

doi:10.3969/j.issn.1674-4764.2012.05.021

# 短程硝化反硝化快速启动及稳定运行研究

周露<sup>1a,1b</sup>, 郎建<sup>2</sup>, 李桥<sup>2</sup>

(1. 重庆大学 a. 建筑城规学院; b. 山地城镇建设与新技术教育部重点实验室, 重庆 400030;

2. 中国水电顾问集团成都勘测设计研究院, 成都 610072)

**摘要:**为了考察短程硝化反硝化的影响因素,对短程硝化反硝化快速启动和稳定运行的影响因素,采用实时控制手段研究。结果表明:通过 DO 和 pH 联合实时控制,低 DO 条件下可以实现短程硝化反硝化快速启动。启动成功的短程硝化污泥,过度曝气对  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  积累影响较大。合理控制曝气时间,应用实时控制策略,控制  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  刚刚氧化完成时停止曝气,可保证  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  完全氧化,防止  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  进一步氧化。实时控制可实现短程硝化,而且可以维持短程硝化稳定运行。

**关键词:**实时控制;短程硝化反硝化;快速启动;影响因素;稳定运行

**中图分类号:**X703.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2012)05-0132-04

## Analysis of Rapid Startup and Steady Operation of Short Cut Nitrification and Denitrification

ZHOU Lu<sup>1a,1b</sup>, LANG Jian<sup>2</sup>, LI Qiao<sup>2</sup>

(1a. Faculty of Architecture and Urban Planning; 1b. Key Laboratory of New Technology for Construction of Cities in Mountain Area, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China;

2. Hydro China Chengdu Engineering Corporation, Chendu 610072, P. R. China)

**Abstract:** In order to investigate the influence factor of short cut nitrification and denitrification, the rapid startup and steady operation of the short cut nitrification and denitrification with real time control were studied. The results show that the short cut nitrification and denitrification can be rapidly setup by the control of DO and pH cooperated with low DO. The excessive aeration has negative effect on the accumulation of  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  for primary short cut nitrification and denitrification sludge. With real time control and reasonable aeration time, the ammonia can be oxygenated completely and the nitrite can not be oxygenated when aeration stops and ammonia oxygenation just completes. Thus the real time control strategy not only realizes the short cut nitrification and denitrification, but also maintains such steady operation.

**Key words:** real time control, short cut nitrification and denitrification, rapid startup, influence factor, steady operation

传统硝化工艺,也就是全程硝化工艺,是将  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  完全氧化成  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 。但是,在生物脱氮的工艺中,硝化反应过程将  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  转化为  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,反硝化反应过程从  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  转化为  $\text{NO}_2^- - \text{N}$ ,再进一步还原为  $\text{N}_2$ ,这 2 个过程完全可

以省略<sup>[1-2]</sup>。与传统硝化反硝化反应相比较,能耗低、污泥产率低、节省碳源等是短程硝化反硝化反应的优势<sup>[3-5]</sup>。

短程硝化反硝化反应,无论是在经济上,还是在技术上都具有较高的可行性,尤其是在高氨氮浓度

收稿日期:2011-12-25

作者简介:周露(1971-),女,博士生,主要从事山地人居环境与城市建设研究,(E-mail)767314462@qq.com。

和低碳氮比的污水处理技术上<sup>[6-7]</sup>。成功实现短程硝化反硝化技术并被实际应用的第1个工艺是SHARON (Single reactor system for High Ammonia Removal Over Nitrite process),但是,高温、高氨氮浓度等运行条件限制了其发展和应用。目前,快速发展的水处理技术,使研究人员找到了多种实现短程硝化反硝化反应的方法<sup>[8-16]</sup>,如:DO、抑制剂、运行方式、污泥龄、pH值、温度、基质浓度以及负荷等。根据氧半饱和常数、污泥龄、活化能和抗毒性物质的能力不同,筛选淘汰硝化菌(NO<sub>B</sub>),累积亚硝化菌(AOB)。尽管如此,还是存在如何快速实现短程硝化反硝化、实现短程硝化反硝化后如何稳定运行的技术性难题。

为了研究短程硝化反硝化的快速启动和稳定运行的影响因素,采用了低DO条件下实时控制的技术手段,为实际工程中短程硝化反硝化的快速启动以及保持稳定运行提供了借鉴。

## 1 试验材料和方法

### 1.1 试验用水来源和水质

试验原水取自重庆大学家属区的生活污水,活性污泥取自唐家沱污水处理厂并进行接种。生活污水的水质情况见表1。

表1 试验用水水质

水质参数	浓度范围
pH值	6.6~7.8
COD/(mg·L <sup>-1</sup> )	290~370
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/(mg·L <sup>-1</sup> )	38~52
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P/(mg·L <sup>-1</sup> )	2~4
碱度/(mg·L <sup>-1</sup> )	240~370

