

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2012.05.022

ABR工艺的研究现状与应用进展

彭 勃, 何绪文

(中国矿业大学(北京) 化学与环境工程学院, 北京 100083)

摘 要: ABR工艺具有适用范围广、耐冲击、运行费用低等优点, 在生活污水和制药废水、印染废水等工业废水的处理领域应用较广泛, 且处理效果较好。低负荷启动是ABR启动的关键; 接种污泥对ABR的启动影响较大, 接种的污泥越专性, 越易启动反应器; ABR运行中, 会产生颗粒污泥。应用领域的进一步拓宽、填料的开发、发酵产氢系统及分区进水ABR的研究是ABR的主要研究方向。

关键词: ABR; 低负荷启动; 接种污泥; 颗粒污泥

中图分类号: X505

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2012)05-0100-06

The Research Status and Application Progress of ABR Process

Peng Bo, He Xuwen

(School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: ABR process has advantages of wide application, strong impact resistance and low operation cost, which is widely used in the treatment field of domestic sewage, pharmaceutical wastewater and printing and dyeing wastewater. Low load start is the key to ABR start; The seeding sludge has a big impact on reactor start-up, and the more special the seeding sludge is, the easier the reactor is to start. During ABR operating the granular sludge generates. The major research directions for ABR will be further broadening the application areas, fillers developing, and the researches on fermentative hydrogen production system and divisional influent system.

Keywords: ABR; low load start; seeding sludge; granular sludge

1 ABR工艺的原理及特征

20世纪80年代初, A. Bachmann等^[1]在厌氧生物转盘反应器的基础上改进研发了厌氧折流板反应器(anaerobic baffled reactor, ABR)。ABR集上流式厌氧污泥床技术和分阶段多相厌氧反应器技术于一体, 具有结构简单、截留污泥能力强、稳定性高、水力混合条件好等优点, 被称为第三代厌氧反应器^[2]。随着厌氧技术的发展, ABR的水力设计已由简单的推流式或完全混合式发展为混合型复杂水力流态。

1.1 ABR的基本原理

ABR使用一系列垂直安装的折流板, 使被处理的废水在反应器内沿折流板作上下流动, 并借助于处理过程中反应器内产生的沼气, 使反应器内的微生物固体在折流板所形成的各个隔室内作上下膨胀和沉淀运动, 而整个反应器内的水流则以较慢的速度作水平流动。

在折流板的作用下, 污水绕折流板流动而使水流在反应器内的流径总长度增加, 再加以折流板的阻挡及污泥的沉降作用, 生物固体被有效地截留在

收稿日期: 2012-07-13

作者简介: 彭 勃(1990-), 女, 湖南长沙人, 中国矿业大学(北京)硕士生, 主要研究方向为水污染控制,

E-mail: 331751618@qq.com

反应器内^[3]。

1.2 ABR的工艺构造

ABR的工艺构造一般有改进前和改进后2种。图1a为改进前的构造型式,该构造型式中,折流板为等距均匀设置,折板上不设转角。由于上下折流板为均匀设置,加之进水一般为下向流形式,故容易产生短流、死区及生物固体的流失等问题。图1b为改进后的构造型式,其折流板的设置间距不均等,且每一块折流板的末端都带有一定角度的转角。改进后的ABR能够更好地将生物固体截留在反应器内,同时也解决了传统ABR的短流、死区等问题。

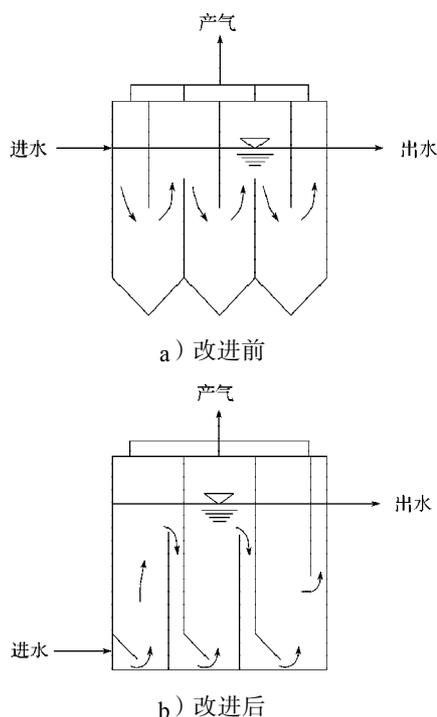


图1 ABR的工艺构造

Fig. 1 ABR process structure

在构造上,ABR可看作是多个升流式厌氧污泥床反应器(upflow anaerobic sludge blanket reactor, UASB)的简单串联,但在工艺上,ABR与单个UASB有着显著的不同,UASB可近似看作是一种完全混合式反应器,ABR则由于上下折流板的阻挡和分隔作用,使水流在不同隔室中的流态呈完全混合态,而在反应器的整个流程方向则表现为推流态^[4]。

