

上流式厌氧污泥床反应器用于黑水预处理

陈洪斌, 陈伟华, 李 辰, 戴晓虎

(同济大学 城市污染控制国家工程研究中心, 上海 200092)

摘要: 采用上流式厌氧污泥床反应器(UASB)对黑水进行厌氧预处理,探讨了温度和水力停留时间(HRT)等条件对黑水中有机物的去除转化规律和产甲烷性能的影响. 结果表明,厌氧预处理对黑水中有机物去除效果良好,总化学需氧量去除率均在 80%左右,悬浮性化学需氧量、溶解性化学需氧量去除率均分别在 90%和 40%以上. 在 HRT 为 10~30 h,总化学需氧量容积负荷率为 $1.0 \sim 2.4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 条件下,水温主要影响溶解性化学需氧量的去除效果;除温度外,截留悬浮物水解酸化的另一限制因素是进水溶解性化学需氧量质量浓度. 研究认为,采用 UASB 反应器厌氧预处理黑水的 HRT 不应低于 30 h、水温为 30 ℃左右,该条件下总化学需氧量、悬浮性化学需氧量、溶解性化学需氧量的去除率分别达到 79.1%、91.6%和 42.1%,厌氧预处理的出水生化需氧量与化学需氧量的质量浓度比提高到 0.60.

关键词: 黑水; 上流式厌氧污泥床反应器; 水力停留时间; 水温; 容积负荷率

中图分类号: X703.1

文献标志码: A

respectively. Under the condition of HRT(10~30 h)and total chemical oxygen demand volume load rate($1.0 \sim 2.4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$), temperature mainly affects soluble chemical oxygen demand removal. The inflow soluble chemical oxygen demand concentration is another limiting factor of hydrolysis acidification except for temperature. For black water anaerobic pretreatment using up-flow anaerobic sludge bed reactor, the HRT should better not be lower than 30 h, and the water temperature is around 30 ℃, at this point, total chemical oxygen demand, suspended chemical oxygen demand and soluble chemical oxygen demand removal efficiency are 79.1%, 91.6% and 42.1% respectively. The biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand ratio of effluent is up to 0.60.

Key words: black water; up-flow anaerobic sludge blanket reactor (UASB); hydraulic retention time (HRT); temperature; volumetric loading rate

Anaerobic Pretreatment of Black Water with Up-flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor

CHEN Hongbin, CHEN Weihua, LI Chen, DAI Xiaohu

(National Engineering Research Center for Urban Pollution Control, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: A bench-scale up-flow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) was used to pre-treat black water. The objectives of the research were to investigate the removal transformation rule of organic matter in black water and methane-producing properties under different conditions of temperature and hydraulic retention time (HRT). The experimental results show that the UASB reactor has a good removal efficiency on organic matters, the removal efficiency of total chemical oxygen demand is around 80%, and the removal efficiency of the suspended chemical oxygen demand and soluble chemical oxygen demand are above 90% and 40%

随着循环经济和低碳经济理念的发展,传统集中式供排水理念越来越显现出局限性,基于污水源分离、水循环利用的新型供排水理念越来越受到重视^[1-2]. 根据来源可将生活污水分为黑水(粪便、尿液、厕所冲洗水)和灰水(厨房、洗衣、淋浴和盥洗用水等). 其中黑水水量仅占家庭生活用水量的 30%左右,却含有生活污水中大多数有机营养物质(51%的化学需氧量(COD)、91%的氮、78%的磷),对于黑水和灰水分类收集和处理,不仅可以减少反应器的体积,而且有利于生活污水的回收利用^[3-4]. 陈洪斌和于凤^[5]探讨了半集中式处理系统灰水处理利用的可行性,出水可以满足城市杂用水水质标准,并提出半集中式处理系统灰水处理工艺路线. 对于黑水而言,其达标处理及营养物资源化利用十分重要. 黑水所含的有机物和氮磷浓度高,且悬浮物浓度高,处理困难. 上流式厌氧污泥床反应器(up-flow anaerobic

收稿日期: 2013-08-08

基金项目: 科技部国际合作重点课题(2012DFG91380);上海市科委课题(12DZ2291400)

第一作者: 陈洪斌(1969—),男,工学博士,教授,博士生导师,主要研究方向为水污染控制理论和污水资源化技术.

