

# 基于有机废水作为碳源补充的改良型A<sup>2</sup>/O工艺 污染物去除效果研究

杨文龙<sup>1</sup>, 任国杨<sup>1</sup>, 刘志本<sup>1</sup>, 刘慧<sup>2</sup>, 王帅兵<sup>2</sup>, 李嘉<sup>2</sup>, 赵斌<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>昆明粤海水务有限公司, 云南 昆明

<sup>2</sup>玉溪师范学院, 化学生物与环境学院, 云南 玉溪

收稿日期: 2023年12月1日; 录用日期: 2024年1月1日; 发布日期: 2024年1月8日

## 摘要

本研究采用改良型A<sup>2</sup>/O工艺, 结合进水碳源和出水总氮, 采取多段进水方式, 保证厌氧释磷和缺氧区的反硝化良好进行, 确定生化池运行的最佳内回流比为前缺氧区回流比100%, 后缺氧区回流比200%。高浓度可生化有机废水作为碳源投加时, 改良型A<sup>2</sup>/O工艺出水效果较稳定。

## 关键词

改良型A<sup>2</sup>/O工艺, 回流比, 复合有机碳源

# Research on the Pollutant Removal Efficiency of an Improved A<sup>2</sup>/O System Based on Organic Wastewater as a Carbon Source Supplement

Wenlong Yang<sup>1</sup>, Guoyang Ren<sup>1</sup>, Zhiben Liu<sup>1</sup>, Hui Liu<sup>2</sup>, Shuaibing Wang<sup>2</sup>, Jia Li<sup>2</sup>, Bin Zhao<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Kunming Yuehai Water Co., Ltd., Kunming Yunnan

<sup>2</sup>College of Chemistry, Biology and Environment, Yuxi Normal University, Yuxi Yunnan

Received: Dec. 1<sup>st</sup>, 2023; accepted: Jan. 1<sup>st</sup>, 2024; published: Jan. 8<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

This study adopted an improved A<sup>2</sup>/O system, combined with influent carbon source and effluent

\*通讯作者。

文章引用: 杨文龙, 任国杨, 刘志本, 刘慧, 王帅兵, 李嘉, 赵斌. 基于有机废水作为碳源补充的改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺污染物去除效果研究[J]. 环境保护前沿, 2024, 14(1): 1-7. DOI: 10.12677/aep.2024.141001

total nitrogen, and adopted a multi-stage influent method to ensure good anaerobic phosphorus release and denitrification in the anoxic zone. The optimal internal reflux ratio for the operation of the biochemical tank was determined to be 100% in the front anoxic zone and 200% in the back anoxic zone. When high concentration biodegradable organic wastewater was added as a carbon source, the improved A<sup>2</sup>/O system has a relatively stable effluent effect.

## Keywords

Improved A<sup>2</sup>/O System, Reflux Ratio, Composite Organic Carbon Source

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

A<sup>2</sup>/O 工艺(厌氧 - 好氧 - 缺氧)是一种常用污水处理工艺, 主要用于处理城镇生活污水中的有机物和营养物质。然而, 碳源不足是 A<sup>2</sup>/O 工艺面临的一个重要问题。中国现有城市污水处理设施较多表现出运行能力不足、无法满足处理需求等问题, 这部分原因可能是由于碳源不足所引起[1]。已有研究也表明, 碳源不足可能导致硝化速率降低, 从而影响 A<sup>2</sup>/O 工艺的氮去除效率[2]。为了解决污水处理中碳源不足的问题, 需外加碳源。已有研究发现, 使用有机废水作为外加碳源可以有效地提高硝酸盐盐还原效率[3]。2020 年底, 生态环境部与国家市场监督管理总局联合发布了《啤酒工业污染物排放标准》(GB 19821-2005) 修改单, 允许啤酒制造企业与下游污水处理厂签订具有法律效力的书面合同, 共同约定水污染物排放浓度限值, 不再受纳管排污标准的限制, 为生化性较强高浓度有机废水资源化利用提供了积极引导。投加碳源会增加大量的脱氮成本和管理难度, 选择脱氮高效且经济可行的外加碳源是污水厂面临的焦点[4]。本研究采用工艺具有较高的脱氮效率和碳源利用率, 但受到各种因素的制约, 特别是碳源不足的季节, 严重制约脱氮效率, 影响生产运行。为确保水质稳定达标排放, 需在优化工艺基础上, 完善碳源精准投加, 以达到节能降耗和稳定出水水质的目的。本研究利用工业园区酒厂、糖厂等产生的高浓度可生化有机废水作为外加碳源[5] [6], 研究改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺对污水中主要污染物的去除效果, 以期为污水处理厂“以废治废”路径提供借鉴。

