

有机负荷对SBAR中好氧颗粒污泥特性影响的研究

宋志伟^{1,2}, 梁洋¹, 任南琪²

(1、黑龙江科技学院资源与环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150027; 2哈尔滨工业大学市政与环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要: 研究不同有机负荷条件下, 气升式间歇反应器 (SBAR) 中培养好氧颗粒污泥, 并观察其形态变化及处理模拟生活污水的效果。实验结果表明, 在 SBAR 中, 有机负荷为 $3\text{kgCOD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 和 $6\text{kgCOD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 下均可以培养出成熟的好氧颗粒污泥, SVI 值分别为 25mL/g 和 32mL/g , 沉降速度分别达到 33.85m/h 和 33m/h 。但较高的有机负荷条件下, 培养出的污泥颗粒的粒径大多数在 $0.6\text{mm}\sim 1.5\text{mm}$, 且 COD、氨氮和总磷的去除率分别可达 97.57% 、 87.74% 和 86.60% 。较低有机负荷条件下形成的污泥颗粒粒径多数在 $0.4\text{mm}\sim 1.0\text{mm}$ 之间, COD、氨氮和总磷的去除率分别为 96.93% 、 85.48% 和 84.20% 。

关键词: 好氧颗粒污泥; 气升式间歇反应器; 有机负荷

中图分类号: X705 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6504(2008)10-0128-04

Influence of Organic Loading on Characteristics of Aerobic Granular Sludge

SONG Zhi-wei^{1,2}, LIANG Yang¹, REN Nan-qi²

(1.School of Resource and Environment Engineering, Heilongjiang Institute of Science and Technology, Harbin 150027, China;

2.School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: Influence of different organic loadings on characteristics of aerobic granular sludge in sequencing batch airlift reaction (SBAR) was studied. Formation of aerobic granular sludge and effect of treating municipal wastewater were observed. Results showed that there exists aerobic granular sludge on different organic loadings of $3\text{kgCOD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ and $6\text{kgCOD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ in SBAR, with SVI of 25mL/g and 32mL/g respectively and settling velocity up to 33.85m/h and 33m/h . At higher organic loading, sludge diameter was in $0.6\sim 1.5\text{mm}$, and removal efficiency of COD, $\text{NH}_3\text{-N}$ and TP was 97.57% , 87.74% and 86.60% respectively. With lower organic loading, sludge diameter was in $0.4\sim 1.0\text{mm}$, and removal efficiency of COD, $\text{NH}_3\text{-N}$ and TP was 96.93% , 85.48% and 84.20% respectively.

Key words: CMC; production wastewater; microelectrolysis

污泥颗粒化是微生物细胞自身固定化的一种形式, 好氧颗粒污泥是近年来在借鉴厌氧颗粒污泥的经验基础之上发展的新技术, 与传统的活性污泥法相比较, 好氧颗粒污泥具有生物结构规则致密、生物转化效率高、结构稳定、沉降性能好、耐冲击负荷、占地面积小、剩余污泥产量少等优点。另外, 好氧颗粒污泥具有微生物群种的多样性, 在降解有机碳的同时, 具有硝化反硝化的功能^[1-2]。因此, 近几年来关于好氧颗粒污泥的培养条件、形成机理、结构特性及降解功能的研究成为众多学者研究的热点, 但以有机负荷对好氧污泥颗粒形成的影响并没有做出明确说明^[3-5]。

根据研究结果, 内循环反应器是一种高效生物处理反应器, 流体传质、传热与混合性能良好, 不需污泥

回流、结构紧凑, 运行成本低。又因为好氧颗粒污泥的形成与反应器中流体力学特性有很大关系, 升流式水体流动形态有利于污泥的颗粒化^[6]。本研究主要考察利用气升式内循环序批反应器 (以下简称 SBAR) 在不同有机负荷下好氧污泥颗粒化的过程及其颗粒污泥性状的影响, 为进一步研究好氧颗粒污泥在污水处理工程中的应用奠定基础。

