



缺氧/好氧 SBR 工艺去除酒精废水中的氮

周小波¹, 杨健²

(1. 青岛市审计局, 山东 青岛 266071; 2. 同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092)

摘要: 采用反应期缺氧/好氧 SBR 工艺去除酒精废水中氮的研究结果表明: 在碳源充足, SBR 充水比为 0.25, 缺氧时间 3 h 以及污泥负荷为 $0.27 \text{ kg}[\text{BOD}_5]/(\text{kg}[\text{MLSS}] \cdot \text{d})$ 的条件下, 进水 COD、 BOD_5 、氨氮、总氮的质量浓度分别为 4 200, 2 100, 480, 530 mg/L 时, SBR 处理出水的 COD、 BOD_5 、氨氮、总氮的质量浓度分别为 588 ~ 614、60 ~ 100、5.8 ~ 7.5、163 ~ 170 mg/L, 去除率分别为 85%、95%、98%、68% 以上。

关键词: 缺氧/好氧; SBR; 酒精废水; 氨氮; 硝化; 反硝化

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2455(2006)06-0027-04

Removing nitrogen from alcohol wastewater by anoxic/aerobic SBR process

ZHOU Xiao-bo¹, YANG Jian²

(1. Audit Office of Qingdao, Qingdao 266071, China; 2. School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Anoxic/aerobic SBR process was used to remove nitrogen from alcohol wastewater, the results showed that: under the condition that, the carbon source was enough, the ratio of water filling in SBR was 0.25, the anoxic time was 3 h, the sludge loading was $0.27 \text{ kg}[\text{BOD}_5]/(\text{kg}[\text{MLSS}] \cdot \text{d})$, when the mass concentration of COD, BOD_5 , ammonia nitrogen, total nitrogen in influent water were 4 200, 2 100, 480, 530 mg/L respectively, the mass concentration of COD, BOD_5 , ammonia nitrogen, total nitrogen in the effluent water treated by SBR process were 588-614, 60-100, 5.8-7.5, 163-170 mg/L respectively, the removal rate were above 85%, 95%, 98% and 68% respectively.

Keywords: anoxic/aerobic; SBR; alcohol wastewater; ammonia nitrogen; nitrification; denitrification

酒精生产过程中排放废水的特点是有机物浓度高, 悬浮物含量高, 温度较高, pH 值低。我国的酒精生产主要以薯干作为原料, 其产量占酒精总产量的 65% ~ 70%^[1], 目前国内对酒精废水主要采用固液分离-厌氧-好氧工艺进行处理^[2-8], 虽然基本上可使有机物浓度达标排放, 但往往忽略了氮的达标排放。酒精废水经厌氧生物处理后, 出水中氮主要以氨氮形式存在且浓度较高, 达 300 ~ 600 mg/L^[9], 即使经过好氧硝化反应也只是氮形态的变化, 而总氮并没有明显的减少。

缺氧/好氧活性污泥法(简称 A/O 法)是目前应

用较为广泛的生物脱氮工艺, 但基建及运行费用较高。SBR 工艺可以通过限制曝气或半限制曝气等运行工况实现缺氧/厌氧/好氧组合, 通过各个过程的时间控制, 达到脱氮的目的, 比 A/O 工艺省去了混合液和污泥的回流, 降低了运行成本; 同时该系统的最大优点是能够充分利用进水中的可生物降解 COD 作为反硝化的碳源, 可减少外加碳源量、降低耗氧量及减少剩余污泥量。本研究采用缺氧/好氧 SBR 工艺去除酒精废水中的氮, 取得较好的效果, 为生产性应用提供了参考依据。

1 试验条件与方法

1.1 试验用水

试验用水为南阳酒精厂酒精废水的厌氧消化液

经实验室预曝气-化学混凝处理后的出水(主要目的是去除酒精废水中的大部分悬浮物质),其水质指标见表 1^[9]。

1.2 试验装置

表 1 SBR 进水水质指标
Tab. 1 The in fluent chemical characteristics in SBR

pH 值	$\rho(\text{SS})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{氨氮})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{总氮})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
7~8	100~400	300~600	300~600
$\rho(\text{BOD}_5)/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{COD})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	碱度/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})	
1 500~2 100	3 500~4 300	1 600~2 100	

SBR 反应器直径 12 cm,高 30 cm,有效体积 2 L,有机玻璃柱材质,采用两个反应器同时并联进行。好氧生化反应时将小型曝气机的曝气头伸入反应器内曝气;反硝化时停止曝气,开启搅拌器,磁力搅拌子转动使反应器内活性污泥处于悬浮状态。试验时水温 22~28℃。

