

# 序批式混凝土生物膜反应器 净水工艺特性研究

贾昌梅<sup>1</sup> 蒋娜莎<sup>2\*</sup> 金腊华<sup>3</sup>

(1. 广东石油化工学院 化工与环境工程学院, 广东 茂名 525000; 2. 广州利拓地质工程有限公司, 广东 广州 510260; 3. 暨南大学 环境工程系, 广东 广州 510632)

**摘要:** 利用自制的序批式混凝土生物膜反应器, 进行生活污水处理试验, 旨在开发一种高效低成本污水处理新技术。试验采用模拟生活污水, 反应器的运行时序为: 进水及缺氧反应 1.25 h、曝气好氧反应 1.25 h、静置沉淀 0.5 h、排水 0.5 h。试验结果表明, 反应器对 COD 的平均去除率为 94.1%, 对 BOD<sub>5</sub> 平均去除率为 95.4%, 平均脱氮率为 68.8%, 平均除磷率为 38.3%; 影响反应器净水效果的主要因素有容积负荷、C/N、水温以及生态膜数量等。

**关键词:** 序批式生物膜反应器; 混凝土生物膜; 污水处理

中图分类号: TQ170.9 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2012)06-1296-05

## A Study on Technological Characteristics of Sewage Treatment by Sequencing Batch Reactor with Concrete Bio-films

JIA Chang-mei<sup>1</sup>, JIANG Na-sha<sup>2\*</sup>, JIN La-hua<sup>3</sup>

(1. College of Chemical & Environmental Engineering, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming 525000, China; 2. Guangzhou Geological Engineering Company Ltd., Guangzhou 510260, China; 3. Department of Environmental Engineering JINAN University, Guangzhou 510632, China)

**Abstract:** In order to develop a new high-efficient but low-cost sewage treatment technology, sewage treatment experiments were conducted in an homemade sequencing batch reactor with concrete bio-films. During the experiments, simulation sewage was adopted, and the operation sequence of the reactor was taken as 1.25 h for water input and hypoxia, 1.25 h for aeration, 0.5 h for precipitation and 0.5 h for water discharge successively. It has been shown by the result of the experiments that the sequencing batch reactor with concrete bio-films has optimal sewage purification effects, such as COD average removal rate 94.1%, BOD<sub>5</sub> average removal rate 95.4%, ammonia nitrogen average removal rate 68.8% and average phosphorus removal rate 38.3%. The main factors influencing the reactor purification effect have been discovered as volume load, C/N, sewage temperature and quantity of bio-films installed and so on.

**Key words:** sequencing batch reactor; concrete bio-film; sewage treatment

序批式活性污泥法(简称 SBR)的主要特征是在运行上的有序和间歇操作,其核心是 SBR 反应池。同连续式活性污泥法相比, SBR 法具有许多独特的优点<sup>[1]</sup>, 日益受到国内外的重视和发展。近年来

收稿日期: 2012-10-08 修回日期: 2012-10-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50478091)和广东省科技计划项目(2007B030103014)资助

作者简介: 贾昌梅(1963—),女,工程师,主要从事污染控制试验研究, E-mail: jcmjcm40@yahoo.com.cn; \* 通讯作者: 蒋娜莎, E-mail: jiangnasha@163.com。

SBR的发展主要体现在: 其一是设备仪表的改进, 主要是曝气装置和滗水器的改进<sup>[2]</sup>; 其二是工艺改进, 发展了间歇进水系列 CASS、CAST、CASP 工艺<sup>[3-4]</sup>, 连续进水系列 ICEAS、IDAL、IDEA 工艺, 稳定液面的连续进出水 MSBR 工艺, DAT-IAT 工艺, UNITANK 工艺, ASBR 工艺以及组合工艺等。

为了开发高效低成本污水处理新工艺技术, 本课题组自制了混凝土膜片作为挂膜载体, 并成功应用于推流渠式混凝土膜生物反应器污水处理系统, 取得了较好的污水处理效果<sup>[5]</sup>。但推流渠式混凝土膜生物反应器水力停留时间长、占地面积较大。为了克服这一不足, 借鉴 SBR 工艺的优点, 对推流渠式混凝土膜生物反应器进行技术改造, 将其运行方式改为序批式, 在反应槽底部增设间歇曝气装置, 构成序批式混凝土膜生物反应器。利用该反应器, 进行了污水处理试验, 分析了该系统的净水工艺特性。迄今为止, 把 SBR 工艺技术同混凝土生物膜有机结合起来进行污水处理, 在国内外尚未见报道。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验装置

