

MBBR 工艺预处理黄浦江微污染原水

徐 斌, 夏四清, 胡晨燕, 高廷耀, 高乃云

(同济大学 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

摘 要: 为考察移动床生物膜反应器(MBBR)对黄浦江微污染水的预处理效果而进行了中试,结果表明:MBBR 工艺具有良好的生物硝化效果,最大氨氮填料表面负荷可达 $0.072 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;在温度为 $24.9 \text{ }^\circ\text{C}$ 、进水氨氮浓度为 3 mg/L 左右、停留时间为 1 h 、填料填充率为 50% 的条件下,氨氮去除率可达到 77.6% ;对 COD_{Mn} 的平均去除率为 5% ;水温、进水氨氮浓度及停留时间对硝化有一定影响;进水浊度、气水比对氨氮和 COD_{Mn} 去除效果影响不大。

关键词: 移动床生物膜反应器; 微污染原水; 生物预处理

中图分类号: TU991.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2004)08-0005-05

MBBR Technology for Pretreatment of Micro-polluted Raw Water in Huangpu River

XU Bin, XIA Si-qing, HU Chen-yan, GAO Ting-yao, GAO Nai-yun

(State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The pretreatment of micro-polluted raw water in Huangpu River by moving bed bio-film reactor (MBBR) was investigated by means of a pilot-scale test. The result shows that favorable effect of biological nitrification can be obtained in MBBR, and the maximum surface load of ammonia nitrogen is $0.072 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$. The average removal rate of ammonia nitrogen was up to 77.6% under the conditions of temperature $24.9 \text{ }^\circ\text{C}$, the influent ammonia nitrogen 3 mg/L , retention time 1 h , and the suspend packing stuffing rate 50% . The average removal rate of COD_{Mn} is 5% . The water temperature, influent level of ammonia nitrogen, and hydraulic retention time have certain effects on nitrification. The influence of raw water turbidity and the ratio between air and water on removal of ammonia nitrogen and COD_{Mn} is not so great.

Key words: moving bed bio-film reactor; micro-polluted raw water; biological pretreatment

移动床生物膜反应器(Moving Bed Biofilm Reactor, 简称 MBBR)是在生物滤池和流化床的基础上发展起来的一种水处理新技术,它具有处理能力高、能耗低、不需要反冲洗、水头损失小、不发生堵塞的特点。笔者采用 MBBR 工艺对黄浦江微污染原水

进行了约 1 年的中试($60 \sim 160 \text{ m}^3/\text{h}$)。

1 工艺流程及主要设备

中试工艺流程如图 1 所示。

水量和供气量分别通过电磁流量计和涡街流量计计量。通过加入工业氨水人为控制原水中氨氮的

浓度,氨水通过加药泵注入提升泵与原水充分混合后进入生物反应器。MBBR 生物池(钢板制)长×宽×高=6.0 m×1.5 m×9.5 m(有效水深为 9.0 m),分两格,串联。因为原水厂内调压池高为 9.5 m,所以 MBBR 池体设计有效高度为 9.0 m。在一般条件下,如无进水水位限制,池体高度控制为 4~5 m。池内按填充率为 50% 投加新型悬浮填料(球形,单体直径为 100 mm,比表面积为 100 m²/m³,同济大学专利 ZL97234855.7),运行时每格开一组曝气管以利于悬浮填料的循环运动。可定期更换每格曝气管的使用和闲置,也可改变填料的循环方向。图 1 中表示了悬浮填料随水流的运动方向以及运动过程中填料本身的转动情况,这两类运动可大大强化传质效果。

