

# 南水北调东线工程调水潜力分析

欧阳冠男

南水北调东线山东干线有限责任公司 山东 济南 250100

**摘要:** 东线工程依托京杭大运河及平行河道, 构建核心输水网络, 串联调蓄湖泊, 实现向北方多地供水。通过建立优化调度模型, 设置湖泊丰枯互补、抽江水优化及联合优化三种调度情景, 结果显示联合优化调度潜力最大。然而, 极端气候下调水潜力显著下降。工程在保障供水、生态补水及促进区域发展等方面效益显著, 但仍需优化调度、强化治理, 以充分挖掘调水潜力。

**关键词:** 南水北调; 东线工程; 调水潜力

引言: 南水北调东线工程作为缓解我国北方水资源短缺的关键举措, 自实施以来成效斐然, 累计调水超 450 亿立方米, 惠及沿线众多人口。然而, 随着经济社会发展, 北方对水资源的需求持续攀升, 同时极端气候频发、水源区径流波动加剧, 给工程稳定供水带来挑战。在此背景下, 深入剖析东线工程调水潜力, 探寻提升潜力的有效路径, 对保障北方水资源安全、推动区域协调可持续发展意义重大。

## 1 南水北调东线工程概况与现状分析

### 1.1 工程规划与实施进展

(1) 工程布局: 以江苏扬州江都水利枢纽为起点, 依托京杭大运河及平行河道构建核心输水线路, 串联洪泽湖、骆马湖等调蓄湖泊形成水资源调配体系, 通过穿黄工程实现跨流域输水, 最终形成向山东、天津、胶东地区供水的分水路径, 构建起多节点、全覆盖的输水网络。(2) 分期建设: 工程采用分期推进模式, 一期工程于 2013 年正式通水, 设计年调水规模 87.7 亿立方米, 已稳定运行多年; 二期工程处于规划阶段, 核心目标是扩容增效, 计划将年调水规模提升至 100 亿立方米, 进一步提升北方地区供水保障能力。(3) 已实现效益: 截至目前, 工程累计调水已超 450 亿立方米, 直接惠及沿线 6800 万人口, 有效缓解了北方多地水资源短缺困境。同时, 输水水质稳定达到 III 类标准, 在保障供水安全的基础上, 助力改善沿线生态环境, 实现了经济效益与生态效益的协同提升<sup>[1]</sup>。

### 1.2 现状问题与挑战

(1) 极端气候导致水源区径流波动加剧, 影响供水稳定性。近年来, 极端干旱、暴雨等气候事件频发, 使得长江下游水源区来水量波动幅度增大, 枯水期供水保障压力凸显, 对工程稳定输水能力构成挑战。(2) 输水沿线局部河段水质改善空间有限, 需强化污染治理。

尽管整体水质达标, 但部分沿线河段受周边农业面源污染、生活污水排放等影响, 水质提升存在瓶颈, 需进一步完善污染防控体系, 提升水质保障水平。(3) 工程运行能耗与碳排放问题亟待优化。东线工程依托梯级泵站提水输水, 长期运行能耗较高, 伴随一定规模碳排放, 与绿色发展要求存在差距, 亟需通过技术升级、能源替代等方式推进低碳化改造。

## 2 南水北调东线工程调水潜力理论框架与模型构建

### 2.1 潜力分析维度

(1) 水量维度: 核心聚焦水源区可调水量、受水区需水量及输水损失率三大核心指标。水源区可调水量需结合长江下游径流特征与生态约束精准核算; 受水区需水量需区分生活、生产、生态三类需求动态预判; 输水损失率则关联渠道渗漏、蒸发等因素, 是评估实际调水效率的关键依据, 三者共同构成调水潜力的基础量化维度。(2) 时空维度: 重点破解水资源时空分布不均难题, 一方面针对年内丰枯季节差异, 制定动态调蓄方案, 保障枯水期供水、汛期错峰蓄水; 另一方面兼顾山东、天津、胶东等跨区域用水需求, 优化水量分配格局, 实现供需空间匹配。(3) 生态维度: 以生态安全为底线, 既要保障水源区及输水沿线河湖生态基流, 避免水资源过度调取引发生态退化; 又要兼顾沿线湿地补水需求, 通过生态友好型调水模式, 促进河湖湿地生态系统修复与保护, 实现调水与生态协同发展<sup>[2]</sup>。(4) 经济维度: 统筹考量调水全流程成本与收益, 涵盖泵站能耗、工程运维、水质治理等成本, 以及农业增产、工业增效、城市供水保障等收益; 同时联动区域产业结构调整, 推动水资源高效利用型产业发展, 实现水资源配置与区域经济协同升级。

