

# 北方超大城市三水协同科技支撑路径研究

温娟, 周滨, 张超

(天津市生态环境科学研究院, 天津 300191)

**【摘要】**本研究针对北方超大城市在推动水资源、水环境、水生态三水统筹协同治理过程中存在的科技和管理支撑短板,从理论科研、技术科研和决策科研三个维度,深度探讨了北方超大城市实现三水协同的科技支撑路径,以期为我国北方城市单元和城市群三水问题的科学统筹提供破题思路和借鉴。

**【关键词】**超大城市; 三水协同; 防控技术; 管理政策

中图分类号: X21 文献标识码: A 文章编号: 1673-288X(2024)03-0040-05 DOI: 10.19758/j.cnki.issn1673-288x.202403040

随着我国城市化进程不断推进,城市人口规模持续扩大,超大城市及城市群逐步形成<sup>[1]</sup>。城市对于水资源、水环境和水生态(简称三水)的内在需求也随着城市扩张与日俱增<sup>[2]</sup>。水作为生命之源、生产之要和生态之基已成为超大城市可持续发展的重要基石<sup>[3]</sup>。党中央国务院高度重视城市可持续发展,习近平总书记在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上的讲话中,明确提出以水定城、以水定地、以水定人、以水定产的“十六字”治水思路。重视水资源、水生态、水环境承载力,合理控制城市发展规模,优化空间布局,调整产业结构,促进城市实现良性运行和可持续发展。我国幅员辽阔,水资源禀赋南北差异明显,导致城市单元和城市群在生产、生活和生态用水(三生用水)方面的需求同现实优质水源供给之间差异较大。

超大城市通常是指常住人口超过 1000 万的城市,随着城镇化战略推进,超大城市群已经成为区域经济社会发展的重要载体<sup>[4]</sup>。我国目前有 10 个超大城市,其中,北京市和天津市(图 1)作为我国北方两个超大城市,承担着我国现代化建设先行区、示范区的重要职责,是全国和北方政治、经济和文化发展的重要引擎,可

支配的水资源量却极度匮乏,人均本地水资源占有量仅为全国平均水平的 1/20 和 1/15<sup>[5-7]</sup>,远低于世界公认的缺水警戒线,城市供水水源绝大部分依赖外调补给,呈现出极强的客水依赖特征,与南方超大城市相比,城水矛盾更为突出,成为制约北方超大城市可持续发展的重要因素。国内外大量研究与实践表明,充沛、良好的水动力条件可以加速入河污染物的迁移和降解,为水环境以及水生生物栖息生境的改善提供物质保障<sup>[8-9]</sup>;同时,结构稳定、物种多样的水生态系统亦能提升水体自净能力,增加水体环境容量<sup>[10]</sup>,目前,三水协同已成为国内外破解城水矛盾的重要抓手。



图 1 北方超大城市空间关系

项目资助:天津市“131”创新型人才队伍资助项目。

作者简介:温娟,正高级工程师,主要从事环境规划与环境管理研究。

运用科技手段统筹推进三水协同治理,既是推动北方超大城市可持续发展的当务之急,又是破解区域三生用水矛盾的关键之需。现有科技手段和现行管理支撑体系大多着眼于单一水资源指标或水资源和水环境双指标,缺乏对三水协同的统筹考虑<sup>[11]</sup>。特别是对于水资源短缺型超大城市的方向引领和科技支撑乏力。存在多要素、跨介质、跨区域以及长时序背景下涉水污染物的传输、扩散机理不清、路径不明,大数据、人工智能、物联网、数字孪生等新一代信息技术与各地三水协同深度融合不足,支撑三水协同创新管理的政策供给不足等科技支撑短板<sup>[12]</sup>。

本研究以科技支撑我国北方超大城市三水协同为切入点,从厚植科研基础、创新科技赋能和优化政策供给三个维度,深度探讨支撑北方超大城市三水协同的优化路径,为我国北方超大城市三水统筹提供破题思路与参考。

