

引用格式:张全发,刘贵华,占车生,等.面向国家水网构建,提升南水北调工程水安全保障能力.中国科学院院刊,2026,41(2):371-380,doi:10.3724/j.issn.1000-3045.20241105005.

Zhang Q F, Liu G H, Zhan C S, et al. Promoting water security of South-to-North Water Diversion Project for National Water Network. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2026, 41(2): 371-380, doi: 10.3724/j.issn.1000-3045.20241105005. (in Chinese)

面向国家水网构建, 提升南水北调工程水安全保障能力

张全发^{1,2*} 刘贵华^{1,2} 占车生³ 任小波⁴

1 中国科学院武汉植物园 武汉 430074

2 丹江口水库湿地生态系统湖北省野外科学观测研究站 武汉 430074

3 中国科学院大气物理研究所 北京 100029

4 中国科学院 可持续发展科技研究局 北京 100864

摘要 南水北调工程是国家水网构建的主骨架和大动脉,是实现我国水资源优化配置、促进经济社会可持续发展的重大战略性基础设施。目前,工程面临生态环境保护的迫切需求,包括东、中线水质不能稳定达标,中、西线水资源供给不确定性,受水区水环境演变和重构趋势不明,西线工程气象地质灾害风险不清,工程高质量发展智慧化内生需求等,亟待突破工程水资源、水环境和水生态的水安全基础理论及技术瓶颈,构建水源地—输水干渠—受水区一体化水安全保障体系,为南水北调工程高质量发展提供系统解决方案的同时,筑牢国家水网之纲,服务加快推进国家水网建设。

关键词 南水北调工程,高质量发展,水安全,生态安全,工程地质

DOI 10.3724/j.issn.1000-3045.20241105005

CSTR 32128.14.CASbulletin.20241105005

党的十九届五中全会和《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》明确提出实施国家水网的重大工程。水网

以自然河湖为基础,引调排水工程为通道,调蓄工程为结点,智慧调控为手段,集成水资源优化配置、流域防洪减灾、水生态系统保护等多种功能,构建

*通信作者

资助项目:国家自然科学基金重点项目(32430068)

修改稿收到日期:2026年1月25日

维系我国经济社会长期可持续发展的重大战略性基础设施^[1]。其中，南水北调工程的东线、中线和西线3条调水线路构成国家水网的主骨架和大动脉，与长江、淮河、黄河、海河等水系相互连接，形成我国水资源“四横三纵、南北调配、东西互济”的国家水网框架（图1）^[2]，实现国家水资源大范围的空间均衡配置。

2021年5月14日，习近平总书记在河南南阳主持召开推进南水北调后续工程高质量发展座谈会并发表重要讲话，强调“南水北调工程事关战略全局、事关长远发展、事关人民福祉”“要深入分析南水北调工程面临的新形势新任务”。2022年5月13日，水利部召开深入推进南水北调后续工程高质量发展工作座谈会，提出锚定全面提升国家水安全保障能力的目标，“优化东中线一期工程运用方案，构建中线工程风险防御体系”“提高总干渠输水效率”“推进西线工程规划”“建立覆盖引调水工程重要节点的数字化场景，提升南水北调工程调配运管的数字化、网络化、智能化水平”。

本文聚焦南水北调工程的水安全保障，对工程实施以来的水安全保护成效和面临问题进行论述，提出南水北调工程水安全保障研究建议，旨在筑牢国家水网之纲，高质量推进国家水网建设。

1 南水北调工程简介

南水北调工程是一项重要的战略性基础设施，旨在实现我国水资源的优化配置，促进经济社会的可持续发展，保障和改善民生。该工程的总体规划由国务院于2002年12月批准，包括东线、中线和西线3条线路（图1）。根据规划，南水北调工程年调水规模为448亿立方米，其中东线148亿立方米，中线130亿立方米，西线170亿立方米，预计完成建设需要40—50年的时间^[2]。

东线、中线一期工程分别于2013年11月15日和

2014年12月12日正式通水，累计调水已经超过760亿立方米，受益地区包括北京、天津、河北、河南等，为京津冀协同发展和雄安新区建设提供了重要支持。西线工程规划将长江上游170亿立方米水资源引入黄河上游，旨在解决黄河上中游地区和渭河关中平原的水资源短缺问题。目前，西线工程处于比选论证阶段，涉及金沙江石鼓以上、雅砻江和大渡河流域，总面积达42.0万平方千米。

2 南水北调工程水资源、水环境和水生态等水安全保护成效

2.1 南水北调工程在北方水资源支撑和保障方面的关键作用愈加显著

我国水资源时空分布不均衡，其中北方地区以占全国19%的水资源量，支撑46%的人口、63%的耕地和45%的经济总量。水资源已经成为制约生态文明建设、新质生产力和经济社会高质量发展的主要因素之一。近年来，党中央又先后提出了京津冀协同发展、黄河流域生态保护和高质量发展、河北雄安新区建设等国家重大战略，对加强和优化水资源供给提出了新要求。

