

水利工程生态友好型水闸设计与应用

马百顺

河南省水务规划设计研究有限公司 河南 郑州 450000

摘要: 水利工程是流域治理与资源调控的核心载体,水闸作为关键枢纽,在防洪、灌溉等方面发挥着不可替代的作用。但传统水闸设计多侧重工程效能,易破坏水文连通性、割裂生物栖息地,引发生态失衡问题。随着生态保护理念深入人心,水利工程生态化转型成为必然趋势。生态友好型水闸打破传统设计局限,实现工程功能与生态保护协同。本文围绕其核心概念、设计要点、应用技术及评价体系展开研究,为水闸工程生态化升级提供理论支撑与实践路径,助力流域生态系统可持续发展。

关键词: 水利工程;生态友好型;水闸设计;应用

引言: 水利工程是流域水资源调控的核心载体,水闸作为关键设施,在保障水利功能发挥中占据重要地位。然而,传统水闸建设运行中对生态系统的干预的问题日益凸显,破坏水文节律与生物栖息地,影响生态系统稳定性。随着生态保护理念深入人心,生态友好型水闸成为水利工程发展的重要方向。当前该领域缺乏系统性的理论支撑与技术体系,设计、应用及评价环节存在诸多短板。基于此,本文围绕生态友好型水闸的核心内容展开研究,为破解工程与生态的矛盾提供思路。

1 生态友好型水闸的核心概念与理论基础

1.1 核心概念界定

生态友好型水闸是兼顾水利调控功能与生态系统完整性的水利工程设施,区别于传统水闸以防洪、灌溉、供水等功能为核心的定位,其核心特质是在工程设计、建设及运行全流程中,最大限度降低对流域水文情势、生物栖息地及生态循环的干扰,实现水利工程与生态系统的协同共生。该类水闸以生态优先为重要原则,通过优化结构设计、调整运行方式,在保障水利功能有效发挥的同时,维系流域自然水文节律,保护生物多样性,维持生态系统的自我修复能力与稳定性,实现工程效益与生态效益的平衡统一^[1]。

1.2 生态友好型水闸的核心目标

生态友好型水闸的核心目标围绕生态保护与水利功能协同实现展开,具体包括三方面。一是维系流域水文连通性与自然节律,通过科学调控闸门开度、优化泄流方式,保障流域内水流的连续性、流动性,避免因工程拦截导致的水文情势突变;二是保护生物多样性与栖息地完整性,为水生、两栖生物提供适宜的生存、繁殖与迁徙条件,减少工程对生物群落结构的破坏;三是提升生态系统稳定性与自我修复能力,通过减少生态干扰、促进物质循环与能

量流动,实现水利工程区域生态系统的良性循环,最终达成水利功能与生态保护的长效共赢。

2 生态友好型水闸设计的原则与核心要点

2.1 设计基本原则

生态友好型水闸设计需遵循四大核心原则,确保工程与生态的深度适配。(1)系统性原则,设计需立足流域整体生态格局,兼顾上下游、左右岸的生态关联,避免孤立设计对流域生态链的割裂,实现局部工程与整体生态系统的协同。(2)生态优先原则,在工程功能与生态需求发生冲突时,优先保障核心生态目标的实现,通过优化设计方案平衡水利功能与生态保护的关系,不以牺牲生态为代价换取工程效益。(3)协同适配原则,设计需适配流域自然水文特征、生物习性 & 地质条件,模拟自然生态系统的运行规律,减少人工干预对生态系统的硬性冲击。(4)可持续原则,兼顾工程全生命周期的生态影响,从材料选用、结构设计到运行维护,全程融入低碳、环保理念,确保工程长期运行对生态系统的影响处于可控范围^[2]。

2.2 水文情势调控设计

水文情势调控设计是维系流域生态平衡的关键,核心在于通过科学设计模拟自然水文节律,减少工程对水流条件的改变。(1)需优化闸门调控机制,设计可灵活调节的开度控制模式,根据流域不同时段的生态需求,精准调控泄流量、泄流时长及水流速度,保障枯水期有足够生态基流,洪水期能模拟自然洪峰过程,维系水流的自然涨落节律。(2)需强化水流连通性设计,避免因水闸拦截形成生态隔离,通过增设生态导流通道、优化闸室布局等方式,保障上下游水流的顺畅连通,满足水生生物迁徙、洄游的水流条件。(3)需控制水流扰动强度,通过优化泄流口形态、增设消能设施,减少高速水