1.3 ABR的特征

1) 适用范围广

ABR工艺适用于各种浓度、各种工艺负荷的污染物处理,不仅能有效处理生活污水,而且在处理一些污染物种类多、毒性大、化学需氧量(chemical oxygen demand, COD)高(大于10 000 mg/L)、色泽深、酸性或碱性强、可生化性差($B:C < 0.3$)的工业

废水方面也取得了较好的效果^[5]。此外,ABR还适用于垃圾渗滤液、硫酸盐废水、大豆蛋白废水、淀粉废水等处理^[6-10]。

2) 耐冲击,适应性好

ABR工艺的适应性较好,适用于极端环境条件,能处理含有抑制剂的废水。ABR工艺能较好地抵御冲击的液压和有机负荷,停留时间较长,可以获得更多的生物量,污泥产量较低,无氧代谢的各个阶段能部分分离而使细菌数量发生变化,增加了其对有毒物质的抗性和对pH、温度等环境参数变化的抵抗力。

3) 运行费用低

ABR结构简单,占地面积小,无运动部件,无需机械混合装置,造价低,容积利用率高,不易阻塞,因此其投资成本较低。除此之外,ABR不需污泥回流和污泥处置,日常维护简单,运行成本较低。

2 ABR的启动

厌氧反应器的启动通常指对新建的系统以未经驯化的非颗粒污泥(如污水厂的污泥、消化池的消化污泥等)接种,使反应器达到设计负荷和有机物去除效率的过程,通常这一过程伴随着污泥颗粒化的完成。反应器的启动一般分为3个步骤,即污泥培养驯化、污泥接种和启动挂膜。

影响厌氧反应器启动的因素包括废水的组成及浓度、接种污泥的数量和活性、环境条件、微量元素补充、操作条件和反应器的结构尺寸等^[11]。本文着重从COD容积负荷、接种污泥和颗粒污泥3个方面来探讨ABR启动的相关问题。

2.1 低负荷启动

ABR的启动一般分为低负荷启动和高负荷启动2种方式。初始负荷过高会使厌氧生物处理的中间产物挥发性脂肪酸(volatile fatty acid, VFA)积累^[12],引起反应器的酸化,使反应器的启动失败。当有机负荷率(organic load rate, OLR)达到 $6 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时,反应器还会失去稳定性。因此, M. Henze等^[13]建议初始容积负荷应控制在 $1.2 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 以下,此时,气流和液流的速度较低,有利于絮状和颗粒污泥生长,可成功启动反应器。

国内学者对ABR低负荷启动进行了大量研究。蒋永荣等^[14]将初始启动负荷设为 $1.5 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,水力停留时间(hydraulic retention time, HRT)设为36 h,经历92 d,成功启动反应器。结果表明:采用低COD和低 SO_4^{2-} 负荷启动是ABR成功启动的关键;成功启动后,各隔室出现明显的相分离。

李建政等^[15]将初始启动负荷设为 $0.54 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, HRT 设为 24 h, 经过 190 d, 也成功启动了反应器。反应器前面隔室中的污泥主要以水解酸化微生物为主体, 而后面隔室中的污泥以产甲烷微生物为主体。颗粒污泥生物相的观察与分析表明, 反应器隔室中的颗粒污泥形状各异, 表面凹凸不平, 存在气孔, 不同隔室内呈现出种群配合良好的厌氧微生物分布。邓华健^[16]也采用低负荷启动方式, 启动初始负荷为 $0.45 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, HRT 为 24 h, 经历 60 d, 启动完成。

