

# MBBR 处理生活、生产混合污水

于洪斌<sup>1,2</sup>, 全 燮<sup>1</sup>, 丁蕴铮<sup>2</sup>, 赵晓博<sup>3</sup>, 陈晓会<sup>3</sup>

(1. 大连理工大学 环境与生命学院, 辽宁 大连 116024; 2. 东北师范大学 环境科学与工程系, 吉林 长春 130024; 3. 大连宇都环境工程与技术公司, 辽宁 大连 116022)

**摘要:** 采用移动床生物膜反应器(MBBR)处理生活、生产混合污水, 研究了对有机物的去除效果, 并考察了容积负荷、填料填充比例、水力停留时间等参数对 MBBR 处理效果的影响。试验发现, 在填料填充比例为 60% (体积比), 单级反应器的水力停留时间为 6 h、容积负荷为 4.0~5.0 kgCOD/(m<sup>3</sup>·d) 的条件下, 反应器运行稳定且处理效果好, 最终出水 COD 平均为 60 mg/L, 去除率 >90%。

**关键词:** 移动床生物膜反应器; 混合污水; 聚乙烯填料

中图分类号: X703.1 文献标识码: C 文章编号: 1000-4602(2005)01-0049-04

## Moving Bed Biofilm Reactor for Treatment of Mixed Domestic and Industrial Wastewater

YU Hong-bin<sup>1,2</sup>, QUAN Xie<sup>1</sup>, DING Yun-zheng<sup>2</sup>, ZHAO Xiao-bo<sup>3</sup>,  
CHEN Xiao-hui<sup>3</sup>

(1. School of Environmental and Life Science, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China; 2. Dept. of Environmental Science and Engineering, Northeast Normal University, Changchun 130024, China; 3. Dalian Yudu Corporation of Environmental Engineering and Technology, Dalian 116022, China)

**Abstract:** Moving bed biofilm reactor (MBBR) was used for treatment of mixed domestic and industrial wastewater, in order to study the removal efficiency of organic matters and investigate the influence of volumetric loading, carrier volumetric ratio, and hydraulic retention time (HRT) on the treatment effect. It is observed that under the conditions that carrier volumetric ratio is 60%, HRT in single reactor is 6 h, and volumetric loading is 4.0-5.0 kgCOD/(m<sup>3</sup>·d), MBBR operates steadily with good effect, and the effluent COD is 60 mg/L in average, with removal rate more than 90%.

**Key words:** moving bed biofilm reactor; mixed wastewater; polyethylene carrier

### 1 试验装置、材料与方法

#### 1.1 装置及流程

工艺流程如图 1 所示。

移动床生物膜反应器(MBBR)由有机玻璃制成,有效尺寸为 8 cm×8 cm×15 cm,在底部与斜板相对的一角设有微孔曝气头,通过隔膜式气泵进行曝气,同时使附着生物膜的填料在反应器内呈流化

状态。出水口一角设置竖直挡板(与下边斜板之间留有 0.5 cm 的缝隙),在起截留填料作用的同时又与器壁围成了沉淀区。原水由蠕动泵提升至水解池后依次流经高位移动床生物膜反应器(MBBR1)和低位移动床生物膜反应器(MBBR2)。

试验所用改性聚乙烯填料为圆筒状,内部有三块翼板,具体技术参数如表 1 所示。

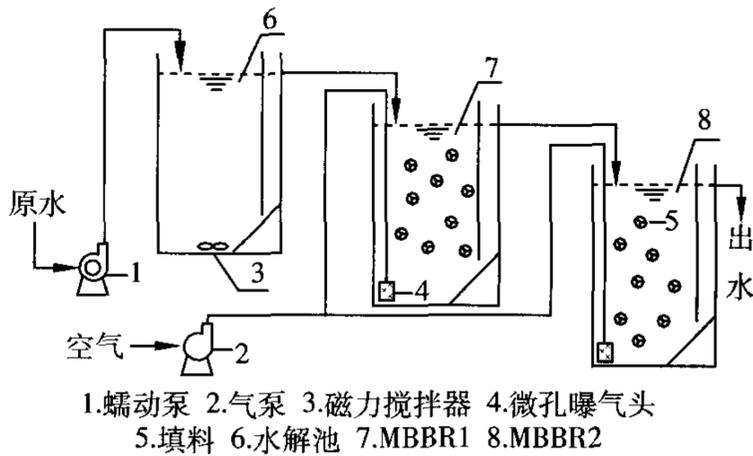


图 1 工艺流程

Fig. 1 Flow chart of experimental setup

表 1 聚乙烯填料的技术参数

Tab. 1 Characteristics of the polyethylene biofilm carrier

项目	规格/mm	孔隙率/%	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	比表面积/(m <sup>2</sup> ·m <sup>-3</sup> )
数值	高:10,直径:10,厚度:0.4	94	0.98	980

