

# 京津冀区域水资源及水环境调控与安全保障策略

曹晓峰<sup>1</sup>, 胡承志<sup>2</sup>, 齐维晓<sup>1</sup>, 郑华<sup>2</sup>, 单保庆<sup>2</sup>, 赵勇<sup>3</sup>, 曲久辉<sup>1,2</sup>

(1. 清华大学环境学院, 北京 100084; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085;

3. 中国水利水电科学研究院水资源研究所, 北京 100038)

**摘要:** 京津冀的水资源短缺与水环境污染问题已经成为制约区域协同发展战略实施的重大因素。本文在综合分析京津冀区域水资源调控及水环境安全现状与挑战的基础上, 提出区域水资源及水环境调控与安全保障策略: 通过技术途径打造山水林田湖海水生态格局, 构建水健康循环与高效利用模式, 发展与水生态承载力相适应的生产生活方式, 提升水环境质量与保障区域水生态健康, 建立区域水环境质量协同管理体系, 加强京津冀产业协同调配与污染减量化以及推进“半城市化”与农村污染治理。相关研究可为京津冀区域生态环境综合治理与国家生态文明建设提供决策支撑。

**关键词:** 京津冀; 水资源与水环境; 调控与安全保障; 策略

**中图分类号:** X22 **文献标识码:** A

## Strategies for Water Resources Regulation and Water Environment Protection in Beijing–Tianjin–Hebei Region

Cao Xiaofeng<sup>1</sup>, Hu Chengzhi<sup>2</sup>, Qi Weixiao<sup>1</sup>, Zheng Hua<sup>2</sup>, Shan Baoqing<sup>2</sup>,  
Zhao Yong<sup>3</sup>, Qu Jiuhui<sup>1,2</sup>

(1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 3. Department of Water Resources, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

**Abstract:** Water resources shortage and water environment pollution have become the major obstacles for the coordinated development of Beijing–Tianjin–Hebei region. In this paper, the status quo of and challenges for water resources regulation and water environment protection in the Beijing–Tianjin–Hebei region are analyzed, and corresponding strategies are proposed, including building a water ecological system involving mountains, rivers, forest, farmland, lakes, and sea using technical approaches; establishing a healthy recycling and efficient utilization model for water resources; developing production and living modes adapting to the carrying capacity of the water ecology; improving water environment quality and ensuring the health of regional water ecosystems; establishing a coordinated management system for the regional water environment; strengthening industry cooperation and pollution reduction; and promoting peri-urbanization and pollution abatement in the rural areas. This study is hoped to provide decision support for comprehensive ecological environment control in the Beijing–Tianjin–Hebei region and ecological civilization construction in China.

**Keywords:** Beijing–Tianjin–Hebei region; water resources and water environment; regulation and protection; strategy

收稿日期: 2019-08-09; 修回日期: 2019-09-13

通讯作者: 曲久辉, 清华大学环境学院特聘教授、博士研究生导师, 中国工程院院士, 主要研究方向为水质与水生态关系及调控;

E-mail: jhqu@rcees.ac.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“生态文明建设若干战略问题研究(三期)”(2017-ZD-09)

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

## 一、前言

推动京津冀协同发展是重大国家战略,而区域生态环境是这一战略面临的首要问题。京津冀地区短缺的水资源和严重的水污染,正在构成当地居民的“心腹之患”,已经成为制约协同发展战略实施的突出因素。京津冀区域环境污染防治迫在眉睫,亟需从综合治理角度,探讨水资源及水环境的优化调控与安全保障对策。相关研究将是推动京津冀协同发展、改善区域生态环境质量的重要突破口。

## 二、现状与挑战

### (一) 水资源调控现状

#### 1. 海河流域水资源总量不足

海河流域地处我国政治、文化和经济中心,其中部平原是我国重要的粮食主产区,西部北部山区是国家能源基地,兼顾疏解北京非首都功能的重任,具有极其重要的战略地位。

近年来,海河流域水资源短缺严重。根据海河流域水资源公报统计数据,2016年海河流域地表水资源量约为 $2.04 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,地下水资源量(含与地表水资源的重复量)约为 $2.804 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,水资源总量约为 $3.879 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,占降水量的19.8%;全流域150座大中型水库的年永蓄水总量约为 $1.052 \times 10^{10} \text{ m}^3$  [1]。

