

厌氧附着膜膨胀床处理白酒废水 启动实验的研究

李丽 周健 杜文鹏
(四川理工学院生物工程学院, 自贡 643000)

摘要 对用颗粒活性炭作为载体的 AAFEB 反应器处理白酒废水的启动实验进行了研究。结果表明:在采用恒定进水 COD 浓度和 pH 的条件下,通过不断提高温度到 35℃,缩短水力停留时间至 8 h,维持床层膨胀率在 18%~20%,经 36 d 反应器成功启动,此时反应器有机容积负荷 6 kg COD/(m³·d),COD 去除率达到 82.9%,容积产气率达到 2.11 m³/(m³·d)。

关键词 厌氧附着膜膨胀床 白酒废水 反应器启动 颗粒活性炭

中图分类号 X703 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2011)10-2307-05

Study on start-up of treatment of liquor wastewater by AAFEB reactor

Li Li Zhou Jian Du Wenpeng

(Biotechnology Engineering College, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract Start-up of treatment of liquor wastewater by AAFEB reactor which used GAC as carrier was studied. The results showed that under the condition of the constant influent COD concentration and pH, continuously raising the temperature to 35℃, shorting the HRT to 8 h and maintaining the bed expansion ratio of 18%~20%, after the successful launch of the reactor for 36 days, the reactor organic volumetric, COD removal rate and volumetric gas production rate reached 6 kg COD/(m³·d), 82.9% and 2.11 m³/(m³·d), respectively.

Key words anaerobic attached microbial film expanded bed (AAFEB); liquor wastewater; reactor start-up; granular activated carbon (GAC)

白酒废水的 BOD₅/COD 值高,可生化性强、无毒、属于高浓度有机废水,适宜采用厌氧生化的方法对其进行处理^[1,2]。厌氧生物处理技术以其能耗省、运行费用低、剩余污泥量少、能产生新能源等特点,在高浓度废水处理中受到普遍的关注,并已成为现代污泥处理技术的一个重要方面^[3]。

厌氧附着膜膨胀床 (anaerobic attached microbial film expanded bed, AAFEB) 反应器是 Switzenbanum 等^[4]于 20 世纪 70 年代中期所研发,该反应器借鉴了化学工程中的流态技术。AAFEB 已成功地用于处理不同类型和浓度的有机废水。在这种反应器内,载体膨胀率一般在 10%~20% 之间,颗粒间保持互相接触,厌氧微生物被吸附固定在载体上,形成具有生物膜结构的活性污泥,将厌氧附着膜膨胀床运用到白酒废水的处理过程中,分析反应器的特点及运行参数,为白酒废水处理工业化以及提高厌氧流化床反应器处理性能提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 实验装置

厌氧附着膜膨胀床反应器如图 1 所示,该反应

器由有机玻璃制成,分反应区和沉淀区 2 部分,反应器反应区(下部筒体)内径 Φ50 mm,沉淀区(上部筒体)内径 Φ100 mm,反应器总高度 1 570 mm,反应器总有效容积为 3 280 mL,反应区的容积为 2 570 mL。采用 DDB-600 型电子蠕动泵进料,RDB-12 型蠕动泵计量回流,LML-2 型湿式气体流量计计量产气。整套实验装置置于恒温室中。

1.2 实验材料

实验用水取自四川某酒厂生产发酵车间发酵池渗沥水(以下称白酒废水)作为处理对象,经分析测定,水质的 COD 为 80 000~100 000 mg/L, BOD₅ 为 45 000~65 000 mg/L, SS 为 900~1 500 mg/L, pH 4~5, 色度为 350~450, BOD₅/COD > 0.50。