陈志强等^[17]采用的启动方式是在保持进水量不变, 控制反应器的容积负荷稳定在 $1.5 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 当 COD 去除率达 60% 以上并稳定运行 1 周后开始提升进水浓度, 直至达到最大容积负荷 $2.7 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 时, 保持该进水浓度, 通过增加进水量来逐步提高进水容积负荷, 直到全负荷运行。徐金兰^[18]采用低负荷启动方式, 启动负荷 COD 为 $0.85 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, HRT 为 24 h, 先采用固定流量增加 COD 方式, 将负荷逐步提高到 $2.5 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 然后固定 COD 增大进水流量, 将负荷提高到 $3.9 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, COD 去除率在 80% 以上, 经历 60 d, 启动完成。葛伟青等^[19]、龚为进等^[20]亦采用低负荷启动方式, 都取得了成功。

以上研究表明, 低负荷启动是 ABR 启动的关键。

2.2 接种污泥启动

接种污泥对 ABR 的启动影响较大, 如接种污泥中厌氧菌种丰富, 可快速启动反应器。国内学者采用不同的接种污泥来启动 ABR。李建政等^[15]采用桂林漓泉啤酒厂 UASB 反应器内的污泥作为接种污泥, 启动历时 190 d; 徐金兰^[18]采用厌氧消化池污泥作为启动污泥接种, 启动历时 60 d; 龚为进等^[20]采用城市污水处理厂消化池污泥接种, 启动时间更短, 只用了 42 d。葛伟青等^[19]采用猪粪作为处理豆沙馅废水的接种污泥, 历经 32 d 启动反应器。而陈志强等^[17]用大庆市某啤酒废水处理厂二沉池的脱水污泥启动处理糠醛废水的反应器, 仅仅 15 d 后, COD 去除率就稳定在 72% 以上, 反应器启动完成。

由于好氧污泥生长环境和厌氧颗粒污泥相差较大, 大部分学者在启动反应器时都考虑接种厌氧污泥。考虑到厌氧污泥来源较少, 大规模接种厌氧污泥可能困难, 胡细全等^[21]研究了采用好氧活性污泥并经过较长时间的驯化后来启动厌氧反应器, 出水水质优于厌氧污泥的启动效果。范荣桂等^[22]采用改型 ABR 处理屠宰废水时, 以序列间歇式活性污泥法 (sequencing batch reactor activated sludge process, SBR) 池中的好氧污泥作为接种污泥, 并逐渐增加进水浓

度, 在室温为 $20 \sim 25 \text{ }^\circ\text{C}$, pH 为 $6.5 \sim 8.5$ 的条件下, 连续运行 56 d, 成功实现了改型 ABR 的启动, COD 去除率达 83%。可见, 采用好氧污泥接种启动反应器也是可行的, 在厌氧接种污泥来源紧张的情况下, 可以考虑用好氧活性污泥来启动厌氧反应器。

接种污泥中的厌氧菌群对废水中污染物的适应需要一个过程, 在反应器启动的初期, 进水负荷较小, 废水中的有机物去除率较低, 废水中有机物降解产生的沼气量较少, 但接种的厌氧污泥中富含的有机物容易被厌氧微生物降解而产生沼气, 使反应器产生的沼气总量增加, 污泥床得到较充分地搅拌, 从而增加废水中污染物与污泥菌种的接触。当接种污泥中大部分有机物降解后, 接种污泥中厌氧菌种也就基本适应了废水的水质条件。因此, 接种的污泥越专性, 越易启动反应器。

2.3 颗粒污泥的形成

尽管 W. P. Barber 等^[23]认为, 在 ABR 中, 即使不形成颗粒污泥也能获得良好的处理效果, 但国内学者在实验室和实际工程运行中都观察到了颗粒污泥。

徐金兰^[18]在水力负荷为 $0.13 \sim 0.198 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 有机负荷为 $0.85 \sim 1.5 \text{ kgCOD}/\text{kgVSS} \cdot \text{d}$, 出水碱度控制在 500 mg/L (以 CaCO_3 计) 以上, 成功培养出了颗粒污泥。郭满芹^[24]采用高效厌氧 ABR 进行山梨酸生产废水的启动试验。在 $35 \text{ }^\circ\text{C}$ 条件下, 经历 190 d, 成功启动 ABR, 形成大量性能良好的颗粒污泥, 其尺度为 $2 \sim 5 \text{ mm}$ 。电镜分析表明, 不同隔室内呈现种群配合良好的厌氧微生物分布, 且各隔室中的颗粒污泥形状各异, 表面凹凸不平, 存在气孔。第 1 隔室存在大量优势发酵细菌, 沿水流方向颗粒污泥中的微生物逐渐向产甲烷细菌菌群过渡。郑理慎等^[25]利用 ABR-HBR 工艺对广州大田山垃圾渗滤液生物处理系统进行改造。工程运行 240 d 后, ABR 中有颗粒污泥产生, 颗粒污泥的粒径大小存在差异, 边缘光滑, 表面呈灰色, 其产甲烷活性较同格中絮状污泥提高 82.2%。比较 ABR 各格中颗粒污泥的粒径, 发现第 3 格中的颗粒污泥粒径最大, 平均达 1.20 mm ; 其次是第 2 格, 平均粒径为 1.11 mm ; 第 1, 4, 5 格颗粒污泥平均粒径分别为 $1.03, 1.02, 1.02 \text{ mm}$ 。这一结果与沈耀良等^[26]利用总体积为 13.2 L 的 4 格 ABR 处理垃圾渗滤和生活污水的混合废水时的结论一致。