E-mail: bhctxc@tongji.edu.cn

sludge blanket reactor, UASB)可有效增加污水和污泥之间的接触,增强悬浮物的截留和溶解性有机物去除,截留的悬浮物经厌氧生物处理可转化为溶解性物质和甲烷等生物质能源^[6-7]. 近年来,国外对粪便废水和黑水的处理研究较多, Luostarinen 等^[8-9]采用 UASB 化粪池在常温(10~20 ℃)下处理合成黑水,总化学需氧量(TCOD,以 $C_{OD,t}$ 表示)、总悬浮固体(TSS)的去除率均达到 90% 以上; Kujawa-Roeleveld^[10]利用 UASB 化粪池在 15 ℃和 25 ℃时处理浓缩黑水,两种温度条件下 TCOD 去除率和甲烷化率分别为 61%、39%和 78%、60%. 单独采用 UASB 处理黑水时,虽 TCOD 和悬浮性化学需氧量(SSCOD,以 $C_{OD,ss}$ 表示)去除率很高,处理出水却难以达标,但若作为厌氧预处理技术,不仅可以去除部分有机物,回收甲烷等生物质能源,还可降低后续好

氧处理的难度.

本试验采用 UASB 反应器对黑水进行厌氧预处理,探讨不同温度和水力停留时间(HRT,以 t_{HR} 表示)等条件下有机物的去除转化规律和产甲烷性能,分析黑水的厌氧预处理的技术可行性.

1 材料与方法

1.1 试验水质

本试验用水取自学校办公楼化粪池和教学楼化粪池内,水质指标略有不同,但基本符合黑水的水质特点,见表 1. 表中溶解性化学需氧量(SCOD,以 $C_{OD,sol}$ 表示)指经过 0.45 μm 滤膜过滤后滤液的化学需氧量; BOD_5 表示五日生化需氧量.

表 1 试验废水的水质状况

Tab.1 The water quality of experimental wastewater

测试 水源	质量浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)							TSS	pH
	$C_{OD,t}$	$C_{OD,sol}$	BOD_5	氨氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$)	总氮 (TN)	总磷 (TP)	悬浮固体 (SS)		
办公室 化粪池	836~1 888	135~310	135~310	62.8~87.3	90.2~111.8	9.0~14.6	367~1 711	281~1 300	6.82~7.93
教学楼 化粪池	346~1 614	284~997	284~997	194.9~226.5	210.3~259.3	24.3~28.6	412~2 344	382~1 900	7.22~8.49
实测 ^[6] 黑水	432~3 856		170~1 249	42.1~174.3	19.3~196.9	5.7~54.2	47~2 174	19~1 702	6.7~8.9

1.2 试验装置和试验流程

UASB 装置有两套,分别标识为 1# 和 2#,有机玻璃材质,分为上部圆柱(直径 160 mm,高 150 mm)、中部圆柱(直径 110 mm,高 750 mm)、下部圆锥(直径 110 mm,高 100 mm)三部分,总体积是 10.4 L,试验装置如图 1 所示. 黑水先经筛网过滤后注入进水箱并由潜水泵保持混合均匀,再由计量泵注入 UASB 反应器底部. 处理出水混同悬浮污泥、颗粒污泥及产气以不同速率通过三相分离器,污泥回到反应区,沉淀后出水通过溢流口流出,产气进入气体收集袋,定时从气袋中抽气计算产气量. 污泥浓度在每个排泥口取样测定,并通过从取样口处排泥控制污泥浓度.

1.3 分析方法

TCOD、SCOD 采用重铬酸钾法; BOD_5 采用稀释接种法^[11];SS 采用称量法;挥发性脂肪酸(volatile fatty acid, VFA)采用气相色谱-质谱法(Trace DSQ, Thermo Electron Corporation, 美国);甲烷含量:采用气相色谱法(GC6890N-TCD, Agilent, 美国).