序批式混凝土生物膜反应器由配水箱、高位稳流水箱、反应槽和进出水控制设备构成, 如图 1 所示。反应器有效容积约为 25 L。

### 1.2 试验材料

试验原水采用人工配制的模拟生活污水, 其水质见表 1。

表 1 原水水质 (pH 除外)

Tab. 1 Raw water quality (except pH)

	COD /( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	BOD <sub>5</sub> /( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	氨氮 /( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	总磷 /( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	pH
范围 Range	185.0 ~ 216.0	75.6 ~ 110.3	15.4 ~ 18.5	2.5 ~ 3.5	6.7 ~ 7.6
均值 Average	200.5	93.0	17.0	3.0	7.2

### 1.3 监测项目与分析方法

在试验中, 水质监测与分析方法采用《水和废水监测分析方法》中规定的方法进行, 即: COD<sub>Cr</sub> 采用快速密闭催化消解法、NH<sub>3</sub>-N 采用纳氏试剂法、TP 采用过硫酸钾分光光度法、pH 采用 pH 值计测定。

### 1.4 试验步骤与方法

1.4.1 反应器的挂膜启动 利用广州市某污水处理厂的剩余污泥作为挂膜接种菌种, 进行扩大化培育后, 在反应器内进行生物挂膜启动。挂膜期间, 关闭反应器出水阀门 1 (图 1), 开启阀门 2, 形成挂膜混合液的闭路循环, 且每日定时向配水箱补充营养物质, 确保微生物生长对营养基质的需求。挂膜 10 d 后, 混凝土膜片表面就附着了成熟的生物膜层。

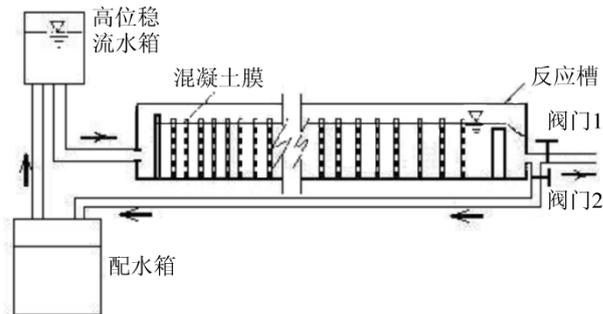


图 1 序批式混凝土生物膜反应器示意图

Fig. 1 Schematic of the sequencing batch reactor with concrete bio-films

1.4.2 试验方法 根据本课题组前期研究结果<sup>[6]</sup>, 确定反应器的运行步骤和时序为: 首先, 污水缓慢进入反应槽后静置一段时间, 进行缺氧/厌氧反应, 历时 1.25 h; 其次, 利用槽底微孔曝气管曝气, 进行好氧化反应, 历时 1.25 h; 然后, 静置沉淀 0.5 h 后, 上清液外排, 排水历时 0.5 h, 底泥定期排出。整个反应过程都是在反应器内部完成。污水进入反应器后, 经历了缺氧/厌氧和好氧的交替过程, 有利于有机物的氧化分解和氮磷等营养性污染物的硝化反硝化, 达到污水净化的目的。在试验过程中, 在进水口和排水口取样监测水质变化。

## 2 结果与分析

### 2.1 反应器的净水效果

试验结果表明, 序批式混凝土生物膜反应器具有很好的污水处理效果(表 2)。

从表 2 可知,反应器对 COD 的平均去除率为 94.1%,对 BOD<sub>5</sub> 平均去除率为 95.4%,平均脱氮率为 68.8%,平均除磷率为 38.3%。

表 2 反应器的净水效果

Tab. 2 The sewage purification effect of the reactor under the optimal operation condition

水质指标 Water quality index	进水浓度/(mg·L <sup>-1</sup> ) Input water concentration	出水浓度/(mg·L <sup>-1</sup> ) Output water concentration	去除率范围/% Removal rate scope	平均去除率/% Average removal rate
COD	63.0 ~ 475.0	6.1 ~ 18.6	90.6 ~ 97.6	94.1
BOD <sub>5</sub>	19.2 ~ 235.3	2.7 ~ 9.4	92.3 ~ 98.6	95.4
NH <sub>3</sub> -N	11.3 ~ 25.0	2.5 ~ 7.8	58.6 ~ 77.9	68.8
TP	2.5 ~ 5.5	1.5 ~ 2.9	29.1 ~ 47.4	38.3

