

高温 ASBR 处理水热改性污泥的 H₂ 特性

欧阳二明¹, 王伟^{2*}

(1. 南昌大学建筑工程学院, 南昌 330031; 2. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要: 采用高温 ASBR 处理水热改性污泥. 结果表明, 高温 ASBR 处理水热改性污泥的有机负荷 (COD) 由 7.762 kg/(m³·d) 提升到 13.106 kg/(m³·d) 后, 会导致反应器内 VFA 的积累, pH 和产气量的下降, 反应器出现“酸化”现象. 这种酸化现象属可恢复性酸化. 系统恢复后, ASBR 的有机负荷 (COD) 能达到 10 kg/(m³·d). 高温 ASBR 在有机负荷 (COD) 为 2.523、4.196、7.762、10.091 kg/(m³·d) 时的产气率 (CH₄/COD_{投入}) 分别为 250、247、219、187 mL. 高温 ASBR 的有机负荷 OLR 与产甲烷速率 MPR 和 COD 产气率之间都呈现良好的线性关系, 随着 OLR 的增加, 产甲烷速率增大, COD 产气率减少.

关键词: 水热改性污泥; 厌氧序批式反应器; 酸化; 有机负荷

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2010)10-2405-06

Characteristics of Thermophilic ASBR Treating Thermal-hydrolyzed Sewage Sludge

OUYANG Er-ming¹, WANG Wei²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Nanchang University, Nanchang 330031, China; 2. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The characteristics of thermophilic anaerobic sequencing batch reactor (ASBR) treating thermal-hydrolyzed sewage sludge were investigated. The results showed that increasing the OLR_{COD} of the thermophilic ASBR treating thermal-hydrolyzed sewage sludge from 7.762 kg/(m³·d) to 13.106 kg/(m³·d) lead to the “acidification” of the reactor with the accumulation of the volatile fatty acid (VFA) and the drop of the pH and gas production. This acidification is recoverability. The OLR_{COD} of the thermophilic ASBR treating thermal-hydrolyzed sewage sludge can reach to 10 kg/(m³·d) after the system was recovered. Under the OLR_{COD} of 2.523, 4.196, 7.762 and 10.091 kg/(m³·d), the methane yield (CH₄/COD_{input}) of thermophilic ASBR were 250, 247, 219 and 187 mL respectively. There are significant linear relationship among OLR and MPR, the methane yield. With the increase of the OLR, the methane production rate increased while the methane yield reduced.

Key words: thermal-hydrolyzed sewage sludge; anaerobic sequencing batch reactor (ASBR); acidification; organic loading rate (OLR)

厌氧序批式反应器 (ASBR) 能够实现 HRT (水力停留时间) 与 SRT (固体停留时间)、MCRT (微生物平均停留时间) 的分离^[1-3], 从而高效地处理含高悬浮固体的废水^[4-6]. 热水解 (thermal hydrolysis) 能改善污泥的固液分离性能和厌氧消化性能^[7-9], 是一种有效的预处理手段. 污泥的“热水解-厌氧消化”联合工艺逐步得到重视和应用^[10-12]. 本试验采用高温 ASBR 处理热水解污泥, 在运用梯度升温法成功实现高温 ASBR 较快启动的基础上^[13], 采用逐步提高反应器有机负荷的方法, 考察高温 ASBR 处理水热改性污泥的极限负荷, 研究有机酸的积累对高温 ASBR 反应器的酸化影响及其解决办法.

1 材料与方法

1.1 试验装置

本试验使用的 ASBR 厌氧消化试验装置采用内径为 15 cm、高为 32.5 cm 的有机玻璃制成. ASBR

反应器总容积为 5 L, 其中有效处理容积为 4 L, 另外上部的 1 L 作为气室用于储存消化气. 反应器外壁包裹加热带, 通过温度控制仪调控反应器内部温度. 采用电动、器进行、, 运用有机玻璃套管形成水封来保证、杆与反应器连接处的密闭性. 利用湿式流量计实时监测反应器的产气量.