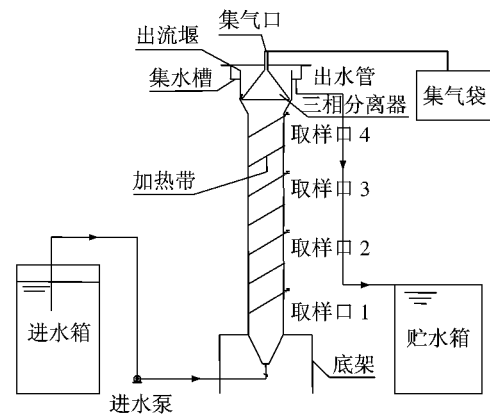


图 1 黑水 UASB 处理试验装置和工艺流程示意图

Fig.1 Schematic diagram of UASB process and bench-scale devices

1.4 装置启动

UASB 启动时以某制糖厂污水站 IC(internal circulation)反应器的颗粒污泥作为接种污泥. 污泥呈椭圆形和球形,表面乌黑,颗粒直径约为 1.5~6.0 mm,接种污泥的混合液悬浮固体(MLSS)质量浓度为 40~50 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. 启动时先配置葡萄糖溶液

($C_{OD,t}=1\ 000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右)作为接种水,装置产气后逐渐向进水桶中添加黑水。1[#]和2[#]反应器的水温分别控制为30℃和20℃,分别模拟夏季高温和春秋季节状态;HRT均为30 h。装置启动至45~60 d,1[#]、2[#]的 $C_{OD,t}$ 平均去除率均在80%以上, $C_{OD,sol}$ 平均去除率均在50%左右且平稳,可以认为反应器启动成功,此后转入正式试验阶段。

2 结果和讨论

2.1 HRT对黑水厌氧预处理的影响

两个反应器在不同HRT工况下的运行效果如图2所示。由图2可知,1[#]反应器中,HRT分别为

30、24、10、8 h时, $C_{OD,t}$ 的平均去除率分别为79.1%、81.5%、86.9%、70.2%。在2[#]反应器中,当HRT分别为30、10 h时, $C_{OD,t}$ 的平均去除率分别为85.9%、87.9%。不同水温条件下,HRT对 $C_{OD,t}$ 的去除影响均不大,但在1[#]反应器中若HRT过低, $C_{OD,t}$ 的去除效率降低,这说明降低HRT虽能够改善反应器的流态和传质,增加颗粒污泥与污水的接触,但也可能导致水力剪切作用过高,使得反应器中的颗粒沉降性能变差,使处理效率降低。由图2还可看出, $C_{OD,sol}$ 去除率随时间波动很大,偶尔会出现出水的 $C_{OD,sol}$ 比进水还高的现象,这可能是因为进水的胶体及颗粒物流水解生成的溶解性有机物来不及进一步降解所致。

