

文章编号:1000-582X(2007)06-0125-04

OGO 工艺处理城市污水脱氮效果及机理初探

罗固源, 吴妹媛, 许晓毅, 季铁军, 唐 刚
(重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400030)

摘 要:采用改良而成的 OGO 工艺技术,以试验配水模拟城市生活污水,研究了 OGO 系统的脱氮效果,通过分析反应器各反应区的脱氮效果,并结合 OGO 系统脱氮效果观察系统中活性污泥絮体特性,研究分析了 OGO 系统的脱氮机理。试验结果表明,在进水总氮(TN)和氨氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)分别为 31.15 ~ 42.26 mg/L 和 27.53 ~ 38.58 mg/L 的条件下,OGO 系统对总氮和氨氮的平均去除率分别可达 74.31% 和 83.75%。反应器外环脱氮方式为同时硝化反硝化(SND)脱氮,其脱氮量占反应器脱氮总量的 80.48%,OGO 工艺对氮素的生物去除绝大部分是通过同时硝化反硝化来实现的;同时硝化反硝化的宏观分区理论和微环境理论均适用于 OGO 系统。

关键词:OGO 工艺;脱氮效果;同时硝化反硝化;SND 机理

中图分类号:X703.1

文献标志码:A

笔者针对在 OGO 工艺基础上改良形成的 OGO 工艺技术^[1],对其脱氮效果和作用机理进行了试验研究。

1 试验装置及方法

1.1 试验装置

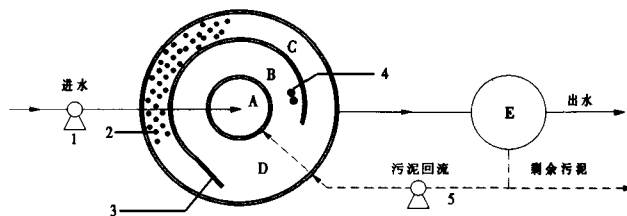
反应流程如图 1 所示。反应器以有机玻璃板加工制成,总有效容积 145 L,其中厌氧区、缺氧区与好氧区(以圆环容积计)的容积比约为 1:3.2:4.6,有效水深 40 cm。原水经蠕动泵计量后随沉淀池的回流污泥一起进入厌氧区底部,从上部开口流经缺氧区、混合区、好氧区,并在反应器中形成环流循环;混合液则从外环好氧区流至沉淀池进行泥水分离。

1.2 试验水质及分析测试方法

试验水质及分析方法:试验原水由校园生活污水按一定比例添加 NaH_2PO_4 、 NH_4Cl 、奶粉、淀粉和葡萄糖等配制而成。试验原水主要水质指标如表 1 所示。各指标分析方法参照《水和废水监测分析方法》(第四版)^[2]。

表 1 试验原水水质指标 mg/L

指标	COD	$\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$	TP	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	TN	pH
数值范围	250 ~ 450	3.5 ~ 5.8	4 ~ 6	27 ~ 38	30 ~ 42	6.8 ~ 7.2
平均值	350	4.8	5.0	32	35	7



1. 进水泵;2. 曝气装置;3. 导流墙;4. 水下推流器;5. 污泥回流泵;A. 厌氧区;B. 缺氧区;C. 好氧区;D. 混合区;E. 沉淀池

图 1 OGO 工艺试验流程图

1.3 试验研究方法

试验期间反应器按下述参数运行:总水力停留时间约 10 h,污泥回流比约 70%,污泥龄(SRT)为 18 ~ 20 d,污泥负荷约 0.3 kgCOD/(kgMLSS · d),MLSS 约 3 000 mg/L,曝气区 DO 平均浓度控制在 2.0 mg/L 左右。试验期间气温为 18 ~ 28 °C,水温为 17 ~ 26 °C。

