

厌氧折流板反应器对有毒有机物冲击负荷的适应性*

戴友芝¹, 冀静平², 施汉昌², 钱易² (1. 湘潭大学环境工程系, 湖南 411105; 2. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要: 在厌氧折流板反应器中, 以氯酚配水进行毒物冲击负荷试验, 进水 COD 为 1100~1200 mg/L, HRT 为 1d 时, 连续 2d 投加五氯酚钠 16.83~17.72 mg/L。结果表明, 厌氧污泥依次经历活性抑制阶段及活性恢复阶段。毒物冲击对反应器前段影响较大, 对后段危害甚小。产酸菌比产甲烷菌先恢复, 污泥活性恢复期为 18~26d, 污泥驯化越好, 其活性恢复越快。出水挥发酸和碱度变化也可表征系统恢复的进程。

关键词: 厌氧折流板反应器, 厌氧消化, 五氯酚钠, 负荷冲击, 废水处理。

中图分类号: X703.3 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2000)01-0094-04

Adaptability of Anaerobic Baffled Reactor to Shock Load of Toxic Organic Compound

Dai Youzhi¹, Ji Jingping², Shi Hanchang², Qian Yi² (1. Dept. of Environ. Eng., Xiangtan Univ., Hunan 411105, China; 2. Dept. of Environ. Sci. and Eng., Tsinghua Univ., Beijing 100084, China)

Abstract: The performance characteristics of the anaerobic baffled reactor (ABR) under toxicant shock load were investigated in a 16.2L laboratory scale reactor. The COD 1100~1200mg/L of influent synthesized by glucose, urea and KH₂PO₄ was continuously added. The pentachlorophenol sodium was impact added, during the first two days 16.83~17.72mg/L, the other days 1~2mg/L. Experimental results demonstrated that the anaerobic sludge undergo, in turn, an activity inhibited period and activity recuperated period after the shock load. The system recovery need 18~26 days depend on the sludge acclimated degree. The toxicant impact affected the sludge activity more seriously in the front section than in the rear of the reactor, to methane bacteria than acid formation bacteria. The change of effluent VFA and alkalinity also indicated the progress of system recovery.

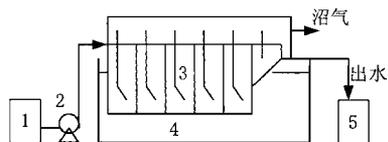
Keywords: anaerobic baffled reactor, anaerobic digestion, pentachlorophenol sodium, shock load, wastewater treatment.

厌氧折流板反应器(anaerobic baffled reactor, ABR)中有多个竖立排列的隔板,使其形成一组升流式和降流式的厌氧污泥床反应器。由于多格串联运行,各格又相对独立,反应器截留生物能力强、处理效果好、运行稳定可靠。ABR反应器在单格反应室内,水力特性接近于完全混合式,而在整体流程中则近似于推流式;ABR对无毒有机物冲击负荷(无论是在水力或是在浓度负荷冲击下)表现出良好的稳定性能^[1~4]。而对有毒物冲击负荷的适应性尚未见报道。本文进行了五氯酚钠(PCP-Na)冲击负荷试验,研究了厌氧折流板反应器在有毒有机物冲击负荷后的性能恢复规律。

1 试验装置与工艺流程

试验用厌氧折流板反应器为有机玻璃制成,长×宽×高=418×160×410mm,有效容积16.2L。ABR分为5格反应室,每室由上、下流室组成,另加沉淀室,每格顶部设有取样口。整个反应器安置在恒温水浴箱内,其温度通过WMZK-01型温度控制仪维持35±1℃。试验工艺流程如图1所示

* 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室开放基金资助项目
作者简介:戴友芝(1956~),女,副教授。
收稿日期:1999-05-28



1. 进水箱 2. 蠕动泵 3. ABR 4. 恒温水槽 5. 出水箱

图1 ABR 试验流程

2 试验方法

试验用水: 人工配水以葡萄糖为碳源, 尿素和磷酸二氢钾分别为氮源和磷源(比例为 $\text{COD} \cdot \text{N} \cdot \text{P} = 200 \cdot 5 \cdot 1$), 定量投加 PCP-Na.

接种污泥: 反应器接种污泥取自北京有机化工厂深井曝气回流污泥(约2/5)、北京焦化厂A/O 工艺回流污泥(约2/5)和北京啤酒厂UASB 装置中的厌氧污泥(约1/5). 沉淀1d, 去除上清液, 混合后放入反应器中, 污泥浓度(VSS)约11g/L. 经40d 培养, 污泥产甲烷活性较好, COD 去除率稳定在90% 以上.

