

溶解氧对短程同步硝化/反硝化  
耦合除磷工艺的影响

何争光, 谢谦, 丁丹

(郑州大学 水利与环境学院, 河南 郑州 450001)

**摘要:** 采用人工模拟的高氨氮城市污水,对厌氧/好氧/缺氧(A/O/A)序批式活性污泥法反应器内短程同步硝化/反硝化耦合除磷过程的实现及稳定性进行研究. 对一个典型周期内水质变化情况进行测定和分析,系统对化学需氧量(COD)、氨氮(NH<sup>+</sup><sub>4</sub>-N)、总氮(TN)、总磷(TP)去除率分别为 94.8%,97.6%,89.4%,93.1%. 调节曝气量以改变溶解氧质量浓度,结果表明:随着溶解氧质量浓度升高,亚硝化率由 97%下降至 20%;溶解氧质量浓度过低,会抑制好氧阶段的吸磷过程;溶解氧质量浓度过高,会影响好氧、缺氧阶段磷的有效吸收.

**关键词:** 硝化/反硝化; 序批式活性污泥法; 溶解氧; 除磷

**中图分类号:** X 703      **文献标志码:** A

随着新型城市化进程的不断加快,水资源短缺已成为制约社会经济发展的重要因素之一. 氮、磷等污染物引起的水环境问题日益严重,越来越严格的排放标准使传统脱氮除磷工艺的污水处理厂面临着升级或改造. 研究并开发更加经济高效的污水处理工艺成为亟需解决的问题之一<sup>[1-2]</sup>. 国内外已有研究表明,聚磷菌与硝化菌间存在着泥龄矛盾、碳源不足等问题,限制其对氮磷的同步去除<sup>[3-4]</sup>. 短程同步硝化/反硝化耦合除磷工艺利用亚硝化菌泥龄短的特点,迎合了聚磷菌所需的短泥龄. 与传统的脱氮除磷工艺相比,短程同步硝化/反硝化耦合除磷工艺不仅可以节省 25%的曝气量,40%的反硝化碳源,50%的碱投加量,还可以缩短反应时间,减小反应器容积,解决碳源不足的问题<sup>[5-7]</sup>. 本文对厌氧/好氧/缺氧(A/O/A)序批式活性污泥法(SBR)反应器内,短程同步硝化/反硝化耦合除磷过程的实现及稳定性进行研究,并探讨不同溶解氧(DO)质量浓度对系统脱氮除磷效果的影响.

1 材料与方法

1.1 试验装置

试验装置,如图 1 所示. SBR 反应器的内筒直径为 24 cm,高度为 35 cm,每隔 8 cm 设置一个取样口,有效容积约为 10 L. 微孔曝气沙头设于容器底部,采用空气压缩机进行曝气,气体转子流量计控制曝气量,并通过机械搅拌机进行搅拌. 潜水泵由顶端进水,蠕动泵由容器底端排水口排水,二者均通过智能定时插座开关控制. 每天运行 2 个周期,每个周期 12 h. 运行方式为瞬时进水 5 min,厌氧搅拌 60 min,曝气搅拌 200 min,缺氧搅拌 150 min,静止沉淀 60 min,排水 20 min,剩余时间闲置. 每个周期末排泥 200 mL.

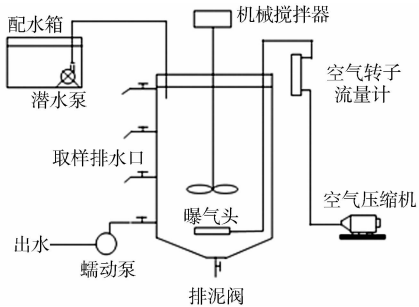


图 1 试验装置  
Fig. 1 Experimental setup

1.2 用水水质

采用人工模拟的高氨氮城市污水,主要成分为无水乙酸钠、氯化铵、磷酸二氢钾、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,以及多种无机盐组成的微量元素溶液.在原水水质中:化学需氧量(COD)为  $360 \sim 400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,氨氮( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )为  $80 \sim 95 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,总磷(TP)为  $6 \sim 10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,pH 值为  $7.5 \sim 7.8$ ,温度为  $20 \sim 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

