

李云吉, 陈东山, 梁龙角, 等. 一种降低污泥处置成本及碳排放的协同处理模式[J]. 净水技术, 2026, 45(5): 92-99.

Li Y J, Chen D S, Liang L J, et al. A co-treatment mode for reduction of sludge disposal costs and carbon emissions[J]. Water Purification Technology, 2026, 45(5): 92-99.

一种降低污泥处置成本及碳排放的协同处理模式

李云吉, 陈东山*, 梁龙角, 黄海, 赵有刚, 刘锡同, 叶永腾

(南水北调<遵义>水网有限公司, 贵州遵义 563000)

摘要 【目的】随着城镇污水处理规模扩大,污泥处置成本高、碳排放量大的问题日益突出。本文旨在通过污泥内部协同处置管理模式,降低污水处理厂运营成本及减少碳排放量,为行业降本增效和实现“双碳”目标提供新思路。【方法】本文以遵义市北部某污水处理厂(北污厂)、高桥某污水处理厂(高污厂)和南部某污水处理厂(南污厂)为研究对象,收集三厂2023年—2024年污泥处置的运输费、处置费、电费、药剂费等数据,构建成本与碳排放矩阵,分析协同处置前后的经济效益与环境效益;通过文献调研确定碳排放核算方法,采用排放因子法核算药剂生产、电力消耗、运输燃料及处置过程碳排放,并结合实际运行数据验证协同处置模式的可行性。【结果】实施污泥协同处置后,2025年三厂污泥综合处理成本较2023年降低706 951元、较2024年降低532 782元;2025年污泥处理碳排放总量较2023年、2024年分别下降约14.8%、约12.5%。其中,南污厂处理单吨绝干污泥碳排放量从2023年的0.462 t CO₂下降至2025年的0.382 t CO₂,降幅约为17%;北污厂和高污厂单吨绝干污泥碳排放量分别下降约81%和约77%。三厂处理单吨绝干污泥成本分别由2023年的1 118、1 511、891元下降至2025年的618、783、736元,降幅显著。【结论】污泥内部协同处置管理模式通过优化资源配置、减少外委处置环节,充分利用新建污水处理厂的设备效能优势,实现了经济与环境效益的双重提升,可为类似区域污泥处置提供参考。后续建议对老旧设备进行更新,进一步提升整体效能。

关键词 污泥处置模式 运营成本 碳排放 节能降耗 成本分析

中图分类号: X703 文献标志码: A 文章编号: 1009-0177(2026)05-0092-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2026.05.012

A Co-Treatment Mode for Reduction of Sludge Disposal Costs and Carbon Emissions

Li Yunji, Chen Dongshan*, Liang Longjiao, Huang Hai, Zhao Yougang, Liu Xitong, Ye Yongteng

(South-to-North Water Diversion Water Network Co., Ltd., Zunyi 563000, China)

Abstract [Objective] With the expansion of urban wastewater treatment capacity, the issues of high sludge disposal costs and significant carbon emissions have become increasingly prominent. This paper aims to reduce the operational costs and carbon emissions of wastewater treatment plants (WWTPs) through an internal collaborative sludge disposal management model, providing new insights for cost reduction, efficiency improvement, and the achievement of the "dual carbon" goals in the industry. [Methods] This paper focused on a WWTP in northern Zunyi (B-WWTP), one in Gaoqiao (G-WWTP), and one in southern Zunyi (S-WWTP). Data on sludge disposal costs, including transportation, disposal, electricity, and chemical expenses from 2023 to 2024 were collected from these WWTPs. A cost and carbon emission matrix was constructed to analyze economic and environmental benefits before and after collaborative disposal. Carbon emission accounting method was determined through literature review, and the emission factor method was used to quantify carbon emissions from chemical production, electricity consumption, transportation fuel, and disposal processes. The feasibility of the collaborative disposal model was verified using actual operational data. [Results] After implementing collaborative sludge disposal, the comprehensive sludge treatment costs for the three WWTPs in 2025 decreased by 706 951 yuan compared to 2023 and by 532 782 yuan compared to 2024. Total carbon emissions from sludge treatment in 2025 decreased by

[收稿日期] 2026-01-05

[基金项目] 中国南水北调集团水网水务投资有限公司内部项目(SW-2025007)

[作者简介] 李云吉(1992—),男,主要从事市政污水及白酒废水运营管理工作,E-mail:997502668@qq.com。

[通信作者] 陈东山(1998—),男,主要从事纳米材料水处理技术和新污染物防控治理等工作,E-mail:c15185911562@163.com。

approximately 14.8% and approximately 12.5% compared to 2023 and 2024, respectively. Specifically, the carbon emissions per ton of dry sludge at S-WWTP dropped from 0.462 t CO₂ in 2023 to 0.382 t CO₂ in 2025, a reduction of approximately 17%. Meanwhile, B-WWTP and G-WWTP saw reductions of about 81% and 77%, respectively. The cost per ton of dry sludge at the three WWTPs decreased from 1 118 yuan, 1 511 yuan, and 891 yuan to 618 yuan, 783 yuan, and 736 yuan, respectively, showing significant declines. [**Conclusion**] The internal collaborative sludge disposal management model optimizes resource allocation, reduces external disposal steps, and leverages the equipment efficiency advantages of newly built WWTPs, achieving dual economic and environmental benefits. This approach can serve as a reference for sludge disposal in similar regions. Future recommendations include upgrading outdated equipment to further enhance overall efficiency.

