

强人类活动下京津冀城市群水资源演变的影响因素

王颖¹, 邓肖灵¹, 徐瑾^{1,2}, 侯齐敏¹, 赵娟³, 田宏心⁴

(1. 天津理工大学 管理学院, 天津 300384; 2. 天津大学 环境科学与工程学院, 天津 300072;
3. 国网经济技术研究院有限公司, 北京 102209; 4. 国网天津市电力公司, 天津 300010)

摘要: 针对强人类活动影响下京津冀城市群水资源短缺日益严重和水资源环境日趋恶化的现状,以城市群快速聚集发展为研究视角,综合运用 DPSIR 概念框架模型及主成分分析法,对京津冀城市群 14 个地级以上城市 2007 年—2016 年的人工取用水、城市土地利用变化、经济社会发展及环境保护等状况进行分层指标划分,并进一步分析影响京津冀城市群水资源演变的主要因素及其影响程度。结果表明,基于主成分分析法得到的 3 个主成分因子按贡献率高低排序分别为城市土地利用变化与人工取用水的综合作用、水利建设及环境保护措施、人口密集化程度;农业发展水平是京津冀城市群水资源演变的重要影响因素,同时京津冀城市群对外调水的依赖性日益增大,且人口增长对资源环境的巨大压力需受到进一步重视。

关键词: 京津冀城市群; 强人类活动; 水资源演变; 影响因素

中图分类号: X24 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)23-0075-05

Influencing Factors of Water Resources Evolution Driven by Strong Human Activities in Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration

WANG Ying¹, DENG-XIAO Ling-hao¹, XU Jin^{1,2}, HOU Qi-min¹, ZHAO Juan³,
TIAN Hong-xin⁴

(1. School of Management, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China; 2. School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 3. State Grid Economic Technological Research Institute Co. Ltd., Beijing 102209, China; 4. State Grid Tianjin Electric Power Company, Tianjin 300010, China)

Abstract: Under the influence of strong human activities, the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration is facing an increasingly severe shortage of water resources and deteriorating water resource environment. From the perspective of rapid development of urban agglomeration, the DPSIR conceptual framework model and principal component analysis were comprehensively applied to classify the water consumption, changes of urban land utilization, economic and social development and environmental protection of 14 cities of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration from 2007 to 2016, and the main factors influencing the evolution of water resources in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration were further analyzed. The results showed that the three principal component factors were obtained based on the prin-

基金项目: 天津市基础 research 计划项目(17JCTPJC46500); 天津市高校“中青年骨干创新人才培养计划”; 天津市科技计划项目(16ZXFVGX00090); 2017 年科技部创新方法工作专项(2017IM010800); 教育部人文社会科学规划基金资助项目(18YJA630121); 天津市教委社会科学重大项目(2018JWZD33); 国家电网公司 2018 年科技项目

cial component analysis, and the factors, in order of contribution rate, were the comprehensive effect of urban land utilization change and water consumption, the construction of water conservancy projects and environmental protection measures, and the population density. The level of agricultural development was an important factor influencing the evolution of water resources in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. At the same time, the dependency of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration on water diversion was increasing day by day, and the enormous pressure of population growth on resources and environment needed to be paid more attention to.

Key words: Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration; strong human activity; evolution of water resources; influencing factor

在城市化的快速推进以及城市聚集成群发展的背景下,强人类活动引发的水资源问题日益凸显,为城市水资源环境保护及供水安全保障带来了更严峻的挑战。为明晰人类活动对水资源演变的影响因素,国内外学者进行了许多研究,重点集中在湖泊及径流水质水量变化等对人类活动的响应以及气候与人类活动对水资源演变影响的贡献等方面^[1-3]。随着研究的深入,关于水资源演变影响因素的研究形成了一系列定性和定量方法,主要包括累积距平法^[4]、分布式水文模型^[5]、系统动力学^[6]、主成分分析^[7]等。

