

南水北调工程水利生态保护技术研究

何子潇¹ 宋思哲²

1. 中国南水北调集团中线有限公司河北分公司顺平管理处 河北 保定 071000

2. 南水北调中线调蓄开发(河北)有限公司 河北 保定 071000

摘要: 南水北调工程对生态环境有多维度影响,包括水体水文、陆地生态和水生生物群落。为此,工程采取多项生态保护核心技术,涵盖水源地污染防控、生态系统修复、生态流量保障,以及输水干线的生态防护、水质维持和生物保护。同时,建立生态保护技术保障体系,包括技术研发与创新机制、技术标准与规范体系、技术支撑平台建设,确保生态保护技术的有效实施与持续优化。

关键词: 南水北调工程;水利生态保护技术;生态环境影响

引言:南水北调工程作为缓解我国水资源空间分布不均的重大战略工程,在发挥巨大经济社会效益的同时,对生态环境也产生了多维度影响,涉及水体水文、陆地生态、水生生物群落等多个方面。为应对这些影响,工程在生态保护方面形成了一系列核心技术,涵盖水源地、输水干线等不同区域,并构建了包含技术研发创新、标准规范制定、技术支撑平台建设在内的生态保护技术保障体系,以实现工程生态效益最大化。

1 南水北调工程对生态环境的多维度影响分析

1.1 工程对水体水文系统的影响

调水引发的水流速度变化会改变水体生态结构。流速调整会影响水体中浮游生物的分布,流速过慢易导致浮游生物聚集,过快则可能破坏其生存环境,同时还会改变底栖生物的栖息条件,进而影响水体生态结构的稳定性。水位波动会干扰水体物质循环与能量流动。水位升降会改变水体与周边环境的物质交换界面,影响营养盐、有机物等物质的输入输出,同时改变水生生物的活动范围,干扰能量在不同营养级间的传递,打破原有循环与流动平衡。调水量分配会改变原流域水文平衡。调水会减少原流域的水量,导致流域内河流径流、湖泊蓄水量发生变化,影响地下水补给与排泄过程,打破长期形成的水量收支平衡,进而对流域水文系统的整体稳定产生影响。

1.2 工程对陆地生态系统的扰动

工程占地会导致植被覆盖格局重构。工程建设需占用土地,清除原有植被,使区域内植被覆盖的连续性被打破,原有植被群落结构改变,优势物种分布范围调整,形成新的植被覆盖格局,影响陆地生态系统的初级生产功能。施工活动会影响土壤物理性状与化学组分。施工中的机械碾压会降低土壤孔隙度,影响透气性与透水性;土

方开挖与堆放会改变土壤层序,同时施工过程中可能引入污染物,导致土壤有机质含量、养分比例等化学组分发生变化。工程建设会改变土壤侵蚀强度规律。工程破坏地表植被与土壤结构,使土壤抗侵蚀能力下降,在降雨、径流作用下,土壤侵蚀强度会显著增加,且随着工程进度与区域环境变化,侵蚀强度的时空分布规律也会发生改变,影响土壤资源可持续性。

1.3 工程对水生生物群落的作用

调水会改变水生生物栖息地环境。调水导致水体水温、水质、水流状态等环境因子变化,如水温差异可能超出生物适应范围,水质改变影响生物生存条件,这些变化会直接改变水生生物栖息地的质量与范围,影响其生存状态。水体交换会影响水生生物种群数量与分布。不同水体交换会带来新的环境条件与生物竞争关系,部分适应能力弱的生物种群数量可能下降,而适应能力强的种群可能扩散,导致生物种群的空间分布格局与数量规模发生改变^[1]。工程干扰会影响水生生物多样性变化趋势。工程对栖息地的破坏、水体环境的改变以及生物竞争关系的调整,会导致部分物种生存受到威胁,甚至可能消失,使区域内水生生物的物种丰富度、均匀度等多多样性指标发生变化,影响生物群落稳定性。

2 南水北调工程水源地生态保护核心技术

2.1 水源地污染防控技术体系

水源地周边面源污染的拦截与净化技术原理,通过多层级协同体系阻断污染迁移。利用植被过滤带、生态沟渠物理截留泥沙与悬浮污染物,依靠土壤胶体吸附、微生物降解去除有机成分与营养盐,借助水生植物吸收氮、磷,形成“截留-吸附-降解-吸收”流程,大幅减少污染向水体迁移,从源头控制输入,保障水体安全。水源地水体内部污染物的降解技术路径,以强化自净能力