1) OGO 系统稳定运行期间,进行连续水质指标测定,分析系统整体脱氮效果。

2) 控制进水总氮、氨氮浓度分别恒定在 35 mg/L、32 mg/L 左右,重复试验,以考察外环各区域的指标浓度差异。

3) 分别于反应器各区域取活性污泥,于显微镜下

收稿日期:2007-02-09。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50378095)。

作者简介:罗固源(1944-),男,重庆大学教授,博士生导师,主要从事污染控制方向研究(Tel)023-66771243;

(E-mail) gyluo@cqu.cn。

观察,测定和计算活性污泥菌胶团直径^[3],结合反应器处理效果,分析活性污泥絮体形态对脱氮的影响。

取样点均位于反应器有效水深的1/2处(即水面以下约20 cm处)。

2 脱氮效果分析

2.1 OGO 工艺脱氮效果

系统对总氮和氨氮的处理效果见图2、3。

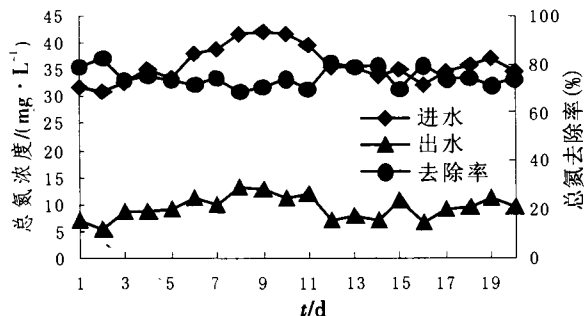


图2 OGO 系统对总氮的去除效果

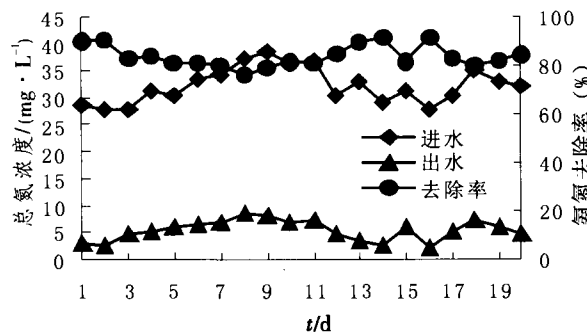


图3 OGO 系统对氨氮的去除效果

由图2-3所示,当OGO系统进水总氮和氨氮分别为31.15~42.26 mg/L和27.53~38.58 mg/L时,出水总氮和氨氮可以降至5.33~12.96 mg/L和2.29~8.68 mg/L,系统对总氮和氨氮的平均去除率分别达到74.31%和83.75%,脱氮效果良好。

2.2 外环脱氮效果

OGO系统的缺氧、好氧及混合区由C-隔墙和导流墙分隔(见图1),但鉴于各区域的开放特性,本研究将它们称为OGO系统的外环,并将外环作为一个整体来分析。

将测定数据取平均值作图4。如图4所示:在外环中氨氮及总氮浓度均有大幅度降低,减少量分别达到了12.66 mg/L和15.86 mg/L,而硝酸盐氮的增量仅为3.20 mg/L,且整个系统基本没有亚硝酸盐氮的检出。由此可知,在外环中发生了明显的硝化和反硝化

反应。

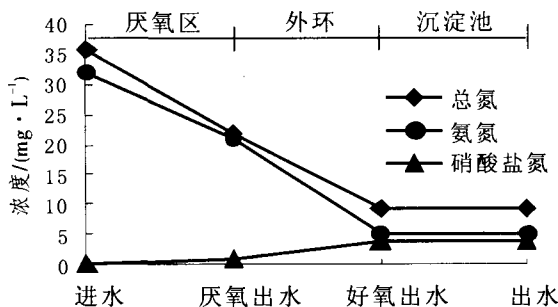


图4 OGO 系统各区总氮、氨氮、硝酸盐氮的浓度变化

由于曝气装置仅安装于好氧区前1/2段底部,因此OGO系统中溶解氧(DO)具有显著的浓度梯度。

由表2可见,在外环中虽然存在明显的好氧段和缺氧段,但总氮、氨氮的浓度基本上没有随DO的变化而表现出明显的差异。取样点3与邻近取样点2相比,底物浓度略有升高,这可能是因为厌氧区出水口正位于该点,厌氧出水与C-隔墙内侧混合液混合不均引起的。在整个外环中,仅氨氮在混合液流经好氧区时略有降低,降低值约为0.1~0.8 mg/L。

