

李小玲, 王丽珍, 李海红, 等. 京津冀地区工业适水发展评价[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2023, 21(2): 276-288. LI X L, WANG L Z, LI H H, et al. Evaluation of industrial water-appropriate development in Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2023, 21(2): 276-288. (in Chinese)

京津冀地区工业适水发展评价

李小玲^{1,2}, 王丽珍^{2,3}, 李海红², 赵勇², 秦长海², 何国华², 王浩²

(1. 广西大学土木建筑工程学院, 南宁 530004; 2. 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; 3. 青海大学水利电力学院, 西宁 810016)

摘要:以优化京津冀地区工业适水发展为目标,在深化解析工业适水发展概念和内涵的基础上,构建工业适水发展评价指标体系及评价模型,剖析水资源与工业发展布局的协调程度,探究工业适水发展的时空变化特征及其障碍因素。结果表明:京津冀地区的复合系统综合评价指数呈现出以京津为核心空间分布格局;水资源系统发展水平较高且呈波动增长趋势,但增幅小于工业发展系统。2008—2018年,京津冀地区由濒临不适水逐渐演变为初级适水发展状态;工业适水发展水平呈现出以京津为核心的“中部高、四周低”的分布特征。京津冀地区工业适水发展主要受到人均水资源量、工业增加值、工业增加值比重和工业废水排放强度等因素的影响。研究结果可为优化京津冀地区工业发展布局、促进水资源与工业的协调可持续发展提供参考。

关键词:工业适水发展;工业适水发展指数;协调发展;障碍因素;京津冀

中图分类号: TV213.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2023.0028

适水发展理念最先由郑连生^[1]提出,其涵盖了农业^[2-5]、工业和城市建设等多个领域。2008年,金凤君^[6]提出适水型工业结构概念,并论述了水资源条件在工业发展的各阶段的作用,提出京津冀地区应建立适水型工业结构体系。杜朝阳等^[7]深化总结了适水发展的概念及内涵,系统分析京津冀协同发展所面临的水资源问题,提出京津冀应构建适水型工业体系等建议。卢熠蕾等^[8]以京津冀内的203个区县为研究对象,构建了适水发展评价指标体系,对京津冀区域的适水发展特征进行评价。近年来,“四水四定”原则也受到高度关注,其中“以水定产”与工业适水发展密切关联。“以水定产”强调以水资源和水环境作为最大的刚性约束,以水定产业布局、产业结构和产业规模,实现水资源的可持续性利用以及经济社会高质量发展,最终实现水资源、经济社会和生态的协调可持续发展^[9-10]。王浩等^[11]提出了水资源保护利用“四水四定”的科学内涵,提出“以水定产”是将水作为产业发展评价的主导因素。程蕾等^[12]解析了“以水定产”的概念及内涵,认为“以水定产”中的“水”可以扩展到水环境、水

生态等多重属性,而“产”也包含产业规模、结构和布局等多个方面。刘海娇等^[13]构建“四水四定”协调性评价指标体系,分析了济南市“四水四定”的协调发展水平。许多学者^[14-16]还对水资源与经济发展、产业布局等的协调关系进行了研究。如李欢等^[17]分析了2007—2016年湖南省用水结构与产业结构的协调关系。卞锦宇等^[18]利用耦合协调度模型分析了太湖流域水资源承载力与经济社会发展的适应性。

本文基于工业适水发展概念及内涵,构建工业适水发展评价指标体系和评价模型,并将其应用于京津冀地区,分析工业适水发展的时空分布特征及其障碍因素,以期为解决区域水资源短缺与工业经济社会发展间的矛盾提供参考,为工业结构与产业布局优化提供依据以及为落实工业适水发展战略提供理论与技术方法支撑。

1 研究方法数据来源

1.1 工业适水发展概念及内涵

适水发展是一个新概念,还需进一步深入挖掘

收稿日期: 2023-02-19 修回日期: 2023-04-01 网络出版时间: 2023-04-13

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.TV.20230412.1039.016.html>

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFC3200204); 国家杰出青年科学基金项目(52025093)

作者简介: 李小玲(1998—),女,广西玉林人,主要从事水文水资源研究。E-mail: lixiaoling202302@163.com

通信作者: 王丽珍(1985—),女,河南濮阳人,正高级工程师,主要从事水文水资源研究。E-mail: wanglzh@iwahr.com

其内涵特性。金凤君等^[6]和杜朝阳等^[7]人从水资源高效利用、经济高质量发展和生态环境良好发展3个方面提出工业适水型结构概念。根据以往研究可知,工业适水发展本质与工业发展与水资源的关系息息相关,强调要坚持以水定布局、以水定结构、以水定规模,强调水与产业的协调发展^[7]。工业适水发展主要是通过合理的规划设计方法、先进的技术体系等手段,生态环境良好发展以及水资源高效利用的前提下,使工业发展、水资源之间达到理想的协调状态,最终实现水资源可持续性利用与经济社会高质量发展。水对工业发展起到支撑或制约作用,故将水作为工业适水发展的主体,将工业发展作为客体,辨析工业发展对水资源系统的反馈作用,以及工业发展反向促进水资源的高效节约利用,见图1。两者追求的目标是高质量的用水效率和效益,实现水资源的可持续性利用与经济社会的高质量发展。

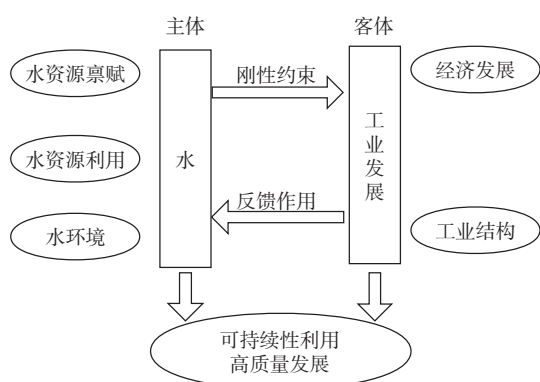


图1 工业适水发展内涵

Fig. 1 Industrial water-appropriate development connotation

工业适水发展的内涵主要包括以下几个方面:

水资源的数量、质量及分布。水资源是工业适水发展的基础,其数量、质量与分布对工业发展的类型、规模、结构等均产生较大影响,故工业发展要与水资源条件相适应。

水资源高效利用。水资源高效利用是工业适水发展的前提。水资源的利用水平应与工业发展水平相适应。工业适水发展强调采用节约型水资源利用模式,追求高水平的用水效率与用水结构,从而提高地区的工业适水发展水平。

工业结构布局。水与产关系协调是工业适水发展的主要内容。适水工业就是以水定工业规模、以水定工业结构、以水定工业产品产量。主导行业的占比决定工业用水结构,低耗高效行业占比越大,工业发展对水资源的依赖性越低。

可持续性利用与高质量发展。高质量的经济效益是目标。在水资源和环境的刚性约束下,以维持水资源可持续利用支撑经济社会高质量发展。

1.2 评价指标体系构建

关于适水发展相关评价指标的选取,目前还没有统一的标准。基于工业适水发展的概念和内涵的理解以及参考适应性评价^[19-20]、工业评价^[21]和工业用水^[22-23]等研究成果,遵循科学性、代表性、可靠性和可得性等评价指标选取原则,构建工业适水发展评价指标体系。本文从水资源禀赋与利用、工业结构和经济效益等方面,筛选出适合京津冀地区的工业适水发展评价指标见表1。

表1 工业适水发展评价指标体系及权重

Tab. 1 Industrial water-appropriate development evaluation index system and index weights

子系统	准则层	指标层	属性	权重
水资源	水资源禀赋	人均水资源量 X_1	正向	0.51
	水资源利用	万元工业增加值用水量 X_2	负向	0.20
	水环境	工业废水排放强度 X_3	负向	0.29
工业发展	经济发展	工业增加值 X_4	正向	0.50
	外部结构	工业增加值比重 X_5	负向	0.18
	内部结构	高用水行业产值占比 X_6	负向	0.13
	用水结构	工业用水量比例 X_7	负向	0.19

