

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.14.003

城镇给水系统运行碳核算与碳减排策略研究

程志强, 方火明, 董晓磊, 陈志伟, 彭秀华
(苏州吴中供水有限公司, 江苏 苏州 215100)

摘要: 城镇供水行业作为民生工程 and “能耗大户”, 未来将成为国家“双碳”规划中碳减排的重要行业之一。以苏州某供水公司为研究对象, 构建了城镇给水系统运行碳排放核算方法, 并分析了系统运行碳排放主要来源。结果显示, 2022年该公司全年给水系统运行碳排放强度为 $0.196 \text{ kgCO}_2\text{-eq/m}^3$, 其中最大的碳排放源为电耗, 占比高达 86.08%; 其次为药耗, 占比 13.58%。针对碳核算结果, 从节能降耗、节水、优化能源管理等方面, 提出了城镇给水系统运行的碳减排策略, 助力供水行业“双碳”目标的实现。

关键词: 给水系统; 供水企业; 碳排放; 碳核算; 碳减排策略

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)14-0013-06

Carbon Emission Accounting and Carbon Emission Reduction Strategies of Urban Water Supply System Operation

CHENG Zhi-qiang, FANG Huo-ming, DONG Xiao-lei, CHEN Zhi-wei, PENG Xiu-hua
(Suzhou Wuzhong Water Supply Co. Ltd., Suzhou 215100, China)

Abstract: As a critical industry for livelihood projects and a significant energy consumer, the urban water supply sector will play a key role in carbon reduction in the national “dual carbon” plan in the future. Focusing on a water supply enterprise in Suzhou as the research subject, a carbon emission accounting method for urban water supply system operation had been constructed, and the primary sources of carbon emissions were analyzed. The result showed that the carbon emission intensity of the water supply system was $0.196 \text{ kgCO}_2\text{-eq/m}^3$ in 2022, with the most significant carbon emission source being electric energy consumption, accounting for 86.08%, followed by chemical consumption at 13.58%. Based on the carbon accounting results, carbon emission reduction strategies for urban water supply system operation had been proposed from several aspects, including energy conservation, water saving, energy management optimization, all aimed at achieving the “dual carbon” goals for the water supply industry.

Key words: water supply system; water supply enterprise; carbon emissions; carbon accounting; carbon emission reduction strategies

城镇水务系统是城镇居民生活的基本保障, 是维持城镇正常运转的生命线。同时, 城镇供水作为“能耗大户”, 未来将成为国家“双碳”规划中碳减排的重要行业之一。为此, 以苏州某典型供水公司为对象, 开展了城镇给水系统运行全过程碳排放测

算, 并根据数据结果定位城镇水务系统的碳排放节点, 探寻给水系统碳减排路径及绿色低碳发展思路。

1 城镇给水系统碳核算方法

1.1 确定核算边界

合理确定给水系统的碳核算边界, 避免出现漏

算和重复计算^[1],保证碳排放核算边界的准确性至关重要。城镇给水系统碳排放核算边界覆盖取水水源至用户的全部设施单元^[2],具体如图1所示。核算边界的确定与各水务系统所选择的工艺流程密切相关,本研究的碳排放核算边界包含取水泵站、水处理及送水泵站所有因供水活动产生的全部碳排放,不包括小区或厂区二次加压供水部分的碳排放。时间边界以运行维护阶段为核算对象,不包括给水系统相关设施以及构筑物的建造、重置和拆除过程。

