

水库生态流量保障机制与多目标协同调度策略研究

闫莉莉

建昌县水利事务服务中心，辽宁葫芦岛，125300；

摘要：伴随水资源开发与生态保护冲突的不断加剧，水库调度已从传统的防洪、供水、发电等单一目标模式，过渡到兼顾生态流量保障的多目标协同治理。本文聚焦于水库生态流量保障机制与多目标协同调度策略开展研究，全面剖析了生态流量保障的含义与重要意义，探究了多目标协同调度的理论架构与实施途径。搭建科学恰当的生态流量保障机制，应明晰生态流量标准、改进监测评估体系、构建责任落实与补偿机制；为达成多目标协同推进，应在调度模型中兼顾生态、经济与社会目标，改良调度规则，并且增强动态适应与风险管理能力，研究期望为水库可持续运营以及流域生态保护供给理论借鉴与实践引导。

关键词：水库调度；生态流量；保障机制；多目标协同；生态保护；水资源管理

DOI：10.69979/3060-8767.25.09.088

引言

水库作为管控水资源时空分布的重大工程，在防洪抗灾、供水支撑、水力发电等方面起到了关键功效。水库调度大多着重于经济社会收益，时常无视了下游生态系统的用水需求，造成了河道生态流量短缺、水生生物栖息地恶化、河流连通性中断等一系列生态状况。伴随生态文明建设的持续推进，生态流量保障成为水库调度里不可忽视的核心话题，如何在水库运营过程中切实保障生态流量，达成水资源开发与生态保护的多目标协同共进，是目前流域管理面临的关键挑战。本文从生态流量保障机制搭建与多目标协同调度举措两方面切入，意在全面梳理关键难题与解决思路，为助力人水和谐与可持续发展提供有益参考。

1 水库生态流量保障机制构建

1.1 生态流量标准核定与动态调整

科学核定生态流量标准是构建保障机制的首要步骤，其关键在于达成流域水生态系统的可持续性保护。应按照流域水生态保护的特定目标，全面融合水文节律特性、关键物种存活需求、河道形态构造以及水质标准等多维度要素，灵活择取水文学法、水力学法或生境模拟法等技术措施，科学判定不同水文期、不同河段的基本生态流量与目标生态流量。基本生态流量的目的是保障河流生命持续流动，目标生态流量则聚焦于恢复或维护健康的生态系统结构与机能。生态流量标准应具备动态调整性，不可墨守成规。应构建周期性评估与动态化

调整体系，依托长期水文、生态监测数据，思索气候变化对径流格局产生的影响以及流域生态系统的自然演替态势，每3至5年对标准开展系统性核查与修正，保证其始终契合河流生态保护的现实需求，实现科学治理与弹性调控的有机统一。

1.2 生态流量监测评估与预警体系

完备的监测评估与预警架构是生态流量保障机制能够有效运转的关键技术依托。应在水库坝下、重要生态敏感区域、主要支流汇合口等关键控制断面合理设置监测站点，以实时或高频率方式监测流量、水位、水温、水质以及鱼类、底栖动物等关键生物指标。应借助物联网、大数据、人工智能等现代信息技术手段，搭建融合数据自动采集、远程传输、智能分析与可视化展示功能于一体的生态流量监管信息平台，达成动态监测与智慧管控^[1]。应当构建分级分类的生态流量预警体系，按照生态流量规范设定黄色、橙色和红色等多级预警临界值，一旦监测数据显示实时流量趋近或低于相应临界值，平台应马上自动发出预警，并同时告知相关部门与管理单位，及时开启跨部门协商与应急响应流程，采取增大下泄流量等干预办法，保障生态流量符合标准，切实防范生态风险。

1.3 生态保障责任落实与补偿机制

精准的责任划分与适宜的利益调节体系是维系生态流量长效运转的核心。应当于法律法规与政策框架内，明确划定水库管理单位作为生态流量下泄的法定责任主体，要求该单位把生态流量泄放纳入日常运行调度规

