

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2026.12.008

“双碳”背景下潍坊市水系统碳排放核算与碳减排研究

邱妍妍¹, 辛 蕾², 邵运贤¹, 王 喆¹

(1. 济南市规划设计研究院, 山东 济南 250101; 2. 山东轨道交通勘察设计院有限公司, 山东 济南 250000)

摘 要: 在“双碳”背景下,碳排放和碳减排受到越来越多的关注。城市水系统是城市主要碳排放源之一,在取水、输送、用水等过程中都会产生大量碳排放,因此有必要对城市水系统整个过程及各个环节碳排放进行研究分析。本文以潍坊市水系统为例,构建了城市水系统碳排放理论研究框架和方法,核算了水系统各个环节的碳排放量,分析了不同环节碳排放特征和影响因素,并从节水节能机制、低碳设计、管网布局等方面提出了碳减排的措施和建议。结果表明,在城市水系统各个环节碳排放中,用水系统碳排放量>给水系统碳排放量>取水系统碳排放量,占比分别为89.64%、8.28%、2.08%,居民生活用水碳排放量最大,占整个水系统碳排放的50.84%,工业用水碳排放次之,占整个水系统碳排放量的25.84%。

关键词: 城市水系统; 碳排放; 碳减排

中图分类号: TU99 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2026)12-0051-07

Research on Carbon Emission Accounting and Carbon Emission Reduction of Water System in Weifang under “Dual-carbon” Background

QIU Yanyan¹, XIN Lei², SHAO Yunxian¹, WANG Zhe¹

(1. Jinan City Planning and Design Institute, Jinan 250101, China; 2. Shandong Rail Transit Survey and Design Institute Co. Ltd., Jinan 250000, China)

Abstract: In the context of “dual-carbon”, carbon emissions and carbon reduction have received more and more attention. Urban water system is one of the main sources of urban carbon emissions, and a large amount of carbon emissions will be generated in the process of water intake, transportation and water use, etc.. It is necessary to study and analyze the carbon emissions in the whole process and each link of urban water system. Taking the water system of Weifang as an example, this paper systematically constructed the theoretical research framework and method of carbon emissions for urban water system, calculated the carbon emissions of each link of the water system, analyzed the carbon emission characteristics and influencing factors of different links, and put forward carbon emission reduction measures and suggestions from the aspects of water-saving and energy-saving system mechanism, low-carbon design, pipe network layout and other aspects. The results indicate: in terms of carbon emissions in each link of urban water system, carbon emissions from water use system > carbon emissions from water supply system > carbon emissions from water intake system, accounted for 89.64%, 8.28% and 2.08% of carbon emissions in the whole process, respectively. Carbon emissions from residential water use were the largest, accounting for 50.84% of carbon emissions in the whole water system, followed by

通信作者: 邵运贤 E-mail: 303105878@qq.com

carbon emissions from industrial water. It accounts for 25.84% of the carbon emissions of the whole water system.

Keywords: urban water system; carbon emissions; carbon emission reduction

城市水系统碳排放是一个复杂的系统过程,涉及多个环节和子系统,其取水、输送、用水等过程消耗了大量能源,造成了大量碳排放。由于不同城市供水方式和距离、能源类型、用水方式和节水意识等不同,间接影响了城市水系统不同环节的能源消耗和碳排放强度。当前,关于城市和水系统污水处理系统碳排放核算方法和碳减排措施的研究较多^[1-2],而对水系统“水-能-碳”关系的研究^[3-6]较少。城市水系统作为城市主要的碳排放源之一,其碳排放量约占城市总碳排放量的12%^[7]。因此,掌握城市水系统碳排放机理,摸清城市水系统碳排放特征和影响因素,对于城市水系统的碳减排意义重大。本文以潍坊市为例,从取水、给水、用水3个子系统对水系统碳排放量进行核算,分析城市水系统碳排放的特征和影响因素,并提出城市水系统碳减排的措施和建议,以期为城市水系统碳减排提供理论和实践参考。

1 潍坊市概况及数据来源

1.1 潍坊市概况

潍坊市位于山东半岛中部,东与青岛、烟台两市连接,西邻淄博、东营两市,南连临沂、日照两市,北濒渤海莱州湾。地势南高北低,东南偏高,北部偏低,南北坡度为1‰~2‰,以洪积平原和冲积平原为主。

