

# 改良 AAO 一体化设备处理农村生活污水的研究

王田天<sup>1</sup>, 周伟<sup>2</sup>, 刘兴<sup>1</sup>, 周少奇<sup>1,3,4,5,6</sup>, 秦玉洁<sup>3</sup>

(1. 华南理工大学 土木与交通学院, 广东 广州 510640; 2. 广州奥蕾湾环保科技有限公司, 广东 广州 510640; 3. 华南理工大学 环境与能源学院, 广东 广州 510006; 4. 华南理工大学 亚热带建筑科学国家重点实验室, 广东 广州 510640; 5. 广东省教育厅环境保护与生态修复重点实验室, 广东 广州 510006; 6. 贵州科学院, 贵州 贵阳 550001)

**摘要:** 针对我国目前农村污水处理能力不足的问题,设计了一种改良 AAO 一体化设备。该设备基于反硝化除磷理论,整个设备在同一壳体内,具有占地面积小、工艺简洁、出水水质稳定等特点,适于处理分散型村落的生活污水。采用该设备处理某污水厂细格栅出水,在相对最佳条件下,出水 COD、氨氮、总氮、总磷的平均浓度分别为 19.79、2.66、8.82、0.47 mg/L,均达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。当缺氧池体积变化时,COD 去除率随着缺氧池体积的增加而增大,氨氮去除率随着缺氧池体积的增大而减小,总氮与总磷的去除率随着缺氧池体积的增大呈先增大后减小的趋势。

**关键词:** 农村生活污水; 改良 AAO 一体化设备; 脱氮除磷

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)07-0075-05

## Nitrogen and Phosphorus Removal from Rural Domestic Sewage Using Modified AAO Integrated Process

WANG Tian-tian<sup>1</sup>, ZHOU Wei<sup>2</sup>, LIU Xing<sup>1</sup>, ZHOU Shao-qi<sup>1,3,4,5,6</sup>, QIN Yu-jie<sup>3</sup>

(1. School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 2. Guangzhou Onlyone Environmental Protection Technology Co. Ltd., Guangzhou 510640, China; 3. School of Environment and Energy, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China; 4. State Key Laboratory of Subtropical Building Science, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 5. Key Laboratory of Environmental Protection and Eco-remediation of Guangdong Regular Higher Education Institutions, Guangzhou 510006, China; 6. Guizhou Academy of Science, Guiyang 550001, China)

**Abstract:** A modified AAO integrated process was proposed for rural domestic sewage treatment in China. Based on the denitrifying phosphorus removal theory, the equipment has advantages such as small space requirement, simple process, stable effluent quality, and suitable for the domestic sewage treatment in scattered villages. The pilot plant was constructed to treat domestic sewage, and the effluent COD,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ , TN and TP were 19.79 mg/L, 2.66 mg/L, 8.82 mg/L, and 0.47 mg/L, respectively. The final effluent reached the class I -A criterion specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal*

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0400708); 广州市科技计划项目(201607020034); 国家自然科学基金资助项目(U1612441,51578244); 广东省省级科技计划项目(2014A050503025)

通信作者: 周少奇 E-mail: fesqzhou@scut.edu.cn

Wastewater Treatment Plant (GB 18918-2002). When the volume of the anoxic tank was increased, the removal rate of COD was increased, the removal rate of  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  was decreased, the removal rates of TN and TP were initially increased and then decreased.

**Key words:** rural domestic sewage; modified AAO integrated process; nitrogen and phosphorus removal

目前我国农村人口约占到总人口的47%,巨大的人口基数带来了大量的农村生活污水。由于农村居住分散,污水不易集中处理,并且农村经济基础薄弱,导致大部分村庄的生活污水仅经过化粪池的简单处理就直接排放,对水环境污染严重<sup>[1-3]</sup>。根据鞠昌华等人对我国农村生活污水的调研表明,我国农村生活污水治理存在处理设施覆盖率严重不足、设施建设质量得不到保证、设施运行管理水平低等问题<sup>[4]</sup>。张佳琳等人利用厌氧/人工湿地/氧化塘处理农村生活污水,韦真周等人应用生物转盘工艺处理农村污水,出水水质都只能达到一级B标准<sup>[5,6]</sup>。

