

Environmental Impact Analysis of Water Conservancy Engineering from the Perspective of Water Environmental Carrying Capacity

Xiaoxuan Han

Xinjiang Water Resources and Hydropower Survey and Design Institute Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830002, China

Abstract

The spatial and temporal distribution of water resources in Xinjiang is extremely uneven, with scarce precipitation and strong evaporation, making the water environment system naturally fragile. With the continuous advancement of large-scale water conservancy projects, the hydrological processes of regional rivers and lakes have been deeply altered, and the contradiction between water regulation and ecological water demand has become increasingly prominent. The pollution load of water bodies has been increasing year by year, and the carrying capacity of aquatic ecosystems is facing severe challenges. Based on the perspective of water environment carrying capacity, this article systematically sorts out the interference mechanism of water conservancy engineering construction in Xinjiang on water quantity, water quality, and ecosystem structure, establishes a parameterized analysis path, quantifies its impact changes on the carrying boundary, and proposes targeted ecological regulation strategies. Introduce regional hydrological data, water quality indicators, and ecological structure response parameters into the analysis to construct a water environment carrying capacity assessment framework suitable for arid areas. Research has shown that there are common problems in typical watersheds in Xinjiang, such as insufficient ecological flow guarantee, critical overload of pollution load, and degradation of ecosystem functions. Systematic interventions need to be implemented from three aspects: ecological scheduling, water source conservation, and system restoration, in order to enhance the sustainable carrying capacity of the water environment system and provide theoretical support and decision-making basis for the ecological coordinated development of water conservancy projects in Xinjiang.

Keywords

water environment carrying capacity; Water conservancy engineering; Ecological impact; Environmental coordination; pollution control

水环境承载力视角下的水利工程环境影响分析

韩筱璇

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830002

摘 要

新疆地区水资源时空分布极不均衡, 降水稀少、蒸发强烈, 水环境系统天然脆弱。随着大规模水利工程的持续推进, 区域河湖水文过程被深度改变, 水量调控与生态需水之间的矛盾日益突出, 水体污染负荷逐年增加, 水生态系统承载能力面临严峻挑战。基于水环境承载力视角, 本文系统梳理新疆水利工程建设对水量、水质与生态系统结构的干扰机制, 建立参数化分析路径, 量化其对承载边界的影响变化, 并提出针对性生态调控策略。在分析中引入区域水文数据、水质指标与生态结构响应参数, 构建适用于干旱区的水环境承载评估框架。研究表明, 当前新疆典型流域存在生态流量保障不足、污染负荷临界超载与生态系统功能退化等共性问题, 需从生态调度、水源涵养与系统修复三个方面实施系统性干预, 以提升水环境系统的可持续承载能力, 为新疆水利工程生态协调发展提供理论支撑与决策依据。

关键词

水环境承载力; 水利工程; 生态影响; 环境协调性; 污染控制

1 引言

新疆地处内陆干旱区, 受气候条件和地形分布影响, 水资源总量少、可利用度低且时空分布极不均衡, 主要依赖高山冰雪融水与地下水支撑区域发展。为缓解资源短缺压

力, 新疆加快推进以河流调蓄、水库建设与引调水工程为主的大型水利体系, 初步构建了覆盖塔里木河、和田河等主要流域的供水网络。然而, 这一过程也带来了水文节律扰动、水质恶化与生态系统退化等环境问题。调水工程改变了天然径流过程, 造成部分下游河段出现断流现象, 生态基流无法保障; 农业面源污染与工业排污压力逐年上升, 致使局部水域水质承载力逼近临界值; 同时, 水生物种群数量减少、生境结构破碎, 系统自净能力与生态稳定性持续下降。面对新疆特殊水文生态背景与发展需求之间的矛盾, 亟需构建基