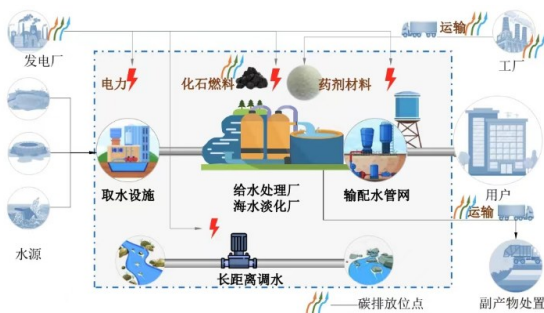


图1 给水系统碳排放核算边界示意图

Fig.1 Carbon emission accounting boundary of water supply system

1.2 确定核算方法

碳排放核算结果以温室气体CO₂当量为单位,以碳排放强度为衡量单位研究给水系统运行期间的碳排放情况,有助于进行核算结果的横纵向比较。按照可获取的碳排放活动相关数据的具体情形,碳排放核算方法主要有三种^[2],具体计算方式如图2所示。

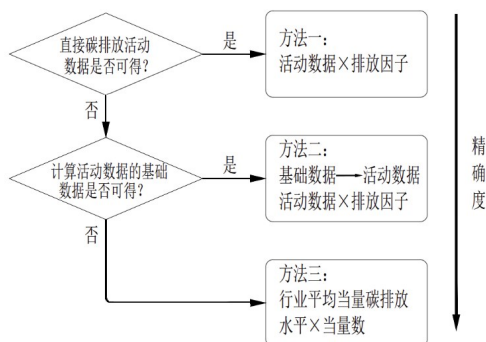


图2 碳排放核算方法及其核算精确度层次

Fig.2 Carbon emission accounting methods and accounting accuracy levels

以苏州某典型供水公司为研究对象,该公司智慧水务系统建设较完备,碳排放相关的基础数据完

善,故选用方法一作为碳排放核算方法,其亦是三种核算方法中精确度最高的方法。

1.2.1 碳排放强度计算公式

供水主要碳排放活动分为三部分:①电力消耗引起的碳排放,即取水、送水泵站及水处理设备运行等使用的电力能源造成的间接碳排放;②药剂、材料消耗引起的碳排放,即给水处理使用的药剂及药剂运输等造成的间接碳排放;③给水污泥处理处置引起的碳排放,研究案例选用的水源水质较好,污泥成分主要为无机质,计算过程中不考虑污泥填埋时有机质厌氧造成的碳排放,只需计算污泥处置外运造成的碳排放。

① 电耗碳排放强度

水系统运行维护消耗购入电力产生的碳排放强度(CES_d)核算公式^[2]如下:

$$CES_d = (E_d \cdot EF_d) / Q \quad (1)$$

式中: E_d 为评价年内水系统运行维护总耗电量, kW·h/a; EF_d 为该地区电力排放因子, kgCO₂-eq/(kW·h); Q 为评价年内总处理水量(以达标水质水量计), m³/a。

② 药剂消耗碳排放强度

水系统运行中所消耗的药剂等产生的间接碳排放强度(CES_{cl})核算公式如下:

$$CES_{cl} = \sum_{i=1}^n (M_{cl,i} \cdot EF_{cl,i}) / Q \quad (2)$$

式中: $M_{cl,i}$ 为评价年内第*i*种药剂总消耗量, kg/a; $EF_{cl,i}$ 为第*i*种药剂的排放因子, kgCO₂-eq/kg; n 为总计使用药剂种类。

③ 运输过程碳排放强度

因药剂、污泥等材料运输而产生的碳排放强度(CES_{ys})计算公式^[2]如下:

$$CES_{ys} = \sum_{m=1}^k \sum_{j=1}^l (M_{ys,m,j} \cdot L_{ys,m,j} \cdot EF_{ys,j}) / Q \quad (3)$$

式中: $M_{ys,m,j}$ 为评价年内第*m*次运输中使用第*j*种方式运输的材料总量, t/a; $L_{ys,m,j}$ 为评价年内第*m*次运输中使用第*j*种方式运输的距离, km; $EF_{ys,j}$ 为第*j*种运输方式排放因子, kgCO₂-eq/(t·km); k 为评价年内运输次数; l 为第*m*次运输中,总计采用了*l*种运输方式。

