DOI 10.15302/J-SSCAE-2022.05.004

面向2035年的海河流域水安全保障战略研究

朱婷婷[1]，侯立安[1,2]，童银栋[1,3]，刘轶文[1]，李宁[1]，赵迎新[1]，陈冠益[1,4]

（1. 天津大学环境科学与工程学院，天津 300072；2. 北京高新技术研究所，北京 100085；
3. 西藏大学理学院，拉萨 850000；4. 天津商业大学，天津 300134）

摘要：实现海河流域水安全是“美丽中国”生态文明建设的重要组成部分、国家高质量发展的重大战略需求。本文着眼海河流域水安全保障的发展需求，分析了现阶段海河流域在水资源、水环境、水生态、水灾害方面存在的问题，基于数据模拟预测了2035年海河流域水安全发展趋势；据此提出了海河流域水安全保障的总体构思：对照“十四五”时期的治水目标，落实“有河有水、有鱼有草、人水和谐”治水方针，突出水资源承载力在水安全保障方面的重要作用，通过强化水生态保护措施来提高海河流域的水安全保障能力。从科技角度出发，提出水资源节约和高效利用新策略，保障饮用水安全并提升水治理能力，构建“人水和谐”的水生态格局并保障水生态健康，建立水灾害预测与应对机制；着重发展水资源系统调配与高效利用、水环境质量改善与综合治理、流域生态治理与修复、水灾害防控与应急等能力，高质量建成海河流域水安全保障体系。

关键词：海河流域；水安全；水资源；水环境；水生态；水灾害

中图分类号：X-1　　**文献标识码：**A

Strategy for Assuring Water Security in the Haihe River Basin by 2035

Zhu Tingting[1], Hou Li’an[1,2], Tong Yindong[1,3], Liu Yiwen[1], Li Ning[1], Zhao Yingxin[1], Chen Guanyi[1,4]

(1. School of Environmental Science & Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. High Tech Institute of Beijing, Beijing 100085, China; 3. College of Science, Tibet University, Lhasa 850000, China; 4. Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

Abstract: Water security in the Haihe River Basin is an important component of China’s ecological civilization and is vital for high-quality national development of the country. Considering the development requirement for water security in the Haihe River Basin, we analyzed the problems regarding water security assurance from the perspectives of water resources, water environment, water ecology, and flood disasters. Subsequently, we predicted the development trend of water security in the Haihe River Basin by 2035 through data simulation. On this basis, an overall idea was proposed, that is, assuring water security in the Haihe River Basin by reinforcing measures for protecting water ecology, and highlighting the role of water resources carrying capacity. Focus should be placed on developing capacities regarding (1) systematic allocation and efficient utilization of water resources, (2) comprehensive improvement in water environment, (3) governance and restoration of basin ecology, and (4) prevention and emergency response of flood disasters. Furthermore, we proposed the following suggestions from a technological perspective: (1) implementing new strategies for the conservation and efficient utilization of water resources, (2) ensuring drinking water safety and improving water governance

收稿日期：2022-06-28；**修回日期：**2022-09-12

通讯作者：侯立安，北京高新技术研究所教授，中国工程院院士，研究方向为环境工程；E-mail: houlian678@hotmail.com

资助项目：中国工程院咨询项目“面向生态文明建设的水安全保障战略研究”(2021-XBDZ-05)；国家自然科学基金项目(42122059)

本刊网址：www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

capacities, (3) establishing a water ecological pattern that features people-water harmony, and (4) developing a flood disaster prediction and response mechanism.
Keywords: Haihe River Basin; water security; water resource; water environment; water ecology; flood disasters

一、前言

水安全保障是我国生态文明建设的关键内容，也是2035年基本实现“美丽中国”目标、确保生态环境质量根本性好转的重要支撑。海河流域作为我国七大水系之一，在国家经济社会发展全局中占据重要地位 [1]。“十三五”时期，海河流域在南水北调、水污染防治、地下水超采整治、湿地保护等方面取得了一定成效，流域水环境改善明显。① 海河流域内的南水北调中线、引滦双水源供水工程体系进一步完善，建立了引滦入津上下游横向生态补偿机制；非常规水成为有效的补充水源，再生水、淡化海水利用率稳步提高。② 城镇污水处理水质和水量双提升，区域内主要城市基本实现城镇污水处理设施全覆盖，污水处理厂出水的水质指标达到地表水IV类标准，污泥无害化处置率达到95%。③ 水生态环境质量显著改善，实行入海河流“一河一策”污染治理，入海河流基本消除劣Ⅴ类水体。④ 防洪排涝能力持续增强，大中型病险水闸除险加固工程基本完成。