### 2.2 优化调度模型构建

(1) 模型框架: 构建多模块整合的综合优化调度框

架,核心整合水量平衡模块(精准核算供需缺口)、水质模拟模块(动态追踪输水水质变化)、经济评价模块(量化调度经济效益),实现“水量-水质-经济”三维协同优化,为调度决策提供全方位支撑。(2)关键参数:筛选核心影响参数构建参数体系,包括水源区入库径流(反映供水潜力)、泵站提水能力(决定输水效率)、输水渠道过流能力(约束输水规模)、用户需水预测(匹配用水需求),通过参数动态更新与校准,提升模型预测与调度精度。(3)情景设置:设计三类典型调度情景,情景一为基于湖泊丰枯互补的优化调度,充分挖掘洪泽湖、南四湖等调蓄湖泊的调节能力,通过湖库联合调度平抑水量波动;情景二为抽江水优化调度,聚焦长江干流提水环节,强化提水设施效能与径流匹配度;情景三为联合优化调度,整合前两类情景优势,实现湖泊调蓄与抽江水能力的协同联动,最大化调水潜力与综合效益。

### 3 南水北调东线工程调水潜力实证分析

#### 3.1 不同情景下调水潜力对比

(1)多年平均潜力:从长期均值来看,三类调度情景中联合优化调度模式调水潜力最大,通过整合湖泊调蓄与抽江水能力,实现水资源高效调配,年均可新增调水量10-15亿立方米;抽江水优化调度模式潜力次之,依托长江干流稳定水源提升供水能力;湖泊丰枯互补模式潜力最小,受湖库天然调蓄容量与径流波动限制,调增空间相对有限。(2)极端气候情景:极端气候对调水潜力影响显著,尤其在干旱年份,水源区来水量锐减、湖库蓄水不足,导致调水潜力大幅下降,极端情况下年新增调水潜力不足0.2亿立方米,难以满足受水区额外用水需求,凸显了极端气候下供水保障的脆弱性<sup>[3]</sup>。(3)区域差异:调水潜力存在明显区域分化,山东半岛受水区因产业集聚、人口密集,用水需求刚性且调配设施完善,调水潜力高于胶东地区;从用水保障优先级来看,需优先保障两地生活与工业核心用水,再统筹兼顾农业灌溉与生态补水需求,实现区域水资源合理配置。

#### 3.2 生态效益评估

(1)河湖生态补水:工程实施后,持续向南四湖、东平湖等重点河湖湿地补水,有效遏制了水域萎缩趋势,两大湖泊水域面积恢复率超60%;水资源补给带动了水生植被恢复与水质改善,生物多样性指数显著提升,鱼类、鸟类等物种数量明显增加,河湖生态系统功能逐步修复。(2)地下水超采治理:南水北调水的引入有效替代了华北地区地下水超采,缓解了地下水位持续下降的严峻态势。监测数据显示,工程运行以来,华北受水

区地下水水位年均回升0.3-0.5米,超采区面积逐步缩减,地下水生态环境得到实质性改善,筑牢了区域水生态安全屏障。(3)水质改善:通过强化输水沿线污染治理与水质管控,叠加生态补水的稀释净化作用,输水沿线水体质量稳步提升。其中,COD(化学需氧量)、氨氮等关键污染物浓度下降30%以上,沿线水体稳定满足Ⅲ类水标准,为沿线居民饮水安全和生态健康提供了有力保障。

#### 3.3 经济效益分析

(1)直接收益:调水工程为受水区经济发展注入了关键水资源保障,工业领域摆脱了缺水对产能扩张的限制,产值稳步增长;农业领域有效缓解了灌溉缺水问题,提升了粮食生产稳定性,仅山东省年均新增粮食产量达50万吨,直接带动农业增效与农民增收。(2)间接效益:工程助力推动京津冀协同发展战略实施,通过水资源统筹配置优化了区域产业布局,吸引高耗水产业向水资源保障充足区域有序转移,促进了产业结构升级;同时,稳定的供水保障改善了营商环境,增强了区域投资吸引力,为区域经济高质量发展提供了重要支撑。

(3)成本分摊:从成本可承受性来看,工程运行成本通过水价合理分摊,其占受水区居民生活用水与工业用水水价的比例均低于15%,处于社会可接受范围;合理的成本分摊机制既保障了工程长期稳定运行,又未对居民生活和企业生产造成过重负担,实现了社会效益与工程可持续性的平衡<sup>[4]</sup>。

