

两级 SBR 与传统 SBR 工艺的对比研究

曾薇¹ 黄文春² 朱卫方² 彭永臻¹ 王淑莹¹

(1. 北京工业大学环境与能源工程学院, 北京 100022; 2. 深圳市水务(集团)有限公司, 深圳 518031)

摘要 采用两级 SBR 工艺(TSSBR)处理 COD 与氮浓度较高的工业废水, SBR1 去除有机物, SBR2 主要进行硝化反硝化。TSSBR 与传统 SBR 工艺相比, COD 降解速率和硝化反应速率明显提高, COD 去除率由 84% 提高到 93%, 2 种工艺的反硝化速率没有明显差别。在原水 COD 浓度较高的情况下, TSSBR 可有效克服高 COD 浓度对硝化反应的抑制, 硝化反应速率是传统 SBR 的 2 倍。对于 COD 和氮浓度较高的工业废水, TSSBR 明显优于传统 SBR, 是一种理想的处理工艺。

关键词 两级 SBR 传统 SBR COD 硝化 反硝化

中图分类号 X703.1 **文献标识码** A **文章编号** 1008-9241(2005)11-0001-04

Comparison of TSSBR and SBR processes

Zeng Wei¹ Huang Wenchun² Zhu Weifang² Peng Yongzhen¹ Wang Shuying¹

(1. College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022;

2. Shenzhen Water (Group) Co. Ltd, Shenzhen 518031)

Abstract Industrial wastewater with high strength COD and nitrogen was treated in TSSBR system. Most of organic substrate was removed in SBR1 and nitrogen removal occurred in SBR2 via nitrification-denitrification. As compared to SBR, COD degradation rate and nitrification rate in TSSBR were increased obviously. COD removal efficiency was increased from 84% to 93% as compared to SBR, but denitrification rate of two processes was almost same. TSSBR avoided the inhibition of the high organic loading to nitrification and nitrification rate was two times of that in SBR under the high influent COD. For the treatment of industrial wastewater with high strength COD and nitrogen concentration, TSSBR is better than SBR.

Key words TSSBR; SBR; COD; nitrification; denitrification

SBR 工艺的显著特点就是通过控制不同的运行条件在同一反应器内完成去除有机物、脱氮除磷等多种生化反应, 尤其在工业废水的处理中得到广泛应用。近年来出现了将 2 个传统 SBR 反应池串联运行的两级 SBR(TSSBR)工艺^[1-3]。虽然都称作 TSSBR, 但工作原理各不相同。传统 SBR 虽然可以在一个反应池内去除有机物和脱氮, 但对于 COD 和氮浓度较高的工业废水, 高 COD 浓度导致硝化反应速率降低, 出水氨氮达不到排放标准。本文中的 TSSBR 工艺就是用于处理 COD 和氮浓度较高的化工废水, 使具有不同作用的 2 大类微生物群体存在于不同的反应器内(双污泥系统), 提高处理效率。关于该工艺的启动与运行控制在其他论文中已做详细介绍^[4]。

1 试验条件

采用某化工厂三酸车间的洗釜废水作为处理对象, 废水中含有乙酸、偏苯三酸及苯酚等多种有机化

合物。原废水呈酸性, 进入反应器前投加 NaOH 调节 pH 值。

TSSBR 系统由 2 套相同的 SBR 反应器串联构成, 分别命名为 SBR1 和 SBR2。试验装置如图 1 所示, 有效容积 38 L。原废水首先进入 SBR1, 采取瞬间进水、限制曝气方式。SBR1 主要去除 COD, 进水后依次进行曝气、沉淀和排水。排放水再进入 SBR2, SBR2 以脱氮为主。先好氧硝化, 然后缺氧搅拌, 通入原化工废水作为反硝化碳源。反硝化结束后曝气 5~10 min 吹脱氮气, 最后沉淀排水。至此, 完成 TSSBR 的一个反应周期。反应过程中在线检测 DO、ORP 和 pH, 并根据参数的变化在一定的时间间隔取样测定 COD、氨氮、硝态氮和 MLSS 等指标。