随着我国污水处理标准的逐渐提高,针对农村污水难以收集并处理达标的问题,课题组设计了一套农村污水处理一体化设备,旨在无需添加化学药剂的条件下,有效处理单个村庄所产生的生活污水,使其达到一级A及以上标准。该装置及工艺具有占地面积小、工艺简洁、维护成本低、运行方式灵活等特点。通过添加缺氧-厌氧回流,富集反硝化聚磷菌,延长反硝化细菌在厌氧池的作用时间,以达到高效脱氮除磷的目的。通过调整厌氧池和缺氧池的比例,强化了缺氧池反硝化除磷效果。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验装置

试验装置的平面布置如图1所示。整套装置使用6 mm厚的钢板为主体材料,总体长为6 m,宽为2.5 m,高为2.5 m,其中有效水深为2 m,有效体积为30 m<sup>3</sup>,池体内部通过钢板分隔为厌氧池、缺氧池、好氧池以及沉淀池四个部分,所有区域均在同一壳体内,设备工艺简洁,占地面积小,便于管理。该装置的设计基于AAO工艺原理,污水依次经过厌氧池、缺氧池、好氧池和沉淀池,其中好氧池末端混合液回流到缺氧池中段,沉淀池污泥回流到厌氧池前端,区别于传统的AAO工艺,通过增加缺氧-厌氧回流,加强反硝化聚磷菌的富集,延长反硝化细菌在厌氧池的作用时间,还可以充分利用水中的碳源,缓

解聚磷菌与反硝化细菌在缺氧池的竞争关系。

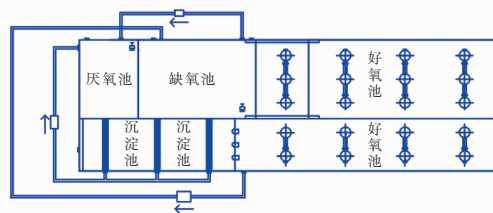


图1 试验装置的平面布置

Fig.1 Layout of experimental device

### 1.2 原水水质

试验原水取自广州市北部某污水处理厂细格栅出水,其水质如下:TP为1.68~5.65 mg/L,均值为3.54 mg/L; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为12.35~39.16 mg/L,均值为25.95 mg/L;TN为16.98~49.27 mg/L,均值为31.04 mg/L;COD为131~365 mg/L,均值为222.1 mg/L。

### 1.3 试验方法

试验装置于2016年6月启动,污泥驯化时接种广州市石井污水处理厂二沉池污泥,其沉降性能与活性较好。将污泥与污水以1:4的体积比投入到改良AAO一体化设备中,闷曝24 h后开始进水。控制好氧末端溶解氧为1 mg/L,为提高培菌速度,投加面粉控制其进水COD:TN值 $\geq 8$ <sup>[7]</sup>,运行10 d后,好氧池SV<sub>30</sub>为30%,停止投加面粉。继续运行10 d后,系统出水水质稳定。试验过程中调整了缺氧池与好氧池的体积比(厌氧池体积不变,缺氧池体积不断增大,好氧池体积不断减小),考察在不同工况下设备对目标污染物的去除能力。

装置出水水质稳定后,对其进行为期60 d的考察,每日取样两次,测定进水、厌氧池末端、缺氧池末端、好氧池末端、出水5个点位的氨氮、总磷、总氮、COD浓度(取平均值)。运行参数如下:好氧-缺氧的回流比为200%,污泥回流比为75%,缺氧-厌氧的回流比为150%,控制进水流量为2 m<sup>3</sup>/h,通过控制曝气量维持好氧池末端溶解氧浓度为1.5~2.0 mg/L。其中1~20、21~40、41~60 d分别采用不同

