

文章编号 :1009-038X(2004)04-0001-05

中试规模厌氧序批式反应器的工艺特性

宋万召^{1 2}, 李秀芬^{1 2}, 陈坚^{1 2 *}, 张国平³, 王洪春³

(1. 江南大学 生物工程学院, 江苏 无锡 214036 ; 2. 江南大学 工业生物技术教育部重点实验室, 江苏 无锡 214036 ; 3. 江苏省环境工程技术研究中心, 江苏 宜兴 214205)

摘 要 :采用有效容积为 100 L 的中试规模厌氧序批式反应器(ASBR)处理合成废水, 研究进水时间、搅拌、有机负荷等因素对反应器运行效果的影响, 并对反应器的抗冲击性能进行了考察. 结果表明, 进水时间和搅拌是影响反应器运行效果的两个重要因素. 高负荷运行时进水时间越短, 系统对废水的化学需氧量(COD)去除率越低. 适当地搅拌可以缩短反应时间, 提高系统的处理能力. 有机负荷的提高有利于废水化学需氧量的去除. 进水 pH 值和温度突然变化并没有对反应器的运行产生很大的影响. 中试规模 ASBR 反应器具有很强的抗冲击性能力.

关键词 :ASBR 反应器 ; 合成废水 ; 进水时间

中图分类号 :X 703

文献标识码 :A

Study on Performance of a Pilot-Scale ASBR Process

SONG Wan-zhao^{1 2}, LI Xiu-fen^{1 2}, CHEN Jian^{1 2 *}, ZHANG Guo-ping³, WANG Hong-chun³

(1. School of Biotechnology, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China ; 2. Key Lab of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China ; 3. Jiangsu Environmental Engineering & Technical Research Center, Yixing 214205, China)

Abstract :In this study, synthetic wastewater was treated by a pilot-scale Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR) with the working volume of 100 L. The effects of feeding time, agitation and organic loading rates on the performance as well as anti-shock capability of ASBR were studied. The results revealed that feeding time and agitation largely affected the performance of ASBR. When operating the reactor at higher organic loading rate, the shorter the feeding time, the lower the COD removal efficiency. Suitable agitation rate was favorable for shortening reacting time, and improving the capability of the reactor. Higher organic loading rate was advantageous to COD removal. The fluctuations of influent pH and temperature had little effect on the operating performance of ASBR. ASBR had strong anti-shock capability.

Key words :ASBR ; synthetic wastewater ; feeding time

厌氧序批式反应器(Anaerobic Sequencing Batch Reactor, 简称 ASBR)是 20 世纪 90 年代由美

国学者在序批式反应器(SBR)的基础上开发出的一种新型高效厌氧反应器, 其运行特征是反应器采

收稿日期 2003-10-30 ; 修回日期 2004-02-23.

基金项目 江苏省环境工程技术研究中心开放项目(ERC0204)资助课题.

作者简介 宋万召(1973-) 男, 河南平顶山人, 环境工程硕士研究生 ; * 通讯作者.

