

叶轮生物膜反应器的研制与应用

江帆^{1,2}, 陈维平¹, 李元元¹, 张 骏¹

(1. 华南理工大学机械工程学院, 广东 广州 510640; 2. 广州大学机械与电气学院, 广东 广州 510006)

摘要:针对河流污染治理的特殊性, 研制出叶轮生物膜反应器, 其工作原理是: 河流污水流入叶轮生物膜反应器, 在驱动叶轮转动的同时, 和叶片上的生物膜接触, 通过有机营养物的吸附, 氧向生物膜内部的扩散以及在膜中所发生的生物氧化等作用, 降解水中的污染物, 辅以中心轴曝气, 强化了污水处理效果。启动流速计算结果表明, 反应器启动流速较小。河流污水模拟试验显示出其有较好的污水处理效果。

关键词:生物膜反应器; 叶轮生物膜反应器; 河流; 污染

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2007)12-0055-03

Design and application of blade-wheel type bio-film reactor

JIANG Fan^{1,2}, CHEN Wei-ping¹, LI Yuan-yuan¹, ZHANG Tao¹

(1. School of Mechanical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. Mechanical and Electrical Engineering College, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Aiming at particularity of river pollution control, a bio-film reactor of blade-wheel type is designed. Its working principle is like this, river sewage through it, and divers the blade-wheel into rotation. At the same time, sewage touching the bio-film on it, organic nutrient absorbed, oxygen diffusion into inside of the bio-film and biological oxidation by the bio-film make the contaminants degraded. Aided with aeration in the central axis, the treatment effect of sewage is strengthened. The results shows that the driven velocity is a little slow. And the result of simulation for river sewage shows a good treatment effect for low-concentration sewage.

Key words: bio-film reactor; blade-wheel type bio-film reactor; river; pollution

目前, 我国城市污水处理率还很低, 有大量未经处理或未达标的工业废水和生活污水排入河流、湖泊等水体, 致使我国许多河流、湖泊水体的污染比较严重。据 2006 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 408 个监测断面中, 28% 的断面属 IV、V 类水质, 26% 的断面属劣 V 类水质。在 27 个国控重点湖库中, IV 类、V 类和劣 V 类水质的湖库分别占 4%、19% 和 48%。针对日趋严重的江河湖泊水污染的严峻形势, 水环境保护工作者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实验, 实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, 他们研制了更适合河流污水处理的生物膜反应器——叶轮生物

膜反应器, 本文详细介绍了其工作原理、启动流速计算及处理低浓度污水的应用研究。

1 叶轮生物膜反应器的结构及工作原理

1.1 反应器结构

如图 1 所示, 叶轮生物膜反应器整体结构比较简单, 由叶轮体、叶片、生物载体、中心轴、曝气管等组成。

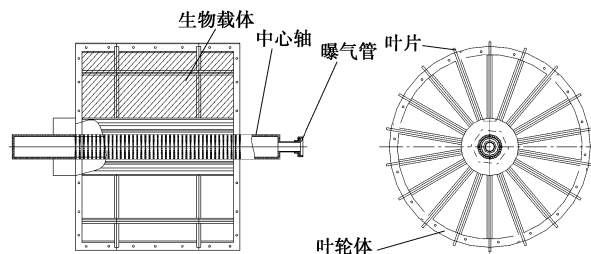


图 1 悬浮生物载体转笼式生物反应器结构

本例的叶轮体上安装有 18 片叶片, 在实际应用

收稿日期: 2007-08-08

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

作者简介: 江帆(1974-), 男, 博士, 研究方向为环境材料及绿色制造, 020-31877836, 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。

中,叶片数目、长度、倾斜角度根据反应器处理污水的特性及治理河流的流体力学特征确定,能在水流动能的驱动下自转动(见后面的启动流速计算);生物载体布置在叶片上,在转动过程中,叶片上的生物载体浸入水面与流经的污水进行充分接触;中心轴固定,与叶轮体滑动连接,中心轴周壁上开有微孔,给反应器曝气。

1.2 工作原理

叶轮生物膜反应器处理河道湖泊污水是 1 种主动型生物膜反应器,集成生物膜技术和曝气氧化技术。如图 2 所示,污水水流从左方流经叶轮生物膜反应器,推动叶轮的叶片,使反应器定向转动,流经的污水与附着在叶片上的生物载体接触,生物载体表面经过一段时间的挂膜形成一层生物膜,生物膜上的微生物吸附污水中的有机物并将其迅速降解,进而达到除去水中污染物的作用。在反应器内中心轴上开了许多致密小孔给反应区内曝气。在中心轴下部,由于水压大,曝气很难向下扩散,从而形成厌氧区;而上方气泡容易浮起给污水供氧,形成好氧区。正是因为内部好氧区和厌氧区的同时存在,叶轮生物膜反应器充分发挥了多种污水处理方式的优势,高效处理污水。以曝气中心轴分隔的好氧区和厌氧区构成 1 个硝化和反硝化同步进行的污水处理反应的环境,流经的污水以中心轴分层,上下 2 部分依次经历不同功能区,上部的污水先经过好氧区,在叶片的转动带动作用下有部分又回流到下部的厌氧区;下部的污水先流经厌氧区,在叶片的阻挡推动下,绕流到好氧区,这样充分达到了好氧与厌氧处理。