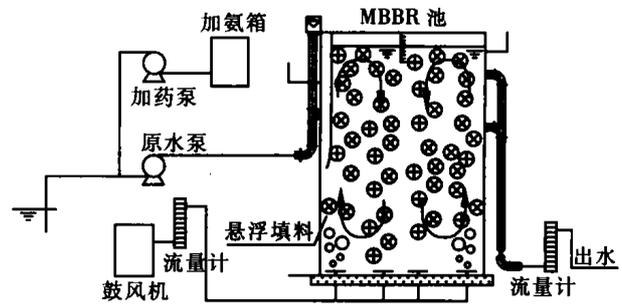


图 1 工艺流程示意图

Fig. 1 Schematic diagram of treatment process

2 运行效果及分析

2.1 对氨氮与 COD_{Mn} 的去除效果

整个中试共分为 10 个工况,装置正常运行经历了春夏秋冬四个季节。在第 7 个工况与第 8 个工况之间,装置停运过 10 d。各工况条件下对氨氮与 COD_{Mn} 的去除效果见表 1。

表 1 对氨氮和 COD_{Mn} 的去除效果Tab. 1 The removal effect of ammonia nitrogen and COD_{Mn}

编号	历时 (d)	工艺条件					氨氮			COD _{Mn}		
		水量 (m ³ /h)	气量 (m ³ /h)	气水比	温度 (°C)	HRT (min)	进水 (mg/L)	出水 (mg/L)	去除率 (%)	进水 (mg/L)	出水 (mg/L)	去除率 (%)
工况 1	14	80	50	0.63	27.2	60	0.65	0.30	50.5	6.3	5.9	5.8
工况 2	12	80	45	0.56	26.3	60	1.6	0.39	76.5	5.9	5.6	4.1
工况 3	22	80	45	0.56	24.9	60	3.05	0.68	77.6	6.1	5.7	6.4
工况 4	39	120	45	0.38	18.5	40	2.29	0.8	62.6	6.1	5.7	6.0
工况 5	37	80	45	0.56	10.4	60	1.6	0.66	57.6	5.9	5.4	8.2
工况 6	26	60	45	0.75	6.9	80	1.6	0.99	37.7	6.0	5.6	7.0
工况 7	12	80	45	0.56	6.7	60	1.76	1.1	37.1	6.0	5.9	2.9
工况 8	40	80	45	0.56	14.3	60	1.48	0.51	65.6	6.1	5.7	5.2
工况 9	16	120	45	0.38	18.7	40	1.14	0.19	82.7	6.2	5.9	3.2
工况 10	12	160	45	0.28	17.6	30	1.32	0.50	62.3	6.3	6.2	1.7

2.2 影响处理效果的因素

采用填料表面负荷来考察各影响因素^[1-3],这些影响因素主要包括:水温、气水比、浊度、进水污染物浓度和 HRT 等。

① 水温

水温与氨氮和 COD_{Mn} 填料表面负荷的关系如图 2、3 所示。

氨氮填料表面负荷的变化基本与水温的变化趋势一致。水温最低时的填料表面负荷为 0.005 g/(m²·h),最高时的填料表面负荷为 0.072 g/(m²·h),后者约是前者的 15 倍,这说明硝化细菌受温度影响大,低温条件下活性较弱。在对氨氮填料表面

负荷与水温变化进行回归分析时,采用指数回归方式,以 10 °C 条件下的填料表面负荷为基本参数 [$y_{10} = 0.0179 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$],指数回归相关系数达到 0.888 8。

COD_{Mn} 的填料表面负荷为 -0.01~0.05 g/(m²·h),大部分时间维持在 0.01 g/(m²·h) 以下。由于生物膜的脱落等因素的影响,有时进、出水 COD_{Mn} 浓度值出现倒置现象。与氨氮填料表面负荷不同,水温与 COD_{Mn} 的去除几乎不相关,这与以前类似研究结果有较大出入。

