

折流生物膜反应器的研制及优化

江帆¹, 陈维平², 王春¹, 王一军¹

(1. 广州大学机械与电气学院, 广东 广州 510006;

2. 华南理工大学机械工程学院, 广东 广州 510640)

摘要: 根据河流污水处理的特点, 在较短的反应流程中, 增加污水和生物载体的接触时间, 设计了折流生物膜反应器, 进行污水处理实验, 并采用多相流和多孔介质模型耦合进行反应器的结构优化计算分析, 计算结果表明, 折流板生物载体折叠角度以 140° 为佳, 反应器器壁为外加的直壁型。

关键词: 折流生物膜反应器; 多孔介质模型; 结构优化

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2009)07-0072-04

Design and optimization of baffled biofilm reactor

JIANG Fan¹, CHEN Wei-ping², WANG Chun¹, WANG Yi-jun¹

(1. Mechanical and Electrical Engineering College, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China;

2. School of Mechanical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: According to the characteristic of rivers' sewage treatment, for increasing the contact duration of sewage and the biological carrier in a short reaction process, the devious flow bio-reactor has been designed, and its sewage treatment experiment is processed. The optimized structure of bio-reactor is analyzed by coupling of multi-phase flow with the porous medium model, the results indicate that folded angle of baffle biological carrier on the devious flow bio-reactor takes 140 degrees for good, and the reactor wall should be added straight wall.

Key words: baffled biofilm reactor; the porous medium model; structure optimization

据 2007 年中国环境状况公报统计^[1], 2006 年度我国七大水系 197 条河流 407 个监测断面中, 26.5% 的断面属 IV、V 类水质, 23.6% 的断面属劣 V 类水质。28 个国控重点湖库中, IV 类、V 类和劣 V 类水质的湖库分别占 14.3%、17.9% 和 39.3%, 这些数据显示我国河流和湖泊水污染仍然很严重。针对我国江河湖泊水污染的严峻形势, 水环境保护研究人员正在积极寻求有限的处理手段。华南理工大学的陈维平、江帆等在广东省科技攻关计划支持下, 进行了一系列的研究, 先期研制了悬浮填料转笼式生物反应器^[2-3], 具有高效低耗的优点, 适合河流流动水域的污水处理, 并进行低浓度污水处理小试试验, 试验结果证实该反应器具有自然挂膜快、效果好、灵活方便、节省能源的特点, 经过进一步研究, 研制了河流污水处理的生物膜反应器——叶轮生物膜反应

器^[4], 在能源自助方面有了更大的进步, 但针对缓慢流动的河涌, 上述 2 种反应器较难发挥作用, 随着研究的深入, 他们研制了折流生物膜反应器, 在运行成本方面具有显著成效。本文中在介绍折流生物膜反应器的结构、污水处理实验的基础上, 采用多相流和多孔介质模型耦合进行反应器的结构优化。

1 折流生物膜反应器的结构

作者共设计了 2 种不同曲折方向的折流反应装置(图 1、图 2)。折流反应装置 1 是折流板与水流方向纵剖面呈 30° 角, 由 8 组, 每组 6 片折流板(共 48 片折流板)组成, 结构设计见图 1; 折流反应装置 2 是折流板与水平面平行呈 30° 角, 由 6 组, 每组 8 片折流板(共 48 片折流板)组成, 其结构如图 2 所示。折流板上安装有生物载体, 底部根据需要加装曝气

收稿日期: 2009-03-09; 修回日期: 2009-05-22

基金项目: 广东省科技攻关计划(2005A30402001); 金属新材料制备与成形广东省重点实验室开放基金(2007006)

作者简介: 江帆(1974-), 男, 土家族, 副教授, 研究方向为环境材料及环境装备、机械 CAD/CAE/CFD, jiangfan330@163.com; 陈维平(1959-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为环境材料和绿色制造。