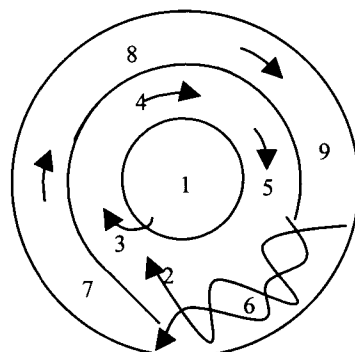


图5 OGO 系统取样点分布图

因此,发生在外环的硝化和反硝化作用可能并不是分别局限地发生于某些确定的区域,而更可能是在一定程度上受到DO浓度梯度的影响而不均匀地分布于整个外环中,故此认为在外环中发生的硝化和反硝化作用是同时硝化反硝化(SND)脱氮^[4]。

由于系统特定的曝气方式在外环形成了明显的好氧段和缺氧段,因此宏观分区理论适用于外环中发生的SND现象。

3 反应器各反应区对OGO系统脱氮效果的分析

3.1 厌氧区

从图4可知,在厌氧区总氮、氨氮的浓度也大幅度下降,但这是由于试验原水和回流污泥同时进入厌氧区底部,由稀释作用引起的。

根据进水流量、回流比以及图2-3和表2中的数

据对 OGO 反应器中的 TN 进行物料衡算得出:厌氧区对 TN 的平均去除量占 OGO 反应器 TN 平均去除总量

的 18.32%,即传统意义上的顺序硝化-反硝化脱氮在本系统中对 TN 的去除量不到 TN 去除总量的 1/5.

表 2 OGO 系统 DO、总氮、氨氮和硝酸盐氮浓度变化

取样点		指标				
		DO	TN	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	
	进水		32.64 ~ 35.97	30.25 ~ 32.89	0	
1	厌氧区	0.1 ~ 0.2	19.04 ~ 21.85	18.86 ~ 20.77	0 ~ 0.92	
2	外环	缺氧区入口	8.92 ~ 10.17	6.73 ~ 7.56	2.11 ~ 2.88	
3			9.46 ~ 11.43	7.22 ~ 8.65	2.07 ~ 2.78	
4		缺氧区中段	8.92 ~ 10.21	6.80 ~ 7.61	2.09 ~ 2.88	
5		缺氧区末端	0.2 ~ 0.5	8.90 ~ 10.08	6.82 ~ 7.63	2.07 ~ 2.87
6		混合区	1.2 ~ 1.4	8.95 ~ 10.10	6.79 ~ 7.60	2.12 ~ 2.98
7		好氧区入口	1.6 ~ 2.0	8.96 ~ 10.12	6.80 ~ 7.59	2.15 ~ 3.09
8		好氧区中段	1.8 ~ 2.2	8.97 ~ 10.11	6.32 ~ 7.25	2.41 ~ 3.58
9		好氧区出水	1.4 ~ 1.6	8.95 ~ 10.14	6.07 ~ 6.92	2.78 ~ 3.86
		反应器出水	8.90 ~ 10.10	6.07 ~ 6.92	2.75 ~ 3.81	

其原因可能有 2 点:a. 回流污泥携带的硝酸盐氮含量较低(见图 6),其平均值低于 4 mg/L,而进水中几乎不含硝酸盐氮,厌氧区缺少电子受体;b. 厌氧停留时间仅为 1 h 左右,厌氧出水中仍含有少量硝酸盐氮,反硝化并未发生完全。在 OGO 反应器中,厌氧区对于脱氮的贡献可能更多地是体现在接触混合功能上^[5],为混合液在外环的反硝化储备了碳源。

