

治理技术

厌氧附着膜膨胀床 (AAFEB) 反应器 处理啤酒糖化废水的研究*

郑 平 俞秀娥 方 士 冯孝善

(浙江农业大学环保系)

从模拟废水研究证明, 厌氧附着膜膨胀床 (AAFEB) 工艺是一种效率高、适用性广的新型有机废水处理工艺, 但要付诸应用, 还需试验其处理实际有机废水的效能。

近年来, 我国的啤酒生产有了很大的发展, 啤酒厂几乎遍及全国各地, 其废水污染已引起人们的极大关注。啤酒糖化废水的 COD 可达 10000mg/L 以上, 且有一定的温度, 对应用厌氧消化技术处理十分有利。本文报告用 AAFEB 工艺处理这种有机废水的效能。

一、材料与方法

1. 试验装置与条件

供试 AAFEB 反应器用有机玻璃管加工制作。采用烟囱灰与硅藻土作载体, 在中温 (28℃) 下运试。反应器内的床层膨胀率, 通过回流控制在 10—20% 之间。AAFEB 工艺的装置与流程如图 1 所示。

2. 啤酒糖化废水

啤酒糖化废水取自杭州啤酒厂糖化车间, 它的有关理化性质见表 1。

3. 分析项目与方法

- (1) COD 指标: $K_2Cr_2O_7$ 氧化法;
- (2) TS 和 VS 浓度: 标准法^[1];
- (3) 全氮量: 蒸馏滴定法;
- (4) 全磷量: 钼蓝比色法;
- (5) 产气量: BSD-0.5 型湿式气体流量

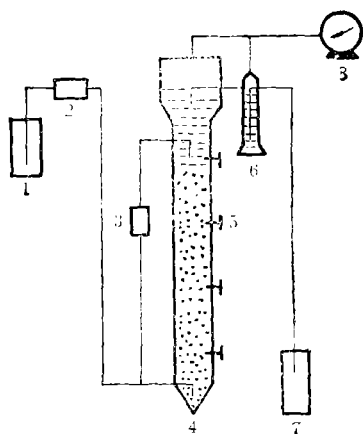


图 1 AAFEB 工艺的装置与流程

1. 进水贮瓶 2. 进水蠕动泵 3. 回流蠕动泵
4. AAFEB 反应器 5. 取样口 6. 气、液、固三相分离器 7. 出水贮瓶 8. 湿式气体流量计

计;

(6) 气体成份: 102-G 型气相色谱仪, 载气 N_2 , 担体 GDX-103;

(7) 挥发性脂肪酸 (VFA) 浓度: 比色法^[11];

(8) 碱度: 自动电位滴定法;

(9) pH 值: pH5-2 型酸度计。

二、结果与讨论

1. 反应器的启动

把接种污泥与载体及啤酒糖化废水混

* 周志勤同志参加了本试验的部分测试工作。

表 1 啤酒糖化废水的部分理化性质

项 目	COD (mg/L)	TS (g/L)	VS (g/L)	全 氮 量 (mg/L)	全 磷 量 (mg/L)	pH
指标值	3808—13770	6.67±1.89	6.31±1.78	63.90±31.01	18.07±6.39	4.37±0.48

合,充满 AAFEB 反应器.静置 24h 后,开启回流蠕动泵进行小流量回流.待反应器的产气量升至最高时,开始进料,并逐步加大回流量,使装置的起始有机质负荷维持在 $5.0 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{d}$ 左右,将床层的膨胀率提高到需控水平 (10—20%).此后,随起动过程的进展,渐渐缩短水力滞留时间 (HRT),增大反应器的有机质负荷.当载体上附有生物膜,而装置的产气量又趋稳定时,认为其起动完成,即转入运行试验.

2. 反应器处理啤酒糖化废水的效率

连续运试 100 余天的结果表明,AAFEB 反应器对浓度为 3808—13770mgCOD/L 的啤酒糖化废水,具有相当高的处理效率.以烟囱灰作载体时,在 HRT 依次为 24h、12h 和 8h 的条件下,反应器的容积 COD 负荷分别达 9.88、23.56 和 $34.05 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$; 容积产气率达 5.66、11.34 和 $15.32 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$; COD 去除率达 97.58、93.24 和 82.69% (表 2). 以佳藻土作载体时, HRT 控制在 24h、12h 和