### 1.2 试验装置和方法

试验采用上部圆柱形,下部为圆锥形的SBR反应器,SBR反应器采用有机玻璃材质制成。SBR反应器高为700 mm,直径为200 mm,总的有效容积为12 L,每个周期末排水体积为2.5~3 L,充水比为0.2~0.25。在SBR反应器侧壁上设置一排间隔10 cm用于取样和排水的取样口。在反应器的底部设有用于放空和排泥的放空管。在反应器内部下方设曝气头,曝气量由反应器外部的转子流量计调节。pH、DO、ORP(氧化还原电位)探头置于反应器内支架上,在线监测pH、DO、ORP指标的变化。整个试验期间温度稳定维持在30℃±1℃。试验装置图如图1所示。

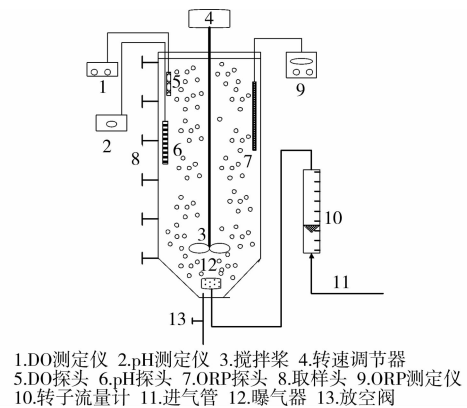


图1 试验装置图

实验采用好氧/缺氧(O/A)的运行方式,试验共运行90 d,每天运行3个周期,每周期为8 h,分别为瞬时进水、好氧曝气2 h、缺氧搅拌0.5 h(缺氧初期外加乙酸钠作为碳源)、沉淀2 h、其余时间为排水和待机。好氧末期排放一定体积的混合液,控制系统的污泥龄在10~15 d,MLSS控制在2 800~3 200 mg/L。

### 1.3 检测分析项目

具体分析检测项目和方法,见表2。

表2 监测项目和方法

检测项目	检测方法和仪器
COD	5B-3型COD快速测定仪
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	麝香草酚分光光度法
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	N-(1-萘基)-乙二胺光度法
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	纳氏试剂分光光度法
MLSS	滤纸重量法
DO和温度	WTW InoLab Oxi level2 实验室台式仪

## 2 实验结果和分析

### 2.1 短程硝化反硝化的启动

2.1.1 短程硝化反硝化启动控制手段 通过对转子流量计的控制,使得反应器内DO的平均值控制在0.5~0.7 mg/L,充分利用低DO条件下亚硝化细菌(AOB)的生长速度大于硝化细菌(NO<sub>B</sub>)的特点,逐步实现AOB富集。同时保持反应器水温稳定在30℃±1℃,通过低DO与温度的协同作用,快速地启动短程硝化反硝化。

在氨氧化结束时,pH曲线上出现“氨氮突跃点”;而在氨氮氧化接近结束的时候,pH值会出现低谷—“氨谷”,即由下降曲线变为上升曲线。因此,可以利用在反应器曝气过程中pH曲线上的氨谷转折点和DO曲线上的突跃点来控制反应器的曝气过

程,反应过程中 SBR 典型周期上的控制节点如图 2 和图 3 所示。

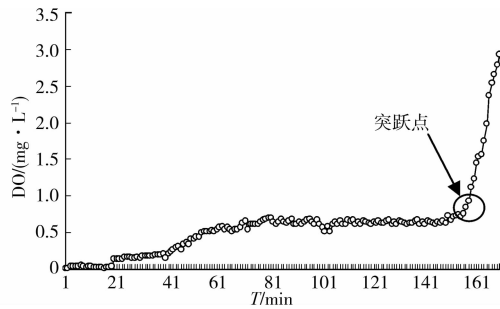


图 2 短程硝化 SBR 典型周期的 DO 变化曲线

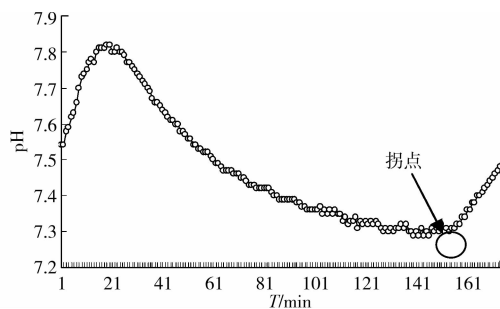


图 3 短程硝化 SBR 典型周期的 pH 变化曲线

在低 DO 条件下(0.5~0.7 mg/L),AOB 菌增殖速率加快,通过这种增殖作用补偿由低 DO 造成的代谢能力下降,使得 AOB 的氧化能力受到影响很小。同时 NOB 的增殖速率没有变化,通过 DO 的控制,可导致  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  的大量积累。

