

# 水利工程运行管理对流域生态系统服务功能的影响及调控

吴艳芬

新疆塔城地区乌苏市兴源水务有限公司, 中国·新疆 乌苏 833000

**摘要:** 流域生态系统服务功能是维系区域生态安全与社会经济可持续发展的核心载体, 而水利工程作为流域水资源调控的关键基础设施, 其运行管理模式直接影响生态系统服务功能的供给效率与稳定性。本文聚焦于山区小型水库, 系统分析其运行管理对流域生态系统服务功能的双重影响机制, 探索科学有效的调控路径, 研究发现, 传统以工程安全与供水功能为核心的运行管理模式, 往往导致水文情势改变、生物栖息地破碎化、水质退化等问题, 对流域供给服务、调节服务、支持服务和文化服务造成显著干扰, 进而提出针对性的调控策略, 为实现水利工程高效运行与流域生态系统可持续发展的良性互动提供理论参考与实践借鉴。

**关键词:** 水利工程; 运行管理; 流域生态系统; 服务功能; 调控策略

## Impact of Water Conservancy Project Operation and Management on Watershed Ecosystem Service Functions and Its Regulation

Wu Yanfen

Xingyuan Water Service Co., Ltd., Wusu City, Tacheng Region, Xinjiang, China Xinjiang Wusu 833000

**Abstract:** Watershed ecosystem service functions serve as the core carrier for maintaining regional ecological security and socio-economic sustainable development. As critical infrastructure for watershed water resources regulation, the operation and management mode of water conservancy projects directly affects the supply efficiency and stability of ecosystem service functions. Focusing on small mountain reservoirs, this paper systematically analyzes the dual impact mechanisms of their operation and management on watershed ecosystem service functions and explores scientifically effective regulation paths. The study finds that traditional operation and management models, which prioritize engineering safety and water supply functions, often lead to problems such as altered hydrological regimes, fragmented biological habitats, and water quality degradation. These issues cause significant disturbances to watershed provisioning, regulating, supporting, and cultural services. Furthermore, the paper proposes targeted regulation strategies, providing theoretical references and practical insights for achieving positive interaction between the efficient operation of water conservancy projects and the sustainable development of watershed ecosystems.

**Keywords:** Water conservancy projects; Operation and management; Watershed ecosystem; Service functions; Regulation strategies

## 0 引言

水资源是支撑经济社会发展与生态系统平衡的基础性资源, 而水利工程作为水资源开发、利用、调配与防洪减灾的核心手段, 在保障区域供水安全、粮食安全与防洪安全等方面具有不可替代的作用。然而, 在全球气候变化与人类活动加剧的背景下, 流域水资源时空分布不均、生态环境退化等问题日益凸显, 水利工程的生态影响及其运行的生态友好性已成为学界与业界共同关注的焦点。流域生态系统服务通常涵盖供给、调节、支持与文化四大功能,

其持续稳定供给是实现人与自然和谐共生的基础。水利工程建设与运行会改变流域自然水文情势与地貌格局, 通过蓄水调度、泄洪调控等管理行为, 直接影响水资源的时空分布, 对生态系统服务功能产生深远影响。

山区小型水库作为广泛分布的水利设施类型, 其功能定位、调度方式与生态环境的相互作用具有典型性与敏感性。它们往往在保障局部灌溉、供水及防洪安全方面发挥关键作用, 同时对河流连续性、栖息地完整性与流域生态过程产生不可忽视的扰动。在现有研究中, 诸多学者已从

不同维度探讨了水利工程与生态系统服务之间的关系,而相关研究多集中于大型水利工程的生态影响,对山区小型水库关注相对不足,尤其缺乏从“服务功能”维度系统梳理其生态效应与调控途径的探讨。本文以新疆乌苏市特吾勒水库为例,剖析该类工程对流域生态系统服务的影响路径与效应,旨在为协调水资源利用与生态保护提供科学依据。

## 1 山区小型水库运行管理对流域生态系统服务的影响机理

山区小型水库的运行管理是一个持续干预自然水文过程的人类活动,这种干预通过改变水资源的时空分布、水流情势和水体理化性质,触发了一系列物理、化学和生物响应,最终导致流域生态系统服务功能在类型、数量和质量上发生改变,这种影响具有双重性。

### 1.1 正面促进:多重服务功能的协同增效

在理想的管理模式下,山区小型水库可以成为增强流域生态系统服务功能的重要节点。通过科学调度与生态化管护,这类水利设施能够在保障基本供水、防洪安全的同时,促进流域生态系统的健康稳定,甚至创造新的服务价值。

水文调节与水资源供给功能的增强是水库最直接的服务提升。特吾勒水库是一座2011年完工的水库,鉴定为一类坝,是运行了15年的山区水库,水库主要解决下游灌区4.8万亩灌溉用水问题。水库建成后可改善灌溉面积1.6万亩,新增人工饲草料地3.2万亩,新增牧民定居640户,使牧民定居户数达到672户。可为下游1.4万亩天然草场在洪水期引洪灌溉2次。

