

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2026.04.005

城市更新背景下老旧污水处理设施低碳化改造技术策略

刘 阳^{1,2}, 施 周¹, 陈积义^{1,2}, 文宇鸿², 吴未红², 潘兆宇²,
王 湘², 吴阳春²

(1. 湖南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410082; 2. 湖南省建筑设计院集团股份有限
公司, 湖南 长沙 410012)

摘 要: 对长沙市既有污水处理厂的碳排放情况开展评估分析,结果表明2021年度碳排放总量达36.56万tCO₂-eq,间接排放量占比达到68.00%,其碳排放水平受处理工艺、排放标准、水处理电耗、污染物削减量等因素影响。基于此,从厂网一体化角度系统总结了减碳、替碳、碳汇三方面的综合降碳技术策略,并通过案例污水处理厂开展城市更新背景下既有老旧污水处理厂提标改造协同优化减碳的策略应用研究。通过量化分析,案例污水处理厂通过工艺仿真优化调整参数、植物固碳方案设计、尾水回用等典型控碳替碳措施,实现了12.21%的降碳优化,降碳后其碳排放水平低于国内同种工艺的平均值。

关键词: 城市更新; 低碳化; 技术策略; 碳排放水平

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2026)04-0034-08

Low Carbon Transformation Technology Strategies for Aging Wastewater Treatment Facilities under the Background of Urban Renewal

LIU Yang^{1,2}, SHI Zhou¹, CHEN Jiyi^{1,2}, WEN Yuhong², WU Weihong²,
PAN Zhaoyu², WANG Xiang², WU Yangchun²

(1. College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China; 2. Hunan
Architectural Design Institute Group Co. Ltd., Changsha 410012, China)

Abstract: This article conducts an assessment and analysis of the carbon emissions of existing wastewater treatment plants in Changsha. The total carbon emissions in 2021 amounted to 365 600 tCO₂-eq, with indirect emissions accounting for 68.00%. The carbon emission level is influenced by factors such as treatment processes, discharge standards, electricity consumption per ton of water, and pollutant reduction. Based on this, the article systematically summarizes the technical strategies for carbon reduction, carbon substitution, and carbon sinks from the perspective of wastewater treatment plant-drainage pipe network integration. A case study is also presented, focusing on the application of collaborative optimization carbon reduction strategies for the upgrading old wastewater treatment plants in the context of urban renewal. Through quantitative analysis, the case-study plant achieved a 12.21% optimization in carbon reduction by implementing typical carbon control and substitution measures. These measures included process simulation and parameter optimization, plant-based carbon sequestration scheme design, and tailwater reuse. After carbon reduction, its carbon emission level was lower than the

通信作者: 施周 E-mail: zhous61@163.com; 吴未红 E-mail: Weihong_wu1979@163.com

average value reported of the same process in China.

Keywords: urban renewal; low carbonization; technical strategy; carbon emission level

随着新型城镇化建设的推进,城市发展模式已由扩张型发展转变为紧凑型和集中型发展,城市内部的更新成为应对能源短缺以及气候变化挑战的重要对象。研究表明,存量的更新具有极大的碳减排潜力,改造可让存量建筑过渡到更低甚至接近零的运营碳排放^[1]。基础设施的体系化、智慧化、绿色化建设和稳定运行,可以有效减少能源消耗和碳排放^[2]。市政基础设施作为城市能源与物质交换的主要载体,是维持城市运行的生命线,在城市更新进程中也将面临低碳化转型问题。在碳达峰碳中和城市建设背景下,作为世界十大温室气体排放之一的污水处理行业亟待改变其高能耗、高物耗、高碳排放运行的现实工况。随着有关部委《减污降碳协同增效实施方案》(环综合〔2022〕42号)、《关于推进污水处理减污降碳协同增效的实施意见》(发改环资〔2023〕1714号)等行业减碳政策的陆续出台,在城市更新推进背景下污水处理行业面临减污降碳增效的转型需求,因此有必要开展地方污水处理行业碳排放特征分析研究,识别关键影响因素,综合梳理行业减排相关技术策略,形成低碳化建设的系统策略。

