

文章编号:1671-8879(2006)03-0103-04

# 包埋固定化间歇式生物工艺处理生活污水

李 杰<sup>1,2</sup>, 刘 珊<sup>3</sup>, 王志盈<sup>1</sup>, 刘 蕾<sup>2</sup>

(1. 西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 兰州交通大学  
环境与市政工程学院, 甘肃 兰州 730070; 3. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054)

**摘 要:**将包埋固定化技术应用到间歇式生物处理工艺中,形成包埋固定化 SBR 反应器(间歇式反应器),通过与普通活性污泥法 SBR 反应器处理生活污水效果的对比试验,研究了该工艺实际应用的优越性。试验结果表明,前者达到最大 COD 去除率的反应时间比后者缩短了 2 h,抗进水 COD 冲击负荷能力提高约 50%,稳定运行时对 LAS 的去除效果高出约 30%,并有很强的抗 LAS 毒害的能力。

**关键词:**环境工程;固定化;废水处理;SBR 工艺;生活污水

**中图分类号:**X703 **文献标识码:**A

## Characters of Immobilization SBR Process in Domestic Wastewater Treatment

LI Jie<sup>1,2</sup>, LIU Shan<sup>3</sup>, WANG Zhi-ying<sup>1</sup>, LIU Lei<sup>2</sup>

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, Shanxi, China; 2. School of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, Gansu, China; 3. School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

**Abstract:** Embedded immobilization SBR is the reactor that combines embedded immobilization technology with SBR technique. Compared with activated sludge SBR, this technique is applied to the process on treating domestic sewage, its advantage is presented. The results show the time that embedded immobilization SBR need to reach maximum COD removal efficiency can be reduced 2 hours, and the COD resistance ability can be increased 50%. Under stable operation, the LAS removal efficiency can be promoted 30%. Meantime the reactor has a strong LAS resistance ability. 2 tabs, 6 figs, 8 refs.

**Key words:** environmental engineering; immobilization; wastewater treatment; SBR process; domestic sewage

## 0 引 言

强化生物处理工艺的效果是目前废水处理研究的主要方向之一<sup>[1]</sup>。生物固定化技术是现代生物工程领域中的一项新兴技术,它是通过化学或物理的

手段,将游离细胞或酶定位于限定的区域,使其保持活性并可反复利用的方法。固定化微生物技术用于废水处理,具有一系列优点,如可在反应器内保持高生物浓度,反应启动快、速度快,污泥龄提高,处理效率高,操作稳定,固液分离简单,耐毒害能力增强,微

收稿日期:2005-06-10

基金项目:兰州市科技局科技攻关项目(03-1-49);甘肃省教育厅科技攻关项目(02B17-01)

作者简介:李 杰(1964-),男,甘肃天水人,西安建筑科技大学博士研究生。

生物流失少,污水设备小型化,剩余污泥少等优点<sup>[2-3]</sup>。与游离细胞相比,明显地显示出优越性。因此,该技术在有机污染物治理中越来越受到关注。

包埋固定化是目前固定化技术中研究最多、也是最有前途的方法之一,国外早就开始了此项技术的研究工作<sup>[4]</sup>,但目前中国的研究大多处于初级阶段。就目前看,国外对该技术的应用化研究主要集中在特种污水的处理方面<sup>[5-6]</sup>,而工艺方面的研究主要集中在生物滤床工艺<sup>[7]</sup>。SBR(间歇式生物处理)系列工艺是目前中国污水处理中应用较多的工艺<sup>[8]</sup>,进行包埋固定化技术在 SBR 工艺中的应用研究,有十分重要的意义。本文以校园生活污水为处理对象,考察了包埋固定化 SBR 工艺中活性污泥小球的启动特性,并通过与普通活性污泥法 SBR 反应器的对比,研究了采用高效微生物包埋固定化技术的 SBR 反应器的处理特征。

## 1 固定化材料与试验方法

### 1.1 污泥来源及包埋材料

污泥取兰州雁儿湾市政污水处理厂二沉池中活性污泥,再经校园生活污水驯化 15 d 后作为固定化接种污泥。包埋材料为 PVA、海藻酸钠硼酸和氯化钙。

### 1.2 废水来源与水质

试验废水取自兰州交通大学生活小区下水道污水,主要组成为食堂废水,冲厕、洗浴废水及学生区生活污水,废水水质如表 1 所示。

表 1 废水水质

项目	水质	项目	水质
COD <sub>cr</sub> 含量/ (mg·L <sup>-1</sup> )	190~330	BOD <sub>5</sub> 含量/ (mg·L <sup>-1</sup> )	90~135
pH 值	6.5~7.5	SS 含量/ (mg·L <sup>-1</sup> )	20~70
LAS 含量/ (mg·L <sup>-1</sup> )	12.0~23.5	NH <sub>4</sub> -N 含量/ (mg·L <sup>-1</sup> )	19.5~23.0

