

初咱磨子沟泥石流特征及危险性评价研究

王高峰¹, 唐川², 王洪德¹, 高幼龙¹

(1. 中国地质调查局 水文地质环境地质调查中心, 河北 保定 071051;

2. 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)

摘要:泥石流的爆发势必对居民的生命财产安全带来直接危害, 因此研究该泥石流沟的动力学特征及预测评价其危险性对合理制定泥石流防治措施, 确保工程运行具有重要意义。根据泥石流形成条件及发育特征分析, 初咱磨子沟再次爆发泥石流的可能性较大; 在该沟进行实地调查所获资料的基础上, 对其泥石流的动力学特征进行计算, 并利用所选取的 14 个评价因子采用层次分析法对其危险性做了定量评价。研究发现, 该沟泥石流的危险度为 65.75, 属高度危险, 研究结果可为初咱磨子沟泥石流防治工程及防灾减灾提供可靠的依据。

关键词:初咱磨子沟; 泥石流; 动力学特征; 危险性评价

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)04-0234-05

Characteristics and Hazard Assessment of Debris Flows in Chuzanmozigou Catchment

WANG Gao-feng¹, TANG Chuan², WANG Hong-de¹, GAO You-long¹

(1. Center for Hydrogeology and Environmental Geology Survey, China Geology

Survey, Baoding, Hebei 071051, China; 2. State Key Lab of Geo-hazard Prevention and Geo-environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: The occurrence of debris flows in this catchment directly threatens the safety of the local people. Study on the dynamic character and its hazard assessment are the necessary prerequisite for the control schemes of debris flow and the safety function of the engineering. In terms of the characteristic of debris flow and the forming condition analysis, it was highly possible that debris in this catchment would occur once more; based on the field investigation data of Chuzanmozi catchment, the dynamic parameters were calculated, the risk of debris flow was evaluated by using the selection of 14 evaluation factors calculated by using AHP, results indicated that the risk degree of debris flows in the catchment was 65.75, belonging to highly hazardousness, which could provide basis data for debris flow mitigation in Chuzanmozigou catchment.

Key words: Chuzanmozigou catchment; debris flow; dynamic character; hazard assessment

泥石流是发生在山区的一种常见的地质灾害现象, 具有极强的破坏性, 每年造成的人员伤亡和经济损失都很大^[1]。近些年来, 人类为满足自身的需求而不断向自然界索取资源, 使得山区原本就较为脆弱的生态环境遭到严重破坏, 导致泥石流发生的频率越来越高、成灾越来越严重, 泥石流一旦成灾, 会进一步破坏区域生态环境平衡, 同时加剧水土流失及荒漠化进程, 严重阻碍山区经济的发展和生态建设。

初咱磨子沟位于四川省康定县巴底舍联乡境内, 大渡河左岸, 距离上游拟建长河坝坝址约 8 km。据当地居民介绍, 初咱磨子沟曾发生过大的泥石流灾害, 并造成大渡河局部堵江。根据现场调查, 经过数

次泥石流灾害, 大渡河受到一定程度的挤压并向右岸偏移。由于该泥石流沟出口堆积扇平台作为长河坝电站主体工程的临时移民安置区和施工人员临时营地, 如果初咱磨子沟再次发生大型泥石流, 势必对当地居民及其后续施工人员的生命财产、交通安全构成一定的威胁。

因此, 预测及评价该泥石流沟的发展趋势及危险性对合理制定必要的泥石流防治措施, 确保长河坝顺利施工具有重要意义。本研究在分析泥石流发育特征及泥石流形成条件的基础上, 对该泥石流动力学特征进行分析计算, 并评价泥石流的危险性, 提出相应的防治措施。

1 初咱磨子沟自然地质条件

1.1 地形地貌

初咱磨子沟沟道两岸地形陡峻,属典型的高山峡谷地貌,流域内山体坡度大、高差悬殊、山体破碎、土质松软,沟谷为深切的“V”型河谷,下游沟谷窄而陡,跌坎较发育,跌水现象明显。流域内最高海拔高程约 4 180 m,在海拔 1 435 m 处汇入大渡河,流域高差达 2 745 m,流域面积约 16.95 km²,主沟长约 7 890 m。沿沟有 5 条支沟,与主沟交汇处地势宽阔、较平坦,有利于汇水。泥石流沟形成区、流通区、堆积区沟床比降分别为:398.1‰,216.2‰,135.1‰,总体平均比降为 307.4‰,从而构成了泥石流形成的地形条件(图 1)。初咱磨子沟沟谷上游两侧坡面陡峭、中下游坡度多在 30°左右,坡体的固体物质容易汇集于沟道内,风化的松散碎屑物易于积累,斜坡上的松散残积物多处于极限平衡状态,一遇暴雨激发,便形成泥石流。同时在该地形条件下坡面水流容易迅速下泄集中于沟道内,为泥沙启动提供了良好的动力条件。

