

# A/SMBBR 工艺处理农药含酚废水的启动与运行

杨文焕<sup>1</sup>, 卢雪枫<sup>1</sup>, 李卫平<sup>1</sup>, 朱浩君<sup>1,2</sup>, 于玲红<sup>1</sup>

(1. 内蒙古科技大学 能源与环境学院, 内蒙古 包头 014010; 2. 中丹康灵 <北京> 生物技术有限公司, 北京 100085)

**摘要:** 利用厌氧/特异性移动床生物膜反应器(A/SMBBR)处理农药含酚废水,投配具有专利技术的SDC-03型填料,启动过程采用闷曝排泥阶段、间歇培养并逐步增加负荷阶段的挂膜方式,对SMBBR中填料上生物膜、生物量的变化进行了分析,并研究启动期与稳定期在不同影响因素下A/SMBBR对酚的去除效果。结果表明,两阶段挂膜法能够在25 d左右完成挂膜启动,挂膜速度快;SMBBR中的新型填料有利于微生物的快速挂膜,生物量增加显著,最终生物膜成熟后平均挂膜量为7.394 mg/g;启动期挂膜完成后,出水酚浓度由10.36 mg/L降至4.1 mg/L,系统平均去除率达到95.13%;运行期出水酚浓度稳定在2 mg/L以下,去除率高达99.56%,水质满足《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)的三级排放标准。

**关键词:** A/SMBBR; 农药含酚废水; 挂膜; 新型填料

**中图分类号:** X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)11-0086-05

## Start-up and Operation of A/SMBBR Process in Treatment of Pesticides Phenol Contaminated Wastewater

YANG Wen-huan<sup>1</sup>, LU Xue-feng<sup>1</sup>, LI Wei-ping<sup>1</sup>, ZHU Hao-jun<sup>1,2</sup>, YU Ling-hong<sup>1</sup>

(1. School of Energy and Environment, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China; 2. Sino-Danske Cloning <Beijing> Bio-Technology Co. Ltd., Beijing 100085, China)

**Abstract:** Anaerobic/specific moving bed biofilm reactor (A/SMBBR) was applied in the treatment of pesticides phenol contaminated wastewater using a patented technology SDC-03 carrier. In the starting process, the 2-stage biofilm formation method was adopted in combination with the methods of sludge discharging, batch culture and gradual increase of loads. Moreover, changes in biofilm and biomass in SMBBR were monitored to investigate the removal effect of phenol by A/SMBBR under different factors during the start-up and stationary phase. The results showed that, the 2-stage biofilm formation method could complete in about 25 days and the biofilm formed fast. The new type of carrier in SMBBR was helpful to accelerate biofilm formation and biomass increase. The final results showed that the average biofilm amount was 7.394 mg/g. After the start-up, the concentration of phenol in the effluent decreased from 10.36 mg/L to 4.1 mg/L, with an average removal rate of 95.13%. The concentration of phenol in the operating phase was below 2 mg/L, with a removal rate as high as 99.56%. The effluent quality could meet the third-grade discharge limits of *Integrated Wastewater Discharge Standard* (GB 8978 -

1996).

**Key words:** A/SMBBR; pesticides phenol contaminated wastewater; biofilm formation; new type of carrier

移动床生物膜反应器(MBBR)是20世纪80年代兴起的一种兼具接触氧化法和生物流化床技术优点的生物膜法废水处理工艺<sup>[1]</sup>。目前,国内外已经将该工艺广泛应用于生活污水<sup>[2,3]</sup>、中药废水<sup>[4]</sup>、印染废水<sup>[5]</sup>、煤气化废水<sup>[6]</sup>等领域,且均取得了良好的效果。但是,将MBBR工艺用于高毒性、难降解有机物的农药含酚废水还鲜有报道,并且存在效率低的问题。

笔者根据农药含酚废水的水质特点,采用厌氧/特异性移动床生物膜反应器(A/SMBBR)来处理农药含酚废水。AMBBR工艺是在厌氧反应器中投加亲水性填料,通过机械搅拌作用使填料处于流化状态,从而使填料表层的生物膜和悬浮的高浓度活性污泥共同作用,达到去除污染物的目的。SMBBR工艺是在MBBR基础上结合某公司一项发明专利的改进技术<sup>[7]</sup>。该工艺通过向反应器中投加特异性菌种和亲水性填料,采用底部曝气的方式使菌种与填料均匀地充满整个反应器,特异性菌种有利于专性菌的大量繁殖并缩短污泥驯化周期。SMBBR工艺兼具传统流化床和生物接触氧化法的特点,且具有处理负荷高、耐冲击性强、节约空间、无需污泥回流、剩余污泥少等优点<sup>[8,9]</sup>。所以,应用A/SMBBR工艺处理农药含酚废水具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验用水和分析方法

