

MBR 工艺处理 PTA 废水的工业化模拟试验

冯斐¹, 周文斌¹, 严滨², 刘久清², 许永福², 叶连滨²

(1.南昌大学 环境科学与工程学院教育部鄱阳湖生物资源利用重点实验室, 南昌 330029;

2.三达膜科技有限公司, 福建 厦门 361022)

摘要: 介绍了某 PTA 企业生产废水的处理现状以及采用 MBR 工艺改造废水处理系统的工业化模拟试验。包括 MBR 的启动和污泥的驯化, 以及在不同的 COD_C 负荷下的运行情况。当污泥的质量浓度在 6.5 g/L 左右, 溶解氧质量浓度控制在 2 mg/L, HRT 在 15 h 时, COD_C 的平均去除率能达到 93.80%; 氨氮和总磷的平均去除率达到 90.28% 和 89.37%。试验期间, 还考察了非常态下膜的污染耐受性以及微生物的恢复能力。

关键词: PTA 废水; MBR; 工业化模拟

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2455(2007)03-0044-04

Industrialized simulating test of PTA wastewater treatment by MBR process

FENG Fei¹, ZHOU Wen-bin¹, YAN Bin², LIU Jiu-qing², XU Yong-fu², YE Lian-bin²

(1. School of Environmental Science and Engineering, Nanchang University, The Key Lab. of Poyang Lake Ecology and Bio-resource Utilization of Ministry of Education, Nanchang 330029, China; 2. Santar membrane technology Co., Ltd.;

Xiamen 361033, China)

Abstract: The current status of PTA wastewater treatment in a corporation and the industrialized simulating test of MBR process in the reconstruction of wastewater treatment system were introduced. The test included the start-up of the MBR system, the domestication of the sludge, and the running situation of the process under different COD_C loadings. When the mass concentration of the sludge and the dissolved oxygen were about 6.5 g/L, 2 mg/L respectively, the HRT was 15 hours, the average removal rate of COD_C, ammonia nitrogen, TP reached 93.80%, 90.28%, and 89.37% respectively. The anti-fouling performance of the membrane and the recoverability of the microorganism under special condition were also observed during the test.

Keywords: PTA wastewater; MBR; industrialized simulation

PTA 生产废水具有 COD_C 高、水质变化大、含有重金属等特点。某 PTA 生产企业由于生产规模的扩大, 原废水处理系统的处理效率低下, 以及给水资源的短缺, 拟对废水处理工艺进行改造。

1 原废水处理系统

1.1 工艺流程与说明

该企业日排废水 15 000 t, 处理流程如图 1。

目前 UASB 进、出水 COD_C 的质量浓度分别在 6 000、1 200 mg/L 左右。废水经过一段和二段好氧处理后沉淀池出水 COD_C 的质量浓度在 200 ~ 400 mg/L。该废水系统存在的问题:

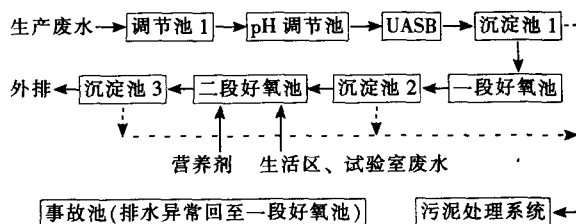


图 1 PTA 废水处理流程

Fig. 1 Technological process of PTA wastewater treatment

① 厌氧运行不是很稳定, 酸化导致出水对好

氧段有极大冲击。

② 好氧段为完全混合式活性污泥, 运行效率低下, 污泥浓度提升困难, 一直运行在 2 g/L 左右, 抗冲击能力差。

③ 好氧段的搅拌和曝气采用大功率泵循环形成射流, 能耗很大。好氧段总停留时间达到 36 h。

④ 二段沉淀池出水 SS 超标严重。

1.2 废水改造需求以及 MBR 工艺的提出

随着企业生产能力的扩大, 废水水量将进一步增加。且制造、冷却等工艺和非工艺用水水量都将大幅度增加。因此需要一种工艺能很好地稳定废水系统的出水, 且能满足后续回用水要求。

