

新型厌氧处理工艺——厌氧迁移式污泥床反应器

马勇¹, 彭永臻¹, 王晓莲¹, 王淑莹²

(1. 哈尔滨工业大学市政与环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090;

2. 北京工业大学环境与能源工程学院, 北京 100022)

【摘要】介绍了新型厌氧处理工艺——厌氧迁移式污泥床反应器(AMBR)的基本构造、工作原理、主要性能和颗粒污泥的培养。AMBR 工艺是在升流式厌氧污泥床(UASB)和厌氧序批式反应器(ASBR)两种工艺的基础上开发的, 因而它具有运行方式灵活、结构简单、处理效果好、耐冲击负荷能力强和甲烷产率高等优点。

【关键词】厌氧处理; 厌氧迁移式污泥床反应器; 升流式厌氧污泥床

【中图分类号】X703.1 【文献标识码】A 【文章编号】1005-829X(2003)10-0017-04

Novel anaerobic treatment process: anaerobic migrating blanket reactor

Ma Yong¹, Peng Yongzhen¹, Wang Xiaolian¹, Wang Shuying²

(1. Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China;

2. Environmental and Energy Source Engineering, Beijing Polytechnic Institute, Beijing 100022, China)

Abstract: The basic configuration, working principle, main performance and granular sludge cultivation of the novel anaerobic treatment process, anaerobic migrating blanket reactor (AMBR) are introduced. AMBR is developed based on upflow anaerobic sludge blanket (UASB) and anaerobic sequencing batch reactor (ASBR) processes. It has the advantages of flexible operation mode, simple configuration, good effect, high impact and high methanogenic production rate.

Key words: anaerobic treatment; anaerobic migrating blanket reactor; upflow anaerobic sludge blanket

多年来为了追求高效的厌氧处理工艺, 相继开发出多种厌氧生物反应器, 如升流式厌氧污泥床(UASB)、厌氧序批式反应器(ASBR)、厌氧折流板反应器(ABR)和膨胀颗粒污泥床(EGSB)等^[1]。其中, UASB因具有处理效果好, 运行稳定的优点在国内外得到广泛的应用, 但是三相分离器的优化设计和颗粒污泥的培养仍然是阻碍UASB技术发展的难点^[2], 在运行中经常出现床体膨胀现象, 受到冲击负荷时, 污泥极易流失; ASBR 是另外一种具有发展潜力的厌氧处理工艺, 它采用序批平行进水, 不需配水系统和气固分离系统, 克服了UASB工艺的弊端, 简化了工艺的结构。在长期运行中, 该工艺处理效果好, 运行稳定可靠, 污泥不易流失^[3,4], 但不能连续运行。针对上述两种工艺存在的问题, 美国爱荷华州大学 Dague 和 Angenent 教授于 1995 年在研究 UASB 和 ASBR 两种反应器的基础上开发了一种新型厌氧工艺——厌氧迁移式污泥床反应器(AMBR)^[5]。

1 AMBR 工艺的基本构造

如图 1、图 2 所示, AMBR 工艺有 3 个隔室组

成, 中间隔室用于在改变进水流向前短时进水防止短流, 作为运行过渡区; 两侧隔室均设有进水口和出水口(如果左面隔室作为进水口, 那么右面隔室则作为出水口), 按设定的时间开启不同的进水口。整个反应器的运行由 PLC 编程控制。

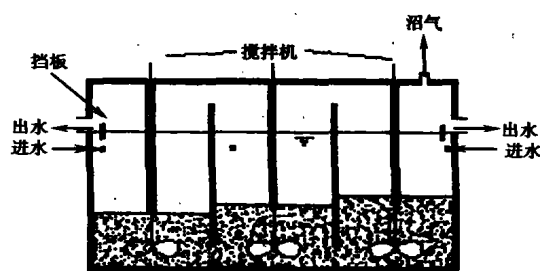


图 1 AMBR 结构示意图(底部开孔)

AMBR 反应器有两种典型的构造型式。图 1 反应器中间隔室底部有一个圆形开孔(圆孔尺寸可以调整), 该圆孔可促进生物体与有机底物的充分接触, 保证生物体的迁移, 其设计水力停留时间通常较长。另外一种 AMBR 反应器结构示意图如图 2, 与图 1

反应器不同之处在于, 相邻隔室中间设置一系列垂直安装的导流板来代替圆孔(导流板间距可调), 使污水在反应器内沿导流板作上下折流。这种结构上的改变, 有利于在水力停留时间较短时减少底物的短路循环。