## 2. 改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺污水处理厂概况

本研究污水处理厂采用改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺, 即运行 Bardenpho 工艺(可切换 UCT 工艺), 出水执行 DB5301/T43-2020《城镇污水处理厂主要水污染物排放限值》B 级标准, 即 TN ≤ 10 mg/L。污水处理厂设计规模为 1 万 m<sup>3</sup>/d, 进水为某工业园区生活污水和部分经预处理的工业生产废水。改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺具有较高的脱氮效率和碳源利用率, 但受到各种因素的制约, 特别是碳源不足(C/N < 6)的季节, 严重制约脱氮效率, 影响出水水质。改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺污水处理厂处理工艺见图 1。

## 3. 实验过程与方法

不为优化改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺, 改进碳源投加装置, 提高碳源利用率, 稳定 TN 达标排放[7], 结合工艺和来水碳源, 合理分配进水碳源, 确定碳源的合理投加位置及内回流比, 控制碳源精准投加, 从而节约碳源、稳定运行参数, 确保水质达标排放。结合进水碳源和出水总氮, 采取多段进水方式, 保证厌氧释

磷和缺氧区的反硝化良好进行,最终确定生化池运行的最佳内回流比为前缺氧区回流比 100%,后缺氧区回流比 200%。本研究实验时间为 2023 年 3 月至 2023 年 5 月,实验周期内共完成了 7 次水样采集及水样检测工作,主要检测项目包括总磷(P, mg/L)、总氮(N, mg/L)、氨态氮(N, mg/L)、硝态氮(N, mg/L)、TOC。实验过程中根据进水浓度,每天需要消耗复合碳源 200~300 kg,其中酒厂、糖厂等产生的高浓度可生化有机废水作为碳源的投加比例占 70%,其余 30%碳源使用乙酸钠[8]。

实验期间为定量改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺的污染物去除效果,在生化系统设置 7 个采样点位,分别为:① 进水口(粤海 1#)、② 前厌氧区(粤海 2#)、③ 前缺氧区(粤海 3#)、④ 前好氧区(粤海 4#)、⑤ 后缺氧区(粤海 5#)、⑥ 后好氧区(粤海 6#)、⑦ 出水口(粤海 7#),采样点位分布见图 2。