接种污泥取自泸州老窖酒厂污水处理站厌氧消化池剩余污泥,颜色灰黑色,有臭味。

载体选用性价比高的活性炭^[5], 平均粒径

收稿日期:2010-08-22; 修订日期:2010-11-10

作者简介:李丽(1982~),女,硕士研究生,研究方向:环境生物技术。E-mail:li_li821008@163.com

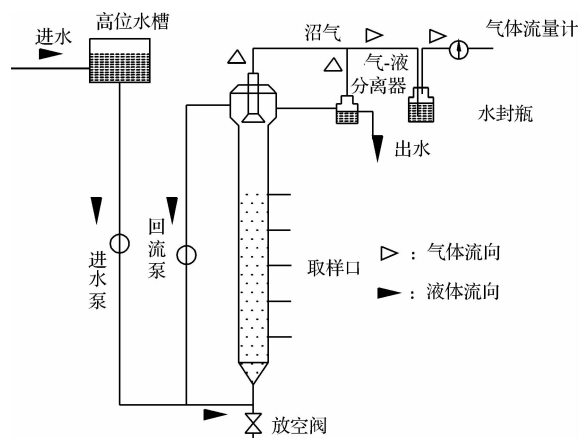


图 1 厌氧附着膜膨胀床流程图
Fig. 1 Flow chart of AAFEB

0.45 ~ 0.60 mm (20 ~ 60 目)。

1.3 分析方法^[6-10]

COD: CTL-3 型化学需氧量测定仪测定;BOD₅: 微电脑 BOD 测定仪测定;SS、VSS: 标准称重法测定;pH: 酸度计测定;回流、进水流量: 横流泵读数;温度: 温度计;沼气计量: LML-2 型湿式气体流量计。

2 结果与讨论

2.1 废水预处理

本实验所用白酒废水中 COD 高达 100 000 mg/L 左右, BOD₅ 高达 44 000 mg/L, 且 pH 呈酸性, BOD₅/COD > 50%, 适合进行生物厌氧消化; 但是厌氧处理对色度的去除率低, 在进行厌氧处理之前须进行预处理。我们采用微滤法对白酒废水进行预处理。有研究认为^[3], COD 为 1 000 ~ 3 000 mg/L 的废水可以直接作为进水, 当 COD 浓度超过 4 000 mg/L 时, 采用出水回流或稀释。另外, 悬浮物浓度也要控制在 1 000 mg/L 以下, 防止不能被降解的悬浮物大颗粒破坏水力条件或者堵塞反应器。因此我们在实验中准备了 COD 为 2 000 mg/L 左右的人工废水作为进水。

2.2 反应器的启动

将 300 mL 载体(干)浸润于 1 200 mL 接种污泥

中, 将混合物移入 AAFEB 反应器中, 再加入 COD 浓度为 2 000 mg/L 左右的人工废水至反应器顶部, 静置 3 d 后, 排掉反应器上部的澄清水, 再加入相同浓度的人工废水至反应器顶部。而后开启回流蠕动泵, 用反应器自身的回流水进行小流量 (3.6 L/h) 回流, 待产气后, 将水力停留时间控制在 24 h, 以进水流量 1.2 L/h 开始进料 (人工废水), 此时, 为反应器启动的开始床层膨胀率为 5% 左右。为保障床层的膨胀率控制在 10% ~ 20%, 加大回流比, 同时以每 3 d 改变 2℃ 的速率不断升温到 35℃ 后停止升温。启动期间逐渐缩短水力停留时间至 8 h, 随着水力停留时间的缩短, 容积负荷不断加大, 污泥增殖加速, 整个过程中, 装置的容积负荷率控制在 2 ~ 6 kg COD/(m³ · d)。在提高容积负荷率时, 每次提高的幅度不超过 1 kg COD/(m³ · d), 增加一次负荷稳态运行 4 ~ 6 d, 在加大有机负荷的过程中, 不断监测反应器中的 pH 值, 保持 pH 值为 7.2。启动过程中各运行参数的控制如表 1 所示。

在保持进水 COD 浓度为 2 000 mg/L 左右的情况下, 从第 7 天开始在进料的废水中加入一定比例的白酒废水, 直至完全以实际白酒废水作为进水 (白酒废水 COD 浓度高, 需稀释)。

