

缺氧段酸化的一体化 A/O 反应器处理生活污水试验

钟燕敏, 蒋展鹏, 管运涛, 师绍琪

(清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要: 根据兼性塘和 A/O 工艺原理, 提出并设计了升流式一体化 A/O 生物膜反应器 (UFIBR), 并就反应器处理生活污水的效果和运行参数进行了试验研究。结果表明, 当缺氧区 HRT 5h, 好氧区 HRT 3h, 在几种运行条件下, COD、BOD₅、SS 和 NH₄⁺-N 平均去除率分别为 86.7%, 91%, 95% 和 72%; 总氮平均去除率当回流比为 100% 时为 40%, 回流比为 200% 时为 57%; 缺氧段处于酸化状态; 剩余污泥少, 无需频繁排泥。

关键词: A/O 工艺; 一体化; 生活污水; 生物膜; 酸化相

中图分类号: TQ085⁺. 413

文献标识码: A

文章编号: 1000-3770 (2004) 03-0147-03

本文提出了 UFIBR 工艺, 即升流式一体化 A/O 膜反应器 (*Upflow Integrated A/O Biofilm Reactor*), 并对其处理生活污水的效果进行了试验研究。

1 UFIBR 处理生活污水的原理

厌氧处理技术因其耗能少、成本低的特点, 近年来逐渐应用于生活污水处理领域。但为了达标排放, 一般还需要好氧工艺作为后处理。本研究中, 模拟自然处理系统中的兼性塘, 将缺氧区、好氧区组成一个整体, 采用生物膜法, 生活污水以升流方式流经两个反应区。根据需要, 还可以将沉淀池出水回流至反应器进水口, 形成脱氮的一体化 A/O 工艺。

对于厌氧过程中的细菌, 产酸菌和产甲烷菌二者特性有较大的差异。相对而言, 产甲烷菌对 pH、氧化还原电位等环境条件要求苛刻, 世代周期长, 对反应器运行操作的要求较高。基于以上原因, 产甲烷反应往往是整个厌氧反应的限速步骤。因此, 本研究中不要求产甲烷, 而是允许 UFIBR 的厌氧反应停留在产酸阶段, 避免运行复杂化。

UFIBR 缺氧段的主要任务是对大分子、难溶性有机物的水解和酸化。产生于缺氧段的发酵产物经好氧段微生物进一步分解、转化; 同时, 好氧段对氨氮进行硝化反应, 硝化液回流至缺氧段后可以进行反硝化, 达到去除进水中污染物的目的。

2 试验装置与试验条件

2.1 工艺流程

当升流式一体化 A/O 生物膜反应器 (UFIBR) 应用于生活污水处理时, 工艺流程如图 1 所示 (图中括号表示可选方案)。

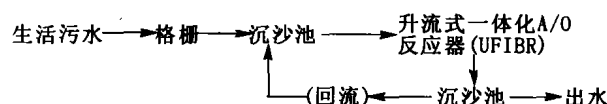


图 1 工艺流程示意图

此工艺流程的核心技术是 UFIBR, 本文重点对它进行了实验研究。

2.2 试验装置

UFIBR 试验装置的设计处理能力为 100L/d, 缺氧段和好氧段水力停留时间分别为 5h 和 3h。缺氧区为生物膜法, 采用 $\Phi 70$ 填料小球; 好氧区也主要采用生物膜法, 以半软性材料作填料, 填料调试为 0.70m。曝气头安放于好氧区底部。

2.3 试验水质及接种污染

原水采用清华大学学生宿舍区生活污水, 必要时添加工业葡萄糖或水溶性淀粉以调节原水 COD 值。缺氧段接种污泥取自北京高碑店污水处理厂二沉池底泥, SS 接种量 15g/L。

2.4 试验方法

2.4.1 试验内容

为了研究本工艺对污水的处理效果及重要运行参数的影响规律, 试验内容主要是进行了不同进水 COD 浓度、不同回流比条件下, UFIBR 考察对有机物

(COD、BOD₅)、SS 和氮(氨氮、总氮)等去除效果的试验,并进行了反应器生物相活性评价;考察缺氧段相状态、厌氧污泥最大产甲烷速率,以及好氧段和缺氧段微生物的电镜观察。

