

Research on the Effect of Simultaneous Nitrification and Denitrification on Nitrogen Removal by SBR

Peiliang Wang Jingjing Guo*

China Construction Ecological Environment Group Co., Ltd., Beijing, 100037, China

Abstract

As one of the key discharge indexes of sewage treatment plant, if the key parameters of operation process cannot be controlled, the total nitrogen of effluent will easily exceed the standard. In this paper, the changes of total nitrogen removal along a sewage plant were studied to sum up experience for future control operation and ensure stable operation. Through research and analysis, the Sequencing Batch Reactor (SBR) process mainly removes total nitrogen through simultaneous nitrification and denitrification, with a removal capacity of 5~7mg/L. The denitrification rate was measured and it was found that denitrification was carried out in two stages. The fast denitrification stage was 10.5mgNO₃⁻-N/(gVSS·h), and the slow denitrification stage was 1.7mgNO₃⁻-N/(gVSS·h), and the time was about 180min. According to the relationship between TN and DO, high DO reflux will weaken the denitrification and nitrogen removal ability of the pre-reaction zone, while low DO will help improve the denitrification ability of the system, but too low DO may lead to incomplete nitrification, and the DO value should be reasonably adjusted according to the actual situation. The particle size of the floc was further analyzed, and the capacity of simultaneous nitrification and denitrification of SBR was confirmed.

Keywords

TN; rate; along path; denitrification

SBR 同步硝化反硝化脱氮效果研究

王培良 郭京京*

中建生态环境集团有限公司, 中国·北京 100037

摘 要

总氮作为污水处理厂重点排放指标之一, 如不能对运行过程关键参数进行控制, 易造成出水总氮超标现象。论文主要对某污水处理厂进行总氮去除工程变化的研究, 为今后的调控运行总结经验, 保证稳定运行。经研究分析, 在序批式活性污泥法 (Sequencing Batch Reactor, SBR) 工艺中, 主要通过同步硝化反硝化去除总氮, 其去除能力在 5~7mg/L。对其反硝化速率测定发现, 反硝化分两个阶段进行, 快速反硝化阶段速率为 10.5mgNO₃⁻-N/(gVSS·h), 时间约为 30min, 慢速反硝化阶段速率为 1.7mgNO₃⁻-N/(gVSS·h), 时间约为 180min。根据 TN 与 DO 的关系, 高 DO 回流会削弱预反应区反硝化脱氮能力, 而低 DO 则有助于提高系统反硝化能力, 但过低 DO 则可能导致硝化不完全, 需根据实际合理调整 DO 值。进一步对絮体粒径进行分析, 证实了 SBR 同步硝化反硝化脱氮能力。

关键词

TN; 速率; 沿程; 反硝化

1 引言

污水中的氮和磷又称为营养物, 其主要危害是导致湖泊、海湾等缓流水体, 藻类异常繁殖的富营养化。因此, 排入这类水体的污水处理厂应该执行更加严格的排放标准。面临高标准排放要求, 污水处理厂必须做到精细化调控, 对调控过程中出现的问题进行分析总结, 不断优化系统运行,

确保水质实时达标。论文主要对北京某采用 SBR 工艺的污水处理厂进行沿程数据分析总结, 以期对调控做出一定参考依据。

2 污水处理厂简介

该污水处理厂位于北京, 设计规模为 8 万 m³/d, 采用 SBR 脱氮除磷工艺。SBR 生物池共 4 组反应池, 每组又分两个小池子对称分布, 由进水渠道隔开。单池尺寸 (L×B×H)=53m×28m×6m, 设置选择区和反应区, 其中选择区占总体积的 14%, 最大有效水深为 5.5m, 最低撇水液位为 4.1m。SBR 生物池运行周期共 4h, 其中第一阶段边进水边曝气 2h, 第二阶段沉淀 1h, 第三阶段撇水 1h。后通过升级改造在进水阶段加入前搅拌时间, 采用机械搅拌方

【作者简介】王培良 (1991-), 男, 中国河南济源人, 硕士, 工程师, 从事污水处理技术研究。

【通讯作者】郭京京 (1989-), 女, 中国河北石家庄人, 硕士, 工程师, 从事污水处理技术研究、双碳咨询研究。

式, 时间为 5~20min, 之后开始曝气 2h, 沉淀时间则根据前搅拌时间缩短为 40~55min。四组生物池连续运行, 根据自控程序交替运行, 实现连续进水出水。

