

文章编号:1671-6833(2008)03-0092-03

ABR反应器在不同HRT下的流态特征分析

耿亚鸽, 张浩勤, 陈昊, 刘金盾

(郑州大学 化工学院, 河南 郑州 450001)

摘要: 厌氧折流板反应器(ABR)是一种新型高效、极具应用前景的废水处理设备,水力特性是影响其处理效率的重要因素。用NaCl作示踪剂进行示踪脉冲响应试验,采用停留时间分布(RTD)法对ABR反应器的流态进行表征,测试研究了ABR反应器在几种HRT下的RTD曲线和水力特性参数,分析了HRT对其水力死区容积分数、串联模型数的影响。结果表明,ABR反应器的HRT在1~9 h变化时,其死区容积分数小于0.30,在0.068~0.299之间。随着HRT的增大,死区容积分数减小,串联模型数增大,反应器内返混程度减小。

关键词: 厌氧折流板反应器;水力特性;停留时间分布;脉冲刺激响应法

中图分类号: X 703.3 **文献标识码:** A

0 引言

厌氧折流板反应器(Anaerobic Baffled Reactor, 简称ABR)是一种新型高效、极具应用前景的废水处理设备^[1],近些年来得到了高度的重视和大量的研究。目前这些研究主要集中在ABR对各种废水的处理效果方面,而对反应器的流场分布与水力特性方面的理论研究还较少。

ABR反应器内的流体动力学特性,决定着基质和微生物的接触程度,控制着反应器内物质的传输,因而水力特性是影响其处理效率的重要因素^[2-3]。ABR反应器的水力特性主要表现在反应器中流体的流动方式、厌氧污泥与基质的混合程度、反应器的容积利用率以及废水在反应器内的实际停留时间等方面^[4-5]。

笔者根据流态表征的特征参数(水力死区容积比 V_d/V 、串联模型参数 N 等)对ABR反应器在清水条件下的水力特性进行了研究,分析了HRT对其流态和水力特性的影响,为ABR反应器的应用和进一步研究提供理论基础。

1 实验装置

实验所用装置如图1所示。ABR反应器用有机玻璃板制作,板厚4 mm,外观尺寸为:长×宽×高为428 mm×108 mm×204 mm,采用四隔室,上下流室宽度比为4:1,折流板下设45°拐角,折流

板下沿距底板20 mm,隔室挡板高度为168 mm。反应器的有效容积 V_R 为6.79 L。进水泵采用BT00-100 M蠕动泵(保定兰格恒流泵有限公司)。

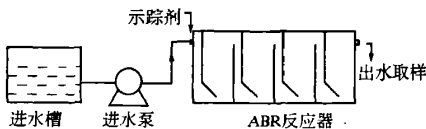


图1 水力特性实验装置图

Fig.1 Equipments of experiment

2 实验方法与药品

反应器进水采用去离子水。调节蠕动泵至预定流速,等ABR反应器内流速稳定后,在进水口快速注入一定量的氯化钠溶液作示踪剂,每隔一定时间取样分析反应器出口水中氯离子的含量(硝酸银滴定法^[6]),持续2.5 HRT以上时间。

实验所用药品如表1所示。

表1 实验药品表

Tab.1 Materials of experiment

药品名称	纯度	生产厂家
乙醇	分析纯	开封市芳晶试剂公司
酚酞	分析纯	天津市津达化学制品厂
K_2CrO_4	二级	北京化工厂
NaOH	分析纯	天津市德恩公司
HNO_3	分析纯	郑州化学试剂一厂
$AgNO_3$	分析纯	北京化工厂
NaCl	分析纯	天津市化学试剂一厂

收稿日期:2008-05-30;修订日期:2008-06-20

作者简介:耿亚鸽(1982-),男,河南郑州人,郑州大学硕士研究生,研究方向为水处理技术与设备。

3 计算方法^[7-10]

3.1 $E(t)$ 与 $C(t)$

停留时间分布密度函数 $E(t)$ 与示踪剂浓度 $C(t)$ 之间的关系式为:

$$E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^\infty C(t) dt} = \frac{C(t)}{\sum_0^\infty C(t) \Delta t} \quad (1)$$

故可用 $C-\theta$ 曲线来代表 RTD 曲线.