1 长沙市污水处理厂低碳技术策略研究

1.1 污水处理碳排放特征解析

从碳排放总量来看,按照发达国家的统计,污水处理行业碳排放量占全社会总排放量的1%~2%,位居前十大碳排放行业,但属于能量密集型行业,减排效益较大,是不可忽视的减排领域;从行业碳排放分布来看,根据欧洲统计办公室2014年的报告,污水处理与固体废弃物处理组成的废物处理行业是第五大碳排放行业,占全社会总碳排放量的3.3%;从污水处理全流程来看,其碳排放的特征结构为生化反应单元直接碳排放和处理过程中因采购电力及药剂等物耗活动带来的间接碳排放^[3]。结合已有核算方法^[4],参照《城镇污水处理厂碳减排评估标准》(T/CUWA 50055—2023)中运维阶段年度碳排放量核算方法,采用长沙市既有20座污水处理厂2021年度全年基础运营数据,开展量化分析。

1.1.1 现有污水处理厂基本情况

以2021年长沙市20座城市生活污水处理厂为研究对象,其集中分布在人口密集区,毗邻长沙主

要流域(见图1),总设计规模达到335万m³/d,实际处理水量为297.77万m³/d,污水处理负荷率为88.89%。处理工艺以AAO类、SBR类、氧化沟类为主,出水标准主要执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A以及《湖南省城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》(DB43/T 1546—2018)一级标准。



图1 长沙市县以上城市生活污水处理厂区位分布

Fig.1 Distribution of urban domestic wastewater treatment plants above county level in Changsha

1.1.2 碳排放特征分析

经测算,2021年度长沙市县以上城市生活污水处理厂碳排放总量组成如图2所示。

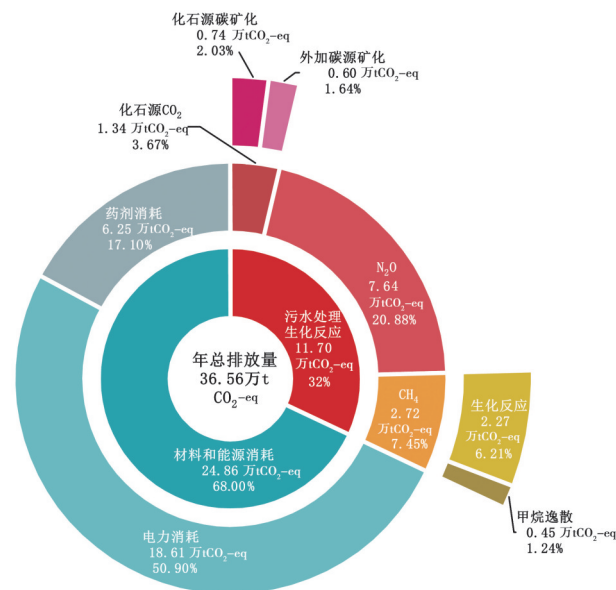


图2 2021年长沙市县以上城市生活污水处理厂碳排放总量组成

Fig.2 Composition categories of total carbon emissions from urban domestic wastewater treatment plants above the county level in Changsha in 2021

由图2可知,直接碳排放总量为11.70万 $\text{tCO}_2\text{-eq}$,占比32.00%,间接碳排放总量为24.86万 $\text{tCO}_2\text{-eq}$,占比68.00%。在直接碳排放中, N_2O 、 CH_4 、化石源 CO_2 产生的碳排放量分别为7.64万、2.72万、1.34万 $\text{tCO}_2\text{-eq}$,分别占排放总量的20.88%、7.45%、3.67%;在间接碳排放中,电耗、药耗产生的碳排放量分别为18.61万、6.25万 $\text{tCO}_2\text{-eq}$,分别占排放总

量的50.90%、17.10%。

1.1.3 碳排放水平运营因素分析

参照孙强强等^[5]的研究,处理规模、运行负荷率、处理工艺、耗氧污染物削减量等参数均是影响污水处理厂碳排放水平的重要因素,故选取对应运行参数,标准化处理后消除量纲的影响,与碳排放指标进行相关性分析,结果如表1所示。

表1 碳排放指标与运行参数相关性系数

Tab.1 Correlation coefficients between carbon emission indicators and operational parameters

项目	水处理电耗	耗氧污染物 削减量	实际处理 规模	运行负荷率	出厂污泥 含水率	进水 BOD_5/TN 比	总电耗	耗氧污染物 削减总量
碳排放强度	0.887**	-0.237	-0.072	-0.321	-0.247	-0.364		
碳排放总量			0.916**	0.317	-0.514*	0.081	0.983**	0.827**