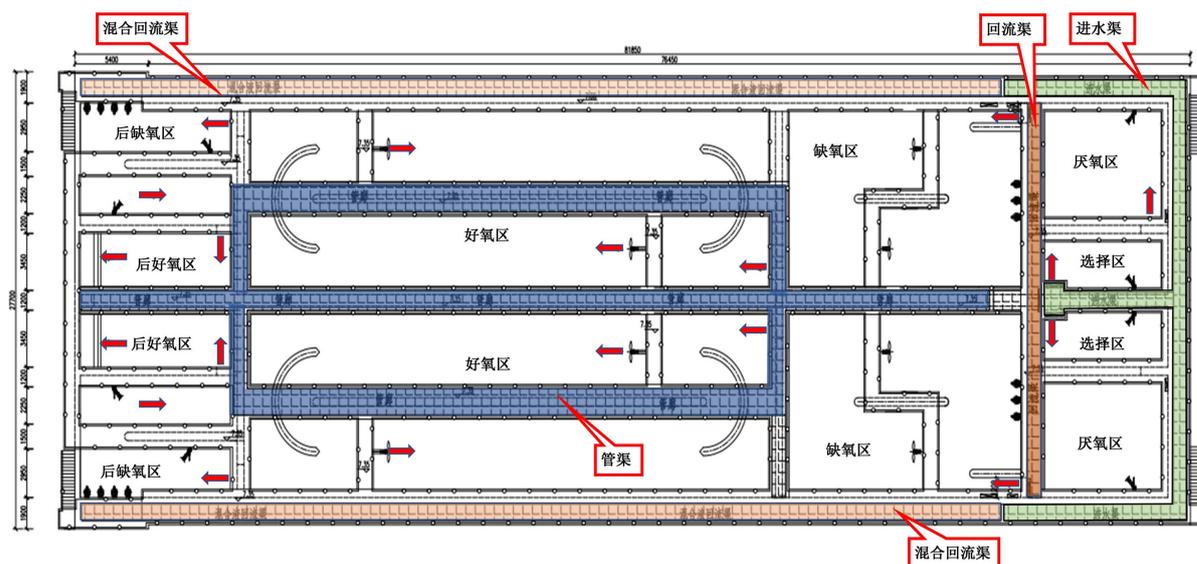


Figure 1. Floor plan of the improved A<sup>2</sup>/O process biochemical system

图 1. 改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺生化系统平面布置图

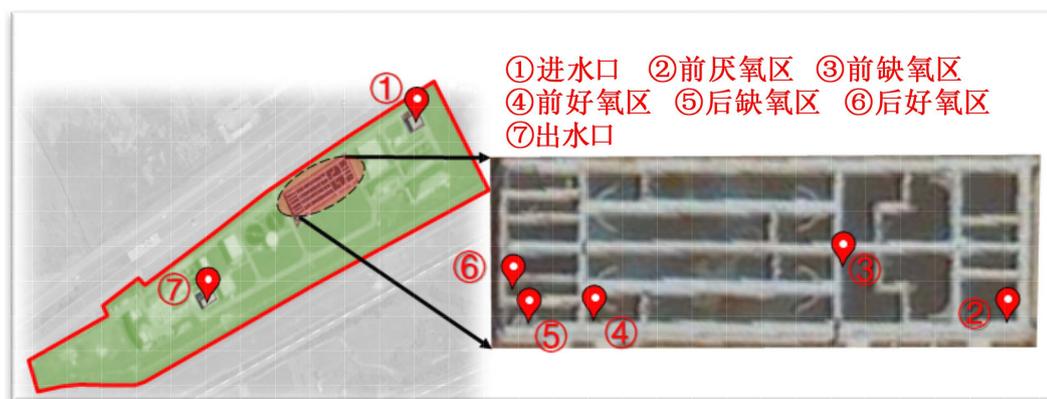


Figure 2. Improved A<sup>2</sup>/O process sampling point distribution diagram

图 2. 改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺采样点分布图

## 4. 分析与讨论

### 4.1. 改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺氮去除效果分析

总氮含量高会导致改良型 A<sup>2</sup>/O 污水处理系统中的反硝化作用减弱,从而影响氮的去除效果。可能引

起改良型 A<sup>2</sup>/O 污水处理系统中的缺氧区域扩大, 从而影响反硝化作用进行。会使得改良型 A<sup>2</sup>/O 污水处理系统中的好氧区域中的硝化作用减弱, 从而影响氮的去除效果。高浓度的总氮会导致污泥中的异养微生物数量增加, 从而影响污泥的沉降性能, 进而影响系统的稳定性。除此之外还会影响系统中的 pH 值, 从而影响微生物的生长和代谢。

如图 3 所示, 实验周期内改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺, 出水稳定在 7 mg/L 以下, 总氮去除率在 72.3%~89.5% 之间, 出水满足 DB5301/T43-2020 《城镇污水处理厂主要水污染物排放限值》B 级标准, 总氮出水水质较稳定, 优于同类工艺污染物去除效果[9] [10]。

