

水利水电工程中的生态流量研究

郭娜娜

洛阳水利勘测设计有限责任公司 河南 洛阳 471000

摘要:生态流量作为维系河流生态系统健康的关键要素,在水利水电工程开发中占据重要地位。研究通过系统梳理水文学法、水力学法、生物分析法及综合分析法,明确生态流量的科学确定路径;从优化工程调度、改造工程施工、强化实时监测与生态修复补偿等方面,提出针对性保障措施。这些研究成果为平衡水利水电工程经济效益与生态效益,实现水资源可持续利用提供理论依据与实践指导。

关键词:水利水电工程;生态流量;确定方法;保障措施

引言

随着全球水利水电工程建设规模的不断扩大,河流生态系统完整性面临挑战,生态流量的合理保障成为行业关注焦点。当前,工程开发与生态保护的矛盾日益凸显,亟需科学方法确定生态流量并建立有效保障机制。本文基于此背景,系统探讨生态流量的确定方法,包括水文学、水力学、生物分析及综合分析等手段,并提出优化调度、设施改造等保障措施,旨在为水利水电工程生态化发展提供参考。

1 生态流量概述

生态流量是维系河流、湖泊等水生态系统结构与功能完整性的关键要素,指在一定时段内,为保障生态系统健康可持续发展,自然水体必须保持的最小径流量及其过程。它不仅包括维持水生生物栖息地、河道形态稳定、水质净化及水陆生态系统连通所需的水量,还涵盖流量的季节性变化规律、洪峰与枯水过程等动态要素,这些时空特征共同构成生态流量的多维内涵。从生态系统角度看,生态流量直接影响河流生态系统的生物多样性。适宜的流量条件可形成多样化的水域环境,如浅滩、深潭、漫滩等,为鱼类产卵、洄游,底栖生物繁衍,以及湿地植物生长提供必要场所。当流量不足时,河道萎缩、水域栖息地破碎化,导致水生生物种群数量下降,部分物种甚至面临灭绝风险;而流量过程改变,如洪峰缺失或枯水期延长,会打乱生物的自然生命周期,干扰其繁殖、觅食等行为。在物理环境方面,生态流量对维持河道形态稳定至关重要。合理的流量能够通过水流冲刷作用保持河道通畅,防止泥沙过度淤积导致河床抬升、河道变窄,同时避免流量过大引发河道侵蚀加剧。生态流量与水质保护紧密相关,充足的水量有助于稀释污染物,增强水体自净能力,防止水质恶化,保障流域生态安全。随着人类活动对水资源开发利用强度

不断加大,河道断流、湖泊萎缩等生态退化问题日益凸显,生态流量研究和保障工作的重要性愈发突出。通过水文分析、生态调查、模型模拟等科学方法,精准确定不同流域、不同功能区的生态流量阈值,并采取生态补水、水资源优化配置等工程与非工程措施,维持生态流量过程,已成为修复受损水生态系统、实现人与自然和谐共生的关键路径。

2 水利水电工程中生态流量的确定方法

2.1 水文学法

水文学法基于流域长期水文观测数据,通过统计分析历史径流过程,建立流量与生态系统响应关系模型,为生态流量确定提供科学依据。该方法常采用频率计算法,选取多年日平均流量系列,按照不同保证率(如90%、95%)计算对应流量值,以满足生态系统在不同水文年型下的基本需水要求。例如,在干旱半干旱地区,高保证率生态流量有助于维持河道基本形态和湿地生态功能,避免河道断流和湿地退化。径流历时曲线法也是常用手段,通过绘制流量与累计时间关系曲线,直观反映不同流量量级的出现频率和持续时间,进而确定生态流量阈值。当河流存在多个生态保护目标时,可采用Tennant法进行估算,依据河流多年平均流量的百分比划分不同生态保护等级对应的流量区间,这种方法简单实用,适用于缺乏详细生态数据的河流生态流量初步估算。然而,水文学法依赖长期、连续且可靠的水文监测数据,对于数据匮乏的流域,其应用效果会受到一定限制^[1]。

2.2 水力学法

水力学法以河道水力学原理为基础,结合河道形态、糙率等水力参数,建立水流运动方程,模拟不同流量下的水位、流速、水深等水力要素,通过分析水力条件与生态系统的耦合关系确定生态流量。一维水力学模型在顺直、规则河道的生态流量计算中应用广泛,该模

