

不同种泥对两相厌氧工艺快速启动的影响

施 悦,任南琪,刘春爽,章育铭,陈兆波

(哈尔滨工业大学 市政环境工程学院,哈尔滨 150090, E-mail: realshiyue@sohu.com)

摘 要: 采用接种普通好氧污泥和缺氧污泥处理中药难降解废水并进行小试试验,考察两种污泥对两相厌氧工艺快速启动的影响.结果表明:采用本中心开发的专利高效两相厌氧反应器,好氧污泥和缺氧污泥的启动几乎可以获得相同的启动速度,30 d 以内就可实现快速启动;好氧污泥启动承受的负荷更高,抗冲击负荷能力更强(产甲烷相反应器在容积负荷为 $7 \sim 9 \text{ kgCOD} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时,两相系统的总容积负荷为 $6 \sim 8 \text{ kgCOD} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时,去除率都在 90% 以上);扫描电镜照片表明好氧污泥启动的种群更丰富,生态结构更合理.建议处理高浓度难降解废水时以好氧污泥接种,既能够经济地实现快速启动又能在高负荷下稳定运行.

关键词: 快速启动;污泥接种;两相厌氧工艺;中药废水;高浓度有机废水

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 0367-6234(2007)08-1257-05

Effect of different seed sludge on the rapid start-up of two-phase anaerobic process

SHI Yue, REN Nan-qi, LI Chun-shuang, ZHANG Yuming, CHEN Zhao-bo

(School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China, E-mail: realshiyue@sohu.com)

Abstract: A laboratory-scale experiment was conducted fed with the wastewater from production of traditional Chinese medicine by seeding the anoxic and aerobic sludge. The experiments demonstrated that applying the patent and high-powered two-phase anaerobic reactors invented by our research center, almost the same speed of start-up could be achieved after seeding the anoxic and aerobic sludge. Rapid start-up can be realized within 30 days. The volume-loading rate which aerobic sludge start-up system can stand was higher than anoxic sludge start-up system. And the ability of resistance to the shock loading of aerobic sludge start-up system was higher, too. (The range of suitable volume-loading rate $7 \sim 9 \text{ kgCOD} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$ at methanogenic phase and $6 \sim 8 \text{ kgCOD} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$ at two anaerobic system, both COD removal were above 90%). Furthermore, from the scan electron microscope microorganism photos taken in two-phase anaerobic reactors, the richness of bacteria communities and suitable ecology structure of aerobic sludge start-up system were observed. Therefore it was suggested that aerobic sludge to seed reactors was more suitable to treat high strength refractory wastewater. In addition, it also could realize rapid start-up economically and stable running under high volume-loading rate.

Key words: rapid start-up; seed sludge; two-phase anaerobic process; wastewater from production of traditional Chinese medicine; high strength organic wastewater

收稿日期: 2005-11-15

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目(2002AA601310);
黑龙江省科技攻关计划重点项目(GA01C201-01).

作者简介: 施悦(1977—),女,博士,副研究员;
任南琪(1959—),男,博士,教授,博士生导师,长江学者特聘教授.

两相厌氧工艺已经在工业废水和生活污水处理系统中广泛应用了几十年,然而,由于厌氧菌增殖慢,适应环境能力差,反应器启动时间较长,一般要 8~12 周,有的甚至长达半年、一年以上^[1].可以说启动是整个工艺的限速阶段.该现象大大

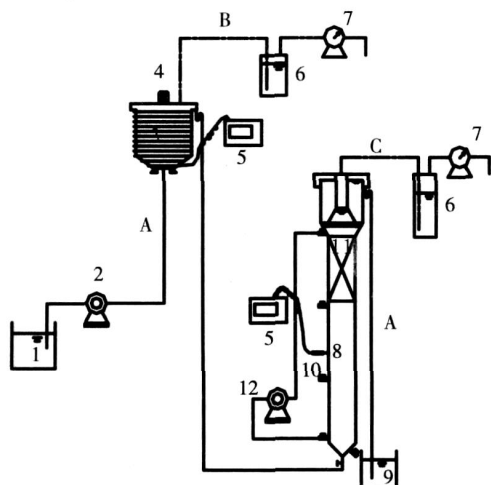
限制了这项技术在污水处理中的应用^[2].