为核心。投放高效降解微生物制剂加速有机污染物分解,布设生物膜载体提升降解效率,结合曝气增加溶解氧,调控pH值、温度优化降解环境,实现对水体内部污染物的高效治理,维持水质稳定,避免污染扩散影响水源地功能。水源地底泥污染物的固定与去除技术,针对性治理累积污染。原位投放化学改良剂将重金属转化为稳定形态,抑制释放;对重污染区采用异位疏浚清除表层底泥,避免二次扩散;疏浚后铺设覆盖层阻断污染物与水体接触,形成长效控制机制,降低底泥对水质的影响^[2]。

2.2 水源地生态系统修复技术

水源地水生植被的重建技术与配置方案,结合环境特征规划。通过水质、底质检测筛选耐污、高生态功能本土植物,依水深、光照划分种植区,挺水、沉水、浮水植物合理布局,控制种植密度避免影响水体交换,形成功能互补的植被群落,提升净化能力与生态支撑作用,恢复生态结构。水源地滨岸带生态缓冲带的构建技术要点,打造立体防护屏障。按“陆地-滨岸-水体”梯度种植草本、灌木、乔木,选用深根植物固土减流失,设渗透沟渠强化径流截留净化,控制缓冲带宽度与植被覆盖率,既拦截污染,又为生物提供栖息空间,全面提升滨岸带生态功能。水源地微生物群落的修复与调控技术,优化结构强化功能。

2.3 水源地生态流量保障技术

基于生态需求的最小生态流量测算方法,综合多因素定阈值。分析水生生物产卵、洄游及浮游生物繁殖的流量需求,评估流量与自净能力关联确定水质稳定标准,考量河道形态保护避免萎缩,结合水文循环建模型,确定保障生态功能的最小流量,为调控提供依据。水源地生态流量的动态调控技术流程,以实时监测与调整为核心。建监测网络采集水位、流量、水质数据,依数据评估流量是否达标,不足时补水、过大时泄洪,结合季节、生物生长周期调整策略,确保生态流量稳定适宜,保障生态系统平衡。生态流量与调水需求的协同平衡技术,实现生态与调水双赢^[3]。建模型分析需求与任务定分配比例,调水高峰优先保生态流量,优化时段与节奏减影响,利用水利枢纽非调水期蓄水支撑调水期需求,依托动态监测调度,实现两者动态平衡,兼顾保护与效益。

3 南水北调工程输水干线生态保护技术

3.1 输水渠道生态防护技术

渠道边坡生态化衬砌的材料选择与施工技术,以兼顾防护性能与生态兼容性为核心。材料优先选用透水混凝土、植草混凝土等生态友好型材质,这类材料既能抵御水流冲刷、防止边坡坍塌,又能保证土壤与水体的物

质交换;施工中需精准控制材料配比与铺设厚度,确保衬砌层稳固,同时预留植物生长孔或种植槽,为后续植被恢复创造条件,避免传统硬质衬砌对生态系统的阻隔。渠道沿线水土流失的综合防治技术措施,通过多手段协同控制土壤流失。在渠道两侧布设植被防护带,选用耐旱、固土能力强的本土草本植物,利用根系固定表层土壤;对坡度较大区域设置截水沟与沉砂池,拦截地表径流、减缓水流冲刷速度;定期对渠道周边土壤进行压实加固,减少雨水渗透导致的土壤松动,形成“植被固土+工程拦蓄+土壤养护”的综合防治体系。渠道岸坡植被的恢复与养护技术,注重构建稳定的岸坡植被群落。先根据岸坡土壤性质、光照条件筛选适宜的本土植物,优先选择根系发达、耐水湿的物种;种植时采用分层种植模式,从坡顶到坡脚合理搭配草本与灌木,提升植被覆盖度;后期定期开展灌溉、除草、病虫害防治等养护工作,监测植被生长状况,及时补植枯萎植株,确保岸坡植被持续发挥固土、防护作用。

3.2 输水过程水质维持技术

输水渠道水体富营养化的预警与防控技术,通过提前监测与主动干预避免水质恶化。建立水质监测网络,实时追踪水体中氮、磷浓度及藻类数量变化,设定预警阈值,一旦指标超标立即启动防控措施;通过调控输水流量,避免水流长期滞留形成静水环境,同时向水体投放控藻剂或种植水生植物,吸收多余营养盐,抑制藻类过度繁殖,防止富营养化发生。输水过程中污染物迁移扩散的阻滞技术,通过物理与生态手段减少污染扩散范围。在渠道关键节点设置生态拦截坝,坝体填充多孔介质与生物填料,吸附截留水中污染物;在渠道水面布设浮床植物,利用根系吸收有害物质;根据污染物迁移规律,调整输水参数,避免水流过快加剧污染扩散,确保污染物在迁移过程中被逐步拦截、降解。输水渠道水体自净能力的强化技术,通过多种方式提升水体自身净化效率。向渠道内投放功能性微生物制剂,加速有机污染物分解;在渠道底部与边坡铺设生物膜载体,为微生物提供附着空间,构建稳定的微生物群落;定期开展水体曝气,增加溶解氧含量,为好氧微生物活动创造条件,通过微生物降解、生物吸收等作用,增强水体自净能力,维持水质稳定。

