

# 陕西洋县毕机沟暴雨泥石流灾害特征及其预测

赵刘会<sup>1</sup>, 李哲<sup>1,3</sup>, 田晨曦<sup>2</sup>

(1. 西北有色勘测工程公司, 西安 710054; 2. 中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 西安 710075; 3. 长安大学, 西安 710064)

**摘要:**通过对陕西省洋县毕机沟暴发的特大型泥石流灾害进行现场调查走访,从毕机沟特大型泥石流地质灾害形成的地形地貌条件、物源条件、水源条件入手,分析了泥石流堆积体分布的分区特点、基本特征及形成机制。通过对形成泥石流灾害的各影响因素进行逐一调查、评分、求和,运用判断泥石流易发性的泥石流沟易发程度数量化评分法和泥石流容重与数量化评分关系法对泥石流的易发性进行了判断,结果表明这2种定量方法评价结果十分接近,同时,采用单沟泥石流公式预测了再次发生泥石流时堆积最大危险范围和危害程度,并采取相应的工程治理措施进行防治。

**关键词:**暴雨泥石流;危害性;形成机制;易发性预测

**中图分类号:**P642.23

**文献标志码:**A

## 引言

2014年8月6日21:20至8月7日4:30,洋县桑溪镇境内持续强降雨,其中8月6日22:40至次日2:30持续特大暴雨,短时强降雨汇集形成山洪,于8月7日凌晨突然暴发,致使矿区道路受损严重,出现多处塌方、滑坡,河道堵塞抬高,多处农田被淹和冲毁。毕机沟受灾尤为严重,8月7日凌晨,暴发了特大型泥石流灾害,4 km长河床平均抬高9 m,泥石流总方量约 $1.44 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。直接导致毕机沟采区5#平硐到2#平硐之间约1 km的双排排洪涵管及毕机沟排土场新建隧洞被掩埋,导致数辆挖掘机、铲车、运输车和电气设施等施工机械掩埋损坏,直接经济损失约3000万元<sup>[1-2]</sup>。通过对毕机沟地形地貌条件、物源条件、水源条件等方面的现场调查,分析了此

次泥石流的形成机制,在此基础上提出了可供其他工程参考的泥石流易发性预测和危害程度预测方法。

## 1 泥石流的形成机制及趋势分析

### 1.1 泥石流形成条件

#### 1.1.1 地形地貌条件

毕机沟位于陕西南部秦巴山区,地貌单元为中低山区,地形特点为沟长谷深。毕机沟流域呈狭长条形,局部为葫芦形,走向为NW-SE,流域长约4 km,沟谷断面呈“V”字形,底部宽度约6.0 m~15.0 m,地面高程介于470.0 m~807.6 m之间;两岸山体坡度左岸约30°~42°,右岸约35°~45°,大部分坡段基岩裸露,局部分布少量第四系薄层,植被茂密。

毕机沟上游总的汇水面积为3.8 km<sup>2</sup>,下游总的汇

收稿日期:2017-08-29

基金项目:陕西省交通厅科技项目(20120517)

作者简介:赵刘会(1980-),男,河南中牟人,高级工程师,硕士,主要从事地质灾害治理设计、岩土勘察方面的研究,(E-mail)86653214@qq.com

水面积为 3.2 km<sup>2</sup>,沟上游巨大的汇水面积为山洪的暴发提供初始动力条件,后续大量洪水的补入为泥石流运动提供了持续动力。通过现场调查毕机沟泥石流填充了整个毕机沟,最后汇入子午河。

1.1.2 物源条件

经过走访调查,毕机沟以往历史中没有发生泥石流灾害,本次泥石流灾害主要是人为因素(无序堆渣)造成的。毕机沟上游由于原私人矿山企业不按照规范要求修筑排渣场,将废渣大量顺坡堆积,废渣方量约 1.5 × 10<sup>7</sup> m<sup>3</sup>。该堆渣依坡堆放,坡面呈自然休止状态,坡脚无防冲刷防护措施,为泥石流灾害的暴发提供了充足的物源条件。经现场调查毕机沟范围内有 4 个大的堆渣区,且在沟上游密集分布(图 1)。4 个堆渣区为泥石流形成提供了充沛的物源条件(表 1)。