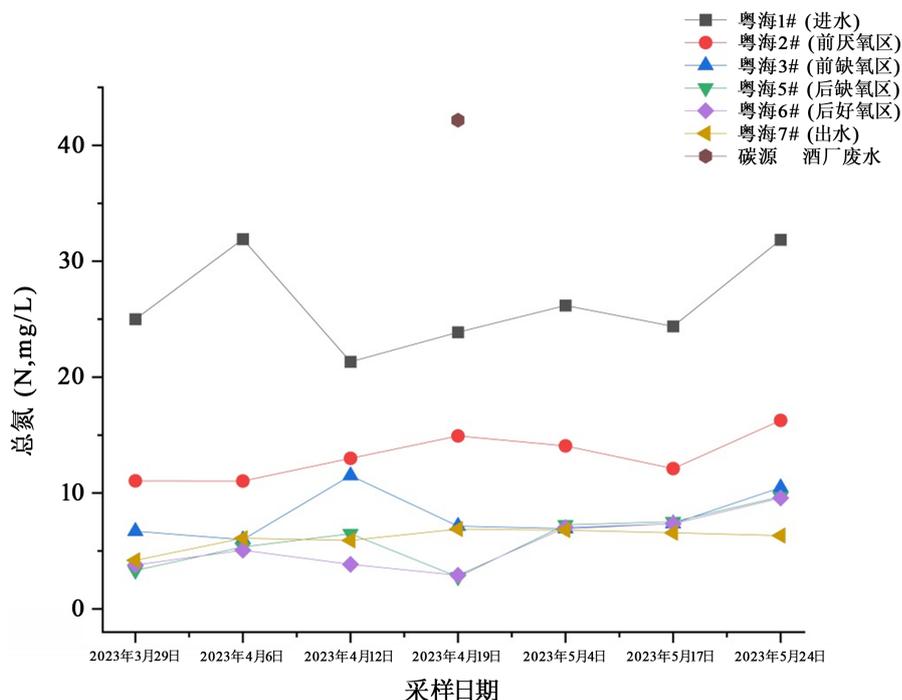


Figure 3. The change trend of total nitrogen at each sampling point during the experimental period  
图 3. 实验周期内各采样点总氮变化趋势图

在好氧反应池中, 当污水中的氨态氮浓度过高时, 会抑制好氧菌的生长, 降低整个好氧处理系统的处理效率。氨态氮含量高的污水进入活性污泥池后, 会改变污泥的性质, 影响沉淀和压缩性能, 会影响微生物的生长和代谢, 降低脱氮效果, 从而导致反硝化作用受到抑制, 影响污水处理效果。氨态氮浓度过低会导致硝化作用不足, 影响污水处理效果。氨态氮浓度变化较大会影响系统的稳定性, 增加操作难度。由图 4 可看到, 粤海 1#(进水)、粤海 2#(前厌氧区)和粤海 3#(前缺氧区)的氨氮含量变化较大, 随着后续工艺的处理, 氨氮含量变化趋势较稳定, 表现出系统对氨态氮较好的去除效果及缓冲性能。

硝酸盐对聚磷细菌在厌氧条件下的释磷有抑制作用, 由于聚磷菌、硝化菌、反硝化菌及其他多种微生物共同生长在一个系统内, 并在整个系统内循环, 不可避免地使得硝酸盐随好氧段回流的污泥进入厌氧池, 严重地影响了聚磷菌的释磷效率, 尤其当进水中挥发性有机物较少, 污泥负荷较低时, 硝酸盐的存在甚至会导致聚磷菌直接吸磷。由图 5 可以看到, 实验周期内粤海 7#(出水)采样点硝态氮的含量较其他采样点高, 粤海 1#(进水)采样点相对较低, 表现出出水氮形态由氨态氮转化为硝态氮的趋势, 总体表现出硝态氮降低的趋势。

