

山区河道治理与护岸工程综合设计研究

师帅博

新疆锐嘉达威工程咨询服务有限公司, 新疆 伊宁 839300

[摘要]山区河道的治理工作, 由于其所处区域特别的地形地貌条件、特殊的水文循环特征以及周边环境要素的复杂约束, 不得不面临着远超平坝区河道的多样性与复杂性的难题。本研究系统地剖析了山区河道自身的特征、当前暴露的核心问题以及国内外治理技术的应用现状, 构建了以安全性、生态系统恢复、工程协调性、资源可持续性为核心的综合性的治理设计框架。重点探讨了河道平面优化、断面参数设定与护岸选型配置。针对护岸工程, 详细阐释了结构力学特性、冲刷防护技术、生态材料选择与结构设计, 以及稳定性计算与水力学分析要点。

[关键词]山区河道; 综合治理; 长效管理机制

DOI: 10.33142/hst.v8i7.17080

中图分类号: TV854

文献标识码: A

Research on Comprehensive Design of River Management and Embankment Engineering in Mountainous Areas

SHI Shuaibo

Xinjiang Ruijia Dawei Engineering Consulting Services Co., Ltd., Yining, Xinjiang, 839300, China

Abstract: Due to the unique terrain and geomorphological conditions, hydrological cycle characteristics, and complex constraints of surrounding environmental factors, the management of river channels in mountainous areas has to face challenges far beyond the diversity and complexity of river channels in flat dam areas. This study systematically analyzed the characteristics of mountainous river channels themselves, the core problems currently exposed, and the current application status of governance technologies at home and abroad, and constructed a comprehensive governance design framework with safety, ecosystem restoration, engineering coordination, and resource sustainability as the core. The focus was on the optimization of river channel plan, setting of cross-sectional parameters, and selection and configuration of revetment. For the revetment project, the structural mechanics characteristics, erosion protection technology, ecological material selection and structural design, as well as the key points of stability calculation and hydraulic analysis were elaborated in detail.

Keywords: mountain rivers; comprehensive governance; long term management mechanism

引言

河道治理对提升地区防洪能力与修复生态环境具有重要意义。山区河道通常具有坡降陡、平面形态复杂、岸线不规则、冲刷能力强的基本特点, 又有降雨强度大、汇流时间短、洪水暴涨暴落的水文特性, 加之沿岸多为农田或居民点分布, 因此与平坝区河道相比, 其治理难度更复杂、治理方式更多样。

1 山区河道特征与治理现状分析

1.1 基本特征与水文特性

深切峡谷与剧烈起伏的地形直接塑造了比降陡峭得显著、河床物质以粗颗粒砾石卵石为主的突出特征的地貌特征的现状。河床形态极不规则且水流路径频繁摆动成为常态的现象。集水区地形高差悬殊导致地表径流汇聚速度快得惊人, 短历时高强度降雨极易诱发洪峰流量巨大、水位变幅剧烈、洪水过程线尖瘦陡峭的突发性山洪灾害, 对河道稳定性构成持续性高强度冲击的威胁。

1.2 主要问题与治理挑战

当前最突出地表现为四大核心问题: 河岸崩塌失稳现

象频繁、河床剧烈下切或局部淤高得严重、行洪断面严重束窄得危险、生态廊道破碎化得明显。治理挑战具体体现在三方面: 第一方面, 如何在空间有限的条件下协调防洪保安刚性需求与生态修复保护目标的冲突; 第二方面, 如何应对河床演变高度活跃带来的工程结构长期稳定性难题; 第三方面, 如何筛选经济合适并且对环境友好的治理技术与材料^[1], 特别是在应对那些复杂多变的水力边界条件和不良地质条件时, 这些问题就会显得尤为重要。并且, 护岸结构的寿命周期应考虑 20 年以上。

1.3 治理技术现状与发展趋势

国际上, 河道自然化修复 Natural Channel Design 与基于自然的解决方案 NbS 理念推动生态友好型技术发展的新路径。稍捆、石笼网、生态袋等多孔介质结构应用日益广泛地普及, 国内实践呈现从硬化渠化工程向综合治理模式演进的转变。据 2024 年水利年报数据显示生态护岸技术和近自然工法推广比例达 32% 的提升, 技术创新与精细化设计成为主流发展方向, 值得强调的是设计人员应主动规避高碳排放材料。