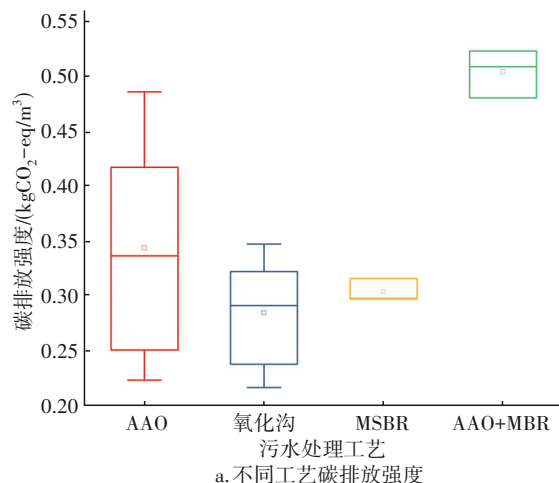
注: *、**分别表示在0.05和0.01(双尾)显著性水平下,相关性显著。

由表1可知,碳排放强度与水处理电耗呈极显著正相关关系($p<0.01$),而污水处理厂运营电力消耗碳排放量占总排放量的50%左右,因此水处理电耗水平很大程度上影响了污水处理厂的碳排放水平。由表1还可以看出,运行负荷率、进水 BOD_5/TN 比与碳排放强度存在一定程度的负相关关系。运行负荷率会影响设备效能,污水处理厂若长期处于低负荷率运行状态,电机设备会存在“大马拉小车”的情况,水处理电耗增加使得碳排放强度增大。 BOD_5/TN 可用于判断污水中的碳源含量,当该指标较低时,为保证反硝化效能需投加大量碳源,使得碳排放强度增大。

碳排放总量与实际处理规模、总电耗、耗氧污染物削减总量存在极显著正相关关系($p<0.01$)。污水处理厂耗氧物污染物去除过程需要消耗氧气及外加碳源,直接影响电耗及药耗,同时去除的污染物经生化反应会产生 CH_4 、 N_2O 等温室气体,影响直接碳排放量。此外,碳排放总量还与出厂污泥含水率存在显著负相关关系($p<0.05$),研究中污泥处理物理脱水和化学药剂脱水不涉及直接碳排放过程,因此出厂污泥含水率越低,污泥脱水能耗越高,碳排放量随之增大。

不同处理工艺中污水处理流程、曝气方式、回流方式等均不相同,因此设备能耗差异较大,直接影响碳排放水平。将各污水处理厂按处理工艺分类,分别计算各处理工艺的碳排放强度,结果见图3(a)。不同处理工艺的污水处理厂碳排放强度如下:AAO+MBR组合工艺为0.5034 $\text{kgCO}_2\text{-eq/m}^3$,AAO

系列(包括倒置AAO、多点进水AAO等)为0.3435 $\text{kgCO}_2\text{-eq/m}^3$,改良型SBR工艺(MSBR)为0.3036 $\text{kgCO}_2\text{-eq/m}^3$,氧化沟系列(包括改良氧化沟、卡鲁塞尔氧化沟等)为0.2843 $\text{kgCO}_2\text{-eq/m}^3$ 。MBR工艺由于膜池需要较高的曝气强度和流速来保证膜驱动压力,其水处理电耗最高(0.5052 $\text{kW}\cdot\text{h/m}^3$)。此外,MBR工艺除投加常规药剂外,还需消耗膜清洗药剂,使得药剂碳排放量较高,因此综合碳排放强度最高。MSBR工艺相当于AAO与SBR工艺的集成结合,相较于AAO工艺,简化了流程,降低了水头损失,因此更加节能(MSBR工艺水处理电耗0.2863 $\text{kW}\cdot\text{h/m}^3$ 、AAO工艺水处理电耗0.3126 $\text{kW}\cdot\text{h/m}^3$)。此外,执行不同出水排放标准的污水处理厂其碳排放水平也存在差异[见图3(b)],其中执行地表水准IV类标准或地方标准DB43/T 1546—2018、GB 18918—2002一级A标准的碳排放均值分别为0.4002、0.3016 $\text{kgCO}_2\text{-eq/m}^3$ 。