图 1 毕机沟上游渣堆 1 全貌

表 1 渣堆分布情况统计表

编号	位置	坡角/°	规模/万立方
渣堆 1	毕机沟左岸	45	1000
渣堆 2	毕机沟左岸	38	200
渣堆 3	毕机沟右岸	42	120
渣堆 4	毕机沟沟内	36	3

1.1.3 水源条件

众所周知,泥石流地质灾害暴发的关键因素就是短时间汇集充足的水源。毕机沟位于秦巴山区,属北亚热带内陆性季风气候,年平均降水 839.7 mm,最大降雨量 1376.1 mm,月平均降雨 10 天,降雨期最多为 7 月份、9 月份、10 月份。2014 年 8 月 6 日 21:20 至 8 月 7 日 4:30,洋县桑溪镇境内持续强降雨,其中 8 月 6 日 22:40 至 8 月 7 日 2:30 持续特大暴雨(据洋县气象台报告,桑溪镇两小时降雨量为 103 mm,为百年一遇)。因此,该区域降水短而集中的降水特点,极易短时间汇集充足的水

源,为泥石流形成提供了充沛的水源条件。

1.2 毕机沟泥石流基本特征

1.2.1 泥石流堆积体分布及基本特征

泥石流分布于毕机沟整个沟道内(图 2),长度约 4 km,堆积体最厚达 18 m,平均厚约 9 m,体积约 1.44 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>。沟道内由泥石流堆积、洪积及崩坡积交互组成的堆积体,具有一定的成层性,依托沟形分选性明显,成分以块碎石土,块碎石以及中粗砂为主,另外夹有第四系坡积物,粒径差异较大,呈棱角状-次棱角状,稍密-中密;块碎石土中含大量漂石,成份主要为花岗岩和辉长岩。

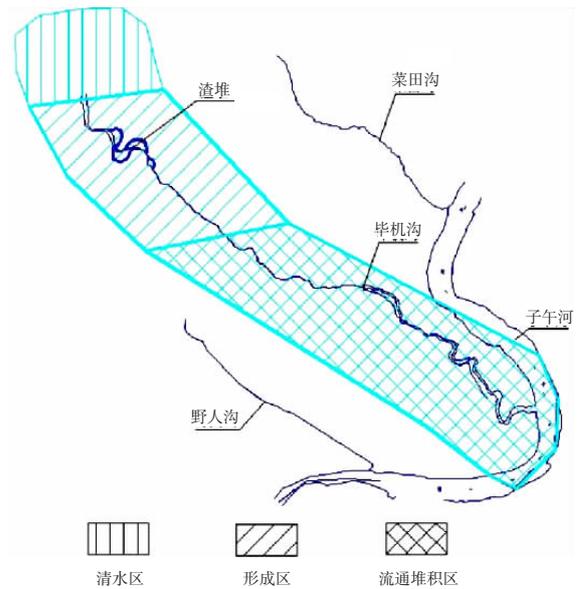


图 2 毕机沟泥石流形成分布略图

1.2.2 泥石流物源分析

物源条件集中反映在泥石流形成的松散碎屑物质方面,在山区小流域内,如果没有数量足够的松散碎屑物质,是不可能形成泥石流的。毕机沟流域内上游分布有大量采矿剥离出的废石,弃渣,这种工程弃渣一般粗细混杂,以粗颗粒为主,且大多为新近堆积,未经过水流等冲刷磨蚀,结构松散,多孔隙,具有松散性、内聚力小、摩阻力小、相互联结弱等特点。在降雨时,雨水易于下渗,使弃渣呈饱和状态,力学性能降低,在同等水源条件下它比自然泥石流暴发几率大得多。弃渣全部堆积于河床两侧,总体积 1.5 × 10<sup>7</sup> m<sup>3</sup>。渣堆是此次特大型泥石流形成的主要物源条件。

