

基于“量-质-域-流-生”的京津冀水资源协同 保护状态综合评价

杨 钦, 胡 鹏, 王建华, 刘 欢, 曾庆慧, 杨泽凡, 闫 龙

(中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038)

摘要:针对京津冀地区水资源矛盾突出、水生态系统受损严重的问题,依据水资源协同保护的内涵,构建了基于“量-质-域-流-生”的水资源协同保护状态综合评价指标体系,对京津冀水资源协同保护状态进行了综合评价。结果表明:2018 年京津冀地区的水资源协同保护状态得分分别为 59.6、46.1 和 56.8,均低于全国水平的 64.8,水资源保护工作仍有较大的提升空间;根据评价结果识别了京津冀水资源协同保护现状中的薄弱环节,发现各维度的评价结果较全国水平均存在一定差距,其中水量维度评价得分差距较大,水资源短缺矛盾最突出;有效解决生态基流被挤占、地下水采补不平衡等问题是实现区域水资源协同保护的关键。

关键词:水资源协同保护;水生态系统受损;“量-质-域-流-生”;京津冀地区

中图分类号:TV213.4

文献标志码:A

文章编号:1004-6933(2025)01-0114-09

Comprehensive evaluation of water resources collaborative protection status in the Beijing-Tianjin-Hebei Region based on “quantity-quality-domain-connectivity-biology”//YANG Qin, HU Peng, WANG Jianhua, LIU Huan, ZENG Qinghui, YANG Zefan, YAN Long(State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: In response to the prominent contradiction in water resources and severe damage to water ecosystems in the Beijing-Tianjin-Hebei Region, a comprehensive evaluation index system for water resources collaborative protection status based on “quantity-quality-domain-connectivity-biology” was constructed according to the connotation of water resource collaborative protection, and a comprehensive evaluation of the water resources collaborative protection status in the Beijing-Tianjin-Hebei Region was conducted. The results show that the scores of water resources collaborative protection in the Beijing-Tianjin-Hebei Region in 2018 were 59.6, 46.1, and 56.8, respectively, which are lower than the national level of 64.8. There is still significant room for improvement in water resources protection work. Based on the evaluation results, the weakness in the water resources collaborative protection status in the Beijing-Tianjin-Hebei Region are identified, and it is found that there are certain gaps in the evaluation results of each dimension compared with the national average level. Among them, the evaluation score of the water quantity dimension is significantly lower than the national average level, and the contradiction of water resources shortage is prominent. Effectively solving the problems of ecological base flow being squeezed and uneven groundwater extraction and replenishment is the key to achieving collaborative protection of regional water resources.

Key words: water resources collaborative protection; damage to aquatic ecosystem; “quantity-quality-domain-connectivity-biology”; the Beijing-Tianjin-Hebei Region

水资源作为基础性自然资源和战略性经济资源,是经济社会协调发展的重要支撑,是生态环境的重要控制性要素,具有不可替代的重要作用^[1]。随着我国社会经济的快速发展,水资源的供需矛盾及污染破坏问题日益突出,迫切需要科学开展水资源

保护工作^[2-3],有效提升河湖生态系统的安全性和稳定性,对于维持生态环境安全和社会安全具有重要意义^[4-5]。京津冀地区是我国经济最具活力、产业最为发达、人口最为密集的区域之一,也是水资源保护问题最突出的地区,区域自然资源环境与社会

基金项目:国家重点研发计划项目(2024YFC3210901);国家自然科学基金项目(52394233,52122902);国家重点实验室自主研究课题项目(WR110146B0022024)

作者简介:杨钦(1991—),男,高级工程师,博士,主要从事水资源与水生态研究。E-mail:yangqin@iwhr.com

通信作者:胡鹏(1985—),男,正高级工程师,博士,主要从事水资源与水生态研究。E-mail:hp5426@126.com

经济发展矛盾以水资源的制约最为显著,水资源保护形势十分严峻^[6-8]。据统计,京津冀水资源总量为181.15 亿 m³,人均水资源量仅为全国平均水平的1/9^[9],以占全国 0.7%的水资源量支撑了 8.0%的人口^[10]。2000 年以来,京津冀地区大多年份水资源开发利用强度超过了 100%,远超国际上水资源开发利用通用标准的安全界限^[11]。区域内出现过全年断流的河流比例高达 70%^[12],其中永定河、潮白河等流域的主要支流干渠均存在全年断流现象^[13-14],白洋淀、七里海等湿地严重萎缩,长期依靠生态补水维持功能稳定^[15-16]。2018 年海河流域生态基流达标率为全国最低水平^[17],加之地下水超采、水污染严重、水空间挤占、水生态系统退化等水资源保护问题,很大程度上影响了首都水安全、京津冀协同发展战略以及雄安新区的建设,已严重制约了区域的经济社会可持续发展^[18-19]。随着京津冀协同发展战略的深入实施以及雄安新区进入大规模实质性开工阶段,经济社会的协调发展对京津冀地区水资源合理开发与保护提出了更高的要求^[20]。在此形势下,有必要站在流域视角,秉承系统治理理念,从人类活动对水资源系统的多维干扰出发^[21],对京津冀地区水资源协同保护状态进行综合评价,识别严重影响区域水资源保护的关键要素^[22]。

人类活动对水资源系统的干扰主要体现在水资

源的消耗(量)、水污染的排放(质)、水域空间的侵占(域)、水流连通性的破坏(流)4 个方面,并进而造成水生生物多样性(生)的衰退。本文依据水资源协同保护的内涵,构建基于“量-质-域-流-生”的水资源协同保护状态综合评价指标体系,评价并分析京津冀水资源协同保护现状,探索基于“量-质-域-流-生”的京津冀水资源协同保护中的薄弱环节,针对性地提出京津冀水资源协同保护主要措施建议,以期为新时期水利改革和京津冀协同发展提供参考。