2.4.2 测定项目

水样为日平均样,每天测定进出水的 COD、SCOD、SS、pH 值、DO、碱度。不定时测定进出水的 BOD₅ 和氨氮、总氮。测定均采用标准方法。

3 试验结果与讨论

3.1 反应器对有机物的去除

3.1.1 UFIBR 对不同浓度污水的处理效果比较

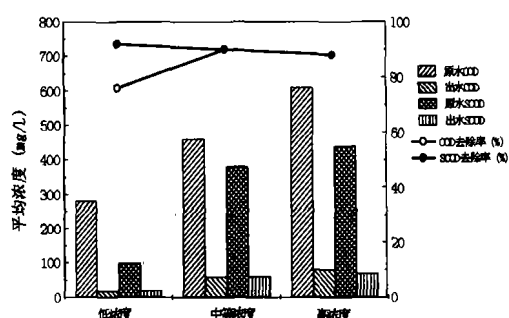


图 2 UFIBR 对不同浓度有机物浓度去除效果

为了考察不同进水浓度下的处理效果,通过在原水中加入工业葡萄糖、可溶性淀粉等方法,对反应器入水深度进行调节。试验在低、中、高三种浓度的进水条件下进行,对应的进水 COD 分别为:低浓度 190~380mg/L;中等浓度 428~525mg/L;高浓度 553~659mg/L。试验结果见图 2。可以看出,随着原水有机浓度的提高,出水的 COD、SCOD 浓度也相应上升,但 UFIBR 对 COD 的去除率能够保持在接近 90%,即使进水 COD 和 SCOD 在 600mg/L、500mg/L 左右,出水 COD、SCOD 仍能保持在 80mg/L 以下。

3.1.2 不同回流比下 UFIBR 对有机物的处理效果

将沉淀池出水回流至反应器进水口,考察回流比变化对于有机物处理效果的影响。当变化范围从 0%到 200%时 COD 去除率变化的情况见表 1 所示。

由表 1 可以看出,回流比的增大,虽然对好氧段

处理率的提高有较为明显的作用,但对 COD 的总去除率影响甚微。实际上,采用出水回流的主要目的并非于此,而在于提高脱氮效果,对此项之考察研究将在下文中讨论。

3.2 反应器对生活污水中 BOD₅ 的去除情况

在试验的不同阶段,测定了一些 BOD₅ 值,以研究 UFIBR 对 BOD₅ 的去除。原水 BOD₅ 值为 100~160mg/L,出水 BOD₅ 值为 6~14mg/L,平均 8.3 mg/L,平均去除率 91%。回流比的改变对出水 BOD₅ 值的影响也不显著。

3.3 反应器对生活污水中 SS 的去除情况

由于 UFIBR 的好氧段采用生物膜法,因此反应器出水的 SS 值较低。进水 SS 范围是 230~495mg/L,平均 410mg/L。正常运行条件下,出水外观清澈良好,SS 一般难以检出,绝大多数情况下出水 SS 低于 10mg/L,去除率能够保证高于 95%。

3.4 反应器对氮的去除情况

UFIBR 的好氧段作为硝化段,能够去除污水中的氨氮。而总氮的去除,就有赖于硝化液的回流。研究中将沉淀池出水回流到进水口,形成“前置式反硝化生物脱氮系统”氮元素的存在形式在反应系统中进行了几次转化;污水中的含氮有机物,在缺氧段中被异养微生物氮化;在好氧段中由自养性的硝化菌将氨氮硝化;最后,NO₂⁻和 NO₃⁻随沉淀池出水回流到缺氧段,再由反硝化菌将它们还原转化为 N₂,以达到生物脱氮的目的。

3.4.1 回流比对 UFIBR 去除氨氮效果的影响

试验过程中,采用生活污水作为原水,COD 浓度平均值为 334mg/L,氨氮平均值为 32.3mg/L,污水中氨氮的去除效果根据反应器设置的回流比不同而有所变化(见表 2)。

由以上数据可以看出,采用出水回流,有利于氨氮的去除。回流比增加到 100%,去除率比不设回流时有明显提高;继续加大回流比,对提高氨氮去除率未有显著效果。

表 1 不同回流比条件下 COD 去除情况

回流比 (%)	进水平均 COD (mg/L)	缺氧段出水平均 COD (mg/L)	缺氧段处理率 * (%)	出水平均 COD (mg/L)	好氧段处理率 (%)	总去除效果 (%)
50	357.8	257.0	31.7	49.1	54.1	85.8
100	313.4	166.9	8.3	50.6	75.5	83.8
150	430.8	193.8	18.8	46.3	70.5	89.3
200	371.8	189.1	8.2	40.2	81.0	89.2