京津冀城市群作为北方最大的城市聚集区及国际最具竞争力的支撑平台,承载了全国 7.24% 的人口和 11% 的经济总量,但其区域面积仅为全国面积的 2.35%,水资源量占全国水资源总量的 1%,成为中国所有城市群中水资源短缺最为严重的地区。随着强人类活动的剧烈干扰,京津冀城市群水资源供需日益紧张,引起地下水位下降、河道断流、土地退化等一系列生态环境问题,且严重影响城市居民的用水安全。水资源短缺问题已经成为制约京津冀城市群可持续发展的重要因素。鉴于此,笔者从强人类活动对京津冀城市群水资源演变产生影响的研究视角出发,采用 DPSIR 概念框架模型构建京津冀城市群强人类活动对水资源演变影响的指标体系,进而用主成分分析法进行深入探讨,以期明晰在城市群快速聚集背景下水资源受强人类活动干扰的程度及主要影响因素,为京津冀城市群的水资源演变及城市供水安全保障研究提供理论支撑。

1 数据与方法

1.1 研究区域概况

京津冀城市群地处华北平原北部,位于海河流域,区域内虽拥有海河、滦河等河流,但随着城市化

的加速推进,人口密集度持续增加,二、三产业迅猛发展,社会生产、生活对水资源的需求不断加大,造成京津冀区域水资源严重匮乏^[8]。2016 年,京津冀地区区域水资源量为 $262.3 \times 10^8 \text{ m}^3$,人均水资源量为 $234.09 \text{ m}^3/\text{人}$,仅占全国人均水资源量的 9.94%,而区域用水总量为 $248.6 \times 10^8 \text{ m}^3$,已经形成水资源利用严重超载的恶劣态势。解决水资源严重短缺问题已经成为京津冀地区发展的当务之急。

1.2 DPSIR 概念框架模型

DPSIR 概念框架模型是由 PSR 模型和 DSP 模型综合改进而来,因其在经济社会运作与环境可持续发展关系识别方面的独特优势,被广泛用于水土资源利用效率、区域生态环境安全、土壤保持与利用、农业可持续发展等相关领域的评价与决策^[8]。DPSIR 模型通过识别经济社会发展与环境之间的相互作用,建立二者之间“驱动力-压力-状态-影响-响应”的因果关系链,揭示经济社会发展对环境造成影响的作用方式及环境状态对人类活动的响应,能够有效整合人类活动、经济社会发展、资源环境之间的问题。

本研究基于 DPSIR 概念框架模型对京津冀城市群水资源演变下的经济发展、社会状况、资源利用、环境保护 4 个层面进行深入分析,探讨在城市群不断聚集过程中强人类活动对京津冀地区水资源变化的潜在驱动原因,明晰水资源演变的压力因素及其扰动的剧烈程度,进一步分析水资源环境在压力及驱动力作用下所处的状态,确定当前水资源演变状态对经济社会发展及周围生态环境的影响,进而引出面向京津冀城市群水资源可持续发展进程中应该采取的治理措施与环境保护强度。

1.3 影响水资源演变的指标体系构建

本研究构建的强人类活动对水资源演变的影响

指标体系如表 1 所示。

表 1 强人类活动对水资源演变的影响指标体系

Tab. 1 Impact index system of strong human activities on water resources evolution

目标层	准则层		指标层
	类别	因素	
强人类活动对京津冀城市群水资源演变的影响	驱动力 D	人口规模	人均水资源量 $D_1 = \text{水资源总量} / \text{总人口数}$
		经济社会发展	地区生产总值 D_2
		城市建设规模	城市建设用地 D_3
	压力 P	资源消耗强度	万元工业产值用水量 P_1
			万元农业产值用水量 P_2
	状态 S	水资源状况	地下水开采量 S_1
			污水排放量 S_2
	影响 I	社会生态环境	耕地减少面积 I_1
			湿地面积 I_2
			森林覆盖率 I_3
	响应 R	水利建设情况	引水量 R_1
			水库总库容量 R_2
		环境保护措施	水土流失治理面积 R_3
		技术发展水平	污水重复利用率 R_4

