

泥石流多发区引水工程渠首泥砂灾害试验研究 ——以云南东川团结渠首为例

游勇,程尊兰

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘要: 本文以云南东川团结渠首为研究对象,对泥石流多发区引水工程泥沙灾害形成条件进行分析,通过渠首型试验研究,并结合野外实地踏勘资料综合分析,提出了渠首泥沙灾害防治的工程方案和技术措施,为工程设计提供可靠的基本参数和依据。

关键词: 渠首; 泥沙灾害; 模型试验

中图分类号: P642.23 **文献标识码:** A

我国是多山的国家,山地占国土面积的三分之二,在广大的山区,由于自然的和人为的因素,导致泥石流频繁发生,大量的泥砂致使引水工程等水利设施难以正常运行。

云南东北部的小江流域是我国泥石流典型发育地区,在不足90km的小江中下游两岸,水土严重流失,环境退化,分布有灾害性泥石流沟107条。团结渠位于金沙江一级支流小江中游右岸,全长34.3 km,引水流量 $4 \text{ m}^3/\text{s}$,主要承担 $1\,400 \text{ hm}^2$ 农田的灌溉输水,配套电站和城区部分用水,渠首取水工程由进水闸、拦河泄水闸、溢流坝、非溢流坝、导流堤等组成。由于渠首处于泥石流沟的名包围中,渠首上游河段两岸沟坡水土流失和支沟泥石流,每年将大量泥沙、石块注入小江主河,使河床快速淤积抬升,而渠首下游泥石流的频繁暴发,时常造成主河道被堵塞,产生顶托作用,下游河床同时抬升,渠首上游泥砂难于向下输送,发生严重泥砂淤积灾害,造成引水困难甚至无法引水。本文以团结渠为对象,对泥石流多发地区渠首泥沙灾害进行了初步研究,拟解决防治中的一些技术问题。

1 渠首泥砂灾害成因分析

1.1 自然环境

泥石流多发山区一般山高坡陡,地质构造复杂,

地层岩石破碎,新构造运动活跃,导致泥石流发育,水土流失十分严重。团结渠渠首区域,地处小薄大断裂带的东支断裂带中间,且发育近平行于主断裂带的次生张性断裂带和垂直于主断裂带的次生张性断层,地质构造格架复杂,渠首及上游出露为新一中生代地层;小江是我国著名地震发生带之一,多次发生6级以上地震;团结渠附近流域地貌主要表现为山体强烈隆升。渠首附近区域特有自然环境,导致水土流失严重,泥石流十分发育,大量泥沙涌入小江,上游河床泥砂淤积抬升,泥砂灾害造成渠首难以正常运行。

1.2 水文特征

团结渠所处小江为雨源类半山区性河流。距渠首下游的达德水文站资料,年平均流量 $11.7 \text{ m}^3/\text{s}$,最小流量 $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$,年最大流量为 $300 \text{ m}^3/\text{s}$,造床流量 $40 \text{ m}^3/\text{s}$,最大断面平均含沙量为 $98.9 \text{ kg}/\text{m}^3$,最小断面平均含沙量 $0.03 \text{ kg}/\text{m}^3$,年平均含沙量 $3.66 \text{ kg}/\text{m}^3$,泥沙平均粒径 $2.2 \text{ mm} \sim 10.1 \text{ mm}$,年输沙量 $155 \times 10^4 \text{ t}$,平均流速 $1.00 \text{ m}/\text{s} \sim 3.00 \text{ m}/\text{s}$,水面宽与平均水深的系数 \sqrt{B}/H 变化范围 $5.0 \sim 40.0$ 。小江流域降雨量主要集中在5~10月,降水量占年雨量的87%,具有干湿季分明的气候特点,加上小江流域地形起伏较大,受局部地形的影响,不仅地区分布差异极大,而且易形成暴雨和强暴雨,在同一坡面

收稿日期: 2001-09-14.

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(49831010).

作者简介: 游勇(1964-),男,四川乐山人,硕士,副研究员,主要从事泥石流防治工程及试验研究。联系电话: (028)5242781.

