

# 河湖生态流量优化调控与应用探讨

高明亚 彭锋

湖北省水利经济管理办公室，湖北武汉，430071；

**摘要：**河湖生态流量是维系水生态系统结构与功能的基础要素，是推进生态文明建设的重要保障。本文系统阐述了河湖生态流量确定方法、优化调控技术及监测预警体系，重点探讨了流域水资源统一调度、水工程生态改造和信息化保障等关键技术，并以湖北省清江流域梯级水库生态流量优化调控工程为例，验证了技术方案的有效性。研究表明，通过多目标优化调度与适应性管理，可显著提升生态流量保障率，改善河流生态环境，为河湖生态流量管理提供技术支撑。

**关键词：**生态流量；优化调控；水库调度；监测预警；生态保障

**DOI：**10.69979/3060-8767.26.03.021

## 引言

河湖生态流量是维系河流、湖泊等水生态系统结构和功能的基本要素，是控制水资源开发强度、保障河湖健康生命的重要指标。近年来，随着流域水资源开发利用强度不断加大，部分河流出现断流、湖泊萎缩、生物多样性下降等生态问题，河湖生态流量保障面临严峻挑战<sup>[1]</sup>。党的二十大报告明确提出推进生态优先、绿色发展，《长江保护法》《黄河保护法》等法律法规对生态流量管控提出明确要求。当前，生态流量确定方法虽已形成水文学法、水力学法、生境模拟法等多种途径，但在优化调控技术、监测预警体系、工程改造措施等方面仍存在系统性、针对性不足等问题<sup>[2]</sup>。本文系统梳理河湖生态流量优化调控理论与关键技术，通过典型工程案例验证技术方案的有效性，旨在为河湖生态流量管理提供技术支撑和实践参考，推动河湖生态保护与水资源开发利用协调发展。

## 1 河湖生态流量优化调控理论与方法

### 1.1 生态流量确定方法

科学确定生态流量是实施优化调控的必要前提，当前主流确定方法有三大类别，分别是水文学法、水力学法和生境模拟法。水文学法以 Tennant 法和 90% 保证率法作为典型代表，借由统计分析多年径流资料确定不同时段最小生态流量阈值，此方法简便快捷适合资料缺乏地区，不过没有充分考虑河流水文过程动态变化<sup>[3]</sup>。水力学法是基于河道断面水力特性来进行分析的，通过湿周法或者 R2 - CROSS 法建立流量与生态需水的响应关

系，能够反映出河道形态对于生态流量的影响，然而需要详细地形与水文数据提供支撑。生境模拟法采用 PHABSIM 模型或者 IFIM 方法操作，把水力学参数与目标物种栖息地适宜性曲线相互耦合，确定能够满足生物需求的流量过程，该方法精度较高但实施成本相对较大。

实践中需要根据河流特征以及保护对象采用综合确定手段，对于重要水产种质资源保护区要优先采用生境模拟法，对于一般河段可以结合水文学法确定基本生态流量并通过水力学法进行校核验证。《河湖生态流量管理办法》明确提出相关要求，生态流量确定要以保障河湖基本形态、栖息地和自净能力为基本目标，同时兼顾特殊生态敏感区的实际需求<sup>[4]</sup>。当前生态流量正呈现从单一数值向过程管控转变的发展趋势，强调丰、平、枯水期实施动态分级管理。

### 1.2 生态流量优化调控技术

生态流量优化调控的关键核心是协调好水资源开发利用与生态保护之间的矛盾。水库群联合调度优化属于该调控中的一项关键技术，要通过构建以发电量达到最大、生态缺水量减到最小、供水保障率提至最高为目标的多目标优化模型，采用 NSGA-II、MOSFLA 等智能算法来求解出最优调度方案。

实施生态调度需要重点把握好三个时机：一是在汛前开展生态补水以恢复河漫滩湿地，二是在鱼类产卵期制造人工洪峰来刺激鱼类的产卵行为，三是在枯水期保障基流以维持河道的连通性。基于径流预报的适应性调控技术是通过建立“预报-调度-监测-反馈”闭环管理机