1 基于“量-质-域-流-生”的水资源协同保护状态综合评价指标体系

传统水资源保护工作重点集中在水量取用和水质保护两方面,新时期水资源保护的最大特征是强调流域整体的系统治理。需要站在流域视角,开展流域水资源协同保护,使人类活动对流域水资源系统的干扰维持在水资源系统可承载范围之内,实现水资源的可持续利用的核心就是强调流域整体的协同保护^[4]。

1.1 综合评价指标体系构建

根据水资源协同保护的关键要素,从量、质、域、流、生 5 个维度,构建了 4 层 5 维 24 个指标所组成的水资源协同保护状态综合评价指标体系(图 1),



图 1 基于“量-质-域-流-生”的水资源协同保护状态综合评价指标体系

Fig. 1 Comprehensive evaluation index system for collaborative water resources protection status based on “quantity-quality-domain-connectivity-biology”

括号中数据为权重,“+”表示正得指标,“-”表示负向指标。该指标体系的4个层级:第一层级为目标层,构建的评价指标体系目标为水资源协同保护状态综合评价;第二层级为维度层,主要从量、质、域、流、生5个维度考虑;第三层级为分类层,针对每个维度的特征进行分类,包括河流生态流量保障等10类;第四层级为指标层,筛选出能够代表不同维度不同分类的表征指标,共24个。具体评价指标主要依据各维度被保护或受干扰的客观状态(程度)来进行选择,各项指标之间相对独立,在选取时充分考虑了指标的代表性,做到完整、科学地反映不同维度的保护状态^[5]。

1.2 指标权重确定

指标权重的大小反映各评价指标在水资源协同保护状态综合评价中的重要程度,代表指标对总目标实现的贡献程度^[23]。为了避免单独采用某一种方法造成误差,采用主客观综合赋权法确定指标权重。一方面,在样本调查的基础上,通过层次分析法^[24]对指标进行主观赋权;另一方面,利用各指标数据,采用熵权法^[25]对指标进行客观赋权,具体计算过程见文献[26-29]。将主、客观赋权结果进行线性组合得到指标最终权重 Q :

$$Q = \alpha_1 Q_1 + \alpha_2 Q_2 \tag{1}$$

式中: Q_1 、 Q_2 分别为层次分析法、熵权法计算所得权重; α_1 、 α_2 分别为层次分析法、熵权法的重要性系数,满足 $0 \leq \alpha_1 \leq 1, 0 \leq \alpha_2 \leq 1, \alpha_1 + \alpha_2 = 1$ 。本文认为主客观权重同等重要,取 $\alpha_1 = \alpha_2 = 0.5$ 。

1.3 综合评价方法

采用线性插值方法对指标层的24个指标得分情况进行评价。综合考虑指标属性、发展变化情况、规划目标等综合确定指标最差和最优两个特征值,相应指标得分分别设为0和100。正向指标的得分随指标值增大而增大,当指标值小于或等于最差特征值时,赋分为0;当指标值大于或等于最优特征值时,赋分为100。负向指标的得分随指标值增大而减小,赋分方式相反^[30]。

采用多指标综合赋分的方法对维度层和分类层的得分情况进行评价。以维度层为例,通过维度层多指标的权重系数,加权计算得到水资源协同保护状态综合评价中量(W_1)、质(W_2)、域(W_3)、流(W_4)和生(W_5)的得分情况,计算公式为

$$\begin{cases} W_1 = \varepsilon_B B + \varepsilon_X X + \varepsilon_H H \\ W_2 = \varepsilon_G G + \varepsilon_Y Y \\ W_3 = \varepsilon_S S + \varepsilon_J J \\ W_4 = \varepsilon_Z Z \\ W_5 = \varepsilon_D D + \varepsilon_N N \end{cases} \tag{2}$$

式中: B 、 X 、 H 、 G 、 Y 、 S 、 J 、 Z 、 D 、 N 为各分类层得分; ε 为各分类层的权重系数,各维度内分类层的权重系数之和为1。

采用多组分集成赋分的方法对目标层的得分情况进行评价^[31]。根据计算得到的量、质、域、流和生5个维度的结果,集成计算水资源协同保护状态综合得分,计算公式为

$$W_T = \sigma_1 W_1 + \sigma_2 W_2 + \sigma_3 W_3 + \sigma_4 W_4 + \sigma_5 W_5 \tag{3}$$

式中: W_T 为资源协同保护状态综合得分,在0~100间取值; σ 为各维度层的权重系数,系数之和为1。按照水资源协同保护状态综合得分的将水资源协同保护状态划分为优、良、中、差、劣5个等级^[5],对应得分区间分别为 $0 \sim < 40$ 、 $40 \sim < 60$ 、 $60 \sim < 70$ 、 $70 \sim < 80$ 、 $80 \sim 100$ 。

1.4 数据来源

构建水资源协同保护状态综合评价指标体系需要的数据包括气象水文数据、水生态环境质量数据、遥感数据、鱼类资源数据等。气象水文数据来源于中国气象科学数据共享网(<http://data.cma.cn>),主要包括1980—2018年气温、降水、风速、湿度等;水生态环境质量数据来源于2018年《中国水文年鉴》、2018年《中国地质环境监测地下水位年鉴》、第二次和第三次全国水资源调查评价成果、全国水资源管理信息系统实时监测数据;遥感影像数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>),基于Landsat MSS、TM/ETM和Landsat 8卫星遥感数据解译获得1980年、1990年、2000年、2010年、2018年共5期土地利用数据,精度为30 m;鱼类资源数据来源于各流域鱼类志或鱼类图鉴、历年《中国渔业统计年鉴》。