【作者简介】韩筱璇 (1995-), 女, 中国陕西汉中, 硕士, 工程师, 从事水利水电方向的环境影响评价和环境保护研究。

于水环境承载力的综合分析路径,科学评估水利工程环境影响,提出具有区域适应性的生态调控机制,促进水利工程与生态系统的动态协调与可持续共生。

2 水环境承载力的科学内涵与综合评估框架

新疆地处我国西北干旱区,水资源空间分布极度不均、时间变化剧烈,生态系统对水文扰动高度敏感。在此背景下,水环境承载力作为评估区域资源开发强度与生态系统耐受能力的关键指标,正逐步成为水资源管理与水利工程规划的重要参照依据。其核心在于厘清在保证区域生态功能不退化、经济社会活动稳定运行前提下,水体系统所能承受的资源开发总量与污染物输入强度。在新疆环境条件下,水环境承载力可具体划分为水资源承载力、水质承载力和水生态承载力三个维度。其中,水资源承载力反映高山融雪径流与地下水能否支撑各类用水需求;水质承载力评估水体对面源与点源污染物的容纳与削减能力;水生态承载力则衡量河湖、湿地等生态单元的结构稳定性与恢复能力。当前新疆区域多采用遥感监测与实测数据耦合的模型分析方法,对地表水体功能区分级、生态流量基准、水质负荷限值等关键参数进行量化设置。评估体系中需结合流域尺度特征、气候演变趋势与工程运行情境,建立适应干旱区特征的动态阈值识别机制。承载力评估结果在管理机制中可作为生态补偿标准设定、水资源调度优先级调整与产业准入政策制定的重要参考依据,推动水资源管理向生态约束导向转型。

3 水利工程对水环境承载力的主要影响机制

新疆区域水利工程以调水、蓄水和灌溉输水工程为主,广泛分布于塔里木河、和田河、额尔齐斯河等主要流域,其运行在保障灌区稳定供水和控制洪水风险方面发挥了重要作用。但与此同时,这些工程对区域水环境承载力也带来系统性影响。在水量维度,大量拦蓄工程改变了天然径流的季节节律,使得下游河段生态需水长期不足。数据显示,塔里木干流下游河段生态断流天数由20世纪90年代的年均45天上升至当前的73天,流量稳定性显著下降。在水质层面,工程削弱了河流的自净能力,河道水体流速减缓使污染物沉积增加、稀释能力下降。典型断面氨氮浓度由0.73mg/L升至1.26mg/L,总磷由0.065mg/L上升至0.098mg/L,部分水体功能类别由Ⅲ类退化至Ⅳ类甚至Ⅴ类,年超标率接近50%。在生态系统结构方面,大型调水工程切断了天然水系的纵向连通性,阻断了鱼类洄游路径,破坏了河道湿地的水文联系。以开都河流域为例,近二十年受控河段生物种类数下降幅度超过30%。这表明新疆水利工程对水环境承载力的影响具有时序滞后、空间扩展和结构破坏等复合特征,亟需引入系统性生态评估方法,建立工程运行与生态系统响应之间的协调调度机制。

4 水利工程影响下的水环境承载力参数化分析

4.1 水量调配对承载容量的动态变化作用

在新疆水利系统中,大型水库与引调水工程在调节径

流空间转移和季节分布方面发挥主导作用,但其对水环境承载力的负面效应亦不容忽视。调蓄工程通过改变高峰期径流输送路径,抑制夏季洪水,增强冬春季灌溉保障,造成天然水文过程非自然化。监测数据表明,典型干流河段枯水期径流量由平均27.4立方米/秒下降至14.2立方米/秒,降幅达48.2%,导致生态基流频繁突破下限,影响底栖生物栖息条件与鱼类产卵行为。调度制度不合理还导致水量波动性增强,年均水资源总量波动率从3.2%上升至9.7%,区域水资源配置的可预期性与生态适应性下降。部分灌区因高频调水行为使得下游湿地水源波动剧烈,生态系统难以形成稳定的水文节律,致使原有生态调节能力持续下降。为此,应在调水调蓄机制中设置生态优先指标,明确生态需水保障率、最小生态流量等强制性约束参数,强化调控系统对生态变化的弹性响应能力,从根本上提升水量配置对承载力边界变化的适应能力。