面向“十四五”时期治水目标（“有河有水、有鱼有草、人水和谐”）[2]，继续开展“山水林田湖草”系统治理，坚持精准、科学、依法治污，以水生态保护为核心，统筹水资源、水生态、水环境等流域要素，为2035年基本实现“美丽中国”建设目标 [3] 提供关键支撑。亟需从水资源保障、水污染治理、水生态修复、水灾害防御四方面着手，加强科技支撑研究，提升海河流域水安全保障能力，以此实现海河流域水安全“十四五”规划发展目标。

现阶段有关海河流域水安全研究，主要从水循环演变、水污染控制、产业结构调整等方面 [1]梳理了海河70年治理取得的成就，从南水北调、地下水超采等问题出发研判了京津冀地区水安全挑战并提出应对策略 [4]；相对而言，从宏观角度着眼、面向2035年发展目标开展的水安全保障等前瞻性研究仍待深化。针对于此，本文分析海河流域水安全保障需求，梳理水资源、水环境、水生态、水灾害方面的现状及面临的关键问题；预测2035年流域水安全变化趋势，提出水安全保障总体构思及发展建议，以期为海河流域水安全保障的研究与管理提供基础参考。

二、海河流域水安全保障面临的挑战

（一）水资源供需矛盾依然突出

1. 海河流域水资源短缺严重

海河流域横跨北京市、天津市、河北省、山西省等8个省份，流域总面积为3.2×10^5 km^2，占全国陆地总面积的3.3%；承载着全国8%的耕地、10%以上的人口与经济总量，对京津冀地区协同发展起着关键作用。然而，海河流域水资源短缺现象严峻，水资源总量约为7.348×10^{10} m^3，仅占全国总量的2.5%；其中，地表水资源总量为4.732×10^{10} m^3，相比1956—2016年的平均值有明显升高，但近年来的水资源总量波动较大 [5]。随着流域内经济社会的发展，用水总量常年超出水资源的承载能力，表现为供需严重不平衡 [6]；水资源开发利用程度的提高进一步加剧了水资源的供需失衡 [7]。

2. 区域调水缺乏风险应对策略，南水北调中线工程配套供水网线待完善

2020年，海河流域的供水总量约为3.72×10^{10} m^3，其中的地下水、外调水、地表水、其他水源供水量占比分别为39.7%、29.5%、22.3%、8.5% [8]，可见地下水和外调水是主要构成。在地表水源供水方面，跨流域调水对海河流域水资源的补给起到十分重要的作用，蓄水、引水、提水工程，跨流域调水的供水量所占比例分别为12.1%、19.7%、11.3%、56.9%。在地下水源供水方面，浅层水和深层水的占比分别为87.7%、11.9%，而微咸水的占比为0.4% [7,8]。可见，外调水及跨流域调水在支撑海河流域经济社会发展方面作用突出。

南水北调工程明显改善了海河流域供水紧张的局面，但相关的风险防控应对措施依然缺失，远距离输水的经济性也待优化；中线工程配套供水管线的供水规模不足，配套工程的供水能力不满足区域

内高质量发展需求。此外，现有规划水库的调蓄库容较小，供水设施分布不均衡，安全供水保障能力不足 [1]。以天津市为例，南水北调、引滦入津双线供水的上游水资源利用率逐渐提高，导致分配给天津市的水量明显减少，也就引发了水资源供需矛盾。

3. 区域水资源开发强度较高，非常规水综合利用技术需加强

海河流域水资源的开发利用强度较高，20世纪80年代到21世纪初期地下水超采问题不断加剧，年均开采量从 2.118×10^{10} m³ 增长到 2.499×10^{10} m³。地下水超采引起了一系列环境地质问题，如地面下沉、地裂、塌陷等，制约了流域经济社会的可持续发展 [8]。随着南水北调工程、引黄工程等外调水工程的实施，海河流域的地下水供水量逐步回升，然而在地下水位回升到合理状态之前仍需持续性关注地下水开采活动。2020年，海河流域平原区共有48个地下水超采区，总面积达 1.062×10^{5} km²，其中深层超采区占比为37.5%；26个超采区的中心地下水位有一定程度回升 [7,8]，但仍有15个超采区的中心地下水水位下降（河北省唐山市中型孔隙深层承压水降幅为10.41 m，其余均小于8 m）。

