

膨胀颗粒污泥床处理玉米酒精糟液的生产性试验

张振家<sup>1</sup>,周伟丽<sup>1</sup>,林荣忱<sup>2</sup>(1. 南开大学环境科学与工程学院,天津 300071;2. 天津大学环境工程系,天津 300072)

摘要:通过高温膨胀颗粒污泥床(EGSB)处理玉米酒精糟液的生产性试验研究,证明 EGSB 处理玉米酒精糟液能够取得很好的处理效果. 反应器运行 2 个月即形成颗粒污泥,成功地实现了反应器的快速启动;启动后反应器运行稳定,COD 负荷可达到 29kg/(m<sup>3</sup>·d),去除率在 90%以上. 本研究不仅解决了废水处理的实际问题,而且带来了显著的经济效益和社会效益.

关键词:EGSB 反应器;玉米酒精糟液;厌氧生物处理;生产性试验

中图分类号:X792 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2001)04-03-0114

Full-scale Experiment on Corn Ethanol Production Wastewater Treatment with the Thermophilic EGSB Reactor

Zhang Zhenjia<sup>1</sup>, Zhou Weili<sup>1</sup>, Lin Rongchen<sup>2</sup>(1. Department of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China; 2. Department of Environmental Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Full-scale EGSB reactor was used in the treatment of corn ethanol production wastewater that was a typical kind of high strength wastewater in North China. As the COD loading rate was as high as 29 kg/(m<sup>3</sup>·d), the usual SS content was 6000 mg·L<sup>-1</sup>, COD removal efficiency remained up to 90%. In addition, the reactor started up successfully in only two months with the formation of granular as a symbol. Through this experiment, the conclusion was drawn that the EGSB reactor is greatly efficient in the treatment of corn ethanol production wastewater.

Key words: EGSB reactor; corn ethanol production wastewater; anaerobic biological treatment; full-scale experiment.

玉米酒精糟液常用的处理方法是全混式厌氧发酵法,这种方法水力停留时间长(约 10 d),处理能力低下,处理效果较差(出水 COD 为 5000~6000 mg·L<sup>-1</sup>),无法满足处理水质的要求.

本研究以某酒精厂排出玉米酒精糟液为处理对象,从生产实际的角度研究膨胀颗粒污泥床(Expanding Granular Sludge Bed, EGSB)的处理效果.

1 原水水质与生产性试验装置

1.1 原水水质

本试验所处理的原水为玉米酒精浓糟液经板框压滤后的稀糟液,其水质特征见表 1.

因生产过程中原料的配比和生产情况的变化,整个试验过程中原水水质变化很大.

1.2 生产性试验装置

生产性试验以小试为基础,在天津市某酒精厂内进行. 试验工艺流程图如图 1 所示. EGSB 反应器高 1.5 m,有效高度 1.2 m,直径 5 m,

表 1 玉米酒精糟液的水质特征/mg·L<sup>-1</sup>

Table 1 Water quality of corn ethanol production wastewater

|                   |             |       |            |
|-------------------|-------------|-------|------------|
| pH                | 3~5         | 有机氮含量 | 450~780    |
| 水温/℃              | 50~70       | 氨氮含量  | 20~25      |
| 总悬浮固体含量           | 6500~55000  | VFA   | 900~1200   |
| COD <sup>1)</sup> | 12000~30000 | TOC   | 4000~11000 |
| BOD <sup>1)</sup> | 5000~15000  |       |            |

1) 均为原水上清液 COD、BOD 值

有效容积 235.6 m<sup>3</sup>. 反应器内上部安装热电偶检测反应器水温,并安装蒸汽管和冷却水管保证反应器内水温为 55±2℃. 反应器上共有 3 个取样口分别位于距底部 5 m、9 m、12 m 处. 原水经水泵加压后从底部进入 EGSB,处理水从上部溢流排出,产生的沼气送至锅炉房燃烧.