## 1 我国北方超大城市三水协同及科技支撑现状

### 1.1 三水协同理念的发展

三水协同理念是各国在漫长的涉水实践过程中逐步形成的。美国自上世纪70年代开始,着手在全国范围内设置水环境与水生态协同管理目标,1972年颁布《清洁水法》,提出要恢复和维持国家水域的化学、物理和生物的完整性目标要求<sup>[13]</sup>。欧盟2000年颁布《欧盟水框架指令》,将保护和恢复水生生态系统的结构和功能作为流域管理目标,强调对流域的生物指标以及支持生物指标的水文地貌、物理化学指标进行监督管理<sup>[10]</sup>。欧美等发达国家经历了“先污染,后治理”的发展历程,其水环境治理阶段大致分为污染的初期治理、污染源控制与治理、水体的生态修复和流域尺度的系统治理修复。随着流域污染治理的逐步完成,水污染治理目标已由单纯的“污染控制”发展为“水生态修复与恢复”,实现由“水污染控制”向“流域水生态系统健康保护”转变<sup>[14]</sup>。

我国三水协同治理理念是在《重点流域水

生态环境保护“十四五”规划》(简称《规划》)中首次完整提出<sup>[15]</sup>,《规划》创造性地指明了三水统筹的水生态环境保护框架思路:三水是水域生态系统相互联系、相互支撑的一个有机整体,任何“一水”都需要其他“两水”协同推进<sup>[10]</sup>。2022年9月,在“中国这十年”系列主题新闻发布会上,生态环境部部长黄润秋指出,进入新发展阶段,生态环境部将着力推动水生态环境保护由水污染防治为主,向水资源、水生态、水环境“三水统筹”转变<sup>[16]</sup>,这标志着我国治水从以污染防治为主进入到以三水统筹为核心的重要阶段<sup>[10]</sup>。

### 1.2 我国科技支撑三水协同工作的动态与进展

近年来,我国部分省市和地区围绕三水协同的总体要求,在强化基础研究、创新科技赋能以及优化管理模式等方面进行了有益的实践与探索。长江流域作为国家和全球战略型生态宝库,率先在其沿线省市开展了三水本底要素初步调查,对重点片区入江污染物迁移、转化过程开展了机理研究<sup>[17]</sup>,同时创新性地将土著鱼、土著水生植物等生态功能恢复性指标纳入政府考核机制<sup>[18]</sup>。黄河流域结合河流多沙特点,对黄河沿线重点区域开展了多沙背景下的水动力与水环境耦合模拟,同时围绕河流纳污能力、生态流量、河流健康等开展了系统性研究与示范<sup>[18]</sup>。相关探索与实践为我国超大城市三水协同治理提供了借鉴思路,但能够靶向北方超大城市三水协同关键之需,在理论科研、技术科研和决策科研三个维度协同创新的成熟模式尚未形成。

### 1.3 北方超大城市三水协同的现状与需求

由于北方超大城市上游优质水源补给短缺,北京市和天津市的人均水资源量分别为 $109\text{ m}^3$ 和 $122\text{ m}^3$ ,位于全国主要城市倒数水平(图2)<sup>[6-7,19-26]</sup>。加之,两个城市自身快速发展带来的取排水需求不断增长,导致北方超大城市三水间的矛盾相互叠加。目前北京市优良水质比例为77.9%<sup>[27]</sup>,天津市仅60%,均位于全国末位(图2)<sup>[28]</sup>。天津市在近10年的水环境治理过程中,城镇污水处理厂主要污染物排指

标衔接了地表水环境质量标准,极大增加了包括城市再生水在内的非常规水源生态补给,入海河流水质有了明显改善,12条入海河流从2017年的“全部为劣”到2020年“全部消灭”再到如今大部分满足“四类”,区域性治理取得阶段性成效,在很大程度上减少了由陆向河的排污总量<sup>[28]</sup>。但随着我国水生态保护工作重点从污染防治到三水协同的逐步推进,北方超大城市需要应对如何在有限水资源条件下实现水环境“由劣转优”的深度提质,以及如何通过三水协同满足北方超大城市三生用水之需,衍生出一系列科技需求。

