

城镇污水处理厂 A²/O 工艺脱氮除磷潜力的研究

高 洋¹, 程洁红¹, 戴界红²

(1. 江苏理工学院 化学与环境工程学院, 江苏 常州 213001; 2. 清潭污水处理厂, 江苏 常州 213001)

摘 要: 考察了前置预缺氧池的 A²/O 工艺系统的脱氮除磷效果及其污泥浓度的影响。结果表明, 缺氧池内存在反硝化除磷作用, 对 PO₄³⁻-P 的去除率高达 86.4%, 除磷潜力较大; 而前置预缺氧池内的反硝化作用明显, 对 NO₃⁻-N 的去除率高达 81.2%, 脱氮潜力较大。与污水厂生产运行的污泥浓度(2 000 mg/L 左右)相比, 将污泥浓度提高 1 倍, 好氧池的硝化反应时间可缩短 33%, NO₃⁻-N 增加率提高 10.9%; 缺氧池的反硝化除磷时间可缩短 43%, PO₄³⁻-P 去除率提高 17.2%, 反硝化脱氮时间可减少 44%, NO₃⁻-N 去除率提高 27.1%, 但对好氧硝化速率、缺氧反硝化除磷速率和脱氮速率的影响不大。

关键词: 城镇污水处理厂; A²/O 工艺; 前置预缺氧池; 脱氮除磷; 反硝化除磷

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)07-0089-05

Potentiality of Nitrogen and Phosphorus Removal in A²/O Process of WWTP

GAO Yang¹, CHENG Jie-hong¹, DAI Jie-hong²

(1. School of Chemical and Environmental Engineering, Jiangsu University of Technology, Changzhou 213001, China; 2. Sewage Treatment Plant of Qingtan, Changzhou 213001, China)

Abstract: The removal efficiency of nitrogen and phosphorus and the effect of sludge concentration in A²/O process with pre-anoxic tank were studied. The results showed that anoxic denitrification hold great potential for phosphorus removal, and the removal efficiency of PO₄³⁻-P was 86.4%. The excellent denitrification performance was achieved in the pre-anoxic tank, the removal efficiency of NO₃⁻-N was 81.2%. When the sludge concentration was twice as high as the conventional WWTPs (about 2 000 mg/L), the nitrification time could be reduced by 33% and NO₃⁻-N increasing rate could be improved by 10.9% in the aerobic tank. In the anoxic tank, the time of phosphorus removal by denitrification and the denitrification time could be reduced by 43% and 44%, and the removal efficiencies of PO₄³⁻-P and NO₃⁻-N could be increased by 17.2% and 27.1%, respectively. However, increasing sludge concentration had little effect on the rates of nitrification, anoxic denitrifying phosphorus removal, and denitrification.

Key words: wastewater treatment plant; A²/O process; pre-anoxic tank; nitrogen and phosphorus removal; denitrifying phosphorus removal

由于2007年太湖蓝藻暴发,江苏省对太湖流域城镇污水处理厂提出了实施一级A提标改造的要求。至2010年底,太湖流域城镇污水处理厂提标改造工程已全面完成,大部分污水厂出水水质基本能达到一级A标准。目前,污水处理厂提标改造后主要应用的是 A^2/O 工艺,但对该工艺运行效果的追踪报道较少,而冬季水温偏低、微生物活性差、出水 NH_3-N 和TN难以达标等仍是污水处理厂面临的普遍问题。

鉴于此,笔者对改进 A^2/O 工艺系统的硝化效果、反硝化脱氮效果和反硝化除磷效果进行了分析,并通过小试研究了不同污泥浓度下的脱氮除磷效果,探讨进一步提高脱氮除磷效果的潜力,旨在为污水厂的生产运行提供理论参考和技术支持。

