,北为秦岭断裂带所围限的三角形地块。该沟流域位于区域二级褶皱嘎伍岭倒转背斜的SW翼,三级褶皱莫莫扎倒转背斜的NE翼。右岸近沟口段岩层产状为NE30°∠60°~88°,范围变化较大。区域地震动峰值加速度为0.1g,地震动反应谱特征周期为0.4s,地震基本烈度为Ⅷ度。

1.4 水源条件

色斯满沟支沟发育,水系呈树枝状,且分布不对称,大部分支沟分布于沟域南部,沟域北部支沟较少且较短。沟谷上游及各支沟纵坡很大,陡涨陡落的山溪水流有利于地表降水的径流和汇集。据测定,色斯满沟下游枯期流量为1.0~2.8 m³/s,而雨季则可达到3.0~3.6 m³/s。

据前人研究^[6,7],西南地区降雨丰沛地区多年平均降雨量随高程变化的梯度一般为75~85 mm/100 m,金川地区降

雨特点是金川沿大渡河向下游(丹巴)降雨量逐渐较少。由于工作区距金川较近,因此,取降雨梯度值80 mm/100 m。而根据金川地区小时降雨强度^[8]平均值17.5 mm与多年平均降雨量675 mm,可知多年平均降雨量大致为小时雨强平均值的38倍,因此,大致确定小时雨强随高程变化梯度为2.1 mm/100 m。色斯满沟源高程4 440 m,沟口高程2 092 m,相对高差约2 348 m,沟口小时雨强取金川地区小时雨强平均值17.5 mm,按照前述小时雨强随高程变化梯度,沟域最高点雨强66.8 mm,推算色斯满沟域小时雨强平均42.1 mm。

1.5 泥石流成因分析

据调查,色斯满沟上游沟源发育巨厚的末次冰期冰碛物,面积达4.65 km²。根据海子山超固结土计算^[9],当时冰川冰层厚度350~400 m,如此规模的冰体,冰期气候波动形成的冰融水足以触发较大规模泥石流。联系大渡河深厚覆盖层研究成果^[10]和钻孔编录资料,可以将沟口堆积扇分为两个形成时期:主体为晚更新世冰川泥石流堆积及冰后期冰川消融期泥石流,扇体上部及扇顶浅层为全新世泥石流及冲洪积堆积。

扇体主体部分碎屑成分以沟域内燕山期花岗岩为主,堆积时间在1万~2万年前。扇体以漂砾砾石夹砂为主,黏土矿物所占比例小于11%(据沟口钻孔资料)。即使在冰川活动的强烈的冰盛期,该沟仍为稀性过渡性泥石流,而且堆积物颗粒的风化程度低。这是由于沟域内广泛出露的燕山期花岗岩的形成年代较新,岩体的完整性及强度较高,加之高寒地带以物理风化为主。

全新世以后,沟源冰川消失,沟内虽有巨量的松散物源,但堆积物大多为颗粒支撑的架空结构,渗透系数即入渗系数大,降雨通过覆盖层渗透部分进入岩土体转化成地下水,在第四系覆盖区难以形成大的坡面流,洪峰强度大大降低,洪峰出现的时间被大大延缓,发生泥石流的概率有所降低,只有出现堵溃事件或极端暴雨时才有可能诱发泥石流,且在强度及频度上远不及末次冰盛期。

2 泥石流运动特征参数计算

2.1 泥石流容重

依据《泥石流灾害防治工程勘察规范》^[11](DZ/T 0220-2006)中的附表G,色斯满沟泥石流易发程度数量化评分为85分,为轻度易发,查得泥石流重度 $v_c=1.586 \text{ t/m}^2$ 。

2.2 泥石流流速

色斯满沟泥石流为稀性泥石流,采用稀性泥石流计算公式^[11]对该沟的泥石流流速进行计算:

$$V_c = \frac{1}{\sqrt{v_h \Phi + 1}} \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad (1)$$

式中: V_c 为泥石流断面的平均流速(m/s); Φ 为泥沙修正系数; $1/n$ 为清水河床糙率系数,查《铁路桥渡勘测设计规程》(TBJ 1786),本次采用12.5; v_h 为泥石流固体物质重度; R 为水力半径(m),这里使用计算断面处的水深 H 代替; I 为水力坡度(%),使用计算断面处的沟床纵坡代替。由公式(1)计算得到不同暴雨频率下主沟平均流速见表3。