1 实验装置与方法

1.1 实验装置

实验采用自制气升式间歇反应器, 见图 1, 反应器为有机玻璃圆柱体 ($V=5.0\text{L}$), H/D 约为 15, 其中外管内径 8cm , 高 120cm , 内管内径 6cm , 高 90cm , 出水口距底部 50cm , 用气泵供气, 曝气头设在反应器底部,

收稿日期: 2007-11-01; 修回 2008-02-18

基金项目: 黑龙江省教育厅骨干教师项目 (1054G042)

作者简介: 宋志伟 (1968-), 女, 教授, 博士研究生, 主要从事污水治理技术及工艺方面的研究 (手机) 13945132863 电子信箱) szwcyyp@tom.com。

由气体转子流量计控制曝气量, 反应器进水、曝气、沉降、排水等各阶段时间按试验需要设定, 由 PLC 自动控制; 反应器采用水浴控温, 温度由温控器控制; 运行周期按照实验要求设置参数运行。每周期进出水由潜水泵和排水泵控制, 进水量由转子流量计控制。

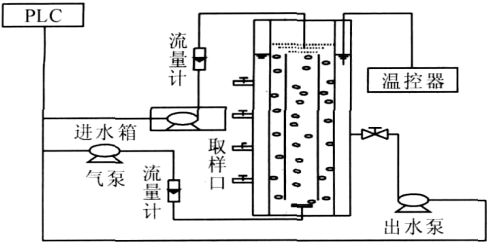


图1 SBAR实验装置
Fig.1 Schematic diagram of SBAR

1.2 实验方法

以动态连续试验为主, 采用两个并列的反应器 R1 和 R2 进行试验, 运行时间为 60d, 实验条件见表 1。

表 1 实验条件 Table 1 Experimental condition				
反应器	表面气流速度 (cm/s)	水力停留时间 (h)	COD 负荷 (kgCOD/m ³ ·d)	温度(°C)
R1	3.2	6	3.0	30±0.5
R2	3.2	6	6.0	30±0.5

运行时间控制为: 进水时间: 10min, 排水: 15min; 沉淀时间: 第一周 15min, 第二周 10min, 第三周后 5min; 曝气时间: 第一周: 320min, 第二周: 325min, 第三周后: 330min。

1.3 试验用水与接种污泥

水样: 采用模拟城市生活污水, 组成见表 2。

表 2 模拟城市生活污水组成 Table 2 The constitutes of synthetic domestic wastewater			
药品名称	用量(mg/L)	药品名称	用量(mg/L)
葡萄糖	1000	CaCl ₂	100
蛋白胨	150	MgSO ₄ ·7H ₂ O	15
牛肉膏	100	K ₂ HPO ₄	35
氯化铵	200	KH ₂ PO ₄	15
FeSO ₄ ·7H ₂ O	20	微量元素	1mL/L

注: 微量元素组成为 mg/L: H₃BO₃ 150, ZnSO₄·7H₂O 120, MnCl₂·7H₂O 120, CuSO₄·5H₂O 30, NaMoO₄ 65, NiCl₂ 50, CoCl₂·6H₂O 210, KI 30, 实验所用药品均为分析纯。

接种污泥: 取自哈尔滨市文昌污水处理厂二沉池的活性污泥, 其中接种污泥 MLSS 为 6770mg/L, SVI 为 103.40mL/g, 沉降速度为 8.37m/h, 污泥呈絮状灰褐色。

1.4 分析项目及方法

(1) COD、NH₃-N、TP、MLSS、SV 和 SVI: 采用标准方法测定^[7]; 颗粒污泥的沉降速度: 测定方法参照文献[8]; 颗粒污泥的粒径分布: 利用标准筛分法^[9]测定;

(2) 颗粒污泥的形态外观: 采用 Leica DM1000 电子显微镜观察;

