

陈 滢, 彭永臻, 刘 敏, 等. SBR 法处理生活污水时非丝状菌污泥膨胀的发生与控制[J]. 环境科学学报, 2005, 25(1): 105–108

CHEN Ying, PENG Yongzhen, LIU Min, et al. Non-filamentous activated sludge bulking in SBR treating the domestic wastewater[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2005, 25(1): 105–108

SBR 法处理生活污水时非丝状菌污泥膨胀的发生与控制

陈 滢^{1,2}, 彭永臻^{1,*}, 刘 敏², 甘一萍³, 王淑莹¹

1. 北京工业大学水质科学与水环境恢复工程重点实验室, 北京 100022; 2. 四川大学建筑与环境学院, 成都 610065; 3. 北京城市排水集团有限责任公司, 北京 100022

摘要: 采用序批式活性污泥法(SBR)处理实际生活污水, 研究了低溶解氧条件下, 有机负荷对污泥膨胀的影响和突然降温对污泥沉降性能的影响。低溶解氧条件下, 当有机负荷为 $0.20 \text{ kg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$ 和 $0.26 \text{ kg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$ 时, 活性污泥中虽然有丝状菌存在, 但并没有发生污泥膨胀。有机负荷达到 $0.57 \text{ kg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$ 时, 菌胶团过量生长, 发生非丝状菌污泥膨胀。提高溶解氧, 降低有机负荷可使污泥沉降性能恢复正常。突然降温, 也会导致非丝状菌污泥膨胀。恢复温度后, 膨胀现象可得到控制。非丝状菌污泥膨胀除了没有丝状菌过量增殖外, 还具有污泥有粘性, 泥水混合液难过滤的特点。

关键词: 低溶解氧浓度; 有机负荷; 降温; 非丝状菌膨胀

文章编号: 0253-2468(2005)01-00105-04 中图分类号: X703.1 文献标识码: A

Non-filamentous activated sludge bulking in SBR treating the domestic wastewater

CHEN Ying^{1,2}, PENG Yong-zhen¹, LIU Min², GAN Yi-ping³, WANG Shuying¹

1. Key Laboratory of Beijing for Water Quality Science, Beijing University of Technology, Beijing, 100022; 2. College of Architecture and Environment, Sichuan University, Chengdu 610065; 3. Beijing Municipal Drainage Corporation, Beijing 100022

Abstract: The effects of sludge loads under low DO condition and temperatures on activated sludge settle ability in a Sequencing Batch Reactor (SBR) fed with domestic wastewater were investigated. Though the system was kept in low DO levels, the sludge settled properly at sludge load of $0.20 \text{ kg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$ and $0.26 \text{ kg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$, respectively. Deterioration of SVIs was observed after increasing sludge load to $0.57 \text{ kg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$, which was related to the excessive growth of Zoogloea colonies. Through increasing DO and decreasing sludge load, the zoogloea flocs gradually changed to the well-settling sludge. The non-filamentous activated sludge bulking also occurred when the temperature was decreased sharply. After increasing the temperature to the original level, the sludge bulking was controlled effectively and the low SVI was recovered. When the non-filamentous activated sludge bulking occurred, the sludge had a jelly-like viscous consistency and became hard to filter.

Keywords: low DO concentration; non-filamentous activated sludge bulking; temperature; sludge load

活性污泥泥水混合液能否在沉淀阶段良好的分离是活性污泥工艺运行中的关键问题。活性污泥的泥水分离问题可概括为以下几个类型: 微生物的分散生长、污泥膨胀、针状絮体、污泥上浮、泡沫或浮渣问题。尽管上述问题都会给活性污泥工艺正常运行带来负面影响, 但污泥膨胀是最严重的问题^[1]。

活性污泥膨胀主要分为 2 大类型: 丝状菌污泥膨胀 (Filamentous bulking) 和非丝状 (Non-filamentous bulking) 污泥膨胀^[2]。非丝状菌污泥膨胀又被称为粘性膨胀 (Viscous bulking) 或菌胶团膨胀 (Zoogloea bulking)。非丝状菌膨胀是由于菌胶团细菌大量累积

高粘性物质或过量繁殖引起的无丝状菌过量生长的污泥沉降性能变差现象^[3]。非丝状菌污泥膨胀的原因主要有: ①污水水质成分 (如含有高浓度脂肪和油酸)^[1] ②污泥负荷过高或进水中缺乏氮、磷营养物质或某些微量元素^[3,4], ③在某些条件下, 选择器也会刺激菌胶团菌的过量生长^[5], ④低温^[6,7]。