注: * 考虑了沉淀池回流对于原水的稀释作用。

3.4.2 回流比对总氮去除率的影响

对于 UFIBR, 总氮的去除是通过回流好氧段硝化液出水, 硝酸盐和亚硝酸盐在缺氧段进行反硝化反应而实现的, 因此, 硝化液回流比的大小, 决定了反应器可能达到的最高总氮去除率。

表 2 不同回流比条件下氨氮去除效果

回流比 (%)	进水 (mg/L)	出水 (mg/L)	去除率 (%)
0	34.4	10.9	68.2
100	39.0	10.0	74.4
200	32.0	8.22	74.3

从表 3 可以看出, 采用回流措施明显提高了总氮的去除率; 回流比增大, 总氮实际去除率也随之提高。影响总氮去除率的因素很多, 除回流以外, 由于 A/O 工艺缺氧段的反硝化主要以回流水中的 NO_3^- 、 NO_2^- 为原料, 所以好氧段的硝化反应效率也会直接影响总氮去除效果。

表 3 不同回流比条件下总氮去除效果

回流比 (%)	进水总氮平均浓度 (mg/L)	出水总氮平均浓度 (mg/L)	总氮平均去除率 (%)
0	34.4	10.9	68.2
100	39.0	10.0	74.4
200	32.0	8.22	74.3

另外, 溶解氧浓度、pH 值和碱度对脱氮效果也有着较大影响。对于缺氧段, 总硝化菌是异养性厌氧菌, 所以缺氧区内的溶解氧浓度控制在 0.5mg/L 以下, 就不会影响其内部微生物正常的繁殖代谢。对于好氧区, 溶解氧高有利于有机物降解和氨氮的硝化, 溶解氧浓度应控制在 2~4mg/L。pH 值是影响生物脱氮过程的另一个重要因素, 硝化过程的最适 pH 值为 8.0~8.4, 反硝化过程中的最适 pH 值为 6.5~7.5。为保持适宜的 pH 值, 废水中应有足够的碱度。本试验中对溶解氧和 pH 值均按上述范围进行控制。

3.5 反应器生物相活性评价

在研究中, 缺氧段厌氧反应过程的相的状态, 可通过酸化指数 K 这一参数来确定^[1]。设 COD_1 、 COD_2 分别是进水和出水的 COD, VFA_1 、 VFA_2 分别是进水和出水中的挥发性脂肪酸所形成的 COD, 酸化指数 K 的表达式见公式 (1):

$$K = (\text{COD}_1 - \text{COD}_2) + \frac{\text{VFA}_2 - \text{VFA}_1}{\text{COD}_1} - \text{COD}_2 \quad (1)$$

当 $K \geq 2$, 认为厌氧反应器处于酸化状态; $K \leq 0.8$, 认为处于产甲烷状态; $0.8 < K < 2$, 认为反应器内产酸与产甲烷状态同时进行。

本试验中, 在未对生活污水作碱度调节的情况下, 回流比为 0% 时, 缺氧段进出水的以 $\text{COD}_1 = 232\text{mg/L}$, $\text{COD}_2 = 214\text{mg/L}$ 和 $\text{VFA}_1 = 88\text{mg/L}$, $\text{VFA}_2 = 119\text{mg/L}$, UFIBR 的酸化指数 $K = 2.68$, 可见反应器的缺氧段处于酸化状态, 产酸细菌在缺氧段中占优势。

3.5.2 UFIBR 缺氧段相微生物最大产甲烷速率的测定

缺氧段生物相以两种形式存在: 附着于填料上的生物膜, 以及悬浮在缺氧段主体溶液中的厌氧污泥。试验期间前后测定了三次缺氧段污泥的产气成分和产甲烷速率, 污泥所产气体的组成为: 甲烷 74.9%, 二氧化碳 19.5%, 其他气体 5.6%; 但最大产甲烷速率平均测定值为 $0.119\text{gCOD}/(\text{g} \cdot \text{VSS} \cdot \text{h})$, 明显低于厌氧过程的一般水平, 甲烷总产量少。

从 3.5.1 和 3.5.2 的测定数据可以看出, 缺氧段整体上属于酸化相, 其作用是对非溶解性有机物的拦截、吸附、水解、将大分子有机物降解为易被微生物利用的小分子酸, 提供给好氧段微生物, 以便好氧微生物在较短时间内彻底氧化分解有机物, 保证出水水质, 提高好氧段微生物的净水效率, 从而减少曝气量和污水处理成本。