### 1.2 原水水质

原水为大连某电子公司的生活、生产混合污水,其水质见表 2。

表 2 原水水质

Tab. 2 Raw water quality

指标	COD/(mg·L <sup>-1</sup> )	BOD <sub>5</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/(mg·L <sup>-1</sup> )	pH	温度/°C
范围	511.3~1227.9	239.7~472.8	8.7~12.8	6.5~7.5	10.1~23.2

### 1.3 分析项目及方法

COD:快速重铬酸钾法;BOD<sub>5</sub>:标准稀释接种法;NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N:纳氏试剂分光光度法;生物相:显微镜观察;生物量:105 °C 下烘干称重;温度和溶解氧:JPSJ-605 型溶解氧仪。

## 2 结果与讨论

测定出水 COD、BOD<sub>5</sub> 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 时所取水样均为经自然沉降(100 mL 量筒)0.5 h 后的上清液。试验中,每次改变水力停留时间后待系统运转至少一个周期后再进行检测。

### 2.1 对污染物的去除效果

#### ① 对 COD 的去除效果

MBBR 中投加 60% (体积比)的填料,通过调节水力停留时间和进水 COD 浓度(改变 MBBR1 的容积负荷)来考察不同条件下的有机物去除效果。结果表明,随着容积负荷的增加则 MBBR1 出水 COD 浓度也增加并大致可分为三个阶段:当容积负荷 < 2 kgCOD/(m<sup>3</sup>·d)时出水 COD 稳定在 70 mg/L 左右;

当容积负荷为 2~5 kgCOD/(m<sup>3</sup>·d)时出水 COD 在 150 mg/L 上下波动,而此过程中的 MBBR2 出水 COD 一直稳定在 60 mg/L 左右;当容积负荷再继续增加时 MBBR1 出水 COD 浓度迅速升高。对容积负荷与去除负荷关系的研究结果显示,当 MBBR1 容积负荷 < 5 kgCOD/(m<sup>3</sup>·d)时 MBBR1 的容积负荷与去除负荷线性关系良好,最大去除负荷可达 4 kgCOD/(m<sup>3</sup>·d)左右,说明在小于此负荷的情况下,反应器中的基质浓度是去除负荷的主要限制因子;此后随着容积负荷的增加则 MBBR1 的去除负荷增长缓慢,但 MBBR2 的去除负荷逐渐增大(见图 2),保证了最终出水的 COD < 100 mg/L。