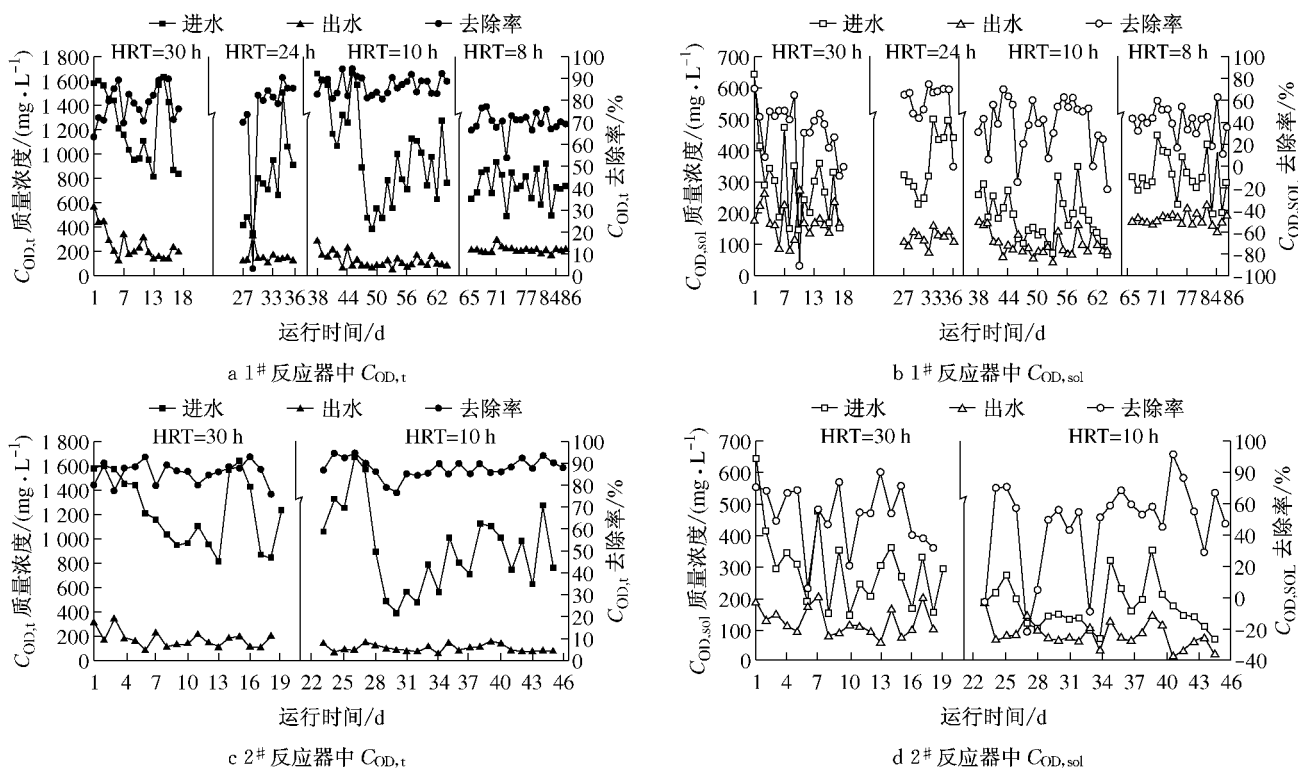


图2 不同HRT条件下反应器 $C_{OD,t}$ 、 $C_{OD,sol}$ 去除效果

Fig.2 Removal of $C_{OD,t}$ and $C_{OD,sol}$ in reactors under different HRTs

根据物料平衡计算可得出UASB处理前后黑水各组分转化后所占比例,如图3所示。物料衡算时主要分为以下几个部分:进水TCOD(以 $C_{OD,t,jin}$ 表示)、出水SSCOD(以 $C_{OD,ss,chu}$ 表示)和SCOD(以 $C_{OD,sol,chu}$ 表示)、产甲烷量换算后的 COD_{CH_4} (350 mL甲烷在一个标准大气压下相当于1g COD 以 C_{OD,CH_4} 表示)、LCOD(以截留悬浮物的形式累积在反应器中 COD 以 $C_{OD,L}$ 表示)。 $C_{OD,t,jin}=C_{OD,L}+C_{OD,CH_4}+C_{OD,sol,chu}+C_{OD,ss,chu}$ 。由图3可知,进水TCOD的去除主要依靠悬浮物截留和水解酸化及产甲烷实现。水温为30

℃、HRT分别为30、24、10、8 h时,LCOD和 COD_{CH_4} 所占比例分别为55.9%、59.2%、71.0%、51.8%和23.2%、20.9%、16.7%、19.3%;水温为20℃、HRT为30、10 h时,LCOD和 COD_{CH_4} 所占比例分别为76.3%、74.1%和9.7%、15.0%。

由表2可知,不同水温条件下,在HRT为10~30 h时, $C_{OD,ss}$ 去除率均随HRT降低而有所增加,但在水温为30℃时,截留颗粒的水解酸化量随HRT降低而减少,水温为20℃时则相反。这表明在水温为30℃时,降低HRT(10~30 h)虽有利于悬浮物

表 2 不同温度条件下 UASB 对 COD 各组分的去除效果

Tab.2 The removal efficiency of all kinds of COD components at different temperatures

水温/℃	30	30	30	30	20	20
HRT/h	30	24	10	8	30	10
$C_{OD,L}$ 质量浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	688	463	712	376	940	682
$C_{OD,zh}$ 质量浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	167	-79	89	16	-53	50
产甲烷率/($\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$)	108.8(66.7)	36.9(13.4)	39.7(12.5)	23.5(5.7)	11.2(11.7)	22.1(15.4)
$C_{OD,t}$ 去除率/%	79.1(8.2)	81.5(6.1)	86.9(4.4)	70.2(5.0)	85.9(5.0)	87.9(5.0)
$C_{OD,sol}$ 去除率/%	42.1(36.0)	64.4(10.5)	40.3(22.0)	40.4(13.7)	53.0(20.0)	47.0(29.0)
$C_{OD,ss}$ 去除率/%	91.6(11.7)	94.4(5.3)	97.4(3.6)	90.6(10.4)	95.2(8.1)	96.8(3.9)