2016年海河流域各类供水工程的总供水量约为 $3.631 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,其中当地地表水占22.8%,地下水占53.7%,外调水占17.6%,其他水源占5.9%。全流域农业用水占60.6%,工业用水占13.2%,生活用水占19.0%,生态环境用水占7.2%。全流域用水消耗量为 $2.508 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,占总用水量的69.1%。

2016年海河流域废污水排放总量为 $5.511 \times 10^9 \text{ t}$ 。其中,工业和建筑业废污水排放量为 $2.208 \times 10^9 \text{ t}$ ,占40.1%;城镇居民生活污水排放量为 $2.694 \times 10^9 \text{ t}$ ,占48.9%;第三产业污水排放量为 $6.09 \times 10^8 \text{ t}$ ,占11.0%。

#### 2. 海河流域水资源量日趋短缺

海河流域水资源量呈现持续减少的趋势。全流域地表水资源量1956—1979年段平均约为 $2.8 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,1980—2000年段约为 $1.8 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,2001—2007年段约为 $1.2 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,2008—2016年

段约为 $1.5 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,近60年来总体呈减少趋势。随着降水量的减少和水资源开发利用程度的加强,海河流域地表水资源量持续减少,同时导致海河流域水资源总量的持续减少。按目前海河流域总人口计算,区域人均水资源量为 $270 \text{ m}^3$ ,仅是国家平均水平的12.8%、世界平均水平的3.3%,远低于国际公认的人均 $500 \text{ m}^3$ 极度缺水警戒线 [2]。而20世纪80年代以来经济社会高速发展,人类活动对下垫面的影响不断加剧,进一步导致流域入海水量减少。

海河流域主要河流干涸程度增大。几十年来,在气候干旱化日趋严重的背景下,上游地区修建的水库等多种水力设施导致中部平原区水资源短缺,平原地区工农业发展和城镇用水对水资源的过量开发引起地下水的采补失衡和水位的急剧下降,流域产流能力随之衰减,最终造成河流在枯水季节出现经常性的河道断流。每年河流断流天数已从20世纪60年代中后期的78 d增加到2000年的268 d。20世纪60年代断流天数超过180 d的河流数量仅有2条,而在2000年的21条目标河流中,仅白沟河、南拒马河、唐河、滏阳河、卫河、卫运河和漳卫新河等7条河流的断流天数未超过180 d,永定河等部分河段逐步呈现常年断流现象。

3. 区域水资源供水主要是浅层地下水,农业用水和耗水最大

根据海河流域水资源公报统计数据,在海河流域供水方面,2016年海河流域地表水源供水量中,蓄、引、提及跨流域调水工程供水量所占比例分别为12.8%、28.2%、15.1%和43.7%。跨流域调水总量包括引长江水量和引黄河水量。在地下水源供水量中,浅层水、深层水和微咸水供水量所占比例分别为80.6%、18.8%和0.6% [1]。

在海河流域用水方面,2016年海河流域总用水量与2015年相比,全流域总用水量减少 $5.39 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。具体来说,农业用水减少 $1.025 \times 10^9 \text{ m}^3$ ,主要减少省份为河北省;工业用水减少 $1.24 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,主要减少省份为河北省;生活用水增加 $2.12 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,生态环境用水增加 $3.98 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

在海河流域耗水方面,2016年海河流域农业、工业、生活和生态环境耗水量所占比例分别为67.9%、10.0%、13.8%和8.3%,耗水率分别为77.3%、52.4%、50.2%和80.5%。

4. 区域水资源开发利用强度与用水效率处于较高水平

水资源开发利用强度高。最近 10 年地表水开发利用超过 60%；海河北系地表水开采率甚至超过 80%，海河南系地表水资源量开发利用超过 60%；徒骇河、马颊河地表水开发利用最低，但也超过了 40%。海河流域地表水开发利用远远超过了国际公认的 40% 这一合理上限 [3]。

海河流域地下水大规模开采始于 20 世纪 70 年代，随着地表水资源利用强度的进一步增加，平原区浅层地下水开发利用持续提升。平原区 1995—2007 年平均浅层地下水资源量为  $1.41 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，平均年开采量为  $1.72 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，浅层地下水开发利用率为 122%。其中，海河南系浅层地下水开发利用达到了 149%。地下水的超量开采，造成地下水水位急剧下降以及地面下沉、地裂和塌陷等一系列环境地质问题。

