

SBR 工艺污泥颗粒化对生物脱氮除磷特性的研究

卢然超¹, 张晓健¹, 张悦¹, 竺建荣², 施汉昌¹ (1. 清华大学环境科学与工程系, 北京, 100084, Email: rnecholon@263.net; 2. 德国慕尼黑工业大学)

摘要:采用模拟配制的生活污水, 研究循序间歇反应器(SBR)工艺的脱氮除磷效果和污泥沉降性能。试验结果表明, 通过丁状态调控阶段, 反应器中形成了同时具有脱氮除磷能力的好氧颗粒化污泥。其中, 反应器对 COD 和 P 的去除率分别为 90% 和 85% 左右; $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 去除率分别达到 90% 和 80%。颗粒污泥的 SVI 值约为 50, 出水水质好。这些良好的运行性能比好氧颗粒污泥形成前大大改善。

关键词: SBR 工艺; 好氧颗粒化污泥; 生物脱氮除磷

Effect of the sludge granulation on nitrogen and phosphorus removal in SBR process

LU Ranchao¹, ZHANG Xiaojian¹, ZHANG Yue¹, ZHU Jianrong², SHI Hanchang¹ (1. Dept. of Environmental Sci. & Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084; 2. Technical University of Munich, Munich, Germany)

Abstract: The removal efficiency of P and N and settlement characteristics of sludge were studied in SBR process by using synthetic domestic wastewater as feed. It is found that the aerobic granular sludge was formed in the reactor under the proper operating conditions, which can show excellent settling ability. The sludge is mainly 0.2—1.0 mm in diameter and 50 of SVI. Compared with the experimental results before sludge granulation, the removal efficiencies of COD, P, $\text{NH}_3\text{-N}$ and TN are highly improved. It can remove P and N simultaneously with 90% removal for COD, 85% for P, 90% for $\text{NH}_3\text{-N}$, and 80% for TN.

Keywords: SBR process; aerobic granular sludge; biological N and P removal

目前的脱氮除磷工艺, 其好氧处理单元的核心仍然是传统活性污泥法, 但是由于活性污泥结构松散, 沉降性差, 因此, 曝气池中的污泥浓度低, 处理能力不高; 二沉池体积庞大, 污泥含水率高, 污泥处理难度大。解决的方法是改善活性污泥的形态, 培养颗粒化污泥。SBR 具有独特的厌-好氧交替反应, 反应器内气液二相均呈升流状态, 因此培养出颗粒活性污泥在技术上是完全可行的。

借鉴厌氧颗粒污泥的成功经验^[1], 国内外有人在 SBR 反应器培养出好氧颗粒污泥^[2-4], 但是这些颗粒污泥中, 有的完全没有脱氮除磷能力; 有的脱氮能力高, 而除磷能力低; 有的除磷能力高, 而脱氮能力低。这些因素制约了好氧颗粒污泥进一步推广和应用。本试验通过调整运行状态, 培养出具有脱氮除磷, 兼有高效去除有机物的颗粒化污泥, 并考察了污泥颗粒化前后对脱氮除磷效果的影响。

收稿日期: 2000-07-14; 修订日期: 2001-02-20

基金项目: 清华大学研究基金资助

作者简介: 卢然超(1973—), 男, 硕士

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

试验所用反应器为聚氯乙烯塑料圆桶,内径为 22 cm,总体积 8 L,有效容积为 6 L.由 HA-L 时间程序控制器及附属电子线路实现对运行的自动控制.可以根据实验需要调整运行周期以及进水、曝气、沉淀、排水各阶段的启动、关闭时间.厌氧状态由停止曝气后,微生物即时消耗水中溶解氧实现.夏季,在室温下运行;冬季定为 20℃,由一根热交换器保持恒温在 20±2℃ 范围内.气源采用山本-6500 型曝气机,以粘沙块作为微孔曝气器.试验后期还安装了 JJ-3 型精密电动搅拌器.

在沉淀与厌氧状态之间进水.进水方式为:从底部向上进水,同时从反应器上部溢流管排水.进水 20 min,流量 0.5 L/min,每次进水控制在 9—10 L 之间,保证容积为 6 L 的反应器内充分换水.定期测定混合液中的 SV、DO、MISS、MLVSS、TP、NH₃-N、pH 等运行参数.对此进行分析,判断反应器运行好坏并作相应的及时调整.每昼夜运行 3 个周期,对其中两个周期进行实时监控,若发现设备故障,及时排除.试验装置见图 1.