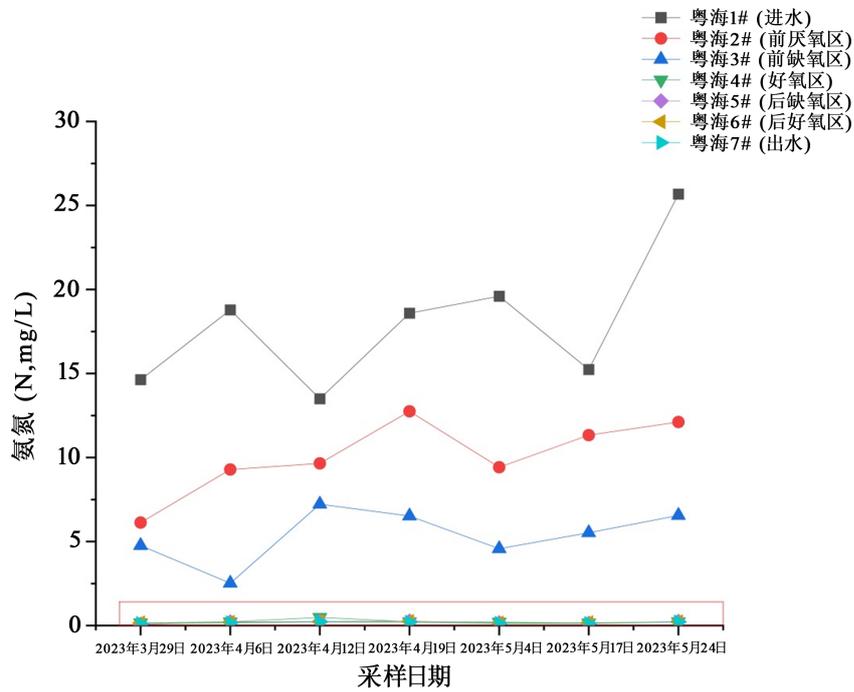


Figure 4. Ammonia nitrogen change trend chart at each sampling point during the experimental period  
图 4. 实验周期内各采样点氨态氮变化趋势图

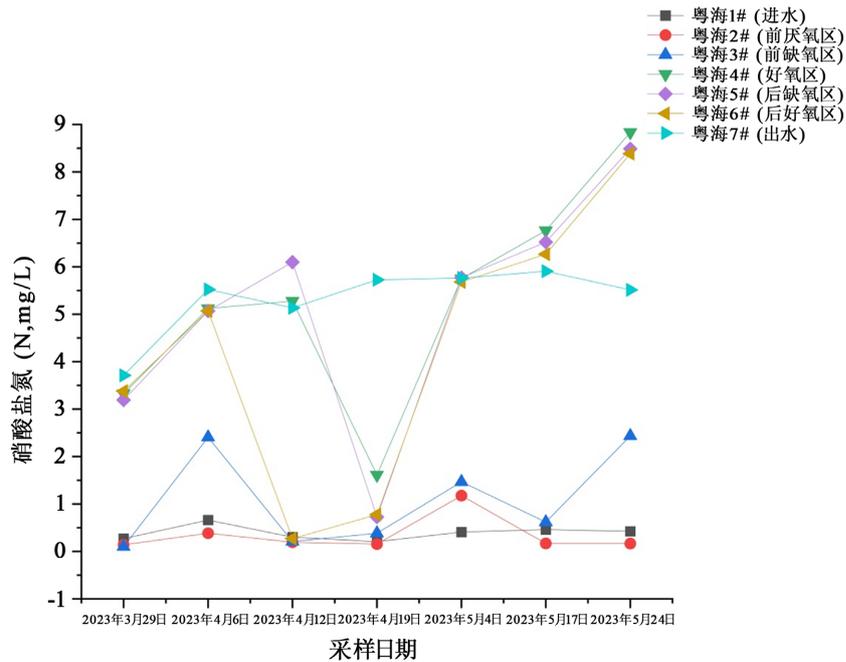


Figure 5. Trend chart of nitrate nitrogen changes at each sampling point during the experimental period  
图 5. 实验周期内各采样点硝态氮变化趋势图

#### 4.2. 改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺总磷去除效果分析

总磷含量过高会导致改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺中的生物膜过度生长, 降低系统的处理效率, 同时会影响改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺系统中的硝化反应, 从而影响系统的氮去除效率, 影响系统的污泥处理效率, 从而造成系统

的磷沉淀效率下降。图 6 除常规采样点外,对改良型 A<sup>2</sup>/O 工投加的外加碳源(酒厂废水、糖厂废水等)进行分析检测,有机废水碳源存在较高的总磷含量,表明投加有机废水可以一定量的补充工艺所需营养源,可减少如乙酸钠等外加碳源的使用量,以达到以废治废、降低运行费用的目的。工艺采样点中除粤海 1#(进水)总磷变化较大,粤海 7#(出水)总磷含量较稳定,其他采样点呈现出总磷含量逐渐降低的趋势,出水总磷含量优于地表 V 类水功能,表现出系统良好的磷处理性能。