2.3 泥石流峰值流量

依据《四川省中小流域暴雨洪水计算手册》^[12] 所附暴雨资料,参考降雨随高程的变化关系,采用该手册公式:

$$Q_p = 0.278\phi sF \quad (2)$$

式中: Q_p 为暴雨洪峰流量(m^3/s); ϕ 为径流系数; s 为小时雨强(mm/h); F 为汇水面积(km^2)。

泥石流峰值流量计算公式:

$$Q_c = (1 + \Phi)Q_p D_c \quad (3)$$

式中: Q_c 为泥石流断面峰值流量(m^3/s); D_c 为堵塞系数。由公式(2)、公式(3)计算得到暴雨洪峰流量与泥石流峰值流量结果见表 3。

表 3 泥石流运动特征参数

Table 3 The motive parameters of debris flow

设计频率(%)	10	5	3.3	2	1
$V_l/(m \cdot s^{-1})$	5.80	6.08	6.57	6.03	5.46
$Q_p/(m^3 \cdot s^{-1})$	481.8	372.4	300.7	218.7	146.0
$Q_c/(m^3 \cdot s^{-1})$	1 405.7	880.8	658.1	460.0	294.5
$Q_l/万 m^3$	191 290.8	79 907.5	52 238.7	31 295.0	13 356.8
$Q_H/万 m^3$	92 747.0	29 057.3	15 829.9	8 535.0	3 238.0

2.4 一次泥石流过程流量

一次泥石流过流总量和一次泥石流固体冲出物计算参照《泥石流灾害防治工程勘查规范》(DT/T 0220-2006)附录 I 提供的计算公式进行计算:

$$Q = KTQ_c \quad (4)$$

式中: Q 为一次泥石流过流总量; K 为与流域面积相关系数; T 为泥石流持续时间。

一次泥石流固体冲出物计算公式:

$$Q_H = Q(V_c - V_w)/(V_b - V_w) \quad (5)$$

式中: Q_H 为一次泥石流固体冲出物总量(m^3); V_w 为水的重度(t/m^3)。由式(4)、式(5)计算得到一次泥石流过流总量与固体冲出物总量结果见表 3。

3 泥石流风险性评价

泥石流风险性评价包括危险性评价和易损性评价,本文采用刘希林^[13,14]提出的单沟泥石流风险度评价模型进行风险性定量评价。

3.1 泥石流危险度评价

色斯满沟曾在 20 世纪 20 年代、1962 年和 1992 年暴发过泥石流,根据现场调查及历史资料推断泥石流发生频率 3.3%。由表 3 可知其规模为 52 238.7 m^3 ,其他指标数据由现场调查和计算得到。根据单沟泥石流危险度评价模型:

$$H = 0.28M + 0.29F + 0.14S_1 + 0.09S_2 + 0.06S_3 + 0.11S_6 + 0.03S_9 \quad (6)$$

式中: H 为单沟泥石流危险度(0~1 或 0%~100%); 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 的转换值(表 4)。危险度 H 的分级标准为:极低危险(0~0.2)、低度危险(0.2~0.4)、中度危险(0.4~0.6)、高度危险(0.6~0.8)、极高危险(0.8~1)。

由公式(6)计算得到为 0.54,属中度危险的泥石流沟。

表 4 危险度评价因子和转换函数及其转换值

Table 4 Transformation functions and transformed values for assessment factors of debris flow hazard

评价因子	初始值	转换因子	转换函数	转换值
m 泥石流规模/ $10^3 m^3$	52.2	M	$m \leq 1$ 时, $M = 0$; 当 $1 < m \leq 1000$ 时, $M = \lg m/3$; 当 $m > 1000$ 时, $M = 1$	0.572 6
f 泥石流发生频率(%)	3.3	F	$f \leq 1$ 时, $F = 0$; 当 $1 < f \leq 100$ 时, $F = \lg f/2$; 当 $f > 100$ 时, $F = 1$	0.259 3
s_1 流域面积/ km^2	57.4	S_1	$0 < s_1 \leq 50$ 时, $S_1 = 0.2458 \times s_1^{0.3495}$; $s_1 > 50$ 时, $S_1 = 1$	1
s_2 主沟长度/ km	16.5	S_2	$0 < s_2 \leq 10$ 时, $S_2 = 0.2903 \times s_2^{0.5372}$; $s_2 > 10$ 时, $S_2 = 1$	1
s_3 流域相对高差/ km	2.1	S_3	$0 < s_3 \leq 1.5$ 时, $S_3 = s_3/3$; $s_3 > 1.5$ 时, $S_3 = 1$	1
s_6 流域切割密度/(km^{-1})	0.55	S_6	$0 < s_6 \leq 20$ 时, $S_6 = 0.05 \times s_6$; $s_6 > 20$ 时, $S_6 = 1$	0.027 5
s_9 不稳定沟床比例(%)	30	S_9	$0 < s_9 \leq 60$ 时, $S_9 = s_9/60$; $s_9 > 60$ 时, $S_9 = 1$	0.5