1.2.2 碳排放因子数据的选取

根据碳排放量核算方法一,碳排放量等于活动数据乘以排放因子。城镇给水系统碳排放活动数

据可根据水务公司日常运行的购售结算凭证、生产统计报表、财务数据等进行精确获取。因此,选择合理的碳排放因子数据在一定程度上决定了整个系统碳排放核算的精度。

城镇给水系统运行碳排放所需排放因子主要为间接排放因子,其值依赖于社会能源结构、工业水平等的优化和进步,不受城镇给水系统工艺形式、运行水平等的控制,主要由相关主管部门计算更新,又称为通用排放因子^[2]。不同能源、药剂、材料等的碳排放因子受产地、技术、管理等因素的影响,不同区域、企业甚至不同时间生产的能源、药剂、材料的排放因子均有所差异。为了方便计算以及不同企业之间碳排放数据的横纵向比较,计算时一般采用权威机构公布的碳排放因子数据。研究案例中碳排放因子采用2022年发布的《城镇水务系统碳排放核算与减排路径技术指南》附录B排放因子中的对应数据。

2 碳核算

2.1 碳排放数据获取与收集

以苏州某供水公司为例,核算城镇给水系统运行过程中的碳排放量。

该供水公司成立于1994年,目前采用太湖水源,两厂两泵站(A水厂规模 $15\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,B水厂规模 $40\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$;C增压站规模 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,D增压站规模 $3\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$),东西狭长格局,服务面积 300 km^2 ,服务人口100万人。公司下属两座水厂均针对太湖原水的水质特点进行了深度处理改造,采用常规处理+臭氧/生物活性炭深度处理工艺(B水厂于2016年完成改造,A水厂于2019年完成改造),具体的水厂处理工艺流程如图3所示。

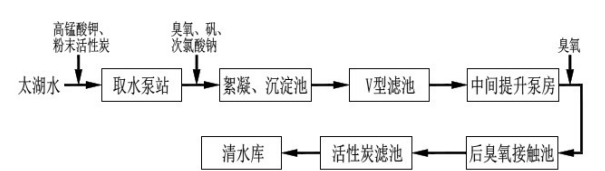


图3 水厂工艺流程

Fig.3 Flow chart of waterworks

2022年,该供水公司累计制水量达到 $11\,805.41\times 10^4\text{ m}^3$,核算边界内与供水系统运行相关的碳排放数据如表1所示。由于D增压站未启用,故未计算其碳排放数据。

表1 供水公司2022年碳排放活动

Tab.1 Carbon emission activities of the water supply enterprise in 2022

项目	指标	数值
A水厂取水 站离心泵房	取水量/ m^3	29 163 557
	全年耗电量/ $(\text{kW}\cdot\text{h})$	1 412 888
B水厂取水 站斜流泵房	取水量/ m^3	88 890 458
	全年耗电量/ $(\text{kW}\cdot\text{h})$	3 833 684
A水厂	全年耗电量/ $(\text{kW}\cdot\text{h})$	生产:1 413 456; 办公:125 652
	药剂消耗	硫酸铝:1 111 872 kg,采用30 t槽罐车运输,距离约94 km
		次氯酸钠:472 243 kg,采用15 t槽罐车运输,距离约85 km
		液氧:326 369 kg,采用18 t大型槽罐车运输,距离约89 km
	污泥处理处置	污泥量:1 357.07 t,填埋,采用卡车外运,距离约18 km
B水厂	全年耗电量/ $(\text{kW}\cdot\text{h})$	生产:3 953 361; 办公:310 231
	药剂消耗	硫酸铝:3 258 830 kg,采用30 t的槽罐车运输,距离约105 km
		次氯酸钠:1 614 010 kg,采用30 t的槽罐车运输,距离约105 km
		液氧:555 612 kg,采用18 t大型槽罐车运输,距离约104 km
	污泥处理处置	污泥量:6 215.22 t,填埋,采用卡车外运,距离约10 km
A水厂二泵房	输水量/ m^3	28 950 055
	耗电量/ $(\text{kW}\cdot\text{h})$	3 143 321
B水厂二泵房	输水量/ m^3	88 368 835
	耗电量/ $(\text{kW}\cdot\text{h})$	10 356 380
C增压泵站	转输水量/ m^3	17 174 946
	耗电量/ $(\text{kW}\cdot\text{h})$	498 150
	药剂消耗	次氯酸钠:83 314 kg,采用15 t槽罐车运输,距离约80 km

