

田巍, 陈庆伟, 吴险峰, 等. 南水北调工程水质安全保障工作实践与对策建议[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2025, 23(1): 47-58.
TIAN W, CHEN Q W, WU X F, et al. The practices and recommendations for water quality safety assurance in the South-to-North Water Transfers Project[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2025, 23(1): 47-58. (in Chinese)

南水北调工程水质安全保障工作实践与对策建议

田巍¹, 陈庆伟¹, 吴险峰¹, 梁康²

(1. 中国南水北调集团有限公司, 北京 100142; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所
陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101)

摘要: 围绕水质监测、保护体系、风险防控、应急处置、科技支撑 5 个方面, 综合分析南水北调一期工程通水 10 年来水质安全保障工作取得的实践经验。在现状基础上对当前水质安全保障工作面临的新挑战和新问题进行深入分析, 并围绕提升水质生态监测监控能力、推进水质安全保障协同机制建设、加强沿线污染风险源动态管理、提升应急处置能力以及做好水质保护科技支撑提出相应的对策建议, 可为保障南水北调及后续工程水质安全提供有益参考。

关键词: 南水北调工程; 水质安全保障; 水质监测; 应急处置; 污染防控

中图分类号: TV68 **文献标志码:** A **DOI:** 10.13476/j.cnki.nsbqk.2025.0005

我国水资源时空分布不均衡, 呈现夏汛冬枯、北缺南丰的格局, 修建长距离引调水工程是优化水资源空间配置的重要手段^[1-2]。新中国成立以来, 我国修建了南水北调东、中线一期工程、东深供水工程、引滦入津工程、引黄济青工程、山西引黄入晋工程、引松入长工程等上百项引调水工程, 缓解了水资源空间分布不均的情况^[1]。大量引调水工程以满足生活、工业用水为主要目标, 对调水水质提出明确要求, 水质安全成为决定工程成败的关键^[3]。

做好长距离引调水工程水质安全保障工作是持续发挥引调水工程综合效益的重要保障, 工程运营单位和专家学者围绕工程运行实际开展了水质安全保障工作体系研究, 具体针对水质监测体系^[4-5]、水质评价和特征分析^[6-9]、水质模拟及预测^[10-11]、水质风险分析^[12-13]、水质安全应急处置和管理^[14-16]等方面开展了细致研究, 取得了系列研究成果, 但大多研究围绕水质本身或者水质安全保障某一个方面, 缺乏对水质安全保障工作内涵的分析和工作体系的系统梳理。南水北调工程是跨流域跨区域配置水资源的骨干工程^[17-19], 2014 年 12 月全面通水以来, 东、中线一期工程累计调水总量超 767 亿 m³, 惠

及 45 座大中城市、1.85 亿人口, 累计生态调水超 100 亿 m³, 为缓解华北地区地下水下降趋势提供了重要支撑^[20-22]。东、中线一期工程已成功运行 10 年, 积累了丰富的实践经验, 系统分析南水北调工程水质安全保障工作可为做好长距离引调水工程水质保护提供重要参考和技术支撑。

全面通水 10 年来, 东、中线一期工程水质持续稳定达标, 运营单位逐步构建形成了“监测、保护、防控、应急、科研”为一体的水质保护体系, 水质安全保障取得了巨大成效, 东线一期工程化学需氧量和氨氮入河总量减少了 85% 以上, 沿线调蓄湖泊生态环境持续向好, 南四湖水质由 V 类、劣 V 提升为 III 类, 工程沿线水质持续优良, 调水期输水干线水质稳定达到 III 类地表水标准, 已全面消除劣 V 类断面; 中线一期工程水质持续为优, 调水期持续稳定在地表水 II 类标准及以上, 地表水 I 类标准达标率超过 60%, 多个调水年度地表水 I 类占比高于地表水 II 类, 其中 2022—2023 调水年 I 类水达标率最高, 达到 92%。随着受水区对南水北调的依赖增强, 中线工程供水地位由“辅”变“主”, 东线工程供水需求增强, 保障南水北调工程水质安全的任务更加

收稿日期: 2024-10-25 修回日期: 2025-01-15 网络出版时间: 2025-02-20

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/13.1430.TV.20250219.1410.001>

基金项目: “十四五”国家重点研发计划项目(2023YFC3207805; 2023YFC3206605); 国家自然科学基金项目(41971035)

作者简介: 田巍(1996—), 男, 山西忻州人, 工程师, 博士, 主要从事水文水资源及水质保护方面的研究。E-mail: tianweibt@163.com

通信作者: 陈庆伟(1977—), 男, 河南周口人, 正高级工程师, 博士, 主要从事水文水资源及水质保护研究。E-mail: 9392314@qq.com

艰巨,亟需系统梳理 10 年来水质安全保障工作的实践经验,厘清当前及未来一段时间面临的问题及挑战,对新时期保障水质安全提出建议。

1 南水北调工程水质安全保障工作实践

中国南水北调集团负责南水北调工程的运营管理,其中:中国南水北调集团中线有限公司(以下简称“中线公司”)负责中线干线工程的管理;中国南水北调集团东线有限公司(以下简称“东线公司”)负责组织南水北调江苏水源公司、南水北调山东干线公司等单位开展东线一期工程全线调水。南水北调工程水质安全保障工作以确保调水水质类别持续稳定达标为主要目标,形成以积极防范日常水污染风险和有效处置突发水环境事件为主要内容,以建立健全水质监测预警为重要手段,以加强科技创新和完善水质保护体系为重要支撑的工作体系(图 1)。东、中线一期工程全面通水 10 年来,运管单位初步构建水质监测体系,不断健全水质保护体系,稳妥推进水质风险防控,持续增强应急处置能力,扎实做好科技支撑,有效提升了水质安全保障能力。

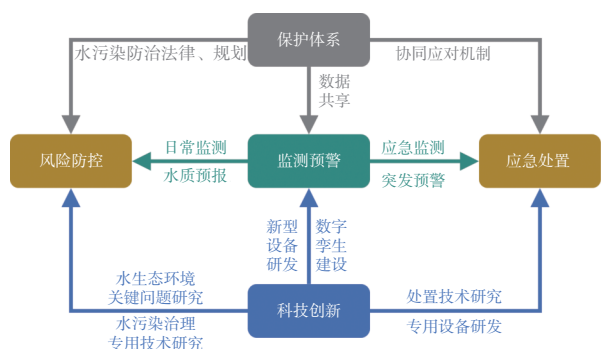


图 1 南水北调水质安全保障工作思路

Fig. 1 Illustration of the work approach for ensuring water quality safety in the South-to-North Water Transfers Project

1.1 初步构建水质监测体系

形成了水质监测管理模式。中国南水北调集团设置专门水质保护管理部门,制定水质监测规程,承担水质监测、统计分析、监督检查等工作,指导中线公司、东线公司开展水质监测工作。其中中线公司负责中线工程水质监测工作,制定中线干线水质监测方案,构建了“1 个中心、5 个水质实验室、13 个自动监测站、30 个固定监测断面”的点、线、面监测站网,持续开展各类监测、分析工作^[23,24]。东线公司按水利部要求组织开展东线工程全线水质监测工作,南水北调江苏水源公司负责管理水文

