

研究报告

膨胀颗粒污泥床反应器处理啤酒废水

董春娟^{1,2}, 刘 晓¹, 赵庆良¹, 吕炳南¹

(1. 哈尔滨工业大学 市政与环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2. 太原大学 环境工程系, 山西 太原 030009)

[摘要] 对接种市政消化污泥的膨胀颗粒污泥床(EGSB)反应器的启动及启动成功后在 35 ℃ 和 15 ℃ 时的运行特性进行了研究。结果表明:EGSB 反应器采用低进水 COD、高有机负荷方式,46 d 快速启动成功;在 35 ℃、HRT 为 3.4 h、液体上升流速为 2.80 m/h 的条件下,COD 去除率均能保持在 90.0% 以上;温度在进水 COD 为 450 mg/L 左右时对 COD 去除率影响不明显,但在 1 700 mg/L 左右时影响明显;EGSB 反应器能在 15 ℃ 的低温条件下稳定高效运行;在短时间内经历 15 ℃→50 ℃→15 ℃ 的温度冲击和 4.32 kg/(m³·d)到 15.50 kg/(m³·d)的负荷冲击后能在 8 d 和 14 d 内快速恢复;经历 35 ℃→17 ℃→35 ℃ 的温度冲击后,COD 去除率的恢复没有出现滞后期。

[关键词] 膨胀颗粒污泥床反应器;啤酒废水;中温;低温;运行特性

[中图分类号] X 703

[文献标识码] A

[文章编号] 1006-1878(2008)06-0478-04

Treatment of Brewery Wastewater by
Expended Granular Sludge Blanket ReactorDong Chunjuan^{1,2}, Liu Xiao¹, Zhao Qingliang¹, Lü Bingnan¹

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang 150090, China;

2. Department of Environmental Engineering, Taiyuan University, Taiyuan Shanxi 030009, China)

Abstract: The start-up of expended granular sludge blanket(EGSB) reactor seeded with municipal digestion sludge and its operation at 35 ℃ and 15 ℃ were investigated. The results show that: The EGSB reactor can be successfully started up within 46 d with low influent COD and high organic load; At 35 ℃ operation, the COD removal rate is kept above 90.0% under the conditions of HRT 3.4 h and V_{up} 2.80 m/h; The temperature of the influent with COD about 450 mg/L has not distinct effects on COD removal, but has significant effects when the influent COD is about 1 700 mg/L; The EGSB reactor can operate stably and with high efficiency at 15 ℃, and it can resume quickly within 8 d and 14 d after shocked at short period by the temperature of 15 ℃→50 ℃→15 ℃ and the load of 4.32 - 15.50 kg/(m³·d); The EGSB reactor can recover quickly after shocked by the temperature of 35 ℃→17 ℃→35 ℃ without lag.

Key words: expended granular sludge blanket reactor; brewery wastewater; medium temperature; low temperature; performance characteristic

膨胀颗粒污泥床(EGSB)反应器是在上升流厌氧污泥床(UASB)反应器的基础上,为解决 UASB 反应器内泥水混合不充分、传质效果差、处理效率无法进一步提高等问题而发展起来的。与 UASB 反应器相比,EGSB 反应器在结构设计、污泥特性和运行特点上均具有保留较高污泥量、获得较高有机负荷、保持高处理效果的可能性和可行性。无论对高浓度或低浓度废水、在中温或低温条件下,EGSB 反应器均

具有获得理想处理效果的可能性。EGSB 反应器目

[收稿日期] 2008-04-19;[修订日期] 2008-06-12。

[作者简介] 董春娟(1970—),女,山西省临汾市人,博士后,教授,主要从事厌氧生物处理技术和污水回用技术研究。电话:0351-3366658;电邮:chunjuand@126.com。

[基金项目] 山西省科技攻关项目(2007031101-1);山西省高校科技发展项目(20071097);太原市科技发展计划项目(07021003)。

前已在食品酿造和石化行业广泛应用^[1~8]。EGSB 反应器能否稳定、高效运行,在很大程度上取决于反应器内污泥的性能。为此 EGSB 反应器的启动越来越受到研究者和工程人员的重视,但深入研究却很少。