Keywords sludge disposal mode operation cost carbon emission energy saving and consumption reduction cost analysis

城镇污水处理厂(WWTPs)产生的污泥含水率较高,并包含多种污染物,包括病原体、重金属和有毒物质,同时污泥处置费用也是污水处理厂成本支出的重要板块之一^[1-3]。在2025年,我国污水处理和污泥产生的量分别约为850亿m³以及6.500×10⁷t(含水率为80%)。污水处理单元温室气体排放约占全球温室气体排放量的3%,对于大部分城镇来说,污水处理单元是直接产生甲烷(CH₄)的主要工业环节之一,产生的一氧化二氮(N₂O)、一氧化氮(NO)和间接二氧化碳(CO₂)也是温室气体的主要成分^[4-6]。

遵义市位于贵州省北部区域,常住人口约为660万,是贵州省常住人口规模第二大城市。在城镇化发展进程中,遵义市污水处理面临着污水处理量和污泥处置量过大的难题,污水处理单元的绿色低碳行为也更加受到重视,低成本低碳运行的城镇污水处理单元是绿色发展的主流方向^[7-8]。

随着全球城市化进程加快,污水处理量持续增长,导致每年产生大量污泥,为探索一种低成本污泥处置模式以及实现“双碳”目标,本文制定一种降低污泥处理成本及碳排放量的综合处置模式,以遵义市3座污水处理厂为研究对象:遵义市高桥某污水

处理厂(以下简称高污厂)、遵义市北部某污水处理厂(以下简称北污厂)和遵义市南部某污水处理厂(以下简称南污厂),调节高污厂和北污厂污泥(80%含水率)至南污厂进行板框处理,分析遵义市城镇污泥处置路线,综合评估污泥协同处理前后运行成本和碳排放量,提出一种低成本低碳的协同污泥处置模式。

1 遵义市污水处理厂现状

1.1 三大污水处理厂基本情况

遵义市三大污水处理厂包括高污厂、北污厂和南污厂,基本情况如表1所示。高污厂位于贵州省遵义市,厂区具体位置位于贵州省遵义市天津路,市中心上游,占地面积为30亩(1亩≈666.7m²),服务人口约为19万,2013年进行了升级改造,水质由污水一级B排放标准提升至污水一级排放A标准。北污厂位于贵州省遵义市汇川大道中段,占地面积为30亩,服务人口约为25万,同高污厂一样2013年进行了升级改造,水质排放达到一级A排放标准。南污厂位于贵州省遵义市遵义站南侧湘江河边,北侧紧邻东联二号线,西侧为湘江河,服务人口约为90万,是目前遵义市日处理规模最大的污水处理厂。

表1 3座污水处理厂基本情况
Tab. 1 Basic Situation of Three WWTPs

项目	北污厂	高污厂	南污厂
处理工艺	厌氧-缺氧-好氧(AAO)工艺	序批式活性污泥法(SBR)	前缺氧/厌氧-缺氧-好氧(A/AAO)工艺
设计规模/(t·d ⁻¹)	3万	3万	15万
年产绝干污泥量/t	900	1 000	4 600
脱水工艺	带式压滤/板框压滤	带式压滤/板框压滤	板框压滤
设备状况	板框设备投运>12年,现采用带式压滤	板框设备投运>12年,现采用带式压滤	2018年新建投运
出泥含水率	80%、60%	80%、60%	60%
运行特点	维修成本高,药耗电耗偏高	维修成本高,药耗电耗偏高	设备效率高,药耗低

1.2 存在问题及现状

城镇污泥处置成本压力大,污泥外委处置涉及运输费、处置费等多项刚性支出,且随着环保要求趋严和处置资源紧张,成本呈现持续上升趋势。高昂的处置成本严重制约了污水处理厂的运营效益,影响了污水处理行业的可持续发展^[9-10]。城镇污泥处置能力严重不足,当前存在污泥处置单位面临处置能力饱和、接收不稳定、协调难度大等问题^[11-13]。处置能力不足已严重影响污水处理厂的正常生产运行,导致生物池污泥无法及时处置,存在生化系统污泥消化和出水超标的重大环保风险^[14-15]。污泥处理设备效率差异显著,北污厂和高污厂的板框压滤设备已运行超过12年,设备老化导致维修成本及药耗电耗偏高,虽已改用带式压滤机降低运行成本,但出泥含水率仍高达80%。相比之下,南污厂作为2018年新建投运的污水处理厂,具有脱泥设备先进、运行效率高和药耗低等优势,对污泥处理的成本和效率明显优于其他厂站,为污泥协同处置模式提供理论支撑。