1.2 试验污泥性质

试验所用污泥为某污水处理厂的混合剩余污泥. 原污泥经 6 号筛 (筛孔 3.2 mm × 3.2 mm) 过滤后进行热水解预处理, 热水解温度和时间分别为 170℃、30 min. 热水解污泥储存在冷柜中 (3℃). 向高温 ASBR 反应器进泥前先将热水解污泥加热到

收稿日期: 2009-12-19; 修订日期: 2010-01-21

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2008ZX07313-004); 江西省科技支撑计划项目 (2009AE01400)

作者简介: 欧阳二明 (1976~), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为污泥的处理与处置技术, E-mail: oyem02@mails.tsinghua.edu.cn

* 通讯联系人, E-mail: solid@tsinghua.edu.cn

53℃. 水热改性污泥的性质如表 1 所示,其中水热改性污泥的 SCOD/TCOD 为 0.40~0.43. ASBR 反应器酸化后恢复阶段水热改性污泥(反应器进泥)的性质如表 2 所示,其中水热改性污泥的 SCOD/TCOD 为 0.40.

表 1 水热改性污泥的性质

Table 1 Characteristics of the thermal-hydrolyzed sewage sludge			
参数	数值		
HRT /d	5	5	5
OLR _{TCOD} /kg·(m ³ ·d) ⁻¹	4.196	7.762	13.106
pH	5.37	5.84	6.04
碱度 /mg·L ⁻¹	1 033	1 402	2 333
TS /g·L ⁻¹	23.032	41.196	82.792
VS /g·L ⁻¹	16.852	28.072	53.264
SS /g·L ⁻¹	13.176	33.036	66.568
VSS /g·L ⁻¹	8.536	17.968	39.008
TCOD /g·L ⁻¹	20.979	38.809	65.529
SCOD /g·L ⁻¹	9.074	15.524	25.977
VFA /g·L ⁻¹	2 678	3 876	5 432
SCOD/TCOD	0.43	0.40	0.40

表 2 高温 ASBR 酸化后恢复阶段进泥的性质

Table 2 Characteristics of the thermal-hydrolyzed sewage sludge after acidification			
参数	平均值	参数	平均值
pH	6.12	VSS /g·L ⁻¹	30.036
碱度 /mg·L ⁻¹	1 796	TCOD /g·L ⁻¹	50.457
TS /g·L ⁻¹	63.75	SCOD /g·L ⁻¹	20.002
VS /g·L ⁻¹	41.013	VFA /g·L ⁻¹	4 180
SS /g·L ⁻¹	51.257	SCOD/TCOD	0.40

1.3 试验方法

ASBR 的一个序批式运转周期为 24 h,其中包括进泥 30 min,反应器 20 h,沉降 3 h,排泥 30 min. 控制 ASBR 的、频率为 10 min/h.

保持高温 ASBR 反应器的 HRT 为 5 d,反应器每天进泥 800 mL,采用进泥量不变,提高进泥浓度的方法分三阶段逐步提高反应器的有机负荷. 三阶段的平均容积负荷 OLR_{cod} 分别为 4.196、7.762 和 13.106 kg/(m³·d). 高温 ASBR 反应器酸化后,采用停止进料的方式使反应器逐渐恢复稳定,随后反应器分别在 2.523 kg/(m³·d)和 10.091 kg/(m³·d)的有机负荷条件下稳定运行.

1.4 分析方法

pH 采用 Orion 868 型 pH 测定仪测定;碱度采用 ZDJ-4A 型自动电位滴定仪测定;总固体(TS)、挥发性固体(VS)、悬浮固体(SS)、挥发性悬浮固体(VSS)采用称重法测定^[14];COD 采用标准重铬酸钾法测定^[14]. 有机酸采用 SQ-206 型气相色谱仪(FID

检测器)测定;沼气成分采用 SQ-206 型气相色谱仪(TCD 检测器)测定.

2 结果与讨论

2.1 气体产量

图 1 表示出了高温 ASBR 反应器在不同有机负荷条件下日产气量的变化. 由图 1 可知,在有机负荷(以 COD 计,下同)为 4.196 kg/(m³·d)的情况下,高温 ASBR 的日产气量变化不大,日产气量在 5.32~6.57 L/d 之间,平均值为 5.995 L/d,平均甲烷含量为 69.60%.

