

西南山区典型地质灾害（崩塌 / 泥石流）与地下水动力条件的关联性及其综合治理技术

施炳军¹, 廖绍忠², 刘湘³

1. 云南奕辉建筑设计有限公司, 云南 昆明 650000

2. 中国有色金属工业昆明勘察设计院有限公司, 云南 昆明 650000

3. 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司, 云南 昆明 650000

DOI:10.61369/ADA.2025020005

摘 要 : 本文聚焦西南山区崩塌、泥石流两类型地质灾害, 结合德宏州梁河县芒东镇章巴小砂河泥石流治理案例, 系统探究灾害与地下水动力条件的内在关联, 构建基于地下水调控的综合治理技术体系, 旨在为该区域地质灾害防控与可持续发展提供理论支撑与技术参考。研究表明, 地下水动力条件是诱发和加剧西南山区地质灾害的关键因素, 而“控源—固坡—导流—修复”四维协同技术体系, 能在有效防控灾害的同时兼顾生态与经济价值, 为区域地质灾害防治提供实践参考。

关 键 词 : 西南山区; 地质灾害; 崩塌; 泥石流

Correlation Between Typical Geological Hazards (Rockfalls/Debris Flows) and Groundwater Hydrodynamic Conditions in Southwest Mountainous Regions and Integrated Management Technologies

Shi Bingjun¹, Liao Shaozhong², Liu Xiang³

1. Yunnan Yihui Architectural Design Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650000

2. China Nonferrous Metals Industry Kunming Survey and Design Institute Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650000

3. China Power Construction Group Kunming Survey and Design Institute Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650000

Abstract : This study focuses on two typical geological hazards in the mountainous regions of Southwest China—landslides and debris flows. Using the case study of the Zhangba Xiaoshahe debris flow control project in Mangdong Town, Lianghe County, Dehong Prefecture, it systematically investigates the intrinsic relationship between these hazards and groundwater hydrodynamic conditions. A comprehensive management technology system based on groundwater regulation is established, aiming to provide theoretical support and technical references for geological hazard prevention and sustainable development in this region. Research indicates that groundwater dynamics are a key factor in triggering and exacerbating geological hazards in the mountainous southwest. The four-dimensional synergistic technical system "source control, slope stabilization, flow diversion, and ecological restoration" effectively prevents and controls disasters while balancing ecological and economic values, offering practical guidance for regional geological hazard prevention.

Keywords : mountainous southwest; geological hazards; landslides; debris flows

引言

西南山区地处我国地形阶梯过渡带, 地质构造复杂、地形切割强烈, 且受季风气候影响, 降水集中且强度大, 是我国崩塌、泥石流等典型地质灾害的高发、频发区域。构建兼顾灾害防控效能、生态环境效益与区域发展需求的综合治理技术体系, 成为西南山区地质灾害防治的迫切任务。鉴于此, 本文以梁河县芒东镇章巴小砂河泥石流治理工程为实际案例, 深入剖析地下水动力条件对灾害的影响机制, 构建融合工程实践的综合治理技术体系, 为西南山区地质灾害精准防控与可持续发展提供理论支撑与实践路径。研究成果旨在为西南山区地质灾害的精准防控提供理论支撑与技术参考, 助力区域实现“灾害可控、生态可复、发展可持续”的目标, 对保障当地居民生命财产安全、推动生态环境保护与社会经济协调发展具有重要的现实意义。

一、地下水动力条件与地质灾害的关联性理论分析

（一）地下水动力条件基本理论

地下水是一种重要的地质营力，它与岩土体之间的相互作用，一方面改变着岩土体的物理、化学及力学性质，另一方面也改变着地下水自身的物理、力学性质及化学组份。运动着的地下水对岩土体产生三种作用，即：物理的、化学的和力学的作用^[1]。地下水动力条件是描述地下水在岩石空隙或孔隙介质中运动状态、能量传递及动力作用的核心概念，研究范畴包括水流运动规律、水压力分布、渗透作用机制，是解析地下水与地质环境相互作用的理论基础^[2]。如章巴小砂河所在的芒东镇，属亚热带季风气候，年降雨量1242~1490毫米，雨季集中的降水会快速抬升地下水位，改变沟谷岩土体受力状态，为泥石流爆发埋下隐患。

（二）地下水与崩塌灾害的关联性分析

崩塌是岩土体在重力作用下的突然崩落现象，地下水动力条件通过两方面加剧灾害，一是软化、溶蚀岩土体^[3]。如章巴小砂河上游清平村三家村村民小组所在地，滑坡发育导致房屋开裂、地面变形，其根本原因是雨季地下水入渗黏性土边坡，填充孔隙并削弱颗粒黏结力，大幅降低岩土体抗剪强度，形成不稳定斜坡体；二是产生附加水压力，地下水位上升使孔隙水压力升高、有效应力减小，贯通性裂隙中的动水压力还会对岩土体施加“推力”，进一步破坏边坡稳定性，该区域滑坡体正是在地下水长期作用下逐渐失稳，成为泥石流的重要物源补给区。