流对河床、岸坡的冲刷,维持稳定的水文环境,为水生生物提供适宜的生存条件。

2.3 生物栖息地适配设计

生物栖息地适配设计聚焦于为各类生物提供适宜的生存、繁殖环境,核心是模拟自然栖息地形态与功能。

(1)在岸坡设计方面,摒弃传统硬化岸坡模式,采用生态型岸坡结构,构建缓坡、浅滩、深潭相结合的栖息地形态,满足不同生物的栖息需求,同时增强岸坡的透水性自我修复能力。(2)在水体环境优化方面,通过设计水流交换通道、控制水体停留时间,改善闸区水体流动性与水质条件,避免闸区形成死水区域,为水生生物提供充足的溶解氧与食物来源。(3)需兼顾水陆交错带的设计,构建植被缓冲带,丰富栖息地植被类型,为两栖生物、鸟类提供觅食、繁殖与栖息的空间,提升区域生物多样性。

2.4 材料与结构生态化设计

材料与结构设计需围绕生态兼容性展开,减少人工材料与结构对生态系统的负面影响。(1)在材料选用上,优先采用生态兼容型材料,选用可降解、环境友好的天然材料或再生材料,替代传统高污染、难降解的化工材料与重金属材料,降低材料在使用及废弃后对土壤、水体的污染。(2)在结构设计方面,优化闸室、消能防冲等核心结构,采用模拟自然形态的设计方案,如将消能设施设计为天然石滩形态,利用天然材料的缓冲作用实现消能,同时为生物提供隐蔽栖息空间^[3]。(3)可在结构表面增设生物附着载体,选用多孔、粗糙的材料表面,为藻类、水生昆虫等基础生物提供附着环境,构建完整的食物链,支撑区域生物群落的稳定发展。

2.5 节能与低碳设计

节能与低碳设计贯穿工程设计全流程,核心是降低工程建设与运行的能源消耗及碳排放。(1)在能源利用方面,优先整合可再生能源,结合闸区环境条件,合理配置太阳能、水能等清洁能源发电系统,为闸门调控、监测设备等提供动力,替代传统化石能源,减少能源消耗与碳排放。(2)在设备选型上,选用高效节能的启闭设备、监测仪器,优化设备运行机制,通过智能调控实现设备按需运行,降低无效能耗。(3)在建设及运维环节,采用低碳施工工艺,减少施工过程中的土方开挖、材料运输带来的环境影响,同时设计便捷的运维方案,减少运维过程中的能源消耗与污染物排放,实现工程全生命周期的低碳运行。

3 生态友好型水闸应用的关键技术与实施路径

3.1 核心应用技术

生态友好型水闸核心应用技术以“减扰、适配、修复”为核心,兼顾水利调控功能与生态保护需求。(1)生态混凝土筑造技术,采用多孔性生态混凝土替代传统刚性材料,其内部孔隙率可达25-35毫米,能为微生物附着提供载体,同时增强水体渗透能力,减少对流域水文连通性的破坏,每立方米生态混凝土可吸附水体悬浮物80克以上,助力水质自然净化。(2)生态过鱼设施集成技术,配套建设竖缝式鱼道或仿自然鱼槽,鱼道设计宽度不低于3米,流量控制在1.2-2.0立方米/秒,满足中小型鱼类洄游需求,保障水生生物种群连续性^[4]。(3)智能生态调控技术,通过传感器实时监测水温、流速等参数,联动闸门启闭系统实现精细化调控,将下游水体流速稳定在0.3-0.8米/秒,适配水生植物生长与底栖生物栖息环境。四是低碳运维技术,配套50千瓦级光伏供电模块,结合节能电机与智能启停系统,年可减少传统电能消耗6万度,降低运行阶段的生态足迹。

3.2 应用实施路径

生态友好型水闸应用需遵循“调研先行、集成适配、分步落地、动态优化”的实施路径,确保技术与生态保护、工程效能深度契合。(1)开展全域基础调研,覆盖流域长度不少于20公里,系统采集水文情势、水生生物分布、底质类型等核心基础数据30组以上,全面梳理区域生态敏感点与核心水利功能需求,为后续技术选型、方案设计提供坚实的数据支撑与科学依据。

(2)进行技术集成适配,紧密结合调研结果,整合生态筑造、智能调控等关键核心技术,针对性优化水闸结构设计,着力避免单一技术与区域生态环境产生冲突,同时科学简化施工流程,最大限度减少场地扰动范围,降低施工对周边生态的临时影响。(3)实施分步施工与生态同步修复,按照“先基础、后生态”的顺序推进,优先完成基础工程施工并验收达标,再有序开展生态设施安装作业;施工期间严格控制废渣排放量,同步开展边坡植被恢复工作,选用适配性强的本土草本植物,提升生态系统自我修复能力与稳定性。(4)建立长效运维机制,布设智能监测设备,实时捕捉水闸运行状态与周边生态指标变化,每季度定期开展技术校准与运维方案优化,持续保障水闸应用效果的稳定性与持续性。