注:做不同进水负荷对两反应器中有机物去除率的影响试验时,进水取自兰州交通大学家属区化粪池污水,COD 含量为 600~830 mg/L)。

### 1.3 包埋固定化活性污泥小球的制备

将已知浓度的驯化稳定的活性污泥经离心浓缩(3 000 r/min,10 min)后,与凝胶包埋剂、包埋助剂与水形成悬浮液,由滴管滴入交联剂(成球),交联时间 24 h,取出固定化小球,用生理盐水洗涤后待用。

### 1.4 试验装置及方法

试验同时在两个 SBR 工艺的反应器 A、B 运行。两反应器大小相同,分别由有机玻璃制成,圆柱

体有效容积 2 L(高 40 cm,底直径 10 cm),A 反应器加入包埋固定化活性污泥小球;B 反应器加入游离的活性污泥。底部曝气,上方出水。

两反应器运行方式相同,每个周期包括进水、曝气、沉淀、排水 4 个阶段,进水采用人工一次投加,排水采用不同高度的阀门人工控制,进水后静置时间及沉淀排水时间各控制 1 h。

### 1.5 分析项目及方法

COD 值采用标准重铬酸钾标准法;BOD<sub>5</sub> 采用差压式 BOD 仪;溶解氧采用便携式 OX-128B 型溶解氧仪;LAS 值采用亚甲蓝分光光度法。NH<sub>4</sub>-N 采用纳式试剂法。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 反应器启动过程中包埋小球的变化特性

将包埋一定量活性污泥、静态堆积体积为 100 mL 的包埋固定化小球投入 A 反应器中,在室温 16℃~20℃条件下曝气启动。以周期换水体积 300 mL,0.4 的换水比(换水体积/容器体积),每周期 8 h(其中生化处理时间 6h)的方式运行。连续监测小球的物理特性变化及启动阶段活性能力(COD 去除率的变化)的恢复变化。B 反应器中投入与 A 反应器等量的、已预先培养驯化好的活性污泥,直接启动。

#### 2.1.1 包埋小球的物理特性变化

包埋小球在反应器中以流化状态运行,起初反应器中有白色泡沫产生,分析原因是少量的未反应完全的 PVA 和海藻酸钠溶出后,经曝气产生泡沫;小球体积不断膨胀并且变软,颗粒比重下降;约 5 d 后,少部分质量不好的小球有破裂现象,呈现黑色粘稠絮状物,有部分粘连现象;10 d 左右,包埋小球的溶出现象基本停止,不再粘连。启动阶段前后包埋小球的主要物理特性变化见表 2。

表 2 启动过程中包埋小球的物理特性变化

项目	待用小球	启动结束小球
平均直径/mm	2.0	2.5
平均比重/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.800 1	0.690 7
形状	不规则球形	均匀球形
颜色	乳白透明	灰白色
硬度	硬度大,弹性小	较软,略有弹性

### 2.1.2 包埋小球的活性恢复

整个启动过程中 A、B 两反应器对 COD<sub>cr</sub> 的去除变化见图 1。

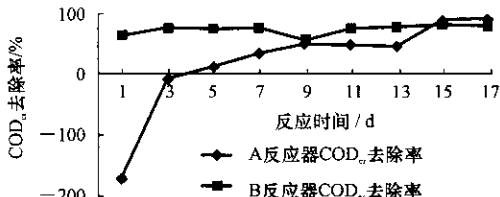


图 1 两反应器启动阶段去除有机物效果比较

从图 1 中分析可看出,包埋小球最初因为少量凝胶物质的溶出,使得 COD<sub>cr</sub> 的去除率呈负值,微生物也因包埋过程导致一定的活性损失。后经过约 15 d 的驯化,活性基本恢复,且溶出现象停止。

2.2 生化反应时间对 COD<sub>cr</sub> 去除率的影响

在两反应器运行达到稳态时,研究了一个加长周期内生化反应时间和两反应器中 COD<sub>cr</sub> 去除率的变化情况。测定条件为:进水有机物浓度为 350.41 mg/L,水温为 20 ℃,水中 pH 值为 6.5 左右。结果见图 2。