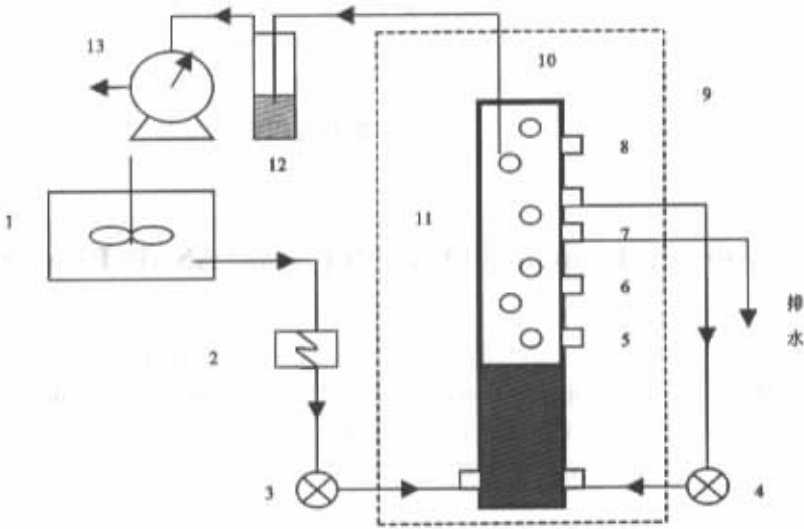
用序批式操作 ,间歇运行 ,每个运行周期包括进水、反应、沉淀、排水 4 个阶段 ,所有操作均在一个反应器内进行 .其基本的运行模式为 (1)进水期 :开启进水泵将废水注入反应器 ,在比较短的时间内达到预先设计的刻度线 .(2)反应期 :进水结束后反应器进入反应阶段 ,基质与反应器内的活性污泥充分混合 ,同时将基质中的有机物转化为沼气去除 .随着反应的进行 ,基质浓度不断降低 ,待达到要求的出水水质时 ,反应阶段结束 ,进入沉淀阶段 .(3)沉降期 :在相对静止的条件下使活性污泥沉降 ,进行固液分离 ,形成澄清的上清液 ,此时反应器的作用相当于澄清器 .(4)排水期 :沉降阶段结束时将上清液排出 ,排水体积等于进水体积 ,之后反应器进入下一个运行周期^[1 ~ 3].

国内对 ASBR 工艺的研究起步较晚 ,并且大都停留在小试阶段 .作者对中试规模的 ASBR 反应器 (100 L)进行了系统研究 ,重点考察反应器在中温条件下的运行特性及影响因素 ,以期为 ASBR 反应器的工业化应用提供参考 .

1 实验装置与方法

1.1 实验装置

ASBR 反应器采用有机玻璃制成 ,有效容积为 100 L ,反应器的总高度为 1 800 mm ,沿着柱高设有多个取样口 .将反应器安装在恒温室内 ,XMT 温控仪和热源构成自动温控系统 ,将温度控制在 (35 ± 1) °C ,工艺流程见图 1 .



1. 进水箱 ;2. 加热器 ;3. 进水泵 ;4. 循环泵 ;5 , 6 , 8. 取样口 ;7. 出水口 ;9. 恒温室 ;10. 沼气 ;11. ASBR 反应器 ;12. 水封 ;13. 湿式气体流量计

图 1 ASBR 工艺流程图

Fig. 1 The flowsheet of the pilot-ASBR treatment process

在进水箱中完成试验用合成废水的配制 ,经加热器加热至 35 °C 后由进水泵将水注入 ASBR 反应器 ,反应器内基质的浓度迅速增加 ,微生物的代谢速率随之增大 ,反应器进入反应期 ,并产生大量沼气 .随着反应的进行 ,基质浓度不断降低 ,产气量逐渐减少 ,待反应器内出现明显的泥水界面时 ,开动循环泵循环上清液进行搅拌 ,使反应器保持一个匀质的环境 .反应结束后 ,反应器进入沉淀阶段 ,经过充分的固液分离后将清液经出水口排出 ,反应器进入到下一个运行周期 .

1.2 试验用水

试验用水由葡萄糖、NH₄HCO₃、KH₂PO₄ 配制 ,控制 C : N : P = 200 : 5 : 1 ,加入适量 NaHCO₃ 以调节碱度 ,同时以适当比例加入厌氧微生物正常生

理活动所需的微量元素 .微量元素母液是在 1 L 的蒸馏水中按不同的比例加入相应的微量元素来配制的 .表 1 是微量元素母液的基本组成 ,每次配水加入 10 ~ 30 mL 母液 .

表 1 微量元素母液的基本组成

Tab. 1 The composition of trace element solution

成 分	质量/g	成 分	质量/g
FeCl ₃ · 6H ₂ O	18.8	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	0.85
MnCl ₂ · 4H ₂ O	1.4	CoCl ₂ · 6H ₂ O	1.57
NiCl ₂ · 6H ₂ O	1.57	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	1.7
H ₃ BO ₃	0.5	EDTA	9

1.3 接种污泥

接种污泥取自无锡狮王太湖水啤酒有限公司 ,

大型 UASB 反应器中的颗粒污泥,接种前首先经过淘洗去除其中的细小物质,接种后反应器的挥发性悬浮物质量浓度 (MLVSS) 为 22.6 g/L.