3.3 输水干线生物保护技术

输水干线关键生物栖息地的保护技术,通过识别与管控保障栖息地完整。先调研输水干线沿线生物分布,明确鱼类产卵场、鸟类觅食区等关键栖息地范围;在栖息地周边划定保护区域,禁止施工、养殖等干扰活动;维

持栖息地原有水文条件与植被环境,避免因输水导致栖息地水位、水质剧烈变化,确保生物有稳定的生存空间。输水干线受损生物栖息地的修复技术,针对退化栖息地开展针对性恢复。对栖息地内的障碍物进行清理,恢复水流自然形态;种植本土水生、湿生植物,重建植被覆盖;改善栖息地底质环境,通过投放天然砂石、有机质等,为底栖生物提供适宜生存条件;监测栖息地生态恢复状况,根据生物反馈调整修复措施,促进栖息地功能逐步恢复。输水干线生物迁徙通道的设计与建设技术,结合生物习性构建连通通道。针对鱼类洄游需求,在渠道交叉建筑物处设计阶梯式、池式鱼道,确保鱼类能顺利逆流迁移;为陆生生物设置缓坡兽道,结合地形种植植被营造隐蔽环境,帮助生物安全穿越渠道;在通道周边设置引导标识,辅助生物识别通道位置,保障不同区域生物种群的交流与基因流动。

4 南水北调工程生态保护技术保障体系

4.1 技术研发与创新机制

生态保护关键技术的攻关组织模式,通过整合多方资源构建协同体系。联合科研机构、高校与企业组建攻关团队,明确各主体职责,围绕污染防治、生态修复等关键技术设定研发目标,建立定期沟通机制,统筹推进技术研发,提升攻关效率。生态保护技术的创新研发路径,以工程需求为导向开展分层研发。先梳理工程生态保护中的技术短板,确定研发优先级;再从基础研究入手,探索核心技术原理,逐步推进中试与应用研究,形成“基础-应用-实践”的递进式研发路径。

4.2 技术标准与规范体系

水源地生态保护技术标准,明确水源地保护技术的实施要求。规定水源地污染防治、生态修复等技术的操作流程与参数,明确水质、生物多样性等核心指标的控制范围,为水源地生态保护技术的规范应用提供依据。输水干线生态保护技术规范,规范输水过程中的技术实施。涵盖渠道防护、水质维持、生物保护等技术的操作标准,明确施工质量、运行维护的技术要求,确保输水干线生态保护技术实施的统一性与科学性。受水区生态保护技术要求,针对受水区特点设定技术准则。明确检

测指标、检测方法与检测频率,规定检测数据的采集与处理要求,确保通过标准化检测准确反映生态保护技术的实施效果。生态保护技术的评估规范,制定技术评估的系统流程。

4.3 技术支撑平台建设

生态环境监测技术平台的构建,打造全方位监测网络。在工程关键区域布设监测站点,配备水质、土壤、生物等监测设备,建立数据实时传输系统,实现对工程沿线生态环境的动态监测,为技术调整提供数据支撑。监测数据的整合与分析技术系统,提升数据利用效率。构建统一数据存储平台,整合不同监测站点、不同类型的数据;开发数据分析模块,通过统计分析与模型模拟,挖掘数据关联,为生态保护决策提供数据解读。生态保护技术咨询服务平台的运行,提供专业技术支持。组建专家团队,通过线上线下结合的方式,为工程建设运营单位解答技术难题,提供技术方案优化建议,指导技术规范实施。技术成果推广与应用服务平台的建设,加速成果落地。

结束语:南水北调工程生态保护意义重大,涉及多维度影响与多方面技术。从水源地到输水干线,再到受水区,涵盖污染防治、生态修复、流量保障、水质维持、生物保护等诸多技术,且需构建完善的保障体系,包括研发创新机制、标准规范体系与支撑平台建设。只有将这些技术体系与保障措施落实到位,才能最大程度降低工程对生态的负面影响,实现水资源调配与生态环境保护的协同共进,保障工程长期稳定发挥效益。

参考文献:

- [1]张运林,蔡永久,彭凯,等.南水北调东线沿线湖泊生态环境面临的挑战与保护对策[J].湖泊科学,2024,36(5):1289-1302.
- [2]曹宇翔,殷庆元,李加水.南水北调东线一期工程环境影响回顾性评价[J].水利水电工程设计,2023,42(2):34-37.
- [3]朱良琪,刘梅,陈良骥,等.浅谈调水工程“双碳”目标的实现路径——以南水北调东线工程为例[J].环境生态学,2024,6(12):131-136.