

水利枢纽工程区水土保持生态修复模式创新

魏占伟

新疆中环合创工程技术咨询有限公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 大型水利枢纽工程在保障供水、防洪、灌溉及水资源调配方面发挥着重要作用, 但工程建设与运行不可避免地区改变区域原有地形地貌与生态格局, 容易诱发水土流失、岸坡侵蚀、植被退化等生态问题, 使区域生态系统稳定性下降。本文从水利枢纽工程区生态影响特征切入, 系统分析现有水土保持措施存在的问题, 总结适应新时代生态治理要求的创新修复模式, 包括构建梯级生态护坡体系、实施水陆交界带生态缓冲带构建、推进生态型护岸技术应用、强化智能监测与自适应管理等内容。通过理论分析与经验归纳, 提出系统性、可推广、具可持续性的生态修复模式, 为水利枢纽工程区生态保护管理提供参考。

关键词: 水利枢纽; 水土保持; 生态修复; 护岸模式; 生态治理

Innovative Models of Ecological Restoration for Soil and Water Conservation in the Area of Water Conservancy Hub Projects

Wei Zhanwei

Xinjiang Zhonghuan Hechuang Engineering Technology Consulting Co., Ltd., China Xinjiang Urumqi 830000

Abstract: Large-scale water conservancy hub projects play a crucial role in ensuring water supply, flood control, irrigation, and water resource allocation. However, the construction and operation of these projects inevitably alter the original topography, geomorphology, and ecological patterns of the region, easily triggering ecological issues such as soil erosion, bank slope erosion, and vegetation degradation, thereby reducing the stability of the regional ecosystem. This paper starts from the ecological impact characteristics of water conservancy hub project areas, systematically analyzes the problems existing in current soil and water conservation measures, and summarizes innovative restoration models that meet the requirements of ecological governance in the new era. These models include constructing a stepped ecological slope protection system, implementing the construction of ecological buffer zones at the water-land interface, promoting the application of ecological bank protection technologies, and strengthening intelligent monitoring and adaptive management. Through theoretical analysis and experience summary, a systematic, replicable, and sustainable ecological restoration model is proposed, providing a reference for ecological protection and management in water conservancy hub project areas.

Keywords: Water conservancy hub; Soil and water conservation; Ecological restoration; Bank protection model; Ecological governance

0 引言

在我国水资源时空分布不均、水旱灾害频发的背景下, 大型水利枢纽工程承担着重要的资源配置和灾害调控功能。然而, 工程建设对地表扰动强度大、范围广, 常导致植被破坏、坡面失稳、水体泥沙含量增加等生态退化问题, 尤其在库区与上下游连接区域表现更为突出。区域生态系统结构因库区水位涨落、滨岸带周期性淹没存在显著的不稳定性, 使传统以结构物为主的水土保持方式难以实现持续性的治理效果。伴随着生态文明理念深入推进, 水利工程建设目标逐渐从单纯的功能性建设向“水工程 + 生态系统建设”转变, 工程区的生态安全已成为评价工程

综合效益的重要指标。在此背景下, 创新水土保持与生态修复模式具有现实意义与理论价值。本文围绕水利枢纽工程区生态问题的复杂性, 从多尺度、多要素、多措施协同治理角度进行探讨, 提出新的生态修复路径, 以期形成可推广的综合治理体系。

1 水利枢纽工程区水土流失与生态破坏问题分析

1.1 库区地形扰动与水位涨落带造成的生态不稳定性

水利枢纽建设往往需要大面积开挖、填筑和地基处理, 这一过程破坏了地表的自然结构, 导致原有植被覆盖

率显著下降。库区形成后,水位涨落带成为特殊的生态敏感带,其受季节性水位变化影响,周期性淹没导致植被难以稳定生长,表层土壤结构松散,极易发生冲刷和滑移。库岸坡度较大的区域受到长期水波冲击,使得岸坡出现崩塌、溜坍等不良地质现象,进一步导致区域生态系统自我恢复难度增加。

