

水资源配置对河湖生态系统的长期影响

张 磊¹ 王凌晖¹ 董剑锋² 汪 姍³ 陆园园¹

1. 常州市河道湖泊管理处 江苏 常州 213000

2. 常州市水资源服务中心 江苏 常州 213000

3. 江苏省水文水资源勘测局常州分局 江苏 常州 213000

摘 要：水资源配置是调控水循环、满足发展需求的重要手段，却深刻改变自然水文过程，影响河湖生态系统。本文梳理其主要形式（水库大坝建设等）及其对河湖生态系统关键要素的作用机制，通过分析典型案例，揭示其导致的生态退化等长期负面效应。同时探讨缓解策略的有效性与局限性，指出未来水资源配置应转向“生态优先、以水定需”，将生态系统健康作为核心约束条件，实现水资源可持续利用与河湖生态系统保护协同，为政策制定和生态保护提供参考。

关键词：水资源配置；河湖生态系统；生态流量；水文情势改变；生物多样性

引言

水是生命与文明发展的基础，河湖生态系统不仅提供直接用水服务，还具备调节气候、维持生物多样性等不可替代的生态功能。但全球人口增长和工农业发展使水资源供需矛盾加剧，人类通过水利工程和制度安排进行水资源配置，虽保障了发展需求，却忽视河湖生态需水规律，导致河流断流、湖泊萎缩等生态危机，威胁生物多样性并削弱生态服务能力。因此，深入研究水资源配置对河湖生态系统的长期影响，探索缓解策略，具有重大理论与现实意义，本研究将为构建“人水和谐”格局提供科学支撑。

1 水资源配置的主要形式与特征

水资源配置是在特定时空尺度，通过工程与非工程措施在不同区域、部门及用户间分配调度水资源以满足社会经济发展需求，主要形式有：水库与大坝建设，可实现时空再分配且功能多元，但规模大、影响深远、长期性强；跨流域调水工程解决区域水资源空间不均，空间尺度广、系统复杂、生态与社会经济影响双向显著；地下水超采与调控在地表水不足时开采地下水，隐蔽性强、不可持续、有连锁反应且恢复困难；农业、工业与城市用水分配以非工程手段在部门间分配，政策驱动、动态调整、效率导向但存在潜在冲突；生态用水配置作为新兴形式将生态水量纳入体系，目标导向、科学性与不确定性并存、保障难度大且具综合性。这些形式相互交织，给河湖生态系统带来长期复杂压力。

2 水资源配置影响河湖生态系统的关键机制

2.1 水文情势的根本性改变

2.1.1 流量过程均化

水库蓄丰补枯，削峰填谷，导致下游流量过程趋于

平缓。自然的高流量脉冲（洪水）和低流量期被削弱或消除。洪水脉冲是许多河流生态系统（如洪泛平原、河漫滩湿地）的关键驱动力，它触发鱼类产卵洄游、促进营养物质交换、塑造河道形态、更新河岸植被^[1]。其消失导致湿地萎缩、鱼类繁殖失败、河道单一化。

2.1.2 基流减少或中断

过度取水（尤其是农业灌溉和地下水超采导致的基流减少）使河流在枯水期流量锐减甚至断流。这直接导致水生生物栖息地丧失、水质恶化（自净能力下降）、河床干涸、河岸植被死亡。长期断流使河流生态系统崩溃。

2.1.3 水文时机错配

水库调度往往根据发电、供水需求，而非生态需求。例如，在鱼类产卵季节不释放足够的刺激流量，或在植物种子传播季节不提供适宜的淹没条件，导致生态过程与水文信号脱节。

2.1.4 极端事件改变

虽然水库可削减洪峰，降低下游洪灾风险，但也可能因调度不当或极端气候引发非自然的大流量下泄（如泄洪），造成生态冲击。同时，人为加剧的干旱（因取水过多）频率和强度增加。

2.2 水质恶化与水环境压力加剧

2.2.1 稀释能力下降

流量减少，特别是枯水期流量锐减，大大降低了水体对污染物的稀释和自净能力。即使排污量不变，污染物浓度也会显著升高，导致水质恶化（如溶解氧降低、氨氮和COD升高、富营养化加剧）。

2.2.2 水温结构改变

水库深层泄水导致下游水温在夏季过低、冬季过

高, 偏离自然水温节律。许多水生生物(特别是鱼类)对水温变化敏感, 水温异常会干扰其新陈代谢、繁殖周期和分布。

2.2.3 泥沙通量剧减

水库拦截了绝大部分泥沙, 导致下游清水下泄。这引发一系列问题: 河床冲刷下切、河岸侵蚀加剧、河口三角洲退缩、海岸线后退; 下游及河口营养物质(附着于泥沙)供应减少, 影响水生生产力; 水库淤积缩短工程寿命。