本工作重点考察接种市政消化污泥的 EGSB 反应器的启动运行以及启动成功的 EGSB 反应器在中温和低温条件下的运行特性,以期为 EGSB 反应器的启动和运行提供理论和实验基础。

1 实验部分

1.1 材料和仪器

接种污泥取自太原杨家堡污水处理厂消化池的脱水污泥。

PHS-3C 型数字式精密酸度计:上海雷磁仪器厂;LMF-1 型防腐湿式气体流量计:长春汽车滤清器有限责任公司。

1.2 废水水质

实验采用人工合成废水,废水组分有瓶装啤酒、氯化铵、磷酸二氢钾、蔗糖、氯化钙、硫酸镁、硫化钠、微量营养物质 ($m(\text{Fe}^{2+}):m(\text{Co}^{2+}):m(\text{Ni}^{2+})=10:1:2$),废水 COD 100~4 000 mg/L, $\rho(\text{NH}_4^+-\text{N})$ 4.6~159.7 mg/L, TN 5.6~203.1 mg/L, TP 2.1~52.5 mg/L, pH 5.5~8.0。

1.3 实验装置

实验用 EGSB 反应器总容积 16.5 L,反应区容积 10.0 L,反应器内径 90 mm,高径比 19:1,工艺流程见图 1。将反应器进水和回流水分别用泵提升

至高位水箱,合流、加热后进入反应器。

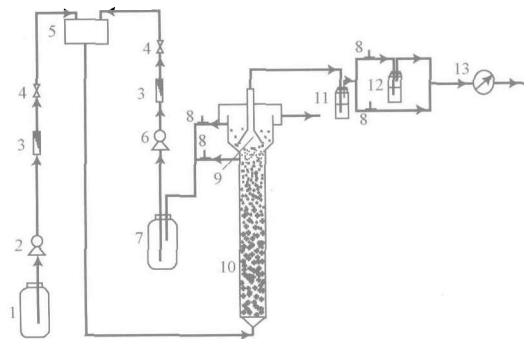


图1 EGSB 反应器工艺流程

1 进水箱; 2 进水泵; 3 流量计; 4 调节阀; 5 水箱; 6 回流泵; 7 回流桶; 8 阀门; 9 三相分离器; 10 EGSB 反应器; 11 水封瓶; 12 CO₂ 吸收瓶; 13 湿式气体流量计

1.4 分析方法

COD 采用重铬酸钾法^[9]测定; pH 采用酸度计测定; 挥发酸和碱度采用滴定法^[10]测定。

2 结果与讨论

2.1 EGSB 反应器的中温启动

EGSB 反应器采用低进水 COD、高有机负荷的方式,46 d 启动成功,进水 COD 负荷和 COD 去除率分别达 7.12 kg/(m³·d) 和 91.0%,实验结果见表 1。启动成功后,在 2 个月内将 HRT 从 14.0 h 逐步缩短至 3.4 h,进水 COD 负荷从 7.50 kg/(m³·d) 逐渐增加至 42.00 kg/(m³·d),COD 去除率也由 64.0% 稳步增大至 90.0% 以上。

表1 EGSB 反应器初次启动运行情况

运行阶段	进水 COD/ (mg·L ⁻¹)	进水流量/ (L·h ⁻¹)	回流量/ (L·h ⁻¹)	回流比	V _{up} / (m·h ⁻¹)	进水 COD 负荷/ (kg·m ⁻³ ·d ⁻¹)	COD 去除率, %
低进水 COD、高进水流量 和高回流量	500	3.0	12.0	4.0	2.50	2.88	33.0
低进水流量,逐渐提高进 水 COD 和回流量	700~1 300	0.9	0~4.2	0~4.7	0.15~0.70	1.24~3.74	33.0~80.0
快速提高进水 COD 和回 流量	1 300~2 500	1.2	4.2~9.6	4.7~8.0	0.70~1.60	3.74~7.12	80.0~91.0

