

水利工程全生命周期环境成本效益分析与绿色发展路径

杨 雪

陕西水务发展环保集团有限公司 陕西 西安 710000

摘要：水利工程对经济社会意义重大，但其建设和运营影响生态环境。本文分析全生命周期环境成本效益，包括规划设计、建设施工、运行管理各阶段的环境成本，以及经济效益、环境效益、社会效益。从生态友好型规划设计、绿色施工技术与管理等方面探讨绿色发展路径。研究旨在为水利工程实现经济效益与生态效益平衡、推动可持续发展提供参考，促进工程与自然和谐共生。

关键词：水利工程；环境成本效益；绿色发展路径

引言

随着社会经济发展，水利工程在保障水资源供给、防洪减灾等方面发挥关键作用。然而，工程建设和运营引发的生态环境问题日益突出。全生命周期环境成本效益分析能全面评估工程对环境的影响及效益，为优化设计和运营管理提供依据。同时，探索绿色发展路径对降低环境风险、实现可持续发展至关重要。深入研究水利工程全生命周期环境成本效益与绿色发展路径，有助于推动水利事业与生态环境协调共进。

1 水利工程全生命周期环境成本效益的重要性

水利工程作为人类调控水资源的关键基础设施，在保障社会经济发展与人民生活需求方面发挥着核心作用。其建设和运营过程对生态环境产生的诸多影响，使得全生命周期环境成本效益分析的重要性日益明显。从生态环境层面看，水利工程会改变河流的自然水文情势，影响水生生物的栖息地和迁徙路径，破坏生态系统的平衡与稳定。全生命周期环境成本效益分析能够精准评估水利工程在不同阶段对生态环境的扰动程度，如对植被破坏、水土流失、水质污染等方面产生的环境成本，以及通过生态修复措施带来的环境效益。这有助于提前识别潜在的环境风险，采取针对性的保护和修复措施，最大程度降低水利工程对生态环境的负面影响，维护生态系统的健康与可持续性。从经济可持续发展角度而言，传统水利工程侧重于直接经济效益，而忽视了长期的环境成本。全生命周期环境成本效益分析综合考虑了水利工程从规划、建设到运营、拆除等各个阶段的环境投入与产出，能更全面地评估工程的真实成本和效益。优化工程设计与运营管理以降环境成本、提环境效益，可达成水利工程经济与生态效益双赢，推动可持续发展。开展全生命周期分析是时代所需，能获公众认可支持，保障工程顺利实施与稳定运行。

2 水利工程全生命周期环境成本分析

2.1 规划设计阶段

水利工程规划设计阶段的环境成本，本质上是对工程建设潜在生态影响的系统性评估与规避所产生的资源投入。该阶段需通过多维度生态调研构建工程环境影响预评估体系，涵盖区域水文地质、生物多样性、生态敏感区分布等关键要素。如大型水库选址涉及对流域水文循环的重构，其产生的连锁反应可能导致区域性地下水水位变化、河流水系连通性受阻，引发陆生与水生生态系统结构失衡。在此过程中，为获取精准的生态本底数据，需投入专业监测设备与技术团队开展长期动态观测，同时借助地理信息系统（GIS）、生态模型等工具进行环境影响模拟预测，这些构成了前期生态调研的核心成本要素。工程设计方案的生态优化同样产生环境成本。为降低对生态敏感区域的侵占，需对原设计方案进行迭代调整，如重新规划工程布局、优化坝址选择、增设生态廊道等。设计方案迭代优化显著提升工程技术难度，需多学科专业人员协同作业，大幅增加人力与时间成本。第三方机构介入开展评估比选产生的服务费用，为工程与生态功能协同奠定基础^[1]。

2.2 建设施工阶段

(1) 水利工程施工阶段环境成本具空间集聚与动态特征，工程活动破坏地表植被，打破水土平衡，引发水土流失。需采取工程与生物复合防治，各环节成本投入及动态调整，加大了成本管控的复杂程度。(2) 施工过程中污染物排放构成重要环境成本项。混凝土浇筑、机械运行产生的施工废水含高浓度悬浮物与化学药剂，未经处理排放会致使接纳水体浊度上升、水质恶化；土方运输与材料装卸产生的扬尘及机械尾气对大气环境造成污染。为实现达标排放，需配置废水多级处理系统、安装扬尘抑制设备，并定期维护机械设备。(3) 土地占用与