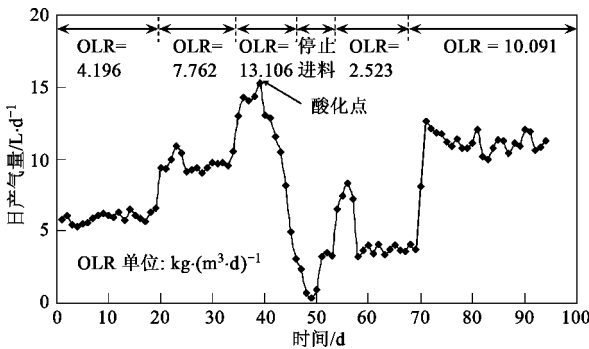


图 1 高温 ASBR 的日产气量

Fig. 1 Daily gas production of the thermophilic ASBR

第 20 d,在保持 HRT = 5 d 的情况下,通过提高进料浓度使高温 ASBR 的有机负荷提高到 7.763 kg/(m³·d),当天,随着进料浓度的增加,反应器的日产气量就增大,没有出现滞后现象,而且此后的日产气量依然能保持稳定(图 1),高温 ASBR 的日产气量在 9.00~10.92 L/d,平均值为 9.688 L/d. 高温 ASBR 反应器在此有机负荷条件下能保持稳态运行,没有受到有机负荷冲突的影响. 在此条件下,高温反应器的平均甲烷含量为 70.30%.

2.2 高温 ASBR 反应器的酸化与恢复

为了进一步研究高温 ASBR 在高有机负荷冲击条件下的性能,从第 35 d 开始,在保持 HRT = 5 d 的情况下,再进一步提高进泥的浓度,使反应器的有机负荷提高到 13.106 kg/(m³·d). 由图 1 可知,在有机负荷提高后,高温 ASBR 反应器的日产气量由第 34 d 的 10.54 L/d 提高到 12.96 L/d,此后第 36、37 和 38 d 分别为 14.23、14.03 和 14.34 L/d,第 39 d 的日产气量进一步提高到 15.28 L/d,但此后高温 ASBR 的日产气量直线下降,到第 46 d 的日产气量降低到 3.07 L/d,期间的日产气量平均每天下降 1.744 L.

图 2 为高温 ASBR 出泥中的 VFA 变化情况. 可以发现,在有机负荷为 $4.196 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时高温反应器出泥的 VFA 在 $550 \sim 700 \text{ mg/L}$ 之间,当有机负荷提高到 $7.763 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 后,高温反应器出泥的 VFA 有所增加,在 $900 \sim 1110 \text{ mg/L}$ 之间,但反应器运行平稳,没有受到冲击.而在反应器的有机负荷提高到 $13.106 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 后,高温 ASBR 反应器出泥的 VFA 立刻增加到 2689 mg/L ,并对反应器的性能造成影响:反应器的产气量和 pH 值同时下降,反应器发生酸化现象.随后由于高温反应器难以适应高有机负荷的冲击,反应器的 VFA 进一步积累,最高值达到 5554 mg/L .

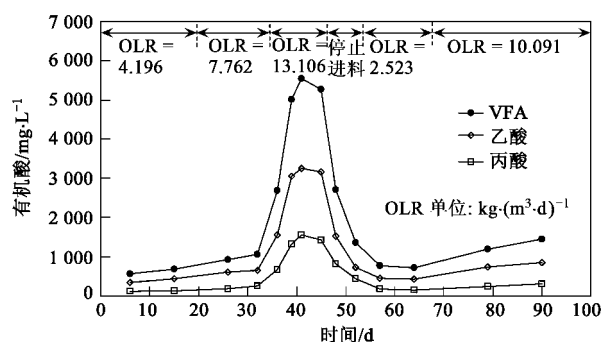


图 2 高温 ASBR、器出泥的有机酸

Fig. 2 VFA profiles in outflow

从第 47 d 开始,为消除 VFA 积累对反应器性能造成的影响,对高温 ASBR 采用了人工干预措施:暂时停止对反应器进料 6 d,但不改变反应器的 pH 值和碱度采取人为干预措施.可以发现,在停止进料期间,高温 ASBR 的 pH 值缓慢回升(图 3),由最低点的 6.93 增加到 7.19,但产气量并没有立即保持平稳,而是继续下降 2 d 后,在达到最低值 0.34 L/d (第 49 d)后,开始回升,在第 51 d、52 d 分别达到 3.26 L/d 和 3.54 L/d ;高温 ASBR 出泥的 VFA 由酸化阶段的 5270 mg/L 回落到 1366 mg/L ,其中乙酸浓度由酸化阶段的最高值 3256 mg/L 回落到 733 mg/L (图 2),丙酸浓度由酸化阶段的最高值 1561 mg/L 回落到 445 mg/L (图 2).