② 进水浊度

前期的工程实践表明^[4]:某些悬浮物容易覆盖

在生物膜的表面,阻碍生物氧化作用的进行,导致处理效果大幅下降,另外还容易导致填料板结,使填料可利用面积大大减少,并堵塞滤床,增加水头损失等。

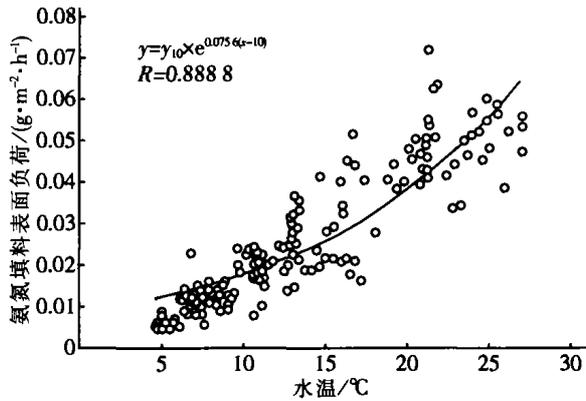


图2 氨氮填料表面负荷与水温的关系

Fig. 2 The surface ammonia nitrogen load vs water temperature

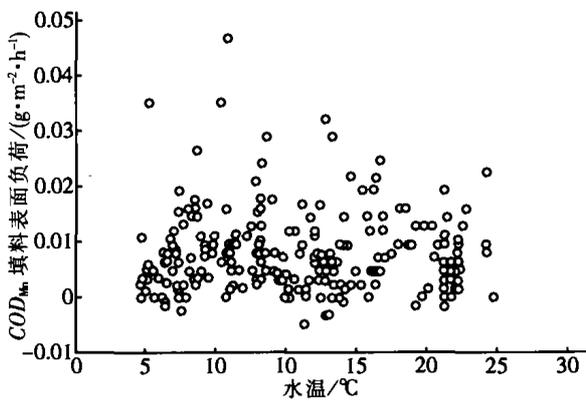


图3 COD_{Mn} 填料表面负荷随水温的变化

Fig. 3 The surface COD_{Mn} load vs water temperature

整个试验期间进水浊度为 17.6 ~ 160 NTU, 出水浊度为 18.1 ~ 142 NTU, 中试装置对浊度基本没有去除效果,而且出水浊度一般随着进水浊度的变化而变化。由于各格池底单侧曝气,使悬浮填料在池体中不断做自转和公转运动,且水流流动速度较快,这保证了填料本身与整个池底不积泥和少积泥(整个试验期间未对填料进行任何反冲洗)。

③ 气水比

在进水氨氮浓度较高的工况 3 和工况 4、气水比分别为 0.56 和 0.38 的条件下,对于不同的进水氨氮浓度,MBBR 内 DO 浓度均为 6.0 mg/L 以上,在中低进水氨氮浓度条件下, DO 浓度均接近饱和值。工况 10 的气水比达到了 0.28,出水 DO 也非常高。一般工程中应用 YDT 填料的生物接触氧化工艺气水比需控制在 1 左右,考虑到中试采用的有效

水深为 9.0 m,水深的增加对提高 DO 的传质也产生了一定的影响,建议采用该工艺的气水比可降至 0.5 左右,这有利于节省大量工程投资和运行费用。

④ 进水氨氮和 COD_{Mn} 浓度

为了考察进水浓度对污染物去除效果的影响,采用水温 $> 20\text{ }^\circ\text{C}$ 的工艺条件下的数据进行统计和分析。氨氮填料表面负荷随进水氨氮浓度变化如图 4 所示。