1.3 工业适水发展评价模型

1.3.1 熵权法

熵权法是根据指标信息熵的大小确定指标权重^[24],能够消除人为主观因素的影响,故采用熵权法计算指标权重,其计算结果见表1。具体计算步骤如下。

数据标准化处理:

$$X_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} & (\text{正向指标}) \\ \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}} & (\text{负向指标}) \end{cases} \quad (1)$$

式中: X_{ij} 为第 t 年 i 地区第 j 项指标标准化处理后的值; x_{\max} 、 x_{\min} 分别为标准化处理前指标的最大值和最小值。为避免面板数据直接标准化造成部分地区指标数值被湮没,参考刘慧敏^[25]的做法进行数据标准化处理。

指标比重计算:

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad (2)$$

式中: P_{ij} 为第 t 年 i 地区第 j 项指标所占的比重; T 为年份数; m 为地区数量。

指标熵值计算:

$$e_j = -\frac{1}{\ln(mT)} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (3)$$

指标权重计算:

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (4)$$

式中: w_j 为第 j 个指标的权重; n 为指标数量。

1.3.2 综合评价指数

根据指标标准化和指标权重,可计算水资源系统和工业发展系统的综合评价指数,具体公式为

$$U_k = \sum_{j=1}^n w_j X_{ij} \quad (5)$$

$$I = \alpha U_1 + \beta U_2 \quad (6)$$

式中: k 表示子系统, $k = 1, 2$, 分别代表水资源系统和工业发展系统; n 为子系统评价指标数量; U_k 为子系统综合评价指数,代表子系统的综合发展水平; I 为复合系统的综合评价指数; w_j 表示指标的权重; α 、 β 分别为水资源、工业发展系统的相对重要程度,本文认为两子系统同等重要,故取 $\alpha = \beta = 0.5$ 。

1.3.3 工业适水发展指数

耦合协调度模型同时考虑了各系统间的耦合性和系统整体的协调情况^[26],可以探究水资源与工业发展间的相互影响程度及协调发展水平,反映工业与水系统从无序转变为有序的过程,这与工业适水发展所反映的内涵是一致的。因此,采用耦合协调度来衡量工业适水性,将其作为工业适水发展指数,反映工业适水发展的综合水平。具体计算公式^[26]为

$$C = \left[\frac{U_1 \times U_2}{[(U_1 + U_2)/2]^2} \right]^{1/2} \quad (7)$$

$$D = \sqrt{C \times I} \quad (8)$$

式中: C 为耦合度; D 为工业适水发展指数。

为便于判断地区间的工业适水发展情况,参考相关研究成果^[27-29]将工业适水发展等级划分为 10 个适水等级,见表 2。

表 2 工业适水发展阶段及判别标准

Tab. 2 Criteria for discriminating the stage of industrial water-appropriate development

适水等级	适水发展指数	适水等级	适水发展指数
极度不适水	[0, 0.1]	勉强适水	(0.5, 0.6]
严重不适水	(0.1, 0.2]	初级适水	(0.6, 0.7]
中度不适水	(0.2, 0.3]	中级适水	(0.7, 0.8]
轻度不适水	(0.3, 0.4]	良好适水	(0.8, 0.9]
濒临不适水	(0.4, 0.5]	优质适水	(0.9, 1.0]

注:水资源与工业发展的相对关系为: $U_1 - U_2 > 0.1$ 工业发展滞后型; $U_2 - U_1 > 0.1$ 水滞后型; $0 \leq |U_1 - U_2| \leq 0.1$ 水与工业发展同步型。

1.3.4 障碍度分析

障碍度模型可以通过分析各指标的贡献程度,量化各指标对工业适水发展水平的影响程度,计算公式为

$$O_{ij} = \frac{w_j(1 - X_{ij})}{\sum_{j=1}^n w_j(1 - X_{ij})} \quad (9)$$

式中: O_{ij} 为第 i 地区第 j 项指标的障碍度; w_j 为第 j 项指标的权重; X_{ij} 为第 t 年 i 地区第 j 项指标标准化处理后的值。

1.3.5 数据来源

研究对象为京津冀地区,主要包括北京市、天津市和河北省的 11 个地级市。所采用的水资源数据来自《中国水资源公报》《北京市水资源公报》《天津市水资源公报》以及河北省各地市水资源公报,社会经济数据来源于《北京统计年鉴》《天津统计年鉴》《河北统计年鉴》以及河北省各地级市的统计年鉴等。受数据资料序列完整性的限制,采用的数据序列为 2008—2018 年。

2 结果与分析

2.1 综合评价指数时空分析

2.1.1 水资源系统综合评价指数

由图 2 可知,从空间来看,京津冀地区水资源综合评价指数呈现“北高南低”的空间分布特征,地区间差距较大。河北省的水资源系统综合评价指数低于天津和北京,还略低于京津冀整体平均水平,而且各地区均呈波动式增长而且增长幅度不一,见图 3。京津冀地区水资源系统综合评价指数由 2008 年的 0.265 波动上升到 0.500,增长了 88.58%。

与京津冀各地市的增长幅度相比,北京和天津居于前列,分别由 0.311、0.346 增长到 0.632、0.517,年均增长率为 7.34% 和 4.11%。衡水的增长幅度最大,由 0.092 增长到 0.561,增长了 5 倍;增长幅度最小的是张家口,年均增长率仅为 0.29%。保定、沧州、张家口的水资源系统综合评价指数发展趋势较为缓慢,其年均增长幅度为 3%。除了北京和天津以外,衡水、廊坊、唐山和承德水资源系统的综合发展趋势较好,均大于 0.500;张家口和邢台小于 0.400。2012 年起,京津冀地区水资源系统综合评价指数逐

渐提高,而部分地区的综合评价指数于 2012 年和 2016 年达到峰值。这主要原因有两方面:一是受自然条件的影响,2012 年和 2016 年降水量较为丰富,属于偏丰水年,导致当地水资源量增加;二是受节水技术的发展、节水政策以及环境保护政策等的影响;2012 年,京津冀地区开始实施最严格水资源管理制度,到 2018 年万元工业增加值用水量下降了 24.74%,工业废水排放强度下降 59.46%。京津冀地区整体的工业用水效率逐渐提高,工业废水等污染也逐渐减少,水资源系统逐渐向好的趋势发展。