从第 54 d 开始,考虑到高温 ASBR 反应器已经逐渐从酸化阶段恢复过来,决定进一步考察反应器在恢复后的处理能力以及可能达到的最高处理有机负荷.采取的策略是:在保持进料的良好沉降性能以充分发挥 ASBR 反应器的特点的前提下,使进料的浓度足够高;先采用较长水力停留时间 HRT (20 d),然后再把水力停留时间缩短到 5 d ,以保证反应

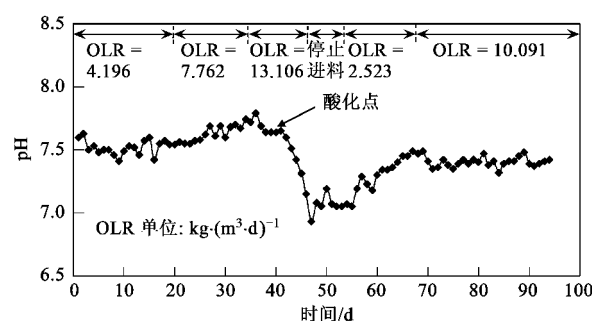


图 3 高温 ASBR、器出泥的 pH

Fig. 3 pH profiles in outflow

器的有机负荷由低有机负荷状态转到适当的高负荷状态.

高温 ASBR 反应器在酸化恢复后,进料的性质如表 2 所示,其中水热改性污泥的 SCOD/TCOD 为 0.40. 第 53 ~ 69 d 反应器的 HRT 都为 20 d ,反应器的有机负荷(以 COD 计)为 $2.523 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$;第 70 ~ 84 d 反应器的 HRT 为 5 d ,反应器的有机负荷为 $10.091 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$.

由图 1(日产气量曲线)可知,在有机负荷调整为 $2.523 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 后,由于高温 ASBR 在酸化阶段累积的 VFA 比较多,随着反应器内微生物活性的恢复,第 55 ~ 57 d 的日产气量都在 7 L/d 以上,分别为 7.44 L/d 、 7.27 L/d 和 8.32 L/d . 随后的第 58 ~ 69 d,高温 ASBR 进入稳态期,日产气量在 $3.26 \sim 4.12 \text{ L/d}$ 之间,平均值为 3.717 L/d . 在此条件下,高温 ASBR 在稳态期的平均甲烷含量为 67.80% ,表明高温 ASBR 在酸化恢复后甲烷的含量没有太大变化.

从第 70 d 开始,在保持进泥 TCOD 为 50.457 g/L 的情况下,通过调整 HRT 为 5 d 使高温 ASBR 的有机负荷提高到 $10.091 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$. 由图 1 可见,高温 ASBR 的有机负荷一旦提高,反应器的日产气量就立即提高到第 70 d 的 8.13 L/d ,在第 71 d 进一步提高到 12.62 L/d . 第 74 d 以后,高温 ASBR 反应器也进入稳态期,日产气量变化不大,维持在 $10.00 \sim 12.02 \text{ L/d}$ 之间,平均值达到 11.061 L/d . 在此负荷条件下的稳态期,高温 ASBR 的平均甲烷含量为 68.20% .

2.3 pH 值与碱度

pH 值是影响厌氧反应器处理过程的重要因素,反应器出水 pH 值的波动也在一定程度上反映出反应器产甲烷活性的变化.反应器内碱度的大小反映了体系的缓冲能力,即酸碱性条件下调节 pH 值的

能力. 本试验过程中没有人为调节碱度. 高温 ASBR 反应器出泥的 pH 值动态变化如图 3 所示. 可见, 高温 ASBR 反应器在有机负荷为 $4.196 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 和 $7.762 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时反应器出泥的 pH 值和碱度都比较稳定, 在这 2 个有机负荷条件下的 pH 值分别在 $7.41 \sim 7.63$ 和 $7.54 \sim 7.74$ 之间, 平均值分别为 7.52 和 7.62 ; 碱度分别在 $3571 \sim 3970 \text{ mg/L}$ 和 $4197 \sim 4358 \text{ mg/L}$ 之间, 平均值分别为 3690 mg/L 和 4278 mg/L .