3.5.3 UFIBR 生物相电镜观察

电子扫描镜显示, 缺氧段污泥呈深黑色, 菌胶团明显, 胞外分泌物表面附着大量有机或无机物质, 菌种丰富, 存在杆菌、球菌、丝状菌、链球菌等种类, 并有少量原生动物。还有一部分菌类的残体, 细胞壁已经破裂; 这些残体是从沉淀池回流至缺氧段的好氧段微生物, 在缺氧环境下死亡, 并被逐渐水解。

好氧区微生物绝大多数附着在填料上, 存在大量的丝状菌、球状菌、杆状菌、螺旋菌和钟虫、草履虫、变形虫等原生动物, 还有水蚤、轮虫等后生动物生物物种丰富。对于细菌, 丝状细菌为优势菌种。在本研究中, 好氧区采用的是生物膜法, 丝状菌因其易于附着, 有助于其它菌种在填料上固定的特点, 它们能较好的适应环境, 对有机物的分解能力也很强, 存在显著优势, 并不会引起污泥膨胀。

4 结论

UFIBR 对城市生活污水的去除效果良好, 在 10~30℃、停留时间 8h 的情况下, 正常运行的反应器处理效果为: COD 平均去除率为 87%, BOD_5 平均去除

NaCl含量为0.5g。当阴极电流密度为0.4A/dm²时, 58mg/L, 而Cu⁺浓度从450mg/L降到48mg/L。经2h电解, 废液中CN⁻浓度从385mg/L降到

TREATMENT OF CN AND CU⁺-CONTAINING WASTEWASTE BY ELECTROLYSIS

JIANG Li-qiang¹, ZHENG Jing-wu¹, LIU Hao¹, CHEN Hang-ying²

(1. Institute of Materials Science Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014)

(2. Development Center of Water Treatment Technology, SOA, Hangzhou 310012)

Abstract: The method to remove two kinds of CN⁻ and Cu⁺ in the same reaction basin at the same time was studied. PbO₂ anode was used to electrooxidize CN⁻ ions and stainless steel cathode to electrodeposit Cu⁺ ions. Experiments are done with these parameters such as, electric current intensity, temperature, pH value, electrolyte, pole distance and electrode surface area and the following optimum technological conditions were achieved: the electric current intensity is 0.4A/dm²; the ratio of electrode surface area (cathode to anode), 2:1; the pole distance, 3cm; the temperature, 55℃; the pH value, 10.5; the adding amount of NaCl, 0.5g/L. Under the conditions, electrolyzing the wastewater for two hours can decrease the CN⁻ ions concentration from 385mg/L to 58 mg/L and the Cu⁺ ions concentration from 450mg/L to 48 mg/L.

Key words: Cyanide Cuprous Electrooxidation, Electrodeposition.

(上接第149页)

率为91%, SS平均去除率高于95%, NH₄-N平均去除率为71%。回流比100%、200%时总氮平均去除率分别为40%和57%;回流比增大, 反应器抗冲击负荷能力增强, 对有机物、氨氮、总氮的去除率有所提高。综合考虑出水达标及增大回流带来的经济成本问题, 确定最佳回流比为100%。

本工艺结构紧凑, 占地小, 处理成本较低, 耐冲击负荷, 工作稳定、运行简单、管理容易, 而且可根据

不同需要调整运行方式, 适应性强。

参考文献:

- [1] 安景辉, 卜城. 厌氧反应过程中相状态的确定[J]. 中国沼气, 2001, 19(1).

DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT BY INTEGRATED A/O REACTOR WITH AN ACIDIFICATION PHASE

ZHONG Yan-min, JIANG Zhan-peng, GUAN Yun-tao, SHI Shao-qi

(Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: According to the principles of Facultative Pond and A/O process, an Upflow Integrated A/O Biofilm Reactor (UFIBR) was brought forward and designed for the first time. The treatment effect on domestic wastewater by the reactor (UFIBR) and its running parameters were studied in laboratory scale. In case when HRT in anoxic area is 5h, and HRT in aerobic area is 3h, high removal efficiencies can be achieved for various parameters, such as COD 86.7%, BOD₅ 91%, and NH₄-N 72%; mean removal of 40%, 57% for TN under recycling rate of 100% and 200% respectively can be guaranteed. The anoxic area is observed to be on acidification stage. Some microorganism grows as biofilm, the yield of waste sludge is low in UFIBR.

Key words: A/O process; integrated; domestic wastewater; biofilm; acidification phase.