EGSB 反应器的三相分离器和布水系统均

作者简介:张振家(1956~),男,工学博士,教授,主要研究方向为高浓度有机废水的生物处理.  
收稿日期:2000-10-11

采用笔者的专利产品,经过 10 多座实验室装置和生产装置的验证,证明该产品能够很好地达到预期目的。

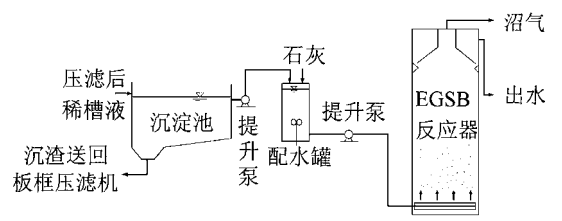


图 1 工艺流程图

Fig.1 Technological process pattern

2 反应器运行情况

2.1 颗粒污泥的形成

反应器以酒精厂原有的厌氧发酵罐中的絮

状污泥接种,运行初期,先将原水用反应器的出水稀释至  $5000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  以下,初期启动 COD 负荷保持在  $2\text{ kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$  以下,运行一段时间后,COD 去除率逐渐升高至 70 %。此后逐步提高负荷,进水量从最初的  $24\text{ m}^3/\text{d}$  提高至  $64\text{ m}^3/\text{d}$ ,稀释比也逐渐由最初的 3:1 下降到 1:3 (稀释水:原水)。2 个月后,从反应器底部取出的泥样中发现已经形成了灰白色、表面光滑、粒径为  $0.5\sim1.5\text{ mm}$  的颗粒污泥。此后,原水不经稀释直接进入反应器。

2.2 容积负荷与 COD 去除率

随着反应器运行时间的延长,反应器容积负荷与相应的 COD 去除率变化如图 2 所示。

从图 2 可以看出,①反应器运行 2 个月后,COD 去除率达到 80 % 以上,3 个月后,COD 去

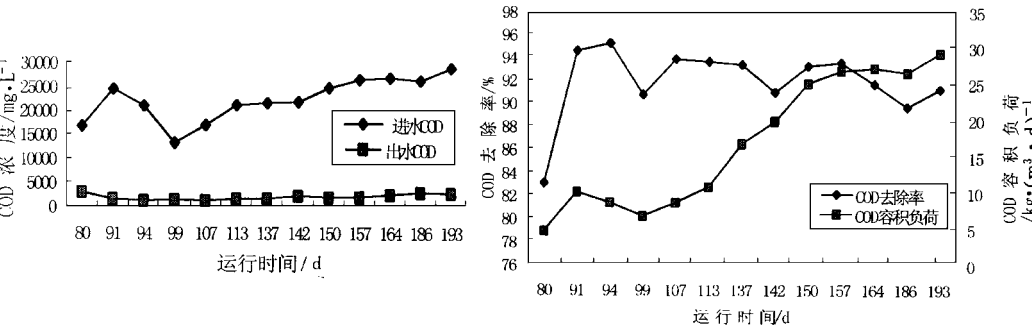


图 2 反应器进出水 COD、容积负荷和 COD 去除率的变化

Fig.2 Variation of concentration, loading and removal rate of COD from influent and effluent

除率提高至 90 % 以上。②运行过程中,COD 容积负荷不断提高,在 COD 容积负荷升至  $29\text{ kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$  (此时反应器进水水量为  $240\text{ m}^3/\text{d}$ ) 时,反应器仍可保持 90 % 的去除率。

对反应器的监测数据还表明:①反应器水力停留时间稳定在 24h 以内,比厂内原有厌氧发酵罐的水力停留时间缩短 90 %,处理水量为原来的 10 倍,证明 EGSB 是一种高效的厌氧生物反应器。②反应器出水挥发酸很低(总量小于  $200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),且以乙酸为主,说明反应器中的生物活性很强,有机物降解得较为彻底。

2.3 反应器内泥量的变化

颗粒污泥的形成和被大量保持,是 EGSB 反应器能够实现高效处理的关键所在。

反应器自启动完成后,颗粒污泥量不断增加,污泥面也逐渐抬高。运行至第 90 天,从反应器距底部 5 m 处的取样管中已经能够取到沉淀性能良好的颗粒污泥,此时底部污泥浓度已经相当高,其 MLSS 为  $65.7\text{ g}/\text{L}$ ,MLVSS 为  $43.0\text{ g}/\text{L}$ 。反应器运行至 180d 时,从距底 5 m 的取样管中取到的颗粒污泥 MLSS 达  $92\text{ g}/\text{L}$ ,距底 9 m 的取样管也能得到 MLSS 为  $70\text{ g}/\text{L}$  的污泥。由于反应器上只有 3 根取样管,无法确知污泥面究竟在什么位置(9~12 m 之间),但可以肯定,反应器内的生物量已经非常高。

第 231 天的泥样分析结果如下。

距底部 5 m 处泥样:MLSS  $86.2\text{ g}/\text{L}$ ; MLVSS  $56.0\text{ g}/\text{L}$ ;SV 80 %;SVI  $9.3\text{ mL}/\text{g}$ ;

MLVSS/ MLSS 64.9 %.

距底部 9 m 处泥样: MLSS 72.5g/ L;  
MLVSS 46.4g/ L; SV 70 %; SVI 9.7 mL/ g;  
MLVSS/ MLSS 64.1 %.

