

# 郑州某污水处理厂碳排放监测研究

程顺利<sup>1\*</sup>, 刘文科<sup>2</sup>, 王语林<sup>3</sup>, 王强<sup>3</sup>

1. 河南省科学院, 河南 郑州 450046

2. 重庆工商大学环境与资源学院, 重庆 400067

3. 国家电投集团远达环保工程有限公司, 重庆 401122

DOI:10.61369/WCEST.2025090012

**摘要 :** 随着全球气候变化问题的日益严峻, 污水处理过程中产生的温室气体排放已成为环境科学的研究热点。本研究以郑州市某污水处理厂为研究对象, 通过实时监测和分析其运行过程中的碳排放情况。结果发现郑州某污水处理厂的CO<sub>2</sub>排放当量为103.65 kg/d, CH<sub>4</sub>的排放当量为166.64 kg/d, N<sub>2</sub>O的排放当量为203.46kg/d, 全厂合计每天共排放473.75 kg CO<sub>2</sub>eq。从排放当量看, N<sub>2</sub>O是污水处理厂最大的温室气体排放源。CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O的排放趋势基本一致, 均在好氧池排放量较大, N<sub>2</sub>O在二沉池排放量也较高。此外CH<sub>4</sub>在曝气沉砂池、好氧池的排放量较大。基于这些发现, 本研究提出了针对性的减排措施, 并对未来的研究方向进行了展望。

**关键词 :** 污水处理; 碳排放; 监测; 减排

## Research on Carbon Emission Monitoring of a Sewage Treatment Plant in Zhengzhou

Cheng Shunli<sup>1\*</sup>, Liu Wenke<sup>2</sup>, Wang Yulin<sup>3</sup>, Wang Qiang<sup>3</sup>

1. Henan Academy of Sciences, Zhengzhou , Henan 450046

2. College of Environment and Resources, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067

3. State Power Investment Corporation Yuanda Environmental Protection Engineering Co., LTD., Chongqing 401122

**Abstract :** With the increasingly severe global climate change issue, greenhouse gas emissions generated during the sewage treatment process have become a hot topic in environmental science research. This study takes a sewage treatment plant in Zhengzhou City as the research object and conducts real-time monitoring and analysis of its carbon emissions during operation. It was found that the CO<sub>2</sub> emission equivalent of a certain sewage treatment plant in Zhengzhou was 103.65 kg/d, the CH<sub>4</sub> emission equivalent was 166.64 kg/d, and the N<sub>2</sub>O emission equivalent was 203.46kg/d. The total daily emissions of the entire plant were 473.75 kg of CO<sub>2</sub>eq. In terms of emission equivalent, N<sub>2</sub>O is the largest source of greenhouse gas emissions from sewage treatment plants. The emission trends of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O are basically the same, with larger emissions in the aerobic tank and higher emissions of N<sub>2</sub>O in the secondary sedimentation tank. In addition, the discharge volume of CH<sub>4</sub> in the aeration grit chamber and aerobic tank is relatively large. Based on these findings, this study proposed targeted emission reduction measures and looked forward to future research directions.

**Keywords :** sewage treatment; carbon emissions; monitoring; emission reduction

## 引言

在全球气候变化的大背景下, 减少温室气体排放成为各国共同面临的挑战。污水处理作为城市基础设施的重要组成部分, 在改善水质的同时, 也伴随着能源消耗和碳排放问题。研究表明, 污水处理厂的运营活动, 尤其是能耗密集的处理工艺, 会释放大量的二氧化碳、甲烷等温室气体<sup>[1]</sup>。因此, 开展污水处理厂的碳排放监测, 对于理解和控制这一行业的碳足迹具有重要意义。此外, 通过监测数据的分析, 可以为污水处理厂的节能减排提供科学依据, 进而推动绿色低碳技术的发展和应用。

近年来, 国际上对污水处理过程中碳排放的研究逐渐增多。学者们主要关注于污水处理过程中的能量平衡、物质转化以及温室气体的产生机理<sup>[2]</sup>。例如, 一些研究集中在活性污泥法中的微生物代谢活动对甲烷和亚硝酸盐氧化还原反应的影响。国内研究则更侧重于实际工程案例的碳排放核算和节能潜力分析<sup>[3]</sup>。然而, 目前关于污水处理厂全面碳排放监测的研究仍然较少, 尤其是在中国, 缺乏系统的