南水北调工程在北方的水资源支持和保障方面发挥了关键作用。南水北调工程已逐步成为沿线大中型城市生活用水的主力水源，为当地的经济、社会和生态环境带来了巨大效益，受益人口超过1.85亿人。南水北调工程显著提高了北方城市的供水保障率，多个受水城市的供水保障率从不足75%提升至95%以上^[3]。例如，天津市主城区几乎完全依赖“南水”供应，而北京市城区的供水也已有70%以上来自“南水”，其人均水资源量由调水前的100立方米增加到2023年的190立方米。山东省的水资源配置也呈现出“T”字型的布局。此外，南水北调工程还累计生态补水100亿立方米，从根本上扭转了自20世纪70年代以来华北地区地下水位逐年下降的趋势^[4]。

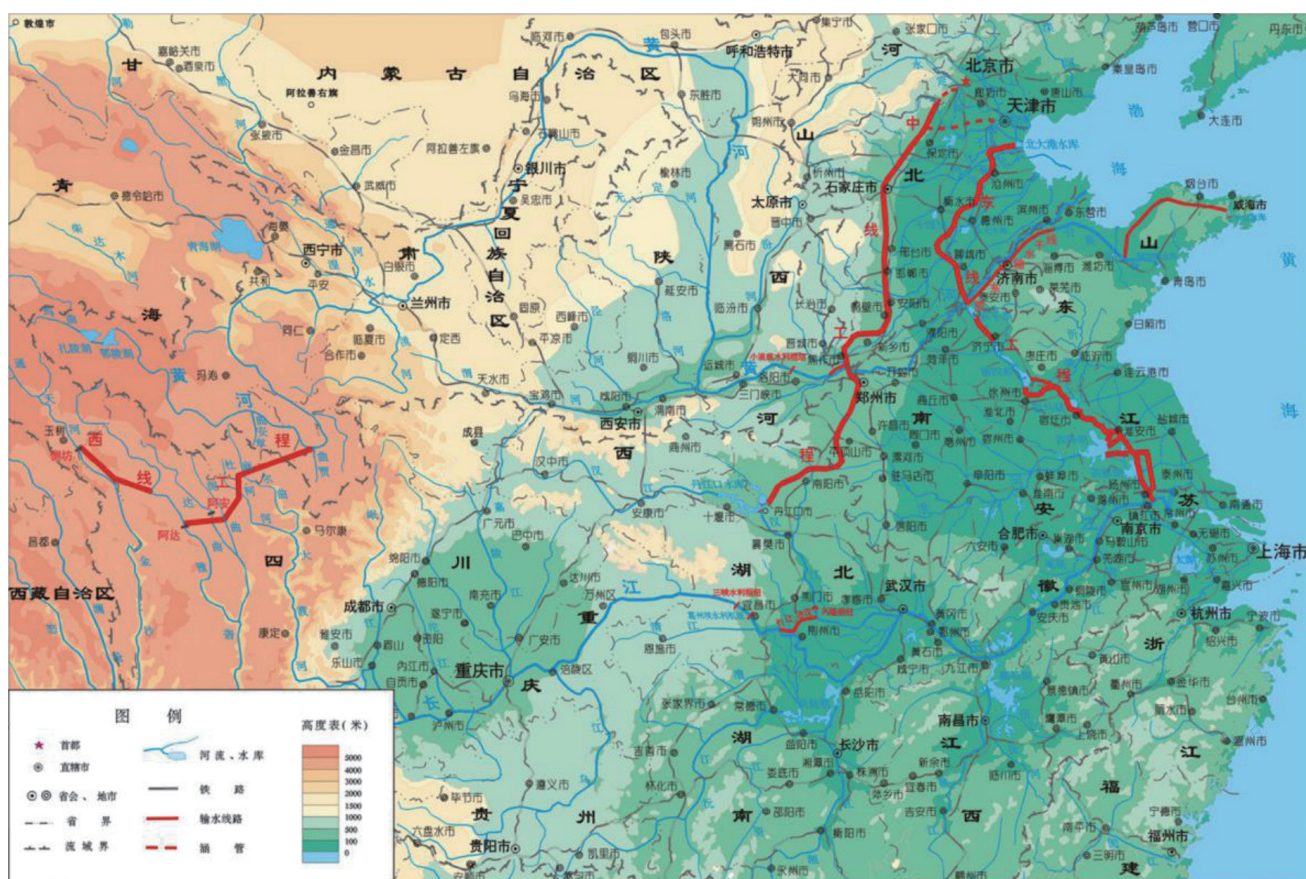


图1 南水北调工程东、中、西线总体布局图

Figure 1 Layout of the east, central, and west routes of South-to-North Water Diversion Project