1.3 研究内容与方法

本文提出一种降低污泥处理成本及碳排放量的综合处置模式:将北污厂和高污厂经过带式压滤机产生的污泥(80%含水率)运输至南污厂,利用南污

厂高效板框压滤设备进行综合处置,实现污泥深度脱水至60%以下含水率,再进行水泥窑协同焚烧。基于2023年—2024年污泥处置实际运行数据,重点开展以下研究:一是协同处置前后的技术经济性对比分析,评估综合处置费用的降低效果;二是协同处置前后的碳减排效益分析,量化碳排放减少量;三是从经济效益和环境效益2个维度,系统评估该协同处置方案的综合实施效果。本文旨在为解决区域性污水处理厂污泥处置难题提供技术经济可行的解决方案,为类似城市的污泥集约化、资源化管理提供理论依据和实践参考。

2 低成本低碳运行污泥处理模式

2.1 低成本低碳运行污泥处理模式

本文主要以南污厂、高污厂和北污厂为研究对象,依靠南污厂低成本低碳排放量的污泥处置优势,探究将高污厂与北污厂含水率为80%的污泥综合到南污厂进行深度处理,如图1所示,制定了一种低成本低碳排放的污泥协同处置模式。首先收集高污厂和北污厂带式压滤后含水率为80%的污泥,经过规范装车安全运输至南污厂污泥接收与处置点,将污泥进行称重记录后,转运至污泥集中处理池,进行板框脱水至含水率低于60%。最终将处理后的污泥运送到水泥厂焚烧处理。

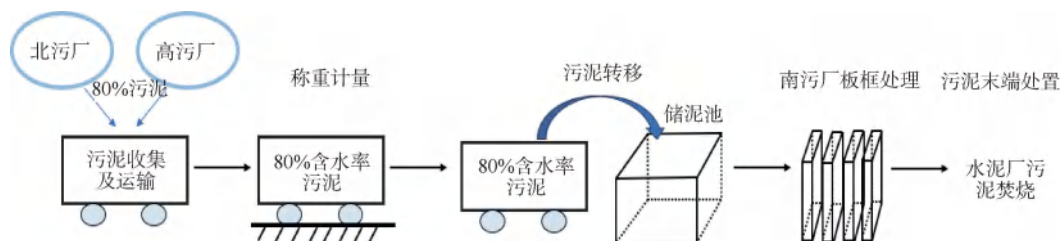


图1 低成本低碳运行污泥处理模式流程

Fig. 1 Flow of Sludge Treatment Mode of Low Cost and Low Carbon Operation

2.2 研究方法

1) 成本效益分析

城镇污泥管理中引起运行成本差异的主要因素包括气候条件、运输情况、污泥产量、处置选项和药剂价格等。构建成本矩阵分析,收集高污厂、北污厂和南污厂近3年污泥处置费用(包括处置费、运输费、药剂费、电费等),进行纵向运行成本分析,同时计算污泥协同处置模式前后处置费用的变化情况,对新型污泥处置模式的经济效益进行横向评估,有利于推广低成本运行的污泥协同处置新模式。

2) 碳排放核算

碳排放消耗参数如表2所示。

碳排放计算如式(1)、式(2)。

$$E_i = M_{i耗量} \times E_{Fi} \quad (1)$$

其中: E_i ——第*i*种能源(药剂、电力、热源)消耗碳排放量,kg CO₂;

$M_{i耗量}$ ——第*i*种能源(药剂、电力、热源)消耗量,kg;

E_{Fi} ——第*i*种能源(药剂、电力、热源)碳排放因子,kg CO₂/kg。

$$E_{\text{运输}} = L \times M \times E_{\text{F柴油}} \quad (2)$$

其中： $E_{\text{运输}}$ ——运输过程产生的碳排放量，kg CO₂；

L ——运输距离，km；
 M ——运输油耗，kg/km；
 $E_{\text{F柴油}}$ ——柴油碳排放因子，kg CO₂/kg。

表 2 碳排放消耗参数

Tab. 2 Parameters of Carbon Emission Consumption

指标	数值	数据来源
聚丙烯酰胺 (PAM)/(kg CO ₂ · kg ⁻¹)	2.85	参考《中国产品全生命周期温室气体排放系数集(2022)》，取同类产品平均值
三氯化铁 (FeCl ₃)/(kg CO ₂ · kg ⁻¹)	1.04	
CaO/(kg CO ₂ · kg ⁻¹)	1.11	
电力/[kg CO ₂ · (kW · h) ⁻¹]	0.804 2	采用 2022 年度南方区域电网平均二氧化碳排放因子
车辆运输柴油消耗/(kg CO ₂ · kg ⁻¹)	3.82	依据《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》