注: A、B水厂全年耗电量均不包含取水泵站和二泵房。

2.2 碳排放核算结果

根据苏州某供水公司提供的碳排放活动数据,按《城镇水务系统碳排放核算与减排路径技术指南》附录B排放因子中的数据,对应选择相应的碳排放活动因子,A、B水厂及C增压站碳排放活动核算结果如表2~4所示,各子项碳排放强度如图4所示。

表2 A水厂2022年碳排放核算

Tab.2 Carbon emission accounting of waterworks

A in 2022

排放项目	评价年内运行总耗量	排放因子	评价年碳排放量/ tCO ₂ -eq	
电力	取水 泵站	1 412 888 kW·h	0.792 1 kgCO ₂ -eq/ (kW·h)	1 119.15
	给水 处理	1 413 456 kW·h	0.792 1 kgCO ₂ -eq/ (kW·h)	1 119.60
	厂区 办公	125 652 kW·h	0.792 1 kgCO ₂ -eq/ (kW·h)	99.53
	送水 泵站	3 143 321 kW·h	0.792 1 kgCO ₂ -eq/ (kW·h)	2 489.82
药剂	硫酸 铝	用量:1 111 872 kg	0.16 kgCO ₂ -eq/kg	177.90
		运输距离:94 km	0.078 kgCO ₂ -eq/(t·km)	8.15
	次氯 酸钠	用量:472 243 kg	0.99 kgCO ₂ -eq/kg	467.52
		运输距离:85 km	0.162 kgCO ₂ -eq/(t·km)	6.50
	氧气	用量:326 369 kg	0.32 kgCO ₂ -eq/kg	104.44
		运输距离:89 km	0.129 kgCO ₂ -eq/(t·km)	3.75
污泥	污泥量:1 357 t			
	沉泥运输距离:18 km	0.129 kgCO ₂ -eq/(t·km)	3.15	

表3 B水厂2022年碳排放核算

Tab.3 Carbon emission accounting of waterworks

B in 2022

排放项目	评价年内运行总耗量	排放因子	年排放量/ tCO ₂ -eq	
电力	取水 泵站	3 833 684 kW·h	0.792 1 kgCO ₂ -eq/(kW·h)	3 036.66
	给水 处理	3 953 361 kW·h	0.792 1 kgCO ₂ -eq/(kW·h)	3 131.46
	厂区 办公	310 231 kW·h	0.792 1 kgCO ₂ -eq/(kW·h)	245.73
	送水 泵站	10 356 380 kW·h	0.792 1 kgCO ₂ -eq/(kW·h)	8 203.29
药剂	硫酸 铝	用量:3 258 830 kg	0.16 kgCO ₂ -eq/kg	521.41
		运输距离:105 km	0.078 kgCO ₂ -eq/(t·km)	26.69
	次氯 酸钠	用量:1 614 010 kg	0.99 kgCO ₂ -eq/kg	1 597.87
		运输距离:105 km	0.162 kgCO ₂ -eq/(t·km)	13.22
	氧气	用量:555 612 kg	0.32 kgCO ₂ -eq/kg	177.80
		运输距离:104 km	0.129 kgCO ₂ -eq/(t·km)	7.45
污泥	污泥量:6 215 t			
	运输距离:10 km	0.129 kgCO ₂ -eq/(t·km)		8.02