水资源用水效率达到较高水平。京津冀地区以占全国 0.9% 的水资源量，提供了占全国 4% 的供水量，支撑了占全国 8% 的人口和 8% 的灌溉面积，产出占全国国内生产总值（GDP）的 11%。与京津冀水资源供需严峻情势相对应，京津冀用水效率和水资源利用程度已经达到很高的水平。2013 年，京津冀地区所在省份的人均用水量、万美元 GDP 用水量、万美元工业增加值用水量、亩均灌溉用水量、灌溉水有效利用系数等用水效率评价指标，在整体上均领先于国内其他区域。从国际上基于人类发展指数（Human Development Index，简称 HDI [4]，HDI 大于 0.9 的国家多为发达国家，HDI 介于 0.5~0.8 的国家多为亚洲、非洲、拉丁美洲的发展中国家，HDI 小于 0.5 的国家多为亚洲、非洲的欠发达国家）

来看（见图 1），京津冀地区可分为两个梯次 [5]，第一梯次北京（0.869）与天津（0.843），万美元 GDP 用水量分别为  $116 \text{ m}^3$ 、 $103 \text{ m}^3$ ，水资源利用效率已经接近或达到发达国家水平，远高于世界平均水平（万美元 GDP 平均用水量为  $506 \text{ m}^3$ ）；第二梯次河北（0.735），万美元 GDP 用水量为  $449 \text{ m}^3$ ，水资源利用效率优于发展中国家水平但离发达国家还有一定距离，将是未来水资源挖潜关键区域。

5. 区域水资源供需难以平衡，仍需“内部挖潜、外部调水”

目前第一梯次的北京和天津，虽然存量节水潜力有限，仍需要大力实施深度节水战略：充分挖掘各行业节水潜力，适度控制需求规模，推进京津冀一体化战略，稀释人口和城镇化带来的刚性需求；继续增强社会节水意识、完善节水体制，遏制奢侈用水和浪费水的现象。第二梯次的河北省，由于地下水长期超采以及经济社会发展导致的用水刚性需求增加等因素，生态环境用水历史欠账较多，高耗水、大污染的工业比重高，需要继续调整优化产业结构。

以 2030 年为未来水平年，从节约用水潜力角度评估京津冀地区未来供需平衡状态。评估过程突出以下几点：供求方面立足区域本底水资源条件和水生态环境状态，基本维持地表供水现状，充分利用区域内南水北调一期工程调入水量，增加非常规水源利用量，控制地下水超采并适当恢复地下水；在需求方面可挖掘的潜在节水量为  $2.07 \times 10^9 \text{ m}^3$ ，同时考虑支撑区域快速城镇化带来的城镇生活用水的刚性增加。根据《全国水资源综合规划配置阶段关键成果》分析得出：2030 年京津冀地区可供水量约为  $3.029 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，需水量达  $3.171 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，仍

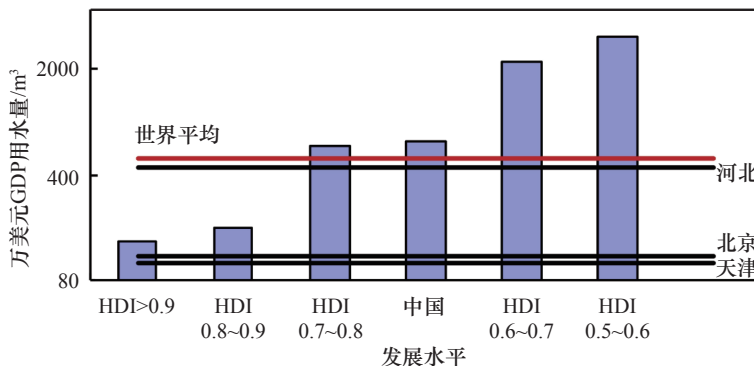


图 1 京津冀地区与不同发展水平国家万美元 GDP 用水量比较 (2016 年)

然缺水约  $1.42 \times 10^9 \text{ m}^3$ ；缺口以城镇生活和工业刚性需求为主，主要位于河北省，缺水威胁尚未彻底消除。

为了保障京津冀地区水资源安全、修复水生态环境、促进京津冀地区未来社会经济可持续发展，从水资源角度而言，应该立足“内部挖潜、外部调水”，充分拓展用水潜力，高效利用外调水，必要时进一步补充外调水（见图2）。