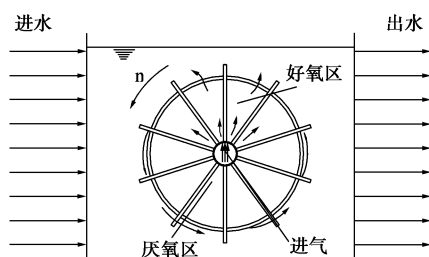


图 2 叶轮生物膜反应器工作原理示意图

在反应器叶片的生物载体是 1 种具有高比表面积和高孔隙率的生物载体,各种微生物可在其上附着和繁殖,形成黏液状的生物膜。随着生物膜厚度的增加,形成内层为厌氧层和外层为好氧层结合的生物膜。同时反应器内部的以中心曝气方向形成梯度的好氧与厌氧区,构造出一个硝化和反硝化同步进行的污水处理反应的微环境。当污水与生物载体上的生物膜接触时,生物膜与污水、空气之间进行有

机物、 O_2 、 CO_2 、 NH_3 等的传递^[4-5]。

由于叶轮在转动,叶片与水流时刻保持着冲刷、推动作用,同时中心曝气的气流也冲击着生物载体,加快了反应器内无活性的老膜脱落,形成污泥,使反应器内生物活性始终处于旺盛状态,从而达到高效处理污水的效果。

2 反应器的启动流速的估算

取如图 3 所示的叶轮作为研究对象,图 3 中, v 为水流速度, M 为转动阻力矩,根据流体力学动量矩定理进行计算。计算假定:叶轮经过动平衡试验,处于动平衡状态;其上的生物载体质量也相等,因为轴对称和平面对称,生物载体对叶轮中心轴的合力矩为 0。

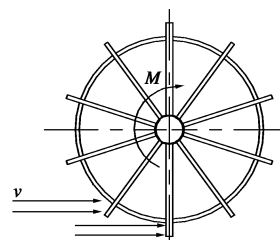


图 3 临界速度受力分析

由动量矩定理^[6],水流对叶轮轴的动量矩 M_l 等于外力对叶轮轴的转矩 M_w 。而动量矩 M_l 和叶轮轴的转矩 M_w 计算如式(1)、(2)所示。

$$M_l = D\rho Av(v - R\omega) \quad (1)$$

$$M_w = M = G\delta r \quad (2)$$

式中, D 为叶片的工作直径,0.36 m; A 为叶片的工作面积,0.072 m²; ρ 为水的密度,1 000 kg/m³; v 为作用在叶片的水流速度; ω 为叶轮转速,初始状态为 0; G 为叶轮反应器的重力,计算出图 1 中的反应器质量为 10 kg; δ 为摩擦系数,这里取塑料与塑料的摩擦系数 0.3; r 为阻力的力臂(0.0375 m)。

由式(1)、(2)得:

$$25.92 \times v^2 = 0.1125$$

$$v = 0.066 \text{ m/s}$$

故推动反应器转动的初始水流速度 $v \geq 0.066 \text{ m/s}$ 。我国多数河流的水流速度在 1 m/s 左右^[7],能驱动叶轮反应器旋转。

3 应用试验研究

试验用的叶片式生物反应器如图 1 所示,每个反应器有 18 块叶片,叶片上装载缠绕型载体。整个反应器直径约为 420 mm,长度约为 400 mm,污水

依次流经两级叶片式生物反应器,两级之间相距800 mm。反应器安装在河道模拟试验装置中,试验系统流程图如图4所示。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。反应区截面尺寸为400 mm×700 mm,长度为2 730 mm;进水池尺寸为1 100 mm×1 096 mm×1 075 mm;出水池尺寸为1 500 mm×1 096 mm×1 075 mm。(所有实验装置均由PVC塑料板焊接成型)