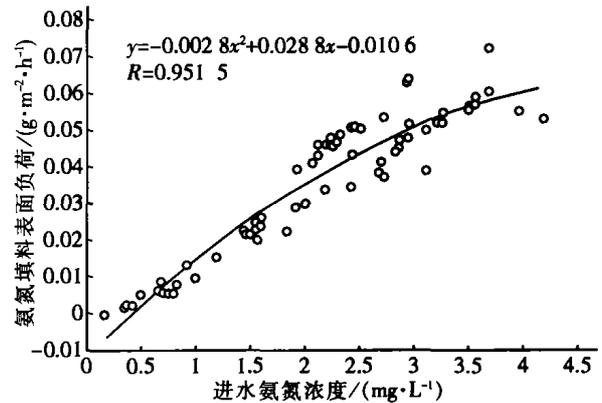


图4 氨氮填料表面负荷随进水氨氮浓度的变化

Fig. 4 The surface ammonia nitrogen load vs ammonia nitrogen conc. of influent

随着进水氨氮浓度增加,氨氮填料表面负荷也相应增加,在进水氨氮浓度 $< 4.5\text{ mg/L}$ 时,可回归为二次函数曲线,相关性达到 0.9515,可认为进水氨氮浓度与氨氮填料表面负荷非常相关。而采用进水氨氮浓度与氨氮去除率进行分析(如图 5 所示),在开始阶段氨氮去除率呈迅速上升趋势;当氨氮浓度继续上升至 3.0 mg/L 以后,氨氮去除率呈下降趋势。

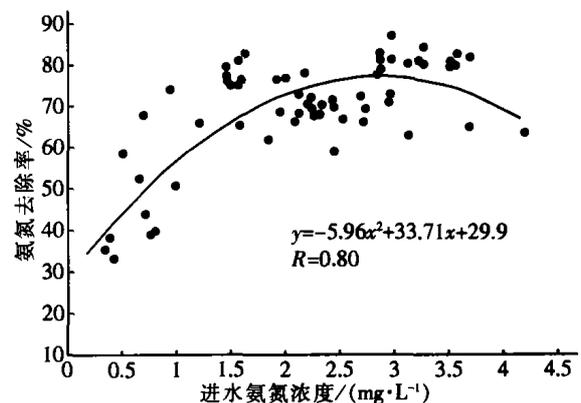


图5 氨氮去除率随进水氨氮浓度的变化

Fig. 5 The removal rate of ammonia nitrogen vs ammonia nitrogen conc. of influent

从两图分析可以得出:对于一个稳定的生物硝

化系统,其对氨氮降解能力相对稳定,并存在一个最大填料表面负荷。当运行工况小于这一负荷时,随进水浓度提高,负荷逐步升高,去除率会同时上升;当到达该水平后,负荷不随进水浓度变化,而是保持在该水平,这时随浓度增加去除率会逐渐下降。

温度 > 20 °C 时进水 COD_{Mn} 浓度与 COD_{Mn} 填料表面负荷和去除率之间基本无相关性。

⑤ HRT

合适的 HRT 是确保处理效率和工程投资经济性的重要控制因素。考虑到工程实际要求,选择了 HRT 为 80、60、40 与 30 min 进行了研究。由于中试水量较大,工艺条件较难控制,未能将 4 种 HRT 进行平行试验,但将工艺条件近似的工况进行了比较。

在工况 3、4 的运行条件下,以水温约 22 °C、连续 6 d 试验数据进行氨氮去除效果的对比后可见:在高负荷运行条件下,氨氮填料表面负荷维持在较高水平,基本不随 HRT 的减少而增加,但氨氮去除率随 HRT 的减少而下降。

在自然进水条件下,以工况 8、9 与工况 10 中水温约 16 °C、连续 6 d 试验数据进行氨氮负荷与去除效率的对比,可以看出:在中低氨氮负荷条件下,随 HRT 的减少,氨氮填料表面负荷逐步升高,同时去除率维持原有水平或有一定增长;当负荷升至高水

平后,随 HRT 的减少,氨氮去除率逐步降低。

将各工艺条件下运行数据进行整理, HRT 与处理效率的曲线如图 6 所示。可以看出:在中试过程中所采用的 4 种 HRT 条件下,随 HRT 的延长, COD_{Mn} 去除率可逐步提高,但平均去除率仍维持在 10% 以下,而且增量趋于减少。将变化曲线进行指数拟合后,可发现两者相关性较好(相关系数为 0.958 2)。

