

水利水电工程中绿色施工技术的应用与效益分析

徐志苏

新疆兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 随着全球可持续发展理念的不断深化和我国“双碳”目标的提出,传统高能耗、高污染的工程建设模式已难以适应新时代生态文明建设的要求。水利水电工程施工过程往往伴随着大规模的土地扰动、生态破坏、资源消耗及环境污染等问题。因此,推动绿色施工技术在水利水电工程中的系统化应用,已成为实现行业高质量发展的关键路径。本文在梳理绿色施工内涵与原则的基础上,系统分析当前水利水电工程中主要绿色施工技术的应用现状,包括生态友好型施工工艺、资源节约与循环利用技术、智能建造与信息化管理、水土保持与生态修复措施等;进而从环境、经济、社会三个维度对绿色施工的综合效益进行定量与定性分析;最后针对当前存在的问题提出优化建议,以期水利水电工程绿色转型提供理论支撑与实践参考。

关键词: 水利水电工程;绿色施工;可持续发展;生态修复;资源循环;智能建造

引言

水利水电工程是国家能源战略和水资源安全保障体系的核心支柱。然而,大规模水利水电开发在带来显著经济社会效益的同时,也引发了诸多生态环境问题,如河流生态系统破碎化、水土流失加剧、生物多样性下降、施工扬尘与噪声污染等。传统“先破坏、后治理”的粗放式施工模式已难以为继。在此背景下,“绿色施工”理念应运而生。绿色施工是指在保证工程质量和安全的前提下,通过科学管理和技术创新,最大限度地节约资源(节能、节地、节水、节材)、保护环境和减少污染,实现工程建设全过程的绿色化、低碳化与可持续化。2021年,住房和城乡建设部发布《绿色建造技术导则(试行)》,明确提出将绿色施工纳入工程建设全生命周期管理。水利部亦在《“十四五”水利科技创新规划》中强调推广绿色施工技术,构建生态友好型水利基础设施体系。本文旨在系统探讨绿色施工技术在水利水电工程中的具体应用形式,深入分析其带来的多维效益,并提出针对性的发展建议,以推动水利水电行业向绿色低碳方向转型升级。

1 绿色施工的内涵与基本原则

1.1 绿色施工的定义

绿色施工并非单一技术的堆砌,而是一种贯穿项目策划、设计、施工、运维全过程的系统性工程理念。其核心在于“四节一环保”——即节能、节地、节水、节材和环境保护。在水利水电工程中,绿色施工更强调对流域生态系统的整体性保护,注重施工活动与自然环境的协调共生。

1.2 基本原则

绿色施工的实施需遵循若干基本原则。首先,生态优先原则要求将生态保护置于工程实施的首要位置,尤其要避免对水源保护区、珍稀物种栖息地等敏感区域造成不可逆损害。其次,资源高效利用原则倡导通过优化设计、改进工艺、循环利用等方式,降低单位产值的资源消耗强度。全过程控制原则强调从前期勘测到后期拆除,实施全生命周期的环境影响管控,而非仅关注施工阶段^[1]。此外,技术创新驱动原则指出,数字化、智能化等新兴技术是提升绿色施工效能的关键支撑。最后,公众参与与透明度原则要求加强环境信息披露,主动接受社会监督,从而提升工程的社会接受度与公信力。

2 水利水电工程中绿色施工技术的主要应用

2.1 生态友好型施工工艺

近年来,低扰动施工工艺逐渐成为主流。例如,静态破碎技术和机械铣挖技术因其振动小、噪音低、对围岩扰动轻微,被广泛应用于高边坡和地下洞室开挖。白鹤滩水电站建设过程中,通过采用数码电子雷管精确控制爆破时序与能量释放,有效降低了爆破振动对邻近岩体稳定性及生态环境的影响,体现了精细化、可控化的绿色施工理念。与此同时,生态材料的应用也在不断拓展。传统混凝土护坡虽然结构稳定,但隔绝了土壤与大气、水体的交换,不利于植被恢复。为此,植生混凝土、多孔透水混凝土等新型生态材料被引入边坡防护与渠道衬砌工程。这些材料内部具有连通孔隙,既能满足力学性能要求,又为植物根系生长和雨水下渗提供通道。乌东德水电站库区边坡大量采用植生袋结合生态混凝土的复合护坡体系,不仅有效控制了水土流失,还显著提升了植被覆盖率,实现了工程安全与生态修复的双重目标。