2.2 大力开展水土流失防治，水源地生态系统质量整体稳定向好

依托长江上游水土流失重点防治工程和南水北调工程等国家重点工程的支持，大量生态修复项目得以展开。这些举措有效地控制了南水北调水源地的生态退化问题，使生态脆弱性由原来的“全域敏感”逐渐向“局部敏感”和“点上敏感”的方向转变。以中线水源地汉江上游为例，已经完成了大规模的生态修复工程，包括造林面积10 020平方千米，退耕还林还草面积1 393平方千米，综合治理石漠化土地面积413平方千米，治理水土流失面积1 976平方千米，新增湿地保护面积35平方千米^①。2000—2010年，丹江口水

库及上游地区的植被覆盖已从79.9%提升至81.2%，其中，植被的优良等级占比也从9.8%提高到了26.5%^[5]。水源涵养服务提升了11.4%，尤其是在水源地的安康市岚河、黄洋河、坝河上游等地，生态环境质量得到了显著改善。通过这些生态修复项目，水源地的植被覆盖逐渐提升，整体上生态系统质量稳步向好发展，维护了水源地生态平衡，提高了水资源可持续利用。

2.3 实施水源地流域治理，水环境质量持续稳定改善

为确保南水北调工程水安全，国务院相继批复了《丹江口库区及上游水污染防治和水土保持规划》《南

^① 中国人民共和国国家发展和改革委员会. 国家发展改革委等部门关于印发丹江口库区及上游水污染防治和水土保持“十四五”规划的通知. (2021-12-01). https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/202112/t20211208_1307088.html?state=123.

水北调东线工程治污规划》，以及相应的“十二五”、“十三五”和“十四五”规划。这些规划的实施在改善水环境质量、强化水污染防治及水土保持等方面取得了显著成果。以中线工程为例，在“十三五”期间，中线水源区关闭500多家规模以上污染严重的企业，取缔1000多家“十小”企业，新建1360千米的城市和县城污水管网，新增污水处理能力达48.3万吨/日，县城污水处理率达94.1%。2014年以来，丹江口水库库区的16个监测断面水质总体保持在Ⅱ类水或以上（不计总氮），主要断面总磷浓度基本控制在0.025毫克/升以下，总氮浓度稳定在1.0—2.0毫克/升之间。2020年水源区75个国家监测断面中，有73个达到或优于Ⅲ类水质标准，占比高达97.3%，比2015年提高了5.5个百分点。过去10年，入库河流水质在Ⅰ—Ⅲ类的比例明显提升，占比达到了85%以上，丹江口水库水质恶化的趋势得到了有效遏制^[6]。因此，通过实施综合规划和污染防治措施，水源地流域的水环境质量稳步改善，有力支持了南水北调工程的可持续运行。

2.4 构建水生态系统生物完整性监测网络，实现生态健康评估、保护与修复

为实现南水北调工程的生态健康评估、保护和修复，学界已对水生态系统生物完整性进行了系统性研究。针对南水北调工程的东线和中线，系统分析了南水北调工程的控制性工程和运行对生态系统的影响，特别是对区域水资源调配、生态水文过程、物质循环（包括泥沙、氮和磷营养盐）及生物栖息地质量带来的深刻变化。重点关注了河流和湖库等复杂水系统的“三水融合”、协同共治及靶向精准治理^[7]。揭示了重要的干支流、湖库水生态恶化的原因和演变规律，并阐明了不同尺度的物质迁移和生物地球化学循环的相互作用机制^[8]。此外，基于浮游植物、底栖藻类等生物完整性指数，发展了河流、湖库水生态完整性评估技术，明确水源地典型河流、湖库生态系统的主要指

示生物^[9]，提出了部分指示生物退化的主控因子，构建了流域全尺度水量、水质和水生态过程的综合模型及“三水融合”的时间和空间优化调控技术，从而提高了河流的自净能力，推动国家水网水生态安全保障体系的形成^[7]。

3 南水北调工程生态环境保护面临的问题

3.1 中线水源区水资源供给不稳定，生态屏障功能脆弱

水资源安全是水安全的根本。20世纪90年代以来，中线工程水源地丹江口水库年均入库水量由1960—1989年的409亿立方米，减小为1990—2020年的353亿立方米。特别干旱年份，如1997、1999、2001、2016年，入库径流量仅分别为165亿、171亿、214亿、175亿立方米。同时，全球气候变化与汉江上游经济社会发展等因素叠加，以及“引汉济渭”工程和鄂北地区水资源配置工程建成，丹江口水库供水压力将进一步加大。因此，未来复杂情势下丹江口水库供水安全及应对策略亟待深入研究。