注: V_{up} 为液体上升流速, m/h。

2.2 中温进水 COD 对 COD 去除率的影响

将 EGSB 反应器稳定在中温 35℃ 条件下, HRT 为 3.4 h, V_{up} 为 2.80 m/h, 不同进水 COD 对 COD 去除率的影响见图 2。由图 2 可见: EGSB 反应器的 COD 去除率基本稳定在 90.0% 以上; 进水 COD 越

高, 去除率越高; 进水 COD 较高(1 800~3 400 mg/L) 时, COD 去除率在 94.0% 以上, 出水 COD 为 110~360 mg/L; 进水 COD 较低时(450~900 mg/L), COD 去除率维持在 90.0% 以上, 出水 COD 为 20~100 mg/L。为此可考虑采用两级 EGSB 反应器对

高浓度啤酒废水进行达标处理。

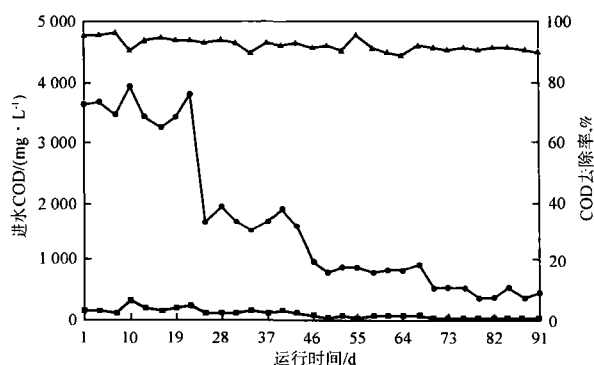


图2 中温进水 COD 对 COD 去除率的影响

● 进水 COD; ■ 出水 COD; ▲ COD 去除率

2.3 温度对 COD 去除率的影响

在 35 ℃、进水 COD 为 450 mg/L、HRT 为 1.7 h、 V_{up} 为 2.80 m/h 的条件下,将 EGSB 反应器梯度降温至 15 ℃,每次降幅 5 ℃,运行结果见图 3。由图 3 可见:当 EGSB 反应器的运行温度从 35 ℃逐渐降至 15 ℃时,COD 去除率从 86.5% 降至 82.0%;在 15 ℃,当 HRT 从 1.7 h 缩短为 0.9 h 时,COD 去除率从 82.0% 明显降至 71.1%。

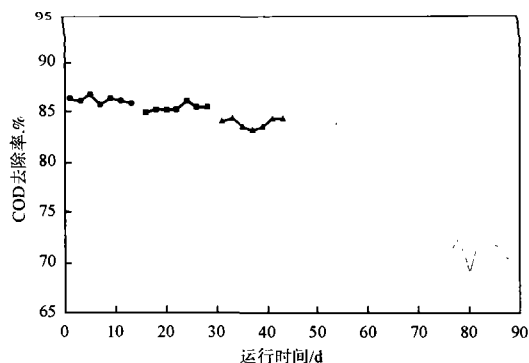


图3 温度对 COD 去除率的影响

温度/℃:● 35; ■ 30; ▲ 25; 20; 15;

注:运行第 1~73 d, HRT 为 1.7 h;运行第 76~88 d, HRT 为 0.9 h。

实验中在 HRT 为 1.7 h 时,将 V_{up} 适当增大至 3.30 m/h,COD 去除率可由 82.0% 恢复到 85.7%;而在 HRT 为 0.9 h 时,将 V_{up} 进一步增大至 4.60 m/h,COD 去除率仅由 71.1% 增大至 79.0%。为此,在低温低浓度条件下保持 HRT 为 1.7 h 较为适宜,此时进水 COD 负荷达 20.00 kg/(m³·d)。

2.4 低温运行特性

EGSB 反应器在低温下的运行特性见图 4,运行分为 6 个阶段。

第一阶段,EGSB 反应器运行第 1~18 d。反应

器在 14 h 内经历了 15 ℃→50 ℃→15 ℃的温度突变,COD 去除率的恢复出现了滞后期:从突变前的 82.2% 骤降至突变后的 55.6%;第 2 d 持续降至 45.1%;随后缓慢回升,第 8 d 恢复至 82.1%。