2 京津冀水资源协同保护状态综合评价

2.1 指标体系参数计算结果

根据评价指标确权方法,结合京津冀地区的实际情况,得到京津冀水资源协同保护状态综合评价指标体系各层指标的权重,结果见图1所示。在维度层,5个维度的权重系数依次为0.23、0.23、0.20、0.14和0.20,水量和水质的权重系数相对较高;在分类层,水量维度内的3个分类的权重系数分别为0.60、0.20和0.20,水质维度内的2个分类的权重系数分别为0.52和0.48,水域、水流、水生生物3个维度内各分类的权重按照分类数平均分配;在指标层,分别利用层次分析法和熵权法计算出24个指标的主观权重和客观权重,进而计算出各指标的综合权重,各指标的主客观权重及综合权重雷达图如图2所示。

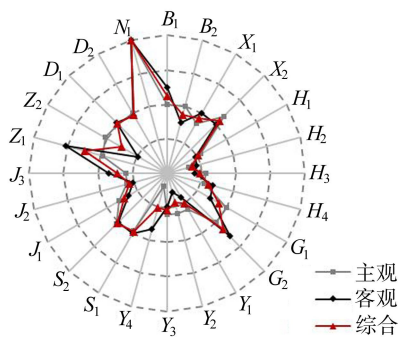


图2 评价指标主客观权重雷达图

Fig. 2 Radar chart of subjective and objective weights of evaluation indicators

根据水资源协同保护状态综合评价指标的概念内涵^[4-5]、国内外相关文献研究成果^[32-35]、国家及相关行业标准和规范、历史变化及未来相关规划等实际特征,综合确定了各评价指标特征值的最差值和最优值,具体确定过程主要采用理论最差或理论最优值,部分指标考虑社会、公众的接受程度和现实最差状况予以判定。

采用理论值确定特征值的指标有12个,其中生态基流达标率、敏感生态需水达标率、中高覆盖度林草地比例、水土流失面积占比、水功能区水质达标率、饮用水水源地水质达标率、Ⅰ~Ⅲ类水质河长比例、Ⅰ~Ⅲ类地下水水质监测井比例、水域空间保留率、水域空间聚合度10个指标的最差值为0、最优值为100%;中等以上侵蚀强度占比、鱼类产量占历史产量百分比2个指标的最差值为100%、最优值为0。考虑社会和公众的接受程度和现实最差状况予以判定的指标有12个,其中平原区地下水超采面积比例、平原区地下水超采强度2个指标的最差值为40%、最优值为0;林草地面积占比的最差值为0、最优值为70%;劣Ⅴ类水质河长比例的最差值为50%、最优值为0;湖库平均富营养化指数是将30%(贫营养阈值)作为最优值、将70%(重度富营养化阈值)作为最差值;水域空间变化率的最差值为-100%、最优值为0;水域空间保护率的最差值为0、最优值为70%;最大斑块指数的最差值为0、最优值为50%;区域整体连通性的最差值为5、最优值为0;主要河流连通性的最差值为2.5、最优值为0;鱼类采集物种比例的最差值为80%、最优值为0;特有鱼类受威胁种类比例,将各重点流域特有鱼类受威胁种类比例的95%分位数27%作为最差值,最优值为0。各项指标特征值的选取在全国范围内均具有普遍性,适用于京津冀地区的评价。

2.2 综合评价结果与分析

2.2.1 水量维度评价

水量维度包括河湖生态流量保障、平原区地下

水采补平衡和山丘区水源涵养稳定3方面指标,计算结果如表1所示。通过对京津冀和全国404个代表性断面生态基流达标率进行评价,得到2018年全国整体达标率为62.2%,北京、天津达标率为0,河北达标率为34.4%,远低于全国水平。对2018年京津冀和全国251个具有重要生态保护目标的断面在鱼类集中产卵期(4—7月)敏感生态需水达标率进行评价,得到2018年全国整体达标率为63.6%,北京、河北达标率为75.0%和67.0%,略高于全国平均水平,天津达标率仅有33.0%,只有全国水平的50%。

表1 水量维度指标计算结果

Table 1 Calculation results of water quantity dimension indexes

区域	B ₁ /%	B ₂ /%	X ₁ /%	X ₂ /%	H ₁ /%	H ₂ /%	H ₃ /%	H ₄ /%
北京	0	75.0	45.5	5.1	82.4	85.9	85.9	1.7
天津	0	33.0	28.2	61.9	10.3	87.8	98.3	6.0
河北	34.4	67.0	82.8	56.7	57.4	93.1	77.5	8.9
全国	62.2	63.6	9.7	7.4	54.2	70.5	71.4	26.0

2018年全国平原区地下水超采面积为25.8万km²,平原区地下水超采面积占比为9.7%,北京、天津、河北平原区地下水超采面积分别为0.3万、0.31万、7.14万km²,平原区地下水超采面积占比分别为45.5%、28.2%、82.8%,远超全国平均水平,其中河北超采面积占比接近100%,处于较差状态。进一步分析平原区地下水超采强度可知,2018年全国整体为7.4%,北京、天津、河北分别为5.1%、61.9%、56.7%,北京地下水超采强度略小于全国水平,天津、河北的超采强度最大。