移民安置产生的间接环境成本同样关键。水利工程建设征用大量土地,改变区域土地利用类型,导致原有农业生态系统和自然植被被工程设施替代,造成生态服务功能不可逆损失。移民安置中的场地平整、道路施工等加剧局部生态扰动,移民生产生活方式转变引发资源利用模式变化,如用水需求与污水排放增加,需配套建设污水处理、节水灌溉等生态保护工程,产生额外环境成本支出^[2]。

2.3 运行管理阶段

水利工程运行管理阶段的环境成本具有持续性与累积性特征,其产生源于工程长期运行对生态系统的动态干扰。以水库工程为例,蓄水运行改变了天然河道的水文节律,导致下游河道流量过程均一化、水位季节性波动消失,这种水文情势的改变直接影响水生生物的产卵、洄游等关键生命活动,威胁生物多样性。为缓解工程对生态系统的负面影响,需实施生态调度策略,通过科学调控水库下泄流量、模拟天然水文过程,保障下游河道生态基流与生物栖息地条件。生态调度涉及实时水文监测系统建设、生态流量阈值研究、调度方案优化等多方面工作,其产生的设备购置、技术研发与运行维护成本构成运行期环境成本的重要组成部分。工程设施的老化与维护同样带来环境成本增量。随着运行时间的延长,水利工程设施老化引发的环境成本呈显著增长态势。大坝、输水管道等关键设施结构退化,在维护与修复过程中产生大量固体废弃物,如废弃混凝土及含重金属废料,若处置不当将对土壤与地下水环境造成持续性污染;工程运行能源消耗产生可观碳排放成本,在化石能源供电区随运行时长递增。水质维护与生态修复为运行阶段核心环境成本,水库蓄水致水质恶化,需多技术协同开展生态重建。

3 水利工程全生命周期效益分析

3.1 经济效益

(1) 在农业领域,灌溉系统的科学构建可依据作物生长节律精准调配水资源,改善土壤湿度条件,有效缓解干旱胁迫,提升水资源利用效率,提高单位面积农作物产出,增强农业生产稳定性与抗风险能力。作物复种指数因稳定水源供应得以提升,通过优化种植结构与延长种植周期,拓展农业增值空间,农产品产量增长不仅直接带动农民增收,还通过产业链延伸促进相关产业协同发展,形成经济增长乘数效应。(2) 工业供水层面,水利工程为工业生产提供稳定水源保障,是区域工业发展的基础要素。持续稳定的供水有效规避企业因缺水导致的停产风险,保障生产流程连续性与设备运行效能,

扩大工业产出规模、提升经济效益。在冶金、化工等高耗水行业,其供水保障作用尤为突出;工业用水循环利用与梯级开发模式,通过提升水资源重复利用率,降低企业取水成本与污水处理压力,实现经济效益与环境效益双赢。(3) 水力发电作为水利工程经济效益的重要构成,实现了水能向电能的高效转化。水电站为社会提供清洁可再生电力,其收益源于电力市场销售,还体现在替代化石能源所节约的燃料成本与环境治理支出。

3.2 环境效益

水利工程的环境效益根植于其对水资源系统和生态过程的调控作用。在水资源时空分配层面,通过水库蓄水、跨流域调水等工程措施,能够有效缓解水资源分布不均的矛盾,改善干旱半干旱地区的水文条件。增加的水资源供给可促进植被恢复,提升区域生态系统的水源涵养能力,减缓土地沙化和荒漠化进程。水库形成的人工湿地生态系统,通过扩大水域面积,为水生生物提供多样化的栖息环境,促进浮游生物、鱼类及候鸟等生物种群的繁衍,明显提升生物多样性水平。湿地生态系统还具备强大的污染物净化功能,物理沉降、化学分解和生物吸收等过程,有效降低水体中的氮、磷等污染物浓度,改善区域水环境质量。防洪减灾是水利工程环境效益的重要体现。通过水库调洪、堤防加固等工程手段,显著降低洪水对生态系统的冲击强度。在洪水发生时,水库可拦蓄超额洪水,削减洪峰流量,减轻下游河道的行洪压力,避免洪水漫溢对沿岸植被、土壤和水体的破坏。减少洪水泛滥带来的水土流失,可有效维持土壤肥力,保护农田生态系统结构与功能的完整性^[3]。