3.2 泥石流易损度评价

泥石流易损度反映了泥石流致灾对象的社会、经济和环境属性,不同时期都有所变化。因此,对水电站建设施工期和运行期,分别进行易损度评价。

根据单沟泥石流易损度计算公式:

$$V = [0.5(FV_1 + FV_2)]^{0.5} \quad (7)$$

$$FV_1 = 1 / \{1 + \exp[-1.25(\lg V_1 - 2)]\} \quad (8)$$

$$FV_2 = 1 - \exp(-0.0035V_2) \quad (9)$$

$$V_1 = I + E + L \quad (10)$$

$$V_2 = (a + b + r)D/3 \quad (11)$$

式中: V 为单沟泥石流易损度(0~1 或 0%~100%); V_1 为财产指标(万元); FV_1 为财产指标的转换函数赋值(0~1); V_2 为人口指标(人/ km^2); FV_2 为人口指标的转换函数赋值(0~1); I 为物质易损度指标(万元); E 为经济易损度指标

(万元); L 为土地资源价值(万元); a 为 65 岁及以上老人和 15 岁以下少年儿童的比例; b 为只接受过初等教育及以下人口比例; r 为人口自然增长率(‰); D 为人口密度(人/ km^2)。泥石流易损度 V 的分级标准为:极低易损(0~0.2)、低度易损(0.2~0.4)、中度易损(0.4~0.6)、高度易损(0.6~0.8)、极高易损(0.8~1)。

在建设施工期,泥石流主要威胁对象为施工人员和器械设备。根据主体工程工期 45 个月,施工人员安排 $a = 0$; $b = 0.3$; $r = 0$; $D = 400$ 人/ km^2 ,由公式(9)和公式(11)计算得到 $FV_2 = 0.13$ 。根据水电工程单位千瓦静态投资 13 095 元/ kW ,电站装机容量 382 MW, $V_1 = 500 229$ (万元),由公式(8)计算得到 $FV_1 = 0.99$;由公式(7)得到施工期色斯满沟泥石流易损度 $V_c = 0.84$,即施工期色斯满沟泥石流为极高易损。

在电站运行期,泥石流主要威胁对象为电站工程及常驻

人员。运行期间人员安排: $a = 0$; $b = 0.1$; $r = 0$; $D = 10$ 人/ km^2 , 由公式(9)和公式(11)计算得到 $FV_2 = 0.001$ 。根据水电站多年平均发电量 15.69 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$, $V_2 = 62760$ (万元), 由公式(8)计算得到 $FV_1 = 0.97$; 由公式(7)得到色斯满沟泥石流易损度 $V_r = 0.70$, 即运行期色斯满沟泥石流为高度易损。

3.3 泥石流风险度评价

根据单沟泥石流风险度计算公式:

$$R = H \times V \quad (12)$$

泥石流风险度 R 的分级标准: 极低风险(0~0.04)、低度风险(0.04~0.16)、中度风险(0.16~0.36)、高度风险(0.36~0.64)、极高风险(0.64~1)。

对水电站建设施工期和运行期分别计算, 得到施工期 $R_s = 0.45$ 和运行期 $R_r = 0.38$, 即水电站施工期和运行期色斯满沟均为高风险泥石流沟。

4 结论

通过对色斯满沟泥石流的形成条件、成因机理分析以及风险性评价得到以下几点结论。(1)色斯满沟沟域的地貌条件、地质构造环境、物源条件、水源条件均有利于泥石流的形成, 因此一旦各个有利因素叠加, 就存在再次发生泥石流的危险性;(2)沟口堆积扇主要分两个时期形成: 主体由晚更新世冰川泥石流堆积及冰后期冰川消融泥石流, 扇体上部及扇顶浅层为全新世泥石流及冲洪积堆积而成;(3)高寒山区中生代侵入岩分布区发育的主要是低频稀性泥石流;(4)色斯满沟属轻度易发泥石流沟, 但沟口处在重要工程部位, 其风险性评价结果为高度风险泥石流沟。参考泥石流运动特征以及风险性评价结果, 建议做好泥石流监测预警措施及治理工程, 保证水电站建设期人员及设备的安全。

参考文献(References):