在 SBR 反应器的反应过程中,pH 曲线上“由下降变上升”拐点出现时,表明氨氮氧化过程刚刚结束。在此拐点马上停止曝气,可防止曝气过度 DO 升高导致  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  进一步氧化为  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 。以 pH 值作为控制参数的实时控制,是快速启动和稳定维持短程硝化反硝化的必要条件。因此通过实时控制的手段,可增强 AOB 在活性污泥菌群中的优势,削弱 NOB 的生长优势,从而将 NOB 从 SBR 反应器中逐渐淘汰,以尽可能短的时间实现短程硝化反硝化的快速启动。

**2.1.2 短程硝化反硝化启动效果** 将 SBR 反应器的温度维持在  $30\text{ }^\circ\text{C} \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ ,MLSS 浓度维持为 3 000 mg/L 左右,通过转子流量计控制曝气量在 30 L/h,对已经具有良好硝化效果的成熟污泥进行驯化,考察短程硝化反硝化启动效果。具体效果见图 4。

从图 4 中可看出,SBR 运行了 25 d 左右,亚硝化积累率达到 50%,从而进入短程硝化。继续采用 2.1.1 的控制方法,亚硝化积累率一直保持上升趋势。在 43 d 的培养后,亚硝化率上升到 85% 并一直

保持稳定。此时 SBR 短程硝化已经成功启动并且达到了稳定状态,SBR 系统曝气结束后出水中硝酸盐含量低于 1.5 mg/L。

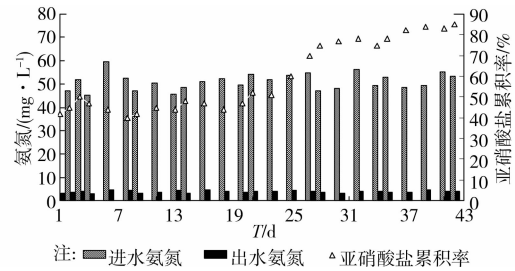


图 4 短程硝化进出水氨氮和亚硝酸盐积累情况

## 2.2 短程硝化反硝化的稳定运行

生物系统硝化过程中,AOB 的反应速度是整个反应的限制步骤。短程硝化反硝化的控制方法,可以利用 AOB 和 NOB 这 2 类微生物动力学参数的不同,实现 AOB 和 NOB 的优先选择。通常当  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  氧化为  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  时,由  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  氧化为  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的速度很快。采取控制温度、pH 值、投加抑制剂等控制方法,即使实现了  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  的启动,短程硝化稳定维持也比较困难。此时控制系统 DO 浓度是十分重要的。

**2.2.1 短时过度曝气对短程硝化的影响** 当短程硝化反硝化启动成功后,为考察曝气量对短程硝化反硝化稳定性的影响,将本文图 2 和图 3 中的控制点延后 1 h,考察曝气时间对短程硝化反硝化稳定性影响效果,如图 5 所示。

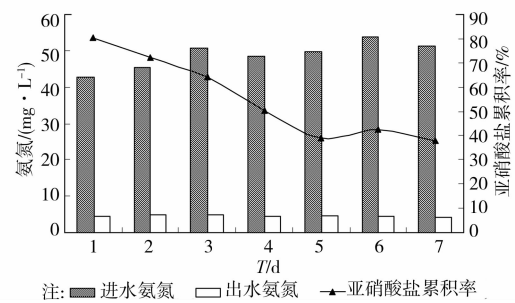


图 5 过度曝气对短程硝化影响

从图 5 中可看出,在短时过度曝气的过程中,随着曝气时间的增加  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  的积累率呈下降趋势,影响了短程硝化反硝化的稳定性。SBR 系统中活性污泥中仍然存在一定量的 NOB,在过度曝气的过程中,NOB 有适宜的反应条件和充足的底物,经过 5~7 d 后 NOB 活性可以完全恢复。因此,活性污泥中 AOB 和 NOB 的菌群数量是一个动态的变化过程,随着外界条件的变化,AOB 和 NOB 的菌群