毕机沟流经地段岩性主要以花岗岩和辉长岩为主,岩石抗风化能力较强,沟谷深切,沟内其它地质灾害发

育程度较低;但是流域中上游分布有第四系坡积土,多为当地居民田地,“8·7”暴雨泥石流暴发时诱发了多处第四系坡积土滑坡,该滑坡同时为泥石流的形成提供了物源条件。

### 1.2.3 泥石流形成分区特征

据流域沟谷形态、固体松散物质分布及泥石流堆积体分布特征,可将毕机沟泥石流划分为清水区、形成区、流通堆积区(图2)。清水区,位于渣堆区以上1000 m范围内,植被发育,呈漏斗状,有利于水流迅速汇集;形成区,即渣堆分布区,沟坡两岸分布大量人为堆渣,为泥石流形成提供大量物源;流通堆积区,即整个毕机沟中下游,由于沟道比降较大,沟谷狭窄,便于泥石流流体流通。

## 1.3 毕机沟泥石流形成机制及预测

### 1.3.1 形成机制

泥石流松散土体是在重力侵蚀和水动力侵蚀作用下的共同结果。首先是在重力侵蚀作用下土体有向下运动的趋势,然后在暴雨激发下向下运动,在运动过程中形成泥石流。

通过野外调查,毕机沟弃渣泥石流主要是在高强度降雨作用下,堆积体表面的厚层土体在坡面破坏、滑动,同时在沟谷径流作用下,坡脚浸润,强烈冲刷从沟床处剪出,在沟谷径流作用下,形成沟谷泥石流<sup>[3-7]</sup>。

毕机沟“8·7”暴雨泥石流的发生,除与所处地质、地貌背景及气候条件相关外,更主要的是与人类工程活动密切相关,其直接诱发了泥石流的暴发。由于对泥石流危害性认识不足,大量弃渣堆积于沟床及其两侧。人类工程活动不仅为泥石流的发生提供了物源条件,而且在一定程度上改变了沟床地貌,沟床比降降低,沟道变窄,使沟谷更具暴发泥石流的地形地貌条件。

### 1.3.2 毕机沟泥石流易发性预测

由泥石流沟易发程度数量化评分表<sup>[8-9]</sup>及现场情况对泥石流各影响因素进行逐一调查、评分(表2)。

由表2可知毕机沟泥石流沟易发程度数量化评分为116分,易发程度为极易发。

泥石流容重可采用泥石流沉积物进行计算,余斌等人<sup>[3,10-11]</sup>在文献[12-13]基础上,认为单一的经验公式都不能用于计算泥石流容重,进而给出了如下计算公式,并

表2 泥石流沟易发程度数量化评分表

序号	影响因素	分项评分	总分
1	崩塌滑坡及水土(自然和人为的)流失严重程度	21	116
2	泥沙沿程补给长度/%	16	
3	沟口泥石流堆积活动	14	
4	河沟纵坡/(°,‰)	12	
5	区域构造影响程度	5	
6	流域植被覆盖率/%	5	
7	河沟近期一次变幅/m	4	
8	岩性影响	5	
9	沿沟松散物储量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	6	
10	沟岸山坡坡度/(°,‰)	6	
11	产沙区沟槽断面	5	
12	产沙区松散物平均厚度	5	
13	流域面积	5	
14	流域相对高差	4	
15	河沟堵塞程度	3	

实例加以验证。在毕机沟选取3个代表性地段分别取样,进行了颗分实验,在此基础上采用余斌推荐公式进行泥石流容重计算。

$$\gamma_D = P_{05}^{0.35} P_2 \gamma_V + \gamma_0$$

式中: $P_{05}$ 为小于0.05 mm的细颗粒的百分含量(小数表示),取0.05; $P_2$ 为大于2 mm的细颗粒的百分含量(小数表示),取0.74; $\gamma_V$ 为粘性泥石流的最小容重,取1.80 g/cm<sup>3</sup>; $\gamma_0$ 为泥石流的最小容重,取1.50 g/cm<sup>3</sup>;代入计算得 $\gamma_D = 1.967$  g/cm<sup>3</sup>。

《泥石流灾害防治工程勘察规范》(DZT0220—2006)附录G.2给出了重度与数量化评分对照关系,可得数量化评分 $N = 120$ 分,易发程度为极易发。上述2种定量方法评价数量化评分十分接近,表明毕机沟为极易发泥石流沟。

