

HRT 与有机负荷对 ABR 各 隔室净化功能的影响分析

徐金兰, 王志盈, 高峰, 王晓昌

(西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055)

摘 要: 以 ABR 反应器为研究对象, 在不同 HRT 和有机负荷条件下, 对各隔室的净化功能进行了分析。试验结果表明: 1) 固定进水 COD 浓度, 减小 HRT 的过程中, 各隔室从前到后的去除效果是由低-高-低的变化, HRT 降低会导致水力负荷的过度增加, 使隔室沟流、短流严重产生, 影响去除效果; 2) 固定 HRT, 增加进水 COD 浓度时, 1# 隔室 COD 去除负荷与 COD 的有机负荷呈正相关, COD 去除率稳定在 40% 以上, 其余隔室 COD 去除负荷与 COD 的有机负荷先呈正相关, 随后呈下降趋势, 进水浓度过高会引起反应器酸化, 1# 隔室的酸化一旦发生, VFA 组分发生变化, 产生丙酸、丁酸等中间产物, 对后续隔室的微生物产生抑制, COD 去除负荷就会明显下降; 3) ABR 反应器运行操作方便灵活, 在以高浓度时的相同负荷的条件下, 采用不同的运行方式, COD 去除率由 98.6% 降为 89%, 仅降低 10% 左右, 在低浓度下实现的高负荷易产生水力负荷的提高而降低处理效果, 表明 ABR 适宜于高浓度的有机废水处理。

关键词: ABR; HRT; 有机负荷; 运行方式; 各隔室 COD 去除负荷

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 1006-7930(2004)01-0055-06 *

Influent analysis on the effect of organic load rate and HRT on the purifying function of each compartment of anaerobic baffled reactor

XU Jin-lan, WANG Zhi-ying, GAO Feng, WANG Xiao-chang

(School of Environmental & Municipal Engineering, Xi'an University of
Architecture & Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: The paper analyzed the effect of organic load rate, HRT and operating model on the purifying function of each compartment of ABR. The test indicates: while decreasing HRT, the removal efficiency of each compartment was low-high-low. The removal efficiency was improved unless channeling increased on the condition of low HRT, high hydraulic load; second, when feed concentration increased on the condition of constant HRT, COD removal load and organic load rate was proportional directly in the first compartment, revealing that ABR was very stable to organic load, and unless high feed concentration causes acidification, the composition of VFA would change into propionate, butyrate and so on, the biomass in rear compartment was inhibition, and COD removal load decreased; and thirdly, the operation of ABR was flexible, and under the high concentration, equal load and different operation model, COD removal efficiency became 98.6%~89%, at a decrease of 10%. Low feed concentration may lead to poor treatment efficiency because of high

* 收稿日期: 2003-06-05

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(5013802); 陕西省教委专项基金(01JK187), 校青年基金

作者简介: 徐金兰(1973-), 女, 浙江兰溪人, 讲师, 工学博士, 主要从事水污染控制研究工作

hydraulic load, and then ABR was suitable for high concentration wastewater

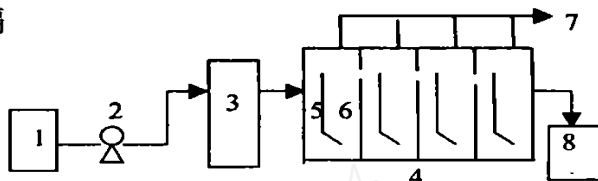
Key words: ABR; HRT; each compartment; hydraulic load; organic load rate; high concentration wastewater

厌氧折流板反应器(anaerobic baffled reactor 简称ABR)处理能力高,停留时间明显缩短,耐冲击负荷强,高效低耗^[1]。研究表明^[2],对多种低浓度高浓度废水,高浓度固体的废水,含硫酸盐废水等均能有效的处理。A. Grobicki和D. C stucky^[3,4]对ABR在稳定状态冲击负荷条件下的性能进行了研究。本文主要研究HRT、有机负荷、进水浓度对ABR各隔室的运行性能影响。

1 试验材料与研究方法

1.1 试验装置

试验用多隔室厌氧反应器(ABR)用有机玻璃制造,总容积27.36L,有效容积15.84L,反应器分隔成4个反应室,每室由一个下流室和上流室组成,上流室宽为12cm,体积为3.186L,下流室宽为3cm,体积为0.792L,二者的宽度比为4:1,通往上流室的挡板下部边缘有45°倒角的导流板布水,便于将水送至上流室的中心,使泥水充分混合接触。每室顶部设有取样口,旁侧设有集气管,采用排水置换法来计量气体体积,试验装置见图1。反应器采用计量泵(兰格蠕动泵)连续进水,通过调节计量泵的转速来保证系统进水恒定,整个系统采用内循环管式加热,反应器内温度控制在中温 $33\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。