6h 情况下,容积 COD 负荷也分别可达 6.45、12.27 和 $33.76 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$; 容积产气率达 3.56、6.12 和 $13.90 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$; COD 去除率达 94.30、91.61 和 86.88% (表 3). 废水的物料产甲烷率为 $0.34 \text{ m}^3/\text{kg}$ 去除 COD,接近其理论值 $0.35 \text{ m}^3/\text{kg}$ 去除 COD. 沼气的质量良好,甲烷含量为 58—72%. 在消化液保持有一定碱度的条件下,装置的 COD 负荷还可继续增加至 $74.01 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$, HRT 缩短到 3.5h,此时的容积产气率达 $20.25 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$. 这些指标值超过了同类废水用厌氧接触法处理的效能 (容积有机质负荷 $7.65 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{d}^{[2]}$), 也超过了 UASB 工艺中温处理可溶性有机废水的效能 (30℃ 下的最高有机质负荷为 40—60 $\text{kg COD/m}^3 \cdot \text{d}^{[3]}$).

由此可见,AAFEB 工艺不仅适用于模拟有机污水的处理,同样也适用于实际工业有机废水的处理,且取得令人满意的处理效率.

3. 工艺条件与反应器的运行性能

表 2 AAFEB 反应器的运行效率*

项 目		参 数		
HRT (h)		24	12	8
进水 COD (mg/L)		9879.64±78.75	11710.40±1352.99	11393.89±680.05
出水 COD (mg/L)		239.35±4.51	791.70±455.98	1972.11±584.86
COD 去除率 (%)		97.58	93.24	82.69
容积 COD 负荷 ($\text{kg/m}^3 \cdot \text{d}$)		9.88±0.08	23.56±2.72	34.05±2.03
容积 COD 去除率 ($\text{kg/m}^3 \cdot \text{d}$)		9.64	21.97	28.16
容积产气率 ($\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$)		5.66±0.44	11.34±1.16	15.32±1.37
沼 气	CH ₄ (%)	72.04	62.18	58.48
成 份	CO ₂ (%)	27.96	37.74	41.64

* 载体为烟囱灰.

表 3 AAFEB 反应器的运行效率*

HRT (h)	COD (mg/L)		COD 去除率 (%)	容积 COD 负荷 (kg/m ³ ·d)	容积 COD 去除率 (kg/m ³ ·d)	容积产气率 (m ³ /m ³ ·d)	沼气成份 (%)	
	进 水	出 水					CH ₄	CO ₂
24	6447.80± 1788.49	367.50± 63.26	94.30	6.45±1.79	6.08	3.56±0.36	72.00	28.00
18	6075.00± 849.00	559.90± 103.00	90.78	8.22±1.14	7.46	4.61±0.28	71.31	28.69
12	6132.50± 1323.11	514.40± 70.52	91.61	12.27±2.65	11.24	6.12±0.69	72.16	27.87
10	7579.60± 515.34	449.80± 28.87	94.07	16.64±0.59	15.65	7.83±0.57	69.55	30.45
8	9596.10± 1092.91	474.60± 135.46	95.05	28.79±3.28	27.36	10.84±1.23	68.11	31.86
6	8441.00± 2319.54	1107.00± 1014.08	86.88	33.76±9.28	29.33	13.90±0.59	63.82	36.18
4	9643.50± 796.06	3496.00± 1301.28	63.75	57.86±4.78	36.89	20.73±0.94	56.24	43.69
3.5	10572.67± 725.11	4957.83± 1073.83	53.11	74.01±5.08	39.31	20.25±4.14	42.51	57.49