目前，主要的碳排放核算方法包括联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 提出的排放因子法、质量平衡法、实测法以及全生命周期分析法^[16-18]。其中，如表 2 所示，排放因子法的计算科学性最为合理且使用范围最为广泛，也是最为学术界所接受的。为此，本文应用该方法计算污泥处理处置体系的碳排放量，该结果由直接排放、间接排放以及碳减排量三部分累计构成^[19]。参考《中国产品全生命周期温室气体排放系数集》(2022) 和《城镇污水处理厂污泥处理处置污染防治最佳可行技术指南》(试行)，采用排放因子法核算协同处置前后碳排放量，其主

要涵盖药剂生产、电力消耗、运输燃料及处置过程排放。

3) 综合评估污泥协同处置模型

由表 3 可知，作为城镇污泥处置新模式，不仅要重视污泥处置的物资消耗情况及运行成本分析评估，更要重视污泥处置过程中的碳排放行为。在绿色可持续发展的背景下，污泥处置模式要符合降本增效的运营理念，还要在污泥处置单元推动低碳行为^[20-21]。基于此，本文将从综合污泥处置成本效应和绿色低碳发展多方向对新型污泥处置模型进行综合评估。

表 3 物资消耗情况

Tab. 3 Situation of Material Consumption

厂站	年份	PAM/kg	CaO/kg	FeCl ₃ /kg	用电量/(kW · h)	绝干泥处置量/t
北污厂	2023 年	18 300	249 600	6 380	263 405	861
北污厂	2024 年	13 000	331 500	8 990	289 230	945
高污厂	2023 年	72 500	14 850	5 270	200 260	822
高污厂	2024 年	49 000	167 360	82 980	318 163	986
南污厂	2023 年	5 975	884 000	663 000	659 724	4 798
南污厂	2024 年	5 650	722 780	423 538	606 429	4 410

3 结果与分析

3.1 2023 年—2024 污泥处理运行成本分析

由表 4 计算可知，2023 年—2024 年遵义市 3 座污水处理厂污泥处理费用的支出情况，三厂 2023 年污泥处置费用合计为 6 483 095 元，2024 年污泥处置费用合计为 6 308 926 元。北污厂 2024 年污泥处理总费用相较于 2023 年同比增加了约 14%，药剂费、电费和运输费方面有较大的增长，设备老化是费

用增长的主要原因之一。高污厂 2024 年污泥处理总费用相较于 2023 年同比增长了约 7.9%，药剂费、电费、维修维保费有较大的增长，运输费及处理费有所减少，主要是 2024 年使用老旧板框脱泥频率较高。南污厂在 2023 年—2024 年污泥量变化较小的前提下，污泥的处置成本降低，单吨污泥处理成本下降约 6%。因此，基于该数据，本文提出综合北污厂和高污厂污泥至南污厂协同处置，以此降低污水处

理运行成本,为水处理行业降本增效运行提供新思路。

表 4 2023 年—2024 年污泥处置成本

Tab. 4 Cost of Sludge Disposal from 2023 to 2024

厂站	年费	药剂费/元	电费/元	运输费/元	处置费/元	维修维 保费/元	费用合 计/元	绝干污 泥量/t	绝干污泥成本/ (元·t ⁻¹)
北污厂	2023 年	180 048	165 945	97 985	318 286	200 000	962 264	861	1 118
北污厂	2024 年	201 376	182 215	134 183	365 275	260 000	1 143 049	945	1 210
高污厂	2023 年	236 123	126 164	185 172	614 700	80 000	1 242 159	822	1 511
高污厂	2024 年	301 689	200 443	141 980	451 622	245 000	1 340 734	986	1 360
南污厂	2023 年	1 191 629	415 626	522 209	1 799 208	350 000	4 278 672	4 798	891
南污厂	2024 年	879 350	382 050	429 796	1 683 947	450 000	3 825 143	4 410	867

3.2 2023 年—2024 污泥处理碳排放分析

由表 5 和表 6 计算可知,3 座污水处理厂 2023 年、2024 年碳排放总量分别为 3 155.654、3 069.213 t CO₂。北污厂在 2023 年和 2024 年全部采用板框方式对污泥进行脱水,因此北污厂的带机脱水方式碳排放为 0;而北污厂主要处理污泥方式是板框脱水,2024 年药剂使用量(CaO)相较于 2023 年有所上升,导致 2024 年碳排放总量呈上升趋势,处理单吨干污泥碳排放量同比上升约 8%。高污厂在 2023 年主要采用碳排放量较低的带机处理方式,碳排放量为 349.997 t

