

# “拦-固-护”协同治理模式在灾后泥石流防治工程中的应用研究

王增宏

西南有色昆明勘测设计(院)股份有限公司, 云南昆明, 650217;

**摘要:** 我国西南山区灾后泥石流具有物源激增、沟道失稳、水动力条件复杂的核心特征, 传统单一拦挡或排导治理模式存在重单体工程、轻系统协同的短板, 难以适配灾后泥石流的防控需求。本文以怒江州贡山县牛郎当综合治理项目为工程依托, 系统剖析了“拦-固-护”协同治理模式的理论内涵与灾后防治适配性, 结合项目区高山峡谷型泥石流的流域特征、灾害演化规律与治理核心需求, 构建了“中游拦挡控源+沟道固床稳坡+下游护岸排导”的三级全链条协同防控体系, 明确了三大工程模块的功能定位、空间布局与协同联动逻辑。该模式较传统治理方案兼具显著的技术优势与经济合理性, 可实现对泥石流的全流程闭环管控, 为我国西南山区同类灾后泥石流治理工程提供了可复制、可推广的实践范式。

**关键词:** 泥石流治理; 拦-固-护协同模式; 灾后地质灾害; 防控体系

**DOI:** 10.69979/3029-2727.26.05.046

## 引言

泥石流作为我国西南山区最频发的地质灾害之一, 具有暴发突然、冲击力强、致灾范围广的特征, 尤其是强降雨触发的灾后泥石流, 往往伴随松散物源激增、沟道形态破坏、岸坡稳定性骤降等问题, 对流域内居民生命财产安全、交通干线与基础设施造成毁灭性威胁。传统泥石流防治工程多采用单一的拦挡或排导模式, 存在“重末端处置、轻源头防控”“重单体工程、轻系统协同”的短板, 难以适配灾后泥石流物源丰富、沟道失稳、水动力条件复杂的特征, 往往出现“拦而不稳、固而不牢、护而不全”的问题, 治理效果难以达到设计预期。在此背景下, “拦-固-护”协同治理模式应运而生, 该模式以“源头控源-过程稳床-末端防护”为核心逻辑, 通过拦挡工程、固床工程、护岸工程的空间协同布局与功能互补, 形成全流域、全链条的泥石流防控体系, 完美适配灾后泥石流的治理需求。

本文以怒江州贡山县牛郎当“5·25”泥石流综合治理项目为工程依托, 深入剖析“拦-固-护”协同治理模式的理论内涵、设计逻辑与实施路径, 结合项目区流域特征、灾害演化规律与工程地质条件, 阐述该模式在灾后泥石流防治中的具体应用, 同时明确施工关键技术与质量管控要点, 验证其治理效果与应用价值。

## 1 “拦-固-护”协同治理模式的理论内涵与灾后

## 防治适配性

“拦-固-护”协同治理模式是基于泥石流形成与运动机理, 针对灾后泥石流的灾害特征构建的全链条防控体系, 其核心理论内涵在于打破传统单体工程独立运行的局限, 通过拦挡工程、固床工程、护岸工程三大核心模块的功能互补、空间联动与时序协同, 实现对泥石流“物源控制-动力消减-灾害防护”的全流程管控, 最终达成“拦得住、稳得住、排得畅、护得牢”的治理目标。该

其中, “拦”是协同治理体系的源头核心, 指在泥石流流通区上游布设拦挡坝、梳齿坝等拦挡工程, 核心功能是拦蓄泥石流中的大粒径块石与松散固体物源, 从源头减少泥石流的固体物质补给, 同时利用坝体的回淤效应减缓沟道纵坡, 降低泥石流的运动势能与流体密度, 削弱其冲击力与搬运能力, 为下游固床、护岸工程减轻荷载。“固”是协同治理体系的过程支撑, 指在中下游流通-堆积过渡区布设固床肋、固床坝等工程, 核心功能是稳固沟床松散堆积体, 遏制沟道的下切与侧蚀, 稳定沟道纵坡与岸坡基础, 防止沟床持续刷深引发的岸坡坍塌与新增物源, 同时归顺沟道水流流路, 避免泥石流乱流改道, 进一步消减泥石流的运动动力。“护”是协同治理体系的末端屏障, 指在下游堆积区布设护岸堤、排导槽等防护工程, 核心功能是抵御泥石流对岸坡的侧蚀与淘刷, 固定沟道边界、规范流路宽度, 保障泥石流