水质监测中心(宿迁),南水北调山东干线公司负责管理水质监测中心(济南、徽山)。东线公司于每个调水年度开始前组织印发年度调水水质监测工作方案,明确调水期间的监测断面和监测频次,南水北调江苏水源公司、南水北调山东干线公司在调水期间委托有资质的第三方监测单位或依托水质自动监测站进行常规监测、日常巡测、补充监测和应急监测^[25]。

构建了水质监测站网。根据工程建设要求,中线干线沿线布设了 13 座水质自动监测站,其中陶盆水质自动监测站可对 101 项指标开展自动监测,沿线设置 30 个固定监测断面,每月 1 次开展人工监测;根据工程实际运行需求,逐步增设了 2 座水质监测浮标站和 2 座高光谱水质自动监测站开展辅助监测,并对陶盆水质自动站启动升级改造,持续提升监测水平;此外沿线设置了 39 个地下水监测点/井,定期开展监测工作^[24]。东线工程设置宝应、龙河口等 12 座水质自动监测站,包括江苏段 2 座、山东段 7 座、省际(南四湖)段 1 座和北延应急供水工程 2 座,2024 年在北延应急供水工程新建 3 座水质自动监测站,持续优化水质监测站网布设^[25]。此外,生态环境部在中线总干渠沿线设置 3 个国控断面,东线一期工程沿线设置 17 个重点断面,调水期对南水北调一期工程水质情况开展持续监测,定期对监测结果进行发布。

初步开展了水生态监测。随着中线总干渠水生态系统逐步演进,工程运管单位适时启动了水生态监测工作,目前在总干渠陶盆、沙河南、郑湾、漳河北、大安舍、西黑山、惠南庄、天津外环河 8 个断面开展了藻类等水生态人工监测,并在沿线布设了 10 套藻类自动监测设备,加强藻类自动监测能力,此外针对中线总干渠水生态演化,不定期开展浮游植物、浮游动物、鱼类等水生态调查,动态掌握生态系统基本情况^[24]。

持续提升了检测能力。中国南水北调集团推进建设南水北调水质监控预警和应急技术中心,不断增强南水北调工程水质监测检测能力;中线公司建成渠首、河南、河北、天津、北京 5 座水质实验室,其中河南、河北、天津水质实验室均已取得国家计量认证资质,具备独立开展第三方检测的能力,河南水质实验室认证项目达到 123 项,涵盖了地表水环境质量标准 109 项指标^[24],2024 年对渠首、北京两座实验室开展认证工作,持续提升实验室检测水

平;东线工程全线(含北延应急供水工程)建成了宿迁水质监测中心、济南水质监测中心和南四湖水水质监测中心3个固定实验室,东线公司、南水北调江苏水源公司、南水北调山东干线公司共配备了5辆水质移动监测车^[25]。

1.2 不断健全水质保护体系

初步建立了水质保护政策法规体系。在国家层面,2014年《南水北调工程供用水管理条例》正式对外发布并开始执行,规范南水北调工程饮用水水源保护、水污染防治,实行严格水质保障措施,确保南

水北调水质达标。在地方层面,2015年《山东省南水北调条例》颁布实施,是首部关于南水北调工作的地方性法规,明确将水质保护列入县级以上人民政府考核内容;2022年《河南省南水北调饮用水水源保护条例》正式施行,进一步加大对南水北调饮用水水源保护的力度,确保水质稳定达标;2024年《湖北省南水北调中线工程水源保护条例》启动公开征求意见,工程水源区及沿线省(直辖市)逐步制定相关条例,持续通过立法保护南水北调工程调水水质(表1)。

表1 南水北调工程水质保护部分法规信息

Tab. 1 The legal provisions of water quality protection for the South-to-North Water Transfers Project

类型	法规名称	实施时间
国家法规	《中华人民共和国水污染防治法》	2018年1月1日
	《南水北调工程供用水管理条例》	2014年2月16日
地方法规	《河南省南水北调饮用水水源保护条例》	2022年3月1日
	《山东省南水北调条例》	2015年5月1日
	《江苏省水污染防治条例》	2021年5月1日
	《山东省南水北调工程沿线区域水污染防治条例》	2018年1月23日
	《山东省南四湖保护条例》	2022年1月1日
重点水域保护法规	《山东省东平湖保护条例》	2021年12月1日
	《江苏省洪泽湖保护条例》	2022年5月1日
	《徐州市骆马湖水环境保护条例》	2022年11月1日
	《宿迁市骆马湖水环境保护条例》	2022年11月1日
	《陕西省汉江丹江流域水污染防治条例》	2006年3月1日实施; 2023年11月30日修订
	《湖北省汉江流域水环境保护条例》	2020年12月1日

持续构建了水污染防治体系。东线一期工程以实施《南水北调东线工程治污规划》为重点,通过采取城市污水处理、工业综合治理、工业结构调整、截污导流、流域综合治理等多种措施,强力推进沿线治污,极大改善了工程沿线城乡水环境,提高了区域水环境承载力^[25]。2006年以来,国务院连续批准实施四轮丹江口库区及上游水污染防治和水土保持规划,全面加强水源保护,2023年水利部印发《进一步加强丹江口库区及其上游流域水质安全保障工作方案》,进一步加强水源区水质保护工作,目前丹江口库区水质年均稳定在Ⅱ类以上,入库河流水质全部达标,水环境风险应对能力持续增强^[26]。

统筹谋划了水质保护工作。2023年经国务院同意,生态环境部联合国家发展改革委等五部委印

发《重点流域水生态环境保护规划》,对南水北调东中线工程及水源区水生态环境保护工作做出统筹规划,强调保障重大调水工程水质安全,加强水源区、输水线路区、受水区的水生态环境系统保护,在长江流域对中线工程水源区重点提高污水和垃圾处理效率,开展消落区保护修复,明确丹江口库区及上游污水管网建设改造、农业面源污染防治、环境风险防范等重点任务;在淮河流域对东线工程沿线开展清水廊道建设,保障调水水质安全,持续加强洪泽湖、骆马湖和南四湖水生态保护,控制水体富营养化,加强水生态保护修复,改善湖泊水生态系统;在海河流域推进大运河文化带(南水北调东线工程)生态环境保护,保障南水北调工程水质安全。中国南水北调集团制定《水质安全保障专项规划》,

系统谋划“十四五”期间集团公司南水北调工程水质保护工作,提出一系列水质安全保障项目,强化统筹协调,健全制度体系、监测监控体系、应急管理体系、科技支撑体系,持续提升水质安全保障能力。

不断完善了协同治理模式。在中线工程,国家发展改革委会同有关部门和豫、鄂、陕三省建立丹江口库区及上游水污染防治和水土保持部际联席会议机制;生态环境部长江局会同中线水源区三省(湖北省、陕西省、河南省生态环境厅)五市(汉中市、安康市、商洛市、十堰市、南阳市人民政府)建立水生态环境保护联席会议制度,协同推进水源区水质安全保障工作。湖北省纪委、水利部长江水利委员会机关纪委和中国南水北调集团纪检监察组等 16 部门共同建立湖北水源区协同监督机制,对湖北水源区水污染突出问题开展协同监督;中线公司与南水北调中线水源公司不断完善水质安全保障会商机制,共同做好中线总干渠及水源区水质保护工作。在东线工程,生态环境部淮河流域联合南四湖流域四省(江苏、安徽、山东、河南省生态环境厅)八市(徐州、宿州、枣庄、济宁、泰安、菏泽、开封、商丘市人民政府)建立南四湖流域水生态环境治理保护联防联控机制,加强流域统筹与区域治理工作协同,有力保障东线调水水质。

