

两段式 DN – BAF 深度处理城市污水厂尾水的效能

赖后伟, 刘丽红, 刘畅, 刘立, 周秀秀
(环境保护部 华南环境科学研究所, 广东 广州 510655)

摘要: 针对污水厂尾水碳氮比低的问题, 开发了两段式反硝化滤池(DN) – 曝气生物滤池(BAF)工艺。采用该工艺处理城市污水厂达一级A标准的尾水, 出水COD、氨氮、总磷指标能达到地表水Ⅳ类水质标准, 满足同级排入补充地表水目的; 采用分段进水的方式可以提高碳源的利用效率和脱氮效率, 总氮去除率从18.05%提高至30.69%, 而通过释碳速率为4.84 mg/(L·h)的缓释碳源调节进水COD, 可将总氮去除率提高至38.90%, 出水总氮最低浓度降至6.99 mg/L。经分析为进一步提高脱氮效果, 宜提高缓释碳源释碳速率并增加缺氧段水力停留时间。

关键词: 污水处理厂尾水; 深度处理; 滤池; 缓释碳源

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 – 4602(2018)11 – 0006 – 04

Two-stage Denitrification – BAF Process for Advanced Treatment of Tail Water of Municipal Wastewater Treatment Plant

LAI Hou-wei, LIU Li-hong, LIU Chang, LIU Li, ZHOU Xiu-xiu
(South China Institute of Environmental Science, Ministry of Environmental Protection,
Guangzhou 510655, China)

Abstract: In view of the low carbon-nitrogen ratio in tail water of municipal wastewater treatment plants (WWTPs), a two-stage denitrification – aeration biofilter (DN – BAF) process was developed. The process was used to treat tail water of a WWTP. The results showed that the effluent COD, ammonia nitrogen and TP could reach the level Ⅳ criteria of *Environmental Quality Standards for Surface Water*, and could be used to replenish surface water. The efficiency of carbon source utilization and nitrogen removal was promoted by step-feed process in which TN removal rate was increased from 18.05% to 30.69%. The TN removal rate was increased to 38.90% and the lowest concentration of TN was 6.99 mg/L through adding slow-release organic carbon source materials with carbon release rate of 4.84 mg/(L·h) to adjust the influent COD. In order to further improve the denitrification effect, it is suggested to improve the carbon release rate and increase the hydraulic retention time in anoxic zone.

Key words: tail water of municipal wastewater treatment plant; advanced treatment; filter; slow-release carbon source

《水污染防治行动计划》中明确指出“到2020年, 地级及以上城市黑臭水体应该控制在10%以

基金项目: 公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(PA – zx703 – 201701 – 036); 广东省应用型科技研发专项(2015B020235009)

通信作者: 刘畅 E-mail: liuchang@scies.org

内,到 2030 年,城市建成区黑臭水体总体得到消除”的目标,消除黑臭水体的措施之一是控源截污,但大部分河涌在完成控源截污之后面临缺乏补水的问题,而污水处理厂尾水经深度处理达到地表水水质标准后可作为维持生态基流的补水。

有关将污水厂尾水深度处理后补充地表水在国内外已有大量的研究^[1],其中,传统混凝-沉淀-过滤工艺应用广泛,对尾水中的重金属去除效果较好,但对氮的去除效果不佳;高级氧化、活性炭吸附、膜分离等工艺的出水水质好,但工艺复杂,投资运行成本高^[2~4];人工湿地处理工艺对 COD、N、P 均有去除效果,但受季节、占地影响较大,冬季效果不稳定^[5]。考虑上述工艺均存在一定的限制,而污水厂尾水的碳氮比低、可生化性差,因此开发一套新型污水厂尾水深度处理工艺,对黑臭河道治理、生态补水具有巨大的应用价值。笔者针对污水厂尾水低碳氮比问题,为达到地表水同级排入目标,开发了两段式反硝化滤池(DN)-曝气生物滤池(BAF)工艺,采用微动力运行模式,充分利用自主研发的人工沸石、生物陶粒、固态缓释碳源填料,探究了对碳、氮、磷的去除效果,并提出进一步优化出水水质的方案。

1 材料与方法

1.1 试验装置

试验采用两段式反硝化生物滤池-曝气生物滤池为主体的反应装置(见图 1),由有机玻璃制成,填料采用生物陶粒和人工沸石,后续利用缓释碳源更换生物陶粒。其中,陶粒和沸石粒径在 3~10 mm 之间。小试装置由 4 个大小相同的滤池组成,单个滤池直径为 10 cm,高为 65 cm,有效水深为 50 cm,有效容积为 4 L,总容积为 16 L,进水流量为 20 L/d,单个装置的 HRT 约为 5 h,气水比控制为 4:1。