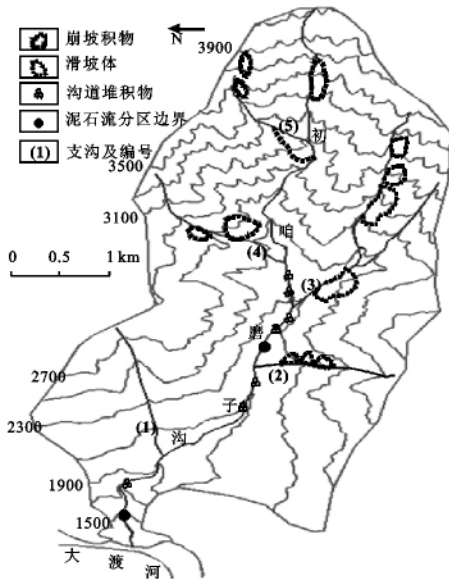


图 1 初咱磨子沟泥石流流域简图

1.2 地质构造与地层岩性

初咱磨子沟位于昌昌断裂的东侧,紧邻西侧的红锋断裂,发育的次级构造以小规模断层破碎带和小型挤压错动带、岩脉、节理裂隙为主。流域内出露地层元古界前震旦系石门坎组(P_{ts})变质流纹岩、变质石英砂岩夹千枚岩和震旦系上统(Z_b)中厚层状白云岩、结晶灰岩、千枚岩、花岗岩、闪长岩。岩体较坚硬完整,但由于本区地层经受了多次的构造活动改造,节理裂隙发育,风化卸荷作用强烈,加之该沟山高坡陡,使沟道两岸滑坡、崩塌较发育,为泥石流的形成提供

了较多的物源基础。

通过野外实地勘察,结合对流域范围内 0.5 m 分辨率遥感影像对该流域内的物源分为滑坡体、崩塌积体和沟床堆积物 3 种类型进行解译,结果见表 1。流域内大部分物源集中分布在形成区,占总物源量的 69%,在形成区沟道的右侧主要以崩塌积物物源为主,面积为 0.89~18.98 万 m²,厚度 2.8~4.3 m;左侧主要以滑坡堆积物源为主,面积 2.58~4.87 万 m²,平均厚度为 6.7 m。流通区主要以小型崩塌积物物源及沟道堆积物为主(图 1)。在雨水冲刷下,极易将松散物质带入主沟沟道内,成为泥石流物源。

表 1 初咱磨子沟泥石流物源统计

物源类型	滑坡体	崩塌积体	沟床堆积物	合计
贮量/10 ⁴ m ³	221.31	168.29	8.07	397.67

1.3 气象条件

降水是泥石流发生的主要诱发和动力因素,一方面降水浸泡坡脚松散物质,使得坡面的表层土体失稳,易产生滑坡、崩塌;另一方面降水冲刷沟道两岸的松散堆积体,使得沟道两岸的松散固体物质不断进入沟道,增加了固体物质的来源^[1-2]。根据当地气象部门提供的(1961—2002 年)降水资料分析,平均年降雨量在 642.9 mm,该区域降雨量年内分配不均匀,多集中在 5—9 月,占全年降水量的 85%以上,平均年最大日降水量在 65.9~72.3 mm 之间。据谭炳炎^[3]研究,四川省 24 h,1 h,10 min 可能发生泥石流的雨量临界值分别为 60,20,10 mm。按照此标准,该沟已具备泥石流发生对雨量的基本要求。另外流域地处高山地区,在降水量集中的时间,也是冰川温度最高的季节,冰川内部冷储随之减小,使得冰川内部冻结能力减小、消融较快,冰川含水量增大、运动加快,也为泥石流的形成提供了部分水源。