上暴雨量又随海拔高度而变,局部暴雨是该地区产生泥石流的主要雨型。降雨特点直接决定着小江流域的水文特征,其具体反映是,暴雨洪水普遍存在,来势凶猛,水量集中,历时极短的山地洪流经常发生。

1.3 河床特征

团结渠上、下游小江是典型宽浅高含沙游荡性河段。河床平均比降 16‰,最大可达 25‰;两岸坡平均坡度 24°,最大可达 58°。两岸泥石流作用程度沿河差异性的结果,主河沟床呈陡缓宽窄相间。河床断面由窄急剧加宽段,河床比降由陡变缓,即河床宽度与沟床比降成反比关系。

泥沙主要来源于泥石流、滑坡、坡面水土流失,以及河床质的搬运,其含沙量随流量的大小而相应变化。主河输沙的过程,是河床冲淤变化和河床粗化的结果,泥沙的粒径变化,以大泥石流沟为节点,两节点之间粒径减小,堆积所在部位粒径增大,往下逐渐变细,在下一个泥石流堆积粒径又突增,沿程粒径呈陡增缓降的曲线。

枯水期调查,渠首上游河流水流含沙量很小,基

本是清水,枯水期河床冲淤变化不大。洪水期间,河床的冲淤,完全受沿河两岸泥石流沟分布、规模、类型、以及活动程度的制约。雨季暴发泥石流,将大量的石块、泥沙输送至主河,加上上游来砂,其量已远超过主河的挟沙能力,因而沿主河落淤。河床演变的总趋势是淤积上升,但在洪水过程中,也伴有短暂的冲刷过程;此外,主河摆动幅度大时,出现短暂而迅猛的冲刷下切。团结渠首调查结果,年平均淤积速度 12.4 cm/a,最大可达 1.0 m/a ~ 1.5 m/a。主河水砂量完全受控于两岸泥石流沟的活动性、规模、分布,主河河床冲淤在时间和纵横上,都取决于泥石流行动。

2 渠首模型试验

模型试验将渠首缩小为模型,通过试验探明泥水对渠首危害方式、状况、程度,并探求相应防治对策。本次试验采用正态动床模型,根据试验目的要求及模型场地大小条件,确定几何比尺为 1:50,并由相似条件得到模型与原型之间各物理量相似比尺。

表 1 模型试验各相似比尺

Table 1 Similarity relationship of model test

比尺名称	符号	比尺数值	比尺名称	符号	比尺数值
水平比尺	λ_l	50	级配比尺	λ_{μ}	1
垂直比尺	λ_h	50	粒径比尺	λ_d	50
流速比尺	λ_u	7.07	容重比尺	λ_{rc}	1
流量比尺	λ_Q	17677.67	孔隙率比尺	λ_e	1
时间比尺	λ_t	7.07	河床变形相似	λ_{Δ}	50
糙率比尺	λ_n	1.919	水平垂直比尺	λ_{Δ_h}	50

2.1 模型砂的配制

试验模型砂的选配按下述原则进行:

1. 原型中 $< 0.1 \text{ mm}$ 的颗粒不缩小,仍按重量百分比配制;
2. 原型中大颗粒,按比尺缩小后 $< 0.1 \text{ mm}$ 的用略 $> 0.1 \text{ mm}$ 的粒径颗粒代替,但要求按重量百分比配制,按比尺缩小后 $> 0.1 \text{ mm}$ 的颗粒按实际比例计算配制。

