

文章编号 1000-5013(2001)04-0432-05

两相 UASB 反应器相分离

樊国锋¹ 赵颖¹ 王萍^④(¹ 华侨大学环境保护设计研究所, 泉州 362011; ^④ 安阳市环境监测中心, 安阳 455000)

摘要 以蔗糖为基质, 采用连续进水的方式, 研究两相 UASB 反应器的相分离. 结果表明, 控制酸化相 pH 值为 5.50 ~ 6.00, 可得到满意的相分离效果. 运行 80 d 后, 酸化相颗粒污泥直径为 2 ~ 8 mm, 污泥浓度为 73.61 kg m⁻³, COD_{去除} 的产气率 740.0 mL g⁻¹, COD 容积负荷为 116.06 kg (m³ d)⁻¹; 产甲烷相颗粒污泥直径为 1 ~ 3 mm, 污泥浓度为 53.73 kg m⁻³, COD_{去除} 的产气率 614.4 mL g⁻¹, COD 的容积负荷为 19.91 kg (m³ d)⁻¹. 两相 UASB 反应器的 COD 总去除率达 93.3%, COD 容积负荷为 20.82 kg (m³ d)⁻¹.

关键词 相分离, UASB, 颗粒污泥, 厌氧

中图分类号 TQ 028.4 : X 79

文献标识码 A

文献 [1 ~ 3] 通过对产酸菌和产甲烷菌生化特点的分析, 研究开发了两相厌氧消化工艺. 建造两个独立控制的反应器, 分别培养产酸菌和产甲烷菌, 提供各自最佳的生长条件, 以利于发挥它们的活性, 提高处理效果, 增加运行稳定性. 两相 UASB 工艺的基本指导思想是, 将相分离的特点与高效反应器的优势相结合^[4]. 两相 UASB 反应器相分离的意义主要表现在两个方面. 一方面, 酸化相中的产酸颗粒污泥有利于提高反应器的酸化速率, 优化酸化相的产物分布. 另一方面, 产甲烷相中的颗粒污泥可以提高沼气中甲烷的产量和质量, 保证整个系统运行的稳定性和处理能力. 本文以 pH 为指标, 研究两相 UASB 反应器的相分离过程. 通过调整反应器中的 pH 值, 分别为产酸菌和产甲烷菌提供最佳的生产条件, 实现反应器的相分离. 以 pH 值为控制指标, 具有利于监控的特点. 对两相 UASB 反应器相分离过程的研究已有报道, 但大多以基质在酸化相中的负荷或水力停留时间为指标. 而以 pH 为指标的研究, 还未见报道.

1 实验材料

1.1 实验设备

实验用 UASB 反应器均为有机玻璃制成. 酸化相体积为 7.08 L, 其中反应区 4.57 L, 高 93 cm, 内径 7.9 cm, 三相分离区为 2.59 L, 沿反应器高度设 5 个取样口. 产甲烷相体积为 28.75 L, 其中反应区 20.91 L, 高 176 cm, 内径 12.3 cm, 三相分离区为 7.84 L, 沿反应器高度设 9 个取样口. 两反应器置于同一恒温箱内, 温度控制在 (35 ± 0.5) °C. 实验装置及工艺流程,