的厌氧池、缺氧池、好氧池体积比(1:2.2:4.8、1:2.4:4.6、1:2.6:4.4),考察不同体积比下装置对 COD、氨氮、总氮和总磷的去除情况。

## 2 结果与分析

### 2.1 COD 去除效果

试验装置对 COD 的去除效果如图 2 所示。

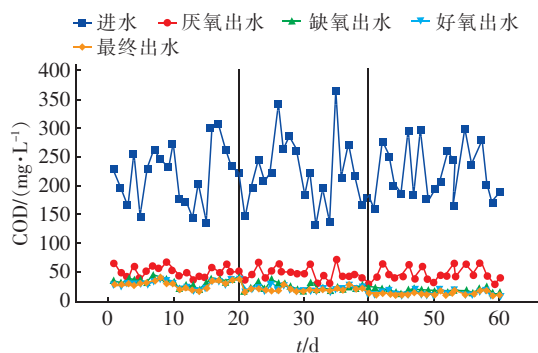


图 2 COD 去除效果

Fig. 2 Removal efficiency of COD

试验过程中进水 COD 为 131 ~ 365 mg/L, 平均为 222.1 mg/L, 出水 COD 为 9.2 ~ 39.4 mg/L。随着缺氧池体积的增大, COD 去除率呈现逐渐增大的趋势, 污水中的有机物被充分利用。1 ~ 20、21 ~ 40、41 ~ 60 d 的出水 COD 平均浓度分别为 29.03、19.79、12.29 mg/L, 去除率分别达到了 86.45%、90.69%、94.31%。其中 COD 在厌氧池、缺氧池、好氧池的平均去除量分别占总去除量的 70.59%、22.71%、6.69%。污水进入厌氧池后, 回流对 COD 有一定的稀释作用, 厌氧池对 COD 的去除主要依靠反硝化聚磷菌将大量 COD 转化为细胞内的 PHB, 为后续缺氧吸磷保存能量。缺氧池对 COD 也有一定的去除作用, 主要是由于反硝化细菌的反硝化脱氮过程以 COD 为电子供体<sup>[7,8]</sup>。由于厌氧池与缺氧池承担了绝大部分 COD 的去除, 所以随着缺氧池体积的增加, 其在缺氧池的水力停留时间更长, 有利于反硝化聚磷菌的富集, 故 COD 的去除率随缺氧池体积的增大而增大。

### 2.2 氨氮去除效果

试验装置对氨氮的去除效果如图 3 所示。可知, 装置运行稳定后, 进水氨氮为 12.35 ~ 39.16 mg/L, 最终出水氨氮为 0.16 ~ 4.92 mg/L, 平均去除率为 90.58%。随着缺氧池体积的增大, 1 ~ 20、21 ~ 40、41 ~ 60 d 对氨氮的去除率分别为 95.33%、90.08%、86.33%。由于氨氮的去除主要依靠硝化

细菌在好氧段的硝化作用, 在厌氧段与缺氧段氨氮浓度之所以下降主要是由于回流的稀释作用, 由于增大了缺氧池的体积而使得好氧池的体积减小, 污水在好氧池的水力停留时间随之缩短, 导致硝化反应不够充分, 对氨氮的去除能力下降。

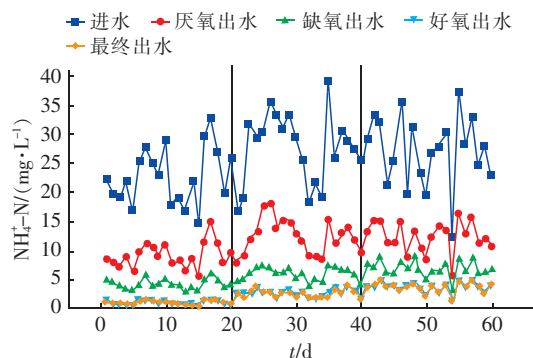


图 3 氨氮去除效果

Fig. 3 Removal efficiency of  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$