3.2 $C-\theta$ 曲线

(1) 标准化浓度 C

$$C(\theta) = C(t)/C_0 \quad (2)$$

式中: C_0 = 示踪剂总投加量 / 反应器有效容积, mg/L; $C(t)$ 为 t 时刻

出水中示踪剂浓度, mg/L.

(2) 标准化时间 (无因次时间) θ

$$\theta = t/HRT \quad (3)$$

式中: HRT = 反应器有效容积 / 进水流量, min; t 是示踪剂流

出反应器的时间, min.

3.3 停留时间分布特征数

(1) 平均停留时间 \bar{t}

$$\bar{t} = \frac{\int_0^\infty (t-0) E(t) dt}{\int_0^\infty E(t) dt} = \frac{\int_0^\infty t E(t) dt}{\int_0^\infty E(t) dt} \quad (4)$$

实验测得的等时间间隔离散数据点:

$$\bar{t} = \frac{\sum_0^\infty t E(t) \Delta t}{\sum_0^\infty E(t) \Delta t} = \frac{\sum_0^\infty t E(t)}{\sum_0^\infty E(t)} = \frac{\sum_0^\infty t C(t)}{\sum_0^\infty C(t)} \quad (5)$$

(2) 方差 σ^2

$$\sigma_t^2 = \frac{\int_0^\infty (t-\bar{t})^2 E(t) dt}{\int_0^\infty E(t) dt} = \frac{\int_0^\infty t^2 E(t) dt}{\int_0^\infty E(t) dt} - (\bar{t})^2 \quad (6)$$

实验测得的等时间间隔离散数据点:

$$\sigma_t^2 = \frac{\sum_0^\infty t^2 E(t)}{\sum_0^\infty E(t)} - (\bar{t})^2 = \frac{\sum_0^\infty t^2 C(t)}{\sum_0^\infty C(t)} - (\bar{t})^2 \quad (7)$$

标准化方差 (无因次方差)

$$\sigma^2 = \frac{\sigma_t^2}{(\bar{t})^2} \quad (8)$$

3.4 死区百分率的计算

$$\frac{V_d}{V} = 1 - v_s \mu_s$$

$$\mu_s = \frac{\int_0^2 \theta C(\theta) d\theta}{\int_0^2 C(\theta) d\theta} = \frac{\sum_0^2 \theta C(\theta)}{\sum_0^2 C(\theta)} \quad (10)$$

式中: V 为反应器的有效容积, L; V_d 为反应器内死区容积, L; v_s 为 $\theta = 2$ 时, 示踪剂流出量占注入总量的比值; μ_s 为 $\theta = 2$ 时, $C-\theta$ 曲线平均值.

3.5 多级混合模型

图 2 所示为多级混合模型, 它是以每级内为全混流、级际无返混、各级存料量相同的假定为前提的.

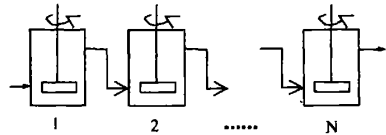


图 2 多级混合模型

Fig. 2 Series of mixing model

串级模型参数 $N = 1/\sigma^2$, $N = 1$ 时, 为单级全混流 (CSTR); $N \rightarrow \infty$ 时, 为平推流 (PFR). 非理想反应器流动特性可用 N 段 CSTR 来表示. 因而, 该模型可用级数 N 唯一地确定反应器的非理想程度.

4 结果与讨论

4.1 实验结果

实验研究了 ABR 反应器在几种 HRT 下的流动情况, 预期的 HRT 分别为 1 h、3 h、5 h、7 h、9 h, 实际计算得出 HRT 如表 2 所示. 测得的 ABR 反应器在几种 HRT 下的水力特性参数如表 2 所示.