2.2 模型平面布置

整个模型系统由五大部分组成。

1. 主河供流调流系统

该部分由蓄水池、抽水装器、前池、三角堰、分流、加砂装置、前部引流段组成。

2. 支沟供流调流系统

该部分由稳压蓄水池、调流装器、加砂装器、过渡段组成。

3. 模拟原型试验区

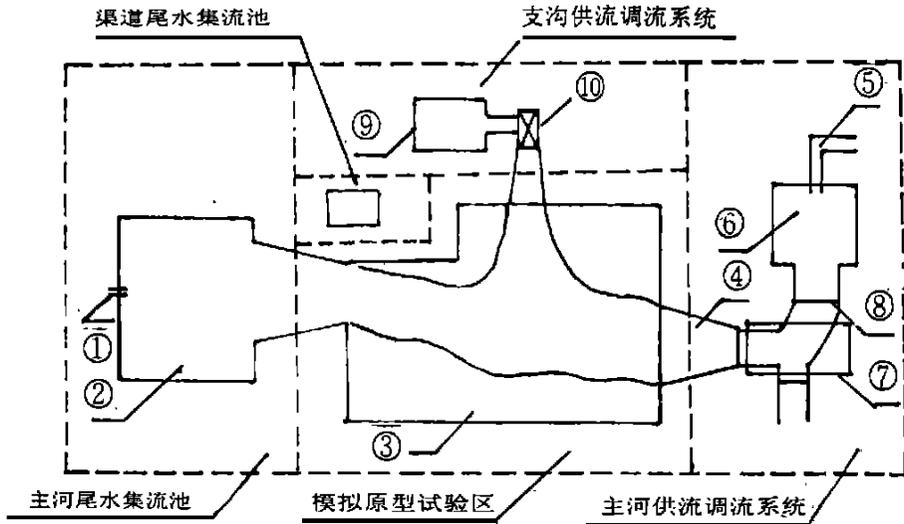
根据原型实际地形地物,按 1:50 的比例尺制作模型试验区。

4. 主河尾水集流池

将通过主河后的流体接纳,测定一洪水过程通过模型试验区的总水量、输沙量、粒径及变化。

5. 取水渠道尾水集流池

将通过渠道的水流接纳,测定进入渠道流量、含沙量及粒径沿程变化。



- ①弃流阀 ②尾料池 ③模型区域 ④过渡段 ⑤供流装置
⑥前池 ⑦供沙皮带装置 ⑧三角堰 ⑨前池 ⑩供沙装置

图1 团结渠首泥石流模型试验平面图

Fig. 1 Plan of model test of debris flow in xiaojiang river

2.3 模型试验

试验内容主要包括设计洪水、多年平均洪水及中等流量洪水组合作用下对引水渠首工程影响及防治对策试验。影响试验主要有：坝前库区淤积危害；进水口淤积危害；坝下游冲淤情况；进水闸引水能力；河床演变情况等。整治对策试验主要是：对设置不同防治工程方案的作用和效果进行比较，并优化方案。

3 模型试验结果分析

3.1 对引水工程渠道的危害分析

引水工程的拦河坝将小江主河横断，支沟泥石流及挟沙水流进入模型区后，泥沙被拦截于坝前库区，大量落淤，河床抬升，库区容积失效。给引水工程带来灾害，具体表现以下方面。

1. 渠首上游附近河床在挟沙水流作用下，逐渐淤积抬升，坝前库容逐渐淤塞失效，试验结果表明，溢流坝段泥沙淤至坝顶，最大淤积厚度 5.8 m (原型 2.0 m)，拦河闸段泥沙量最大淤积 1.7 cm (原型 0.85 m)，库区最大淤积 3.3 cm (原型 1.65 cm)。进水前池泥沙淤积已高出门坎 2.2 cm (原型 1.1 m)，此时水流从溢流坝流走，拦河坝无法起到拦蓄水流、抬高水位的作用，引水流量大大减少 (最多可减少 50%)，无法保证设计标准流量引水。

2. 大量泥沙进入渠首前池和渠道，当泥沙淤积与进水口底坎齐平后，部分泥沙推移质颗粒进入前池和渠道。最为严重时，前池内泥沙全面淤积，在前池靠进水口一带淤积最为严重，最大淤积厚度 4.1 cm (原型 2.05 m)，严重影响到取水，无法保证取水流量和质量。泥沙进入渠道，很快停积下来，沿渠淤积，严重降渠道的输水能力。

3. 上游河床泥沙大量淤积，河床迅速抬升，导流堤和拦沙堤有效拦挡高度明显减小，难以有效拦挡设计标准的洪水。试验表明，在距渠首上游 20m 范围内，泥沙已淤至导流堤顶部，最大淤积抬升 2.1 cm (原型 1.05 m)，导流堤拦挡导流的功能大大减小，影响整个渠首取水枢纽工程正常运行。

4. 上游河床虽然以淤积抬升为主，但局部河段仍发生冲刷。试验表明，沿导流堤局部地段易发生冲刷，断面局部最大冲刷 5.20 cm (原型 2.60 m)。拦河坝拦截泥沙后，过坝流体含沙量大大减小，造成坝下游以冲刷为主，从试验中可知，下游左导流堤脚冲到深度达 4.1cm (原型 2.05 m)，河床最大下切深度 7.1 cm (原型 3.55 m)。上、下游导流堤局部强烈冲刷，影响导流堤安全，一旦导流堤局部失稳，将会危害到整个渠首正常运行。

3.2 防治对策的模型试验分析

根据前述模型影响试验结果和野外实地调查，

针对泥石流、挟沙水流对渠首的危害形式、危害范围、危害程度等情况,拟定防治工程模型试验方案。基于渠首泥沙淤积严重,大量泥沙在坝前淤积抬升,堵塞进水口,进水量大大减小,且大量泥沙进入渠道这一基本情况,防治工程模型试验方案拟定的出发点,是保证取水、尽量减少进入渠道泥沙数量,使渠首工程正常运行。

拟定五套防治工程方案,分别进行模型试验研究。试验结果表明看,第三套方案防治泥沙灾害效果较佳,此处重点进行分析。

1. 防治对策的主要措施

防治对策的主要措施:在渠首上游设置矩形排沙槽;渠首下游设置输沙河槽;渠首上游右岸泥石流单侧排导拦挡墙。

2. 防治工程作用及效果

(1)试验表明,防治工程方案布置后,流量 $Q=25\text{m}^3/\text{s}$,含沙量 $8.6\text{kg}/\text{m}^3$ 水流进入模型区后,在排沙槽以上的河床,主要表现是河床冲淤交替,以淤为主,水流时常串流改道。在工程前端八字墙,水流能全部归顺进入排沙槽内,排沙槽过流满足要求。随作用时间加长,槽内河床被泥沙逐渐淤积抬升,过流有效断面减小,但基本仍能满足小流量过流要求,能保证设计取水流量的通过;当多年均值洪峰流量时入排沙槽,将产生漫流,部分洪水将溢出排沙道,从溢流坝和拦河闸排泄至坝下。