1.4 分析方法

pH 采用 pHs-2 型酸度计测定^[4];化学需氧量 (COD) 采用标准重铬酸钾法^[4];出水悬浮物 (SS) 和污泥中挥发性成分 (VSS) 采用质量法^[5].

2 结果与讨论

2.1 进水时间对去除效果的影响

通常情况下,快速进水会使反应器内基质起始浓度迅速增加,这将导致总挥发性酸 (TVA) 的积累^[6],影响系统处理效果,因而进水时间是影响 ASBR 反应器运行效果的重要因素之一.在保持有机负荷 (OLR) 和水力停留时间 (HRT) 不变的情况下,考察了不同进水时间对反应器运行效果的影响,结果见图 2~4.

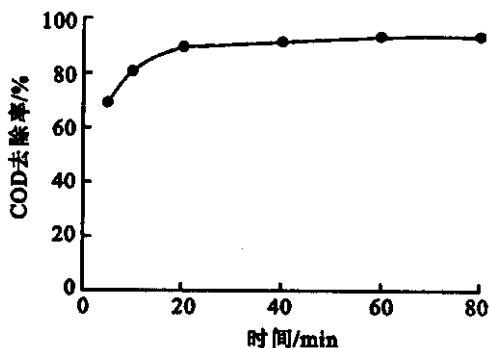


图2 有机负荷为 5 g/(L·d) 时进水时间对去除效果的影响

Fig. 2 Effect of feed time on COD removal efficiency at loading rate of 5 g/(L·d)

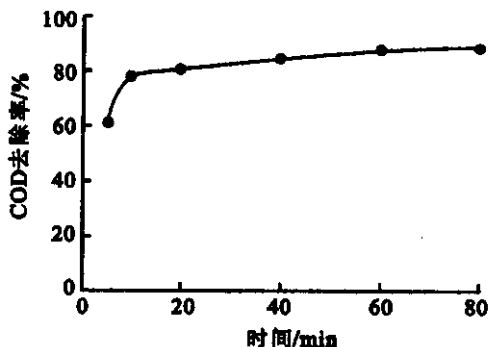


图3 有机负荷为 8 g/(L·d) 时进水时间对去除效果的影响

Fig. 3 Effect of feed time on COD removal efficiency at loading rate of 8 g/(L·d)

图2~3分别给出了反应器的有机负荷为 5, 8 g/(L·d) 时 COD 去除率与进水时间的关系.可以看出,当进水时间为 5 min 时, COD 的去除率分别

为 84.6% 和 80.3%. 随着进水时间的延长, COD 的去除率均增加. 进水时间为 10 min 时, COD 的去除率分别为 90.3% 和 88.9%. 随着进水时间的继续延长, COD 的去除率并没有太大的变化, 均保持在 90% 以上. 可见, 反应器在 5, 8 g/(L·d) 的有机负荷下运行时, 当进水时间小于 10 min 时, COD 的去除率明显下降, 而大于 10 min 时, COD 的去除率并没有明显增加, 因此反应器在 5, 8 g/(L·d) 的有机负荷下运行时的最适宜进水时间为 10 min.

图4是反应器的有机负荷为 12 g/(L·d) 时 COD 去除率随进水时间的变化情况. 可以看出, 高负荷下, 进水时间为 10 min 时, COD 去除率较差, 仅为 67.1%. 造成这种现象的原因是: 反应器在比较高的负荷运行时, 短时间进水会使反应器在产酸阶段产生大量的有机酸, 并且得不到及时降解, 出现了有机酸的积累, 酸化环境抑制了厌氧微生物的活性, 使其对有机物的降解效率降低^[5]. 之后, 随着进水时间的延长, COD 的去除率显著增加, 酸化现象逐渐减弱直至最后消失. 进水时间延长至 30 min 时, COD 的去除率增加到 79.5%. 随着进水时间的继续延长, COD 的去除率也不断增加, 然而增加的幅度越来越小. 进水时间为 50, 70, 90 min 时, COD 的去除率分别为 85.6%, 90.6%, 92.3%. 考虑到整体运行效果, 反应器在 12 g/(L·d) 的有机负荷下运行时的最适宜进水时间为 60 min.