潍坊市内河湖水系主要有潍河、白浪河、虞河、大圩河、浞河、峡山水库、白浪水库、符山水库等,引黄济青管渠从中心城区北部穿过,走向为西北向东南,承担潍坊市的调水任务。

潍坊市多年平均降雨量为639.1 mm,水资源总量为28.85亿m³,其中地表水资源量19.07亿m³、地下水资源量为9.78亿m³,人均水资源占有量为262 m³,属于严重缺水地区。

1.2 数据来源

取水、提水、蓄水、制水、配水、用水、回用等水量数据来自潍坊市2016年—2022年的水资源公报,以及潍坊市水务公司供水企业的供水统计资料。不同能源的发热量值和碳排放系数主要采用《综合能耗计算通则》(GB/T 2589—2020)、《省级温室气体清单编制指南》(发改办气候[2011]1041号)中规定的数值,电力排放因子(EF_{CO₂})选用华北区域电网山东省电力排放系数,取1.246 kg/(kW·h)。其余缺失部分数据、单位能源消耗数据参考相关城市经验值^[8-10]。

2 城市水系统碳排放理论框架

城市水系统主要包括水源、给水系统和用水系统,其碳排放主要来自能源消耗和药剂消耗,属于间接碳排放。城市水系统碳排放理论框架如图1所示。

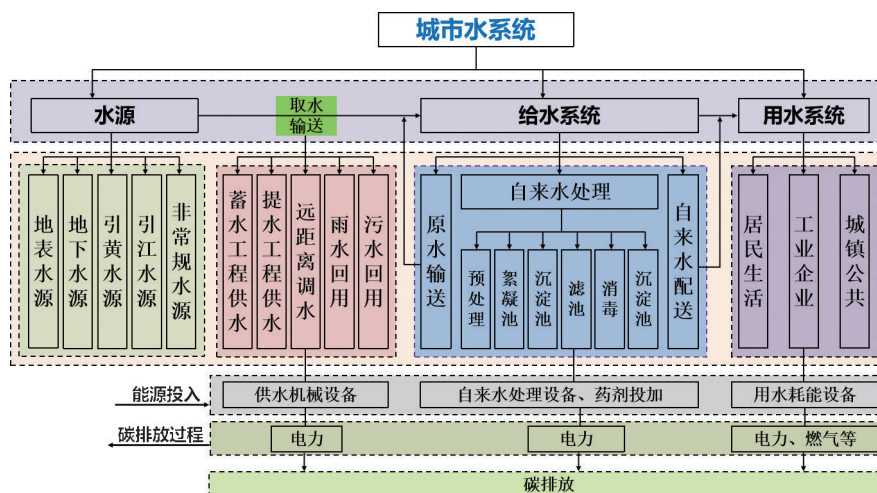


图1 城市水系统碳排放理论框架

Fig.1 Theoretical framework of carbon emissions in urban water system

3 碳排放核算方法

碳排放核算方法主要有实测法、排放因子法和模型法。其中,排放因子法适用于宏观尺度的碳排放核算,采用活动水平与排放系数的乘积,是目前应用最广泛的碳核算方法,已被广泛应用于水系统过程中的碳排放核算。根据相关研究,并结合研究区域的实际情况,确定采用排放因子法对研究区域进行碳排放核算,包括取水系统、给水系统、用水系统。

3.1 取水系统碳排放量核算方法

根据潍坊市的实际用水情况,分别计算蓄水工程、地表水提水工程、引黄工程、南水北调工程、地下水工程、污水再生回用工程和雨水回用工程供水的碳排放量,具体计算公式分别如下:

$$C_x = Q_x W_x EF_{CO_2} \quad (1)$$

$$C_B = \frac{gh_B Q_B \rho}{3.6 \times 10^6 \times \eta} \times EF_{CO_2} \quad (2)$$

$$C_H = Q_H W_D LEF_{CO_2} \quad (3)$$

$$C_N = Q_N W_N EF_{CO_2} \quad (4)$$

$$C_D = \frac{gh_D Q_D \rho}{3.6 \times 10^6 \times \eta} \times EF_{CO_2} \quad (5)$$