水质净化与生态维护功能的潜力则体现在源头保护与规划设计中,尽管特吾勒水库常年水质检测报告显示其水质优良,符合《地表水环境质量标准》II类标准,但这是在现状污染负荷较轻的条件下取得的。水库水资源论证报告已前瞻性地提出了一系列保护措施,如施工期生产废水沉淀处理、生活污水分散处理达标后灌溉草场,运行期划定水源保护区、定期清理漂浮物等。若能严格落实这些措施,并借鉴生态化治理思路,水库有望在维系优良水质(调节服务)的同时,为水生生物提供良好栖息地(支持服务)。

社会与生态协同效益的初步显现体现在项目的综合目标上。特吾勒水库的建设不仅是为了供水,更承载着“建设小绿洲,保护大生态”的使命。通过保障灌溉水源,支持人工饲草料地建设,水库旨在使流域内2.1万亩草场得

以禁牧,8.3万亩草场实行轮牧,这直接助力于退化草地的自然修复,提升了区域生态系统的支持服务(水土保持、生物多样性维持)和调节服务(防风固沙)。同时,牧民定居(规划672户)和收入提升,也间接关联着文化服务(社区稳定、牧区文化传承)的改善。

### 1.2 负面干扰:生态系统服务失衡与退化

然而,在现实中,由于历史欠账、管理粗放、理念滞后等原因,许多山区小型水库的运行管理仍对流域生态系统服务功能造成了一系列负面影响,这些影响往往相互关联、彼此叠加,形成复杂的生态效应链。

水文情势改变与生态流量缺失是最为普遍且影响深远的问题,水库蓄水运行从根本上改变了河流的自然水文节律,特别是对于调节能力有限的小型水库,为保障供水或发电效益,常采取“蓄高放低”的运行方式,导致下游河道生态流量不足,甚至出现脱水段。这种水文均质化现象破坏了河流生态系统的脉冲效应,影响了水生生物的繁殖、迁徙等关键生命过程,削弱了河流生态系统的支持服务功能。

水质退化与富营养化风险则是另一个突出问题,水库蓄水后水流减缓,水体置换周期延长,自净能力下降,加之库区周边农业面源污染和生活污水排放,容易导致氮磷等营养物质积累,引发藻类水华。这种水质退化不仅直接影响供水安全(供给服务),也损害了水体的美学和休闲价值(文化服务),同时增加了水处理成本。特吾勒水库灌区周边生物多样性,有中华灰飞鸭,棕熊,雪豹,狼,野猪,呱呱鸡,北山羊,黄羊,岩羊等,未来随着定居人口增加和农牧活动强化,水库周边污染输入风险可能上升。

生物栖息地破碎化与生物多样性下降是水库建设的伴随性影响,大坝阻隔了河流的纵向连通性,使水生生物的迁徙和基因交流受阻;水位波动改变了原有的河岸带结构,导致适宜栖息地减少。特别是对于山区河流,这种影响可能更为显著,因为山区物种往往具有更强的地域特性和更窄的生态位宽度。

## 2 水利工程运行管理影响下流域生态系统服务功能的调控策略

### 2.1 以安全为基的“生产”调控:筑牢服务功能发挥的工程基础

首先,推行全生命周期风险管理与标准化管护。针对特吾勒水库等工程,需在后续管理中严格落实其设计阶段提出的水资源保护措施与监督管理制度。策略核心是将大坝安全鉴定与库区生态健康评估相结合,定期依据《地表

水环境质量标准》进行水质监测,并评估调度对下游生态的影响<sup>[1]</sup>。

其次,实施产权与责任明晰化改革。清晰的产权界定是落实长效管理责任的前提。策略上,应全面推进水利设施不动产确权登记,划清所有权、使用权、管理权与监督权的边界。在此基础上,探索多样化、市场化的经营管护模式,如委托管理、物业化服务或特许经营,通过引入竞争机制和绩效合同,明确运营主体在保障工程安全、维护生态基线方面的具体责任与考核标准,将抽象的管理要求转化为可量化、可追溯的契约责任。

最后,构建适合本地条件的简易智能监测与调度辅助体系。鉴于资金与技术限制,可优先建设关键指标的自动化监测。例如,在特吾勒水库坝下及重要入库支流安装在线水位、流量、水质(如浊度、氨氮)监测设备,结合无人机定期巡查库面及汇水区。数据接入管理平台,开发适合当地情况的、考虑生态流量底线的灌溉供水调度模型,为管理人员提供兼顾灌溉需求与下游基本生态用水保障的调度方案建议。

## 2.2 以生态为核的“生态”调控:从末端治理到系统修复与提升

“生态”调控的核心是遵循自然规律,主动修复受损的生态系统服务功能,特别是其调节与支持服务,必须从针对水库本身的局部治理,转向立足流域尺度的系统性修复。

首先,推行流域尺度的“山水林田湖草沙”一体化保护与修复,将库区及上游集水区视为完整的生态单元,统筹实施水源涵养林建设、水土流失治理、河湖缓冲带恢复、农业面源污染拦截等系统工程。通过提升流域整体的生态稳定性和自净能力,从源头削减入库污染负荷,稳定入库水文泥沙情势,从而降低库内生态修复的压力和成本,实现治本清源<sup>[2]</sup>。