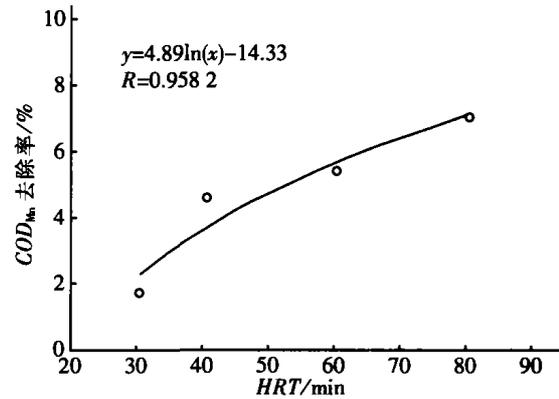


图 6 COD_{Mn} 去除率与 HRT 的关系

Fig. 6 The removal effect of COD_{Mn} vs HRT

3 填料上生物膜生长状况

中试期间单位干重填料上的主要细菌(亚硝酸细菌、硝酸细菌与异养菌)计数结果如表 2 所示。

表 2 中试期间微生物计数结果

Tab. 2 The results of microorganism counts in pilot-scale test

次数	温度(°C)	HRT (min)	进水(mg/L)		亚硝酸细菌(个/g 干重填料)		硝酸细菌(个/g 干重填料)		异养菌(个/g 干重填料)	
			NH ₃ -N	COD _{Mn}	前池	后池	前池	后池	前池	后池
1	21.3	40	3.95	5.92	1.80 × 10 ⁶	4.40 × 10 ⁶	5.60 × 10 ⁶	4.40 × 10 ⁶		
2	19.8	40	2.01	6.24	2.70 × 10 ⁷	1.50 × 10 ⁷	5.70 × 10 ⁷	1.50 × 10 ⁷	4.50 × 10 ⁷	5.70 × 10 ⁶
3	12.4	60	1.77	5.68	1.80 × 10 ⁷	3.80 × 10 ⁷	1.80 × 10 ⁸	1.80 × 10 ⁷	1.80 × 10 ⁷	1.80 × 10 ⁷
4	4.7	80	1.52	5.92	1.50 × 10 ⁹	5.70 × 10 ⁸	1.80 × 10 ⁸	1.20 × 10 ⁸	5.70 × 10 ⁷	4.50 × 10 ⁷
5	7.0	80	1.67	5.84	2.70 × 10 ⁸	1.70 × 10 ⁸	1.50 × 10 ⁸	3.90 × 10 ⁷	1.50 × 10 ⁸	1.50 × 10 ⁷
6	9.4	80	1.82	6.24	1.20 × 10 ⁹	9.00 × 10 ⁸	1.50 × 10 ⁸	6.60 × 10 ⁷	1.20 × 10 ⁷	1.50 × 10 ⁷
7	7.3	60	1.25	5.76		5.70 × 10 ⁸	1.20 × 10 ⁷	9.00 × 10 ⁸		

① 因前池底物浓度高,有利于微生物的生长与繁殖,故单位干重填料上亚硝酸细菌、硝酸细菌和异养菌数量均表现为前池数量多于后池,大部分均在同一数量级上。

② 随着时间的推移,填料上亚硝酸细菌与硝酸细菌数量逐步增长,经过 5 个月的运行,增长了 2 个数量级,而异养菌的数量基本保持在原有水平。亚硝酸细菌与硝酸细菌完全固定化时间较长,异养菌成熟较快并能迅速保持一定数量。

③ 生物膜上占主导地位的菌种为硝化菌。

④ 冬季各种微生物数量并没有随着温度的降低而减少,这说明各种细菌在冬季只是活性受到较大的影响,导致处理能力的降低。随着温度的升高,生物处理装置能力将很快恢复。

4 结论

① MBBR 具有较好的去除氨氮能力。在水温适宜、填料填充率为 50%、HRT 为 60 min、进水氨氮浓度 < 2.5 mg/L 情况下,可保证出水氨氮浓度满足