健全了水质数据共享机制。中线公司与沿线四省(直辖市)水行政主管部门定期共享固定断面水质监测结果,同南水北调中线水源公司实时共享总干渠和丹江口水库水质自动监测站数据,持续加强预警预报水平。东线公司与北延应急供水工程沿线生态环境部海河流域管理局、河北水利厅、天津水务局和海委水文局,建立了沟通联络及共享机制,定期共享监测数据。

1.3 稳妥推进水质风险防控

依法划定了水源保护区。2008—2018 年,依据《中华人民共和国水污染防治法》、《南水北调工程供用水管理条例》等法规,东、中线一期工程沿线省(直辖市)划定南水北调饮用水水源保护区,并提出了管理要求。中线工程水源保护区分为一级保护区和二级保护区,其中一级保护区的宽度在 50~200 m,二级保护区的宽度大部分为 200 m 左右,最宽处约 2 000 m^[27];东线工程针对于输水河道、泵站工程、明渠等不同工程类型规定了保护区范围。

扎实做好了沿线水污染风险源排查和处置。中

线公司制定了污染源管理办法,规范沿线污染源巡查工作,一级水源保护区内的污染源每月巡查一次,建立污染源管理台账,及时向所在市(县、区)政府有关主管部门反馈、协调解决;持续加强协同治理,与检察机关建立了公益诉讼工作协作机制,依托河湖长制与地方有关部门积极沟通协作,推进风险源处置^[24,27]。东线沿线地方政府持续加强水污染风险管控,江苏省政府把南水北调治污工作作为重点考核内容,江苏省生态环境厅持续组织对沿线水污染防治项目运行情况、工业企业和污水处理厂排放口及市政排污口、规模化畜禽养殖场、沿线船闸垃圾收集处置等情况开展专项检查,发现问题立即督促地方整改;山东省构建“治、用、保”流域治污体系,持续做好风险排查与治理^[25]。

持续加强了水生态保护。中线公司持续关注总干渠生态系统演变,不断健全完善藻类综合防控体系,建立了三道防线,在总干渠建设完成 2 道全断面拦藻装置,优化改造总干渠分水口门拦藻设备设施,协调沿线地方水厂及配套工程完成了拦藻设备安装,持续提升藻类拦捞能力^[24]。同时扎实做好日常监测观测、专家研判,及时掌握藻类生长状况,与沿线地方政府联合开展藻类防控专项应急演练,协同做好藻类防控工作。

有序开展了水质安全风险评估。2015 年中线公司组织相关单位完成了《南水北调中线总干渠水质污染源风险识别及其影响分析报告》;2018 年中线公司组织相关单位完成了《水质风险调度对策措施研究报告》;2021 年,中线公司对水质风险开展了自评;2022 和 2024 年水利部组织开展了中线和东线一期工程水质安全风险评估工作,形成风险评估分析与对策建议报告,并针对性提出相应处置措施。

1.4 持续增强应急处置能力

制定了水污染应急预案。中国南水北调集团制定《中国南水北调集团有限公司突发环境事件应急预案(试行)》,统筹规范集团公司突发水环境事件处置流程。结合工程实际,中线公司编制《南水北调中线干线水污染应急预案》等专项应急预案,规范应急处置工作;针对危化品入渠风险,对危化品生产和运输情况进行调查分析,编制《南水北调中线干线工程水污染应急处置技术手册》^[24]。东线工程水质应急工作以地方政府为主导,沿线运营单位配合,东线公司编制印发《南水北调东线一期工程

突发水污染事件应急预案》,南水北调江苏水源公司、南水北调山东干线公司结合所辖工程实际,分别制定发布突发水污染事件应急预案,东线工程逐步建立自下而上的水污染应急预案体系,明晰了各级管理机构职责^[25]。

加强了应急物资设备储备。中线工程沿线设置 10 处应急物资库,存储了活性炭、吸油毡、围油栏等物资,配置了真空式收油机、转盘式收油机、应急抢险车等应急设备,加强应急设备和物资的储备、管理,同时配备了水质应急监测车、无人机、无人监测船以及多种便携式水质监测设备等,可快速开展应急处置期间水质监测工作;东线工程各运管单位对大宗物资和大型机械设备,结合工程实际与驻地有关单位签订了保障协议,以便于开展水污染事件等应急处置工作。

持续开展了专项应急演练。工程运管单位定期组织开展突发水污染事件应急演练,通过演练不断锤炼应急队伍,检验应急预案,提高处置效率和能力。通水以来,东中线工程运管单位采用现场实操和网上推演方式等各种方式,组织开展 160 余次水污染专项应急演练^[24],2024 年会同水利部长江委组织开展丹江口库区及其上游流域-中线总干渠联动水质安全保障应急演练,首次协同中线水源丹江口水库及中线干线模拟突发水污染事件处置,持续加强与上下游、左右岸协同,提升协同处置水平。

1.5 扎实做好科技支撑

持续加强关键问题研究。工程运管单位持续增强研发力度,中线公司先后承担了国家重大水污染防治专项、国家重点研发项目、水利部重点专项及集团重大科研项目,针对水质监测与变化规律、藻类和淡水壳菜防控、水生态调查与调控、风险预案与应急处置等水质保护重点难点问题展开基础性和探索性研究;东线公司承担国家重点研发项目等多个重大科研项目,相继完成了相关水质瓶颈问题分析、水质现状及水质风险调查等工作,通过科学研判基本了解掌握工程沿线水质安全状况和潜在风险。此外,科技部设立国家重点研发计划“长江黄河等重点流域水资源与水环境综合治理”等重点专项,系统开展重点流域水污染治理科学研究,南水北调水质保护重点科研问题连续列入指南,持续推进南水北调水质安全科研攻关。

扎实开展先进技术和设备研发。立足工程运行实际需求,中线公司持续加强监测预警和应急处置

设备研发,研制了南水北调中线浮游藻类 AI 识别智能设备,完成了全断面拦藻装置、除藻多功能车等专用设备建设,持续开展多元生物预警技术研发和设备研制,先后参与制定了《输水工程沼蛤监测技术导则》等检测技术团体标准 7 项,“南水北调中线水质安全保障关键技术及应用项目”获得大禹水利科学技术奖二等奖,形成一系列掌握自主知识产权的技术、装备。

加快水质管理信息化建设。中国南水北调集团搭建了南水北调水质监测信息平台,实现监测数据归集、分析,开展水质保护综合管理。中线公司依托国家“十三五”水体污染控制与治理科技重大专项,初步搭建了南水北调中线水质监测-预警-调控决策支持综合管理平台,进一步开展了数字孪生南水北调中线建设,实现了中线总干渠全线水质滚动预报预警和示范段突发污染事件及处置的在线精准模拟,“数字孪生南水北调中线 1.0”入选《数字孪生水利建设十大样板名单(2023 年)》。