### 1.3.3 堆积最大危险范围预测

毕机沟泥石流为单沟泥石流,由形成区和流通堆积区组成。可计算堆积最大危险范围 $s$ (km<sup>2</sup>)<sup>[8,14]</sup>:

$$s = 0.6667L \times B - 0.0833B^2 \sin R / (1 - \cos R)$$

式中: $L$ 为泥石流最大堆积长度(km); $L = 0.8061 + 0.0015A + 0.000033W$ ;  $B$ 为泥石流最大堆积宽度(km), $B = 0.5452 + 0.0034D + 0.000031W$ ;  $R$ 为泥石流堆积幅角(°), $R = 47.8296 - 1.3085D + 8.8876H$ ;  $A$ 为流域面积(km<sup>2</sup>),取值7.4;  $W$ 为松散固体物质储量(10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>),取值1500;  $D$ 为主沟长度(km),取值4.0;  $H$ 为流域最大高差(km),取值0.5。计算得: $s = 0.2796$  km<sup>2</sup>。即毕机

沟若再次暴发泥石流将形成  $0.2796 \text{ km}^2$  的泥石流淤积区,即沿着子午河形成  $1.8 \text{ km}$  的河道堵塞区,进而引发堰塞湖。

## 2 泥石流防治措施

根据泥石流的发育活动特征、形成原因及危险性预测,结合其危害性,制定相应的治理措施,以达到消除泥石流灾害的目的。根据现场调查和毕机沟泥石流形成条件及基本特征,毕机沟泥石流防治推荐采用岩土工程措施、生物工程措施、监测预警措施相结合的综合治理措施。

该特大型泥石流暴发的主要原因是上游沿着沟道顺坡无序堆积大方量的采矿弃渣,为泥石流发育提供强大的物源条件,鉴于此,治理的重点应该是加强对渣堆的治理。首先应按照《有色金属矿山排土场设计规范》对毕机沟上游的渣堆进行规划设计,对于已经堆放在沟底的废渣应全部清运,依坡堆放的废渣可采用分级放坡,坡比不小于  $1:1.75$ ,坡脚修筑重力挡墙并设置防洪石垛。坡面设置截排水系统。对于分级而成的坡面及马道,可采用覆土绿化等生物工程措施防止大面积水土流失。瞬间的洪水一般是泥石流暴发的决定性因素,为此应加强毕机沟内淤积段清理,在清水区末段修筑拦洪坝,沟内铺设排洪涵管。对于分级放坡的堆渣和拦洪坝应加强变形监测<sup>[15,16-17]</sup>,同时矿山企业应配合当地气象部门、国土部门做好灾害预警和灾害群策群防工作。

## 3 讨论

采用泥石流沟易发程度数量化评分法及泥石流容重与数量化评分关系法均可以较好的预测泥石流灾害的易发性,且这2种定量方法评价数量化评分十分接近。

做好这两种方法数据的选取,对于以后泥石流易发性预测工作具有重要意义。泥石流沟易发程度数量化评分法主要借助于现场调查和量测,评估指标较多,个别指标依靠经验选取,数据选取主要参考《泥石流灾害防治工程勘察规范》(DZT0220—2006)附录 G.1。泥石流容重与数量化评分关系法,主要通过现场取样,室内试验分析颗粒含量及容重,操作较简单,但是由于取样

的随机性和不确定性,建议至少选取三个典型地段取样不少于12组,进行颗粒含量及容重统计分析。

## 4 结论

(1)毕机沟上游废弃堆渣物  $1500 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,为该区泥石流长期活动提供了丰富的物质基础;短流域地形地貌条件有利于大规模泥石流的形成;短时间的暴雨径流有利于侵蚀和洪峰形成。这些条件构成了最有利于泥石流形成的条件组合。

(2)经过2种定量方法定量计算,泥石流易发程度均为极易发。这两种方均可以较为准确的预测泥石流灾害的易发性,建议在以后的泥石流灾害易发性评估中均可以采用。

(3)毕机沟若再次暴发泥石流将形成  $0.2796 \text{ km}^2$  的泥石流淤积区,即沿着子午河形成  $1.8 \text{ km}$  的河道堵塞区,进而引发规模较大的堰塞湖。