的顺畅排导,最终保护沟口的居民点、交通干线等核心保护对象,是灾害防控的最后一道防线。

相较于传统治理模式,“拦-固-护”协同治理模式与灾后泥石流防治需求具有极高的适配性。灾后泥石流的核心特征在于:一是强降雨引发的滑坡、坍塌为沟道提供了大量新增松散物源,牛郎当泥石流沟内仅中游采石场区域就堆积了厚2~6m的块石碎石层,物源补给能力极强。二是原沟道形态被泥石流破坏,沟床纵坡剧变、断面不规则,下切与侧蚀作用强烈,牛郎当主沟平均坡降达364.56%,水流具有极强的冲刷与搬运能力。三是下游堆积区受历史泥石流与本次灾害影响,沟道弯曲、淤积严重,岸坡稳定性差,直接威胁沟口村庄与省道安全。

## 2 牛郎当泥石流灾害特征与治理工程核心需求

牛郎当泥石流沟位于云南省怒江州贡山县茨开镇,为怒江左岸一级支流,流域总面积13.28km<sup>2</sup>,主沟全长7.28km,沟道整体呈东西走向,由东向西汇入怒江,流域最高点海拔4028m,最低点为怒江江入口海拔1374m,相对高差达2654m,主河道平均坡降364.56%,属于典型的高山峡谷型泥石流沟。流域内地形陡峭、沟谷切割强烈,整体呈“三面环山、一面出口”的漏斗状形态,沟谷断面多为“V”字形,为地表径流的快速汇集与泥石流的形成提供了极佳的地形条件,是怒江州泥石流灾害高易发区域。

从流域分区灾害特征来看,牛郎当泥石流沟可划分为上游形成区、中游流通区、下游堆积区三个区段,各区段灾害特征差异显著,也决定了治理工程的差异化布局。上游形成区流域面积13.03km<sup>2</sup>,主沟长5.26km,平均坡降423.57%,沟道纵坡极陡,岸坡坡度多在45°~55°,局部近直立,沟谷切割深度大。该区域3400m海拔以上常年积雪,植被发育较差,为泥石流形成提供了充足的汇水面积与水动力条件,强降雨与冰雪融水叠加极易形成高强度地表径流,是泥石流暴发的主要动力来源。

从灾害演化与致灾特征来看,牛郎当泥石流属于高频暴雨型泥石流,持续强降雨在形成区快速汇流形成高强度地表径流,径流沿陡峭沟道下泄过程中,强烈冲刷、揭底中游流通区的松散堆积体与坍塌岸坡,裹挟大量块石、碎石形成泥石流;泥石流运移至2#简易桥涵处发生堵塞,水位壅高后漫流改道,进一步加剧了岸坡冲刷与

物源补给,最终以水石流形式冲出沟口,对下游村庄、省道造成严重威胁。本次灾害不仅造成了直接的财产损失,更形成了三大长期灾害隐患:一是中游流通区留存了大量松散物源,在后续强降雨作用下极易再次暴发泥石流;二是沟道受灾害冲击后,下切与侧蚀作用加剧,岸坡稳定性持续下降,易引发坍塌形成新增物源,形成“冲刷-坍塌-物源增加-更强烈冲刷”的恶性循环;三是下游沟道淤积、弯曲严重,行洪断面不足,泥石流暴发时极易漫流改道,直接威胁沟口100余户村民的生命财产安全与省道S228线的正常通行。

## 3 “拦-固-护”协同治理模式在牛郎当工程中的总体设计

基于牛郎当泥石流的流域特征、灾害演化规律与治理核心需求,本次治理工程严格遵循“安全、经济、可靠”的核心原则,以30年一遇泥石流流量为设计标准,50年一遇泥石流流量为校核标准,构建了“中游拦挡控源+沟道固床稳坡+下游护岸排导”的“拦-固-护”全链条协同治理体系。该体系通过拦挡工程、固床肋工程、护岸堤工程的空间协同布局,实现了三大核心工程模块的功能互补与联动防控,构建了流域内长效的泥石流防控体系,全面契合灾后泥石流治理的核心目标。

在总体空间布局上,本次“拦-固-护”协同治理体系严格遵循泥石流的运动规律,沿主沟道形成了“上游拦、中段固、下游护”的三级防控格局,每一级防控单元都精准对应流域内的灾害特征,实现了对泥石流全流程的分级管控。第一级防控单元为中游流通区的拦挡工程体系,是“拦-固-护”协同模式的源头核心,布设于牛郎当沟中游流通区采石场段,距离沟口约2.5km,该区域是本次泥石流的主要物源补给区,也是松散堆积体最集中的区段。本次设计在该区域布设1座梳齿坝及配套副坝、1座拦挡坝及配套副坝,形成了两级拦挡防控体系,两级坝体沿沟道纵向间距32m,形成了联合拦蓄空间。其中梳齿坝位于上游,核心功能是分选拦蓄大粒径块石,同时保障沟内常态流水的顺利下泄,避免坝前积水引发岸坡浸泡失稳;拦挡坝位于下游,核心功能是拦蓄中小粒径碎石与松散土体,进一步强化拦渣滞流效果,两级坝体协同配合,实现了对泥石流固体物源的分级拦蓄,同时利用坝体回淤效应减缓沟道纵坡,稳定两岸坍塌岸坡,从源头降低泥石流的规模与冲击力。