型将河道概化为一维水流,通过圣维南方程组求解河道沿程水力要素变化,根据鱼类产卵、幼鱼生长等生态需求,确定适宜的流速、水深条件,进而反推所需的生态流量。对于复杂河网或具有弯道、分汊等特殊形态的河道,二维水力学模型更能准确模拟水流运动特性。该模型考虑平面二维流场变化,通过求解浅水方程得到河道内流速、水深分布,可为河岸带植被生长、底栖生物栖息等生态功能维持提供精准的水力条件分析。水力学法能够直观反映水流条件对生态系统的影响,但模型参数率定与验证需要大量实测数据支撑,且对河道地形测量精度要求较高,增加了方法应用的技术难度和成本。

2.3 生物分析法

生物分析法以河流生态系统中关键生物类群的生态习性、生理需求为核心,通过研究生物与流量之间的响应关系,确定维持生物生存、繁殖和种群延续所需的生态流量。对于鱼类而言,其产卵繁殖对水流条件极为敏感,不同鱼类具有特定的产卵场位置、水流速度和流量变化需求。例如,鲑鱼等洄游性鱼类需要一定规模的洪峰流量刺激其性腺发育和产卵行为,通过监测鱼类产卵期的流量过程和产卵场分布,结合鱼类生物学特性,可建立流量与鱼类繁殖成功率的定量关系,进而确定保障鱼类繁殖的生态流量。底栖生物作为河流生态系统的重要组成部分,其群落结构和多样性与水流条件密切相关。不同底栖生物对流速、水深、底质等环境条件有不同偏好,通过调查底栖生物种类、数量及其分布特征,分析其与流量变化的相关性,能够确定适宜底栖生物生存的流量范围。水生植物的生长、分布也受流量影响,部分沉水植物需要较低的水流速度和稳定的水位条件,而挺水植物则在周期性水位涨落环境中生长良好,综合考虑不同水生植物的生态需求,可为生态流量确定提供重要参考。生物分析法能够直接反映生态系统生物层面的需水要求,但生物监测周期长、成本高,且生物响应具有滞后性,给方法应用带来一定挑战^[2]。

2.4 综合分析法

综合分析法融合水文学法、水力学法和生物分析法的优势,充分考虑流域水文特征、河道水力条件、生态系统结构与功能等多方面因素,构建多维度、多层次的生态流量确定体系。在实际应用中,第一,基于水文学法获取不同保证率下的流量数据,初步确定生态流量的取值范围;第二,运用水力学法模拟不同流量工况下的河道水力要素,评估水流条件对生态系统的影响;第三,结合生物分析法,分析关键生物类群的生态需水要求,对初步确定的生态流量进行修正和优化。例如,在

大型水利工程建设后的生态流量确定中,通过综合分析历史径流数据、河道演变规律以及鱼类、水生植物等生物的生态习性,能够制定更科学合理的生态流量调度方案。综合分析法还可借助数学模型和计算机技术,将水文、水力、生物等多源数据进行耦合,建立生态-水文-水力耦合模型,实现对生态流量的动态模拟和优化调控。该方法能够全面、系统地考虑生态系统各要素间的相互关系,但涉及数据量大、计算过程复杂,需要多学科知识交叉融合,对技术人员专业素养和数据处理能力要求较高。

3 水利水电工程中生态流量的保障措施

3.1 优化工程调度方案

(1) 基于流域水文节律与生态需水规律的协同分析,构建多目标调度模型。针对水利工程,整合历史径流数据、降水预报及生态需水阈值,建立分季节、分水文年型的调度规则体系。在河道生态敏感期,优先保障生态基流、动态调整水位,协调多维需求。例如在丰水期采用“蓄洪补枯”调度策略,为枯水期预留调蓄空间。(2) 引入智能决策技术优化工程运行参数,融合神经网络、模拟退火算法等智能算法,以生态流量达标率、水资源利用效率为核心目标函数,对水利工程泄洪、蓄水、引水等操作进行动态优化。通过模拟不同调度方案下河道流量过程线与生态响应特征,生成兼顾工程效益与生态保护的最优调度方案,实现水资源时空配置的精细化管理。(3) 建立流域工程调度与生态效应的联动响应机制,依托分布式水文模型与生态响应模型,构建“调度方案-水文过程-生态要素”的耦合模拟系统。实时追踪调度行为对下游河道冲淤演变、水质扩散、生物栖息地适宜度等指标的影响,通过反馈调节机制动态修正调度参数,形成“预测-调度-评估-优化”的闭环管理模式。