(4)基于毕机沟泥石流灾害的易发性预测,应采取相应的工程治理措施进行防治。

## 参考文献:

- [1] 赵刘会,田晨曦.毕机沟泥石流灾害调查报告[R].成都:西北有色勘测工程公司,2014.
- [2] DD208-2,滑坡崩塌泥石流灾害详细调查规范(1:50000)[S].
- [3] 余斌.根据泥石流沉积物计算泥石流容重的方法研究[J].沉积学报,2008,26(5):789-796.
- [4] 费祥俊,舒安平.泥石流运动机理与灾害防治[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [5] 舒志乐,史宝宁,张德宇.色多沟泥石流动力特征及危险性评估研究[J].四川理工学院学报:自然科学版,2016,29(6):70-74.
- [6] 杨进兵,陈兴长,汪惠,等.泥石流堆积物中细颗粒含量与渗透系数关系试验研究[J].岩土力学,2016,37(11):3184-3190.
- [7] 莫志柏.矿山泥石流形成机理及治理方法研究[D].长沙:中南大学,2003.
- [8] DZT0220—2006,泥石流灾害防治工程勘察规范[S].

- [9] 曾超,崔鹏,葛永刚,等.四川汶川七盘沟“7·11”泥石流破坏建筑物的特征与力学模型[J].地球科学与环境学报,2014,36(2):81-91.
- [10] 朱渊,余斌,元星.地形条件对泥石流发育的影响——以岷江流域上游为例[J].吉林大学学报:地球科学版,2014,44(1)268-277.
- [11] 余斌,杨永红,苏永超,等.甘肃省舟曲8·7特大泥石流调查研究[J].工程地质学报,2010,18(4)437-444.
- [12] 吕立群,王兆印,崔鹏,等.沟岸侧蚀对泥石流形成和运动过程的影响[J].水科学进展,2017,28(4):535-563.
- [13] 陈宁生,崔鹏,刘中港,等.基于粘土颗粒含量的泥石流容重计算[J].中国科学,2003,33(增):164-174.
- [14] 唐川,李为乐,丁军等.汶川震区映秀镇“8·14”特大泥石流灾害调查唐川[J].地球科学-中国地质大学学报,2011,36(1):172-180.
- [15] DZT0239—2004,泥石流灾害防治工程设计规范[S].
- [16] TAMARA M,FRANCESCO B,VINCENZO D'AGOST. Field investigations of the interaction between debris flows and forest vegetation in two alpine fans[J].Geomorphology,2016,279:150-164.
- [17] 苏军德,高立兵,孔霞,等.河西走廊泥石流灾害危险性评价及影响因子分析[J].自然灾害学报,2017,26(3):139-146.

## Characteristics and Prevention of Geological Hazards of Rainstorm Debris Flow in the Biji Valley of Yang County in Shannxi Province

ZHAO Liuhui<sup>1</sup>, LI Zhe<sup>1,3</sup>, TIAN Chenxi<sup>2</sup>

(1. Northwest Nonferrous Survey and Engineering Company, Xi'an 710075, China;

2. CCCC First Highway Consultants Co., Ltd., Xi'an 710075, China; 3. Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** Through the investigation and study of the large debris flow disaster in the Biji valley of Yang county, Shannxi province, the conditions of landform, the material source condition and the water source condition are formed. The large debris flow distribution of the characteristics of partition, the basic characteristics and the formation mechanism are analyzed. Through investigating one by one, scoring and summing up of the the influence factors of debris flow, the method of quantitative scoring for judging debris flow prone degree of debris flow susceptibility and the method of quantitative scoring for the relationship between debris flow bulk density and quantification are adopted to judge the susceptibility of debris flow. The results of these two quantitative methods are very close, which shows that the Biji valley is very prone to debris flow gully. Then the single ditch debris flow formula is used to predict the maximum risk range and the degree of damage when the debris flow occurs again. Based on the above analysis, the integrated measures of engineering control are proposed.

**Key words:** ainstorm debris flow; harmfulness; formation mechanism; prone prediction