(3) 颗粒污泥的微观结构: 英国 Camscan 公司的 MX2600FE 扫描电镜, 对颗粒污泥进行预处理^[10], 用导电胶将处理后的好氧颗粒污泥样品固定在样品台上, 用离子衍射仪衍射, 镀上一层金属膜, 即可扫描电镜观察。

2 结果与讨论

2.1 好氧颗粒污泥的形成

在 R1、R2 分别运行 1 周、4 周、7 周时取反应器内污泥用 Leica 电子显微镜观察污泥的形态变化, 结果如图 2 所示。

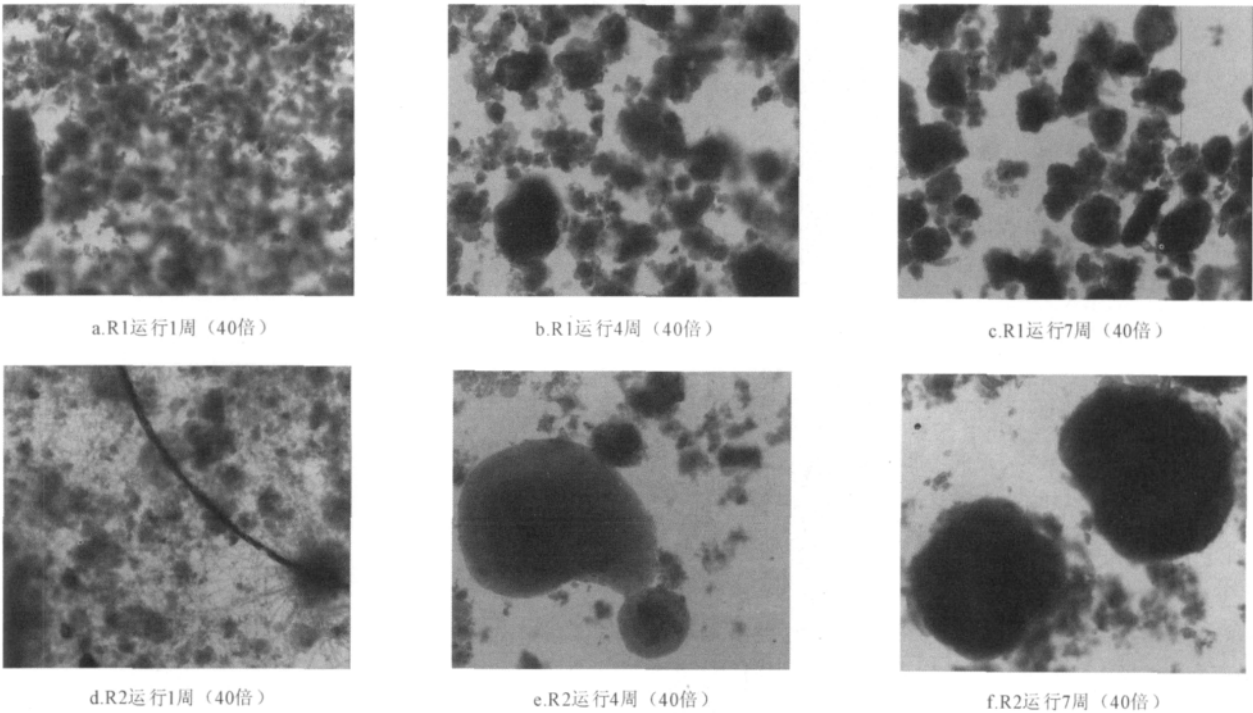


图2. 污泥形态变化
Fig.2 Morphology of granules

R1 启动后运行到 1 周时, 污泥颜色由黑褐色逐渐变成棕褐色, 由图 2 可见, 已经出现细小颗粒, 但仍以絮状污泥居多, SVI 为 47mL/g。运行 4 周后, R1 中污泥成团现象很好, 颗粒不断地长大, 并且新出现了许多黄白色细小颗粒, 污泥絮体减少。7 周后, R1 中污泥形成了大量表面光滑、轮廓清晰的浅黄色颗粒, 最大粒径在 1.5mm 左右, 沉降速度最高为 33.85m/h, MLSS 达到了 9.6g/L, SVI 降到了 25mL/g, 基本完成污泥颗粒化。