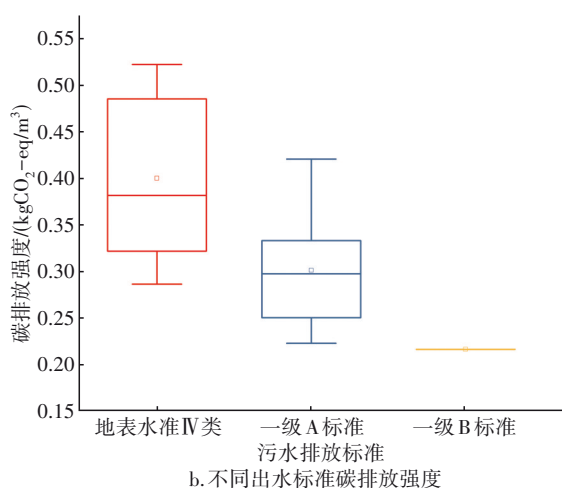


图3 不同工艺、出水排放标准的碳排放强度对比

Fig.3 Comparison of carbon intensity of different processes and effluent discharge standards

1.2 低碳技术策略分析

通过既有污水处理厂运维阶段碳排放情况解析,其碳排放水平受到运行负荷率、处理规模、进水条件、处理工艺、排放标准等因素的显著影响,要实现污水处理行业的低碳化运维和能源需求补差,关键要控制生化处理工艺单元的直接碳排放和处理过程中电耗及药耗的间接碳排放等重点环节,因污水处理厂和纳污管网是整体联系的工程系统,其处理效能受污水实际收集率影响,小区化粪池和市政管网中甲烷等温室气体排放逸散亦是不可忽视的碳排放环节^[6],在实际设计、建设和运维中可从管网一体化管理的视角,把污水系统作为整体系统考虑,将减污降碳协同控制技术策略归为减碳、替碳、碳汇三大类型。

1.2.1 减碳策略

① 需求减量

降低城市污水处理负荷以及提高进水浓度,能系统减少因进水浓度过低带来有机碳源投加产生的直接碳排放量,达到降低污水处理厂电耗、药耗等间接碳排放量的目的。

a. 合理确定处理规模。在规划设计阶段,充分调查服务范围内的污水来源、排放路径等情况,按照分类指标法合理预测实际处理负荷,从而确定合理的污水处理规模。

b. 选择合理的排水体制。对于非干旱地区的新区开发,应在规划设计阶段确定排水体制采用雨污分流制,结合地形条件和纳污水体特征合理布

线,降低合流水污染和雨季雨水的冲击负荷。

c. 取消化粪池。在充分调研建设区域现状管网运维和水质水量基础上,从小区源头采取黑灰水分离措施,取消化粪池以减少源头厌氧条件下甲烷的排放量^[6]。

② 污水处理厂布局及管网优化

将污水处理厂站和管线以及排放水体作为一个系统工程整体考虑,从污水处理厂选址布局、管网定线、水体排放标准全流程综合考虑,结合受纳水体环境容量和人口增长趋势、地形现状及流域分区,合理设置污水处理厂的排放标准,利用智能算法优选管网综合方案,从而达到节能降耗协同减碳。

a. 采取分散式布局。针对处理规模实际需求,结合流域实际,采取分散式污水处理厂布局,降低管网建设成本和运维成本。

b. 提高管网收集效能。通过清污分流、提高管网流速、降低管道水位、防止客水流入污水管网等措施,提升污水处理厂的进水浓度和城市生活污水集中收集率。

c. 管网优化设计。以低碳化为目标,采用现代智能优化算法,科学制定管网方案,可较大程度上实现节能减碳目标^[7]。

③ 优选设备

采用新型高效处理工艺和设备,提升设备能效比,降低电耗;通过优化污水处理单元运行参数,调整曝气控制等措施,减少直接碳排放量;通过全流程仪器设备数据反馈,实时调节变频泵、风机等设备联动运行工况,进一步压缩能耗。

a. 选用新型低碳工艺和设备:选用效率更高、能耗更低的高效处理工艺或新型设备,如变频技术、智能双曲变频泵、数字泵^[8]。

b. 精细化设计:充分调研和预测水质、水量及水位变化趋势,优化选泵参数,根据实时采集信息优化处理工艺和设计参数,减少不必要的能耗与药耗。

c. 电气仪表的利用:充分发挥电气设备、仪表等自动控制、监测手段的全流程使用^[9],降低污水处理厂的能耗。

④ 工艺升级

选择碳排放强度低于目前主流生物处理工艺的革新技术,降低电力和化学药剂消耗,改变 CH_4 和

N_2O 生成环境条件并降低其生成排放量,如紧凑型生物处理工艺和高效脱氮工艺^[10]。面对低碳氮比的实际进水工况,传统工艺需要外加碳源和高回流比来满足尾水达标排放,采用源头碳捕获技术(如常温生活污水厌氧消化技术、高负荷活性污泥法、化学强化一级处理技术等)可提高碳源利用率^[11],AOA^[12]等新型工艺改变了反硝化脱氮除磷机理,具有较好的原位工艺升级改造可能性。