启动时接种污泥的数量、活性和性质很大程度上影响着启动速度甚至反应器运行的成败. 国外的研究普遍认为接种厌氧颗粒污泥可以大大提高启动速度, 研究也主要放在了接种颗粒污泥与接种其他污泥的启动对比和颗粒污泥的形成条件、过程上^[2,3-6], 然而大批量接种厌氧颗粒污泥作为启动条件难以适应我国国情; 国内在不同种泥启动方面的研究非常少, 而且其结果也不尽相同^[7-9], 难以指导实践. 寻找经济实用的种泥、快速稳定的接种启动方法成为两相厌氧工艺在污水处理领域中广泛应用的关键. 本研究的目的是立足于我国污水处理系统现状, 通过对比试验找到可应用于实际工程的种泥.

1 试验材料和方法

1.1 试验装置

如图 1, 试验用的两相厌氧反应器是以有机玻璃制成: 产酸相反应器为连续流搅拌槽式 (CSTR: ZL 98 2 40801. 3), 有效容积 9. 13 L; 产甲烷相反应器为升流式厌氧污泥床式 + 厌氧生物滤池 (UASBAF), 顶部配有专利填料 (ZL 96 2 51960. X), 有效容积 40. 56 L.



1. 水箱; 2. 水泵; 3. 产酸相反应器 CSTR; 4. 搅拌机; 5. 温控仪; 6. 水封; 7. 气表; 8. 产甲烷相反应器 UASBAF; 9. 出水水箱; 10. 温控探头; 11. 专利填料; 12. 循环水泵

图 1 试验用两相厌氧反应器示意图

1.2 接种污泥

采用 3 种污泥混合接种: 哈尔滨制药总厂兼性厌氧污泥 (黑色), 哈尔滨中药二厂好氧污泥 (深棕色), 哈尔滨中药二厂产酸相厌氧污泥 (棕黄色), 两次接种污泥质量之比都为 1 1 0. 6, 产酸相接种污泥为有效容积的 2/5, 产甲烷相为有效容积的 2/3.

两次启动种泥不同. 第一次启动是将 3 种污泥直接混合并放置 1 d 接种 (黑灰色, 污泥混合后 $\rho(VSS) = 15. 76 \text{ g/L}$, $\rho(DO) = 0 \text{ mg/L}$), 这里简称为缺氧污泥启动, 这也是实验室和实际工程反应器接种污泥的一般方法. 第二次启动是将污泥分别进行曝气培养, 每天投入糖蜜、氮、磷等营养物质 ($m(COD) : m(N) : m(P) = 200 \sim 300 : 5 : 1$) 并弃去上清液, 7 d 后污泥由泥浆变为絮状, 颜色由黑灰变为棕黄, 显微镜观察好氧生物种群繁多, 即微生物基本转型为好氧微生物后, 将污泥混合装入反应器进行接种启动 (污泥混合后 $\rho(VSS) = 15. 32 \text{ g/L}$), 这里简称为好氧污泥启动.

1.3 底物

以高浓度难降解中药废水 (取自哈尔滨中药二厂) 作为原水来配制底物. 该中药废水浓度高 ($\rho(COD) = 20000 \text{ mg/L}$ 左右), 可生化性差 ($m(BOD) / m(COD) < 0. 2$), 是工业废水处理中难度较高的废水.