管道。工作中,污水流穿透折流板上的生物载体时与生物膜充分接触,污染物被降解。

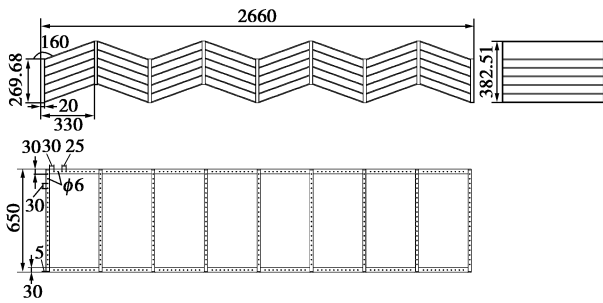


图1 折流反应装置1结构图

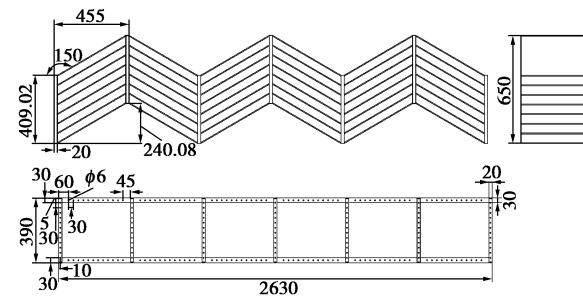
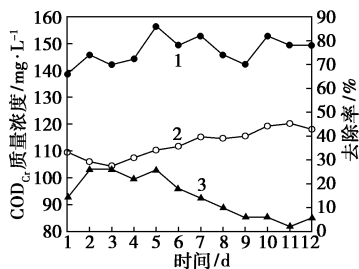


图2 折流反应装置2结构图

2 污水处理试验

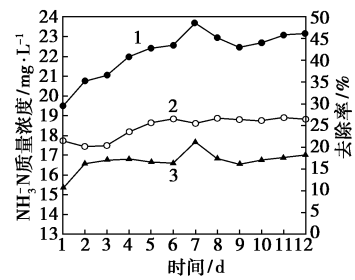
试验在河道模拟试验装置中进行。由进水池、出水池、反应区(由2个相同的反应器组成)、风泵、水泵、流量计等构件和设备组成。反应区截面尺寸:400 mm × 700 mm,长2 730 mm;进水池:1 100 mm × 1 096 mm × 1 075 mm;出水池:1 500 mm × 1 096 mm × 1 075 mm。所有试验装置均由PVC塑料板焊接成形。

在试验中,折流反应装置1总面积为9.523 m²;污水流速4~5 m³/h;不安装曝气装置;污水总量3.77 m³,总停留时间HRT为4.8 h。折流反应装置1试验结果分别如图3和图4所示。



1—进水;2—去除率;3—出水

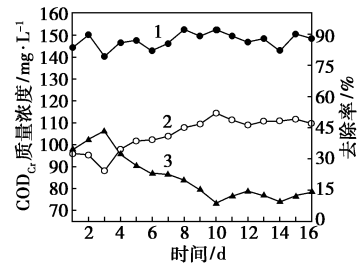
图3 折流反应装置1试验的COD_{Cr}去除效果图



1—进水;2—去除率;3—出水

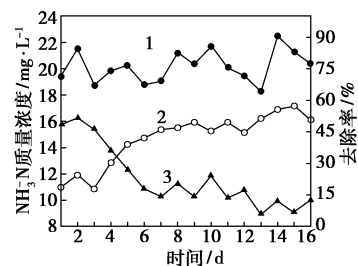
图4 折流反应装置1试验的NH₃-N去除效果图

折流反应装置2总面积为8.986 m²;污水流速4~5 m³/h;不安装曝气装置;污水总量3.77 m³,总停留时间HRT为4.8 h。折流反应装置2试验结果分别如图5和图6所示。



1—进水;2—去除率;3—出水

图5 折流反应装置2试验的COD_{Cr}去除效果图



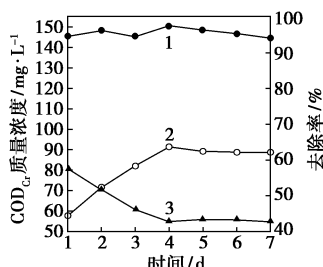
1—进水;2—去除率;3—出水

图6 折流反应装置2试验的NH₃-N去除效果图

试验结果表明,折流装置1在运行试验中,对于基质化学需氧量(COD_{Cr})去除率达到42%左右,基质NH₃-N去除率在27%左右;折流装置2在运行试验中,对于基质COD_{Cr}去除率达到50%左右,基质NH₃-N去除率在52%左右。