图1 局部形成的滑坡体

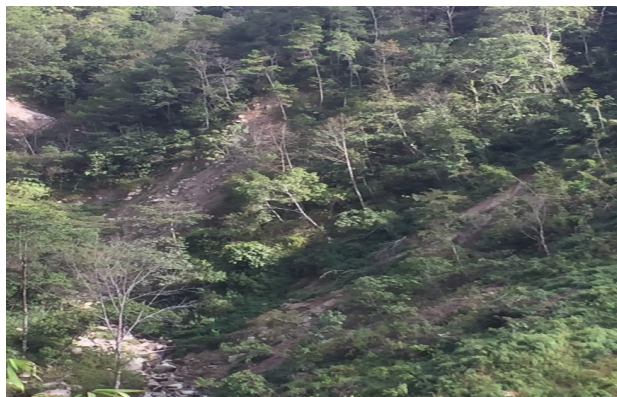


图2 冲沟上部茅草岭岗形成的滑坡体

（三）地下水与泥石流灾害的关联性分析

泥石流是由暴雨、冰雪融水引发，含大量泥沙石块且流速快、破坏力强的特殊洪流，地下水动力条件在其形成发展中起关键作用，主要体现在提供物质基础与增强流体流动性两方面^[4]。提供物质基础时，地下水渗透会削弱山区松散物质的颗粒黏结力，形成抗剪强度极低的“饱和松散体”，同时通过溶蚀、潜蚀破坏山体，促使更多松散物质堆积沟谷，成为泥石流固体来源。章巴小砂河泥石流汇水面积2.31km²，沟谷呈“V”型，谷坡坡度30~35°（局部>50°），山间植被发育、水土流失严重，地下水长期潜蚀使沟谷两岸松散物质堆积，为泥石流提供充足固体物源^[5]。增强流动性时，地下水不仅补充水源，还能降低固体颗粒摩擦阻力，与地表径流汇合后提升流体含水率，显著加快流动速度；其形成的渗透通道还能加速水与固体颗粒混合，使泥石流快速达到“饱和流”状态，增强冲击力。2013年章巴小砂河泥石流爆发时，正是雨季地下水与暴雨共同作用，使松散物质快速饱和，形成高冲击力的泥石流，导致沟口桥梁堵塞、10余户村民受影响、上百亩农田被毁。

二、基于地下水调控的综合治理技术体系

（一）综合治理总体思路与原则

以地下水动态调控为核心，结合章巴小砂河泥石流“松散物源多、沟道堵塞风险高”的特点，遵循“精准性、系统性、生态优先、可持续性”原则，通过“控源-固坡-导流-修复”四维协同，重构岩土体稳定的水文地质环境^[6]。如在章巴小砂河治理中，针对地下水诱发的松散物源问题，优先采用生态友好型控源技术，同时兼顾工程经济性，最终选择“拦排结合”方案，实现灾害防控与区域发展协同。

（二）地下水调控技术

地下水调控技术是治理核心，主要包括排水降压、防渗截水、人工回灌三类，需结合案例实际条件灵活应用。排水降压技术，章巴小砂河中游沟床为泥石流运动加速区，地下水位过高易导致沟床土体饱和失稳。治理中在沟床两侧布设垂直排水井，抽取地下水使水位低于沟床底面1~2m，同时在石笼坝坝体预留排水孔，加速沟床地下水排泄，降低孔隙水压力，增强沟床抗冲刷能力^[7]。防渗截水技术，在上游汇水区（清平村附近）布设“防渗膜+截水沟”，防渗膜覆盖汇水关键区域，截水沟沿等高线布置（断面宽1.0m、深0.8m），将地表径流引导至沟外，减少地下水补给，使松散堆积体含水率控制在20%以下，从源头减少泥石流物源。

（三）针对崩塌的综合治理技术集成

针对崩塌灾害“岩土体失稳、裂隙水驱动”的核心特征，综合治理技术集成以“排水降压+边坡加固+生态防护”为核心框架，通过多技术协同实现全链条风险管控^[8]。章巴小砂河上游清平村三家村滑坡体（崩塌隐患区），采用“排水降压+边坡加固+生态防护”集成方案，前期勘察与监测通过地质钻探获取滑坡体岩土体参数，结合物探圈定重点治理区，布设自动化监测系