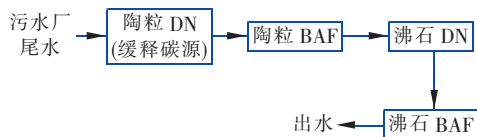


图 1 工艺流程

Fig. 1 Flow chart of two-stage DN-BAF process

1.2 反应装置的运行

两段式反硝化生物滤池-曝气生物滤池装置的接种污泥来自于污水处理厂曝气池,接种污泥浓度为 3 500 mg/L。采用闷曝排泥法挂膜,即将污泥及少量营养物质加入反应器内,闷曝 1 d 后排空,再加

入接种污泥,连续重复进行一周后,以污水厂尾水作为装置的进水进行试验。污水厂采用 AAO 工艺处理生活污水,尾水水质能达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。

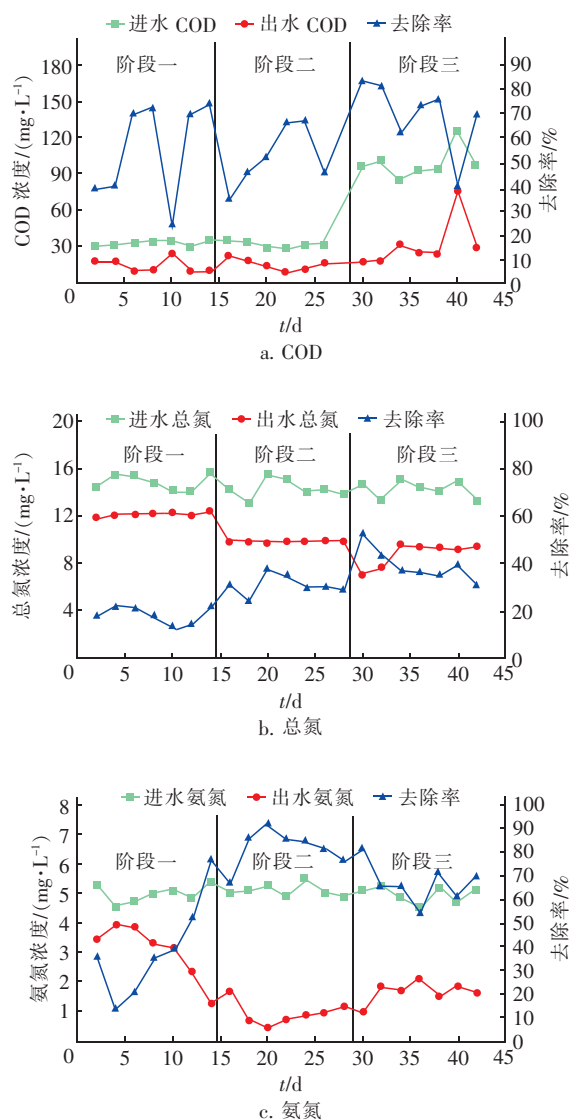
1.3 检测方法

DO、COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、TN、TP、MLSS、pH 值、温度等指标均按照国家标准方法检测。

2 结果与讨论

2.1 对污染物的去除效能

利用两段式 DN-BAF 滤池对城市污水厂一级 A 尾水进行深度处理,其主要分为三个阶段:阶段一为启动阶段;阶段二采用流量比例为 50% 的分段进水模式;阶段三保持分段进水,并利用自主研发的缓释固态碳源填料调节原水碳源浓度。各阶段均运行 2~3 周,每 2 d 对出水水质进行分析,结果见图 2。



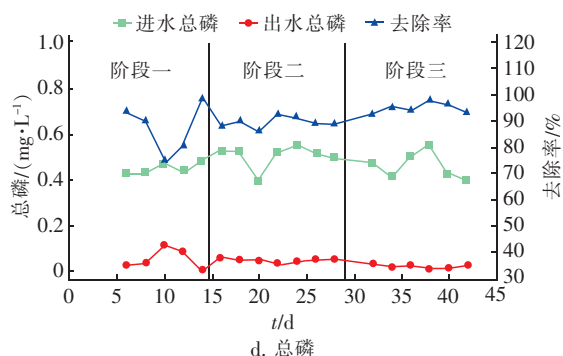


图2 各阶段运行情况

Fig. 2 All stages of operation

从运行结果可以看出,在启动阶段,进水 COD 在 30 ~ 35 mg/L 之间,出水 COD 为 9.32 ~ 25.23 mg/L,出水平均浓度为 14.25 mg/L,平均去除率为 55.18%;进水氨氮浓度在 4.52 ~ 5.47 mg/L 之间,出水氨氮浓度在 1.28 ~ 3.92 mg/L 之间,出水氨氮平均浓度为 3.03 mg/L,平均去除率为 38.69%;进水总氮浓度在 14.12 ~ 15.67 mg/L 之间,平均进水浓度为 14.49 mg/L,出水总氮浓度在 11.80 ~ 12.35 mg/L 之间,出水总氮平均浓度为 12.15 mg/L,平均去除率为 18.05%;进水总磷浓度在 0.40 ~ 0.55 mg/L 之间,出水浓度在 0.01 ~ 0.12 mg/L 之间。