试验用水取自安徽某农药制造厂污水处理站综合调匀池,该调匀池主要包括生产废水、生活污水和其他稀释水,主要污染物包括2,4-二氯苯氧乙酸、2-甲基-4-氯-苯乙酸、酚(其中以苯酚为主要成分)、甲苯等。通过改变生产废水的水量,达到调节进水酚浓度的目的。试验水质如下:COD、TN、TP、挥发酚、SS分别为627~1297、1.5~2.2、0.5~1、28~109、100~300 mg/L,温度为20~35℃,pH值为7.0~8.5。

COD采用重铬酸钾法测定,TN采用过硫酸钾法测定,TP采用钼锑抗分光光度法测定,挥发酚采用4-氨基安替比林分光光度法测定,SS采用抽滤称重法测定,pH值采用PB-S型pH计测定,溶解

氧采用便携式溶氧仪测定,生物量采用碱洗/超声波法测定。每天定时取样2次检测相应指标,取平均值以提高数据准确度。若相对误差大于5%,则重新取样检测。

### 1.2 试验装置

试验装置长为2.3 m,宽为0.75 m,高为1.5 m,总有效容积为2.387 m<sup>3</sup>(见图1)。在AMBBR反应器与SMBBR反应器后均加一个沉淀池,以起到污泥回流作用,沉淀池剩余污泥间歇排放。

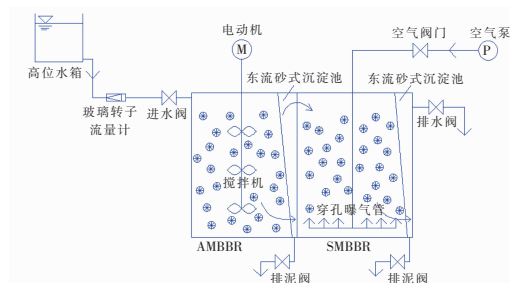


图1 A/SMBBR 反应装置示意

Fig.1 Schematic diagram of A/SMBBR

### 1.3 填料和特异性菌种

装置填料为SDC-03型生物填料,该填料引进国外先进设计的几何构型,采用亲水性高分子材料,经改性而成,其抗挤压性强、磨损率小、内表面粗糙度高,有利于微生物的附着生长。填料主要性能指标如下:直径为30 mm,高为10 mm,壁厚为1 mm,密度为0.91~0.94 g/cm<sup>3</sup>,比表面积为900 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>,磨损率<0.1%,使用寿命为10年。

低温贫营养菌SDC-Y11是经紫外线诱导变性后的芽孢杆菌,能够在低温(下限为10℃)、低有机物浓度环境下生存,且对农药、挥发酚、三致物质具有较强的去除能力。其最高耐受苯酚浓度为400 mg/L,适宜温度和pH值分别为28℃、8.0。

### 1.4 挂膜方案和接种污泥

挂膜过程即为活性污泥的培养与驯化过程,使活性污泥附着在填料表面,以增加微生物数量和种类。目前,国内外应用较多的挂膜启动方式主要有自然挂膜法、排泥挂膜法、接种挂膜法、流量递增挂膜法。为了更快速地完成挂膜,本试验采用闷曝排