SBR 一个循环周期一般包括进水、反应、沉淀、滗水、闲置五个阶段。而根据处理目的和要求, 可通过调整设计和模拟多种运行方式, 达到不同水质处理效果^[1]。SBR 工艺具有占地面积小, 节约成本、工艺流程简单、可有效抑制污泥膨胀等优点^[2], 但脱氮除磷效果难以进一步提高也成为其限制发展因素^[3,4]。论文主要通过对 SBR 沿程数据进行分析, 为实际运行调控提出参考依据。

3 SBR 时间沿程分析

SBR 不同于传统活性污泥法, 其主要通过在不同时间内进行不同反应达到脱氮除磷目的, 污染物去除主要在曝气阶段去除, 论文选取了该厂某一模块单一池子在每天固定时间点的水样, 主要对 TN 沿程数据进行检测, 分析其中污染物去除规律。

3.1 进水变化规律

图 1 显示了不同日期该模块进水液位曲线, 可以看出, 时间与进水液位成线性正相关关系, 说明在进水曝气阶段, 进水量均匀增加。根据进水水量随时间线性变化规律, 可假定现阶段进水与池中上阶段残留污水完全均匀混合, 混合后 TN (未经处理) 计算公式可设为:

$$C_{2TN} = C_{1TN} \times 4.1 + C_{0TN} \times (H-4.1) \quad (1)$$

其中, C_{2TN} 为混合后 TN (未经处理); C_{1TN} 为上阶段

残留 TN; C_{0TN} 为进水 TN。

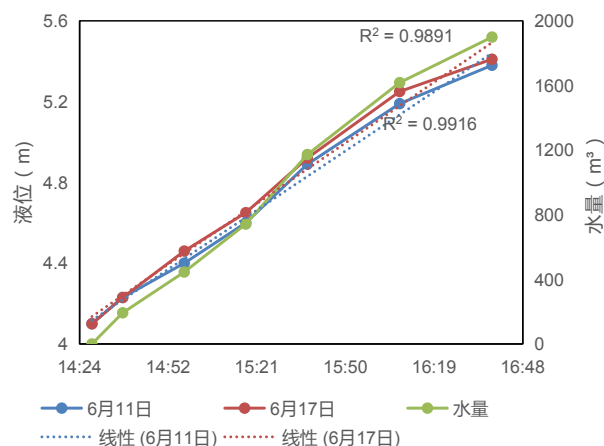


图 1 不同时间 SBR 生物池进水液位曲线

3.2 TN 沿程数据变化

图 2 分别是该模块池子不同时期从进水到曝气结束 TN 沿程变化趋势图。可以看出进水 TN 波动范围在 45~50mg/L。进水后, 原污水迅速被上阶段残留水稀释, TN 浓度降至最低, 实测值在 11~21mg/L, 之后随着稀释作用的减弱, TN 呈缓慢上升趋势。而根据公式 1 计算未经处理的 TN 理论值在 18~26mg/L, 该理论值与实测混合 TN 值之间始终存在 5~7mg/L 差距, 而此差值即为生物池进水曝气阶段同步硝化反硝化去除总氮能力。