第 35 d, 高温 ASBR 反应器的有机负荷提高到 $13.106 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 反应器的 pH 值变化情况见图 3. 由图 3 可知, 高温 ASBR 在这个高有机负荷的冲击下, 从 39 d 开始反应器出现了酸化现象, 由于反应器内 VFA 的积累影响, 反应器的 pH 值直线下降, 从第 41 d 的 7.65 下降到第 47 d 的 6.93 , 平均每天下降 0.12 . 此后由于停止进料以及在低有机负荷下 [$2.523 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$] 运行, 反应器的 pH 值也逐步回升, 在有机负荷为 $2.523 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的稳态运行期, 高温 ASBR 反应器的 pH 值保持在 $7.18 \sim 7.49$ 之间, 平均值为 7.38 ; 碱度稳定在 $6064 \sim 615 \text{ mg/L}$ 之间, 平均值为 6120 mg/L . 从第 70 ~ 94 d, 高温 ASBR 在有机负荷为 $10.091 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的条件下运行, 反应器性能没有受到冲击, 出泥 pH 值在 $7.32 \sim 7.48$ 之间, 平均值为 7.40 ; 碱度在 $6798 \sim 6922 \text{ mg/L}$ 之间, 平均值为 6920 mg/L .

2.4 反应器处理效率

高温 ASBR 在 $\text{HRT} = 5 \text{ d}$ [有机负荷分别为 $4.196 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 、 $7.762 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$] 稳态运行时的处理效率以及反应器酸化恢复后 HRT 分别为 20

d [有机负荷为 $2.523 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$] 和 5 d [有机负荷为 $10.091 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$] 且稳态运行时的处理效率如表 3 所示.

从表 3 可以看出, 在 $\text{HRT} = 5 \text{ d}$ 、有机负荷 OLR_{TCOD} 为 $4.196 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的条件下, 高温 ASBR 的平均产气速率达到 5.955 L/d ; 高温 ASBR 出泥的 SCOD 平均值为 2319 mg/L ; 高温 ASBR 反应器的 VS 去除率、TCOD 去除率和 SCOD 去除率分别为 78.53% 、 63.83% 和 74.45% ; 平均产气率 ($\text{CH}_4/\text{COD}_{\text{投入}}$) 达到 247 mL , 平均甲烷含量为 69.6% .

在 $\text{HRT} = 5 \text{ d}$ 、有机负荷 OLR_{TCOD} 为 $7.762 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时, 高温 ASBR 的平均产气速率为 9.688 L/d ; 高温 ASBR 出泥的 SCOD 平均值为 3477 mg/L ; 高温 ASBR 反应器在此条件下的 VS 去除率、TCOD 去除率和 SCOD 去除率分别为 77.46% 、 66.96% 和 77.61% ; 平均产气率 ($\text{CH}_4/\text{COD}_{\text{投入}}$) 达到 219 mL , 平均甲烷含量为 70.3% .

从表 3 还可以看出, 高温 ASBR 反应器在经历酸化及恢复的过程后, 在 $\text{HRT} = 20 \text{ d}$ 有机负荷 OLR_{TCOD} 为 $2.523 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的条件下, 其平均产气速率为 3.717 L/d ; TCOD 去除率和 SCOD 去除率分别为 70.39% 和 84.66% ; 产气率 ($\text{CH}_4/\text{COD}_{\text{投入}}$) 为 250 mL , 平均甲烷含量为 67.8% .

在保持 HRT 为 5d 通过提高进泥浓度使反应器的有机负荷 OLR_{TCOD} 提高到 $10.091 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 后, 稳态条件下高温 ASBR 的平均产气速率为 11.061 L/d ; VS 去除率、TCOD 去除率和 SCOD 去除率分别为 43.07% 、 57.84% 和 71.87% ; 平均产气率 ($\text{CH}_4/\text{COD}_{\text{投入}}$) 为 187 mL , 平均甲烷含量为 68.2% .

表 3 高温 ASBR 的 H 特性 (平均值 $\pm$ 标准差)

Table 3 Steady state performances (Average $\pm$ S. D.)