海河流域非常规水资源的开发工作仍需加强，亟待发展微咸水与海水等非常规水的收集、处理与综合利用技术。2020年海河流域非常规水资源总量为 3.199×10^{9} m³，仅占流域总供水量的8.6%；其中，污水处理回用、微咸水、海水淡化水资源量分别为 2.976×10^{9} m³、1.49×10^{8} m³、7.4×10^{7} m³ [7,8]。海河流域平原区的微咸水资源十分丰富，为非常规水资源的开发利用提供了条件。开发微咸水技术可以加大对非常规水资源的有效再利用，减少过度开采深层地下水，有助于回升地下水位并减少环境地质问题；加强降雨/跨流域调水对地下水的补给力度，改善浅层地下水水质。城市废污水经过净化处理后回用于市政、河湖景观、工业、农业等，从而提高中水回收效率。海河流域的天津段和山东段，因其特殊的地理位置而需更加重视海水淡化技术研发。

（二）水环境治理水平亟待提高

1. 海河流域地表水质达标率形势严峻

海河流域地表水质达标率尚未达到国家平均水平，富营养化现象仍然存在。2021年，流域地表水水质优良（I~III类）断面比例仅为68.4%，而劣V类水体仍有0.4% [9]；虽然满足了劣V类水体基本消除（0.6%）的要求，但与全国地表水水质优良（I~III类）断面比例提升到83.4%的平均水平相比差距较大。随着“十四五”时期考核要求的进一步提高（如监测断面数量提高47% [3]），海河流域地表水质达标率不容乐观。

截至2022年7月，海河流域呈现富营养化的湖库点位仍有27个 [10]。其中，北大港水库属于中度富营养状态，东昌湖、于桥水库、衡水湖、采蒲台等8个湖库等属于轻度富营养状态，怀柔水库、枣林庄等16个湖库属于中营养状态，其余湖库为贫营养状态 [9]。海河流域轻度富营养状态湖库的比例高于全国平均水平，可见控制流域的富营养化依然任重道远。受引滦来水、周边汇水的影响，于桥水库的超标项目以总氮、总磷为主，土臭素、二甲基异莰醇等指标时有突升，对城市供水安全构成不利影响；特别是引滦入津水质存在土臭素超标、藻类爆发的风险，直接影响天津市的供水安全 [11]。

2. 海河流域黑臭水体问题并未消除

近年来，海河流域的城市黑臭水体整治工作成效明显，消除比例超过80%；但在流域内的部分农村地区，黑臭水体治理工作进展缓慢，部分省份的进度不足40% [12]。此外，部分城市的局部地面高程低于河道水位，雨洪水需经泵站排出；因部分排水设施陈旧、管道淤积，导致强降雨积水严重，雨后河道水质迅速恶化，引发城市黑臭水体污染。可见，海河流域的黑臭水体治理将是长期任务。

3. 污水处理能力需提升

海河流域是我国北方主要的粮食生产基地，农业用水比重常年超过60% [1]；相应地，农村地区污水处理问题较为严峻。2020年海河流域污水处理比例仅为36%，与“十四五”规划中农村生活污水处理率大于60%的目标差距较大 [3]。区域内一些城市的污水处理厂全年平均运行负荷率超过90%，需要实施扩建提升；部分水厂处理工艺落后，净水设备陈旧，近年来只能依靠降低生产负荷、增加药剂消耗来保障出水水质，导致产能利用率只能维持在70%左右，需要开展深度改造 [11]。此外，在城镇污水收集方面存在管网短板，污水管网建设水平、管理能力整体偏低。例如，天津市中心城区仍有雨污合流制地区约1.53 km²、混接串接点1919处，雨