中线和西线工程水源地分别位于我国生态脆弱地区的秦岭和青藏高原，大坝建设和水资源调配将改变局地小气候，破坏原有的大气-植被-土壤系统的生态平衡，改变物种的栖息地和生境，对生态系统的结构、功能和过程产生不可逆转的影响。特别是西线调水区位于青藏高原的多年冻土区，地势高寒、气候恶劣，自然条件非常严酷，植被稀疏，容易发生风蚀、水蚀、冻蚀等多种土壤侵蚀现象，受损生态系统的恢复将非常缓慢。中线水源地的植被主要是幼龄、中龄林和低效林，生长缓慢，固土保水能力较差，仍有19000平方千米的水土流失面积急需治理，占水源区总面积95200平方千米的20%。核心水源地年平均侵蚀模数为2394吨/平方千米，库区周边部分地区甚至达到4100吨/平方千米^[10]。

3.2 东线和中线面源污染严重,水质不能稳定达标

东线和中线位于人口密集地区,特别是东线工程利用现有运河、河流、湖泊输水,农业种植、养殖业和城市初期雨水排放等面源污染物直接排入河湖水体,面源污染压力大。而对于中线工程,丹江口水库氮含量多年来一直保持在较高水平,总氮浓度长期维持在1.0毫克/升以上(Ⅲ类水质标准)^[11],有些月份甚至接近2.0毫克/升(V类水质标准),远远超出规划的Ⅱ类水质标准^[6]。局域库湾呈富营养状态,藻类异常增殖现象时有发生^[12]。中线水源地主要以农业为主,传统种植业占农业总产值的54%。部分地区化肥使用量以年均5.5%的速度上升,氮肥使用量每年平均为324千克/公顷,远远超过了225千克/公顷的安全上限,而利用率只有约30%左右,大量化肥通过地表径流进入河流和水库^[13]。据统计,水源地49个区县农业面源排放的总氮约9 221吨,总磷约2 721吨^[12]。因此,面源污染成为确保工程水质安全的关键挑战。同时,2015年的监测结果表明,输水干渠内藻密度平均值范围为442万—889万cell/升^[14],超过世界卫生组织推荐的饮用水源危险限值,藻类水华频繁暴发,淡水壳菜过度生长,直接威胁到输水安全。

3.3 受水区水环境演变和重构趋势不明,存在生态安全隐患

水资源是维系区域生态环境的决定因素,南水北调工程将增加受水区京津冀地区水资源量,区域生态环境将因此而改变,跨流域调水存在潜在的生态健康风险。水源区和受水区的水混合后可能导致受水水体的水化学变化,进而影响水生态系统健康。输水线路形成的水生生物迁徙廊道将增加地区间物种和基因交流频率,威胁土居生物群落生态安全。研究表明,须鳃虾虎鱼(*Taenioides cirrat*)已通过南水北调东线由长江口入侵山东和北方多个水域^[15]。此外,如何综合评价跨流域调水的综合效益仍然是一个新的课题。目前已经初步形成综合应用生态、社会、

经济参数的层次分析法评价指标体系,以及耦合压力-状态-响应模型、网络层次分析法和元胞自动机-马尔科夫模型的评价技术。在跨流域长距离调水背景下,依据受水区所处的地理、社会 and 经济发展状态差异,区域生态安全评价呈现新特点、新态势、新问题,因此,需要建立针对工程受水区的生态社会效益综合评价体系。

3.4 西线工程区气象地质灾害风险预警不清

正在比选论证的西线工程方案需在高原、高寒、强震地带建设300米左右的高坝和大规模导流隧道工程,具有坝高大、输水隧洞长的特点,工程复杂且难度极大,是工程建设的技术瓶颈^[2]。此外,枢纽工程的建设将直接改变原有的地质结构和地质环境,增加了地震、融冻、滑坡、泥石流等地质灾害的潜在风险。新建水库会改变河源地的局部气候,可能引发干旱、雷暴、冰雹等气象灾害及次生灾害。西线工程的供水会显著增加受水区的河川径流,从而改变河流水沙关系和水环境,重构其生态系统结构和功能,增加生态系统的风险。同时,还需要开展河流生态系统的监测和评估,以了解供水对生态系统的影响,采取必要的生态修复措施,以减轻生态系统的风险。综合考虑地质、气象和生态等多方面因素,将有助于确保西线工程的顺利建设和可持续运行。