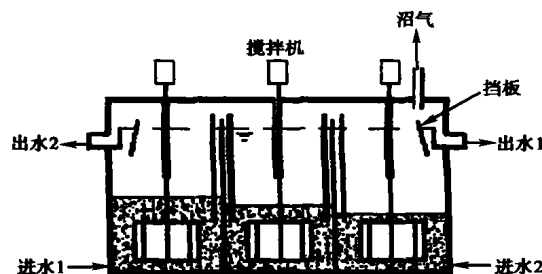


图2 AMBR 结构示意图(带导流板)

由于反应器进水做水平流动, 出水不进行循环, 为了促进泥水混合液的充分混合, 3个隔室中均设置污泥搅拌设施。AMBR反应器的上部空间相互连通, 并在隔室的上部设有集气系统。系统出水口前设置挡板, 防止污泥的流失。

2 AMBR 工艺的基本原理

在AMBR反应器的运行过程中, 废水以一定的流速水平进入反应器一端, 依次经过第1隔室、中间隔室、最后隔室, 从反应器另一端流出。AMBR反应器属于多格室串联反应器, 从整个反应器内的水流状态来看属于推流形式, 但每个隔室内由于机械混合、产气的搅拌作用表现为完全混合的状态。这种整体上为推流式(PF), 局部区域内为完全混合式(CSTR)的多个反应器串联工艺对有机物的降解速率和处理效果无疑高于单个CSTR反应器, 而且在一定的处理能力下所需的反应器容积也比单个CSTR低得多。正是这种整体上的推流式型态, 使得AMBR反应器的最后隔室底物浓度最低, 微生物的底物利用率也最低, 导致该隔室生物产气量较低, 因此最后隔室可以充当内部澄清池, 起到泥水分离作用, 可以防止生物体随出水流失, 提高出水处理效果。反应器结构的特殊性也使得在各个隔室中形成性能稳定、种群配合良好且适应于流经不同隔室水水质情况的生物链, 不同隔室有不同类型的微生物。

为确保微生物同有机底物的充分接触, 对3个隔室每隔15 min 轻微搅拌10 s, 搅拌混合器要轻微启动。另外为防止最后隔室生物体的过量积累, 采取定时改变水流流向的措施, 这样最后隔室变成第1隔室, 原第1隔室又变为内部澄清池。由于水流方向

的定期改变促使絮状污泥在反应器内不断迁移, 这样在增强隔室中微生物体与底物之间充分混合的情况下, 将沉淀性能差的絮状污泥从最后1个隔室冲刷出去, 而将具有高活性、沉淀性能好的颗粒污泥截留在反应器内, 并不断生长。由于AMBR反应器的第1个隔室内挥发性脂肪酸(VFA)浓度维持在较低水平, pH接近中性, 无需出水循环。

3 AMBR 工艺颗粒污泥的启动

AMBR工艺的接种污泥来自污水处理厂的初沉池污泥。在启动阶段, 系统需要在较低的负荷下运行, 最后格室不进行搅拌, 使微生物能在反应器内生长积累。启动时反应器内的悬浮液挥发性悬浮固体(MLVSS)高达16 g/L, 在运行过程中的90 d内逐渐将COD负荷增加到5.5 g/L。结果发现, 由于絮状酸化菌的积累, 污泥的沉淀性能下降, 这说明系统并没有将大量的絮状悬浮污泥分离。为此, 从第100 d开始, 启动最后格室中的搅拌器来增加系统的搅动程度。并将进水COD负荷降低到2 g/L, 提高进水量, 此时系统水力停留时间HRT缩短5倍, 足以冲出絮状的生物体。反应器运行到150 d后, 出现了灰白色的颗粒污泥。运行到175 d后对污泥进行电镜扫描, 结果没有发现絮状生物体, 此时微生物体比甲烷活性(单位VSS消耗COD)从原来的0.18 g/(g·d)增加到1.5 g/(g·d)。试验结果说明, AMBR反应器通过改变水力负荷和有机负荷可选择沉淀性能好的微生物体。

除了接种初沉池污泥外, 也可以接种厌氧反应器中的颗粒污泥。Angenent试验中^[6]采用并行运行的ASBR反应器中的颗粒污泥。首先将颗粒污泥在4℃条件下储存4个月, 启动时接种颗粒污泥的平均粒径为0.78 mm, $\rho(\text{MLVSS}) = 6 \text{ g/L}$, 反应器内 $m(\text{VSS}) : m(\text{TSS}) = 0.84$ 。在启动过程中, 由于水力负荷逐渐提高, 大的悬浮颗粒污泥不断从反应器中随出水流失, 结果颗粒的平均粒径下降。为防止颗粒污泥的流失, 在启动30 d时在反应器出口处设置挡板, 避免颗粒污泥平均粒径的持续下降, 但由于絮状污泥仍然积累在最后格室中, 运行到60 d时打开最后隔室的搅拌器, 搅拌器的混合作用使得大量絮状污泥从反应器中随出水流失, 污泥颗粒的平均粒径逐渐增加, 反应器内总生物量也开始逐步增加。试验结束时, 颗粒的平均粒径达到0.74 mm, $\rho(\text{MLVSS}) = 16 \text{ g/L}$ 。因此, AMBR反应器通过污泥的迁移可以固定和生长颗粒污泥。相比之下, 絮状污泥比颗粒污泥的迁移速度

