

# 水利电力工程中的生态流量研究

王擎宇

深圳市水务规划设计院股份有限公司湖北分公司 湖北 武汉 430070

**摘要:** 在水利电力工程蓬勃发展以满足社会各类需求的当下,生态流量问题成为影响工程与生态环境和谐共生的关键因素。本文首先剖析水库建设、水电站运行对生态流量的影响机制,接着阐述水文学、生态学及综合方法确定生态流量,介绍遥感与地理信息系统、数值模拟、大数据与人工智能等技术支撑,提出生态流量泄放设施、生态调度等工程措施及监测预警、多部门协同管理等管理措施,为保障水利电力工程生态流量提供参考。

**关键词:** 水利电力工程;生态流量;影响机制;确定方法;保障措施

引言:水利电力工程在满足人类用水、用电需求,推动经济社会发展方面意义重大。但工程建设与运行改变了河流自然水文情势,对生态系统造成诸多不利影响,生态流量问题日益凸显。生态流量是维持河流生态系统健康、保障生物多样性的关键要素。深入研究水利电力工程中的生态流量,明确其影响机制、确定方法、技术支撑及保障措施,对实现水利电力工程与生态环境协调发展具有紧迫性和重要性。

## 1 水利电力工程对生态流量的影响机制

### 1.1 水库建设的影响

水库蓄水对河流自然径流过程具有深刻改造作用<sup>[1]</sup>。在天然状态下,河流径流呈现季节性波动特征,汛期流量充沛而枯水期流量锐减,这种动态变化为水生生物提供了多样化的生存环境。水库建成后,通过拦蓄洪水与储存枯水,河流径流的时间分配被显著改变。汛期大量洪水被截留于库区,导致下游河道流量峰值降低且持续时间缩短;枯水期水库释放储存水量,使下游流量维持在相对稳定状态。这种流量过程的均质化趋势削弱了河流原有的生态节律,可能引发水生生物栖息地萎缩与物种组成变化。水库下泄流量特征呈现与天然状态截然不同的模式。受发电、灌溉等综合用水需求影响,下泄流量往往表现出明显的季节性差异。在用电高峰或灌溉季节,水库加大泄流以满足人类活动需求,导致下游出现非自然的高流量脉冲;而在需求低谷期,泄流量可能低于天然状态下的最小流量。日内波动方面,水电站根据电网负荷调整机组运行,引发下泄流量在短时间内频繁起伏,这种不稳定的流量条件可能干扰鱼类觅食与繁殖行为,破坏底栖生物群落稳定性。

### 1.2 水电站运行的影响

水电站发电调度通过水位调节与流量控制直接干预下游生态系统水量供应。为追求发电效益最大化,水电

站常在汛期保持高水位运行以蓄积势能,待用电需求增加时集中泄流发电。这种操作模式导致下游河道流量呈现"大起大落"特征,既可能引发河道侵蚀加剧,也会造成水生生物栖息地频繁干湿交替。枯水期为保障发电水位,水电站可能减少下泄流量,导致下游河道断流风险上升,威胁依赖稳定水流条件的物种生存。水电站引水发电系统对河流连通性构成结构性破坏。纵向维度上,引水隧洞或压力管道截断河流自然通道,阻碍鱼类洄游与物质输移;横向维度上,水库蓄水淹没河岸带湿地,切断陆地与水生生态系统的物质交换路径。这种连通性断裂导致生态流量无法有效传输至下游关键栖息地,造成营养物质堆积于库区而下游河道营养匮乏,进而引发整个流域生态系统功能退化。

## 2 水利电力工程区生态流量确定方法

### 2.1 水文学方法

水文学方法在生态流量确定中占据重要地位,主要借助河流自身水文特性展开分析。历史流量法是其中具有代表性的一种<sup>[2]</sup>。此方法以长期积累的历史流量资料为基石,对不同时段的流量数据进行深度剖析。通过计算流量的平均值、方差、极值等统计特征,能清晰把握河流流量在时间维度上的变化规律。基于这些规律,可筛选出能够满足生态系统基本需求的流量值作为生态流量。该方法充分利用了河流自然状态下的流量信息,为生态流量确定提供了直观且可靠的数据依据。水文指数法同样属于水文学方法范畴。它借助各类水文指数来反映生态系统的需水要求。像湿润指数,可体现区域水分的盈余状况;干旱指数则能反映水分的亏缺程度。这些指数从不同角度刻画了河流的水文状态与生态系统的关联。通过对这些指数的分析计算,结合生态系统对水分的需求特点,能够确定出适宜的生态流量,一般以湿润指数0.6-0.8、干旱指数0.2-0.4为参考范围,以维持生态系统