章，并把执行状况纳入企业绩效考评与环保检查范围，增强硬性约束。针对因优先保障生态水量而不可回避损失的发电、供水等经营类收益，要主动探寻构建多元化、市场化的生态补偿机制。经由中央或地方财政构建专项转移支付、在跨区域或跨行业间开展水权交易、施行体现环境成本的绿色电价补贴和优惠、探寻生态保护补偿基金等多样化途径，给予相关管理单位恰当的经济补偿，借此厘清生态保护和经济发展的关联，补偿其经济耗费，切实激发水库管理单位维持生态流量的内在主动性，促成生态效益与经济效益的同步共赢。

2 水库多目标协同调度策略框架

2.1 构建多目标协同调度模型

构建多目标协同调度模型，要在传统水资源管理架构的根基之上，整体纳入生态、经济与社会三大维度的目标体系。生态目标不但包含保障下游基本的生态基流，而且要考虑鱼类洄游、湿地淹灌等必要的脉冲流量过程，以及维持水温、水质等生态因子的适宜性；经济目标要统筹兼顾水力发电收益、城乡供水效能、工业用水保障以及航运等整体经济效益；社会目标包含防洪安全、灌溉保障、饮用水安全以及公众休闲需求等多种公益属性^[2]。模型构造应当根据流域水文特质、工程布局状况与利益相关群体诉求，选用多目标优化算法，借助帕累托前沿剖析揭示目标之间的竞争与协同关联，且凭借权重设定、约束条件动态调控达成不同目标间的合理权衡。模型还需要嵌入水文随机模拟、用水竞争状况分析与系统动态反馈机理，以应对来水的不稳定性、用水冲突以及调度过程的时变属性，从而提高模型在复杂变化环境中的科学性与适应性，为多目标协同决策提供量化支持。

2.2 优化调度规则与运行方式

传统聚焦单一经济或防洪效益的调度规则已无法契合当下多目标协同管理的要求，迫切需要向兼顾生态、经济与社会效益的综合调度规则体系转型。应在水库调度规程里精准界定生态流量的释放机制，包含不同水文年份下的生态基流临界量、脉冲泄放的时刻、流量规模与持续时段，同时确立其在多目标调度中的优先次序与弹性范围。在洪水期可配合洪水调控流程，借助洪峰前沿或退水时段开展生态脉冲式泄放，模仿自然洪水进程以推动鱼类繁衍和滩区淹没培育；在枯水阶段确立刚性生态基流约束，同时调和供水、发电与生态用水之间的

矛盾关系，要探究水利工程设施的协同运作途径，像借助改进水电站机组发电过程、调控运行水位波动范围来契合生态流量进程，又或者增配生态专用泄水设备、小型生态发电单元等，实现生态流量的精确、低损耗泄放。在保证生态效益得到保障的同时，最大程度降低发电损耗和经济开支，促使工程调度从“单一服务”迈向“系统服务”转变。

2.3 增强动态适应与风险管理能力

水库调度在长期过程中持续遭遇水文气象不确定状况、用水需求起伏以及生态系统演化等诸多风险，故而需要构建具备动态适应与系统韧性的风险管理机制。需搭建“预报－预警－调度－校正”一体化动态调度体系，整合中短期水文气象预报、生态响应预测模型和实时水情－生态监测资料，达成基于来水状况与生态健康情形的滚动优选与适应性调控^[3]。应实施多情景风险模拟与评定，找出不同调度方案下或许会出现的生态流量短缺、发电出力下降、供水保障不足等风险，同时拟定分级分类的应急处置预案与响应程序，可探寻采用市场化举措分散与补偿调度风险，像构建水生态补偿机制、发电损失保险、干旱期权等金融工具，来减轻目标冲突引发的社会经济压力。通过技术聚合与管理创新相契合，增强调度系统抵御气候变化与人类活动干扰的适应能力，达成水资源系统的长久稳定运行与多目标可持续管控。

3 实现协同的策略支撑体系

3.1 完善法规政策与监管体系

完备且具备高度约束能力的法律法规体系，是达成水库生态调度与生态流量保障的根本性制度根基。需积极促进在国家或流域层面实施专门立法，抑或对现行的《中华人民共和国水法》及配套法规、各水库的调度规程进行系统性调整，修订的主要目标为。在具备法律效力的法规条文和规程里，清晰地把保障下游基本生态流量、维护河流健康列为水库调度运行必须遵循的法定目标之一，让其拥有与防洪、供水、发电等传统目标相同甚至更靠前的优先级别，从根源上为生态调度提供无可争辩的法律支撑。