MBR 具有容积负荷高、抗冲击负荷能力强、出水稳定等特点。为此, 对废水系统的好氧段进行了 MBR 改造的工业化模拟试验。

2 MBR 工艺工业化模拟

2.1 试验水质

试验用水取自厌氧 UASB 出水和沉淀池 2 出水, 其 pH 值分别为 8.0、8.5。具体水质如表 1。

表 1 MBR 进水水质

Tab. 1 Quality of the influent water of MBR mg·L⁻¹

进水来源	$\rho(\text{COD}_G)$	$\rho(\text{BOD}_5)$	$\rho(\text{氨氮})$	$\rho(\text{SS})$	$\rho(\text{TP})$
UASB 出水	1200	400	45	120	15
沉淀池 2 出水	400	150	8	120	6

2.2 工业运行模拟装置和运行方式

为了最大程度地模拟工业化的运行条件, 考察运行中可能出现的问题, 本装置从膜组件的设置和运行控制都按照工业运行标准设计。

膜组件: 膜面积为 120 m², 膜材料为聚丙烯, 过滤孔径为 0.4 μm , 最大通量为 20 L/(m²·h);

其它组件: 反应器(尺寸为 3 m × 1.5 m × 2 m)、自吸泵、自动控制 PLC 模块、清洗泵、进水泵、风机、电磁阀、液位计等。

MBR 流程如图 2。

废水通过进水泵进入到反应器中, 在反应器的预反应区通过搅拌使得废水充分均匀, 通过溢流板后进入主反应区。主反应区设置了液位计, 控制进水泵和膜出水抽吸泵的运行, 使得反应器废水总体

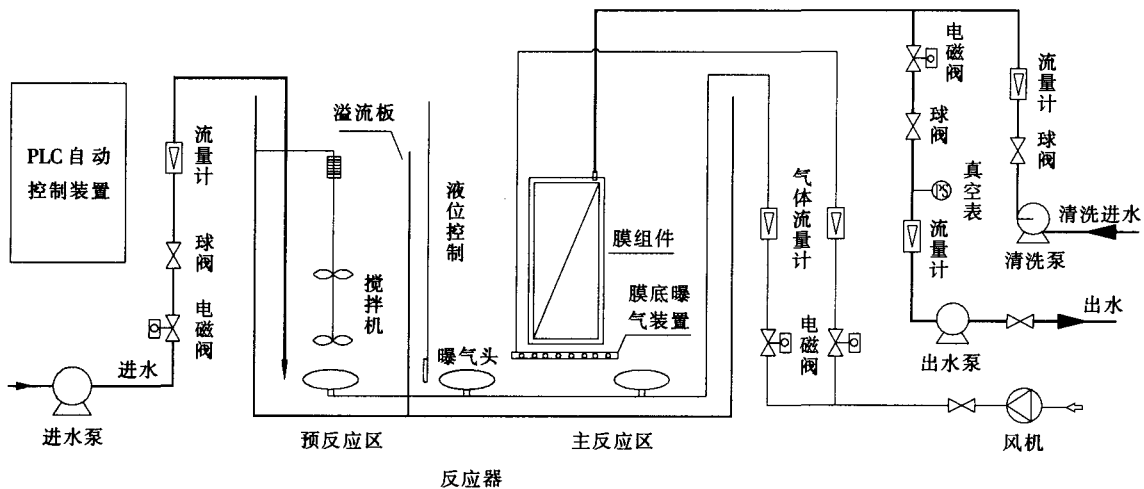


图 2 MBR 流程示意
Fig. 2 Scheme of MBR system

积维持在一定范围内。抽吸泵通过自动控制设定为运行 8 min, 停止 2 min, 从而控制膜的污染。风机出口的两路管道分别为生化反应供氧和膜丝冲刷供气, 且分别通过电磁阀和球阀控制风量的大小。整个体系通过 PLC 自动控制, 实现运行完全自动化。