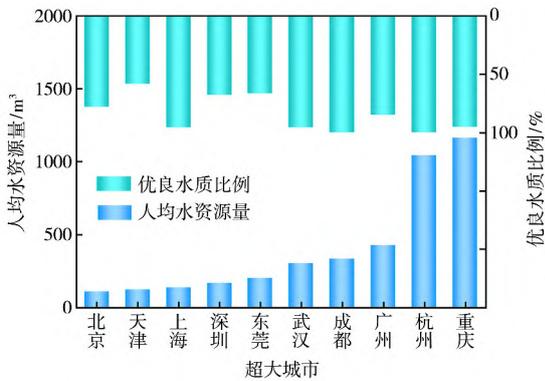


图2 超大城市 2022 年人均水资源量及优良水质比例

## 2 科技支撑北方超大城市三水协同存在的问题与挑战

在超大城市特别是水资源短缺型北方超大城市,实现三水协同是一项复杂的系统工程,涉及水资源开发利用、水环境保护及水生态安全等多方面的深度融合,科技是在重点领域和区域破题的关键。目前北方超大城市群在相关领域的基础性研究、科技赋能手段以及管理模式创新等方面存在不同程度的短板。

### 2.1 三水要素底数不清、作用机理不明,是制约三水深度协同的理论瓶颈

近年来,国家围绕北方超大城市主要河流的水环境与水生态状况开展了一系列的专题摸排与评估,初步掌握了主要河流的部分三水数据<sup>[29-30]</sup>。但在宏观时空维度上,数据碎片化、瞬时化、单质化严重,缺少对于目标水体或目标流域大尺度、长时序、多介质的协同观测,针对

城市主要河道的三水数据底档尚未建立;三水要素间的相互作用关系尚不明晰;主要入河污染物在不同水资源供给场景下的跨介质、跨流域迁移、扩散和转化机理尚不明晰;典型湖库和滨海湿地单元在差异性水力负荷和外源养分输入背景下的藻华爆发机理及水体自净机制尚未掌握;差异水况下,陆海环境要素间的协同响应关系尚不明晰了。相关领域的科研基础不足,无法满足对于超大城市三水深度协同的理论支撑。

### 2.2 科技赋能手段及新质生产力融合不足是制约三水深度协同的技术瓶颈

近年来,随着大数据、5G、区块链、物联网、人工智能等数字技术的兴起,“互联网+”技术正成为生态环境监管和污染防治不可或缺的手段,水生态环境治理凭借数字技术,正逐步走向精细化、数据化、智能化。但在现阶段,城市层面的生态环境监管和污染防治尚未形成深度融合,新质生产力赋能涉水工作的提升空间较大,上下游、左右岸、跨区域以及跨流域的三水协同数据尚未形成联动响应;数字技术与卫星遥感和地面监测技术的结合尚不紧密,“空天地”一体化的动态监测与调控尚未实现;各级管理部门之间涉水数据孤岛尚未打通。科技赋能三水协同的新质动能尚未得到有效释放,数字技术助力水生态环境保护的潜力尚待大力挖掘。

### 2.3 考核导向及管理模式滞后是制约三水深度协同的管理瓶颈

现行水生态环境保护实操过程中,不同涉水管理部门依然是以所辖领域的单要素评价与管理作为主要工作出口,能够满足新形势下三水协同理念的考核导向和管理模式尚未形成;部门间缺乏专业数据的发布与共享协同机制,不同管理口径间存在数据壁垒,有效数据合力优势未能充分发挥;激励地方开展三水协同理念创新试点的政策出台不足,限制了地方先行先试的主观积极性。现行的考核与管理在一定程度上未能同三水协同新理念形成落地响应。

### 3 关于科技支撑北方超大城市三水协同的路径建议

北方缺水地区超大型城市独特的“城水矛盾”是城市建设发展亟待解决的关键问题。要改善水资源、水环境及水生态现状,建设美丽中国先行区、示范区,需要围绕三水发展新质生产力、深化三水统筹兼顾系统治理、完善三水协同在管理层面的顶层设计,以三水协同解决三生用水需求,提升超大城市三水协同韧性,助力城市涉水问题系统科学解决。