2018年全国林草地面积占比和中高覆盖度林草地比例分别为54.2%和70.5%,北京、天津、河北林草地面积占比分别为82.4%、10.3%、57.4%,北京、天津、河北中高覆盖度林草地比例分别为85.9%、87.8%、93.1%。北京、河北林草地面积占比与全国水平相似,天津处于较低水平,京津冀的中高覆盖度林草地比例略高于全国水平。全国水土流失面积占比和中等以上侵蚀强度占比分别为71.4%和26.0%,北京、天津、河北水土流失面积占比分别为85.9%、98.3%、77.5%,均高于全国水平;与水土流失面积占比结果相反,北京、天津、河北中等以上侵蚀强度占比分别为1.7%、6.0%、8.9%,远低于全国水平。

根据水量维度各指标的评价结果,计算得到各指标的得分如表2所示。全国及京津冀河湖生态流量保障分类层得分依次为62.8、33.0、14.5、48.7,平原区地下水采补平衡分类层得分依次为78.8、47.1、13.6、0.0,山丘区水源涵养稳定分类层得分依次为73.6、93.4、73.2、85.9。

表 2 水量维度指标得分

Table 2 Score of water quantity dimension indexes								
区域	B_1	B_2	X_1	X_2	H_1	H_2	H_3	H_4
北京	0	75.0	0	87.3	100.0	85.9	85.9	98.3
天津	0	33.0	29.5	0	14.7	87.8	98.3	94.0
河北	34.4	67.0	0	0	82.0	93.1	77.5	91.1
全国	62.2	63.6	75.7	81.5	77.4	70.5	71.4	74.0

2.2.2 水质维度评价

水质维度包括社会经济系统水质安全和自然生态系统水质安全两个方面指标,计算结果如表 3 所示。2018 年全国水功能区水质达标率为 66.4%,北京和河北达标率略低于全国水平,分别为 57.7%和 49.6%,天津达标率最低,仅有 8.5%。2018 年全国饮用水水源地水质达标率为 92.7%,天津和河北达标率为 100%,而北京达标率为 87.5%,有待进一步提高。

表 3 水质维度指标计算结果

Table 3 Calculation results of water quality dimension indexes						
区域	$G_1/\%$	$G_2/\%$	$Y_1/\%$	$Y_2/\%$	$Y_3/\%$	$Y_4/\%$
北京	57.7	87.5	86.0	14.0	40.0	63.3
天津	8.5	100	23.9	38.5	47.5	21.6
河北	49.6	100	50.3	24.7	47.5	34.3
全国	66.4	92.7	82.0	5.5	47.0	27.4

2018 年全国Ⅰ~Ⅲ类水质河长比例和劣Ⅴ类水质河长比例分别为 82.0%和 5.5%,北京Ⅰ~Ⅲ类水质河长比例高于全国水平,达到 86.0%,天津和河北Ⅰ~Ⅲ类水质河长比例低于全国水平,仅有 23.9%和 50.3%。北京、天津、河北劣Ⅴ类水质河长比例均高于全国水平,分别达到 14.0%、38.5%、24.7%。2018 年全国湖库平均富营养化指数为 47.0%,北京、天津、河北的指数与全国较为相似,分别为 40.0%、47.5%、47.5%。2018 年全国Ⅰ~Ⅲ类地下水水质监测井比例为 27.4%,天津和河北的比例与全国较为相似,分别为 21.6%和 34.3%,北京的比例高达 63.3%,地下水水质条件最好。

根据水质维度各指标的评价结果,计算得到各指标的得分如表 4 所示。全国及京津冀社会经济系统水质安全分类层得分依次为 81.4、74.7、60.7、

表 4 水质维度指标得分

Table 4 Score of water quality dimension indexes						
区域	G_1	G_2	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
北京	57.7	87.5	86.0	72.0	75.0	63.3
天津	8.5	100	23.9	23.0	56.3	21.6
河北	49.6	100	50.3	50.6	56.3	34.3
全国	66.4	92.7	82.0	89.0	57.5	27.4

78.3,自然生态系统水质安全分类层得分依次为 62.7、74.0、31.8、47.8。

2.2.3 水域维度评价

水域维度包括面积稳定和结构合理两个方面指标,计算结果如表 5 所示。相较于 1980 年,2018 年全国水域空间变化率和水域空间保留率分别为 -4.5%和 79.2%,北京、天津水域空间变化率为正值,分别为 8.0%和 1.0%,河北水域空间变化率与全国水平接近,为 -4.0%;北京水域空间保留率高于全国水平,达到 87.6%,天津和河北的指数低于全国水平,分别仅有 58.8%和 68.7%。造成水域空间被侵占的主要原因有城镇化发展、粮食耕种面积增加、堤防修建等。

表 5 水域维度指标计算结果

Table 5 Calculation results of water domain dimension indexes					
区域	$S_1/\%$	$S_2/\%$	$J_1/\%$	$J_2/\%$	$J_3/\%$
北京	8.0	87.6	65.0	74.8	30.9
天津	1.0	58.8	29.5	86.6	29.4
河北	-4.0	68.7	52.1	81.4	16.0
全国	-4.5	79.2	63.9	84.9	22.5

2018 年全国水域空间保护率、水域空间聚合度和最大斑块指数分别为 63.9%、84.9%和 22.5%。北京水域空间保护率与全国水平相似,为 65.0%,河北的指标略低于全国水平,天津的指标处于较低水平,仅为 29.5%;北京、天津、河北水域空间聚合度与全国平均水平较为相似,分别为 74.8%、86.6%、81.4%;北京和天津最大斑块指数高于全国水平,分别为 30.9%和 29.4%,河北最大斑块指数为 16.0%,略低于全国水平。

根据水域维度各指标的评价结果,计算得到各指标的得分如表 6 所示。全国及京津冀面积稳定分类层得分依次为 87.2、93.7、79.0、82.1,结构合理分类层得分依次为 72.8、76.6、60.6、61.1。