第二级防控单元为中下游过渡段的固床肋工程体

系,是“拦-固-护”协同模式的过程支撑,布设于1#简易桥涵至省道S228桥涵段沟道,总长约200m,该段沟道是泥石流从流通区向堆积区过渡的关键区段,沟道下切、侧蚀作用强烈,也是下游护岸堤工程的基础保障段。本次设计在该段沟道内共布设11道固床肋,沿沟道纵向每隔10~20m布设一道,与两侧护岸堤基础刚性连接,形成了“肋堤一体”的固床稳坡体系。固床肋工程的核心功能是稳固沟床内的松散堆积体,遏制沟道的纵向下切,同时通过横向肋体结构归顺水流流路,减少水流对护岸堤基础的横向淘蚀,保障护岸堤工程的基础稳定性,同时进一步减缓沟道纵坡,消减泥石流的运动动能,为下游护岸工程减轻冲击荷载。固床肋的设计充分结合了沟道现状地形,对左岸已有混凝土护坡段进行了专项优化,避免了基槽开挖对既有构筑物的扰动,实现了工程安全与现场实际的精准适配。

第三级防控单元为下游堆积区的护岸堤工程体系,是“拦-固-护”协同模式的末端屏障,布设于1#简易桥涵至在建美丽公路绿道工程过水渠道段沟道两岸,核心保护对象为沟右岸牛郎当二、四组村庄密集区,以及左岸省道S228线。本次设计在沟道右岸全段布设护岸堤,左岸根据岸坡现状在2处凹岸段布设护岸堤,护岸堤总长约400m,形成了完整的岸坡防护体系。护岸堤工程的核心功能是抵御泥石流与常态水流对两岸岸坡的侧蚀、淘刷,固定沟道边界、规范流路宽度,归顺泥石流流向,保障泥石流与洪水顺畅排入怒江,防止泥石流漫流改道对村庄、道路造成冲击,是保护下游核心保护对象的最后一道防线。护岸堤的设计严格遵循“因灾设防、因害设防”的原则,重点针对村庄、道路等核心保护对象进行强化设计,同时兼顾了沟道的行洪排导需求,实现了防护功能与排导功能的有机统一。

本次“拦-固-护”协同治理体系的总体设计,充分体现了三大工程模块的协同联动逻辑:上游拦挡工程通过拦蓄物源、消减动力,大幅降低了下游固床、护岸工程的设计荷载与损毁风险;中段固床工程通过稳定沟床、归顺流路,既巩固了拦挡工程的治理效果,又为下游护岸工程提供了基础保障;下游护岸工程通过规范流路、强化防护,既保障了泥石流的顺畅排导,避免了淤积漫

流引发的坝前壅水问题,又最终实现了对核心保护对象的防护。三大模块环环相扣、层层递进,形成了“控源-消能-防护”的完整防控闭环,同时配套了沟道清理工程、临时排水工程、监测工程等辅助措施,进一步完善了协同治理体系,全面满足了牛郎当泥石流灾后治理的核心需求。

相较于传统单一的泥石流治理模式,“拦-固-护”协同治理模式在牛郎当工程中的应用,展现出了显著的技术优势与经济合理性。传统治理模式往往采用“多坝集中拦挡”的方案,不仅需要布设多座高坝,工程投资大、施工难度高,且坝体长期受沟道水流冲刷,易发生基础淘空失稳的问题,后期维护成本高;而“拦-固-护”协同模式通过“源头拦、过程固、末端护”的分级防控,实现了功能的合理分配,拦挡工程无需承担过大的拦蓄压力,坝体高度控制在5m以内,大幅降低了坝体施工难度与工程投资;固床肋工程与护岸堤工程结构简单、施工便捷,且通过协同联动大幅降低了工程损毁风险,后期维护成本极低。经核算,本次牛郎当治理工程采用“拦-固-护”协同模式,较传统多坝拦挡方案节约工程投资约18%,同时施工工期缩短了25%,在实现更优治理效果的同时,兼顾了工程的经济性,完美适配西南山区地质灾害治理项目的投资管控要求。

### 参考文献

- [1]张万泽.泥石流大块石冲击作用下桩林结构受力机理研究[D].成都理工大学,2018.
- [2]杨相斌,胡卸文,曹希超,等.四川西昌电池厂沟火后泥石流成灾特征及防治措施分析[J].中国地质灾害与防治学报,2022,33(04):1-8. DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202203039.
- [3]薛莉云,贺模红,叶胜华.九寨沟县沙坝沟小流域震后泥石流基本特征及综合防治[J].四川地质学报,2022,42(01):81-86.
- [4]陈晓清.基于过程调控的泥石流防治关键技术.四川省,中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所,2018-05-20.