1.2 施工活动导致坡地扰动与土壤侵蚀加剧

枢纽工程施工需要开挖导流洞、进占料场、修筑施工道路等,施工过程中的机械碾压、爆破作业容易破坏土壤团聚体结构,使地表裸露面积增大。在降雨条件作用下,裸露坡面形成集中径流,引起坡面侵蚀、沟蚀乃至滑坡。施工弃渣场若缺乏有效拦挡设施,会导致泥沙入库,影响水质及库区生态安全。由于施工通常持续时间长,扰动频次高,生态不可逆性风险显著增加。

1.3 库区水动力与岸坡冲刷导致的生态退化问题

工程运行阶段,库区水动力变化对岸坡稳定性产生持续影响,由于水体波浪作用、库区水位周期变化等因素的耦合作用,岸坡长期受到冲刷和拉张作用,导致岸坡植被难以维持完整的根系结构。部分地区水体富营养化问题加剧,使藻类过度生长,破坏水生态平衡,而岸带植物因缺乏稳定生境而衰败,导致库区生态退化呈持续性进程。长期累积的冲刷效应还可能影响水库泥沙平衡,使生境条件变得更加脆弱。

2 水利枢纽工程区传统水土保持方式存在的不足

2.1 工程措施偏重结构稳定忽视生态功能

在众多水利枢纽与库区治理实践中,传统工程措施仍以刚性结构为核心,例如混凝土护坡、浆砌石挡墙、水泥格网、混凝土预制块等。这些措施确实能够在短期内有效提升岸坡的力学稳定性,满足抗冲刷、抗滑移与抗剪切等工程安全需求,但其生态功能严重不足。硬质护坡会切断土壤与水体的自然交换界面,使岸线失去透水性生态通气的性,从而导致土壤微生物活性下降、植被根系无法深入定植。此外,混凝土表面光滑致密,不利于藻类、昆虫、贝类等生物附着,阻断了水陆生物之间的迁移和互动,破坏食物链结构。长期依赖硬质结构会削弱自然界的自我调节能力,使库区生态呈现“工程化—退化化”趋势,不利于形成可持续的生态系统。

2.2 生物措施单一化导致恢复速度与稳定性不足

虽然部分治理工程已开始引入生态措施,但实际应用中仍存在明显不足。常见做法如大面积撒播草籽、简单种

植单一灌木,或缺乏针对水位涨落带的植物分带设计,使生态系统缺乏层次性与稳定性。水库岸坡具有强烈的水位涨落特征,下部长期受淹、中部周期淹没、上部则较为干旱,若未结合这种垂直梯度差配置耐湿、耐淹、耐旱等不同功能植物,植被极易出现成活率低、退化快等问题。草本植物根系浅、固土能力弱,遇到强降雨或风浪冲击时容易大面积倒伏或冲毁,导致坡面再次裸露,形成反复侵蚀循环。此外,若生态措施品种单一,一旦遭遇病虫害或极端天气,整片植被可能同时失效,缺乏多样性支撑的生态系统无法形成稳态结构,使恢复速度慢、维持时间短。

2.3 治理体系缺乏长期监测与自适应管理机制

许多水利工程在建设阶段投入较大,但在后期运营管理中忽略了对生态系统的持续监测与维护。多数项目仅在验收阶段开展一次性检测,而缺乏连续性监测体系,如坡面侵蚀发展、植被生长动态、水质变化、泥沙输移趋势等关键指标未能实时掌握。当生态措施受到自然干扰或退化趋势出现时,管理方往往不具备及时调整能力,导致问题积累并扩大化。缺乏自适应管理体系也意味着治理策略无法根据季节变化、气候极端事件、水库调度规律等动态因素进行科学调整,使工程措施与生态过程严重脱节。传统线性治理方式不能形成“监测—诊断—调整—验证”的闭环机制,导致前期投入的生态工程难以长期保持良好效果,甚至在数年后完全失效。