城市群的不断演进及剧烈人为因素的干扰使得京津冀地区水资源结构及分布格局发生了巨大变化,逐渐成为导致区域水资源畸形演变的主要影响因素。强人类活动带来的人类取水活动、下垫面变化、科学技术的迅猛发展及产业的密集化程度加深等因素直接或间接作用于区域水资源系统,进一步加剧了区域资源环境恶化并对城市供水安全带来极大的威胁。随着京津冀一体化发展战略的持续深入,人口及产业聚集效应愈加明显,多水源引水、地下水开采、工业用耗水及农业用耗水等人类生产和生活取水活动成为影响京津冀城市群水资源演变的主要强人类活动因素之一;此外,伴随着《水污染防治行动计划》的出台、京津冀协同联动机制的加速建立,水土流失保护措施及区域水污染治理取得了显著成效,其中水利设施建设、植被覆盖率、污水排放及处理等区域水环境保护治理措施也是影响京

津冀城市群水资源演变的又一重要因素。而各种因素间相互影响、耦合作用的关系为强人类活动下水资源演变影响因素的识别及影响程度的确定带来了很大的挑战。因此,本研究基于 DPSIR 概念框架模型,采用“问题导向”方式对京津冀城市群人类活动方式及强度、经济社会发展水平、区域水资源状态等进行系统、深入的调查,厘清强人类活动、问题、状态、影响及响应各个因素之间的因果关系,基于对众多文献研究分析并借鉴前人的研究成果^[6],同时兼顾指标选取的科学性、动态性、系统性、可操作性原则以及指标的属性及层次性,在上述成因分析及指标合理转换与处理的基础上,构建出如表 1 所示的适用于京津冀城市群的强人类活动对水资源演变的影响指标体系。

1.4 数据来源

研究区域为京津冀城市群 14 个地级以上城市,涉及的统计指标的原始数据均来自于这 14 个城市相应数据的汇总,研究时间范围为 2007 年—2016 年。涉及经济社会发展及水资源量的统计指标的初始数据均来源于《中国统计年鉴》《北京市水资源公报》《天津市水资源公报》及《河北省水资源公报》;与生态环境、水利建设相关的统计指标的初始数据则来源于《中国环境统计年鉴》;各年区域引水量数据来自于《中国河流泥沙公报》。数据经过优化处理及一定运算规则形成最终的统计指标数据。

2 结果和讨论

为了进一步识别强人类活动对京津冀城市群水资源演变的影响程度,在影响指标体系建立的基础上进行主成分分析。在 SPSS22.0 软件中对表 1 的 14 个指标数据进行标准化处理,并通过降维处理得到影响指标相关系数矩阵(见表 2)、因子特征值及方差贡献率(见表 3)、因子载荷矩阵及因子得分矩阵(见表 4)。通过分析表 2 可知,14 个指标之间均具有一定的相关性,因此适宜进行主成分分析。

表 2 强人类活动驱动下京津冀城市群水资源演变的影响指标相关系数矩阵

Tab. 2 Correlation coefficient matrix of water resources evolution impact index driven by strong human activities in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration

相关系数矩阵	D_1	D_2	D_3	P_1	P_2	S_1	S_2	I_1	I_2	I_3	R_1	R_2	R_3	R_4
D_1	1													
D_2	-0.048	1												
D_3	0.091	0.989	1											

续表2 (Continued)

相关系数矩阵	D_1	D_2	D_3	P_1	P_2	S_1	S_2	I_1	I_2	I_3	R_1	R_2	R_3	R_4
P_1	-0.091	-0.827	-0.860	1										
P_2	-0.061	-0.928	-0.929	0.949	1									
S_1	0.031	-0.955	-0.954	0.725	0.813	1								
S_2	-0.013	0.970	0.962	-0.890	-0.982	-0.883	1							
I_1	-0.069	0.997	0.991	-0.851	-0.944	-0.950	0.980	1						
I_2	0.330	-0.872	-0.842	0.608	0.751	0.865	-0.808	-0.865	1					
I_3	-0.200	0.806	0.839	-0.875	-0.903	-0.721	0.892	0.839	-0.658	1				
R_1	0.214	-0.250	-0.165	-0.197	-0.020	0.349	-0.089	-0.211	0.595	0.184	1			
R_2	-0.046	0.829	0.816	-0.565	-0.679	-0.816	0.775	0.824	-0.681	0.555	-0.315	1		
R_3	0.445	-0.644	-0.601	0.370	0.531	0.643	-0.584	-0.636	0.933	-0.465	0.724	-0.449	1	
R_4	0.272	0.667	0.666	-0.817	-0.775	-0.603	0.711	0.680	-0.391	0.661	0.248	0.302	-0.140	1