#### 3.1 厚植三水协同科研基础,为科学解决涉水问题提供理论保障

国家和地方围绕三水协同领域亟需解决的关键科学问题,加大科技资金支持,就瓶颈性理论问题开展专项攻关。按照水环境功能,对城市主要河流及其支流开展常态化、系统性调查,重点补充流域水网在三水协同数据尤其是水生态数据方面的短板,按照“一河一档”的原则构建全流域三水数据底库,动态评估要素间的协同响应关系;针对不同场景下入河污染物的迁移扩散过程,开展从山顶到海洋、从流域到海域的全过程靶向实验,厘清跨介质、跨流域污染物的转化过程,实现对污染物全生命周期的量化解读;对包括北京市的密云水库、怀柔水库,河北省的白洋淀,天津市的于桥水库、北大港水库、七里海湿地、大黄堡湿地以及团泊湿地在内的典型湖库和滨海湿地单元,开展基于三水协同理念的仿自然恢复可行性机理研究,探讨基于水生生态系统自身恢复策略的水环境提质思路,提高对敏感水体富营养化的多参数阈值的解释能力;针对闸坝型河流的陆海污染物迁移、转化和扩散关系开展专题性研究,探讨在特殊时段里自然变量、人为变量对于陆海水质保障的最优路径。

#### 3.2 提升三水协同的数字感知,为城市三水深度融合提供新质赋能

依托云计算、物联网、大数据和人工智能等新一代信息技术,深入挖掘三水协同的数字潜能,提升相关领域的新质赋能。推动物联网技

术和水资源感知模块的深度耦合,在农业、水利、环保以及住建等相关领域靶向开发专业化、全过程和全链条的节水场景,提升城市非常规水资源存量和城市三水韧性;开展基于河流数字孪生技术入河污染物的全过程模拟,实现对各类污染物的全周期覆盖,形成由点及线、由线及面的空间数字组网,推动有条件的地区在其辖区河道或区段进行试点,在上下游、左右岸以及全流域形成数字联动;提升“空天地”一体化的动态监测业务化感知能力,利用包括高光谱在内的数据源同城市下垫面水质形成互动反演,构建、训练可以满足日常涉水管理要求的大模型,全面提升对于区域水质和水生态的科学回溯能力;打通部门间的涉水数据壁垒,依托超算中心平台,构建满足城市三水协同需求的综合算力平台,推动三水协同新质动能的充分释放。

#### 3.3 优化现有考核及管理模式,为有效推动城市三水协同提供政策供给

围绕国家在涉水管理方面的新转变,以及超大城市在三水协同方面的新需求,推动筹建三水协同顶层设计战略专家委员会,在城市层面牵头谋划全管理口径、全监测要素、全管控时段的三水协同管理办法,按照三水统筹的科学思路,明确管理基调、量化考核办法;探索出台满足三水协同理念的区域试点方案,对试点地区给予资金支持,推动地方或者水环境单元主体先行先试,提升地方落地项目的积极性。

## 4 结论

水是超大城市未来发展进程中最大的刚性约束,三水协同既是缓解当前北方超大城市城水矛盾的关键之举,也是推动城市可持续发展的必由之路。本研究在理论科研、技术科研以及决策科研三个维度锚定科技支撑短板,在强化基础研究方面提出开展多要素、多过程、多维度、跨介质的系统性调查,建立三水数据底档;在创新科技赋能方面提出依托云计算、物联网、大数据和人工智能等新一代信息技术,深入挖掘三水协同的数智生产力发展潜能,提升相关