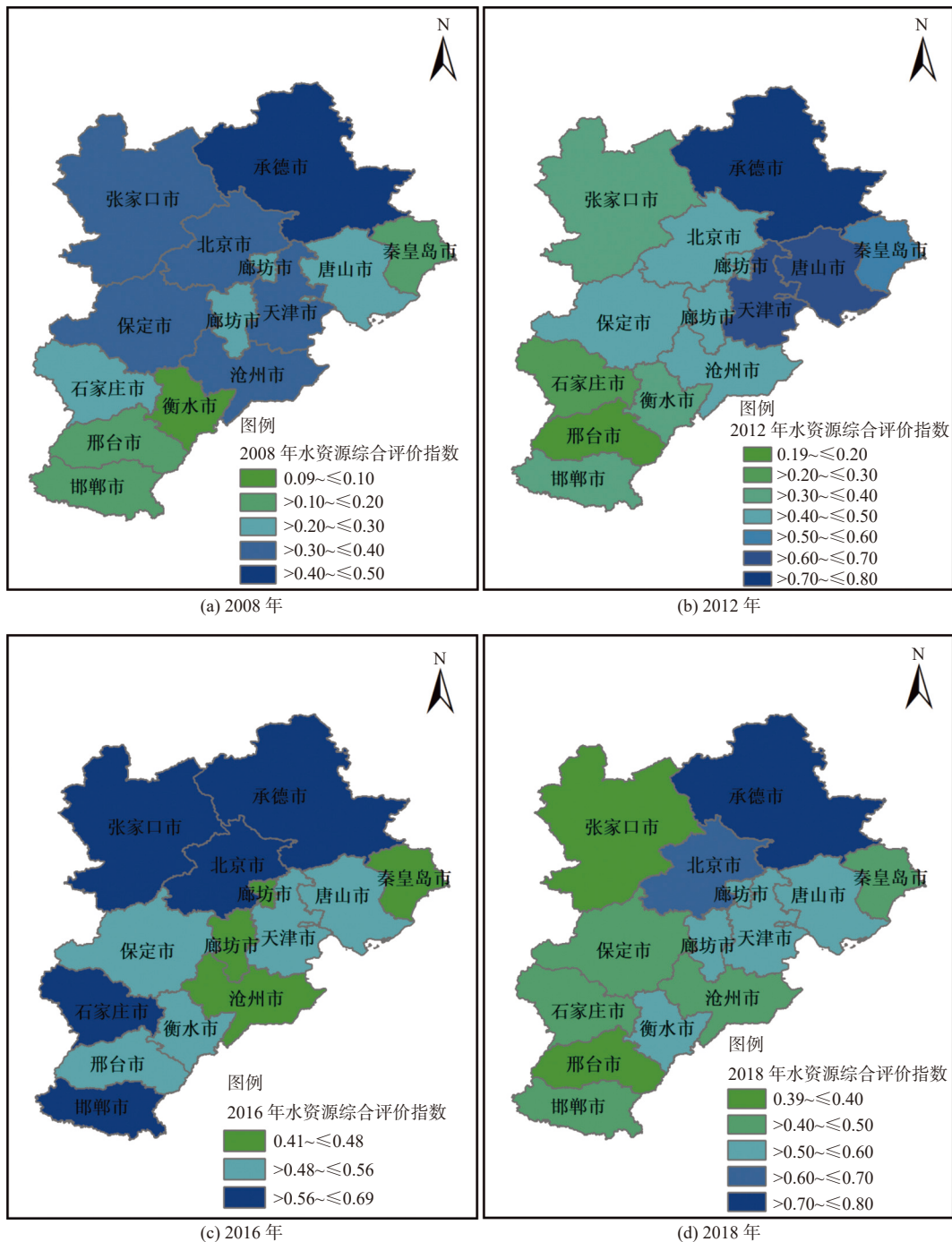


图 2 2008—2018 年京津冀地区水资源系统综合评价指数的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of the comprehensive evaluation index of water resources system in Beijing-Tianjin-Hebei region from 2008 to 2018

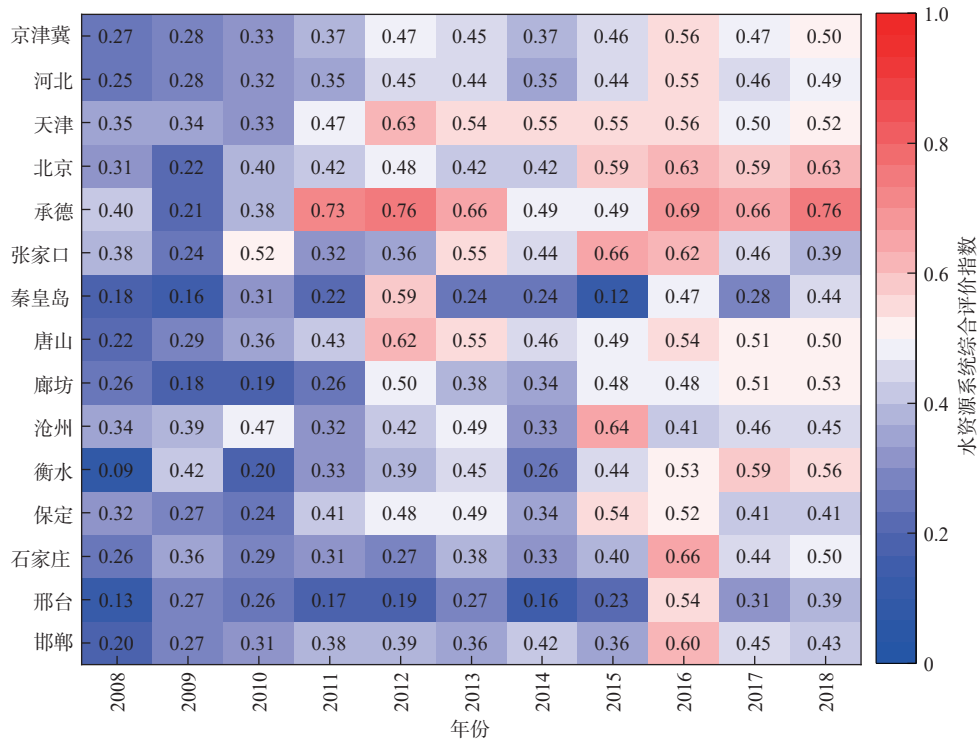


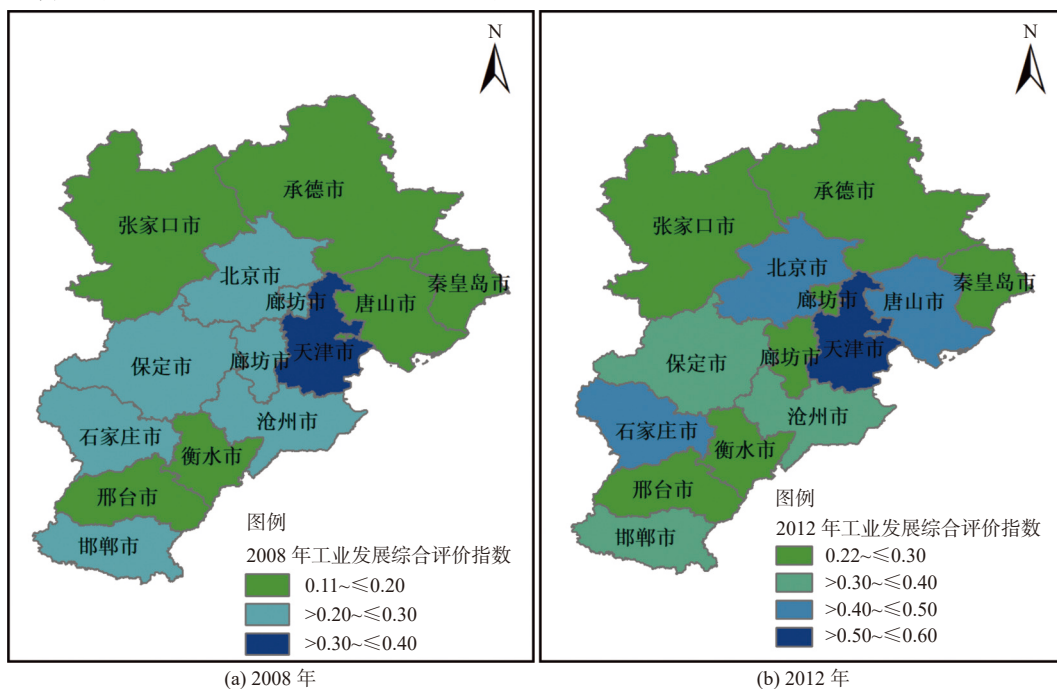
图 3 2008—2018 年京津冀地区水资源系统综合评价指数的时间分布

Fig. 3 Temporal distribution of the comprehensive evaluation index of water resources system in Beijing-Tianjin-Hebei region, from 2008 to 2018.

