

DOI:10.16515/j.cnki.32-1722/n.2019.04.009

# 不同曝气法对黑臭河水治理效果的对比研究

钱 岑<sup>1</sup>, 韦鹏飞<sup>2\*</sup>

(1. 南京启跃检测技术有限公司, 江苏 南京 210000; 2. 金陵科技学院材料工程学院, 江苏 南京 211169)

**摘 要:** 取特定河水为研究对象, 采用无曝气法、普通曝气法和微纳米曝气法, 探讨了三种处理手段对相同黑臭水体在相同时间段的净化能力。结果表明: 微纳米曝气法对黑臭水体处理效果较好。经过 18 d 实验, 微纳米曝气法对水体 pH 值与溶解氧(Dissolved oxygen, DO)的冲击作用明显, 水体 DO 浓度达到  $5.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 是初始值的 4.3 倍。微纳米曝气组中化学需氧量(Chemical oxygen demand, COD)、氨氮、总磷、总氮最终去除率分别为 37.4%、59%、15.2%、67%。微纳米曝气法对水体的充氧能力、氧的利用率和对水中污染物的降解效率、去除率都要明显高于普通曝气法。

**关键词:** 黑臭水体; 微纳米曝气法; 普通曝气法; 治理

中图分类号: X522

文献标识码: A

文章编号: 1672-755X(2019)04-0039-04

## Comparative Study on the Control Effect of Different Aeration Methods on Black and Smelly River Water

QIAN Cen<sup>1</sup>, WEI Peng-fei<sup>2\*</sup>

(1. Nanjing Qiyue Testing Technology Co., Ltd., Nanjing 210000, China;

2. Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China)

**Abstract:** This paper takes the specific river water as the research object, by using non-aeration method, ordinary aeration method and micro-nano aeration method, The purification capacity of the same black and smelly water in the same time period by three treatment methods was discussed. The results show that micro-nano aeration has good effect on black and smelly water. After 18 days of experiments, the impact of micro-nano aeration on water pH and DO is obvious. The DO concentration of water reaches  $5.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 4.3 times of the initial value. The final removal rates of COD, ammonia nitrogen, total phosphorus and total nitrogen in the micro-nano aeration group were 37.4%, 59%, 15.2% and 67%, respectively. The aeration capacity, utilization rate of oxygen and degradation efficiency and removal rate of pollutants in water by micro-nano aeration method are significantly higher than those by ordinary aeration method.

**Key words:** black smelly water; micro-nano aeration; ordinary aeration; treatment

水是地球上分布最广的重要自然资源,是生物赖以生存的物质基础。地球仅 2.5% 是淡水,世界上淡水资源分布极不均匀,约占世界人口总数 40% 的 80 个国家和地区严重缺水<sup>[1-3]</sup>。随着社会和生产的发

收稿日期: 2019-11-15

作者简介: 钱岑(1986—),女,江苏南京人,硕士,主要从事环境检测与治理方面工作。

通信作者: 韦鹏飞(1985—),男,江苏南京人,副教授,博士,主要从事环保新材料研究工作。

展,淡水需求量不断增长,在许多干旱和半干旱地区,淡水已成为经济发展的重要限制因素,不同功能用途之间的矛盾和冲突也越来越显著<sup>[4-5]</sup>。与淡水资源短缺相对的是水资源的大量浪费和严重污染。低效率的农业灌溉消耗了大量的水资源。更为严重的是水污染问题,导致城市水体大面积污染,引起水体富营养化,形成黑臭水体,严重影响城市生活环境和形象<sup>[6-7]</sup>。本文采用微纳米曝气法向河道污染的水体充入微气泡后,改善了水体的物理环境,增加水体中的溶解氧,随着不断向水中补充活性氧,增强水中好氧微生物、浮游生物以及水生动物的生物活性,加速其对水体污染物的降解过程,从而实现水质净化目的。促进了溶解性固体的降解,高锰酸盐指数、氨氮、总氮、总磷等指标显著下降。本研究有助于探索出适合于黑臭河道的治理技术,为黑臭河道水环境治理提供参考。