数量不断发生变化,从而导致短程硝化和全程硝化过程的相互转换的。

### 2.2.2 恢复实时控制策略后对短程硝化的影响

实验中重新应用实时控制在上述过度曝气的反应系统中。一段时间后,将 pH 的“氨谷点”和 DO 的“突跃点”准确控制,试验结果发现全程硝化过程又转化为短程硝化过程,如图 6 所示。

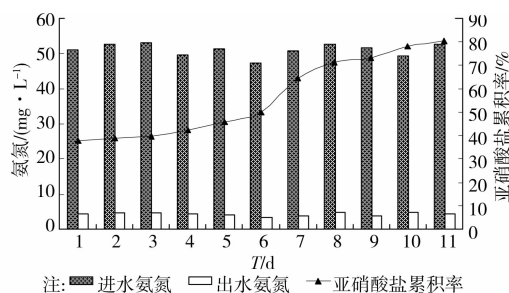


图 6 恢复实时控制对短程硝化影响

从图 6 中可以看出,在实时控制过程中,避免过度曝气,控制适宜的 DO 浓度和适度的曝气时间,在第 5 d 后 SBR 系统中  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  累积率逐步稳定升高,到第 11 d 后 SBR 系统完全恢复短程硝化。

采用实时控制策略,在氨氮刚刚氧化完成时停止曝气,此时 SBR 系统中  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  累积率高,可保证氨氮完全氧化,同时防止  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  继续氧化,这是短程硝化反硝化工艺可以稳定维持的重要条件。合理控制曝气时间、保持适宜的 DO 浓度对于短程硝化反硝化生物脱氮工艺起到至关重要的作用,短时过度曝气会导致 NOB 活性提高,SBR 工艺系统由短程硝化转向全程硝化。

因此,控制准确的曝气时间、实时控制 DO 的突跃点和 pH 的“氨谷点”,可使得 SBR 工艺系统恢复短程硝化反硝化,并可保持稳定运行。实时控制策略是实现短程硝化反硝化生物脱氮工艺稳定性的重要手段。

## 3 结论

1) 实现短程硝化反硝化快速启动,可以通过对 DO 和 pH 实时控制,温度与低 DO 的协同作用来实现。

2) 在短时过度曝气的过程中,经过 5 d~7 d 后 NOB 活性可以完全恢复。随着外界条件的变化,AOB 和 NOB 的菌群数量不断发生变化,从而导致短程硝化和全程硝化过程的相互转换的。

3) 采用实时控制策略,在氨氮刚刚氧化完成时就停止曝气,可保证氨氮完全氧化,同时防止  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  继续氧化,这是短程硝化反硝化工艺可以稳定维持的重要条件。

4) 控制准确的曝气时间、实时控制 DO 的突跃点和 pH 的“氨谷点”,可使得 SBR 工艺系统恢复短程硝化反硝化,并可保持稳定运行。实时控制策略是实现短程硝化反硝化生物脱氮工艺稳定性的重要手段。

### 参考文献:

- [1] Voets J P, Vanstaen H, Verstraete W. Removal of nitrogen from highly nitrogenous wastewaters [J]. Journal of the Water Pollution Control Federation, 1975, 47: 394-398.
- [2] Beccari M, Marani E, Ramadori R, et al. Kinetic of dissimilatory nitrate and nitrite reduction in suspended growth culture [J]. Journal of the Water Pollution Control Federation, 1983, 55:58-64.
- [3] Turk O, Mavinic D S. Benefits of using selective inhibition to remove nitrogen from highly nitrogenous wastes [J]. Environmental Technology Letters, 1987, 8:419-426.
- [4] Ingo Schmidt, Olav Sliemers, Markus Schmid, et al. New concepts of microbial treatment processes for the nitrogen removal in wastewater [J]. FEMS Microbiology Reviews Volume, 2003, 27(4): 481-492.
- [5] Khin T, Annachhatre A P. Novel microbial nitrogen removal processes [J]. Biotechnology Advances, 2004, 22(7): 519-532.
- [6] Villaverde S, Garcia-Encina P A, Fdz-Polanco F. Influence of pH over nitrifying biofilm activity in submerged biofilm [J]. Water Research, 1997, 31(5): 1180-1186.
- [7] Hellinga C, Schellen A A J C, Mulder J W, et al. The Sharon process: an innovative method for nitrogen removal from ammonium-rich wastewater [J]. Water Science and Technology, 1998, 37(9):135-142.
- [8] Peng Y Z, Chen Y, Peng C Y, et al. Nitrite accumulation by aeration controlled in sequencing batch reactors treating domestic wastewater [J]. Water Science and Technology, 2004, 50(10):35-43.
- [9] 彭赵旭,彭永臻,左金龙. 全程硝化与短程硝化的特性对比研究[J]. 中国给水排水,2008,24(23):6-10. Peng Z X, Peng Y Z, Zuo J L. Comparison of characteristics of complete nitrification and shortcut nitrification [J]. China Water & Wasterwater, 2008, 24(23):6-10.
- [10] Peng Y Z, Song X, Peng C, et al. Biological nitrogen removal in SBR bypassing nitrate generation accomplished by chlorination and aeration time control [J]. Water Science & Technology, 2004, 49(5/6):295-300.