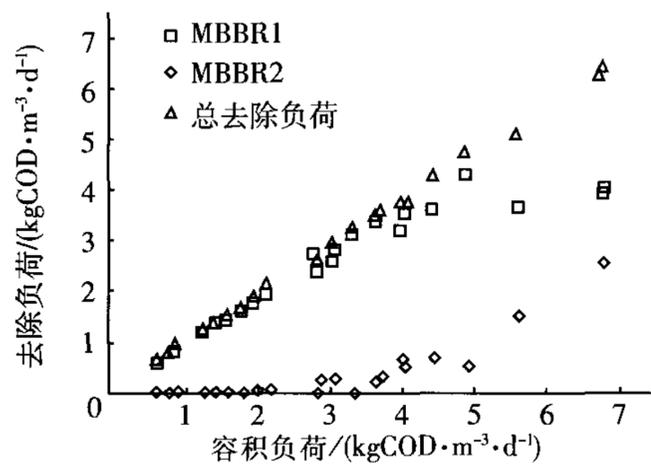


图 2 去除负荷与容积负荷的关系

Fig. 2 Removal rate for COD versus volumetric COD loading

试验中还发现,该完全混合式 MBBR 具有很强的抗冲击负荷能力。例如,当将 MBBR1 的容积负荷突然从 3.3 kgCOD/(m<sup>3</sup>·d)增加到 14.8 kgCOD/(m<sup>3</sup>·d)并连续运行 4 h 时,MBBR1 和 MBBR2 的出水 COD 分别为 576.7 mg/L 和 137.7 mg/L,然后调整容积负荷为 3.6 kgCOD/(m<sup>3</sup>·d),运行 6 h 后系统即恢复正常,MBBR1 和 MBBR2 的出水 COD 分别为 149.4 mg/L 和 116.7 mg/L,运行 24 h 后,MBBR2 出水 COD < 100 mg/L 且很稳定。生物移动床抗冲击性能良好的原因是多方面的,其中固着生长的生物膜具有一定厚度,遭受冲击时外层膜可起到缓冲作用,所以内层微生物受到的毒害作用相对较小。此外,生物相的多样性也是其抗冲击能力较强的原因之一。

#### ② 对其他污染指标的去除效果

生物移动床对 BOD<sub>5</sub> 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 等指标的去除效果也很好,在 MBBR1 容积负荷 < 5.0 kgCOD/(m<sup>3</sup>·d)的情况下,最终出水 BOD<sub>5</sub> 平均为 11.2 mg/L,

对其去除率 >95%。由于原水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 浓度不高,所以不同水力停留时间下的出水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N < 1.5 mg/L,平均去除率 >90%。

### 2.2 生物量的测定和生物相观察

在反应器总容积负荷为 4.1 kgCOD/(m<sup>3</sup>·d)、单级 MBBR 水力停留时间为 6 h 的条件下,测定了填料上的生物量并镜检了生物相的组成。结果发现,生物膜主要附着生长在填料内表面,待系统运行稳定后 MBBR1 中的膜厚度约为 1~2 mm,MBBR2 中的膜厚度约为 0.5~1 mm。MBBR1 和 MBBR2 中的固定生物量分别为 3 681 mg/L 和 1 662 mg/L,悬浮污泥量分别为 314 mg/L 和 324 mg/L,总生物量分别为 3 995 mg/L 和 1 986 mg/L。以此计算,则 MBBR1 的负荷 >1.0 kgCOD/(kg 生物·d),远高于普通活性污泥法。当两级 MBBR 联用时,由于 MBBR1 的负荷相对较高,所以其生物膜厚度和数量都明显高于 MBBR2。G. Andreottola 等人<sup>[1]</sup>的研究结果也证实了这一结论。

菌胶团的大量存在以及固着型纤毛虫等后生动物的生长是生物膜成熟的标志。由于原生动物及后生动物的种类、数量、形态较菌胶团更易观察和鉴别,因此以原生和后生动物作为处理效果的指示生物。在上述试验条件下,生物膜呈黄褐色,以丝状菌为主要骨架,菌胶团和一些原生、后生动物夹杂在其中,且十分活跃。累枝虫、钟虫以及轮虫的出现,说明系统运转良好。