2.3 工业化模拟过程分析

2.3.1 MBR 的启动和专属菌群的富集

MBR 的启动一是必须使得微生物逐渐适应高

密度的生存环境; 二是根据 MBR 的特点, 在反应器中富集对废水中难降解的物质有专效的有益菌。

首先取二段曝气池中的混合液, 通过膜的出水, 使得反应器中污泥的质量浓度快速累积到 5 ~ 6 g/L, 维持反应器中 COD_G 的质量浓度和一次沉淀池接近, 在 300 ~ 400 mg/L 之间, 然后强化曝气不出水, 观察 COD_G 的降解和污泥浓度的变化, 随着 COD_G 的下降, 易降解的营养耗尽, 大量适应

能力差的微生物死亡, 污泥浓度下降, 适应能力强的专属菌存活。然后再取曝气池混合液, 使污泥浓度重新累积。再反复两次, 最终使得反应器污泥的质量浓度在 6.5 g/L 左右。

用光学显微镜观察污泥的生物相, 发现有大量的纤毛虫, 轮虫等微生物。 $m(\text{MLVSS})/m(\text{MLSS})$ 在 0.6~0.7。污泥呈絮状, 触摸有粘稠感, 且沉淀性能好, 上清液透亮。至此, 污泥已经驯化完好。

2.3.2 低负荷运行阶段考察

根据目前企业废水系统的运行情况, 一段好氧的 HRT 为 14 h, 二段好氧的 HRT 为 22 h。因此设定 MBR 的 HRT 为 22、15、10 h。各个停留时间考察运行周期为 10 d, 期间进水都为一次沉淀池出水, COD_G 质量浓度在 300~450 mg/L。溶解氧的质量浓度控制在 2~3 mg/L, MLSS 的质量浓度在 6.5 g/L。运行结果如表 2。

表 2 低负荷阶段运行情况
Tab. 2 Operating status under low COD_G loading

HRT/h	$\rho(\text{COD}_G)/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		COD_G 去除率/%
	进水	出水	
22	367	35	90.23
15	377	38	89.63
10	388	41	89.17

由此分析, MBR 具备了良好的处理效果, 从出水数据可以分析, 废水中不可生物降解的 COD_G 的质量浓度基本在 30~45 mg/L。

2.3.3 高负荷阶段的考察

为了更进一步考察 MBR 对 COD_G 、总磷的去除能力, 调整 MBR 进水为厌氧沉淀和一段好氧沉淀池的混合出水。进水 COD_G 、氨氮、总磷的质量浓度分别在 500~1 200、20~30、5~10 mg/L。

工艺条件: 溶解氧的质量浓度第 1~14 天控制在 2 mg/L 左右, 第 15~25 天控制在 4 mg/L 左右; HRT 为 15 h; 污泥质量浓度 (MLSS) 为 6.5 mg/L。

高负荷阶段运行情况如图 3、图 4。

高负荷阶段的平均有机负荷为 0.03 kg[COD_G]/(kg[MLSS]·d)。还处于相对较低水平。 COD_G 平均去除率达到了 94.04%, 平均出水 COD_G 的质量浓度在 42 mg/L, 和前期出水水质基本一致。且溶解氧对 COD_G 的降解影响较小, 前 14 d 的 COD_G 平均去除率为 93.80%, 后 11 d 的 COD_G 平均去除率为 94.32%。