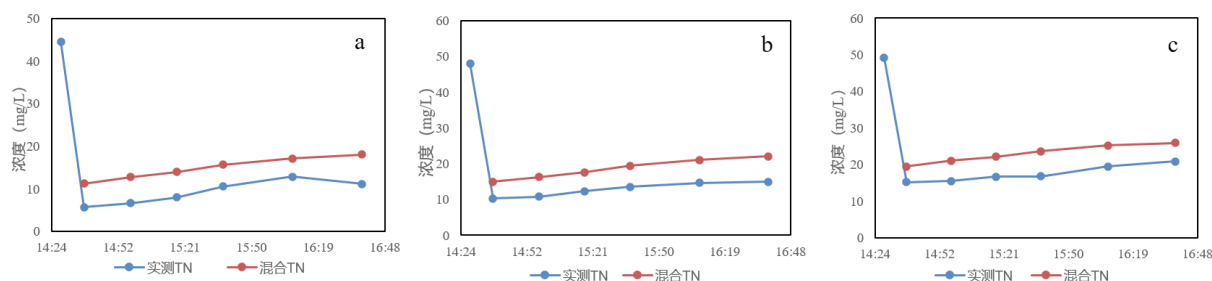


图 2 TN 沿程变化

3.3 反硝化速率测定

为进一步验证 SBR 脱氮能力, 探究反硝化进程阶段, 取该模块活性污泥进行反硝化速率测定, 实验在 24.5℃ 下进行, 调整初始 NO_3^- -N 浓度为 23.2mg/L, 初始 COD 浓度为 130mg/L, 实验后测得 MLVSS 为 2343mg/L。结果表明 (图 3), 在 SBR 生物池中, 反硝化主要分两个阶段完成, 其中快速反硝化阶段反硝化速率为 $10.5\text{mgNO}_3^- \text{N} / (\text{gVSS} \cdot \text{h})$, 时间约为 30min, 之后进入慢速反硝化阶段, 反硝化速率为 $1.7\text{mgNO}_3^- \text{N} / (\text{gVSS} \cdot \text{h})$, 时间约为 180min。

3.4 TN 与 DO 关系

为探究 DO 对 TN 去除的影响, 在不同日期的相同时间

分别取该模块生物池沿程水样检测, 水温分别为 23.9℃ 与 24.8℃, 污泥浓度分别为 4300mg/L 与 4700mg/L, COD 浓度分别为 554mg/L 和 368mg/L, 该数据均不会对 TN 去除造成明显影响。其 TN 与 DO 相关趋势图如图 4 所示。

可以看出, 图 4a 中 DO 最高值为 1.14mg/L, 反应过程中 DO 均在 1mg/L 左右。而图 4b 中 DO 最高值为 0.69mg/L, 均值在 0.4 左右 mg/L, 出水 TN 差值为 6mg/L。说明在高 DO 情况下, 进水稀释作用要高于同步硝化反硝化脱氮效果, 且高 DO 回流也会削弱预反应区反硝化脱氮能力, TN 呈上升趋势, 曝气结束时 TN 为 20.9mg/L。而低 DO 情况下则相反, TN 有较大幅度下降, 曝气结束后 TN 仅有 14.6mg/L。