资助项目: 国家“863”高技术研究发展资助项目(2003AA601010, 2003A06); 北京工业大学青年基金

收稿日期: 2004-06-10; **修订日期:** 2004-08-18

作者简介: 曾薇(1974~), 女, 博士, 副教授, 主要从事污水生物处理及其优化控制研究工作。E-mail: zengwei_1@263.net

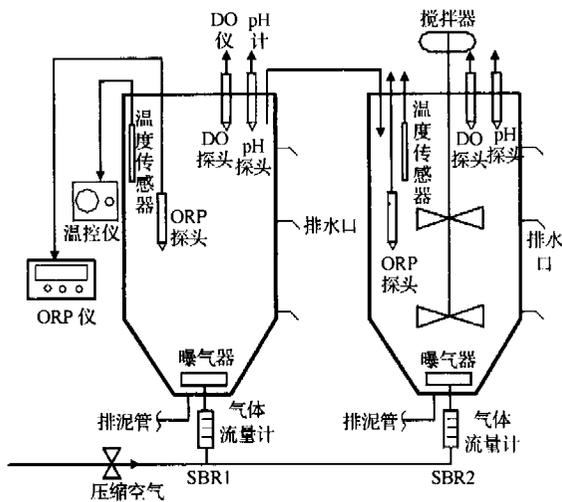


图1 TSSBR 试验装置图

Fig.1 TSSBR experimental system

2 结果与讨论

2.1 处理效率的对比

采用2种原水,一种 COD 浓度 500 mg/L、氨氮 60 mg/L,另一种 COD 浓度 1120 mg/L,氨氮 105 mg/L,考察在原水污染物浓度提高后,2种工艺处理效率的差别,结果如图2和图3所示。TSSBR 中 SBR1、SBR2 和传统 SBR 中的 MLSS 都控制在 3000 mg/L左右,水温 28~32℃。

比较图2和图3的试验结果,在相同反应条件下,相对于TSSBR,传统SBR的总反应时间明显延长,时间延长主要体现在好氧过程。在原水污染物浓度较低的情况下,传统SBR的总反应时间比TSSBR延长20 min,当污染物提高后,则延长80 min。由此可见,随着原水污染物浓度的提高,2种工艺处