1.4 操作条件

两相反应器的温度控制在 35℃ 左右; 水力停留时间分别为 12 h 和 53. 4 h; 进水流量 $Q = 0. 76 \text{ L/h}$; 循环水泵流量 $Q = 12 \text{ L/h}$; 试验期间向产甲烷相反应器中添加 NaHCO_3 以调整碱度, 使其出水碱度尽量保持在 2000 mg/L (以 CaCO_3 计) 以上. 试验中设计提高进水 COD 的步骤见表 1.

表 1 设计提高进水 COD 的步骤

设计进水 COD ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	缺氧污泥启动 / d	好氧污泥启动 / d
3000	1 ~ 39	1 ~ 15
4000	40 ~ 48	16 ~ 28
6000	49 ~ 54	29 ~ 62
8000	55 ~ 61	63 ~ 81
10000	62 ~ 84	82 ~ 94
12000	85 ~ 102	95 ~ 102

1.5 分析项目和方法

采用国家环保局颁布的标准《水和废水检测分析方法》(第 3 版) 进行 COD、SS、VSS、pH 等指标的检测. 微生物相采用扫描电镜仪器 (SEM: S4700, 日本日立) 进行拍照分析.

2 不同接种污泥对两相厌氧反应器启动和运行的影响

2.1 COD 去除率

如图 2, 缺氧污泥启动第 26 d 进水 COD 为

3000 mg/L, COD 去除率达到 59.12%, 视为快速启动完成; 好氧污泥启动, 第 29 d 进水 COD 为 5500 mg/L, COD 去除率达到 60.92%, 视为快速启动完成. 启动完成后进一步提高负荷, 两种污泥启动的 COD 去除率都不断提升, 基本为 80% 左右. 不过好氧污泥启动在 65 ~ 77 d 由于负荷提升发生了酸化现象, 致使 COD 去除率一度下降至 61.59%, 故向进水中投加碳酸氢钠提高碱度, 第 80 d 以后恢复正常: COD 去除率提升至 86.1%, pH 恢复到 4.4 ~ 4.8. 在相对高的负荷运行条件下, 缺氧污泥启动在 80 d 以后运行崩溃; 好氧污泥启动仍然运行良好, COD 去除率在 90.79% ~ 94.53%.

两次启动的运行可以得出这样的结论:

- 1)以中药废水为底物,在本中心开发的专利高效两相厌氧反应器的两次启动运行中,以好氧污泥接种和以兼性厌氧污泥接种几乎可以获得相同的启动速度,30 d以内就可实现快速启动.比普通厌氧反应器的启动速度高 1~2 倍,比接种颗粒污泥的启动更经济.
- 2)容积负荷作为反应器的一级可控因子,对反应器的影响最大,不过当反应器运行异常时通过调整 pH、碱度等二级因子,一定范围内可以使反应器恢复正常运行.
- 3)兼性厌氧污泥比好氧污泥启动的反应器更难以承受高负荷运行,容易在高浓度、高负荷下崩溃.