2 综合治理设计体系研究

2.1 治理目标与设计原则

应确立防洪安全保障为基石、河流生态系统健康恢复为核心、自然人文景观和谐共生为纽带、资源环境可持续利用为长远目标的四位一体体系。设计过程必须遵循尊重自然规律、巧妙因势利导、统筹兼顾需求、坚持因地制宜的核心原则。特别要强调工程措施与自然过程的动态适应性协调,避免对河流自然属性造成不可逆伤害等,是工程师必须坚守的伦理底线。

2.2 河道平面形态优化

平面设计应以维持或恢复河流自然蜿蜒形态为导向,审慎确定治理河段的河湾半径大小、中心角度数、摆动幅度等关键参数。对于确需裁弯取直的河段,必须通过河床演变分析与水动力模拟评估上下游河势连锁调整风险,并预先规划潜坝丁坝等控导工程,保留深潭到浅滩序列对维系生物栖息地多样性。滩地宽度通常不小于主槽2倍的要求,这是防洪安全的基本保障。

2.3 纵横断面关键参数设计

纵断面设计需控制河床比降合理分布,通过阶梯到深潭系统耗散水流能量。横断面应采用复式或宽滩地梯形断面,边坡坡度在砂质土层宜采用1:2.5~1:3。主槽宽度、滩地高程、边坡稳定坡度等参数需依据水文计算与地质勘察综合确定。断面设计应预留15%以上的生态缓冲带,在赣南示范工程中,该措施使鱼类产卵场面积扩大40%。

2.4 护岸工程选型分析

护岸类型选择是高度依赖现场条件的复杂决策。混凝土挡墙等重力式结构适用于岸坡陡峭城镇段,砌石等斜坡式护岸因透水性好应用于郊野河段^[2]。活枝捆栅等生态型护岸在流速低于1.5m/s区域价值独特。选择时需系统评估水流条件、地质状况、生态目标等多维因素,生态价值应优先于工程便利性。

3 护岸工程关键技术与结构设计

3.1 常用护岸结构类型及其力学特性

重力式护岸结构,其稳定性主要地、根本性地依赖于结构自身庞大的自重所产生的抵抗力来平衡土压力和水流冲击力。这类结构具有侧向刚度大、能够有效抵御大型漂浮物,如原木、冰块等的猛烈撞击,它们同时也会严重阻隔水体和土体之间自然的交换过程,并且对下部地基的承载能力提出了非常高的要求,基础处理成本往往较高。斜坡式护岸结构,则主要通过其自身固有的柔性特征,来更有效地适应地基可能发生的不均匀沉降变形。其结构内部的多孔性特点,非常有利于消减波浪能量对岸坡的侵蚀作用,并促进水体的自由交换,维持河岸带的水文连通性。斜坡式护岸的抗冲刷能力,则主要依赖于其表层所铺设的块石或混凝土块的个体稳定性以及这些材料级配的合理性,设计良好的反滤层是防止土粒流失的关键。生态型护岸结构,在其建成后的初期阶段,其结构强度主要依赖于所选