1.4 植被及人类活动

初咱磨子沟流域内植被总体上较发育,2 600 m 高程以上寒冻风化一带植被发育相对较差,人类工程活动以耕地、放牧为主,且集中在区域下游,中上游区域几乎无人类活动。

2 初咱磨子沟泥石流发育特征

初咱磨子沟泥石流的分区特征明显,主要可分为形成区、流通区及堆积区(图 2)。

(1) 形成区。主要指主沟沟道高程 2 200 m 以上的区域,沟长 4.17 km,集水面积约 9.72 km²,约占整个流域面积的 57%。受高海拔气候影响,该区域物理风化作用较强烈,基岩大面积裸露,植被不发

育。受岩性和构造控制和影响,基岩中节理、裂隙发育,沟道侵蚀作用强烈,沟道后缘坡面上多形成深切冲沟。岩体在物理、冻融风化作用下极易产生崩塌、剥蚀,形成松散物质堆积在坡面较缓处。这些物质在雨水冲刷下,沿冲沟而下,将其带入主沟沟道内,成为泥石流物源。主支沟交汇处附近,主沟沟道相对较开阔,沟道坡降相对较平缓,仅为 151.2‰。非强降雨条件下,主、支沟内上游经洪水携带处的松散物质多在此处堆积,因此该处沟道堆积物源比较丰富。

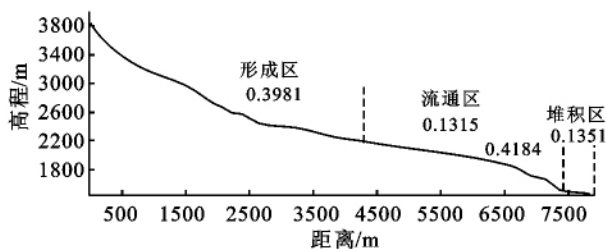


图 2 初咱磨子沟泥石流剖面简图

(2) 流通区。流通区沟谷以“V”形为主,沟谷狭窄,谷宽一般为 7~16 m,沟道曲折多拐,沟谷内常年有流水。沟床谷坡中下部坡度较陡,植被较发育,多为浅草、杂灌类,部分区段有基岩出露,谷坡上部相对较缓,坡度 15°~30°,表层覆盖第四系残坡积体,厚度较大,结构为中密~密实状,稳定性好。流通区明显分为两个区段,高程 1 900~2 220 m 为流通区上段,沟道走向除了在高程 2 060 m 处略向西北偏转外,整体相对较顺直;上段纵坡降相对较小,均坡降仅为 131.5‰,远小于形成区整体坡降,从地形坡度看,一般情况下该段的加速功能不明显。由于沟谷狭窄、顺直,在强降雨条件下,沿途众多小支沟、冲沟能够迅速将雨水汇集至沟道中,补充的强大的水动力,大大增强了泥石流的携带能力,为搬运大粒径孤石奠定基础。沟底高程 1 500~1 900 m 为流通区下段,该段沟道曲折,几成“Z”字形,平均坡降约 418.4‰,且沟谷狭窄,最窄处不足 4 m,沿途跌坎发育,且较陡直,最高跌坎高度达 15 m 左右。由于此处沟道曲折多拐,在泥石流暴发运动过程中,一旦巨石卡口,导致泥石流堵塞,将积聚巨大的能量,其溃决后,将向下游携带更多的物质。这是导致初咱磨子沟泥石流呈黏性、阵发性流量较大的重要原因。

(3) 堆积区。堆积区总体呈扇状,长约 480 m,面积约 0.19 km²,平均坡降为 135.1‰,地势较为平坦,初咱磨子村座落在沟口堆积扇上。村民多居住在沿扇体中前部沟道右岸修建的房屋中,左岸仅有几户人家。目前仅在扇体右侧边缘及沟道内有少量乔灌木类植物生长,堆积扇表面多被当地居民垦为耕地。据

当地村民介绍,1988 年泥石流发生时,冲出了许多粒径 1~2 m 大块石,造成大渡河局部堵塞,因为初咱磨子沟口正处于大渡河急弯凹岸部位,遭受河水冲刷作用较为强烈,当时的泥石流堆积物质几被河水冲刷殆尽,现已很难见巨粒块石,仅在扇体前缘可见少量块碎石堆积。块碎石成分主要为花岗岩、闪长岩,一般呈棱角状或次棱角状,粒径以 6~20 cm 居多。堆积区沟道宽 26 m,深 6 m,据老乡介绍,1988 年泥石流发生之前,堆积区沟道仅 1 m 宽左右,1988 年泥石流发生时,沟道两侧岩土体被泥石流冲刷、携裹至大渡河内,遂形成现在宽达 26 m 的沟道。