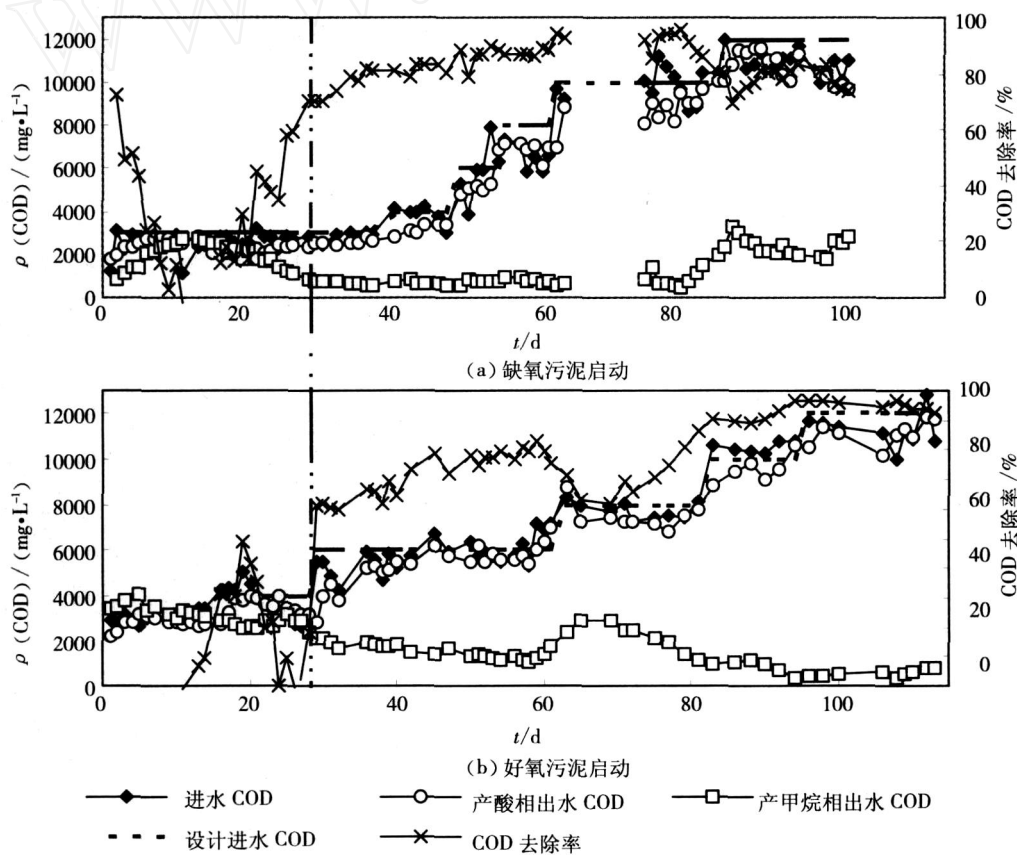


图 2 不同接种污泥启动的 COD 去除情况

(注:缺氧污泥启动中第 63 ~ 74 d 是由于试验仪器损坏而造成的数据缺失)

2.2 负荷

不同污泥启动稳定运行时的容积负荷对 COD 去除率的影响见图 3.

由于试验用废水是难于生物降解的中药废水,专利反应器 CSTIR 起到很大作用,保证了两相厌氧反应器的顺利启动及稳定运行:缺氧污泥启动 23 d VFA/COD 就达到了 63.65%, 而好氧污泥启动 23 d VFA/COD 达到了 88.89%, 大大提高了

废水的可生化性,将大分子物质转化为小分子物质,为产甲烷相提供最适底物.

缺氧污泥启动的产甲烷相负荷和两相系统总负荷对 COD 去除率呈曲线拟合 (Fig 3 (a), (b)), 好氧污泥启动呈线性拟合 (Fig 3 (c), (d)). 而两次启动的最适负荷却惊人的相似:产甲烷相为 $7 \text{ kgCOD} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 左右 (Fig 3 (a), (c)), 两相系统在 $6 \text{ kgCOD} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$ (Fig 3 (b),

(d)左右. 不过好氧污泥启动所适宜的负荷宽度更大, 产甲烷相在 $7 \sim 9 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ (Fig 3 (e)), 两相系统在 $6 \sim 8 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ (Fig 3 (b), (c)), 去除率都在 90%以上. 即好氧污泥启动的反应器的抗冲击负荷能力更强.