## 1 研究方法

以上海市嘉定区某段河水为研究对象,采用洁净的聚乙烯桶采集黑臭水体。实验采用酸度计测量水样 pH 值,采用便携式溶解氧仪测定水样溶解氧(Dissolved Oxygen, DO),采用标准 COD 消解器测定水样的 COD 值(Chemical Oxygen Demand),采用分光光度法测定水样的总磷 TP 值(Total Phosphorus)和总氮值(Total Nitrogen)。处理黑臭水体的曝气装置为普通曝气发生装置和微纳米曝气发生装置。普通曝气法就是用鼓风机直接通过管道向水体里充氧,普通曝气发生装置产生的气泡直径为 1~2 mm;微纳米曝气装置空气的流量范围是 0~2 L·min<sup>-1</sup>,微纳米气泡平均中位径为 0.1 μm,其中 73.86%的气泡粒径集中在 3 μm 以下,100%的气泡粒径小于 10 μm,气泡粒径达到微纳米级。水样初始指标如表 1 所示。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同曝气法对水体 pH 值的影响

三种治理法下水体 pH 值随时间变化曲线如图 1 所示。三个实验组 pH 值均呈上升趋势,且微纳米曝气组上升更明显。截止实验结束时,无曝气组、普通曝气组和微纳米曝气组的 pH 分别比初始值升高了 0.04、0.27 和 0.33。由此可见,曝气对实验初期的水环境改变明显,特别是第 9 天时,无曝气组、普通曝气组和微纳米曝气组的 pH 分别比初始值升高了 0.08、0.22 和 0.30。随着实验进行,曝气对 pH 值的影响趋于稳定。这主要是因为水中 pH 的变化是多方面因素交叉作用的结果。实验初期,充入曝气,能够产生曝气传质过程、微生物的硝化过程等,均能影响水的电离,使水体 pH 值变化明显。但随着时间的延长,曝气对水体 CO<sub>2</sub> 有一定吹脱作用,两者平衡后,水体 CO<sub>2</sub> 变化较慢,使得 pH 值迅速增大后稳定原因<sup>[8]</sup>。

表 1 实验水样初始指标

指标	指标值
pH 值	7.81
DO 值/(mg·L <sup>-1</sup> )	1.2
COD 值/(mg·L <sup>-1</sup> )	139
氨氮值/(mg·L <sup>-1</sup> )	15
TP 值/(mg·L <sup>-1</sup> )	7.26
TN 值/(mg·L <sup>-1</sup> )	20.6

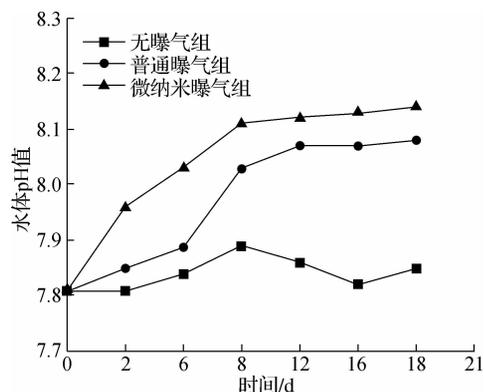


图 1 三种治理法下水体 pH 值随时间变化曲线

### 2.2 不同曝气法对水体 DO 值的影响

三种治理法下水体 DO 值随时间变化曲线如图 2 所示。微纳米曝气法可以在短时间内迅速充氧,水体中的溶解氧在前 9 d 内不断增加,18 d 时水体 DO 浓度达到 5.2 mg·L<sup>-1</sup>,是初始值的 4.3 倍。而普通曝气法最大充氧能力仅为 4.4 mg·L<sup>-1</sup>是初始值的 3.6 倍。由于微纳米气泡体积小、比表面积大,上升速度较普通气泡慢,在水中停留时间长,因此其充氧能力更强。而常规普通曝气难以产生微小气泡,大量气泡在水体中迅速上升,到达水面后消失,不能形成超饱和状态<sup>[9]</sup>。气-液传质效率低,加之曝气搅动强度

大等,水体的增氧效果明显低于微纳米曝气法。

### 2.3 不同曝气法对水体 COD 值的影响

三种治理法下水体 COD 值随时间变化曲线如图 3 所示。曝气实验进行初期,微纳米曝气组、无曝气组与普通曝气组则是较为平缓的下降过程,标志着水体好氧环境稳定,与水体 DO 值达到相对稳定的时间相符<sup>[10]</sup>。实验前 9 d,普通曝气组与微纳米曝气组的 COD 值下降趋势明显,在实验第 12 天开始,趋势略平缓,去除率基本达到稳定。实验结束时,COD 值的最终去除率为微纳米曝气组(37.4%)>普通曝气组(14.3%)>无曝气组(6%)。

