

工程实例

## AO-MBR-RO 工艺用于液晶平板显示工业废水回用

郭宇彬

(合肥京东方光电科技有限公司, 安徽 合肥 230000)

**摘要:** 介绍了 AO-MBR-RO 工艺在液晶平板显示(TFT-LCD)工业废水回收利用中的应用情况,包括设计要求、工艺流程、设计参数、调试及运行效果,对运行成本进行了分析。设计系统进水电导率 $\leq 400 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、COD $\leq 450 \text{ mg}/\text{L}$ 、 $\text{NH}_3-\text{N} \leq 20 \text{ mg}/\text{L}$ 、TP $\leq 2.0 \text{ mg}/\text{L}$ ,处理水量为 $10\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。系统产水电导率为 $26.2 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、COD为 $1.68 \text{ mg}/\text{L}$ 、 $\text{NH}_3-\text{N}$ 为 $0.3 \text{ mg}/\text{L}$ 、TP未检出,处理成本为 $1.91 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。该工艺运行稳定,水质合格,在 TFT-LCD 以及其他相关行业具有推广价值。

**关键词:** 废水回用; 液晶平板显示; 膜生物反应器; 反渗透

**中图分类号:** TU993 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)18-0078-04

## Engineering Application of AO/MBR/RO Process in TFT-LCD Industrial Wastewater Reuse

GUO Yu-bin

(Hefei BOE Optoelectronics Technology Co. Ltd., Hefei 230000, China)

**Abstract:** The application of AO/MBR/RO process in the advanced treatment and reuse of TFT-LCD industrial wastewater was introduced, including the process design requirements, process flow, design parameters, commissioning, project operation and the running cost analysis. The design conductivity, COD,  $\text{NH}_3\text{-N}$  and TP of raw water were no more than  $400 \mu\text{S}/\text{cm}$ ,  $450 \text{ mg}/\text{L}$ ,  $20 \text{ mg}/\text{L}$  and  $2.0 \text{ mg}/\text{L}$ , respectively. The final effluent conductivity, COD and  $\text{NH}_3\text{-N}$  were  $26.2 \mu\text{S}/\text{cm}$ ,  $1.68 \text{ mg}/\text{L}$  and  $0.3 \text{ mg}/\text{L}$  respectively, while effluent TP was not detected. The treatment capacity is  $10\,000 \text{ m}^3/\text{d}$  and the cost of advanced treatment was  $1.91 \text{ yuan}/\text{m}^3$ . The AO/MBR/RO process has operated stably and the effluent quality was qualified, which has wide application value in TFT-LCD and other related industrial wastewater treatment.

**Key words:** wastewater reuse; TFT-LCD; MBR; reverse osmosis

### 1 工程概况

液晶平板显示(TFT-LCD)行业作为我国的高科技行业得到了高速发展,随着平面显示面板尺寸的大型化和产能提升,面板生产需要的用水量大大提升,其废水排放量也相应增加。TFT-LCD行业对水质的要求非常严格,其生产用水水质需要达到超纯水级要求,因此对回用水的电导率、TOC、颗

粒物等指标要求都非常高。由于清洗玻璃基板过程中使用有机物,TFT-LCD工厂排放大量的有机废水。为提高工业废水的回收率,某 TFT-LCD 工厂投资建设了 $10\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模的工业废水回收工程,采用 AO-MBR-RO 工艺对工业有机废水进行深度处理,处理水合格后进入超纯水系统循环使用,同时深度处理的浓水用于冷却塔补水、绿化等。

## 2 设计要求

该废水回收利用工程采用 AO- MBR- RO 工艺,处理能力为  $10\,000\text{ m}^3/\text{d}$ ,将清洗玻璃基板的有

机废水回收利用,回收水进入超纯水系统循环使用,减少了废水排放及自来水的使用量。设计进水和产水水质见表 1。

表 1 设计进水和产水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

项目	电导率/ ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ )	pH 值	TOC/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	COD/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	SS/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TN/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\text{NH}_3 - \text{N}/$ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TP/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )
进水	$\leq 400$	4~6	$\leq 180$	$\leq 480$	$\leq 10$	$\leq 50$	$\leq 20$	$\leq 2.0$
产水	$\leq 40$	6.5~7.5	$\leq 1.0$	$\leq 2.5$	—	$\leq 20$	$\leq 2.0$	—