3.3 应用中的核心约束与应对

生态友好型水闸应用过程中,面临技术兼容性、成本控制与生态适配性三大核心约束,需精准研判问题根源,制定针对性应对策略。(1)针对技术兼容性约束,不同核心技术间易出现接口不匹配、调控逻辑冲突等衔接不畅问题,可通过开展跨技术联合调试,优化设备

接口参数与控制逻辑体系,建立统一的技术协同适配标准,确保生态混凝土性能、智能调控精度与过鱼设施效率形成互补效应,实现各技术模块高效协同运行。(2)针对成本控制约束,生态专用材料与智能监测设备的投入相对较高,可采用“核心部件优质化、辅助部件本土化”的差异化配置方案,选用本土生产的生态混凝土原料,大幅降低异地运输成本,并优化施工工艺流程,精简冗余工序以减少人工投入,将整体建设成本合理控制在预期范围。(3)针对生态适配性约束,水闸运行易改变局部水文情势,进而影响水生生物栖息环境,可通过动态调整闸门启闭节奏与幅度,维持下游水深稳定在1.5米左右,避免水位骤升骤降对生物造成冲击,同时定期监测水生生物群落结构变化,根据监测数据微调调控参数,实现水利功能发挥与生态保护的动态平衡^[5]。

4 生态友好型水闸应用效果评价体系

4.1 评价指标体系构建

评价指标体系以生态友好为核心,兼顾系统性、可操作性和科学性,从生态适配、工程效能、资源节约三个维度构建。(1)生态适配维度聚焦水闸对周边生态系统的影响,涵盖水文情势维持、生物栖息地保护、水质改善效果等指标,如水流形态自然度、水生生物群落完整性、水体自净能力变化等。(2)工程效能维度侧重水闸运行稳定性与功能性,包括结构安全系数、运行效率、调度灵活性等指标,反映水闸在满足基础功能前提下的生态协同能力。(3)资源节约维度涵盖能耗控制、材料环保性等指标,如单位水量能耗、环保材料使用率等,全面衡量水闸应用的生态与实用价值。各指标均采用可量化数据支撑,避免主观臆断,确保评价精准性。

4.2 评价方法选择

结合评价指标的多元性,采用定性与定量结合的复合评价方法。(1)定量评价选用层次分析法确定各指标权重,通过专家打分与数据校准,明确不同维度指标的影响优先级,解决多指标权重分配难题;搭配模糊综合评价法,处理部分指标难以精准量化的问题,通过建立评价矩阵,对水闸应用效果进行分级评定。(2)定性评价辅助分析定量结果,重点关注生态系统的动态适

配性、工程运行的协同性等难以量化的维度,通过专业研判补充评价结论。两种方法互补,既保证评价的客观性,又兼顾生态系统的复杂性特征。

4.3 评价结果应用

评价结果主要用于水闸优化升级、运行调度调整与技术推广参考。(1)针对评价中暴露的生态短板,如水流形态干扰过大、栖息地保护不足等问题,优化水闸结构设计,调整闸门开启方式、增设生态导流设施,提升生态适配能力。(2)基于评价结果优化运行调度方案,结合水文周期与生态需求,制定动态调度策略,平衡水资源利用与生态保护。(3)将评价结果转化为技术参数,为同类生态友好型水闸的设计、建设提供参考,提炼可复制的技术要点,推动生态友好理念在水闸工程中的深度融合,实现工程功能与生态效益的协同提升。

结束语:生态友好型水闸的推广应用是水利工程生态化转型的关键举措,需兼顾设计、技术、运维等多维度协同发力。从遵循生态优先原则优化设计方案,到集成核心技术破解应用难题,再到构建科学评价体系动态优化,各环节需形成闭环合力。建立涵盖设计、施工、运维的全生命周期协同机制,凝聚多方主体责任,是保障工程生态效益与功能效能统一的核心。唯有筑牢生态适配、技术支撑、管理保障的一体化体系,才能推动水利工程与生态系统共生共荣,为流域高质量发展筑牢生态水利根基。

参考文献

- [1] 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(04):198-200.
- [2] 李兴萌,李贵军.现代水利工程中水闸和堤坝的设计与施工探讨[J].中华传奇,2023(34):185-186,189.
- [3] 李钦哲.水利水电工程中的水闸设计问题及其优化措施[J].工程建设与设计,2021(19):85-87.
- [4] 潘建军,周鹏.赤石河流域水利工程对鱼类的影响分析[J].海河水利,2025,(08):27-32.
- [5] 陈静,王立新,刘洋.生态友好型泵站设计关键技术研究进展[J].水利学报,2023,54(3):345-356.