注:表格中括号外数据均为平均值,括号内数据为标准方差,下同。

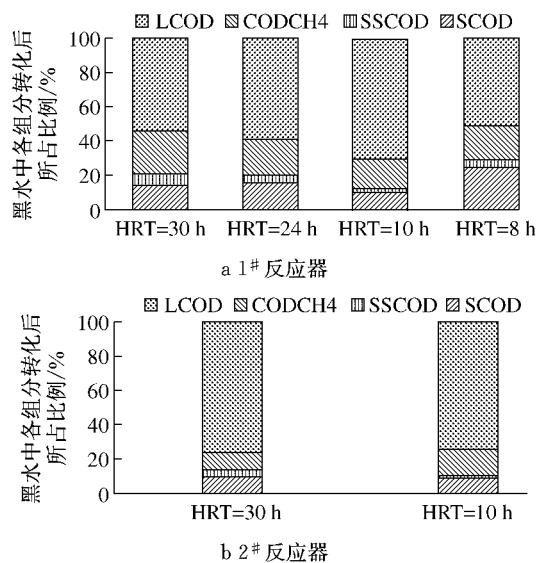


图 3 1#、2# 反应器在不同 HRT 条件下的黑水 COD 成分的转化与氧化

Fig. 3 The transformation of the black water COD composition under different HRTs in 1# and 2# reactors

的去除,但主要是以截留的形式储存在反应器中,截留悬浮物的水解酸化程度和产甲烷率降低,稳定化程度降低;在水温为 20 ℃时,降低 HRT(10~30 h)虽对悬浮物的去除影响不大,但有利于截留悬浮物的水解酸化和产甲烷,提高截留悬浮物的稳定化程度。这可能是因为在水温为 30 ℃时水解酸化菌和产

甲烷菌的活性较高,产甲烷率较高,且黑水粘滞系数较低^[12],在 HRT 为 30 h 时,悬浮颗粒的截留效果较好,且截留颗粒的水解酸化程度较高;随着 HRT 的降低,虽有利于悬浮颗粒的截留,但会增加水力剪切作用,不利于截留颗粒的水解及污水与产甲烷菌的传质,导致产甲烷率降低,累积量增加。水温为 20 ℃时,黑水粘滞系数较大,降低 HRT 有利于改善反应器流态,一方面有利于颗粒污泥截留,另一方面又有利于截留颗粒的水解及污水与产甲烷传质,使产甲烷率增加。

2.2 容积负荷率对黑水厌氧预处理的影响

根据黑水中各类有机物的转化规律进行物料衡算, $C_{OD,ss,qu} = C_{OD,ss,jin} - C_{OD,ss,chu} = C_{OD,L} + C_{OD,zh}$, $C_{OD,L} = C_{OD,t,jin} - C_{OD,t,chu} - C_{OD,CH4}$, $C_{OD,sol,qu} = C_{OD,sol,jin} - C_{OD,sol,chu}$, $C_{OD,CH4} = C_{OD,sol,qu} + C_{OD,zh}$ 。式中 $C_{OD,t,chu}$ 、 $C_{OD,ss,jin}$ 、 $C_{OD,sol,jin}$ 、 $C_{OD,ss,qu}$ 、 $C_{OD,sol,qu}$ 分别表示 $C_{OD,t}$ 的出水量、 $C_{OD,ss}$ 的进水量、 $C_{OD,sol}$ 的进水量、 $C_{OD,ss}$ 的去除量、 $C_{OD,sol}$ 的去除量,截留颗粒的水解酸化量=截留颗粒的转化量(以 $C_{OD,zh}$ 记)。系统在不同 COD 容积负荷率条件下的运行效果总结见表 3。