- 731.
- [12] 王雨利,周明凯,李北星,等. 石粉对水泥湿堆积密度和混凝土性能的影响[J]. 重庆建筑大学学报,2008,30(6):151-154.  
WANG Yuli, ZHOU Mingkai, LI Beixing, et al. Effects of stone powder on wet packing density of cement and performances of concrete [J]. Journal of Chongqing jianzhu University, 2008,30(6):151-154.
- [13] Wang J L, Yang Z F, Niu K M, et al. Influence of MB value of manufactured sand on the shrinkage and cracking of high strength concrete [J]. Journal of Wuhan University of Technology — Mater. Sci. Ed. 2009, 24(2): 321-325.
- [14] Tahir C, Khaled M. Effects of crushed stone dust on some properties of concrete [J]. Cement and Concrete Research, 1996, 26(7):1121-1130.
- [15] Ahmed A E, El-Kourid A A. Properties of concrete incorporating natural and crushed stone very fine sand [J]. ACI Materials Journal, 1989, 86(4):417-424.
- [16] Ahn N S. An Experimental Study on the guidelines for using higher contents of aggregate micro fines in portland cement concrete [D]. The University of Texas, August, 2000.
- [17] Ramezani-pour A A, Ghiasvand E, Nickseresht I, et al. Influence of various amounts of limestone powder on performance of Portland limestone cement concretes [J]. Cement & Concrete Composites, 2009, 31(10): 715-720.
- [18] 王稷良,周明凯,朱立德,等. 机制砂对高强混凝土体积稳定性的影响[J]. 武汉理工大学学报,2007,29(10): 20-24.  
WANG Jiliang, ZHOU Mingkai, ZHU Lide, et al. Effects of manufactured-fine aggregate on volume stability of high-strength concrete [J]. Journal of Wuhan university of technology, 2007,29(10):20-24.

(编辑 胡 玲)

(上接第 135 页)

- [11] Peng Y Z, Yu D S, Liang D W, et al. Nitrogen removal via nitrite from seawater contained sewage [J]. Journal of Environmental Science and Health Part A: Toxic/hazardous Substances and Environmental Engineering. 2004, 39(7):1667-1680.
- [12] 李凌云,彭永臻,杨庆,等. SBR 工艺短程硝化快速启动条件的优化[J]. 中国环境科学,2009,29(3):312-317.  
LI Lingyun, PENG Yongzhen, YANG Qing, et al. Partial nitrification SBR process quick start the optimization of the conditions [J], China Environmental Science, 2009,29 (3) :312-317.
- [13] 曾薇,张悦,李磊,等. 生活污水常温处理系统中 AOB 与 NOB 竞争优势的调控[J]. 环境科学,2009,30(5):1430-1436.  
ZENG Wei, ZHANG Yue, LI Lei, et al. AOB and NOB competitive advantage in the sewage room temperature processing system regulation [J]. Environmental Science, 2009, 30 (5):1430-1436.
- [14] Zhu G, Peng Y, Li B, et al. Biological removal of nitrogen from wastewater [J]. Rev. Environ. Contain. Toxicol. ,2008,192:159-195.
- [15] Peng Y, Zhang S, Zeng W, et al. Organic removal by denitrification and methanogenesis and nitrogen removal by nitrification from landfill leachate [J]. Wat Res. ,2008, 42:883-892.
- [16] Ma Y, Peng Y, Wang S, et al. Achieving nitrogen removal via nitrite in a pilot-scale continuous pre-denitrification plant [J]. Wat Res. ,2009,43:563-572.

(编辑 胡 玲)