⑤ 精细化管控

人工智能飞速发展,基于人工智能的数据采集分析和决策机制,开发物流、能量流、工艺参数等多源数据维度的集成式精准化运营管理技术,建立区域性污水处理管网与污水处理厂运营的可视化监测与信息化平台,构建关键工序智能工艺管控技术,有助于实现污水处理厂的低碳优化运行^[9]。

a. 数智化设计。利用BIM数字孪生技术实现设计建造阶段可视化,植入智能加药、智能排泥、智能消毒、泵组优化智能控制等信息化模块减少电耗和药耗。

b. 智慧化运维。采用智能生物控制系统对内外回流比进行优化,采用智能加药系统对加药量进行优化,采用智能曝气系统对曝气量进行优化等技术,根据实际水质条件和运行情况,自动给出最佳工况点的各项控制参数,实现能耗和运行状态的最优化^[13]。

1.2.2 替碳策略

① 能源补偿技术

污水处理厂的敞开式构筑物为光伏技术使用提供了很好的应用场景,光伏系统产生的电能一般可以完全自行消纳,具有良好的投资效益。因此,在污水处理厂的初沉池、曝气池、膜池、清水池等构筑物上方空间安装光伏发电设备以实现削峰填谷、清洁发电^[11]。

水源热泵技术能够以较少的能量,从水中提取较大的热能或向水中转移较大热能,具有良好的节能效果。因此,在污水处理厂实施水源热泵,通过提取污水中的热值实现综合楼等辅助生产设施的冷热源供给^[10]。

此外,提取或转化污水与剩余污泥中蕴含的化学能、热能等能源可替代化石能源消耗,利用厌氧消化污泥处理技术在生物降解有机物质的同时回收沼气,实现污泥能源回收^[14]。

② 资源补偿技术

污水再生利用在减少尾水排入水体产生的直接碳排放的同时,还将极大减少自来水供水量而降低供水系统碳排放量,具有较好的碳减排效应^[15]。因此,在新建或扩容改造污水处理厂时预留再生水管网接口,完善再生水输配管网,以达到碳补偿的目的。此外,对污水或污泥中的资源进行回收也可实现城镇水务系统碳减排,但污水资源回收需要与其他行业协作^[10]。

1.2.3 碳汇策略

碳汇策略采取的技术措施主要是植物碳汇技术,在厂区绿化设计中,设计高低乔灌木错落搭配,贯彻海绵理念,利用绿色生物滞留设施形成固碳效应。其实施特点主要体现在用地紧张情况下污水处理厂改造可实现半地埋式构造,地上种植绿植,综合采用具有污染物削减和径流污染控制的LID措施,能较好地形成负碳效应和厂区绿色低碳景观营造^[16]。

2 低碳视阈下某污水厂旧改技术路径分析

2.1 项目概况

案例污水处理厂于1994年6月投入运行,设计规模14万 m^3/d ,占地面积3 hm^2 ,出水水质执行GB 18918—2002一级B标准。湖南省地标DB43/T 1546—2018规定,生态环境敏感区内的现有城镇污水处理厂,应执行地标一级标准。该厂建成时所在区域属于郊区,周围均为鱼塘、荒地,随着城市的发展,厂区周围已经变成城市商住区,环境十分敏感,属于规定中的生态环境敏感地区,面临提标改造需求。为解决现实问题,在用地极为紧张和投资有限的情形下进行污水处理厂的原位提标改造,水处理采用预处理+AAO+膜生物反应器(MBR)+接触消毒工艺,污泥处理采用机械离心浓缩脱水工艺,出水水质由GB 18918—2002的一级B标准提高到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅳ类标准(其中 $\text{TN} \leq 8 \text{ mg/L}$)。2017年,该厂完成改造并正式投入运行。该污水处理厂在初步设计阶段,采用BioWin软件对整体工艺进行全流程反复模拟,调整了回流方式及回流比,确定了两点式碳源投加策略,系统减少了单位污染物削减的直排碳排放强度。此外,采取海绵生态碳汇、尾水回用等典型降碳理念,达到了协同降碳的效果。