3 ABR 工艺的应用

3.1 处理生活污水

随着城市化进程的加剧, 城市污水量剧增, 市政污水处理厂面临着巨大压力。传统的生活污水处理

一般采用好氧生物处理工艺,由于废水好氧生物处理工艺是耗能型的废水处理技术,随着能源短缺的制约和生产发展的要求,人们认识到开发高效节能废水厌氧生物处理技术的重要性,研发了一系列高效节能厌氧生物反应器^[27]。实验证实,ABR工艺在处理生活污水方面具有较大的市场潜力。邓华健^[16]在常温条件下研究了UASB与ABR处理生活污水的性能,结果表明:在HRT较长时,ABR对COD和悬浮物SS的去除效果优于UASB,ABR特殊的结构有效地阻挡了污泥的流失。黄继国等^[28]采用ABR-生物接触氧化工艺处理低碳氮比生活污水,确定了试验运行参数,即在进水COD/N为2~7时,HRT为10h,回流比 R 为2.5,温度为30℃时,系统对总氮TN的去除效果良好;在最佳运行条件下,当进水COD/N为6~7时,TN平均去除率达80%以上,出水TN质量浓度小于15mg/L。

3.2 处理制药废水

制药废水中往往含有较多病原微生物或难降解物质,有些甚至对生化处理的菌种有很强的抑制作用,因此制药废水历来是废水处理的难点。ABR工艺处理制药废水具有操作简便、运行成本低、出水水质稳定、处理效果好等特点。

龙映臣等^[29]用ABR-生物接触氧化工艺处理制药废水,处理废水的去除率分别为COD:98.6%,五日生化需氧量(biochemical oxygen demand, BOD) BOD_5 :99.5%,SS:98.9%。郑土章等^[30]用ABR-生物接触氧化工艺处理制药废水,处理废水的去除率分别为COD:89.94%,SS:90.9%。邓中瑜等^[31]用脱色水解酸化(ABR)接触氧化工艺处理中成药制药废水,COD去除率达87.3%, BOD_5 去除率达93.9%,SS去除率达83.7%,色度去除率达89.6%。

3.3 处理印染废水

印染废水碱性强,水量大,色度高,成分复杂,同时随着生产批次、品种不同,色度变化很大,采用单一的好氧生物法处理难以达标排放,采用物化法则费用太高^[32]。

张玉华等^[33]用ABR-接触氧化-混凝沉淀工艺处理印染废水,使该公司排放的COD总量减少了90%以上,色度去除率大于90%。吴慧芳等^[32]用ABR水解/生物接触氧化处理印染废水,色度去除率为92%,对COD的总去除效率为86.6%。

工程监测结果表明,采用ABR-接触氧化工艺处理印染废水是可行的,处理系统运行稳定,效果优良,运行费用适中。

4 研究展望

4.1 应用领域的拓宽

目前,ABR工艺主要应用于生活污水和制药废水、印染废水等工业废水的处理,处理效果较好。在资源能源短缺、环境日益恶化的背景下,因具有处理能力强、适用范围广、耗能少等优点,ABR将有着更为广泛的应用前景与研究价值。今后,ABR在处理低温废水、垃圾渗滤液以及有毒物质废水等领域将表现出更多的优势。

4.2 填料的开发

不管开发的是何种类型的填料,都应满足以下基本要求:经济上合理,技术上为微生物提供良好的生存空间(有大的比表面积,易于挂膜等),具有质量轻、强度高、耐腐蚀性强等特点。