CO₂,采用板框脱水碳排放量为 39.641 t CO₂,总碳排放量为 389.638 t CO₂;在 2024 年主要采用碳排放较高的板框处理方式,碳排放量为 504.499 t CO₂,采用带机脱水碳排放量为 171.193 t CO₂,总碳排放量为 675.692 t CO₂;导致 2024 年高污厂在污泥处理过程中碳排放总量同比上升约 73%,2024 年的板框脱水较 2023 年的带机脱水单吨绝干污泥碳排放量同比上升约 71%。南污厂在污泥处理量变化较小的范围内,因为 FeCl₃、CaO 和电耗产生的碳排放量的下降,处理单吨绝干污泥碳排放量同比下降约 14%。

表 5 2023 年污泥处置碳排放

Tab. 5 Carbon Emissions of Sludge Disposal in 2023

厂站	脱水方式	PAM 碳排放量/ (t CO ₂)	FeCl ₃ 碳排放量/ (t CO ₂)	CaO 碳排放量/ (t CO ₂)	电耗碳排放量/ (t CO ₂)	总碳排放量/ (t CO ₂)	绝干污泥碳排放量/ [kg CO ₂ ·(t DS) ⁻¹]
北污厂	带机脱水	—	—	—	—	—	—
北污厂	板框脱水	52.155	6.635	277.056	211.830	547.677	636
高污厂	带机脱水	205.998	—	—	143.999	349.997	426
高污厂	板框脱水	627	5.481	16.484	17.050	39.641	901
南污厂	带机脱水	—	—	—	—	—	—
南污厂	板框脱水	17.029	689.520	981.240	530.550	2 218.339	462

表 6 2024 年污泥处置碳排放

Tab. 6 Carbon Emissions of Sludge Disposal in 2024

厂站	脱水方式	PAM 碳排放量/ (t CO ₂)	FeCl ₃ 碳排放量/ (t CO ₂)	CaO 碳排放量/ (t CO ₂)	电耗碳排放量/ (t CO ₂)	总碳排放量/ (t CO ₂)	绝干污泥碳排放量/ [kg CO ₂ ·(t DS) ⁻¹]
北污厂	带机脱水	—	—	—	—	—	—
北污厂	板框脱水	37.050	9.350	367.965	232.599	646.963	685
高污厂	带机脱水	129.789	—	—	41.404	171.193	582
高污厂	板框脱水	9.861	86.299	185.770	222.569	504.499	729
南污厂	带机脱水	—	—	—	—	—	—
南污厂	板框脱水	16.103	440.480	802.286	487.690	1 746.558	396

3.3 污泥协同处理模式成本分析

根据污泥协同处理模式运行阶段数据,放大至运行1年周期。污泥处理成本是污水处理单元运行管理模式的核心,能够有效降低污泥处理的运营成本,不仅事关污泥协同处理模式的推广,更是污水处理单元推行降本增效的基石^[22]。如表7所示,在污泥协同处理模式中,2025年单吨药剂费用下降,北污厂的单吨污泥处理成本下降至618元。在协同污泥处理模式中,高污厂的经济效益较好,不只是单吨药剂费用的下降;由于污泥只需要进行带机处理,不用板框设备进一步降低污泥含水率,说明由于高污厂设备使

用年限较长,污泥脱水设备效果较差,能耗较高,运营成本高。南污厂在增加板框污泥处理量的前提下,电费、运输费、处置费和维修维保费都呈现不同比例的增长趋势,高污厂和北污厂污泥中有添加药剂并且2025年单吨药剂费用下降,导致药剂费用有所下降。同时,南污厂污泥处理设备使用年限较短,设备效能高,维修成本费用相较于高污厂和北污厂较低。由于药剂费用和设备的维修维保费用的节省,南污厂处理单吨污泥成本下降了15%。如图2所示,污泥处理成本从2023年、2024年的6 483 095、6 308 926元下降至2025年的5 776 144万元。

表7 2025年污泥处置成本
Tab. 7 Cost of Sludge Disposal in 2025

厂站	药剂费/元	电费/元	运输费/元	处置费/元	维修维保费/元	费用合计/元	绝干污泥量/t	绝干污泥成本/(元·t ⁻¹)
北污厂	166 396	111 648	173 933	0	60 000	511 978	828	618
高污厂	164 837	98 990	134 561	0	60 000	458 388	585	783
南污厂	526 100	592 882	549 097	2 737 699	400 000	4 805 778	6 532	736