1. 进水箱 2. 进水泵 3. 加热器 4. 多隔室厌氧反应器
5. 下流室 6. 上流室 7. 沼气管 8. 出水箱

图1 试验装置图

Fig 1 Experimental configuration

1.2 废水水质

试验用水由奶粉配制,添加 NH_4Cl 和 Na_3PO_4 来补充厌氧细菌生长所需的氮和磷,控制 $\text{COD}:\text{N}:\text{P}=300:5:1$,投加一定量的 NaHCO_3 及 Fe 、 Co 、 Ni 、 Zn 等微量元素。碱度按 $\text{COD}:\text{碱度(以CaO计)}=5.93:1$ (质量比)比例投加。

1.3 分析方法

COD :重铬酸钾标准法^[5]; MLSS 和 MLVSS :重量法^[5];挥发性脂肪酸(VFA):水蒸气蒸馏法^[6]; pH : pHS-25BC 型数字酸度计。

1.4 试验方法

接种污泥取自西安市制药厂,浓度为 $15\text{g(VSS)}/\text{L}$,污泥的 VSS/SS 为0.54。试验采用连续运行方式,在低负荷条件下进行启动^[7],启动负荷为 $0.85\text{kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,HRT控制在24h,经过40d各隔室出现颗粒污泥,100d时污泥粒径达到2~3mm,污泥表面电镜扫描结果表明:4个隔室中的颗粒污泥表面都有缝隙和空洞,污泥表面以丝状菌和杆菌为主,丝状菌构成颗粒污泥的骨架。主要的运行条件见表1所示。

2 结果与讨论

2.1 不同HRT下的COD去除效果

将进水COD浓度稳定在 $2000\text{mg}/\text{L}$,通过逐步减少HRT,增大有机负荷OLR值,使反应器在HRT分别为36、24、16、12和8h(相应的OLR值为1.344、2.055、3.255、4.078、6.546 $\text{kgCOD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$)下各运行10d,COD去除负荷、COD去除率随HRT的变化规律见图2。

从图2可以看出,随着HRT的减少和有机负荷OLR的增加,COD的去除率逐渐降低,有机去除负荷逐渐提高,当HRT由36h减为16h时,COD去除率仅由94.8%降到91.43%,降低3%,当HRT减少为8h时,COD去除率降到84%,有机负荷由1.344增加到6.546 $\text{kgCOD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,此时负荷提高了4.5倍,COD去除率仅降低了10%,说明ABR对水力冲击负荷具有良好的适应性。但水力负荷过大,反应器的死区体积增大,沟流、短流严重,使反应器的处理效果下降。

表 2 给出了不同 HRT 条件下各隔室 COD 浓度、COD 去除负荷及 COD 去除率,表中结果显示了以下特征:

(1)随着 HRT 的减少,1# 隔室 COD 去除率逐渐下降 当 HRT 为 36h、24h 时,有 50% 以上的 COD 在 1# 隔室被降解,此时负荷分别为 5 376 和 8 22kgCOD/(m³·d);当 HRT 降到 16h、12h、8h 时,仅有 30% 左右的 COD 在 1# 隔室被去除,随着 HRT 的缩短,生物与基质接触的时间减少,在隔室内会发生了沟流现象,增加了反应器的死区体积^[8],因此 1# 隔室的 COD 去除率降低;另一方面 HRT 的减少使 1# 隔室所承受的有机负荷提高(分别为 12 9、16 31、26kgCOD/(m³·d)),将表 2 中 HRT 为 12h, COD 为 2039 mg/L 与表 3 中 HRT 为 24h, COD 为 4140mg/L 相比,两种情况下有机负荷相同,但 1# 隔室的去除率差别

