

产酸相反应器快速启动和乙醇型发酵菌群驯化

李建政¹,任南琪¹,秦 智¹,郭 爽²

(1. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院,黑龙江 哈尔滨 150090;2. 哈尔滨市自来水公司 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 在有机废水产酸发酵类型中,产酸相的乙醇型发酵被认为是两相厌氧生物处理系统中的最佳发酵类型,如何实现产酸相微生物菌群的乙醇型发酵,是提高系统处理能力的关键因素之一. 通过模型反应器的小试研究和中试规模的反应器运行,证明了利用不同性质活性污泥对产酸相反应器进行快速启动的可行性,并探索了产酸相乙醇型发酵菌群的驯化途径. 研究证明,在污泥接种量 6.5 gVSS/L 的前提下,将进水 COD 质量浓度、HRT 和 pH 值分别控制在 3 000~5 000 mg/L、8.0~10.6 h 和 4.5~7.0 的范围时,可在 20 d 内完成产酸相的快速启动,并可在 45 d 左右实现对乙醇型发酵菌群的驯化.

关键词: 乙醇型发酵;产酸相反应器;启动;优势菌群;驯化

中图分类号: X505 文献标识码: A 文章编号: 0367-6234(2002)05-0591-04

Rapid start-up of acidogenic reactor and acclimatization of dominant ethanol-type fermentation population

LI Jian-zheng¹, REN Nan-qi¹, QIN Zhi¹, GUO Shuang²

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. Water Works of Harbin City, Harbin 150001, China)

Abstract: Ethanol-type fermentation with acidogenic phase was believed to be better than butyric-type fermentation and propionic-type fermentation in a two-phase anaerobic treatment system. It is important to keep a high efficiency in the treatment process by controlling the acidogenic phase to realize ethanol-type fermentation. Two kinds of different activated sludge were used as inoculants to start-up the continuous flowing and high-rate acidogenic reactors in this study. The results showed by the start-up tests of a modal reactor and a pilot-scale reactor that both anaerobic and aerobic activated sludge were suitable under certain conditions. When the biomass of inoculants was not less than 6.5 gVSS/L and the influent concentration, HRT and pH were within the ranges of 3 000~5 000 mgCOD/L, 8~10.6 h and 4.5~7.0, respectively, the acidogenic reactors could work effectively for 20 days from the start-up. On the other hand, the preponderant population of ethanol-type fermentation in the acidogenic reactors could be obtained within 45 days under the same conditions.

Key words: ethanol-type fermentation; acidogenic phase reactor; start-up; preponderant population; acclimatization

高浓度有机废水的厌氧生物处理技术,是一种比较经济的污染治理手段,在处理过程中还可

以获取大量的能源气体——沼气,被誉为产能的污水处理,在环境、能源和生态等多方面具有良好的综合效益. 两相厌氧生物处理系统是处理高浓度有机废水的有效工艺技术,产酸相和产甲烷相的分离有其独特的优越性,可较大幅度地提高系统的处理效率和运行稳定性^[1]. 对于两相厌氧生物处理系统而言,产酸相效能的高低直接影响着整个工艺系统的处理能力和运行的成败,在一定

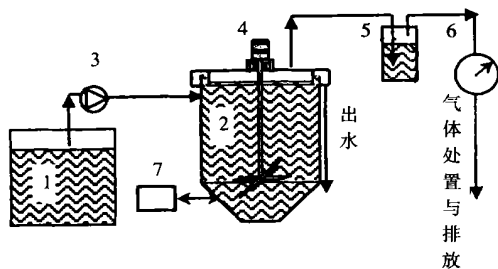
收稿时期:2001 - 09 - 06.
基金项目:国家高技术研究发展计划资助项目
(863-2001AA515030);
黑龙江省自然科学基金资助项目(E200026).
作者简介:李建政(1965 -),男,博士,副教授;
任南琪(1959 -),男,教授,博士生导师,特聘教授.

条件下甚至成为整个处理工艺的限制性阶段. 乙醇型发酵被认为是产酸相最佳的发酵类型^[2], 它不仅提高了废水的可生化性, 同时也为后续的产甲烷相提供了易于转化利用的最佳底物组成, 从整体上提高了两相厌氧生物处理系统的处理能力. 虽然前期研究已确立了乙醇型发酵的最佳工程控制参数^[2], 但有关乙醇型发酵的污泥驯化与产酸相的快速启动规律仍缺乏研究. 本文利用模型反应器和中试规模反应器进行了产酸相乙醇型发酵菌群的驯化与反应器的快速启动研究, 旨在为工程应用提供系统的技术指导.