3.5 南水北调工程高质量发展智慧化内生需求

南水北调工程高质量发展智能化的核心是研发水安全高保真模拟与调控平台,实现信息空间和物理空间的无缝集成与实时映射,从而对物理空间对象进行实时同步、虚实映射、高保真度等,从而对工程区全生命周期监控、诊断、模拟、预测、决策、控制和管理,实现工程管理决策最优化设计,但目前还存在系列科学问题和难点有待突破。例如,在物理流域全景感知和共融维度,如何构建天空地水工一体化传感网,实现流域实体智能感知与互联互

通,实时获取实体多维度数据;在虚拟流域高保真模型维度,如何构建流域动态多维多时空尺度高保真模型,保证和验证模型与物理水网实时交互和模拟互馈;在多项调水工程的智能大模型维度,面向调度智慧体系的适应性管理决策方法尚不成熟,缺乏实时决策的人工智能(AI)大模型。

4 南水北调工程生态环境保护 and 高质量发展的科学研究建议

推进南水北调后续工程的高质量发展的核心在于确保水资源的空间均衡配置,合理确定调水规模,加强对工程水源地、输水干线(渠)及受水区的生态环

境保护,促进生态环境的改善,从而实现工程安全、供水安全和水质安全。为此,需要综合考虑南水北调工程在水资源、水环境、水生态、地质气象灾害和智能化等方面的科学需求,提出一系列包括流域系统治理和水资源预测等多项施策技术体系,支持南水北调后续工程的发展(图2)。在此基础上,本文提出6个方面研究建议,旨在探索水安全研究的新范式,突破水安全理论体系,创新水安全保障技术,提供系统性的解决方案,以确保南水北调工程可持续运行。