在驯化过程中, 污泥颜色由最初的灰黑色逐渐变为黑色, 并且在第 6 天的时候在反应器下部污泥中肉眼可观察到小粒径的黑色颗粒污泥, 说明载体开始挂膜。在回流水的承托力作用下, 反应器内部分为明显 3 层: 悬浮絮状污泥层、活性炭污泥混合层以及底部大颗粒活性炭层。到第 36 天时, 反应器中污泥层膨胀时污泥层占整个反应器有效容积约 55% 左右, 反应器上部沉淀区污泥沉降性能较好, 床层的膨胀率在 18% ~ 20% 之间。通过气体流量计可以判断装置产气量稳定, 此时认为启动期成功。此时的运行条件为: 温度 35℃, HRT 8 h, 进水 COD 浓度 2 000 mg/L 左右, pH 7.2, 有机容积负荷 6 kg COD/(m³ · d), AAFEB 反应器 COD 去除率达到 82.9%, 容积产气率达到 2.11 m³/(m³ · d) 以上。

表 1 启动运行参数控制
Table 1 Parameters control in the start-up

时间 (d)	温度 (℃)	白酒废水所占比例 (%)	容积负荷 (kg COD/(m ³ · d))	HRT (h)
1 ~ 6	20 ~ 24	0	2	24
7 ~ 12	24 ~ 28	10 ~ 20	2 ~ 3	20
13 ~ 18	28 ~ 32	20 ~ 50	3 ~ 4	16
19 ~ 24	32 ~ 35	50 ~ 80	4 ~ 5	12
25 ~ 30	35	80 ~ 100	5 ~ 6	8
31 ~ 36	35	100	6	8

2.3 进出 COD 浓度对反应器的影响

第4天开始,对出水 COD 进行测量,部分结果见实验中反应器启动时间大概 36 d,从启动的表2。

表 2 启动期进水及出水水质										
Table 2 Water quality of influent in start-up period										
时间 (d)	HRT (h)	温度 (℃)	COD(mg/L)		COD 去 除率(%)	容积负荷 (kg COD/(m ³ ·d))	白酒废水 比例(%)	出水 pH	产沼气量 (L/d)	容积产气率 (m ³ /(m ³ ·d))
			进水	出水						
4	24	23	2 020	657	67.5	2.0	0	6.9	1.38	0.537
8	20	25	2 140	516	75.9	2.5	10	6.8	1.52	0.591
12	20	28	2 080	785	62.3	3.0	20	6.8	1.50	0.584
16	16	30	1 990	595	70.1	3.6	40	6.9	2.48	0.965
20	12	32	2 050	491	76.0	4.2	60	7.0	3.66	1.42
24	12	35	2 100	425	79.8	5.0	80	6.8	4.42	1.72
30	8	35	2 140	402	81.2	6.0	100	7.0	5.05	1.96
36	8	35	2 180	373	82.9	6.0	100	6.9	5.42	2.11

图 2 为启动期 COD 去除率随运行时间的变化规律曲线。由图可见,在反应器接种和投料初期,能在较短时间内取得较高的 COD 去除效率,随着启动时间的延长,白酒废水比例和容积负荷率不断增大,厌氧微生物也在逐渐适应白酒废水并开始快速生长。从图中可以看出 COD 去除率在整个启动过程中经历了下降、恢复、上升的过程,在反应器温度稳定在 35℃,水力停留时间达到 8 h,COD 去除率稳定在 80% 以上。图 3 为反应器启动期间容积产气率

