

成县赵河沟泥石流特征及其工程防治措施

刘兴荣, 张连科, 王得楷, 杨军, 董耀刚, 马伊明

甘肃省科学院地质自然灾害防治研究所, 兰州 730000

摘要 通过对成县黄渚镇赵河沟泥石流形成条件、发育机制及特征的研究, 阐述了该沟泥石流灾害的严重性。提出了“支沟拦挡、主沟固沟、沟口排导”的综合治理方案, 并就各项工程的特点、形式有针对性地进行了改进。工程建成后, 赵河沟泥石流将变成夹沙洪水, 对黄渚镇的危害基本消除。

关键词 泥石流; 形成条件; 发育机制; 综合治理; 夹沙洪水

中图分类号 X4

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.06.004

Features and Engineering Protection Measures for Debris Flow in Zhaohogou, Chengxian County

LIU Xingrong, ZHANG Lianke, WANG Dekai, YANG Jun, DONG Yaogang, MA Yiming

Geological Hazards Prevention Institute, Gansu Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

Abstract Zhaohogou is one of well known debris flow disastrous gullies in Chengxian County. There are $390.78 \times 10^4 \text{m}^3$ loosed solid materials in the gully with very favorable formation conditions for debris flows. In order to protect the farmland, the villages, the roads and Huangzhu city in the upper reach of Dong River, based on the formation mechanism, the developmental mechanism and the features of debris flows in Zhaohogou, this paper analyzes the seriousness of the debris flow disaster and the necessity of its prevention. A comprehensive controlling program is put forward, taking the blocking as the dominant measure, and combining the comprehensive treatments of the debris flow silting ground, the draining channel and the barrage. After the project is completed, the comprehensive benefits will be produced every year. Now the debris flow has been changed into a usual flood flow. Its threat to Dangchang town has been eliminated. The operation of the project is analyzed to reveal its engineering deficiencies. Considering the characteristics of the debris flow; the project is evaluated, focusing on the design of the control projects, the advantages of these projects and the optimizing methods. This analysis provides some guidelines for the prevention and control against debris flow.

Keywords debris flow; formation mechanism; developmental mechanism; comprehensive control; hyperconcentration flow

0 引言

泥石流灾害作为一种常见的山地灾害, 不仅以惊人的动力作用对山区及河谷地貌造成不同程度的破坏, 而且还可使耕地变成荒废的沙沙滩地, 对区域生态环境造成极大的不良影响^[1-2]。泥石流汇入主河道, 可顷刻之间使河床地貌发生沧桑巨变, 同时潜伏着再次暴发泥石流的危险^[3]。泥石流的危害具有“来势迅猛、影响深远”的特点, 一直为学术界和工程界所关注^[4-7]。20世纪70年代以来, 中国对众多灾害性泥石流沟如四川凉山黑沙河、云南东川蒋家沟、盈江洪水沟和西藏加

马其美沟等进行了研究, 积累了丰富的治理经验。但大多研究集中于方案选择, 对布置的工程特点、形式及改进的研究相对较少^[8-10], 本文以成县黄渚镇赵河沟泥石流沟道为实例, 对泥石流防治理论和工程形式进行分析和探讨, 进而提出科学、可靠的泥石流防治工程改进措施。

1 泥石流形成条件

黄渚镇属暖温带湿润气候区, 四季分明。降水量不均匀, 夏季为短时骤降的强雷阵雨, 夏末初秋为连阴雨天气, 遇冷

收稿日期: 2012-01-16; 修回日期: 2012-02-17

基金项目: 甘肃省科学技术厅甘肃省科技支撑计划项目(1011FKCA093)

作者简介: 刘兴荣(中国科协所属全国学会个人会员登记号: S102800716M), 助理研究员, 研究方向为地质灾害防治, 电子邮箱: 402794885@qq.com

空气后会出现雨量加强的强降雨。在日降雨量相同情况下,后者成灾程度更为严重。历史上最大的2次暴洪泥石流地质灾害(2010年8月12日和2011年8月17日)都出现于阴雨持续时段。黄渚镇暴雨分布于4—9月,主要集中于7—9月,年平均暴雨次数约1.3次,多年平均降水量为700mm,平均最大24h降雨量为75.0mm,最大时降雨量为55.5mm。本区降雨指标均超过了陇南地区形成泥石流的临界指标^[1]。

