

一体化脱氮除磷污水净化装置的开发及处理效果研究

陈吕军^{1,2} 张玉魁² 施汉昌² 李 荧³

(1 浙江清华长三角研究院生态环境研究所, 嘉兴 314050; 2 清华大学环境科学与工程系环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084; 3 浙江双益环保科技发展有限公司, 嘉兴 314050)

摘要 好氧缺氧一体化的高效分离生物流化复合反应器(HSBCR)是在内循环三相生物流化床的基础上发展起来的一种新型反应器。考察HSBCR在较短停留时间内处理生活污水时的脱碳、脱氮和除磷效果,结果表明:好氧区HRT为1.5h时,COD_{Cr}、氨氮、总氮、总磷去除率分别为81%、51%、47%和50%;HRT为2.0h时分别为84%、64%、54%和57%。HSBCR不仅能在短时间内使COD_{Cr}快速高效地去除,而且可以实现硝化与反硝化的一体化,满足脱氮除磷的要求,有望成为小城镇污水处理的适用技术。

关键词 生物流化床 脱氮除磷 污水处理设备

Research on an integrated equipment for removing organic pollutants, nitrogen and phosphorus

Chen Lujun^{1,2}, Zhang Yukui², Shi Hanchang², Li Ying³

(1. Institute of Ecology and Environment, Yangtze Delta Region Institute of Tsinghua University, Jiaxing 314050, China; 2. Environmental Simulation and Pollution Control National Joint Key Laboratory, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. Zhejiang Shuangyi Environment Tech. Co. Ltd., Jiaxing 314050, China)

Abstract: An integrated reactor, which had an aerobic zone combined with an anoxic zone in an improved internal-loop bio-fluidized bed, was developed and studied the pollutant removal performance when to treat domestic sewage. About 81% of COD_{Cr}, 51% of ammonia, 47% of total nitrogen and 50% of total phosphorus were removed at hydraulic retention time (HRT) of 1.5 h, while the removal rates increased to 84%、64%、54% and 57% at HRT of 2.0 h, respectively. The above results suggest the application potential of the reactor to town and country for wastewater treatment, where requires to simultaneously remove organic carbon, nitrogen and phosphorus in some simple and cheap process.

Keywords: Bio-fluidized bed; Nitrogen and phosphorus removal; Wastewater treatment equipment

0 前言

随着我国小城镇数量日益增多,迫切需要适合小城镇污水处理的技术。三相生物流化床具有占地面积少、处理效率高、易于设备化等优点,可望成为国家高技术研究发展(863)计划(2002AA601200);浙江省科技项目(2005C230662006)。

中小城镇污水处理的适用技术^[1,2]。但是传统的好氧生物流化床只能氧化有机物和氨氮,总氮和总磷去除率较低。此外结构上存在一定缺陷,主要问题是装置放大时结构强度不足。对于传统塔式双筒结构,当直径超过一定限制(如超过4m或更大)时,由于内外筒之间没有相互支撑,因此结构不够稳定;另

外,为了保持较好的水力特性和流化状态以及充氧性能,需要保持一定的高径比,一般需要保持在 3~5^[3,4]。这样随着反应器直径的增加,高度也会相应增加,从而提高了建设成本和施工难度。

清华大学张玉魁等在内循环三相生物流化床的基础上进行结构优化和改良^[5,6],把流化床反应器的双筒断面结构改成蜂窝状分格结构,将反应器内外两个筒之间的环隙用隔板分隔,在环隙之间的分格区域形成交替的升流区和降流区。由此,开发了好氧缺氧一体化的高效分离生物流化复合反应器(HSBCR)^[7]。HSBCR 结构的主要优点是:①可以降低反应器整体高径比;②结构性能稳定,易于实现反应器大型化;③各个升流区分别曝气,易于控制曝气强度和实现整个反应器的均匀流化;④通过好氧-缺氧交替运行实现生物脱氮和部分生物除磷。

本研究旨在通过小试,考察 HSBCR 处理城镇污水时的脱碳、脱氮和除磷效果,探讨反应器长期运行的特性和可行性,为工程放大积累经验。

1 材料与试验方法

1.1 试验装置

图1为HSBCR试验装置示意。反应器主体反应区分为好氧反应区和缺氧反应区。好氧反应区为内筒与外筒之间的环隙区域,用6块隔板分为平面上独立的6个区域。在这6个区域间隔安装有曝气头,有曝气头曝气的区域作为循环流化的上升区,无曝气头的三个区域作为降流区。内筒作为缺氧反应区,缺氧反应区底部与反应器底相连接,防止好氧区液体从底部进入缺氧区。进水从反应器中部直接进入缺氧反应区,在气体提升作用下进入好氧反应区。