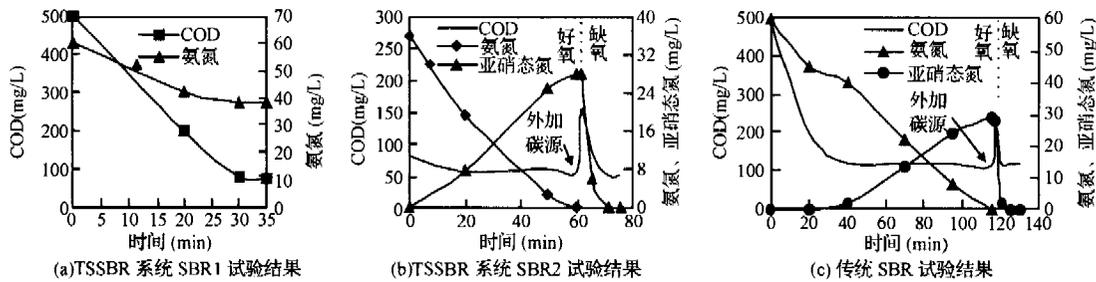


图2 原水 COD 500 mg/L、氨氮 60 mg/L

Fig.2 Influent COD 500 mg/L, NH₄⁺ 60 mg/L

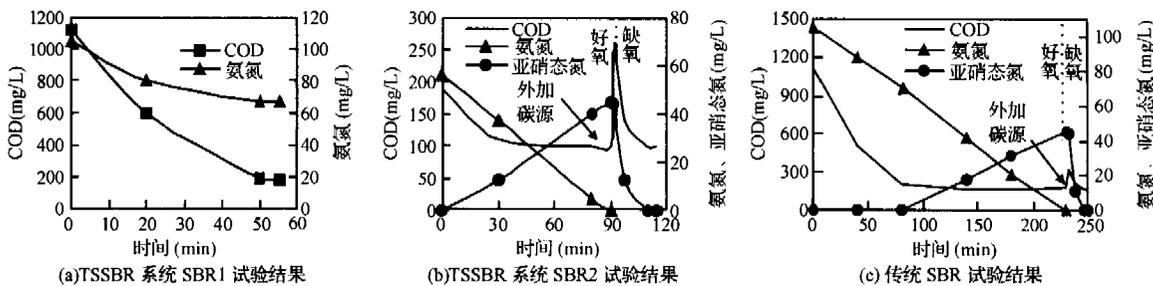


图3 原水 COD 1120 mg/L、氨氮 105 mg/L

Fig.3 Influent COD 1120 mg/L, NH₄⁺ 105 mg/L

理效率上的差异更加显著。2种工艺的有机物比降解速率(ν_c)和比硝化反应速率(ν_n)列于表1。表1数据表明,在相同条件下,TSSBR工艺的 ν_c 和 ν_n 均高于传统SBR的 ν_c 和 ν_n ,而且原水污染物浓度越高,2种工艺反应速率的差别越明显。单独就TSSBR而言,污染物浓度升高后, ν_c 和 ν_n 都有所提高。而传统SBR在污染物浓度提高后, ν_c 变化不大, ν_n 却明显下降。根据 Monod 关系式(1):

$$\nu_n = \frac{\nu_m N}{K_N + N} \quad (1)$$

式中: ν_n ——比硝化反应速率(t^{-1});

ν_m ——最大比硝化反应速率(t^{-1});

N ——硝态氮浓度(m/v);

K_N ——饱和常数。

在一定范围内,氨氮浓度越高,则 ν_n 越大,且 ν_n 越接近于常数 ν_m ,但这种变化规律适用的前提条

表 1 2 种工艺的 v_c 和 v_N
Table 1 v_c and v_N in two processes (d^{-1})

原水浓度	TSSBR		SBR	
	SBR1 的 v_c	SBR2 的 v_N	v_c	v_N
COD 500 mg/L, 氨氮 60 mg/L	6.9	0.29	6.0	0.25
COD 1120 mg/L, 氨氮 105 mg/L	8.7	0.3	6.1	0.19

件是进入硝化系统的 COD 或 BOD_5 浓度较低且变化不大。TSSBR 工艺恰好符合这种条件,因为大部分 COD 在 SBR1 内去除,进入 SBR2 脱氮系统的 COD 浓度较低且变化不大,因此,在原水氨氮浓度增大后, v_N 有所提高。而传统 SBR 系统的 v_N 变化没有符合(1)式的原因是:去除 COD 和脱氮在同一反应器内完成,在原水 COD 浓度和氨氮浓度大幅度增长后,异养菌迅速增值,降低污泥龄,在污泥浓度不变的条件下,硝化菌的比例和数量减少, v_N 下降。

图 2 和图 3 的数据还表明,原水污染物浓度相同时,2 种工艺反硝化时间没有显著差别。而且在碳源充足的情况下,2 种工艺的比反硝化速率均达到 $1.2 \text{ kg NO}_2^- \text{-N/kg MLSS} \cdot \text{d}$,反硝化时间占总反应时间的比例较小。

2.2 有机物浓度对硝化反应影响的对比

原水的 COD 浓度分别为 500、850 和 1120 mg/L,并适当增加原水氨氮浓度,使 2 个系统硝化反应初始氨氮浓度均为 36 mg/L。通过增加原水 COD 浓度,并维持硝化反应初始氨氮浓度不变来研究 COD 浓度增加对 2 个系统硝化反应的影响。2 个系统的污泥浓度均为 3000 mg/L,水温 30°C 。结果如图 4 和图 5 所示。

图 4 结果表明,对于 TSSBR,原水 COD 浓度大幅度增加后,SBR2 内的硝化反应速率基本不变,说明该系统内硝化菌的数量和比例不变。而图 5 结果表明,在传统 SBR 内,随进水 COD 浓度的增加,硝