## （二）水环境治理现状

1. 海河流域水环境仍为重度污染，黑臭水体问题突出

根据《2016年中国环境状况公报》，海河流域为重度污染，主要污染指标为化学需氧量、五日生化需氧量和氨氮。全年总评价河长 15 565.2 km，劣 V 类水占评价河长的 44.6%，天津市劣 V 类水接近其评价河长的 70%，流域内 70 个省界断面中的 61.8% 为劣 V 类。白洋淀、衡水湖、昆明湖、福海、东昌湖 5 个重点湖泊的水质为 I~III 类的水面面积仅占 2.8%。流域内 480 个水功能区中有 147 个达到水质目标，达标率为 30.6%。其中，一级水功能区（不含开发利用区）达标率为 32.8%，二级水功能区达标率为 29.7%。按水体类型统计，河流类水功能区全年达标率为 32.1%，湖泊类水功能区全年达标率为 15.3%，水库类水功能区全年达标率为 35.3%。

“水体污染控制与治理”国家科技重大专项海河项目组 2013 年调查数据显示，北京、天津、河北的黑臭水体比例分别为 33%、97%、35%；黑

臭水体分布不均，石家庄山区的黑臭水体的比例为 10%，而石家庄平原的黑臭水体比例则高达 86%。

2. 流量不足导致河流水流过程弱化，非常规水源补给特征显著

平原闸坝林立，河道片段化、渠库化，河流连通性差、流动性差，河流动力学过程基本消失。区域主要水系流量保障率基本在 30% 以下，各大水系年均流量均无法满足流域栖息地完整性所需环境流量。2001—2012 年，海河河流污径比范围为 18.2%~71.6%，平均污径比为 35.7%，在 2002 年出现的污径比峰值达 71.6%（见图3）。

3. 区域典型河流中新兴污染物在城市和农田分布较高

新型污染物主要是药物和个人护理品（PPCP）。PPCP 广泛分布于山区、城市和农田区域的河流中，其中城市和农田区域河流中 PPCP 污染较高，山区地带的污染程度相对较低。

在新型污染物组成分析中，农田和城市地区中咖啡因（CAF）占比最高，同时城市地区中磺胺嘧啶（SDZ）和磺胺甲基异恶唑（SMX）等药物的比例也较高。城市污水处理厂是城市中 PPCP 的主要来源，而农村地区分散的点源和面源是农村地区 PPCP 的主要来源。

4. 河流生态环境质量差、生物多样性低，水生生态功能退化严重

海河流域 50% 以上河流生态环境状况为中等偏差，难以为生物群落提供适宜的生存和繁殖栖息地。超过 30% 的河流生态环境为极差，中部平原段和下游滨海段超过 45%，导致海河流域水生