4.1 加强水源地水资源演变与预测能力,科学高效调配水资源

水源地的水资源量是南水北调工程能否长期平稳

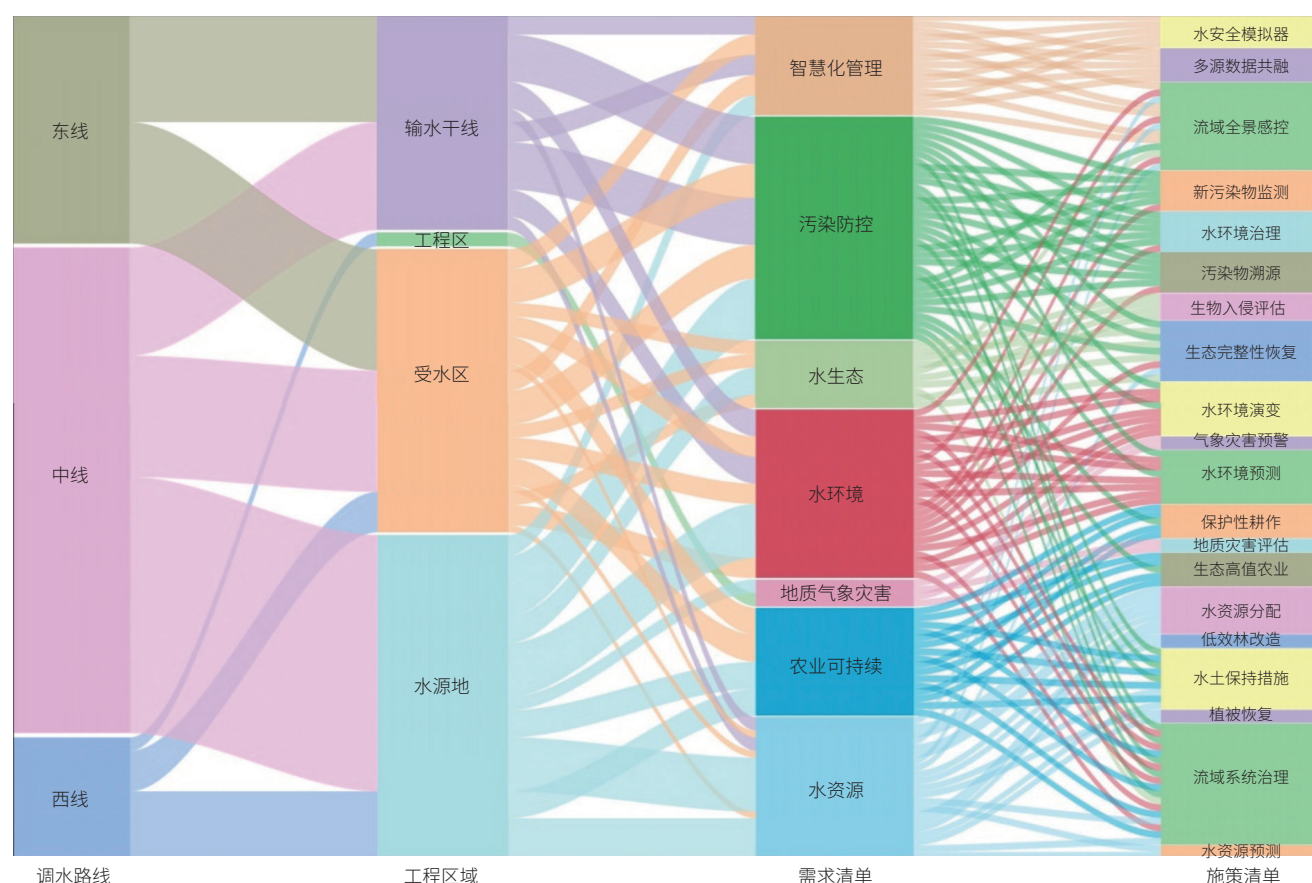


图2 南水北调工程生态环境问题与施策清单

Figure 2 Environmental issues and policy measures of South-to-North Water Diversion Project

连接线粗细代表关联紧密度与优先级,线条越粗代表该需求是工程区域的核心关切或该措施是解决需求的关键手段

The thickness of connecting lines represents the strength of relationship and priority. The thicker the line, the more it signifies that demand is a core concern of the project area or that measure is a key means to address demand

运行的关键。以中线工程为例，其规划年调水量约占多年平均入丹江口水库径流的24%^[3]。由于汉江上游降水减少，近年入库径流量总体呈下降趋势。全球气候变化、汉江上游经济社会发展以及植被变化等因素都将显著影响入库径流量和水资源量。与此同时，随着“引汉济渭”工程和鄂北地区水资源配置工程建成通水，丹江口水库供水压力还将进一步加大。西线仍在比选论证阶段，亟须突破高寒、脆弱水源地水资源演变精准预测的理论与技术瓶颈。因此，未来复杂情势下水源地的水资源安全及应对策略亟待深入研究，建议定量重建中、西线工程水源区过去500年水资源变化，揭示其多时空尺度演变规律与驱动机制；开发耦合自然-社会系统及多圈层的高时空分辨率径流模型，量化未来全球变化背景下区域水资源演变趋势，提出多目标协同的水灾害预测、水资源调配与预警方案。

4.2 巩固生态环境保护成效，筑牢水源地生态安全屏障

污染控制是南水北调工程成功的关键，是工程发挥效益的主要制约因素。巩固生态环境保护与建设成效，筑牢水源地生态安全屏障的关键在于抓准岸上根源，解决水里问题。强化岸上生态保护，通过植被恢复、湿地保护和农田生态工程等措施，减少水源地污染和侵蚀，提高水质净化和自净能力。进行水体污染治理，加强监测和排污管控，严控有害物质进入水体。开展中线水源区生态恢复障碍诊断及破解技术研发，形成水源涵养区近自然修复技术体系；突破丹江口水库岸线生态缓冲带构建和农业氮磷污染防控技术瓶颈；创新东线湖泊流域生态系统多功能性提升与水质保障技术，开展东线调水沿线典型污染物一体化流域综合治理。创新“土地利用格局-产业结构-氮磷排放负荷管控-水质保障”的农业污染治理技术，建立体现“一区一策”的差异化与精细化管理体系。

4.3 实施健康河流行动，全面提升“三水融合”的工程水安全保障

河流水系是水资源的重要载体，也是水分循环的重要路径和水污染问题体现最为集中的区域。近10年来，国内学者对河流健康评价和综合生态治理进行了多种层次的理论探讨，河流管理者也陆续提出了“健康长江”“健康黄河”“健康珠江”的发展目标，但是我国的河流评价依然采用的是基于水质参数的《地表水环境质量标准》，水利部于2026年1月刚颁布《河湖健康评价规范》，远远不能满足我国社会经济发展对河流生态系统服务功能的需求。迫切需要大力加强我国河流修复的理论研究、标准制定和技术体系建设，揭示河库渠系统的水生态环境演变规律，建立中长期水质预测模型，构建水质风险预警系统；精准解析河库渠系统氮磷等关键污染物的来源及其贡献，突破其高效降解与去除的技术瓶颈；研发干渠人工生态系统构建、调控与水质提升技术，制定切实可行“健康河流”行动计划，消除各种环境胁迫，恢复河流有活力的水生态系统功能，提高河流自我修复的能力。

4.4 开展西线工程区气象地质灾害预研，突破工程区防灾减灾技术

西线调水工程区位于青藏高原东北部，环境恶劣和地质灾害制约着西线工程的实施。地震、活动断层、泥石流、冻土和高地应力是西线调水区的主要地质灾害，如何有效防控工程地质气象灾害，是西线工程规划面临的重点难题。需要将地质理论分析和工程技术相结合，综合运用多种勘探手段，查清西线工程区地质灾害分布状况和发育规律，全面掌握活动断层、地震、冻土等地质灾害对水利工程的潜在风险，优选稳定条件良好的工程建设区域和地段规划调水线路。因此，建议开展西线工程区深埋长隧洞工程和超高库坝工程诱发的典型地质灾害扰动诱发机理，突破灾害敏感区域和敏感对象的辨识与预测技术，研发典型地质气象灾害防控关键技术，构建基于卫星、无人