如图1所示。

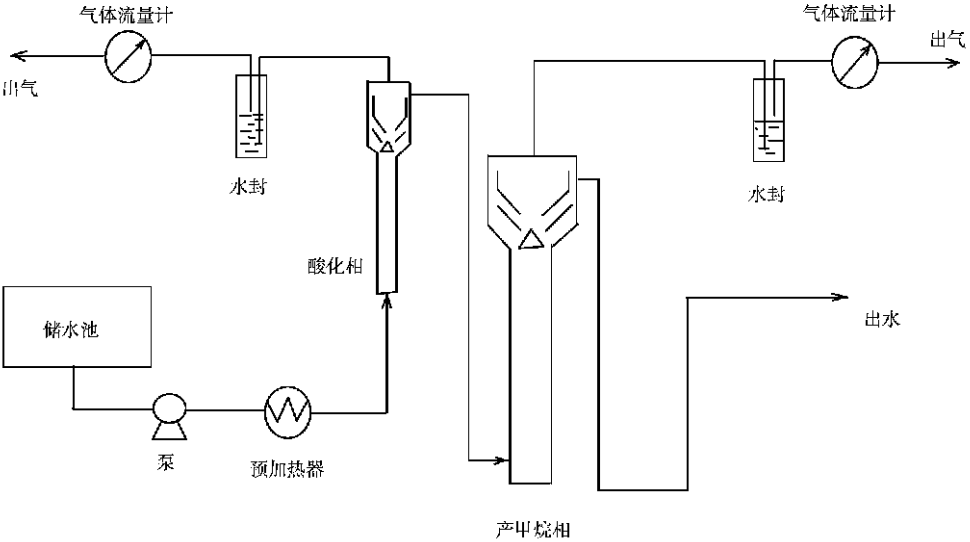


图1 两相 UASB 反应器工艺流程图

1.2 实验基质

以蔗糖为基质, 根据需要配成不同的 COD 值. 氮以尿素的形式加入, 磷以 KH_2PO_4 的形式加入, 且使 $\text{COD:N:P} = 200:5:1$ ^[6]. 加入的微量元素组成 (mg L^{-1}) 为^[6] $400 \text{ MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $150 \text{ CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 300 KCl , $2.0 \text{ FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $0.17 \text{ CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0.07 ZnCl_2 , $0.06 \text{ H}_2\text{BO}_3$, $0.5 \text{ MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $0.04 \text{ NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $0.027 \text{ CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $0.025 \text{ NaMoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

1.3 接种污泥

实验用的接种污泥为实验室内放置了近240 d 的厌氧污泥.

2 结果与讨论

2.1 反应器的启动

先使恒温箱缓慢升温, 升幅小于 $1 \text{ } ^\circ\text{C h}^{-1}$, 待恒定到 $35 \text{ } ^\circ\text{C}$ 时开始进水并计时. 由于接种污泥的沉降性能较好, 实验开始时采用了连续进水的方式, 使反应器保持较高的负荷, 以促进颗粒污泥的形成^[7]. 运行初期, 进水 COD 值维持在 $1\,700 \sim 2\,800 \text{ mg L}^{-1}$ 之间. 尽管污泥放置了 240 d, 仍然具有较好的活性, COD 总去除率达 $50\% \sim 60\%$. 随着反应器 COD 去除率和产气量的提高, 逐渐增大进水 COD 值和进水量, 使反应器始终保持较高的有机负荷. 反应器运行过程的数据, 如表1、2所示. 表中 COD_{in} , COD_{out} 分别为进水和出水 COD 值, η 为 COD 去除率, M 为 COD 的容积负荷, m 为产气量, n 为去除 COD 的产气率, t 为时间, HRT 为水力停留时间. 计算 COD 的容积负荷时, 体积按反应区体积, 不包括三相分离区部分^[8].

2.2 反应器相分离过程

通过调整进水 pH 值, 控制酸化相中的 pH 值. 反应器运行前期, 由于酸化相维持了较高的 pH 值 ($6.7 \sim 7.2$), 适合产甲烷菌的生长. 这样致使酸化相产气量较大, COD 去除率达 40% ^①

60%, 两相反应器实际表现为二级反应器. 逐步降低酸化相 pH 值, 当 pH 值不低于6. 0时, 酸化相产气量、COD 去除率逐渐减小, 在第68 d, 69 d 时, pH 值降到5. 5, 产气量从104. 11 L d⁻¹

表1 酸化相的运行参数

<i>t</i> /d	COD _{in} / g L ⁻¹	COD _{out} / g L ⁻¹	η / (%)	pH	HRT/ h	M / kg (m ³ d) ⁻¹	m / L d ⁻¹	n / L g ⁻¹
1 ~ 10	2. 209	1. 449	34. 40	7. 00	4. 08	20. 13	14. 78	0. 467 0
11 ~ 20	2. 844	1. 563	45. 04	6. 66	4. 43	23. 87	33. 30	0. 677 0
21 ~ 30	3. 097	1. 788	42. 59	6. 63	3. 12	36. 91	45. 58	0. 634 5
31 ~ 40	4. 435	2. 820	36. 41	6. 13	3. 29	50. 12	53. 86	0. 645 8
41 ~ 50	6. 811	4. 767	30. 01	6. 43	3. 37	75. 14	79. 07	0. 767 2
51 ~ 60	7. 488	4. 896	34. 62	6. 72	3. 00	92. 80	103. 10	0. 702 2
61 ~ 70	7. 642	5. 036	34. 10	6. 07	3. 07	92. 55	112. 47	0. 779 8
71 ~ 80	7. 306	5. 657	22. 57	5. 85	2. 69	100. 98	73. 65	0. 707 1