$$C_H = Q_H W_H EF_{CO_2} \quad (6)$$

$$C_Y = Q_Y W_Y EF_{CO_2} \quad (7)$$

式中: C_x 为核算年度蓄水工程供水碳排放量,kg/a; Q_x 为核算年度蓄水工程供水量, m^3/a ; W_x 为蓄水工程供水的能源强度,取 $0.109 \text{ kW} \cdot \text{h}/m^3$; C_B 为核算年度地表水提水工程供水碳排放量,kg/a; g 为重力加速度,取 9.8 m/s^2 ; h_B 为提水扬程,m; Q_B 为核算年度地表水提水量, m^3/a ; ρ 为水的密度,取 1000 kg/m^3 ; η 为泵站效率,取 0.75 ; C_H 为核算年度引黄工程供水碳排放量,kg/a; Q_H 为核算年度引黄水量, m^3/a ; W_D 为引黄调水工程单位距离输水的平均能源强度,取 $0.0045 \text{ kW} \cdot \text{h}/(m^3 \cdot \text{km})$; L 为引黄供水输水线长度,km; C_N 为核算年度南水北调工程供水碳排放量,kg/a; Q_N 为核算年度南水北调工程供水量, m^3/a ; W_N 为南水北调工程供水的能源强度,取 $0.102 \text{ kW} \cdot \text{h}/m^3$; C_D 为核算年度地下水工程供水碳排放量,kg/a; h_D 为地下水埋深,m; Q_D 为核算年度地下水提水量, m^3/a ; C_H 为核算年度污水再生回用碳排放量,kg/a; Q_H 为核算年度污水再生回用量, m^3/a ; W_H 为污水再生回用的能源强度,取 $0.621 \text{ kW} \cdot \text{h}/m^3$; C_Y 为核算年度雨水回用

碳排放量,kg/a; Q_Y 为核算年度雨水回用量, m^3/a ; W_Y 为雨水回用的能源强度,取 $1.55 \text{ kW} \cdot \text{h}/m^3$ 。

3.2 给水系统碳排放量核算方法

在给水系统中,主要核算制水过程、配水过程的碳排放量,计算公式分别如下:

$$C_Z = Q_Z W_Z EF_{CO_2} \quad (8)$$

$$C_P = Q_P W_P EF_{CO_2} \quad (9)$$

式中: C_Z 为核算年度制水过程的碳排放量,kg/a; Q_Z 为核算年度制水量, m^3/a ; W_Z 为制水的能源强度,取 $0.543 \text{ kW} \cdot \text{h}/m^3$; C_P 为核算年度配水过程的碳排放量,kg/a; Q_P 为核算年度配水量, m^3/a ; W_P 为配水的能源强度,取 $0.320 \text{ kW} \cdot \text{h}/m^3$ 。

3.3 用水系统碳排放量核算方法

用水系统主要包括工业用水、居民生活用水、公共生活用水,其碳排放量计算公式如下:

$$C_P = Q_P W_P EF_{CO_2,P} \quad (10)$$

$$C_J = Q_J W_J EF_{CO_2,J} \quad (11)$$

$$C_G = Q_G W_G EF_{CO_2,G} \quad (12)$$

式中: C_P 为核算年度工业用水碳排放量,kg/a; Q_P 为核算年度工业用水量, m^3/a ; W_P 为工业用水的能源强度,取 $5.033 \text{ kW} \cdot \text{h}/m^3$; $EF_{CO_2,P}$ 为工业用水电力碳排放系数,取 $0.642 \text{ kg}/(\text{kW} \cdot \text{h})$; C_J 为核算年度居民生活用水碳排放量,kg/a; Q_J 为核算年度居民生活用水量, m^3/a ; W_J 为居民生活用水的能源强度,取 $17.931 \text{ kW} \cdot \text{h}/m^3$; $EF_{CO_2,J}$ 为居民生活用水电力碳排放系数,取 $0.604 \text{ kg}/(\text{kW} \cdot \text{h})$; C_G 为核算年度公共生活用水碳排放量,kg/a; Q_G 为核算年度公共生活用水量, m^3/a ; W_G 为公共生活用水的能源强度,取 $8.766 \text{ kW} \cdot \text{h}/m^3$; $EF_{CO_2,G}$ 为公共生活用水电力碳排放系数,取 $0.753 \text{ kg}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。