目前, 有关非丝状菌污泥膨胀现象的报道逐渐增多^[8,9], 但是国内外在这方面的系统研究也十分少, 尤其缺乏预防和控制非丝状菌污泥膨胀的有力措施。有机负荷、溶解氧浓度、温度都是影响活性污泥系统正常运行的重要因素。许多文献报道, 活性污

收稿日期: 2004-01-08; 修订日期: 2004-04-20

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (50138010); 北京市教委科研项目 (01KJ-001); 北京市自然科学基金 (8022006); 国家“863”计划项目 (2003AA60110)

作者简介: 陈 滢 (1975—), 女, 博士研究生, eleanor75@sina.com.cn; 通讯联系人, pyz@bjut.edu.cn

泥系统在低溶解氧条件下运行,可提高系统的脱氮除磷能力^[10-12]。但通常认为,低溶解氧条件运行会导致污泥沉降性能变差。在污水处理厂的运行中,尤其秋冬交替之时,会出现水温突然降低的现象。另外,一些在中温条件下运行的活性污泥系统偶尔也会由于加热系统的故障,出现温度突然降低的现象。但是,温度突然变化对活性污泥沉降性能影响的研究还比较少。本文采用 SBR 工艺处理实际生活污水,研究了低溶解氧和温度变化对污泥沉降性能的影响,并提出了相应的控制措施。

1 材料和方法

1.1 试验装置

采用序批式反应器(Sequencing Batch Reactor, SBR),试验装置见图 1。反应器有效容积 14 L,有机玻璃制成。反应器壁上设有取样口,兼有排水作用。采用鼓风微孔曝气方式,用空气流量计调节曝气量。根据不同需要,利用温度控制系统保持不同的水温。SBR 的运行周期分为进水、曝气、沉淀、排水、闲置 5 个阶段。采用限制性曝气,每周期进水 2 min,曝气时间根据负荷不同分别为 2 h, 4 h 和 6 h,沉淀 1 h,排水 10 min。每天运行 2 个周期,其它时间为闲置期。

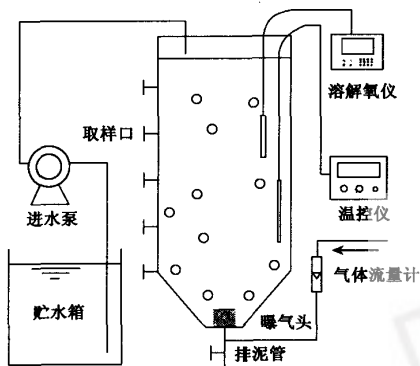


图 1 SBR 系统试验示意图

Fig. 1 Schematic diagram of SBR system

1.2 试验用水及种泥来源

试验原水取自北京工业大学教工生活小区的生活污水。试验期间,原水水质:COD 为 224 ~ 463 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,平均值为 365 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;BOD 为 112 ~ 213 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,平均值为 182 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;TP 为 8.2 ~ 15.2 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,平均值为 11.29 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;PO₄³⁻-P 为 7.63 ~ 13.2 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,平均值为 10.05 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;pH 为 7.4 ~ 7.8,平均值为 7.6。试验以北京市某城市污水处理厂的回流污泥为种泥,进行培养驯化。

1.3 检验分析项目

COD 采用 5B-3 型 COD 快速测定仪测定;BOD 采用 WTW TS 606/S 红外遥控 BOD 仪测定;TP 经过消解采用氯化亚锡还原光度法;PO₄³⁻-P 采用氯化亚锡还原光度法;MLSS 采用滤纸重量法。利用 WTW inoLab Oxi level2 实验室台式溶解氧仪在线检测 DO 值。用 OLYMPUS BX51/BX52 显微镜对污泥絮体内微生物进行观察。SV 是活性污泥在 100 mL 的量筒内静沉 30 min 测得。SVI 值根据 SV 和 MLSS 进行计算得到。反应中用污泥指数(sludge volume index, SVI)来反映污泥沉降性能。当 SVI 值到 150 $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 以上时,认为发生污泥膨胀;反之,认为膨胀得到控制。