表 6 水域维度指标得分

Table 6 Score of water domain dimension indexes					
区域	S_1	S_2	J_1	J_2	J_3
北京	100	87.6	92.9	74.8	61.8
天津	100	58.8	42.1	86.6	58.8
河北	96.0	68.7	74.4	81.4	32.0
全国	95.5	79.2	91.3	84.9	45.0

2.2.4 水流维度评价

水流维度重点关注区域内河流整体连通性和主要河流的连通性。2018 年全国区域整体连通性指数为 1.85,北京、天津、河北的指数均低于全国水平,分别为 1.4、1.07、1.05。2018 年全国主要河流连通性平均指数为 0.74,北京、天津、河北主要河流

连通性指数与区域整体连通性评价结果相反,均高于全国水平,分别为 1.90、1.71、1.01。说明京津冀地区的区域整理连通性优于全国整体情况,但是主要河流上的拦河建筑物较多,主要河流的水流连通性较差。根据水流维度各指标的评价结果,计算得到各指标的得分如表 7 所示。全国及京津冀水流连通分类层得分依次为 65.8、53.8、60.7、71.6。

表 7 水流维度指标得分

Table 7 Score of water flow connectivity dimension indexes		
区域	Z_1	Z_2
北京	72.0	24.0
天津	78.6	31.6
河北	79.0	59.6
全国	63.0	70.4

2.2.5 水生生物维度评价

水生生物维度包括种类多样和数量稳定两个方面指标。2018 年,全国鱼类采集物种比例为 48.6%,北京、天津、河北地区的指标均低于全国水平,分别为 34.5%、34.5%、36.6%;全国特有鱼类受威胁种类比例为 21.4%,北京、天津和河北地区的指标均略高于全国水平,分别为 25.9%、25.9%、25.5%;全国渔业产量占历史产量比例为 3.0%,而北京、天津的指标为 0,河北的指标为 1.9%,均低于全国水平。根据水生生物维度各指标的评价结果,计算得到各指标的得分如表 8 所示。全国及京津冀种类多样分类层得分依次为 69.8、69.0、69.0 和 69.6;数量稳定分类层得分依次为 0、0、2.0 和 3.0。

表 8 水生生物维度指标得分

Table 8 Score of hydrobiology dimension indexes			
区域	D_1	D_2	N_1
北京	43.1	95.9	0
天津	43.1	95.9	0
河北	45.8	94.4	2.0
全国	60.8	79.3	3.0

2.2.6 综合评价

根据各维度评价结果,计算得到 2018 年全国及京津冀水资源协同保护状态维度层和目标层得分,结果见表 9。绘制维度层指标得分的雷达图见图 3。由表 9 和图 3 可见,全国水资源协同保护状态得分整体为 64.8,处于中等等级,总体面临着一定的保护与修复需求。从各维度得分来看,水域维度得分最高,达到 80.0,处于优等级;水质维度得分次之,得分为 72.4,处于良等级;水量和水流维度得分分别为 68.2 和 65.8,处于中等等级;水生生物维度得分最低,仅为 36.4,处于劣的等级。

表 9 维度层和目标层得分

Table 9 Scores of dimension layers and target layers

区域	维度层					目标层
	水量	水质	水域	水流	水生生物	
北京	47.9	74.4	85.1	53.8	34.5	59.6
天津	26.1	46.8	69.8	60.7	34.5	46.1
河北	46.4	63.7	71.6	71.6	35.8	56.8
全国	68.2	72.4	80.0	65.8	36.4	64.8

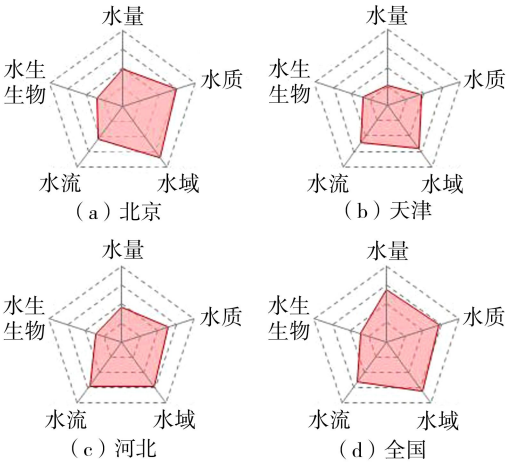


图 3 维度层指标得分雷达图

Fig. 3 Radar chart of scores for indexes of dimension layers

北京、天津、河北的水资源协同保护状态得分分别为 59.6、46.1、56.8,均处于差等级,其中北京和河北得分相对偏高,稍加恢复有望提升至中等等级,而天津得分相对偏低,仍面临着较大的挑战。从各维度得分来看,不同地区面临的突出短板有所差异。在水量维度中,受京津冀水资源短缺的影响,各省市的水量评分均低于全国水平,其中天津水量维度得分最低,仅为 26.1,处于劣等级,主要是因为生态基流和敏感期生态需水的水量需求难以得到满足,达标率非常低,仅为 0 和 33%。在水质维度中,北京和河北的水质评分与全国水平相似,分别处于良和中等等级,而天津的水质评分处于差等级,一方面是因为水功能区水质达标率较低,仅有 8.5%,另一方面是 I ~ III 类水质河长比例较低且劣 V 类水质河长比例较高导致。在水域维度中,北京的水域评价等级高于全国水平,已达到优等级,天津和河北的水域评价等级略低,主要是因为天津的水域空间保护率较低和河北的最大斑块指数较低导致。在水流维度中,天津和河北的水平与全国水平相似,北京的评价等级稍低,处于差等级,是由于主要河流上拦河建筑物较多导致。在水生生物维度中,京津冀各省市的评价等级均为劣等级,主要是受到渔业产量大幅度下降的影响。