大,这是选择沉淀性能良好颗粒污泥的关键。

4 AMBR 工艺的运行性能

4.1 良好的水力条件

AMBR 反应器特殊的结构和运行方式使得隔室中 VFA 浓度和 pH 沿反应器长度方向具有一定梯度值,第 1 隔室中微生物处于对数增长期,底物利用率最高,产生的沼气量也最高;而最后隔室中微生物处于内源呼吸期,底物利用率最低,产生的沼气量也最低,因此提高了颗粒污泥的沉降性能,最后隔室可以作为内部澄清池。

(1)水力运行周期的确定。AMBR 工艺的水力运行周期(从进水到进水流向改变)可通过估算水力负荷或 COD 负荷率得到。采用水力负荷控制运行周期时,第 1 隔室中的污泥量是控制周期长短的主要因素。而在高 COD 负荷率时,pH 和 VFA 的浓度就成为控制因素,因为 VFA 主要产生于第 1 隔室,随着 VFA 的积累会导致 pH 的降低。因此,对于 AMBR 工艺来说,仅通过容易测定的污泥量和 pH 就可以确定 AMBR 的运行周期,从而获得系统最佳的运行条件。

(2)污泥迁移率的调整。AMBR 工艺可以通过改变流向的频度来调整系统中污泥量的迁移,尤其在高水力负荷或高 COD 负荷时。因为高 COD 负荷时,第 1 隔室中产生的甲烷增加了反应器中液体的扰动程度,加大了污泥迁移速率。通过增加两个隔室间底部孔径的尺寸或调节挡板的间距可降低生物量的迁移率。同时,底部开孔可以延长系统的水力停留时间(HRTs)。当 HRTs 较短时,应调节隔室挡板的圆孔以减少污泥的流动和有机底物的短路循环,但 AMBR 系统污泥的迁移速率应能保证絮状污泥可以从系统中冲刷出去,而选择沉淀性能好的颗粒状污泥截留在反应器中。

4.2 颗粒污泥的优化

AMBR 工艺通过定期改变流向,有效的防止了絮状污泥在最后隔室的积累,也增强了反应器内泥水之间的混合接触,可在较短的时间内形成沉淀性能良好的颗粒污泥。因此,保持 AMBR 反应器中颗粒污泥量的关键在于整个反应器中的生物体不断迁移。当絮状生物体相对于颗粒状生物体有较高的迁移速率时,就会有更多的絮状污泥迁移到最后一个隔室,而截留在反应器中的是活性较高的颗粒污泥,实现颗粒污泥的优化选择,因为沉淀性能差的絮状污泥相对于沉淀性能好的颗粒状污泥易于从最后一

个隔室冲刷出去。

4.3 良好的微生物种群分布

以往研究认为,两相厌氧处理系统中第 1 阶段的产酸条件对第 2 阶段的产甲烷颗粒污泥的生长有不利影响,所以水解/酸化和产甲烷过程最好完全分离。AMBR 工艺在改变流向前,反应器内不同隔室内的厌氧微生物的种类分布呈现出良好的种群分布,不同的隔室中存在适应流入该隔室废水水质的优势微生物种群,一般在第 1 隔室中产酸菌的活性更高,最后隔室中产甲烷菌占优势,提高了生物降解性。这都归因于最后隔室对产酸菌絮状污泥的淘汰,而对沉淀性能好的生物体进行选择截留。Angenent 试验表明,在没有达到厌氧两相完全分离的情况下,AMBR 系统没有出现处理效果下降的现象。第 1 隔室中尽管存在产酸菌,但在 pH>6.7 时,甲烷菌仍保持原有的活性。电镜分析表明,随隔室的推移,最后隔室中甲烷八叠球菌(*Methanosarcina*)贫乏,而甲烷鬃毛细菌(*Methanosaeta*)占有绝对优势^[7]。这样污泥的迁移,使优势微生物种群得以良好的生长繁殖,废水中的污染物分别在不同的隔室中得到降解,因而具有良好的处理效能和稳定的处理效果。

4.4 AMBR 工艺主要特点

(1)运行方式灵活、结构简单,不需气固分离系统和进水配水系统。

(2)工艺采用隔室结构,废水以推流式运行,反应过程中产生的难降解中间产物降解充分,出水中 VFA 含量低,出水水质好。

(3)废水水平流动,最后隔室可起到内部澄清池的作用,用于泥水分离。

(4)水流方向间歇改变,可加强污泥的迁移混合,防止污泥在最后隔室积累,有助于颗粒污泥的形成,并可以起到对颗粒污泥的优化选择。另外可创造产生甲烷的有利条件,反应过程不需投加缓冲液或出水循环。