1.3 分析方法

COD 采用重铬酸钾快速消解法;TP 采用钼锑抗分光光度法;氨氮( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )采用纳氏试剂分光光度法;亚硝酸盐氮采用 N-(1-萘基)-乙二胺分光光度法;硝酸盐氮采用麝香草酚分光光度法;总氮(TN)采用过硫酸钾氧化-麝香草酚分光光度法;混合液悬浮固体质量浓度(MLSS)采用重量法;DO,pH 值为在线监测.

2 结果与讨论

2.1 A/O/A SBR 工艺的启动

一般认为,硝化菌最适宜的 pH 值为  $6.0 \sim 7.5$ ,而亚硝化菌最适宜的 pH 值为  $7.0 \sim 8.5$ ,且亚硝化菌的世代周期更短,最大比增长速率更大<sup>[8]</sup>.因此,基于动力学选择原理,改变实验的运行条件,引起反应器内亚硝化菌与硝化菌的竞争,通过“洗泥”使亚硝化菌成为硝化反应的优势菌<sup>[9]</sup>.

采用两个阶段对污泥进行驯化培养,保持碳氮比值恒定为 4.5.启动阶段氮素质量浓度( $\rho(\text{氮素})$ )的变化情况,如图 2 所示.由图 2 可知:第一阶段的反应阶段厌氧为 2 h,好氧为 6 h,从而富集硝化菌与聚磷菌;第二阶段以试验设计的反应方式运行,投加碳酸氢钠,使进水 pH 值增大至  $7.6 \sim 8.2$ ,再调节曝气量,降低溶解氧至  $0.4 \sim 0.8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,每个周期末排泥由 110 mL 增大至 200 mL,污泥龄由  $18 \sim 21 \text{ d}$  减少至  $9 \sim 13 \text{ d}$ .出水中亚硝态氮质量浓度明显增大,总氮去除率( $\eta(\text{TN})$ )不断提高,说明发生了短程硝化/反硝化现象.

2.2 A/O/A SBR 反应器周期内水质的变化

一个典型周期内水质的变化情况,如图 3 所示.由图 3 可知:进入厌氧阶段,COD 质量浓度下降至  $34.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,TP 质量浓度上升至  $78.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,呈较好的负相关性, $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的质量浓度下降至  $69.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ;进入好氧阶段,由于曝气的作用, $\text{NH}_4^+-\text{N}$  质量浓度不断下降,系统内的  $\text{NO}_2^--\text{N}$  出现积累,最大积累量为  $19.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,而  $\text{NO}_3^--\text{N}$  始终保持极低的质量浓度,此阶段总氮出现明显的缺失,损失幅度高达  $68.1\%$ ,系统发生了较为明显的短程同步硝化/反硝化作用;进入缺氧阶段, $\text{NO}_2^--\text{N}$  和 TP 的质量浓度同步下降,呈正相关性,说明系统内可能存在以  $\text{NO}_2^--\text{N}$  为电子受体的反硝化除磷反应进行;系统对 COD,氨氮,TN,TP 的去除率分别为  $94.8\%$ , $97.6\%$ , $89.4\%$ , $93.1\%$ ,说明在稳定运行期间 A/O/A SBR 反应器内实现了短程同步硝化/反硝化与除磷过程的耦合;在沉淀排水之后的闲置阶段,反应器内的微生物利用内源呼吸产物对残余氮素进行充分反硝化,并达到一种饥饿状态,为下一周期的运行做好准备.