制，动态调整调度策略以应对径流的不确定性，从而降低生态流量保障风险<sup>[5]</sup>。

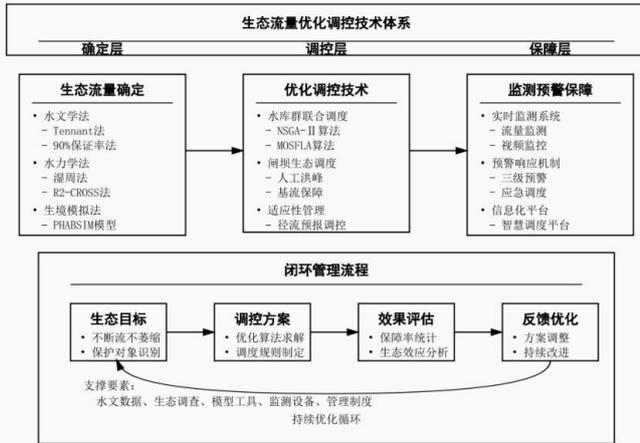


图 1 生态流量优化调控技术框架图

表 1 生态流量优化调控关键技术对比

技术类型	适用条件	主要优点	局限性	典型应用场景
水库群联合调度优化	梯级水库、多目标需求	综合效益高、协同性强	计算复杂、需要高精度数据	大型流域梯级水库系统
闸坝生态调度	河道闸坝密集区	操作灵活、响应快速	调控幅度受限	平原河网、引水工程
适应性管理	不确定性高的流域	动态优化、风险可控	需要完善监测体系	径流波动大的山区河流
多水源联合配置	水资源紧缺地区	提高水资源利用效率	协调难度大	跨区域调水工程

## 2 河湖生态流量保障关键技术

### 2.1 流域水资源统一调度

流域水资源统一调度是保障生态流量的制度根基，应将生态流量管控指标纳入流域水资源调度方案以及年度水量调度计划，将其作为刚性约束来优先保障。针对多水源供水系统，需要构建“地表水 - 地下水 - 再生水 - 外调水”四水联调模型，在满足生活和生产用水的前提下，通过水源置换和分质供水等措施为生态流量腾挪出空间。

调度实施过程中应把握三个重要原则，一是要坚持生态优先确保河道不断流以及湖泊不萎缩的底线要求，二是要做到动态平衡根据来水情况适时调整供水配置比例，三是要实现协同联动建立跨部门和跨区域的会商机制。对于控制性水库而言，应预留出生态库容，在枯水期通过生态补水维持下游基本生态需求。

### 2.2 水工程生态改造技术

对既有水工程进行生态化改造是提升生态流量保障能力的重要途径。生态泄流设施改造涵盖增设生态泄流孔、改造溢流堰以及安装生态流量计量设施等内容。针对大坝底孔，可通过安装可调节闸门的方式实现精准控流；对于没有专用生态泄流设施的电站，应利用机组发电尾水或者建设旁通管道来保障下泄流量。鱼道等生态通道建设对洄游性鱼类保护有着至关重要的作用。

## 1.3 生态流量监测与预警体系

完善的监测预警体系是保障生态流量有效性的技术支撑。监测体系建设需要覆盖水库泄放点、河流控制断面和敏感生态区这三类关键节点，要采用流量计、水位计、视频监控等设备来实现“流量 + 影像”的双重监控。数据传输要遵循水文遥测规约并自动上传至省级和流域管理平台，以实现多部门信息共享。

预警机制分为三级响应：当监测断面流量低于生态流量目标值 90% 的时候，要启动蓝色预警并加强监测频次；低于 80% 的时候，要启动黄色预警并组织会商研判后制定应对措施；低于 70% 的时候，要启动红色预警并强制实施应急调度。预警信息要及时推送至责任主体，以确保在 24 小时内启动响应。智能预警系统结合水文气象预报和水库调度计划，能提前 3-7 天预判生态流量保障风险，从而为调度决策争取时间。

鱼道设计需要结合目标鱼类的游泳能力和习性，控制流速在 0.6-1.2m/s 且水位跌差不超过 0.3m，并设置诱鱼设施和休息池；对于无法建设鱼道的高坝，可采用集运鱼系统或者人工增殖放流进行补偿。生态泄流通道还应考虑水温分层影响，并通过分层取水设施保障下游水温需求。

### 2.3 生态流量保障的信息化手段

信息化是提升生态流量管理效能的重要关键支撑。远程监测系统运用物联网技术把分散监测站点联网，达成数据自动采集、传输、存储和分析；视频监控系统采用 AI 图像识别技术自动判别泄流设施运行状态，避免人为干扰。监测数据需与电站运行数据、气象水文数据融合，来构建大数据分析平台；智慧调度平台整合水文预报、优化调度模型、监测预警系统，实现全流程智能化。数字孪生技术通过构建流域水系统虚拟映射，可模拟不同调度方案的生态效应，辅助决策优化；区块链技术应用能确保监测数据不被篡改，提升监管公信力。典型省级生态流量管理平台已接入数千个监测点，实现一张图管理和一键式调度。

## 3 典型流域生态流量优化调控应用实践

### 3.1 项目背景与问题诊断

以湖北省清江流域梯级水库生态流量优化调控工程为例。清江处于长江中游南岸且发源于恩施自治州利

川市齐跃山龙洞沟,其干流全长达到423千米且总落差为1430米,流域面积也达到了17000平方千米,在该流域干流上面建有10座梯级水库,分别是三渡峡、雪照河、大河片、天楼地枕、龙王塘、大龙潭、红庙、水布垭、隔河岩、高坝洲,水库总装机容量超过了1000兆瓦,而且在该流域之内分布着国家级水产种质资源保护区,保护区保护对象包含中华鲟和清江白甲鱼等珍稀鱼类。