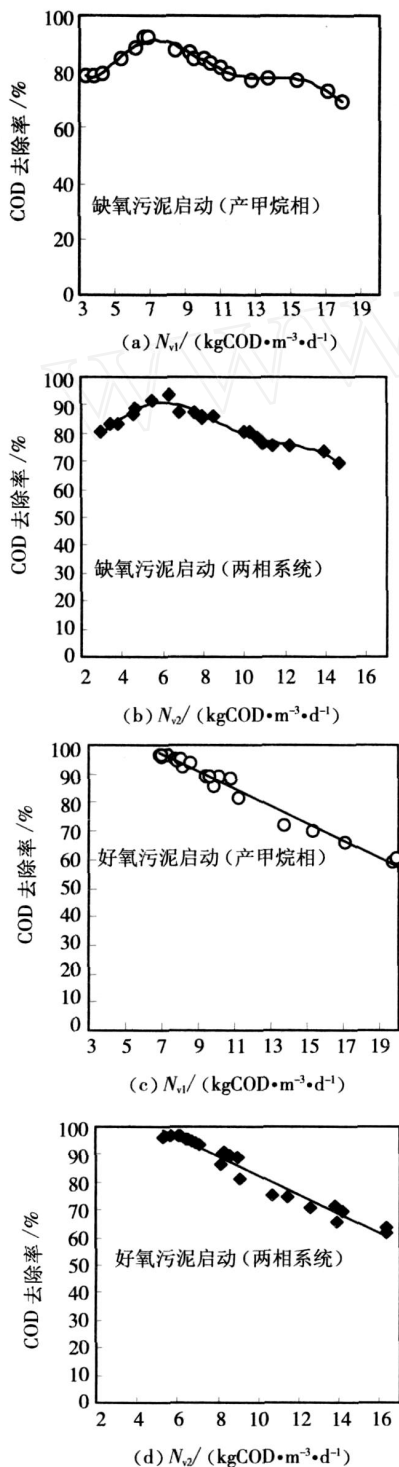
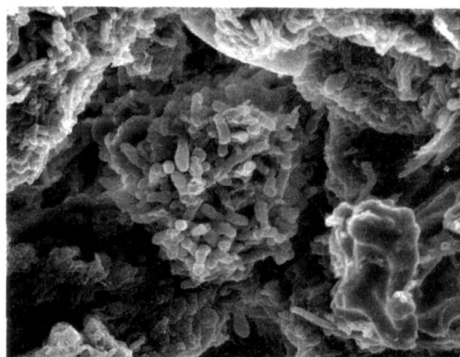


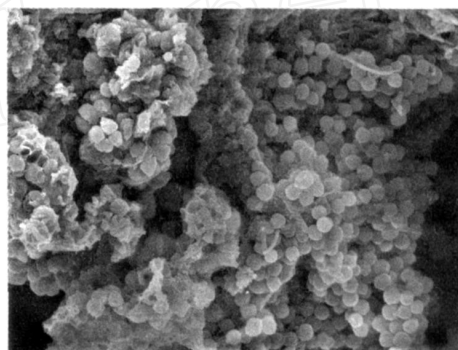
图 3 不同污泥启动时 COD 去除率与负荷的关系

2.3 微生物相

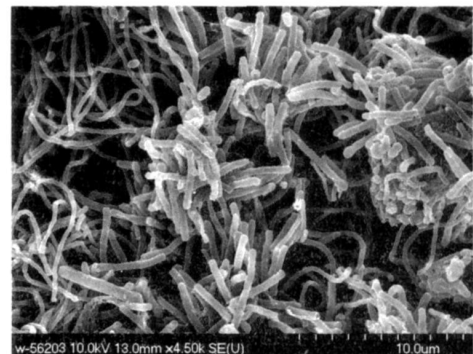
从两次启动的微生物扫描电镜照片 (Fig 4) 来看, 缺氧污泥启动的产酸相可能以短杆菌和芽



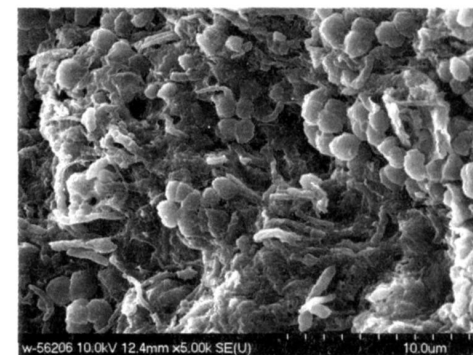
(a) 缺氧污泥启动: 产酸相 (放大倍数为 $5000 \times 25\%$)