R2 运行 1 周, 反应器内出现了少量细小颗粒, 产生了大量的丝状菌, 分析其原因可能是由于有机负荷较高导致, 影响了污泥的沉降性能, 此时的 SVI 为 70mL/g, 随着运行时间增长, 4 周时 R2 内出现了表面光滑的污泥颗粒, 丝状菌也几乎看不到了。7 周后, 反应器内形成了成熟的污泥颗粒, 且粒径可达 2.0mm, 沉降速度由最初的 13m/h 达到了 33m/h, 沉降性能得到了良好的改善, MLSS 增长到 6.2g/L, SVI 为 32mL/g。

由此可见, R2 内虽然有机负荷较高, 也形成了污泥颗粒, 且平均粒径大于 R1。在培养初期高有机负荷条件严重影响了污泥的沉降性能, 但随着实验运行条件的调整, 污泥适应该负荷后形成了性能良好的颗粒污泥。

2.2 污泥颗粒微观结构

在反应器运行 60d 后, 取 R1 和 R2 内的颗粒污泥进行预处理^[10], 用导电胶将处理后的好氧颗粒污泥样品固定在样品台上, 用离子溅射仪溅射, 镀上一层金属膜, 之后即可进行扫描电镜观察。在 20kV 电压放大 6000 倍的扫描电镜下对好氧颗粒污泥进行了观察和分析, 结果如图 3 所示。

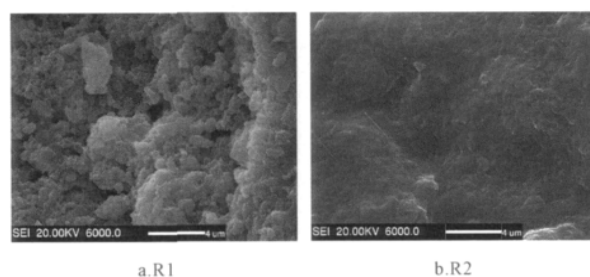


图3 扫描电镜图片
Fig.3 SEM photographs of the aerobic granules

图 3 可以看到, R1 颗粒表面微生物以球菌为主, 污泥颗粒外观结构比较致密; 而 R2 的微观结构与 R1 有明显区别, R2 污泥颗粒表面平滑, 可以看到少量的球菌附着在表面, 看不到丝状菌, 分其原因可能是颗粒表面丝状菌组成结实的菌体骨架, 菌丝已经缠绕而成的绒球状颗粒, 在菌丝表面也附着生长有一些球菌和杆菌, 因此可以看到整体结构紧密。进一步说明不同的有机负荷对颗粒污泥的微观结构影响较大, 颗粒

表面形成的菌群的差别也很大, 具体菌种属有待进一步研究。

2.3 颗粒污泥的粒径分布

在 R1 和 R2 运行末期, 采用标准筛分法对反应器内污泥颗粒进行粒度分析, 分析结果如图 4 所示。

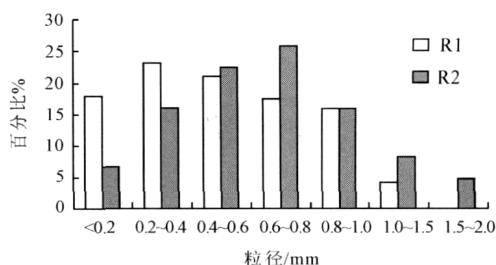


图4 R1和R2好氧颗粒污泥粒径分布图
Fig.4 Size distribution of aerobic granular sludge in reactor