其次,采用基于自然的解决方案进行库区及下游河道的生态修复。针对库区以岩石为主的地貌特征,可秉持生态友好理念,在消落区利用岩石缝隙回填客土,试验种植耐淹性强的本地草本植物,既能固土护岸、减少岩石坡面水土流失,又能通过植物根系吸附降解水体污染物,实现水质净化。

再次,建立基于生态需求的调度规则优化机制。在特吾勒水库现有的“蓄水-供水”调度框架中,明确将生态泄流作为一项基本调度任务。不仅要在年度总水量中保障生态用水份额,更要将其分解到月、甚至旬的调度指令中,

特别是要关注并保障春季(4-6月)灌溉用水高峰期时,坝下河道不至于断流,维持河流的基本生态功能<sup>[3]</sup>。

## 2.3 以惠民为本的“生活”调控:促进生态价值转化与社区共建共享

“生活”调控旨在让生态保护的成果惠及于民,将生态优势转化为发展优势,激发全社会特别是当地社区参与保护的内生动力,是创新价值实现机制与利益联结模式。

根本策略是推动水库综合效益与牧民生计改善深度融合。特吾勒水库的核心“生活”调控成果,体现在通过稳定供水支持饲草料地建设,从而实现草场减负、牧民定居、收入增加。应确保这一主链的畅通。在此基础上,可在严格保护水源地的前提下,评估水库及周边区域的景观与文化价值,如纯净的水体、优美的山地草原风光、蒙古族牧业文化等。

核心策略是构建“政府主导、市场运作、社区参与”的多元利益共享机制。设计合理的生态补偿与收益分配制度是关键,可以探索建立基于水质、水量等生态考核结果的横向生态补偿机制。在经营性开发项目中,明确政府(资源所有者)、投资运营企业、所在地社区集体和居民的利益分配比例。例如,可将部分经营性收益固定转化为水库管护基金和社区发展基金,形成“保护越好、价值越高、收益越多、反哺保护”的良性循环,使社区居民从旁观者转变为受益者和守护者。

## 2.4 系统集成:构建多维协同的现代化治理矩阵

理念集成上,推动从“工程水利”到“生态水利”再到“水治理”的范式转变,管理目标应从追求工程效益最大化,转向寻求社会-经济-自然复合生态系统整体效益的最优化。这要求管理者具备系统思维,承认并科学管理不同生态系统服务功能之间的权衡与协同关系,在决策中纳入更广泛的生态与社会成本效益分析<sup>[4]</sup>。

体制集成上,建立跨部门、跨区域的流域综合协调机制,针对特吾勒水库的管理,应强化由水利、生态环境、农业农村、林草以及所在乡镇政府共同参与的协调机制。该机构应被赋予在流域尺度上统筹制定保护规划、协调工程调度、监督执法和考核评估的权威,确保“三生”目标在政策制定和执行层面得到一体化落实。

技术集成上,打造智慧化协同管理平台,深度融合工程安全监控、水文水资源管理、生态环境监测、灾害预警预报、调度决策支持等多源数据和模型,建立特吾勒水库“一本账”,构建一个“监测-评估-模拟-决策-调控”一体化的数字孪生流域平台,不仅能实现物理工程的

智能化管控,更能对生态系统服务的变化进行动态模拟与预测,为多目标协同管理提供可视化的决策场景和科学依据,最终形成一套可感知、会分析、能决策、善适应的智慧水利管理系统。

### 3 结语

山区小型水库作为中国水利基础设施的重要组成部分,其运行管理方式深刻影响着流域生态系统服务功能的发挥。本文通过理论分析与案例研究,揭示了传统运行管理模式对流域生态系统服务的双重影响,并基于实践提出了调控路径。山区小型水库数量众多、类型多样、所处环境各异,不存在“一刀切”的最佳管理模式。未来调控策略应更加强调因地制宜、分类施策,根据每座水库的自然条件、功能定位和社区需求,制定个性化的管理方案,在

保障基本安全的前提下,探索各具特色的协同路径,为生态文明建设和乡村振兴提供坚实的水利支撑。

### 参考文献:

- [1] 潘玉波,段丽群. 水利工程建设对流域生态系统影响的量化评估与缓解设计[J]. 中国水运, 2025,(18):104-106.
- [2] 马玲,李润杰,郭凯先等. 流域尺度生态水文学研究进展及未来研究趋势[J]. 黑龙江水利科技, 2022,50(01):1-4.
- [3] 李元龙. 生态水利工程与水资源保护探讨[J]. 科技与创新, 2018,(24):76-77.
- [4] 赵斌. 流域是生态学研究的最佳自然分割单元[J]. 科技导报, 2014,32(01):12.

作者简介:吴艳芬(1974-),女,汉族,河南省杞县,本科,中级(工程师),研究方向:水利运行管理。