后排水入河影响流域水质 [11]，溢流污染控制、“雨污分流”“清污分流”问题亟待解决。

（三）水生态环境保护仍需加强

1. 水生态功能和生物多样性明显退化

随着经济社会发展用水需求的逐步增加，海河流域的水资源开发利用率已超过合理的承受范围，加剧了水环境污染并破坏了水生态系统。过度的水资源开发利用也导致生态功能退化严重、湿地面积急剧减少、生物多样性遭受影响。在海河流域，超过一半数量的河流存在生境质量处于中等偏低水平的情况，难以成为生物种群或生物群落的生存/繁衍栖息地；超过30%的河流生境质量为极差，造成水生生物物种贫化、底栖动物群落多样性水平较低 [7]。例如，海河流域的鱼类群落Shannon-Wiener多样性指数的平均值仅为1.53，反映了鱼类种类数下降、大中型鱼类资源衰退、优势种群单一化与小型化，也说明流域的生物多样性水平偏低；在鱼类的群落结构方面，敏感物种减少，耐污性种类（如达里湖高原鳅、鲶鱼）增多 [13]。

2. 水系连通不畅现象突出

目前，海河流域水环境承载能力偏弱，城市内的河湖连通设施不完善，部分水循环连通体系未能较好发挥作用，导致河道断流干涸、湿地明显萎缩等现象严重；流域内生态流量缺乏保障，多数河流的上游和源头区为中风险断流。中心城区海河至南部北大港湿地、北部七里海湿地两大水循环连通体系尚未完全发挥作用；北水南调东、中、西三线工程虽已全面实施，但仅西纵北运河—卫河—南运河建成通水，东纵蓟运河—中心桥北干渠—马厂减河的中心桥北干渠、中纵引滦—海河—洪泥河的穿独流减河倒虹吸尚未建成通水 [11]。以单一防洪功能为目标的自然河道渠化、硬化较为普遍，亟需全面恢复海河流域的生态系统功能。

3. 对环境有毒新污染物缺乏应用关注

长期以来，水污染治理集中在耗氧有机物污染控制，氮、磷污染治理，而对有毒有机物、新污染物缺少关注。相关的评估监测水平有待提高，风险防范措施等研究相对薄弱。2018年海河流域各省份的水源地水体药物及个人护理品（PPCPs）平均含量，山东省最高（78.3 ng/L），北京市最低（30.0 ng/L），天津市（45.6 ng/L）、河北省（50.6 ng/L）居中；其中，磺胺类抗生素在北京市、天津市、山东省的地表水源地中有检出，四环素类抗生素在天津市、河北省、山东省的水源地中有检出，大环内酯类抗生素仅在山东省的水源地中有部分检出，喹诺酮类抗生素仅在河北省的水源地水体中有部分检出 [14]。这说明，海河流域的水源地中新污染物的污染水平不容忽视。然而，目前对有毒新污染物的关注依然缺乏，没有形成新污染物的评估、监测、排放标准；现有管理、去除技术水平不高 [15]，影响了海河流域的饮用水安全。

（四）防洪减灾新老问题并存

国家一直重视海河流域内的大中型水库、15条主要骨干河道以及中小河流等水利薄弱环节的治理，但骨干河道防洪标准现阶段达标率不足50%，特别是小型病险水库（闸）除险加固、蓄滞洪区建设进展迟缓 [7]。流域内河系复杂、水文变化趋势较大、水库调度难度大、堤防老化失修、河道淤障拥塞等新旧问题叠加，进一步恶化了本就较差的泄洪能力。此外，流域内城市排水设施存在明显短板，部分城市的排水设施陈旧；城市排涝能力不足影响了城市发展水平、居民生活质量及安全出行，严重的城市内涝甚至危及居民生命健康安全。

三、2035年海河流域水安全趋势预测

（一）近20年海河流域水量和水质变化特征

海河流域主要省份（北京市、天津市、河北省）用水总量具有波动性特征，从2003年的2.553×10^{10} m^3下降到2020年的2.5×10^{10} m^3，而2006—2007年升高至2.61×10^{10} m^3左右 [16]；人均用水量呈现逐步下降趋势，在2005年达到峰值（275 m^3/a），2010年下降至251 m^3/a，2016年下降至248 m^3/a，随后在248~252 m^3/a范围内波动。这些数据表明，海河流域水资源短缺严重现象并未消除。