2.2 碳排放对比分析

根据该厂 2017 年—2022 年的历史运行数据,可计算其年度碳排放强度,结果如图 4 所示。

为直观说明该污水处理厂的碳排放水平,选取同工艺、同出水标准的两座污水处理厂进行对比分析,结果如表 2 所示。案例污水处理厂年均电耗为 $0.358\ 2\ \text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$,相较于同类型污水处理厂减少 36% 左右,电耗碳排放占比明显降低。年平均综合碳排放强度约为 $0.430\ 6\ \text{kgCO}_2\text{-eq}/\text{m}^3$,相较于同类型污水处理厂可减碳 16% 左右。由此可见,改造后的案例污水处理厂相较于同类型污水处理厂具有明显的协同节能降碳效果。

表 2 3 座同种工艺污水处理厂数据对比

Tab.2 Comparison of data from 3 wastewater treatment plants with the same process

项目	设计规模/ (万 m^3/d)	处理工艺	出水标准	电耗/ ($\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$)	电耗碳排放占比/%	碳排放强度/ ($\text{kgCO}_2\text{-eq}/\text{m}^3$)
污水处理厂 1	8	AAO+MBR	地表水准Ⅳ类	0.557 8	63.5	0.522 3
污水处理厂 2	6	AAO+MBR	地表水准Ⅳ类	0.568 7	66.5	0.508 1
案例污水处理厂(6 年平均)	14	AAO+MBR	地表水准Ⅳ类	0.358 2	49.4	0.430 6

2.3 低碳化策略实践及潜能分析

2.3.1 低碳化策略实施

① 碳汇——海绵生态碳汇

该项目贯彻海绵城市理念,采用绿化屋面、垂直绿化、生态停车场等一系列设计,将厂区打造为美观、生态、人与自然充分融合的场所。通过对厂区原有设施的景观重生,打造场所记忆。特别是对原有氧化沟进行加盖覆土,从而形成城市的“小游园”。通过各种绿化(屋顶绿化、垂直绿化以及场地绿化等),实现碳汇量 $225.7\ \text{tCO}_2\text{-eq}/\text{a}$,固碳强度为 $0.004\ 9\ \text{kgCO}_2\text{-eq}/\text{m}^3$,约占提标后平均碳排放强度的 1.15%。

② 替碳——中水回用

该厂毗邻长沙市某公园,污水深度处理出水部分作为景观湖体补水回用,部分用作厂区内部分生活杂用水,节水量约 $400\ \text{万}\ \text{m}^3/\text{a}$,减碳量为 $1\ 675.36\ \text{tCO}_2\text{-eq}/\text{a}$,碳减排强度为 $0.032\ 8\ \text{kgCO}_2\text{-eq}/\text{m}^3$,约占提标后平均碳排放强度的 7.62%。

2.3.2 减碳潜能挖掘

基于实际运行数据,利用 BioWin 软件构建工艺模型,模拟发现该厂存在深度减碳潜能。

① 优化好氧池-缺氧池内回流比

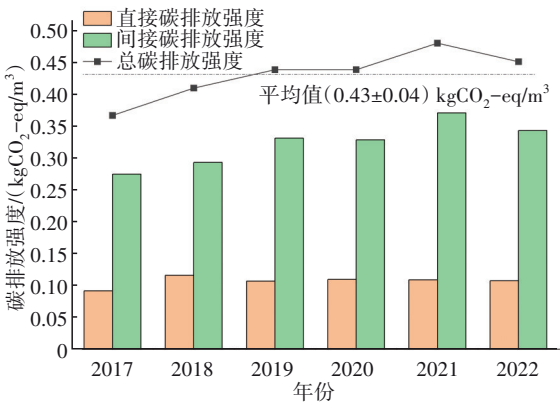


图 4 案例污水处理厂改造后碳排放强度

Fig.4 Carbon emission intensity of the wastewater treatment plant after renovation

目前,单组好氧池-缺氧池共有 4 台回流泵,当泵组分别开启 4、3、2、1 台泵时,回流比分别为 300% (现状运行工况)、225%、150%、75%,模型模拟发现,当好氧池-缺氧池回流比为 225% 时,系统脱氮除磷效果较好,同时工艺系统的运行能耗较低。

② 优化 MBR 池-好氧池污泥回流比

目前,MBR 池-好氧池共有 4 台回流泵,当泵组分别开启 4、3、2、1 台泵时,回流比分别为 400% (现状运行工况)、300%、200% 和 100%,模拟结果表明,回流比控制在 200% 左右,出水水质稳定达标且节省能耗。

