

水利工程绿色施工与生态保护技术的研究与实践

崔晓松

山东半岛水务发展有限公司 山东 莱阳 265200

摘要：水利工程在国民经济发展的重要基础，在防洪、灌溉、发电、供水等方面发挥着至关重要的作用。然而，水利工程建设在带来巨大经济效益和社会效益的同时，也对自然环境产生了不可忽视的影响，尤其是水土流失和生态破坏问题日益突出。水土流失不仅导致土地资源退化、生态环境恶化，还严重威胁到区域水资源的可持续利用和生态安全。因此，如何在水利工程建设中有效运用水土保持与生态修复技术，防止水土流失，降低对生态环境的影响，是目前需要重点研究的问题。

关键词：水利工程绿色施工；生态保护技术；研究

水利工程中的水土保持与生态修复技术对于减轻工程建设对自然环境的负面影响、促进生态环境的恢复与可持续发展具有重要意义。

1 绿色施工技术在水利工程中的重要性

1.1 应对生态环境挑战的核心手段。缓解环境污染压力。传统水利工程施工常伴随粉尘、噪声、废水等污染，而绿色施工通过覆盖防尘网、废水生物降解处理及低噪设备应用，可减少施工对周边水体、空气和土壤的污染。例如，施工废水经沉淀池处理后回用，既保护水质又提高资源利用率。降低生态破坏风险。施工前采用GIS技术评估生态敏感区，施工中通过三维网格植草、生态混凝土护坡等技术修复植被，减少水土流失和生物栖息地破坏。例如，边坡生态化措施可恢复本地植物群落，增强生态系统稳定性。

1.2 推动资源高效利用的关键路径。节约材料与能源。绿色施工推广高强混凝土、可再生骨料等环保建材，结合BIM技术精准计算材料用量，减少水泥消耗和建筑垃圾产生。同时，太阳能供电系统和变频机械的应用可降低30%以上能耗。优化水资源管理。通过真空超级抽水工艺、雨水收集系统等技术，实现基坑降水和施工用水的循环利用，缓解水资源短缺压力。例如，智能监测系统可动态调控用水量，避免浪费。

1.3 提升综合效益的战略选择。增强工程经济性。施工技术如模块化装配、3D打印工艺可缩短工期20%-30%，降低人工与机械成本。同时，节能设备与环保材料的长期使用可减少后期维护费用。促进可持续发展。通过生态流量通道设计、人工湿地修复等措施，水利工程在防洪发电的同时兼顾河流连通性，保障下游生态需水，实现经济效益与生态保护的平衡。例如，预留生态流量通道可维持鱼类洄游路径，保护生物多样性。

1.4 适应政策与社会需求的必然要求。响应国家绿色发展战略。我国“双碳”目标推动水利行业向低碳转型，绿色施工技术通过降低碳排放、推广清洁能源，助力行业实现碳达峰目标^[1]。例如，生态友好型结构设计可减少全生命周期碳排放量。满足公众环保诉求。通过建立生态补偿协议、公众参与平台等社会协同机制，绿色施工技术缓解了工程与社区矛盾，提升项目社会接受度。

1.5 技术创新与产业升级的驱动力。智能化技术（如AI风险预测、BIM建模）与绿色施工深度融合，推动施工精度提升与生态风险预控。例如，凿岩台车智能控制系统使钻孔偏差控制在0.5度以内，减少超挖造成的资源浪费。

2 水利工程绿色施工技术原则

2.1 核心原则体系。系统性生态保护。将生态保护贯穿施工全周期，通过环境敏感区评估、生物栖息地修复等措施，实现工程建设与生态系统的动态平衡。例如，施工前采用GIS技术识别生态脆弱区，制定差异化保护方案。资源高效利用。遵循“五节一环保”理念（节能、节材、节水、节地、节人力和环境保护），优化资源使用效率。具体包括：使用高强混凝土减少水泥用量，结合BIM技术精准规划材料需求；推广太阳能供电系统、变频设备等低碳技术，降低施工能耗；通过真空超级抽水工艺和雨水收集系统实现水资源循环利用。污染源头控制。采取粉尘覆盖、废水生物降解、低噪设备应用等技术，减少施工对环境的直接污染。例如，施工现场设置沉淀池处理废水，达标后回用于降尘或设备清洗。

2.2 实施支撑原则。安全可靠优先。在保障施工质量和人员安全的前提下推进绿色技术应用，如采用生态混凝土护坡等结构设计，兼顾防洪功能与边坡稳定性。全周期协同管理。将绿色理念融入规划、施工、运