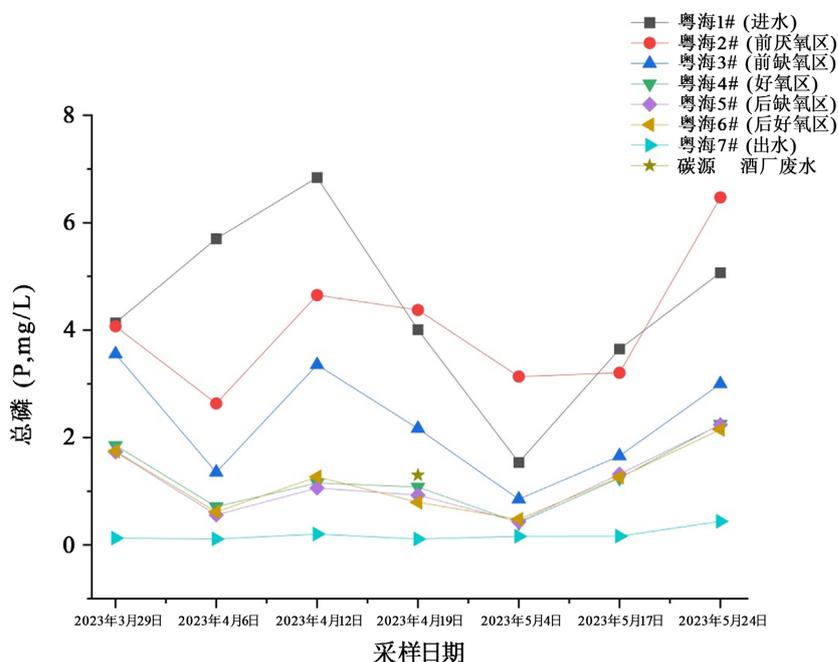


Figure 6. Change trend of total phosphorus at each sampling point during the experimental period  
图 6. 实验周期内各采样点总磷变化趋势图

### 4.3. 改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺 TOC 去除效果分析

改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺是一种生物处理工艺,包括三个处理阶段:厌氧、缺氧和好氧。在此工艺中,微生物群体在不同的环境条件下生长和代谢,以去除废水中的污染物。改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺 TOC 去除的主要路径通过微生物代谢作用完成。厌氧阶段,微生物将有机物质分解为中间产物;在缺氧阶段,中间产物会进一步被氧化为无机物质;好氧阶段,微生物将无机物氧化为稳定的化合物,同时过量吸收有机物,从而降低 TOC 浓度。改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺对 TOC 的去除效果受多种因素影响,包括温度、pH 值、曝气量、微生物的生长情况、有机物的种类和浓度等。为了获得最佳的 TOC 去除效果,需根据具体情况进行工艺设计和操作优化。TOC 浓度越高,对 A<sup>2</sup>/O 工艺的处理效果影响越大,处理能力也会受到影响,较高的 TOC 浓度可能导致更多的有机物被转化为生物污泥,从而增加了污泥负荷,可能导致氨氮去除效果下降。图 7 可以看出,系统经稳定运行后表现出较好的 TOC 去除效果,出水水质较稳定。

## 5. 结论

(1) 为稳定运行,结合进水碳源情况,在确保改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺出水水质达标的前提下,尽可能节约降耗,确定该研究前缺氧区最佳内回流比为 100%,后缺氧区内回流比为 200%。

(2) 改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺各个区域厌氧释磷、缺氧反硝化均达到较好的处理效果,出水主要污染物指标均优于 DB5301/T43-2020《城镇污水处理厂主要水污染物排放限值》B 级标准,满足相关要求。