赵河沟流域呈芭蕉叶型,流域面积为27.5km²,主沟长10.28km,沟床平均纵坡降 61.4×10^{-3} ,流域相对高差为963.7m。山地以中山为主,山势陡峭,坡度多在31°以上,局部直立,沟谷冲蚀、下切较为强烈。主沟上游横剖面形态呈“V”字形,沟坡坡度多在35°以上,中、下游沟谷呈“U”字形,沟谷宽度多在80m以上。赵河沟流域内25条支沟的流域面积大部分小于1km²,山坡坡降大,汇流速度较快,有利于坡面水流迅速集中,峰量和能量成倍增长,从而有利于泥沙起动而形成泥石流。

赵河沟流域内可补给泥石流固体物质总储量为 $390.78 \times 10^4 \text{m}^3$,单位面积储量达到 $14.2 \times 10^4 \text{m}^3/\text{km}^2$ 。其中,沟床堆积物为 $131.79 \times 10^4 \text{m}^3$,占总量的34%;坡面松散物质为 $129.52 \times 10^4 \text{m}^3$,占总量的33%;滑坡、崩塌体(包括沟岸坍塌)为 $129.47 \times 10^4 \text{m}^3$,占总量的33%。支沟固体物质储量为 $234.01 \times 10^4 \text{m}^3$,占总量的60%,这说明支沟是泥石流固体物质的主要补给源。

2 泥石流特征

2.1 泥石流频率和规模

区内小规模泥石流每年都要发生数次,较大规模的泥石流近几年已经发生2次。2010年8月12日2时—7时30分左右,赵河沟流域暴发特大山洪泥石流灾害,其规模达百年一遇,造成4人死亡,直接经济损失5814万元;2011年8月17日20:00至次日凌晨4:00,黄渚镇一带再次遭受强降雨,降雨量达83mm,致使赵河沟流域暴发泥石流,相当于50年一遇泥石流流量,灾害造成直接经济损失330万元。

2.2 泥石流性质

本沟泥石流容重按8·12特大泥石流灾害发生后的实际调查资料并参照相关经验公式的计算结果综合分析,采用加权平均综合取值,确定赵河沟泥石流容重为 $1.50 \text{t}/\text{m}^3$,属稀性泥石流沟道。

2.3 泥石流的粒度特征

通过勘查可知,赵河沟泥石流堆积物无明显颗粒排列韵律,呈现混杂特征。泥石流堆积物以粗颗粒为主,粒径 $d > 2 \text{mm}$ 的颗粒质量分数一般占60%—80%; $d \leq 0.075 \text{mm}$ 的颗粒质量分数最多仅占3.33%,很多不足1%;1mm以下的颗粒最大质量分数为16.7%。考虑试验时剔除了巨粒物质,故1mm以下的颗粒质量分数总体应少于10%。因此,按组成物质分类,赵河沟泥石流应定性为水石流。

3 泥石流形成机制

赵河沟泥石流的形成机制主要包括支沟侵蚀型和主沟汇流下切型2种。

3.1 支沟侵蚀型

据勘查,流域内各支沟中停积有较丰富的滑塌体、坡积物和泥石流堆积物,在断续的水流冲刷下侧蚀、掏蚀作用强烈,此外,沟岸坍塌严重,一旦有强降雨或暴雨产生的洪水,便被侵蚀冲刷,卷入洪流中形成泥石流。

3.2 主沟汇流下切型

赵河沟主沟由25条支沟(其中22条属于泥石流沟道)汇流而成,支沟不断冲刷堆积的洪积物(泥石流物质),固体松散物质丰富。在暴雨期间,各支沟的山洪泥石流汇入主沟中,致使主沟流量突增,沟道冲刷下切作用增强,进而启动长期积累的松散固体物质,共同汇流形成泥石流向下游倾泄。

4 防治方案和工程改进措施

4.1 防治原则

采取一系列的治理措施改变泥石流形成、流动和堆积过程中的某些环节,通过一系列治理工程措施的实施,控制其规模和作用强度。根据赵河沟泥石流的形成、流动和堆积特征及成灾方式,需要在治理上贯彻以下原则。

(1) 全面规划,综合治理。泥石流是多种因素共同作用的结果,因而在治理上应当从其形成、流通、堆积等各个方面入手,进行全面规划,综合治理,以期发挥显著、长期的减灾防灾效益。