4 碳排放特征分析

4.1 取水系统碳排放

统计结果表明,2016年—2022年潍坊市取水系统碳排放量呈现增加—降低—增加的趋势。2018年以前蓄水工程碳排放量呈增加趋势,2018年达到最高排放量,为 1.16 万 t/a 。2017年潍坊市开始使用南水北调工程供水,不再进行地表水提水,且引黄工程调水量也不断减少。因此,2017年后潍坊市地表水提水工程不再有碳排放量,引黄调水工程的碳排放量也从2016年的 2.40 万 t/a 降至2022年的

0.49万t/a;南水北调工程供水呈现先减少后增加的趋势,2022年碳排放量达到0.51万t/a。此外,雨水和污水再生回用量逐年增加,其碳排放量也在逐年增大,雨水和污水再生回用的碳排放量从0.21万t/a增至1.37万t/a;由于引黄工程供水和南水北调工程的供水,加之污水再生水和雨水的利用,地下水供水量持续降低,地下水工程供水碳排放量从2016年的0.31万t/a降至2022年的0.25万t/a。

总体来看,取水系统碳排放中地下水工程供水碳排放量不断降低,雨污水回用量不断增加,但由于能源强度较大,碳排放量不断增长,而且占整个取水系统碳排放的比重也在不断增加,随着引黄和南水北调工程的供水,蓄水和地表水提水工程的供水量不断减少,其碳排放量也在减少。取水方式、取水组成、取水量均是影响取水系统碳排放的主要因素,不同取水方式的碳排放量(以单位水量计)依次为雨水利用>污水再生回用>引黄工程供水>蓄水工程供水>南水北调工程供水>地下水工程供水>地表水提水工程供水,从取水方式来看,在总取水量相同的情况下,不同取水方式的取水量组合其碳排放量不同。因此,在城市用水定额确定的情况下,优化不同方式的取水量组成可有效降低取水系统的碳排放量。

4.2 给水系统碳排放

随着潍坊市的发展,城市人口不断增多,用水量也不断增加,需要给水量也在不断增大。因此,给水系统碳排放量总体呈现增长的趋势,但在2020年其碳排放量略有降低。根据相关部门发布的水资源公报,2020年潍坊市雨水充沛,平均降雨量为845.0 mm,较2019年高50.8%,城市内需水量略有降低,相应的供水量降低,碳排放量较2019年略低。制水过程的碳排放量从2016年的5.65万t/a增至2022年的10.17万t/a,配水过程的碳排放量从2016年的3.33万t/a增至2022年的5.99万t/a。在不考虑漏损的情况下,潍坊市给水系统制水量约等于配水量,制水过程和配水过程的碳排放量取决于能源强度,结合制水过程和配水过程的特点,制水过程工艺复杂、构筑物多,其电能消耗量较大,制水过程的能源强度($0.543 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$)大于配水过程的能源强度($0.320 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$),制水过程的碳排放量大于配水过程的碳排放量,碳排放量贡献率分别为63%和37%。

4.3 用水系统碳排放

2016年—2022年潍坊市用水系统各环节碳排放量统计结果表明,用水系统碳排放总体呈增加趋势。居民生活用水环节碳排放量占主导地位,从2016年的51.80万t/a增至2022年的93.14万t/a,对用水系统碳排放的贡献率不断增大,从2016年的50%增至2022年的65%。工业用水碳排放量呈现先增加后减少的趋势,由于工业用水回用率较高,以及节约用水的普及,2019年后工业用水碳排放量呈现下降的趋势。2016年—2022年公共用水量变化较小,相应碳排放量波动较小,碳排放量保持相对稳定。

用水系统不同环节能源强度和用水量是决定碳排放的主要因素,居民生活用水、工业用水和公共生活用水的能源强度相差较大,居民生活用水($17.931 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$)>公共生活用水($8.766 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$)>工业用水($5.033 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$),居民生活用水能源强度是公共生活用水的2倍多,是工业用水能源强度的3.5倍。居民生活用水能源强度大与居民生活方式有关,如洗衣、做饭、洗澡、饮水等用水方式均需加热,而用水在加热时会消耗大量的电能,从而造成碳排放量不断增大,工业用水重复利用率较高,其能源强度较低。2016年—2022年居民生活用水量占用水总量的比例为45%~60%,工业用水量占用水总量的25%~40%,公共用水量占比较小,约为12%,可见居民生活用水量>工业用水量>公共生活用水量。受能源强度和用水量的影响,居民生活用水碳排放量>工业用水碳排放量>公共生活用水碳排放量。