3 生态修复与水土保持协同的创新模式探索

3.1 构建“工程—生态”复合型护坡体系

在水利枢纽及河湖治理中,单纯依靠传统工程硬质护坡往往会破坏自然岸带结构,降低生态系统稳定性,因此构建“工程—生态”复合型护坡体系成为创新治理的重要方向。该体系强调将工程结构的力学稳定性与生态要素的自我恢复能力结合,通过多要素协同实现岸坡的长效防护。例如,可采用生态格构护坡,先利用钢筋、木质或混凝土格构形成稳定支撑框架,再在框架内部填充生土、基质土与适生植物,使工程结构承担主力的抗滑、抗冲作用,植被根系承担固土、改善土壤结构与提升生态功能的作用。在水位涨落带区域,根据水位变化规律采用分带式植被布局,如上部选择耐旱灌木与草本,中部配置耐淹植物,下部采用挺水植物,使岸坡在不同水位条件下均具备良好的生态功能,形成结构稳定、生态健康的立体岸坡体系。复合型护坡不仅提高工程稳定性,还能为昆虫、鱼类、两栖动物等提供栖息空间,促进水陆生态链完整性。

3.2 构建水陆交界带生态缓冲带体系

水陆交界带是水体营养物质转化、污染拦截和生物栖息的重要区域,也是水利枢纽生态治理的重点。构建生态缓冲带可从降低污染输入、改善水质、增强岸坡稳定性与提升生物多样性等方面发挥关键作用。缓冲带通常分为挺水植物带、湿生植物带、陆生草灌植物带,通过不同植被群落与坡面布局形成多层过滤体系。挺水植物如芦苇、香蒲可减缓水流速度,吸收氮磷等营养盐;湿生植物如莎草、黄菖蒲可吸附悬浮颗粒;陆生植被群落可减少坡面径流与泥沙入库。从空间结构上,缓冲带形成柔性生态护岸,与硬质结构互补,提高整体抗冲刷能力。同时,缓冲带可提供丰富的生境,吸引鸟类停留、促进鱼类觅食和繁殖,有助于形成稳定的水陆生态网络。

3.3 创新生态型护岸材料与施工技术

随着生态治理理念深化,生态型材料与绿色施工技术在水利护岸领域得到广泛应用。例如,多孔生态混凝土、生态砖、透水砂浆等材料通过孔隙结构为植物根系与微生物附着创造条件,实现“硬结构+生态基底”功能叠加。柔性材料如椰纤维毯、可降解土工布不仅可改善局部微环境,还能提高植被恢复效率。对于土质较差或坡度较大的区域,可使用喷播植草技术,将种子、基质、肥料与保水剂混合喷覆在坡面,快速形成植被覆盖层,提高抗侵蚀能力。基材固化技术用于提高土体强度,使坡面更易稳定,同时兼顾生态需求。此外,原位生境构建技术通过保留或设置微型滞水区、栖息凹槽与生态台阶,使护岸功能从单一防护向“防护+生境构建”升级。

综上,通过“工程+生态”复合结构、生态缓冲带建设以及生态材料与施工方法创新,可构建稳固、安全、可持续的水利护坡体系,实现工程效益与生态效益的双提升。

4 水利枢纽工程区智慧监测与自适应管理机制构建

4.1 构建生态监测网络体系实现动态评价

为了确保河湖生态修复与护岸治理的长期稳定,需要构建多层次、立体化的生态监测体系,实现对生态要素的动态感知与持续评价。通过遥感卫星监测可获取大范围水体与植被变化趋势,无人机巡测能够实现中小尺度范围的高精度影像采集,而自动监测站可对水位、流速、含沙量、土壤水分、气象数据等进行实时采集。多源数据融合后,可在互联网生态监测平台中实现统一集成与处理,从而实现对岸坡稳定性、植被生长恢复、水体泥沙输移、水岸界面变化等关键生态指标的全天候监测。