2 结果与讨论

2.1 高负荷、低溶解氧引起的非丝状菌污泥膨胀

试验通过改变曝气时间来改变有机负荷。选择了 3 种有机负荷,曝气时间分别为 2 h, 4 h 和 6 h。相应负荷分别为 0.57 $\text{kg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$, 0.26 $\text{kg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$ 和 0.20 $\text{kg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$ 。在 (21 ± 1) °C 条件下, SBR 反应器在每个负荷条件下都运行了 100 周期。污泥浓度(MLSS)控制在 3000 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右。污泥的沉降性能用 SVI 表示。有机负荷按式(1)计算:

$$N_s = \frac{V_1 \cdot S_0}{X \cdot (V_1 + V_2)} \frac{24}{t} \quad (1)$$

式中, N_s 为 SBR 反应器的有机负荷 [$\text{kg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$, 以 BOD₅ 计]; V_1 为反应器的一次进水量(L); V_2 为进水前反应器内原有的泥水混合液体积(L); t 为一个运行周期的曝气时间(h); S_0 为进水有机物浓度($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 以 BOD₅ 表示); X 为运行阶段反应器中活性污泥平均浓度($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)。

这 3 组试验都是在低溶解氧条件下运行,即每周期从反应的开始到结束(在线检测 DO 浓度),反应器内溶解氧浓度都维持在 0.55 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下,其中初始的 30 min 左右以下,DO 在 0.1 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下。

低溶解氧会促使丝状菌的过量生长,引起丝状菌污泥膨胀^[13,14]。本研究中的 3 组试验都是在低溶解氧条件下进行,但污泥的沉降性能却有较大的差别。由图 2 可见,当污泥负荷在 0.20 $\text{kg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$ 和 0.26 $\text{kg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$ 时,污泥的沉降性能良好。反应初始 SVI 都为 68 $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$,随着运行周期的增多,SVI 有所上升。前者在第 50 周期,SVI 达到 124 $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$,但在后来的 50 周期里,SVI 始终维持在 120 ~ 135 $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$,污泥没有发生膨胀现象。后者在第 54 周期,

SVI 达到 $124 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$. 同样在后续的周期里, SVI 始终保持在 $130 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 以下, 也没有发生污泥膨胀. 显微镜下观察污泥絮体内的微生物, 有少量的丝状菌存在, 但是其并没有对污泥的沉降性能产生严重的影响. 这说明低溶解氧不一定会引起丝状菌污泥膨胀, 而且丝状菌的存在也不一定会引起污泥膨胀.

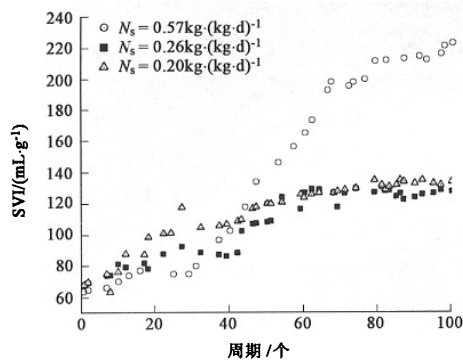


图 2 不同负荷条件下 SBR 系统内 SVI 的变化

Fig.2 The evolution of SVI throughout the periods of the research at different sludge loads in SBR

当污泥负荷上升到 $0.57 \text{ kg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$ 时, 污泥的沉降性能变化很大. 第 53 周期之前, 污泥沉降性能良好, SVI 值在 $150 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 以下. 在第 53 周期, SVI 开始迅速上升; 第 76 周期达到 $200 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$, 最高可达到 $223 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$. 在第 93 周期, SVI 为 $212 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 污泥有粘性, 泥水混合液难过滤, 出水浑浊, 透明度差. 通过镜检发现, 该污泥沉降性能变差现象并没有伴随着丝状菌的过量生长. 而是出现了如图 3 所示的大量的指型、放射状的菌胶团. 由此可见, 该污泥膨胀属于典型的非丝状菌污泥膨胀. 由于反应时间

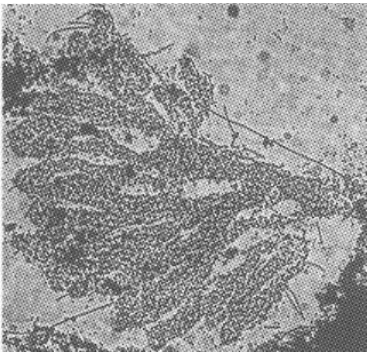


图 3 发生非丝状菌膨胀时的菌胶团 ($\times 400$)

Fig.3 Zoogloea sludge flocs from the period of non-filamentous bulking, cycle 93

短, 有机负荷过高 (COD 下降率仅为 58%), 微生物不能充分利用碳源合成细胞物质, 细菌获得的大量碳源物质转变为胞外多聚物覆盖在污泥絮体表面. 这些凝胶状的多聚物质是高度亲水性化合物, 含有大量结合水, 致使污泥沉降性变差.