3 京津冀水资源协同保护存在的问题与保护措施建议

a. 水资源短缺矛盾突出,科学推进节约保护。京津冀地区日益严峻的水资源短缺形势是制约京津冀协同发展的重要因素,主要体现在严重挤占生态环境用水、地下水采补不平衡等方面。为缓解水资源短缺问题,可以通过生态流量目标制定与分级考核、完善生态泄放调度机制、建立重点河湖湿地生态补水长效机制等方面,有效提升河湖生态环境用水保障能力。在地下水方面,通过高效节水灌溉、调整种植结构、置换水源、退减灌溉面积、回灌补源等措施,开展超采区的综合治理,逐渐实现地下水的采补平衡和水位恢复,保证地下水战略储备与生态功能。

b. 水污染治理稳步好转,监管力度有待提升。水污染治理一直是水资源保护的核心内容,从评价结果来看,京津冀地区水功能区和饮用水源地水质达标率虽然仍略低于全国水平,但已有很大改善,然而在Ⅰ~Ⅲ类和劣Ⅴ类水质河长比例方面较全国水平仍有较大差距。从流域水资源保护角度,应尽可能加大监管力度,实现污染物的源头减排和过程阻断,最大程度避免污染物的入河。此外,在新时期生态文明和“幸福河湖”建设背景下,增强城乡居民对河湖水体的满意度和亲近率,为公众提供更加良好的水生态环境也是水资源保护的关键所在。

c. 末梢水体被严重挤占,严控河湖水域岸线。京津冀地区水域空间从总体上来看仅有小幅度下降,但原因是受大水体增加和末梢水体的消亡共同所致,其中末梢水体的大量消亡将导致水域生态系统遭受严重破坏。因此,要科学划定河湖水域岸线保护边界,对未经批准围垦湖泊河道、非法侵占水域滩地、乱扔乱堆垃圾、弃置堆放物体等违规行为进行稽查、整治和清退,逐步恢复被侵占的末梢水体。在此基础上,为强化河湖水域岸线的全面监管和保护,综合利用卫星遥感、地面监测巡查等手段,建立动态监管体系,确保水域空间的数量、结构和功能健康稳定。

d. 主要河流连通性不足,建立绿色管控模式。畅通的水流通道是地表物质流、能量流、生物流、信息流的基本载体,京津冀地区为了最大限度地开发利用水资源,建设了大量的拦河建筑物,造成水流通道的阻隔和河流生境的破碎化。面对已建成的拦河建筑物,应采取适宜手段提升河流连通性并补建过鱼设施,加强生态化改造与监管。在未来流域规划设计层面,建议制定水资源开发利用和河流生态环境保护总体规划方案,寻求水资源开发利用与生态

环境保护之间的平衡,建立水利工程“规划-建设-运行-退役”全生命期绿色管控模式。

e. 水生态监测基础薄弱,完善立体监测系统。近年来,水生态环境监测工作逐渐得到了重视,围绕着布点、采样、运输、分析、评估等方面的标准规范相继出台。但水生态监测体系基础仍然薄弱,缺少交界控制断面监测、生态流量下泄监测、生态敏感水域监测等基础,需要有针对性地补充涵盖水生生物及其生境水文情势的监测指标。根据确立的监控对象与监测指标体系,完善立体监测系统,利用遥感技术监测获取水资源状况的空间分布,利用地面精准监测获取关键断面的实时数据,多平台多传感器协同,实现水生态环境监测对象、监测要素、变化过程的全覆盖监测。

4 结 语

本文立足于京津冀协同发展战略,依据水资源协同保护的内涵,构建了基于“量-质-域-流-生”的水资源协同保护状态综合评价指标体系,对京津冀水资源协同保护状态进行了综合评价。结果发现京津冀地区的水资源协同保护状态较全国水平偏低,水资源短缺矛盾突出,水资源保护仍有较大的提升空间。下一步可以通过科学推进水资源节约保护、大力提升水污染监管力度、严控河湖水域岸线、加强河流水系连通、完善水生态监测系统等措施,有效改善京津冀水资源协同保护状态,服务新时期水利改革和京津冀协同发展。

参考文献:

[1] 李国英. 推动新阶段水利高质量发展 为全面建设社会主义现代化国家提供水安全保障[J]. 中国水利, 2021 (16): 1-5. (LI Guoying. Promote high-quality water development in the new era, safeguard water security for building a modern socialist country in an all-round way [J]. China Water Resources, 2021 (16): 1-5. (in Chinese))

[2] 王浩, 王建华, 胡鹏. 水资源保护的新内涵: “量-质-域-流-生”协同保护和修复[J]. 水资源保护, 2021, 37(2): 1-9. (WANG Hao, WANG Jianhua, HU Peng. New connotation of water resources protection: “quantity-quality-domain-connectivity-biology ” coordinated protection and restoration [J]. Water Resources Protection, 2021, 37(2): 1-9. (in Chinese))

[3] 左其亭, 王子尧, 马军霞. 我国现代治水研究热点与发展展望[J]. 水利发展研究, 2024, 24(6): 13-19. (ZUO Qiting, WANG Ziyao, MA Junxia. Hot spots and development prospects of modern water governance research in China [J]. Water Resources Development

