

# 厌氧附着膜膨胀床处理生活废水的研究

管秀琼, 陈俊杰, 徐伟涛

(四川理工学院造纸科学与技术研究所, 四川 自贡 643000)

**摘要:** 文章利用厌氧附着膜膨胀床(AAFEB)反应器处理生活废水。选择合适的活性污泥和活性炭载体, 在 60d 内反应器启动挂膜完成。实验表明, 此反应器能够有效的去除生活废水中的有机物, 出水水质良好, 反应器运行稳定。通过稳定床层膨胀率在 10% - 20%, 研究水力停留时间(HRT)和温度对  $COD_{Cr}$  去除率的影响, 得到该反应器的最佳工艺条件为, HRT 8h 温度控制在 28℃, 在此工艺条件下,  $COD_{Cr}$  的去除率在 85% 以上,  $BOD_5$  的去除率在 73% 以上, 且 SS 的去除率在 75% 以上。

**关键词:** 厌氧附着膜膨胀床; 生活废水; 水力停留时间; 温度

**中图分类号:** X 793

**文献标识码:** A

## 引言

厌氧处理工艺相比好氧处理工艺, 具有容积负荷高、耐冲击、污泥产量少以及  $COD$  去除率高, 被认为是具有广阔前景的废水处理技术<sup>[1]</sup>。目前, 很多厌氧反应器已经广泛应用于各种工业高浓度废水的处理, 由于其具有的优势, 现在越来越多的研究倾向于厌氧反应器处理低浓度废水, 包括生活污水<sup>[2]</sup>。

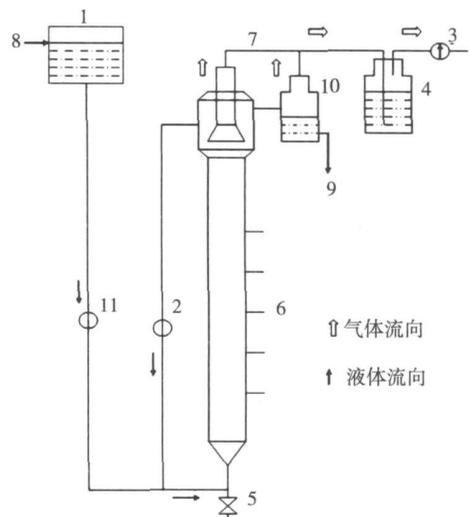
厌氧附着膜膨胀床 (Anaerobic Attached microbial Film Expanded Bed AAFEB) 反应器是 Jewell 等人于 20 世纪 70 年代中期研制的厌氧消化工艺。AAFEB 现已成功地用于处理不同类型和浓度的有机废水<sup>[3]</sup>。在这种反应器内, 载体膨胀率在 10% 到 20% 之间, 保持互相接触, 厌氧微生物被固定在载体上, 形成具有生物膜结构的活性污泥, 为反应器高效稳定地运行创造了重要的条件<sup>[4]</sup>。AAFEB 反应器的效用主要依靠附着于载体上的生物膜来体现, 在 AAFEB 反应器中, 挂膜成功是关键。本实验采用 AAFEB 处理生活废水, 对反应器的启动和稳定运行的条件进行了优化。

## 1 实验材料和方法

### 1.1 实验仪器

采用自行设计的 AAFEB 反应器 (图 1)。反应器由

有机玻璃制成, 下部圆筒内径 50mm, 上部圆柱筒体内径 100mm, 反应器总高度 1570mm, 总有效容积 3280mL, 其中反应区的容积为 2570mL。



1-高位水槽; 2-回流泵; 3-气体流量计; 4-水封瓶;  
5-放空阀; 6-取样口; 7-沼气; 8-进水; 9-出水;  
10-气-液分离器; 11-进水泵

图 1 AAFEB 反应器实验装置

### 1.2 废水来源及水质

本实验废水取自四川省自贡市生活居民区下水管

道排污口,水质情况见表 1。

表 1 生活废水水质情况

pH	COD <sub>cr</sub> (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	SS (mg/L)	色度 (倍数)
7	100-400	65-150	200-400	40-80

### 1.3 实验分析方法

- (1)化学需氧量:采用催化 CDO<sub>cr</sub>快速法测定<sup>[5]</sup>。
- (2)五日生化需氧量:采用直接稀释法测定<sup>[5]</sup>。
- (3)pH:采用奥利龙多参数分析仪测量。
- (4)SS采用重量法测定<sup>[6]</sup>。
- (5)色度:采用稀释倍数法<sup>[5]</sup>。
- (6)生物膜载体:采用光学显微镜观察。