2.1.2 工业发展系统综合评价指数

由图 4 可知,京津冀地区的工业发展综合评价指数呈现“北低南高”的空间格局,地区间差距较大。河北省分别是北京的 82.97% 和天津的 63.25%, 略低于京津冀地区整体平均水平。京津冀各地区的工业发展系统综合评价指数均呈现增长趋势(图 5), 由 2008 年的 0.211 增长到 2018 年的 0.472, 增长了 123.74%。北京和天津分别由 0.297、0.324 增长到 0.776、0.693, 分别增长了 161.57%、113.81%。京津

冀各地区间的增长趋势不同。张家口的增长幅度最大,增长了 277.52%;其次是邢台、秦皇岛、保定,其增长幅度均超过 130%。增长幅度最小的是沧州市,增长了 25.33%。京津冀地区除了北京和天津外,河北省内 11 个地级市仅保定的工业发展系统综合评价指数大于 0.500, 为 0.546。至 2018 年,工业发展系统综合评价指数低于 0.400 的地区分别有承德、唐山、沧州,其余地区均在 0.400~0.500 范围之内。



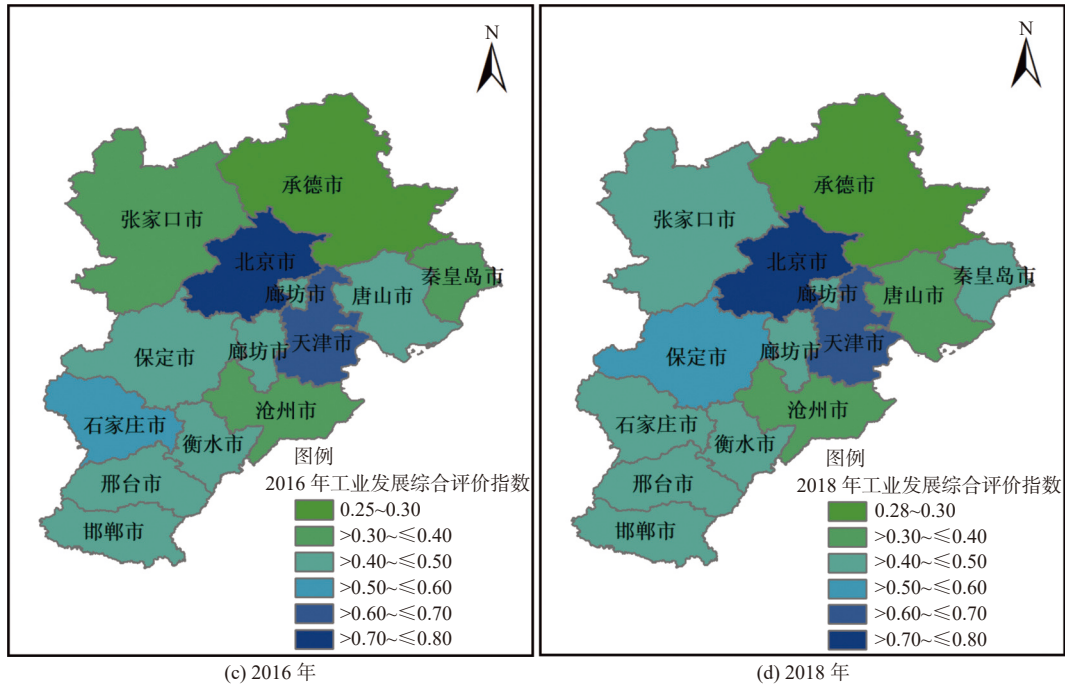


图4 2008—2018年京津冀地区工业发展系统综合评价指数的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of the comprehensive evaluation index of the industrial development system in Beijing-Tianjin-Hebei region from 2008 to 2018

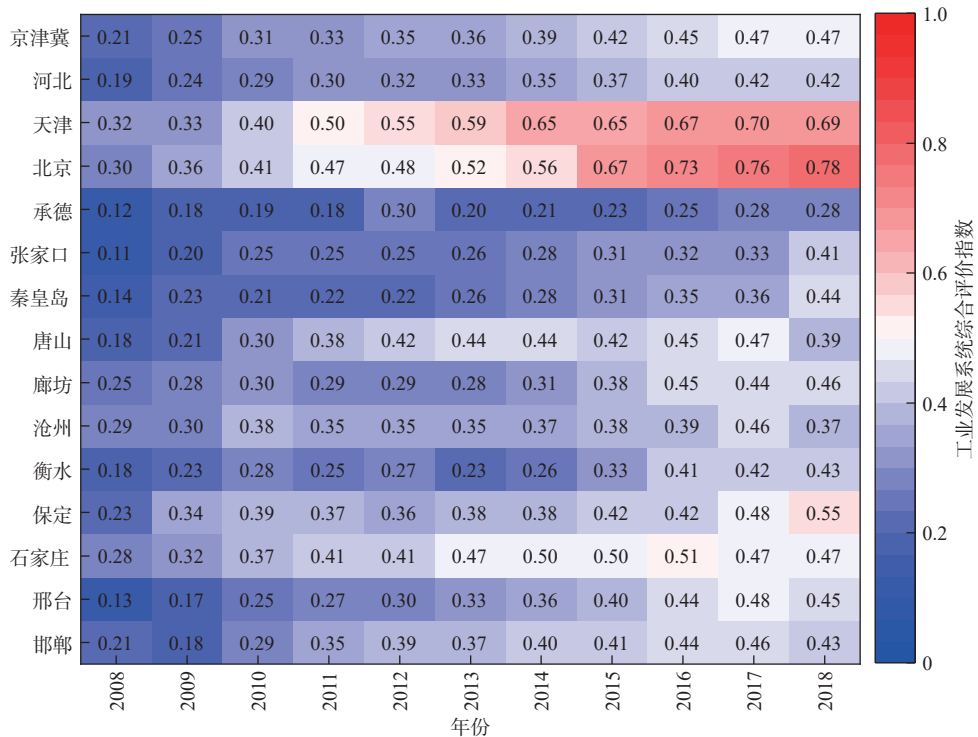


图5 2008—2018年京津冀地区工业发展系统综合评价指数的时间分布

Fig. 5 Temporal distribution of the comprehensive evaluation index of the industrial development system in Beijing-Tianjin-Hebei region from 2008 to 2018

2.1.3 复合系统综合评价指数

由图6可知,从空间上看,京津冀地区的复合系统综合评价指数由四周分散演变为四周均衡的空间分布格局,而北京和天津均处于较高水平,呈现出明显以京津为核心的双核空间格局。京津冀地

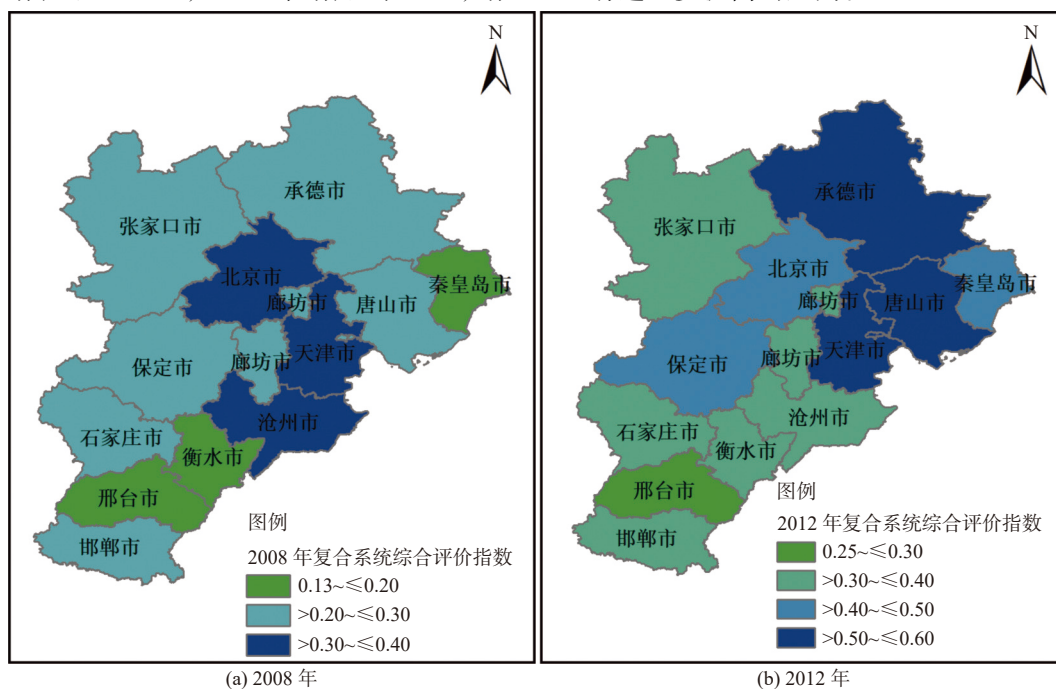
区间复合系统综合评价指数呈现波动增长趋势,而且地区间差距较大(图7)。张家口的复合系统综合评价指数最小,为0.402;北京最大,为0.704,是河北省的1.55倍,是张家口的1.75倍。京津冀地区的复合系统综合评价指数由2008年的0.238增长到