随运行时间的变化。在反应器启动成功后容积产气率可达到 2.11 m³/(m³·d) 以上。

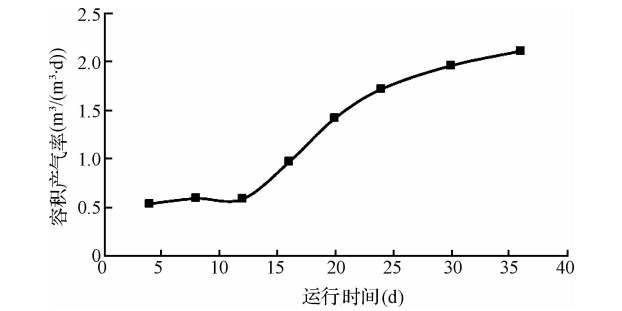


图 3 AAFEB 反应器启动期间容积产气率的变化

Fig. 3 Changes of volumetric gas production rate in AAFEB start-up period

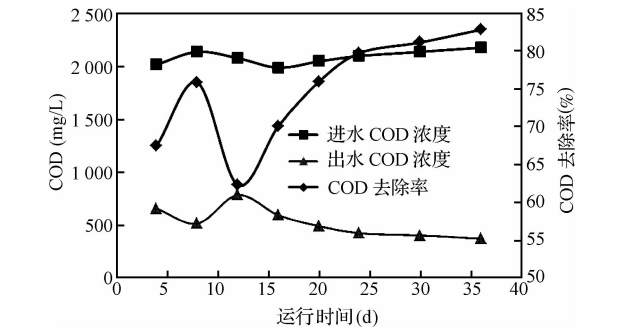


图 2 AAFEB 启动期废水 COD 浓度及 COD 去除率变化规律

Fig. 2 Changes of COD concentration and COD removal rate with time in AAFEB start-up period

2.4 水力停留时间对反应器的影响

本实验将白酒废水的 COD 浓度固定为 6 000 mg/L,反应器温度稳定在 35℃,进水 pH 7.2,床层的膨胀率控制在 18% ~ 20%,将 HRT 作为独立变量,观察 HRT 对 AAFEB 反应器处理白酒废水的操作性能的影响。本实验所测定的各指标数值均为反应器运行稳定后连续 3 d 所取的 3 组样品的平均值,结果如表 3 所示。

表 3 水力停留时间对 COD 去除率的影响						
Table 3 Effect of HRT on COD removal rate						
时间(d)	HRT(h)	出水 pH	出水 COD(mg/L)	COD 去除率(%)	沼气产量(L/d)	容积产气率(m ³ /(m ³ ·d))
1~3	2	7.0	2220	63.0	18.8	7.32
4~6	4	6.9	1680	72.0	16.5	6.42
7~9	6	7.0	1250	79.2	16.1	6.26
10~12	8	7.0	980	83.7	13.9	5.41
13~15	12	6.8	930	84.5	10.3	4.00
16~18	16	6.9	900	85.0	8.8	3.42
19~21	20	6.9	880	85.3	7.5	2.92
22~24	24	7.0	865	85.6	6.6	2.57

水力停留时间 HRT 对 AAFEB 反应器 COD 去除率的影响如图 4 所示。从图中可以看出,在 HRT < 8 h 时,反应器 COD 去除率随着 HRT 的增加而显著增加,这是因为随着 HRT 的增大,废水与反应器中的微生物接触充分,其中有机质能被降解得充分,所以 COD 去除率快速升高;当 HRT > 8 h 时,COD 的去除率基本保持在 79% ~ 80% 左右,变化不明显,这说明废水中可降解有机物已基本被降解,随着时间的延长,COD 去除率变化不大。图 5 为水力停留时间 HRT 对 AAFEB 反应器容积产气率的影响。从图中可以看出随着 HRT 的延长,容积产气率不断的下降,这是因为反应器内单位容积处理的有机物总量在下降。