### 2.2 影响反应器净水效果的主要因素

生物膜反应器是依靠附着生长在载体表面上的微生物来去除水中的污染物以实现污水的净化。但这些微生物都有自己特定的生活环境,改变其环境条件必会影响到生物膜反应器的运行效果。在以往试验研究的基础上,通过正交试验,筛选出影响序批式混凝土生物膜反应器净水效果的主要影响因素有容积负荷、C/N、水温以及生态膜数量等。

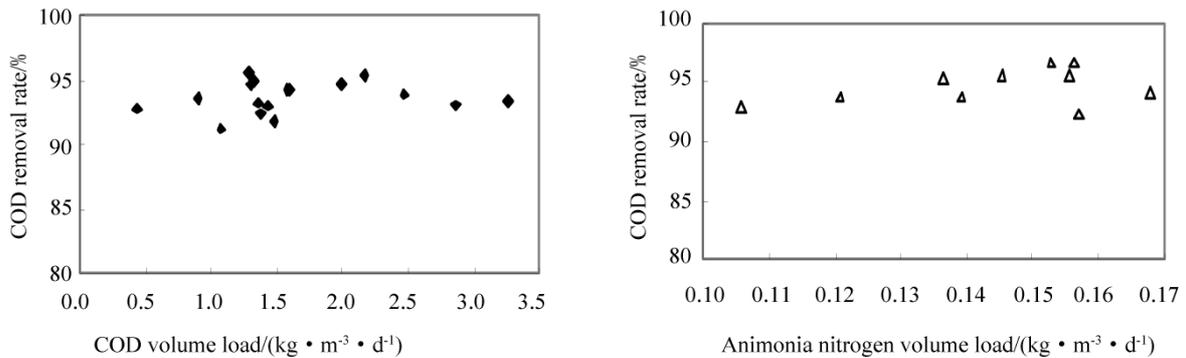


图 2 容积负荷对 COD 去除率的影响

Fig. 2 Impact of volume loads to the removal rate of COD

2.2.1 容积负荷 COD 容积负荷和 NH<sub>3</sub>-N 容积负荷是反映反应器负载程度的 2 个最基本的容积负荷。试验结果表明,当 COD 容积负荷和 NH<sub>3</sub>-N 容积负荷分别在 0.44 ~ 3.25 kg/(m<sup>3</sup>·d) 和 0.10 ~ 0.17 kg/(m<sup>3</sup>·d) 范围波动时,均对 COD 的去除效果基本没有太大影响(图 2),而 NH<sub>3</sub>-N 去除率都随着 COD 负荷和 NH<sub>3</sub>-N 负荷的增加呈现缓慢下降的趋势(图 3)。这说明反应器对对进水 COD 容积负荷和 NH<sub>3</sub>-N 容积负荷有较强的抗冲击能力。

但随着 COD 容积负荷的增高,反应器内部的硝化菌逐步受到抑制,而硝化菌的生长在一般情况下

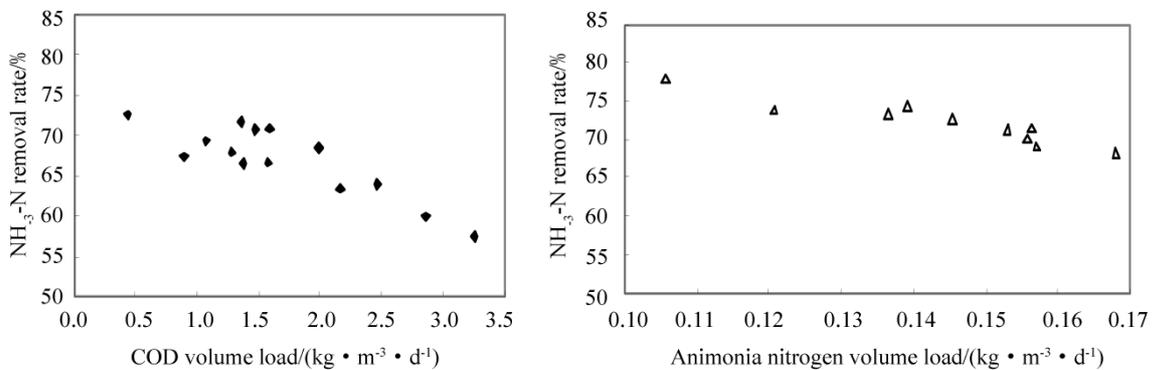


图 3 容积负荷对 NH<sub>3</sub>-N 去除率的影响

Fig. 3 Impact of volume loads to the removal rate of NH<sub>3</sub>-N

都比较缓慢且产率低,当系统负荷受冲击后恢复也很缓慢,反应器对氨氮的去除效果必然会有所降低。由于硝化菌和反硝化菌对环境变化十分敏感,而当  $\text{NH}_3 - \text{N}$  负荷增大到一定程度时,易于受到冲击影响,如果较长时间处于高氨氮负荷下运行,硝化反应进行缓慢,反应器的脱氮效果会降低。因此,需要控制  $\text{NH}_3 - \text{N}$  负荷的范围。