2018 年的 0.486, 增长了 104.16%。各地区增长趋势不同: 北京和天津分别由 0.304、0.335 增长到 0.704、0.605, 分别增长了 131.58%、80.64%; 衡水的增长幅度最大, 由 0.137 增长到 0.495, 增长了 260.37%, 年均增长率最大, 为 13.68%; 其次是邢台、秦皇岛、唐山和邯郸, 其增长幅度均超过 100%; 增长幅度最小的是沧州, 增长了 29.45%。2012—2018 年复合系统综合评价指数波动增长的速度变缓。这可能由于京津冀协同发展以及最严格水资源制度的实施, 高污染高耗水产业受到限制以及京津产业转移的影响, 经济发展增速减缓。河北省的复合系统的综合发展水平较低, 其评价指数均未超过 0.500。2018 年, 京津冀地区除了北京和天津外, 河北省内 11 个地级市仅承德的复合系统综合评价指数大于 0.500。

2.2 工业适水发展指数时空分析

由图 8 可知, 从空间分布来看, 京津冀地区工业适水发展指数呈现核心极化(中高四周低)的空间分布特征。2008—2012 年各地区工业适水发展的差距较为明显, 2016 年之后呈现出较为均衡化发展的空间格局, 河北省内各地区差距缩小, 但以北京和天津为核心的现象仍较为显著。这主要是实施京津冀协同发展战略后, 北京和天津的产业逐渐向河北省转移, 河北省地区工业经济较快发展, 使得地区间的差距逐渐缩小。由图 9 可知, 京津冀地区工业适水发展指数由 2008 年的 0.475, 增加到 2012 年的 0.627, 增长了 32.04%, 2018 年增加到 0.690, 增

长了 45.27%。京津冀各地区工业适水发展指数均呈现波动式上升, 但各地区间的适水发展状态不稳定。2010 年沧州市最先步入初级适水发展状态, 但该市的发展状态不稳定, 后期与勉强适水发展状态来回变动。2016 年, 京津冀地区全部步入初级适水发展及以上状态。从各地区来看: 2018 年北京工业适水发展最好, 为 0.837, 处于良好适水发展状态; 其次是天津, 其发展指数为 0.774, 处于中级适水发展状态。河北省整体水平处于初级适水发展状态, 有 2 个地级市处于中级适水发展状态, 分别为衡水、廊坊, 其指数分别为 0.700、0.704; 其余地区均为初级适水发展状态。但邯郸、石家庄、沧州、唐山在 2012—2017 年曾先后到达中级适水发展状态。张家口、邢台和沧州的工业适水发展指数低于 0.650, 与其他地区的差距在缩小。虽然北京的工业适水发展情况在京津冀地区中最好, 但北京的高用水行业占比还较大, 如电力、热力、燃气及水生产和供应业的占比达到了 29.02%, 还呈现逐渐上升的趋势。2018 年, 北京的非金属矿物制品业、纺织服装业和电力、热力、燃气及水生产和供应业在京津冀中的比重分别为 20.97%、7.55% 和 58.94%, 均大于天津, 其工业结构还需进一步优化, 并向天津和河北等地转移高用水等传统行业。根据《北京市国民经济和社会发展的第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》的要求, 北京要坚持京津冀协同发展战略, 要增强与天津和河北的产业联动, 带动周边地区的工业发展。因此, 京津冀地区的工业适水发展水平还有进一步提高的空间。



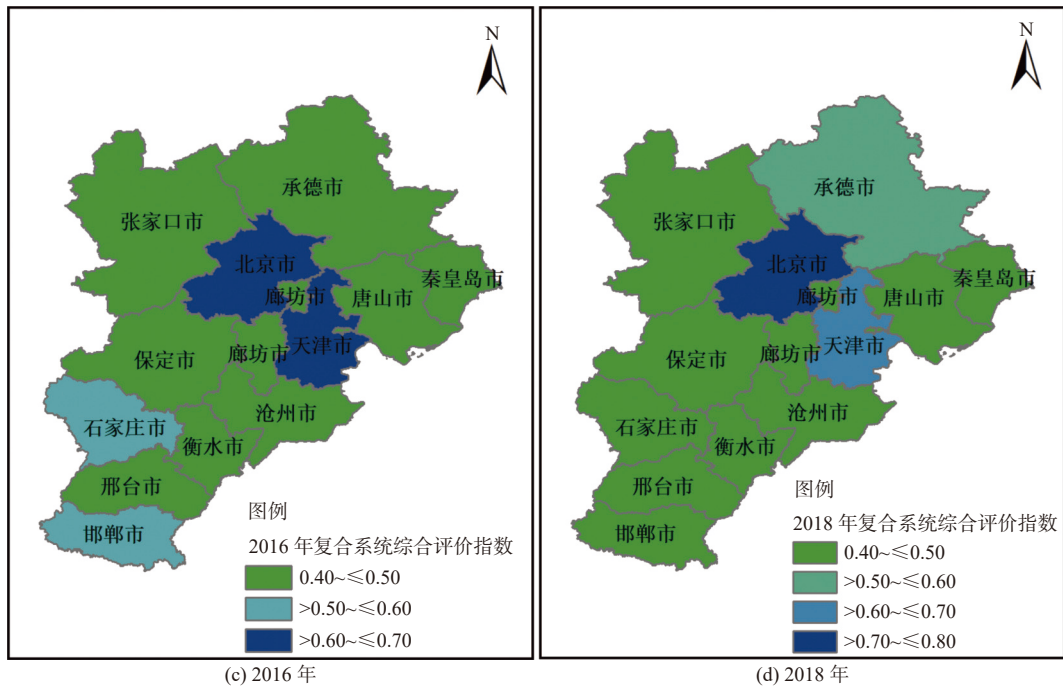


图6 2008—2018年京津冀地区复合系统综合评价指数的空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of the comprehensive evaluation index of composite system in Beijing-Tianjin-Hebei region from 2008 to 2018