- Research,2024,24(6):13-19. (in Chinese))
- [4] 王建华,胡鹏. 中国水环境和生态安全现状与保障策略[M]. 北京:科学出版社,2022.
- [5] 胡春宏. 我国复苏河湖生态环境实践与关键问题探讨[J]. 中国水利,2022(15):6-8. (HU Chunhong. Practice and key issues of revitalizing the ecological environment of rivers and lakes in China[J]. China Water Resources, 2022(15):6-8. (in Chinese))
- [6] 赵勇,王庆明,王浩,等. 京津冀地区水安全挑战与应对战略研究[J]. 中国工程科学, 2022, 24(5): 8-18. (ZHAO Yong, WANG Qingming, WANG Hao, et al. Water security in Beijing-Tianjin-Hebei region: challenges and strategies[J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(5): 8-18. (in Chinese))
- [7] 郭旭宁,酆建强,李云玲,等. 京津冀地区水资源空间均衡评价及调控措施[J]. 水资源保护, 2022, 38(1): 62-66. (GUO Xuning, LI Jianqiang, LI Yunling, et al. Water resources spatial equilibrium evaluation and regulation measures in Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. Water Resources Protection, 2022, 38(1): 62-66. (in Chinese))
- [8] 王浩,许新发,成静清,等. 水资源保护利用“四水四定”:基本认知与关键技术体系[J]. 水资源保护, 2023, 39(1): 1-7. (WANG Hao, XU Xinfu, CHENG Jingqing, et al. “Basing four aspects on water resources” in water resources protection and utilization: basic cognition and key technology system[J]. Water Resources Protection, 2023, 39(1): 1-7. (in Chinese))
- [9] 郭旭宁,李云玲,回晓莹,等. 多水源多渠道保障京津冀协同发展供水安全[J]. 水利规划与设计, 2017(11): 37-41. (GUO Xuning, LI Yunling, HUI Xiaoying, et al. Multiple water sources and channels to ensure water supply security for the coordinated development of Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. Water Resources Planning and Design, 2017(11): 37-41. (in Chinese))
- [10] 赵勇,常免宇,桑学锋,等. 京津冀水资源-粮食-能源-生态协同调控研究 II: 应用[J]. 水利学报, 2022, 53(10): 1251-1261. (ZHAO Yong, CHANG Huanyu, SANG Xuefeng, et al. Research on the coordinated regulation of water resources-food-energy-ecology in Beijing-Tianjin-Hebei region II: application [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2022, 53(10): 1251-1261. (in Chinese))
- [11] 常经,贾玉成. 京津冀水资源与经济社会协调度分析[J]. 人民长江, 2020, 51(2): 91-96. (CHANG Ting, JIA Yucheng. Analysis on coordination degree of water resources-economy-society in Beijing-Tianjin-Hebei Region [J]. Yangtze River, 2020, 51(2): 91-96. (in Chinese))
- [12] 生态环境部. 全国生态状况变化(2010—2015 年)遥感调查评估报告[R]. 北京:生态环境部,2018.
- [13] 郑鑫源,王逸辰,陈驰. 永定河流域水库资源一体化保护与利用研究[J]. 水利发展研究, 2023, 23(5): 57-61. (ZHENG Xinyuan, WANG Yichen, CHEN Chi. Study on integrated protection and utilization of reservoir resources in Yongding River Basin [J]. Water Resources Development Research, 2023, 23(5): 57-61. (in Chinese))
- [14] 李一阳,杨默远. 北京市永定河与潮白河流域生态补水特征对比分析[J]. 北京水务, 2021(增刊1): 33-38. (LI Yiyang, YANG Moyuan. Contrastive analysis on the water supplement characteristic of Yongding River and Chaobai River in Beijing [J]. Beijing Water, 2021(Sup1): 33-38. (in Chinese))
- [15] 杨薇,李晓晓,付显婷,等. 白洋淀生态补水系统响应的关键问题、研究框架及保障对策[J]. 中国水利, 2021(15): 43-45. (YANG Wei, LI Xiaoxiao, FU Xianting, et al. Key issues, research framework and security measures of ecological water supplement in the Baiyangdian Lake [J]. China Water Resources, 2021(15): 43-45. (in Chinese))
- [16] 邵晓龙,邢美楠,王金梅,等. 退塘还湿生态修复效果评估:以天津七里海湿地为例[J]. 环境工程学报, 2022, 16(9): 3102-3112. (SHAO Xiaolong, XING Meinan, WANG Jinmei, et al. Evaluation on the ecological restoration effect of returning fishpond to wetland: a case study in Qilhai wetland, Tianjin, China [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2022, 16(9): 3102-3112. (in Chinese))
- [17] 王建华,胡鹏,刘庆涛,等. 我国重点河湖生态流量达标现状及管控建议[J]. 中国水利, 2022(1): 14-18. (WANG Jianhua, HU Peng, LIU Qingtao, et al. Current status of ecological flow in key rivers and lakes in China and regulation suggestions [J]. China Water Resources, 2022(1): 14-18. (in Chinese))
- [18] 张建云,金君良. 国家水网建设几个方面问题的讨论[J]. 水利发展研究, 2023, 23(11): 1-7. (ZHANG Jianyun, JIN Junliang. Discussion on several issues concerning the construction of national water network [J]. Water Resources Development Research, 2023, 23(11): 1-7. (in Chinese))
- [19] 阎战友. 强化水资源刚性约束助力海河流域经济社会高质量发展[J]. 海河水利, 2022(2): 4-7. (YAN Zhanyou. Strengthening the rigid constraint of water resources and contributing to the high-quality economic and social development of the Haihe river basin [J]. Haihe Water Resources, 2022(2): 4-7. (in Chinese))
- [20] 李香云. 京津冀协同发展中的流域管理问题与对策建议[J]. 水利发展研究, 2016, 16(5): 1-3. (LI Xiangyun. Basin management issues and countermeasures in the coordinated development of Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. Water Resources Development Research, 2016, 16(5): 1-3. (in Chinese))
- [21] 何凡,路培艺,尹婧,等. 中国水资源空间均衡评价与空