3.3 社会效益

(1) 水利工程在社会效益方面多维渗透,其生活用水保障借城乡供水网络实现水资源再分配。优化管网与创新调度,高效输配水源,稳定供水降低水媒疾病风险,还推动区域公共服务均等化。(2) 防洪减灾作为水利工程核心社会价值体现,通过构建流域性防洪工程体系形成风险防控屏障。工程设施对洪水的调蓄功能有效降低人口聚集区域的灾害暴露度,减少生命财产损失的同时,维护社会秩序稳定,避免因灾致贫与大规模人口迁移现象。在洪水高风险区域,防洪工程的安全保障作用为区域经济社会可持续发展创造基础条件,确保生产生活活动的连续性与稳定性。(3) 水利工程全生命周期对区域发展具有显著带动效应。工程建设期衍生的交通基础设施建设提升区域可达性与连通性,为要素流动创造便利条件;运营期基于水资源禀赋发展的生态旅游、渔业经济等产业形态,通过产业链延伸与业态融合创造

就业机会,优化劳动力配置结构。多元产业协同发展形成区域经济增长闭环,有效增强区域经济韧性与社会发展动能。

4 水利工程绿色发展路径探讨

4.1 生态友好型规划设计

生态友好型规划设计以生态系统完整性保护为导向,通过多学科交叉融合的技术路径实现工程与自然的协同共生。在项目前期,借助高分辨率遥感影像与地理信息系统(GIS)空间分析技术,构建工程区域生态本底数据库,精准识别生物多样性热点、水源涵养区等生态敏感地带。基于生态网络理论,运用生态廊道建模技术优化工程布局,避免对关键生态节点的割裂与破坏。在跨流域调水工程规划中,通过水文模拟与生态过程耦合模型,量化不同线路方案对河道连通性、湿地生态功能的影响,优先选择对生态系统扰动最小的路线。设计过程中采用生态化工程技术体系,通过功能替代与结构仿生实现生态影响最小化。以河道整治工程为例,摒弃传统硬质护岸结构,采用透水性生态护坡材料与近自然河道形态设计,恢复河道的蜿蜒性与滨水缓冲带,为水生生物提供多样化栖息地。在水资源调配方案设计中,引入生态需水计算模型,科学界定工程取水阈值,确保在满足社会经济用水需求的同时,维持河流生态系统健康。这种将生态要素前置嵌入工程设计的模式,从源头降低了工程建设对生态系统的潜在威胁^[4]。

4.2 绿色施工技术与管理

(1) 构建绿色施工技术体系旨在依托材料革新、工艺革新与智能管理,实现施工环节的低碳化与减量化目标。在材料领域,大力推行再生骨料混凝土、生态型土工合成材料等环保型建材,此类材料既能显著降低生产能耗与碳排放量,又具备水土保持及生态修复的功能特性。施工工艺层面,装配式施工技术凭借工厂预制、现

场装配的模式,有效减少现场湿作业,降低扬尘与噪声污染,同时缩短建设周期。智能建造技术的引入提升施工管理效率,物联网驱动的施工机械智能监控系统可动态优化设备运行参数,降低燃油消耗与尾气排放;无人机航测及三维激光扫描技术则实现施工进度与质量的精准把控,避免因返工造成资源浪费。(2) 施工现场环境管理依托全过程污染防控体系,确保施工活动的生态影响处于可控范围。通过搭建施工期环境监测网络,利用传感器技术实时采集水体、大气和土壤环境数据,发现污染物超标即触发应急响应机制。针对施工废水,采用多级沉淀、过滤、消毒的组合处理工艺,确保排放水质达标;固体废弃物实施分类资源化利用,将弃土弃渣转化为建筑骨料,减少填埋需求与生态破坏。

结束语

水利工程全生命周期环境成本效益分析与绿色发展路径研究,对水利事业的可持续发展意义深远。通过准确评估各阶段环境成本与效益,可优化工程决策与管理。绿色发展路径的探索与实践,如生态友好型规划设计、绿色施工技术应用等,能有效降低工程对生态环境的负面影响。未来需深化研究与实践,优化分析方法及绿色策略,实现水利工程效益统一,驱动行业绿色升级。

参考文献

- [1]戴梓瀚.绿色建筑全生命周期成本效益的量化评估与优化路径[J].中国集体经济,2025(1):97-100.
- [2]姚志江.水利工程项目全生命周期管理模式探讨[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(1):013-016.
- [3]王飞.基于全生命周期的绿色建筑工程造价控制研究[J].中国科技期刊数据库工业A,2025(3):013-016.
- [4]宋文杰.绿色建筑的全生命周期成本经济效益研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)经济管理,2024(9):0124-0127.