泥法、间歇培养并逐步增加负荷法相结合的方式挂膜。接种污泥取自该厂污水站好氧池底的活性污泥,污泥沉降比为45%,适用于驯化挂膜。

## 2 结果与讨论

### 2.1 挂膜启动过程

首先向 AMBBR 和 SMBBR 中投加填充率为45%的填料,然后接种污泥进行挂膜启动。启动分为两个阶段,第1阶段为闷曝排泥阶段,向 AMBBR 和 SMBBR 中注入接种污泥和试验废水,使 MLSS 分别达到5 000和1 000 mg/L,打开搅拌和曝气装置,连续运行8 h后静置0.5 h,然后将泥水混合物排出,每天进行2次,共进行3 d,以完成初步挂膜。第2阶段为间歇培养并逐步增加负荷阶段,采用间歇进水方式,AMBBR 和 SMBBR 串联运行,连续进水运行24 h后停止进水,向 SMBBR 中投加40 mL 特异性菌种,继续运行24 h后取样检测,以此为1个周期,循环进行。同时,通过增大进水中生产废水的比例来增加进水负荷。第2阶段中,控制每周期进水量为1.2 m<sup>3</sup>,装置总 HRT 为4 d,进水酚浓度为28~109 mg/L, pH 值为7.0~8.5,温度为25~35℃,盐分为3 000~5 000 mg/L,AMBBR 中溶解氧在0.5 mg/L以下,SMBBR 中溶解氧为2~4 mg/L。由于进水中营养物质失衡,不利于微生物的生长繁殖,所以,试验过程中按  $m(C):m(N):m(P)=100:5:1$ ,向进水中投加尿素和磷酸二铵以补加氮源、磷源。

### 2.2 挂膜启动期对酚的去除效果

#### 2.2.1 AMBBR 对酚的去除效果

在间歇培养并逐步增加负荷阶段,检测 AMBBR 进、出水酚浓度的变化情况,结果如图2所示。

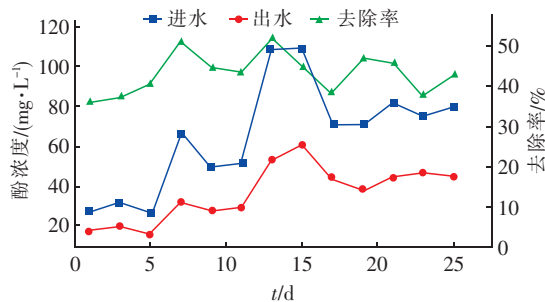


图2 AMBBR 对酚的去除效果

Fig. 2 Removal effect of phenol by AMBBR

试验结果表明,驯化25 d后,出水酚浓度稳定在20 mg/L左右,去除率达到50%,说明微生物已

经适应了厌氧环境,活性逐步增强。由图2可知,第11~15天,逐渐提高进水酚浓度至109 mg/L,出水酚浓度显著增加,为29.5~60.3 mg/L,同时去除率持续下降。分析原因:一方面由于酚属于有毒难降解有机物,其毒性会抑制微生物的活性;另一方面相对于好氧条件,厌氧环境下微生物生长缓慢<sup>[10]</sup>,酚浓度增加过快,微生物难以适应。第17天以后,降低进水酚浓度至71~81 mg/L,出水酚浓度稳定在45 mg/L左右,去除率在38%~47%之间,表明 AMBBR 达到了稳定运行状态。

#### 2.2.2 SMBBR 对酚的去除效果

在间歇培养并逐步增加负荷阶段,SMBBR 进水即为 AMBBR 出水,检测每周期 SMBBR 进、出水的酚浓度,结果如图3所示。

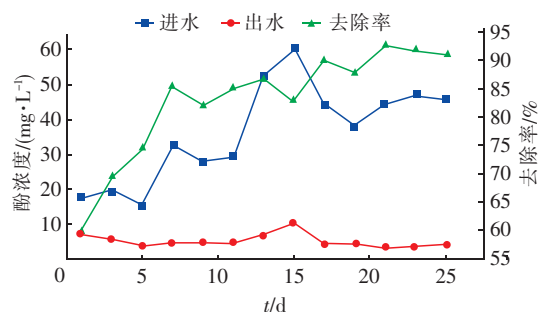


图3 SMBBR 对酚的去除效果

Fig. 3 Removal effect of phenol by SMBBR

由图3可知,SMBBR 出水水质受进水酚浓度影响不大,后期出水稳定在4 mg/L左右,去除率>90%。前7 d,进水酚浓度为18~32 mg/L,出水浓度逐渐降低,可降至4.1 mg/L,去除率高达85%。这是因为经过第1阶段挂膜后,填料上已经附着了一薄层生物膜,而且启动过程中向 SMBBR 中加入了除酚菌种,使反应器对进水中的酚具有较强的抵抗能力。第11~15天进水酚浓度大幅度升高,达到60.33 mg/L,出水浓度升至10.36 mg/L,表明进水负荷的升高对 SMBBR 造成了一定程度的冲击。当运行17 d以后,进水酚浓度下降并稳定在45 mg/L左右,出水酚也呈现出下降且最终平稳的趋势,去除率逐渐升高,此阶段 SMBBR 出水酚浓度平均值为4.1 mg/L,平均去除率高达90.48%。同时第21天后,A/SMBBR 的最高去除率为95.91%,平均去除率为95.13%。