- [1] 张桂香, 王士革, 孟国才, 等. 四川省金川县八步里沟泥石流灾害治理现状及对策[J]. 水土保持研究, 2006, 13(2): 131-133. (ZHANG Guixiang, WANG Shige, MENG Guocai, et al. The Controlling Actuality and Countermeasure of Debris Flow in Babuli Gully of Jinchuan County[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2006, 13(2): 131-133. (in Chinese))
- [2] 沈波, 马东涛, 王亚群. 四川阿坝州色斯满泥石流沟判定及防治工程建议[J]. 人民长江, 2013, (7): 44-46. (SHEN Bo, MA Dongtao, WANG Yaqun. Suggestions on Identification of Sesiman Debris Flow and Preventive Measures of Aba Area of Sichuan Province[J]. Yangtze River, 2013, (7): 44-46. (in Chinese))
- [3] 杨日昌, 魏云杰. 西南某水电站旦波北沟泥石流形成条件及运动特征研究[J]. 工程地质学报, 2011, 19(4): 511-515. (YANG Rìchang, WEI Yúnjie. Formation and Dynamic Characteristics of Danbobei Gully Debris Flows Near Hydropower Station in Southwestern China[J]. Journal of Engineering Geology, 2011, 19(4): 511-515. (in Chinese))
- [4] 覃怡, 郑洪春. 都江堰八一沟 8·13 泥石流的形成条件分析[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(4): 101-104. (QIN Yi, ZHENG Hongchun. Initiation Conditions For The 8.13 Debris Flows in Bayi Gully of Dujiangyan[J]. South To North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(4): 101-104. (in Chinese))
- [5] 倪化勇, 郑万模, 唐业旗, 等. 汶川震区文家沟泥石流成灾机理与特征[J]. 工程地质学报, 2011, 19(2): 262-270. (NI Huayong, ZHENG Wánmó, TANG Yèqí, et al. Mechanism and Characteristics of Wenjia Gully Debris Flow in Epicenter Area of Wenchuan Earthquake[J]. Journal of Engineering Geology, 2011, 19(2): 262-270. (in Chinese))
- [6] 伍立群, 李学辉. 高山地区年降水量随高程变化分析[J]. 云南地理环境研究, 2004, 16(2): 4-7. (WU Lìqún, Lǐ Xuèhuī. Analysis on Change of Annual Precipitation With Altitude in High Mountain Areas[J]. Yunnan Geographic Environment Research, 2004, 16(2): 4-7. (in Chinese))
- [7] 金栋梁. 水文要素与高程的关系(1987年)[J]. 水资源研究, 2006, (S1): 83-88. (The Relationship Between Hydrological Elements and Elevation(1987)[J]. Journal of Water Resources Research, 2006, (S1): 83-88. (in Chinese))
- [8] 四川省水文水资源勘测局. 四川省暴雨统计参数图集[Z]. 成都地图出版社, 2010. (Hydrology and Water Resources Survey Bureau in Sichuan. Album of Rainstorm Statistic Parameters in Sichuan[Z]. Chengdu Cartographic Publishing House, 2010. (in Chinese))
- [9] 李天华, 蒋发森, 谢春庆, 等. 川西海子山超固结土工程地质特性及成因机理研究[J]. 路基工程, 2012, (2): 1-5. (Lǐ Tiānhuá, Jiāng Fāsen, Xiè Chūnqìng, et al. Research on Engineering Geological Characteristics and Genetic Mechanism of Over Consolidated Soil at Haizi Mountain in the West of Sichuan[J]. Subgrade Engineering, 2012, (2): 1-5. (in Chinese))
- [10] 许强, 陈伟, 金辉, 等. 大渡河流域河谷深厚覆盖层特征与发育分布规律研究[J]. 第四纪研究, 2010, (1): 30-36. (XU Qiāng, CHÉN Wèi, JIN Huī, et al. Characteristics and Distribution of Thick Overburdens Along The Dadu River Valley[J]. Quaternary Sciences, 2010, (1): 30-36. (in Chinese))
- [11] DZ/T 0220-2006, 泥石流灾害防治工程勘察规范[S]. (DZ/T 0220-2006, Specification of Geological Investigation For Debris Flow Stabilization[S]. (in Chinese))
- [12] 四川省水利电力厅. 四川省中小流域暴雨洪水计算手册[K]. 1984. (Sichuan Province Water Conservancy and Electric Power Department. Manual Calculation of Storm Flood in Small Basin in Sichuan Province[K]. 1984. (in Chinese))
- [13] Liu X. Assessment On The Severity of Debris Flows in Mountainous Creeks of Southwest China[C]. Germany: Carol Isch Partenk Irenchen, 1996.
- [14] 刘希林, 莫多闻. 泥石流风险及沟谷泥石流风险度评价[J]. 工程地质学报, 2002, 10(3): 266-273. (LIU Xīlín, Mò Duōwén. Debris Flow Risk And Site Specific Debris Flow Risk Assessment[J]. Journal of Engineering Geology, 2002, 10(3): 266-273. (in Chinese))
- [15] 石菊松, 吴树仁, 张永双, 等. 应对全球变化的中国地质灾害综合减灾战略研究[J]. 地质论评, 2012, 58(2): 309-318. (SHI Jùsōng, WU Shùrén, ZHANG Yǒngshuāng, et al. Integrated Landside Mitigation Strategies Study For Global Change in China[J]. Geological Review, 2012, 58(2): 309-318. (in Chinese))