2 结果与讨论

2.1 酒精废水在碳源充足条件下的生物脱氮试验
当酒精废水中 BOD₅ 与 TN 的质量比为 4 时,

即 $\rho(\text{COD})=4\,200\text{ mg/L}$, $\rho(\text{BOD}_5)=2\,100\text{ mg/L}$, $\rho(\text{NH}_3\text{-N})=480\text{ mg/L}$, $\rho(\text{TN})=530\text{ mg/L}$, 在不外加碳源条件下,进行生物脱氮试验研究。

反应器进水采用瞬间进水方式,随即开启搅拌器缺氧搅拌 3 h 进行反硝化反应,然后停止搅拌,开启曝气机进行好氧硝化反应,曝气结束后静沉 1 h 后排水,最后根据剩余污泥排放和试验需要设置闲置期。根据氨氮浓度和碱度的变化情况,必要时添加适量的 NaHCO₃ 以满足生物脱氮过程中对碱度的需要。

反应器在每个充水比条件下稳定运行 10 d 以上,连续测试其中的 6 次水质。脱氮试验操作参数见表 2,由于 SBR 是人工操作,为了使试验能不间断进行,鉴于操作时间上的安排,运行工况有所变化。试验结果见表 3。表 3 中缺氧前 COD 值由前一次 SBR 出水的 COD 值与后次进水 COD 值加权计算得出,缺氧结束时取少量消化液进行过滤分离悬浮污泥,此时消化液的 COD 值为缺氧结束时 COD 值,由此可计算出缺氧段 COD 去除负荷。

表 2 脱氮试验运行操作参数
Tab. 2 Operation parameters of denitrification experiment in SBR

充水比 λ	$\rho(\text{MLSS})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	SV/%	泥龄/d	操作时间/h					ΔN_A^*	ΔN_0^*	ΔN^*	N_s^*	$F_{\text{NH}_3\text{-N}}^{**}$
				缺氧	曝气	沉淀	闲置	周期					
0.35	3 920	21.0	20	3	10	1	0~3	14~17	0.34~0.41	0.11~0.14	0.45~0.55	0.26~0.32	0.060~0.073
0.25	3 860	22.0	20	3	7	1	1	12	0.33	0.14	0.47	0.27	0.062

注:表 2 中, ΔN_A^* 为缺氧段 COD 去除负荷 $(\text{kg}[\text{COD}]/(\text{kg}[\text{MLSS}]\cdot\text{d}))$; ΔN_0^* 为好氧段 COD 去除负荷 $\text{kg}[\text{COD}]/(\text{kg}[\text{MLSS}]\cdot\text{d})$; ΔN^* 为 COD 总去除负荷 $\text{kg}[\text{COD}]/(\text{kg}[\text{MLSS}]\cdot\text{d})$; N_s^* 为有机物污泥负荷 $\text{kg}[\text{BOD}_5]/(\text{kg}[\text{MLSS}]\cdot\text{d})$; $F_{\text{NH}_3\text{-N}}^{**}$ 为氨氮污泥负荷 $\text{kg}[\text{NH}_3\text{-N}]/(\text{kg}[\text{MLSS}]\cdot\text{d})$ 。

表 3 SBR 试验结果汇总
Tab. 3 Results collection of SBR experiment

充水比 λ	测试次数	缺氧前 $\rho(\text{COD})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	缺氧结束 $\rho(\text{COD})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	出水 $\rho(\text{COD})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	COD 去除率/%	出水 $\rho(\text{BOD}_5)/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	BOD ₅ 去除率/%	出水 $\rho(\text{硝态氮})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	出水 $\rho(\text{氨氮})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	氨氮去除率/%	出水 $\rho(\text{总氮})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	总氮去除率/%
0.35	1	1 870	928	632	85.0	95	95.5	192	7.9	98.4	202	62.0
	2		946	620	85.2	85	96.0	197	7.5	98.4	207	61.0
	3		936	628	85.0	100	95.2	199	8.1	98.3	210	60.5
	4		916	612	85.4	75	96.4	203	6.9	98.6	210	60.3
	5		922	598	85.8	70	96.7	196	7.3	98.5	205	61.2
	6		950	606	85.6	80	96.2	205	8.2	98.3	216	59.2
0.25	1	1 500	870	588	86.0	90	95.7	162	7.0	98.5	170	67.9
	2		862	596	85.8	100	95.2	158	7.5	98.4	168	68.4
	3		878	602	85.7	65	96.9	154	6.8	98.6	163	69.3
	4		860	610	85.5	85	96.0	157	6.2	98.7	168	68.4
	5		876	590	86.0	60	97.1	158	5.8	98.8	166	68.7
	6		868	614	85.4	70	96.7	155	6.7	98.6	163	69.2

