

水利水电工程生态设计理念和思路

李沛隆

山东中泽工程集团有限公司 山东 菏泽 274000

摘要：生态设计理念贯穿水利水电工程全流程，以协调工程效益与生态保护为目标。通过全生命周期生态评估规划、结构优化、生物多样性保护及智能化监测调控等思路，构建系统性生态设计框架。鱼道工程、生态基流保障等具体应用，有效缓解工程建设对流域生态系统的负面影响，实现水资源合理开发与生态功能维护的平衡，为推动水利水电工程绿色低碳转型提供理论与实践支撑。

关键词：水利水电工程；生态设计；理念；思路

引言

随着生态文明建设的深入推进，水利水电工程的生态影响备受关注。传统工程设计多侧重经济效益，易导致河流生态破碎、生物栖息地退化等问题。在此背景下，生态设计理念的融入成为行业可持续发展的关键。本文围绕水利水电工程生态设计展开，系统阐述生态设计理念与思路，结合鱼道工程、生态基流保障等具体应用案例，探讨如何通过科学设计降低工程建设对生态环境的扰动，为实现人水和谐提供理论参考与实践路径。

1 水利水电工程生态设计理念

水利水电工程生态设计是实现工程建设与生态环境保护协同发展的关键路径，通过系统考量生态系统结构与功能、生物多样性保护以及水文过程的完整性，将生态要素深度融入工程规划、设计与实施全过程。生态设计理念以生态系统服务功能的维持与提升为核心目标，旨在通过优化工程布局、创新结构形式和采用生态友好型技术，最大限度降低工程建设对河流、湿地等生态系统的负面影响。在水利水电工程选址阶段，生态设计强调对区域生态敏感性和重要性的综合评估，避免在生态脆弱区和关键栖息地进行大规模开发。设计过程中，充分考虑河道自然形态和演变规律，通过保留天然河湾、浅滩和深潭，构建多样化的生境条件，为水生生物提供适宜的栖息、繁殖和洄游环境。注重生态流量的保障，通过科学计算最小下泄流量，维持河流生态系统的基本功能和健康状态，避免因工程蓄水、引水导致的河道断流和生态退化。在工程结构设计方面，生态设计倡导采用透水、多孔的新型建筑材料和柔性护岸结构，替代传统硬质化的混凝土结构，促进水陆生态系统的物质交换与能量流动。通过设置鱼道、仿自然跌水等生态设施，解决鱼类洄游障碍问题，保障生物通道的连续性。生态设计还注重工程运行阶段的生态监测与反馈优化，通过

建立长期的生态监测体系，及时掌握工程建设对生态环境的影响，并根据监测结果动态调整运行方案，实现工程效益与生态效益的平衡。水利水电工程生态设计理念的实践，是实现工程可持续发展和生态环境保护双赢的重要保障，对于维护区域生态安全和生态系统服务功能具有重要意义。

2 水利水电工程生态设计思路

2.1 全生命周期生态评估与规划

水利水电工程从规划伊始，至退役拆除，全生命周期均对生态环境施加复杂影响。在规划阶段，需深入调研工程所在区域生态本底，涵盖地形地貌、气候水文、动植物分布等要素。运用地理信息系统（GIS）与遥感（RS）技术，构建生态信息数据库，精准识别生态敏感区与关键生态廊道。例如于某高山峡谷区域规划水电站时，借助高分辨率卫星影像与地形数据，可明晰珍稀动植物栖息地范围，为工程选址避开生态红线提供依据。建设过程中，动态评估施工活动生态扰动，如施工扬尘、噪声对周边生物的惊扰，以及土石方开挖造成的水土流失对水质与水生生物的影响。通过设置水质自动监测站、噪声监测点，实时掌握环境参数变化，一旦超出阈值，即刻调整施工方案。运行阶段，着重评估工程对水文节律、河道形态、生物多样性的长期作用。依据长期监测数据，分析鱼类种群数量、洄游路线改变，以及河流水温、溶解氧等水质指标变化，为后续生态修复与优化调度提供数据支撑。在工程退役阶段，预测拆除活动对生态环境的短期冲击，如废渣处置、拆除扬尘等，并制定相应的生态恢复计划，确保工程全生命周期生态影响可控且逐步修复^[1]。