1 试验材料与方法

1.1 污水处理厂概况

试验选取太湖流域一座以 A^2/O 工艺为主体、处理生活污水为主的小型城镇污水处理厂为研究对象,处理规模为 $1.5 \times 10^4 m^3/d$,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准,具体工艺流程见图1。

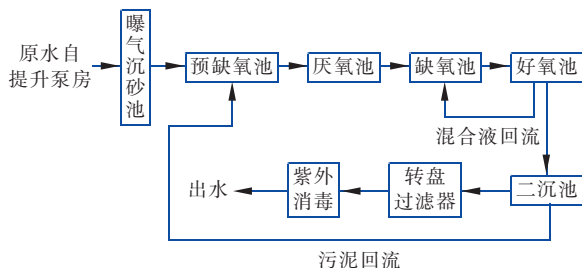


图1 城镇污水处理厂的改进 A^2/O 工艺流程

Fig.1 Flow chart of modified A^2/O process in a WWTP

该污水厂原先采用倒置 A^2/O 工艺,但出水氮、磷难以同步达到一级A标准,冬季氨氮和总氮去除率偏低,进水碳氮比常年不足,而厂区内没有多余用地。为此,在不扩大占地的基础上,对 A^2/O 工艺进行了一系列的改进。取消了初沉池,将其改造为前置预缺氧池;将回流污泥回流至前置预缺氧池,以消除回流污泥中溶解氧或硝酸盐对除磷效果的影响。该厂改进后的 A^2/O 工艺运行稳定,主要工艺参数如下:预缺氧池的ORP值为 $-300 \sim -100 mV$,厌氧池的ORP值为 $-450 \sim -300 mV$,缺氧池的ORP值为 $-100 \sim -50 mV$,好氧池的DO浓度为 $2.0 \sim 3.0 mg/L$,内回流比为150%,外回流比为100%,MLSS

控制在 $2000 \sim 3500 mg/L$,MLVSS控制在 $1300 \sim 2500 mg/L$ 。

该污水处理厂进水COD、 NH_3-N 、TN、TP的年平均值分别为168、25.9、31.0、2.86 mg/L,相应的出水浓度年平均值分别为20.2、0.33、10.5、0.19 mg/L,另外,二沉池出水TP浓度的年平均值为0.52 mg/L。

1.2 试验设计与方法

试验内容分为两部分:一是监测污水厂的生产运行效果,即取厌氧池、缺氧池及好氧池末端出水,经沉淀后采用国标法测定 $PO_4^{3-}-P$ 和 $NO_3^- - N$ 浓度;二是模拟测定各工艺单元的脱氮除磷效果,即取污水厂反应池中的污水和污泥,模拟缺氧池和好氧池的生产运行情况处理污水,取水样经沉淀后测定 $PO_4^{3-}-P$ 和 $NO_3^- - N$ 浓度。模拟反应器为5 L的玻璃瓶(见图2),配备磁力搅拌和曝气设施。模拟缺氧池时,仅搅拌不曝气;模拟好氧池时,搅拌并曝气,控制曝气量使得反应器中混合液的DO浓度达到 $2.0 mg/L$ 。

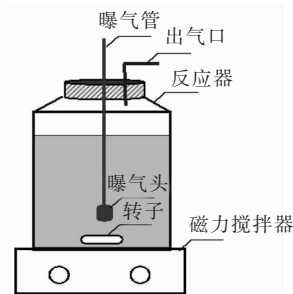


图2 模拟试验装置

Fig.2 Schematic diagram of simulation test device

该厂正常运行情况下内回流比控制在150%时能取得良好的脱氮除磷效果,于是分别取厌氧池末端混合液1份和好氧池末端混合液1.5份,模拟污水厂缺氧池,将两种混合液混合搅拌均匀后进行反硝化脱氮除磷试验,反应时间设为180 min,并在相同间隔时间取样,离心后取上清液检测 $PO_4^{3-}-P$ 和 $NO_3^- - N$ 浓度。模拟污水厂好氧池试验,是取缺氧池末端混合液5 L,搅拌混合均匀,用充氧泵对混合液充氧,用便携式DO仪测定DO浓度,试验中保持DO浓度为 $2.0 mg/L$ 不变,反应时间设为90 min,在相同间隔时间取样,离心后取上清液检测 $NO_3^- - N$ 浓度。同时,在维持回流比不变的情况下,进行了不同污泥浓度条件下的硝化、反硝化试验。