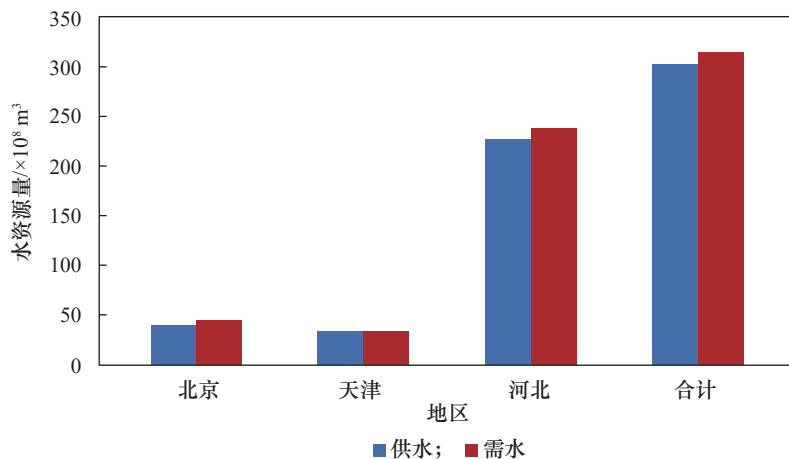


图2 2030年京津冀地区水资源供需情况预测

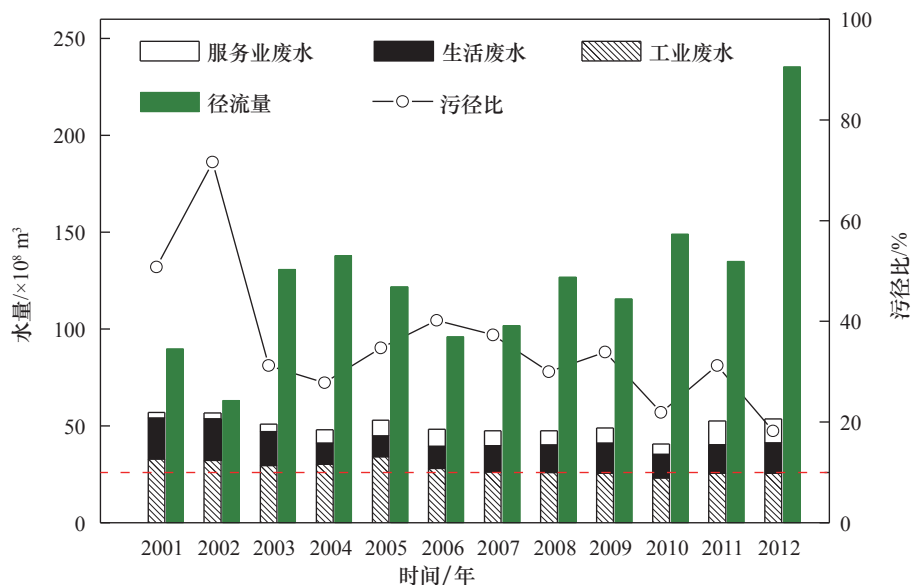


图3 海河径流量、污径比及污水分类（2001—2012年）

生物物种贫化，底栖动物群落多样性水平较低，Shannon-Wiener 指数为 0.22~2.73。

#### 5. 地下水面临水量性和水质性缺水压力

1959—2003 年，京津冀地区的平原区浅层地下水水位下降显著，部分区域水位差接近 30 m。区域累计超采量超过  $1.55 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ，已经形成了大量漏斗区。

区域 72% 的浅层地下水受到污染，“三致”污染物已经被监测到；在集中式地下水饮用水源地保护区和补给区内，存在 1100 多个潜在地下水污染源；填埋场、化工场、加油站等地下水污染源  $1.26 \times 10^4$  个，其中 40% 存在地下水污染情况。

### （三）区域水生态系统存在的问题和挑战

#### 1. 水资源严重短缺，区域“社会—自然”二元水循环系统失衡

京津冀地区是我国严重缺水地区，水资源总量“先天不足”。1956—2000 年的平均水资源量为  $3.7 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，仅占全国同期平均量的 1.3%；人均水资源占有量为  $269 \text{ m}^3$ ，仅为全国平均水平的 12.5%。社会经济快速发展的需求，造成了区域内水资源的过度开发。其中，天津水资源开发利用强度达到了 70.2%，河北为 82.9%，北京市则高达 90.8%。自然水源补给的匮乏、工业废水与城市退水的激增，使得 2001—2012 年间京津冀地区河流平均污径比高达 35.7%；非常规水源成为京津冀地

区河流的主要补给，社会水循环过程的主导性特点突出。城市非常规水源再生利用与水质风险控制措施，直接影响着区域水资源安全利用、水环境质量和水生态健康。

#### 2. 水体黑臭与生态缺水复合效应突出，水生态极端退化

京津冀平原区呈现地表断流、湿地萎缩和黑臭突出现象，半数河流的水资源短缺与水环境恶化致使水生生物栖息地严重受损，生态功能衰退，流域生态系统由开放型逐渐向封闭式和内陆式方向转化。造成京津冀地区水生态环境问题突出的深层次原因主要表现为 3 个失衡：①水资源总量不足，开发利用过度，经济社会发展与区域水资源关系严重失衡，成为京津冀区域水环境态势严峻的主要根源；②区域人口密集、产业聚集，城市群用水排水带来的水污染物排放聚化效应突出，河流非常规水源补给特征突出是区域黑臭严重的直接原因；③缺乏区域水环境管理联动协调机制，水资源利益不均衡，上下游城乡布局与产业发展缺乏整体统筹设计，准入标准、排放标准、执法力度缺乏协同机制，区域经济发展与水生态保护的空间失衡，这是京津冀水生态不健康度较高的重要原因。