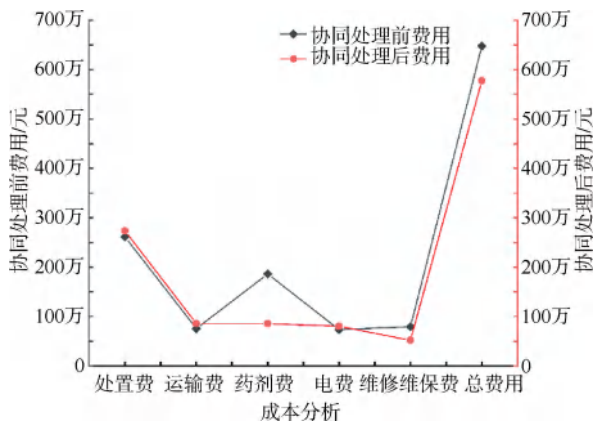


图2 污泥协同处理前后成本分析

Fig. 2 Cost Analysis before and after Sludge Co-Treatment

3.4 污泥协同处理模式碳排放分析

根据2025年污泥协同处理模式运行阶段数据,放大至运行1年周期。基于污泥协同处理模式,北污厂污泥处理过程中的碳排放得到显著降低,如表5、表7、表8计算可知,3座污水处理厂2025年污泥处置费用合计为5 776 144元,2025年碳排放

总量为2 685.591 t CO₂。北污厂从2023年碳排放总量的547.677 t CO₂下降至2025年的100.846 t CO₂,下降约82%;北污厂处理单吨污泥碳排放量从0.636 t CO₂下降至2025年的0.122 t CO₂,下降约81%。高污厂在实施污泥协同处理模式后,污泥处理产生的碳排放总量从2023年389.638 t CO₂下降至2025年的88.419 t CO₂,下降约77%。南污厂作为污泥协同处理模式的实施厂站,承担了大部分高污厂和北污厂在污泥处理单元的碳排放,南污厂污泥处理碳排放总量从2023年的2 218.339 t CO₂升高到2025年的2 496.326 t CO₂,但是处理单吨污泥碳排放量从0.462 t CO₂下降至0.382 t CO₂,下降幅度约为17%。尽管南污厂在污泥处理中产生碳排放总量升高,但由于药剂使用量的下降和设备的高效能优势,南污厂的单吨污泥处理碳排放量下降。如图3所示,污泥处理碳排放量从2023年、2024年的3 155.654、3 069.213 t CO₂下降至2025年的2 685.591 t CO₂。

表8 2025年污泥处置碳排放

Tab. 8 Carbon Emissions of Sludge Disposal in 2025

厂站	污泥协同处理车辆运输化石燃料/(t CO ₂)	PAM/(t CO ₂)	FeCl ₃ /(t CO ₂)	CaO/(t CO ₂)	电耗/(t CO ₂)	总碳排放量/(t CO ₂)	绝干污泥碳排量/[kg CO ₂ ·(t DS) ⁻¹]
北污厂	16.606	19.356	—	—	64.884	100.846	122
高污厂	11.732	19.174	—	—	57.513	88.419	151
南污厂	—	61.444	352.626	1 565.310	516.946	2 496.326	382

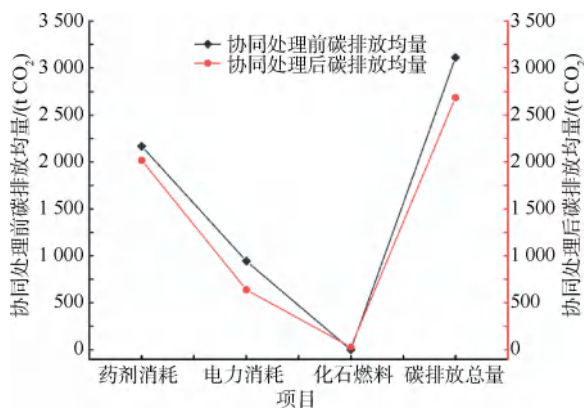


图3 污泥协同处理前后碳排放分析

Fig. 3 Carbon Emission Analysis before and after Sludge Co-Treatment

4 结论与展望

(1)实施污泥协同处理模式后,高污厂、北污厂和南污厂在2023年、2024年和2025年污泥处理总费用分别为6 483 095、6 308 926元和5 776 144元,2025年污泥处理总费用较2023年、2024年分别下降706 951、532 782元。北污厂、高污厂、南污厂在2023年、2024年处理单吨绝干污泥成本分别由1 118、1 511、891元和1 210、1 360、867元下降至2025年的618、783、736元,下降幅度明显;上述数据证明在污泥协同处理模式的运营下,污泥处理运营成本得到较大的下降,3座污水处理厂在协同污泥处理模式中,获得污泥处理运行成本上的最佳方案。