表 4 C 增压泵站 2022 年碳排放核算

Tab.4 Carbon emission accounting of booster pump station C

排放项目	评价年内运行总耗量	排放因子	年排放量/ tCO ₂ -eq
电力	498 150 kW·h	0.792 1 kgCO ₂ -eq/(kW·h)	394.58
药剂	次氯酸钠用量 83 314 kg	0.99 kgCO ₂ -eq/kg	82.48
	运输距离 80 km	0.162 kgCO ₂ -eq/(t·km)	1.08

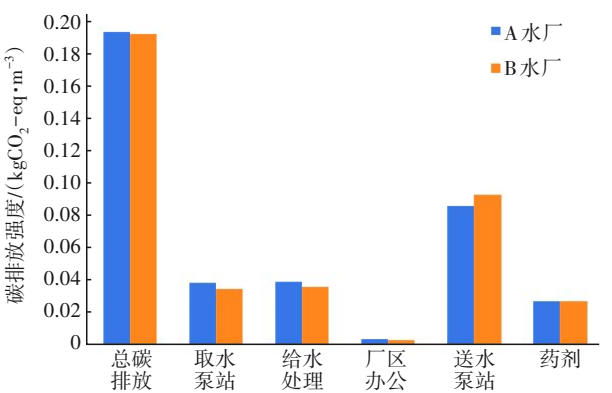


图 4 A、B 水厂各子项碳排放强度对比

Fig.4 Comparison of carbon emission intensity for each subitem of waterworks A and B

由图 4 可以看出,A 水厂碳排放强度为 0.193 4 kgCO₂-eq/m³,B 水厂碳排放强度为 0.192 0 kgCO₂-eq/m³,两座水厂的总碳排放强度基本一致。由文献^[1]可知,上海某典型臭氧活性炭深度处理工艺水厂年运行碳排放强度为 0.146 3 kgCO₂-eq/m³(不含取水工程),与被研究水厂碳排放强度相当。由于案例水厂供水区域为东西狭长格局,导致二泵房出水压力较常规水厂压力需求更高,输配水工程单位供水能耗偏高,故送水碳排放强度相对较高。2022 年 A、B 水厂生产消耗比能分别为 210.5 kW·h/10³ m³和 208.8 kW·h/10³ m³,与江苏省 84 家深度处理水厂(比能围绕 270 kW·h/10³ m³波动)相比^[3-5],处于行业领先水平。这说明被研究供水公司在日常生产运行中有严格的管控程序,具有较高的生产运行管理水平。

案例供水公司 2022 年碳排放核算结果见表 5,各子项碳排放强度比例见图 5。

表5 供水公司 2022 年碳排放核算结果

Tab.5 Carbon emission accounting results of water treatment supply enterprise in 2022

排放项目		年碳排放量/ tCO ₂ -eq	碳排放强度/ (kgCO ₂ -eq·m ⁻³)
电力	取水泵站	4 155.81	0.035
	给水处理	4 251.06	0.036
	厂区办公	345.26	0.003
	送水泵站	11 087.70	0.094
材料	药剂	3 129.42	0.027
	运输	66.84	0.001
污泥	运输	11.17	9.46×10 ⁻⁵
合计		23 047.26	0.196

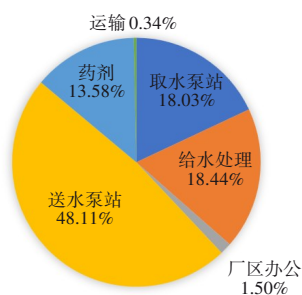


图5 各子项碳排放强度比例

Fig.5 Carbon emission intensity ratio of each subitem

由表5及图5可知,给水系统运行维护所排放的温室气体主要来源于电耗,占比达到86.08%,其次为生产过程中的各种药剂消耗,占比13.58%,另外运输等也会产生一定量的碳排放,但整体占比很小。