2.2.4 污染物富集与转移

跨流域调水可能将调出区的污染物(如农业面源污染、工业废水)转移到调入区, 或在输水过程中因管理不善引入新污染。水库本身也可能成为污染物(如营养盐、重金属)的汇, 通过沉积或生物富集影响水质。

2.2.5 盐分累积

在干旱半干旱地区, 灌溉排水和蒸发导致盐分在土壤和水体中累积, 调水或水库蓄水可能加剧这一过程, 影响水生生物和灌溉农业。

2.3 河道与湖滨地貌形态重塑

2.3.1 河道形态单一化

自然河流具有深潭、浅滩、沙洲、边滩等多样化的栖息地。流量均化和泥沙减少导致这些微生境消失, 河道趋于顺直、均一、深槽化, 栖息地多样性丧失。

2.3.2 河床下切与河岸侵蚀

清水下泄冲刷河床, 导致河床下切, 水位下降, 河岸失去支撑而坍塌。这破坏了河岸带植被和栖息地, 也威胁堤防和基础设施安全。

2.3.3 河口三角洲退缩与湿地丧失

泥沙供应锐减和海平面上升共同作用, 导致河口三角洲侵蚀后退, 滨海湿地大面积丧失。湿地是重要的生物栖息地和生态屏障, 其丧失影响巨大^[2]。

2.3.4 湖泊萎缩与湖滨带退化

过度取水导致湖泊水位下降、面积萎缩(如咸海、鄱阳湖枯水期)。湖滨带(水陆交错带)是生物多样性热点区域, 水位下降使其干涸、植被演替、功能退化。

2.3.5 地下水位下降引发地貌变化

地下水超采导致区域性地下水位下降, 引发地面沉降、地裂缝, 改变地表径流路径和汇流格局, 间接影响河湖形态。

2.4 生物多样性丧失与群落结构改变

2.4.1 栖息地丧失与破碎化

流量减少、断流、河道形态单一化、湿地萎缩等直接导致大量水生和湿生生物栖息地消失或质量下降。大

坝等构筑物阻断河流廊道, 造成栖息地破碎化。

2.4.2 关键物种衰退与灭绝

对水文情势(如洪水脉冲、低温刺激)或特定栖息地(如砾石河床、深潭)有特殊依赖的物种(如许多洄游性鱼类、底栖无脊椎动物、河岸植被)首当其冲, 种群数量锐减甚至区域性灭绝。例如, 全球范围内因水坝导致的洄游鱼类(鲑鱼、鲟鱼等)资源崩溃。

2.4.3 外来物种入侵

人为改变的环境(如稳定的低流量、富营养化水体、水库形成的静水环境)往往更利于适应性强、繁殖快的外来物种(如某些鱼类、水生植物、藻类)入侵和扩张, 排挤本土物种, 改变食物网结构。

2.4.4 群落结构简化

适应自然扰动(洪水、干旱)的复杂群落, 被适应稳定或胁迫环境的简单群落取代。生物多样性指数(如物种丰富度、均匀度)下降, 生态系统稳定性降低^[3]。

2.4.5 遗传多样性丧失

栖息地破碎化阻碍种群间的基因交流, 导致小种群遗传漂变和近交衰退, 降低物种适应环境变化的能力。

2.5 生态连通性阻断

2.5.1 纵向连通性阻断

大坝、堰、闸等构筑物是物理屏障, 阻断了鱼类和其他水生生物的洄游通道(产卵、索饵、越冬), 也阻碍了有机质、营养物质、泥沙的纵向输移。

2.5.2 横向连通性削弱

堤防建设、河道渠化、流量减少(无法漫溢)切断了河道与洪泛平原、河漫滩湿地的水力联系。这使得洪泛区生态系统失去水源补给和营养物质输入, 功能退化。

2.5.3 垂向连通性破坏

河道下切、地下水超采导致地表水与地下水交换关系改变, 甚至由补给地下水变为排泄地下水, 影响河岸带植被和依赖地下水的生态系统。连通性的长期阻断导致生态系统碎片化, 物质、能量和信息流受阻, 生态系统整体性和恢复力严重受损。修复连通性(如修建鱼道、拆除废旧坝、恢复洪泛区)是生态修复的关键, 但往往成本高昂且效果有限。

3 典型案例分析——黄河: 从频繁断流到生态调度的艰难转型

黄河是中国第二大河, 含沙量高、水旱灾害频繁, 其水资源长期用于防洪、灌溉和供水, 生态需求长期被忽视, 配置形式包括大型水库群联合调度、沿黄灌区大规模取水、跨流域调水及“黄河水量统一调度”。长期开发带来诸多生态问题: 20世纪70至90年代下游频繁断