试验方法: 在系统稳态条件下(以葡萄糖为基质, 进水COD 基本稳定在1100~1200mg/L, HRT 约为1d), 连续2次进行高负荷有毒有机物冲击试验. 第1次有毒物负荷冲击时, 反应器(系统)污泥未经PCP-Na 驯化, 连续2d 以PCP-Na 17.66mg/L、16.83mg/L 高负荷进水, 而后以1~2mg/L 连续进水, 系统在稳态条件下逐步恢复. 第1次冲击负荷后的第10d(以开始进高浓度PCP-Na 为计时起点, 下同), 将沉淀格污泥部分回流至反应器的第1、2格, 帮助系统恢复. 第1次冲击基本恢复后即进行第2次冲击负荷试验, 第2次进水基质浓度、HRT 基本与第1次相同, 连续2d PCP-Na 冲击负荷浓度为17.72mg/L、17.48mg/L, 第2次恢复期间未从沉淀室回流污泥, 即进行自然恢复. 试验考察了出水PCP-Na、COD、挥发酸(VFA)、碱度的变化情况以及污泥活性.

分析项目及方法: COD 采用重铬酸钾标准法, SS 和 VSS 采用重量法, PCP-Na 浓度用美国产 HP1050液相色谱仪, Supelco ODS 反相柱 LC18测定^[5-6], 挥发酸采用气相色谱仪测定^[7], 碱度采用化学滴定法^[5], 厌氧污泥活性采用史

氏发酵管测定^[8].

3 试验结果与讨论

3.1 出水 PCP-Na、COD 浓度变化和反应器性能恢复

第1次冲击负荷试验, 测定结果见图2(图中第5d 开始进高浓度PCP-Na, 为有毒物冲击负荷的第1d, 以下图均同). 从图2可见, 未经驯化的污泥受有毒物冲击后出水PCP-Na 最高浓度为4.89mg/L, 出现在冲击负荷后的第3d, 出水PCP-Na 浓度高于稳态条件下进水浓度(1mg/L 左右)的天数为12d. 出水COD 最高浓度为677mg/L, 出现在冲击负荷后的第8d. 第1次冲击负荷后的第17d 出水中的PCP-Na 未检出(此时进水PCP-Na 仍维持在1~2mg/L). 第26d 出水中的COD 浓度低于100mg/L. 冲击负荷后26d 反应器的处理效果基本完全恢复. 说明在厌氧折流板反应器中, 污泥对PCP-Na 已有降解作用, 该反应器具有耐冲击负荷的能力, 将沉淀室污泥部分回流到反应器的第1、2格, 有助于反应器处理效果的恢复.

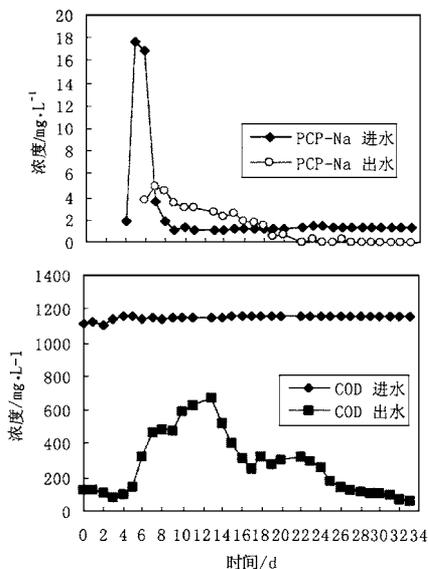


图2 第1次冲击负荷试验

第2次冲击负荷试验(图3). 冲击负荷后出水PCP-Na 最高浓度为3.22mg/L, 出现在冲击后的第3d, 出水PCP-Na 浓度高于稳态条件下进

水浓度(1mg/L左右)的天数仅为2d.出水COD最高浓度为590mg/L,出现在冲击后的第4d.第2次冲击负荷后的第10d出水中PCP-Na未检出,第18d出水中的COD浓度低于100mg/L.冲击负荷后约半个月反应器的处理效果可以完全恢复.

比较二次冲击试验结果,可见经第1次冲击后,且经稳态条件下(PCP-Na进水浓度为1~2mg/L)驯化约1个月的污泥系统已具有降解PCP-Na的能力,耐冲击负荷能力提高,恢复期缩短,处理效果得到改善.