### 1.4 载体选择

本试验采用的颗粒活性炭经标准分样筛分筛,筛选粒径为 0.2mm - 0.6mm,形状大小均匀。

## 2 实验结果及其讨论

### 2.1 反应器的启动

本实验污泥取自生活污水厂二沉池污泥和自贡市生活区下水管道处厌氧污泥。厌氧生物处理的过程其实就是厌氧消化的过程,主要是水解发酵菌,产氢产乙酸菌和产甲烷菌三种菌群起作用<sup>[7]</sup>。反应器的启动就是载体的挂膜过程,在这一过程中,污泥中的好氧菌群死亡,剩余的兼性和严格厌氧菌群得以增殖并成为优势菌种。同时,优势菌种得以附着固定在活性炭的表面和缝隙中,形成生物膜。

将 300mL 活性炭载体接种于 1200mL 活性污泥中,得 1500mL 混合物,从反应器上部移入,再将 2000mL 生活废水通过蠕动泵从底部加入,静置 3d,从第 4d 开始,开启蠕动泵回流,为保证床层膨胀率在 10% - 20%,逐渐加大回流比。同时将进水温度以每 2d 升高 2℃ 的速率,升高到 30℃,并将水力停留时间慢慢缩短到 8h。随着水力停留时间的缩短,容积负荷不断加大,污泥增殖迅速。而后,保持反应器的稳定运行,直至生物膜挂膜成功。

在启动初期,由于生活污水属于低浓度废水,很多厌氧微生物,特别是产甲烷菌量少,没有形成良好的结构,很容易被抑制和流失;又因为大多厌氧微生物都是球形或杆形,难以附着在活性炭的周围。有时候挂膜时间较长,甚至难以挂膜,故需严格控制床层膨胀率和水力停留时间(HRT)<sup>[7]</sup>。床层膨胀率通过蠕动泵来调整

回流速度,过高的回流速度会产生较大的水力剪切力,破坏生物膜的形成;较低的回流速度不能使活性炭载体和微生物达到完全混合的状态,影响微生物在活性炭周围的附着力,一样会导致挂膜比较困难。所以,选择合适的回流速度,可以缩短挂膜时间。研究表明<sup>[8]</sup>,控制总进水流量(包括回流速度)在 5L/h - 6L/h 时,床层膨胀率可以控制在 10% - 20%。HRT 直接影响生物膜的形成,HRT 越短,容积负荷越大,基质浓度越高,微生物增殖速度越快,有利于生物膜的形成,但较短的 HRT 会影响污水的出水水质。

启动期间,稳定床层膨胀率在 10% - 20% 之间,进水温度 30℃,HRT 控制在 8h 可以看到启动运行期间 COD<sub>cr</sub> 去除率和出水 COD<sub>cr</sub> 的变化,如图 2 所示。

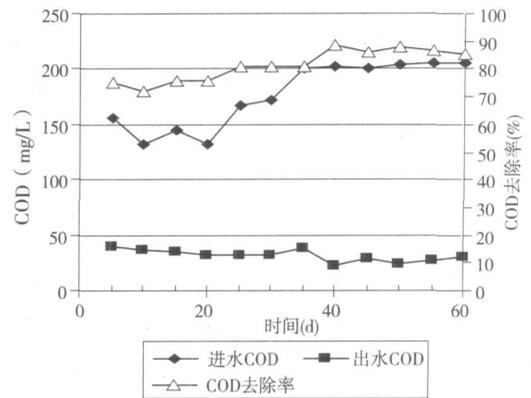


图 2 反应器启动器期间 COD<sub>cr</sub> 的去除率

从图 2 中可以看到,在启动开始阶段,COD<sub>cr</sub> 的去除率在 75% 以上,这是由于在启动初期,活性炭载体为厌氧微生物提供巨大的比表面积和活性炭自身强大的吸附能力。在经过 20d 后,COD<sub>cr</sub> 的去除率稳定在 80% 以上,因为经过一段时间的适应,微生物增殖生长,在活性炭的周围开始形成生物膜。经过一段时间的稳定,随着生物膜的逐渐变厚,微生物也在逐渐提高适应污水的能力,其活性也在逐渐增强,COD<sub>cr</sub> 的去除率也在上升,可以稳定在 85% 以上,这时通过显微镜观察可以明显看到在活性炭的周围存在生物膜。经过 60d 的挂膜,反应器启动完成。