4.4 年碳排放量变化趋势分析

2016年—2022年潍坊市水系统碳排放量呈增长趋势(见图2),尤其是2019年后增长率变大,这是因为2019年以来人口增长较快,生活用水量增加,居民生活碳排放能源强度较大,总体碳排放量增长较快。

随着国家碳达峰碳中和战略目标的实施,以及潍坊市社会和经济的发展,城市人口继续增加,但增速放缓,城市总用水量增速相应放缓,城市水系统碳排放总量呈现先增加后平稳的趋势。通过分析取水系统、给水系统及用水系统的碳排放特征与影响因素,可在各环节采取相应的碳减排措施:在取水环节,优化取水方式,减少能源消耗强度较高

的地下水开采量,尤其是深层地下水开采;在给水环节,优化制水工艺;在用水环节,倡导低碳用水模式,如减少水资源浪费、提高水资源重复利用率等。根据碳排放量统计计算结果,用水环节碳排放量较大,因此用水环节实施碳减排效果显著。

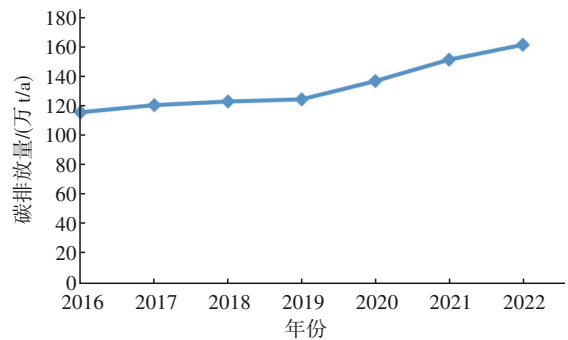


图2 2016年—2022年潍坊市水系统碳排放变化趋势

Fig.2 Change trend of carbon emissions of water system in Weifang from 2016 to 2022

4.5 水系统碳排放总体特征分析

通过统计2016年—2022年水系统各环节的平均碳排放量及占比情况,分析整个水系统各环节的碳排放特征,结果见表1。

表1 2016年—2022年潍坊市水系统各环节平均碳排放量及占比

Tab.1 Average carbon emissions and proportion of each link in the water system in Weifang from 2016 to 2022

排放系统	碳排放环节	2016年—2022年平均碳排放量/(万 t/a)	占比/%
取水系统	蓄水工程	0.45	0.34
	地表水提水工程	0.01	0.01
	引黄供水工程	0.88	0.66
	南水北调供水工程	0.49	0.37
	地下水供水工程	0.27	0.20
	污水再生回用工程	0.57	0.43
	雨水利用工程	0.09	0.07
	小计	2.76	2.08
给水系统	制水过程	6.96	5.21
	配水过程	4.10	3.07
	小计	11.06	8.28
用水系统	居民生活用水	67.80	50.84
	工业用水	34.46	25.84
	公共生活用水	17.29	12.96
	小计	119.55	89.64
	合计	133.37	100

由表1可以看出,城市水系统中子系统碳排放量由大到小依次为用水系统、给水系统、取水系统,占比分别为89.64%、8.28%、2.08%。城市水系统各个环节碳排放量前5的分别为居民生活用水、工业用水、公共生活用水、制水过程、配水过程,碳排放量依次为67.80万、34.46万、17.29万、6.96万、4.10万 t/a,在碳排放量最高的用水系统中,居民生活用水碳排放量占比最大,为50.84%,其次为工业用水碳排放量,占比为25.84%。从占比情况可以看出,用水系统碳排放量明显高于给水系统和取水系统,是碳排放的主要贡献环节,因此应将用水系统作为碳减排的重点管控对象。