2 南水北调工程水质安全保障工作面临的形势与挑战

2.1 南水北调工程水质安全保障工作面临的形势

近年来我国经济总量大幅增长,产业结构不断优化,城镇化水平显著提升。与此同时,我国社会的主要矛盾已经转变为人民对美好生活的向往与当前发展不平衡不充分之间的矛盾,京津冀协同发展、黄河流域生态保护与高质量发展等重大区域战略已逐步推进。但我国北方的主要江河特别是黄河,来沙量大幅减少,地下水超采等水生态环境问题也在持续演变,这些因素都对加强和优化我国水资源供给提出了新的挑战和要求。此外,《国家水网建设规划纲要》要求加快完善南水北调工程总体布局,扎实推进后续工程高质量发展。

全面通水 10 年来,南水北调工程有力改善了北方地区特别是黄淮海地区的水资源条件和水资源的承载能力,已经成为北京、天津等北方许多城市的主力水源,北京城区供水近八成是南水,天津主城区和雄安新区城区供水全部是南水,东线北延应急供水工程常态化运行,天津、河北等地的水安全保障水平得到进一步提升,同时南水北调后续工程建设持续推进,中线引江补汉工程正在加快建设,东线后续工程前期工作以及西线工程论证深入推

进, 优良水质是工程进一步发挥综合效益的重要保障, 对提升水质安全保障水平提出更高要求。

2.2 南水北调工程水质安全保障工作面临的挑战

根据全面通水 10 年来南水北调水质安全保障的现状和成效分析, 结合目前形势和政策, 分别从水质监测、保护体系、风险防控、应急处置、科技支撑 5 个方面对南水北调水质安全保障面临的挑战进行分析。

水生态环境监测监控体系需全面提升。南水北调工程初步构建了以传统的地表水水质监测指标为主的水质监测体系, 但随着工程稳定运行, 水生态系统逐步建立和完善, 出现鱼类、浮游动植物等水生生物, 亟需加强水生态监测, 南水北调工程现有的水生态监测处于起步阶段, 目前仅针对浮游藻类设置了 8 个固定监测断面, 监测藻密度、叶绿素 a 等指标^[24], 10 套藻类自动监测设备定量监测指标还相对有限, 水生态调查频次还相对较低, 水生态监测指标体系和网络还不健全, 人员和技术设备较为缺乏, 监测能力仍需继续提升。2023 年 4 月起实施的《生活饮用水卫生标准》更加关注感官指标、消毒副产物指标, 更加关注风险变化, 国家也逐步加强新污染物监测, 南水北调工程针对内分泌干扰物、抗生素、微塑料等新型污染物监测的工作基础相对薄弱。同时, 目前仍以传统地面监测为主, 在空天地一体化新技术应用创新方面, 距离“从传统监测向智慧监测转变”的管理要求还有一定差距。

水质保护联动机制亟待健全完善。南水北调东、中线工程输水沿线污染源类型不同, 防污治污的机制和实施主体存在较大差异, 需要进一步完善政企协调、上下统筹的防污治污机制, 进一步完善和相关部委、地方政府的沟通协调机制, 中线总干渠沿线风险源主要分布在水源保护区内, 以污水、垃圾、养殖场等点状污染为主, 责任相对清晰^[27]; 东线工程利用了大量天然河道, 尤其涉及南四湖等多个调蓄湖库, 面临点、面源风险交织, 防污治污难度大, 需多地域多部门联合作战^[25]。同时, 丹江口库区及其上游流域是南水北调中线工程水源区, 水源区水质水平直接决定中线总干渠水质情况, 丹江口水库整体水质优良, 但仍面临常规水质超标风险、富营养化风险、藻类异常增殖风险和突发性水质风险等风险^[26], 如丹江口水库总氮平均值达到 1.14 mg/L, 接近湖库富营养化阈值上限^[26], 此外库区及上游还存

在约 560 余座尾矿库, 尾矿库渗漏或溃坝可能对水源区水质造成影响^[28], 为保障中线总干渠水质安全, 要持续健全完善水源区与总干渠协同保护和风险应对机制, 加强水源区水质保护工作。

风险防控能力还需增强。南水北调工程水污染风险依然存在, 东线工程线路长、范围广, 多与沿线河湖水库连通、水域开放, 且大多沿线工业和城镇点源密集, 部分输水渠道承担航运功能, 运行环境复杂且沿线污染源广泛, 航运、跨河桥梁等风险需持续关注^[29], 南水北调东线一期工程在江苏境内新开河道 17.96 km, 改善航道 92.45 km, 提高了金宝航道、徐洪河等一批河道的通航标准和通航等级; 京杭运河济宁至东平湖段航道“三改二”工程的实施, 京杭运河山东段黄河以南段基本达到二级航道通航标准, 通航船只由 1 000 t 级提升到 2 000 t 级, 并实现了由原来非汛期时间通航提升为全年可通航, 由此带来的水污染物增长压力也给东线工程带来更多新的挑战。同时东线工程沿线是我国农业主产区, 农业种植和水产养殖是湖泊氮、磷污染和富营养化的主要来源, 面源污染可能对沿线湖库水体水质产生影响, 2003—2010 年淮河向洪泽湖平均输入总氮、总磷分别为 7.20 万和 0.37 万 t, 分别占总入湖通量的 84.6%、81.5%^[30], 2012—2018 年, 洪泽湖总氮、总磷多年平均质量浓度为 1.740 和 0.081 mg/L^[31]。中线工程采取封闭管理, 仍存在着跨渠桥梁危化品运输交通事故、外水入渠、地下水内排、穿跨越油污管线破损等风险隐患^[32,33], 工程沿线建设 1 296 座跨渠桥梁, 包括 119 座承担危化品运输任务的桥梁, 一旦危险货物运输车辆在跨渠桥梁上发生交通事故, 导致危险货物泄漏或运输车辆倾翻入干渠内, 可能引发突发水污染事故; 工程沿线有 521 km 的地下水内排渠段, 内排段地下水与干渠具有密切的水力联系, 一旦处于内排段输水干渠附近的工业、农业和居民生活污染物污染内排段地下水, 可能会通过地下水进入输水干渠, 污染干渠水质^[27]。

应急处置能力有待强化提高。应急预案方面, 目前已对工程水质安全风险进行了系统评估, 需结合评估结果, 充分考虑工程的水环境特点、污染源类型、潜在风险等因素, 及时修订应急预案, 合理规划专项应急演练, 持续提升预案针对性和操作性^[25,27]。应急物资储备方面, 目前主要以运管单位自行储备为主, 但依靠自身存储全部物资难度较大, 同时运管单位存储物资主要为活性炭、油类物质处置物资

设备,无法覆盖全部可能危化品应对物资,亟需与地方建立合作模式,优化物资库建设,统筹储备存储物资类别,提升应急物资调配能力。此外,针对工程专用的应急设备、技术研发存在不足,如开发适合于中线总干渠专用的藻类清除设施设备。