维各阶段，推行EPC总承包模式强化责任落实。施工中通过智能监测系统实时追踪生态指标，确保环保措施有效落地。技术创新驱动。结合数字化手段（如AI风险预测、3D打印工艺）提升施工精度，减少资源浪费和生态扰动。例如，智能凿岩台车可将钻孔偏差控制在0.5度以内，降低超挖风险。

2.3 社会协同原则。建立公众参与机制与生态补偿协议，通过听证会、环保公示等渠道保障社区权益，推动“工程+生态旅游”等综合开发模式，提升项目社会接受度。

3 水利工程生态保护技术措施

3.1 生态友好型工程设计。鱼类洄游通道设计。在水坝建设中设置鱼道或仿自然鱼道结构，通过阶梯式水流引导鱼类迁徙，保障生物种群连通性。例如，阶梯式鱼巢砖护坡可兼顾防洪与鱼类栖息需求。生态流量调控。采用智能调度系统动态控制水库泄流量，维持下游河流生态基流，确保水生生物繁殖与生存所需的水环境。透水材料应用。使用生态混凝土、多孔鱼巢砖等材料构建护岸，增强水体渗透性并创造微生物附着空间，促进水陆生态交换。

3.2 生物栖息地修复技术。河道生境重建。在河床布置砾石群，形成多样化水深与流速梯度，为鱼类提供掩蔽场所，同时促进底栖生物群落恢复。人工湿地与浮岛系统。建设人工湿地净化入河污水，搭配生态浮岛种植水生植物，吸附氮磷污染物并重建水生生物栖息地。边坡植被恢复。采用三维网格植草、喷播绿化等技术修复施工裸露面，优先选择本地植物种，加速生态系统自然演替。

3.3 水土保持与污染防控。施工期水土流失防控。通过植生袋护坡、表土剥离再利用等措施减少土壤侵蚀，同步实施截排水沟与沉沙池拦截泥沙。废水循环利用。采用沉淀池、化学中和与生物膜技术处理施工废水，达标后回用于降尘或混凝土养护，降低新鲜水消耗^[2]。扬尘与噪声控制。覆盖防尘网、安装智能喷雾系统抑制扬尘扩散，使用低噪声设备减少对周边野生动物的干扰。

3.4 水质提升与生态调控。人工增氧技术。部署移动式曝气船或固定微孔曝气设备，提高水体溶解氧浓度，增强微生物降解污染物能力。生态稳定塘净化。利用菌藻共生系统构建稳定塘，通过自然降解降低污水中的COD、氨氮等指标。雨水资源化利用。建设下凹式绿地和透水铺装，收集雨水用于绿化灌溉或生态补水，缓解施工用水压力。

3.5 智能监测与协同治理。全周期生态监测。依托遥

感、GIS技术构建监测网络，实时追踪水质、土壤及生物多样性变化，动态优化保护措施。流域协同管理。

4 水利工程生态保护技术成本效益分析

4.1 生态保护技术成本构成。初期建设投入。生态友好型工程需额外投入环保设施，如鱼道建设、透水护岸材料等，其成本通常比传统工程高15%-25%。例如，格宾石笼护坡材料成本约占项目总投资的40%-50%，单价达100-150元/m³；下开式堰门因结构简化，前期建设成本可降低30%以上。运维与生态补偿成本。生态流量调控系统、人工湿地维护等需持续投入，年均运维费用约为工程总投资的3%-5%；跨流域调水工程还需支付水源地生态补偿费用，如引汉济渭工程单吨水生态成本达6-12元。

4.2 生态保护技术效益产出。生态环境效益。鱼类洄游通道设计可恢复流域生物多样性，减少物种灭绝风险，间接降低生态修复成本；人工湿地系统通过吸附氮磷污染物，提升水质等级，使水源净化成本降低40%-60%；透水护岸技术增强水体自净能力，减少河道清淤频率，延长工程使用寿命。经济效益转化。防洪效益显著：生态护坡技术可降低洪涝灾害损失，如三门峡库区清淤工程减少直接经济损失超50亿元；水资源增值：通过雨水收集、废水回用等技术，施工用水成本下降20%-30%；生态旅游开发：修复后的湿地、河流景观可带动区域旅游收入增长，综合回报率达8%-12%。

4.3 成本效益平衡策略。技术选型优化。优先采用“低投入-长周期收益”技术，如模块化生态浮岛系统初期成本较传统湿地低25%，运维周期延长3-5年。全周期统筹管理。通过BIM技术模拟生态扰动风险，优化施工方案，减少返工和生态修复支出；引入智能监测系统动态调整生态流量，降低无效水资源消耗。跨区域生态补偿机制。