3 碳减排策略

3.1 节能降耗

供水企业碳排放绝大部分来源于电耗,水泵、电机、风机等设备是水厂主要电力消耗源,其中仅取水泵站和送水泵站两项碳排放占比就超过整个供水公司碳排放的66%。优化水泵和电机运行状态,在满足供水压力、流量要求下,提高其运行效率,是供水企业节省电耗的关键。

对取水泵站和送水泵站进行智能化改造升级。将定速泵改造为变频泵,水泵电机改为高效的变频节能电机,泵站调节方式由节流阀调节转变为压力反馈变频调节,根据用水量实时控制水泵转速。在人工经验基础上利用深度学习对泵站系统运行策略进行优化,结合算法构建数学模型,通过自动寻优,寻求最佳泵组效率运行组合。在模型构建过程中,应充分考虑清水池液位、管网系统需求变化、泵站内的水泵特性曲线等相关条件的限制和影响。在保障水务系统运行可靠性的同时,实现取水泵站、清水池、供水泵站一体化运行调度,提升泵组的长期运行效率,实现泵站运行的经济性与持久性,减少电力碳排放量。

优化水厂工艺和设施运行工艺参数,实现水厂运行的节能节约。对水厂智能加矾、沉淀池自动排泥、滤池自动反冲洗、智能消毒、智能泵送等工艺进行局部改造和运行优化,提高水厂智能控制的程控水平、稳定性、控制精度,打造现代化智慧水厂,使其能够根据原水水质、流量等源头数据信息,自动调节水厂生产过程中的加药量、排泥周期、反冲洗

周期和强度等,切实降低水厂生产过程中的能耗和药耗。

3.2 节水

供水企业应从思想上重视节水工作的重要性,加强公司精细化管理水平,做好水厂生产自用水耗和供水管网漏损控制两方面的工作,从源头开始减少城镇给水系统的碳排放量。

供水企业生产自用水耗主要为:沉淀池排泥水以及砂滤池、臭氧/生物活性炭滤池反冲洗排水。通过对水厂工艺和运行控制参数的智能化升级改造,优化沉淀池的自动排泥周期,提高排泥效率,减少排泥水耗;智能化控制滤池的反冲洗周期,优化反冲洗工艺的冲洗时间和冲洗强度,在满足滤池反冲洗效果的同时有效减少冲洗水耗。对生产废水进行处理回用,不仅可以节约水资源,提高水厂的运营能力,还可减少废水的排放量^[1]。

做好供水管网的漏损控制工作,对供水企业来说,既可以响应国家的政策文件要求,有效减少供水企业的产销差,在提高企业经济效益的同时,还能从制水源头开始减少供水企业的碳排放量。供水管道漏损控制措施主要有:①充分发挥技术作用。设计供水管道时,应因地制宜地确定管材、管径、管网拓扑结构、接口方式及基础做法等;合理利用管网独立计量分区(DMA),通过管网上下游流量差、区域内夜间最小流量值等第一时间识别漏损区域,减少管道漏损持续时间;合理设置供水管网监测点,以海量数据和算法为基础,搭建精准预测模型助力智慧运营,优化管网压力、流量调度^[6-7],降低管网背景漏失水量和爆管风险,做好爆管预警工作;加强供水公司检漏队伍建设,做好软硬件结合的主动检漏方案,提高漏损检测效率,及时发现漏点。②加强管理。建立完善的供水管网漏损控制体制,将漏损控制相关职责落实到具体的部门和责任人;完善各类用水统计,严防各类违规用水、偷水现象;提高用水计量精度,对异常表具及时更换维修,尤其是大用户表,设置异常数据报警;加强现场管道施工质量监督管理;加快老旧供水管网改造,加强日常管网巡视,及时发现管网异常。

3.3 优化能源管理

3.3.1 探索绿色低碳新能源

减少化石燃料的消耗,加强厂区绿色低碳新能源建设,对城镇给水系统运行碳减排和国家“双碳”

