

# 厦门市西源溪冲沟泥石流危险性评价

庄明水

(福建省厦门地质工程勘察院, 厦门 361008)

**摘要:** 评价泥石流灾害危险性有助于选择合适的工程措施降低其危害程度。若爆发泥石流,会对主体工程施工和安全运行将造成严重威胁,因此有必要对该冲沟进行调查和泥石流评价。西源溪冲沟内常年有水,沟长 7.89 km,流域周长 13.31 km,流域面积 11.5 km<sup>2</sup>。泥石流灾害的发生会对下游西源溪村中的人民造成生命威胁,同时也会对工程施工造成巨大的损失,严重危及到了当地的自然经济发展。本文通过对西源溪冲沟进行实际的调查与后期的分析,旨在得出其泥石流易发程度,为今后对当地有关的调查分析提供相关理论依据。

**关键词:** 泥石流;形成条件;发育特征;危险性评价

**中图分类号:** P642.23 **文献标识码:** A

## RISK ASSESSMENT OF DEBRIS FLOW IN XIYUANXI GULLY, XIAMEN CITY

ZHUANG Ming-shui

(Xiamen Institute of Geological Engineering, Xiamen 361008, China)

**Abstract:** Evaluating the risk of debris disasters helps to choose appropriate engineering measures to reduce the degree of harm. If the debris flow erupted, the construction and safe operation of the main project will cause serious threats, so it is necessary to conduct investigations and mudslide evaluation of the ditch. There are water in Xiyuanxi Chonggou all the year round, the ditch is 7.89 km long, the length of the basin is 13.31 km, and the watershed area is 11.5 km<sup>2</sup>. The occurrence of mudslide disaster will cause life threats to the people in the downstream Xiyuanxi Village. At the same time, it will also cause huge losses to the construction of the project, which seriously endangers the local natural economic development. In the later analysis, it aims to obtain the degree of mudslides, and provides relevant theoretical basis for future investigation and analysis of relevant local investigations.

**Key words:** debris flow; formation conditions; developmental characteristics; risk assessment

我国的山地较多,山地面积达 2/3 以上,且多在西南地区,泥石流灾害则是该区域发生最多的地质灾害。泥石流灾害具有发生突然、历时短、来势凶、破坏大等特点,严重威胁人类社会与自然环境。因此,为有效预防和减少灾害损失,泥石流监测及灾害

危险性评价是一种经济、有效、先行的预防手段<sup>[1-6]</sup>。

本文针对厦门市西源溪泥石流对下游居民安全影响进行分析评价,通过对冲沟泥石流形成条件、运动特征参数进行分析,基于分析结果对泥石流危险性进行评价,并提出相应的防治建议,为类似地区泥

石流防治提供参考依据。

## 1 流域基本特征

### 1.1 流域形态

西源溪冲沟位于同安区汀溪镇西源村的西源溪沟谷,总体走向由N向S,冲沟内常年有水,河水补给来源主要为大气降水。沟道总长度7.89 km,流域周长13.31 km,流域面积11.5 km<sup>2</sup>。流域内地势北高南低,沟源高程330~750 m,最低点为沟口与西源村交汇处,高程约100 m,流域内高差近650 m。沟谷浅蚀,岸坡较缓,呈典型“V”字形地貌。沟床两岸植被繁茂,覆盖率多处地段超过80%。汇水条件和物源条件也较好,汇水面积大,水动力条件好。冲沟整体特征见图1,流域平面图见图2。