### 2.3 总氮去除效果

试验装置对总氮的去除效果如图 4 所示。

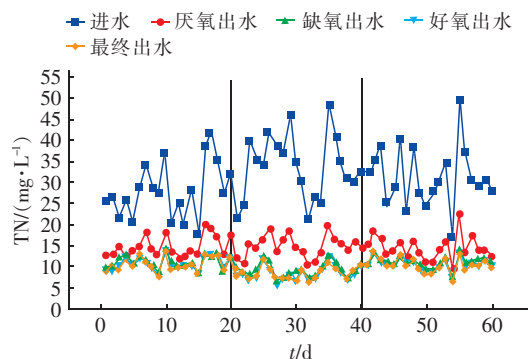


图 4 总氮去除效果

Fig. 4 Removal efficiency of TN

传统 AAO 工艺对总氮的去除率一般仅为 40% 左右, 由于传统 AAO 理论认为反硝化细菌和聚磷菌处于竞争关系, 二者共同争夺污水中的碳源, 导致尤其是在碳氮比较低的污水中反硝化效率不高<sup>[9]</sup>。而试验装置通过增加缺氧-厌氧回流, 在厌氧/缺氧的交替环境下, 反硝化聚磷菌大量富集, 同时增加了污水在厌氧段的停留时间, 使得反硝化聚磷菌可以充分储备 PHB, 有利于反硝化过程的进行。由图 4 可知, 整个试验过程中进水总氮为 16.98 ~ 49.27 mg/L, 平均为 31.04 mg/L, 进水浓度变化较大, 最终出水总氮浓度为 6.09 ~ 13.09 mg/L。随着缺氧池体积的增大, 1 ~ 20、21 ~ 40、41 ~ 60 d 时出水总氮平均浓度分别为 10.31、8.22、10.07 mg/L, 去除率分别为 62.25%、74.50%、67.14%, 去除率呈现先增大



后减小的趋势。

总氮主要利用反硝化细菌在缺氧池中的反硝化作用以及反硝化聚磷菌以 PHB 为碳源进行同步反硝化除磷来进行去除。1~20 d, 缺氧池体积过小, 反硝化聚磷菌无法有效富集, 同时由于污水在缺氧池的水力停留时间较短, 导致反硝化作用无法充分进行, 所以总氮去除效果较差。21~40 d, 缺氧池的体积较为适中, 对总氮的去除效果最好。41~60 d, 缺氧池体积过大, 好氧池体积减小导致硝化作用不充分, 从好氧池回流到缺氧池的硝态氮浓度较低, 反硝化过程的电子受体不足, 降低了异养反硝化过程的底物浓度, 导致反硝化效率降低。

## 2.4 总磷去除效果

反硝化聚磷菌是一种兼性厌氧菌, 其在缺氧环境下以硝态氮作为电子受体进行过量吸磷和反硝化过程进行同步脱氮除磷, 与传统专性好氧聚磷菌相比, 减少了约 50% 的 COD 消耗量, 提高了污水中碳源的使用效率<sup>[10]</sup>。反硝化聚磷菌在厌氧/缺氧的交替环境下较易富集。总磷的去除效果如图 5 所示。