### 三、保障策略与建议

京津冀地区水资源约束很强，水环境污染很重，

河流生态系统退化程度很高。水资源、水环境、水生态与经济社会发展之间彼此失衡，水生态文明建设水平严重滞后于区域经济社会发展的要求，已成为制约京津冀一体化和国家生态文明建设的重大瓶颈。着眼于促进京津冀生态环境质量持续改善、实现京津冀协同发展，提出水资源及水环境调控与安全的保障策略与建议。

### （一）通过技术途径打造“山水林田湖海”水生态格局

“山水林田湖海生命共同体”，从本质上深刻地揭示了人与自然生命过程之根本，是不同自然生态系统间能量流动、物质循环和信息传递的有机整体，也是人类紧紧依存、生物多样性丰富、区域尺度更大的生命有机体。应开展整体性保护、系统性修复和综合性治理。京津冀地区在已有的黄河水为水源的基础上，充分利用长江水中线和长江水东线作为京津冀地区的外部输入，缓解地区供水压力，为饮用水安全提供基础保障。同时，从产水、涵水、节水和净水4个方面增强流域内部的产水性能、涵水性能、水资源利用率以及净水能力。通过外部和内部的协同作用，达到饮用水健康持续的目标。最终构建水生态廊道，控制地下水超采并适当恢复地下水，保障生态基流，形成“山水林田湖海”水生态格局。

### （二）构建水健康循环与高效利用模式

通过发展新技术、完善工农业管理等措施，达到水源多样性的目的，为构建水健康循环和高效利用模式提供技术支持。水源包括常规水源和非常规水源。针对常规水源的健康循环和高效利用，主要应解决的问题在于水源的开采程度和常规水源在工农业中的合理分配。而对于非常规水源，主要应解决的问题有：①突出技术革新，发展新技术，实现商业化的海水淡化；②管控及治理工农业排放，合理采用现有技术或改良生产工艺，实现污水或废水在工农业中的内部循环；③完善健康风险评价与管理技术系统，统筹规划水健康循环和高效利用。着力开辟以再生水为主的非常规水源，管控环境风险，将水的自然循环和社会循环有机结合，形成健康、高效、绿色的水循环与水利用模式。同步开展地下

水污染有效控制，加强饮用水氟、硝酸盐等污染控制，保障饮用水安全。

### （三）发展与水生态承载力相适应的生产生活方式

流域水生态承载力是水资源承载力、水环境承载力以及生态承载力的有机结合，其主体内涵包括水资源供需、生态系统弹性力和环境容量，这些要素也是判断水生态系统健康的“信号指示灯”。

建议在以下3个方面发展与水生态承载力相适应的生产生活方式：①在农业方面，根据水资源总量进行种植结构调整、休耕农田节水、限水灌溉稳产；②在工业方面，结合水体纳污能力和生态容量，继续优化产业结构，限制淘汰高耗水、高污染产业；③在人居方面，综合考虑生态系统稳定和弹性，合理进行城市布局，人口规模应适应水分布，倡导节水生活方式。最终达成：以水定城、以水定人、以水定产。

### （四）提升水环境质量与保障区域水生态健康

在解决好水污染治理问题的基础上，注重水生态保护。确立保护优先、自然恢复为主的基本方针，建立水生态保护与修复的制度体系，增强水生态服务功能和水生态产品的生产能力。①实施源头控制，加强化工、制药、钢铁等主要行业的源头减排和清洁生产，降低重金属、持久性污染物的环境风险；②进行技术革新，推动生活污水处理提标升级，减少营养盐和新兴污染物的环境排放；③发展绿色农业，减少化肥农药施用，推广清洁养殖，降低农药和抗生素等的环境暴露，以达到恢复河流良好生态系统、生物多样性显著提升的目的。

### （五）建立区域水环境质量协同管理体系

建立并实施区域水环境质量协同管理体系，需要流域尺度层面的科学决策与行政区划尺度层面的高效管理相结合、水环境污染风险等级精细化与差异化相结合，并以经济与环境协调发展、用最低代价实现水环境质量改善为基础，推动制定《生态—环境—资源红线保护法》，建立生态保护红线管理制度；统一区域内的流域环境标准，建立水资源—水环境联合预警与环境协作执法体制；创新绿色发