流,导致河道萎缩、湿地退化等一系列生态灾难;水库调度使下游流量过程平缓,自然洪水脉冲消失;小浪底水库运行后下游泥沙量锐减,清水下泄致河床下切、滩区生态系统退化、河口造陆停止;枯水期部分河段水质超标。不过,自1999年实施全河水量统一调度,黄河下游已连续20余年未断流,小浪底水库实施“调水调沙”和“生态调度”取得一定生态效益。黄河案例表明,高强度开发背景下,通过制度创新和工程调度优化可缓解负面生态影响,但要恢复河流生态系统仍需长期努力。

4 缓解与适应策略:走向可持续管理

4.1 生态流量管理

生态流量管理是最核心直接的缓解策略,保障河湖生态系统所需水文情势。其概念从“最小流量”发展到“环境流”等强调完整水文情势的阶段;实施包括设定基于生态目标的流量要求、通过水库闸坝优化调度释放符合生态需求的流量过程、将生态流量纳入法规和取水许可制度等;有效性体现在保障河流不断流、维持基本生态功能,但对恢复复杂生态过程效果有限且依赖科学评估和精细化调度;局限性在于生态需水科学确定难,水资源紧缺地区生态用水常被挤占,难以完全替代自然水文情势,对历史生态欠账修复作用有限。

4.2 适应性管理

鉴于生态与人类系统的复杂不确定,适应性管理强调“边干边学”,通过监测-评估-调整循环动态优化策略,其核心原则包括明确目标、设计可调方案、建立长期监测体系、定期评估效果及依结果和新认知调整措施,在生态调度、流域综合管理、生态修复项目等中广泛应用,能有效应对不确定性,提升管理灵活性与韧性、促进科管结合,但需强大监测、数据、跨部门协调及长期投入,决策或因利益冲突受阻,“学习”过程可能缓慢且成本高^[4]。

4.3 流域综合管理(IWRM)

IWRM强调在流域尺度统筹协调水、土、生物等资源,平衡社会、经济和环境目标以实现水资源可持续利用,其核心要素是以流域为单元、多部门及利益相关方参与、统筹多方面关系并综合运用多种手段;中国推行的“河长制”“湖长制”是其本土化实践,《长江保护法》《黄河保护法》为其提供法律保障;该模式有助于打破部门分割与区域壁垒,系统解决水问题、协调生态保护与经济社会发展,但实施难度大,涉及复杂权力和利益调整,需强有力制度保障和执行力,且生态目标与经济目标冲突时生态仍可能被牺牲。

4.4 生态补偿机制

生态补偿机制通过经济手段,对因保护生态丧失发展机会的地区或群体补偿,或对造成生态损害的行为惩罚以激励保护,形式包括纵向(中央补偿重点生态功能区)、横向(受益地区补偿保护地区)补偿及市场机制(水权、排污权交易含生态要素),中国在新安江等流域试点跨省横向补偿,南水北调中线水源区获中央财政转移支付,其有助于平衡区域发展与保护、调动地方积极性、提供资金支持,但存在补偿标准难科学确定、资金不足、监管评估体系不健全、市场机制不成熟等局限。

4.5 基于自然的解决方案

基于自然的解决方案(NbS)通过利用或模仿自然过程应对水资源管理与生态挑战,如恢复洪泛平原、保护湿地等,其优势在于成本较低、效益多重、能增强系统韧性且效果可持续,在城市雨洪管理、农业面源污染控制等领域应用前景广阔,但存在需足够空间、见效慢、在高度工程化系统中实施难以及需改变传统工程思维等局限性。

5 结语

本研究系统分析了水资源配置对河湖生态系统的长期深远影响,得出主要结论:影响广泛深刻且机制复杂耦合;生态流量是核心但有局限;管理范式需转型,综合治理是必由之路。面向未来,为实现水资源可持续利用与河湖生态系统保护协同目标,建议强化生态系统健康核心地位,深化生态流量科学与实践,全面推进流域综合管理,健全生态补偿与市场机制,大力推广基于自然的解决方案,加强长期监测与适应性管理,提升公众意识与参与,构建可持续管理体系。

参考文献

- [1]曹鸽琴,张丹.水文循环与水资源配置的耦合机制研究[C]//江西省工程师联合会.第二届智能工程与经济建设学术研讨会论文集(二).黄河水利委员会中游水文水资源局,2025:30-33.
- [2]李云,王源,强子英.褒河流域水资源配置研究[J].陕西水利,2025,(01):33-35.
- [3]周灵,常彤炎,马驰,等.基于保障生态水位目标的白洋淀最低生态补水量水资源配置方案优选[C]//中国水力发电工程学会水工水力学专委会,国际水利与环境工程学会(IAHR)中国分会,中国水利学会水力学专委会.水力学与水利信息学进展2024——生态水力学.北京师范大学水科学研究院;中国科学院电工研究所,2024:2-9.
- [4]龙晓彤,牛永强.新形势下黄河流域水资源配置战略调整研究[C]//河海大学,浙江省水利河口研究院(浙江省海洋规划设计研究院),浙江省水利学会.2024(第十二届)中国水生态大会论文集.黄河水文勘察测绘局,2024:363-370.