③ 优化好氧池溶解氧(DO)浓度

模拟好氧池 DO 分别为 3、2、1 mg/L 的出水水质指标,结果表明减小好氧池 DO 至 2 mg/L (现状运行工况 DO 为 3 mg/L),能够同时达到减污降碳的目的。

通过模拟一系列运行参数可确定最优运行工况,在该工况下,以处理水量为 $14\ \text{万}\ \text{m}^3/\text{d}$ 计,直接碳排放量减少 $192.22\ \text{tCO}_2\text{-eq}/\text{a}$,电量节省 $946\ 080\ \text{kW}\cdot\text{h}/\text{a}$,折合减少间接碳排放量 $562.16\ \text{tCO}_2\text{-eq}/\text{a}$,合计减碳量 $754.38\ \text{tCO}_2\text{-eq}/\text{a}$,碳减排强度为 $0.014\ 8\ \text{kgCO}_2\text{-eq}/\text{m}^3$,约占提标改造后平均碳排放强度的

3.44%。

2.3.3 减碳效能分析

通过植物碳汇、中水回用等既有措施,该厂碳减排量达到1 901.06 tCO₂-eq/a,合计碳减排强度为0.037 2 kgCO₂-eq/m³。若根据模拟结果进一步优化运行,碳减排强度可达0.052 5 kgCO₂-eq/m³。扣除碳补偿后,年均碳排放强度为0.378 1 kgCO₂-eq/m³,低于国内外多座MBR工艺污水处理厂的平均值(发达国家为0.390 kgCO₂-eq/m³,发展中国家为0.530 kgCO₂-eq/m³)^[17]。参照现有研究,2020年我国城镇污水处理厂的平均碳排放强度为0.589 kgCO₂-eq/m³^[18],该厂碳排放强度显著低于此水平。综上所述,该厂在提标改造过程中利用海绵生态碳汇、中水回用、工艺仿真调参降碳技术策略实现了一定程度的协同降碳效果。

3 结论

以长沙市既有污水处理厂开展运维阶段的碳排放评估研究,分析表明污水处理厂碳排放水平受处理工艺、排放标准、水处理电耗、污染物削减量、出厂污泥浓度等因素影响而呈现波动。基于污水处理厂的特征评估,从厂网一体系统化角度开展低碳化技术策略路径分析,将减污降碳协同控制技术策略归为减碳、替碳、碳汇三大类型。在城市更新背景下,对用地受限、投资有限的老旧污水处理厂进行提标改造并协同优化降碳策略运维应用,优化后其碳排放水平低于国内外同种工艺平均值。

参考文献:

- [1] 林幽然,殷实,肖毅强.传统街区中建筑界面改造的碳减排潜力评估:以广州为例[J].住宅与房地产,2023(2):15-20.
LIN Y R, YIN S, XIAO Y Q. Assessment of carbon reduction potential for building interface renovation in traditional street blocks: a case study of Guangzhou[J]. Housing and Real Estate, 2023(2):15-20(in Chinese).
- [2] 仇保兴.城市碳中和与绿色建筑[J].城市发展研究,2021,28(7):1-7.
QIU B X. Urban carbon neutrality and green building[J]. Urban Development Studies, 2021, 28(7):1-7(in Chinese).
- [3] 朱黔沫,陈浩,叶建锋.城市排水系统的碳排放特征与减排策略综述[J].净水技术,2024,43(3):47-60.
ZHU Q M, CHEN H, YE J F. Overview of characteristics of carbon emission and strategies of emission reduction for urban drainage system[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(3):47-60.
- [4] 刘阳,施周,文宇鸿,等.城镇污水系统碳核算方法研究及典型工艺减碳路径分析[J].给水排水,2024,50(1):37-45.
LIU Y, SHI Z, WEN Y H, et al. Research on carbon accounting method of urban sewage system and analysis of typical process carbon reduction path[J]. Water & Wastewater Engineering, 2024, 50(1):37-45(in Chinese).
- [5] 孙强强,陈贻龙.南方某省城镇污水处理厂碳排放特征[J].环境工程学报,2023,17(10):3231-3244.
SUN Q Q, CHEN Y L. Characteristics of carbon emission from municipal wastewater treatment plants in a south-China province[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2023, 17(10):3231-3244(in Chinese).
- [6] 郝晓地,杨文字,林甲.不可小觑的化粪池甲烷碳排放量[J].中国给水排水,2017,33(10):28-33.
HAO X D, YANG W Y, LIN J. Non negligible carbon emission with methane from septic tank[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(10):28-33(in Chinese).
- [7] 黄文兵.江南新城污水管网优化设计研究与实践[D].南昌:南昌大学,2022.
HUANG W B. Research and Practice on the Optimization Design of Sewage Network in Jiangnan New Town[D]. Nanchang: Nanchang University, 2022(in Chinese).
- [8] 谢社平,吴桂珍.高效永磁同步电机在泵站节能改造中的应用[J].给水排水,2021,47(增刊1):34-37.
XIE S P, WU G Z. Application of high-efficiency permanent magnet synchronous motor in energy-saving reconstruction of pumping station[J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(S1):34-37(in Chinese).
- [9] 刘春霞,孙鹏飞,吴晓辉,等.“双碳”背景下污水处理行业降碳减排路径探析[J].环境工程,2023,41(增刊2):135-137.
LIU C X, SUN P F, WU X H, et al. Research on carbon reduction path of sewage treatment industry under “Double Carbon” strategy[J]. Environmental Engineering, 2023, 41(S2):135-137(in Chinese).
- [10] 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,2022:71-88.