3 初咱磨子沟泥石流力学特征

3.1 泥石流容重

由于没有直接测得天然泥石流容重,故只能采用经验法来确定。即通过访问当地居民,较客观地采用现场水土比进行试验,得出的水土比例为 5.5 : 4.5,按下式计算泥石流容重:

$$\gamma_c = (\gamma_s f + 1) / (f + 1) \quad (1)$$

式中: γ_c ——泥石流容重(t/m³); γ_s ——固体物质密度(取 2.65 t/m³); f ——泥石流中固体物质体积和水的体积之比。计算得泥石流容重为 1.90 t/m³,为粘性泥石流。

3.2 泥石流流速

泥石流的流速是泥石流重要的动力学参数之一。它不仅反映了泥石流的强度、规模和流体性质,而且决定着防治泥石流工程建筑物的类型、结构和尺寸。目前所采用的各种计算式大多是经验性的,使用时要结合地区特点综合考虑。本文采用周必凡等^[4]提供的通用流速的计算公式:

$$V_c = \frac{1}{n_c} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

式中: V_c ——泥石流流速(m/s); n_c ——粘性泥石流流速沟床粗糙率(查表获得 1/ n_c 取 15); R ——水力半径(m); I ——泥石流水力坡度(‰)。根据式(2)计算,初咱磨子沟泥石流的流速为 7.85 m/s。

3.3 泥石流流量

根据初咱磨子沟气象特征,采用雨洪法计算其流量,假设泥石流与暴雨同频率、且同步发生,先按水文方法计算出断面不同频率下的小流域暴雨洪峰流量,然后选用堵塞系数,按下式计算泥石流流量^[4-5]:

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

式中: Q_c ——频率为 P 的泥石流洪峰值流量(m³/s); Q_p ——频率为 P 的暴雨洪水设计流量(m³/s);

φ ——泥石流泥沙修正系数, $\varphi = (\gamma_c - \gamma_w) / (\gamma_H - \gamma_c)$; γ_c ——泥石流容重 (t/m^3); γ_w ——清水的重度 (t/m^3), 为 1.0 的固体物质重度; γ_H ——泥石流中固体物质重度 (t/m^3); D_c ——泥石流堵塞系数。按照雨洪法, 利用泥石流流量公式计算所得的泥石流最大流量如表 2 所示。

表 2 初咱磨子沟泥石流最大流量计算结果

项目	计算结果	
流域面积 F/km^2	16.95	
沟长 L/km	7.89	
平均坡降 $J/\%$	307.4	
泥沙修正系数 φ	0.94	
设计频率 $p/\%$	2	5
暴雨洪峰流量 $Q_p/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	39.56	30.82
泥石流洪峰流量 $Q_c/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	204.01	119.66

3.4 一次泥石流过程总量

一次泥石流总量 Q 可通过计算法和实测法确定。实测法精度高, 但因往往不具备测量条件, 只是一个粗略的估算。计算法根据泥石流历时 $T(\text{s})$ 和最大流量 $Q_c(\text{m}^3/\text{s})$, 按泥石流暴涨暴落的特点, 将其过程线概化成五角形, 按下式计算^[6]:

$$Q = K T Q_c \tag{4}$$

一次泥石流冲出的固体物质总量 $Q_H(\text{m}^3)$

$$Q_H = \frac{Q(\gamma_c - \gamma_w)}{(\gamma_H - \gamma_w)} \tag{5}$$

根据公式(5), 在计算频率为 20 a 一遇的情况下, 初咱磨子沟一次泥石流冲出的最大固体物质总量为 $11\,843\text{ m}^3$; 在计算频率为 50 a 一遇的情况下, 一次泥石流冲出的最大固体物质总量为 $21\,452\text{ m}^3$ 。