## 2.4 pH 值与碱度

玉米酒精原糟液的 pH 值较低(3 ~ 5), 为保证反应器内的 pH 环境, 在进入 EGSB 之前先投加一定量的石灰. 试验中, 每天向反应器投加 35 kg 石灰(合  $\text{CaCO}_3$  0.15 kg/  $\text{m}^3$  进水), 经过 6 个多月的跟踪监测, 反应器出水碱度(可近似地代表反应器内水的碱度)始终在  $2000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  左右, 尽管碱度较低, 反应器的处理效果一直比较好. 甚至中间有一段时间, 厂内石灰用完, 有近 2 个星期的时间不向进水投加石灰, 出水碱度降至  $1600 \sim 1700 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 这段时间内反应器仍然未表现出受影响的迹象.

## 2.5 悬浮固体的影响

一般认为, UASB 对于悬浮物的耐受能力较差<sup>[1]</sup>, Van der last 等人<sup>[2]</sup>也发现, EGSB 在处理生活污水时对 SS 的去除效果很低. 而对于玉米酒精糟液, 悬浮物含量高是其一个突出的特点. 因此, 有必要探讨玉米酒精糟液中悬浮物对 EGSB 的影响.

在进行本试验的 200 多天中, 由于气候、生产条件、沉淀池运行情况等因素的变化, EGSB 反应器进水 SS 含量始终在很大的范围内( $2000 \sim 20000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )变化, 经常值为  $6000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  左右, 但 COD 去除率基本未受到影响. 分析原因, 笔者认为首先是由于反应器采用高温处理, 可降解性的悬浮固体水解速度较高, 因而一部分非溶解态有机物转化为溶解性有机物被降解; 其次, 因为 EGSB 中上流速度较 UASB 高得多, 悬浮固体和颗粒污泥一样处于膨胀或流化状态, 更易于被水流带出池外, 反应器内不易发生惰性固体的积累. 根据现场监测数据, 出水 SS 一般为进水 SS 的 60 % ~ 80 %, 因此有理由认为, 未溶解的惰性固体基本上被出水带走, 未在反应器内积累, 所以不致造成对反应器处理效率的影响.

由于 EGSB 出水温度较高, 不宜直接进好

氧反应器, 所以本系统在 EGSB 后面设置一个沉淀池, 兼起降温 and 沉淀的作用, 这样, 厌氧反应器出水的温度和水中的悬浮物不会对好氧反应器产生不良影响.

## 3 对 EGSB 内特征的探讨

通过反复对小试和生产性 EGSB 装置的考察, 笔者认为, EGSB 的根本特征在于“膨胀”, 而不在于出水是否循环和高径比是否达到了一定数值. 本试验装置中, 由于处理高浓度有机废水的产气量比较大(约为进水量的 10 倍), 所以水流在气流的夹带作用下上升流速达到  $5 \sim 6 \text{ m/h}$ . 经观测计算, 反应器中部颗粒污泥膨胀率为 40 % 左右, 污泥床确实处于膨胀状态. 正是由于具有一定的膨胀度, 污泥才能够达到较高的高度, 这是 EGSB 根本区别于 UASB(固定床)的地方.

试验结果还表明, 在处理高浓度有机废水时, 出水不循环能够达到更好的处理效果.

## 4 小结

(1) 采用厌氧生物法处理玉米酒精糟液, 反应器启动速度快, 启动仅 2 个月, 反应器内部即形成沉淀性能良好的颗粒污泥.

(2) 进水 COD 高达  $28000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  (不稀释、出水不循环) 时, 出水 COD 为  $2000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  左右, COD 去除率保持 90 % 以上, 挥发酸也始终处于较低水平, 处理效果好. 而且, 试验进行中进水 COD 变化幅度极大( $13000 \sim 28000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), 反应器对冲击负荷表现出良好的适应性.

(3) 高温 EGSB 反应器可以有效处理玉米酒精糟液, COD 容积负荷高达  $29 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ , 水力停留时间缩短至 1 d.

(4) EGSB 进水 SS 常值为  $6000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  并在较大范围内变化时, 未对反应器造成不良影响. 说明高温 EGSB 对悬浮物的耐受能力较高.

参考文献:

- 1 贺延龄. 废水的厌氧生物处理. 北京: 中国轻工业出版社, 1997. 183 ~ 185.
- 2 Van der Last A R M, Lettinga G. Anaerobic treatment of domestic sewage under moderate climatic (Dutch) conditions using upflow reactors at increased superficial velocities. Wat. Sci. Tech., 1992, 25(7): 167 ~ 178.