* 载体为硅藻土。

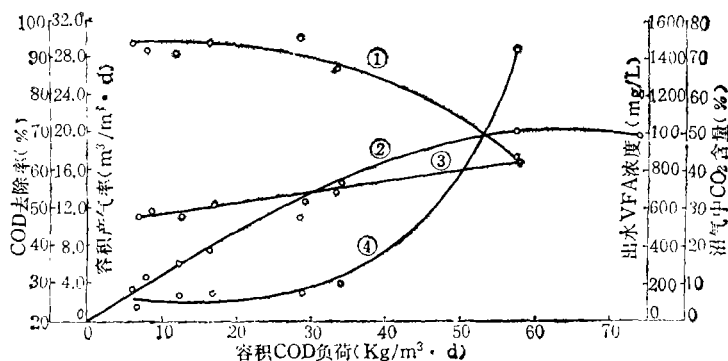


图 2 反应器容积 COD 负荷与各运行性能参数的关系

① COD 去除率 ② 容积产气率 ③ 沼气中 CO₂ 含量 ④ 出水 VFA 浓度

(1) 容积 COD 负荷

由图 2 可见, AAFEB 反应器的容积产气率随装置容积有机质负荷的增加而提高, 但有一上限值。当容积有机质负荷超过 60 kgCOD/m³·d 后, 即使继续增大进水量, 反应器的容积产气率也不再提高。因此, 就单纯考虑回收沼气而言, 以取该上限值作为容积有机质负荷的控制参数最理想。但此时的装置 COD 去除能力已明显下降, COD 去除率只有 63.75%。从环保的角度来看, 这样

的处理效能似乎已经偏低。何况装置的运行稳定性也受到了酸败的严重威胁。因为沼气中的二氧化碳含量成直线上升; 出水中的 VFA 浓度也急剧增加。它们都是反应器酸败的重要信号。综上分析并注意到出水 VFA 浓度的突跃现象, 我们认为用本工艺处理啤酒糖化废水, 控制有机质负荷以 40kgCOD/m³·d 左右为妥。

(2) HRT

试验结果(图 3)表明, AAFEB 反应器

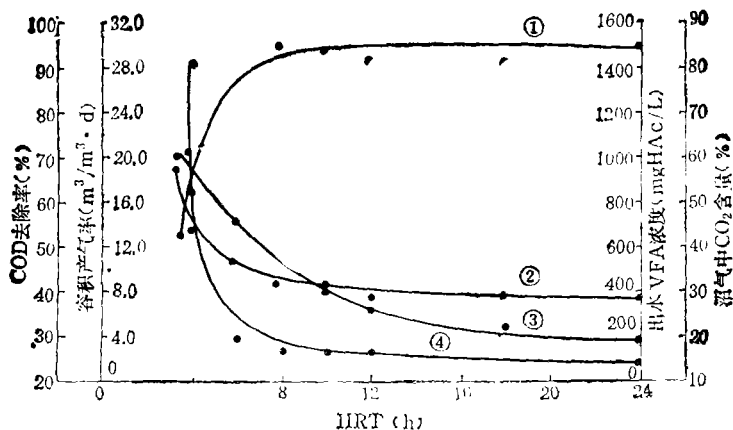


图3 HRT 与各运行性能参数的关系

① COD 去除率 ② 沼气中 CO_2 含量 ③ 容积产气率 ④ 出水 VFA 浓度

的容积产气率随 HRT 的缩短而增大。在 HRT 相对较短的范围内,容积产气率的增加幅度更大。因此,就取得较高的沼气产率和反应器容积利用率而言,HRT 控制得越短越好。可是,当 HRT 缩短至 6h 后,若继续降低该参数值,反应器的运行性能迅速恶化,装置的 COD 去除效能急剧下降,出水 VFA 浓度与沼气中二氧化碳含量急剧上升。鉴于上述分析,为了兼顾反应器的产能效率、COD 去除效率及其运行的稳定性,我们认为用本工艺处理啤酒糖化废水,HRT 以取 6h 作为控制参数为宜。

(3) 碱度

碱度是维持废水有机质厌氧消化过程稳定进行的必要条件。一般认为消化液的碱度应保持在 $1500 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$ 以上; $2500-5000 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$ 为反应器正常运行的碱度参数。事实上,消化液应具有碱度还与水质及其有机质浓度有关。如果废水中的含氮化合物少,有机物被降解后所能释放出来的碱性物质就少,自身对 VFA 的中和能力就弱,需要的碱度就较高,反之则低。废水有机物的浓度高,产生的 VFA 浓度也高,所需的碱度也相应较高。因此,在以碱度的绝对值作指标时,若能确定一个碱度与有机酸的比值

(碱酸比)来作进一步判断,会使其更有意义。

试验结果(图 4)表明,碱酸比与反应器的运行性能密切相关。当该比值大于 3.0 时,反应器的运行性能良好。但当此参数小于 3.0 时,装置的运行性能急剧恶化,COD 去除效率明显下降。