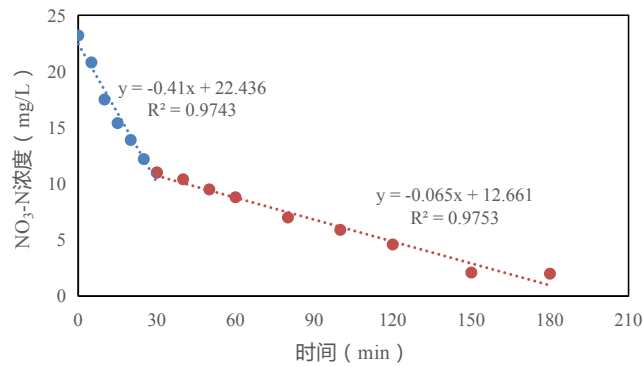


图 3 反硝化速率测定

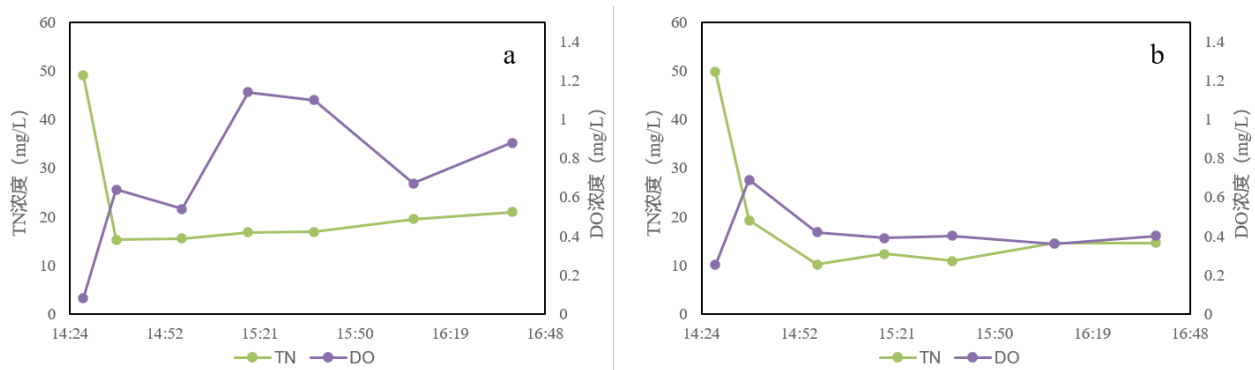


图 4 TN 与 DO 关系图

为进一步探究 DO 对 TN 去除的影响，分别取其他模块出水进行 $\text{NO}_3\text{-N}$ 检测，得出如图 5 所示结论。一、二模块均值为 11.8mg/L ，三四模块均值为 18.0mg/L ，主要原因为一二模块共用一路两台鼓风机，其 DO 反馈值均小于 1mg/L ，而三四模块共用二路两台鼓风机，其 DO 反馈值均在 $5\sim 6\text{mg/L}$ ，进一步说明 DO 对 TN 去除有明显影响，较高 DO 不利于同步硝化反硝化脱氮的去除。图 6 为出水氨氮值，可以看到在低 DO 控制下，一、二模块出现了出水氨氮值为 $7\sim 8\text{mg/L}$ 的现象，说明过低的 DO 控制虽有利于反硝化的进行，但同时使得硝化反应不完全，易造成出水超标，因此需

根据实际检测值合理控制 DO 浓度。

3.5 粒径分析

微环境理论认为当絮体颗粒较大时，在微生物絮体表面与内层存在着 DO 浓度梯度，在絮体内层，由于 DO 浓度较低，会出现局部缺氧微环境，可以进行反硝化作用，而在絮体表面，由于 DO 浓度较高，主要进行硝化反应。但是 DO 浓度增高会提高对生物絮体的穿透力，提高硝化速率，但却会导致反硝化速率降低^[5]。为进一步探究同步硝化反硝化效果，对该厂及某兄弟单位水厂进行絮体粒径分析，结果如图 7、图 8 所示。

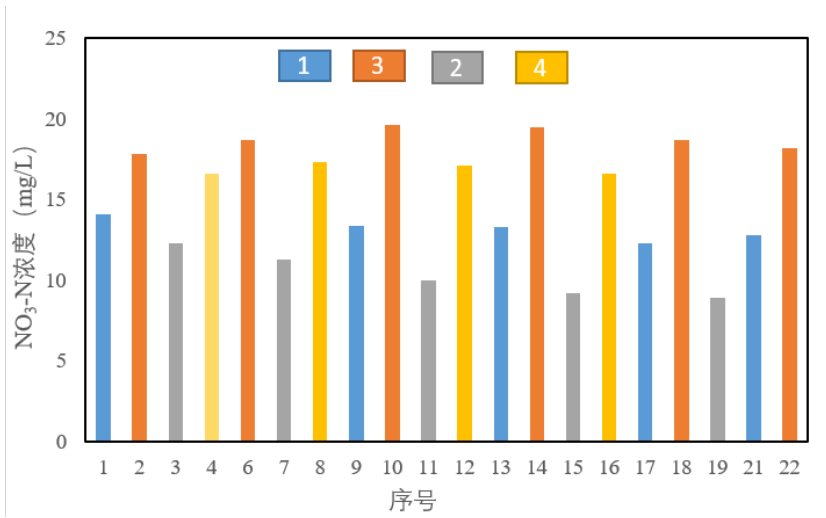


图 5 单模块出水 $\text{NO}_3\text{-N}$

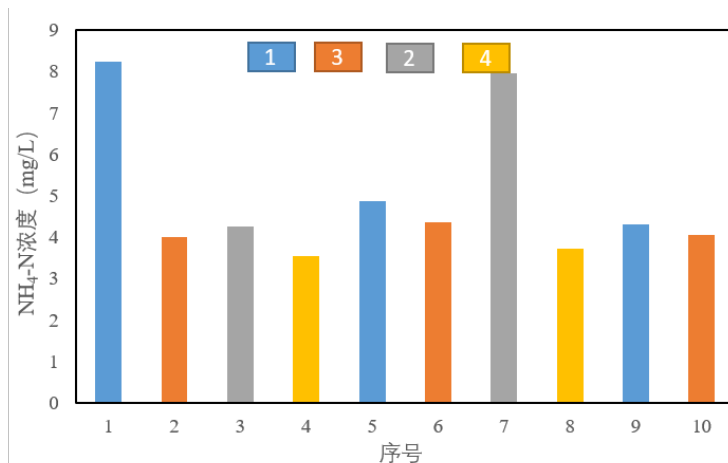
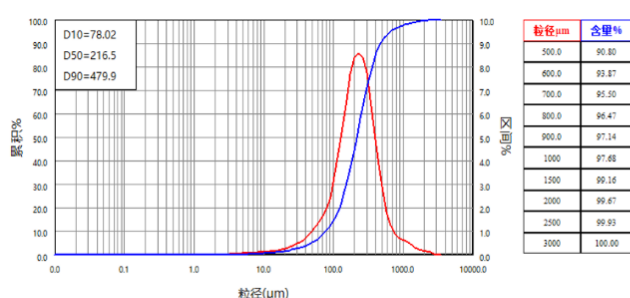
图6 单模块出水 NO_4^+-N 