第二阶段,EGSB 反应器运行第 19~48 d。HRT 为 1.7 h,进水 COD 为 150~500 mg/L 时,COD 去除率基本维持在 80.0% 以上。即使进水 COD 低至 114 mg/L 时,COD 去除率也能达 70.3%。

第三阶段,EGSB 反应器运行第 49~90 d。HRT 由 1.7 h 降至 1.4 h,进水 COD 负荷在 15 d 内从 4.32 kg/(m³·d) 快速提至 15.50 kg/(m³·d),COD 去除率先从 81.3% 连续下降至 40.6%,但负荷稳定后又快速回升,14 d 后恢复至 80.2%。随后 20 多天稳定运行,COD 去除率一直稳定在 80.0% 以上。

第四阶段,EGSB 反应器运行第 91~143 d。将进水 COD 从 500 mg/L 逐步提至 3 400 mg/L,HRT 相应从 1.7 h 延长至 6.0 h, V_{up} 从 2.80 m/h 提至 4.60 m/h,COD 去除率维持在 70.7% 以上,最高进水 COD 负荷达 23.00 kg/(m³·d)。进水 COD 进一步提至 3 600 mg/L 左右时,COD 去除率降至 69.8%。

第五阶段,EGSB 反应器运行第 144~177 d。进水 COD 为 1 700 mg/L 左右,将反应器内的温度从 15 ℃逐步提至 35 ℃时,COD 去除率明显提高,从 75.1% 增至 92.4%。

第六阶段,EGSB 反应器运行第 178~187 d。将反应器内的温度梯度提至 35 ℃后,在 2 d 内,将温度突降至 17 ℃,然后迅速回升至 35 ℃,此时 COD 去除率先从 92.4% 降至 87.7%,又恢复到 92.2%,并没有出现滞后期。

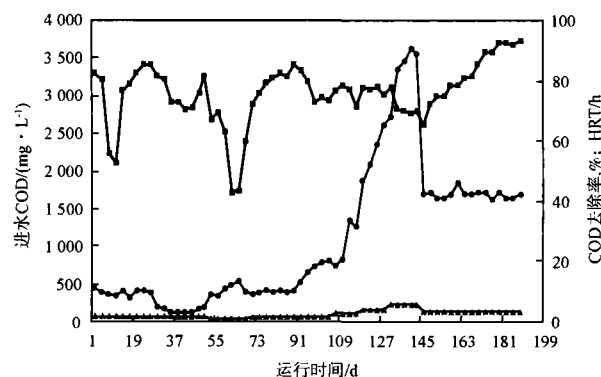


图4 EGSB 反应器在低温下的运行特性

● 进水 COD; ■ COD 去除率; ▲ HRT

3 结论

a) 接种市政消化污泥的 EGSB 反应器采用低

进水浓度、高有机负荷的方式 46 d 快速启动成功。

b) 在 35 ℃、HRT 为 3.4 h、 V_{up} 为 2.80 m/h 的条件下, 不同进水的 COD 去除率均能保持在 90.0% 以上, 且进水 COD 越高, COD 去除率越高。

c) 对于 COD 为 450 mg/L 左右的低浓度进水, 温度的降低对 COD 去除率影响不明显; 对于 COD 为 1 700 mg/L 左右的中等浓度进水, 温度的变化对 COD 去除率影响明显增强。EGSB 反应器处理低温低浓度废水具有独特的优势。

d) 对于 COD 为 150 ~ 500 mg/L 的低浓度进水, HRT 为 1.7 h 时, COD 去除率能维持在 80.0% 以上; 对于 COD 为 3 400 mg/L 左右高浓度进水, COD 去除率明显下降, 但在 HRT 为 6.0 h 时, 可达 70.0% 以上。

e) 在 15 ℃ 的低温条件下, EGSB 反应器在短时间内经历 15 ℃ → 50 ℃ → 15 ℃ 的温度冲击和 4.32 kg/(m³ · d) 到 15.50 kg/(m³ · d) 的负荷冲击后能够在 8 d 和 14 d 内快速恢复。在 35 ℃ 中温时 EGSB 反应器经历 35 ℃ → 17 ℃ → 35 ℃ 的温度冲击, COD 去除率的恢复没有出现滞后期。

