

# 分段进水 SBR 处理高浓度氨氮废水的中试研究

顾建辉<sup>1</sup>, 李彩珍<sup>2</sup>, 黄天寅<sup>1</sup>, 刘锋<sup>1</sup>, 吴玮<sup>1</sup>

(1. 苏州科技大学 环境科学与工程学院, 江苏 苏州 215009; 2. 苏州市吴中区水利局, 江苏 苏州 215100)

**摘要:** 对传统分段进水 SBR 工艺进行改进, 增加球形悬浮填料和搅拌措施, 并建立中试系统, 考察系统对高浓度氨氮废水的处理效果以及温度对脱氮效果的影响。结果表明: 该工艺对高浓度氨氮废水的处理效果良好, 在进水 COD 为 580 ~ 970 mg/L、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  为 90 ~ 257 mg/L 的条件下, 对 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和 TN 的去除率基本在 80%、80% 和 70% 以上。水温对系统处理效果的影响显著, 水温与比氨氧化速率和比反硝化速率呈显著的正相关性。分段进水 SBR 工艺可充分利用原水中的有机物作为反硝化碳源, 在节能降耗的前提下, 可实现废水的深度脱氮处理。

**关键词:** 高浓度氨氮废水; SBR 工艺; 分段进水; 生物脱氮

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000 - 4602(2018)17 - 0104 - 04

## Treatment of High-concentration Ammonia Nitrogen Wastewater by a Pilot Step-feed SBR

GU Jian-hui<sup>1</sup>, LI Cai-zhen<sup>2</sup>, HUANG Tian-yin<sup>1</sup>, LIU Feng<sup>1</sup>, WU Wei<sup>1</sup>

(1. School of Environmental Science and Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215009, China; 2. Wuzhong District Water Conservancy Bureau, Suzhou 215100, China)

**Abstract:** The traditional SBR was improved by adding spherical suspension filler and stirring measure, and a pilot system was established to investigate the treatment effect of high-concentration ammonia nitrogen wastewater and the effect of temperature on nitrogen removal. The results showed that the new step-feed SBR had superior removal efficiency for pollutant. When the influent COD and  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  were 580 - 970 mg/L and 90 - 257 mg/L respectively, the removal rates of COD,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  and TN were above 80%, 80% and 70% respectively. Furthermore, water temperature had a significant influence on the treatment effect of the system, and there was a positive correlation between temperature and specific ammonia oxidation rate/specific denitrification rate. The new step-feed SBR process could make full use of organic pollutants in the wastewater as denitrification carbon sources. Under the premise of energy saving and consumption reducing, advanced denitrification of wastewater was realized.

**Key words:** high-concentration ammonia nitrogen wastewater; SBR process; step-feed; biological nitrogen removal

分段进水 SBR 是基于同步硝化反硝化和动力

的一种新型废水脱氮处理工艺<sup>[1,2]</sup>。Lin 等人<sup>[3]</sup>研究表明, 在相同的进水负荷条件下, 分段进水 SBR

出水的硝态氮含量远低于传统 SBR 出水。同时,分段进水 SBR 在缺氧段产生的碱度能被好氧段利用;缺氧段的进水可为反硝化提供碳源,减少了碳源投加量<sup>[4]</sup>。此外,也有研究表明,在进水 C/N 值一定的条件下,通过分配各阶段的进水量,并控制好氧段和缺氧段的时间,可达到良好的脱氮效果<sup>[5]</sup>。笔者对传统分段进水 SBR 工艺进行改进,增加球形悬浮填料和搅拌措施,并采用虹吸出水方式,具有强化脱氮的效果,同时可降低运行成本,操作也更加简便。考察了该工艺对高浓度氨氮废水的处理效果以及温度对脱氮效果的影响。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验装置

中试装置工艺流程见图 1。SBR 反应池的尺寸为 4.4 m × 3 m × 2.7 m,有效容积为 31 m<sup>3</sup>,处理水量为 5 ~ 10 m<sup>3</sup>/d,池体由钢板焊制,内部做防腐处理,并设有球形悬浮填料,以强化硝化菌种群的生长;好氧状态下水中 DO 浓度控制在 2 ~ 3 mg/L,整个运行过程由 PLC 系统控制。调节池的尺寸为 Ø1.5 m × 2.5 m,污泥浓缩池的尺寸为 Ø1 m × 1.4 m。