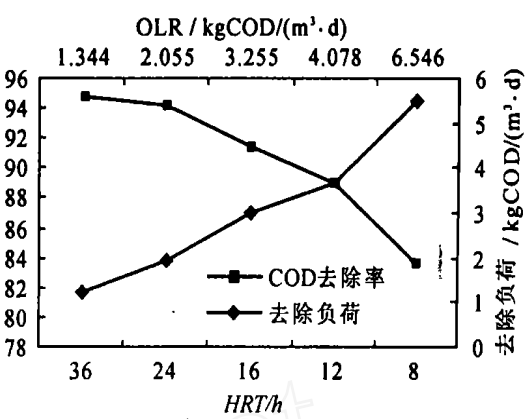


图 2 COD 去除率、有机去除负荷与 HRT 和 OLR 的关系

Fig 2 Relation of COD removal rate, COD removal load w ith HRT and OLR

表 2 不同 HRT 条件下各隔室 COD 浓度、COD 去除负荷及 COD 去除率															
Tab 2 COD concentration, removal load and removal rate compartment under different HRT															
HRT/h	各隔室出水 COD、COD 去除负荷、COD 去除率														
	COD 浓度/mg·L ⁻¹					COD 去除负荷				COD 去除率/%					总反应器
	进水	1#	2#	3#	4#	出水	1#	2#	3#	4#	1#	2#	3#	4#	
36	2015	877	601	364	166	106	3.03	0.74	0.63	0.24	56.4	13.8	11.8	12.8	94.8
24	2055	988	450	158	118	118	4.27	2.15	1.17	0.03	51.9	26.2	14.2	1.9	94.2
16	2170	1473	713	325	186	186	4.18	4.56	2.33	0.74	32.1	35.0	17.9	6.4	91.4
12	2039	1529	678	440	201	200	4.08	6.81	1.90	1.75	25.0	31.0	22.4	11.8	90.2
8	2182	1658	1150	783	357	357	9.05	3.34	4.28	2.86	24.0	23.0	27.5	9.5	84.0

很大(分别为 25% 和 41.9%),表明有机负荷的提高不是 1# 隔室 COD 去除率下降的主要原因,HRT 缩短、水力负荷加大影响 ABR 反应器中的优势菌群^[9],在 HRT 较长时 1# 隔室中以利用氢的甲烷菌为优势菌,在 HRT 较短时以中间电子转移由氢转为甲酸,故以生长较快的利用甲酸的甲烷菌为优势菌^[10]。(2)在 HRT 减少的过程中,各隔室从前到后的去除效果是由低-高-低的变化,只要由于 HRT 降低不会导致水力负荷的过度增加,使隔室沟流、短流严重产生,就会使去除效果提高,只有在 HRT 小到沟流、短流现象严重后,各隔室从前到后依次出现去除效果降低,最终导致整个系统出现效果降低的现象

2.2 不同进水浓度对 COD 去除率及去除负荷的影响

将 HRT 固定在 24h,进水浓度分别为 1103、1354、2120、2600、3600、4140mg/L (相应的 OLR 值分别为 1.102、2.12、2.6、3.6、4.14kgCOD/(m³·d))的条件下各运行 10,对应的 COD 去除率、有机去除负荷与进水浓度及 OLR 的关系见图 3 随进水 COD 浓度

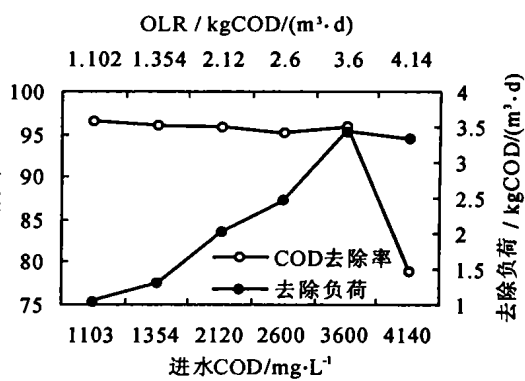


图 3 COD 去除率、有机去除负荷与进水浓度及 OLR 的关系

Fig 3 Relation of COD removal rate, COD removal load w ith concentration and OLR

和 OLR 的增加,COD 去除率基本保持在 95% 左右,表明 ABR 反应器对有机负荷的冲击亦具有良好的适应性^[11]。当浓度增加到 4140mg/L 时,COD 的去除率降到 79%,主要由于 1# 隔室的酸的浓度高达 1800mg/L (以乙酸计),高浓度的 VFA 对产甲烷菌产生抑制作用,这与反应器的污泥负荷有关,如果进一步提高反应器的污泥浓度,ABR 的 OLR 和 COD 去除率尚可进一步提高

表 3 不同进水浓度条件下各隔室 COD 浓度、COD 去除负荷 及 COD 去除率
Tab.3 COD concentration and removal rate of each compartment under different concentration