(2) 拦排结合。支沟以拦挡为主,主沟以固沟和沟口排导为主。

(3) 沟坡兼治,以治沟为主。沟道是泥石流形成和流动的场所以,通过治沟不仅可以阻止泥石流的形成和流通,而且可以固沟稳坡,减少固体物质来源,起到防治泥石流的目的。

4.2 防治标准

该泥石流危害对象主要为黄渚镇和厂坝铅锌矿家属区,其防治按国家《防洪标准》(GB 50201—94)和甘肃省国土资源厅2003年发布的《甘肃省地质灾害防治工程勘查设计技术要求》(试行)等相关规范和要求执行。该泥石流防洪标准按50年($p=2\%$)一遇设计,用100年一遇进行校核。

4.3 设计参数

泥石流设计重度 r_c 采用甘肃省泥石流重度经验公式^[11-12]和野外实地采样分析综合确定,通过沟内拦挡工程、固沟工程的实施,平顺水流,稳定沟底和岸坡,使沟道内大部分沟床物质以及两岸崩塌、滑坡趋于稳定,参与泥石流的活动能力减低,沟道松散物质被有效拦蓄。治理后赵河沟泥石流容重值在 $1.27—1.31 \text{t}/\text{m}^3$ 之间,成为含沙洪水。

泥石流流量采用配方法求得^[13-14],清水流量 Q_B 用陇南地区小流域径流量公式计算,即

$$Q_B(1\%) = 11.2F^{0.84} \quad (1)$$

其中, $Q_B(1\%)$ 为暴雨洪水下最大清水流量, m^3/s , 重现期为 100 年, 计算赵河沟百年一遇(1%)的清水流量为 $181.24m^3/s$; F 为流域面积, 取 $27.5 km^2$ 。

在泥石流与暴雨同频率且同步发生, 计算断面的暴雨洪水设计流量全部转变为泥石流流量条件下, 按水文方法计算暴雨洪峰流量, 则泥石流流量为

$$Q_C = (1 + \varphi) Q_B D \quad (2)$$

其中, Q_B 为一定重现期的最大清水流量, m^3/s ; Q_C 为与 Q_B 相同重现期的泥石流流量, m^3/s ; D 为堵塞系数, 治理前取 1.2, 治理后为 1.0; φ 为泥石流流量增加系数, $1 + \varphi$ 取 1.4, 则

$$\varphi = \frac{\gamma_C - 10}{\gamma_H - \gamma_C} = 0.4 \quad (3)$$

其中, γ_C 为泥石流重度, kN/m^3 ; γ_H 为泥石流颗粒重度, 取 $26.5kN/m^3$ 。

考虑“8·12”赵河沟泥石流形态调查流量与雨洪法计算流量的差别, 用差值比作为系数修正泥石流流量, 确定赵河沟沟口 100 年一遇泥石流流量为 $304.41m^3/s$, 50 年一遇泥石流流量为 $243.59m^3/s$, 治理后 50 年一遇泥石流流量为 $173.99m^3/s$ 。

4.4 防治方案

在综合分析赵河沟泥石流的形成条件、发育特征、危害方式等因素基础上, 根据治理目的、任务及原则, 综合分析流域泥石流的形成条件及运移、堆积、危害特征, 并考虑实际的治理工程费用, 本次拟采取拦挡工程、防冲工程、排导工程并重的泥石流治理方案, 即“支沟拦挡、主沟固沟、沟口排导”。主沟内共布设 4 道拦挡坝、13 道防冲槛、3939m 排导堤和 3 座便桥, 支沟内布设 13 道拦挡坝、10 道防冲槛和 515m 排导堤。

4.5 工程改进措施

4.5.1 拦挡坝

针对拦挡坝坝前积水、坝后和坝肩冲刷的特点, 提出了相应的改进措施。

(1) 拦挡坝坝前容易积水, 破坏坝体基础。由于该沟道为长流水沟道, 坝前积水较严重, 本次设计的泄水涵洞进口与现有地面平齐且涵洞设有一定坡率, 坡率为 7%。

(2) 水体过坝后落差较大, 容易冲刷坝体基础, 造成基础悬空。对沟道相对较窄、坡降较陡的支沟, 在坝体下游 15—20m 处修副坝或防冲槛, 防治沟床下切; 对沟道相对较宽、坡度较缓的主沟, 在坝体背水侧修护坦(图 1), 护坦沿下游方向设 1:0.07 的坡率, 防治冲刷坝体基础。