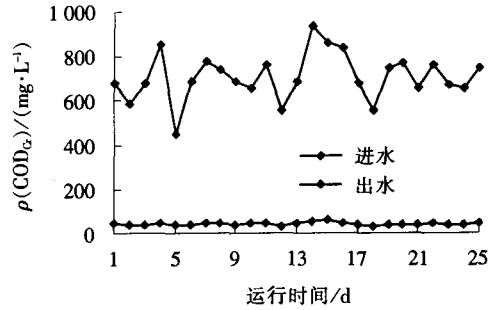


图 3 高负荷阶段运行情况

Fig. 3 Operating status under high COD_G loading

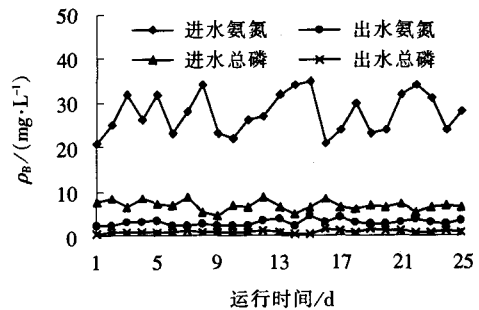


图 4 高负荷阶段氨氮和总磷的去除情况

Fig. 4 Status of $\text{NH}_3\text{-N}$ and TP removal under high COD_G loading

在高负荷阶段的运行中, 前 1~14 d 的氨氮出水平均质量浓度为 2.65 mg/L, 平均去除率为 90.28%, 总磷的出水平均质量浓度为 0.73 mg/L, 平均去除率为 89.37%; 后 11 d 氨氮的出水平均质量浓度为 3.2 mg/L, 平均去除率为 88.03%; 总磷的出水平均质量浓度为 1.01 mg/L, 平均去除率为 84.86%。随着溶解氧的升高, 氧对污泥颗粒的穿透力增强, 影响了微观下的单个污泥中的厌氧和好氧状态的分布。导致反硝化过程的进展困难, 所以影响了氨氮的去除^[1]。由于溶解氧的升高, 影响了厌氧释磷从而导致生物除磷的效率下降^[2-3]。

在此污泥浓度下运行, 保持有机负荷基本一致的条件下, 溶解氧质量浓度控制在 4 mg/L 比控制在 2 mg/L 时候的风量大约上升了 20%~30%, 从能耗和脱氮除磷的角度考虑溶解氧质量浓度控制在 2 mg/L 较为合理。

2.3.4 膜抗污染冲击试验

MBR 在运行过程中, 还有一重要考察指标就是膜的污染。膜污染和膜的材料、污泥状况、运行方式等有关^[4]。此次设计出水为运行 8 min, 停止 2 min, 在这种模式下运行, 很好地避免了污泥在膜壁上的积累。在运行 65 d 之后, 当出水流速为 15

L/(m²·h)(即流量为 1.8 m³/h)时, 跨膜压差(TMP)小于 -30 kPa, 仍处于允许范围之内。膜供应商提供膜药剂清洗限度为运行初始压差加 -20 kPa, 初始压差为 -10 kPa。为了进一步检测膜的抗污染能力, 人为地使膜污染加速, 停止膜底冲刷曝气, 按流量为 1.5 m³/h 抽吸出水。使泥饼层迅速附着在膜壁上。停止曝气冲刷后, TMP 变化如图 5。

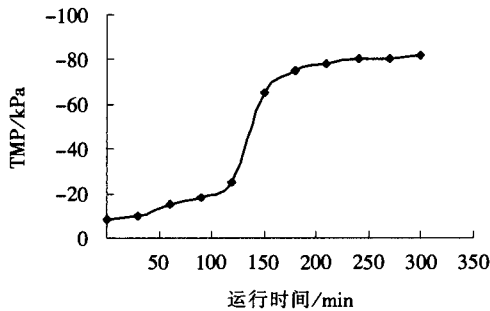


图 5 TMP 随时间的变化

Fig. 5 Variation of TMP with experiment time

从图 5 中可以看出, TMP 在第 120 min 到 180 min 内急剧上升, 泥饼层已经在膜壁上压实, 膜已经严重污染。在第 300 min 后停止出水, 重新开启膜丝冲刷曝气。利用气泡的冲刷来消除膜壁上的污染, 在曝气冲刷 12 h 后, TMP 基本恢复到原值, 在抽吸出水流量为 1.5 m³/h 时, TMP 为 -15 kPa。由此分析, 压滤在膜表面的泥饼层通过大量高密度、高流速的气泡的冲刷, 已经破碎、分解。所以 TMP 得以恢复, 也可以分析出膜并没有被生物膜和蛋白凝胶层污染, 因此在此次试验过程中并未进行药剂清洗。