4.2 污染负荷扩散与水质承载阈值变化趋势

新疆部分地区由于灌区尾水回流、工业排放与生活污水输入,地表水污染负荷持续积累,水质承载能力面临严峻挑战。水利工程运行通过降低河道流速、延长水体滞留时间,改变了污染物在水体中的输移路径和分布格局。数据显示,调控河段流速下降23.4%,滞留时间延长65.7%,污染物稀释能力下降显著,形成局部富营养化高风险区。水质监测显示,总氮由1.37mg/L升至2.03mg/L,总磷上升至0.098mg/L,年均水质超标天数达73天,部分区域持续超过国家地表水Ⅲ类标准。水质承载力模型结果显示,系统对主要污染物的容纳能力下降幅度达12%,水体环境容量已逼近临界状态。新疆多地采用以引调水带走污染负荷的方式短期改善水质,但此类方式难以从根本上恢复水体自净机制,反而加剧流域间污染转移。因此,在工程运行中必须强化污染总量控制约束,结合承载力动态模拟结果,设置流域排放配额与排污强度管控机制,避免局部水体因高频调度与污染叠加而迅速陷入退化状态。

4.3 生态系统结构变化对生态承载能力的反馈效应

生态系统作为水环境承载力的功能基底,其结构复杂度和系统完整性直接决定生态过程的稳定性与响应能力。在新疆水利工程影响显著区域,生态系统退化趋势日益突出。典型流域数据表明,调控河段水生植物覆盖率由42%下降至21%,浮游动物种类减少18%,底栖动物生物量降低27%。灌区尾水回流不稳定使河道断流频发,生态连接性受损,导致生物通道中断、营养盐循环受限。由于生态过程具备非线性响应特征,一旦核心物种或关键功能群体消失,生态系统将从渐进式退化转变为结构性崩溃。生态系统对水文变化的反馈具有显著滞后性与累积效应,水质波动、群落演替与系统稳定性呈螺旋式弱化。恢复生态承载力需从群落重构、栖息地修复与生境连通性重建等方面入手。建议在典型流域建立生态监测与反馈机制,以水生生物指数、生物完整性指数为主线,开展系统恢复路径评估与动态调节,构建生态系统—水文调度双向适配机制,真正实现生态响应的工程

调控能力提升。

5 水环境承载力导向下的水利工程生态调控路径

5.1 新疆地区生态流量保障机制的构建与实施路径

新疆干旱气候显著,河湖生态系统对水文条件高度敏感,维持合理生态流量是保障区域水环境承载力的重要基础。在天然径流高度季节化、人工调水频繁的背景下,需科学确定生态基流与枯水期保障流量指标,保障下游河湖的最小生态需水。以塔里木河中下游为例,生态流量保障应以多年平均径流量的35%为下限,枯水期保障比例不得低于10%,以避免断流与湿地干涸现象加剧。为提升调度系统的适应性,建议建立融合气象、水文、生态监测数据的多源动态调度模型,实时校核生态流量供需平衡。在水利工程运行中,设立生态优先控制断面和调度预警机制,确保水库、引水枢纽优先保障关键生态流段的流量要求。同时,依托区域遥感平台与地下水联动监测体系,实时监控水位波动与生态反馈,形成“调度一响应一修正”闭环管理结构。制度上,应将生态流量落实情况纳入水利工程绩效评价,推动流量保障机制从调度建议向强制执行转变,实现新疆典型干旱河流生态功能的长期维稳与生态安全格局的基本确立。图1展示了生态流量保障下的生态补偿机制构架路径。