2.2.2 进水 C/N 充足的碳源和适宜的 C/N 是保证反硝化反应有效进行的必要条件,而适宜的碳氮比是指在一定的进水硝酸盐浓度下,完全或接近完全反硝化反应所需的最少有机物与硝酸盐氮之比。为了探讨进水 C/N 对反应器净水效果的影响,设计试验条件为好氧阶段 DO 浓度控制为 4.6 mg/L 左右、pH 为 7 左右、水温 ( $26 \pm 1$ ) °C、维持进水  $\text{NH}_3 - \text{N}$  浓度为 20 mg/L 的情况下,通过调节使进水 COD 浓度为 60,120,180,240,300,360,420 mg/L 左右,对应的 C/N 分别为 3、6、9、12、15、18、21 来进行试验;并根据试验结果,分析 COD 去除率和  $\text{NH}_3 - \text{N}$  去除率随进水 C/N 的变化趋势(图 4)。

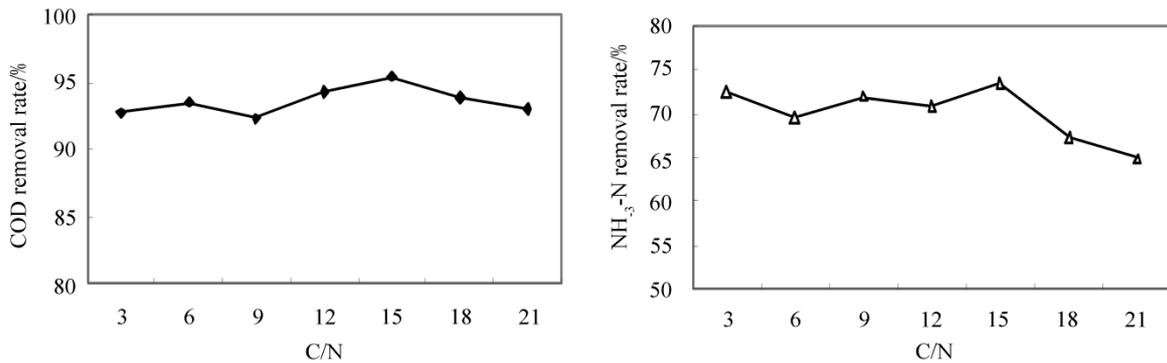


图 4 进水 C/N 对 COD 和  $\text{NH}_3 - \text{N}$  去除的影响

Fig. 4 Impact of inflow C/N to the removal of COD and  $\text{NH}_3 - \text{N}$

试验结果表明,进水 C/N 在 3 ~ 21 范围时,对 COD 的去除率基本相差不大,说明在此范围内对 COD 的去除效果影响不显著;当进水 C/N 在 3 ~ 15 范围时, $\text{NH}_3 - \text{N}$  去除率较稳定,进水 C/N 在 15 ~ 21 时, $\text{NH}_3 - \text{N}$  去除率随着 COD 浓度的升高而呈下降趋势。这是由于硝化菌是无机营养型的自养菌,产率低,比增长速率小,而有机营养型的异养菌是生物膜中主要细菌类型,当 COD 浓度过高时会造成异养型菌的大量繁殖,从而抑制到硝化菌的活性和生长,使得反应器的硝化作用下降,导致氨氮出水浓度增大,脱氮效率降低。

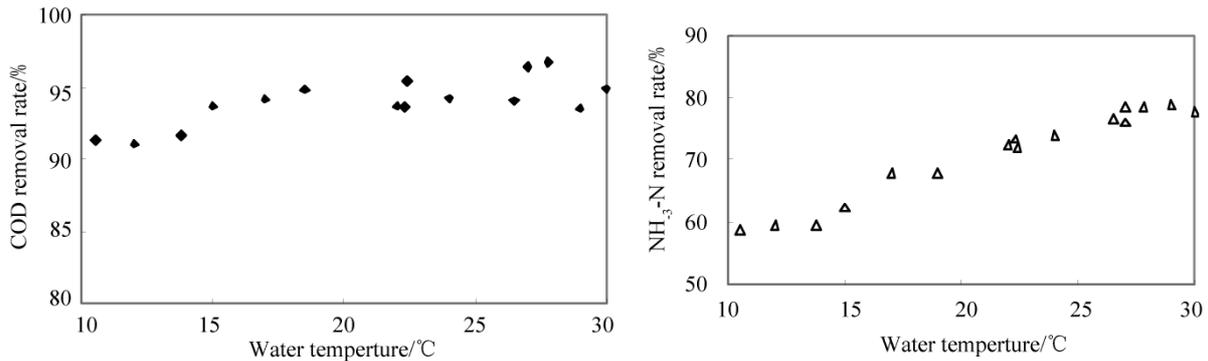


图 5 水温对 COD 和  $\text{NH}_3 - \text{N}$  去除的影响

Fig. 5 Impact of water temperature to the removal of COD and  $\text{NH}_3 - \text{N}$