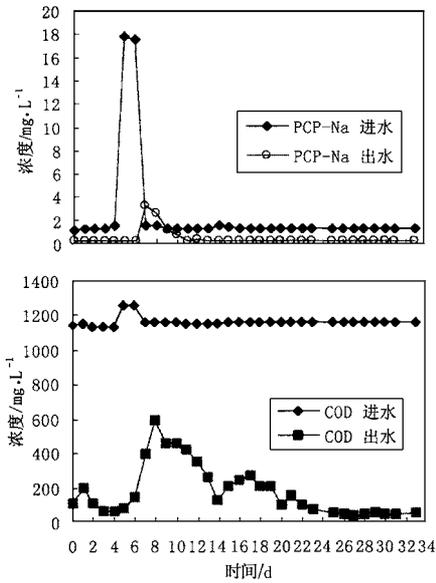


图3 第2次冲击负荷试验

3.2 出水挥发性脂肪酸的变化

图4是第2次有毒物冲击后出水挥发性脂肪酸的变化情况,乙酸占挥发酸总量的90%以上.从图4可知,冲击负荷后的第1~3d,出水中VFA的浓度很低,乙酸仅1.44mg/L,丙酸0.6mg/L,丁酸未检出,而COD浓度却高达393.3mg/L,这说明PCP-Na冲击已对系统产生严重的破坏作用,不仅抑制了产甲烷菌,而且也抑制了产酸菌,但未将微生物完全杀死.冲击后的第4~6d,出水中的VFA浓度逐渐增高,COD浓度仍继续增高,分析反应器每格上清液VFA和COD结果发现,在此时段第3、4、5格产酸菌活性恢复,而产甲烷菌未能恢复;冲击后的

第7~9d,出水VFA和COD同时降低.每格上清液VFA和COD测定结果表明,此时段第3、4、5格产甲烷菌活性开始恢复,使部分VFA转化为 CH_4 和 CO_2 ;随后(第10~15d)出水中出现有机酸暂时积累,乙酸达157.97~305.17mg/L,丙酸为11.04mg/L,而出水COD仍继续降低,始终未见丁酸积累(小于2mg/L).此时段第1、2格的产酸菌活性得以恢复,而产甲烷菌活性未能恢复,整个系统产酸菌比产甲烷菌恢复更快,暂时出现产酸与产甲烷的失衡现象;随着稳态条件下的继续运行,第18d后,出水VFA和COD浓度均较低,分别降至40mg/L和100mg/L以下,表明反应器内产酸菌与产甲烷菌已达到平衡,系统已完全恢复.

有毒物冲击过后,系统依次经历了产酸菌与产甲烷菌明显被抑制阶段及其代谢活性恢复阶段.反应器的恢复可分为2段,前段(第1、2格)和后段(第3、4、5格).由于2段微生物恢复的进程不一,且每段产酸菌比产甲烷菌又先恢复,因此出水挥发酸浓度出现2次上下波动(见图4),最后整个系统达到产酸与产甲烷的平衡阶段,处理效果完全恢复.在产酸菌与产甲烷菌的失衡阶段,出现少量丙酸积累而未见丁酸积累,说明在有毒物存在时,葡萄糖厌氧消化可能主要是经丙酸菌作用再转化为乙酸的,这与McCarty等研究的葡萄糖厌氧消化产酸阶段新模式^[9](在高基质浓度下)是一致的.

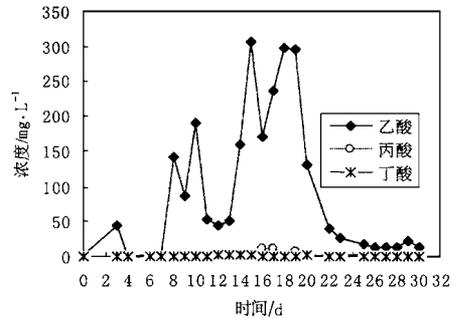


图4 出水挥发性脂肪酸变化

3.3 出水碱度的变化

碱度反映废水在厌氧处理过程中所具有的缓冲能力.碱度又表示强碱、弱碱、弱酸阴离子

的含量,厌氧过程产生的挥发酸阴离子也表现为碱度^[9]。图5是第2次毒物冲击后出水总碱度的变化情况。从图5可知,冲击负荷后的第1、2两天出水碱度为1584mg/L和1564mg/L,比进水碱度高150~200mg/L,说明碱度对冲击负荷的反应不如挥发酸灵敏,表现出滞缓性。第3~8d,出水碱度在1400~1450mg/L,基本与进水碱度相同,第9~17d,出水碱度逐渐增高(在1500~1550mg/L之间),这表明反应器系统微生物活性不断恢复,第18d以后,出水碱度稳定在1550~1600mg/L,即出水碱度高于进水150~200mg/L,对应的出水COD在100mg/L以下。