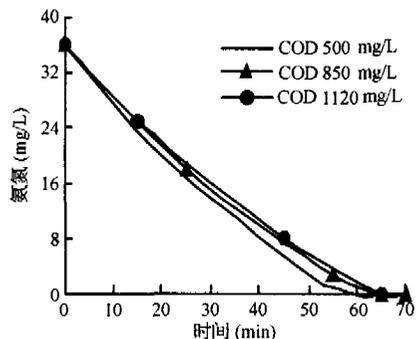


图 4 COD 对 TSSBR 硝化的影响

Fig. 4 Effect of COD on TSSBR nitrification

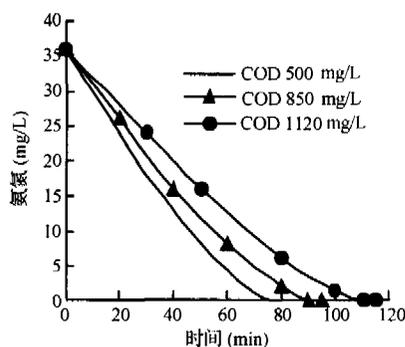


图 5 COD 对传统 SBR 硝化的影响

Fig. 5 Effect of COD on SBR nitrification

化反应速率明显下降,说明该系统硝化菌的数量和比例减少。在相同原水 COD 浓度下,TSSBR 的硝化反应时间明显少于传统 SBR,而且随着 COD 浓度增加,反应时间的差距越大,尤其是在原水 COD 浓度 1120 mg/L,传统 SBR 的硝化时间是 TSSBR 的 2 倍。这是由于随着进水 COD 浓度增加,污泥增长速率加快,污泥龄缩短,剩余污泥的大量排放致使污泥中硝化菌比例减少的缘故。

硝化速率取决于污泥中硝化菌的数量,直接测定硝化菌的数量是十分困难的,通常的方法是根据进水中氮和 BOD_5 的变化来计算硝化菌的比例,称为质量平衡法,见式(2)^[5]:

$$f = Y_N \frac{\Delta \text{TKN} - 0.12[YQ(S_0 - S_e) - K_d X_v V]}{YQ(S_0 - S_e) - K_d X_v V} \quad (2)$$

式中: f ——硝化菌所占比例;

Y_N ——硝化菌产率系数;

ΔTKN ——曝气池每天去除的 TKN(kg);

0.12——假定细胞组成为 $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ 时,细胞内氮的比例;

Y ——活性污泥的平均产率系数;

Q ——流量(m^3/d);

S_0 ——进水 BOD_5 (mg/L);

S_e ——出水 BOD_5 (mg/L);

K_d ——内源呼吸系数;

X_v ——曝气池内活性污泥浓度(g/L);

V ——曝气池容积(m^3)。

活性污泥的产率系数 Y 通常比硝化菌的产率系数 Y_N 大一个数量级,从公式(2)可以看出,硝化菌在污泥中所占的比例很小。对于 TSSBR 系统,由于大部分 COD 已在 SBR1 中去除,SBR2 脱氮系统的 $(S_0 - S_e)$ 很小,相应提高了 f 值。而且在原水 COD 大幅度变化的情况下,SBR2 的 $(S_0 - S_e)$ 值变化较小, f 值几乎不变。因此,TSSBR 系统可以抵抗高 COD 浓度对硝化反应的抑制。而传统 SBR 系统

由于 COD 去除与脱氮在同一个反应器完成,原水 COD 大幅度增加使 $(S_0 - S_e)$ 也相应增大, f 值减小,从而导致硝化反应速率的降低。

2.3 COD 去除率的对比

传统 SBR 工艺,全部微生物存在于一个反应器内,当原水中大部分易生物降解的有机底物被降解后,继续延长曝气时间,剩余的少量难生物降解有机物的降解速率极慢,甚至不再被降解,使最终出水的 COD 浓度较高,有时达不到排放标准。这是由于传统 SBR 在有机物降解过程中出现了类似于“葡萄糖效应”的现象。所谓葡萄糖效应即当微生物利用了大量的非常易于降解的底物——葡萄糖之后,对其他较难降解底物的利用能力就会大大下降,即葡萄糖抑制和排斥了微生物对其他底物的降解^[6]。本试验采用的石油化工废水,易生物降解的有机底物主要是一些低分子脂肪酸,难生物降解的有机底物是一些芳香族有机物。

对于 TSSBR,大部分易生物降解的低分子脂肪酸在 SBR1 内去除,进入 SBR2 的有机底物是少量难生物降解的芳香族有机物。因此,对于 SBR2 内的异养菌,不会产生葡萄糖效应。在 SBR2 较长时间的曝气过程中,异养菌只有少量难生物降解的有机底物可供利用。经过一段时间培养驯化,SBR2 内的异养菌适应于降解芳香族有机物。由于这部分有机物浓度较低,不影响硝化反应的进行,因此,SBR2 的曝气过程中,在硝化菌进行硝化反应的同时,异养菌又可利用少量的难生物降解的有机底物,使最终出水的 COD 浓度较低。