填料ABR在启动过程和稳定运行阶段都表现出比ABR更好的处理效果,具有更高的稳定性。目前,关于ABR中填料的形状、尺寸、类型、不同类型的填料混合以后的出水效果等问题,国内还未见系统研究,这将是未来的主要研究方向之一。

4.3 发酵产氢系统的研究

目前,96%的氢能的生产依赖于石化能源。随着经济的发展,人们越来越关注和重视能源问题。从可持续发展的角度出发,生物制氢作为一项新兴的能源生产技术成为一个非常有发展前景的研究方向。ABR具有高稳定性、高负荷、能处理高低浓度有机废水及含有毒物质废水等优点,对于实现废水资源化具有重要意义。目前,利用ABR开发发酵产氢技术尚处于实验室阶段,未来的发展方向主要为:通过对有机负荷、HRT、pH值等影响因素的调控,实现反应器的快速启动,建立连续流生物制氢反应系统;通过对比不同产氢发酵菌群在液相末端产物、产氢能力和反应器启动时间上的变化,筛选出合适的菌种;提高生物制氢反应器产氢能力,降低生物制氢成本,并实现对厌氧发酵产氢技术的产业化。

4.4 分区进水ABR的研究

由于单侧进水反应器容易出现第1格室有机负荷过高而后续格室底物缺乏的问题,近年来不少学者提出采用分区进水的形式。分区进水能够向各格室提供生物生命活动所需的营养物质,有效增加水力停留时间,改变反应器内生物种群的分布。与单侧进水相比,分区进水在处理中高浓度废水时,性能更稳定,处理效果优于单侧进水。

参考文献:

- [1] Bachmann A, Beard V L, McCarty P L. Performance Characteristics of the Anaerobic Baffled Reactor[J]. *Water Research*, 1985, 19(1): 99-106.
- [2] 沈耀良. 新型厌氧处理工艺: 厌氧折流板反应器[J]. *重庆环境科学*, 1994, 16(5): 36-38.
Shen Yaoliang. New Anaerobic Wastewater Treatment Process: Anaerobic Baffled Reactor(ABR)[J]. *Chongqing Environmental Science*, 1994, 16(5): 36-38.
- [3] Grover R, Marwaha S S, Kennedy J F. Studies on the Use of an Anaerobic Baffled Reactor for the Continuous Anaerobic Digestion of Pulp and Paper Mill Black Liquors[J]. *Process Biochemistry*, 1999, 34(6/7): 653.
- [4] Alette A M. Treatment of Dilute Wastes Using an Anaerobic Baffled Reactor: Effect of Low Temperature[J]. *Water Research*, 2000, 34(15): 3867-3875.
- [5] 赵明. 化工废水处理工艺及控制方法[J]. *常州工程职业技术学院学报*, 2004, 40(2): 12.
Zhao Ming. Chemical Wastewater Treatment Processes and Control Methods[J]. *Journal of Changzhou Engineering Vocational and Technical College*, 2004, 40(2): 12.
- [6] 黎圣, 张英慧, 徐文炘, 等. ABR/氧化沟/膜生物反应器处理垃圾渗滤液[J]. *西安文理学院学报: 自然科学版*, 2009, 12(1): 48-51.
Li Sheng, Zhang Yinghui, Xu Wenxin, et al. ABR/Oxidation Ditch/Membrane Bioreactor Treatment of Landfill Leachate[J]. *Journal of Xi'an University of Arts & Science: Natural Science Edition*, 2009, 12(1): 48-51.
- [7] Saritpongteeraka K. Effects of pH Adjustment by Parawood Ash and Effluent Recycle Ratio on the Performance of Anaerobic Baffled Reactors Treating High Sulfate Wastewater[J]. *Bioresource Technology*, 2008, 99(18): 8987-8994.
- [8] 蒋永荣, 胡明成, 李学军, 等. ABR 处理硫酸盐有机废水的相分离特性研究[J]. *环境科学*, 2010, 31(7): 1544-1553.
Jiang Yongrong, Hu Mingcheng, Li Xuejun, et al. Phase Separation Characteristics of an Anaerobic Baffled Reactor Treating Organic Wastewater Containing Sulphate[J]. *Environmental Science*, 2010, 31(7): 1544-1553.
- [9] Zhu Gefu. The Performance and Phase Separated Characteristics of an Anaerobic Baffled Reactor Treating Soybean Protein Processing Wastewater[J]. *Bioresource Technology*, 2008, 99(17): 8027-8033.
- [10] 龚起. ABR 处理淀粉废水的研究[J]. *环境科学与管理*, 2009, 34(4): 94-97.
Gong Qi. Study on the Treatment of Starch Wastewater by Anaerobic Baffled Reactor(ABR)[J]. *Environmental Science and Management*, 2009, 34(4): 94-97.
- [11] Weiland P, Rozzi A. The Start-Up, Operation and Monitoring High-Rate Anaerobic Treatment Systems: Discusser's Report[J]. *Wat. Sci. Tech.*, 1991, 23(8): 257-277.
- [12] Grover R. Studies on the Use of an Anaerobic Baffled Reactor for the Continuous Anaerobic Digestion of Pulp and Paper Mill Black Liquors[J]. *Process Biochemistry*, 1999, 34(6/7): 653-657.
- [13] Henze M, Harremoes P. Anaerobic Treatment of Wastewater in Fixed Film Reactors: A Literature Review[J]. *Wat. Sci. Tech.*, 1983, 15(8/9): 1-101.
- [14] 蒋永荣, 邓秀梅, 容翠娟, 等. ABR 处理糖蜜酒精模拟废水的启动试验[J]. *中国给水排水*, 2010, 26(3): 96-99.
Jiang Yongrong, Deng Xiumei, Rong Cuijuan, et al. Start-Up of Anaerobic Baffled Reactor for Treatment of Simulated Molasses Alcohol Wastewater[J]. *China Water and Wastewater*, 2010, 26(3): 96-99.
- [15] 李建政, 蒋凡, 郑国臣. ABR 发酵产氢系统的控制运行及产氢效能[J]. *环境科学学报*, 2010, 30(1): 79-87.
Li Jianzheng, Jiang Fan, Zheng Guochen. Performance Characteristics and Hydrogen Production Efficiency of an Anaerobic Baffled Reactor(ABR) Used as a Fermentation System[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2010, 30(1): 79-87.
- [16] 邓华健. UASB 和 ABR 在常温下处理生活污水的性能比较研究[J]. *海洋技术*, 2010, 29(1): 117-119.
Deng Huajian. A Comparative Study of UASB and ABR in Treating Domestic Sewage at Normal Temperature[J]. *Ocean Technology*, 2010, 29(1): 117-119.
- [17] 陈志强, 干利川, 连嘉祥, 等. 铁碳微电解-ABR-接触氧化工艺处理糠醛废水[J]. *给水排水*, 2008, 34(6): 65-67.
Chen Zhiqiang, Gan Lichuan, Lian Jiaxiang, et al. Iron-Carbon Micro-Electrolysis-ABR-Contact Oxidation Process Furfural Wastewater[J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2008, 34(6): 65-67.
- [18] 徐金兰. A 厌氧折流板反应器-ABR-系统的特性及调控研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2003.
Xu Jinlan. The Study of Peculiarity and Controlling Technology of ABR Performance[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2003.
- [19] 葛伟青, 朱百泉, 刘艳娟, 等. ABR-二级生物接触氧化-生物活性炭过滤工艺处理豆沙馅废水工程[J]. *水处理技术*, 2011, 37(1): 127-129.
Ge Weiqing, Zhu Baiquan, Liu Yanjuan, et al. Design and Operation of the Treatment Technology of Sweetened Bean Paste Wastewater[J]. *Technology of Water Treatment*, 2011, 37(1): 127-129.
- [20] 龚为进, 段学军. 气浮-ABR-生物接触氧化处理乳制品废水[J]. *工业水处理*, 2010, 30(8): 83-85.
Gong Weijin, Duan Xuejun. Treatment of Wastewater from Dairy Production by Air Floatation-ABR-Biological Contact Oxidation[J]. *Industrial Water Treatment*, 2010, 30(8):