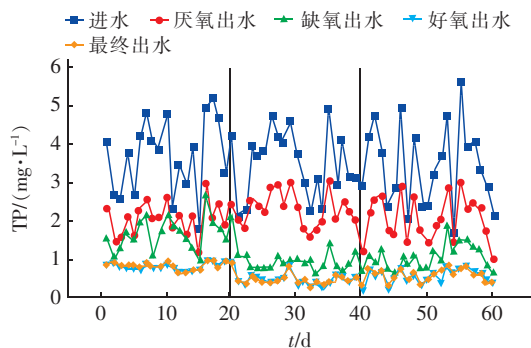


图5 总磷去除情况

Fig. 5 Removal efficiency of TP

由图 5 可知, 整个试验过程进水总磷为 1.68~5.65 mg/L, 平均为 3.54 mg/L。随着缺氧池体积的增大, 1~20、21~40、41~60 d 的出水总磷平均浓度分别为 0.87、0.47、0.61 mg/L, 去除率分别为 74.81%、86.04%、81.46%, 去除率呈现先增大后减小的趋势。虽然进水总磷浓度变化较大, 但出水总磷浓度较为稳定, 说明该工艺耐冲击性较强, 还有较大的除磷空间。由于污泥回流和缺氧回流, 在厌氧池总磷浓度有所下降, 但是通过物料平衡分析, 在厌氧池依然存在厌氧释磷现象, 1~20、21~40、41~60 d 的平均释磷量分别为 0.02、0.54、0.39 mg/L。根据反硝化除磷理论, 在厌氧池反硝化聚磷菌通过将

细胞内的聚磷酸盐以磷酸盐的形式释放到污水中, 并合成有机储备物质 PHB 作为下一阶段的电子供体。在缺氧池, 1~20、21~40、41~60 d 的总磷平均去除量分别为 0.42、1.21、0.93 mg/L。反硝化聚磷菌利用其自身储备的 PHB 吸收污水中的磷酸盐, 在细胞内合成多聚磷酸盐并加以积累, 从而使污水中的含磷量下降。在好氧池, 1~20、21~40、41~60 d 的总磷平均去除量分别为 0.81、0.55、0.49 mg/L, 该区段主要发生聚磷菌的好氧吸磷过程。

在 1~20 d, 由于缺氧池过小, 污水在缺氧池的水力停留时间较短, 导致反硝化聚磷菌未能充分富集; 另外, 缺氧池体积过小、好氧池体积过大, 导致系统中硝态氮浓度过高, 抑制了反硝化聚磷菌在厌氧段的释磷作用, 其合成 PHB 不足, 污水中的碳源未能充分利用, 该工况下总磷在好氧池的去除量占总去除量的 65.85%, 好氧吸磷占主要地位。21~40 d, 缺氧池体积较为适中, 反硝化聚磷菌得以有效富集, 总磷在缺氧池的去除量占总去除量的 68.75%, 由于好氧池体积减小, 故其吸磷能力有所下降。41~60 d, 缺氧池体积过大、好氧池体积相对变小, 缺氧池硝态氮浓度过低导致缺氧池缺乏电子受体, 从而可能产生二次释磷现象<sup>[11]</sup>; 而且好氧池体积过小使得污水在好氧池的水力停留时间缩短, 聚磷菌未能充分吸磷故而导致除磷效果下降。

## 3 结论

① 在好氧-缺氧的回流比为 200%、污泥回流比为 75%、缺氧-厌氧的回流比为 150%、进水流量为 2 m<sup>3</sup>/h、好氧池末端 DO 为 1.5~2.0 mg/L、厌氧池: 好氧池: 缺氧池为 1:2.4:4.6 (体积比) 的条件下, 改良 AAO 一体化设备对 COD、氨氮、总氮、总磷的去除效果最好, 出水水质可稳定达到一级 A 标准。

② 随着缺氧池体积的增大, COD 去除率逐渐变大、氨氮去除率逐渐变小、TN 和 TP 去除率先增大后减小。COD 主要在厌氧池去除, 氨氮主要在好氧池去除, 总氮主要在缺氧池去除, 总磷在缺氧池与好氧池均有去除。

③ 改良 AAO 一体化设备的所有结构均在一个池体内, 工艺简洁, 占地面积小, 运行方式灵活, 运行过程中不需额外投加碳源和絮凝剂, 运行费用较低。针对我国农村污水处理面临的不易集中处理的问题, 这种单体新型污水处理设备对我国农村污水