表 2 列出了 2 种工艺去除 COD 的试验结果。说明 TSSBR 能够进一步提高 COD 的去除率,尤其是在原水 COD 浓度较高时,可保证稳定的出水水质。

2.4 反硝化速率的对比

在原水污染物浓度相同的情况下,2 种工艺的反硝化速率基本相同,比反硝化速率都达到 $1.2 \text{ kg NO}_2\text{-N/kg MLSS} \cdot \text{d}$ 。可以从以下 2 个角度进行分析:

一方面是反硝化异养菌所占的比例:TSSBR 的反硝化发生在 SBR2,SBR2 的微生物组成与传统

SBR 相比,自养型硝化菌的比例相对大一些,异养菌的比例相对小一些。因此,从这个角度分析,TSSBR 的反硝化速率应略小于传统 SBR。另一方面是好氧过程 COD 降解对反硝化的影响:已有研究指出,好氧阶段异养菌降解 COD 的量越多,对随之进行的缺氧反硝化过程中的有机底物的利用能力就会大大下降,即反硝化速率越低^[7]。TSSBR 有机物降解和反硝化发生在不同的反应器内,有机物主要在 SBR1 内去除,SBR2 内的异养菌在好氧过程中降解的有机物的量远远小于传统 SBR。因此,从这个角度分析,SBR2 反应器内的反硝化速率应快于传统 SBR。综合以上 2 个方面的分析,虽然 TSSBR 的 SBR2 内异养菌的比例相对低一些,但这部分异养菌在好氧阶段可供利用的有机底物较少,从而促进缺氧阶段对底物的利用,加速反硝化进程,反硝化速率与传统 SBR 基本相同。

通过上述 TSSBR 与单一 SBR 工艺的对比研究发现,对于 COD 浓度和氨氮浓度较高的工业废水,TSSBR 明显优于传统 SBR,是一种理想的处理工艺。

3 结 语

(1) 采用 TSSBR 处理 COD 与氮浓度较高的工业废水,SBR1 去除有机物,SBR2 主要进行硝化反硝化。与传统 SBR 工艺相比,TSSBR 的 COD 降解速率和硝化反应速率明显提高,反硝化速率没有明显差别。

(2) 在原水 COD 浓度较高的情况下,TSSBR 可有效克服高 COD 浓度对硝化反应的抑制,SBR2 反应器内硝化菌含量较高,硝化反应速率是传统 SBR 的 2 倍。

(3) 相对于传统 SBR 工艺,TSSBR 避免了有机物降解过程中容易产生的“葡萄糖效应”,提高 COD 去除率。

参 考 文 献

- [1] 方士,等.高氨氮味精废水的亚硝化/反亚硝化脱氮研究.环境科学学报,2001,21(1):79~83
- [2] C. S. Ra, K. V. Lo, et al. Biological nutrient removal with an internal organic carbon source in piggery wastewater treatment. Water Research,2000,34(3):965~973
- [3] 陈韬.两段 SBR 法处理宾馆污水及其模糊控制的研究.哈尔滨工业大学硕士学位论文,2000.27~48
- [4] 曾薇,彭永臻,等.两段 SBR 去除有机物及短程硝化反硝化.环境科学,2002,23(2):66~70
- [5] 刘俊新.生物膜活性污泥结合新工艺脱氮除磷研究.哈尔滨建筑大学博士学位论文,1998.110~111
- [6] 彭永臻,高凯,余政哲.两段 SBR 法处理石油化工废水.给水排水,1996,22(6):26~28
- [7] Jeill. Oh and J. Silverstein. Effect of air on-off cycles on activated-sludge denitrification. Water Environment Research,1999,71(7):1276~1282

表 2 2 种工艺 COD 去除效果

Table 2 COD removal in two processes

	原水 COD 500 mg/L		原水 COD 850 mg/L		原水 COD 1200 mg/L	
	出水 (mg/L)	去除率 (%)	出水 (mg/L)	去除率 (%)	出水 (mg/L)	去除率 (%)
SBR	100	80	140	84	195	84
TSSBR	70	86	80	91	100	93