机和北斗高精度监测的灾害智能监测与预警技术平台,提出综合减灾防控方案。

4.5 启动受水区区域生态安全评估,确保京津冀生态安全

南水北调中线调水以来,为京津冀受水区补充了生态用水,河湖湿地复苏,区域生物多样性提升,生态环境效益初步显现。但是,如何综合评价跨流域调水的综合效益仍然是一个新的课题。确保跨流域调水的区域生态安全,一方面受水区要坚持遵循科学规律,研判水资源的长远供求趋势及区域分布特征,进行水资源总量控制,促进水资源高效利用。另一方面,迫切需要研究水源区及输水沿线各类动植物的扩散迁移能力,评估流域间物种迁移对受水区生物区系、食物网结构及生态系统功能的潜在影响。提出水环境和水生态安全的管理对策。因此,需要加强调水背景下受水区水环境演变趋势与生态安全格局研究,重点突破京津冀地区水环境演变预测模型及生态安全评估技术体系,开发高时空分辨率的“水文水动力—水环境—水生态”耦合模型;评估水源地及输水沿线入侵生物和病原生物随水流扩散的潜力和致灾风险,提出跨流域调水生物安全与防控管理对策;构建以水安全为核心的区域生态安全格局,提出保障受水区生态环境可持续发展的应对策略。

4.6 构建水安全高保真模拟器,实现跨流域调水工程的智慧化管理

南水北调工程的水安全模拟与调控平台建设是南水北调高质量发展的内生需求。水安全模拟器的核心是构建仿真模型以实现信息空间和物理空间的无缝集成与实时映射,从而对物理空间对象进行全生命周期管控。工程区水安全模拟器是实现智慧流域理想目标的最佳技术路径。从国家层面,智慧流域已经写入《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》,与大数据、人工智能、5G通信等一起成为国家数字化战略

的新技术。因此,建议构建基于定点观测、卫星遥感、无人机和北斗高精度监测的空-天-地一体化的智能数据监测与同化系统和风险评估方法体系,研发多过程、多时空尺度耦合的高保真水安全模拟器,建立水安全保障智慧管理和决策平台,实现中线调水工程监测-预警-模拟-调度-评估-调控一体化的智慧化管理和决策支持。

参考文献

- 1 中共水利部党组. 加快构建国家水网 为强国建设民族复兴提供有力的水安全保障. 中国水利, 2023, (13): 1-4.
Party Group of the Communist Party of China of the Ministry of Water Resources. Accelerating construction of the national water network to safeguard water security for the country and national rejuvenation. China Water Resources, 2023, (13): 1-4. (in Chinese)
- 2 水利部南水北调规划设计管理局. 南水北调工程总体规划内容简介. 中国水利, 2003, (2): 11-13.
Bureau of South to North Water Transfer of Planning, Designing and Management, Ministry of Water Resources. Introduction to the overall planning of the South-to-North Water Transfer Project. China Water Resources, 2003, (2): 11-13. (in Chinese)
- 3 关伟. 南水北调工程关键技术研究进展. 人民长江, 2022, 53(1): 167-174.
Guan W. Summary on key technology research progress of South-to-North Water Diversion Project. Yangtze River, 2022, 53(1): 167-174. (in Chinese)
- 4 Niu X Q. The first stage of the middle-line South-to-North Water-Transfer Project. Engineering, 2022, 16: 21-28.
- 5 Qi W H, Li H R, Zhang Q F, et al. Forest restoration efforts drive changes in land-use/land-cover and water-related ecosystem services in China's Han River basin. Ecological Engineering, 2019, 126: 64-73.
- 6 Tan X, Xia X L, Li S Y, et al. Water quality characteristics and integrated assessment based on multistep correlation analysis in the Danjiangkou Reservoir, China. Journal of Environmental Informatics, 2015, 25(1): 60-70.