在启动初期,由于厌氧菌生长缓慢,并且在回流水的冲击下,活性炭的周围几乎看不到生物膜的形成。随着厌氧菌群的增殖生长,微生物大量分泌粘性孢外聚物,使其附着在活性炭周围,通过显微镜观察,可明显看见活性炭周围有层半透明状的生物膜。在启动 60d 后,生物膜逐渐变厚,这时可认为启动完成。

## 2.2 反应器的运行

反应器启动后, 运行期间, 通过调整温度、HRT 等参数, 以期得到处理生活污水的最佳工艺条件。

### 2.2.1 HRT 对 $COD_{cr}$ 去除率的影响

水力停留时间是厌氧处理工艺的重要参数, 不仅关系到上述反应器的启动是否成功, 而且还关系到反应器的出水水质。选择合适的 HRT, 既能保持反应器的稳定运行, 还能保证一定的出水效果。本实验在反应温度稳定在  $28^{\circ}\text{C}$ , 膨胀率在  $10\% - 20\%$  条件下, 研究 HRT 对  $COD_{cr}$  去除率的影响。实验结果如图 3 所示。实验表明, 当水力停留时间 (HRT) 越长,  $COD_{cr}$  的去除率越高。水力停留时间越长, 载体微生物和污水接触时间越长, 降解污水中的有机物总量越多, 从而  $COD_{cr}$  的去除率越高。当 HRT 为 2h 时,  $COD_{cr}$  的去除率仅为  $62.5\%$ , 反应器运行性能下降。当 HRT 小于 8h 时,  $COD_{cr}$  去除率几乎呈直线增长; 当大于 8h 时, 增长缓慢; 当 HRT 超过 12h 后,  $COD_{cr}$  去除率几乎趋于平缓。考虑到处理效率和运行期间的经济成本, 确定水力停留时间为 8h。

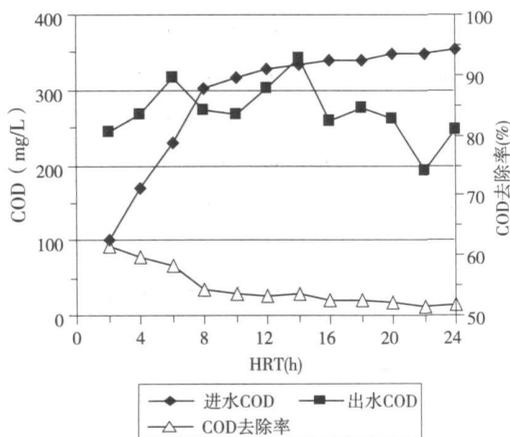


图 3 HRT 对  $COD_{cr}$  去除率的影响

### 2.2.2 温度对 $COD$ 去除率的影响

温度直接影响到厌氧消化过程中有机物的分解速率和反应速率, 是厌氧反应器重要的环境因素。本实验在水力停留时间为 8h, 床层膨胀率为  $10\% - 20\%$  条件下, 研究进水温度对  $COD_{cr}$  去除率的影响。实验结果如图 4 所示。

实验开始在室温  $20^{\circ}\text{C}$  进行, 通过水浴锅加热进水温度为  $36^{\circ}\text{C}$ 。考虑到生物膜的稳定性, 逐步降温, 保持温度变化幅度为每两天降低  $2^{\circ}\text{C}$ 。实验证明, 随着温度的降低,  $COD_{cr}$  去除率呈下降趋势。当温度控制在  $28^{\circ}\text{C} - 36^{\circ}\text{C}$  之间,  $COD_{cr}$  去除率无明显变化, 稳定在  $90\%$  左