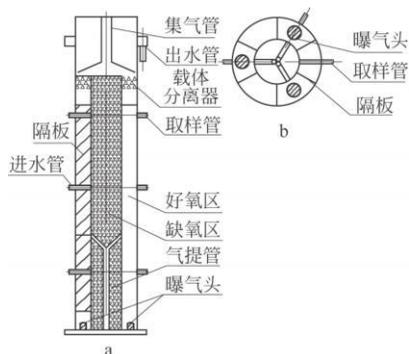


图1 HSBCR 试验装置示意

反应器内筒外径 150 mm,壁厚 5 mm,外筒外径 300 mm,壁厚 10 mm,反应器总高度 2 000 mm,反应区高度 1 650 mm,总有效体积为 120 L,其中好氧/缺氧体积比为 3:1。好氧区采用粒径为 2.5 mm 的橡胶载体,载体投加量为反应器体积的 10%;缺氧区采用球形半软性填料。运行过程中,水力停留时间(HRT)控制在 1~2 h;气水比约为 4:1,并且控制好氧反应区 DO 在 2~4 mg/L,从而保证缺氧区 DO 在 0.5 mg/L 以下。试验持续运行了 200 d。

1.2 试验原水水质

试验原水取自清华大学北区一号楼后污水泵站。该污水主要由学生宿舍区、部分家属区、教学区和食堂的生活污水以及部分实验室的废水组成。进水水质为:COD_{Cr} 150~750 mg/L,氨氮 16~72 mg/L,总氮 36~64 mg/L,总磷 2~8 mg/L。

1.3 检测项目及方法

测试项目包括进出水 COD_{Cr}、氨氮、总氮和总磷。依照国家环境保护总局编制的《水和废水监测分析方法》,COD_{Cr}采用重铬酸钾法,氨氮采用纳氏试剂光度法,总氮采用过硫酸钾氧化—紫外分光光度法,总磷采用过硫酸钾消解—钼锑抗分光光度法^[8]。

2 结果与讨论

2.1 有机物的去除效果及稳定性

为了考察 HRT 对有机物去除的影响,整个运行划分为三个工况。以载体开始挂膜为运行第 1 d 计,好氧区 HRT 在运行前 60 d 控制为 1.0 h,第 61 d 至 120 d 控制为 1.5 h,和 2.0 h,第 121 d 至 200 d 控制为 2.0 h。相应缺氧区的 HRT 分别为 0.3 h、0.5 h 和 0.7 h。各 HRT 下进出水 COD_{Cr} 浓度及去除率的时间变化如图 2 所示。好氧区 HRT 为 1.0 h 时,进水和出水 COD_{Cr} 平均浓度分别为 (455 ± 144) mg/L 和 (90 ± 20) mg/L;平均去除率为 78%,标准差为 6%,标准差系数为 0.08。与此同时,好氧区 HRT 为 1.5 h 时,进水和出水 COD_{Cr} 平均浓度分别为 (412 ± 137) mg/L 和 (70 ± 13) mg/L;平均去除率为 81%,标准差为 7%,标准差系数为 0.09。好氧区 HRT 为 2.0 h 时,进水和出水 COD_{Cr} 平均浓度分别为 (378 ± 87) mg/L 和 (58 ± 12) mg/L;平均去除率为 84%,标准差为 4%,标准差系数为 0.05。

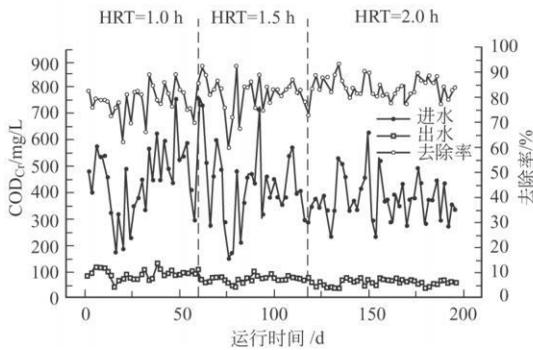


图2 不同水力停留时间下进出水 COD_{Cr} 及去除率的变化

HRT 为 1.0 h 时 COD_{Cr} 去除率即达到 78%，HRT 为 2.0 h 时达到 84%，这表明反应器在较短的 HRT 内即可达到良好的有机污染物去除效果。随着 HRT 的延长，尽管进水平均 COD_{Cr} 浓度有所减低，但 COD_{Cr} 去除率仍显现轻微升高趋势，且标准差系数减小，这表明 HRT 的延长在一定程度上有利于提高有机物的去除率，并提高系统出水稳定性。普通活性污泥法处理生活污水工艺中，为了维持稳定的有机物去除效果，HRT 通常要维持在 3~4 h。HSBCR 反应器在 HRT 为 1.0~2.0 h 时即达到了同等程度的 COD_{Cr} 去除率，获得稳定的出水水质，说明 HSBCR 耐受较高有机负荷，具有在短时间内高效去除有机污染物的潜力。