处理要求(≤ 0.5 mg/L);在氨氮浓度为 3.0 mg/L 左右,氨氮去除效率为 77.6%。该工艺对黄浦江原水中的 COD_{Mn} 去除效果不明显,平均去除效率为 5% 左右。

② 水温对硝化效果的影响较大。将水温与氨氮填料表面负荷进行指数拟合,其相关系数达到 0.888 8,而水温与 COD_{Mn} 的去除效果几乎不相关。

③ 氨氮和 COD_{Mn} 去除效果基本不随浊度的变化而变化。气水比分别为 0.56、0.38 和 0.28,对不同的进水氨氮浓度,池体内 DO 浓度均较高,气水比还有一定的下降空间。

④ 进水氨氮浓度与氨氮填料表面负荷之间的关系可回归为二次函数曲线,相关系数达到 0.951 5。进水 COD_{Mn} 浓度与填料表面负荷之间基本没有任何相关性。

⑤ 低负荷运行条件下,随 HRT 的减少,氨氮填料表面负荷会逐步升高;在高负荷运行条件下,氨氮填料表面负荷维持在一定范围内,基本不随 HRT 的改变而改变。

⑥ 生物预处理中硝化菌的数量占主导地位,亚硝酸细菌与硝酸细菌完全固定化时间较长,异养

菌成熟较快能够迅速保持一定数量,冬季效率降低主要是微生物活性减弱所致。

参考文献:

- [1] 徐斌,夏四清,高廷耀,等. 悬浮填料床处理微污染原水硝化试验研究[J]. 环境科学学报,2003,23(6):742-747.
- [2] 李怀正,傅威,白月华,等. 生物接触氧化预处理源水的设计参数[J]. 中国给水排水,2001,17(2):43-45.
- [3] 张华. 上海惠南水厂生物预处理工艺的运行效果[J]. 中国给水排水,2000,16(8):12-14.
- [4] 陈洪斌,梅翔,高廷耀,等. 悬浮物对源水生物预处理装置运行的影响和冲洗[J]. 同济大学学报,2001,29(4):489-494.

作者简介:徐斌(1976-),男,江西丰城人,博士,研究方向为原水预处理及饮用水深度处理技术。

电话:(021)65103682(H) 65982691(O)

E-mail:xubin7611@sina.com

xubin7611@163.com

收稿日期:2004-03-14

· 书讯 ·

化工出版社新书推荐

《水处理工程运行与管理》(2004年2月出版,44.00元)

本书主要从给水工程运行与管理、污水处理工程运行与管理及技术经济分析三个方面介绍了水处理工程的运行与管理。第1篇首先介绍了在给水处理中的物理化学工艺,然后介绍了水厂泵站的运行管理与维护、水厂生产过程监测和自动化控制,最后介绍了给水管网的技术管理、给水处理厂的营业和财务管理。第2篇分别介绍了预处理和初级处理、生物化学处理、污泥处理与处置工艺、沼气利用系统和污水处理设备运行与自动化。第3篇从技术经济指标、造价构成和投资成本计算、技术经济分析的角度进行了分析,其中还有一些计算例题和实例。

《给排水工程专业毕业设计指南》(2003年10月出版,46.00元)

本书是为培养给排水工程专业学生对给排水专业及相关知识的综合运用能力和工程实践能力而编写的。主要内容包括:给水工程毕业设计内容、要求及方法;排水工程毕业设计内容、要求及方法;建筑给水排水工程毕业设计内容、要求及方法;并提供了给水工程毕业设计、排水工程毕业设计及建筑给水排水工程毕业设计的设计实例。

以上图书全国各大新华书店均有销售,若需邮购则加收10%邮寄费。

地址:(100029)北京市朝阳区惠新里3号 收款人:化学工业出版社发行部 邮购电话:010-64918013