由表 3 中进水 $C_{OD,sol}$ 容积负荷率、 $C_{OD,zh}$ 及 $C_{OD,CH4}$ 可看出,在 $C_{OD,sol,jin}$ 容积负荷率(含 COD)为 0.24~0.9 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 时,水温为 30 ℃条件下, $C_{OD,sol,jin}$ 容积负荷率越高,水解和产甲烷率越低,水

表 3 容积负荷率对 UASB 厌氧预处理黑水的影响

Tab.3 Influences of volumetric loading to system removal efficiency

水温/℃	30	30	30	30	20	20
HRT/h	30	24	10	8	30	10
$C_{OD,t,jin}$ 容积负荷率/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$)	1	1	2.4	2.2	1	2.4
$C_{OD,sol,jin}$ 容积负荷率/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$)	0.24	0.5	0.44	0.9	0.24	0.44
$C_{OD,t,jin}$ 质量浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1 232(294)	782(316)	1 005(384)	726(93)	1 232(294)	920(341)
$C_{OD,t,chu}$ 质量浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	257(123)	156(59)	124(55)	210(7)	173(68)	100(29)
$C_{OD,sol,jin}$ 质量浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	297(126)	366(95)	183(73)	303(18)	297(126)	171(71)
$C_{OD,sol,chu}$ 质量浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	177(53)	124(23)	103(37)	179(6)	125(44)	83(41)
$C_{OD,L}$ 质量浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	688	463	712	376	940	682
$C_{OD,zh}$ 质量浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	167	-79	89	16	-53	50
产甲烷率/($\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$)	108.8(66.7)	36.9(13.4)	39.7(12.5)	23.5(5.7)	11.2(11.7)	22.1(15.4)
$C_{OD,CH4}$ 质量浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	287	163	169	140	119	138

温为 20 ℃时相反. 结合 $C_{OD, sol, qu}$ 和 $C_{OD, sol, jin}$ 浓度可知, 在 $C_{OD, sol, jin}$ 质量浓度为 171~366 $mg \cdot L^{-1}$ 的范围内, 当 $C_{OD, sol, jin}$ 浓度较高时, 产甲烷所需的溶解性有机物几乎由 $C_{OD, sol, jin}$ 提供, $C_{OD, ss}$ 转化少; 当 $C_{OD, sol, jin}$ 浓度较低时, 则由 $C_{OD, sol, jin}$ 和 $C_{OD, zh}$ 共同提供. 这说明在 HRT 为 10~30 h 时, $C_{OD, sol, jin}$ 浓度是截留悬浮物水解酸化的一个限制因素, 产甲烷率则同时受 $C_{OD, sol, jin}$ 浓度和 $C_{OD, sol, jin}$ 容积负荷率二者影响. 由表 3 也可知, $C_{OD, zh}$ 越大, C_{OD, CH_4} 越大, 且出 VFA 浓度较低(表 4), 反应器中没有 VFA 的累积现象, 这表明颗粒物的截留悬浮物的水解酸化是整个厌氧预处理的限制步骤.

2.3 温度对黑水厌氧预处理的影响

不同温度条件下, UASB 对各 COD 组分的去除效果见表 2.

由表 2 可知, 水温为 30 ℃时的 $C_{OD, zh}$ 和产甲烷率远大于 20 ℃时的 $C_{OD, zh}$ 和产甲烷率, 说明温度是 $C_{OD, ss}$ 水解酸化和产甲烷的一个限速性因素. 当 HRT 为 30 h 时, 1[#] 反应器的 $C_{OD, t}$ 、 $C_{OD, sol}$ 的平均去除率均低于 2[#] 反应器的, 而在 HRT 为 10 h 时二者

相差不大; 在不同温度下, $C_{OD, ss}$ 的去除率均很高但相差不大. 这可能是因为当 HRT 为 30 h 时, 30 ℃时水解酸化菌和产甲烷菌的活性较高, 水解酸化程度较高, 进水的胶体及颗粒物不完全水解成密度较小的颗粒易被冲刷出反应器, 出现 1[#] 反应器 $C_{OD, t}$ 、 $C_{OD, sol}$ 的平均去除率较低; 当 HRT 为 10 h 时, 在较短的停留时间下, 无论是 20 ℃还是 30 ℃, 微生物没有充足的时间将颗粒状和胶体状有机物、难降解有机物等转化为溶解性易降解成分或 VFA, 无法进一步参与产甲烷过程, 污染物的去除主要依靠污泥床层的截留. 可见, 在 HRT 为 10~30 h 时, UASB 厌氧预处理黑水时水温对 $C_{OD, ss}$ 的去除影响不大, 主要影响 $C_{OD, sol}$ 的去除.