展评价制度,实施领导干部环保政绩考核;建设基于水生态承载力的产业发展机制,构建区域生态补偿机制;完善信息公开与公众参与机制,建立生态环境政务管理平台。

### (六) 实行京津冀产业协同调配与污染减量化

京津冀一体化需要整体规划三地的产业分工和布局,以达到高融合、高效益、协调发展的目标。着力解决产业协同发展的两个主要问题:经济区与行政区不一致,经济基础与基础设施建设不一致。应对前者,重在京津冀内部的经济开放和各行政区的利益协调;应对后者,天津和河北在协同发展过程中需实现经济、交通的一体化。

资源和环境问题是京津冀协同发展面临的重大挑战。京津冀区域发展的协同与可持续,前提之一就是京津冀的生态环境进行协同治理。发展理念应从“3R”向“5R”转变:再思考、减量化、再利用、再循环、再修复。①再思考,既研究资本循环、劳动力循环,还要研究自然资源循环;②减量化,既包括原有的生产原料投入的“减量化”,还延伸到满足人们的合理需求;③再使用,从一物多用、废物利用延伸到充分利用可再生资源,加强基础设施与信息资源的共享,发展以废物为原料的“再制造”;④再循环,把经济体系由生产过程粗放的开链转变为集约的闭环,形成循环经济的技术体系和产业体系;⑤再修复,逐步修复被人类活动破坏的生态系统,与自然和谐也是创造财富,也是生产的目的。

### (七) 推进“半城市化”与农村污染治理

“半城市化”是指农村搬迁到乡镇或县城(非大规模城市)的过程,是解决农村分散污染治理的有效方式。农村生活污水分为冲厕污水和洗衣、洗米、洗菜、洗澡废水,一般不含有毒物质,往往含有氮、磷等营养物质,还有大量的细菌、病毒和寄生虫卵。因传统习惯、生活方式、经济水平的不同,农村生活污水的水质水量差异较大。“半城市化”的过程将显著缓解农村生活污水分布较分散、随机性强、粗放型排放、污水流量小、成分复杂、可生

化性强等突出问题。在推动“半城市化”的进程中,即使农村污染总量可能增加,但由于半城市化的统一性,使得污染更加集中而便于处理,可以适应更高的排放标准。

## 四、结语

系统性地解决京津冀区域协同发展所面临的水资源短缺、水环境污染与水生态系统退化问题已是当务之急,研究提出多项区域水资源与水环境调控与安全保障的策略建议,以期为相关重大环境课题提供调研和决策支撑。

与此同时,建议将钢铁、化工、印染等重点行业的污染物协同控制,高耗水行业的节水用水与重复利用率提升,流域污染物总量控制,农业面源污染治理及灌溉节水,水环境容量与生态承载力提升等作为水资源与水环境调控与安全保障的核心举措,全方位推动京津冀区域协同发展与生态文明建设,尽早实现京津冀区域生态环境质量的全面改善。

### 参考文献

- [1] 水利部海河水利委员会. 海河流域水资源公报2016年 [EB/OL]. (2017-12-11) [2019-07-07]. <http://www.hwcc.gov.cn/hwcc/static/szygb/gongbao2016/index.html>. Haihe River Water Conservancy Commission, MWR. Haihe river water resources bulletin 2016 [EB/OL]. (2017-12-11)[2019-07-07]. <http://www.hwcc.gov.cn/hwcc/static/szygb/gongbao2016/index.html>.
- [2] Falkenmark, M, Lundqvist, J, Widstrand, C. Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches: Aspects of vulnerability in semi-arid development [J]. *Natural Resources Forum*, 1989, 13(4): 258-267.
- [3] 程国栋. 虚拟水——中国水资源安全战略的新思路 [J]. *中国科学院院刊*, 2003, 18(4): 260-265. Cheng G D. Virtual water – A strategic instrument to achieve water security [J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 2003, 18(4): 260-265.
- [4] United Nations Development Programme. Human development report 1990 [M]. Oxford: Oxford University Press, 1990.
- [5] 贡森, 葛延风, 库勒. 2016中国人类发展报告: 通过社会创新促进包容性的人类发展 [M]. 北京: 中译出版社, 2016. Gong S, Ge Y F, Kuhnle S. China national human development report 2016: Social innovation for inclusive human development [M]. Beijing: China Translation & Publishing House, 2016.