植物的根系网络逐渐发育成熟后形成的生物加筋效应。

3.2 冲刷防护与基础处理关键技术

水流对护岸脚部基础区域持续不断的淘刷作用,被普遍认为是导致各类护岸结构最终失稳破坏的首要诱因。因此,在护岸工程设计中,构筑坚固可靠的防冲体系是至关重要的、不可或缺的技术环节。常用的、有效的冲刷防护与基础处理关键技术主要包括以下几种:第一种技术,是在护岸基础的前沿位置,设置深埋的防冲槽,槽内填满大块石或进行抛石处理。这种做法的目的,是主动地引导水流冲刷坑发生在远离护岸主体结构的位置,从而保护主体结构的安全。第二种技术,是在护岸的脚部关键部位,采用大型块石,如吨袋装石、异形混凝土块体,如扭王字块、四脚空心块或沉排,如柴排、混凝土铰链排进行专门的固脚防护,直接增强脚部抵抗冲刷的能力。第三种技术,是在近岸水流顶冲作用强烈的危险区段,科学布置丁坝或潜坝群等。这些导流建筑物能有效调整主流方向,降低近岸水流流速,促进泥沙坝后落淤,起到淤滩护岸的作用。第四种技术,针对软弱地基或易液化砂土地基,必须考虑更可靠地基加固措施,例如打入桩基础、进行土体换填并铺设砂石垫层、或使用土工合成材料如土工格栅、土工布加筋处理等,唯有如此,才能确保护岸结构基础部分足够稳固,避免基础失效导致整体破坏^[3]。

3.3 生态护岸材料选择与结构设计方法

选择生态护岸工程材料时,应当优先考虑具备天然属性、长期耐久性好、透水性能优良且有利于植物种子发芽和根系生长的材料特性。常见且经过实践检验的材料包括:防腐处理天然木材、当地天然石材、椰壳纤维制品、黄麻织物、稻草捆束、可生物降解聚合物网垫等。在生态护岸结构设计方法方面,关键在于创造有利于植物成功定植并茁壮生长的介质环境。这通常需设计植生带、植生袋或加筋土结构等特殊构造来实现。同时,设计必须确保在植被完全发育成熟并发挥根系加筋固土作用前长达1-3个生长季的工程过渡期内,护岸结构自身具备足够抗水流冲刷能力和抵抗土体滑移临时稳定性。因此,设计需要明确规定具体植被建植方案,包括选择乡土、耐淹、根系发达植物物种、确定合理种植密度、规划乔灌木科学配置模式,以及制定灌溉频率、施肥方案、病虫害防治措施等初期养护管理要求,这些环节都关系工程成败。

3.4 护岸结构稳定性计算与水力学分析

任何护岸结构设计方案,都必须通过严谨规范工程计算验证其在各种潜在荷载组合下安全性,包括验算抗滑移安全系数、抗倾覆安全系数、地基承载力及整体稳定性。进行荷载组合分析时,必须全面涵盖结构自重、后侧土压力、静水压力、动水压力、波浪作用力、冰压力以及地震作用力等可能同时或相继出现极端工况。在水力学分析方面,重点在于模拟计算护岸周边复杂三维流场分布特征。

分析目的在于精确预测不同重现期如 5 年一遇、20 年一遇、50 年一遇洪水条件下,护岸附近区域流速分布、可能水位壅高值、局部冲刷坑最大深度及其影响范围。这些定量预测结果,是优化护岸结构如坡脚埋深、护面厚度的设计、确定冲刷防护措施形式与规模的最直接科学依据。目前,数值模拟技术如计算流体力学 CFD 软件和传统物理模型试验,是开展这类水力学分析最常用互补技术手段。

4 综合治理实施保障与管理措施

4.1 工程监测与效果评估体系

治理工程竣工验收投入运行后,立即着手建立覆盖多维度多要素长期监测网络,是保障工程长期有效运行基础。这个监测网络应持续监测水文情势关键指标如水位流量动态变化;密切跟踪河床地形演变趋势如河床冲淤变化深度、断面形态稳定性;详细记录护岸结构自身物理状态如是否位移、变形或裂缝;科学评估生态系统恢复实际进程如植被覆盖度增长、物种多样性变化、关键水质指标改善程度等。基于这些长期积累宝贵监测数据,定期如每 1~2 年开展一次治理工程综合效果系统评估工作,对照项目初期预设目标如防洪标准达标、岸坡稳定状态、水生生物栖息地实质性改善等,进行量化考核评价。监测数据表明,约 70% 的项目在 3 年内可见生态指标显著提升。

4.2 工程维护管理与长效机制

制定一套详尽的、可操作性强的工程日常巡查制度、定期检修计划和应急抢险预案,是保障山区河道治理工程能够长效运行、持续发挥效益的基石。非常关键的是,必须致力于建立一个权责界定明晰、资金来源渠道稳定可靠的工程管养长效机制。及时清理可能阻碍行洪的各类障碍物例如淤积的泥沙、倒伏的树木或垃圾;迅速修补局部损坏的护岸结构例如松动的块石、破损的生态网垫;对生态护岸的植被进行持续的养护管理例如及时补植缺失的苗木、实施必要的灌溉、防治病虫害,以及定期检测评估潜坝、丁坝等河道控导工程的功能状态是否完好有效。