- 间关联性分析[J]. 水资源保护, 2023, 39(3): 148-155. (HE Fan, LU Peiyi, YIN Jing, et al. Spatial equilibrium evaluation and spatial correlation analysis of water resources in China[J]. Water Resources Protection, 2023, 39(3): 148-155. (in Chinese))
- [22] 王浩, 胡鹏. 水循环视角下的黄河流域生态保护关键问题[J]. 水利学报, 2020, 51(9): 1009-1014. (WANG Hao, HU Peng. Key issues of ecological conservation in the Yellow River basin from a water cycle perspective[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2020, 51(9): 1009-1014. (in Chinese))
- [23] 赵志江, 崔丽娟, 朱利, 等. 指标体系法在我国湿地生态系统健康评价研究中的应用进展[J]. 湿地科学与管理, 2018, 14(4): 9-13. (ZHAO Zhijiang, CUI Lijuan, ZHU Li, et al. Progress in application of indicators system in assessment of ecosystem health of wetlands in China [J]. Wetland Science & Management, 2018, 14(4): 9-13. (in Chinese))
- [24] SAATY T L. Modeling unstructured decision problems; the theory of analytical hierarchies [J]. Mathematics and Computers in Simulation, 1978, 20(3): 147-158.
- [25] GAMBOA F, GASSIAT E. Sets of superresolution and the maximum entropy method on the mean[J]. SIAM Journal on Mathematical Analysis, 1996, 27(4): 1129-1152.
- [26] 黄亦轩, 徐宗学, 陈浩, 等. 深圳河流域内陆侧洪涝风险分析[J]. 水资源保护, 2023, 39(1): 101-108. (HUANG Yixuan, XU Zongxue, CHEN Hao, et al. Analysis on flood/waterlogging risk at inland side of the Shenzhen River basin[J]. Water Resources Protection, 2023, 39(1): 101-108. (in Chinese))
- [27] 崔玉, 朱东升, 胡满月, 等. 基于改进模糊层次分析法的二次设备差异化改造方案评价[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2020, 48(3): 276-283. (CUI Yu, ZHU Dongsheng, HU Xiaoyue, et al. Differential retrofit scheme evaluation of secondary equipment based on improved fuzzy analytic hierarchy process [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2020, 48(3): 276-283. (in Chinese))
- [28] 康健, 王建华, 王素芬. 海河流域农业水资源承载力评价研究[J]. 水利水电技术, 2020, 51(4): 47-56. (KANG Jian, WANG Jianhua, WANG Sufen. Study on evaluation of agricultural water resources carrying capacity in Haihe River Basin [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2020, 51(4): 47-56. (in Chinese))
- [29] 高玉琴, 汪键, 高见, 等. 基于组合赋权-云模型的城市洪涝灾害韧性评价方法[J]. 水利水电科技进展, 2024, 44(2): 22-29. (GAO Yuqin, WANG Jian, GAO Jian, et al. Evaluation method of urban flood disaster resilience based on combined weighting-cloud model[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2024, 44(2): 22-29. (in Chinese))
- [30] 张祖鹏, 张泽贤, 刘思远, 等. 太湖流域河流健康评价指标体系研究及应用[J]. 人民长江, 2023, 54(11): 8-15. (ZHANG Zupeng, ZHANG Zexian, LIU Siyuan, et al. Study and application of river health evaluation index system in Taihu Lake Basin [J]. Yangtze River, 2023, 54(11): 8-15. (in Chinese))
- [31] 山成菊, 董增川, 樊孔明, 等. 组合赋权法在河流健康评价权重计算中的应用[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2012, 40(6): 622-628. (SHAN Chengju, DONG Zengchuan, FAN Kongming, et al. Application of combination weighting method to weight calculation in river health evaluation [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2012, 40(6): 622-628. (in Chinese))
- [32] 吴业鹏, 袁汝华. 丝绸之路经济带背景下新疆水资源与经济社会协调性评价[J]. 水资源保护, 2016, 32(4): 60-66. (WU Yepeng, YUAN Ruhua. Evaluation of coordination between water resources and economic and social development in Xinjiang in context of Silk Road Economic Belt [J]. Water Resources Protection, 2016, 32(4): 60-66. (in Chinese))
- [33] 王东升, 袁树堂, 杨祺. 金沙江流域云南片水文极小值演变及生态基流保障分析[J]. 水资源保护, 2019, 35(4): 35-41. (WANG Dongsheng, YUAN Shutang, YANG Qi. Analysis of hydrological minimum evolution and ecological base flow guarantee in Yunnan area of Jinshajiang River Basin, China [J]. Water Resources Protection, 2019, 35(4): 35-41. (in Chinese))
- [34] 金菊良, 陈鹏飞, 陈梦璐, 等. 基于知识图谱的水资源承载力研究的文献计量分析[J]. 水资源保护, 2019, 35(6): 14-24. (JIN Juliang, CHEN Pengfei, CHEN Menglu, et al. Bibliometric analysis of research progress on water resources carrying capacity based on knowledge map [J]. Water Resources Protection, 2019, 35(6): 14-24. (in Chinese))
- [35] 毛劲乔, 戴会超. 重大水利水电工程对重要水生生物的影响与调控[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2016, 44(3): 240-245. (MAO Jingqiao, DAI Huichao. Effects of large water conservancy and hydropower projects on major aquatic species and regulation [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2016, 44(3): 240-245. (in Chinese))

(收稿日期: 2023-11-20 编辑: 王芳)