表2 产甲烷相的运行参数

<i>t</i> /d	COD _{in} / g L ⁻¹	COD _{out} / g L ⁻¹	η / (%)	pH	HRT/ h	M / kg (m ³ d) ⁻¹	m / L d ⁻¹	n / L g ⁻¹
1 ~ 10	1. 449	0. 873 9	39. 69	7. 09	16. 58	2. 88	12. 85	0. 536 9
11 ~ 20	1. 563	0. 575 6	63. 17	7. 07	17. 98	2. 87	19. 47	0. 513 9
21 ~ 30	1. 778	0. 757 8	57. 38	7. 12	12. 65	4. 64	34. 52	0. 620 3
31 ~ 40	2. 820	0. 899 2	68. 11	6. 98	13. 36	6. 97	60. 65	0. 610 5
41 ~ 50	4. 767	1. 082 0	77. 30	7. 40	13. 70	11. 48	101. 32	0. 545 9
51 ~ 60	4. 896	0. 616 8	87. 40	7. 59	12. 20	13. 24	133. 50	0. 552 5
61 ~ 70	5. 036	0. 580 8	88. 47	7. 43	12. 48	13. 32	138. 35	0. 561 6
71 ~ 80	5. 657	0. 556 8	90. 16	7. 37	10. 90	17. 13	201. 95	0. 625 5

降到59. 35 L d⁻¹, COD 去除率从43. 79%降为28. 33%. 整个系统的 COD 去除率几乎不变. 运行80 d 后, 两相 UASB 反应器取得了较好的相分离效果, 结束运行. 此时, 反应器的有关运行参数, 如表3, 4所示. 表中, $\eta_{\text{酸}}$ 为酸化率, v 为甲烷的体积分数.

表3 运行结束时酸化相和产甲烷相的运行参数

COD _{in} / g L ⁻¹	COD _{out} / g L ⁻¹	pH	HRT/ h	M / kg (m ³ d) ⁻¹	m / L d ⁻¹	n / L g ⁻¹	v	η / (%)	$\eta_{\text{酸}}$ / (%)
7. 336	5. 763	5. 80	2. 35	116. 06	84. 16	0. 740 0	0. 165 3	21. 44	81. 63

表4 运行结束时产甲烷相的运行参数

COD _{in} / g L ⁻¹	COD _{out} / g L ⁻¹	pH	HRT/ h	M / kg (m ³ d) ⁻¹	m / L d ⁻¹	n / L g ⁻¹	v	η / (%)
5. 763	0. 489	7. 20	9. 55	19. 91	234. 10	0. 614 4	0. 740 9	91. 51

2. 3 颗粒污泥特性及分布

运行结束后, 观察反应器中的厌氧颗粒污泥. 可见, 酸化相颗粒污泥为不规则球形, 直径一般为2. 0 ~ 8. 0 mm, 外裹一层白色薄膜, 内为黑色. 产甲烷相的颗粒污泥为亮黑色, 直径1. 0 ~ 3. 0 mm, 呈鹅卵形. 据文献 [9]报道, 实验室内培养120 d 的两相 UASB 反应器中, 酸化相污泥为鹅卵形, 粒径一般在0. 5 ~ 4. 0 mm 之间, 无光泽, 内为核红褐色. 产甲烷相污泥与其相似, 只是粒径稍小, 在0. 5 ~ 2. 0 mm 之间, 表面呈灰色, 内为深褐色, 其粒径较本文的结果小. 酸化

相、产甲烷相颗粒污泥浓度(C)随反应器高度(H)的分布, 如图2所示. 图中酸化相进 COD

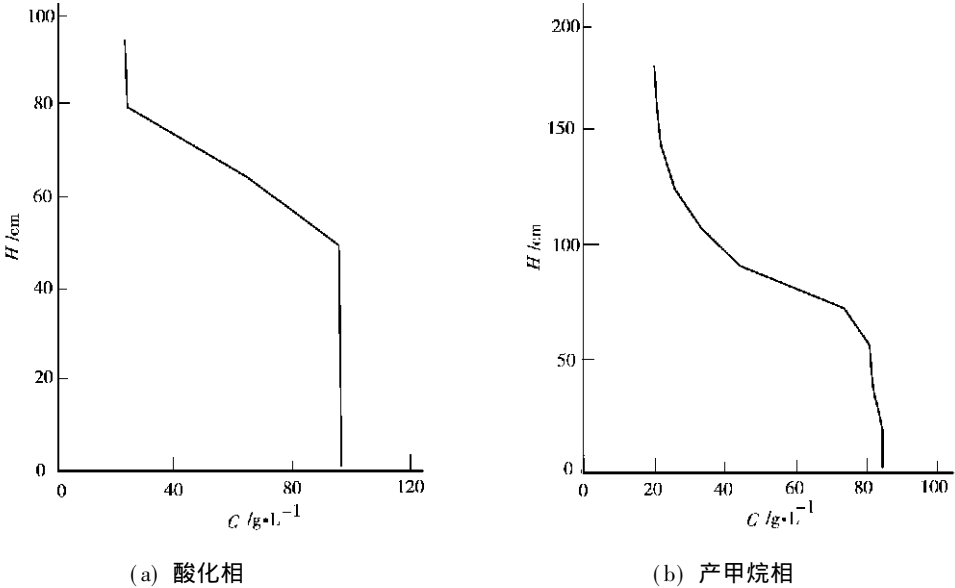


图2 污泥浓度分布图

值为8 000 mg L⁻¹, HRT 为4.7 h, 产气量为77.32 L d⁻¹产甲烷相进 COD 值为5 782 mg L⁻¹, HRT 为19.2 h, 产气量为131.90 L d⁻¹. 反应器的下部均形成了明显的污泥床. 酸化相污泥浓度为73.61 kg m⁻³, 混合液挥发性悬浮固体与混合液悬浮固体的比值(k)为0.85; 产甲烷相污泥浓度为53.73 kg m⁻³, k 值为0.76.