2.2 生物脱氮效果分析

由表 3 试验结果看出，在 SBR 充水比 λ 分别为 0.35 和 0.25 的条件下，出水中 TN 的质量浓度为 163 ~ 216 mg/L，TN 的去除率分别为 60% 和 68% 左右。生物脱氮处理过程中 TN 的最终减少，主要是通过反硝化以 N_2 、 N_2O 气体形式从体系中去除，以及微生物的生长吸收也去除少量的氮。出水中 TN 主要以硝态氮形式存在（占 TN 含量 95% 左右），氨氮的质量浓度小于 10 mg/L，氨氮去除率均在 98% 以上。

SBR 充水比的减小，相当于常规 A/O 生物脱氮系统回流比的增加，而回流比的增加会提高生物脱氮效果。由试验结果可以看出，随着 SBR 充水比的降低，TN 的去除率有所增加。

2.3 有机负荷分析

由表 2 可知，在充水比 λ 分别为 0.35 和 0.25 的条件下，缺氧段 COD 去除负荷占 SBR 反应器 COD 总去除负荷的 75% 和 70% 左右。可见缺氧段在反应时间较短的情况下（反应时间仅为 3 h）承担了约 3/4 的 COD 总去除负荷，从而大幅度减轻了好氧段的有机负荷。

2.4 氨氮负荷分析

试验运行期间，SBR 反应器在充水比 λ 分别为 0.35 和 0.25 的条件下，氨氮污泥负荷分别达到 0.06 ~ 0.073 kg[NH_3-N]/(kg[MLSS]·d) 和 0.062 kg[NH_3-N]/(kg[MLSS]·d)，出水氨氮的质量浓度均小于 10 mg/L，去除率 98% 以上。

根据参考文献[10]，硝化反应速率与反应器中硝化细菌数量有关，而反应器活性污泥中硝化细菌所占的比例，则与 $m(BOD_5)/m(TKN)$ 值有关，见表 4。由表 4 数据进行乘幂拟和，见图 1。从表 4 中可以看出，随着水中 $m(BOD_5)/m(TKN)$ 值的增加，活性污泥中硝化细菌的比例逐渐减少。其原因在于若 BOD_5 浓度过高，会使增殖速度较快的异养型细菌迅速增殖，从而使自养型的硝化菌不能成为优势菌，在活性污泥中的比例降低。

根据本研究的试验数据，可估算出反应器中硝化细菌在活性污泥中所占的份数。以酒精废水厌氧硝化液好氧生化处理出水的 COD 和 BOD_5 值为基础^[9]，进行线性拟和，其相互关系见图 2。通过该图可估算出在生物处理过程一定范围内 COD 与 BOD_5 的关系。在生物脱氮处理过程中，当 SBR 充

表 4 $m(BOD_5)/m(TKN)$ 与活性污泥中硝化细菌含量的关系
Tab. 4 Relationship of BOD_5/TKN and nitro bacteria content in activated sludge

$m(BOD_5):$ $m(TKN)$	硝化细菌所占 的份数	$m(BOD_5):$ $m(TKN)$	硝化细菌所占 的份数
0.5	0.35	5	0.054
1	0.21	6	0.043
2	0.12	7	0.037
3	0.086	8	0.033
4	0.064	9	0.029

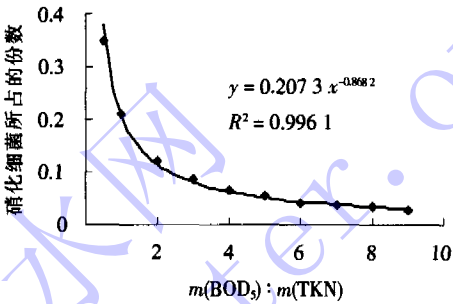


图 1 $m(BOD_5)/m(TKN)$ 与活性污泥中硝化细菌含量的关系
Fig. 1 Relationship of $m(BOD_5)/m(TKN)$ and nitro bacteria content in activated sludge

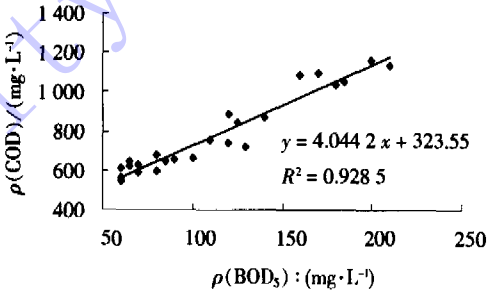


图 2 生物处理过程一定范围内 COD 与 BOD_5 的关系
Fig. 2 Relationship of COD and BOD_5 in specific biological treatment