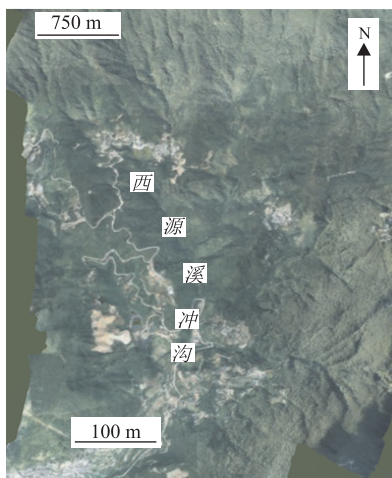


图1 西源溪冲沟全流域地形地貌整体特征

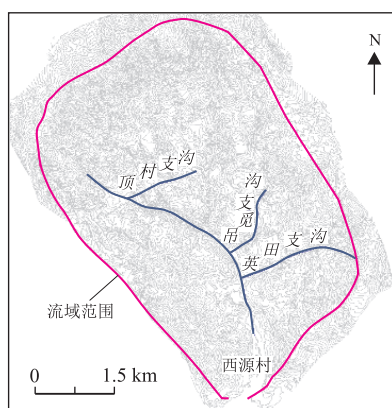


图2 西源溪冲沟流域范围平面图

西源溪冲沟沟源330~750 m高程为较为典型的构造侵蚀中低山地貌类型,分水岭纵向长度大,达3.25 km,坡度40°左右,呈圆弧状地貌,沟源汇水区域大,沟源至分水岭处因侵蚀作用形成的数条沟谷,无基岩出露。西源溪冲沟沟床高程130 m以上主

沟走向为东偏南28°,主沟中上游段植物茂盛,其中乔木占据了多数,覆盖率达90%,主沟切割深度250~350 m,地形坡度较缓,坡度30°~40°。整体上地势较宽广,沟床宽度在2~10 m。西源溪冲沟下游高程100~130 m左右,沟谷的痕迹已不明显,植被茂盛程度略有减小,此段河谷相对较为开阔,地形相对平缓,坡度很小。较大的汇水面积为大气降水和地表水的汇集提供了有利的条件,且调查期间发现沟道水源充足。同时,近650 m的高差为水源的汇流集中及快速下泄提供了基础,大气降水在这种条件下很容易在极短的时间内转变成地表径流,泥石流形成的水源条件就这样形成了。同时,泥石流的物源条件也非常多样,但是,坡体上繁茂的植被,便于大气降水的入渗,对水源的汇流和松散固体物质的启动具有一定的阻止作用。

### 1.2 沟床比降特征

沟床比降不仅是控制泥石流始发径流量的重要要素之一,也是泥石流具备位能的必要条件,其特征控制泥石流的形成和运动特点。

主沟沟床纵剖面见图3。

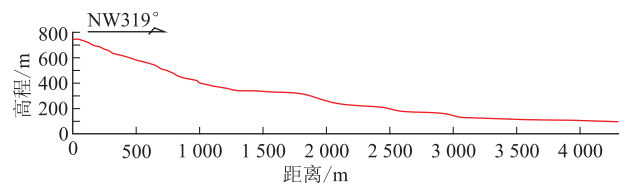


图3 西源溪冲沟纵剖面

根据冲沟纵剖面反映的沟床地形形态,按地形的陡缓特征分段统计沟床的比降,结果见表1。

根据统计结果,结合现场实地调查资料可知,沟源地段(330~750 m高程范围)沟形整体较为顺直,尽管切割深度不大,但沟床比降相对较大,达245‰,沟源段河道弯曲系数不大,仅为1.01;上游

表1 西源溪冲沟不同高程段河床比降统计结果表

分段	沟床高程范围/m	沟长/km	河道弯曲系数	比降/‰	沟谷形态
沟源	330~750	1.66	1.01	245.0	V型
上游	170~330	0.96	1.05	166.7	V型
中上游	130~170	0.60	1.01	66.7	V型
中下游	100~130	0.71	1.01	42.3	V型
下游	90~100	0.43	1.00	23.3	V型
平均	—	—	1.01	108.8	V型

沟床高程170~330 m沟段,沟床比降为166.7‰,此段沟道弯曲系数最大,对泥石流形成后的快速搬运、冲击具有一定的消能作用;沟床高程130~170 m沟段,沟道坡度较小,比降仅为66.7‰,此段沟道弯曲系数也较小;中下游沟床高程100~130 m沟

段,河谷较为开阔,沟床纵比降也相对较小,为42.3‰,此河段尽管沟床比降较小,但河道顺直,大的急流拐弯很少,弯曲系数仅为1.01;下游段沟床高程90~100 m,地形宽阔,沟床比降很小,为23.3‰,该段河谷河道顺直,弯曲系数为1.0,便于泥石流的流通。主沟整体平均纵比降108.8‰,整体上游坡度陡、比降大,中下游河段相对平缓。河道整体弯曲系数1.01,沟道较顺直,上游沟道弯曲系数大。整体来看,沟道内植被繁茂,沟道并不顺畅,堵塞较严重,泥石流启动的概率较小。