工业废水主要来自玻璃基板清洗、光刻、显影、刻蚀、剥离、单板分断、PI 定向后清洗等过程,含有硫酸、硝酸、N-甲基甲酰胺、四甲基氢氧化铵、光刻胶等多种化学品。该类废水通常采用生化处理,再排入市政污水处理厂。

该类废水处理的难点如下:

① 对 TOC 去除要求高。进水 TOC 为  $180\text{ mg/L}$ ,进入纯水系统要求  $\text{TOC} \leq 1.0\text{ mg/L}$ ,去除率为 99.44%。

② 去除氨氮。废水中含有大量有机氮,在生化过程中会生成氨氮,要求产水氨氮  $\leq 2.0\text{ mg/L}$ 。

③ 水量、水质不稳定。由于受生产的影响,废水水量及水质有波动。

## 3 处理工艺

MBR 具有运行稳定、抗冲击性强、处理效率高等特点,在化工、印染等工业废水的处理中已得到广泛应用<sup>[1]</sup>。反渗透技术具有净化效率高、成本低和环境友好等优点,已经广泛应用于海水和苦咸水淡化、纯水和超纯水制备、工业或生活废水处理等领域<sup>[2]</sup>。反渗透膜能截留粒径  $>0.000\,1\text{ }\mu\text{m}$  的物质,其能有效截留所有溶解盐及相对分子质量  $>100$  的有机物,同时允许水分子通过<sup>[3]</sup>。本工程根据原水水质的特点,采用 AO- MBR- RO 的组合工艺(见图 1)对 TFT- LCD 废水进行深度处理,处理后的出水可以满足回用要求。

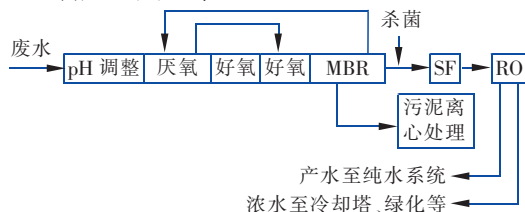


图 1 废水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

该工艺流程可以划分为 4 部分:

① pH 值调整。该工业废水整体呈酸性,需加入氢氧化钠调整 pH 值至中性。

② AO 生物处理。废水进入生物反应池后,经过厌氧反应区/好氧曝气反应区/好氧曝气反应区硝化和反硝化的过程实现污染物的降解,使有机物、氨氮等得以去除。

③ MBR 处理。生化处理出水以污泥混合液的形式进入 MBR 池,污泥和水在 MBR 池内进行分离。

④ 反渗透处理。MBR 产水经过杀菌后,进入抗污染反渗透系统,反渗透产水将进入纯水制备系统,反渗透浓水用于冷却塔及绿化。

## 4 主要构筑物及设计参数

① pH 值调整池。钢筋混凝土结构,FRP 内衬,尺寸为  $8.5\text{ m} \times 5.5\text{ m} \times 7.0\text{ m}$ ,有效水深为  $5.6\text{ m}$ ,有效容积为  $261.8\text{ m}^3$ ,水力停留时间为  $0.5\text{ h}$ 。进水 pH 值为 4~6,调整后 pH 值为 6.5~7.5。

② 厌氧池。钢筋混凝土结构,FRP 内衬,尺寸为  $17.6\text{ m} \times 11.0\text{ m} \times 7.0\text{ m}$ ,有效水深为  $5.4\text{ m}$ ,有效容积为  $1\,045.4\text{ m}^3$ ,水力停留时间为  $2.0\text{ h}$ 。

③ 好氧池。该段分为 1#好氧池和 2#好氧池,钢筋混凝土结构,FRP 内衬,1#池尺寸为  $35.0\text{ m} \times 17.6\text{ m} \times 7.0\text{ m}$ ,有效水深为  $5.2\text{ m}$ ,有效容积约  $3\,203\text{ m}^3$ ,水力停留时间为  $6.4\text{ h}$ ;2#池尺寸为  $35.0\text{ m} \times 17.6\text{ m} \times 7.0\text{ m}$ ,有效水深为  $5.0\text{ m}$ ,有效容积约  $3\,080\text{ m}^3$ ,水力停留时间为  $6.1\text{ h}$ ;正常运行时 MLSS 为  $4.0 \sim 5.5\text{ g/L}$ 。