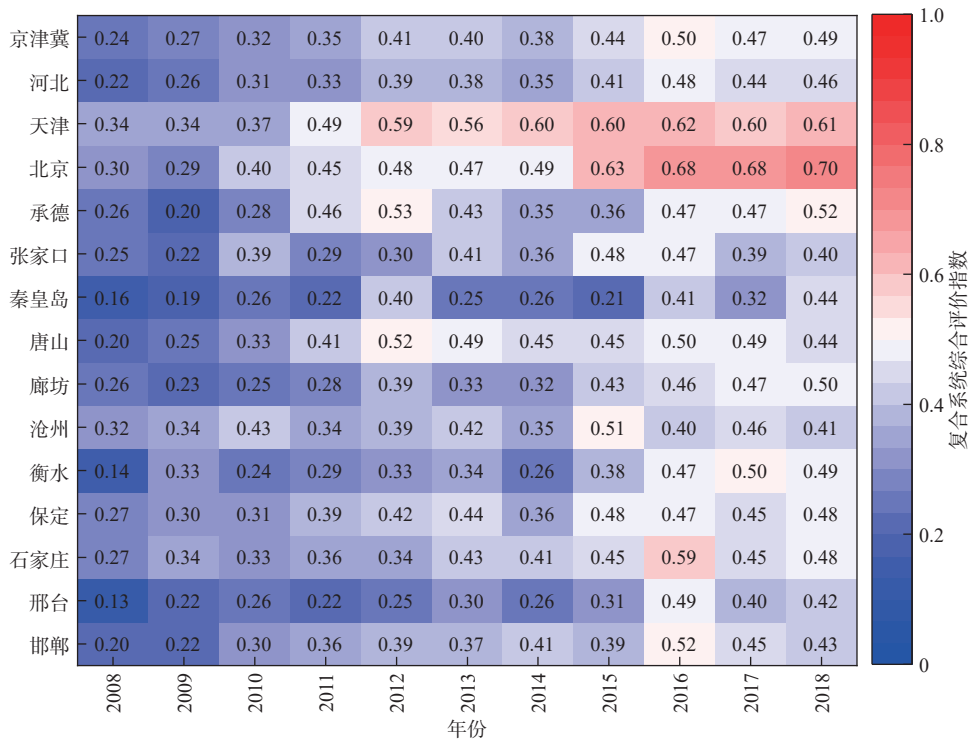


图7 2008—2018年京津冀地区复合系统综合评价指数的时间分布

Fig. 7 Temporal distribution of the comprehensive evaluation index of composite system in Beijing-Tianjin-Hebei region from 2008 to 2018

2.3 工业适水发展的影响因素分析

系统对比分析见表3,北京和天津的工业适水发展状态主要表现为水滞后。北京和天津的工业较为发达,其工业发展受到水资源的限制,而河北省地区主要为工业发展滞后型,承德、张家口的水资源较为丰富,但水资源利用效率较低,工业规模

较小,高用水行业产值占比高于河北省平均水平;其工业发展系统成为阻碍工业适水发展的“短板”,还有很大的提升空间。京津冀地区工业发展系统综合评价指数还处于较低水平,其多年平均值为0.36,低于水资源系统。

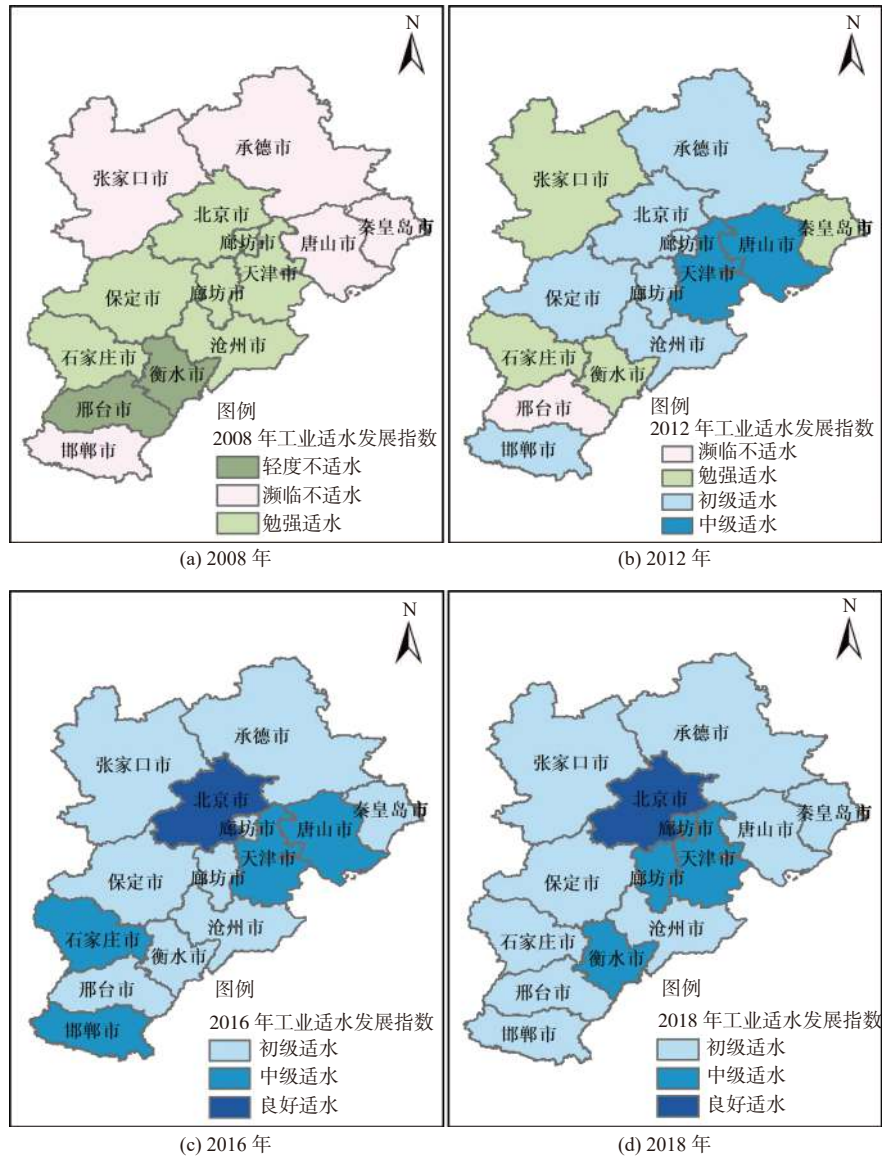


图 8 2008—2018 年京津冀地区工业适水发展指数的空间分布

Fig. 8 Spatial distribution of industrial water-appropriate development index in Beijing-Tianjin-Hebei region from 2008 to 2018

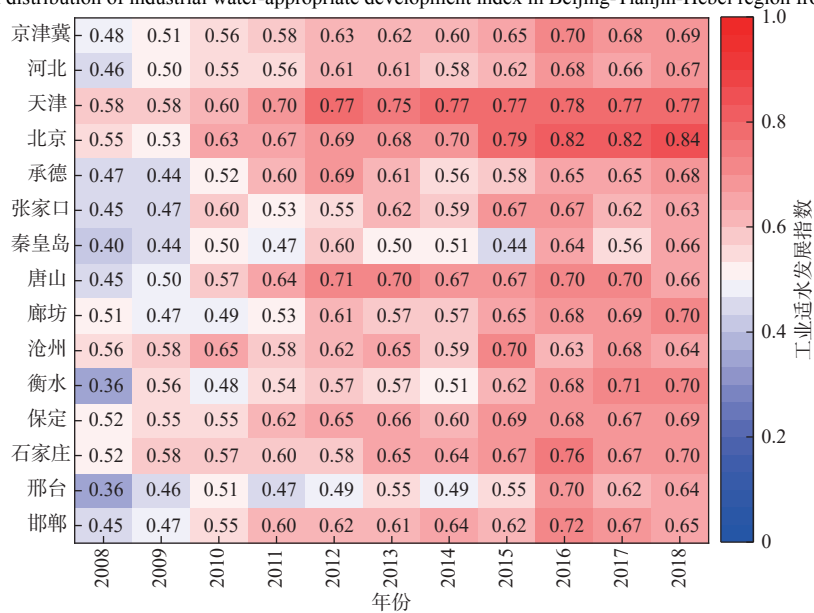


图 9 2008—2018 年京津冀地区工业适水发展指数的时间分布

Fig. 9 Temporal distribution of industrial water-appropriate development index in Beijing-Tianjin-Hebei region from 2008 to 2018