(3) 经坝体拦挡后回流和坝体 2 侧坡面汇水冲刷坝肩, 容易在坝体和沟岸接触处形成落水洞, 影响坝体稳定。建议在坝体 2 侧(坡体物质为坡积物)修侧墙, 一方面可以稳固坝体 2 侧坡脚, 另一方面可以防治水体侧蚀。

4.5.2 防冲槛

赵河沟流域内沟床堆积物和沟坡坡面松散堆积物储量丰富, 沟道下切严重。通过防冲槛的固沟作用, 抬高沟床侵蚀

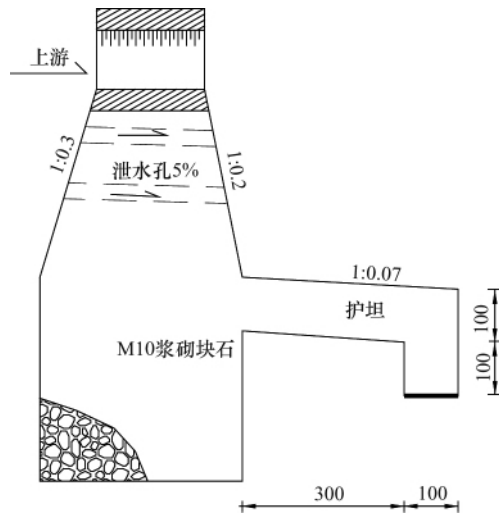


图 1 坝体断面示意(单位:cm)

Fig. 1 Schematic diagram of the dam section (unit: cm)

面, 同时, 还能拓宽沟床, 调缓沟床比降, 减小泥石流流速, 减轻水流对沟岸的冲刷, 从而可大大降低水流冲蚀搬运能力, 最终减少泥石流的泥沙含量和流量。本次设计对防冲槛形式做了如下优化(图 2)。

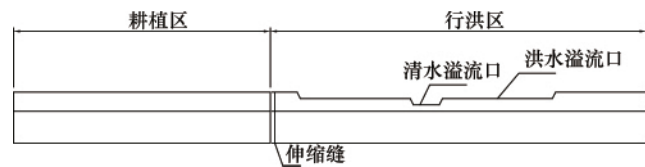


图 2 防冲槛断面示意

Fig. 2 Schematic diagram of the scour prevention dam section

(1) 防冲槛设有洪水溢流口和清水溢流口, 平时长流水通过清水溢流口流至下游, 一旦下雨, 沟内水量剧增, 可通过洪水溢流口流至下游。

(2) 由于赵河沟主沟宽缓, “8·12”灾害之前为赵河村和太山村 2 个自然村的主要耕地区, 本次设计有意识将溢流口设于基岩出露山体侧, 既可减小泥石流冲刷沟岸, 又可通过防冲槛的固沟作用, 使沟道不设溢流口的一侧淤积抬高, 村民可以继续覆土种植。

4.5.3 排导堤

赵河村居民沿沟道两侧居住, 居民为了方便出行, 每家门口都建有一座便桥。由于便桥设防标准低, 在泥石流暴发时容易拦挡树木和较大石块, 堵断泥石流去路, 泥石流迅速漫过沟道, 冲毁两侧的居民房屋、道路及耕地。本次设计贯穿灾害治理和居民生产生活相结合的思想, 在左岸护堤外侧预留 3m 的人行通道, 并在排导堤段布设 3 座公路桥, 从而起到保护黄渚镇安全和与地方建设相结合的双重效果。

5 结论

通过对赵河沟泥石流的形成条件、发育机制及特征的深

入研究和探讨,对该沟道内防护工程形式进行了相应的改进,工程建成后,赵河沟泥石流将变成夹沙洪水,对黄渚镇的危害基本消除。本研究为长流水泥石流沟道的拦挡坝和防冲槛工程、排导工程的设计,以及与地方建设相结合提供了技术参考,具有一定使用价值和指导意义。

参考文献 (References)