科技支撑体系亟需统筹引领。目前对南水北调工程水质变化规律和生态系统演变机理认识还有不足,中线总干渠是一个新生生态系统,环境条件和生态结构尚不稳定,总干渠内高锰酸盐指数升高、营养盐及污染物迁移转化规律、藻类生长机理及影响机制尚不清晰。在水质变化方面,中线工程通水运行以来水质总体良好,绝大部分指标保持在地表水Ⅰ类水平,但高锰酸盐指数始终在2 mg/L(Ⅱ类限值)附近波动,且沿程整体呈升高趋势(图2),是限制中线工程水质持续改善的主要指标^[34-36],2015—2024年年均高锰酸盐指数总体呈下降趋势,月平均高锰酸盐指数呈“先上升后下降”的年内变化,

1—6月高锰酸盐指数呈上升趋势,6月达到最高值2.10 mg/L,多年统计地表水Ⅱ类比例为49%;7—12月呈下降趋势,12月为最低值1.89 mg/L,多年统计地表水Ⅱ类比例为18%。春夏季(3—8月)平均高锰酸盐指数基本高于地表水Ⅱ类限值2 mg/L,秋冬季(9月—次年2月)基本低于地表水Ⅱ类限值(图3);在生态系统演变方面,相较于自然水体,总干渠为人工构筑物,缺乏土壤基质,水泥衬砌不适合多数微生物或植物着生,生态系统构成单一,造成生态系统食物链不完善,物质循环过程不容易建立,生态系统的演替规律和生态调控措施需持续关注,同时浮游藻密度与高锰酸盐指数密切相关,在时空变化特征上均呈现较强一致性(图4)。东线工程山东段存在地下水中氟化物、硫酸盐影响调水水质的风险,沿线调蓄湖库富营养化水平升高^[37-39]。水质保护关键技术的研发仍需进一步加强。

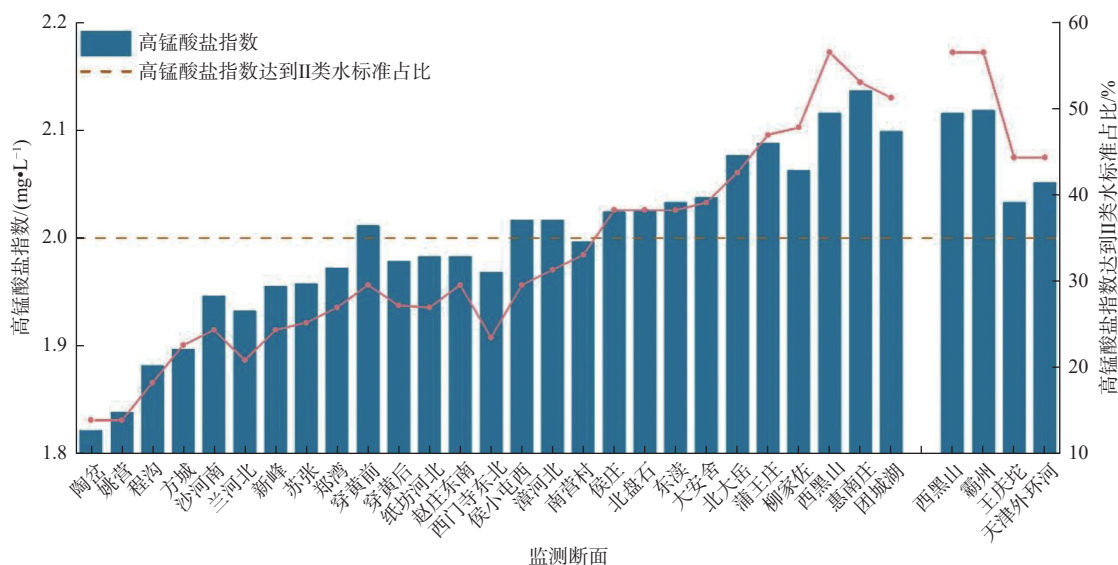


图2 2014年12月—2024年7月中线一期工程30个断面多年平均高锰酸盐指数沿程变化

Fig. 2 Long-term average permanganate index variations at 30 cross-sections of the first phase of Middle Route Project from December 2014 to July 2024

3 南水北调工程水质安全保障工作的对策建议

为了保障南水北调工程长期稳定运行和持续发挥综合效益,需进一步提升水质安全保障能力,确保调水水质持续稳定达标,持续健全完善“监测、保护、防控、应急、科研”为一体的水质保护体系,从水质监测、保护体系、风险防控、应急处置、科技支撑5方面提出对策建议。

持续提升水生态环境监测监控能力。优化布设

南水北调工程水质监测站网,逐步升级自动监测站,更新陈旧监测设备,优化站网设置,增强水质自动监测能力^[40-41];推动优化提升陶岔水质自动监测站,更好地发挥陶岔水质自动监测站在中线工程“水龙头”水质把关的作用,增强全线预警能力。强化水生态监测能力,科学布局水生态监测站点,合理设置水生态监测指标,开展水生态监测网络建设。逐步实施水质监测智能化转型,以水质自动监测“无人化”为目标,推进运维、采样、检测自动化,降低运行成本、提高运行效率,加强监测数据智能化分

析预测,充分利用多源数据,提升水质预警水平。着力打造南水北调水质监控预警和应急中心,聚焦南水北调工程和国家水网水环境、水生态等问题,通过搭建监控中心、预警中心、应急中心、技术中心,开展南水北调工程和国家水网水环境和水生态监测、水质趋势分析预测、水质变化预警等工作,补

齐南水北调工程水生态环境监测监控能力短板。针对《新污染物治理行动方案》列入优先控制化学品名录的化学物质以及抗生素、微塑料等其他重点新污染物,补充完善南水北调有毒有害水污染物名录,定期开展新污染物监测和调查评价。

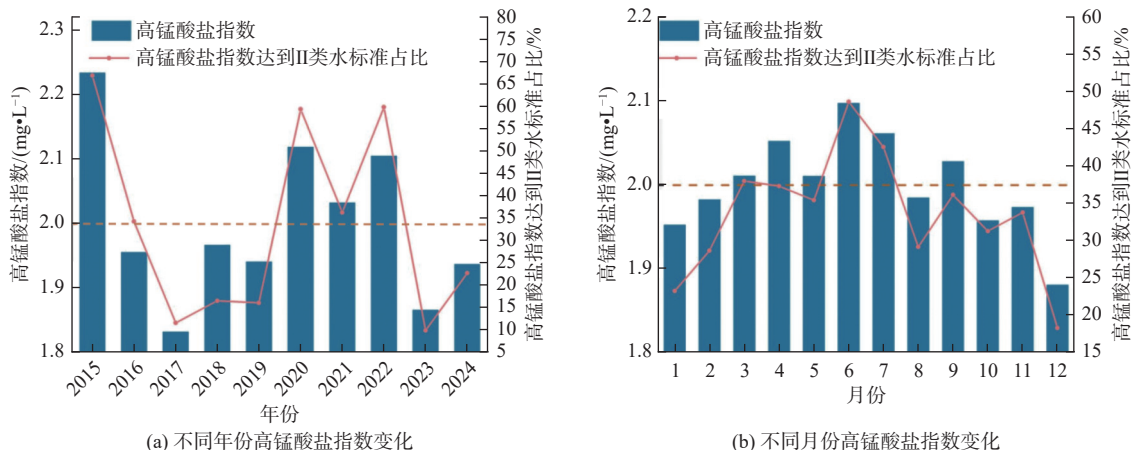


图 3 2014 年 12 月—2024 年 7 月中线一期工程 30 个断面高锰酸盐指数时间变化

Fig. 3 Temporal variations of permanganate index at 30 cross-sections of the first phase of Middle Route Project from December 2014 to July 2024