2.2 生态友好型工程结构优化

水利水电工程结构设计应充分考量生态需求，以降低对自然环境的负面效应。大坝作为核心结构，可创新

采用新型坝体材料与结构形式。例如,使用生态混凝土,其内部多孔结构利于水生生物附着栖息,且具备良好的透水性,可缓解坝体上下游水位差导致的生态问题。在坝体设计中设置生态流量泄放孔,依据河流生态需水要求,精准调控下泄流量,维持下游河道基本生态用水,保障水生生物生存繁衍所需水流条件,促进河流自净能力。对于引水渠道,优化断面形状与衬砌材料。摒弃传统硬质衬砌,采用生态型衬砌,如植生型护坡砖、土工格栅结合植被种植,既能稳固渠道边坡,又能为陆生与水生生物提供过渡栖息地,增强水陆生态系统连通性。在渠道沿线合理设置生态跌水、缓流区,模拟自然河道水流多样性,为鱼类等水生生物创造适宜的栖息与繁殖场所。过鱼设施设计至关重要,通过研究鱼类洄游习性,采用鱼道、鱼闸、升鱼机等多种过鱼结构组合,构建高效、便捷的鱼类洄游通道,助力洄游鱼类跨越工程阻隔,维持种群数量与生物多样性。

2.3 生物多样性保护与栖息地修复

水利水电工程常改变河流生态系统,导致生物栖息地破碎化与生物多样性受损,故而保护与修复工作不可或缺。开展生物多样性本底调查,识别区域内珍稀濒危物种、关键物种与生态系统类型,明确保护重点。针对受工程影响的珍稀鱼类,如中华鲟、长江鲟等,建立增殖放流站,人工繁育并定期向河流投放幼鱼,补充种群数量。优化放流技术,选择适宜的放流时间、地点与规格,提高放流成活率与有效性。在栖息地修复方面,对受损的河流、湿地等生态系统实施针对性修复措施。于水库周边及河流沿岸开展湿地恢复工程,种植本土水生植物,构建湿地生态系统,为水生生物提供食物源与栖息场所,净化水质,提升生态系统服务功能。在河流中设置人工鱼巢、沉水植物群落等,改善水生生物栖息环境,促进鱼类产卵繁殖。针对工程造成的河道阻隔,建设生态廊道,如连通上下游水体的涵管、桥梁下方的过水通道等,恢复生物迁徙路径,增强生态系统连通性,维持区域生物多样性稳定^[2]。

2.4 智能化生态监测与调控

随着信息技术发展,智能化生态监测与调控成为水利水电工程生态保护的有力手段。构建全方位生态监测网络,综合运用传感器技术、卫星遥感、无人机监测等手段,对工程区域生态环境进行实时、动态监测。在河流关键断面布置水质传感器,实时采集水温、溶解氧、酸碱度、氨氮等水质参数;利用卫星遥感监测水域面积、植被覆盖度变化;借助无人机搭载高分辨率相机,对工程周边动植物分布与活动进行监测。通过数据传输

网络,将监测数据汇聚至智慧管控平台,实现数据实时共享与可视化展示。基于大数据分析 with 人工智能算法,对监测数据进行深度挖掘与分析,预测生态环境变化趋势,及时发现生态问题。例如,运用机器学习模型预测鱼类种群数量变化与洄游路线改变,提前制定应对措施。通过智能调控系统,根据生态监测结果与环境变化预测,自动调整工程运行参数。如根据下游河道生态需水变化,自动调节大坝生态流量泄放孔开度;依据水库水质变化,自动控制污水处理设施运行,实现水利水电工程生态保护的智能化、精准化管理,提升生态保护效率与水平。

3 水利水电工程生态设计具体应用

3.1 鱼道工程设计与应用

(1) 鱼道工程作为连通河流阻隔的关键设施,基于鱼类洄游习性模拟自然河道水流条件,通过控制水流速度、水深和流态,为鱼类创造适宜的上溯通道。其设计需精确考量鱼类的游泳能力、行为特性及河道地形地质条件,采用竖缝式、池室式或隔板式等结构形式,确保不同体型和习性的鱼类能够顺利通过。例如,竖缝式鱼道利用水流的竖向扩散形成缓流区,满足多种鱼类的洄游需求,且水流条件稳定,适用范围广泛。(2) 鱼道的选址与布局直接影响其运行效果,通常设置在大坝一侧或通过人工渠道与主河道相连,需避开强紊流区域和复杂地形,保证鱼类能够准确找到入口并顺利上溯。在施工过程中,采用生态友好型材料和施工工艺,减少对周边水体和底质的扰动,同时在鱼道入口处设置明显的引导设施,如水流导流装置和光声诱导设备,提高鱼类对鱼道的识别度。(3) 运行维护阶段,通过实时监测鱼道内的水流参数和鱼类通过情况,动态调整鱼道运行模式,确保其始终处于最佳运行状态。结合鱼类生物学研究成果,不断优化鱼道设计参数和运行管理策略,使其更好地适应不同鱼类的洄游需求,从而有效缓解水利水电工程对鱼类洄游通道的阻隔影响,维持河流生态系统的完整性和生物多样性。