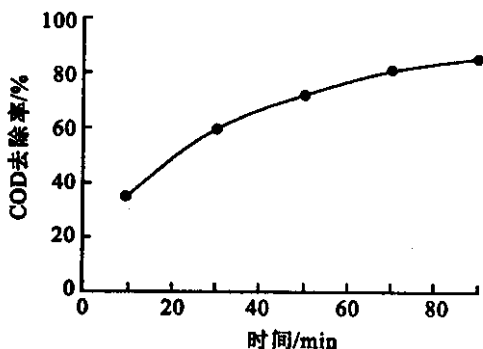


图4 有机负荷为 12 g/(L·d) 时进水时间对去除效果的影响

Fig. 4 Effect of feed time on COD removal efficiency at loading rate of 12 g/(L·d)

另外由图2~4还可看出, 进水时间相同时, COD 去除率随有机负荷的升高而降低, 因为负荷低意味着单位容积去除有机物的量少, 去除较为彻底, COD 去除率高. 随着负荷的增加, 反应器有酸化的趋势, 酸化的环境抑制了产甲烷菌的活性, COD 去除率降低^[5]. 因此应根据具体情况确定适当的进水时间和反应器有机负荷, 在保证出水水质的前提下, 尽量提高反应器的处理能力. 反应器在

不同的有机负荷运行时,进水阶段反应器内的基质浓度在短时间内由最低增加到最大,而反应器仍能保持良好的处理效果,这也说明了 ASBR 反应器有很好的抗冲击负荷能力.

2.2 搅拌对反应时间的影响

反应器在处理高浓度的有机废水时,由于基质的浓度比较高,所以产气量大,反应产生的大量沼气同时又有搅拌作用,使反应器能够维持一个匀质的环境,强化了活性污泥与基质的传质效果,缩短了反应时间,提高了反应器的效率.但是当基质的浓度较低时,产气量比较小,起不到有效的搅拌作用,这时采用其它方式的搅拌就非常必要.作者采用间歇循环上清液进行搅拌,取得了很好的效果.具体方法是:利用循环泵将上清液在反应器中循环(见图 1) 2 h 开动循环泵一次,泵的体积流量为 3 L/min,每次循环时间为 12 min. 此处反应时间从进水结束时开始,到 COD 去除率为 85% 并出现明显的泥水界面时终止,结果见表 2.

表 2 不同的进水 COD 质量浓度在搅拌前后反应时间的变化
Tab.2 Changes of reacting time with and without agitation at various COD concentration

进水 COD 质量浓度/(mg/L)	无搅拌 反应时间/h	搅拌 反应时间/h
1 000	10.5	7.4
2 000	12.0	8.5
3 000	13.6	10.7
4 000	14.0	12.5
5 000	15.0	13.8

在保持进水时间相同的条件下,比较不同浓度基质下搅拌对反应时间的影响.进水 COD 质量浓度为 1 000 mg/L 时,采用搅拌后的反应时间比未搅拌的反应时间缩短了 3 h. 搅拌强化了活性污泥与进水的充分混合,加快了微生物代谢基质的过程,缩短了反应时间.然而随着进水质量浓度的增加,搅拌的影响逐渐减小,当进水 COD 质量浓度为 5 000 mg/L 时,采用搅拌与不采用搅拌的反应时间仅相差 1.2 h. 高 COD 质量浓度下,反应器在反应阶段产生的生物气能起到良好的搅拌作用,此时靠加强搅拌作用提高 COD 去除率是有限的.

2.3 有机负荷对反应器运行效果的影响

图 5 是在不同的有机负荷下 COD 去除率的变化曲线,图 6 为出水 SS 随有机负荷的变化情况.