从图 2 中分析可看出,A 反应器较 B 反应器达到最佳处理效果的反应时间短,当反应时间为 4 h 时,A 反应器 COD<sub>cr</sub> 去除率就大于 85%;而 B 反应器反应时间达到 6 h 左右时,才有相同的 COD<sub>cr</sub> 去除率。6 h 以后,两反应器 COD<sub>cr</sub> 去除率基本接近,而且随着反应时间的增加,COD<sub>cr</sub> 去除率增加很小,说明前面达到的 COD<sub>cr</sub> 去除率就是最大值。这样,从降解 COD 的角度讲,A 反应器周期处理时间可以缩短 2 h,这对工程应用有非常重要的意义。在 4~7 h 内,B 反应器的 COD<sub>cr</sub> 去除率略大于 A 反应器,可能是试验误差或其他原因,该问题有待进一步的研究。

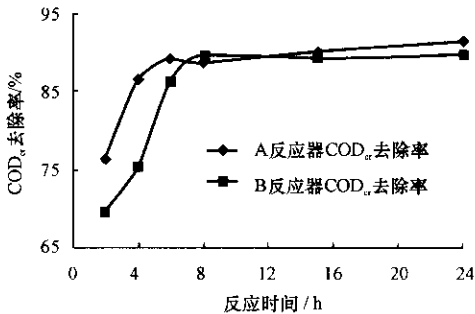


图 2 不同反应时间对有机物去除率的影响

2.3 进水有机负荷对 COD<sub>cr</sub> 去除率的影响

进水有机物容积负荷,直接反映了反应器处理有机物性能的好坏。试验在周期处理时间为 6 h(生化处理时间 4 h,沉淀、排水和进水各 1 h)的运行状态下,研究了两反应器在进水 COD<sub>cr</sub> 容积负荷不断增大的情况下,COD<sub>cr</sub> 去除率的变化关系。结果见图 3。

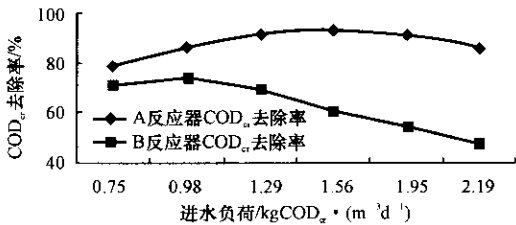


图 3 不同进水负荷对两反应器 COD<sub>cr</sub> 去除率的影响

由图 3 可知,随着进水负荷的增加,两反应器 COD<sub>cr</sub> 去除率均呈现先升后降的变化趋势。这是因为当进水负荷很低时,微生物活性不够,COD<sub>cr</sub> 去除率偏低;而当进水负荷升高到微生物承受的极限后,COD<sub>cr</sub> 去除率又开始下降。A 反应器的 COD<sub>cr</sub> 去除率整体都高于 B 反应器,并在进水负荷为 1.56 kg-COD<sub>cr</sub>/m<sup>3</sup>/d 左右时,达到 93.1% 的最大 COD<sub>cr</sub> 去除率;而 B 反应器在进水容积负荷约 0.98kgCOD<sub>cr</sub>/m<sup>3</sup>/d 时,COD<sub>cr</sub> 去除率最高达到 73.9%。这说明 A 反应器应具有较强的抗负荷冲击的能力。

2.4 有机物及表面活性剂的稳定性去除效果

当反应器以周期处理时间为 6 h(生化处理时间 4 h,沉淀、排水和进水各 1 h),达到稳态运行时,连续监测了反应器 24 d 内的 COD<sub>cr</sub> 及 LAS 处理效果。考虑到包埋小球的传质阻力较大,反应器曝气阶段溶解氧的控制范围为 4.2~5.5 mg/L。结果见图 4、图 5。

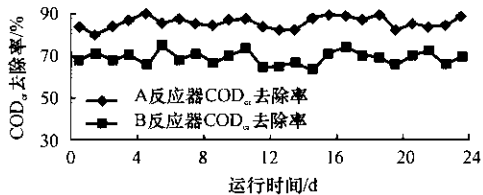


图 4 两反应器稳定运行 COD<sub>cr</sub> 去除率曲线

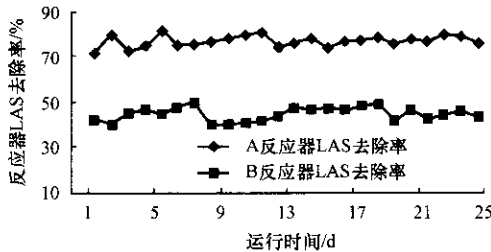


图 5 两反应器稳定运行 LAS 去除率曲线

从图 4、图 5 可见,稳定运行时,A 反应器的 COD<sub>cr</sub> 和 LAS 去除率均高于 B 反应器。特别是对 LAS 的去除效果,A 反应器平均比 B 反应器高出 30% 左右。