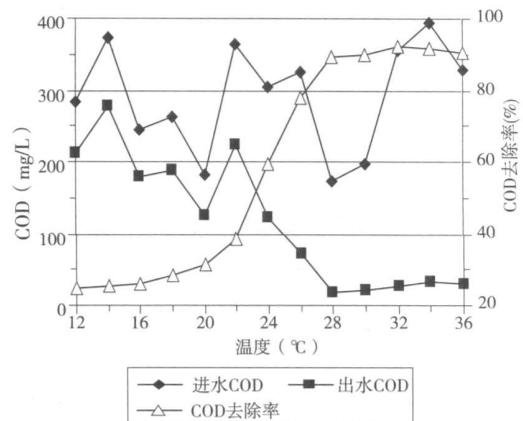


图 4 温度对  $COD_{cr}$  去除率的影响

右, 说明在此温度范围内, 反应器有较好的降解能力。当温度降到  $28^{\circ}\text{C}$  以下后,  $COD_{cr}$  去除率下降明显, 说明部分厌氧微生物不适应在该温度范围内降解污水中有机物。当温度低于  $20^{\circ}\text{C}$  时,  $COD_{cr}$  的去除率降到  $30\%$  以下, 反应器的性能很低。这是由于厌氧微生物大都为嗜温性和嗜热性细菌, 当温度低于  $20^{\circ}\text{C}$  时, 微生物活性很低, 在低温下难以存活, 降解有机物的能力很差。综合考虑高温带来的热损失和经济效益, 选择进水温度为  $28^{\circ}\text{C}$ 。

### 2.2.3 优化条件下对生活废水的处理效果

选定该实验的运行条件: 进水温度  $28^{\circ}\text{C}$ , 床层膨胀率为  $10\% - 20\%$ , 水力停留时间为 8h。在此工艺条件下, 对生活污水进行处理, 结果见表 2。从表 2 中可以看出, 处理后的各项水质指标均低于国家生活污水二级排放标准。

表 2 最佳工艺条件下生活污水的处理效率

水样	pH	$COD_{cr}$ (mg/L)	$BOD_5$ (mg/L)	SS (mg/L)	色度 (倍数)
原水	7	100-400	65-150	200-400	40-80
处理后	7	< 40	< 25	< 30	10
国标 (二级)	6-9	50	30	30	40
去除率	/	> 85%	> 73%	> 75%	/

## 3 结束语

本实验对厌氧附着膜膨胀床处理生活污水进行了研究, 得到 AAFEB 对生活废水中的有机物有较好的处理效果。在进水  $COD_{cr}$  为  $100\text{mg/L} - 400\text{mg/L}$ ,  $BOD$  为  $65\text{mg/L} - 150\text{mg/L}$  时, 经过实验得出, 反应器的最佳工艺条件为: 床层膨胀率  $10\% - 20\%$ , 水力停留时间为 8h 进水温度为  $28^{\circ}\text{C}$  时, 出水  $COD_{cr}$  为  $40\text{mg/L}$  以下,

BOD<sub>5</sub>为 25mg/L 以下, COD<sub>cr</sub>的去除率在 85% 以上。同时 AAFEB对生活废水中的悬浮物也有较好的处理效果, SS的去除率在 75% 以上。

#### 参考文献:

- [1] 任南琪, 王爱杰. 厌氧生物处理技术与应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004
- [2] 李亮, 黄丽, 刘燕. 城市生活污水厌氧生物处理发展现状 [J]. 环境污染治理技术与设备, 2004 5(12): 1-6
- [3] 申屠民良. 厌氧附着膜膨胀床反应器的工艺及应用 [J]. 污染防治技术, 1994, 7(2): 17-18

- [4] 朱凤松. 厌氧附着膨胀床反应器处理乳品废水的研究 [D]. 南京: 东南大学, 2005
- [5] 国家环境保护总局. 水和废水分析方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002
- [6] 国家环境保护局. 环境监测标准分析方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1986
- [7] 吕炳南, 陈志强. 污水生物处理新技术 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2007.
- [8] 张自杰. 废水处理理论 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003

## Treatm ent of Dom estic W astewater w ith Anaerobic A ttachedM icrob ial F ilm Expanded Bed

GUAN X iu-qiong, CHEN Jun-jie, XU W ei-tao

( Institute of Paper Science and Technology, Sichuan University of Science & Engineering Zigong 643000 China)

**Abstract** This paper uses anaerobic attached microbial film expanded bed (AAFEB) to treat domestic wastewater. Starting the reactor was succeeded in the 60d by selecting the appropriate activated sludge and activated carbon carrier. Experiments showed that this reactor could be effective to decrease organic matter in domestic wastewater, good quality of effluent and reactor running stably. By stabilizing the bed expansion at the rate of 10% -20%, researching removal rate of hydraulic retention time (HRT) and temperature on the COD<sub>cr</sub>. The better operational conditions for the reactor were HRT of 8h, the temperature was controlled at 28°C. COD<sub>cr</sub> removal rate was more than 85%, BOD<sub>5</sub> removal rate of 73% or more, and the SS removal rate of 75% or more.

**Key words** anaerobic attached microbial film expanded bed, domestic wastewater, hydraulic retention time, temperature