参 考 文 献

- 1 Chu Libing, Yang Fenglin, Zhang Xingwen. Anaerobic treatment of domestic wastewater in a membrane-coupled expanded granular sludge bed (EGSB) reactor under moderate to low temperature. *Process Biochem*, 2005, 40: 1 063 ~ 1 070
- 2 Wang Jianlong, Kang Jing. The characteristics of anaerobic ammonium oxidation (ANAMMOX) by granular sludge from an EGSB reactor. *Process Biochem*, 2005, 40: 1 973 ~ 1 978
- 3 仲海涛, 胡勇有, 颜智勇. 环境温度下 EGSB 处理高浓度有机废水的研究. *中国给水排水*, 2006, 22(19): 68 ~ 70
- 4 叶笑风, 迟莉娜, 张振家等. 两级常温厌氧—好氧—固定化微生物组合工艺处理酿酒废水. *环境污染与防治*, 2006, 28(11): 827 ~ 830
- 5 Richard M D, Freda R H, Dennis L H. Anaerobic Digestion of Short Organic Acid in an Expanded Granular Bed Reactor. *Water Sci Technol*, 2000, 39(9): 2 433 ~ 2 438
- 6 王妍春, 左剑恶, 肖晶华. EGSB 反应器处理含氯苯有机废水的实验研究. *环境科学*, 2003, 24(2): 119 ~ 120
- 7 郑宇鹏, 王惠, 吕炯等. EGSB 厌氧系统处理瓜尔豆胶生产废水的研究. *中国沼气*, 2007, 25(5): 16 ~ 18
- 8 王毅军, 张振家. EGSB 工艺处理 DMF 废水的试验研究. *工业水处理*, 2007, 27(7): 30 ~ 32
- 9 国家环保总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法. 第 4 版增补版. 北京: 中国国家环境科学出版社, 2004. 210 ~ 213
- 10 董春娟. EGSB 反应器的快速启动和运行特性研究: [学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2005

(编辑 王 馨)

· 专利文摘 ·

由氨碱法废液直接生产氯化钙的方法

该发明涉及一种由氨碱法废液直接生产氯化钙的方法。该方法是: 氨碱法废液经露天蒸发后由二效预热器预热到 70 ℃ 左右, 送入二效加热器, 与来自一效分离器的二次蒸汽换热, 钙液经二效分离器分离, 二次蒸汽进入三效加热器, 增浓的钙液进入三效加热器继续蒸发提浓; 钙液在三效分离器中汽液分离, 产生更高浓度的钙液, 二次蒸汽由真空系统抽走, 更高浓度的钙液经三效出料泵送至离心机分离盐; 除去盐后的钙液通过一效给液泵进入一效加热器, 与外供的生蒸汽换热, 再经一效分离器进行汽液分离, 使钙液浓缩成成品, 二次蒸汽进入二效加热器作为其热源。该发明采用三效错流蒸发, 充分回收利用二次蒸汽, 减少生蒸汽用量, 节能效果显著, 成本大幅降低, 无废

水排放。/CN101125673, 2008-02-20

从脱硫废液中回收硫代硫酸铵及硫氰酸铵的

生产工艺

该发明公开了一种从脱硫废液中回收硫代硫酸铵及硫氰酸铵的生产工艺, 工艺步骤包括: 含硫废液的预处理、含硫废液的浓缩及结晶分离、硫代硫酸铵的提纯。该发明工艺简单, 操作稳定, 它将焦化厂脱硫生产过程中的含硫废液进行加工处理, 提取的硫代硫酸铵和硫氰酸铵质量好、收率高, 从而有效地解决了脱硫生产过程中含硫废水的回收处理问题, 不但减少了废水的排放和对环境的污染, 同时还回收了化工原料, 增加了企业的经济效益。/CN101125644, 2008-02-20