2 试验结果与讨论

2.1 污水厂的生产运行效果

2.1.1 除磷效果

各工艺单元出水的磷酸盐浓度变化见图 3。

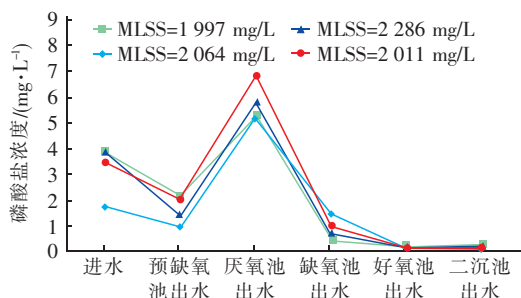


图3 磷酸盐浓度的沿程变化

Fig.3 Change of phosphate concentration along A²/O process

由图3可知,在厌氧段磷酸盐浓度大幅上升,从进水到出水 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 浓度平均升高了 158.6%,说明厌氧池释磷效果较好;在缺氧段磷酸盐浓度大幅下降,从进水到出水平均降低了 84.3%,说明缺氧池吸磷效果较好;在好氧段磷酸盐含量继续下降,直到稳定在较低浓度(0.13 mg/L)。

取 12 次试验测定的平均值可知,缺氧池对 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 的去除量为 4.86 mg/L,去除率为 86.4%,说明反硝化除磷作用明显。好氧池对 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 的去除量为 0.76 mg/L,去除率为 13.6%,低于缺氧池对 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 的去除率,说明相对于好氧吸磷而言反硝化除磷作用对系统除磷的贡献更大。分析原因是,缺氧池中出现了反硝化除磷现象,反硝化除磷是反硝化除磷菌以 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 作为电子受体,通过“一碳两用”途径来实现同步反硝化脱氮和过量吸磷的目的^[1],好氧池末端出水中含有大量的硝态氮,通过内回流进入缺氧池中,为反硝化除磷菌提供了电子受体进行吸磷作用。吴春英^[1]的研究指出反硝化除磷量能占到系统总除磷量的 60% 以上,而在本研究中反硝化除磷作用对 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 的去除率高达 86.4%。故在生物除磷过程中,反硝化除磷的作用不可忽视,反硝化除磷具有较大的除磷潜力,城镇污水处理厂应加以重视并尽量控制条件,如控制好内回流比以保证缺氧池中有足够的硝态氮等,充分发挥反硝化除磷的作用。

2.1.2 脱氮效果

各工艺单元出水的硝态氮浓度变化见图 4。可

知,在好氧段硝态氮浓度大幅上升,从进水到出水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度平均升高了 396.8%,硝化作用较好;在缺氧段,反硝化脱氮作用去除了一部分硝态氮,但由于将好氧段的部分混合液回流到缺氧段,使得缺氧段末端出水的硝态氮浓度高于进水;在预缺氧段,由于内源反硝化作用去除了一部分氮,使得其出水硝态氮浓度维持较低水平(0.21 mg/L)。

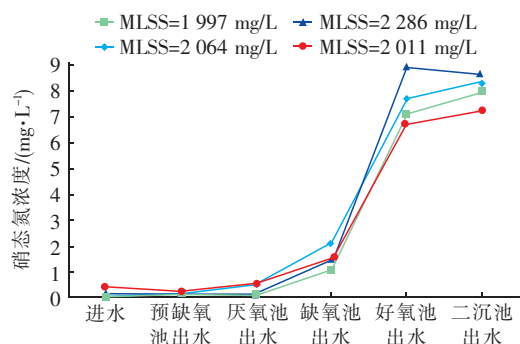


图4 硝态氮浓度的沿程变化

Fig.4 Change of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ concentration along A²/O process