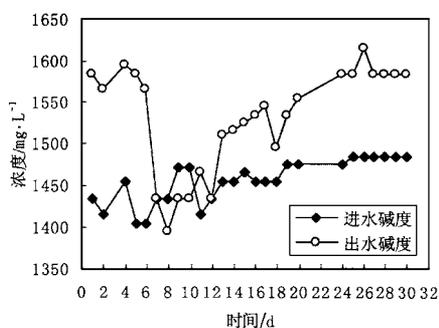


图5 出水碱度变化

3.4 污泥活性

在冲击负荷前和冲击负荷后的第5、15、26d分别测定了ABR各格污泥的产甲烷活性。4次测定结果表明,有毒物冲击主要对第1、2格污泥活性影响较大,对后续各格污泥活性影响很小。试验发现冲击时第1格污泥中有很多乳白色凝胶状物,有的聚成一团,这可能是有毒物引起细胞组织的损伤物与胞外聚合物,约15d后开始逐渐减少,成团分散,系统恢复正常后,该白色凝胶状物基本消失。在恢复期,后3格的污泥活性比未受冲击时稍有增大,这可能是由于第1、2格受冲击后基质降解量减少,而使后面3格有机负荷相应增大所致。污泥吸附试验证明活性污泥对PCP-Na吸附能力很强,5min内可吸附80%以上,分析PCP-Na的去除过程先是经污泥吸附而后进行生物降解。在反应器前段,污泥吸附了较多的有毒物,使后段污泥承受的有毒物浓度减小,所以冲击负荷主要影响反应器的

第1、2格,而对第3、4和5格危害小,这是整个反应器系统处理效果恢复较快的主要原因。

4 结论

(1)当进水COD浓度为1100~1200mg/L, HRT为1d时,ABR对毒物冲击有较强的适应能力。在第1次高负荷(17~18mg/L)有毒物冲击后,其处理性能经26d逐步恢复正常,COD去除率达90%以上。在第2次冲击后,仅用18d即恢复正常。污泥驯化越好,其活性恢复越快。

(2)系统经有毒物冲击负荷后,依次经历产酸菌与产甲烷菌明显被抑制的阶段及其代谢活性恢复阶段。反应器前段(第1、2格)和后段(第3、4、5格)微生物恢复的进程不一,产酸菌比产甲烷菌先恢复,最后达到产酸与产甲烷的平衡。

(3)出水挥发酸和碱度的变化与COD的降解规律基本一致,可以表征系统活性恢复的进程。

参考文献

- Grobicki A et al. Hydrodynamic Characteristics of the Anaerobic Baffled Reactor. *Wat. Res.*, 1992, 26(3): 371~378
- Nachaiyasit S et al. The Effect of Shock Loads on the Performance of an Anaerobic Baffled Reactor (ABR), 1. Step Changes in Feed Concentration at Constant Retention Time. *Wat. Res.*, 1997, 31(11): 2737~2746
- Nachaiyasit S et al. The Effect of Shock Loads on the Performance of an Anaerobic Baffled Reactor (ABR), 2. Step Changes in Feed Concentration at Constant Retention Time. *Wat. Res.*, 1997, 31(11): 2747~2754
- 郭静等. ABR反应器的性能及水力特性研究. *中国给水排水*, 1997, 13(4): 17~19
- 国家环境保护局. 水与废水监测分析方法(第三版). 北京: 中国环境科学出版社, 1997. 381, 233~237
- 张文悦等. 高效液相色谱法测定厌氧废水处理液中的氯酚的含量. *环境污染与防治*, 1994, 16(6): 33~35
- 中国科学院成都生物研究所. 沼气发酵常规分析. 北京: 北京科学技术出版社, 1984. 43~48
- 俞毓馨等. 环境工程微生物检验手册. 北京: 中国环境科学出版社, 1990. 182~186
- McCarty P L et al. Modeling of anaerobic digestion processes (a discussion of concepts). *Wat. Sci. Tech.*, 1991, 24(8): 17~33