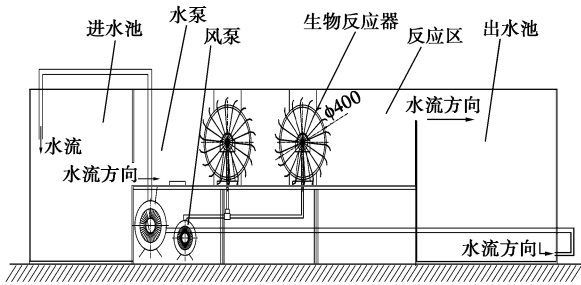
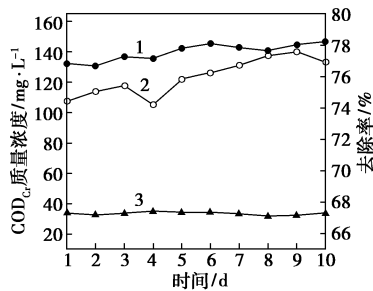


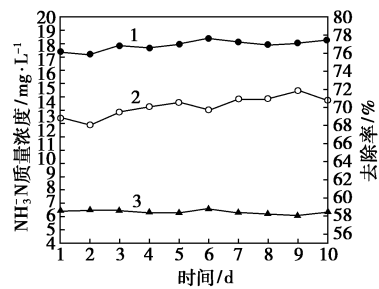
图4 试验工艺流程

试验时间从2006年6月10日—7月25日,气温为25~35℃,平均气温为30℃,运行工艺参数:叶轮转速2.5 r/min、曝气量2.5 m³/h、污水流量2.0 m³/h。试验污水水源为华南理工大学南湖侧的部分生活污水及实验室、办公室排出污水的混合水。进水COD_{Cr}的质量浓度100~140 mg/L, NH₃-N质量浓度15~20 mg/L。COD_{Cr}和NH₃-N去除效果分别如图5和图6所示。



1—进水;2—COD_{Cr}去除率;3—出水

图5 COD_{Cr}去除效果



1—进水;2—COD_{Cr}去除率;3—出水

图6 NH₃-N去除效果

可以看出,叶轮生物膜反应器对类似河流污水的低浓度污水有较好的处理效果,基质COD_{Cr}的平均去除率为76.7%,NH₃-N的平均去除率为70.6%。

4 结论

(1)叶轮生物膜反应器结构简单,易于被水驱动旋转,计算得出仅需0.066 m/s的水流速度即可驱动叶轮,适合河流处理污水。

(2)叶轮生物膜反应器集成生物膜技术和曝气氧化技术,处理效果较好,对低浓度污水的去除效果为:COD_{Cr}的平均去除率为76.7%,NH₃-N的平均去除率为70.6%。

参考文献

- [1] 2006年中国环境状况公报[EB/OL]. <http://www.sepa.gov.cn/ztd/sjhjr/2007hjr/tpbd56/200706/P020070605323023573963.pdf>.
- [2] 华南理工大学.一种转笼式悬浮填料生物污水处理方法及其装置:中国,200410077611.2[P].2005-08-17.
- [3] 江帆,陈维平,吴纯德,等.悬浮填料转笼式生物反应器的研制与应用[J].现代化工,2005,25(8):53-55.
- [4] Wesley Eckenfelder W. Industrial Water Pollution Control[M]. 3rd. New York:Jr McGraw-Hill Companies, Inc,2000.
- [5] Alan Seragg. Environmental Biotechnology[M]. London: World Book Publish Company,2000.
- [6] 黄卫星,陈文梅.工程流体力学[M].北京:化学工业出版社,2001.
- [7] 徐祖信.河流污染治理技术与实践[M].北京:中国水利水电出版社,2003. ■

(上接第54页)

- [2] 张翼飞,全晓龙.液化天然气(LNG)输送泵的特点与应用[J].水泵技术,2006(6):38-40.
- [3] Steve Rush. Submerged motor LNG pumps in sent-out system service[J]. Pumps and Systems,2004(3):32-37.
- [4] Coyle David A, Patel Vinod. Processes and pump services in the LNG industry[C]//Proceedings of the twenty-second international pump users symposium,2005:179-185.
- [5] Weisser G L. Modern submersible pumps for cryogenic liquids[J]. World Pumps,1994(1):23-25.

- [6] Loughman David, Cullen David. Submerged electric motor pumps for marine liquefied gas cargo[J]. World Pumps,1996(9):50-55.
- [7] 湖南力普吉实业有限公司. Ebara 低温潜液式离心泵[EB/OL]. [2007-6-15]. http://www.lpge.com/chs/3.files/Ebara_Catalogo.pdf.
- [8] Tokyo Gas Co Ltd. High head/large capacity in-tank LNG pump[EB/OL]. [2007-6-15]. http://www.tokyo-gas.co.jp/techno/stp/e_txt/36e.htm.
- [9] 湖南力普吉实业有限公司. Nikkiso 潜液泵宣传样本[EB/OL]. [2007-6-15]. http://www.lpge.com/chs/3.files/Nikkiso_Broch.pdf. ■