试验表明,预缺氧池对 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的去除量为 6.00 mg/L,去除率为 81.2%,说明预缺氧池的脱氮作用明显;缺氧池对 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的去除量为 1.39 mg/L,去除率为 18.7%,相比较而言,预缺氧池的反硝化作用对脱氮的贡献更大。在 A²/O 工艺中增设前置预缺氧池,能充分利用回流污泥内源反硝化作用强化脱氮除磷效果^[2],陈亚松等人^[3]的研究认为设有前置预缺氧池的 A²/O 工艺对 TN 的去除主要发生在前置预缺氧区,前置预缺氧区的脱氮贡献为 51%,而本研究中前置预缺氧池对 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的去除率高达 81.2%,因此是系统脱氮的重要途径。此外,二沉池存在较高浓度的硝态氮,污泥如果通过外回流直接进入厌氧池,反硝化会抢先消耗易降解的 COD,如 VFA 等,造成聚磷菌难以获得充足的碳源而抑制释磷^[4]。前置预缺氧池的设置使硝态氮浓度大大降低,从而不会影响厌氧池的厌氧释磷效果^[5]。故前置预缺氧池具有较大的脱氮潜力,在 A²/O 工艺中增设前置预缺氧池是提高脱氮效果的较好手段。

2.2 不同污泥浓度下的脱氮除磷效果

2.2.1 反硝化除磷效果

模拟污水厂的反硝化池,在污水厂实际运行的污泥浓度(低污泥浓度)下和高污泥浓度下分别进

行反硝化试验,结果见图5。以上两组试验在相同条件下同时进行,试验开始前和结束后测定反应装置内的 MLSS 值。

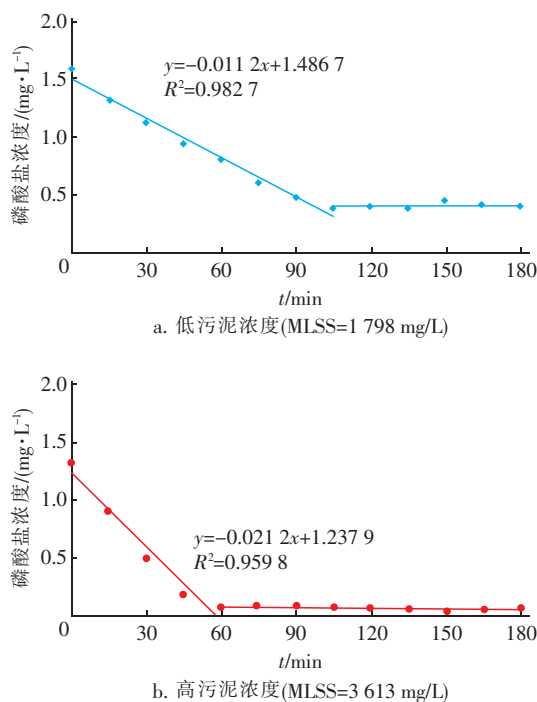


图5 不同污泥浓度下的反硝化除磷情况

Fig. 5 Denitrifying phosphorus removal under different sludge concentrations

由图5可知,随着反应时间的延长, $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 浓度均呈先线性下降再趋于稳定的变化趋势。这是由于随着反应时间的延长,可供反硝化菌利用的电子受体硝态氮越来越少,从而会导致反硝化菌的活性下降^[6]。在高污泥浓度试验中, $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 起始浓度为1.33 mg/L,并在第60分钟时达到稳定浓度即0.09 mg/L,对 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 的去除率为93.2%;而在低污泥浓度试验中, $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 起始浓度为1.58 mg/L,在第105分钟时才达到稳定浓度即0.50 mg/L,对 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 的去除率为76.0%。