- [1] 唐邦兴,周必凡,吴积善,等. 中国泥石流 [M]. 北京: 商务印书馆, 2009: 1-375.
Tang Bangxing, Zhou Bifan, Wu Jishan, et al. Debris flows in China[M]. Beijing: The Commercial Press, 2009: 1-375.
- [2] 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: 1-20.
Fei Xiangjun, Shu Anping. Movement mechanism and disaster control for debris flow[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004: 1-20.
- [3] 王得楷,曾思伟,张又安. 甘肃榆中碱沟泥石流研究[J]. 甘肃科学学报, 1996, 8(4): 47-51.
Wang Dekai, Zeng Siwei, Zhang Youan, et al. Journal of Gansu Sciences, 1996, 8(4): 47-51.
- [4] 吴积善,田连权,张有富,等. 泥石流及其综合治理 [M]. 北京: 科学出版社, 1993: 1-90.
Wu Jishan, Tian Lianquan, Zhang Youfu, et al. Debris flow and its comprehensive control[M]. Beijing: Science Press, 1993: 1-90.
- [5] Ohmori H, Hirano M. Magnitude, frequency and geomorphological significance of rocky mud flows, landcreep and the collapse of steep slopes[J]. Zeitschrift fur Geomorphologie, 1988, 67(S): 55-65.
- [6] Tobin G, Montz B E. Natural hazards: Explanation and interation[M]. New York: The Guilford Press, 1997: 1-388.
- [7] 刘兴荣,杨军,颀丽,等. 泥石流对兰成渝输油管道的危害及防治[J]. 甘肃科学学报, 2009, 21(1): 88-92.
Liu Xingrong, Yang Jun, Xie Li, et al. Journal of Gansu Sciences, 2009, 21(1): 88-92.

- [8] 曾思伟,王得楷. 泥石流研究与展望 [J]. 甘肃科学学报, 2003, 15(S): 10-14.
Zeng Siwei, Wang Dekai. Journal of Gansu Sciences, 2003, 15(S): 10-14.
- [9] 刘兴荣,王生新,姚正学,等. 宕昌县大地沟泥石流特征及其防治对策 [J]. 甘肃科学学报, 2011, 23(2): 66-70.
Liu Xingrong, Wang Shengxing, Yao Zhengxue, et al. Journal of Gansu Sciences, 2011, 23(2): 66-70.
- [10] Eldeen M T. Predisaster physical planning integration of disaster risk analysis into physical planning-A case study in Tunisia [J]. Disasters, 1980, 4(2): 211-122.
- [11] 中国科学院兰州冰川冻土研究所,甘肃省交通科学研究所. 甘肃泥石流[M]. 北京: 人民交通出版社, 1982: 14, 53-75, 106-114.
Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology, Chinese Academy of Science Gansu Province Communications Science Research Institute. Debris flow in Gansu province [M]. Beijing: China Communications Press, 1982: 14, 53-75, 106-114.
- [12] 史正涛. 黄河中游黄土泥流的特征及分区 [C]//甘肃省滑坡泥石流研究会. 第四届全国泥石流学术讨论会论文集. 兰州: 甘肃文化出版社, 1994: 117-124.
Shi Zhengtao. Feature and partition of the loess mud on the middle reaches of the Yellow River[C]//Study on Landslide and Debris Flow in Gansu Province. The Fourth National Academic Symposium of Debris Flow. Lanzhou: Gansu Culture Press, 1994: 117-124.
- [13] 王彦东,黄润秋,邓辉,等. 西南某水电站泥石流形成条件及运动特征研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007, 18(1): 39-43.
Wang Yandong, Huang Runqiu, Deng Hui, et al. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2007, 18(1): 39-43.
- [14] 中国科学院兰州冰川冻土研究所. 农田泥石流防治[M]. 北京: 科学出版社, 1978: 113-115.
Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology, Academia Sinica. Debris flow prevention in farmland [M]. Beijing: Science Press, 1978: 113-114.

(责任编辑 孙秀云,代丽)

·学术动态·

“第二届中国科学院超级计算应用大会”征文



“第二届中国科学院超级计算应用大会”计划于 2012 年 8 月 17—18 日在云南省丽江地区召开。

征文范围: 超级计算应用: 包括数学、物理、材料、化学、生命科学、天文、地球科学、航空航天、信息科学、能源、工业等学科领域; 超级计算中心系统运维: 系统管理、作业管理、并行文件系统、数据存储、机房管理等。

论文截稿日期: 2012 年 6 月 26 日

联系电话: 010-58812199

电子信箱: liulp@sccas.cn

会议网站: <http://sca2012.sccas.cn/dot/page/1>