表3 京津冀地区工业适水发展类型
Tab.3 Types of industrial water-appropriate development in the Beijing-Tianjin-Hebei region

地区	2008年	2010年	2012年	2014年	2016年	2018年
邯郸	濒临不适水	勉强适水	初级适水	初级适水	中级适水-工业发展滞后	初级适水
邢台	轻度不适水	勉强适水	濒临不适水-水滞后	濒临不适水-水滞后	初级适水-工业发展滞后	初级适水
石家庄	勉强适水	勉强适水	勉强适水-水滞后	初级适水-水滞后	中级适水-工业发展滞后	初级适水
保定	勉强适水	勉强适水-水滞后	初级适水-工业发展滞后	初级适水	初级适水	初级适水-水滞后
衡水	轻度不适水	濒临不适水	勉强适水-工业发展滞后	勉强适水	初级适水-工业发展滞后	中级适水-工业发展滞后
沧州	勉强适水	初级适水	初级适水	勉强适水	初级适水	初级适水
廊坊	勉强适水	濒临不适水-水滞后	初级适水-工业发展滞后	勉强适水	初级适水	中级适水
唐山	濒临不适水	勉强适水	中级适水-工业发展滞后	初级适水	中级适水	初级适水-工业发展滞后
秦皇岛	濒临不适水	勉强适水	勉强适水-工业发展滞后	勉强适水	初级适水-工业发展滞后	初级适水
张家口	濒临不适水-工业发展滞后	勉强适水-工业发展滞后	勉强适水-工业发展滞后	勉强适水-工业发展滞后	初级适水-工业发展滞后	初级适水
承德	濒临不适水-工业发展滞后	勉强适水-工业发展滞后	初级适水-工业发展滞后	勉强适水-工业发展滞后	初级适水-工业发展滞后	初级适水-工业发展滞后
北京	勉强适水	初级适水	初级适水	初级适水-水滞后	良好适水	良好适水-水滞后
天津	勉强适水	初级适水	中级适水	中级适水	中级适水-水滞后	中级适水-水滞后

为进一步分析影响京津冀地区工业适水发展的障碍因素,根据各地区2008—2018年障碍度均值(表4),可以得出障碍度大于10%的主要障碍因素。人均水资源量和工业增加值是各地区共有的主要影响因素,其余因素在不同地区略有不同。秦皇岛和承德的万元工业增加值用水量较高,是阻碍工业适水发展的主要因素,在2008—2018年出现了10次。工业增加值比重和工业废水排放强度这两

个指标也是各地区中出现频次较多的;工业增加值比重在2008—2018年出现的次数也较多,主要出现在天津(10次)、唐山(10次)和沧州(9次)。工业废水排放强度在2008—2018年出现的次数也较多,主要出现在秦皇岛(11次)、邢台(10次)、石家庄(8次)和保定(8次)。总的来说,人均水资源量、工业增加值、工业增加值比重和工业废水排放强度是影响京津冀地区工业适水发展的主要因素。

表4 京津冀地区工业适水发展指标的障碍度
Tab.4 Obstacle degree of industrial water-appropriate development indicators in the Beijing-Tianjin-Hebei region %

地区	人均水资源量	万元工业增加值用水量	工业废水排放强度	工业增加值	工业增加值比重	高用水行业产值占比	工业用水占比
邯郸	36.81	5.92	6.28	28.04	9.59	6.84	6.52
邢台	29.82	5.94	16.27	29.66	8.86	5.18	4.27
石家庄	33.26	5.48	12.99	27.14	9.87	6.05	5.23
保定	29.97	6.52	12.95	30.16	9.43	4.28	6.69
衡水	30.38	7.03	8.66	35.08	9.80	4.79	4.26
沧州	31.83	5.50	9.69	29.86	10.95	4.49	7.68
廊坊	33.52	6.01	8.82	31.81	8.72	4.53	6.61
唐山	34.11	6.53	5.77	20.88	13.43	6.81	12.47
秦皇岛	24.24	10.14	14.47	33.88	5.72	4.37	7.19

表 4(续)
Tab. 4 (Continued)

地区	人均水资源量	万元工业增加值用水量	工业废水排放强度	工业增加值	工业增加值比重	高用水行业产值占比	工业用水占比
张家口	21.43	8.31	12.82	36.93	8.01	6.75	5.74
承德	16.38	12.96	5.05	37.34	9.26	8.49	10.52
北京	42.35	5.77	7.08	25.63	6.01	4.16	9.00
天津	44.33	3.90	5.87	12.39	12.14	5.56	15.80

3 结论

京津冀地区水资源系统的综合评价指数呈现“北高南低”的空间分布特征,但工业发展系统却与之相反,2008—2018 年两者均呈增长趋势且增长幅度不一,后者的增长速度比前者更快。地区间两系统的发展均呈现明显的不均衡,河北省内城市远低于北京和天津,发展水平较低并平均低于 0.500。

在时间上,京津冀地区的复合系统综合评价指数呈现波动式增长趋势;在空间上,呈现以京津为核心的“中部高,四周低且均衡”的双核空间分布特征。河北省内地区间差距逐渐缩小,逐渐趋向于均衡,但与京津的差距在扩大。2008—2018 年河北省的复合系统综合评价指数均小于 0.500,复合系统的发展水平较低。

2008—2018 年京津冀地区工业适水发展水平逐渐提高,并于 2016 年全部步入初级适水发展及以上状态,呈现出以京津为核心的“中部高,四周低”的空间分布特征。2008—2018 年京津冀地区工业适水发展主要经历了濒临不适水、勉强适水、初级适水 3 个发展状态,其工业适水发展指数由 0.475 增长到 0.627,工业适水发展态势较好。

从水资源系统和工业发展系统的综合评价指数对比分析,京津冀地区工业适水发展大多为工业发展滞后型。影响京津冀地区工业适水发展的主要障碍因素有人均水资源量、工业增加值、工业增加值比重和工业废水排放强度。

本文建立的工业适水发展评价指标体系对于省级、市级以及县级研究都有较强的适用性,但对于工业内部指标没有进行细化,下一步研究应重点基于不同区域的实际情况,考虑工业产品产量以及地区主导行业等,进一步细化工业适水发展的内容,将工业适水发展评价模型具体运用并指导地区发展规划。

参考文献:

[1] 郑连生. 适水发展对策 [M]. 北京: 中国水利水电出

版社, 2012.

- [2] 胡立峰, 张继宗, 张立峰. 河北省典型缺水地区适水型种植制度改革讨论[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(6): 132-137. DOI: 10.7606/j.issn.1000-7601.2019.06.19.
- [3] 李威, 顾峰雪. 基于水量供需平衡的安徽省适水型农业种植结构优化[J]. 农业展望, 2021, 17(5): 41-47. DOI: 10.3969/j.issn.1673-3908.2021.05.008.
- [4] 黄峰, 杨晓琳, 方瑜, 等. 适应水土资源条件的华北地区农业种植布局研究[J]. 中国工程科学, 2022, 24(5): 89-96. DOI: 10.15302/J-SSCAE-2022.05.011.
- [5] 康绍忠. 贯彻落实国家节水行动方案 推动农业适水发展与绿色高效节水[J]. 中国水利, 2019(13): 1-6. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2019.13.004.
- [6] 金凤君. 京津冀适水型工业结构调整研究[J]. 自然资源学报, 2000(3): 265-269. DOI: 10.3321/j.issn:1000-3037.2000.03.013.
- [7] 杜朝阳, 于静洁. 京津冀地区适水发展问题与战略对策[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(4): 17-25. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2018.0092.
- [8] 卢熠蕾, 孙傅, 曾思育, 等. 基于适水发展分区的京津冀精细化水管理对策[J]. 环境影响评价, 2018, 40(5): 34-38. DOI: 10.14068/j.ceia.2018.05.007.
- [9] 张丹, 王境, 王艺璇, 等. “以水定产”的经验、问题及建议[J]. 水利经济, 2021, 39(2): 82-85, 98. DOI: 10.3880/j.issn.1003-9511.2021.02.014.
- [10] 张瑞美, 王亚杰, 杨钢. 西北地区落实“以水定产”的问题与对策[J]. 水利发展研究, 2021, 21(5): 33-37. DOI: 10.13928/j.cnki.wrdr.2021.05.010.
- [11] 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. DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2023.01.001.
- [12] 程蕾, 陈吕军, 田金平, 等. “以水定产”驱动的黄河流域可持续水管理策略研究[J]. 中国工程科学, 2023, 25(1): 187-197. DOI: 10.15302/J-SSCAE-2023.01.011.
- [13] 刘海娇, 陈学群, 刘彩虹, 等. 基于DPSIR模型的“四水四定”高质量发展协调性评价[J]. 人民黄河, 2022, 44(11): 72-77. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1379.