5 水利工程绿色施工技术应用

5.1 材料与资源管理。环保材料应用。推广使用高强混凝土、再生骨料等低碳建材，减少水泥用量并降低碳排放（如高强混凝土用量优化可减少材料浪费20%-30%）；优先选择模块化预制构件，降低现场加工能耗，缩短工期并减少建筑垃圾产生。资源循环利用。施工废水通过沉淀池、生物膜技术处理后回用于降尘或养护，水资源重复利用率提升至60%以上；采用真空超级抽水工艺和雨水收集系统，减少新鲜水消耗，施工现场用水成本降低25%-40%。

5.2 施工工艺优化。低扰动技术。应用智能凿岩台车等设备，控制开挖精度（钻孔偏差 ≤ 0.5度），减少超挖量并保护周边地质结构；推广生态护坡技术（如三维网

格植草护坡), 替代传统混凝土硬化, 增强边坡透水性并促进植被恢复。数字化施工管理。引入BIM技术模拟施工流程, 优化材料调度与机械配置, 减少返工率及碳排放; 通过GIS系统监测生态敏感区, 动态调整施工方案以降低对生物栖息地的破坏。

5.3 污染控制与减排。扬尘与噪声防控。覆盖防尘网、安装智能喷雾系统, 抑制粉尘扩散, 施工现场PM2.5浓度降低50%-70%; 采用低噪声设备和隔声屏障, 减少施工噪声对周边居民及野生动物的干扰。废弃物处理。建筑垃圾经分类后用于路基填筑或再生骨料生产, 综合利用率达80%以上; 危险废弃物(如废机油)通过专业机构回收处理, 实现无害化处置率100%。

5.4 生态修复与协同管理。生态修复技术。施工后采用人工湿地、生态浮岛等技术修复水域, 吸附氮磷污染物并重建水生生物群落; 裸露边坡实施喷播绿化技术, 优先种植本地耐旱植物, 植被覆盖率3年内恢复至原生状态90%以上。跨区域协同机制。建立流域生态补偿协议, 通过财政转移支付平衡上下游利益, 如引水工程按水量分摊生态修复成本; 推行“工程+生态旅游”模式, 将修复后的湿地、水库转化为文旅资源, 提升项目综合收益。

6 水利工程生态环境影响评价与法规框架

6.1 生态环境影响评价体系。评价内容与范围。全生命周期评估: 涵盖规划、设计、施工及运营阶段, 重点分析工程对水环境、生物多样性、土壤及地质结构的长期影响; 流域尺度分析: 评估工程对上下游水文循环、生态系统连通性的干扰, 例如水库建设对鱼类洄游通道的阻断风险。评价方法。定量与定性结合: 采用GIS遥感技术监测生态敏感区变化, 结合数学模型预测水质、水量变化的累积效应; 公众参与机制: 通过听证会、问卷调查收集利益相关方意见, 提升评价透明度和决策科学性。技术标准与导则。国家标准: 依据《环境影响评价

技术导则水利水电工程》, 明确工程分析、生态恢复、污染防治等技术要求。

6.2 法规与政策要求。国家法律框架。环境影响评价法: 强制要求水利工程需编制环评报告书, 未经审批不得开工; 生态保护红线制度: 禁止在自然保护区、饮用水源保护区等敏感区域开展可能破坏生态的工程活动。部门规章。水利部生态流量管控: 要求水库运行中动态泄放生态基流, 维持下游河流生态系统功能; 生态环境部审批原则: 针对河湖整治工程, 明确需优先保护河湖自然形态, 减少岸线硬化等人工干预。地方协同治理。流域生态补偿机制: 通过财政转移支付、跨区域协议分摊生态修复成本, 如黄河流域检察机关协同推进综合治理; “工程+生态”模式: 将生态修复与文旅产业结合, 如三峡集团在长江沿岸打造的生态游园和污水处理设施实现经济与环保双收益。

6.3 未来发展方向。智能化监测升级。推广物联网传感器与AI算法, 实时预警生态异常并自动优化工程调度方案; 生态修复技术创新。探索人工湿地与微生物协同净化技术, 降低污水处理成本并提升氮磷去除效率; 法规动态适配。根据气候变化与生物多样性保护需求, 修订环评导则并强化生态补偿法律效力。

总之, 水土保持与生态修复技术的应用, 可有效缓解水土流失、改善土壤质量、恢复生态系统功能, 还能够提高生物多样性、改善水质, 保障水资源安全。水土保持与生态修复技术的应用不仅有助于维护生态平衡, 保护水土资源, 还有助于加快实现可持续发展的目标。

参考文献

- [1]王慧园.水土保持生态修复在水利工程中的应用.2022.
- [2]蒋浩宇.水利工程绿色施工与生态保护技术的研究与实践分析.2023.