(2)实施污泥协同处理模式后,高污厂、北污厂在2023年、2024年和2025年污泥处理碳排放总量分别为3 155.654、3 069.213 t CO₂和2 685.591 t CO₂,2025年污泥处理碳排放总量较2023年、2024年分别下降约14.9%、约12.5%,2025年南污厂处理单吨绝干污泥碳排放量从2023年、2024年的0.462、0.396 t CO₂下降至0.382 t CO₂,下降幅度较大。此方案为污水处理单元减碳发展提供一种新思路,为“双碳”目标提供动力。

(3)基于污泥处理成本和碳排放总量综合分析,利用新建污水处理厂所具备的设备效能优势,实施污泥协同处理模式,可以有效降低污泥处理成本和减少碳排放总量。不仅为污水处理单元节能降耗,还能够实现减碳目标,为绿色可持续发展添砖加瓦。

(4)后续计划在运营经费允许的情况下将北污厂、高污厂板框压滤机进行板框设备更新,以进一步节约污泥处置成本,避免设备闲置。同时建议拟开展类似项目的地区和水务公司在经费充裕时,对老厂设备进行直接更新,从根本上提升效能。

参考文献

- [1] 王航,王先恺,陈祥,等. 城市有机固体废弃物协同处置碳排放分析[J]. 环境工程, 2024, 42(2): 66-72.
Wang H, Wang X K, Chen X, et al. Carbon emission analysis of collaborative treatment of municipal organic solid waste [J]. Environmental Engineering, 2024, 42(2): 66-72.
- [2] 潘云川,吕学斌,陶姣,等. 污泥预处理与资源回收利用技术研究进展[J]. 应用化工, 2024, 53(4): 900-905.
Pan Y C, Lü X B, Tao J, et al. Research progress of sludge pretreatment and resource recycling technology [J]. Applied Chemical Industry, 2024, 53(4): 900-905.
- [3] 郜佳琪,华煜,陈淑娴,等. 城镇污泥磷回收制备电池级磷酸铁研究进展[J]. 环境工程, 2025, 43(9): 198-208.
Gao J Q, Hua Y, Chen S X, et al. A review on preparation of battery-grade iron phosphate precursor from sludge phosphorus recovery [J]. Environmental Engineering, 2025, 43(9): 198-208.
- [4] 古励,盛国荣,潘伟亮,等. 城市污水处理厂污泥特征分析及针对性减量方案[J]. 净水技术, 2025, 44(11): 91-97.
Gu L, Sheng G R, Pan W L, et al. Characteristics analysis of urban WWTPs sludge and targeted scheme for sludge reduction [J]. Water Purification Technology, 2025, 44(11): 91-97.
- [5] 李雪怡,彭溶,王侨,等. 燃煤电厂协同焚烧城镇污水处理厂污泥特性研究[J]. 中国给水排水, 2025, 41(18): 29-33.
Li X Y, Peng R, Wang Q, et al. Study on characteristics of sludge from urban sewage treatment plants co-incineration with coal-fired power plants [J]. China Water & Wastewater, 2025, 41(18): 29-33.
- [6] 崔晗,王玉亭,李华杰,等. 城镇污水处理过程的多角度综合评价研究进展[J]. 过程工程学报, 2024, 24(1): 1-16.
Cui H, Wang Y T, Li H J, et al. Research progress on multi-objective comprehensive evaluation of urban wastewater treatment processes [J]. The Chinese Journal of Process Engineering, 2024, 24(1): 1-16.
- [7] 陈娟娟,李伟斌,黄鸥,等. 基于降本增效目标的污水处理厂低碳运行调控策略[J]. 工业水处理, 2024, 44(8): 53-60.
Chen J J, Li W B, Huang O, et al. Low-carbon strategy for wastewater treatment plants based on cost reduction and efficiency improvement [J]. Industrial Water Treatment, 2024, 44(8): 53-60.
- [8] 纪龙涛,顾敦罡,陆嘉麒,等. 污泥处理处置技术的生命周期评价研究进展[J]. 应用化工, 2024, 53(4): 969-973.
Ji L T, Gu D G, Lu J Q, et al. Research progress on life cycle assessment of sludge treatment and disposal [J]. Applied