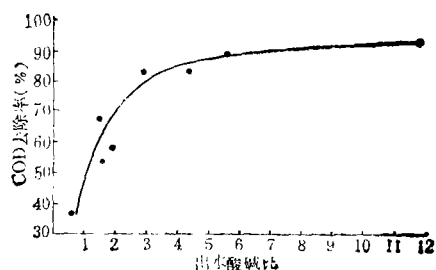


图4 出水碱酸比与 COD 去除率的关系

啤酒糖化废水的含氮量较低(表 1),在其厌氧消化过程中,自身对有机酸的缓冲能力较差。要保证反应器的高效运行,消化液必须保持较高的碱度。这与有关研究者的试验报道一致^[2]。

(4) 回流

在水力负荷较低条件下,单凭进水和沼气还不能使装置内的生物颗粒污泥流态化。沼气易以气泡的形式阻留在膨胀床中,

它们的逸出有较大的脉冲性,颗粒污泥容易被上逸的气泡顶出反应器。这样不仅会出现污泥大量流失而影响反应器的处理效率(因为反应器的处理效率与污泥浓度成正相关),而且还影响水质。更为严重的是,沼气的大量积累还会在膨胀床内形成气泡断层,使反应器的机械运行难以持续。试验观察发现,要使生物颗粒污泥流态化,床层膨胀率需保持在 10% 以上。要达到此膨胀率,一般需要回流来加快消化液在反应器中的流速。

但在水力负荷较高时(达 $4\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$),反应器自身的作用已能使生物颗粒污泥流态化。装置可以停止回流,以节省动力能耗。

三、小 结

1. AAFEB 工艺不但适用于模拟有机污水的处理,同样也适用于实际工业有机废水的处理。用其处理 COD 为 3808—13770 mg/L 的杭州啤酒厂糖化废水的效率参数为: HRT 6h; 容积有机质负荷 $33.76\text{ kg COD}/\text{m}^3\cdot\text{d}$, 容积产气率 $13.90\text{ m}^3/\text{m}^3\cdot\text{d}$, COD 去除率 86.88%, 物料产甲烷率 $0.34\text{ m}^3/\text{kg}$ 去除 COD, 接近其理论值 $0.35\text{ m}^3/\text{kg}$

去除 COD, 沼气的甲烷含量 58—72%。在 HRT 缩短至 3.5h 的条件下, 容积有机质负荷可增加到 $74.01\text{ kg COD}/\text{m}^3\cdot\text{d}$, 容积产气率达 $20.25\text{ m}^3/\text{m}^3\cdot\text{d}$ 。

2. 结果分析表明, 该工艺稳定运行的适宜有机质负荷约 $40\text{ kg COD}/\text{m}^3\cdot\text{d}$; 适宜 HRT 为 6h。

3. 反应器出水碱酸比与装置的稳定运行密切相关。当该比值大于 3.0 时, 装置的运行性能良好; 当此参数小于 3.0 时, 运行性能迅速恶化。

4. 要使反应器正常运行, 床层膨胀率需控制在 10% 以上, 若进水与沼气的作用不足以使生物颗粒污泥流态化, 则需回流。反之则以不回流为好。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院成都生物所, 沼气发酵常规分析, 17 页, 科技出版社, 北京, 1984 年。
- [2] 朱锦福, 环境污染与防治, 8(3), 9(1986)。
- [3] Lettinga, G., 以生物质滞留能力为基础的厌氧废水处理——重点讨论 UASB 工艺, 第四届国际厌氧消化(沼气)讨论会, 黄志南等编, 第 150 页, 中国广州, 1985 年。

生物水解法处理尿素废水

崔连起 季碧良 李雅琦

(兰化研究院环保所)

一、概 述

尿素合成反应中, 每生成 1mol 尿素同时生成 1mol 水, 加上其它工艺过程排出的水, 化肥厂每生产一 t 尿素大约要排放 0.5—0.7t 工艺废水, 其中含有 1—2% 的尿素, 2—5% 的氨。通常先将这股水进行解吸以回收

一部分氨, 然后再排放。但排放的水中仍含有 0.05—0.07% 的氨, 0.5—1% 左右的尿素。据统计, 我国现有化肥厂仅这一项排水每年损失十几万吨氨。大量含氮物质排入水体造成环境污染。

目前较为成熟的治理方法是以斯太米卡邦 (Stamicarbon) 技术为基础的热力水解

Chemical Engineering, Shanghai University of Technology, Shanghai)

This work is designed to explore the regularity of organic and heavy metal pollutants released from re-suspended sediment in the Suzhouhe River of Shanghai, and to propose the classification standard of sediment on the basis of surface water quality standard. The proposed standard is classified into nonpollution, pollution and heavy pollution by comparing each of chemical parameters. Pollution assessment was done for the Suzhouhe River according to the standard. It is showed that when the sections of heavily polluted sediment are cleaned up, the sediment would no longer influence on water quality in the Suzhouhe River. (See pp. 26—30.)