2.2 资源节约与循环利用技术

水资源的高效利用是绿色施工的重要环节。施工过程中,混凝土拌合、骨料冲洗、设备冷却等环节用水量巨大。若直接排放,不仅浪费资源,还可能携带泥沙、油污污染水体。为此,许多大型项目建立了“沉淀—过滤—回用”一体化水处理系统。以雅砻江两河口水电站为例,其施工现场设置了三级沉淀池配合膜处理设备,对施工废水进行分级净化,回用率超过90%,年节水达200万吨以上,显著减轻了对当地水资源的压力。在固体废弃物管理方面,建筑垃圾的资源化利用正逐步取代传统的填埋或弃置方式。开挖产生的弃渣、拆除的混凝土废料等,经破碎、筛分、清洗后可作为再生骨料用于路基填筑、临时道路铺设甚至部分结构混凝土配制^[2]。金沙江下游梯级电站群推行“渣场即料场”的理念,将弃渣视为资源而非负担,综合利用率超过80%,不仅减少了外购砂石料的需求,也大幅降低了运输能耗与碳排放。此外,节能设备与清洁能源的引入进一步提升了施工过程的绿色水平。电动挖掘机、电动自卸车等新能源工程机械在部分项目中试点应用,有效削减了柴油燃烧带来的尾气排放。大藤峡水利枢纽工程在施工营地安装了500kW分布式光伏系统,为照明、办公及小型设备供电,年发电量达60万kWh,相当于减少二氧化碳排放约480吨,为施工期能源结构清洁化提供了可行路径。

2.3 智能建造与信息化管理

BIM(建筑信息模型)与GIS(地理信息系统)的深度融合,使得施工方案可在虚拟环境中进行多轮仿真优化。南水北调中线穿黄工程便借助BIM+GIS平台,对盾构掘进路径进行三维模拟,提前识别地质风险点并优化线路,有效规避了对黄河河床生态的潜在扰动,同时提高了施工精度与安全性。物联网技术则为环境动态监管提供了实时数据支撑。在三峡集团多个抽水蓄能电站项目中,“智慧工地”平台集成了扬尘、噪声、水质等在线监测传感器,数据实时上传至云端,一旦指标超标,系统自动触发喷淋降尘、设备限行等响应机制,实现了从“被动应对”到“主动防控”的转变。这种基于数据的闭环管理,显著提升了环保措施的精准性与时效性。无人机与遥感技术的应用进一步拓展了绿色施工的监管边界。传统人工巡查难以覆盖大面积施工区域,而无人机可定期对渣场、边坡、临时道路等进行航拍,结合图像识别算法,快速识别裸露地表、非法弃渣或植被退化区域。澜沧江某水电站利用该技术建立月度生态变化图谱,及时部署覆盖网或补种措施,确保生态防护措施始终处于有效状态。

2.4 水土保持与生态修复措施

项目通常依据施工强度与地形特征划分水土流失防治分区,并采取拦挡、排水、覆盖、绿化等组合措施。例如,在土方开挖初期即设置临时排水沟与沉沙池,防止暴雨冲刷导致泥沙入河;对短期裸露的土方采用草帘、防尘网覆盖,抑制风蚀与扬尘;施工结束后迅速开展植被恢复,形成“即时防护—中期控制—长期稳定”的全过程水保体系。更为深远的是对河流生态系统的整体修复。大坝建设虽带来能源效益,但也阻断了鱼类洄游通道,影响水生生物多样性^[3]。为此,现代水利水电工程越来越重视生态廊道的同步设计。小浪底水利枢纽在原有基础上增设仿自然鱼道,模拟天然河流流态,为黄河鲤鱼等土著鱼类提供洄游路径。监测数据显示,过鱼设施运行后,相关鱼类种群数量呈现恢复趋势,表明工程干预与生态保护可实现协同共进。施工迹地的生态修复则是绿色施工的“最后一公里”。工程结束后,临时营地、施工道路、弃渣场等区域若不及时治理,将成为长期生态伤疤。向家坝水电站库区实施“退建还林”工程,对1200公顷施工迹地进行系统性修复,优先选用乡土树种构建近自然植物群落,不仅恢复了植被覆盖,还重建了局部微气候与生物栖息环境,真正实现了“工程结束、生态回归”的绿色闭环。

3 绿色施工的综合效益分析

3.1 环境效益

绿色施工技术的广泛应用显著缓解了水利水电工程对生态环境的压力。在碳减排方面,通过优化运输路线、推广电动设备、提高能源效率等措施,大型水电项目的施工期碳排放强度明显下降。以白鹤滩水电站为例,综合绿色施工策略使其单位装机容量碳排放较传统模式降低约20%,累计减少二氧化碳排放12万吨以上。在水土保持方面,系统性防护措施使施工区土壤侵蚀模数由传统模式的5000吨/平方公里·年降至800吨以下,有效遏制了泥沙入河对下游水质的影响。此外,生态廊道、栖息地修复等举措有助于维持区域生态连通性,减缓工程对生物多样性的割裂效应,为流域生态系统的长期健康奠定基础。