图7 该污水处理厂粒径分析

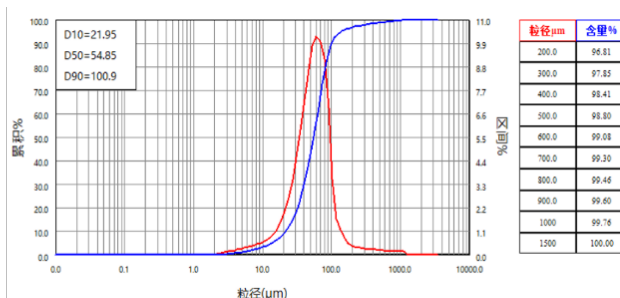


图8 兄弟单位污水处理厂粒径分析

从两厂粒径分析结果来看,该污水处理厂中位径为 $216.5\mu\text{m}$,而在 $187.7\mu\text{m}$ 以上粒径絮体占比达到了 58.96% ,兄弟单位污水处理厂中位径为 $54.85\mu\text{m}$,在 $187.7\mu\text{m}$ 以上粒径絮体占比仅有 3.39% 。而粒径大小直接影响了同步硝化反硝化脱氮的效果,较大粒径微生物絮体内部可以形成相对较大且持久的缺氧区,显著强化了絮体内部反硝化,而小粒径絮体内部与表面 DO 浓度接近,无法获得显著反硝化。从粒径分析结果来看,进一步验证了该厂 SBR 工艺同步硝化反硝化脱氮的优势。

4 结论

从以上实验数据分析可以得到以下结论:

① SBR 进水随时间变化,呈线性正相关关系,理论计算 TN 与实测 TN 在反应过程中均呈现缓慢上升趋势,主要受进水浓度影响,稀释效果大于系统反硝化效果,但系统内存在同步硝化反硝化现象,去除 TN 能力在 $5\sim 7\text{mg/L}$ 。

② 对活性污泥进行反硝化速率测定,得出反硝化分两个阶段进行,快速反硝化阶段速率为 $10.5\text{mgNO}_3^--\text{N}/(\text{gVSS}\cdot\text{h})$,时间约为 30min ,慢速反硝化阶段速率为

$1.7\text{mgNO}_3^--\text{N}/(\text{gVSS}\cdot\text{h})$,时间约为 180min 。

③ 从反应沿程数据来看,较高 DO 对 TN 有一定限制作用,且高 DO 回流也会削弱预反应区反硝化脱氮能力,而低 DO 则有助于提高系统反硝化能力,但过低 DO 则可能导致硝化不完全,需根据实际合理调整 DO 值。

④ 从粒径分析结果反映出,该厂粒径 $187.7\mu\text{m}$ 以上絮体占比达到了 58.96% ,远高于兄弟单位的 3.39% ,絮体粒径的大小直接影响了系统同步硝化反硝化能力。

参考文献

- [1] 张自杰,林荣忱,金儒霖.排水工程(下册)[M].第5版.北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [2] 郭金鑫.CASS工艺处理城市污水优化研究[D].西安:陕西科技大学,2014.
- [3] 任明华.CAST工艺的性能和优化运行研究[D].上海:同济大学,2007.
- [4] 熊芳.M-CASS工艺处理生活污水的运行控制优化研究[D].天津:天津大学,2007.
- [5] 彭永臻.SBR法污水生物脱氮除磷及过程控制[M].北京:科学出版社,2017.