的稳定运行。

## 2.2 生态学方法

生态学方法从生物与生态系统的角度出发确定生态流量。生境需求法聚焦于不同生物物种对水生生境的特定需求。水深、流速、水质等要素对生物的生存和繁衍至关重要。不同生物对这些要素有不同的适宜范围,通过研究这些需求,确定维持各生物生境所需的最小流量。例如,某鱼类产卵期需流速0.5-1米/秒、水深1-2米,据此可推算出维持产卵场的最小流量为每秒200-300立方米。只有满足这些最小流量要求,生物才能在水体中正常生存和活动,进而保障生态系统的生物多样性。生态系统整体法将生态系统视为一个有机整体。考虑生态系统中各生物组分之间的相互关系以及能量流动过程。生物之间通过食物链、食物网等相互关联,能量在生态系统中不断传递和转化。基于这种整体性,确定能够保障生态系统健康运行的生态流量,确保生态系统内各生物组分之间的平衡与稳定,维持生态系统的正常功能。

## 2.3 综合方法

综合方法是将水文学方法和生态学方法有机结合。河流的水文特征和生态需求相互影响、相互制约。单独依靠水文学方法或生态学方法确定生态流量,可能存在一定的局限性。综合方法综合考虑河流的流量变化规律、水文指数以及生物的生境需求和生态系统整体功能等多方面因素。像BBM法等综合方法,通过建立复杂的模型和算法,将水文学和生态学信息融合,能够更全面、准确地确定生态流量,为水利电力工程的生态调度提供科学依据。

# 3 生态流量技术支撑

## 3.1 遥感与地理信息系统技术

遥感技术凭借覆盖范围广、数据更新快的优势,成为获取大尺度水体信息的重要手段。通过多光谱与高光谱传感器,可精准识别地表水体分布范围,监测水域面积动态变化<sup>[3]</sup>。结合激光雷达技术,还能获取水体三维形态数据,为分析河道形态与生态流量关系提供基础。多种技术结合能更全面地了解水体情况。地理信息系统则发挥空间分析与模拟功能,将遥感数据与地形、植被、土地利用等基础信息叠加,构建流域水文生态模型。通过空间插值与趋势分析,可揭示生态流量时空分布规律,识别关键生态敏感区。这两种技术融合应用,既能从宏观层面把握流域生态流量整体状况,又能针对特定区域开展精细化研究,为生态流量管理决策提供科学依据,推动生态流量研究向更高水平发展。

## 3.2 数值模拟技术

水动力学模型与生态模型的耦合应用,为深入解析河流生态系统水流运动与生态过程提供了有效途径。水动力学模型通过求解质量、动量守恒方程,模拟不同流量条件下河道水流速度、水位、泥沙输移等参数变化。随着计算技术的进步,数值模拟模型的时空分辨率不断提高,能够更精准地模拟复杂河道地形下的水流运动特征,为生态流量与河道地形的耦合关系研究提供了强大的技术支撑。生态模型则聚焦生物群落对水文环境的响应机制,量化水流变化对鱼类栖息地、浮游生物繁殖、河岸带植被生长的影响程度。两种模型结合能全面分析生态流量对生态系统的影响。将两类模型有机整合,可构建河流生态水文综合模拟平台,预测水利工程运行对生态流量的干扰效应。通过设置不同调度情景参数,能够评估生态流量保障措施的实施效果,为优化工程调度方案提供技术支撑。随着计算能力提升,三维水生态模型逐步兴起,可更真实地反映复杂河道形态下的生态水文过程,提升数值模拟的准确性和可靠性。

## 3.3 大数据与人工智能技术

大数据技术为生态流量研究带来海量多源数据整合机遇。通过集成水文站、气象站、生态监测站等长期观测数据,结合遥感影像、社交媒体等非传统数据源,可构建覆盖全要素的生态流量数据库。海量数据为深入研究生态流量提供了丰富素材。机器学习算法擅长从复杂数据中挖掘隐藏规律,通过训练神经网络、支持向量机等模型,能够识别生态流量与水质、气温、生物量等环境因子的非线性关系。深度学习技术进一步提升了特征提取能力,可自动识别关键生态流量阈值,预测生态系统对流量变化的响应趋势。这些智能分析方法突破了传统统计模型的局限,为生态流量精准确定与动态调整提供了新思路。随着物联网技术普及,实时数据流与人工智能的结合将推动生态流量管理向智能化、自适应方向演进,实现生态流量管理的现代化和科学化。