监测方法和长期的监测数据积累，特别是对于处理量较小的污水处理厂，其排放规律研究较为缺乏。

鉴于此，本研究旨在填补该领域的研究空白，通过对郑州某污水处理厂进行全面的碳排放监测，揭示其碳排放的特征和规律。具体内容包括：（1）解析污水处理厂的碳排放监测规律；（2）提出基于监测结果的减排建议。通过本研究，期望为污水处理厂的环境管理和政策制定提供科学依据，同时为相关领域的研究者提供参考。

## 一、材料与方法

### （一）研究区域概况

本研究选取位于郑州的一家日处理小于5千吨的小型污水处理厂作为研究对象。该厂采用传统的活性污泥法（A<sup>2</sup>O工艺）进行污水处理，包括初级沉淀、生物反应、二级沉淀等主要步骤。厂区内外设有完善的自动化监控系统，能够实时记录各项操作参数。

### （二）实验材料

实验所用材料主要包括用于校准仪器的标准气体（CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O），以及用于样品保存和运输的容器。所有化学试剂均为分析纯或更高纯度，确保实验结果的准确性。

### （三）实验设备与仪器

碳排放的监测使用了高精度的红外气体分析仪，该仪器能够准确测定CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O的浓度。此外，还使用了便携式气象站来记录风速、风向、温度、湿度等气象数据，以便后续数据分析时考虑天气条件的影响。数据采集系统用于连续记录监测数据，并通过无线网络传输至中央数据库。

### （四）监测方法

碳排放的监测遵循了国际通行的方法学标准<sup>[4]</sup>。具体而言，采用了静态箱法结合动态通量室法来估算不同处理单元的气体排放量<sup>[5]</sup>。每个关键处理单元均设置了多个采样点，以确保数据的代表性和可靠性。

## 二、结果

### （一）水体温室气体浓度测定结果

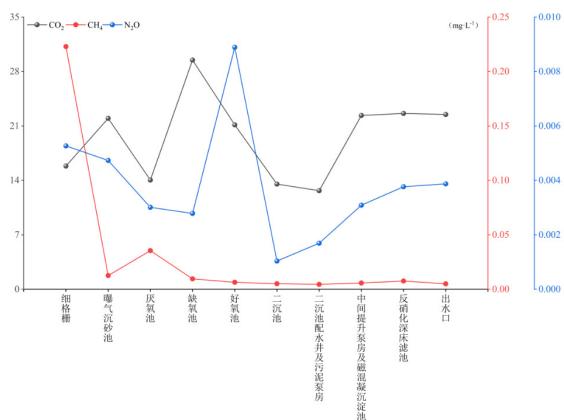


图1 污水处理厂水体中CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O的水体浓度

图1所示为期污水处理厂水体中CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O在水体中的浓度。从图中可知，CO<sub>2</sub>浓度变化范围为10.21–39.48 mg/L，

且呈现先增长后降低趋势；N<sub>2</sub>O浓度变化范围为0.001–0.078 mg/L，沿层变化与CO<sub>2</sub>的变化趋势一致。CH<sub>4</sub>浓度变化范围为0.0023–0.34 mg/L，且呈现沿程降低趋势，其原因可能是沿程CH<sub>4</sub>被氧化。