## 2 泥石流形成条件分析

### 2.1 物源条件

根据现场调查资料,西源溪冲沟流域内尽管两岸岸坡坡度不大,但岸坡植被茂盛,覆盖率高,因此自然坡面侵蚀物源较少,多为修路、盖房或者耕地带来的坡面侵蚀物源。同时,两岸岸坡整体稳定性较好,大规模的崩塌、滑坡物源分布也较少。

西源溪冲沟流域范围内分布的泥石流物源统计结果见表2<sup>[7-10]</sup>。

表2 西源溪冲沟物源统计结果表

滑坡堆积物源/m <sup>3</sup>		坡面侵蚀物源/m <sup>3</sup>		人工堆积物源/m <sup>3</sup>		合计/10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	
总量	动储量	总量	动储量	总量	动储量	总量	动储量
3 281	3 281	209 362	41 489	239	239	21.29	4.50

除此之外还存在着人工堆积物源,西源溪冲沟流域内人工堆积物源主要为开挖公路形成的残渣,散落堆积于路边。

### 2.2 水源条件

据厦门市气象局提供的1990~2019年的降雨量资料,厦门市多年平均降水量为1 348.9 mm,其中,1990年、1992年、1997~2001年、2005年、2006年、2010年、2013年、2015年及2016年降雨量偏多,暴雨频繁,年降雨量均高于全区历年平均降雨量,详见图4。降水从季节分配来看,主要集中在梅雨季(5~6月)和台风季(7~9月),占全年降水的64%,其中,8月最多,为205.8 mm,12月最少,为28.7 mm。从空间分布来看,表现为从东南向西北递增的特点。厦门年蒸发量为1 209.2 mm,11月最多(140.9 mm),2月最少(65.8 mm);全年来看,厦门降水量略多于蒸发量。

## 3 泥石流发育特征

### 3.1 泥石流活动特征

根据现场调查、访问结果,西源溪冲沟近几十年

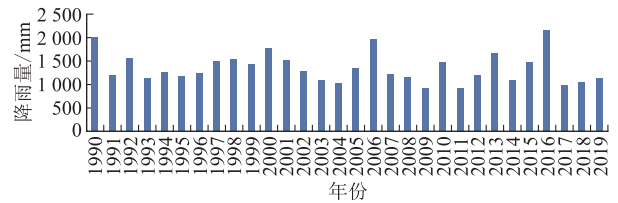


图4 厦门市1990~2019年年降雨量分布情况柱状图

来从未发生过泥石流,暴雨时携带泥沙量也较小。现场调查结果表明,沟口段未见泥石流堆积物,沟口地貌稳定,也没有堆积扇形成,未发现泥石流的活动。

### 3.2 分区特征

根据前面集中物源分布特征的调查结果可知,在河床高程100 m至沟源段,各种类型的物源零星分布,其中河床高程100~330 m,既有物源分布,也是泥石流流通的主要区域,因此将100 m沟床高程以上区域综合划分为泥石流的形成流通区。100 m高程以下流域,无集中物源分布,虽然沟道相对较顺直,但植被繁茂,地形较缓,泥石流物质下泄过程中碰撞、消能将减小泥石流的动能,且沟道宽度变大,根据泥石流堆积物的分布,泥石流冲出物质部分淤积在该段沟口,可能部分冲入西源村,因此,自河床高程100 m以下,划分为泥石流堆积区。

纵剖面泥石流分区结果见图5。

形成流通区为河床高程100 m以上区域,沟道

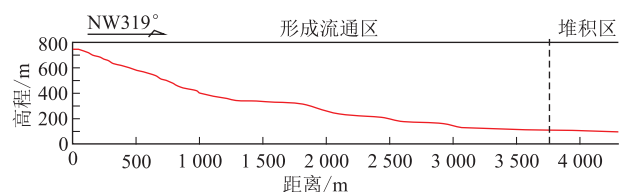


图5 西源溪冲沟剖面分区特征

总长度5.81 km,平面形态中、上游相对较窄,中下游沟道较宽阔。该区域沟源段,沟床比降大,在200‰以上,沟道相对较狭窄,这一区段泥石流物质表现以冲为主,对河床的侵蚀作用强烈。沟床高程100~320 m区段,河道整体来看较顺直,来自上游的汇水面积大,径流形成的水动力条件增强,仍表现为以冲为主。沟床高程100 m以下区段,沟床总比降在100‰以下,且沟道相对较为开阔,此段地形特征和繁茂的植被,限制了泥石流的流速和搬运能力,表现为淤积。综上,形成流通区中、上游区段以冲为主,下游区段堆积。