HRT /h	各隔室出水 COD、COD 去除负荷、COD 去除率													
	COD 浓度/mg·L ⁻¹					COD 去除负荷				COD 去除率/%				总反应器
	1#	2#	3#	4#	出水	1#	2#	3#	4#	1#	2#	3#	4#	
1103	653	604	277	220	43	1.80	0.20	1.31	0.94	40.0	5.0	30.0	21.1	96.5
1354	760	430	223	159	53	2.38	1.32	0.83	0.68	44.0	12.0	15.5	24.5	96.0
2120	1010	400	208	120	85	4.04	2.44	0.77	0.49	50.0	31.0	9.0	5.9	95.9
2600	1400	600	325	146	115	4.80	3.20	1.10	0.84	46.0	31.0	10.5	8.1	95.6
3600	1800	900	400	269	151	7.20	3.60	2.00	1.00	50.0	25.0	13.9	6.9	95.8
4140	2402	1874	1312	1031	810	6.95	2.11	2.24	2.00	41.9	12.9	13.5	10.7	79.0

表 3 给出了不同进水浓度条件下各隔室的 COD 浓度、去除负荷及 COD 去除率,结果表明:

(1) 随着进水浓度的增加,1# 隔室负荷逐渐增加(4.4~16.6 kgCOD/(m³·d)),达到 16.6kgCOD/(m³·d),COD 去除负荷也逐渐增加,COD 去除负荷与 COD 有机负荷呈正相关(见图 4 所示);1# 隔室的微生物对环境的适应性极强,能够发挥最大的代谢能力,调整自身使其适应环境

(2) 从图 4 中可以看出,随着浓度升高 2#、3#、4# 隔室 COD 去除负荷与 COD

的有机负荷先呈正相关,随后呈下降趋势。当进水浓度较低时,1# 隔室产生的 VFA 主要以乙酸为主,在 2# 隔室中很快被降解,出现前段呈正相关的趋势;当进水浓度升高(4140mg/L 时),1# 隔室低的 pH 值和高的基质浓度,使 VFA 的组分发生变化,微生物会产生丁酸、丙酸等中间产物,对后续 2# 隔室的微生物产生抑制作用^[12],COD 的去除负荷明显下降

(3) 从图 4 中可以看出,1# 隔室产生的中间产物在 2# 隔室中得到进一步转化,进入 3#、4# 隔室后产生的抑制作用逐渐减小

从以上分析结果可以得出 ABR 的 1# 隔室 COD 去除负荷与 COD 有机负荷呈正相关,对进水浓度变化的适应性很强;进水浓度过高时,1# 隔室的发酵产物组分发生变化,对后续 2# 隔室的微生物产生

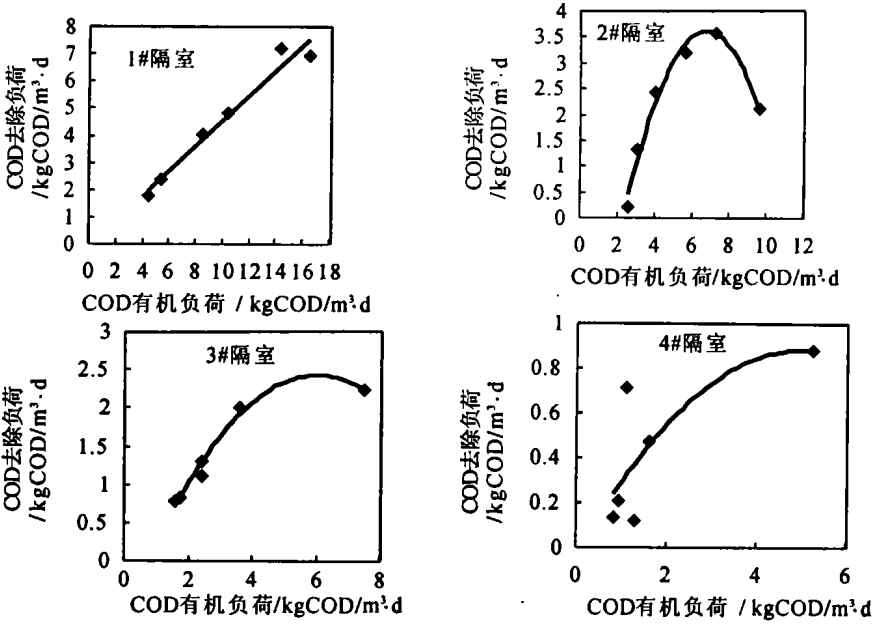


图 4 各隔室 COD 有机负荷与 COD 去除负荷的关系曲线
Fig.4 Curve of COD load and COD removal load in each compartment