2.2 氨氮去除效果和稳定性分析

各工况下氨氮的去除效果如图 3 所示。好氧区 HRT 为 1.0 h 时，进水和出水氨氮平均浓度分别为 (37±9) mg/L 和 (22±7) mg/L；氨氮去除率为 41%，标准差为 9%，标准差系数为 0.22。好氧区 HRT 为 1.5 h 时，进水和出水氨氮平均浓度分别为 (45±10) mg/L 和 (22±7) mg/L；平均去除率为 51%，标

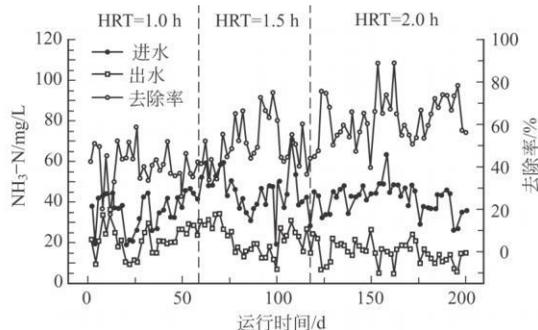


图3 不同水力停留时间下进出水 NH₃-N 及去除率的变化

准差为 11%，标准差系数为 0.21。好氧区 HRT 为 2.0 h 时，进水和出水 COD_{Cr} 平均浓度分别为 (42±7) mg/L 和 (15±5) mg/L；平均去除率为 64%，标准差为 11%，标准差系数为 0.17。

随着 HRT 由 1.0 h 升至 1.5 h 再升至 2.0 h，氨氮平均去除率由 41% 提高至 51% 再至 64%；去除率的标准差系数也呈现轻微下降趋势。上述结果表明，延长 HRT 可使氨氮去除效果呈现显著提高。

2.3 总氮去除效果和稳定性分析

总氮去除效果如图 4 所示。HRT 为 1.0 h 时硝化效率较低，缺氧区停留时间较短，因此未对该工况下总氮的去除效果作评价。好氧区 HRT 为 1.5 h 时，进水和出水总氮平均浓度分别为 (51±5) mg/L 和 (27±4) mg/L；平均去除率为 47%，标准差为 7%，标准差系数为 0.15。好氧区 HRT 为 2.0 h 时，进水和出水 COD_{Cr} 平均浓度分别为 (49±7) mg/L 和 (22±3) mg/L；平均去除率为 54%，标准差为 7%，标准差系数为 0.13。

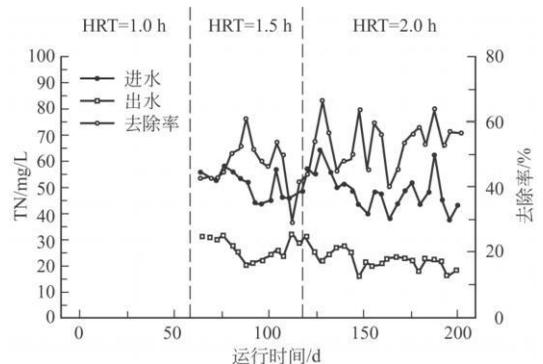


图4 不同水力停留时间下进出水 TN 及去除率的变化

总氮的去除情况与氨氮相似，延长 HRT 使去除效果得到一定程度的提高。好氧区 HRT 由 1.5 h 升至 2.0 h，总氮平均去除率由 47% 提高至 54%；去除率的标准差系数也呈现轻微下降趋势。

进水中氨氮占总氮约 87%，因此对于本研究的硝化—反硝化生物脱氮而言，生物硝化成为脱氮的限制步骤。为了进一步提高好氧—缺氧反应器对总氮的去除率，尽管有机物的去除只需较短 HRT；但是为了得到较好的生物硝化和脱氮效果，则需要延长 HRT，以提高反应器的硝化效果。