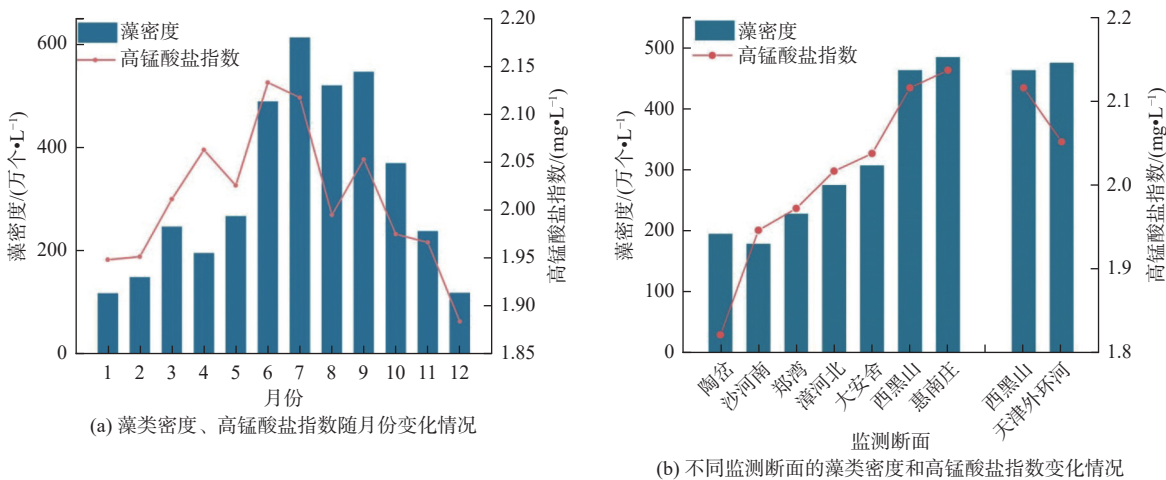


图 4 2015—2024 年 8 个藻类监测断面高锰酸盐指数与藻密度关系

Fig. 4 Relationship between permanganate index and algal density at 8 monitoring sections for algae from 2015 to 2024

持续推进水质安全保障协同机制建设。加强与地方政府及部门的沟通与协调,推动工程运营单位与南水北调沿线各省市水质保护工作机制建立,完善上下联动、条块结合的落实机制,实行联防联控,构建大保护、大配合立体格局^[40-41]。充分利用政企协作机制,持续加强与水利部、生态环境部等部委沟通协作,构建南水北调水质保护协调机制,推进南水北调工程水质保护政策法规建立健全,持续加强顶层设计,统筹谋划了水质保护工作。进一步加强与中线工程水源区协作,持续推进丹江口库区及其上游流域水质安全保障工作,协助地方政府加强

库区水污染防治和水土保持工作,保障水源区水质稳定达标^[42]。

持续加强沿线污染风险源动态管理。加强各类风险隐患排查,定期组织开展南水北调工程水质风险评估,形成“排查、清单、处置、台账”工作体系,系统分析、评估沿线各类点源、面源、内源污染,强化问题整改,及时有效防范化解生态环境风险^[40]。积极与有关部门沟通,重点接入风险运输车船信息,在东、中线实现道路交通污染源管控与水质安全应急处置一体化管理。建立南水北调污染风险源清单并定期更新,绘制东、中线主要河流流域水环境

风险分布图。继续联合地方政府开展水源区、输水沿线保护区范围污染源治理,推进水源保护区内风险源整治^[41],逐步实现存量全面解决、潜在风险全面消除、增量问题全面遏制。

持续提升应急处置能力。滚动修编应急预案,根据污染风险源排查情况,制定突发水污染应急处置预案,确保快速响应和及时处置。建立应急处置常态化演练机制,制定应急演练工作方案,规范应急演练操作及流程,锻炼应急队伍,提高处置效率,提升处置能力,按计划开展突发环境事件演练^[41]。加强应急处置设备研发与配置,研发输水干线可快速建立和拆除的拦截技术与装备,实现突发环境事件发生时,快速精准拦截受污染水体,配置水下隐患探测设备、空中巡查、应急救援和多功能应急抢险设备装备,大幅度提高抢险作业效率^[43]。优化应急物资储备仓库,构建多途径物资储备机制,加强应急设备、物资的管理,科学完善应急物资库物资配置,聚焦锁定重点风险源,做好应急物资库物资配置。

持续做好水质保护科技支撑。着力解决南水北调工程面临的突出水生态环境问题,聚焦中线工程水生态问题、中线总干渠高锰酸盐指数变化规律、长距离地下箱涵输水对水质的影响、东线工程硫酸盐治理、南水北调水生态调控等课题,持续加强机理机制研究,明晰具体影响。持续加强关键技术自主创新与成果转化,立足工程实际,围绕监测监控、应急处置等研发专用设备,聚焦污染防控、应急处置等研究专用技术,形成一系列掌握自主知识产权的技术、装备,推进国产化替代进程,打造调水工程水质保护技术集成示范样板。不断完善科技创新机制,锚定东、中线水质稳定达标且持续向好的目标,系统提出水质安全保障科技问题清单,每2~3年滚动修订,明确水质保护关键科技问题和研究方向。

4 结论

本文聚焦南水北调一期工程水质安全保障实践,系统分析了通水10年来水质安全保障的工作思路和整体成效,聚焦新时期发展需求,剖析了南水北调一期工程水质安全保障面临的新挑战,并针对性提出了对策建议,得到主要结论如下:

南水北调一期工程全面通水10年来,逐步形成了相对完备的“监测、保护、防控、应急、科研”为

一体的水质保护工作思路,以确保调水水质类别持续稳定达标为主要目标,形成以积极防范日常水污染风险和有效处置突发水环境事件为主要内容,以建立健全水质监测预警为重要手段,以加强科技创新和完善水质保护体系为重要支撑。通过持续构建完善五位一体的水质保护体系,南水北调工程水质安全保障能力持续提升,水质保护取得良好成效,东线工程水质稳定在地表水Ⅲ类及以上,中线工程水质稳定在地表水Ⅱ类及以上。

面对经济社会发展和南水北调工程效益持续发挥的需要,水质安全保障在水质监测、保护体系、风险防控、应急处置、科技支撑5个方面仍面临不少挑战,包括水生态环境监测监控体系需全面提升、水质保护联动机制亟待健全完善、风险防控能力还需增强、应急处置能力有待强化提高、科技支撑体系亟需统筹引领等,本文围绕提升水质水生态监测监控能力、推进水质安全保障协同机制建设、加强沿线污染风险源动态管理、提升应急处置能力以及做好水质保护科技支撑提出具体建议,可为推进新时期南水北调水质安全保障工作提供重要参考。

目前,南水北调后续工程建设有序开展,引江补汉工程进入全面施工阶段,南水北调西线工程前期工作持续推进,需充分吸收东、中线一期工程建设期和运行期水质保护经验,充分挖掘引江补汉工程、西线工程水质安全保障的新形势、新特点和新要求,围绕水质保护体系,提早谋划水质保护工作,有力保障水质安全,充分发挥工程效益。

参考文献:

- [1] 高媛媛,姚建文,陈桂芳,等.我国调水工程的现状与展望[J].中国水利,2018(4):49-51. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2018.04.025.
- [2] 何君,郇建强,李云玲,等.新形势下科学推进我国调水工程规划建设的若干思考[J].中国水利,2023(22):49-53. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2023.22.012.
- [3] 李原园.严格水质保障 确保清水北送:《南水北调工程供水管理条例》解读之四[J].水利发展研究,2014,14(3):5-6. DOI: 10.13928/j.cnki.wrdr.2014.03.017.
- [4] 金思凡,初京刚,李昱,等.南水北调中线工程水质监测站点布设研究[J].中国农村水利水电,2021(1):162-168. DOI: 10.3969/j.issn.1007-2284.2021.01.029.
- [5] 王国涛,张志华.胶东调水烟台段水质监测工作探究[J].水电站机电技术,2022,45(6):93-95. DOI: 10.13599/j.cnki.11-5130.2022.06.026.