从图 5 可以看出,当有机负荷从 2 g/(L·d) 逐渐增加到 10 g/(L·d) 时, COD 的去除率先升高,

后稳定在 90% 以上. 这是由于随着反应器运行负荷的增加,产气量也不断增大,反应产生大量的生物气能够起到很好的搅拌作用,使基质和活性污泥充分混合,强化了传质,提高了有机物的去除效率,这也说明了 ASBR 反应器对有机物具有很强的去除能力.从图 6 可以看出,随着有机负荷的增加,出水 SS 也逐渐增大,但均低于 100 mg/L,出水水质较好. ASBR 反应器在反应阶段结束进入到沉淀阶段时,反应器内的基质浓度降至最低值,产气量也最小,而且反应器在沉淀过程中没有进出水流的干扰,所以 ASBR 反应器的沉淀过程是一个静沉过程,能够达到很好的沉淀效果,反应器出水 SS 较低.

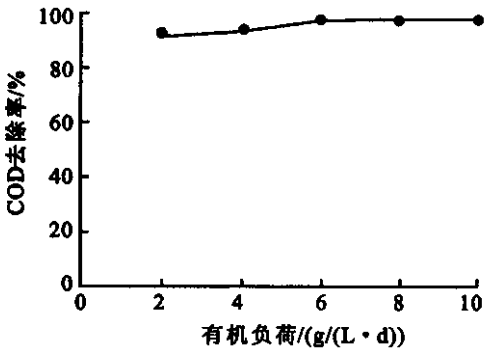


图 5 COD 去除率随有机负荷的变化曲线

Fig. 5 COD removal efficiency at various OLRs

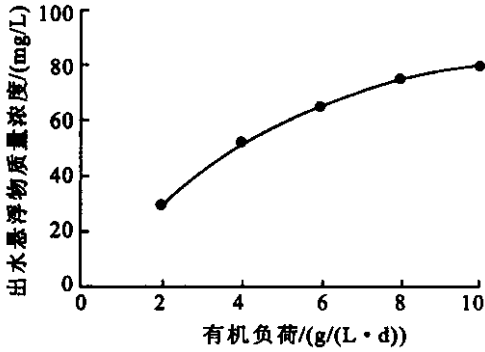


图 6 出水 SS 随有机负荷的变化曲线

Fig. 6 Effluent SS at various OLRs

2.4 ASBR 反应器的抗冲击性试验

温度和 pH 值是影响厌氧消化的重要环境因素.由于进水 pH 值和温度的突然变化是厌氧反应器在处理实际工业废水中常常遇到的问题,因此进水 pH 值和温度的突变对反应器运行状态的影响是评价厌氧反应器性能的一种方式.通过考察温度和进水 pH 值在突变前后 ASBR 反应器的运行“弹性”来评判 ASBR 反应器的抗冲击性能.将 ASBR 反应器负荷控制在 10 g/(L·d) 时, COD 去除率为 92%, 然后人为突然改变反应器的温度和进水的 pH 值,考察反应器运行的“弹性”,反应器的运行情况见图 7,

8.