- 83-85.
- [21] 胡细全, 李兆华, 蔡鹤生, 等. ABR 处理低浓度废水的启动研究[J]. 湖北大学学报: 自然科学版, 2005, 27(2): 180-183.
- Hu Xiquan, Li Zhaohua, Cai Hesheng, et al. Study on the Startup of ABR Treating Low-Strength Wastewater[J]. Journal of Hubei University: Natural Science Edition, 2005, 27(2): 180-183.
- [22] 范荣桂, 刘海娟, 陈丽媛. 改型 ABR 反应器接种好氧污泥的启动研究[J]. 科技创新导报, 2010(34): 17.
- Fan Ronggui, Liu Haijuan, Chen Liyuan. The Start Research of Modified ABR Reactor Inoculated the Aerobic Sludge[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2010 (34): 17.
- [23] Barber W P, Stuckey D C. The Use of the Anaerobic Baffled Reactor(ABR) for Wastewater Treatment: A Review[J]. Water Research, 1999, 33(7): 1559-1578.
- [24] 郭满芹. ABR 反应器处理山梨酸废水的启动试验[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(9): 4781-4783.
- Guo Manqin. Start Experiment of Treating Sorbic Acid Wastewater with ABR[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(9): 4781-4783.
- [25] 郑理慎, 陈志平, 方 卫, 等. ABR 处理垃圾渗滤液及其颗粒污泥的研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(14): 6577-6580.
- Zheng Lishen, Chen Zhiping, Fang Wei, et al. Study on Treatment of Landfill Leachate and Its Granular Sludge with ABR[J]. Journal of Anhui Agriculture, 2009, 37(14): 6577-6580.
- [26] 沈耀良, 王宝贞, 杨铨大, 等. 厌氧折流板反应器处理垃圾渗滤混合废水[J]. 中国给水排水, 1999, 15(5): 10-12.
- Shen yaoliang, Wang Baozhen, Yang Quanda, et al. Experimental Study on Treating the Mixed Wastewater of Landfill Leachate and Municipal Wastewater with ABR[J]. China Water & Wastewater, 1999, 15(5): 10-12.
- [27] Elmitwalli T A, Sklyar V, Zeeman G, et al. Low Temperature Pre-Treatment of Domestic Sewage in an Anaerobic Hybrid or an Anaerobic Filter Reactor[J]. Bioresource Technology, 2002, 82(3): 233-239.
- [28] 黄继国, 高文翰, 董莉莉, 等. ABR-生物接触氧化工艺处理低碳氮比生活污水试验[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2010, 40(5): 1163-1169.
- Huang Jiguo, Gao Wenhan, Dong Lili, et al. Experiment on Low C/N Ratio Domestic Wastewater Treatment by ABR & Biocontact Oxidation Process[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2010, 40(5): 1163-1169.
- [29] 龙映臣, 毕 芳, 杨 英. ABR-生物接触氧化工艺处理制药废水[J]. 广东化工, 2007, 34(11): 98-100.
- Long Yingchen, Bi Fang, Yang Ying. ABR & Biocontact Oxidation Process in Pharmacy Wastewater Treatment[J]. Guangdong Chemical Industry, 2007, 34(11): 98-100.
- [30] 郑土章, 王诗发. ABR-生物接触氧化工艺处理制药废水[J]. 广东化工, 2008, 35(7): 101-103.
- Zheng Tuzhang, Wang Shifa. ABR & Biocontact Oxidation Process in Pharmacy Wastewater Treatment[J]. Guangdong Chemical Industry, 2008, 35(7): 101-103.
- [31] 邓中瑜, 封荣朝. 脱色水解酸化 (ABR) 接触氧化工艺处理中成药制药废水[J]. 江苏环境科技, 2007, 20(2): 43-44.
- Deng Zhongyu, Feng Rongzhao. Treatment of the Wastewater of Making Chinese Patent Medicine by Decolorization-Hydrolytic Acidification(ABR)-Biocontact Oxidation[J]. Jiangsu Environmental Science and Technology, 2007, 20(2): 43-44.
- [32] 吴慧芳, 陆继来, 王世和, 等. ABR 水解/生物接触氧化处理印染废水[J]. 中国给水排水, 2005, 21(10): 52-54.
- Wu Huifang, Lu Jilai, Wang Shihe, et al. Anaerobic Baffled Reactor Hydrolysis/Biological Contact Oxidation Process for Printing and Dyeing Wastewater Treatment[J]. China Water & Wastewater, 2005, 21(10): 52-54.
- [33] 张玉华, 高新红, 袁 东. ABR-接触氧化-混凝沉淀工艺处理印染废水[J]. 给水排水, 2007, 33(9): 63-64.
- Zhang Yuhua, Gao Xinhong, Huan Dong. Anaerobic Baffled Reactor Hydrolysis /Biological Contact Oxidation Process for Printing and Dyeing Wastewater Treatment[J]. Water & Wastewater Engineering, 2007, 33(9): 63-64.

(责任编辑: 徐海燕)