3 结束语

(1) 两相 UASB 反应器二次启动容易. 启动初期, 进水 COD 值为1 700 ~ 2 800 mg L⁻¹ 时, COD 去除率为50% ~ 60%, 可采用连续进水方式和较大的水力负荷. (2) 通过控制酸化相 pH 值, 可使两相 UASB 反应器实现相分离. 当酸化相 pH 值为5.5 ~ 6.0时, 可取得满意的相分离效果, 酸化相内基质酸化率可达81.63%. (3) 两相 UASB 反应器可承受较大的负荷. 在酸化相负荷为116.06 kg (m³ d)⁻¹, 两相总负荷为20.82 kg (m³ d)⁻¹时, 未见有污泥冲出. 此时, 两相 UASB 反应器 COD 总去除率达93.3%. 以 pH 为控制指标来实现两相 UASB 反应器的相分离, 具有操作简单、易于控制的优点, 可方便地应用于工程实践中.

参 考 文 献

1 Ghosh S, Kluss D. Two-phase anaerobic digestion[J]. Process Biochem. , 1978, 13(4) : 15 ~ 24

2 Ghosh S. Kinetics of acid-phase fermentation in anaerobic digestion[J]. Biotech. Bioeng. , 1981, 23(11) : 301 ~ 313

3 Ghosh S. Two-phase anaerobic digestion of high-metal-content municipal-industrial sludge[J]. Biomass. , 1986, 10(2) : 97 ~ 107

4 竺建荣. 二相 UASB 工艺微生物学特性的研究[D]: [学位论文]. 北京: 清华大学生物工程系, 1990. 1 ~ 10

5 申立贤. 高浓度有机废水厌氧处理技术[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1991. 51 ~ 52

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

- 6 Harada H, Uemura S, Momonoi K. Interaction between sulfate-reducing bacteria and methane-producing bacteria in UASB reactors fed with low strength wastes containing different levels of sulfate[J]. Wat. Res., 1994, 28(2): 355 ~ 367
- 7 李晓岩, 邢永杰, 刘安波等. 常温中试升流式厌氧污泥层反应器污泥颗粒化过程研究[J]. 环境科学, 1990, 11(6): 22 ~ 25
- 8 Herbert H P F, Chui H K. Maximum COD loading capacity in UASB reactors at 37 [J]. J. Envir. Engin., 1993, 119: 103 ~ 119
- 9 陈坚, 刘晓梅, 吴敬等. 二相 UASB 反应器中产酸颗粒污泥和产甲烷颗粒污泥的物理性质和化学成分[J]. 中国沼气, 1993, 11(2): 8 ~ 12

Phase Separation of Two-Phase UASB Reactor

Fan Guofeng¹ Zhuo Ying¹ Wang Ping^④

(¹ Inst. of Environ. Protect. & Design, Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou;

^④ Municipal Center of Environ. Monitor., 455000, An'yang)

Abstract With sucrose as substrate, the phase separation of two-phase UASB reactor was studied by adopting the way of continuous water intake. As shown by the result, satisfactory effect of phase separation can be obtained by controlling phase of acidification to be at pH 5.50 ~ 6.60. After operating for 80 days, the phase of acidification revealed a diameter of granular sludge up to 2 ~ 8 mm, a sludge concentration of 73.61 kg m^{-3} , a gas-producing rate of $740.0 \text{ mL g}^{-3} \text{ COD}_{\text{removed}}$, and a COD volume load up to $116.06 \text{ kg (m}^3 \text{ d)}^{-1}$; while the phase of methanogenesis revealed a diameter of granular sludge up to 1 ~ 3 mm, a sludge concentration of 53.73 kg m^{-3} , a gas-producing rate of $614.4 \text{ mL g}^{-1} \text{ COD}_{\text{removed}}$, and a COD volume load of $19.91 \text{ kg (m}^3 \text{ d)}^{-1}$. Two-phase UASB reactor revealed a total COD removal rate up to 93.30% and a volume load of $20.82 \text{ kg (m}^3 \text{ d)}^{-1}$.

Keywords phase separation, UASB, granular sludge, anaerobic