④ MBR 池。分 5 个单元,4 用 1 备,钢筋混凝土结构,FRP 内衬,每个单元尺寸为  $8.5\text{ m} \times 6.5\text{ m} \times 7.0\text{ m}$ ,有效水深为  $4.8\text{ m}$ ,有效容积为  $265.2\text{ m}^3$ 。采用聚偏二氟乙烯(PVDF)膜组件,膜孔径为  $0.04\text{ }\mu\text{m}$ ,设计膜通量为  $0.35\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,MLSS 约为

10 000 mg/L。通过程序设定,控制过滤周期为 900 s,反洗时间为 30 s,正常运行时膜压差 <0.1 MPa,膜通量下降 15% 时,需要进行药剂清洗。

⑤ 杀菌。膜污染是影响反渗透系统正常运行的重要原因之一。膜污染一般包括:金属氧化物污染、难溶钙盐沉淀、胶体污染、微生物污染<sup>[4]</sup>,微生物过多时,会导致反渗透膜通量下降,压差上升,清洗频率显著增加,减少反渗透膜的使用寿命。在反渗透单元前添加环状氮硫磺系杀菌剂,添加量为 1.0 mg/L。

⑥ 反渗透单元。共 5 套反渗透装置(4 用 1 备),采用一级三段形式,设计进水流量为 150 m<sup>3</sup>/h,产水率为 80%,正常运行时压差 <0.3 MPa。反渗透设定的进水电导率 ≤700 μS/cm,含盐量越高渗透压也越大,进水压力不变的情况下,净压力将减小,产水量降低。透盐率正比于膜正反两侧盐浓度差,进水含盐量越高,浓度差也越大,透盐率上升,从

而导致脱盐率下降<sup>[5]</sup>。膜通量下降 15% 时,需要进行药剂清洗,该工程安装在线清洗系统,可根据膜堵塞情况,使用不同的药剂清洗。

5 实际运行情况

5.1 调试阶段

接种污泥取自该工厂废水处理生化系统,调试阶段采用低负荷进水方式,使污泥处于低负荷增殖,通过测试各池内 TOC 的变化情况,逐渐增加系统中废水量,直至满负荷进水。调试及后期运行过程中,添加营养剂及矿物质剂,改善 C、N、P 的比例及微量元素含量。调试期约 90 天,系统开始满负荷进水。考虑到对后端 RO 膜的影响,调试阶段 MBR 产水直接排放,未回收。调试结束 MBR 正常运行 20 天后,开启反渗透装置,开始回收水至纯水系统。

5.2 运行阶段

该工程已稳定运行一年半,出水合格(见表 2),平均回收水量为 7 600 m<sup>3</sup>/d。

表 2 实际进、出水水质  
Tab. 2 Actual influent and effluent quality

项目	电导率/ (μS·cm <sup>-1</sup> )	pH 值	TOC/ (mg·L <sup>-1</sup> )	COD/ (mg·L <sup>-1</sup> )	SS/ (mg·L <sup>-1</sup> )	TN/ (mg·L <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> -N/ (mg·L <sup>-1</sup> )	TP/ (mg·L <sup>-1</sup> )
进水	265	4.7	152	408	6.5	32.0	8.0	—
AO 出水	—	7.2	6.1	16.9	12.6	12.6	4.5	0.26
MBR 出水	562	7.2	4.2	12.0	—	12.5	1.2	—
RO 产水	26.2	6.8	0.56	1.68	—	6.8	0.3	—