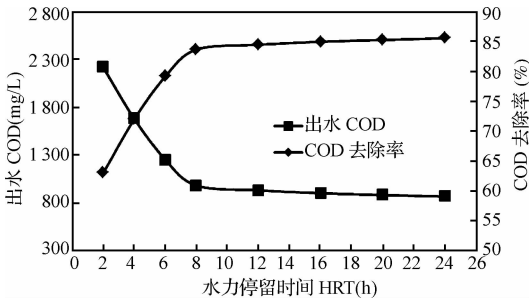


图 4 HRT 对 COD 去除率的影响

Fig. 4 Effect of HRT on COD removal rate

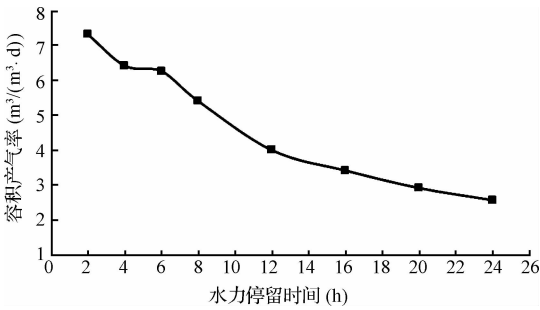


图 5 HRT 对容积产气率的影响

Fig. 5 Effect of HRT on volumetric gas production rate

2.5 有机容积负荷对反应器的影响

有机容积负荷反应了废水中有机物与微生物之间的平衡关系,其高低体现了厌氧消化反应器的处理能力,是生物处理过程中的重要控制参数。当反应器的其他条件确定,有机容积负荷就有一定的限度,否则当容积负荷过高时,微生物就会受到抑制;过低时微生物就会缺少生长所必需的营养,从而使反应器的 COD 去除率下降。在本实验中,反应器温度稳定在 35℃,HRT 控制为 8 h(在产气稳定时,采用 1:9 的回流比,床层的膨胀率可控制在 18% ~ 20% 之间),容积负荷的控制主要是通过改变进水

COD 浓度来实现。本实验研究的主要目的是确定 AAFEB 工艺处理白酒废水系统稳定运行时适宜的经济的容积负荷。本实验所测定的各指标数值均为反应器运行稳定后连续 3 d 的 3 组样品(每天 1 组)的平均值为 1 组数据,10 组数据结果如表 4 所示。

本次实验每改变一次进水 COD 浓度稳定运行 6 d,以 3 d 为 1 组测得数据如表 4 所示,取平均值可作图 6 和图 7。

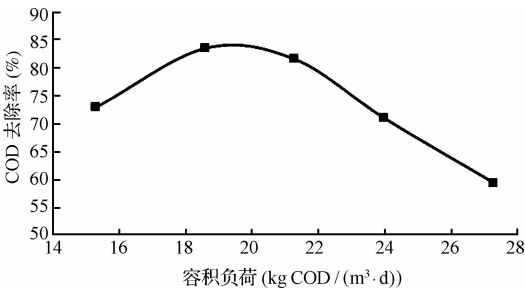


图 6 容积负荷对 COD 去除率的影响

Fig. 6 Effect of volumetric loading on COD removal rate

从图 6 中可以看出,当容积负荷增加时,COD 的去除率先上升后又迅速下降,当容积负荷超过 18.6 kg COD/(m³·d) 以上时,COD 去除率呈下降趋势;在容积负荷达到 21.3 kg COD/(m³·d) 以上时,COD 去除率下降较快;当容积负荷达到 27.3 kg COD/(m³·d) 时,COD 去除率只有 59.4%,处理效率偏低。

从图 7 可以看出,反应器的容积产气率随着容积负荷的增加而呈增长的趋势,在容积负荷较高时,COD 去除总量不断加大,因此,容积产气率仍然呈增加趋势,就反应器单位容积生物质能(沼气)回收量而言,容积负荷可控制的较高。

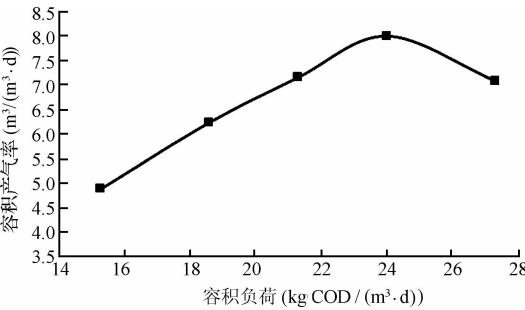


图 7 容积负荷对容积产气率的影响

Fig. 7 Effect of volume load on volumetric gas production rate

综上分析,为保证 AAFEB 有很好的废水处理效率,同时兼顾沼气的回收,以及反应器的稳定运行,在处理白酒废水时容积负荷宜控制在 18.6 kg COD/(m³·d) 左右。