海河流域内的用水组成显著区别于全国。① 从用水需求看，海河流域现阶段供水以地下水为主、跨流域调水为辅，后者在支撑流域经济发展方面发挥了重要作用。② 从用水组成看，海河流域以农业用水为主（占比为53.6%），生活用水和人工生态环境用水、人工生态环境补水次之（占比分别为17.7%、17.6%），工业用水最低（占比为11.1%）[8]。

在水质方面，海河流域水质改善显著。根据河湖断面监测数据，III类及以上水体的占比从2006年的22%增加至2021年的68.4%，劣V类水体占比则从2006年的57%下降到2021年的0.4%。

（二）2035年海河流域水量和水质预测

采用2003—2020年环境统计数据，建立了国内生产总值（GDP）总量与年人均用水量之间的二次多项式回归方程、环境污染治理投资与III类及以上水体比例的对数回归方程；参考5种共享社会经济（SSP）的路径情景 [17] 并以中间路径（SSP2）为主开展预测。预计到2035年，海河流域主要省份（北京市、天津市、河北省）的总人口数约为11 427万人，相比于2020年增长1.4%。

采用GDP总量与人均用水量之间关系方程，设定了3种情景（以2020年流域人均用水量保持不变为情景，以2003—2020年之间最高年人均用水量为情景，人均用水量按现有幅度继续下降），预测2035年各情景下的用水总量分别为4.708×10^{10} m^3、5.211×10^{10} m^3、2.42×10^{10} m^3。

利用环境污染治理投资与III类及以上水体比例的拟合关系，设定了3种未来模拟情景（环境保护投入的GDP占比分别为1.0%、1.5%、2%），预测2035年各情景下的III类及以上水体断面的比例为86.15%~94.7%。这一数据相比于2000—2020年继续提升，但增幅有所下降。

四、面向2035年的海河流域水安全保障总体构思

着眼2035年海河流域水安全保障需求，立足区域经济社会发展特征，论证形成流域水安全保障路径，突出水资源系统调配与高效利用、水环境质量改善与综合治理、流域生态治理与修复、水灾害防控及应急等能力建设。把握流域水资源演化规律，科学构建监测监控体系及信息网，形成全面高效的反应措施与治理方案，支持实现“有河有水、有鱼有草、人水和谐”的“十四五”规划目标。

在水资源方面，基本建成节约高效、城乡结合的供水安全保障体系。坚持节水优先、以水定城原则，强化水资源刚性约束，实行用水总量和强度的双重控制，突出工业节水减排、农业节水增效、城镇节水降损等重点节水方向。稳步提高海河流域水资源和水环境承载能力，将生态流量管理纳入水资源管理范畴，确保流域具有健康的生态流量。到2035年，海河流域水资源利用效率达到国内领先水平，非常规水资源利用率达到50%；建成节水型流域，全面形成“三水共用、五库联调、多源互济、城乡统筹”的供水新格局 [11]。

在水环境方面，显著提升工业源和农村生活污水的治理水平，突破农业面源、城市面源的污染防治“瓶颈”。开展饮用水安全治理，强化饮用水水源地管理、饮用水安全保障能力，构建智慧高效的水治理保障体系。到2035年，海河流域的国控优良水体断面数量稳中有升，实现地表水I~III类水体比例达到95%，县级及以上城市的集中式饮用水水源水质达到或优于III类比例为100%，污水处理厂出水主要指标达标率超过98%。

在水生态方面，显著提升海河流域自净能力和生物多样性，恢复水域水生植被并保护河湖缓冲带植被，构建水生态安全保障体系。按照海河流域生态环境功能管控要求，实现湖泊营养物容量总量控制与氮、磷负荷削减，全面改善水生态环境状况；注重“人水和谐”，反映居民对美丽河湖的向往，提高生态环境质量。到2035年，形成海河流域绿色河流生态廊道体系，完成南、北运河等邻近河湖治理，恢复流域的生物多样性；融合生态修复和文化建设，建设华北地区绿色流域。

在水灾害防治方面，切实增强防灾减灾能力，全面消除防洪薄弱环节，基本实现美丽海河愿景。到2035年，实现海河流域一级行洪河道堤防达标率高于84% [11]，建成城市排水防涝工程体系，中心城区排水标准不足1年一遇区域和达到3年一遇排水标准区域的比例由20%提升至58%；突破并应用海河流域洪水预报、城镇雨水收集排放等技术，基本建成蓄泄排统筹、旱涝潮同治的防汛安全保障体系。