### （二）排放通量结果

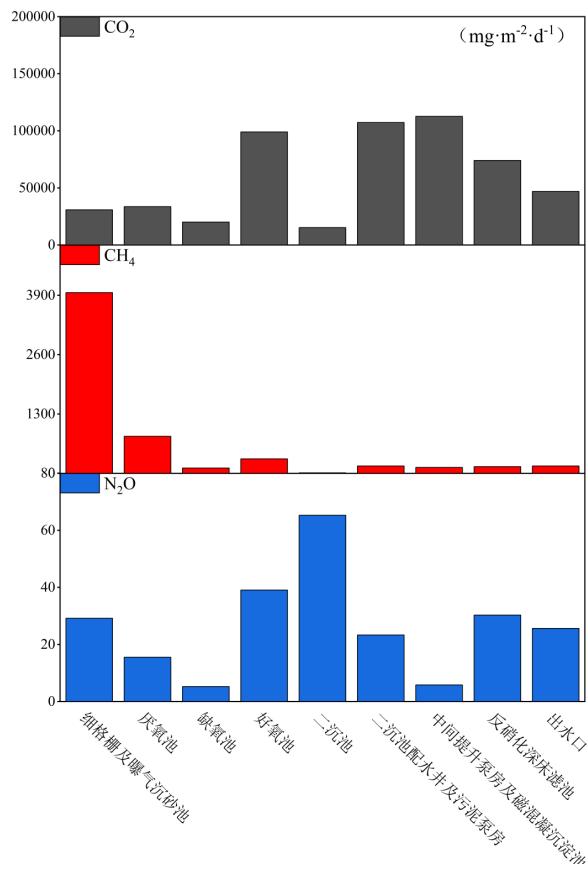


图2 排放通量结果

图2 所示为污水处理厂CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O排放通量。通量变化幅度为CO<sub>2</sub>>CH<sub>4</sub>>N<sub>2</sub>O，其中CO<sub>2</sub>通量变化范围在7932.40–198368.52 mg/m<sup>2</sup>/d；N<sub>2</sub>O通量变化范围在0.78–131.49 mg/m<sup>2</sup>/d；CH<sub>4</sub>通量变化范围在9.73–5230.72 mg/m<sup>2</sup>/d。同时，CO<sub>2</sub>通量在好氧池、二沉池、磁混凝沉淀池部分通量较高，N<sub>2</sub>O在好氧池、二沉池部分通量较高，CH<sub>4</sub>在曝气沉砂池部分通量较高。

### （三）排放量结果

表1显示是污水处理厂CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O全厂实际排放量。CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O全厂排放量分别为1036578.73 g/d、6104.20 g/d、745.29 g/d。其中CO<sub>2</sub>排放量最大，变化范围为17264.81–631809.13 g/d；N<sub>2</sub>O的变化范围为0.41–421.5 g/d；CH<sub>4</sub>排放量变化范围为2.78–2367.57 g/d。图3所示为污水处理厂不同处理单

元  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  排放量变化。 $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  的排放趋势基本一致，均在好氧池排放量较大， $\text{N}_2\text{O}$  在二沉池排放量也较高。此外  $\text{CH}_4$  在曝气沉砂池、好氧池的排放量较大。

表1 污水处理厂二期  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  全厂实际排放量

| 名称                   | 全厂排放量 (g/d) | 排放当量 $\text{CO}_2\text{eq}$ (kg/d) |
|----------------------|-------------|------------------------------------|
| $\text{CO}_2$        | 1036578.73  | 103.65                             |
| $\text{N}_2\text{O}$ | 745.29      | 203.46                             |
| $\text{CH}_4$        | 6104.20     | 166.64                             |
| 合计                   |             | 473.75                             |