1 实验装置及方法

1.1 实验装置

实验采用的产酸相反应器是自行研制的国家专利产品——高效产酸发酵反应器 (ZL 92114474.1), 属连续流搅拌槽式反应器 (CSTR), 内设气-液-固三相分离装置. 模型反应器总容积为 18.8 L, 有效容积为 9.6 L, 中试反应器总容积为 2 m³, 有效容积为 1.48 m³. 图 1 是实验装置示意图.



1. 配水箱; 2. 产酸相反应器; 3. 计量泵; 4. 搅拌; 5. 水封; 6. 湿式气体计量表; 7. 热交换装置

图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of acidogenic reactor system

1.2 种泥

模型反应器启动所采用的种泥是本实验室厌氧生物处理反应器排出的剩余污泥. 在中试研究中, 原取自生活污水排放沟的底泥, 经淘洗过滤并曝气培养 7 d 后, 作为种泥置入产酸相反应器. 通过生物相的观察发现, 以上两种不同来源的污泥中, 其生物种类均十分丰富.

1.3 实验废水

实验废水采用甜菜制糖厂的废糖蜜加水稀释而成, 废水配制时投加一定量的农用复合肥, 使废水中的 COD、N、P 的质量比保持在 200 ~ 500 5 1 左右, 以保证污泥在生长过程中对 N、P 营养元素的需求.

1.4 相关控制参数

采用较高的有机负荷对产酸相反应器的启动进程和厌氧活性污泥的驯化比较有利^[3]. 在本研究中, 模型反应器启动时的水力停留时间 (HRT) 按阶段分别设定为 10.6 h 和 8.0 h, 进水 COD 为 5 000 mg/L; 中试反应器启动时, HRT 为 10.5 h, 进水 COD 约为 3 000 mg/L. 模型反应器和中试反应器进水的 pH 值均在 4.5 ~ 7.0, 温度控制在 (35 ± 1) .

2 实验结果与分析

2.1 模型反应器的启动与污泥驯化

模型反应器污泥接种量为 16.63 gVSS/L, VSS/SS 为 27.8 %. 污泥驯化过程分为两个阶段, 启动前 21 d 为第一阶段, HRT 为 10.6 h; 第 21 d 之后的运行第二阶段, HRT 为 8 h.

从液相末端发酵产物检测结果 (见表 1, 其中 ρ 为液相末端发酵产物质量浓度.) 分析, 在反应器启动后, 活性污泥的菌群结构经历了一个演替过程. 反应器运行 1 d 后即出现了明显的发酵现象, 在液相末端发酵产物中, 除乙醇含量较小,

表 1 模型反应器启动不同阶段的液相末端发酵产物检测结果

Table1 Liquid end products in model reactor

t/ d	ρ/ mg L ⁻¹						w(乙醇 + 乙酸)/ % [*]
	乙醇	乙酸	丙酸	丁酸	戊酸	总量	
1	58.82	433.99	603.42	278.51	149.70	1 524.45	32.33
10	474.44	507.42	204.96	720.27	208.10	2 057.53	47.72
20	312.53	1 068.30	453.35	701.07	99.59	2 634.84	52.41
30	179.17	580.36	356.35	1 197.51	132.64	2 446.02	31.05
40	505.63	630.39	87.99	408.07	79.98	1 712.06	66.35
43	653.80	779.56	91.83	182.50	21.63	1 700.51	84.29

* 产酸相反应器的启动以乙醇型发酵为目的, 乙醇型发酵的目的产物为乙醇和乙酸.

包括乙酸、丙酸、丁酸和戊酸在内的各种低分子有机酸含量均较大, 其中的丙酸含量尤其显著, 呈现典型的混合酸发酵。随着运行时间的延续, 作为乙醇型发酵目的产物的乙醇和乙酸, 在末端发酵产物总量中所占的比例迅速增加, 而丙酸和戊酸的含量则不断减少。运行到 20 d 时, 乙酸的含量上升到第一位, 乙醇和乙酸在液相末端发酵产物总量中的质量分数为 52 %。30 d 时丁酸的产率达到最高峰, 在末端发酵产物总量中其质量分数达 49 %, 说明丁酸型发酵菌群在前段污泥驯化中也得到了强化。在后续阶段运行中, 丁酸型发酵菌群在竞争中逐渐失去优势, 表现为丁酸产率迅速降低。运行进行到 40 d 时, 目的发酵产物乙醇和乙酸的质量分数上升到了 66 %, 驯化期结束时更是达到了 84 %, 说明产酸相反应器中的厌氧活性污泥完全建立了以乙醇型发酵菌群为优势的生态群落。

启动后的前 5 d, 反应器中的生物量有所减少 (图 2), 这是由于部分微生物不适应厌氧环境而被淘汰所致。随着运行时间的推移, 反应器中的生物量逐渐增加, 30 d 后基本稳定在 19.5 gVSS/L 的水平。根据驯化过程的 VSS/SS 与产气量的变化情况分析, 厌氧活性污泥的活性也同样经历了一个由递减到逐渐增加的变化过程。这些现象都证明, 种泥在接种到产酸相反应器之后的驯化过程中, 经历了一个从不适应到适应, 从适应到活性逐渐增强的演变历程。