2.4 总磷去除效果

总磷去除效果如图 5 所示。HRT 为 1.0 h 时，

时间较短,因此未对总磷去除效果作评价。好氧区 HRT 为 1.5 h 时,进水和出水总磷平均浓度分别为(4.9±1.3) mg/L 和(2.4±0.6) mg/L;平均去除率为 50%,标准差为 9%,标准差系数为 0.18。好氧区 HRT 为 2.0 h 时,进水和出水总磷平均浓度分别为(4.4±0.5) mg/L 和(1.9±0.5) mg/L;平均去除率为 57%,标准差为 12%,标准差系数为 0.20。

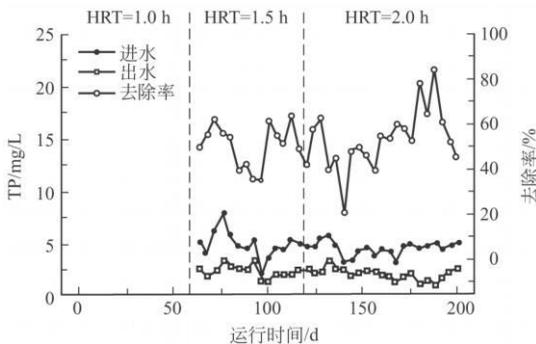


图 5 不同水力停留时间下进出水 TP 及去除率的变化

与总氮相似, HRT 从 1.5 h 延长至 2.0 h 时,总磷去除率得到一定程度的提高。但不同的是,去除率的标准差系数未呈现明显变化。

本研究中 HSBCR 反应器内未设置专门的厌氧区,但 TP 去除率可达到 50% 左右。分析原因可能是因为 HSBCR 反应器中悬浮状态的活性污泥回流量很少,剩余污泥排放较多,一部分总磷随排泥而去除,从而提高了总磷去除效率。

3 结论

用好氧缺氧一体化的高效分离生物流化复合反应器处理生活污水,得到以下结论:

(1) 反应器具在短时间内高效去除有机污染物的潜力。好氧区 HRT 为 1.0 h 时 COD_{Cr} 去除率达到 78%, HRT 为 2.0 h 时达到 84%。延长 HRT 有利于提高有机物去除率和出水稳定性。

(2) 好氧区 HRT 为 1.0 h、1.5 h 和 2.0 h 时,氨氮平均去除率分别为 41%、51% 和 64%。延长 HRT 可显著提高氨氮去除率和出水水质稳定性。

(3) 好氧区 HRT 为 1.5 h 和 2.0 h 时,总氮平均去除率分别为 47% 和 54%。延长 HRT 可提高总氮去除率和出水水质稳定性。为了得到较好的脱

氮效果,需要延长 HRT,以提高反应器的硝化和脱氮效果。

(4) TP 去除率为 50% 左右。HRT 从 1.5 h 延长至 2.0 h 时,总磷去除率得到一定程度的提高,但出水水质稳定程度未呈现明显变化。

尽管由于时间关系,本研究未能延长 HRT 对反应器的运行条件进行进一步优化,但已有结果已表明:好氧缺氧一体化高效分离生物流化复合反应器处理生活污水时,有高效的脱碳、除氮、除磷能力。由于该反应器继承了三相生物流化床的主要优点,具有效率高、投资省、占地少、易于设备化等优点,可以发展成组装式的系列化产品,进行批量生产,改变污水处理难于实现设备化的现状,因此有望成为小城镇污水处理的适用技术。不仅能使 COD_{Cr} 快速、高效、低耗去除,而且可以实现硝化与反硝化的一体化,满足脱氮除磷的要求。

参考文献

- 1 周平,钱易. 空气提升内循环生物流化床反应器动力学研究. 环境科学, 1996, 17(6): 9~12
- 2 周平,钱易. 内循环生物流化床处理生活污水的实验研究. 给水排水, 1998, 24(10): 28~31
- 3 Russell A B, Thomas C R, Lilly M D. The influence of vessel height and top section size on the hydrodynamic characteristics of airlift fermentors. Biotechnology and Bioengineering, 1994, 43: 69~76
- 4 卢刚,郑平. 气升式内环流反应器流体力学特征探讨. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2003, 29(2): 188~194
- 5 姜家顺,张玉魁,曾亮,等. 三相生物流化复合反应器中上升区与下降区气含率的关系. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(11): 8~12
- 6 两种生物流化床中试反应器处理生活污水, 市政技术, 2006, 24(6): 409~411
- 7 张玉魁,石桂芳,施汉昌. 好氧-缺氧一体化高效分离生物流化复合反应器. 环境工程, 2007, 25(2), 10~12
- 8 国家环境保护总局,水和废水监测分析方法. 第 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2006

& 通讯处: 314050 浙江肖嘉市中环南路 华东石油大厦 5 层

E-mail: caiq@tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2007-12-15