### 2.3 生物膜的变化情况

通过每天观察 SMBBR 中填料挂膜情况,第1~

5 天,白色填料表层挂膜现象不明显;第 6 天,填料上出现黄色斑点,但附着力较差,容易被水流冲洗脱落;第 7~10 天,填料内表面附着的黏性物质不断增加,菌胶团开始大量形成,此时填料颜色逐渐变为黄褐色;第 11~21 天,生物膜由黄褐色逐渐变成深黄色,且填料附着上一层深黄色绒状污泥,富有黏性,经水冲洗后不易脱落;第 22~25 天,生物膜未出现明显变化,SMBBR 出水酚浓度约降至 4 mg/L,去除率达到 90% 以上,综合两方面因素判断生物膜成熟,系统启动结束。

## 2.4 填料附着生物量的情况

测定启动期第 2 阶段挂膜生物量随时间的变化情况(以每克填料附着生物量表示),每次测定 5 个填料,分别称量计算后取平均值,结果如图 4 所示。

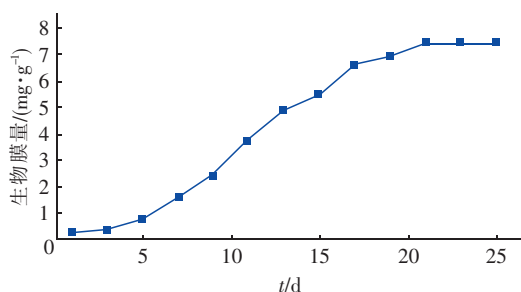


图 4 填料挂膜量的变化

Fig. 4 Change of biomass

在微生物挂膜过程中,微生物的繁殖与增长一般要经历适应期、对数增长期、稳定期。由于启动第 1 阶段经历了 3 d 的排泥挂膜,所以此阶段开始时填料表层已附着少量生物膜。第 1~5 天生物量增长缓慢,接种污泥还未充分活化,微生物的各种酶系统对新环境尚处于适应过程,此阶段为适应期。第 6~21 天,生物量快速增殖,呈现出对数增长状态,到第 21 天达到最大值(7.395 mg/g),此阶段为对数增长期。第 22 天后,生物量基本保持不变,增殖速度几乎等于细胞衰亡速度,此阶段即为稳定期,平均生物量约为 7.394 mg/g。

## 2.5 运行期效果

运行期改为连续进水,温度为 20~35 ℃,控制进水 pH 值为 7.0~8.5,保持 HRT=10 d,并且每日取样检测酚浓度,对酚的去除效果如图 5 所示。当进水酚浓度为 36.7~86.6 mg/L 时,A/SMBBR 出水均保持在 2 mg/L 以下,最高去除率为 99.56%,最低去除率为 94.55%,平均去除率为 98.28%。运行

期间,进水酚浓度变化很大,但 AMBBR 出水酚浓度随进水酚浓度变化只出现小幅波动,平均出水浓度为 7.63 mg/L,表明 AMBBR 中活性污泥已经适应了高酚废水的环境,并发生强烈的生化反应。同时,SMBBR 生物膜已经成熟,生物膜上生物量极大,高达活性污泥的 5~20 倍<sup>[11]</sup>,巨大的微生物量使得出水酚浓度稳定在 1 mg/L 左右,为确保工艺出水酚浓度达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)的三级排放起到关键作用。

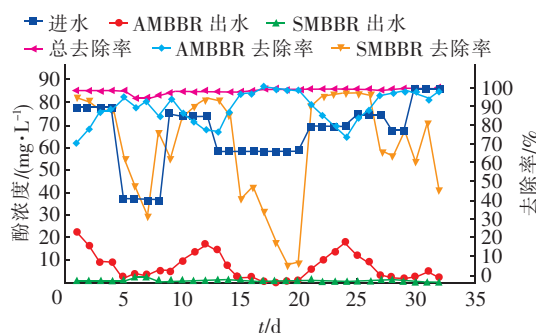


图 5 运行期对酚的去除效果

Fig. 5 Removal effect of phenol in operation period

## 3 结论

① A/SMBBR 工艺以农药含酚废水为试验用水,启动期采用两阶段挂膜法(闷曝排泥阶段和间歇培养并逐步增加负荷阶段)快速挂膜,微生物的增长繁殖大致经历了适应期、对数增长期、稳定期 3 个阶段,经过 25 d 左右完成挂膜,SMBBR 中填料平均生物量为 7.394 mg/g。