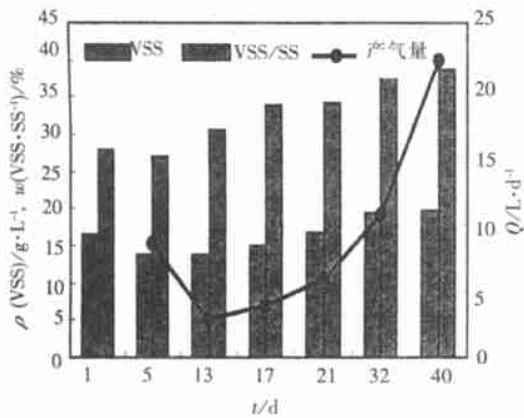


图 2 模型反应器污泥驯化期间生物量及产气量变化
Fig. 2 Biomass change in model reactor during start-up

图 3 是在污泥驯化过程中模型反应器对 COD 去除率的变化情况。在污泥驯化第一阶段结束时, COD 去除率达到 16.5 % 左右; 第二阶段开始后, COD 去除率一度下降到 4.0 %, 此时是丁

酸型发酵菌群最为活跃的时期, 液相末端发酵产物中的丁酸质量浓度达到峰值 1 197.51 mg/L (见表 1); 在驯化期结束时, 反应器对 COD 的去除率再度恢复到 15 %, 液相末端发酵产物中的乙醇和乙酸的质量之和占到发酵产物总质量的 84 %, 乙醇型发酵的优势种群最终形成。这一变化过程证明, 有机负荷的提高对反应器内污泥的微生物组成产生了显著影响, 不同微生物种群在环境条件变化时因竞争作用而此消彼长。不同优势菌群生理代谢特性的差异和代谢强度的不同, 导致了产酸相反应器对 COD 去除率的变化。

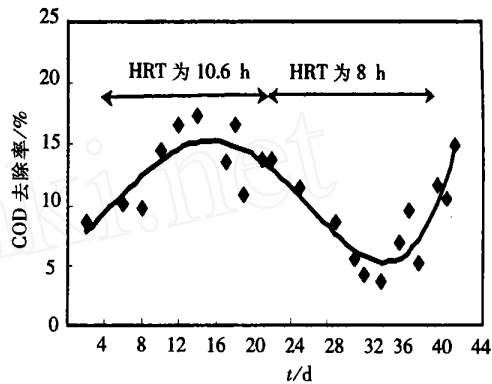


图 3 模型反应器在污泥驯化期间的 COD 去除率变化
Fig. 3 Changes in COD removal in model reactor during start-up

图 4 反映了污泥驯化期间模型反应器之进水和出水的 pH 变化情况。在污泥驯化的前 8 d, 进水的 pH 保持在 6.0 ~ 7.0, 而反应器出水的 pH 在 4 d 内迅速从启动时的 5.5 降到 4.5。之后, 尽管进水的 pH 在 4.5 ~ 7.0 频繁变化, HRT 也由 10.6 h 降到 8.0 h, 反应器出水的 pH 均维持在 4.5 左右, 说明此时的产酸相反应器具备了良好的酸碱缓冲性能。适宜的酸碱环境, 加速了乙醇型发酵

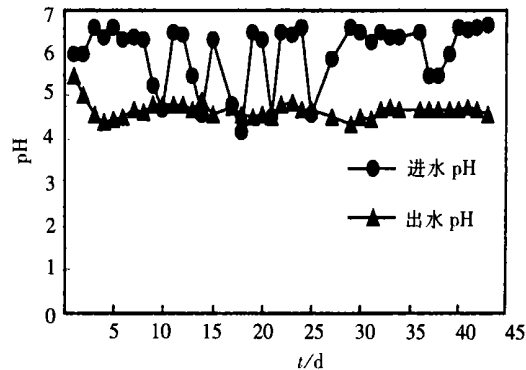


图 4 模型反应器在污泥驯化期间的进、出水 pH 变化
Fig. 4 Influent pH and effluent pH in model reactor during start-up

菌群在竞争中优势地位的建立. 到了污泥驯化后期,反应器的出水 pH 更加稳定,说明此时产酸反应器内已建立了生态稳定的微生物群落.

2.2 中试反应器的启动运行

通过模型反应器的小试研究,基本探明了产酸反应器的快速启动规律和乙醇型发酵菌群的驯化途径. 为了探索利用不同性质的污泥对产酸反应器快速启动的可能性,为实际工程的应用奠定基础,本研究在小试研究的基础上进行了中试规模的产酸反应器的快速启动实验.