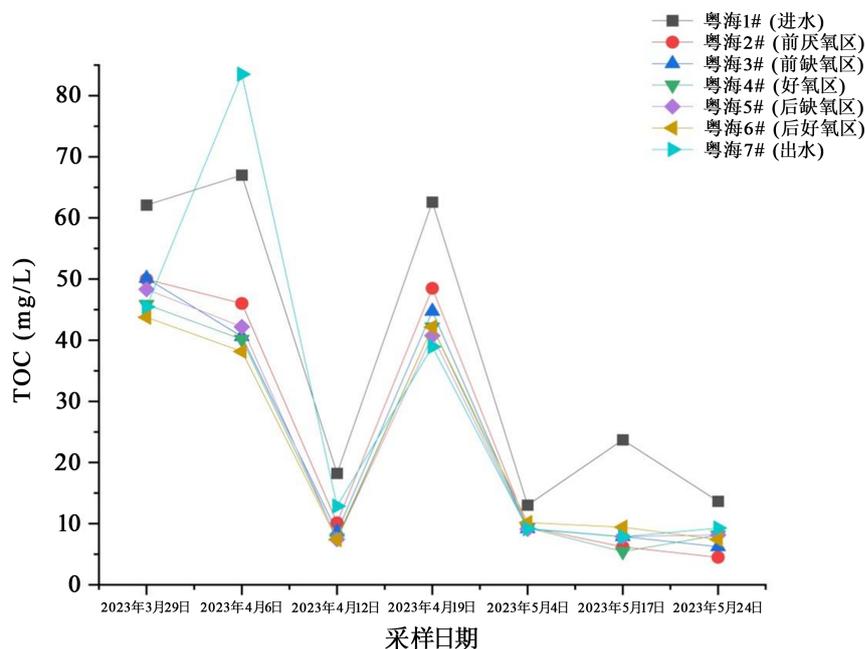


Figure 7. TOC change trend chart of each sampling point during the experimental period  
图 7. 实验周期内各采样点 TOC 变化趋势图

(3) 高浓度可生化有机废水作为碳源的投加比例在 70% 时, 改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺有较好的污染物去除效果, 同时拓展了有机废水资源化利用的路径。

(4) 本研究采用的改良型 A<sup>2</sup>/O 工艺总氮去除率在 72.3%~89.5% 之间, 总磷去除率在 85.8%~96.5% 之间, 具有较好的污染物去除效果。

## 基金项目

大学生创新创业训练计划项目(2023A023, 202111390009)。

## 参考文献

- [1] Huang, W., Gong, B., Wang, Y., *et al.* (2020) Metagenomic Analysis Reveals Enhanced Nutrients Removal from Low C/N Municipal Wastewater in a Pilot-Scale Modified AAO System Coupling Electrolysis. *Water Research*, **173**, Article 115530. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115530>
- [2] Tolar, B.B., Ross, M.J., Wallsgrove, N.J., *et al.* (2016) Contribution of Ammonia Oxidation to Chemoautotrophy in Antarctic Coastal Waters. *The ISME Journal*, **10**, 2605-2619. <https://doi.org/10.1038/ismej.2016.61>
- [3] Winkler, M.K. and Straka, L. (2019) New Directions in Biological Nitrogen Removal and Recovery from Wastewater. *Current Opinion in Biotechnology*, **57**, 50-55. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2018.12.007>
- [4] 熊子康, 郑怀礼, 尚娟芳, 等. 污水反硝化脱氮工艺中外加碳源研究进展[J]. 土木与环境工程学报(中英文), 2021, 43(2): 168-181.
- [5] 丁邦宏. 以制糖废水代替传统碳源实现城市污水高效脱氮除碳的可行性研究[J]. 纯碱工业, 2022(6): 19-23.
- [6] 邱勇, 刘雪洁, 田宇心, 等. 酒类废水特征及其作为反硝化碳源的可行性[J]. 给水排水, 2021, 57(12): 86-91.
- [7] 贺亚, 廖华丰, 张建红, 等. 污水处理厂成本分析中的电费计算问题探讨[J]. 工程技术研究, 2022, 7(12): 131-133.
- [8] 吴宇行, 王晓东, 陈宁, 等. 典型城镇污水处理厂碳源智能投加控制生产性试验[J]. 环境工程, 2022, 40(6): 212-218+271.
- [9] 杨雯, 熊亚, 宋子明, 等. 改良 Bardenpho 工艺和 UCT 工艺在污水处理厂中的运用[J]. 工程技术研究, 2022, 7(24): 155-157.
- [10] 胡宝明, 李亮, 祁佳, 等. 改良 A<sup>2</sup>/O 工艺对低 C/N 废水脱氮除磷的应用综述[J]. 工业水处理, 2022, 42(10): 46-52.