3.2 经济效益

尽管绿色施工在初期可能增加一定投入,但从全生命周期视角看,其经济效益十分显著。一方面,资源循环利用直接降低了原材料采购成本。骨料再生利用可节省砂石采购费用30%以上,水资源回用则减少了取水许可费与排污处理支出。另一方面,合规的环保措施避免了因超标排放或生态破坏引发的行政处罚、生态赔偿甚至

停工整改等隐性成本^[4]。更重要的是,绿色工程更容易获得绿色金融支持,如绿色债券、ESG(环境、社会、治理)投资等,为企业拓宽融资渠道。以某200万千瓦抽水蓄能电站为例,绿色施工额外投入约1.2亿元,但通过资源节约、工期缩短(得益于智能调度减少窝工)、运维成本降低等途径,全生命周期净现值增加约2.8亿元,投资回收期缩短1.3年,充分体现了绿色投入的长期经济回报。

3.3 社会效益

绿色施工的社会价值同样不容忽视。通过洒水降尘、夜间禁噪、优化运输路线等措施,施工对周边居民生活的干扰大幅减少,社区关系显著改善。浙江某水库工程实施绿色施工后,居民投诉率下降70%,赢得了良好的社会口碑。同时,绿色施工催生了环保工程师、智能设备操作员、生态修复技术员等新型岗位,推动了产业工人技能升级与就业结构优化。此外,一批示范性绿色水电工程的建成,不仅为行业提供了可复制、可推广的经验,也增强了公众对大型基础设施项目的信任与支持,助力国家“双碳”战略在基层落地生根。

4 当前面临的挑战与优化建议

4.1 主要问题

尽管绿色施工取得积极进展,但在推广过程中仍面临多重挑战。首先,标准体系尚不健全,水利水电领域缺乏统一、细化的绿色施工技术规程与量化评价指标,导致各地实施尺度不一,效果难以横向比较。其次,中小企业受资金与技术能力限制,难以承担绿色技术改造的初期成本,存在“想转不能转”的困境。再次,部分项目仍停留在单项技术应用层面,未能实现绿色工艺、智能管理、生态修复等要素的系统集成,整体效能未充分发挥。最后,监管机制偏重前期环评审批,对施工过程的动态监管不足,且缺乏有效的激励政策,企业主动实施绿色施工的动力有限。

4.2 优化路径

为破解上述难题,需从制度、技术、政策等多维度协同发力。首先,应加快制定《水利水电工程绿色施工技术规程》,建立覆盖设计、施工、验收各阶段的量化评价体系,明确单位产值能耗、生态修复率、废弃物再生

率等核心指标,并与国家绿色建筑认证体系衔接,形成统一标尺。其次,强化政策与金融支持,将绿色施工能力纳入工程招投标评分项,对采用先进绿色技术的企业给予税收减免、贷款贴息或绿色信贷优先支持,探索绿色PPP模式吸引社会资本参与。再次,推动技术集成创新,鼓励“产学研用”协同攻关,重点突破高寒高海拔地区生态修复、水下环保施工装备、基于AI的施工碳排放动态核算等关键技术瓶颈。最后,加强全过程监管与公众参与,利用卫星遥感、区块链等技术实现施工环境行为可追溯、可验证,并建立环境信息公开平台,定期发布生态监测报告,构建政府监管、企业自律、公众监督的多元共治格局。

5 结语

水利水电工程的绿色施工不仅是应对生态约束的必然选择,更是实现行业高质量发展的战略支点。当前,我国已在生态工艺、资源循环、智能建造、生态修复等领域取得显著进展,绿色施工在环境、经济、社会三方面均展现出可观效益。然而,标准缺失、成本压力、技术碎片化等问题仍制约其深度推广。未来,需通过完善制度供给、强化政策激励、推动技术创新与加强社会共治,构建覆盖全生命周期的绿色施工体系。唯有如此,水利水电工程才能真正成为“绿水青山就是金山银山”理念的生动实践,为国家生态文明建设和“双碳”目标实现贡献坚实力量。

参考文献

- [1]陈国平.基于绿色理念的水利水电工程施工技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(18):154-156.
- [2]袁文凯.绿色理念下的水利水电工程施工技术探究[J].云南水力发电,2025,41(04):120-123.
- [3]肖华.绿色理念下水利水电工程施工技术及管理措施探讨[C]//中国智慧工程研究会.2024工程技术应用与施工管理交流会论文集(上).长江勘测规划设计研究有限责任公司,2024:421-423.
- [4]卢云.水利水电工程中绿色施工技术的应用研究——评《高山峡谷地区大型水电工程绿色施工总布置创新与实践》[J].人民黄河,2024,46(04):164.