② A/SMBBR 工艺稳定运行过程中,在进水酚浓度为 36.7~86.6 mg/L、HRT 为 10 d、pH 值为 7.0~8.5 的条件下,出水酚浓度均保持在 2 mg/L 以下,平均去除率为 98.28%,达到了《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)的三级排放标准。

③ A/SMBBR 工艺对农药废水中的酚具有极强的去除能力,这为高毒性含酚废水的处理提供了一个新的方向,具有重要意义。

## 参考文献:

- [1] 赵江冰,胡龙兴. 移动床生物膜反应器技术研究现状与进展[J]. 环境科学与技术,2004,27(2):103-106.
- [2] Tawfik A, El-Gohary F, Temmink H. Treatment of domestic wastewater in an up-flow anaerobic sludge blanket reactor followed by moving bed biofilm reactor[J]. Bio-



- process Biosyst Eng,2010,33(2):267-276.
- [3] 邹敏,吴剑,王媛,等. A/O-MBBR 工艺处理低浓度城镇污水研究[J]. 中国给水排水,2013,29(9):9-12.
- [4] 许劲,洪国强,赵绪光,等. 水解酸化/MBBR 工艺处理中药废水的中试研究[J]. 中国给水排水,2011,27(3):1-4.
- [5] Park H O, Oh S, Bade R, *et al.* Application of fungal moving-bed biofilm reactors (MBBRs) and chemical coagulation for dyeing wastewater treatment [J]. KSCE Journal of Civil Engineering,2011,15(3):453-461.
- [6] Li H Q, Han H J, Du M A, *et al.* Inhibition and recovery of nitrification in treating real coal gasification wastewater with moving bed biofilm reactor [J]. J Environ Sci, 2011,23(4):568-574.
- [7] 中丹康灵(北京)生物技术有限公司. 生物膜填料[P]. 中国专利:201330132291.6,2013-12-04.
- [8] 李卫平,时屹然,朱浩君,等. SMBBR 处理聚氯乙烯废水的2种方式的探究[J]. 水处理技术,2015,41(4):95-98.
- [9] 李卫平,李杰,朱浩君,等. SMBBR 工艺不同填料处理生活污水[J]. 环境工程学报,2015,9(9):4427-4432.
- [10] Kumar A, Kumar S, Kumar S. Biodegradation kinetics of phenol and catechol using *Pseudomonas putida* MTCC 1194[J]. Biochem Eng J,2005,22(2):151-159.
- [11] 王学江,夏四清,张全兴,等. 悬浮填料生物膜 A/O 法处理石化废水试验研究[J]. 工业水处理,2001,21(6):26-28,31.



作者简介:杨文焕(1980-),女,内蒙古包头人,硕士,副教授,主要从事干旱区水环境分析与水污染控制研究。

E-mail: yangwenhuan80@163.com

收稿日期:2016-11-12

(上接第85页)

345/346:596-600.

- [9] 贾秀红. 碳纳米管吸附性能的研究进展[J]. 炭素技术,2004,23(3):25-30.
- [10] Niwas R, Gupta U, Khan A A, *et al.* The adsorption of phosphamidon on the surface of styrene supported zirconium (IV) tungstophosphate: a thermodynamic study [J]. Colloids & Surfaces A: Physicochemical & Engineering Aspects,2000,164(2/3):115-119.
- [11] 李勇,张伯友,肖贤明,等. 氯酚化合物在活性炭上的吸附[J]. 水处理技术,2006,32(3):19-22.
- [12] 陈素清,梁华定,邱昀芳. 碳纳米管吸附水溶液中双酚A的热力学[J]. 应用化学,2009,26(5):571-575.
- [13] 马娟娟,卓宁泽,陆嘉伟,等. 壳聚糖插层蒙脱土复合材料吸附酸性染料的动力学和热力学研究[J]. 离子交换与吸附,2011,27(2):129-136.



作者简介:张伟(1973-),男,湖南益阳人,博士,教授,主要研究方向为水污染控制理论与技术。

E-mail: hnweizhang@163.com

收稿日期:2016-12-22