2.4 不同工况下进出水 VFA 的变化

UASB 各工况条件下的出水 VFA 的变化趋势见表 4. 由表 4 可知, 反应器对进水的 VFA 均能有效去除, 出水的 VFA 浓度较低, 系统没有 VFA 累积现象. 这说明系统运行良好, UASB 厌氧预处理黑水时, 影响产甲烷的限速步骤为颗粒状成分水解酸化为溶解性成分, 即颗粒状 COD 转化为 VFA 的过程.

表 4 UASB 运行各工况进出水的 VFA 浓度及主要成分的变化趋势

Tab.4 Changes of inflow and outflow volatile fatty acids on different operating stages									
温度/℃	HRT/h	进水 VFA 含 COD 质量浓度/(mg · L ⁻¹)				出水 VFA 含 COD 质量浓度/(mg · L ⁻¹)			
		乙酸	丙酸	丁酸	戊酸	乙酸	丙酸	丁酸	戊酸
30	30	0.6~113.8	4.1~6.4	1.4~17.3	7.5~17.9	0~13.4	—	—	—
	24	9.1~140.4	9.3~44.9	1.4~25.6	1.8~23.0	0~9.3	—	—	—
	10	0.2~123.2	3.2~4.5	1.2~10.2	2.3~4.5	0~12.4	—	—	—
	8	0.3~43.5	0.2~2.7	1.4~1.9	0.2~8.0	0~4.5	—	—	—
20	30	0.6~113.8	4.1~6.4	1.4~17.3	7.5~17.9	0~25.2	—	—	—
	10	0.2~123.2	3.2~4.5	1.2~10.2	2.3~4.5	0~13.2	—	—	0

2.5 不同工况下出水生化需氧量与化学需氧量之比的变化

不同工况下出水生化需氧量与化学需氧量之比(B/C)变化见表 5. 由表 5 可知, 水温为 30 ℃时, 出水 B/C 比随 HRT 增加而增大, 最高达到为 0.60; 在 20 ℃时, HRT 的变化对出水 B/C 比值的影响不显著. 分析认为, 水温为 30 ℃时, 水解酸化菌和产甲烷菌的活性较高, 有助于截留的悬浮物发生水解酸化现象, 出水的溶解性易降解有机物浓度较高, 出水 B/C 比值高于水温为 20 ℃的出水 B/C 比值; 随着 HRT 增加, 颗粒状成分和胶体态的 COD 水解酸化成溶解性 COD, 大分子难降解成分转化为小分子易降解成分, 因而 B/C 比值逐步提高. 试验过程中进水平均 B/C 比为 0.28(表中未给出), 在水温为 20 ℃时出水的 B/C 比均低于进水的 B/C 比, 而在水温

为 30 ℃时只有在较高 HRT(≥ 24 h)时出水 B/C 比才高于进水的 B/C 比. 从本试验的结果分析, 综合考虑 UASB 系统对有机物的去除效果、产甲烷性能及系统运行的稳定性, 并结合不同条件下的处理出水 B/C 比, 黑水厌氧预处理最适宜的 HRT 不低于 30 h, 温度为 30 ℃左右能达到更佳的效果.

表 5 不同工况条件下 UASB 出水的 B/C 比

Tab.5 The effluent B/C ratio of UASB on different operating stages

温度/℃	停留时间/h	出水 B/C
30	30	0.60
	24	0.31
	10	0.30
	8	0.20
20	30	0.22
	10	0.20

3 结论

(1) 研究表明, UASB 厌氧预处理黑水时, 当 HRT 为 10~30 h、水温为 30 ℃或 20 ℃条件下, 反应器对 COD 有很好的去除效果, $C_{OD,t}$ 去除率均在 80% 左右, $C_{OD,ss}$ 和 $C_{OD,sol}$ 去除率均分别在 90% 和 40% 以上. 改变温度主要影响 $C_{OD,sol}$ 的去除, 在水温为 30 ℃时, 提高 HRT 有助于截留悬浮物的水解酸化并提高产甲烷率.