4 初咱磨子沟泥石流危险度评价

泥石流危险度的评价方法很多, 本文采用单沟泥石流危险度评价方法^[7-9]。单沟泥石流危险度评价涉

及到多个因素的综合, 供选取的指标较多, 而且众多指标中有很多重复内容, 若选取带有重复内容的因子参与评价, 各指标间无被过滤的信息, 会使评价结果与实际情况差距很大。本文根据朱静^[7]等选取的泥石流危险度评价因子及铁永波等^[9]根据层次分析法在单沟泥石流危险度评价中的应用所选取的 14 个二级指标为依据, 同时根据该沟的实际调查情况及资料分析, 对个别危险度评价因子的赋值进行调整, 然后对初咱磨子沟进行危险度评价。在这 14 个评价因子中: 一次泥石流最大出量 (C_{10}) 与主沟平均比降 (C_5) 为主要危险因子, 泥沙补给段长度 (C_1)、流域面积 (C_2)、主沟长度 (C_3)、流域相对高差 (C_4)、流域切割密度 (C_6)、松散固体物资储量 (C_7)、主沟弯曲系数 (C_8)、形成区山坡平均坡度 (C_9)、泥石流暴发的频率 (C_{11})、最大 24 h 降雨量 (C_{12})、植被覆盖率 (C_{13})、人口密度 (C_{14}) 等共 12 项为次要因子。泥石流沟的危险度计算步骤为: 首先通过权重用层次分析法对 14 个评价因子进行赋值(表 3); 然后在评价过程中, 将各个指标按照一定的标准进行打分赋值(表 4); 最后将各个指标的赋值和相应的权重 (W_{ci}) 相乘既可求出泥石流危险度值 (R)。

泥石流危险度评价的模型为:

$$R = \sum_{i=1}^n (B_i \times W_{ci}) \tag{6}$$

式中: R ——泥石流危险度值; B_i ——各评价因子的定量赋值; W_{ci} ——各评价因子的权重。

结合对该沟的现场调查计算得出泥石流 14 个危险因子指标值(表 5), 根据式(6)计算得出初咱磨子沟泥石流的危险度 R 为 65.75, 按照危险度分级标准: 泥石流危险度低 ($R < 30$)、泥石流危险度中等 ($30 < R < 65$)、泥石流危险度高 ($65 < R < 130$)、泥石流危险度极高 ($R > 130$), 可知初咱磨子沟属于高度危险的泥石流沟, 与实地调查初咱磨子沟泥石流的定性结果吻合。

表 3 泥石流危险度评价因子的权重系数

危险因子	W_{C1}	W_{C2}	W_{C3}	W_{C4}	W_{C5}	W_{C6}	W_{C7}
权重	0.1026	0.0976	0.1613	0.2521	0.4265	0.1269	0.3989
危险因子	W_{C8}	W_{C9}	W_{C10}	W_{C11}	W_{C12}	W_{C13}	W_{C14}
权重	0.1169	0.2829	0.5178	0.2237	0.3484	0.1124	0.1038

5 结论与防治建议

初咱磨子沟泥石流为多期爆发的老泥石流沟, 其类型为粘性泥石流。根据其流域特点及地层岩性、地质构造、气象条件等形成条件和动力学参数计算分析, 得出该沟仍具有再次爆发泥石流的可能性较大,

易发程度极高, 基于层次分析法的泥石流危险度评价原则计算结果表明, 初咱磨子沟泥石流为一高度危险的泥石流沟。为确保下游人民群众的生命财产安全及长河坝建设顺利施工运营, 建议对该泥石流沟实行以治为主, 以防为辅的防治对策, 实施生物和土建工程综合治理既可基本上抑制区域内泥石流灾害的发