2.2.3 水温 一般而言,微生物都有一个适宜的温度范围。在此范围内,能使其活性发挥到最大或者生长速度最快。而温度的改变,会使参与净化的微生物(主要是细菌)的种属与活性以及生化反应速率都将随之而变化,从而影响到反应器处理的效果。试验水温变化范围为 10.5 ~ 30 °C,试验结果见图 5。

试验结果表明:水温对 COD 的去除率影响较小,当水温低于 15.0 °C 时,COD 去除率略有下降,当水温在 15 ~ 30 °C 之间变化时,水温对 COD 去除率的影响不明显;而水温对  $\text{NH}_3 - \text{N}$  去除率有显著的影响,当水温在 10.5 ~ 30 °C 范围内变化时, $\text{NH}_3 - \text{N}$  去除率随着水温的上升而逐渐增大,去除率变化为 58.6%

~78.9%。这是由于水温的变化会对影响脱氮效果的硝化菌和反硝化菌的活性、生化反应速率等产生影响;当水温低于 15.0 ℃,对它们的活性及增长速率产生了较大的抑制作用,使得出水 NH<sub>3</sub> - N 浓度上升,去除率下降;但当水温升至 20 ℃ 以上时,它们的活性、生化反应速率等得到了恢复,使得脱氮效果显著。

2.2.4 膜片数量 序批式混凝土生物膜反应器主要是依赖于混凝土生物膜表面附着生长的生物膜来净化污水的。膜片数量越多,参与净水作用的生物膜的面积和生物量就越大,反应器的净水能力亦越大。根据试验资料,分析得到混凝土生态膜单位面积的污染负荷(表 2)。

表 2 反应器内混凝土生物膜单位表面面积的污染负荷  
Tab.2 Pollution load afforded on unit surface area of concrete bio-films in the reactor

项目 Item	单位膜表面积污染负荷/(mg·m <sup>-2</sup> ) Pollution load on unit film surface area
COD	1 100
NH <sub>3</sub> - N	55
TP	12

### 3 结论与讨论

本研究表明,序批式混凝土生物膜反应器具有较优的净水效果,反应器对 COD 的平均去除率为 94.1%,对 BOD<sub>5</sub> 平均去除率为 95.4%,平均脱氮率为 68.8%,平均除磷率为 38.3%;影响反应器净水效果的主要影响因素有容积负荷、C/N、水温以及生态膜数量等,其中容积负荷、过高的 C/N 比(大于 15)和过低的水温(低于 15 ℃)对脱氮效果影响明显。因此,适宜的容积负荷 [0.44 ~ 3.25 kg/(m<sup>3</sup>·d) 和 0.10 ~ 0.15 kg/(m<sup>3</sup>·d)],C/N(3 ~ 15) 和水温(20 ~ 30 ℃) 是获得反应器理想净水效果的运行保障。

#### 参考文献:

[1]李军,彭永臻,杨秀山,等.序批式生物膜法反硝化除磷特性及其机理[J].中国环境科学,2004,24(2):219-223.  
 [2]SUN Hongwei, YANG Qing, DONG Guori, et. al. Achieving the nitrite pathway using FA inhibition and process control in UASB-SBR system removing nitrogen from landfill leachate[J]. Science China( Chemistry) 2010(5):1209-1215.  
 [3]熊红权,李文彬. CASS 工艺在国内的应用现状[J]. 中国给水排水, 2003, 19(2): 34-35.  
 [4]胡坚,潘绵立. CAST 工艺处理城市污水的强化脱氮研究[J]. 中国给水排水, 2006, 22(15): 58-61.  
 [5]蒋娜莎. 序批式混凝土生态膜反应器处理生活污水的试验研究[D]. 广州:暨南大学, 2011: 24-30.  
 [6]蒋娜莎,金腊华. 序批式混凝土膜生物反应器净水试验研究[J]. 环境污染与防治:网络版, 2010, 8(10): 1-4.