- 2022.11.014.
- [14] 张丽娜,吴凤平,张陈俊,等. 流域水资源消耗结构与产业结构高级化适配性研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2020, 40(11): 3009-3018. DOI: 10.12011/1000-6788-2019-0016-10.
- [15] 樊慧丽,付文阁. 水足迹视角下我国农业水土资源匹配及农业经济增长——以长江经济带为例[J]. *中国农业资源与区划*, 2020, 41(10): 193-203. DOI: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20201024.
- [16] 郝林钢,左其亭,刘建华,等. “一带一路”中亚区水资源利用与经济社会发展匹配度分析[J]. *水资源保护*, 2018, 34(4): 42-48. DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2018.04.08.
- [17] 李欢,李景保. 近十年来湖南省产业结构与用水结构的耦合协调关系[J]. *水电能源科学*, 2019, 37(7): 35-38,161.
- [18] 卞锦宇,夏玉林,毛学谦,等. 太湖流域水资源承载力与经济社会发展适应性评价[J]. *水利水电快报*, 2022, 43(4): 31-37. DOI: 10.15974/j.cnki.slsdkb.2022.04.005.
- [19] 郭佳航,左其亭,李东林,等. 新疆水资源利用与产业发展关联研究[J]. *水资源保护*, 2021, 37(2): 34-42. DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2021.02.006.
- [20] 李星,左其亭,韩淑颖,等. 塔里木河流域水资源适应性利用能力评价及调控[J]. *水资源保护*, 2021, 37(2): 63-68. DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2021.02.010.
- [21] 何刚,谷雅娴,鲍珂宇. 淮河流域工业生态安全时空演变评价: 以安徽段为例 [J]. *安全与环境学报*, 1-10. DOI: 10.13637/j.issn.1009-6094.2022.0531
- [22] 苗治平,张峰. 新型工业化背景下的工业水资源利用效率指数测量及其影响因素分析[J]. *上海交通大学学报*, 2017, 51(6): 761-768. DOI: 10.16183/j.cnki.jsjtu.2017.06.019.
- [23] 张翔宇,李玉娟,张国玉,等. 最严格水资源管理制度对工业用水效率的影响[J]. *长江科学院院报*, 2020, 37(5): 23-27. DOI: 10.11988/ckyyb.20190143.
- [24] XU M, HU W Q. A research on coordination between economy, society and environment in China: A case study of Jiangsu[J]. *J Clean Prod*, 2020, 258: 120641. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120641.
- [25] 刘慧敏. 区域产业结构与用水结构的协调分析评价 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2014.
- [26] PAN Z, WANG Z, LI X, et al. Space-time pattern of coupling coordination between environmental regulation and green water resource efficiency in China[J]. *Sustainability*, 2022, 14(17): 10742. DOI: 10.3390/su141710742.
- [27] 张宁,杨肖,陈彤. 中国西部地区水-能源-粮食系统耦合协调度的时空特征[J]. *中国环境科学*, 2022, 42(9): 4444-4456. DOI: 10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20220609.001.
- [28] 赵晨光,马军霞,左其亭,等. 黄河河南段资源-生态-经济和谐发展水平及耦合协调分析[J]. *南水北调与水利科技(中英文)*, 2022, 20(4): 660-669,747. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2022.0068.
- [29] 韩春辉,左其亭,张修宇,等. 河南省引黄受水区资源-生态-经济系统安全评价与耦合协调分析[J]. *人民黄河*, 2022, 44(1): 61-66,93. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1379.2022.01.013.

Evaluation of industrial water-appropriate development in Beijing-Tianjin-Hebei region

LI Xiaoling^{1,2}, WANG Lizhen^{2,3}, LI Haihong², ZHAO Yong², QIN Changhai², HE Guohua², WANG Hao²

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Guangxi University, Nanning 530004, China; 2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

3. School of Water Resources and Electric Power, Qinghai University, Xining 810016, China)

Abstract: The Beijing-Tianjin-Hebei region is one of the core areas of industrial development in China, and the layout of its industrial and economic development does not match the carrying capacity of water resources, and the contradiction between water demand and water endowment needs to be solved urgently. In order to identify the relationship between industrial development and water shortage, the degree of coordination between water resources and industrial development layout in Beijing-Tianjin-Hebei region was analyzed with the goal of optimizing the water-appropriate development layout of industrial economy. Based on the deepening of the connotation of industrial water-appropriate development, an industrial water-appropriate development evaluation index system in terms of water endowment and utilization, industrial structure and economic benefits. Was constructed industrial water-appropriate development evaluation model was established based on entropy weight method and coupled

coordination degree model to explore the spatial and temporal change characteristics of industrial water-appropriate development in Beijing-Tianjin-Hebei region and its obstacle factors. The results showed that: (1) The comprehensive evaluation indexes of the composite system and its subsystems in the Beijing-Tianjin-Hebei region showed a spatial distribution pattern with Beijing-Tianjin as the core, among which the development level of the water resources system was higher and showed a fluctuating growth trend, but the increase was smaller than that of the industrial development system. The spatial and temporal distribution of water resources and the imbalance of regional water use efficiency greatly affected the spatial and temporal distribution of the water resources system evaluation index; the development of Hebei's industrial economy was driven by the Beijing-Tianjin-Hebei synergistic development. (2) From 2008 to 2018, the Beijing-Tianjin-Hebei region gradually evolved from near-unsuitable water to primary water-suitable development (from 0.475 to 0.690), showing the distribution characteristics of “central gradually driving balanced around” with Beijing-Tianjin as the core. The Beijing-Tianjin-Hebei region has mainly experienced the three development states of near-unsuitable water, barely suitable water and primary suitable water; while the prefecture-level cities in Hebei Province have a large gap compared with Beijing and Tianjin. (3) From the analysis of the influencing factors, the type of water-appropriate development in the Beijing-Tianjin-Hebei region is mainly the type of lagging industrial development. The water-appropriate development of industry in the Beijing-Tianjin-Hebei region was limited by water resources endowment and the level of industrial development between regions. The study results can provide reference for optimizing the industrial development layout in Beijing-Tianjin-Hebei region and promoting the coordinated and sustainable development of water resources and industry.

Key words: water-appropriate industry; industrial water-appropriate development index; coordinated development; obstacle factor; Beijing-Tianjin-Hebei

第三十一届“世界水日”，第三十六届“中国水周”来临之际，南水北调与水利科技（中英文）编辑部乐水志愿者参加了河北省水利科学研究院的主题宣传活动——强化依法治水 携手共护母亲河。志愿者通过摆放宣传展板、悬挂横幅、宣传资料等形式向广大人民群众宣传水法律法规知识，积极倡导广大居民珍惜水资源，保护水环境，共建人水和谐的水生态文明城市。



乐水志愿者参加“世界水日”“中国水周”主题宣传活动