处理有较大的实用潜力。

### 参考文献:

- [1] 杨晓英,袁晋,姚明星,等. 中国农村生活污水处理现状与发展对策——以苏南农村为例[J]. 复旦学报:自然科学版,2016,55(2):183-188.  
Yang Xiaoying, Yuan Jin, Yao Mingxing, *et al.* Statusesque of rural sewage treatment in China and its development strategies—A case study of rural area in south of Jiangsu Province[J]. Journal of Fudan University: Natural Science, 2016, 55(2): 183-188 (in Chinese).
- [2] 凌霄,杨细平,陈满,等. 广东省农村生活污水治理现状调查[J]. 中国给水排水,2009,25(8):8-10.  
Ling Xiao, Yang Xiping, Chen Man, *et al.* Investigation on present situation of rural domestic sewage treatment in Guangdong Province[J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(8): 8-10 (in Chinese).
- [3] 诸刚,蒋晓,杨学坤. 北京市农村污水处理反应器研究进展分析[J]. 中国农机化学报,2016,37(7):277-280.  
Zhu Gang, Jiang Xiao, Yang Xuekun. Analysis of the research progress on the wastewater treatment reactors in Beijing rural area[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2016, 37(7): 277-280 (in Chinese).
- [4] 鞠昌华,张卫东,朱琳,等. 我国农村生活污水治理问题及对策研究[J]. 环境保护,2016,44(6):49-52.  
Ju Changhua, Zhang Weidong, Zhu Lin, *et al.* China's rural sewage treatment problems and countermeasures [J]. Environmental Protection, 2016, 44(6): 49-52 (in Chinese).
- [5] 张佳琳,林方敏,罗隽,等. 厌氧—人工湿地—氧化塘用于华南农村污水连片整治[J]. 中国给水排水,2016,32(12):106-109.  
Zhang Jialin, Lin Fangmin, Luo Jun, *et al.* Application of unpowered system of anaerobic treatment, constructed wetland and oxidation pond to integrated treatment of rural sewage in South China region[J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(12): 106-109 (in Chinese).
- [6] 韦真周,范庆丰,容继,等. 生物转盘处理小城镇生活污水工程实例[J]. 水处理技术,2016,42(2):133-136.  
Wei Zhenzhou, Fan Qingfeng, Rong Ji, *et al.* A case history of treating urban sewage by rotating biological contactor [J]. Technology of Water Treatment, 2016, 42(2): 133-136 (in Chinese).
- [7] Peng Y Z, Wang X L, Li B K. Anoxic biological phosphorus uptake and the effect of excessive aeration on biological phosphorus removal in the A<sup>2</sup>O process[J]. Desalination, 2006, 189(1/3): 155-164.
- [8] 王伟,彭永臻,刘丽娜,等. 厌氧/缺氧/好氧体积比对分段进水 A<sup>2</sup>/O 除磷的影响[J]. 中国给水排水,2014,30(13):10-14.  
Wang Wei, Peng Yongzhen, Liu Li'na, *et al.* Effects of volume ratios of anaerobic/anoxic/oxic zones on phosphorus removal in step-feed A<sup>2</sup>/O process[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(13): 10-14 (in Chinese).
- [9] 邓玮玮,王晓昌. 低碳氮比废水脱氮研究进展[J]. 工业水处理,2015,35(2):15-19.  
Deng Weiwei, Wang Xiaochang. Research progress in the denitrification of sewage at low C/N ratio[J]. Industrial Water Treatment, 2015, 35(2): 15-19 (in Chinese).
- [10] Merzouki M, Bernet N, Delgenès J P, *et al.* Effect of pre-fermentation on denitrifying phosphorus removal in slaughterhouse wastewater [J]. Bioresour Technol, 2005, 96(12): 1317-1322.
- [11] 张淼,彭永臻,王聪,等. 容积分配比对 A<sup>2</sup>/O—生物接触氧化工艺反硝化除磷特性的影响[J]. 东南大学学报:自然科学版,2015,45(3):531-538.  
Zhang Miao, Peng Yongzhen, Wang Cong, *et al.* Effect on denitrifying phosphorus removal by optimizing volume ratios in A<sup>2</sup>/O—biological contact oxidation (A<sup>2</sup>/O—BCO) process[J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2015, 45(3): 531-538 (in Chinese).



作者简介:王田天(1993—),男,黑龙江宾县人,硕士研究生,研究方向为水污染控制技术。

E-mail: 514921025@qq.com

收稿日期:2017-10-12