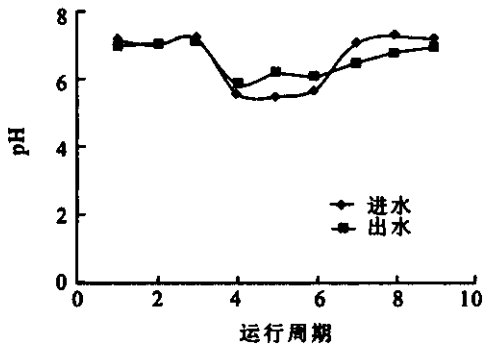


图 7 进水 pH 值的变化对出水 pH 值的影响

Fig. 7 Effect of influent pH fluctuating on effluent pH

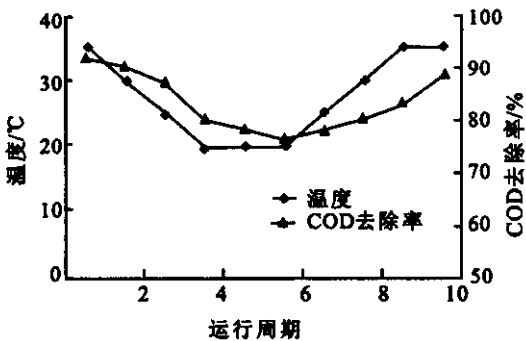


图 8 温度波动对 COD 去除率的影响

Fig. 8 Effect of temperature fluctuating on COD removals

图 7 是进水 pH 值的波动对出水 pH 值的影响。进水 pH 值由 7.3 突然降低到 5.6, 并且在 5.5、5.7 各运行一个周期 (16 h), 然后进水 pH 值又突然回升到正常值 7.1、7.3 和 7.2。出水 pH 值也随之降低到 5.8、5.9 和 6.1, 后又随着进水 pH 值的回升, 出水 pH 值也很快从 6.3、6.5 恢复到正常值 7.0。图 8 是人为改变温度对 COD 去除率的影响。反应器的温度从正常的 35℃ 降低至 30、25、20℃, 然后又逐渐回升

至 25、30、35℃, 反应器在每个温度都运行一个周期, COD 去除率也随着温度的降低而减小, 由 92% 减小到 76%, 然后又迅速增大至 89%。由试验结果可知, ASBR 反应器在正常运行的情况下, 进水 pH 值和温度突然波动并没有对反应器的运行产生很大的影响。经过几个周期的运行后, 反应器很快就恢复了正常情况, 这说明 ASBR 反应器具有很强的抗冲击性能。

由于 ASBR 反应器是间歇运行、分阶段操作的, 在静止沉淀结束后进行排水, 从而很好地解决了传统连续运行的厌氧反应器的污泥流失问题^[6], 使反应器能够维持比较高的污泥浓度。同样条件下, 较高的污泥浓度能降低 F/M (F-食料, M-微生物) 值, 而且每一个运行周期结束时反应器内的基质浓度达到最低值, 这样对下一运行周期的进水有稀释作用, 最终反应器培养出了活性非常好的颗粒污泥, 这也是 ASBR 反应器具有较强抗冲击负荷能力的因素之一。

3 结 论

1) 中试规模 ASBR 反应器具有较高的有机物去除效率和良好的出水水质, 在有机负荷为 2~10 g/(L·d) 的范围内, COD 的去除率均在 90% 以上, 出水 SS 质量浓度低于 100 mg/L。

2) 进水时间对 ASBR 反应器的去除效果有重要影响, 高负荷运行时可以通过延长进水时间来克服挥发性酸 (VFA) 积累的现象, 提高去除效果。

3) 搅拌可以使基质和活性污泥处于完全混合状态, 有利于提高反应速率, 缩短运行周期, 提高系统的处理效率。

4) 中试规模 ASBR 反应器具有很强的抗冲击负荷能力, 反应器在正常运行的情况下突然增加进水 COD 质量浓度, COD 的去除率较为稳定。

参考文献:

- [1] Dague R R, Habben C E, Pidaparti S R. Initial studies on the anaerobic sequencing batch reactor[J]. *Wat Sci Tech*, 1992, 26 (9-11): 2429-2432.
- [2] Sung S, Dague R R. Laboratory studies on the anaerobic sequencing batch reactor[J]. *Water Environment Research*, 1995, 67 (3): 294-301.
- [3] Wirtz R A, Dague R R. Enhancement of granulation and start-up in the anaerobic sequencing batch reactor[J]. *Water Environment Research*, 1996, 68(5): 883-892.
- [4] 国家环保局. 水和废水分析方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989. 102-103, 354-356.
- [5] 贺延龄. 废水的厌氧生物处理 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998. 47-52, 536-538.
- [6] Angenent L T, Dague R R. A laboratory-scale comparison of the UASB and ASBR process[A]. In 50th Purdue Industrial Waste Conference Proceedings[C]. Chelsea: Ann Arbor Press, 1995.