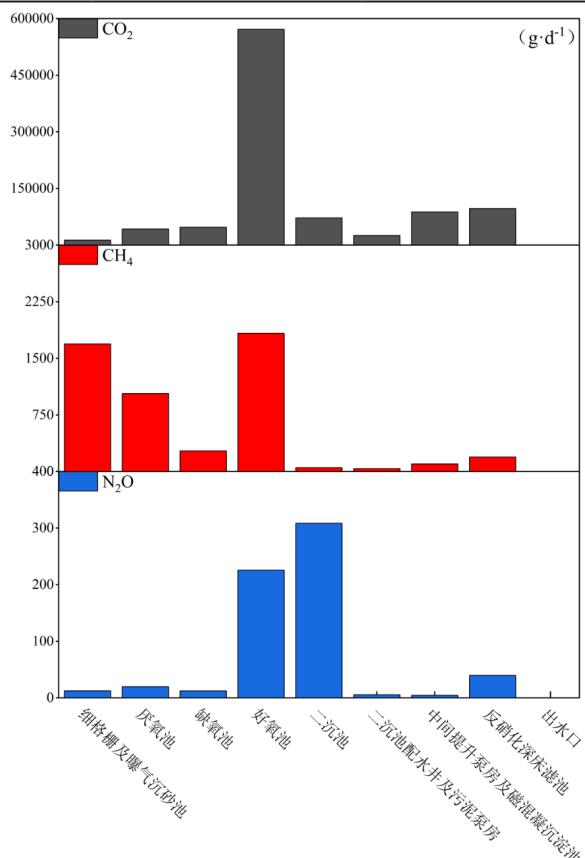


图3所示为污水处理厂不同处理单元  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  排放量变化

#### (四) 减排潜力与建议

基于本研究的发现，提出以下减排建议：首先，优化厌氧消化过程，通过改进搅拌和加热系统，提高沼气的捕获效率，减少甲烷逸散。其次，调整曝气策略，避免不必要的过度曝气，同时探索使用高效节能的曝气设备。再次，加强污泥管理，采用先进的污泥减量化技术，减少污泥处理过程中的能源消耗。最后，实施综合能源管理计划，提高整体能源利用效率，降低碳排放强度。通过这些措施的实施，有望显著降低污水处理厂的碳排放，为实现可持续发展目标做出贡献。

将本研究的结果与其他类似研究进行比较，可以发现一些共性和差异，这可能是由于地理位置、气候条件、污水处理工艺和管理水平的不同所致<sup>[5-8]</sup>。尽管本研究提供了有关污水处理厂碳排放的宝贵信息，但仍存在一定的局限性。例如，监测周期的限制可能未能完全捕捉到极端天气事件对碳排放的影响<sup>[9]</sup>。此外，由于资源和设备的限制，本研究未能涵盖所有潜在的碳排放途径。未来的研究应考虑更长时间的监测，以及更广泛的排放源，以便更准确地评估污水处理厂的整体碳足迹<sup>[10]</sup>。同时，鼓励开展跨区域和跨国界的合作研究，以促进全球范围内污水处理行业碳排放的标准化监测和减排技术的发展。

### 三、结论

郑州某污水处理厂的  $\text{CO}_2$  排放当量为 103.65 kg/d， $\text{CH}_4$  的排放当量为 166.64 kg/d， $\text{N}_2\text{O}$  的排放当量为 203.46 kg/d，全厂合计每天共排放 473.75 kg  $\text{CO}_2\text{eq}$ 。从排放当量看， $\text{N}_2\text{O}$  是污水处理厂二期最大的温室气体排放源。 $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  的排放趋势基本一致，均在好氧池排放量较大， $\text{N}_2\text{O}$  在二沉池排放量也较高。此外  $\text{CH}_4$  在曝气沉砂池、好氧池的排放量较大。

### 参考文献

- [1] 刘红光, 范晓梅, 刘卫东. 城市活动碳足迹计量及其对城市规划的启示——以北京市为例 [J]. 城市规划, 2012, 36, 45-50.
- [2] 夏天虹, 张清东, 董桂君. 小城镇污水处理厂生命周期的碳排放评估 [J]. 四川环境, 2018, 37, 135-140.
- [3] 杨健, 陆雍森, 施鼎方. 运用生命周期分析(LCA)评估和选择废水处理工艺 [J]. 工业用水与废水, 2000, 4-6.
- [4] 于小迪, 董大海, 张晓飞. 产品碳足迹及其国内外发展现状 [J]. 经济研究导刊, 2010, 182-183.
- [5] Aboobakar A, Cartmell E, Stephenson T, et al. Nitrous oxide emissions and dissolved oxygen profiling in a full-scale nitrifying activated sludge treatment plant[J]. Water Research, 2013, 47(2):524-534.
- [6] Daelman M R, van Voorthuizen E M, van Dongen U G, et al. Methane emission during municipal wastewater treatment[J]. Water Research, 2012, 46(II):3657-3670.
- [7] Yan X, Li L, Liu J. Characteristics of greenhouse gas emission in three full-scale wastewater treatment processes[J]. Journal of Environmental Sciences, 2014, 26(2): 256-263.
- [8] 张代钧, 卢迎波, 成连虎. 污水处理厂碳排放及其削减途径研究 [J]. 中国给水排水, 2023, 39(18):13-19.
- [9] 刘杨, 孙晓杰, 王文国等. ASM2D 模型模拟污水处理过程碳排放的研究 [J]. 山东化工, 2023, 52(17):232-235.
- [10] 李豪, 徐祖信, 尹海龙等. 我国城镇污水处理厂碳排放核算研究进展 [J]. 环境污染与防治, 2023, 45(02):252-257+263.