- 7 张全发, 苏荣辉, 江明喜, 等. 南水北调工程及其生态安全: 优先研究领域. 长江流域资源与环境, 2007, 16(2): 217-221.
Zhang Q F, Su R H, Jiang M X, et al. The South to North Water Transfer Project and its ecological security: The priorities. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2007, 16(2): 217-221. (in Chinese)
- 8 Li S Y, Ye C, Zhang Q F. 11-Year change in water chemistry of large freshwater Reservoir Danjiangkou, China. Journal of Hydrology, 2017, 551: 508-517.
- 9 Tan X, Ma P M, Bunn S E, et al. Development of a benthic diatom index of biotic integrity (BD-IBI) for ecosystem health assessment of human dominant subtropical rivers, China. Journal of Environmental Management, 2015, 151: 286-294.
- 10 朱明勇, 谭淑端, 张全发. 南水北调中线水源地土壤侵蚀经济损失估算. 水土保持通报, 2014, 34(5): 190-195.
Zhu M Y, Tan S D, Zhang Q F. Economic loss estimation of soil erosion in water source area of middle route of South-to-North Water Transfer Project. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2014, 34(5): 190-195. (in Chinese)
- 11 Wang L, Shang S H, Liu W Z, et al. Hydrodynamic controls on nitrogen distribution and removal in aquatic ecosystems. Water Research, 2023, 242: 120257.
- 12 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. 中国水利, 2024, (20): 74-80.
- Liu Z X, Xi G Z, Wang C. Water quality safety issues and measures for water source areas of the Middle Route of the South-to-North Water Diversion Project. China Water Resources, 2024, (20): 74-80. (in Chinese)
- 13 褚钰, 朱九龙, 付景保. 南水北调中线水源地农业面源污染时空演化特征. 南水北调与水利科技(中英文), 2023, 21(4): 800-809.
- Chu Y, Zhu J L, Fu J B. Temporal and spatial evolution characteristics of agricultural non-point source pollution in water source of the Middle Route of the South-to-North Water Transfers Project. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2023, 21(4): 800-809. (in Chinese)
- 14 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. 人民长江, 2020, 51(3): 17-24.
Yin W, Wang C, Xin X K. Thinkings on water quality management of main channel in Middle Route of South-to-North Water Transfer Project. Yangtze River, 2020, 51(3): 17-24. (in Chinese)
- 15 王亚楠, 李秀启, 客涵, 等. 基于线粒体 *COI* 基因序列的南四湖外来须鳃虾虎鱼的种类鉴定. 水产学杂志, 2017, 30(6): 12-18.
Wang Y N, Li X Q, Ke H, et al. Application of DNA barcoding gene *COI* for identifying taenioides cirratus in nansi lake. Chinese Journal of Fisheries, 2017, 30(6): 12-18. (in Chinese)

Promoting water security of South-to-North Water Diversion Project for National Water Network

ZHANG Quanfa^{1,2*} LIU Guihua^{1,2} ZHAN Chesheng³ REN Xiaobo⁴

(1 Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China;

2 Danjiangkou Wetland Ecosystem Field Scientific Observation and Research Station, Wuhan 430074, China;

3 Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

4 Bureau of Science and Technology for Sustainable Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100864, China)

Abstract The South-to-North Water Diversion Project is a crucial infrastructure initiative aiming at optimizing nation-wide distribution of water resources, meanwhile fostering sustainable economic and social development, and ensuring the well-being of the people. The project, with its extensive scope and high technical complexity, particularly in the middle and west routes located in biodiversity hotspots such as the Qinling Mountains and the Qinghai-Xizang Plateau, may alter local microclimates, potentially triggering meteorological disasters such as droughts, thunderstorms, and hail, along with secondary hazards. The implementation of the project may also disrupt the local hydrological conditions, disturb the balance of the existing atmospheric-vegetation-soil system, and significantly impact biodiversity as well as the structure, function, and processes of ecosystems. Additionally, effective control of pollution in the water source areas and conveyance channels is crucial for the project's success. Therefore, it is recommended to undertake technological innovations in ecological environmental evolution and mitigation of adverse effects, regional climate change and water resource allocation in water source areas, protection and pollution control of water ecological environments in water source areas, geological hazard risk assessment and prevention in project areas, research and development, and integration of technologies for ensuring water quality in conveyance channels, optimization and regulation of water ecological environments in receiving areas. These innovations aim to: (1) overcome technological bottlenecks in water resources, water environments, and water ecology; (2) establish an integrated water security system for water source areas, conveyance channels, and receiving areas; and (3) provide systematic solutions on the water safety for the South-to-North Water Diversion Project. Ultimately, such efforts will build a strong backbone for the national water network and promote the construction of the national water network with high quality.

Keywords South-to-North Water Diversion Project, high quality development, water security, ecological security, engineering geology

张全发 中国科学院武汉植物园研究员。主要从事流域生态学和全球变化生态学研究,在水资源保护和大型水利工程生态安全等方面取得了系统研究成果。E-mail: qzhang@wbgcas.cn

ZHANG Quanfa Professor of Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences (CAS). His research fields include watershed ecology and global change ecology. He has achieved systematic research achievements on water resources protection and ecological security related to major hydraulic engineering projects. E-mail: qzhang@wbgcas.cn

■责任编辑: 张帆

*Corresponding author