2.5 抗表面活性剂负荷能力

LAS 以其普遍、含量高成为生活污水中最主要的难降解有毒有机物,是影响生化处理正常运行和

处理效果的一个主要因素。为了进一步探讨包埋固定化微生物的优越性,进行了两反应器抗 LAS 毒性试验。进水采用人工配制的含表面活性剂的废水。反应器先经过短期驯化,以周期处理时间为 6 h(生化处理时间 4 h,沉淀、排水和进水各 1 h)状态运行。试验结果见图 6。

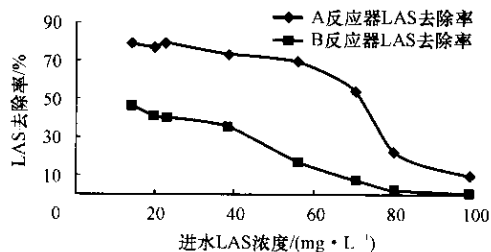


图 6 进水 LAS 浓度对其去除率的影响

由图 6 可看出,随着进水 LAS 浓度的增高,出水 LAS 去除率不断下降。A 反应器的 LAS 去除率整体要大大高于 B 反应器;当进水 LAS 浓度小于 70 mg/L 时,其去除率在 50% 以上;超过 70 mg/L,去除率大幅度下降,表明其生物活性受到显著抑制。当 B 反应器进水 LAS 浓度大于 40 mg/L 时,生物活性收到显著抑制。这主要是因为固定化技术使得微生物通过固定化后会形成一个微环境,当高浓度有毒物质进入反应器中不能马上冲击到微生物本身,而是通过固定化小球上的微孔慢慢进入,与之反应。这表明固定化微生物具有很强的抗 LAS 毒害的能力。

### 3 结 语

(1) 采用包埋微生物技术可以大大提高 SBR 反应器生化反应速度和污染物去除效果,同时也可大大增强 SBR 反应器抵抗有机物和有毒物质冲击负荷的能力。但包埋固定化小球最初要经历一个为期 15 d 左右的物化性能稳定和微生物活性恢复过程。

(2) 包埋固定化是目前最彻底的固定化方法之一,特别适用采用高效菌对水质变化不大的特种污水的处理。

(3) 目前采用的包埋剂主要以聚乙烯醇为主,长时间运行存在着生物分解问题,但随着新材料的开发,该技术在污水处理领域有着广阔的应用前景。

### 参考文献:

#### References:

- [1] 韩力平,王建龙,施汉昌,等. 生物强化技术在难降解有机物处理中的应用[J]. 环境科学, 1999, 20(6): 100 - 102.  
HAN Li-ping, WANG Jian-long, SHI Han-chang, et al. Bioaugmentation for Removal of Recalcitrant Organics [J]. Environmental Science, 1999, 20(6): 100 - 102.
- [2] 于 霞,柴立元,甘雪萍. 细胞固定化技术及其在废水处理中的应用研究[J]. 工业水处理, 2001, 21(10): 9 - 12.  
YU Xia, CHAI Li-yuan, GAN Xue-ping. Present State and Prospect of Cell Immobilization Technique and Its Applications to Wastewater Treatment [J]. Industrial Water Treatment, 2001, 21(10): 9 - 12.
- [3] 胡自伟,潘志彦,王泉源. 固定化生物技术在废水处理中的应用研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3(9): 19 - 23.  
HU Zi-wei, PAN Zhi-yan, WANG Quan-yuan. Application of Immobilized Biotechnology in Wastewater Treatment [J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control, 2002, 3(9): 19 - 23.
- [4] Yang P Y. Packed Entrapped Mixed Microbial Cells for Small Wastewater Treatment [J]. Water Science and Technology, 1990, 22(3,4): 343 - 344.
- [5] Vanotti M B, Hunt P G. Nitrification Treatment of Swine Wastewater with Acclimated Nitrifying Sludge Immobilized in Polymer Pellets [J]. Transactions of the ASAE, 2000, 43(2): 405 - 414.
- [6] Nurdan K P, Merih S A T. Treating Denim Fabrics with Immobilized Commercial Cellulases [J]. Process Biochemistry, 2005, 40: 767 - 771.
- [7] Yariv C. Biofiltration the Treatment of Fluids by Microorganisms Immobilized into the Filter Bedding Material: a Review [J]. Bioresource Technology, 2001, 77: 257 - 274.
- [8] 关卫省,刘 珊,张立柱. SBR 法动力学研究及其工程应用[J]. 西安公路交通大学学报, 1999, 19(增刊): 85 - 87.  
GUAN Wei-sheng, LIU Shan, ZHANG Li-zhu. Dynamic Study of SBR Method and Its Engineering Application [J]. Journal of Xi'an Highway University, 1999, 19(Sup): 85 - 87.