盐氮浓度偏高时,厌氧区脱氮速率可以达到外环脱氮速率的三倍左右,反之,回流硝酸盐氮浓度较低时,厌氧区脱氮速率也可能低于外环脱氮速率。

3.2 外环

根据进水流量、回流比以及图 2-3 和表 2 中的数据对 OGO 反应器中的 TN 进行物料衡算得出:外环对 TN 的平均去除量占 OGO 反应器 TN 平均去除总量的 80.48%,即外环对 TN 的去除量达 TN 去除总量的 4/5 以上,由此可见,OGO 工艺对氮素的去除绝大部分是在系统的外环里完成的,即通过同时硝化反硝化作用实现。

4 活性污泥絮体特性与脱氮效果试验研究

观察结果表明,厌氧区、好氧区、缺氧区以及混合区的活性污泥絮体形态基本上没有大的差异,只是在厌氧区,原、后生动物的活性较之其它区域略差。

通常情况下,OGO 系统存在大量活性污泥菌胶团,也有一定数量呈团粒状的颗粒化污泥,但边界较为模糊,粒径范围为 40 ~ 200 μm,其中以 70 ~ 180 μm 居多,如图 7(a) 所示。由于污泥负荷的波动和温度差异等原因,试验期间也曾观察到系统活性污泥较松散,菌胶团呈较细小的絮状,几乎没有呈一定形状的团粒状的污泥,如图 7(b) 所示,但这种情况出现几率较低,占整个运行期间的 15% 以下,且一般照常运行 3 ~ 7 d 左右,污泥可自动恢复通常状态。

按一般曝气池中的曝气强度,絮体颗粒尺寸只需达到 150 μm,反硝化反应就可以在絮体内都发生。K. Pochana 等通过试验发现^[6-7],活性污泥絮体平均粒径由 40 μm 变为 80 μm 时,SND 贡献率由 21% 增为

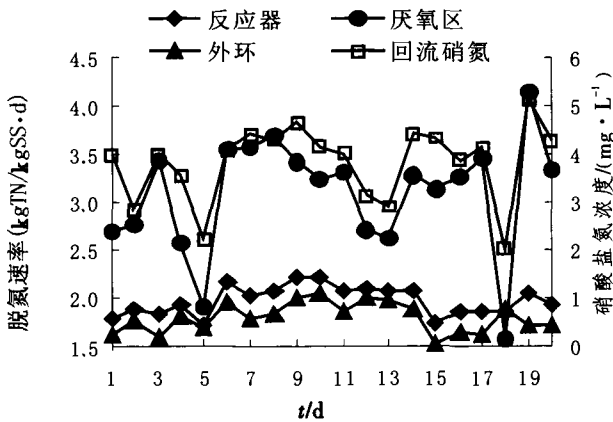


图 6 OGO 反应器各区域脱氮速率

图 6 为 OGO 反应器各区域脱氮速率的比较。由图 6 可知,厌氧区脱氮速率波动较大,范围为 $1.58 \times 10^{-2} \sim 4.15 \times 10^{-2} \text{ kg TN}/(\text{kgSS} \cdot \text{d})$,平均值为 $3.07 \times 10^{-2} \text{ kg TN}/(\text{kgSS} \cdot \text{d})$;而外环和反应器脱氮速率则较稳定,平均值分别为 $1.79 \times 10^{-2} \text{ kg TN}/(\text{kgSS} \cdot \text{d})$ 和 $1.96 \times 10^{-2} \text{ kg TN}/(\text{kgSS} \cdot \text{d})$ 。由此可见,虽然厌氧区的脱氮量并不大,但其脱氮效率却较高,反硝化潜力较大。