### 4 南水北调东线工程调水潜力提升对策与建议

#### 4.1 工程优化措施

(1)扩建泵站群强化提水核心能力:针对当前提水能力与调水潜力提升需求的差距,推进泵站群扩建升级工程,规划新增10座大型高效泵站,重点布局于江都水利枢纽、骆马湖周边等关键节点。通过采用高效节能泵机设备与智能化控制技术,将工程整体提水能力提升至120亿立方米/年,为调水规模扩容提供硬件支撑,破解枯水期提水能力不足的瓶颈。(2)改造输水渠道降低渗漏损失:聚焦输水效率提升,对沿线老旧土渠实施系统性改造,推广采用预应力钢筒混凝土管等防渗性能优异的材料替代传统土渠,同步配套建设渠堤加固、防渗衬砌等辅助工程。通过渠道改造可将输水渗漏损失率降低3-5个百分点,减少水资源无效消耗,提升单位引水量的实际利用效率,保障调水潜力充分释放。(3)建设数字孪生系统实现智能调度:构建覆盖全工程的数字孪生体系,整合水源区径流监测、泵站运行状态、输水水质、受水区需水等多维度数据,搭建实时监测与智能调度平台。通过数字仿真模拟不同调度情景下的工程运行效果,实

现调水方案的动态优化与精准调控,提升工程运行效率与应急响应能力,为调水潜力最大化提供技术赋能。

#### 4.2 生态保护机制

(1) 制定刚性生态流量保障方案:以生态安全为前提,科学核定穿黄段下游等关键河道的最小生态基流标准,将其纳入工程调度刚性约束条款。建立生态流量动态监测与预警机制,通过精细化调度平衡调水量与生态补水量,确保即使在枯水期也能保障河道基本生态功能,避免因过度调水引发河道断流、生态退化等问题。

(2) 推行“调水+治污”协同治理模式:构建跨部门、跨区域的污染协同治理体系,一方面强化工业点源污染管控,严格落实沿线企业污水达标排放要求,推进工业园区污水集中处理;另一方面加强农业面源污染治理,推广生态种植、化肥农药减量等技术,建设生态缓冲带拦截污染物。通过调水与治污双向发力,持续提升沿线水质,为调水潜力提升筑牢生态基础<sup>[5]</sup>。(3) 建立多元化生态补偿基金:设立东线工程生态补偿专项基金,资金来源按调水量比例由沿线受益省份、用水企业合理分摊,同时吸纳中央财政专项补助。基金重点用于水源区生态保护、沿线生态修复及污染治理项目,对生态保护成效显著的地区给予奖励,通过利益共享、责任共担机制,调动水源区与沿线省份参与生态保护的积极性,实现工程与生态协同发展。

#### 4.3 政策与管理创新

(1) 完善水权交易市场化制度:建立健全东线工程调水指标水权交易体系,明确水源区、受水区的水权归属,允许受水区在满足自身基本用水需求的前提下,通过市场化交易平台购买额外调水指标。通过市场机制优化水资源配置,激发调水潜力提升的内生动力,同时保障水资源高效利用。(2) 推行“准市场运作”运维模式:创新工程运维管理机制,在保障工程公益属性的前

提下,推行“准市场运作”模式,通过特许经营、委托运营等方式吸引社会资本参与泵站运行、渠道维护、水质监测等环节。借助社会资本的资金优势与技术力量,提升工程运维效率,降低运维成本,为调水潜力持续释放提供保障。(3) 强化跨区域协调联动机制:成立南水北调东线工程沿线省际联席会议制度,统筹协调江苏、山东、天津等沿线省份的调水、用水、生态保护等工作。建立常态化沟通协商机制与信息共享平台,破解跨区域水资源配置中的利益冲突问题,推动形成“共商、共建、共管、共享”的协同治理格局,保障调水潜力提升措施顺利落地。

#### 结束语

南水北调东线工程调水潜力分析表明,其虽在水量调配、生态与经济效益等方面成果显著,但极端气候、水质瓶颈及运行能耗等问题仍制约着潜力释放。未来,通过工程优化扩建泵站、改造渠道、建设数字孪生系统,完善生态保护机制与政策管理创新,如推行水权交易、准市场运维及跨区域协调联动等,有望充分挖掘调水潜力,为北方水资源保障与区域高质量发展提供坚实支撑。

#### 参考文献

- [1]郭雅静,王军力.南水北调东线工程突发水污染应急管理研究[J].海河水利,2024(11):70-72.
- [2]彭坤,项明洋.南水北调东线工程防汛及运行管理新技术应用研究[J].电工技术,2024(S2):433-435
- [3]李自明,刘斌,景明.黄河流域非常规水源开发利用现状分析与思考[J].中国水利,2025,(03):54-59.
- [4]孙珊.杂木灌区地下水资源开发利用现状及对策[J].黑龙江粮食,2024,(11):71-73.
- [5]郑丽爽.黄泥河流域水资源开发利用现状调查分析[J].地下水,2024,46(050):118-119.