参数	高温 ASBR			
	5	5	20	5
HRT/d				
$\text{OLR}_{\text{TCOD}}/\text{kg} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$	4.196	7.762	2.523	10.091
pH	7.52 ± 0.06	7.62 ± 0.07	7.38 ± 0.10	7.40 ± 0.04
碱度 $/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	3690 ± 160	4278 ± 114	6120 ± 78	6920 ± 120
SCOD $/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	2319 ± 56	3477 ± 91	3069 ± 73	5627 ± 88
VS 去除率 $/\%$	78.53 ± 2.12	77.46 ± 9.02	61.52 ± 1.97	43.07 ± 3.17
TCOD 去除率 $/\%$	63.83 ± 0.75	66.96 ± 0.43	70.39 ± 1.09	57.84 ± 1.71
SCOD 去除率 $/\%$	74.45 ± 0.62	77.61 ± 0.59	84.66 ± 0.36	71.87 ± 0.44
产气速率 $/\text{L} \cdot \text{d}^{-1}$	5.955 ± 0.353	9.688 ± 0.549	3.717 ± 0.301	11.061 ± 0.559
甲烷含量 $/\%$	69.60 ± 1.20	70.30 ± 1.10	67.80 ± 0.80	68.20 ± 1.80
$\text{COD 产气率}/\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$	247 ± 15	219 ± 12	250 ± 20	187 ± 9
转化率 $/\%$	70.6 ± 4.2	62.7 ± 3.6	71.4 ± 5.8	53.4 ± 2.7

2.5 有机负荷对高温 ASBR 反应器性能的影响

反应器的有机负荷 (organic loading rate, OLR) 是影响甲烷产量的一个重要参数. 上述试验对高温 ASBR 反应器分别在 5 个有机负荷条件下开展了甲烷产量的研究, 发现当反应器的有机负荷提高到 $13.106 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 后, 高温 ASBR 受到了冲击, 造成了反应器内有机酸的积累而导致反应器的日产气量和 pH 值下降, 使高温 ASBR 反应器出现“酸化”现象. 通过采用停止进料和低有机负荷运行的手段后, 反应器的性能得到了恢复, 说明高温 ASBR 的“酸化”属于可恢复性酸化, 在“酸化”现象得到恢复后, 反应器的最大有效有机负荷可以达到 $10.091 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$.

图 4 为高温 ASBR 处理水热改性污泥各有机负荷条件下产甲烷速率 (methane production rate, MPR) 与有机负荷 OLR 之间的关系. 结果表明, 在有机负荷为 $2.523 \sim 10.091 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的范围内, 高温 ASBR 的产甲烷速率 MPR 与有机负荷 OLR 之间呈现良好的线性关系, 随着 OLR 的增加, 产甲烷速率增大.

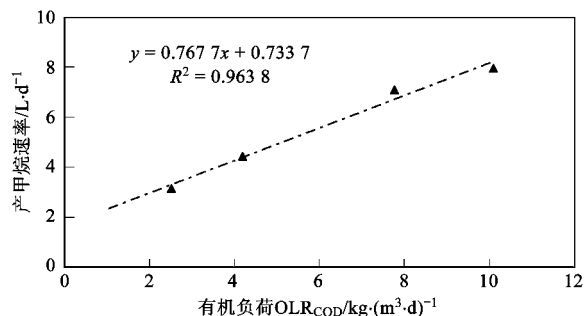


图 4 产甲烷速率 (MPR) 与有机负荷 (OLR) 之间的关系

Fig. 4 Relation between MPR and OLR

图 5 为 COD 产气率与有机负荷 OLR 之间的关系. 由图 5 可知, 在有机负荷 OLR 为 $2.523 \sim 10.091 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的范围内, 高温 ASBR 的 COD 产气率与有机负荷呈线性关系, 随着 OLR 的增加, 产气率减少.

由表 3 可以看出, 高温 ASBR 反应器处理水热改性污泥的有机物转化率在有机负荷为 $2.523 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时达到最大值 71.4% . 在高温 ASBR 达到最高有效有机负荷时 [$10.091 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$], 虽然反应器的产甲烷速率也达到最大值, 但反应器的转化率降到最低点, 为 53.4% .