以上结果表明,将污泥浓度提高1倍,可使反硝化除磷作用时间减少45 min,即时间缩短了43%, $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 去除率提高17.2%,缺氧池末端出水 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 浓度能维持在更低水平,即通过提高缺氧池内的污泥浓度,能达到更高效的除磷效果,因此高的污泥浓度可应用在冬季污水厂除磷的运行中。另外,根据试验开始时测定的污泥浓度和缺氧反硝化拟合曲线,得到生产运行污泥浓度下和高污泥浓度下的缺氧反硝化除磷速率

分别为0.92和0.88 $\text{mgPO}_4^{3-} - \text{P}/(\text{gMLSS} \cdot \text{h})$,这与尹航等人^[7]测得的反硝化除磷速率[0.91 $\text{mg}/(\text{gMLSS} \cdot \text{h})$]基本一致,表明提高池内污泥浓度对反硝化除磷速率的影响不大。

2.2.2 反硝化脱氮效果

在进行2.2.1节的反硝化试验中,同时测定 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度的变化,结果见图6。

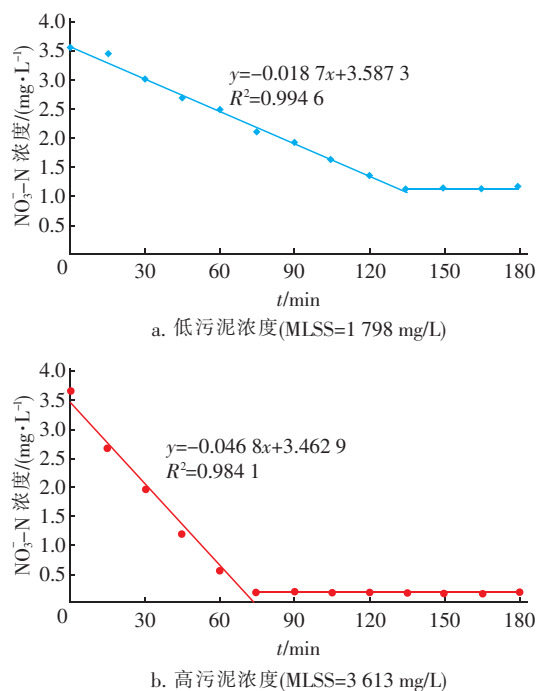


图6 不同污泥浓度下的反硝化脱氮情况

Fig. 6 Nitrogen removal by denitrification under different sludge concentrations

由图6可知,随着反应时间的延长, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度亦呈先线性降低后趋于稳定的变化趋势。在高污泥浓度试验中, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 起始浓度为3.67 mg/L,并在第75分钟达到稳定浓度即0.17 mg/L, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 去除率为95.4%;在低污泥浓度试验中, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 起始浓度为3.56 mg/L,在第135分钟时才达到稳定浓度即1.13 mg/L, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 去除率为68.3%。以上结果表明,当将污泥浓度提高1倍时,反硝化脱氮作用时间可以减少60 min,即节省了44%的时间, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 去除率可提高27.1%,缺氧池末端出水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度能维持在更低水平,即通过进一步提高缺氧池内的污泥浓度,能达到更高效的脱氮效果。另外,污水厂生产运行污泥浓度下和高污泥浓度下的缺氧反硝化脱氮速率分别为1.43和1.73 $\text{mg}/(\text{gMLSS} \cdot \text{h})$,这与王佳伟等人^[8]测得的反硝化