水比 λ 为 0.35，经过 3 h 的缺氧反应，消化液的 COD 的质量浓度平均为 933 mg/L，从图 2 可估算出其 BOD_5 的质量浓度为 150 mg/L 左右。此时硝化液的 TKN 的质量浓度为 170 mg/L(消化液中氮主要以氨氮形式存在，占总氮比例达 90% 以上，有机氮含量非常低，因此可认为此时 TKN 与氨氮质量浓度相当)，则其 $m(BOD_5)/m(TKN)$ 为 0.88。由图 1 可计算出此时活性污泥中硝化细菌的份数为 0.23。而在以去除有机物为目的的好氧生物处理试验研究中，可计算出进水后反应器中的起始 BOD_5 的质量浓度为 560 mg/L 左右，TKN 的质量浓度为 150 mg/L 左右，则其 $m(BOD_5)/m(TKN)$ 为 3.73。由图 1 可计算出此时活性污泥中硝化细菌占的份数



为 0.066。上述分析表明,生物脱氮系统好氧段的活性污泥中所含硝化细菌的份数高得多,因此显著提高了氨氮污泥负荷。

在上述分析中,由于生物脱氮系统缺少缺氧段结束时 BOD_5 的实测数据,其 $m(BOD_5)/m(TKN)$ 值根据图 2 进行估算,其结果可能存在一定的偏差。该生物脱氮系统的缺氧段去除了大部分有机物,同时缺氧段氨氮质量浓度基本没有发生变化,所以 TKN 质量浓度也基本没有发生变化,因此明显降低了好氧段的 $m(BOD_5)/m(TKN)$ 值,从而使硝化效率得到提高是显而易见的。

3 结论

① 在酒精废水碳源充足, SBR 充水比 λ 为 0.25, 缺氧时间 3 h 以及污泥负荷为 $0.27 \text{ kg}[BOD_5]/(\text{kg}[\text{MLSS}] \cdot \text{d})$ 条件下, 缺氧/好氧 SBR 工艺处理出水 COD、 BOD_5 、氨氮、总氮的质量浓度分别为 $588 \sim 614$ 、 $60 \sim 100$ 、 $5.8 \sim 7.5$ 、 $163 \sim 170 \text{ mg/L}$, 平均去除率分别为 85%、95%、98%、68% 以上。

② 在酒精废水碳源充足, SBR 充水比 λ 分别为 0.35 和 0.25 的条件下, 缺氧段 COD 去除负荷分别占 SBR 反应器 COD 总去除负荷的 75% 和 70% 左右; 氨氮污泥负荷分别达到 $0.06 \sim 0.073 \text{ kg}[\text{NH}_3\text{-N}]/(\text{kg}[\text{MLSS}] \cdot \text{d})$ 和 $0.062 \text{ kg}[\text{NH}_3\text{-N}]/(\text{kg}[\text{MLSS}] \cdot \text{d})$, 出水氨氮均小于 10 mg/L , 去除率在 98% 以上。

③ 生物脱氮系统好氧段的活性污泥中所含硝

化细菌的份数较以去除有机物为主的 SBR 运行方式高得多, 因此显著提高了氨氮污泥负荷。

参考文献:

- [1] 黄宇彤, 杜连祥, 赵继湘. 世界燃料酒精生产形势[J]. 酿酒, 2001, 28(5): 24-26.
- [2] 国家环境保护总局科技处, 清华大学环境工程系. 我国几种工业废水治理技术研究, 第三分册高浓度有机废水[M]. 北京: 化学工业出版社, 1988.
- [3] 闫庆松. 酒精废糟液综合治理工程实例[J]. 给水排水, 2001, 27(11): 37-39.
- [4] 任洪强, 陈坚, 伦世仪. UASB-CAAS 技术处理酒精废醪的生产性研究[J]. 中国沼气, 1999, 17(2): 10-13.
- [5] 张欣, 王少惠. 酒糟废水处理工程设计[J]. 给水排水, 2001, 27(3): 65-67.
- [6] 张德清. 薯类酒精废糟液治理工程设计探讨[J]. 给水排水, 1999, 25(7): 34-36.
- [7] 赵传义. 酒精废糟液综合治理工程实例[J]. 工业水处理, 2003, 23(2): 62-64.
- [8] 黄武. UASB-SBR 工艺和 Lipp 制罐技术处理高浓度酒精废水的研究[J]. 工业水处理, 2001, 21(9): 37-40.
- [9] 周小波. 酒精废水厌氧消化液的处理研究[D]. 上海: 同济大学, 2005.
- [10] 章非娟. 生物脱氮技术[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992.

作者简介: 周小波(1979-), 男, 江苏新沂人, 同济大学环境科学与工程学院毕业, 环境工程硕士, 现从事政府投资审计和环境效益审计工作, (电子信箱)zhouxiaobo1997@sina.com.