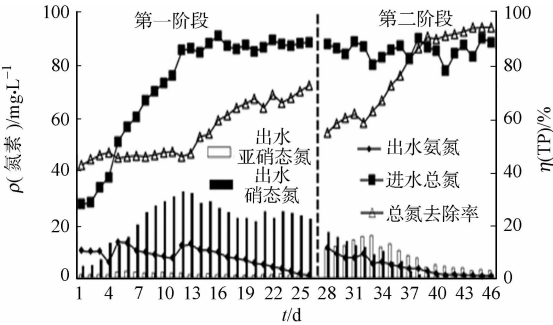


图 2 启动阶段氮素的变化情况  
Fig. 2 Change of nitrogen during start-up period

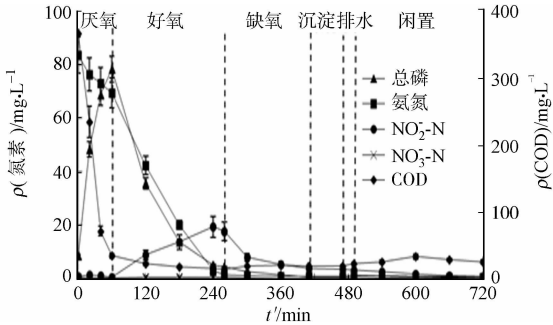


图 3 一个典型周期内水质变化情况  
Fig. 3 Water quality change during one typical circle

2.3 溶解氧对 A/O/A SBR 工艺的影响

在系统稳定运行期间,调整曝气量,使好氧阶段反应器的溶解氧分别为 0.2~0.4,0.6~0.8,1.0~1.2,1.4~1.6 mg·L<sup>-1</sup>,每个工况运行 7 d,分别测定周期变化曲线。

2.3.1 溶解氧对脱氮的影响 不同溶解氧质量浓度下的各种氮素的周期变化情况,如图 4 所示。由图 4 可知:当 DO 质量浓度为 0.2~0.4 mg·L<sup>-1</sup>时,氨氮不能得到有效地去除,出水氨氮质量浓度高达 10.1 mg·L<sup>-1</sup>;当 DO 质量浓度大于 1.0 mg·L<sup>-1</sup>时,缩短了短程硝化/反硝化的进程,具体表现为亚硝态氮的最大积累质量浓度下降,峰值出现的时间提前;当 DO 质量浓度为 1.0~1.2,1.4~1.6 mg·L<sup>-1</sup>时,好氧阶段结束时,硝氮的质量浓度分别达到 16.1,35.8 mg·L<sup>-1</sup>,亚硝化率分别降至 41%,20%;当 DO 质量浓度为 0.6~0.8 mg·L<sup>-1</sup>时,不仅氨氮能得到有效去除,在好氧阶段也发生了较为明显的短程同步硝化/反硝化作用,当好氧阶段结束时,亚硝化率高达 97%。随着 DO 质量浓度的升高,反应器内的短程硝化向全程硝化转变,而且过高的溶解氧破坏了颗粒污泥的微环境,对短程同步硝化/反硝化作用产生不良影响。