### 2.3 运行参数及影响因素分析

#### ① 容积负荷及 HRT 对 COD 去除的影响

在填料填充比例为 60% 的条件下,考察了有机容积负荷与 HRT 对有机物去除效率的影响,结果见图 3、4。

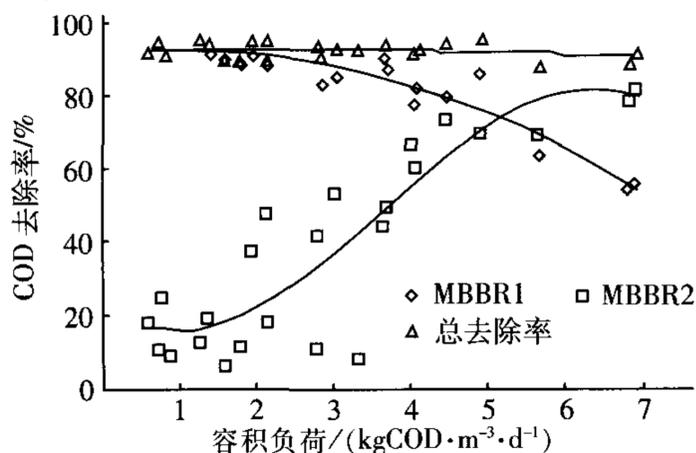


图 3 COD 容积负荷对去除率的影响

Fig. 3 Influence of organic volumetric loading on removal efficiency

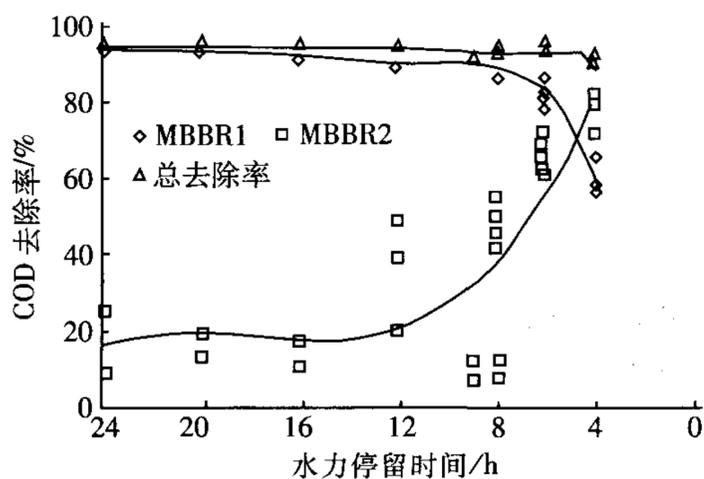


图 4 HRT 对 COD 去除效果的影响

Fig. 4 Influence of HRT on COD removal efficiency

由图 3 可知,当 COD 容积负荷较低时 MBBR1 对 COD 去除效果很好,此时 MBBR2 的有机负荷很低,所以对其去除效率相对不高。随着 MBBR1 容积负荷的增加直至超过 4 kgCOD/(m<sup>3</sup>·d) 时,MBBR1 对 COD 的去除率开始降低,但 MBBR2 对 COD 的去除率迅速增加,从而保证了系统总 COD 去除率能稳定在 90%。但试验中也发现,当系统在高容积负荷下运行时,虽然总去除率很高,但出水悬浮物的沉降性能已变差,所以在实际工程中可投加絮凝剂来加快悬浮物的沉降速度,保证出水水质。H. Ødegaard 等人<sup>[2]</sup>在研究中也遇到了类似的情况。

由于容积负荷的改变主要是通过调节水量实现的,所以水力停留时间对 COD 去除率的影响与容积负荷的相似。对比图 3 和图 4 可发现,当单个反应器的水力停留时间 > 8 h 时 MBBR1 对有机物的去除率 >90%;如果水力停留时间缩短至 4 h,则 MBBR1 对 COD 的去除率下降很快,平均仅为 58.5%,但此时 MBBR2 对 COD 的去除率上升至 77.4%,总去除率仍稳定在 90%。

#### ② 填料填充比例的影响

在进水 COD 浓度为 950~1 100 mg/L、单级反应器的水力停留时间为 8 h 的条件下,考察了填料填充比例对有机物去除效果的影响,结果见图 5。在其他运行条件基本不变的条件下,随着填料填充比例的减小则 COD 去除率和去除负荷均呈下降趋势。这是因为随着填料的减少则可供微生物附着生长的表面积也减少,导致反应器内生物量降低,所以处理效果变差。另外,生物量减少致使负荷相对增高,生物膜遭受长时间的高负荷冲击后活性将降低。从图 5 还可以看出,COD 去除率与填料填充比例并不是完全呈线性关系,这是由于当填料填充比例刚

开始降低且较少时(如由60%降到50%),反应器内的剩余生物量足以抵抗相对增加的负荷的冲击,所以COD去除率下降趋势较缓慢;但当填料继续减少时负荷将逐渐提高,影响了微生物的正常生长、繁殖,此时COD去除率下降较快(随填料的减少近似呈线性关系变化)。