抑制作用, COD 的去除负荷明显下降

2.3 相同负荷运行条件对 COD 去除率及去除负荷的影响

将负荷固定在 $2.0\text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 分别采用不同进水 COD 浓度 730、948、1225、2108、3500 mg/L , 其相应的 HRT 为 8、12、16、24、36h 的条件下各运行 8d, 试验结果见图 5 所示。从图中可以看出在负荷不变的情况下, 由于进水浓度低, 停留时间短, 反应器在水流和气流的作用下紊动较大, 易造成短流, 污泥易流失(见表 4), 废水与生物的接触时间较短, 使处理效率略有下降, 由 98.4% 降到 89%, 降低 10%, 表明在有机负荷相同的条件下, 增大进水浓度, 有利物质向絮体内的传递。因此, 在高浓度、长停留时间下处理效果优于低浓度、短停留时间下的处理效果。在保持负荷相同时, 宜用变动浓度的方法, 尽量避免增大流量的途径, 因为增加流量会使水力负荷增加, 造成污泥流失, SRT 下降, 从这个意义上讲 ABR 适宜于高浓度的有机废水处理。

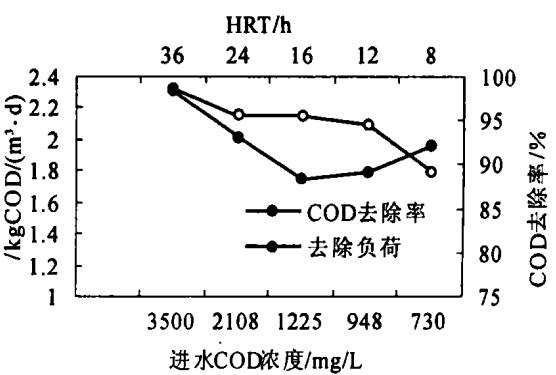


图 5 COD 去除率、有机去除负荷与进水浓度及 HRT 的关系

Fig. 5 Relation of COD removal rate, COD removal load with concentration and OLR

表 4 相同负荷不同运行条件下污泥的流失量
Tab. 4 The amount of washed sludge

项目	HRT= 8h	HRT= 12h	HRT= 16h	HRT= 24h	HRT= 36h
反应器中污泥浓度/gV SS/L	19.01	28.76	30.66	32.18	38.49
反应器中污泥总量/gV SS	301.1	455.5	485.6	509.7	609.7
反应器每天流出的污泥量/gV SS/d	4.94	4.65	3.5	2.3	1.2
理论细胞平均停留时间 SRT/d	61	98	139	222	508

注: 表 4 中理论细胞平均停留时间 $SRT = \text{反应器中污泥总量} / \text{反应器每天流出的污泥量}$

表 5 相同负荷不同运行条件下各隔室 COD 浓度、COD 去除负荷及 COD 去除率
Tab. 5 COD concentration and removal rate of each compartment under different operation condition

HRT/h	各隔室出水 COD、COD 去除负荷、COD 去除率														
	COD 浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$					COD 去除负荷					COD 去除率/%				
	进水	1#	2#	3#	4#	出水	1#	2#	3#	4#	1#	2#	3#	4#	总反应器
8	730	698	159	111	83	79	0.38	6.47	0.58	0.05	4.4	73.6	6.8	3.8	89.0
12	948	822	190	107	87	51	1.01	5.06	0.66	0.29	13.3	66.7	8.7	2.1	94.5
16	1225	909	158	126	118	55	1.90	4.51	0.19	0.26	25.7	61.8	2.2	0.7	95.5
24	2108	1456	306	138	99	92	2.61	4.60	0.67	0.03	31.0	55.4	7.1	1.8	95.6
36	3500	1653	239	123	92	53	3.28	3.77	0.44	0.10	53.0	40.0	3.5	0.9	98.4

表 5 给出了负荷为 $2.0\text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 不同运行条件下各隔室的 COD 浓度、COD 去除负荷及 COD 去除率, 结果显示以下特征:

(1) 负荷相同的情况下, 无论采用那种运行方式, 1# 隔室所承受的负荷都是 $8.0\text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 不同运行条件下 1# 隔室的 COD 浓度、COD 去除负荷及 COD 的去除率有很大差异, 当进水 COD 浓度为 730 mg/L , $HRT = 8\text{ h}$, 1# 隔室的 COD 去除负荷仅 0.38 , COD 去除率仅 4.4% , 而当进水浓度提高到 3500 mg/L , $HRT = 36\text{ h}$, 1# 隔室的 COD 去除负荷及去除率均增加了 8 倍(分别为 $3.28\text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 、 53%), 表明负荷一定时, 进水浓度的波动对 1# 隔室的影响最大。