从图 4 可见, R1 粒径分布主要集中在 0.2mm~0.8mm, R1 内 $d>1\text{mm}$ 的颗粒不到 5%, 而 R2 粒径主要集中在 0.4mm~1.0mm, 且 $>1.5\text{mm}$ 的污泥颗粒达到 13%, 且粒径在 0.6mm 以上的颗粒占全部污泥的 50% 以上, 这样在保持污泥良好沉降性能的同时, 其对进水的去除也达到了较好的效果, 说明高负荷下形成的污泥颗粒比低负荷下的污泥颗粒大, 分析其原因可能此时微生物可获得充足的营养底物, 微生物细胞生长繁殖速率快, 产生大量的新生细胞, 相应的颗粒污泥粒径增长速度较大, 因此形成的颗粒粒径也较大。

2.4 COD、氨氮和总磷去除效果

整个反应器运行阶段, 对反应器进出水进行测定, 去除率计算结果如图 5 所示。

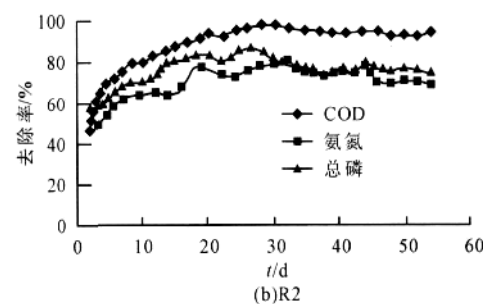
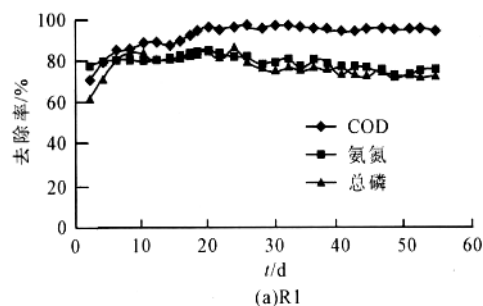


图5 COD、氨氮和总磷去除结果
Fig.5 The removal rate of COD, $\text{NH}_3\text{-N}$ and TP

R1 进水有机负荷为 $3.0 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 进水 COD、氨氮和总磷浓度分别在 1500 mg/L 、 75 mg/L 和 15 mg/L 左右。由图 5(a) 可见, R1 运行 20d 时, 出水水质有了明显的改善, 此时的 SVI 已经降到 30 mL/g , 絮状污泥被洗出, 反应器中以沉降性能较好的絮状污泥及部分颗粒污泥为主, 运行一段时间后, 活性污泥的存在形式慢慢发生变化, 沉降性能得到改善, 污泥洗出量逐渐减少, 反应器中的颗粒污泥的数量逐渐增多, COD、氨氮和总磷最高去除率可达 96.93% 、 85.48% 和 84.20% 。

R2 进水有机负荷为 $6.0 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 进水 COD、氨氮和总磷浓度分别在 3000 mg/L 、 150 mg/L 和 30 mg/L 左右, 由图 5(b) 可见, 运行初期的去除效果不好, COD 的去除率只有 47% , 经过 30d 的运行, 达到了最好的处理效果。COD、氨氮和总磷最高去除率分别为 97.57% 、 87.74% 和 86.60% 。同时光学显微镜观察到在颗粒污泥的表面和周围附着或游离着种类繁多、形态各异、数目巨大的原生、后生动物, 这些原后生动物的存在对提高出水水质, 具有十分重要的作用。

可以看出, 在 SBAR 内有机负荷为 $3.0 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 和 $6.0 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的进水水质, 好氧污泥颗粒都能对其有很好的处理效果, 且高有机负荷下, 颗粒污泥对污染物的去除能力高于低有机负荷。

3 结论

(1) 在 $3.0 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 和 $6.0 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的有机负荷条件下, SBAR 反应器内均有好氧颗粒污泥形成, 污泥浓度稳定在 $6 \text{ g/L} \sim 8 \text{ g/L}$, SVI 值稳定在 $25 \text{ mL/g} \sim 35 \text{ mL/g}$, 沉降速度达到 33 m/h , 且出水水质良好。