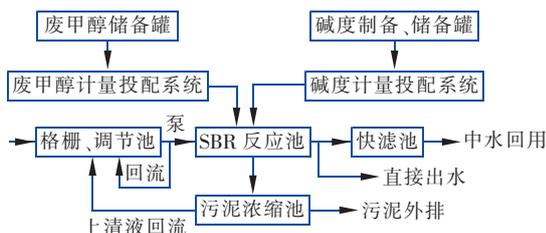


图 1 中试装置工艺流程

Fig.1 Flow chart of pilot test

废水经格栅直接进入调节池,调节池中设有潜污泵,废水经潜污泵一部分进入 SBR 反应池,一部分回流至调节池。通过浮球液位计来控制反应池内的水位,当进水达到要求的水位时,停止进水,启动鼓风机进行曝气(好氧硝化,并投加碱度),曝气结束后,启动搅拌器并投加甲醇(缺氧反硝化)。反应全部完成后,静置沉淀的上清液采用虹吸方式排出。

### 1.2 试验水质

SBR 的接种污泥为安徽阜阳某化工厂现有 A/O 工艺中的回流污泥。试验用水取自该工厂的调节池,具体水质如下:COD 为 580 ~ 970 mg/L(均值为 735 mg/L),NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 为 90 ~ 257 mg/L(均值为

165 mg/L),NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N 为 0.8 ~ 2.5 mg/L(均值为 1.4 mg/L),NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - N 为 2.3 ~ 3.8 mg/L(均值为 2.5 mg/L),pH 值为 7.0 ~ 8.6(均值为 7.8)。各项指标均采用国家标准方法测定。

### 1.3 试验方法

检测结果表明,试验期间原水的 C/N 值均在 3 以上,能满足反硝化过程对碳源的需求<sup>[6,7]</sup>。有研究指出,随着进水次数的增加,分段进水 SBR 系统的脱氮率会不断提高;同时,为进一步提高脱氮效率,在最后一个缺氧反应阶段投加适量的碳源,可大幅降低出水 TN 浓度<sup>[7]</sup>。试验进水的 C/N 值约为 5,采用两次等量进水方式,并在最后一个反硝化阶段投加废甲醇作为反硝化碳源。根据分段进水 SBR 工艺参数的优化试验,确定运行方式为:进水(4 m<sup>3</sup>)→好氧(5 h)→进水(4 m<sup>3</sup>)→缺氧(2 h)→好氧(4 h)→投加废甲醇(6 L)→缺氧(1.5 h)。

试验共运行 30 d,其中,1 ~ 20 d 水温为 20 ~ 26 °C,20 ~ 30 d 水温为 12 ~ 20 °C。

## 2 结果与讨论

### 2.1 对 COD 的去除效果

试验装置运行期间水温呈逐渐降低的趋势。图 2 为分段进水 SBR 工艺对废水中 COD 的去除效果。

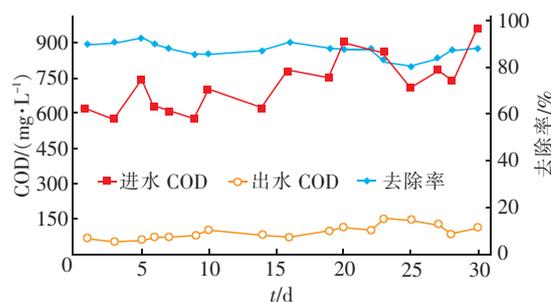


图 2 分段进水 SBR 对 COD 的去除效果

Fig.2 Removal of COD by step-feed SBR

由图 2 可以看出,该工艺对废水中的 COD 具有较好的去除效果且抗冲击负荷能力较佳。其原因在于,试验装置中的球形悬浮填料为微生物提供了良好的生长环境,工艺兼具活性污泥法和生物膜法的优势,同时使好氧阶段废水中的 DO 稳定在 2 ~ 3 mg/L,保证了运行期间良好的 COD 去除效果。在前 20 d,对 COD 的去除率保持在 88% 以上,而之后 COD 去除率下降为 80% ~ 88%,其主要原因在于环境温度的变化。有研究表明,SBR 工艺中的水温 < 20 °C 时,温度便会成为活性污泥工艺的限制因素,

温度对去除 COD 的影响较为显著<sup>[8]</sup>。试验运行后期的温度较低,微生物活性受到抑制;此外,在好氧阶段  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的转化率也有所降低,导致出水硝态氮浓度较低,投加的废甲醇没能够完全用于反硝化,从而导致出水 COD 浓度增加。

## 2.2 对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果

分段进水 SBR 工艺对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的去除效果如图 3 所示。可见,在前 20 d,对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的去除率基本在 82% 以上,最高可达 91%,说明硝化菌活性较高;但在 20 d 以后,对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的去除率维持在 80% 左右,出水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度在 40 mg/L 左右,系统的硝化效率有所下降。具体分析可知,反应器内设有球形悬浮填料,优化了硝化菌的种群结构,系统的水力学条件等也强化了硝化菌的活性;同时,在好氧曝气阶段投加碱度,防止硝化导致的废水酸化,保证系统具有良好的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  去除效果。工艺运行至 20 d 之后,系统对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的去除率有所下降,分析主要原因是由于环境温度的降低所致。大量研究指出,温度不仅影响硝化菌的比增长速率,而且影响硝化菌的活性<sup>[9,10]</sup>。Kim 等人<sup>[11]</sup> 的研究表明,30 °C 时生物脱氮的硝化效率是 10 °C 时的 3 倍。