该组试验与前两组试验运行条件的差别在于该组试验的有机负荷较高. Eikelboom 的研究也表明, 在高有机负荷污水处理厂 ($N_s > 0.40 \text{ kg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$) 容易发生非丝状菌污泥膨胀^[2]. 高有机负荷可能是致使发生丝状菌污泥膨胀的原因.

2.2 高负荷、低溶解氧引起非丝状菌污泥膨胀的控制

目前报道的抑制非丝状菌污泥膨胀的方法主要有投加无机、有机混凝剂或粘土助沉的方法^[6,7]. Jenkins 曾报道营养物质缺乏所引的非丝状菌污泥膨胀, 并不能用常规的控制丝状菌污泥膨胀的方法 (投加聚合物、氯、 H_2O_2) 来控制. Van Leeuwen 提出可用臭氧来控制非丝状菌污泥膨胀^[1]. 田口广介绍投加无机药品不能取得预期的效果, 投加高分子絮凝剂虽然可以暂时控制膨胀, 但如果不连续投加, 又会出现污泥膨胀反复现象^[7]. 实际运行中, 这些方法可能会受到运行费用或场地条件等限制, 而且其它物质的加入还可能影响污水处理的效果.

在本研究中, 采取了先提高溶解氧浓度, 后降低有机负荷的方法对膨胀污泥进行了恢复与控制. 如图 4 所示, 恢复过程中首先提高了溶解氧, 使 DO 浓度达到 $2.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上. 运行了 6 周期, SVI 变化不大. 第 7 周期开始, 在保持高溶解氧的同时, 将有机负荷降低到 $0.3 \text{ kg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$. 经过 13 周期的运行, SVI 下降到 $140 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$. 第 39 周期, SVI 下降到 119

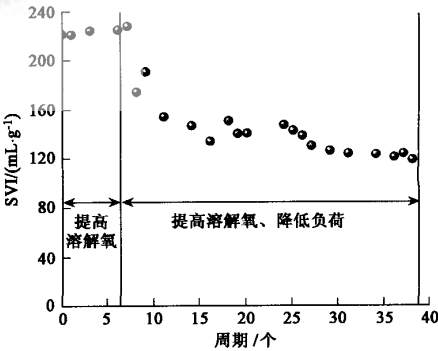


图 4 高负荷引起的污泥膨胀的恢复过程

Fig.4 The evolution of SVI during the periods of the bulking sludge controlled

$\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$. 污泥沉降性能变好, 泥水混合液容易过滤, 沉淀后上清液变得清澈透明. 镜检观察, 发现指状菌胶团减少, 污泥膨胀得到控制.

2.3 突然降温引起的非丝状菌污泥膨胀及控制

SBR 系统在 $(32 \pm 1)^\circ\text{C}$ 下运行一段时间后, SVI 稳定在 $150 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ 以下, 然后在某周期内反应器中温度由 $(32 \pm 1)^\circ\text{C}$ 突然降低至 17°C . 由图 5 可见, 仅仅运行了 1 周期, SV 就从 25.5% 上升到 76%, SVI 由 $119.2 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ 上升到 $337.8 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$. 污泥的沉降速率降低, 污泥有粘性, 泥水混合液难过滤. 但与前面不同的是, 污泥沉淀后的上清液清亮透明, 没有悬浮物. 镜检观察未见丝状菌的过量出现. 因此, 该污泥膨胀也应属于非丝状菌污泥膨胀.