建立科学的监测指标体系是生态评价的基础,应包括植被覆盖度、物种丰富度、土壤含水量、岸线稳定性、侵蚀速率、水体透明度、水位动态等多维指标,并构建量化的评价模型。通过多期数据对比,可识别潜在的生态退化趋势,如岸线后退、植被退化、泥沙淤积异常等,为治理措施优化提供预警依据。

4.2 建立自适应管理系统提升治理的持续性

生态治理并非一劳永逸,而是与外界环境变化密切相关的动态过程,因此管理系统必须具备自适应调整能力。在植被恢复初期,应加大人工干预力度,采取灌溉、施肥、补植和封育措施,确保植物快速建立根系与覆盖层;随着生态系统逐步成熟,管理应转向减少干预、促进自然演替的方式,以提高生态系统自身调节能力。在汛期水位上涨或极端天气出现时,应实时调取监测数据,加强岸坡形变预警,视情况增设临时挡护或加固工程,避免突发性冲刷破坏。

基于监测数据构建的智能化自适应管理平台,可实现“监测—分析—调整—反馈”的闭环治理模式。平台利用模型模拟不同气候情境、不同水位条件下的风险等级,为管理者提供情境化决策依据。例如,通过对历史洪水数据与实时水位变化趋势的对比,系统可提前预测岸坡危险段,指导提前布防。

在长期运行中,自适应管理机制能够动态优化治理措施,减少盲目性,提高资源利用效率,使生态修复的效果不仅得到保持,更能持续提升,从而实现生态治理的长效性与可持续性。

5 结语

水利枢纽工程区的生态修复与水土保持治理是系统工程,需要兼顾工程安全、生态保护与资源利用的多重目标。本文从工程区生态退化的原因出发,针对传统治理方式存在的问题提出创新模式,包括复合型护坡体系、水陆交界生态缓冲带构建和新型生态护岸材料应用等,同时强调智慧监测与自适应管理的重要性。通过工程技术、生态技术及信息化技术的协同融合,可构建更加高效、可持续的生态治理体系,为我国水利枢纽工程的长效生态保护提供理论指导与实践借鉴。未来的生态修复将在智能化、区域协同、多功能复合利用方面继续发展,以支撑国家水安全与生态文明建设的深度推进。

参考文献:

[1] 刘斌,徐舟,潘文峰等.大型水利水电工程水土保持监测的实践与思考——以大藤峡水利枢纽工程为例[J].人

民珠江, 2023,44(S2):372-379.

[2] 王童, 翁丽珠, 陈际旭. 新疆某水利枢纽工程水土保持生态景观设计研究[J]. 水利水电工程设计, 2023,42(02):4-6+53.

[3] 朱娜, 兰安军, 范泽孟等. 黔中水利枢纽工程区“三生”空间用地生态环境效应[J]. 水利水电科技进展 [3]2023,43(04):15-24.

[4] 赵欣. 亭子口水利枢纽工程移民安置水土保持治理效果探讨[J]. 水利技术监督, 2023,(01):237-238+281.

[5] 张昕川, 徐霞. 水利工程水土保持专项监理工作实践与探讨——以亭子口水利枢纽工程为例[J]. 水利水电快报

[3]2022,43(12):99-104.DOI:10.15974/j.cnki.slsdkb.2022.12.016.

[6] 张晓敏. 兴隆水利枢纽工程水土保持措施应用效果分析[J]. 低碳世界, 2022,12(05):76-78.DOI:10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2022.05.048.

作者简介: 魏占伟 (1991.12-), 男, 汉族, 新疆乌鲁木齐, 本科, 水利专业 / 规划设计与技术咨询 (中级工程师), 研究方向: 分析现有水土保持措施存在的问题, 总结适应新时代生态治理要求的创新修复模式, 通过理论分析与经验归纳, 提出系统性、可推广、具可持续性的生态修复模式, 为水利枢纽工程区生态保护管理提供参考。