(2)在各种运行条件下,1# 隔室的出水COD不同,使2# 隔室所承受的有机负荷不同(2.79~6.61 kgCOD),2# 隔室的COD去除负荷及COD去除率与1# 隔室呈相反的趋势,当浓度为730mg/L时,COD的去除负荷高达6.47,COD去除率达到73.6%,表明在低浓度、短停留时间条件下,ABR的1# 隔室相当于酸化反应器(COD去除率4.4%),2# 隔室相当于产甲烷反应器(COD去除率73.6%),ABR反应器具具有两相厌氧消化的特点;当进水浓度为3500mg/L,COD的去除负荷降低近一半,为3.77,COD去除率也降低近一半,为40%左右,表明在高浓度、长停留时间的情况下,ABR反应器具具有推流式反应器的特点。总之,由于进水浓度的波动对1# 隔室产生的不利影响在2# 隔室中得到了补偿,无论采用何种运行方式,经过1#、2# 隔室废水中78%以上的COD被去除,表明ABR反应器操作运行方便灵活。

3 结 语

(1)ABR对水力负荷有良好的适应性,当HRT从36h逐渐降为8h时,COD的去除率下降缓慢,保持在83%以上。在HRT减少的过程中,各隔室从前到后的去除效果是由低-高-低的变化,只要由于HRT降低不会导致水力负荷的过度增加,使隔室沟流、短流严重产生,就会使去除效果提高,水力负荷会影响ABR1# 隔室中的优势菌群。

(2)ABR对有机负荷亦有良好的适应性,在增加OLR的过程中,1# 隔室的COD去除负荷与COD有机负荷呈正相关,使COD去除率稳定在40%以上,2#、3#、4# 隔室COD去除负荷与COD的有机负荷先呈正相关,随后呈下降趋势,2# 隔室尤其明显,表明进水浓度过高时,1# 隔室的VFA组分发生变化,产生丁酸、丙酸等中间产物,对后续2# 隔室的微生物产生抑制作用,中间产物在2# 隔室中进一步转化,对3#、4# 隔室的抑制作用减小。

(3)ABR反应器运行操作方便灵活,在负荷相同的条件下,采用不同的运行方式,COD去除率由98.6%降为89%,仅降低10%左右,ABR适宜于高浓度的高负荷有机废水处理,对低浓度高负荷情况易产生沟流等现象,造成生物严重流失。

参考文献

- [1] 沈耀良. 废水处理新技术—理论与应用[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999.
- [2] Barber W. P. et al. The use of the anaerobic Baffled Reactor (ABR) for wastewater treatment: A Review [J]. Wat Res, 1999, (33): 1559-1578.
- [3] Grobicki A. and Stuckey D. C. Performance of the anaerobic baffled reactor under steady-state and shock loading condition[J]. biot and being, 1991, (37): 344-355.
- [4] Nachaiyasit S. and Stuckey D. C. The effect of shock loads on the performance of an anaerobic baffled reactor (ABR): 2Step and transient hydraulic shocks at constant feed strength [J]. Wat Res, 1997, 31(11): 2737-2746.
- [5] 国家环保局. 水与废水监测分析方法(第三版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.
- [6] 贺延龄. 废水的厌氧生物处理[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998.
- [7] 徐金兰, 王志盈等. ABR的启动及颗粒污泥形成特征[J]. 环境科学学报, 2003, 25(5): 576-583.
- [8] Grobicki A. and Stuckey D. C. Hydrodynamic characteristics of the anaerobic baffled reactor[J]. Wat Res, 1992, 26: 371-378.
- [9] Stam S. A. J. M. Metabolic interactions between anaerobic bacteria in methanogenic environments[J]. Antonie van Leeuwenhoek, 1994, 66: 271-294.
- [10] Xing J., Tilche A. The effect of hydraulic retention time on the hybrid anaerobic baffled reactor performance at constant loading[J]. Biomass and Bioenergy, 1992, 3(1): 25-29.
- [11] 徐金兰, 王志盈, 高峰. 有机负荷对ABR运行性能的影响[J]. 中国给水排水, 2003, 19(10): 1-5.
- [12] 徐金兰, 王志盈. 关于ABR系统中酸解过程的特征及其恢复调控问题[J]. 环境科学学报, 2004, 24(1): 20-27.