3.2 生态基流保障技术

(1) 生态基流是维系河流生态系统健康的基本水量,其确定需综合考虑河流的水文特性、生态功能和用水需求。通过水文学法、水力学法和生态学法等多种方法,结合长期的水文监测数据和生态调查成果,科学合理地确定不同季节和不同河段的生态基流阈值。例如,Tennant法以历史流量数据为基础,根据河流的功能类别确定不同的生态基流比例,为生态基流的初步估算提供了简便有效的方法。(2) 保障生态基流的技术措施涵

盖工程措施和非工程措施。工程措施包括建设生态调度水库、设置生态流量泄放设施和改造现有水利工程等,通过优化水库调度方案,在满足防洪、发电等需求的同时,确保生态基流的稳定下泄。非工程措施主要包括水资源实时监测与管理系统的建设,利用先进的传感器技术和通信技术,实现对生态基流的实时监测和预警,及时调整水资源配置方案。(3)生态基流保障技术的应用能够有效改善河流的水生态环境,维持河流的自净能力和生物栖息地功能。通过保障生态基流,可防止河道断流、水体萎缩和生态退化,促进水生生物的生长和繁殖,恢复河流生态系统的结构和功能,实现水资源的可持续利用和生态环境的协调发展^[3]。

3.3 水库消落区生态治理

(1)水库消落区是因水库水位周期性涨落形成的特殊生态过渡带,生态环境脆弱,易现水土流失、面源污染和植被退化等问题。生态治理要结合消落区地形地貌、土壤条件与淹没周期,选适宜技术和植物。坡度较缓的消落区采用植被重建,种耐淹耐瘠草本灌木,构建稳定群落以增强固土护坡能力。(2)在工程措施方面,通过修建生态护岸、设置截排水沟和构建人工湿地等方式,减少水土流失和污染物入河。生态护岸用透水性材料与生态结构,兼顾防洪与为水生生物提供栖息之所;截排水沟能拦截消落区地表径流,降低泥沙和污染物输出;人工湿地则通过植物、微生物和基质的共同作用,对入湖(库)水体进行净化处理。(3)水库消落区生态治理还需注重景观营造和生态功能的协同提升,通过合理规划布局,将消落区打造成为具有生态保护、休闲娱乐和科普教育等多种功能的滨水生态空间。加强对消落区生态系统的长期监测和管理,及时掌握生态治理效果,调整优化治理方案,确保消落区生态系统的稳定和可持续发展。

3.4 流域生态修复与景观营造

(1)流域生态修复以恢复流域生态系统的结构和功能为目标,针对流域内存在的水土流失、河道退化、湿地萎缩等问题,采用系统的修复技术和措施。通过植被

恢复工程,在流域内的荒山荒坡、退化林地和水土流失区域种植适生植物,提高植被覆盖率,增强水土保持能力;对退化河道进行生态整治,恢复河道的自然形态和生态功能,改善水动力条件和水生生物栖息地环境。

(2)景观营造在流域生态修复的基础上,融入美学和文化元素,将自然景观与人文景观有机结合。通过合理规划河流廊道、滨水空间和生态节点,打造具有地域特色和文化内涵的景观体系。利用地形地貌、水体和植物等景观要素,营造多样化的生态景观空间,如湿地景观、森林景观和田园景观等,为人们提供亲近自然、休闲游憩的场所。(3)流域生态修复与景观营造需综合考虑生态、社会和经济等多方面因素,通过科学的规划设计和精细化的施工管理,实现生态效益、社会效益和经济效益的协调统一。建立长效的维护管理机制,加强对修复区域和景观设施的日常维护和管理,确保流域生态系统的稳定和景观效果的持续提升,促进流域的可持续发展^[4]。

结语

综上所述,水利水电工程生态设计通过理念革新与技术创新,为工程建设与生态保护协同发展开辟了新路径。全生命周期评估、生态友好型结构优化等设计思路,配合鱼道工程、生态基流保障等具体措施,有效提升了工程生态效益。然而,面对复杂流域生态系统,生态设计仍需持续深化理论研究与技术创新。未来应进一步完善生态设计体系,强化多学科交叉融合,为水利水电工程高质量绿色发展注入新动能。

参考文献

- [1]孙倩.水利水电工程生态设计理念和思路探讨[J].百科论坛电子杂志,2021(13):610.
- [2]龚定松.水利水电工程设计过程中生态理念的应用分析[J].科技资讯,2025,23(4):198-200.
- [3]徐杰.水利水电工程设计过程中生态理念的应用分析[J].工程建设与设计,2021(12):87-89.
- [4]王俊丰,闵超.水利水电工程设计中生态理念的应用分析[J].模型世界,2023(11):124-126.