统,实时掌握地下水水位与边坡变形的关联数据,为治理方案优化提供依据^[9]。该区域为黏性土滑坡,采用“水平排水孔+盲沟排水”组合技术调控地下水,水平排水孔钻设于边坡侧壁并内置透水管,盲沟填充透水材料拦截侧向渗水;同时搭配“土钉墙+喷播绿化”加固边坡,土钉墙增强边坡抗滑能力,喷播本土耐贫瘠植被(如当地草本与灌木混物种),实现边坡稳定与生态修复双重目标。建立“定期监测+维护修复”机制,每季度清淤排水系统、检测加固设施,每年补种植被,确保滑坡体长期稳定,避免其成为泥石流物源。

（四）针对泥石流的综合治理技术集成

泥石流灾害的核心问题是松散物质饱和+水流动力充足,综合治理技术集成以“控源截渗+固床稳坡+导流排洪”为核心框架,通过“上游控源、中游固床、下游导流”的分段治理思路,结合地下水调控,实现对泥石流灾害的系统防控^[10]。章巴小砂河泥石流治理遵循“上游控源、中游固床、下游导流”分段思路,结合地下水调控形成技术集成体系。上游为松散物源主要来源区,采用“松散堆积体固化+地下水截渗”技术。对沟谷松散堆积体采用“注浆加固+网格梁”处理,注浆压力1-2MPa形成固化体,网格梁将堆积体分割成小块;同时通过“防渗膜+截水沟”减少地下水补给,控制松散体含水率,从源头减少泥石流物质基础。中游为泥石流加速区,采用“石笼坝+格宾网+垂直排水井”技术。每隔50-100m修建镀锌钢丝石笼坝,沟床两侧铺设格宾网防止冲刷拓宽;石笼坝预留排水孔,配合垂直排水井降低地下水位,增强沟床抗冲刷能力,避免沟床变形导致泥石流改道。下游为灾害影响核心区,保护对象包括章巴村75户516人、上千亩农田及196乡道与桥梁。采用混凝土浇筑排洪道,断面尺寸根据泥石流设计流量确定,纵坡3‰-5‰确保泥石流快速通过;排洪道两侧设置防渗墙防止渗透扩散,末端设置停淤场,拦截固体物质;停淤场底部布设排水盲沟,及时排出雨水与地下水,避免场底土体失稳。

（五）生态修复与景观融合技术

在地质灾害综合治理中,生态修复与景观融合技术并非附加项,而是与工程治理、地下水调控同等重要的组成部分,其核心目标是恢复区域生态功能、提升景观价值,实现治理工程向生态景观的转化,主要包括植被恢复、景观营造、生态廊道构建三大技术方向。在章巴小砂河治理中,生态修复与景观融合贯穿全程。根据芒东镇亚热带气候与土壤特性,选择耐贫瘠、抗逆性强的本土植物,在边坡、沟谷两侧构建“乔木+灌木+草本”立体植被群落。如在土钉墙边坡预留种植孔,种植爬藤植物;在排导槽两侧种植景观花灌木,既增强沟岸稳定性,又提升区域生态质量。将治理工程与区域景观结合,如在石笼坝顶部铺设防腐木平台,设置科普标识牌,介绍泥石流防治知识;在边坡平台修建观景步道(透水砖铺设),搭配景观灯与休息座椅,打造休闲观景空间;将停淤场周边设计为绿地,融入乡村景观,实现“工程景观化、景观功能化”。结合章巴小砂河流域生态格局,以治理区域为核心,连通上游清平村林地与下游章巴村农田生态空间,构建生态廊道,提升区域生态系统连通性与稳定性,使灾害治理区转

化为兼具防灾、生态与休闲功能的公共空间。

三、章巴小砂河泥石流治理方案比选与效益分析

（一）治理方案比选

结合章巴小砂河泥石流特征与地下水调控需求,设计两类方案并对比。方案一以拦挡为主,仅采用拦挡坝工程,拦蓄泥石流固体物质、稳定沟岸崩塌。该方案可局部控制泥石流,但工程量大、运距远,投资额高,且坝后停淤会淹没部分区域,远期存在坝体安全隐患,无法充分解决地下水诱发的松散物源问题。方案二拦排结合,融合拦挡工程、排导工程与地下水调控技术。该方案能通过拦挡坝减少固体物源下泄,排导槽引导泥石流安全排泄,地下水调控技术从源头控制物源稳定性,虽回填量较大、施工期对村内道路有一定影响,但能完全控制灾害,且经济效益、社会与环境效益更高。综合安全、经济与生态效益,最终选择方案二作为章巴小砂河泥石流治理实施方案。