- Chemical Industry, 2024, 53(4): 969-973.
- [9] 路恒, 王超, 张彬, 等. 我国市政污泥处理处置行业政策现状及存在的问题探讨[J]. 建设科技, 2024(2): 78-80.
Lu H, Wang C, Zhang B, et al. Discussion on policy status and existing problems of municipal sludge treatment and disposal industry in China [J]. Construction Science and Technology, 2024(2): 78-80.
- [10] 何磊. 南方某市污泥处理处置现状及对策研究[J]. 城市道桥与防洪, 2025(8): 205-210.
He L. Study on present situation and countermeasures of sludge treatment and disposal in a southern city [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2025(8): 205-210.
- [11] 魏伟. 污水厂污泥处理处置与资源化技术概述[J]. 当代化工研究, 2025(17): 82-84.
Wei W. Overview of sewage plant sludge treatment, disposal and resource utilization technology [J]. Modern Chemical Research, 2025(17): 82-84.
- [12] 宋雨荷. 城市污水处理厂中污泥的资源化利用技术研究[J]. 环境与生活, 2025(8): 70-72.
Song Y H. Study on resource utilization technology of sludge in municipal sewage treatment plant [J]. Green Living, 2025(8): 70-72.
- [13] 于金旗, 孙磊, 刘然彬, 等. 污水处理厂减污降碳技术探讨[J]. 水处理技术, 2024, 50(4): 18-25.
Yu J Q, Sun L, Liu R B, et al. Discussion on pollution reduction and carbon reduction technology in sewage treatment plant [J]. Technology of Water Treatment, 2024, 50(4): 18-25.
- [14] 李雅, 裴璐瑶, 王建科, 等. 市政污泥热压脱水特性研究[J]. 环境科学与技术, 2025, 48(10): 128-134.
Li Y, Pei L Y, Wang J K, et al. Research on the characteristics of hot-press dewatering of municipal sludge [J]. Environmental Science & Technology, 2025, 48(10): 128-134.
- [15] 李丽萍, 颜蓓蓓, 王智, 等. 污泥脱水技术研究进展及碳排放比较分析[J]. 中国环境科学, 2024, 44(6): 3259-3269.
Li L P, Yan B B, Wang Z, et al. Comparative analysis of sludge dewatering technology from research progress and carbon emission [J]. China Environmental Science, 2024, 44(6): 3259-3269.
- [16] 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.
- [17] 韩景超, 张振洲, 李金波, 等. 我国污泥处理处置行业政策及标准发展现状研究及建议[J]. 环境与发展, 2024, 36(3): 1-6.
Han J C, Zhang Z Z, Li J B, et al. Research and suggestions on the development of policies and standards for sludge treatment and disposal industry in China [J]. Environment and Development, 2024, 36(3): 1-6.
- [18] Pan Y, Li P, Song K, et al. New model for evaluating greenhouse gas emissions from sludge treatment based on fossil and biogenic carbon migration [J]. Journal of Cleaner Production, 2023, 425: 138845. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.138845.
- [19] Twagirayezu E, Luo X, Fan L Z, et al. Operational data-based greenhouse gas analysis for wastewater and sludge treatment at a megacity level [J]. Journal of Cleaner Production, 2025, 532: 146894. DOI: 10.1016/j.jclepro.2025.146894.
- [20] Jin L Y, Zhang G M, Zheng X. Effects of different sludge disintegration methods on sludge moisture distribution and dewatering performance [J]. Journal of Environmental Sciences, 2015, 28: 22-28. DOI: 10.1016/j.jes.2014.06.040.
- [21] Wang H M, Liu X M, Zhang Z Q. Approaches for electroplating sludge treatment and disposal technology: Reduction, pretreatment and reuse [J]. Journal of Environmental Management, 2024, 349: 119535. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.119535.
- [22] Liu Y, Zhou J Z, Lu S F, et al. Towards the New Era of sewage sludge management in China: Status, challenges, and perspectives [J]. Process Safety and Environmental Protection, 2025, 198: 107201. DOI: 10.1016/j.psep.2025.107201.

(上接第 71 页)

- Bardenpho and AAO process for nitrogen and phosphorus removal [J]. Water & Wastewater Engineering, 2024, 50(S1): 163-165, 169.
- [14] 樊杰, 陶涛, 游桂林, 等. A-A²/O 工艺处理低浓度城市污水的效果分析[J]. 中国给水排水, 2008, 24(23): 16-19.
Fan J, Tao T, You G L, et al. Performance analysis of A-A²/O process for treatment of low-strength municipal wastewater [J]. China Water & Wastewater, 2008, 24(23): 16-19.
- [15] 邓仁健, 宋雨佳, 任伯帆, 等. 基于灵敏度分析的 ASM2d 数学模型参数集校核方法[J]. 中国给水排水, 2022, 38(11): 83-90.
Deng R J, Song Y J, Ren B Z, et al. Check method of ASM2d mathematical model parameter set based on sensitivity analysis [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(11): 83-90.
- [16] Melcer H. Methods for wastewater characterization in activated sludge modeling [M]. London: IWA Publishing, 2005.
- [17] 龚晓露. 大型污水处理厂集约式多段 AAO 低耗工艺设计[J]. 净水技术, 2023, 42(12): 162-168.
Gong X L. Design of integrated multi-stage AAO process with low consumption for large WWTP [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(12): 162-168.