(2)试验表明,初始阶段,泥沙没有运动至排导槽内,对进水口取水影响很小,随时间作用加长,槽内逐渐淤积,但在坝前排导槽,形成宽 6cm (原型 3.0m),深 6.5cm 漏头状,减小了泥沙对取水的影响,但进水口取水量仍产生减小现象。

(3)试验结果表明,开始时间,进入渠道泥沙主要是悬移质,引水含沙量较小(一般 $2.40\text{kg}/\text{m}^3$),一般不会发电、灌溉及工业用水造成大的危害。随着泥沙在排导槽内淤积,部分粗颗粒泥沙从排沙槽右侧进水口进入渠道内。

(4)下游输沙河槽功能归顺水流,改善坝下输沙水力条件。

(5)渠首上游排沙槽严重淤积后,需在洪水时进行排沙。试验表明,一次洪水作用后,排沙效果较为明显,排沙槽内左、右侧泥沙淤积分别减小 0.3cm 和 2.6cm (原型 0.15m 、 1.3m),说明洪水排沙能起

一定的效果,可能减少排导槽内泥沙淤积。

4 结语

通过泥沙灾害成因,模型试验并结合野外调查资料综合分析,初步得到以上结论:

1. 泥石流多发的山区,引水工程取水的主河,水流含沙量高、河势变化快速、水流摆动强烈。洪水暴涨暴落,洪、平、枯水量变幅很大,并具有支沟势强、主河势弱等特点。严重的水土流失及泥石流的频繁暴发,导致河流来沙量剧增。河床淤积抬升迅速,若遇自然或人为阻塞,河床淤积更大。因此在引水工程建设或已建工程灾害防治中应充分遵循复杂的水沙特点,坚持全面的综合整治原则。除对渠首进行合理设计或工程改造外,对上游水土流失严重的沟坡亦应采取相应的整治措施,使流域内的产沙和输沙量逐年减少。与此同时,加强对首工程技术管理,按上游来水、来沙量的大小改变闸门启闭的数量及高度,使大量的泥沙排入下游河床,保持坝区空库的容量。

2. 已建渠首工程及模型度验表明:闸坝上游库区和河床,无论闸门开启与否,在多少的洪水季节,总是以淤积为主。闸坝上游有限的空库容将会很快淤满失效,造成大量上游来水只能从溢流坝顶流至下游(闸门关闭时),渠首引水口会被泥沙严重阻塞,影响引水入渠。因此设法减少闸坝上游及渠首引水口的泥沙淤积,确保渠首正常引水,应尽量集流开闸冲沙,增大排入下游河床的泥沙量,减少上游河床的淤积速度。并采取相应的措施降低引水口处的泥沙淤积厚度,使进入引水渠的泥沙量降低到最小值。

3. 不宜过多地加高坝及闸底高度。坝高度的增加,虽可增大上下游落差,使闸坝下游输沙能力暂时得到改善,但对闸坝上游的有效库容改变不大。相反,随着闸坝高度的增大,会导致上游河床的快速淤积抬高及拓宽,产生很大的危害。

参考文献:

- [1] 杜榕桓,康志成,陈循谦,等.云南小江泥石流综合考察与防治规划研究[M].重庆:科学技术文献出版社重庆分社,1987.17~84.
- [2] 弗莱游罗,C.M(姚德基译).泥石流[M].北京:科学出版社,1986.36~251.
- [3] 周必凡,李德基,罗德富,等.泥石流防治指南[M].北京:科学出版社,1991.96~108.

Experimental Study on Sediment Disasters of Canal Headwork in Debris Region

—A Case Study in Tuanjie Channel of Yunnan Province

YOU Yong and CHENG Zun-lan

(*Chengdu Institute of Mountain Disasters and Envioment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water
Coservancy, Chengdu 610041 China*)

Abstract: This paper presents the enviromental features of forming debris flow, analyses the distribution regularities of time and space for sedimdent motiom in Tuanjie water engineering region, and disccusses the causes of sediment disasters ofcanal headork in debris region. On the basis of model tests, the relevant data of the test onprevention construction and field invetigation, a rationala engineering progra mme against sediment disasters has been obtained. The results of this study provides a theoretical foudation for prediction, prevevtion and control of seediment disasters.

Key words: canal head; sediment disasters; model test