Buffering Mechanism of Soil for Acidic Precipitation

Liao Bohan and Li Changsheng (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Academia Sinica)

Buffering mechanism of soil for acidic precipitation is an important topic in studying the effects of acidic precipitation on soil. Based on simulation of leaching experiments of acidic precipitation for some forest soils in China, this paper brings forward a discussion about the buffering mechanism of soil for acidic precipitation. The soil consumes H^+ ion through releasing cations, the total amount of released cations is equal to the total amount of consumed H^+ ion in soil. The buffering mechanism of soil consists of three processes, which are the exchange of cations, hydrolysis of aluminum hydroxide, and weathering of primary minerals. The importance of each process is different in various conditions. (See pp. 30—34.)

The Structure and Function of Microbial Population ZE-1 for Decolouring Dyeing Wastewater

Qian Bing, Ye Junying and Xu Guanghui (Zhejiang Institute of Microbiology, Hangzhou); Min Yijue and Shen Yuru (Zhejiang Institute of Environmental Protection, Hangzhou)

The principal purpose of this work is to explore the composition and activeness of microbial population ZE-1 which is able to decolour dyeing wastewater of silk goods more effectively. Ten strains of bacteria were isolated from the samples collected from experimental dyeing wastewater and ten strains from pilot plant dyeing wastewater of silk goods. The results showed that the composition of microbial population ZE-1 consisted of genera of *Bacillus*, *Acinetobacter*, *Achromobacter* and *Pseudomonas* essentially. In microbial population ZE-1 conserved in the lab, the dominant bacteria were *Bacillus* and *Acinetobacter*, which occupied 80% of total number of the isolates. The more effective species or strains decolouring dyeing wastewater microbial population ZE-1 were *Bacillus subtilis* and

Acinetobacter calcoaceticus, *Aeromonas punctate* and *Pseudomonas* No. 19 isolated from pilot-plant samples were effective too. (See pp. 35—38)

Interaction of Carbofuran and Activity of Soil Microorganisms in Paddy Fields

Huang Xin, Fan Dejiang and Chen Hexin (Research Team of Pesticide Residues, Zhejiang Agricultural University, Hangzhou)

An attempt was made to understand the biological degradation of Carbofuran in paddy soil and its effect on some microbial activities in soil. The results showed that the degradation of Carbofuran in paddy soil was affected by both biological factors and non-biological factors. Degradation of the pesticide had been retarded by the glucose at concentration of 1% during the early period, though the loss of the pesticide was accelerated during the late period. However, glucose at concentration of 0.1% did not retard degradation of Carbofuran.

Carbofuran at the concentration of 50ppm or more stimulated the degradation of cellulose in four types of soils. The ammonification increased significantly in silty loam while decreased in saline polder soil, when treated with high concentration of Carbofuran (500ppm). (See pp. 38—43)

Treatment of Brewery Saccharification Waste water with the Anaerobic Attached Film Expanded Bed Reactor

Zheng Ping et al. (Department of Environmental Science, Zhejiang Agricultural University, Hangzhou)

In this paper AAFEB reactor is considered to treat brewery saccharification wastewater. When influent COD concentration was 3808—13770 mg/L, operating temperature 28°C, HRT 6 hours, volumetric COD loading rate 33.76 kg/m³·day, the percentage of COD removal attained 86.88% and volumetric biogas production rate 13.90 m³/m³·day. Per kg COD removed produced 0.34 m³ of methane. When HRT was shortened to 3.5 hours, volumetric COD loading rate reached 20.35 m³/m³·day. The critical bed expansion was about 10% and critical ratio of alkalinity to acidity about 3.0 (See pp. 44—48)

Treatment of Urea-Plant Wastewater by Biological Hydrolysis

Cui Lianqi, Ji Biliang and Li Yaqi (Institute of Environmental Protection, Lanzhou Chemical Industry Co., Lanzhou)

Results of the experiments show that denitrifying bacteria were able to hydrolyze urea in the wastewater into CO₂ and NH₃ which could be recovered under suitable conditions. Sources of NH₃ or organic matters in the waste-