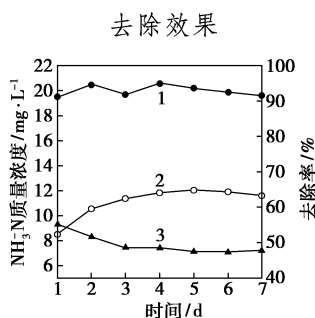
增加底部曝气以提高水中溶解氧,增大好氧生物活性。采用折流装置2进行试验,在装置底部增添2根曝气管,曝气量控制在3.0 m³/h左右,其余

试验参数同未曝气时相同。试验结果如图 7 和图 8 所示,图 7、图 8 中显示,当处理效果稳定后, COD_{Cr} 去除率达到 61% 左右, 基质 NH₃-N 去除率在 63% 左右。



1—进水;2—去除率;3—出水

图 7 折流反应装置 2 曝气试验的 COD_{Cr}



1—进水;2—去除率;3—出水

图 8 折流反应装置 2 曝气试验的 NH₃-N

去除效果

3 反应器的结构优化

通过多相流和多孔介质模型耦合进行模拟分析,主要针对折流板的夹角和外壁的形状进行优化。计算参数及边界条件见参考文献[5-8]。

3.1 生物载体折流板折叠夹角变化

采用如图 9 所示的 3 个模型进行模拟计算,模型 1 是折叠 140°,11 143 个节点,10 833 个网格;模型 2 是折叠 120°,12 043 个节点,11 829 个网格;模型 3 是折叠 160°,12 115 个节点,12 327 个网格,其他计算条件同前面。计算结果如图 10 所示。

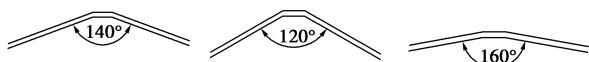
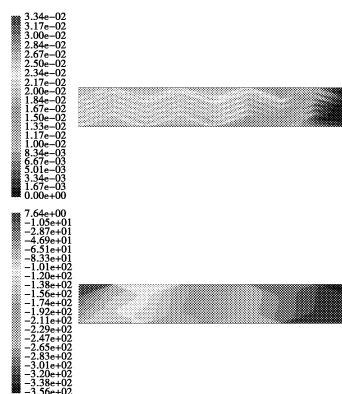
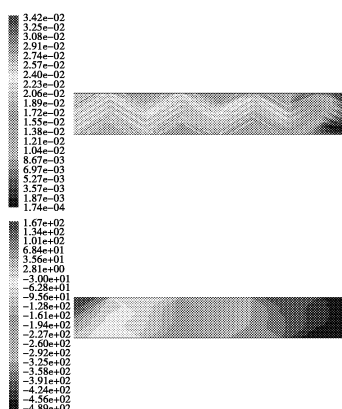


图 9 载体折叠角度的改变

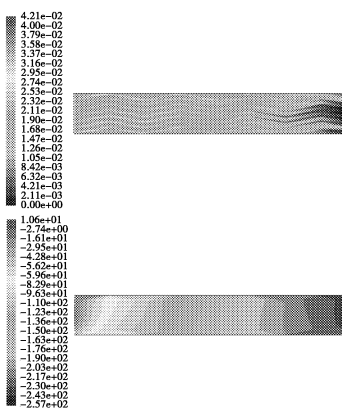
从图 10 中看到,微生物固相在生物载体中驻留与生物载体折叠角度有较大关系,折叠角度越小,固相越容易在生物载体中驻留,但流动阻力增大(压力增大),通过比较,生物载体折叠角度以 140°为佳。



(a) 模型 1 的相分布与压力分布



(b) 模型 2 的相分布与压力分布



(c) 模型 3 的相分布与压力分布

图 10 不同载体折叠角度的计算结果

3.2 改变反应器的外壁形式

改变折流生物反应器器壁进行比较计算,图 11 中模型 4 的反应器是直接以折流生物载体的折线边界为反应器器壁,9 056 个节点,8 742 个网格;与有外层直线器壁的反应器模型 1 进行对比,计算结果如图 12 所示。



图 11 反应器器壁的改变