中试反应器接种的污泥为经曝气培养的生活污水排放沟的底泥,接种量为 6.67 gVSS/L, VSS/SS 为 43%. 反应器启动后,由于活性污泥尤其是其中的兼性菌的代谢活性暂时保持着较高的水平,使反应器呈现出较高的 COD 去除率(图 5),但由于环境从好氧到无氧的剧烈变化,部分微生物因不适应而死亡,活性污泥的生物活性迅速下降,生物量在第 4 d 降至 6.4 gVSS/L, COD 去除率几乎为零. 经过 10 d 的驯化,兼性菌和厌氧菌的活性得到加强,反应器的 COD 去除率开始逐渐上升,运行 30 d 后,去除率上升到 22%,并在以后的运行中基本保持在这一水平,此时的生物量也增长到了 7.45 gVSS/L. 气相色谱分析结果表明,反应器运行到 30 d 时的液相末端发酵产物总量为 1 266.27 mg/L,其中作为乙醇型发酵目的产物的乙醇和乙酸在产物总量中的质量分数为 60.5%,底物酸化率 42.21%;运行到 48 d 时,液相末端产物的总量为 1 430.41 mg/L,乙醇和乙酸在液相末端发酵产物中的质量分数达到 80.6%,

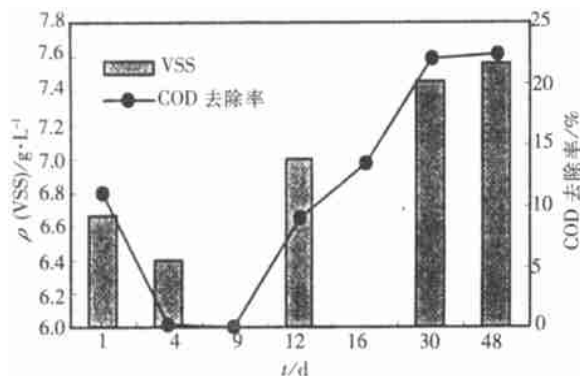


图 5 中试反应器污泥驯化期间的生物量及 COD 去除率变化

Fig. 5 Biomass and COD removal of pilot-scale reactor during start-up

底物酸化率 47.68%,完全实现了产酸相的乙醇型发酵,完成了厌氧活性污泥的乙醇型发酵菌群的驯

化.

图 6 是中试反应器启动到污泥驯化完成过程的进水和出水 pH 的变化情况. 在污泥驯化后期,反应器出水的 pH 稳定在 4.5 左右,与小试研究结果基本吻合,证明乙醇性发酵菌群在相似环境条件下有很好的再现性.

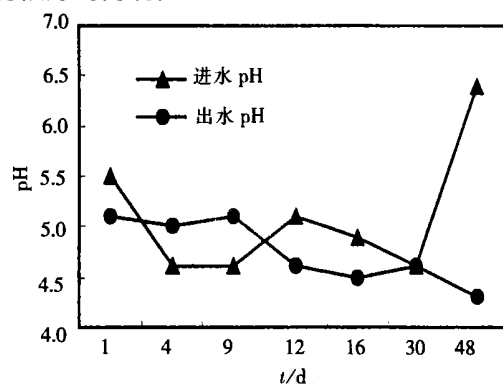


图 6 中试反应器污泥驯化期间的进、出水 pH 值变化
Fig. 6 Influent pH and effluent pH of pilot-scale reactor during start-up

3 结 论

(1) 厌氧活性污泥和好氧活性污泥均可用作产酸反应器的启动种泥,但必须保证种泥生物相的多样性和有足够数量的可驯化细菌种群.

(2) 较高的污泥接种量有利于反应器的快速启动. 研究证明,在污泥接种量 6.5 gVSS/L 时,产酸相可在 20 d 内快速启动成功, COD 去除率可达 15%左右,并可在 40 d 左右完成乙醇型发酵菌群的驯化.

(3) 反应器启动时采用较高的有机负荷更有利于污泥的快速驯化,进水有机物的适宜质量浓度为 3 000 ~ 5 000 gCOD/L, HRT 为 8 ~ 11 h.

(4) 乙醇型发酵菌群的驯化,可通过 pH 的调控实现,其发生范围为 4.0 ~ 4.6.

参考文献:

- [1] 李建政,任南琪,王爱杰,等. 二相厌氧生物工艺相分离优越性的探讨[J]. 哈尔滨建筑大学学报,1998,31(2): 50-55.
- [2] 李建政,任南琪. 产酸相最佳发酵类型工程控制对策[J]. 中国环境科学,1998,18(5):398-402.
- [3] REN Nanqi, WANG Baozhen, HUANG Juchang. Ethanol - type fermentation from carbohydrate in high rate acidogenic reactor[J]. Biotechnology and Bioengineering, 1997, 54(5): 428-433.

(编辑 杨 波)