领域的新质赋能;在优化政策供给方面提出完善三水协同在管理层面的顶层设计,以三水协同管理解决三生用水需求。以期为科技支撑我国北方城市群三水协同提供思路借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 续伊特.中国超大城市人口集聚与产业集聚、创新集聚的影响机制研究[D].吉林:吉林大学,2021.
- [2] 杨明明,朱永楠,赵勇,等.水资源-能源-粮食-生态系统耦合协调及驱动力分析[J].人民黄河,2024,46(03):58-63.
- [3] 鲍怡,胡春春,王喆,等.近十年黄河流域地表水面积时空变化与影响因素分析[J].水文,2024:1-12.
- [4] 吴月.技术嵌入下的超大城市群水环境协同治理:实践、困境与展望[J].理论月刊,2020(06):50-58.
- [5] 中华人民共和国水利部办公厅.2022年中国水资源公报[R].北京:中华人民共和国水利部,2023.
- [6] 北京市水务局.北京市水资源公报2022[R].北京市:北京市水务局,2023.
- [7] 天津市水务局.天津市水资源公报2022[R].天津市:天津市水务局,2023.
- [8] 岳俊杰,桑国庆,张林,等.南水北调工程对南四湖下级湖水体交换特征影响研究[J].水利水电技术(中英文),2024:1-13.
- [9] 华祖林,王苑.水动力作用下河湖沉积物污染物释放研究进展[J].河海大学学报(自然科学版),2018,46(02):95-105.
- [10] 徐敏,秦顺兴,马乐宽,等.水生态环境保护回顾与展望:从污染防治到三水统筹[J].中国环境管理,2021,13(05):69-78.
- [11] 曹伟岳,王正飞,朱海清.长江中下游平原河网地区畅流活水方案研究[J].水资源开发与管理,2024,10(01):39-44,21.
- [12] 李代超,凡昆昆,吴升.闽江流域生态环境数字化模拟与治理体系实现路径研究[J].海峡科学,2023(12):85-88.
- [13] 于秋月,张键宇,柄鉴,等.人与自然和谐共生视域下流域可持续发展:国外实践与启示[J].长江大学学报(社会科学版),2023,46(05):63-68.
- [14] 郑军,李乐,郑静.欧美水生态环境管理历程和现状研究[J].中国生态文明,2022(04):70-75.
- [15] 姚瑞华,张晓丽,刘静,等.陆海统筹推动海洋生态环境保护的几点思考[J].环境保护,2020,48(07):14-17.
- [16] 生态环境部.生态环境部部长黄润秋中宣部“中国这十年”新闻发布会答记者问[EB/OL].(2022-09-15)[2024-05-15].<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1744027205213294408&wfr=spider&for=pc>.
- [17] 吴昊燊,钱星妤,祝栋林.长江干流总氮时空分布特征分析[J].青海环境,2023,33(03):137-141,153.
- [18] 黄锦辉,连煜,宋世霞.中国水资源保护科研发展历程回顾[J].水利规划与设计,2020(10):58-61,84.
- [19] 上海市水务局.上海市水资源公报2022[R].上海市:上海市水务局,2023.
- [20] 重庆市水务局.重庆市水资源公报2022[R].重庆市:重庆市水利局,2023.
- [21] 深圳市水务局.深圳市水资源公报2022[R].深圳市:深圳市水务局,2023.
- [22] 广州市水务局.广州市水资源公报2022[R].广州市:广州市水务局,2023.
- [23] 成都市水务局.成都市水资源公报2022[R].成都市:成都市水务局,2023.
- [24] 东莞市水务局.东莞市水资源公报2022[R].东莞市:东莞市水务局,2023.
- [25] 武汉市水务局.武汉市水资源公报2022[R].武汉市:武汉市水务局,2023.
- [26] 杭州市水务局.杭州市水资源公报2022[R].杭州市:杭州市林业水利局,2023.
- [27] 北京市生态环境局.2022年北京市生态环境状况公报[R].北京市:北京市生态环境局,2023.
- [28] 天津市生态环境局.2022年天津市生态环境状况公报[R].天津市:天津市生态环境局,2023.
- [29] 杨钦,胡鹏,王建华,等.基于“量-质-域-流-生”的京津冀水资源协同保护状态综合评价[J].水资源保护,2024:1-16.
- [30] 郭伟,王东霞,常广悦,等.北京典型水域贝类和虾类生物多样性监测及入侵风险分析[J].生物安全学报,2023,32(02):178-187.

## Research on the three-water collaborative science and technology support path of megacities in Northern China

WEN Juan ZHOU Bin ZHANG Chao

(Tianjin Academy of Eco-Environmental Sciences, Nankai, Tianjin 300191, China)

**Abstract:** Aiming at the shortcomings of scientific, technological support and management support for promoting three-water synergy in northern megacities of China, this study discusses in depth the scientific and technological support paths for northern megacities to realize three-water synergy in the three dimensions of theoretical scientific research, technological, scientific research, and decision-making scientific research, to provide a breakthrough idea and reference for the scientific integration of the three-water problems of northern urban units and city clusters in China.

**Keywords:** megacities; three-water collaboration; prevention and control technologies; policies

(责任编辑 张燕)