(b) 缺氧污泥启动: 产甲烷相 (放大倍数为 $3000 \times 25\%$)



(c) 好氧污泥启动: 产酸相 (放大倍数为 $4500 \times 25\%$)



(d) 好氧污泥启动: 产甲烷相 (放大倍数为 $5000 \times 25\%$)

图 4 不同污泥启动两相厌氧反应器中的微生物相
 孢杆菌为主 (Fig 4 (a)), 产甲烷相填料区可能以产甲烷八叠球菌为主 (Fig 4 (b)); 好氧污泥启动的产酸相以长杆菌为主, 有少量短杆菌 (Fig 4 (c)), 产甲烷相填料区可能是产甲烷丝状菌黏附填料后, 产甲烷八叠球菌再附于其上 (Fig 4

(d)),生物相更加丰富。(分离鉴定工作正在继续)这样的优势菌群和生态结构使第二次启动有更强的适应高负荷的能力。

3 结 论

1)以难降解中药废水为底物,在本中心开发的专利高效两相厌氧反应器的启动运行中,好氧污泥和兼性厌氧污泥启动几乎可以获得相同的启动速度,30 d以内就可实现快速启动比普通厌氧反应器的启动速度高 1~2 倍,比接种颗粒污泥的启动更经济。

2)固定两相反应器的型式,用不同的污泥接种启动,反应器所达到的最高负荷不变;但接种好氧污泥抗冲击负荷能力更强。缺氧污泥比好氧污泥启动的反应器更难以承受高负荷运行,容易在高浓度、高负荷下崩溃。建议在处理高浓度废水应以好氧污泥接种,如此既可以实现快速启动又可以在高负荷下稳定运行。

3)缺氧污泥启动的产酸相以短杆菌和芽孢杆菌为主,产甲烷相填料区完全以产甲烷八叠球菌为主;好氧污泥启动产酸相以长杆菌为主,有少量短杆菌,产甲烷相填料区是产甲烷丝状菌黏附填料后,产甲烷八叠球菌再附于其上,表明好氧污泥启动的种群更丰富,生态结构更合理,因此,有更强的适应高负荷的能力。

4)高效专利产酸反应器 CSTR 为产甲烷相提供了最适底物,保证了两相厌氧反应器的顺利启动及稳定运行。

参考文献:

- [1] 周律. 厌氧生物反应器的启动及其影响因素 [J]. 工业水处理, 1996, 16(5): 1 - 3
- [2] L U Yu Mechanisms and models for anaerobic granulation in upflow anaerobic sludge blanket reactor[J]. Water Research, 2003, 37(3): 661 - 673
- [3] KAZUAKI S Effective start - up of the mesophilic UASB reactor by seeding mesophilically - grown granular sludge[J]. Water Science and Technology, 1997, 36(6 - 7): 391 - 398
- [4] MORVA IL. Kinetic basis of a new start - up method to ensure the rapid granulation of anaerobic sludge [J]. Water Science and Technology, 1992, 25(7): 113 - 122
- [5] GOODW N J A S Pre - granulated seeds for UASB reactors, How necessary are they [J]. Bioresource Technology, 1992, 41(1): 71 - 79.
- [6] BR ITZ T J. Development of a method to enhance granulation in a laboratory batch system [J]. Water SA, 2002, 28(1): 49 - 54
- [7] 吴晓磊. 好氧及厌氧固定化微生物处理能力的比较研究 [J]. 环境科学, 1993, 15(4): 50 - 52
- [8] 叶芬霞,徐向阳. 载体好氧预挂膜处理对厌氧附着膨胀床反应器的影响 [J]. 中国环境科学, 1995, 15(1): 5 - 9
- [9] 何强,龙腾锐,林刚. 预挂膜加速厌氧生物膜反应器启动的试验研究 [J]. 给水排水, 2001, 27(5): 27 - 29.

(编辑 刘 彤)