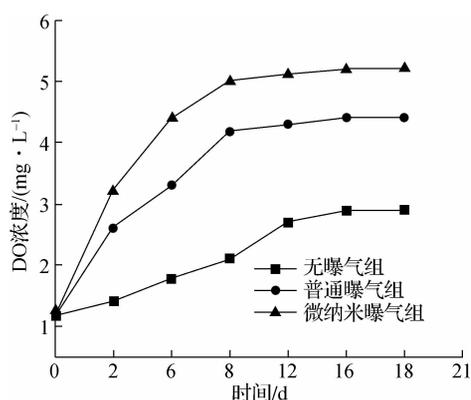


图2 三种治理法下水体 DO 值随时间变化曲线

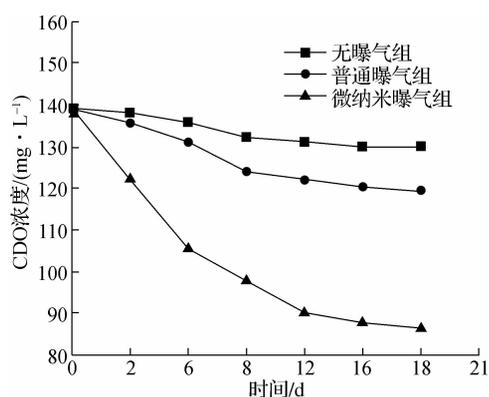


图3 三种治理法下水体 COD 值随时间变化曲线

### 2.4 不同曝气法对水体氨氮值的影响

三种治理法对水体氨氮值随时间变化曲线如图 4 所示。三组的氨氮值都呈下降趋势,其中微纳米曝气组对氨氮的去除效果最为显著。实验进行的前 9 d,微纳米曝气组和普通曝气组的氨氮下降较为明显,其主要原因是曝气动力吹脱作用。第 12 天后,3 组实验的氨氮去除率趋于平稳。3 组实验的氨氮最终去除率分别 59%、41%和 18%。微纳米曝气法是普通曝气法的 1.44 倍。这可能是因为当微纳米气泡曝气时,水体中氧的传质效率高,使得硝化速率更快。

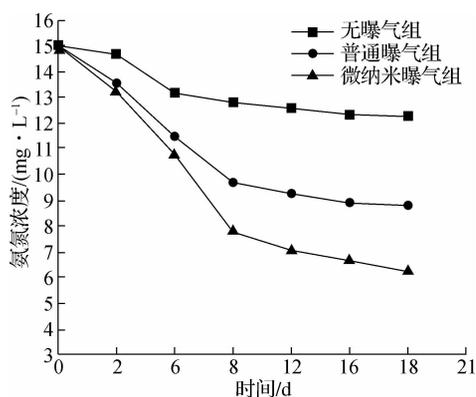


图4 三种治理法下水体氨氮值随时间变化曲线

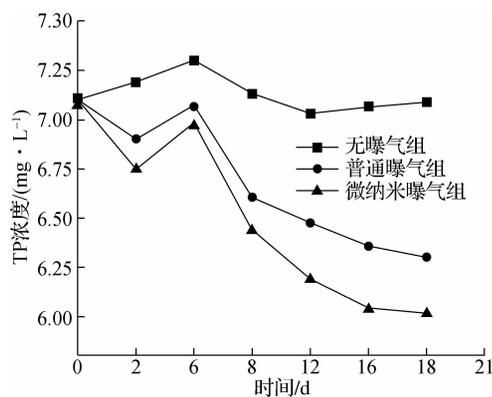


图5 三种治理法下水体 TP 值随时间变化曲线

### 2.5 不同曝气法对水体 TP 值的影响

三种治理法对水体 TP 值随时间变化曲线如图 5 所示。在实验开始阶段,曝气后,微纳米曝气组与普通曝气组 TP 值都出现了明显的降低,是由于水体曝气形成了复氧环境从而增强了水体中聚磷菌的聚磷作用,及底泥微生物对磷吸收沉降作用,对水体中的磷产生了吸附分解作用。实验第 6 天后,各组 TP 均出现了不同幅度的下降,是由于实验补水造成的。第 9 天后,微纳米曝气组和普通曝气组的 TP 变化较为平稳,可能是由于水体中微生物较少而不能在对 TP 进行有效去除。实验结束时,微纳米曝气组与普通曝气组 TP 去除率均在 13%左右。在两种曝气方式下,使用微纳米曝气法对水中 TP 的去除率和效率都优于普通曝气,这是因为微纳米气泡的充氧能力更强,更有利于水中微生物对磷酸盐的吸收<sup>[11]</sup>。普通曝气时,水中 TP 的浓度由开始的  $7.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  降至  $6.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,去除率为 11.3%。而使用微纳米曝气时,TP 的浓