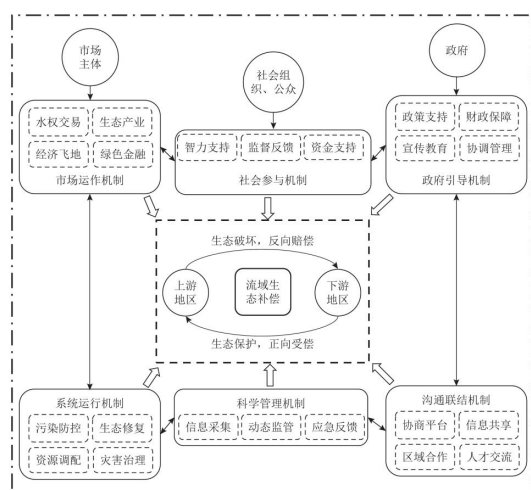


图1 生态流量保护视域下的流域生态补偿机制设计

5.2 新疆流域污染负荷源头减排与协同治理机制

新疆农业灌溉方式以地表引水漫灌为主,农业面源污染与退水回流问题日益凸显,叠加工业点源排放与生活污水处理能力不足,水质超载趋势明显,对水质承载力形成挑战。源头治理需从精准施肥与轮作调控入手,将农业氮磷排放总量控制在年均28.5万吨以下,实施农田退水回收系统与湿地过渡净化带。工业方面,应加强对重点涉水行业的排放许可动态管理,推动总氮与化学需氧量削减20%以上,并实现在线监测设备全覆盖。在空间布局上,应在河道两岸及渠系出口设立带宽不小于50米的生态缓冲带,覆盖面积应达流域面积的12%以上,以减缓地表径流携带污染物流入水体的速度与强度。制度层面,应将区域污染物总量控制红线

与水环境承载力模型耦合运行,构建动态调整的排污许可发放机制与生态补偿指标制度。污水处理方面,应推动县级污水处理厂提标扩容,出水标准应稳定维持在地表水Ⅲ类限值以内。通过源头削减、过程拦截与末端处理相结合的系统路径,构建适合新疆流域实际的污染协同治理网络,提升水质稳定性与污染调控韧性。

5.3 新疆生态系统修复工程与监测反馈机制优化

新疆典型内陆河流生态系统具有脆弱性强、恢复周期长的特点,水利工程对自然过程的干预造成栖息地破碎、水生生物退化等问题持续加重。修复路径需聚焦“水-生物-栖息地”三元体系,系统推进生态功能恢复工程。在水生植物层面,应选用适合干旱盐碱环境的本土挺水植物与沉水植物,如苦草、眼子菜等,提升植被覆盖率达70%以上,增强水体净化与遮荫控温功能。水生动物恢复可通过人工增殖放流与水文节律优化结合,重建本地优势种群与指示种群群落结构,提升物种多样性和系统稳定性。在生态空间构建方面,应强化河道边坡生境重塑与滨水缓冲带拓展,恢复河湖-绿洲-荒漠的生态过渡带。为保障修复工程成效,需建立覆盖典型断面与重要功能区的生态监测网络,设置流域面积1‰以上的监测点,定期开展水质、水文与生物多样性指标监测。监测结果应实时导入生态数据库,形成响应一评估一调整机制链条,实现工程运行与生态反馈的精准耦合,提升生态系统对外部压力的自调节能力,推动水环境承载力的稳步修复与可持续增强。

6 结语

在新疆水资源紧张与生态系统脆弱并存的双重背景下,水环境承载力正成为统筹水利工程开发与生态环境保护的重要约束机制。本文围绕新疆典型水文生态特征,从承载力内涵、干预机制、参数分析及反馈调控等方面系统阐释水利工程对水量、水质与生态系统结构的影响路径,揭示了区域水环境承载力衰减的关键机制。在此基础上,提出了生态流量刚性保障、污染负荷协同削减与生态系统恢复调控的多维路径。未来新疆水利工程应全面融入水环境承载力评价机制,在项目规划、运行调度与绩效管理全过程中落实生态优先原则,推动工程系统与生态系统之间的良性互动,实现干旱区水资源开发与生态保护的协调共生,为构建高质量、多维度的水生态治理体系奠定基础。

参考文献

- [1] 卢秀茹,张倩,周耀利,贾肖月.新常态下提升河北省水资源承载力对策研究[J].中国水利,2017,(09):9-11.
- [2] 王小平.在深化水利改革视频会议上的讲话[J].河南水利与南水北调,2014,(09):1-3.
- [3] 潘杰.江苏运河水环境与水文化问题的对策研究[A].首届中国水文化论坛优秀论文集[C].水利部精神文明建设指导委员会办公室、中国水利文学艺术协会、中国水利学会:2009:182-188.
- [4] 刘晓兰.三江平原水利规划环境资源承载力分析与评价[J].环境科学与管理,2009,34(01):145-148+151.