五、海河流域水安全保障策略与建议

（一）提出水资源节约和高效利用新策略

以强化节水为前提，合理配置海河流域水资源。持续完善“量效双控”水资源管理体系，加快构建“二纵六横”水资源供给体系、“三水互补”

水资源调配体系；“管、调、供”手段并举，促进节约用水，提高流域内水资源自主保障、水资源承载能力，以此确保流域供水安全。

加强水资源高效循环利用，提升管网漏损运行控制的智能化水平，突破节水灌溉精准控制关键技术，研制节水灌溉、精准控制等装备。严格取水、用水管理，完善从源头到终端的供水全过程安全监管。高效率配置水资源，优水优用并合理分配外调水，发展跨流域水资源科学调度与精准调控技术；科学存蓄并充分利用地表水，加大生态农业中的再生水利用。加强海水等非常规水的收集、处理与利用，扩大海水淡化处理规模，形成海水补充饮用水源的新策略，推进非常规水资源的分配补给与综合利用。

（二）保障饮用水安全并提升水治理能力

海河流域水环境维护主要分为两个阶段。① 针对水体中常规与有毒有害物质复合污染问题，按照流域、重点水源、水资源综合利用过程等层次，建立流域水质的基础数据库，探明重点水源的复合污染过程，发展污染控制的新原理和新方法，开发饮用水安全保障和污染水回用新技术。② 针对水体污染对人体/生态系统的健康风险，研究流域水体的复合调控机制，构建水循环过程中水质安全保障的科学与技术体系。

重点围绕饮用水安全保障、污水深度处理与回用、新污染物控制方面保障水质安全。全面推进海河流域新污染物清单调查，建立基于新污染物的生态与健康风险评价模式，完善饮用水水质标准对新污染物的水质指标，加快开发新污染物绿色净水技术，构建新污染物标准制定与综合管理信息系统，持续推动新污染物治理体系的长效建设。发展数字化、智慧化、学习型供水系统，开发精准、快速、可靠的饮用水风险综合预警方法与在线监测关键技术；开发短流程、低碳的饮用水净化工艺；提出突发事故的无缝应急措施和快速供水技术；加快研发机器人等智能化手段检测给水管网腐蚀与漏损地段，针对腐蚀严重的管道进行补漏或更换，建立“从源头到龙头”的全方位、全流程水质安全风险管控机制，保障饮用水全过程输送安全。采取“减碳增效、能源自给、资源循环”的城镇污水深度处理与回用技术发展策略，开发减污降碳协同增效技术；研制新型多功能膜材料和膜装备；提出污水梯级净化–分段处理–梯级利用策略。

（三）构建“人水和谐”的水生态格局

采取全面保护、系统治理思路，高质量构建生态水网，加大海河流域“六河五湖”综合治理力度；以水为核心要素，促进“人水和谐”。突出京津冀协同治理，推进跨省河流上/下游联防联治，加强入海河流域内/外源污染同治，落实河（湖）长制，严格水生态空间管控。攻克海河流域地下水多维调控与超采控制、水生态恢复长效保持等关键技术，发展水生态恢复多功能技术模式、流域生态修复效果后评估标准。

先期重点补源，利用南水北调东/中线的富余水量，向京津冀地区的重点河湖进行生态调水，同步实施华北地下水超采综合治理；待南水北调东/中线与河系连通、南水北调中线和沿线大中型水库联合调配工程完成后，全面弥补浅层地下水和河道生态用水。长远优先保障，待南水北调后续工程全部建成后，转变水资源配置思路，退还并优先保障河道生态用水，自然修复深层地下水并恢复地下水储备功能；通过流域水生态修复，实现河流水力功能、水质功能、生态功能、景观功能、休憩功能的最大化。在此过程中，及时制定适应海河流域生态修复实际的评估技术及标准，推动水生态环境质量监测与健康评价工作，维护流域生态系统的健康度。

（四）建立水灾害预测与应对机制

建设蓄泄排统筹、旱涝潮同治的防汛安全保障体系，全面提高海河流域防灾减灾能力，特别是灾前的预警预报、应急处置等能力。防洪工程全面达标，提高海河流域对涉水环境地质灾害的抵御能力；完善防汛责任制和组织保障能力，提高突发应急灾害的响应能力与速度。