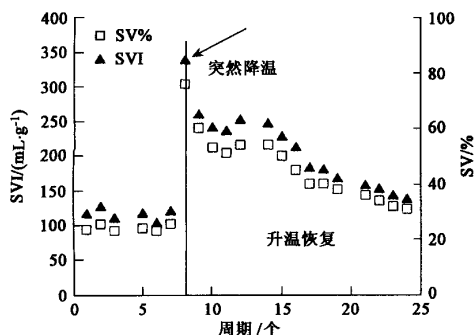


图 5 温度对污泥沉降性能的影响

Fig. 5 The effect of the temperature on sludge settling property

目前, 对于降温引起的非丝状菌污泥膨胀研究较少, 有文献介绍可以通过投加粘土来控制膨胀. 本试验因是在实验室内进行, 因此可以通过用加热装置恢复反应器内的水温. 由图 5 可见, 通过升温的方法, 运行了 16 周期后, 膨胀的污泥得到控制, 污泥沉降性能变好. 反应温度突然降低, 微生物的代谢速率降低, 使部分有机碳源不能被充分利用, 形成胞外多聚物. 另外, 为了适应环境的突变, 微生物可能分泌一些粘性物质将自己包裹保护起来, 而这些分泌物能结合大量的水分, 可使污泥絮体的结合水增多, 致使污泥沉降性能变差. 另外, 也有研究表明活性污泥的粘度与沉降性能之间也存在相关关系, 活性污泥中含有的粘性物质增多, 污泥的粘度越高, 沉降性能越差. 当温度恢复后, 微生物的活性又逐渐恢复, 代谢能力增强, 可将有机碳源充分利用, 微生物细胞外的多聚物减少. 而且温度升高, 活性污泥的粘度也会降低, 所以活性污泥的沉降性能也就逐渐恢复正常.

3 结论

1) SBR 工艺处理实际生活小区污水, 在低溶解氧浓度条件下运行. 当有机负荷为 $0.20 \text{ kg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$ 和 $0.26 \text{ kg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$ 时, 活性污泥中虽然有丝状菌存在, 但并没有发生污泥膨胀. 有机负荷升高到 $0.57 \text{ kg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$ 时, 发生了非丝状菌污泥膨胀.

2) 长期的高负荷, 低溶解氧浓度条件可引起非丝状菌污泥膨胀. 膨胀的污泥有粘性, 泥水混合液难过滤, 沉淀后上清液浑浊. 通过提高溶解氧, 降低有机负荷的方法可使污泥沉降性能恢复正常.

3) 突然降低温度, 可引起非丝状菌污泥膨胀. 膨胀的污泥有粘性, 泥水混合液难过滤, 但是沉淀后的上清液清亮透明, 出水悬浮物浓度低. 通过恢复温度至原来水平的方法可控制此种污泥膨胀.

参考文献:

- [1] Novak L, Larrea L, Wanner J, *et al.* Non-filamentous activated sludge bulking in a laboratory scale system[J]. *Water Research*, 1993, 27(8):1339—1346
- [2] Eikelboom D H. Process Control of activated sludge plants by microscopic investigation[M]. London: IWA Publishing, Alliance House, 2000:143
- [3] Peng Y Z, Gao C D, Wang S Y. Non-filamentous sludge bulking caused by a deficiency of nitrogen in industrial wastewater treatment[J]. *Water Science and Technology*, 2003, 47(11): 289—295
- [4] 高春娣, 彭永臻, 王淑莹, 等. 氮缺乏引起的非丝状菌活性污泥膨胀[J]. *环境科学*, 2001, 22(6): 61—65
- [5] Gabb D M D, Still D A, Ekama G A, *et al.* The selector effect on filamentous bulking in long sludge age activated sludge systems[J]. *Water Science and Technology*, 1991, 23(Kyoto): 867—877
- [6] 桑义敏, 尹 炜, 何绪文. CASS 工艺在处理低温生活污水中的应用研究[J]. *环境工程*, 2002, 20(2): 16—18
- [7] 田口广著(孙玉修, 蔡汉弟译). 活性污泥膨胀与控制对策[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1981: 209—211
- [8] 周雪飞, 任南琪, 陈漫漫, 等. 低有机负荷含磷废水中污泥膨胀的控制对策[J]. *哈尔滨建筑大学学报*, 2001, 34(4): 58—60
- [9] 陈冰照, 林 梅. 烤鳗废水活性污泥法处理中污泥膨胀的原因及控制[J]. *福建环境*, 2001, 18(6): 18—19
- [10] 朱晓君, 周曾炎, 高廷耀. 低氧活性污泥法脱氮除磷工艺生产性研究[J]. *中国给水排水*, 1997, 13(13): 12—15
- [11] Cho B C, Liaw S L, Hsu T T. Investigation of the low DO level simultaneous bio-phosphorus uptake and nitrification processes in the aerobic phase of a continuous-flow sequencing batch reactor(CFSBR) [A]. 3rd IWA Specialised Conference on Sequencing Batch Reactor Technongly(SBR3)[C], Noosa, Australia, 2004
- [12] Peng D C, Nicolas B, Delgenes J P, *et al.* Aerobic granular sludge—a case report [J]. *Water Research*, 1999, 33(3): 890—903
- [13] Palm J C, Jenkins D. Relationship between organic loading, dissolved oxygen concentration and sludge settleability in the completely mixed activated sludge process [J]. *WPCF*, 1980, 52(10): 2484—2506
- [14] Caroline E S, Randall C W. Evaluation of filamentous microorganism growth factors in an industrial wastewater activated sludge system [J]. *Water Science and Technology*, 1998, 37(4-5): 263—270