度由开始的  $7.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  降至  $6.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 去除率达到  $15.2\%$ , 效果明显优于前者, 这可能是因为微纳米气泡曝气环境下氧的利用率更高, 更有利水中磷酸盐被微生物吸收。

## 2.6 不同曝气法对水体 TN 值的影响

水中 TN 值随曝气时间的变化如图 6 所示。使用微纳米气泡曝气时, 水中 TN 浓度一直呈下降趋势。水体中 TN 值主要以  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NO}_2^-$  和氨氮形式存在。实验原水中的 TN 大部分来自  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ , 所以 TN 的下降趋势跟氨氮下降趋势相似。水体去除 TN 主要是通过系统环境条件的改变来加强氮转化。曝气以后, 水体在底质层与水界面会形成溶氧微环境, 会产生溶氧梯度。溶氧较低的部位会给反硝化反应提供的有利环境, 加快硝态氮转化, 有利于 TN 去除。实验初期, 两种曝气技术对氨氮都有明显的去除效果, TN 也达到了较明显的去除。实验后期, 由于曝气吹脱作用减弱与硝态氮的积累, TN 的去除效果表现为缓慢下降的趋势。实验结束时, 微纳米曝气组 TN 浓度由初始值的  $20.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  降至  $6.59 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 去除率为  $67\%$ , 去除效果好于普通曝气组的  $44.7\%$  和对照组的  $25.2\%$ 。实验表明, 微纳米曝气组去除 TN 效果最好。

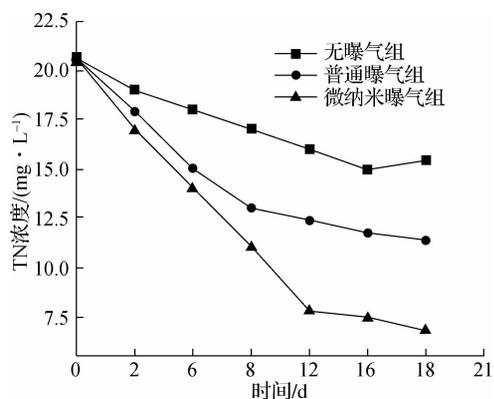


图 6 三种治理法下水体 TN 值随时间变化曲线

## 3 结 语

本文分别采用普通曝气法和微纳米曝气法治理黑臭水体, 主要有以下结论: 1) 微纳米曝气方式对黑臭水体处理效果较好。经过 18 d 实验, 微纳米曝气组中 COD 值、氨氮值、总磷值、总氮值最终去除率分别为  $37.4\%$ 、 $59\%$ 、 $15.2\%$ 、 $67\%$ 。2) 使用微纳米曝气法, 对水体的充氧能力、氧的利用率和对水中污染物的降解效率和去除率都要明显高于普通曝气法。

### 参考文献:

- [1] 郭妮娜. 浅析我国水资源现状、问题及治理对策[J]. 安徽农学通报, 2018, 24(10): 79-81
- [2] 赵良仕, 孙才志, 郑德凤. 中国省际水资源利用效率与空间溢出效应测度[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 121-133
- [3] 钱文婧, 贺灿飞. 中国水资源利用效率区域差异及影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(2): 54-60
- [4] 尹上岗, 马志飞, 黄萍, 等. 中国水资源利用的时空分布格局探究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2017, 51(6): 841-847
- [5] 王旭, 王永刚, 孙长虹, 等. 城市黑臭水体形成机理与评价方法研究进展[J]. 应用生态学报, 2016, 27(4): 1331-1340
- [6] Zhao Y, Yao R H, Xu M, et al. Study on the practice and route of combating urban black and malodorous water body[J]. Environmental Protection, 2015, 43(13): 27-29
- [7] 张俊环, 艾鑫, 张楚, 等. 城市河道黑臭成因分析及治理模型定量评价河道黑臭情况[J]. 广东化工, 2013, 40(13): 167-168
- [8] 陈玲, 张晟, 顾礼明, 等. 城市滞流河道黑臭发生及控制研究[J]. 2012, 35(8): 176-178
- [9] 吕佳佳. 黑臭水形成的水质和环境条件研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2011
- [10] 徐亚同. 河流污染状况及治理效果评价的指标体系[J]. 城市公用事业, 2008, 22(4): 13-16
- [11] 周文瑞. 汾河太原城区段河流黑臭问题研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2006

(责任编辑: 谭彩霞)