在装置初始运行阶段 COD 和总磷已达到地表水Ⅳ类标准,为进一步提高对氨氮、总氮的去除效果,阶段二将气水比从 4 : 1 提高至 5 : 1,并采用分段进水方式。分段进水缺氧/好氧(A/O)生物脱氮工艺是基于传统前置反硝化 A/O 工艺发展起来的一种污水脱氮新工艺,原水多点投配,可充分利用原水碳源进行反硝化,达到深度脱氮的目的,国内外已有大量的研究验证了其对生活污水的脱氮效果,但对低碳氮比尾水的深度脱氮研究较少^[6]。从结果来看,阶段二对 COD、总磷的去除效果与阶段一差别不大,表明分段进水对 COD、总磷的去除基本没有影响。提高气水比之后,出水氨氮浓度在 0.42 ~ 1.71 mg/L 之间,平均出水浓度为 0.93 mg/L,平均去除率由阶段一的 38.69% 提高至 81.74%;而采用分段进水后,出水总氮浓度在 9.77 ~ 9.99 mg/L 之间,平均为 9.89 mg/L,平均去除率由阶段一的 18.05% 提高至 30.69%,但依旧未能达到同级排放的要求。

为进一步强化脱氮效果,通过一系列基础试验后,将 500 g 缓释固态碳源置于反应装置前端,结果

表明阶段三的出水总氮浓度在 6.99 ~ 9.49 mg/L 之间,平均浓度为 8.73 mg/L,平均去除率为 38.90%。虽然尾水经处理后,总氮由 15 mg/L 左右最低可以降至 6.99 mg/L,但仍然有接近 5.5 mg/L 的总氮待去除才能达到同级排放的要求。

2.2 脱氮效果分析

生物脱氮过程中,反硝化菌以水中有机碳源作为电子供体,通过反硝化作用将硝酸盐和亚硝酸盐转化为氮气,从而达到脱氮的目的。试验原水取自污水处理厂出水,COD、氨氮、总氮、硝酸盐氮、总磷平均浓度分别为 30.5、5.32、14.35、8.95、0.47 mg/L。经分析,COD/总氮为 2.13,远低于生物处理所需,属于典型的低碳氮比原水,且总氮以氨氮、硝酸盐氮为主,基本不含亚硝酸盐氮。

针对低碳氮比污水脱氮效果不佳问题,分段进水可充分利用原水碳源进行反硝化,提高总氮去除率并达到深度脱氮的目的^[7]。从上述试验结果可知,分段进水可将总氮平均去除率从 18.05% 提高至 30.69%,虽然两阶段出水 COD 相近,但碳源的利用率得到提高。

根据反硝化理论方程式,1 mg 淀粉可反硝化去除 0.415 mg 的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$,而 1 mg 淀粉的 COD 当量为 1.188 mg,即 1 g 硝酸盐氮还原为氮气,需要碳源为 2.86 g(以 BOD_5 表示)。如果以实际污水作为碳源,由于只有一部分快速可生物降解的 BOD,所以对 C/N 值的需求要更高。阶段三原水通过缓释碳源释放可利用的碳源约为 65.5 mg/L,总氮去除率由 18.05% 提高至 29.90%。通过计算三个阶段的 COD、总氮消耗量(见表 1),可知脱氮所消耗的 COD 量占 COD 总消耗量的比例较低。

表1 碳源消耗计算表

Tab. 1 Carbon source consumption calculation

mg · L⁻¹

项 目	COD 总去除量	总氮去除量	理论脱氮 COD 消耗量	其他 COD 消耗量
阶段一	19.50	2.13	6.09	13.41
阶段二	21.50	4.18	11.95	9.55
阶段三	85.00	4.76	13.61	71.39

在阶段三,COD 增加量为 65.5 mg/L,但总氮去除量仅比阶段一增加了 2.63 mg/L,按此计算,若将出水总氮控制在地表水Ⅳ类标准,则所需 COD 为 320 mg/L。该缓释碳源的释碳速率为 0.164 mg/(g

· h),微生物水解释碳量为 $4.68 \text{ mg}/(\text{L} \cdot \text{h})$,总释碳速率为 $4.84 \text{ mg}/(\text{L} \cdot \text{h})$,为进一步提高总氮去除效果,宜增加缓释碳源数量并改进缓释碳源释碳速率。通过对工艺装置第三阶段各滤池出水情况进行监测(如图 3 所示),总氮的降解主要集中在缺氧区域,同时 COD 被消耗,这与脱氮的原理相一致,为提高脱氮效率,可适当增加缺氧区的水力停留时间。