从图 6 还可发现,厌氧区脱氮速率在很大程度上受到回流污泥携带的硝酸盐氮浓度的限制,回流硝酸

52%。由此可见,OGO系统的部分较大直径的颗粒化污泥可能也具备发生SND的条件。

将OGO系统运行期间活性污泥呈上述2种形态时分别测得的20组数据取平均值,如表3所示。

表3 OGO系统活性污泥在两种状态下的脱氮效果比较

	进水/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	部分污泥呈颗粒化团粒状		进水/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	污泥呈较细小的絮状	
		出水/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	去除率/%		出水/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	去除率/%
TN	35.96	9.32	74.08	35.08	11.28	67.84
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	32.25	5.35	83.41	31.34	5.05	83.89
$\text{NO}_3^- - \text{N}$	0	3.89		0	6.12	
COD_{Cr}	369	10	97.29	363	11	96.97

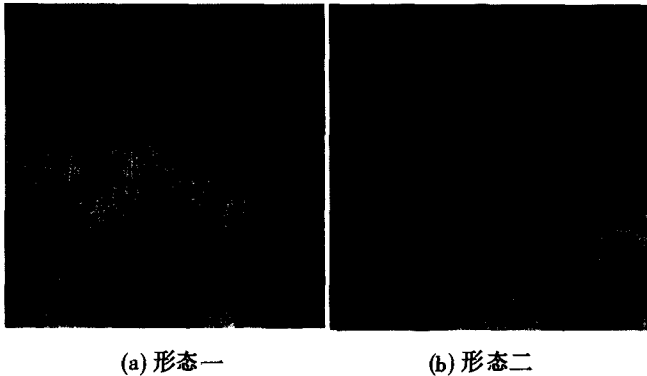


图7 OGO系统中活性污泥絮体态
(放大倍数:10×10)

如表3所示,在进水指标基本相同的条件下,活性污泥呈较细小絮状时OGO系统总氮去除率较之活性污泥呈颗粒化团粒状时降低了6.24%,而两者对COD、氨氮的去除率基本相同。由此可见,OGO系统的活性污泥菌胶团大小对硝化反应影响不大,但对反硝化有一定影响。这可能是由于较大直径的颗粒化污泥受氧扩散的限制^[8-9],内部产生溶解氧(DO)梯度,形成缺氧区,反硝化菌占优势,即OGO系统中存在发生SND的微环境。

5 结论

1) OGO系统处理城市生活污水试验表明,当进水总氮和氨氮分别为31.15~42.26 mg/L和27.53~38.58 mg/L时,OGO系统对总氮的平均去除率为74.31%,氨氮平均去除率达到83.75%。

2) 外环中的硝化和反硝化作用在一定程度上受到DO浓度梯度的影响而不均匀地分布于整个外环中,即在外环中发生的硝化和反硝化作用是同时硝化反硝化(SND)脱氮。宏观分区理论适用于外环中发生的SND现象。

3) 在OGO工艺中,厌氧脱氮量不到总脱氮量的1/5,超过4/5以上的氮素去除是由系统外环完成的,即通过同时硝化反硝化作用实现。厌氧区脱氮速率在很大程度上受到回流污泥携带的硝酸盐氮浓度的限制。

4) 通常情况下,OGO系统中存在具备SND功能的较大直径的活性污泥菌胶团,即微环境理论对于系统SND现象也适用。

参考文献:

- [1] 罗固源,许晓毅,唐刚,等. OGO工艺处理城市污水脱氮除磷试验研究[J]. 中国给水排水,2006,22(3):69-72.
- [2] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京:中国环境科学出版社,2006.
- [3] 沈东升. 厌氧处理含氮酚废水的颗粒污泥形成过程研究[J]. 环境科学学报,1997,17(1):60-67.
- [4] 吕锡武,李从娜,稻森悠平. 溶解氧及活性污泥浓度对同步硝化反硝化的影响[J]. 城市环境与城市生态,2001,14(1):33-35.
- [5] HAO X, DODDEMA H J, J W VAN GROENESTIJN. Use of Contact Tank to Enhance Denitrification in Oxidation Ditches [J]. Water Sci Technol,1996,34,(1-2):195-202.
- [6] KLANGGDUEN POCHANA, JURG KELLER. Study of factors affecting Simultaneous Nitrification and Denitrification (SND)[J]. Water Sci Technol,1999,39(6):61-68.
- [7] POCHANAO K, KELLER J, LANT J. Model development for simultaneous nitrification and denitrification[J]. Water Sci Technol,1999,39(1):235-243.
- [8] PUZNAVA N, PAYRAUDEAU M, THORNBERG D. Simultaneous nitrification and denitrification in biofilters with real-time aeration control [J]. Water Sci Technol,2000,43(1):269-276.
- [9] 李小明,谢珊,曾光明. 好氧微生物颗粒污泥脱氮机理[J]. 净水技术,2004,23(3):29-31.