表3 因子特征值和方差贡献率

Tab.3 Principal component factor eigenvalue and variance contribution rate

主成分因子	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	9.579	68.424	68.424
2	2.337	16.696	85.120
3	1.064	7.602	92.722

表4 因子载荷矩阵及因子得分矩阵

Tab.4 Factor loading matrix and factor score matrix

项目	成分载荷矩阵			成分得分系数矩阵		
	1	2	3	1	2	3
D_1	-0.115	0.531	0.801	-0.012	0.227	0.753
D_2	0.990	-0.015	0.108	0.103	-0.006	0.101
D_3	0.986	0.035	0.031	0.103	0.015	0.029
P_1	-0.872	-0.375	0.200	-0.091	-0.016	0.187
P_2	-0.955	-0.226	0.081	-0.100	-0.097	0.076
S_1	-0.939	0.106	-0.200	-0.098	0.045	-0.188
S_2	0.981	0.127	0.017	0.102	0.054	0.016
I_1	0.996	0.012	0.063	0.104	0.005	0.059
I_2	-0.882	0.449	0.020	-0.092	0.192	0.019
I_3	0.863	0.255	-0.340	0.090	0.109	-0.320
R_1	-0.210	0.891	-0.347	-0.022	0.381	-0.326
R_2	0.789	-0.146	0.259	0.082	-0.062	0.243
R_3	-0.670	0.662	0.109	-0.070	0.283	0.102
R_4	0.685	0.561	0.068	0.071	0.240	0.064

从表3可知,主成分分析筛选出影响水资源演变的3个主成分,其特征值均大于1,累计方差贡献率达到92.722%,远超过判断标准(85%),因此可以反映原有指标的绝大部分信息。

由表4可知,决定第一主成分的指标有地区生产总值(D_2)、城市建设用地(D_3)、万元工业产值用水量(P_1)、万元农业产值用水量(P_2)、地下水开采

量(S_1)、污水排放量(S_2)、耕地减少面积(I_1)、湿地面积(I_2)、森林覆盖率(I_3)、水库总库容量(R_2)、污水重复利用率(R_4),相比较而言,第一主成分与地区生产总值(D_2)、城市建设用地(D_3)、耕地减少面积(I_1)、污水排放量(S_2)这4个指标有着较强的正向相关性,正向贡献率前三位分别是耕地减少面积(I_1)、地区生产总值(D_2)、城市建设用地(D_3);与万元农业产值用水量(P_2)、地下水开采量(S_1)有着强负相关性;与森林覆盖率(I_3)、水库总库容量(R_2)、污水重复利用率(R_4)及万元工业产值用水量(P_1)、湿地面积(I_2)的正向及负向相关性则相对较弱,负向贡献率前三位分别为万元农业产值用水量(P_2)、地下水开采量(S_1)、湿地面积(I_2),说明第一主成分是城市土地利用变化与人工取用水强度综合作用的结果。

第二主成分与人均水资源量(D_1)、湿地面积(I_2)、森林覆盖率(I_3)、引水量(R_1)、水土流失治理面积(R_3)、污水重复利用率(R_4)这7个指标有着相对较强的正向相关性,正向贡献率前三位分别为引水量(R_1)、水土流失治理面积(R_3)、污水重复利用率(R_4);与万元工业产值用水量(P_1)、万元农业产值用水量(P_2)、水库总库容量(R_2)、地区生产总值(D_2)这4个指标有着弱负向相关性,由此说明第二主成分主要反映了京津冀城市群面向水资源可持续发展所做出的水利建设、环境保护等响应措施。