- [6] 张俊芝, 哈建强, 李涛. 引黄输水工程水质变化特征分析及污染控制对策 [J]. *南水北调与水利科技*, 2010, 8(4): 67-70. DOI: 10.3969/SP.J.1201.2010.04067.
- [7] 王军亮, 马巍, 淦家伟, 等. 滇池补水工程入湖盘龙江河道水质演变特征及其驱动因素分析 [J]. *中国水利水电科学研究院学报(中英文)*, 2024, 22(5): 508-519. DOI: 10.13244/j.cnki.jiwhr.20240022.
- [8] 武汉辰, 徐征和, 马吉刚, 等. 引黄济青调水工程水质评价 [J]. *济南大学学报(自然科学版)*, 2023, 37(1): 7-16. DOI: 10.13349/j.cnki.Jdxbn.20220321.001.
- [9] 王新华, 吕响, 秦保平, 等. 引滦入津输水工程流域浮游动物和水质评价 [J]. *南开大学学报(自然科学版)*, 2002(1): 16-22.
- [10] 杜超, 田竹君, 苗金和, 等. 哈达山输水工程水质数值模拟研究 [J]. *东北水利水电*, 2013, 31(8): 29-31. DOI: 10.3969/j.issn.1002-0624.2013.08.011.
- [11] 易雨君, 唐彩红, 张尚弘. 南水北调中线工程典型渠段一维水动力水质模拟与预测 [J]. *水利水电技术*, 2019, 50(2): 14-20. DOI: 10.13928/j.cnki.wrahe.2019.02.003.
- [12] 石全, 颜志俊, 张玉珍, 等. 重大调水工程水质风险影响分析 [J]. *绿色科技*, 2018(6): 9-11. DOI: 10.16663/j.cnki.lskj.2018.06.004.
- [13] 曹倩, 郭小雅, 马吉刚. 胶东调水工程水质安全风险分析及管控对策研究 [J]. *中国水利*, 2019(20): 29-32. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2019.20.014.
- [14] 王浩, 郑和震, 雷晓辉, 等. 南水北调中线干线水质安全应急调控与处置关键技术研究 [J]. *四川大学学报(工程科学版)*, 2016, 48(2): 1-6. DOI: 10.15961/j.jsuese.2016.02.001.
- [15] 王一桐, 刘俊良, 张铁坚. 南水北调中线高碱水成因及其应急处置技术研究 [J]. *给水排水*, 2021, 57(4): 14-20. DOI: 10.13789/j.cnki.wwe1964.2021.04.003.
- [16] 魏晓燕, 贾新胜, 吕成熙, 等. 南水北调东线水质安全应急联动保障系统研究 [J]. *人民黄河*, 2019, 41(增刊 2): 40-41. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1379.2019.S2.016.
- [17] 彭祥. 南水北调工程总体规划前期论证历程总结、分析与评价 [J]. *中国水利*, 2024(8): 14-24. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2024.08.005.
- [18] 夏军, 陈进, 余敦先, 等. 变化环境下中国现代水网建设的机遇与挑战 [J]. *地理学报*, 2023, 78(7): 1608-1617. DOI: 10.11821/dlxb202307003.
- [19] 徐宗学, 庞博, 冷罗生. 河湖水系连通工程与国家水网建设研究 [J]. *南水北调与水利科技(中英文)*, 2022, 20(4): 757-764. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2022.0077.
- [20] 汪易森, 陈斌. 南水北调东线一期工程山东段通水效益分析与认识 [J]. *中国水利*, 2022(9): 4-7. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2022.09.009.
- [21] 吴险峰, 陈庆伟, 王冠, 等. 南水北调从科学研究到工程实践的几个关键问题 [J]. *地理学报*, 2023, 78(7): 1731-1743. DOI: 10.11821/dlxb202307013.
- [22] 高媛媛, 杨亚锋, 杨荣雪, 等. 南水北调东线一期工程受水区生态环境效益演变 [J]. *南水北调与水利科技(中英文)*, 2024, 22(3): 566-574. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2024.0058.
- [23] 梁建奎, 常志兵, 辛小康, 等. 南水北调中线输供水水质管理协作机制探讨 [J]. *中国水利*, 2019, 870(12): 9-12. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2019.12.006.
- [24] 李珏纯, 郑豪盈, 郭雪峰, 等. 南水北调中线干线工程水质安全保障概况及效益分析 [J]. *城镇供水*, 2023(增刊 1): 3-8. DOI: 10.14143/j.cnki.czgs.2023.s1.001.
- [25] 滕海波, 刘志芳, 范天雨. 南水北调东线一期工程水质保障策略研究 [J]. *项目管理技术*, 2021, 19(6): 135-139. DOI: 10.3969/j.issn.1672-4313.2021.06.023.
- [26] 刘兆孝, 习刚正, 王超. 南水北调中线工程水源地水质安全问题与对策思考 [J]. *中国水利*, 2024(20): 74-80. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2024.20.014.
- [27] 唐涛, 王树磊, 梁建奎, 等. 南水北调中线干线水源保护区水质风险源防控研究 [J]. *中国水利*, 2018, 857(23): 31-34. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2018.23.015.
- [28] 李飞. 维护南水北调中线水源工程“三个安全”实践与思考 [J]. *中国水利*, 2024(20): 15-20. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2024.20.005.
- [29] 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. DOI: 10.18307/2024.0500.
- [30] 纪小敏, 闻亮, 张鸣, 等. 洪泽湖入湖污染物通量分析 [J]. *江苏水利*, 2014(7): 45-46. DOI: 10.16310/j.cnki.jssl.2014.07.005.
- [31] 李颖, 张祯, 程建华, 等. 2012—2018 年洪泽湖水质时空变化与原因分析 [J]. *湖泊科学*, 2021, 33(3): 715-726. DOI: 10.18307/2021.0308.
- [32] 尹炜, 王超, 辛小康. 南水北调中线总干渠水质管理问题与思考 [J]. *人民长江*, 2020, 51(3): 17-24. DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2020.03.004.
- [33] 梁建奎, 肖新宗, 黄绵达. 南水北调中线总干渠输水水质保护面临的问题及对策研究 [C]// 中国水利学会调水专业委员会. 中国水利学会调水专业委员会 2022 年度学术论文集. 中国南水北调集团有限公司; 2022: 4. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2022.092235.
- [34] 郭芳, 刘信勇, 张鋈, 等. 基于层次聚类和水质指数法的南水北调中线总干渠典型年份水质变化特征分析 [J]. *环境工程学报*, 2024, 18(3): 644-652.