表 2 不同 HRT 下的实验结果
Tab. 2 Experiment results in HRT

HRT/min	σ^2	V_d/V	N
54.8	0.297	0.299	3.37
176.8	0.293	0.255	3.41
288.9	0.287	0.093	3.48
433.3	0.279	0.076	3.58
572.5	0.278	0.068	3.60

4.2 ABR 反应器流态特征分析

试验条件下测得 ABR 反应器的水力死区分数在 0.068 ~ 0.299 之间, 相比其它类型的厌氧反应器, 如传统厌氧消化池、厌氧滤池等要小很多. N 值介于 3 和 4 之间, 反应器的流态介于 CSTR 和 PFR 之间, 反应器的隔室数较少, 反应器内返

混程度较大。

4.3 不同 HRT 下的 $C-\theta$ 曲线

从图 4 可以看出,在几种 HRT 下, $C(\theta)$ 的最大值均出现在 $\theta=1$ 左右,即在 $t=HRT$ 左右时, ABR 反应器出口中示踪剂的含量最大。在 $\theta=1$ 之前, C 值迅速增大; $\theta=1$ 时, C 增至最大值; $\theta>1$ 时, C 值逐渐减小; $\theta=2.5$ 时, C 值在 0.2 左右。

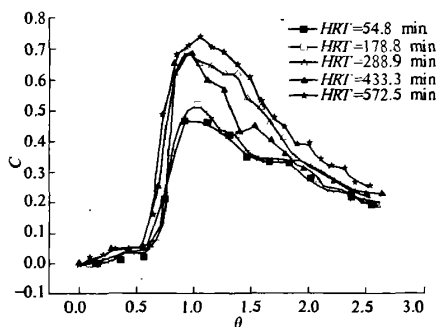


图 4 不同 HRT 下的 $C-\theta$ 曲线

Fig. 4 $C-\theta$ curves in different HRT

4.4 HRT 对死区容积分数的影响

由图 5 可以看出, ABR 反应器的 HRT 从 1 ~ 9 h 变化时,死区容积分数随 HRT 的增大逐渐减小。HRT 由 3 变化到 5 时,死区容积分数下降较快,分析在此过程中, ABR 的流态变化较大。可见对于特定结构的 ABR 反应器,有一个最佳的 HRT 范围,如果操作不当,进水流速增大较快,则反应器的水力死区可能迅速增大,从而影响反应器的处理效率。

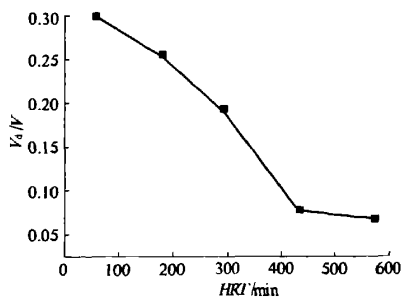


图 5 HRT 对 V_d/V 的影响

Fig. 5 Impact of HRT to V_d/V

4.5 HRT 对反应器流态的影响

由图 6 可以看出,对于 4 隔室的 ABR 反应器,用该方法测得的串级模型参数 N 和实际的级数 4 并不完全相等, N 仅代表反应器内返混的程度。不过在实验的 HRT 范围内 N 值均接近于 4。

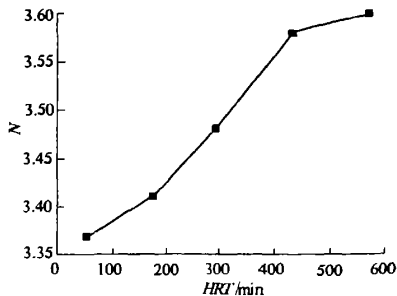


图 6 HRT 对 N 的影响

Fig. 6 Impact of HRT to N

当 $N=1$ 时,为单级全混流(CSTR);当 $N \rightarrow \infty$ 时,为平推流(PFR)。实验测得的 N 值在 3~4 之间,且 N 随 HRT 的增大而增大,说明 ABR 反应器随着 HRT 的增大向平推流发展,反应器内的返混程度逐渐减小。因此,对于结构确定的 ABR 反应器,为保持较好的水力流态,应控制 HRT 不宜过小。

5 结束语

笔者对 ABR 反应器在清水条件下的水力特性进行了研究,结果表明: ABR 反应器的死区容积分数较小,在实验条件下始终小于 0.30,说明 ABR 反应器的结构性能优良,水力死区较小; HRT 是影响其水力特性的重要参数,随着 HRT 的增大,死区容积分数减小,其流态表征参数 N 增大,反应器内返混程度减小。

参考文献:

- [1] LETTING A, FIELD J, VAN LIER J, et al. Advanced anaerobic wastewater treatment in the near future [J]. Wat Sci Tech, 1997, 35(1): 5-12.
- [2] 周明,施永生,吕其军. 厌氧折流板反应器的技术探讨[J]. 有色金属设计, 2006, 33(1): 59-64.
- [3] 王建龙,韩英健,钱易. 厌氧折流板反应器(ABR)的研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2000, 6(5): 490-498.
- [4] 李刚,欧阳峰,杨立中. ABR 反应器性能研究: 回顾与总结[J]. 中国沼气, 2001, 19(3): 9-14.
- [5] BACHMANN A, BEARD V L, MCCARTY P L. Performance characteristics of the anaerobic baffled reactor[J]. Wat Res, 1985, 19(1): 99-106.
- [6] 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.
- [7] 陈甘棠. 化学反应工程[M]. 第三版. 北京: 化学工业出版社, 2007: 88-111.

(下转第 107 页)

裂后锚固力还可有缓慢增长,粘结锚固强度的离散性减小;建议采用机械锚固措施时,应配一定数量的横向箍筋。

参考文献:

- [1] 毛达岭,刘立新,范丽. HRB500级钢筋粘结锚固性能的试验研究[J]. 工业建筑,2004,34(12):67-69.
- [2] MAO D L, LIU L X, XIE L L. Experimental study on bond - anchorage property of HRB500 steel bar in concrete [C]//International Symposium on Innovation & Sustainability of Structures in Civil Engineering, South-east University, China, 2005:969-976.
- [3] 刘立新,毛达岭,李千. 超细晶粒带肋钢筋粘结锚固性能的试验研究[J]. 建筑结构学报,2006,27(增刊):8-11.
- [4] 徐有邻,刘立新,管品武,等. 冷轧扭钢筋粘结锚固性能的试验研究[J]. 建筑技术,1998,29(8):538-540.
- [5] 管品武,刘立新,张瑞新. 冷轧扭钢筋与混凝土粘结锚固性能的可靠度分析及设计建议[J]. 建筑科学,1998,14(6):43-46.
- [6] 管品武,刘立新,王菁,等. 冷轧扭钢筋的粘结锚固性能的试验研究[J]. 郑州工业大学学报,1999,14(1):1-7.

Experimental Study on Bond - anchorage Behavior of Knotted Steel Bars in Concrete with Mechanical Anchorage Measure

LIU Li - xin, ZHAO Zhen, ZHANG Yan, LI Da - wei

(School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Based on 36 knotted steel bar specimens pull - out test, the main factors affecting the bond - anchorage behavior such as the strength of concrete, the diameter of bars, the development length, the cover thickness of concrete, the transverse steel ratio and the proportion of knot are analyzed. The results show that the development length of knotted steel bars with the mechanical anchorage measure can be decreased in engineering. Then the calculating formula of bond strength has been established based on the test and it can be a reference for future revision of the Chinese Design Code.

Key words: knotted steel bar; mechanical anchorage; bond strength; experimental study

(上接第94页)

版社,2000:127-154.

- [8] 王安之,周裕之,赵蓓. 化学反应工程学[M]. 北京:化学工业出版社,2005:78-98.
- [9] 李绍芬. 反应工程[M]. 第二版. 北京:化学工业出版社,2000:127-154.
- [10] GROBICKI A, STUCKEY D C. Hydrodynamic characteristics of the anaerobic reactor[J]. Wat Res, 1992, 26(3):371-378.

Study of Hydrodynamic Characteristics of ABR at Different HRT

GENG Ya - ge, ZHANG Hao - qin, CHEN Hao, LIU Jin - dun

(School of Chemical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Anaerobic baffled reactor is a new type of highly efficient, highly promising anaerobic reactor. Its hydraulic characteristics are important factors that affect its treatment efficiency. With the residence time distribution (RTD) method, NaCl was used as tracer to research the flow pattern and hydrodynamic characteristics of the ABR reactor. The impact of HRT to flow pattern was analyzed. The results in different HRT, showed that when the HRT changed from 1 h to 9 h, the dead zone fraction was under 0.30, among 0.068 to 0.299. With the increase of HRT, the dead zone decreased, N increased, and the extent of mixing decreased.

Key words: anaerobic baffled reactor (ABR); hydrodynamic characteristics; residence time distribution (RTD); pulse-response method