表 4 容积负荷提升与 COD 去除率

Table 4 Promote the volumetric loading and COD removal

时间 (d)	容积负荷 (kg COD/(m ³ ·d))	出水 pH	COD (mg/L)		COD 去除率 (%)	容积产气率 (m ³ /(m ³ ·d))
			进水	出水		
1~3	15.3	6.8	5 100	1 397	72.6	4.85
4~6	15.3	6.9	5 100	1 372	73.1	4.9
7~9	18.6	6.9	6 200	1 042	83.2	6.23
10~12	18.6	6.8	6 200	1 011	83.7	6.25
13~15	21.3	7.0	7 100	1 342	81.1	7.14
16~18	21.3	6.9	7 100	1 285	81.9	7.18
19~21	24.0	6.8	8 000	2 344	70.7	7.98
22~24	24.0	6.8	8 000	2 304	71.2	8.05
25~27	27.3	6.9	9 100	3 758	58.7	7.06
28~30	27.3	7.0	9 100	3 631	60.1	7.12

3 结 论

(1)利用颗粒活性炭作为 AAFEB 反应器的载体来固定化微生物处理白酒废水是可行的,有很好的处理效果,并且能回收沼气。

(2)在中温条件下,采用恒定进水 COD 浓度和 pH 值,改变温度、HRT 等参数对污泥进行驯化,经过 36 d AAFEB 反应器成功启动。此时 HRT = 8 h,进水有机容积负荷 6 kg COD/(m³·d),AAFEB 反应器的 COD 去除率达到 82.9%,容积产气率达到 2.11 m³/(m³·d)以上。

参 考 文 献

[1] 曹健,李浪. 食品发酵工业三废处理与工业实例. 北京: 化学工业出版社,2007

[2] 陈丽春. 酒精生产高浓度有机废水处理途径研究. 环境科学与管理,2007,32(2):85-87
Chen Lichun. Study of deal with high-concentration organic wastewater by alcohol produce. Environmental Science and management,2007,32(2):85-87 (in Chinese)

[3] 郭茂新. 水污染控制工程学. 北京:中国环境科学出版社,2005

[4] Switzenbanum, Jewell M. S. W. J. Anaerobic attached-film expanded-bed reactor treatment. WPCF,1980,52(5):1953-1965

[5] 杨平,方治华,石炎福. 多孔聚合物载体与活性炭载体用于厌氧流化床处理有机废水的比较. 环境科学,2001,22

(1):45-48
Yang Ping, Fang Zhihua, Shi Yanfu. Comparison between porous ploymer carrier and activated carbon carrier used for treating organic wastewater in anaerobic fluidized-bed reactor. Environmental Science, 2001, 22(1):45-48 (in Chinese)

[6] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第 4 版). 北京:中国环境科学出版社,2002

[7] 朱凤松. 厌氧附着膜膨胀床(AAFEb)反应器处理乳品废水的研究. 南京:东南大学博士学位论文,2005
Zhu Fengsong. Study on treatment of dairy wastewater by AAFEb reactor. Nanjing: Doctoral Dissertation of South-east University,2005 (in Chinese)

[8] 方春玉. 厌氧生物流化床处理啤酒废水的研究. 自贡:四川理工学院硕士学位论文,2005
Fang Chunyu. Study on treatment of brewery wastewater by AFB reactor. Zigong: Master's Degree Thesis of Sichuan University of Science & Engineering,2005 (in Chinese)

[9] 张建丽,李立健,冯孝善. 厌氧附着膜膨胀床工艺活性污泥特性的研究. 环境科学,1997,18(1):42-44
Zhang Jiangli, Li Lijian, Feng Xiaoshan. A study on the characteristics of the activated sludge foe anaerobic attached microbial film expanded bed process. Environmental Science, 1997,18(1):42-44 (in Chinese)

[10] Kato M. T., Field J. A., Kerebezerm R., et al. Treatment of low strength soluble wastewater in UASB reactors. Journal of Fermentation and Bioengineering, 1994, 77(6):679-685