在科学研究方面，加强采集海河流域水文、水环境、气象、土壤等环境介质基础数据，建立更为系统的专业数据库；系统开展气候变化、人类活动等因素对海河流域水资源时空分布特征的影响评估，重点研究水资源分布时空特征与动态驱动机制、水资源优化配置与集约安全利用方法。在工程技术方面，开发跨流域水资源科学调度与调控技

术，健全水灾害预警、预测、应对机制；开发绿色雨洪控制设计与管理技术，结合流域内城市特点，加强基础设施与原有河流、湖泊等生态本底的有效衔接；因地制宜开展先进海绵城市设计与建设，综合采用“渗、滞、蓄、净、用、排”方式，提高雨水资源的收集与利用效率；建立城市面源污染评价与监测体系，深化研究降雨径流面源污染防控技术，开发新型净化材料及装置。

参考文献

[1] 于紫萍, 宋永会, 魏健, 等. 海河70年治理历程梳理分析 [J]. 环境科学研究, 2021, 34(6): 1347–1358.
Yu Z P, Song Y H, Wei J, et al. 70 years' governance process of Haihe River [J]. Research of Environmental Sciences, 2021, 34 (6): 1347–1358.

[2] 中华人民共和国生态环境部. “十四五”水环境保护要更加注重“人水和谐” [EB/OL]. (2020-08-02)[2021-05-15]. https: //www.mee.gov.cn/ywdt/hjywnews/202008/t20200802_792336.shtml.
Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. During the 14th Five-Year Plan water environment protection should pay more attention to “harmony between people and water” [EB/OL]. (2020-08-02)[2021-05-15]. https: //www.mee.gov.cn/ywdt/hjywnews/202008/t20200802_792336.shtml.

[3] 中华人民共和国国务院. 国家发展改革委关于印发《美丽中国建设评估指标体系及实施方案》的通知 [EB/OL]. (2020-02-28)[2022-05-15]. http: //www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-03/07/content_5488275.htm.
State Council of the People's Republic of China. Notice of National Development and Reform Commission on printing and distributing the *Beautiful China construction evaluation indicator system and implementation plan* [EB/OL]. (2020-02-28)[2022-05-15]. http: //www. gov. cn/zhengce/zhengceku/2020-03/07/content_5488275.htm.

[4] 赵勇, 王庆明, 王皓, 等. 京津冀地区水安全挑战与应对战略研究 [EB/OL]. (2022-03-15)[2022-05-15]. https: //kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=GCKX20220314000&v=MDI3OTNMTDdSN3FkWmVabUZ5cmxVcnJQSTFvPUlpN0Fkckc0SE5QTXJJNUJaT3NQWXc5TXptUm42ajU3VDNmbHFXTTBD.
Zhao Y, Wang Q M, Wang H, et al. Water security in Beijing–Tianjin–Hebei Region: Challenges and strategies [EB/OL]. (2022-03-15)[2022-05-15]. https: //kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=GCKX20220314000&v=MDI3OTNMTDdSN3FkWmVabUZ5 cmxVcnJQSTFvPUlpN0Fkckc0SE5QTXJJNUJaT3NQWXc5TXptUm42ajU3VDNmbHFXTTBD.

[5] 中华人民共和国水利部. 2021年中国水资源公报 [EB/OL]. (2022-06-15)[2022-06-28]. http: //www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/202206/t20220615_1579315.html.
Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. China water resources bulletin in 2021 [EB/OL]. (2022-06-15) [2022-06-28]. http: //www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/202206/t20220615_1579315.html.

[6] 修红玲, 朱文彬, 韦家兴, 等. 中国水资源承载能力调控关键技术与政策研究 [J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2020, 56 (3): 467–473.
Xiu H L, Zhu W B, Wei J X, et al. Key technologies and policies to adjust water resource-carrying capacity [J]. Journal of Beijing Normal University(Natural Science Edition), 2020, 56(3): 467–473.

[7] 曹晓峰, 胡承志, 齐维晓, 等. 京津冀区域水资源及水环境调控与安全保障策略 [J]. 中国工程科学, 2019, 21(5): 130–136.
Cao X F, Hu C Z, Qi W X, et al. Strategies for water resources regulation and water environment protection in Beijing–Tianjin–Hebei Region [J]. Strategic Study of CAE, 2019, 21(5): 130–136.