法律的活力体现于实施，必须同步提升流域管理机构或相应水行政主管部门的法定监管职权与执行水平。这促使制订并公布详实、可实施的生态调度考核与监督

管理办法，明晰考核指标（如生态流量满足率）、数据上报规定、核查办法与奖惩细则^[4]。监管部门应全面借助现代化的远程线上监控系统，对水库下泄的流量开展实时、无间断的监控，同时结合定时与不定时的实地查验、资料审核，保证流量数据真实精确。针对未按规则泄放生态流量或者伪造资料的违规举动，必须依照相关法律法规和管理办法，严格追究水库管理单位及其负责人的法律责任与行政责任，通过强硬的执法达成有效威慑，保证法定生态调度目标从“纸面”切实落到“地面”。

3.2 强化科技研发与技术集成

科技创新是带动水资源调度和管理水平上扬的核心动力，需不断开展更精确的流域生态需水动态计算模型、高性能的多目标协同优化算法，以及智慧化的预报预警与调度控制融合技术。需要增强水文过程与生态系统响应之间的耦合关联、生态调度实施效果的长周期后评测等基础科学研究，为调度决策给予坚实的理论依据。

通过整合运用高性能云计算平台、人工智能分析以及数字孪生流域等前沿技术，可搭建起高度逼真的虚拟调度场景，对复杂方案开展模拟预演与优化筛选。这极大促进了调度决策进程向智能化、精确化和可视化方向迈进，大幅增强了应对旱涝风险与生态保护多方面目标的综合本领，为搭建契合未来的智慧水利体系筑牢技术根基。

3.3 推进利益相关方协同共治

多目标协同调度实质上是一个繁杂的利益调和与均衡过程，应当创建和完善流域层面的制度化协商决策平台。体系性地纳入水行政主管部门、水库运行管理单位、城乡供水企业、水力发电企业、生态环境保护组织以及受影响的社区代表等多元利益主体^[5]。依靠常态化的信息公示、多轮次的技术磋商与方案研讨，以及制度化的听证咨询环节，推动各方在水资源分配、生态流量保障目标、具体调度方案及潜在的补偿机制等关键议题上，逐步消除分歧并形成有效共识。

这一协调进程着力于在实现防洪安全、供水保障、发电效益等传统要求的同时，切实保障河流健康与生态

平衡，其远期目标在于促进构建权责明确、协作互信、利益共享的流域治理共同体，进而搭建起共建、共治、共享的可持续水管理架构，从体制机制方面保障多目标调度的可行性与公平性。

4 总结

维护水库下游生态流量稳定，达成水资源多目标协同调配，是推动生态文明构建、推动流域可持续发展的必然需求。本文深入论述了构建以标准核定、监测预警、责任补偿为核心的生态流量保障体系，以及以模型搭建、规则完善、动态风险管理为关键的多目标协同调度策略架构，同时着重指出了法规、科技与共治支撑体系的重要意义。依旧要在实践中不断增进对生态水文机理的理解，优化调度模型与手段，创造新的管理体制与补偿模式，逐步推动水库调度从“以需定供”的工程模式，向“生态优先、系统协调”的智慧化管理模式转变，最终实现水资源经济、社会和生态三种效益的有机统一。

参考文献

- [1] 王钰, 张翔, 闫少锋, 等. 基于水-经济社会-生态环境协同演变的生态流量阈值适宜性研究[J]. 水资源与水工程学报, 2024, 35(4): 47-55.
- [2] 曹光荣, 杨霞, 范向军, 等. 金沙江下游-三峡梯级水库生态环保工作实践[J]. 人民长江, 2022, 53(S02): 28-33.
- [3] 李泽君, 赵璧奎, 黄本胜, 等. 基于图论的韩江流域水库群生态调度[J]. 水资源保护, 2023, 39(2): 109-117.
- [4] 卢金友, 林莉. 汉江生态经济带水生态环境问题及对策[J]. 环境科学研究, 2020, 33(5): 8.
- [5] 彭少明, 王煜, 郑小康, 等. 黄河梯级水库群多过程协同调度模型与方法[J]. 水利学报, 2022, 53(12): 11.

作者简介：闫莉莉（1982.08-），女，汉族，辽宁建昌人，本科，副高级职称，研究方向：水利工程建设或水库运行管理。