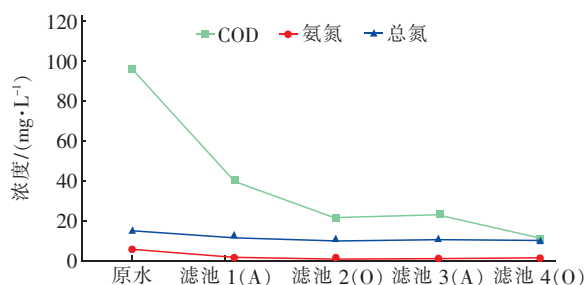


图 3 各区域污染物降解情况

Fig. 3 Degradation of pollutants in each area

3 结论

① 采用两段式反硝化生物滤池-曝气生物滤池工艺对污水处理厂尾水进行深度处理,COD、氨氮、总磷基本能达到地表水Ⅳ类水质标准,但出水总氮仍有待进一步降低。

② 针对总氮的去除,采用分段进水的方式可以提高碳源的利用效率和脱氮效果,总氮去除率从 18.05% 提高至 30.69%,而通过缓释碳源调节进水 COD,可将总氮去除率进一步提高至 38.90%。

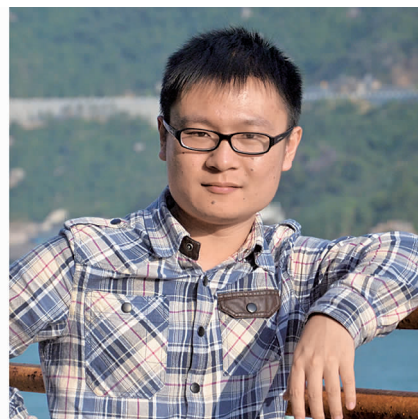
③ 为提高脱氮效果,宜进一步提高缓释碳源释碳速率并适当增加缺氧段水力停留时间。

参考文献:

- [1] 郭瑾,王淑莹. 国内外再生水补给水源的实际应用与进展[J]. 中国给水排水,2007,23(6):10-14.
Guo Jin, Wang Shuying. Practical application and development of surface and underground water sources recharged with reclaimed water [J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(6): 10-14 (in Chinese).
- [2] 郑晓英,田文静,李魁晓. 臭氧工艺在污水深度处理中的应用[J]. 环境与健康杂志,2015,32(1):66-68.
Zheng Xiaoying, Tian Wenjing, Li Kuixiao. Application of ozone process in advanced treatment of wastewater [J]. Journal of Environment and Health, 2015, 32(1): 66-68 (in Chinese).
- [3] 易钊,杨文涛. 粉末活性炭工艺在污水深度处理中的

应用[J]. 市政技术,2013,31(2):97-98.

- Yi Chuan, Yang Wentao. Application of powdered activated carbon technology in advanced wastewater treatment [J]. Municipal Engineering Technology, 2013, 31(2): 97-98 (in Chinese).
- [4] 朱高雄. A/O-MBR 处理生活污水用于景观水的研究及运用[D]. 天津:天津大学,2006.
Zhu Gaoxiong. Domestic Wastewater Treatment of Anoxic-oxic Membrane Bioreactor for the Supply of Landscape Lake [D]. Tianjin: Tianjin University, 2006 (in Chinese).
- [5] 赵赞. 人工湿地处理城镇污水厂尾水深度脱氮实验研究[D]. 南京:南京理工大学,2012.
Zhao Zan. The Research about Taking Advanced Removal of Nitrogen by Making Used of Constructed Wetland to Treat Tailwater in Sewage Treatment Plants of Town [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2012 (in Chinese).
- [6] 王舜和,郭淑琴,魏新庆. 分段进水多级 A/O 工艺计算与探讨[J]. 中国给水排水,2014,30(18):81-85.
Wang Shunhe, Guo Shuqin, Wei Xinqing. Discussion on step-feed multi-stage A/O process calculation [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(18): 81-85 (in Chinese).
- [7] 何争光,李宁,姬智,等. 分段进水 A/O 工艺强化脱氮除磷研究[J]. 中国给水排水,2013,29(17):20-23.
He Zhengguang, Li Ning, Ji Zhi, et al. Enhancing nitrogen and phosphorus in step-feed A/O process [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(17): 20-23 (in Chinese).



作者简介:赖后伟(1989-),男,江西赣州人,硕士,工程师,主要从事环境污染治理研究。

E-mail: laihouwei@scies.org

收稿日期:2018-01-22