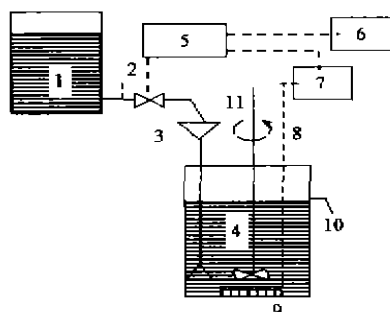


图 1 试验装置示意图

1 配水槽 2 进水管 3 电脑 4 反应器
5 控制板 6 时间控制器 7 曝气机 8 曝
气管 9 曝气头 10 出水口 11 搅拌器

Fig 1 The schematic experimental equipments

1.2 试验方法

试验研究方法以动态连续实验室小试试验为主要手段,采用模拟生活自配污水,配水水质见表 1.

表 1 模拟生活污水组成 (mg/L)

Table 1 The constituents of synthetic domestic wastewater (mg/L)

COD	TN	NH ₃ -N	P	蛋白胨
300—600	20—30	10—20	9—12	56
Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Fe ²⁺
24.8	12.5	9.2	8.5	0.5

1.3 分析项目及方法

分析方法参见文献[5]、[6].

(1) P 含量采用钼酸铵-氯化亚锡法;NH₃-N 采用纳氏试剂光度法;NO₃⁻-N 采用 DX-100 型离子色谱仪测定;TN 采用过硫酸钾-紫外分光光度法.

(2) COD、SV、SVI、MISS、MLVSS 等按标准方法测定.

(3) 光学显微镜采用 Nikon Optiphot X-2 型生物研究显微镜.

(4) 污泥的形态、结构采用中国科学院微生物所的电子显微镜观察.

2 试验结果和讨论

本试验装置从 1998 年 10 月 19 日启动,从培养好氧颗粒污泥出发,采用北京啤酒厂的厌氧颗粒污泥为接种污泥.驯化过程中,原有的厌氧颗粒污泥外层新长出灰白的疏散组织,厌氧颗粒在水力冲刷和曝气的搅动下解体.经过了 80 d 的污泥驯化阶段,污泥形态基本为絮状,但带有细小的厌氧颗粒核心,总体颗粒化不好,沉降性能很差,污泥浓度为 3.2—4.0 g/L,反应器 COD 和 P 的去除率约为 82% 和 12.9%. 然后开始正常进水.

2.1 絮状污泥运行阶段

这个阶段从 1999 年 3 月 10 日—1999 年 5 月 5 日,共 55 d.运行状态调整为 4 h 曝气:4 h 停止曝气,其中包括厌氧 2.5 h,20 min 进水和 45 min 沉淀,运行周期仍为 8 h.反应器中不设搅拌器.运行结果见图 2.

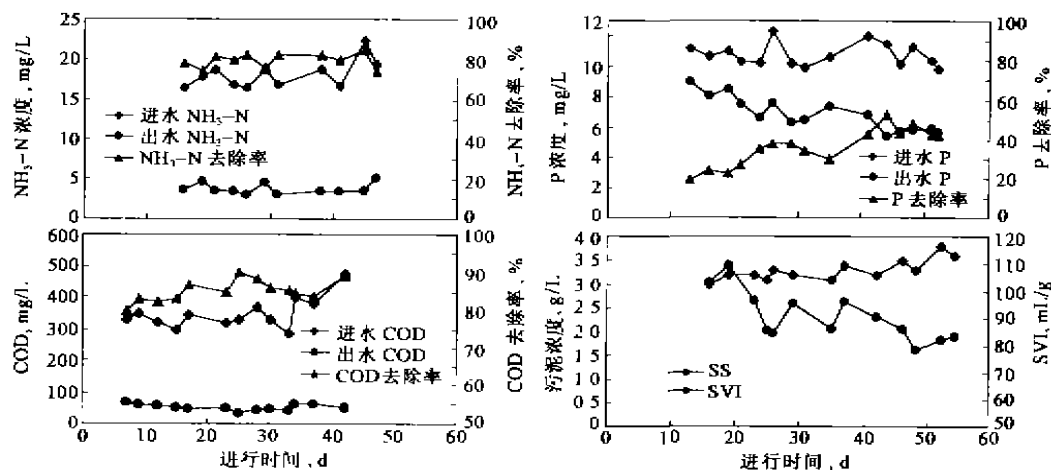


图 2 絮状污泥阶段 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、P、COD 浓度及去除率,污泥浓度及沉降性能