堆积区为河床高程100 m以下区域,沟道长度约0.43 km。两岸沟谷形态基本对称,两岸坡植被

相对较稀疏,沟床相对较为开阔,河道较顺直,消能作用不太明显,但是地形较缓,如果发生泥石流,泥石流物源部分会堆积于此(图6)。

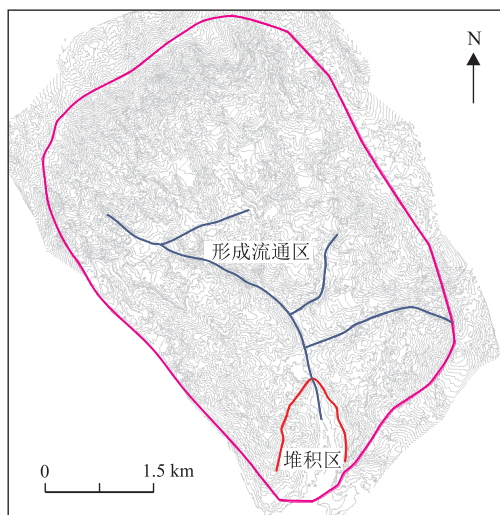


图6 西源溪冲沟平面分区特征

## 4 泥石流动力学基本特征

### 4.1 泥石流重度

西源溪冲沟从未发生过泥石流,没有监测资料,所有泥石流的参数也无法通过现场调查获取,这给泥石流动力学特征值的计算带来了很大难度。因此,本次研究主要依据设计频率下的洪水流量、沟道断面特征、现场测定的资料,确定断面平均水深,同时通过类比特征相似的其他泥石流,估计泥位线高度,据此通过不同的规范或经验公式,对不同部位泥石流流速、流量、一次冲出量、一次固体冲出物质总量,以及泥石流整体冲压力、爬高和最大冲起高度等进行计算。

按照轻度易发查表获取泥石流重度  $\gamma_c = 1.3 \text{ t/m}^3$ 。

### 4.2 泥石流流量

常用的泥石流流量计算方法为雨洪法。本文研究也将采用此方法进行流量计算。因厦门市无明确的泥石流计算手册,同时按《四川省中小流域暴雨洪水计算手册》进行的泥石流计算已经经过多年的专家评审和使用,适用性和准确性被明确验证,故本次计算使用《四川省中小流域暴雨洪水计算手册》所列公式,代入厦门市相关参数进行计算,可以保证结果的准确性和可信度。暴雨洪水流量  $Q_B$  及泥石流洪峰流量  $Q_c$  计算公式如下<sup>[11]</sup>:

$$Q_B = 0.278\psi \frac{s}{\tau^n} F \quad (1)$$

式(1)中: $\psi$  为洪峰径流系数,  $\psi = f(\mu, \tau^n)$ ;  $\tau^n = f(m, s, J, L)$ , 其中  $s$  为暴雨雨力, mm/h;  $m$  为汇流

参数; $J$  为沟床平均纵比降; $L$  为沟道长度, km;  $n$  为暴雨指数; $F$  为流域面积,  $\text{km}^2$ ;  $\tau$  为流域汇流时间, h;  $\mu$  为入渗强度,根据公式  $\mu = 3.6F^{-0.19}$  计算,单位为 mm/h。

$$Q_c = (1 + \varphi)Q_B \cdot D_c \quad (2)$$

式(2)中,  $Q_c$  为泥石流断面峰值流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );  $\varphi$  为泥沙修正系数;  $D_c$  为泥石流堵塞系数。

### 4.3 泥石流流速

采用规范规定的流速公式计算<sup>[11]</sup>:

$$V_c = \frac{1}{\sqrt{\gamma_H \cdot \varphi + 1}} \cdot \frac{1}{n} \cdot H_c^{\frac{2}{3}} I_c^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