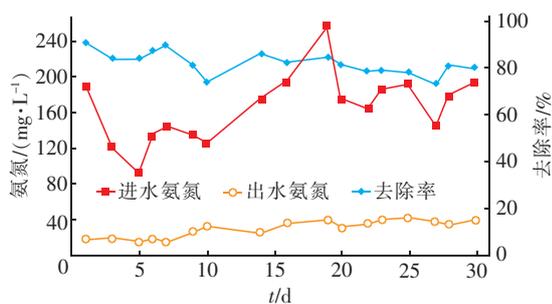


图3 分段进水 SBR 对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的去除效果

Fig. 3 Removal of  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  by step-feed SBR

## 2.3 对总氮的去除效果

分段进水 SBR 工艺对 TN 的去除效果如图 4 所示。可见,系统在前 20 d 对 TN 的去除率维持在 80% 左右,出水 TN 在 25 mg/L 左右;20 d 以后,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的降解和转化受到抑制,导致在缺氧反硝化阶段  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度升高,对  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  和  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  的转化率和浓度均有不同程度的影响。总的来说,在 20 d 以后,分段进水 SBR 工艺对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的去除率有所下降,只有  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  和  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  反硝化较为彻底,导致系统总的脱氮效果不理想,进水 TN 浓

度为 168 ~ 204 mg/L,出水 TN 浓度均在 45 mg/L 以上, TN 去除率在 70% 左右。

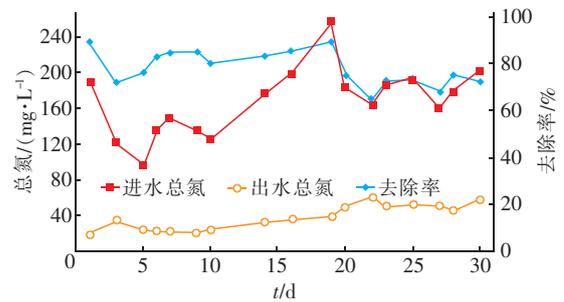


图4 分段进水 SBR 对 TN 的去除效果

Fig. 4 Removal of TN by step-feed SBR

## 2.4 温度对脱氮效果的影响

由以上试验结果可知,在前 20 d,反应器内水温较为适宜,对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和 TN 的去除率较高,脱氮性能相对稳定;而在 20 d 以后,系统处于低温状态 (12 ~ 20 °C),污泥活性整体下降,微生物活性受到抑制,导致脱氮效果下降。有关研究也表明,温度在 11 ~ 26 °C 范围内,尤其是在 11 ~ 18 °C 的低温条件下,硝化和反硝化过程受温度影响很大<sup>[10]</sup>。

不同温度条件下,分段进水 SBR 工艺的比氨氧化速率和比反硝化速率见图 5。总体上温度与比氨氧化速率和比反硝化速率呈正相关。26 °C 时的比氨氧化速率分别是 19 °C 和 13 °C 时的 1.6 和 2.3 倍;26 °C 时的比反硝化速率为 0.12 kg  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  / (kg MLSS · d),分别是 19 °C 和 13 °C 时的 1.5 和 2.3 倍。

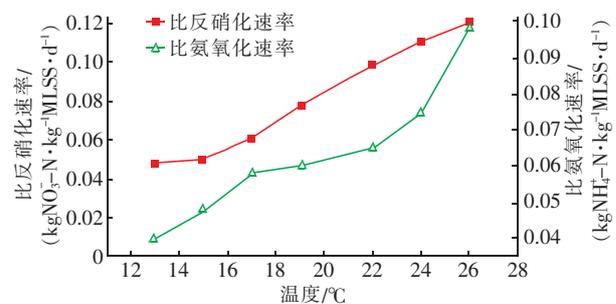


图5 不同温度下的比氨氧化速率和比反硝化速率

Fig. 5 Specific ammonia oxidation rate and specific denitrification rate under different temperatures