反渗透膜装置产水的电导率和 TOC 是决定出水能否回收的重要参数。该系统稳定运行期间的电导率和 TOC 较为稳定,具体见图 2。

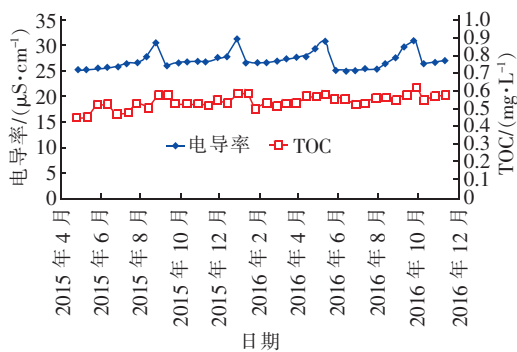


图 2 反渗透产水水质

Fig. 2 Effluent quality of reverse osmosis

该工艺反渗透运行过程中,产水电导率会逐渐上升,主要由膜堵塞所致。采用化学清洗(NaOH, pH 值为 12.0~12.5)后,电导率恢复。该工艺 RO 清洗频率为 4 个月一次。

6 成本分析

该工程采用 AO-MBR-RO 对废水进行回收利用,重新制备超纯水,处理成本为 1.91 元/m<sup>3</sup>,其中电费占 50.2%,耗材(MBR 膜、反渗透膜等)占 27.6%,实际回收水量约 7 300 m<sup>3</sup>/d。

与自来水制备做对比分析,采用自来水制备同规格纯水,成本为 4.85 元/m<sup>3</sup>(见表 3),采用 AO-MBR-RO 在工艺节能减排的同时,效益显著,企业节约水费 783.4 万元/a。

表 3 工程成本分析

Tab. 3 Engineering cost analysis 元·m<sup>-3</sup>

项 目	AO-MBR-RO 工艺	使用自来水制备
自来水费	0	3.40
电费	0.96	0.75
化学品费用	0.32	0.26
耗材费用(4 a)	0.53	0.34
设备修理费	0.05	0.05
人工费	0.05	0.05
合计	1.91	4.85

## 7 结论

AO- MBR- RO 工艺可应用于 TFT- LCD 工业废水回收利用,该工艺运行稳定,处理水水质合格;回收成本为 1.91 元/ $\text{m}^3$ ,与使用自来水制备相比,节约 2.94 元/ $\text{m}^3$ ,可节省 783.4 万元/a。可见,采用 AO- MBR- RO 处理工艺,在节能减排的同时,具有很好的经济性,在 TFT- LCD 以及其他相关行业具有推广价值。

## 参考文献:

- [1] 刘建广,金建华,张春阳,等. 低氧下膜生物反应器强化脱氮除磷[J]. 膜科学与技术,2007,27(4):70-73. Liu Jianguang, Jin Jianhua, Zhang Chunyang, et al. Phosphorus and nitrogen removal by membrane bioreactor under low DO condition[J]. Membrane Science and Technology, 2007, 27(4): 70-73 (in Chinese).
- [2] 许骏,王志,王纪孝,等. 反渗透膜技术研究和应用进展[J]. 化学工业与工程,2010,27(4):351-357. Xu Jun, Wang Zhi, Wang Jixiao, et al. Progress in the development and application of reverse osmosis membrane technology [J]. Chemical Industry and Engineering, 2010, 27(4): 351-357 (in Chinese).
- [3] 冯敏. 现代水处理技术[M]. 北京:化学工业出版社,2006. Feng Min. Contemporary Water Treatment Technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006 (in Chinese).
- [4] 安娜,姬朝青,许振良. 电厂反渗透系统膜污染防治与

膜清洗的研究[J]. 净水技术,2009,28(3):23-26.

An Na, Ji Chaoqing, Xu Zhenliang. Study on membrane fouling prevention and membrane cleaning of power plant reverse osmosis system[J]. Water Purification Technology, 2009, 28(3): 23-26 (in Chinese).

- [5] 郭宇彬,许振良,姬朝青. 吸附-扩散模型与溶解-扩散模型及其修正模型的相互关系[J]. 膜科学与技术,2010,30(2):29-32.

Guo Yubin, Xu Zhenliang, Ji Chaoqing. The relationship of adsorption-diffusion model, solution-diffusion model and modified solution-diffusion model [J]. Membrane Science and Technology, 2010, 30(2): 29-32 (in Chinese).



作者简介:郭宇彬(1984- ), 男, 安徽宿州人, 硕士, 主要从事水处理技术研究工作。

E-mail: guoshi7788@aliyun.com

收稿日期:2018-02-24

全面推进水生态环境保护和修复  
打造水清岸绿、河畅湖美的美丽家园