第三主成分只与人均水资源量(D_1)有着较强的正向相关性;与地下水开采量(S_1)、森林覆盖率(I_3)、引水量(R_1)这3个指标呈很弱的负向相关性,表明第三主成分主要代表城市化不断推进过程中人口密集化程度造成的影响。

3 结论

① 采用 DPSIR 模型建立了京津冀城市群强人类活动对水资源演变的影响因素指标体系,共包括 14 个指标;采用主成分分析法对影响因素指标进行简化降维处理后得到 3 个主成分因子,其累计贡献率为 92.722%;通过主成分因子载荷矩阵及因子得分矩阵的分析结果可知,3 个主成分分别反映了城市土地利用变化与人工取用水综合作用、水利建设及环境保护等响应措施、人口密集化程度这三大类影响因素。

② 通过分析主成分载荷量发现,耕地减少面积及万元农业产值用水量为第一主成分的决定性指标,说明农业发展水平是京津冀城市群水资源演变的重要影响因素;引水量成为第二主成分的决定性指标,表明京津冀城市群自有水资源已经远不能满足社会经济发展及人类生产生活的需求,对外调水的依赖程度日益增大;人口规模成为第三主成分的唯一强相关性指标,说明京津冀城市群人口增长对资源环境造成的巨大压力不容小觑。

参考文献:

- [1] Páll E, Niculae M, Kiss T, *et al.* Human impact on the microbiological water quality of the rivers[J]. *Journal of Medical Microbiology*, 2013, 62(Pt 11): 1635 – 1640.
- [2] Haddeland I, Heinke J, Biemans H, *et al.* Global water resources affected by human interventions and climate change[J]. *Proc Natl Acad Sci*, 2014, 111(9): 3251 – 3256.
- [3] 仇亚琴,周祖昊,贾仰文,等. 三川河流域水资源演变个例研究[J]. *水科学进展*, 2006, 17(6): 865 – 872.
Qiu Yaqin, Zhou Zuhao, Jia Yangwen, *et al.* A case study on the evolutionary law of water resources in Sanchuan river basin [J]. *Advances in Water Science*, 2006, 17(6): 865 – 872 (in Chinese).
- [4] 焦玮,朱仲元,宋小园,等. 近 50 年气候和人类活动对锡林河流域径流的影响[J]. *中国水土保持科学*, 2015, 13(6): 12 – 19.
Jiao Wei, Zhu Zhongyuan, Song Xiaoyuan, *et al.* Impacts of climate change and human activities on runoff yield of the Xilin River Basin over nearly 50 years[J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2015, 13(6): 12 – 19 (in Chinese).
- [5] Lee S, Sang K. Quantification of hydrological responses due to climate change and human activities over various time scales in South Korea[J]. *Water*, 2017, (9): 34.
- [6] 曹一梅,武兰婷,李宝芬. 基于 SD 方法人类活动影响下昆明市水资源时空演变分析[J]. *水利规划与设计*, 2017, (11): 82 – 85.
Cao Yimei, Wu Lanting, Li Baofen. Spatial and temporal evolution of water resources in Kunming City under the influence of human activities based on SD method[J]. *Water Resources Planning and Design*, 2017, (11): 82 – 85 (in Chinese).
- [7] 孙兆峰,王双银,刘晶,等. 秃尾河流域径流衰减驱动力因子分析[J]. *自然资源学报*, 2017, 32(2): 310 – 320.
Sun Zhaofeng, Wang Shuangyin, Liu Jing, *et al.* Driving force analysis of runoff attenuation in Tuwei River Basin [J]. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(2): 310 – 320 (in Chinese).
- [8] 邵超峰,鞠美庭. 基于 DPSIR 模型的低碳城市指标体系研究[J]. *生态经济*, 2010, (10): 95 – 99.
Shao Chaofeng, Ju Meiting. Study of the index system of low-carbon cities based on DPSIR model[J]. *Ecological Economy*, 2010, (10): 95 – 99 (in Chinese).



作者简介:王颖(1974 –),女,天津人,博士,副教授,研究方向为环境质量管理与质量工程管控。

E-mail: malibear@126.com

收稿日期: 2018 – 07 – 22