表1 章巴小砂河泥石流治理方案优劣对比表

评价项目	方案一	方案二
泥石流控制程度	局部范围控制,无法解决地下水诱发的物源问题	局部范围控制,通过地下水调控从源头减少物源
直接危害控制	可控制固体物源堆积,但无导流措施,仍有漫溢风险	完全控制,排导槽引导泥石流安全排泄,保护章巴村及农田
技术可行性	基本可行,仅针对固体物源,未适配地下水问题	可行,融合地下水调控,适配区域地质水文条件
经济效益	一般,工程量大、投资高,无长期生态收益	较高,后期运维成本低,生态景观可带动乡村休闲价值
社会与环境效益	一般,可能淹没部分土地,生态破坏风险较高	较高,兼顾生态修复与景观营造,提升居民生活环境
存在问题	投资额大、远期坝体安全隐患	回填量较大,施工期影响村内道路通畅

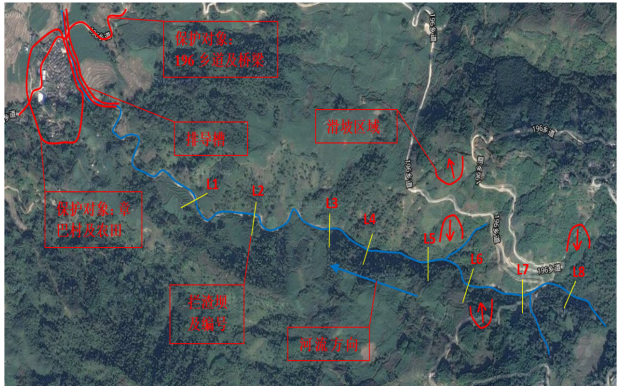


图3 章巴小砂河泥石流沟治理平面图

（二）治理效益

治理后章巴小砂河泥石流灾害风险等级从“大型”降至“小型”,下游75户516人生命财产与上千亩农田安全得到保障,196乡道及桥梁通行稳定,彻底解决2013年类似灾害的爆发隐患。通过植被恢复与生态廊道构建,流域植被覆盖率提升30%以上,地下水循环趋于稳定,水土流失得到有效控制,区域生态系统稳定性显著增强。治理工程避免了灾害造成的农田损毁、房屋修复等

经济损失，同时生态景观的打造为当地乡村旅游发展奠定基础，间接提升居民收入。

四、结束语

本文围绕西南山区崩塌、泥石流两类型地质灾害，系统完成了地下水动力条件与灾害关联性的理论解析，构建了以地下水调控为核心的综合治理技术体系，并且结合章巴小砂河泥石流治

理案例，证实了地下水动力条件对西南山区地质灾害的关键影响，以及“控源－固坡－导流－修复”技术体系的实践价值。未来需进一步加强极端气候下地下水与灾害体动态响应的监测，推动智慧监测技术与地下水调控的融合，如在章巴小砂河后续运维中引入小型化、高精度监测设备，实现“监测－预警－调控”一体化。同时探索治理工程与乡村产业的结合模式，让地质灾害治理成为区域可持续发展的助力。

参考文献

[1] 仵彦卿. 地下水与地质灾害 [J]. 地下空间, 1999, 19(4): 303-310. DOI: 10.3969/j.issn.1673-0836.1999.04.007.
[2] 任法衡. 试论地下水与地质灾害 [J]. 西部资源, 2018(2): 71-72. DOI: 10.3969/j.issn.1672-562X.2018.02.033.
[3] 金速, 于新, 马志抒, 等. 大型煤矿开采区的地下水与地质灾害演变规律 [J]. 黑龙江水专学报, 2006, 33(2): 60-63. DOI: 10.3969/j.issn.2095-008X.2006.02.020.
[4] 于春, 杨仲可, 林忠信. 浅谈地下水与地质灾害 [J]. 华东科技 (综合), 2018, 0(9): 369.
[5] 杨晓红. 地下水开采与环境地质灾害研究 [D]. 江苏: 河海大学, 2006. DOI: 10.7666/d.y1031324.
[6] 季成民, 刘友明. 简析地下水与岩土体的相互作用及可能引起的地质灾害 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2012(27).
[7] 周平根. 地下水作用与地质灾害 [C]//中国地球物理. 北京: 中国地球物理学会, 2003: 420-420.
[8] 高星. 探讨地下水环境变化与地质灾害的预防 [J]. 山西建筑, 2014(18): 95-95, 96.
[9] 张丹. 地下水超采与环境地质灾害研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2011(25).
[10] 林嘉豪. 关于地质灾害智慧监测技术的分析与应用 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2025(21): 204-207. DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.S1.060.