- DOI: [10.12030/j.cjee.202309079](https://doi.org/10.12030/j.cjee.202309079).
- [35] 王超, 贾庆林, 裴中平, 等. 南水北调中线总干渠典型渠段水体自净能力研究 [J]. *南水北调与水利科技 (中英文)*, 2020, 18(3): 127-141. DOI: [10.13476/j.cnki.nsbdkq.2020.0057](https://doi.org/10.13476/j.cnki.nsbdkq.2020.0057).
- [36] 孙甲, 韩品磊, 王超, 等. 南水北调中线总干渠水质状况综合评价 [J]. *南水北调与水利科技*, 2019, 17(6): 102-112. DOI: [10.13476/j.cnki.nsbdkq.2019.0141](https://doi.org/10.13476/j.cnki.nsbdkq.2019.0141).
- [37] 徐若诗, 逢勇, 罗缙, 等. 基于 WQI 的南水北调东线江苏段水质评价及时空分布特征 [J]. *环境科学*, 2024, 45(9): 5227-5234. DOI: [10.13227/j.hjks.202309174](https://doi.org/10.13227/j.hjks.202309174).
- [38] 郭鹏, 任静. 南水北调东线一期工程沿线历年水质变化分析 [J]. *南水北调与水利科技*, 2014, 12(1): 59-64.
- [39] 刘瑞艳, 张建华, 刘凌, 等. 南水北调东线工程调水期洪泽湖水质变化规律分析 [J]. *河海大学学报 (自然科学版)*, 2023, 51(2): 42-49. DOI: [10.3876/j.issn.1000-1980.2023.02.006](https://doi.org/10.3876/j.issn.1000-1980.2023.02.006).
- [40] 黄爱国. 在推进南水北调工程高质量发展中担当作为 [J/OL]. *水利发展研究*, 1-11 [2025-01-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4655.TV.20241122.1501.006.html>.
- [41] 袁其田, 陈文艳. 让千里水脉更好守护国家水安全: 写在南水北调工程全面通水十周年之际 [J]. *水利发展研究*, 2024, 24(12): 48-53. DOI: [10.13928/j.cnki.wrdr.2024.12.011](https://doi.org/10.13928/j.cnki.wrdr.2024.12.011).
- [42] 李勇. 南水北调工程运行管理成效与推进后续工程高质量发展的思考 [J]. *中国水利*, 2024(20): 6-9. DOI: [10.3969/j.issn.1000-1123.2024.20.003](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-1123.2024.20.003).
- [43] 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. DOI: [10.3969/j.issn.1004-7328.2024.11.017](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-7328.2024.11.017).

The practices and recommendations for water quality safety assurance in the South-to-North Water Transfers Project

TIAN Wei¹, CHEN Qingwei¹, WU Xianfeng¹, LIANG Kang²

(1. China South-to-North Water Diversion Corporation Limited, Beijing 100142, China; 2. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Securing water quality for long-distance water transfer initiatives is imperative for the enduring leveraging of the integrated benefits of such hydrological engineering endeavors. The South-to-North Water Transfers Project stands as the most extensive multipurpose water transfer scheme to date. A rigorous and systematic investigation into the water quality assurance strategies for the South-to-North Water Transfers Project is pivotal in offering critical insights and technological underpinnings for the water quality preservation in trans-basin water diversion undertakings. Over the decade since the full operation of the first phase of the South-to-North Water Transfers Project, the project has been running smoothly with continuously excellent water quality. The water quality of the first phase of Middle Route has remained stable at or above the Surface Water Category II standards, while the Eastern Route's first phase has continuously maintained Surface Water Category III standards. This has provided a substantial supply of high-quality water to the recipient areas, yielding significant economic, social, and ecological benefits. It is of great responsibility and importance to plan, organize, and implement water quality safety assurance for the South-to-North Water Transfers Project in the new era. This paper systematically reviewed the practical experience gained in ensuring water quality safety in the first phase of the South-to-North Water Transfers Project. Over the decade since the full operation, the project's operational management organizations have preliminary established a water quality monitoring system, continuously improved the water quality protection system, steadily advanced the prevention and control of water quality risks, and persistently enhanced emergency response capabilities. Robust efforts have been made in providing scientific and technological support, thereby establishing an initial framework for water quality safety assurance, and effectively enhancing the capability to ensure water quality safety. Over the decade, the role of the South-to-North Water Transfers Project has shifted from a supplementary to a primary one. The national requirements for water quality safety have continuously increased, presenting the project with new challenges and difficulties in ensuring water quality safety. Firstly, there is an urgent need to comprehensively upgrade the monitoring and control system for the aquatic ecological environment. The current aquatic ecological monitoring in the South-to-North Water Transfers Project is in its initial stage, and further

optimization of monitoring indicators and frequencies is required. Additionally, the foundation for monitoring emerging pollutants such as endocrine disruptors, antibiotics, and microplastics, which are of national concern, is relatively weak. Secondly, the interlinkage mechanism for water quality protection requires immediate refinement and improvement. Engineering operation and management entities need to further refine the mechanisms for government-enterprise coordination and vertically integrated pollution prevention and control. Thirdly, the capacity for risk prevention and control of water pollution needs to be enhanced. The project still faces risks and hidden dangers to water quality safety, including hazardous chemical transport accidents at bridge crossings, external water entering the canal, internal discharge of groundwater, damage to pipelines crossing oil-contaminated areas, and navigation-related risks. Fourthly, the emergency response capability for sudden water pollution incidents requires strengthening and enhancement. Fifthly, there is an urgent need to coordinate and lead the development of a scientific and technological support system for water quality protection. Confronted with the new situation and requirements, the project operation and management organizations were required to further improve the water quality safety assurance system and enhance management effectiveness. This paper planned the water quality safety assurance work for the project in the new era, aiming to refine and enhance the high-quality water quality protection system. It specifically proposed the next steps in five areas: water quality monitoring, protection system, risk prevention and control, emergency response, and scientific and technological support. These steps included continuously improving the monitoring and control capabilities for water quality and aquatic ecology, promoting the construction of a coordinated mechanism for water quality safety assurance, strengthening the dynamic management of pollution risk sources along the route, enhancing emergency response capabilities, and maintaining scientific and technological support for water quality protection. The research findings provided effective support for ensuring the water quality safety of the South-to-North Water Transfers Project and subsequent projects, safeguarding the continuous flow of clear water to the north.

Key words: South-to-North Water Transfers Project; water quality safety assurance; water quality monitoring; emergency response; pollution prevention and control

.....

(上接第 9 页)

to needs, satisfying the testing of different control algorithms. This study provides important technical support for the development and testing of control models in the field of canal water transfer engineering. MIL test can greatly improve the quality of control models, ensuring the reliability of canal water transfer control models in various working conditions, laying a solid foundation for improving the operational efficiency and safety of water transfer projects.

Key words: channel water delivery; model-in-the-loop test; hydrodynamic numerical simulation; control system; LabVIEW