[8] 水利部海河水利委员会. 海河流域水资源公报2020年 [EB/OL]. (2021-11-15)[2022-05-15]. http: //www. hwcc. gov. cn/hwcc/static/szygb/gongbao2020/index.html#xsdt.
Haihe River Water Conservancy Commission of MWR. Haihe River Basin water resources bulletin in 2020 [EB/OL]. (2021-11-15)[2022-05-15]. http: //www.hwcc.gov.cn/hwcc/static/szygb/gongbao2020/index.html#xsdt.

[9] 中华人民共和国生态环境部. 2021年全国生态环境质量简况 [EB/OL]. (2022-01-31)[2022-05-15]. https: //www. mee. gov. cn/ywdt/xwfb/202201/t20220131_968703.shtml.
Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. National ecological environment quality profile in 2021 [EB/OL]. (2022-01-31)[2022-05-15]. https: //www. mee. gov. cn/ywdt/xwfb/202201/t20220131_968703.shtml.

[10] 中华人民共和国生态环境部. 海河局开展2022年7月海河流域北海海域水环境质量评价工作 [EB/OL]. (2022-08-19)[2022-09-05]. https: //hhbhjg.mee.gov.cn/gzdt_28976/jcky/202208/t20220819_992073.html.
Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. The Haihe River Bureau carried out the water environment quality assessment of the North Sea area of the Haihe River Basin in July 2022 [EB/OL]. (2022-08-19)[2022-09-05]. https: //hhbhjg.mee.gov.cn/gzdt_28976/jcky/202208/t20220819_992073.html.

[11] 天津市水务局. 天津市人民政府办公厅关于印发天津市水安全保障“十四五”规划的通知 [EB/OL]. (2021-07-09)[2022-05-15]. http: //swj.tj.gov.cn/zwgk_17147/zdxzjcgk/202203/t20220309_5824324.html.
Tianjin Water Affairs Bureau. Notice of the general office of Tianjin Municipal People's Government on printing and distributing the 14th Five-Year Plan of Tianjin water security [EB/OL]. (2021-07-09)[2022-05-15]. http: //swj.tj.gov.cn/zwgk_17147/zdxzjcgk/202203/t20220309_5824324.html.

[12] 人民网. 山东: 2021年完成农村黑臭水体治理500处 [EB/OL]. (2021-04-30)[2022-05-15]. http: //sthj.shandong.gov.cn/dtxx/mykhb/202104/t20210430_3593343.html.
People's Daily Online. Shandong: 500 rural black and odorous water bodies will be treated in 2021 [EB/OL]. (2021-04-30)[2022-05-15]. http: //sthj.shandong.gov.cn/dtxx/mykhb/202104/t20210430_3593343.html.

[13] 孙然好, 程先, 陈利顶. 海河流域河流生境功能识别及区域差异 [J]. 生态学报, 2018, 38(12): 4473–4481.

Sun R H, Cheng X, Chen L D. Identification of aquatic ecosystems and regional characteristics in the Haihe River Basin [J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(12): 4473–4481.

[14] 王长普. 海河流域大型水库饮用水水源地水环境安全评价及应用 [J]. 水文, 2013, 33(6): 63–67.
Wang C P. Water environment security assessment of drinking water source reservoirs in Haihe River Basin and its application [J]. Journal of China Hydrology, 2013, 33(6): 63–67.

[15] 韦正峥, 向月皎, 郭云, 等. 国内外新污染物环境管理政策分析与建议 [J]. 环境科学研究, 2022, 35(2): 443–451.
Wei Z Z, Xiang Y J, Guo Y, et al. Analysis and suggestions of environmental management policies of new pollutants at home and abroad [J]. Research of Environmental Sciences, 2022, 35(2): 443–451.

[16] 中华人民共和国水利部. 2020 年中国水资源公报 [EB/OL]. (2021-07-09)[2022-05-15]. http: //www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/202107/t20210709_1528208.html.
Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. China water resources bulletin in 2020 [EB/OL]. (2021-07-09) [2022-05-15]. http: //www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/202107/t20210709_1528208.html.

[17] Chen Y D, Guo F, Wang J C, et al. Provincial and gridded population projection for China under shared socioeconomic pathways from 2010 to 2100 [J]. Scientific Data, 2020, 7: 1–15.