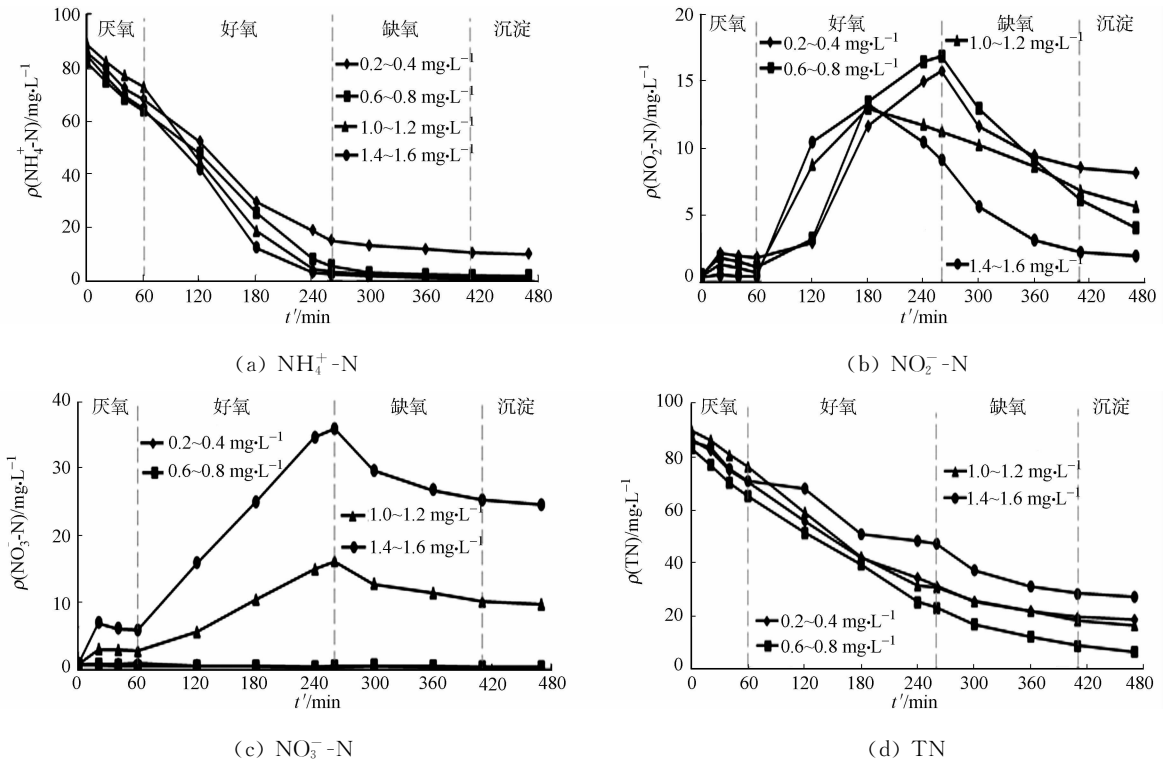


图 4 不同溶解氧质量浓度下氮素的周期变化

Fig. 4 Periodic changes of nitrogen under different DO concentration

2.3.2 溶解氧对除磷的影响 不同溶解氧质量浓度下总磷的周期变化,如图 5 所示。由图 5 可知:随着 DO 质量浓度的升高,好氧阶段的吸磷速率越快,吸磷量越大。由于在闲置阶段中,本周周期残余的氮素或溶解氧基本已消耗殆尽,其对下一周期厌氧阶段释磷作用的影响甚微。当 DO 质量浓度为 0.2~0.4 mg·L<sup>-1</sup>时,好氧阶段结束时的总磷质量浓度为 7.91 mg·L<sup>-1</sup>,而出水总磷质量浓度为 2.85 mg·L<sup>-1</sup>,说明 DO 质量浓度过低对好氧阶段的吸磷作用产生了抑制。随着溶解氧质量浓度的升高,好氧阶段结束时的总磷质量浓度分别为 4.14,2.16,1.24 mg·L<sup>-1</sup>,而出水总磷质量浓度分别为 0.51,0.95,1.58 mg·L<sup>-1</sup>。当 DO 质量浓度大于 0.8 mg·L<sup>-1</sup>时,好氧吸磷作用程度的增强导致

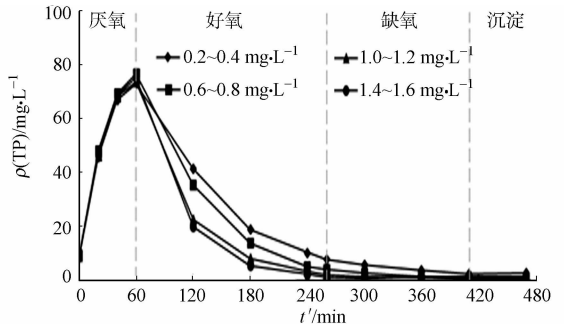


图 5 不同溶解氧质量浓度下总磷的周期变化

Fig. 5 Periodic changes of total phosphorus under different DO concentration

消耗过量的有机物,影响磷的有效吸收<sup>[9]</sup>,导致反应器在缺氧阶段对磷的去除能力下降.