脱氮速率[1.62 mg/(gMLSS · h)]基本一致,表明提高污泥浓度对反硝化脱氮速率的影响较小。

2.2.3 硝化效果

同理,模拟污水厂的硝化池,进行实际运行污泥浓度(1 947 mg/L)和高污泥浓度(3 622 mg/L)下的硝化试验,两组试验在相同条件下同时进行。结果表明,在两组试验中,NO₃⁻ - N 浓度均呈先线性增加后趋于稳定的变化趋势。在高污泥浓度试验中,NO₃⁻ - N 起始浓度为 2.63 mg/L,并在第 40 分钟时便达到稳定值即 8.57 mg/L,NO₃⁻ - N 增加率为 69.3%;而在实际运行污泥浓度试验中,NO₃⁻ - N 起始浓度为 2.91 mg/L,在第 60 分钟时才达到稳定值即 7.00 mg/L,NO₃⁻ - N 增加率为 58.4%。以上结果表明,当污泥浓度提高 1 倍时,硝化作用时间可减少 20 min,即缩短 33% 的反应时间,NO₃⁻ - N 增加率可提高 10.9%,好氧池末端出水 NO₃⁻ - N 浓度能达到更高水平,即通过进一步提高好氧池内的污泥浓度,能达到更高效的硝化效果。另外,低污泥浓度下和高污泥浓度下的好氧硝化速率分别为 5.22 和 5.48 mg/(gMLSS · h),高于凌玉成^[9]测得的硝化速率[3.19 mg/(gMLSS · h)],表明改进后的 A²/O 工艺硝化效果较好。

3 结论

① 对于前置预缺氧池的 A²/O 工艺,缺氧池内的反硝化除磷作用具有较大的除磷潜力,对磷酸盐的去除率高达 86.4%;而增设前置预缺氧池是提高脱氮效果的较好手段,前置预缺氧池内的反硝化作用具有较大的脱氮潜力,对 NO₃⁻ - N 的去除率达到了 81.2%。

② 对于前置预缺氧池的 A²/O 工艺,提高污泥浓度是提高脱氮除磷效果的有效手段。当污泥浓度提高 1 倍时,好氧池的硝化反应时间可缩短 33%,NO₃⁻ - N 增加率提高 10.9%;缺氧池的反硝化除磷时间可缩短 43%,PO₄³⁻ - P 去除率提高 17.2%,反硝化脱氮时间可缩短 44%,NO₃⁻ - N 去除率提高 27.1%,并使缺氧池出水 NO₃⁻ - N 浓度维

持在 1.00 mg/L 以下。

参考文献:

- [1] 吴春英. 新型短程硝化工艺的反硝化除磷特性[J]. 中国给水排水,2014,30(19):15-18.
- [2] 杨敏,孙永利,郑兴灿,等. 清潭污水处理厂一级 A 提标改造工程脱氮除磷特性分析[J]. 给水排水,2014,40(2):37-40.
- [3] 陈亚松,李书鹏,颜孜佳,等. 前置缺氧 A²/O 工艺脱氮贡献的定量研究[J]. 广州化工,2010,38(7):168-170.
- [4] 王晓莲,彭永臻. A²/O 法污水生物脱氮除磷处理技术与应用[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [5] 侯金良,康勇,高永刚. AOA-SBR 工艺用于城市污水同步脱氮除磷[J]. 水处理技术,2007,33(7):78-81.
- [6] 郜超超. 城市污水处理厂脱氮除磷及其影响因素影响研究[D]. 邯郸:河北工程大学,2013.
- [7] 尹航,何理,卢健聪,等. 水力停留时间对生物膜/颗粒污泥耦合工艺脱氮除磷的影响[J]. 化工学报,2014,65(6):2294-2300.
- [8] 王佳伟,郑江,周军,等. 基于碳源需求的 A²/O 工艺分段进水研究[J]. 中国给水排水,2010,26(11):47-50.
- [9] 凌玉成. A²/O-MBR 工艺的脱氮除磷特性研究[J]. 环境科学与管理,2012,37(7):88-91.



作者简介:高洋(1989-),男,湖北黄冈人,硕士研究生,研究方向为水污染控制工程。

E-mail:598013023@qq.com

收稿日期:2016-08-18