式中,  $V_c$  为泥石流流速 ( $\text{m/s}$ );  $\varphi$  为泥石流泥砂修正系数;  $\gamma_H$  为泥石流固体颗粒密度 ( $\text{t/m}^3$ );  $H_c$  为平均泥深 ( $\text{m}$ ), 一般可用平均泥石流泥位深  $H$  ( $\text{m}$ ) 代替;  $I_c$  为泥石流水力坡度, 一般可用沟道纵坡率代替;  $\frac{1}{n}$  为清水河床糙率系数, 查当地水文手册或查铁路桥渡勘测设计规范 (TBJ17-86)。

### 4.4 泥石流总量

(1) 一次泥石流过流总量按照《泥石流灾害防治工程勘查规范》(DT/T0220-2006) 附录 I 提供的计算公式进行计算<sup>[11]</sup>:

$$Q = 0.0378TQ_c = KTQ_c \quad (4)$$

式中,  $K=0.0378$ ; 当  $F < 5 \text{ km}^2$ ,  $K=0.202$ ; 当  $F = 5 \sim 10 \text{ km}^2$ ,  $K=0.113$ ; 当  $F = 10 \sim 100 \text{ km}^2$ ,  $K=0.0378$ ;  $Q$  为一次泥石流过程总量 ( $\text{m}^3$ );  $T$  为泥石流历时 ( $\text{s}$ );  $Q_c$  为泥石流最大流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )。

(2) 一次泥石流固体冲出物按照《泥石流灾害防治工程勘查规范》(DT/T0220-2006) 附录 I 提供的计算公式进行计算<sup>[11]</sup>:

$$Q_H = Q(\gamma_c - \gamma_w) / (\gamma_H - \gamma_w) \quad (5)$$

式中,  $Q_H$  为一次泥石流冲出固体物质总量 ( $\text{m}^3$ );  $Q$  为一次泥石流过流总量 ( $\text{m}^3$ );  $\gamma_c$  为泥石流重度 ( $\text{t/m}^3$ );  $\gamma_w$  为水的重度 ( $\text{t/m}^3$ );  $\gamma_H$  为泥石流固体物质的重度 ( $\text{t/m}^3$ )。

### 4.5 泥石流冲击力

(1) 泥石流整体冲压力

$$\delta = \gamma \frac{\gamma_c V_c^2}{g} \sin \alpha \quad (6)$$

式中,  $\delta$  为泥石流整体冲压力, Pa;  $g$  为重力加速度,  $9.8 \text{ m/s}^2$ ;  $\alpha$  为受力面与泥石流冲压力方向所夹的角,  $^\circ$ ;  $\lambda$  为受力体形状系数, 方形为 1.47, 矩形为 1.33, 圆形、尖端、圆端形为 1.00。

(2) 单块石最大撞击力

$$F_s = \gamma \cdot V_c \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{\frac{W}{C_1 + C_2}} \quad (7)$$

式中,  $F_s$  为单块巨石的撞击力, Pa;  $\gamma$  为动能折减系数, 正面撞击时取 0.3;  $\alpha$  为受力面与泥石流撞击面撞击角;  $C_1$ 、 $C_2$  为巨石与建筑物的弹性变形系数, 若采用船筏与桥墩台的撞击系数,  $C_1 + C_2 = 0.005$ ;  $W$  为块(漂)石重量(t)。

冲击力计算均考虑最危险情况, 即有关参数选取为冲击力最大的数值, 并只考虑正面撞击, 结合现场调查情况, 单块石直径选取 0.8 m。

#### 4.6 爬高和最大冲起高度

泥石流最大冲起高度  $\Delta H$  和爬高  $\Delta H_c$  按式(8)和式(9)计算:

$$\Delta H = \frac{V_c^2}{2g} \quad (8)$$

$$\Delta H_c = \frac{bV_c^2}{2g} \approx 0.8 \frac{V_c^2}{g} \quad (9)$$

式中,  $\Delta H$  为泥石流最大冲起高度(m);  $\Delta H_c$  为泥石流爬高(m);  $V_c$  为泥石流平均流速(m/s);  $b$  为泥石流迎面坡度的函数。

## 5 危险性评价

根据《泥石流灾害防治工程勘查规范》(DT/T0220-2006)中泥石流沟易发程度数量化评分依据和标准, 据此划分的西源溪冲沟泥石流评价得分为 42 分, 可知该冲沟不会发生泥石流。