2.3.5 污泥活性恢复试验

为了考察微生物在受到负荷冲击和工艺条件受到破坏时微生物的耐受性和恢复能力, 调整进水为厌氧 UASB 出水和少量原水, 进水 COD_C 质量浓度达到 2.5 ~ 3 g/L, 溶解氧质量浓度降至 1 mg/L 左右。在连续进出水 3 d 后, 发现出水 COD_C 质量浓度为 800 ~ 1 200 mg/L, 表明污泥已经不能适应这种负荷冲击, 观察到污泥颜色由原来好氧态的黄色转变为暗褐色, 且污泥混合液静置分层不清晰, 清液浑浊, 污泥的体系已经受到破坏。为此, 停止进水, 出水后补充自来水使反应器液位基本恒定。往反应器中补充葡萄糖和少量尿素, 缓慢加强曝气。使得反应器的 COD_C、氨氮的质量浓度分别维

持在 800、30 ~ 40 mg/L。3 d 后, 污泥的颜色逐步恢复为黄褐色, 检测污泥质量浓度为 6.0 g/L, 基本上维持原浓度, 表明受到负荷冲击和溶解氧影响死亡的微生物和通过营养物质培养和从新更新生长的基本持平。微生物基本恢复活性后重新按照前期高负荷条件进出水, 控制进水 COD_C 质量浓度在 600 ~ 1 000 mg/L, 去除率基本恢复到 94% 左右。

3 结论

本次试验为期 90 d, 通过污泥驯化、运行考察、负荷考察、膜污染控制的工业化模拟, 可以得出以下结论:

① MBR 对废水有很好的适应能力, 且出水 COD_C 中可生化部分基本降解完全, 氨氮和总磷的去除能力也能维持在 90% 和 87% 左右。

② MBR 在运行过程中, 在保证按最大通量 20 L/(m²·h) 的 70% ~ 80% 运行时, 仍有很强的抗污染能力, 跨膜压差小于允许范围, 且变化缓慢。

③ 为了保证较高的脱氮除磷效果, MBR 中溶解氧的质量浓度应控制在 2 mg/L 左右, 以保证污泥微观态下的厌氧和好氧体系, 且一定程度上节约能耗。

④ MBR 体系有很好的抗冲击能力, 在受到超常态的冲击时, 可以通过膜的迅速出水, 排出冲击态的废水, 以减轻对微生物的毒害; 且微生物不流失, 恢复迅速。

⑤ 原废水系统的第二段好氧系统可以方便地改造成为 MBR 系统, 由于 MBR 出水不含 SS, 可以通过反渗透进一步处理 MBR 所不能脱除的极少量的钴离子、锰离子和其它无机盐, 回用到企业生产工艺段, 以节约水资源和产生良好的经济效益。

参考文献:

- [1] 吕锡武, 李丛娜, 稻森悠平. 溶解氧及活性污泥浓度对硝化反硝化的影响[J]. 城市环境与城市生态, 2001, 14(1): 33-35.
- [2] 郝晓地, 朱景义, 曹秀芹. 污水强化除磷工艺的现状和未来[J]. 中国给水排水, 2005, 21(11): 37-40.
- [3] 豆俊峰, 罗固源, 刘翔. 生物除磷过程厌氧释磷的代谢机理及其动力学分析[J]. 环境科学学报, 2005, 25(9): 1164-1169.
- [4] 杨宗政, 顾平. 膜生物反应器运行中的膜污染及其控制[J]. 膜科学与技术, 2005, 25(2): 80-84.

作者简介: 冯斐(1978-), 男, 江西大余人, 硕士生, 研究方向为水资源保护及膜技术运用, (电子信箱)fongfei003@163.com。