问题诊断结果显示,一方面水库调度主要以发电为目的而未把生态流量约束纳入,这导致下游河段枯水期流量低于生态需求,部分引水式和混合式电站坝后容易出现脱水段,另一方面梯级水库处于独立运行状态且缺少统筹调度机制,使得水量调节能力没有得到充分发挥。生态流量监测体系不够完善,需要加强对各监测断面的监控监督,并且鱼类产卵期没有人工洪峰进行刺激,从而造成繁殖成功率下降。生态保护对象识别确定出3个重点保护河段,涉及清江上游、中游、下游河段,包含清江中上游水生野生动物自然保护区和清江白甲鱼国家级水产种质资源保护区。

### 3.2 优化调控方案设计

生态流量目标确定采用综合法。基于多年水文序列,运用 Tennant 法和 90% 保证率法确定基本生态流量,通过湿周法校核,得到关键断面最小生态流量阈值;结合生境模拟法,确定鱼类产卵期(4-6月)最优生态流量过程,重点保障中华鲟和清江白甲鱼等珍稀鱼类繁殖需求。

调控措施设计包括:(1)构建梯级水库多目标优化调度模型,目标函数为发电量最大、生态缺水量最小、供水保障率最高,采用改进 NSGA-II 算法求解,通过 Knee Point 法优选调度方案;(2)制定分期分级调度规则,枯水期保障基本生态流量,汛前实施生态补水,产卵期实施人工洪峰调度;(3)建设生态流量监测预警系统,在4个控制断面增设流量监测站,配置视频监控和自动传输设备;(4)改造3座水库生态泄流设施,增设底孔闸门和流量计量设备。

技术路线为:生态流量目标确定→调度模型构建→方案仿真优化→工程设施改造→监测系统建设→试运行调试→效果评估反馈。

### 3.3 实施效果评价

工程实施后运行监测数据表明优化调控取得显著成效。在生态流量保障率方面,控制断面生态流量满足程度从实施前90%提升至超过97%,枯水期保障率显著提升,有效解决了坝后脱水段问题;在水生态环境改善方面,河段水质稳定达到或优于III类标准,水功能区水质达标率保持100%,珍稀鱼类繁殖成功率明显提高;在经济社会效益方面,通过优化调度,梯级水库发电效

益基本保持稳定,且生态补水改善下游灌溉条件,灌溉水利用系数达到0.54以上,河流生态景观提升带动清江"八百里画廊"生态旅游发展,年旅游收入显著增长;在技术推广方面,清江形成的"诊断-优化-改造-监测"四位一体技术模式和"五有"生活垃圾收运处置体系已在湖北省其他流域推广应用。

表2 清江生态流量保障实施前后效果对比

评价指标	实施前	实施后	提升幅度
年均生态流量保障率(%)	90	>97	+7.8%
枯水期流量保障率(%)	85	95	+11.8%
脱水段消除率(%)	60	95	+58.3%
水功能区水质达标率(%)	83.3	100	+20.1%
饮用水水源地水质达标率(%)	100	100	持续达标
灌溉水利用系数	0.53	0.54	+1.9%
乡镇生活污水处理率(%)	47.5	75以上	+57.9%

## 4 结论与展望

河湖生态流量优化调控是一项系统工程,需要科学的确定方法、先进的调控技术和完善的保障体系协同支撑。本文构建的"理论-技术-应用"多层次技术框架,通过实际案例验证了其有效性和适用性。未来研究应重点关注:(1)气候变化背景下生态流量动态调整机制;(2)多目标优化算法在复杂水系统中的应用;(3)生态流量保障的生态效应量化评估;(4)基于数字孪生的智能化调控技术。加强河湖生态流量管理,对于推进生态文明建设、维护河湖健康生命具有重要意义。

### 参考文献

- [1]杨震东,唐兵.复苏河湖生态环境背景下生态流量保障相关问题的思考[J].水利水电工程设计,2025,44(04):73-78.
- [2]李莹,杨智楷,左其亭,等.河湖生态流量核定与保障实施路径[J/OL].人民长江,1-12[2026-01-22].
- [3]陈浩,王贝,何锡君,等.深度学习在河湖生态流量预报预警中的应用研究[J].水力发电学报,2023,42(08):10-20.
- [4]成波,王培,李志军,等.长江流域生态流量管理服务平台建设探讨[J].长江技术经济,2022,6(01):9-14.
- [5]朱乾德,卜昊,王明明,等.论取水许可对生态流量的调控效应[J].中国水利,2020,(15):35-39.

作者简介:高明亚,1984.10,男,汉族,山东济宁人,本科,工程师,研究方向:水文与水资源、河湖管理与保护。