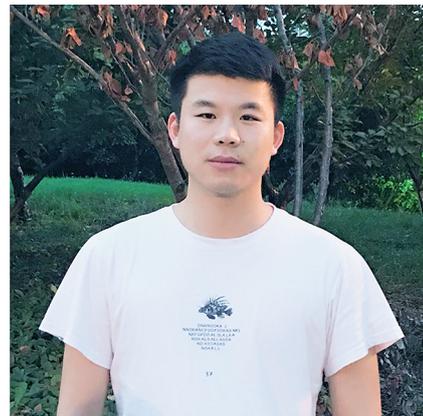
## 3 结论

对传统分段进水 SBR 工艺进行改进,增加了球形悬浮填料和强化搅拌措施,并采取两次等量进水的运行方式,中试运行结果表明,系统对合成氨废水

中的 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  以及 TN 均具有较为理想的去除效果,在进水 COD 为 580 ~ 970 mg/L、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  为 90 ~ 257 mg/L 的条件下,对 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和 TN 的去除率基本在 80%、80% 和 70% 以上。温度对分段进水 SBR 系统的处理效果影响较明显,在 12 ~ 20 °C 的低温条件下运行时,比氨氧化速率和比反硝化速率均有不同程度的降低。

#### 参考文献:

- [ 1 ] Yoo H S, Ahn K H, Lee H J, *et al.* Nitrogen removal from synthetic wastewater by simultaneous nitrification and denitrification (SND) via nitrite in an intermittently-aerated reactor[J]. *Water Res*, 1999, 33(1): 145 - 154.
- [ 2 ] Priyali S, Steven K D. Simultaneous nitrification-denitrification in a fluidized bed reactor[J]. *Water Sci Technol*, 1998, 38(1): 247 - 254.
- [ 3 ] Lin Y F, Jing S R. Characterization of denitrification and nitrification in a step-feed alternating anoxic-oxic sequencing batch reactor[J]. *Water Environ Res*, 2001, 73(5): 526 - 533.
- [ 4 ] 韩志英. 分步进水序批式反应器处理猪场废水工艺研究[D]. 杭州:浙江大学, 2007.  
Han Zhiying. Study on Treatment of Swine Wastewater by Step-feed Sequencing Batch Reactor[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007 (in Chinese).
- [ 5 ] 尚会来, 彭永臻, 张静蓉, 等. 温度对短程硝化反硝化的影响[J]. *环境科学学报*, 2009, 29(3): 516 - 520.  
Shang Huilai, Peng Yongzhen, Zhang Jingrong, *et al.* The effect of temperature on short-cut nitrification and denitrification[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29(3): 516 - 520 (in Chinese).
- [ 6 ] 韩志英, 朱军, 丁颖, 等. 强化生物脱氮分步进水型序批式反应器[J]. *中国给水排水*, 2007, 23(2): 17 - 21.  
Han Zhiying, Zhu Jun, Ding Ying, *et al.* Enhanced biological nitrogen removal process in step-feed sequencing batch reactor[J]. *China Water & Wastewater*, 2007, 23(2): 17 - 21 (in Chinese).
- [ 7 ] 郭建华, 彭永臻, 杨庆, 等. 脉冲 SBR 处理城市污水深度脱氮的工艺特性[J]. *中国环境科学*, 2007, 27(1): 62 - 66.  
Guo Jianhua, Peng Yongzhen, Yang Qing, *et al.* The characteristics of the pulsed SBR for advanced nitrogen removal of municipal wastewater [J]. *China Environmental Science*, 2007, 27(1): 62 - 66 (in Chinese).
- [ 8 ] 曾薇, 彭永臻, 王淑莹, 等. 两段 SBR 法去除有机物及短程硝化反硝化[J]. *环境科学*, 2002, 23(2): 50 - 54.  
Zeng Wei, Peng Yongzhen, Wang Shuying, *et al.* Using a two-stage SBR process for removal of organics and nitrification - denitrification via nitrite [J]. *Environmental Science*, 2002, 23(2): 50 - 54 (in Chinese).
- [ 9 ] Obaja D, Mace S, Costa J, *et al.* Nitrification, denitrification and biological phosphorus removal in piggery wastewater using a sequencing batch reactor[J]. *Bioresour Technol*, 2003, 87(1): 103 - 111.
- [ 10 ] 顾升波, 王淑莹, 杨培, 等. 变频控制 DO 条件下温度对中试 SBR 脱氮除磷的影响[J]. *土木建筑与环境工程*, 2010, 32(4): 113 - 117.  
Gu Shengbo, Wang Shuying, Yang Pei, *et al.* Effect of temperature on nutrient removal of pilot-scale SBR process with DO control by frequency conversion [J]. *Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering*, 2010, 32(4): 113 - 117 (in Chinese).
- [ 11 ] Kim D, Kim K Y, Ryu H D, *et al.* Long term operation of pilot-scale biological nutrient removal process in treating municipal wastewater[J]. *Bioresour Technol*, 2009, 100(13): 3180 - 3184.



作者简介:顾建辉(1992 - ), 男, 江苏镇江人, 硕士, 研究方向为污水处理与回用技术。

E-mail: 935462856@ qq. com

收稿日期: 2018 - 02 - 08