4.3 施工期风险管理与环境保护

山区河道治理工程的施工现场环境通常极为复杂,且受到季节性因素的强烈约束例如必须避开主汛期施工以策安全。施工过程中还显著地面临着诸如边坡滑坡、泥石流、突发性洪水等多种安全风险。因此,施工单位必须编制专门的、详细的施工组织设计方案和具有可操作性的应急预案。并在施工中严格落实各项安全保障措施,例如对开挖边坡进行稳定性监测、设置有效的临时排水系统防止积水、科学组织施工导流方案降低水流干扰等^[4]。在环境保护方面,需要严格地、清晰地划定施工机械和人员的活动范围,最大限度地减少对原地表植被层和宝贵表土资源的扰动破坏;设置足够容量的沉淀池对施工产生的废水进行处理,达标后方可排放,坚决防止施工活动污染水体;

采取有效措施控制施工扬尘的扩散和施工噪声的传播;妥善地、规范地处理施工过程中产生的弃渣废料;在施工活动结束后,及时对施工迹地例如临时道路、料场、营地等进行生态修复例如复土、复绿工作。

4.4 公众参与与协调机制

山区河道治理工程的实施,往往不可避免地涉及敏感的土地征用与占用问题、可能需要搬迁安置沿岸居民,以及对原有土地利用方式和利益格局进行调整。因此,建立一个有效的、贯穿项目全过程的公众参与和利益协调机制,是项目顺利推进不可或缺的社会基础。在项目规划方案初步形成阶段、工程设计深化阶段以及具体实施阶段,项目方都应积极主动地通过组织召开听证会、进行方案公示、发放调查问卷等多种形式,充分地听取工程沿线受影响的居民、社区组织以及相关行业代表例如农业种植户、渔业养殖户、旅游业经营者的实际诉求与建设性建议。有必要建立一个由地方政府代表、水行政主管部门官员、项目业主单位、设计单位和施工单位代表,以及社区推选的居民代表等多方利益相关者共同组成的协调平台。

5 结束语

山区河道系统治理与护岸工程科学建设,本质上是一项高度融合水利工程学、河流动力学、生态学、地貌学及环境管理学等多学科理论技术跨学科复杂系统工程。本研究系统构建了以安全性、生态性、协调性、可持续性为核心原则山区河道综合治理设计框架体系。该体系深入探讨了从河道平面断面形态优化设计,到多样化护岸工程类型选择与关键结构设计技术要点。同时前瞻性提出覆盖工程规划、设计、施工、运行维护直至效果评估全生命周期综合性实施保障与管理措施体系。未来研究与实践需更深刻注重河流自然演变过程与工程干预措施深度耦合机理;需深化复杂水沙输移条件下工程结构、水流动力、河床形态、生态系统复杂相互作用关系与反馈机制,不断强化基于长期系统监测数据适应性管理能力。从而为区域经济社会高质量发展,提供坚实可靠水安全保障和优美宜人生态基底支撑。

[参考文献]

- [1]兰秋勇.山区中小河流治理中河道生态治理理念运用分析[J].低碳世界,2025,15(2):13-15.
 - [2]吴自会,陈相益,毕诚,等.山区河道治理堤防型式的选择分析[J].人民珠江,2025,46(1):61-63.
 - [3]陈小洪.高原山区河道治理工程设计要点探讨分析[J].中国防汛抗旱,2025,35(1):23-26.
 - [4]张琳,王钊.PET 生态连锁筐在山区河道治理工程中的应用[J].云南水力发电,2025,41(5):144-147.
- 作者简介:师帅博(1990.8—),毕业院校:新疆塔里木大学,所学专业:农业水利工程,当前就职单位名称:新疆锐嘉达威工程咨询服务有限公司,职称级别:工程师。