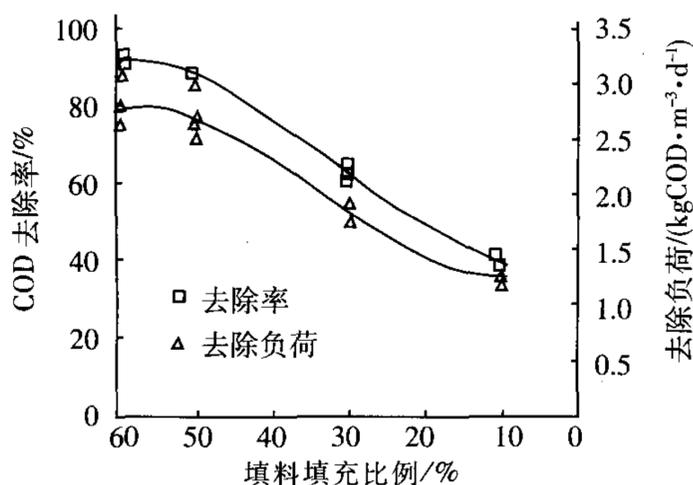


图5 填料填充比例的影响

Fig. 5 Influence of the proportion of biofilm carrier on COD removal efficiency

### 3 结论

① 采用MBBR处理混有部分生产废水的生活污水时效果好且运行稳定。在单级反应器水力停留时间为6 h(两级总停留时间为12 h)、容积负荷

为4.0~5.0 kgCOD/(m<sup>3</sup>·d)的条件下,最终出水COD平均为60 mg/L,对其去除率>90%,同时对BOD<sub>5</sub>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N等指标也有良好的去除效果。

② 由于附着生长的生物膜具有一定的厚度,加上完全混合的反应方式,使得MBBR具有很强的抗冲击负荷能力。经过14.8 kgCOD/(m<sup>3</sup>·d)的高负荷冲击后24 h内系统即恢复正常运转,出水COD<100 mg/L。

致谢:研究中得到了韩国浦项科技大学郑钟植教授的悉心指导,在此表示感谢!

### 参考文献:

- [1] Andreottola G, Foladori P, Regazzi M, et al. Experimental comparison between MBBR and activated sludge system for the treatment of municipal wastewater[J]. Water Science and Technology, 2000, 41(4-5): 375-382.
- [2] Ødegaard H, Givold B, Strickland J. The influence of carrier size and shape in the moving bed biofilm process [J]. Water Science and Technology, 2000, 41(4-5): 383-391.

E-mail: yuhb184@nenu.edu.cn

收稿日期: 2004-07-03

### · 信息 ·

## 《中国给水排水》影响力的最新统计结果(二)

2004年12月7日2004版《中国科技期刊引证报告》的发布会在北京国际会议中心举行,该报告首次由科学技术文献出版社正式出版发行。

该报告在与国际评价体系保持一致的基础上,结合中国期刊的实际情况,选择了15项计量指标,基本涵盖和描述了期刊的各个方面。这些指标包括:①期刊引用计量指标:总被引频次、影响因子、扩散因子、引用期刊数、即年指标、他引率、被引半衰期。②来源期刊计量指标:来源文献量、参考文献量、平均引用率、平均作者数、地区分布数、机构数、国际论文比、基金论文比。其中,期刊引用计量指标主要显示该期刊被读者使用和重视的程度,以及在科学交流中的地位和作用,是评价期刊质量优劣的重要依据和客观标准。而来源期刊计量指标通过对来源期刊文献方面的统计分析,全面描述了该期刊的学术水平、编辑状况和科学交流程度,也是评价期刊的重要依据。

2004版报告中1576种期刊的总被引频次平均值为362次/刊(超过1000次以上的期刊为106种),影响因子平均值为0.348(超过1的期刊共68种),即年指标平均值为0.056(131种期刊为零),基金论文比平均值为0.38(15种期刊无基金论文),国际论文比为0.02(超过0.02的为13种,其中英文版9种,559种期刊无国际论文),平均作者数为3.34人/篇,参考文献量为1417条,平均引文率为8.81。

《中国给水排水》的各项统计指标分别为:总被引频次995,影响因子0.575,即年指标0.045,他引总引比0.88,引用刊数181,扩散因子18.2,被引半衰期3.59,来源文献量420,参考文献量1482,平均引文率3.53,平均作者数3.19,地区分布数26,机构分布数194,国际论文比0.03,基金论文比0.36。其中总被引频次和影响因子两项指标在1576种统计源期刊中分列第107位和222位,较2003版报告的统计结果有较大的提高,稳居水行业期刊之首。

(本刊编辑部 供稿)