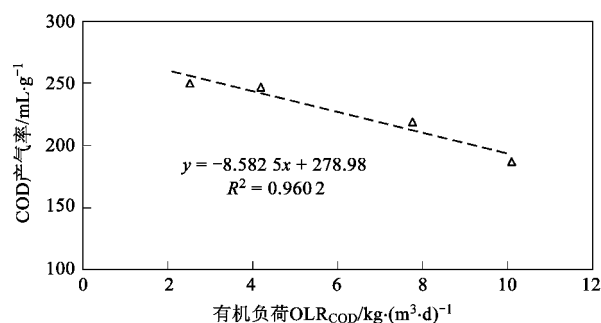


图 5 产气率与有机负荷 (OLR) 之间的关系

Fig. 5 Relation between the methane yield and OLR

3 结论

(1) 在高温 ASBR 处理水热改性污泥的有机负荷由 $7.762 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 提升到 $13.106 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 后, 会导致反应器内 VFA 的积累, pH 和产气量下降, 反应器出现“酸化”现象. 这种酸化现象属可恢复性酸化. 系统恢复后, ASBR 的有机负荷能达到 $10 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$.

(2) 高温 ASBR 在有机负荷为 2.523 、 4.196 、 7.762 、 $10.091 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时的产气率 ($\text{CH}_4/\text{COD}_{\text{投入}}$) 分别为 250 、 247 、 219 、 187 mL ; TCOD 平均去除率分别为 70.39% 、 63.83% 、 66.96% 、 57.84% .

(3) 高温 ASBR 的有机负荷 OLR 与产甲烷速率 MPR 和 COD 产气率之间都呈现良好的线性关系, 随着 OLR 的增加, 产甲烷速率增大, COD 产气率减少.

参考文献:

- [1] Dague R R. Initial studies on the anaerobic sequencing batch reactor [J]. Water Sci Technol, 1992, **26**(9): 2429-2432.
- [2] Ionniss S, David M B. Improving anaerobic sequencing batch reactor performance by modifying operational parameters [J]. Water Res, 2002, **36**(1): 363-367.
- [3] Angenent L T, Sung S, Raskin L. Methanogenic population dynamics during startup of a full-scale anaerobic sequencing batch reactor treating swine waste [J]. Water Res, 2002, **36**(18): 4648-4654.
- [4] Ruiz C J, Torrijos M. Treatment of winery wastewater by an anaerobic sequencing batch reactor [J]. Water Sci Technol, 2002, **45**(10): 219-224.
- [5] Hur J M, Chang D, Chung T H. Dynamic process response to sludge thickening behaviors in the anaerobic sequencing batch reactor treating high-solids-content waste [J]. J Biosci Bioeng, 1999, **87**(4): 525-530.
- [6] Duk C, Joon M H, Tai H C. Digestion of municipal sludge by anaerobic sequencing batch reactor [J]. Water Sci Technol, 1994, **30**(12): 161-170.

- [7] 王治军,王伟. 剩余污泥的热水解试验[J]. 中国环境科学, 2005, **25**(1): 68-71.
- [8] 王治军,王伟. 热水解预处理改善污泥的厌氧消化性能[J]. 环境科学, 2005, **26**(1): 68-71.
- [9] Li Y Y, Noikeal T. Upgrading of anaerobic digestion of waste activated sludge by thermal pretreatment [J]. Water Sci Technol, 1992, **26**(3-4): 857-866.
- [10] Bougrier C, Delgenès J P, Carrère H. Combination of thermal treatments and anaerobic digestion to reduce sewage sludge quantity and improve biogas yield [J]. Process Saf Environ Prot, 2006, **84** (B4): 280-284.
- [11] 王治军,王伟,高殿森,等. 高温和中温 ASBR 处理热水解污泥的对比[J]. 环境科学, 2005, **26**(2): 88-92.
- [12] 王治军,王伟,张锡辉. ASBR 处理高浓度悬浮固体废物的工艺特性[J]. 环境科学, 2006, **27**(6): 1107-1110.
- [13] 欧阳二明,王伟,龙能,等. 高温 ASBR 处理热水解污泥的梯度升温法启动试验研究[J]. 环境科学, 2009, **30**(4): 1105-1109.
- [14] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京:中国环境科学出版社, 2002.

《环境科学》荣获“新中国 60 年有影响力的期刊”称号

2009 年 12 月 22 日“第四届中国期刊创新年会”公布了“新中国 60 年有影响力的期刊”评选结果,《环境科学》荣获“新中国 60 年有影响力的期刊”称号. 此次评选,全国共有9 000多种参评期刊,最终有 161 种期刊入选. 该评选活动是中国期刊协会、中国出版科学研究所为纪念新中国成立 60 周年,表彰和鼓励在政治、经济、文化、科技和社会发展领域中起到重要作用的期刊而举办的.