5 碳减排对策和建议

① 优化节水节能过程,推动水系统低碳运行
节约优先,节水要贯穿整个水系统的各个环节,从而减少用水量,达到减少水系统碳排放量的目的。自2007年潍坊市获评“国家节水型城市”以来,其在节水方面做了很多工作,先后出台一系列政策文件,不断要求加强节水,并连续多年举办“节水宣传周”活动,由节水主管部门牵头、供排水企业协同配合,扎实开展节水宣传与推广工作。

优化取水系统、给水系统、用水系统节能过程。因地制宜优化取水结构和比例,综合对比潍坊市本地水和客水取水的能耗关系,合理确定取水比例,减少取水过程的碳排放量,潍坊市水利部门应牵头制定取水比例和计划;优化给水系统制水过程的水处理工艺、减少厂区内部自用水量,由供水企业负责实施,采取优化原水输送、水处理以及配送过程中的输送、调度等方式,选择低碳的水处理工艺,合理利用压力水和低峰电、分时段设置出水压力、保持清水池的较高水位、采用节能设备等措施,可在一定程度上减少自来水处理的能源消耗,优化居民用户和工业用户节水,强化水量、梯度计价等措施降低用水量和能源消耗^[11-12];用水系统中生活用水环节碳排放量较大,开展生活用水碳减排尤为重要,应倡导全民树立节水意识,推广一水多用。同时推广应用节水节能器具,包括节水龙头、节水便器、节水淋浴喷头等。在节能方面,提倡使用节能灶具与清洁能源,进一步降低能源消耗与碳排放量。

② 开展城市水系统低碳设计

加强城市水系统规划和设计基础性研究工作,由水务部门牵头,结合现有水源和水厂布局,采用大型集中式供水和分散式供水相结合的方式,合理规划潍坊市水源和各水厂以及用户之间的关系。潍坊市水源主要在城市南部,规划在北部建设水库从引黄济青干渠蓄水,可减少水源输送距离约40 km,降低水源长距离输送的能耗,从而减小长距离运输过程中的能耗碳排放量。

③ 健全节水体制机制,引导水系统节能减排

建立精准评价节水效果的标准和保障体系,最大化地实现评价标准对水处理工艺技术、用水设备、节水管理、评价考核等涉水过程的覆盖。同时,从政策导向、法规约束和经济等方面完善节水激励机制体系,促进用水过程的能源节约和碳减排,多方位完善公共参与体制机制。节水体制机制由市政府牵头制定和负责实施,从体制、机制等管理方面减少用水量,从而减少碳排放量。

④ 优化管网布局和管网改造,降低漏损率

鉴于碳排放量主要集中在用水系统,供水主管部门牵头,供水企业配合,全面排查给水管网、摸清底数、优化管网布局,实施老旧管网改造和供水管网独立计量区域(DMA)分区计量管理,降低管网漏损率^[13],优化给水管网平均压力值,减少自来水配水过程的能耗,从而降低用水系统碳排放量。

6 结论

本文以潍坊市水系统为研究对象,核算其不同环节的碳排放量,分析不同环节碳排放的变化趋势和排放特征,并对碳减排提出措施和建议。主要结论如下:

① 城市水系统碳排放量总体呈现增加趋势,碳排放量由大到小依次为用水系统、给水系统、取水系统,用水系统碳排放量占整个水系统碳排放量的89.64%。

② 在给水系统中,制水过程碳排放量大于配水过程碳排放量,制水过程碳排放量约占整个给水系统碳排放量的63%。

③ 在用水系统中,居民生活用水、工业用水和公共生活用水的碳排放强度相差较大,居民生活用水>公共生活用水>工业用水,受能源强度和用水量的影响,碳排放量大小依次为居民生活用水、工业用水、公共用水。

④ 从节水节能过程、节水体制、水系统低碳设计、管网布局和改造、降低漏损率等方面,采取措施以降低水系统碳排放量。

参考文献:

- [1] 余娇,赵荣钦,肖连刚,等.基于“水-能-碳”关联的城市污水处理系统碳排放研究[J].资源科学,2020,42(6):1052-1062.
YU J, ZHAO R Q, XIAO L G, et al. Carbon emissions of urban wastewater treatment system based on the “water-energy-carbon” nexus [J]. Resources Science, 2020, 42(6): 1052-1062(in Chinese).
- [2] 赵伟华,王艳艳,白萌,等.农村污水处理过程的碳排放核算与碳减排研究综述[J].市政技术,2023,41(10):1-6.
ZHAO W H, WANG Y Y, BAI M, et al. Review of carbon emission accounting and reduction in rural sewage treatment process [J]. Journal of Municipal Technology, 2023, 41(10): 1-6(in Chinese).
- [3] 郭恰,陈广,马艳.城市水系统关键环节碳排放影响因素分析及减排对策建议[J].净水技术,2021,40(10):113-117.
GUO Q, CHEN G, MA Y. Analysis on influencing factors of carbon emission in key processes of urban water system and suggestions for emission reduction [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(10): 113-117 (in Chinese).
- [4] 李璐,陈远生,何希吾,等.城市水系统水-能关系研究进展[J].中国水利,2012(6):22-25.
LI L, CHEN Y S, HE X W, et al. Studies on water-energy relationship in urban water system [J]. China Water Resources, 2012(6): 22-25(in Chinese).
- [5] 张怀宇.我国公共供水系统温室气体排放与碳减排探讨[J].给水排水,2023,49(11):16-24.
ZHANG H Y. Discussion on greenhouse gas emission and carbon reduction of China's public water supply systems [J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 49(11): 16-24(in Chinese).
- [6] 赵荣钦,余娇,肖连刚,等.基于“水-能-碳”关联的城市水系统碳排放研究[J].地理学报,2021,76(12): 3119-3134.
ZHAO R Q, YU J, XIAO L G, et al. Carbon emissions of urban water system based on water-energy-carbon nexus [J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(12): 3119-3134(in Chinese).

- [7] 朱永霞. 社会水循环全过程能耗评价方法研究[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2017.
ZHU Y X. Research on Evaluation Method of Energy Consumption in the Whole Process of Social Water Cycle [D]. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2017(in Chinese).
- [8] 郝士博. 城市给排水系统能耗调查及评估[D]. 南京: 东南大学, 2017.
HAO S B. The Survey and Study of Urban Water Supply and Drainage System Energy Consumption[D]. Nanjing: Southeast University, 2017(in Chinese).
- [9] 郑轶丽, 马军, 魏婷, 等. 城市水务系统碳排放测算及减碳对策分析: 以成都市为例[J]. 环境工程学报, 2023, 17(6): 1778-1787.
ZHENG Y L, MA J, WEI T, et al. Carbon emission measurement and carbon reduction strategy analysis of urban water system: a case study of Chengdu water system [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2023, 17(6): 1778-1787(in Chinese).
- [10] 余娇. 基于“水-能-碳”关联的郑州市水系统碳排放研究[D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2020.
YU Jiao. Study on Carbon Emissions of Water System in Zhengzhou Based on “Water-Energy-Carbon” Nexus [D]. Zhengzhou: North China University of Water Resources and Electric Power, 2020(in Chinese).
- [11] 翁晓姚. 碳达峰与碳中和目标下供水企业绿色低碳发展的思考[J]. 净水技术, 2022, 41(5): 1-4, 13.
WENG X Y. Consideration for green and low-carbon development of water supply enterprises under the goals of carbon peaking and carbon neutrality [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(5): 1-4, 13 (in Chinese).
- [12] 笪跃武, 于少亭, 胡淑圆. 城市自来水厂绿色发展路径探索与思考[J]. 净水技术, 2022, 41(11): 1-6, 54.
DA Y W, YU S T, HU S Y. Exploration and consideration on green development path of urban WTPs [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(11): 1-6, 54(in Chinese).
- [13] 刘晴靓, 王如菲, 马军. 碳中和愿景下城市供水面临的挑战、安全保障对策与技术研究进展[J]. 给水排水, 2022, 48(1): 1-12.
LIU Q L, WANG R F, MA J. Challenges of urban water supply and discussion on the strategic solution with related technology developments of urban water quality under the vision of carbon neutrality [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(1): 1-12 (in Chinese).

作者简介: 邱妍妍(1981—), 女, 山东莱州人, 硕士, 高级工程师, 主要从事给排水规划及河道设计工作。

E-mail: qyyghy@126.com

收稿日期: 2024-04-01

修回日期: 2024-12-31

(编辑: 丁彩娟)

贯彻绿色发展理念, 推进美丽中国建设