Fig. 2 Variation of SS and SVI with operation time in the phase of floc sludge

可以看出,对于以絮状好氧活性污泥为处理单元的 SBR 反应器,当进水 COD、P 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度分别为 330.8—478 mg/L、9.88—12.35 mg/L 和 16.43—22.88 mg/L,出水分别在 42—66.3 mg/L、7.56—9.04 mg/L 和 3.04—6.19 mg/L 之间,去除率分别为 83.7%—90.2%、34.5%—52.1% 和 71.6%—81.9%。可见,COD 去除率好,而 P 去除率低, $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率一般.这阶段大部分污泥形态为浅黄色的絮状体,但絮状体中间已经存在好氧颗粒化核心,这是厌氧颗粒污泥为接种污泥的缘故.这时污泥的浓度(MLSS)为 3.2—3.8 g/L,污泥的沉降指数(SVI)为 78.8—96.2,比一般活性污泥(SVI 为 100—150 左右)略低。

2.2 状态调控阶段

有鉴于污泥的除磷效果不好和颗粒化程度不够,这阶段的主要目的是从提高反应器的除磷效果出发,培养具有脱氮除磷能力的好氧颗粒污泥.此探索过程历时很长,从 1999 年 5 月上旬到 1999 年 12 月中旬,采用各种运行条件进行尝试.其中可行的措施包括提高进水中 COD 浓度,在厌氧区加设搅拌作用和缩短泥龄.但最为有效的调控方法是在每个周期厌氧段结束污泥沉淀后,把反应器的剩余碳源配水全部排走,替换为无碳源配水(不加蛋白胨,其他配水成分不变).这样就抑制了非除磷菌在好氧环境下的生长,为除磷菌提供了适合的生长条件.调控后观察到反应器的絮状污泥逐渐减少,一星期后只剩下好氧颗粒化污泥,并且污泥的沉淀性很好.此后正常配水,泥量迅速生长,反应器的污泥颗粒化极好,还具有较强的去除有机物、脱氮和除磷能力。

2.3 污泥颗粒化运行阶段

在上一阶段的运行调控的基础下,对反应器进一步加强管理.这个阶段从 1999 年 12 月中旬到 2000 年 1 月下旬和从 2000 年 2 月中旬到 2000 年 3 月下旬.此阶段泥龄为 10d.运行结果见表 2 和图 3。

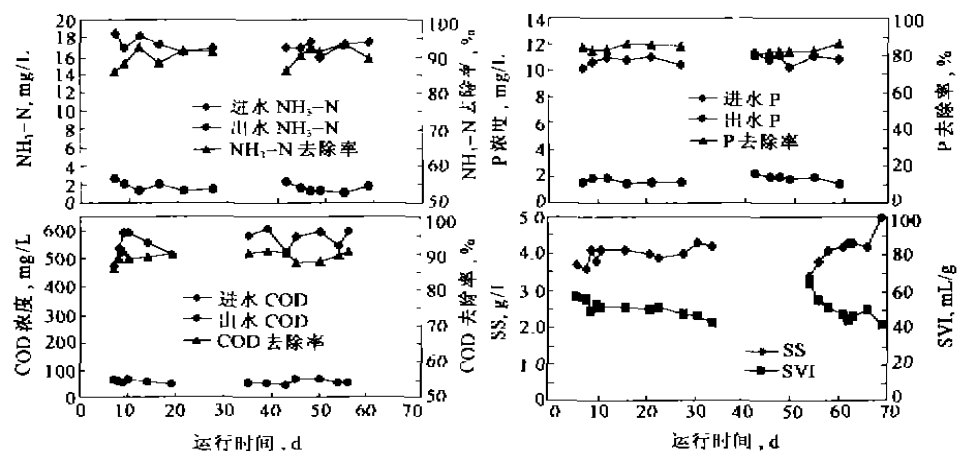
图3 颗粒污泥阶段 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、P、COD 浓度及去除率,污泥浓度及沉降性能