(5)工艺耐冲击负荷能力强,对有机物的去除效果好,甲烷产率高。

(6)工艺不需预酸化,即使在反应器中检测到有酸化菌,也不会出现污泥膨胀和污泥飘浮现象。

5 结语

新型厌氧反应器的开发使低浓度有机废水的处理成为可能,作为好氧处理的前期处理,会大幅度的降低有机污染物的浓度和后续处理的曝气量和能耗,以及相应地显著降低好氧生物反应器的占地面

改性膨润土在废水处理中的应用

刘玉真, 岳钦艳, 高宝玉

(山东大学环境科学与工程学院, 山东 济南 250100)

[摘要] 膨润土是一种由蒙脱石构成的粘土矿物, 广泛地应用于工业、农业和其他领域。目前膨润土已开始应用于废水处理中, 但是未经改性的膨润土对去除废水中有机物和脱色效果较差, 故一般用于废水处理的膨润土都要经过改性, 增大其比表面积, 提高吸附能力。对国内外膨润土在废水处理领域的应用及研究现状、改性方法、活化方法等做了概述, 并展望了其应用前景。

[关键词] 膨润土; 废水处理; 吸附剂

[中图分类号] X703.5; TQ424.21 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-829X(2003)10-0020-04

Application of modified bentonite to wastewater treatment

Liu Yuzhen, Yue Qinyan, Gao Baoyu

(School of Environmental Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China)

Abstract: Bentonite is a kind of clay mineral consisting of montmorillonite and is widely used in industry, agriculture and other fields. At present bentonite has come into use in wastewater treatment. But the unmodified bentonite has low efficiency of wastewater treatment, so most of bentonite applied to wastewater treatment is modified to increase its surface area and capacity of adsorption. The present conditions of bentonite and modified bentonite in China and abroad are studied, the methods of modification and activation are investigated also. At the end the applied foreground of bentonite and modified bentonite are prospected.

Key words: bentonite; wastewater treatment; adsorbent

膨润土^{〔1〕}是一种重要的非金属矿产, 主要由蒙脱石构成, 蒙脱石的晶体结构由两层硅氧四面体晶片中间夹有一层铝氧八面体晶片组成, 属于 2:1 型层

状硅酸盐矿物。一般硅氧四面体和铝氧八面体中间存在着如 Fe^{3+} , Al^{3+} , Mg^{2+} 阳离子类质同象置换, 当置换阳离子为低价时, 使结构增加等量的负电荷, 由层

积和基建费用。

AMBR 工艺是在充分研究 UASB 反应器和 ASBR 反应器的基础上开发的新型厌氧反应器, 目前只有美国爱荷华州大学的 Dague 课题组在研究, 研究过程中出现的各种问题尚未解决, 比如在高乙酸浓度条件下却未监测到甲烷八叠球菌的存在, 反而甲烷丝状菌大量存在, 与以往所认为的情况正好相反, 象这些问题都有待解决, 还需进行更深入的研究。

[参考文献]

- [1] Angenent L T, Banik G C, Shihwu Sung. Anaerobic migrating blanket reactor treatment of low-strength wastewater at low temperature [J]. *Water Environment Research*, 2001, 73(5): 567-574
- [2] 沈耀良, 王宝贞. 废水生物处理新技术——理论与应用 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001. 348

- [3] 李亚新, 李玉瑛. 厌氧生物处理新工艺——厌氧序批式反应器 [J]. *工业用水与废水*, 2002, 33(1): 4-6
- [4] Timur H. Oztuik I. Anaerobic sequencing batch reactor treatment of landfill leachate [J]. *Water Research*, 1999, 33(15): 3 225-3 230
- [5] Angenent. Anaerobic migrating blanket reactor [P]. US 5 885 460, 1999
- [6] Angenent L T, Shihwu Sung. Development of anaerobic migrating blanket reactor (AMBR), A novel anaerobic treatment system [J]. *Water Research*, 2001, 35(7): 1 739-1 747
- [7] Angenent L T, Zheng D, Shihwu Sung, et al. Methanosaeta fibers in anaerobic migrating blanket reactors [J]. *Water Science and Technology*, 2000, 41(4-5): 35-39

[作者简介] 马勇 (1976—), 1999 年毕业于河北卫生工学院, 本科; 2001 年获哈尔滨工业大学硕士; 现为 2002 年哈尔滨工业大学在读博士生。电话: 0451-2291641, E-mail: mayongmy@sina.com。

[收稿日期] 2003-02-20