根据动力学特征值计算结果, 设计暴雨频率下泥石流一次过流总量为  $0.632 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 属于标准中的“小级”范围, 泥石流洪峰流量为  $139.434 \text{ m}^3/\text{s}$ , 处于划分标准中的“大级”类型。综合考虑这两个指标, 西源溪冲沟泥石流爆发规模综合划分为“小级”。西源溪冲沟从未发生过泥石流。同时, 根据现场调查结果, 沟域内植被繁茂; 区内集中物源零星分布, 且多为整体稳定或基本稳定。同时, 根据前面章节计算分析结果, 设计暴雨频率下泥石流一次过流总量为  $0.632 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 冲出固体物质可达  $0.115 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 如果发生泥石流, 则规模较小。综合这些特征, 判定西源溪冲沟泥石流爆发频率为低频泥石流。

## 6 结论

结合现场详细调查、试验、室内计算、分析成果, 本次研究主要得出以下结论:

(1) 西源溪冲沟沟道总长度 7.89 km, 流域周

长 13.31 km, 流域面积  $11.5 \text{ km}^2$ , 流域内高差近 650 m, 平均纵坡降约 108.8‰, 河道整体弯曲系数 1.01。

(2) 暴雨是泥石流的主要激发因素, 西源溪冲沟泥石流属暴雨、沟谷、水石型、稀性泥石流。

(3) 通过调查发现, 西源溪冲沟从未发生过泥石流。

(4) 按暴雨过程泥石流活动持续 20 min 计, 按设计暴雨频率 1% 计算, 泥石流流速  $5.535 \text{ m/s}$ , 一次过流总量为  $0.632 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 一次固体冲出物质  $0.115 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 泥石流整体冲压力  $53.99 \text{ kPa}$ , 设计暴雨频率下单块块石按 0.8 m 计算, 最大撞击力  $21.144 \text{ kN}$ 。

(5) 西源溪冲沟泥石流易发程度按规范评分标准予以评价, 属不发生泥石流, 但是为了展现泥石流的活动性, 如果以后发生泥石流, 按发生频率属低频泥石流, 规模分级为“小级”。

(6) 本次研究的分析、计算是以现状条件下沟域内物源的分布情况及储量特征为基础开展的。

## 参考文献

- [1] 陈兰, 范宣梅, 熊俊麟, 等. 藏东南多依弄巴流域冰湖溃决危险性评价[J]. 地质科技通报, 2023, 42(2): 258-266.
- [2] 韩方. 山区城镇泥石流危险性评价[D]. 西南科技大学, 2022.
- [3] 林文, 周伟, 李婧, 等. 基于 Flow-R 和 FLO-2D 的沟谷型泥石流危险性评价[J]. 人民长江, 2022, 53(5): 143-148.
- [4] 刘德玉, 蒋兴波, 李保强. 基于 FLO-2D 的矿山泥石流运动特征及危险性评价——以甘肃省岷县簸箕沟矿山泥石流为例[J]. 地质与资源, 2022, 31(5): 693-699.
- [5] 刘福臻, 张浩韦, 肖东升. 基于 FLO-2D 数值模拟的结底岗村公路泥石流危险性评价[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(13): 5417-5424.
- [6] 柳军, 年峰, 邹转妮. 双沟、滩山沟泥石流灾害数值模拟及危险性评价[J]. 黑龙江科学, 2023, 14(2): 25-28.
- [7] 柳军, 王梅香, 成子宇, 等. 双沟、滩山沟泥石流流域特征及危险性评价研究[J]. 中国水土保持, 2022(11): 45-47+68.
- [8] 聂琼, 聂治豹, 陈剑, 等. 北京市门头沟区达摩沟泥石流发育特征与危险性评价[J/OL]. 现代地质: 1-14.
- [9] 徐泽浩, 范雅婕. 基于 Massflow 的梅龙沟流域泥石流危险性评价[J]. 甘肃水利水电技术, 2022, 58(12): 38-43.
- [10] 郑国强, 周威锦, 陈柯竹. 汶马高速平桥沟泥石流危险性评价研究[J]. 山西建筑, 2023, 49(6): 83-86.
- [11] 四川省国土资源厅. 泥石流灾害防治工程勘查规范(DZ/T 0220-2006)[S]. 2006: 37.

作者简介: 庄明水(1971—), 男, 高级工程师, 长期从事水文地质、工程地质、环境地质及地质灾害评估、勘查、治理工作。

E-mail: 634457401@qq.com