Fig. 3 Variation of SS and SVI with operation time in the phase of granular sludge

表2 颗粒污泥阶段 TN 的去除结果

Table 2 TN removal in the phase of granular sludge

时间, min	进水 TN, mg/L	出水 TN, mg/L	TN 去除率, %
15	25.63	5.36	79.1
26	25.36	5.62	77.8
48	26.32	5.23	80.1

运行结果表明,在颗粒化污泥运行期间,污泥的浓度为 $3.8\text{--}5.0\text{ mg/L}$,污泥的 SVI 值为 $42.9\text{--}55.3\text{ mL/g}$,反应器对于 COD、P 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度分别为 $525.5\text{--}603.2\text{ mg/L}$, $10.23\text{--}11.44\text{ mg/L}$ 和 $15.86\text{--}18.32\text{ mg/L}$ 的进水,出水分别在 $50.9\text{--}72.3\text{ mg/L}$, $1.46\text{--}2.24\text{ mg/L}$ 和 $1.14\text{--}2.02\text{ mg/L}$ 之间,去除率分别为 $88.5\%\text{--}90.7\%$, $82.7\%\text{--}86.7\%$ 和 $88.4\%\text{--}92.3\%$;TN 的去除率为 80% 左右.脱氮除磷能力比絮状污泥运行阶段大大地提高.而且,这种好氧颗粒化污泥在反应器中的重现性和脱氮除磷的稳定性,在第二次重启动的运行结果中得到了进一步证实.

2.4 颗粒化污泥

颗粒污泥外观为浅黄色,近似圆形的小颗粒,粒径大多为 $0.2\text{--}1.0\text{ mm}$.图4为高效脱氮除

(a) $\times 40$ (b) $\times 80$

图4 颗粒污泥形态

Fig. 4 Configuration of granular sludge



放大倍数 200 倍

图5 颗粒周围的微生物

Fig. 5 Microbe around the granular sludge

磷运行稳定期间,在电镜下的好氧颗粒化污泥形态结构,可以清楚地看到,污泥颗粒有的结构致密(如 a)、有的结构相对疏松(如 b)。松散的颗粒是由若干个较小的颗粒或菌团聚集而成。污泥颗粒表面有很多丝状细菌和丝状真菌相互缠绕,并且向周围空间蔓延。大量的附着型原、后生动物附着在这些丝状微生物之中。图 5 为光学显微镜下,颗粒周围数量庞大的微生物种类。

3 结语

本试验培养的好氧颗粒化污泥,实际上是 SBR 生物处理系统中微生物在适当生活环境下相互聚合,形成传质条件好,活性高和沉淀性好的 一种宏观上的颗粒状的絮凝体。颗粒表面附着各种各样的细菌、真菌、丝状菌以及原、后生动物,它们形成的微生物群落,在污水处理过程中发挥了巨大的作用。这种好氧颗粒污泥的有效生物量及活性大大高于传统好氧活性污泥。

颗粒的形成,对于减少出水中的游离细菌数目,提高出水水质,特别是脱氮除磷作出了重大贡献。而且丰富的微生物相,较高的生物量,提高了反应器的处理负荷,增强了反应器的耐冲击的能力,因而培养出来的好氧颗粒污泥,大大改善了常规污泥的脱氮除磷效果。

参考文献:

- [1] Lettinga G, L W Hulshoff Pol. UASB process design for various types of wastewater[J]. Wat Sci Tech, 1991, 24(8): 87—107
- [2] Morgenroth, F Shelden, M C M T, *et al*. Aerobic granular sludge in a sequencing batch reactor[J]. Wat Res, 1997, 31(12): 3191—3194
- [3] Peng Dungeong, Nicolas Bernet, Jean-Philippe Delgenes, *et al*. Aerobic granular sludge—a case report[J]. Wat Res, 1999, 33(3): 890—893
- [4] 竺建荣,刘纯新.好氧颗粒污泥的培养及理化特性的研究[J].1999,环境科学,20(2):38—41
- [5] 美国公共卫生协会 APHA, 自来水厂协会 AWWA, 水污染控制联合会 WPCF 合编,宋仁元等译,水和废水标准检验法(第 15 版)[M].北京:中国建筑工业出版社,1982
- [6] 国家环保局.水和废水监测分析方法(第 2 版)[M].北京:中国环境科学出版社,1989