(2) 在 HRT 为 10~30 h、 $C_{OD,t,jin}$ 容积负荷率为 1.0~2.4 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ 时, $C_{OD,sol,jin}$ 浓度是除温度外截留悬浮物水解酸化的另一个限速因素. UASB 厌氧预处理黑水产甲烷的限速步骤为颗粒状成分水解酸化为溶解性成分, 即颗粒状 COD 转化为 VFA 的过程.

(3) 研究认为, 采用 UASB 反应器厌氧预处理黑水能够实现提高 B/C 和产甲烷的效果. 当 HRT 为 30 h、水温为 30 ℃、 $C_{OD,t,jin}$ 容积负荷率达到 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ 左右时, $C_{OD,t}$ 、 $C_{OD,ss}$ 、 $C_{OD,sol}$ 去除率分别为 79.1%、91.6% 和 42.1%, 甲烷产率为 108.8 $mL \cdot L^{-1}$, 出水 B/C 比值提高到 0.60, 有助于后续好氧处理.

参考文献:

- [1] 郑永菊, 陈洪斌, 何群彪. 黑水处理与资源化进展[J]. 中国沼气, 2008, 26(5): 9.
ZHENG Yongju, CHEN Hongbin, HE Qunbiao. A review on black water treatment and resourcization[J]. China Biogas, 2008, 26(5): 9.
- [2] 阮久丽, 于凤, 陈洪斌, 等. 生活污水分类收集处理的探讨[J]. 中国给水排水, 2010, 26(8): 25.
RUAN Jiuli, YU Feng, CHEN Hongbin, et al. Discussion on categorized collection and quality-based treatment of domestic sewage[J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(8): 25.
- [3] 郑林静. 半集中式处理系统灰水处理模块技术经济分析[D]. 上海: 同济大学, 2007.
- ZHENG Linjing. Technological and economic analysis on grey water treatment of semi-centralized supply and treatment systems[D]. Shanghai: Tongji University, 2007.
- [4] Terpstra P M J. Sustainable water usage systems: models for the sustainable utilization of domestic water in urban areas[J]. Water Science and Technology, 1999, 39(5): 65.
- [5] 于凤. 半集中式处理系统灰水处理技术研究[D]. 上海: 同济大学, 2007.
YU Feng. Study on grey water treatment technology of semi-centralized treatment system [D]. Shanghai: Tongji University, 2007.
- [6] Philippi L S, da Costa R H R, Sezerino P H, et al. Domestic effluent treatment through integrated system of septic tank and root zone[J]. Water Science and Technology, 1999, 40(3): 125.
- [7] Luostarinen S, Sanders W, Kujawa-Roeleveld K, et al. Effect of temperature on anaerobic treatment of black water in UASB-septic tank systems[J]. Bioresource Technology, 2007, 98(5): 980.
- [8] Luostarinen S, Rintala J. Anaerobic on-site treatment of kitchen waste in combination with black water in UASB-septic tanks at low temperatures [J]. Bioresource Technology, 2007, 98(9): 1734.
- [9] Luostarinen S A, Rintala J A. Anaerobic on-site treatment of black water and dairy parlour wastewater in UASB-septic tanks at low temperatures[J]. Water Research, 2005, 39(2/3): 436.
- [10] Kujawa-Roeleveld K, Elmitwalli T, Zeeman G. Enhanced primary treatment of concentrated black water and kitchen residues within DESAR concept using two types of anaerobic digesters water[J]. Science & Technology, 2006, 53(9): 159.
- [11] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
State Environmental Protection Administration of People's Republic of China. Water and wastewater monitoring methods [M]. 4th ed. Beijing: Chinese Environmental Science Publishing House, 2002.
- [12] 陆申龙, 金浩明, 曹正东. 液体粘滞系数与温度关系实验及曲线拟合[J]. 物理实验, 1988, 8(3): 122.
LU Shenlong, JIN Haoming, CAO Zhengdong. Liquid viscosity coefficient relation with temperature experiment and curve fitting [J]. Physical Experiments, 1988, 8(3): 122.