生,同时加强防治工程的检查监督和泥石流发展趋势的监测预报。建议采取以下防治与预防措施。

表 4 泥石流危险度评价因子及赋值

危险因子	分类及赋值			
	小	中	大	极大
泥沙补给段长度比(C_1)	<0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	>0.6
赋值	1	2	4	6
流域面积(C_2)/ km^2	<0.5	0.5~10	10~35	>35
赋值	1	2	3	4
主沟长度(C_3)/km	<1	1~5	5~10	>10
赋值	1	7	14	21
流域相对高差(C_4)/km	<0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	>1.5
赋值	1	9	18	27
主沟平均比降(C_5)	<0.10	0.10~0.15	0.15~0.20	>0.20
赋值	1	13	26	39
流域切割密度(C_6)/km	<5	5~10	10~20	>20
赋值	1	6	12	18
松散固体物质储量(C_7)/ 万 m^3	<50	50~150	150~300	>300
赋值	1	12	24	36
主沟弯曲系数(C_8)	<1.10	1.10~1.20	1.20~1.30	>1.30
赋值	1	5	10	15
形成区山坡平均坡度(C_9)/ $^\circ$	<30	30~40	40~50	>50
赋值	1	10	20	30
一次泥石流最大冲出量(C_{10})/ 万 m^3	<1	1~10	10~100	>100
赋值	1	14	28	42
泥石流暴发的频率(C_{11})	<20	20~50	50~80	>80
赋值	1	8	16	24
最大 24 h 降雨量(C_{12})/mm	<50	50~100	100~150	>150
赋值	1	11	22	33
植被覆盖率(C_{13})/%	>50	50~30	30~20	<20
赋值	1	4	8	12
人口密度(C_{14})/(人· km^{-2})	<50	50~100	100~200	>200
赋值	1	3	6	9

(1) 在泥石流形成区内禁止砍伐森林,保护生态植被,防治水土流失,以达到固坡作用,减少泥石流松散物质的补给量。

(2) 由于受地形因素影响,初咱磨子沟流通区不具有修建拦挡工程的良好条件,所以建议初咱磨子沟泥石流防治措施以排导为主。

(3) 堆积区现有沟道深切且偏向河流下游,较适宜泥石流的排导。建议对现有沟道加以取直改造,以满足对泥石流的排导要求。堆积区沟道左岸扇体地势相对较低,一旦泥石流暴发,且流量过大时则有可能从排导槽溢出泛滥成灾。此外,堆积区位于主河道

凹岸,洪水季节对扇体前缘冲刷、掏蚀作用强烈,建议沿沟道左岸修建一条单边导流堤,兼具导流、护堤功能。

(4) 加强监测和天气预报工作,及时准确地做好灾前预报和预警。

表 5 泥石流危险度评价因子参数

序号	危险因子	危险因子特征、等级及赋值		
		特征值	赋值	等级
1	流域面积(C_2)/ km^2	16.95(10~35)	3	大
2	泥沙补给段长度(C_1)	1.9(>0.6)	6	极大
3	人口密度(C_{14})/(人· km^{-2})	52(50~100)	3	中
4	植被覆盖率(C_{13})/%	48(50~30)	4	中
5	主沟弯曲系数(C_8)	1.03(<1.10)	1	小
6	流域切割密度(C_6)/(km· km^{-2})	7.3(5~10)	6	中
7	主沟长度(C_3)/km	7.9(5~10)	14	大
8	泥石流暴发的频率(C_{11})/%	50(50~80)	16	大
9	流域相对高差(C_4)/km	2.745(>1.5)	27	极大
10	形成区山坡平均坡度(C_9)/ $^\circ$	53(>50)	30	极大
11	最大 24h 降雨量(C_{12})/mm	72.36(50~100)	11	中
12	松散固体物质储量(C_7)/ 万 m^3	397.67(>300)	36	极大
13	主沟平均比降(C_5)/%	0.3074(>0.2)	39	极大
14	一次泥石流最大冲出量(C_{10})/ 万 m^3	2.1(1~10)	14	中

参考文献:

- [1] 铁永波,唐川,苏小琴.四川省九龙县石头沟泥石流动力学特征及其危险性评价研究[J].水土保持研究,2008,15(5):168-170.
- [2] 王启亮,吕义清,员孟超.虎峪沟泥石流特征及其危险度评价[J].水土保持通报,2010,30(6):219-222.
- [3] 谭炳炎,扬大文,石胜国.暴雨泥石流预报的研究[J].铁道学报,1992,9(14):92-101.
- [4] 周必凡,李德基,罗德福,等.泥石流防治指南[M].北京:科学出版社,1991:80-90.
- [5] 四川省水利厅.四川省中小流域暴雨洪水计算手册[M].成都:四川省水利厅,1984.
- [6] 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](DZ/T0220—2006),2006.
- [7] 刘希林,唐川.泥石流危险性评价[M].北京:科学出版社,1995.
- [8] 朱静,周矩乾.泥石流沟判释与危险度综合评价研究[C]//云南省滑坡泥石流重点区域预测预报与评价方法研究.昆明:云南科技出版社,1995.
- [9] 铁永波,唐川.层次分析法在单沟泥石流危险度评价中的应用[J].中国地质灾害与防治学报,2006,17(4):79-84.