- China Urban Water Association. Guidelines for Carbon Accounting and Emission Reduction in the Urban Water Sector [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2022: 71-88 (in Chinese).
- [11] 汪翠竹. 城镇污水处理厂碳排放研究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2022(12): 111-113.
- WANG C Z. Research on carbon emissions from urban sewage treatment plants [J]. Chinese Journal of Science and Technology Database (Abstract Edition) Engineering Technology, 2022(12): 111-113 (in Chinese).
- [12] 李清哲, 边德军, 聂泽兵, 等. 序批式 AOA 同步脱氮除磷工艺研究综述[J]. 净水技术, 2020, 39(11): 79-85, 129.
- LI Q Z, BIAN D J, NIE Z B, et al. Research overview of sequencing batch AOA process on simultaneous nitrogen and phosphorus removal[J]. Water Purification Technology, 2020, 39(11): 79-85, 129 (in Chinese).
- [13] 李庆桂. “双碳”背景下污水厂的低碳设计分析[J]. 城市道桥与防洪, 2023(1): 22-25.
- LI Q G. Analysis on low-carbon design of wastewater treatment plants under “Double-carbon” background[J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2023(1): 22-25 (in Chinese).
- [14] 张辰, 陈嫣, 谭学军, 等. 城市污水系统温室气体排放与对策研究[J]. 给水排水, 2010, 36(9): 29-33.
- ZHANG C, CHEN Y, TAN X J, et al. Discussion on greenhouse gas generation and reduction strategies in urban wastewater system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2010, 36(9): 29-33 (in Chinese).
- [15] 蒲贵兵, 王鹏, 卫然. 基于城市生活污水系统全生命周期的直接碳减排路径研究[J]. 环境科学与管理, 2023, 48(10): 11-16.
- PU G B, WANG P, WEI R. Research on direct carbon emissions reduction path based on whole life cycle of municipal domestic sewage system [J]. Environmental Science and Management, 2023, 48(10): 11-16 (in Chinese).
- [16] 郑涛. 居住社区海绵改造过程的碳排放核算研究[J]. 中国给水排水, 2021, 37(19): 112-119.
- ZHENG T. Estimation of carbon emission during sponge city reconstruction of residential community [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(19): 112-119 (in Chinese).
- [17] COROMINAS L, FOLEY J, GUEST J S, et al. Life cycle assessment applied to wastewater treatment: state of the art[J]. Water Research, 2013, 47(15): 5480-5492.
- [18] 金维钰, 白雪, 史怡, 等. 中国城镇污水处理厂温室气体排放趋势及驱动因子识别[J]. 环境科学研究, 2024, 37(3): 650-660.
- JIN W Y, BAI X, SHI Y, et al. Research on trend and driving factors of greenhouse gas emissions from urban wastewater treatment plants in China [J]. Research of Environmental Sciences, 2024, 37(3): 650-660 (in Chinese).
- 作者简介: 施周(1961—), 男, 江西南昌人, 博士, 教授, 博士生导师, 国务院政府特殊津贴专家, 主要研究方向为水质净化与水污染控制。
- E-mail: zhous61@163.com
- 收稿日期: 2024-06-11
- 修回日期: 2024-07-28

(编辑: 丁彩娟)

贯彻绿色发展理念, 推进美丽中国建设