3.2 工程设施改造

(1) 在水利工程枢纽中增设生态型泄水设施,结合工程类型与河道特性,采用生态泄洪洞、智能生态放水管等结构形式。生态泄洪洞采用独立于主体工程的输水通道设计,通过可调式闸门系统实现流量分级精准控制;智能生态放水管集成超声波流量计与PLC控制系统,可根据下游生态需水信号自动调节泄流量,确保生态流量的持续稳定下泄。(2) 对现有水利工程设施进行生态化改造,优化泄水建筑物水力特性。例如对溢洪道进行曲面堰顶形态优化,降低泄流能耗的同时提升流量调控精度;在水闸下游增设消能工与生态导流装置,通过扩散式消能减少河道冲刷,同时营造适宜水生生物栖息的

缓流区。针对灌溉渠道与河道交汇段,改造渠首闸门结构,增设生态引水通道,保障农田用水与河道生态流量的协同供给。(3)构建流域生态补水工程网络,针对水利工程影响导致的生态流量亏缺河段,通过跨区域引水、水库群联合调度等方式实施补水。结合地形地质条件优化补水线路设计,采用重力流与泵站提水相结合的输水方式,在补水口处设置水质净化与水动力调控设施,确保补入水量既能满足生态需水要求,又能改善河道水生态环境^[3]。

3.3 实时监测与反馈调控

(1)构建覆盖流域关键节点的生态流量监测网络,在水库坝址、水电站下游、重要支流汇合口等位置布设高精度流量监测设备,包括多普勒流速仪、超声波流量计、电磁流量计等。同时配套建设水质、水位、水温等监测传感器,实现对河道生态要素的多参数实时监测。利用物联网技术,将监测数据通过无线传输网络实时汇聚至数据中心,为生态流量调控提供基础数据支撑。

(2)开发基于大数据与人工智能的生态流量分析平台,运用数据挖掘技术对海量监测数据进行处理,提取生态流量变化规律与影响因素。通过机器学习算法建立生态流量预测模型,结合气象预报、水文预报等信息,对未来一定时段内的生态流量进行精准预测。利用模型预测结果,提前制定流量调控预案,提高生态流量保障的前瞻性与主动性。(3)建立生态流量反馈调控机制,当监测数据显示生态流量不达标时,系统自动触发预警,并根据预设的调控策略向工程调度系统发送指令。工程运行管理人员可通过远程控制系统,对水库闸门、发电设备等进行操作,调整生态流量泄放。持续监测调控后生态流量及相关生态要素的变化情况,形成“监测-分析-调控-再监测”的闭环管理模式,确保生态流量始终维持在合理水平。

3.4 生态修复与补偿

(1)开展河道生态修复工程,针对因水利水电工程建设导致的河道形态改变、栖息地破坏等问题,通过河道疏浚、岸坡整治、水生植物种植等措施,恢复河道自

然形态与生态功能。例如,采用生态护岸技术替代硬质护岸,利用植物根系固土护坡,同时为水生生物提供栖息空间;通过恢复河漫滩湿地,增加河道调蓄能力,改善局部生态环境。(2)实施生物多样性保护与修复措施,对受工程影响的珍稀濒危物种及其栖息地进行重点保护。开展鱼类增殖放流,根据河道生态环境特点,选择合适的鱼类品种与放流规格,补充鱼类种群数量;建设人工鱼巢、产卵场等设施,为鱼类繁殖创造有利条件。加强对水生植物、底栖生物等生态系统组成部分的保护与修复,促进生态系统结构与功能的完整性恢复。

(3)进行生态用水补偿,通过工程措施将部分发电弃水、多余水量等用于生态补水,提高水资源的生态利用效率。在水库下游河道设置生态补水口,根据生态需水要求,合理调配水量进行补水。对因生态流量保障导致的发电效益损失等进行经济核算,通过优化工程运行方式、提高水能利用率等途径,实现生态效益与经济效益的协调发展,为生态修复与补偿提供持续的资金与技术支持^[4]。

结语

综上所述,生态流量研究是水利水电工程可持续发展的重要环节。通过多种科学方法确定生态流量,结合优化调度、设施改造等保障措施,能有效缓解工程建设对河流生态的负面影响。然而,生态流量研究仍存在区域适应性不足、多要素耦合分析待深化等问题。未来需进一步加强跨学科研究,完善生态流量动态调控机制,推动水利水电工程与生态保护协同发展。

参考文献

- [1]王文娟.绿色农田水利水电的生态流量保障研究[J].黑龙江粮食,2023(6):110-112.
- [2]赵蓉,史晓新,朱党生,等.水利水电工程生态流量理论与计算方法研究进展[J].水利规划与设计,2024(10):55-60.
- [3]徐健清.基于生态流量保障的水利水电工程运行管理研究[J].河南水利与南水北调,2024,53(9):39-40.
- [4]张建永,黄锦辉,孙翀,等.已建水利水电工程生态流量核定与保障思路研究[J].水利规划与设计,2023(8):1-4,9.