(2) 不同的有机负荷对颗粒污泥的微观结构影响较大, 颗粒表面形成的菌群也有差别, 高有机负荷下形成的污泥颗粒结构紧密, 丝状菌已组成结实的菌体骨架; 而低有机负荷下形成的污泥颗粒表面以球菌居多。

(3) 较高的有机负荷可以为微生物提供充足的营养底物, 使微生物细胞生长繁殖速率加快, 产生大量的新生细胞, 相应的颗粒污泥粒径增长速度较大, 因此 $6.0 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 负荷条件下形成的颗粒粒径大于 $3.0 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 负荷下形成的颗粒粒径。

(4) 有机负荷为 $6.0 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时, 运行初期产生大量的丝状菌, 但随着实验的运行, 形成的好氧颗粒污泥可以对污染物有很好的处理效果, 可见 SBAR 反应器可以承受较高有机负荷, 并且在此条件下可以培养出成熟的污泥颗粒。

[参考文献]

- [1] 杨麒, 李小明, 曾光明, 等. SBR 系统中同时硝化反硝化好氧颗粒污泥的培养[J]. 环境科学, 2003, 24(4): 94-99.
Yang Qi, Li Xiao-ming, Zeng Guang-ming, et al. Cultivation of aerobic granular sludge or simultaneous nitrification and denitrification in SBR system[J]. Environment Science, 2003, 24(4): 94-99 (in Chinese)
- [2] 阮文权, 陈坚. 同步脱氮好氧颗粒污泥的特性及其反应过程[J]. 中国环境科学, 2003, 23(4): 380-384.
Ruan Wen-quan, Chen Jian. The character and the reaction process of simultaneous nitrification and denitrification aerobic granular sludge [J]. China Environment Science, 2003, 23(4): 380-384 (in Chinese)
- [3] Tohsk, Tayjh, Moybyp, et al. Size effect on the physical characteristics of the aerobic granule in a SBR[J]. Appl Micro Biotech, 2003, 60(6): 687-695.
- [4] Liu Yu, Yang Shu-fang, Tay Joo-hwa. Improve stability of aerobic granules by selecting slow growing nitrifying bacteria[J]. J Biotech, 2004, 108(2): 161-169.
- [5] Moybyp, Tayjh, Tohsk, et al. High organic loading influences the physical characteristics of aerobic sludge granules [J]. Lett Appl Micro, 2002, 34(6): 407-412.
- [6] 王迪. 不同碳源对好氧颗粒污泥性质影响的研究[D]. 大连: 大连理工大学.
Wang Di. Influence of Different Carbon Condition on Characteristics of Aerobic Granular Sludge[D]. Dalian: Dalian University of Technology (in Chinese)
- [7] 国家环保局. 水和废水监测分析方法(第 3 版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.
State Environmental Protection Administration of China. Monitoring and Analysis Method of Water and Wastewater (3rd ed.) [M]. Beijing: Environmental Science Press, 1989 (in Chinese)
- [8] 竺建荣, 刘纯新. 好氧颗粒污泥的培养及理化特性的研究[J]. 环境科学, 1999, 20(2): 38-41.
Zhu Jian-rong, Liu Chun-xin. Cultivation and physico-chemical characteristics of granular activated sludge in alternation of anaerobic/aerobic process[J]. Environment Science, 1999, 20(2): 38-41 (in Chinese)
- [9] Lvguna A, Ouattara A, Gonzalez R O, et al. A simple and low cost technique for determining the granulometry of up-flow anaerobic sludge blanket reactor sludge[J]. Wat Sci Tech, 1999, 40(8): 1-8.
- [10] 李宗义. 微生物学实验技术[M]. 北京: 气象出版社, 1997: 1191-1961.
Li Zong-yi. Techniques of Microbiology Laboratory [M]. Beijing: Meteorological Press, 1997: 1191-1961 (in Chinese)