# 4 水利电力工程生态流量保障措施

## 4.1 工程措施

### 4.1.1 生态流量泄放设施

为确保水利工程运行期间下游生态系统获得稳定水量供给,需针对性设计生态流量专用泄放通道<sup>[4]</sup>。在坝体结构规划阶段,应预留生态流量泄放孔或设置独立生态放水管道,其位置选择需综合考虑水动力学特性与下游河道形态,避免水流集中冲刷导致河床形态改变。这种科学规划能最大程度减少对河道生态的破坏,保障水流平稳下泄。设施规模设计需以生态流量计算结果为依据,通过水工模型试验验证泄放能力,确保在枯水期或发电

低谷期仍能维持最小下泄流量。部分工程采用分层取水方式,通过不同高程取水口组合调节下泄水温与含沙量,缓解单一泄流方式对水生生物的胁迫效应,提高生态流量保障的有效性。

#### 4.1.2 生态调度

水库与水电站运行调度需突破传统以发电效益为核心的模式,构建兼顾生态保护的多元目标调度框架。传统模式已难以满足当下生态保护需求,多元目标调度框架能实现生态与经济的双赢。在调度框架构建过程中,需引入生态效益量化评估指标,将鱼类繁殖成功率、河岸带植被覆盖率等生态指标纳入调度方案优化目标,实现生态效益与经济效益的协同提升。通过建立水文-生态响应模型,量化不同调度方案对下游生态系统的影响程度,以此为基础制定动态调度规则。在汛期适当降低水库蓄水上限,为洪水脉冲保留通道,维持河流连通性;枯水期严格控制发电用水,通过预留生态库容保障基础流量。部分流域采用“基流保障+脉冲补充”的调度策略,在维持日常生态基流的同时,定期制造人工洪水过程,模拟自然水文节律,促进鱼类繁殖与河岸带植被更新,实现生态与发电的协调发展。

### 4.2 管理措施

#### 4.2.1 生态流量监测与预警系统

构建覆盖全流域的生态流量监测网络,整合水位、流量、水质等多参数实时监测设备,形成“空-天-地”一体化监测体系。这种全方位监测体系能及时、准确地掌握生态流量动态。同时,需建立监测数据质量控制机制,通过数据校验、异常值剔除等手段保障数据精度,为生态流量评估与调度决策提供可靠的数据支撑,避免因数据误差导致的管理决策失误。利用物联网技术实现数据自动采集与传输,通过云计算平台进行大数据分析,精准识别生态流量异常波动。设定分级预警阈值,当监测值接近生态流量下限时启动黄色预警,触发管理措施核查;低于临界值时启动红色预警,强制实施应急补水方案。部分地区探索应用区块链技术确保监测数据不可篡改,提升监管公信力,为生态流量管理提供及时准确的

信息支持。

#### 4.2.2 多部门协同管理机制

打破部门壁垒,建立水利、环保、农业、林业等部门参与的生态流量管理联席会议制度。多部门协同能整合各方资源,形成生态流量保障合力。为提升协同效率,需搭建跨部门共享的信息管理平台,实现监测数据、调度方案、执法信息等资源的实时共享,避免信息孤岛导致的管理脱节,确保各部门在生态流量保障工作中形成闭环管理。制定跨部门数据共享规范,统一生态流量监测标准与评估方法,避免重复建设与数据冲突<sup>[5]</sup>。通过立法形式明确各部门职责边界,将生态流量保障纳入地方政府绩效考核体系。在重大工程规划阶段实施联合审查,确保生态流量需求在项目可行性研究阶段得到充分考量。部分流域成立跨行政区管理机构,统筹上下游生态流量分配,协调解决跨区域用水矛盾,形成协同高效的生态流量管理格局。

### 结束语

水利电力工程中的生态流量研究涵盖影响机制、确定方法、技术支撑与保障措施等多方面。通过分析水库建设、水电站运行对生态流量的影响,采用多种方法确定生态流量,借助先进技术提供支撑,实施工程与管理措施保障生态流量,能在满足人类需求的同时,有效维护河流生态系统健康。这需要各方持续努力,不断完善相关理论与实践,推动水利电力工程可持续发展。

### 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]卢明明.清河已建水利水电工程生态流量核定与探析[J].东北水利水电,2025,43(8):30-33.
- [3]张飞,文志颖.夹岩水利枢纽工程初期蓄水生态流量泄放方案研究[J].水利水电快报,2024,45(4):117-120.
- [4]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.
- [5]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.