参考文献:

- [1] 魏曙光,张谋. 集值映射拓扑度的延拓定理[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2004,27(6):104-106.
- [2] 魏曙光,张谋. 上半连续集值1-集压缩映射的不动点定理[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2004,27(9):64-66.
- [3] 刘威九. 半紧1-集压缩集值映射的不动点定理[J]. 四川师范大学学报,1987,1:99-104.
- [4] 张庆雍. 半紧1-集压缩的不动点指数和不动点定理[J]. 数学年刊,1984,5A(1):91-98.
- [5] 朱继生. 集值映射的连续性[J]. 数学年刊,1984,5A(6):733-737.
- [6] DANCER, NUSSBAUM E N, STUART R D, et al. Quasiconormal cones in Banach spaces[J]. Nonlinear Anal Appl 1983, 7:539-553.
- [7] 孔文波,丁协平. 多值K-集压缩映射正不动点存在的边界条件[J]. 数学研究和评论,1992,12(2):207-212.

Positive Fixed Points for Upper Semicontinuous Set-valued 1-set-contractive Mapping

WEI Shu-guang, WANG Kai-rong, HE Guang-hui, ZHANG Mou

(College of Mathematics and Physics, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Using topological degree for upper semicontinuous set-valued 1-set-contractive mapping and the fixed point theorems for upper semicontinuous set-valued 1-set-contractive mapping, the boundary conditions of existing positive fixed points is studied for upper semicontinuous set-valued 1-set-contractive mapping. In fact, it is a natural conclusion in the cone for the fixed point theorems of upper semicontinuous set-valued 1-set-contractive mapping, and it is a natural extend for positive fixed point theorems of single-valued 1-set-contractive mapping.

Key words: set-valued 1-set-contractive mapping; positive fixed point; cone; Banach space; upper semicontinuity; demi-compact

(编辑 吕建斌)

(上接第128页)

Effect and Mechanism of Nitrogen Removal of OGO Process in Municipal Wastewater Treatment

LUO Gu-yuan, WU Shu-yuan, XU Xiao-yi, JI Tie-jun, TANG Gang

(Key Laboratory of Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment Under the State Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Nitrogen removal efficiency in the OGO reactor was studied based the improved OGO reactor, and the test water was simulated municipal wastewater, further study has been done to analyze the nitrogen removal mechanism of the OGO system through analyzing the nitrogen removal effect in each part of the OGO reactor and observing the activated sludge characteristic in the reactor. When influent total nitrogen(TN) and ammonia nitrogen($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) are 31.15 ~ 42.26 mg/L and 27.53 ~ 38.58 mg/L respectively, the average removal efficiencies of TN, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ achieve 74.31% and 83.75%. The nitrogen removal in the outer-loop of OGO reactor is achieved by Simultaneous Nitrification and Denitrification(SND). In outer-loop, the nitrogen removal amount is 80.48% of that in the whole reactor. Thus, in OGO reactor, the nitrogen removal mostly depends on SND. Both bioreactor macro-environment and floc micro-environment for SND are existed in OGO system.

Key words: OGO process; removal effect of nitrogen; simultaneous nitrification and denitrification; SND mechanism

(编辑 张小强)