战略目标的实现具有重要意义。太阳能光伏发电具有清洁、高效、安全、可再生等优势^[5],结合水厂各处理水池、清水池等占地面积大的特点,通过在池体上方和水处理构筑物屋顶架设太阳能光伏板,利用太阳能光伏发电和并网运行,提高水厂绿色低碳能源利用比例,优化企业能源结构,助力水务行业碳减排。目前,上海、北京和江西等地已有水厂在清水池、沉淀池的上方及屋顶建设了分布式光伏电站,实现了全容量并网发电^[4]。

3.3.2 构建科学的能源管理体系

供水企业应制定合理的能耗目标值,并科学构建标准化的能源管理体系,完善能源管理架构。此外,应充分利用智慧水务的优势,对供水企业能源系统相关的取水、水处理、输配水等环节进行数字化管理,实时监测系统运行的主要能耗指标和运行参数,定期进行能耗指标统计、比对、分析,提出运行控制优化策略。通过例行的能耗监测、审计、评审、考核等措施,将能耗管理相关流程规范化、制度化,从而构建出一套科学的能源管理体系,为供水企业实现可持续的能效最优化保驾护航。

4 结论

未来,随着国家“双碳”战略的不断推进,城镇供水作为耗能大户,必将成为减碳的重点行业。供水企业应早做规划,在摸清公司碳足迹和碳排放核算的基础上,从主要碳排放源着手,通过水厂工艺升级改造、生产运行智慧化、管理精细化等措施,并结合大数据分析手段,制定出适合企业的碳减排实施路径,助力供水行业“双碳”目标的实现。

参考文献:

- [1] 李成,马顺君,贺鑫,等. 典型给水厂运行碳排放核算与碳减排路径[J]. 给水排水, 2023, 49(7): 1-7.
LI Cheng, MA Shunjun, HE Xin, *et al.* Carbon emission calculation and carbon emission reduction path of typical waterworks operation [J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 49(7): 1-7 (in Chinese).
- [2] 中国城镇供水排水协会. 城镇水务系统碳核算与减排路径技术指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2022.
China Urban Water Association. Guidelines for Carbon Accounting and Emission Reduction in the Urban Water Sector [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2022 (in Chinese).
- [3] 刘晓明, 严俊泉, 黄棚兰. 太阳能发电在水处理行业中的创新应用[J]. 中国给水排水, 2015, 31(18): 90-94.
LIU Xiaoming, YAN Junquan, HUANG Penglan. Innovative application of solar power generation in water treatment industry [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(18): 90-94 (in Chinese).
- [4] 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 Xiaoyao. 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).
- [5] 郭杨, 张雪, 蒋福春, 等. 基于碳达峰碳中和目标下供水节能降耗技术研究及管理探讨[J]. 给水排水, 2020, 46(7): 11-15.
GUO Yang, ZHANG Xue, JIANG Fuchun, *et al.* Research on energy conservation technology and management in water supply industry based on carbon peaking and carbon neutralization target [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(7): 11-15 (in Chinese).
- [6] 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 Yuewu, YU Shaoting, HU Shuyuan. Exploration and consideration on green development path of urban WTPs [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(11): 1-6, 54 (in Chinese).
- [7] 姚俊良, 薛海涛, 刘庆. 数据驱动的城镇智慧水务日用水量预测算法[J]. 北京邮电大学学报, 2021, 44(4): 82-88.
YAO Junliang, XUE Haitao, LIU Qing. Daily water volume prediction algorithm of urban smart water based on big data [J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2021, 44(4): 82-88 (in Chinese).

作者简介:程志强(1974—),男,江苏苏州人,学士,高级工程师,研究方向为城镇供水保障。

E-mail: pengxh@wuzhongwater.com

收稿日期: 2023-11-27

修回日期: 2023-12-22

(编辑: 丁彩娟)