3 结 论

- 1) 稳定运行条件下,系统对 COD,氨氮,TN,TP 的去除率分别为 94.8%,97.6%,89.4%,93.1%,实现了短程同步硝化/反硝化与除磷过程的耦合.
- 2) 当 DO 质量浓度大于 0.6 mg · L<sup>-1</sup>时,氨氮得到有效去除.随着 DO 质量浓度的升高,好氧阶段结束时的亚硝化率由 97%逐渐下降至 20%,对短程同步硝化/反硝化产生不良影响.
- 3) 当 DO 质量浓度为 0.2~0.4 mg · L<sup>-1</sup>时,不能满足好氧阶段对磷的充分吸收;当 DO 大于 0.8 mg · L<sup>-1</sup>时,随着 DO 质量浓度的升高,在好氧和缺氧阶段对磷的有效吸收受到影响.

参考文献:

[1] 何岩,赵由才.高浓度氨氮废水脱氮技术研究进展[J].工业水处理,2008,28(1):1-4.

[2] 钟金松,闵育顺.浅谈高浓度氨氮废水处理的可持续发展方向[J].环境科学技术,2008,31(2):92-94.

[3] 徐微,吕锡武.反硝化聚磷污泥厌氧释磷影响因素研究[J].安全与环境工程,2009,16(3):26-30.

[4] ZHOU Yan,PIJUAN M,YUAN Zhiguo.Free nitrous acid inhibition on anoxic phosphorus uptake and denitrification by poly-phosphate accumulating organisms[J].Biotechnology and Bio-engineering,2007,98(4):903-912.

[5] 杨少武,王晓青,杨顺生.生物脱氮除磷新技术研究进展[J].安徽化工,2011,37(1):21-22.

[6] 郭冬艳,李多松,孙开蓓,等.同步硝化反硝化生物脱氮技术[J].安全与环境工程,2009,16(3):41-44.

[7] 马娟,彭永臻,王丽,等.反硝化除磷技术及其影响因素分析[J].工业水处理,2009,29(4):4-8.

[8] 李泽兵,李军.短程硝化反硝化技术研究进展[J].给水排水,2011,37(9):163-168.

[9] 李梅芳,宋秀兰.厌氧/好氧/缺氧模式的 SBR 处理生活污水[J].工业水处理,2013,33(8):22-25.

Effect of Dissolved Oxygen on Simultaneous  
Shortcut Nitrification/Denitrification  
With Phosphorus Removal Process

HE Zhengguang, XIE Qian, DING Dan

(College of Water Conservancy and Environmental Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** By using synthetic domestic sewage as feed, it was researched that A/O/A sequencing batch reactor activated sludge process was utilized to combine simultaneous shortcut nitrification/denitrification with phosphorus removal. The typical circle was tested and analyzed, and the system removal of chemical oxygen demand (COD), NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, total nitrogen (TN), total phosphorus (TP) was 94.8%, 97.6%, 89.4%, 93.1% respectively. Dissolved oxygen (DO) concentration was changed by adjusting the aeration,and the result showed: with DO concentration growing up, the shortcut nitrification rate changed from 97% into 20%. Phosphorus absorption process was inhibited at aerobic stage when DO concentration was too low, while the effective absorption of phosphorus was affected during aerobic and anoxic stage when DO concentration was too high.

**Keywords:** nitrification/denitrification; sequencing batch activated sludge process; dissolved oxygen; dephosphorization

(责任编辑: 钱筠 英文审校: 刘源岗)