

运行与管理

## AO + MBR 一体化设备处理含印染废水污水的调试运行

张宜伟, 彭小凤, 王彪, 杨文龙, 胡一帆, 李会元  
(中国葛洲坝集团水务运营有限公司, 湖北 武汉 430000)

**摘要:** 采用一体式 AO + MBR 系统对含有 15% ~ 20% 印染废水的城镇生活污水进行处理, 经调试运行取得良好的效果。运行结果显示, MBR 一体化设备有较强的抗有机物和氨氮冲击负荷的能力, 通过投加碳源调整 C/N 值 > 3.5、回流比为 300% 时, 能够取得 70% 以上的脱氮效率。AO + MBR 系统需投加除磷剂以强化总磷的去除, 但加药会加速膜污染, 因此需设置合理的膜清洗周期。

**关键词:** 印染废水; MBR 一体化设备; 调试

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000 - 4602(2018)04 - 0114 - 05

### Commissioning and Operation of AO/MBR Integrated Equipment for Treatment of Printing and Dyeing Wastewater Mixed with Sewage

ZHANG Yi-wei, PENG Xiao-feng, WANG Biao, YANG Wen-long, HU Yi-fan, LI Hui-yuan

(China Gezhouba Group Water Operation Co. Ltd., Wuhan 430000, China)

**Abstract:** AO/MBR system was commissioned to treat domestic sewage containing 15% - 20% dyeing and printing wastewater, and satisfied results were achieved after proper operation. The results showed that the MBR integrated equipment had strong ability to resist organic loading and ammonia loading. Over 70% of total nitrogen could be effectively removed by adding carbon source to adjust C/N value above 3.5 and controlling reflux ratio around 300%. Removal of total phosphorus in the AO/MBR system should be strengthened by adding phosphorus removal agent, but this could lead to the acceleration of membrane fouling, thus reasonable cleaning cycle should be set.

**Key words:** printing and dyeing wastewater; MBR integrated equipment; commissioning

据统计, 印染厂每生产 100 m 织物会产生 3 ~ 5 m<sup>3</sup> 印染废水<sup>[1]</sup>。印染废水中含多种难降解色素, 随着印染原材料、工艺和产品结构的不断升级, 印染废水的构成也越来越复杂, 具有色度高、碱性大、成分复杂、处理难度大等特点<sup>[2]</sup>。

经印染厂预处理后排入下水管道再进入市政污水处理厂的印染废水, 仍具有较高的有机物浓度和色度, 采用传统单一方法处理, 其出水水质难以达到排放标准<sup>[3]</sup>。此外, 印染废水中可降解有机物含量

比例较低, 对生物脱氮除磷会产生不利影响<sup>[4]</sup>。

膜生物反应器(MBR)是膜和活性污泥法相结合的工艺, 微生物将膜截留下来的污染物进一步降解。通常情况下, MBR 中污泥浓度远远高于传统的生物处理法, 有利于培养出适合去除印染废水中难降解物质的专属微生物。内置的膜组件具有高效固液分离作用, 微滤甚至超滤膜对印染废水中大分子难降解有机物具有拦截作用, 提高了其生化反应水力停留时间<sup>[5,6]</sup>。因此, MBR 工艺对不易生化处理

的印染废水的处理效果优于传统生物处理工艺,在印染废水等难处理废水领域应用前景广阔<sup>[2]</sup>。

## 1 MBR 工艺设计

### 1.1 MBR 设计及进、出水水质

本次运行调试的 MBR 一体化设备采用 AO + MBR 工艺,设计规模为 50 m<sup>3</sup>/d。进水水质执行《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015):BOD<sub>5</sub>≤350 mg/L、COD≤500 mg/L、SS≤400 mg/L、总氮≤70 mg/L、总磷≤8 mg/L、氨氮≤45 mg/L、pH 值为 6.5~9.5;出水指标执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准:BOD<sub>5</sub>≤10 mg/L、COD≤50 mg/L、SS≤10 mg/L、总氮≤15 mg/L、总磷≤0.5 mg/L、氨氮≤5(8) mg/L。

### 1.2 MBR 工艺流程

含有印染废水的污水首先经格栅过滤去除毛发等纤维状物质,以保证后续膜处理系统的正常运行。MBR 一体化设备采用 AO + MBR 工艺,污水经提升泵从缺氧池底部进入,经缺氧池上端溢流口(距离液面 10 cm 左右)自流进入好氧池,好氧池与膜池合建。缺氧池填充了固定悬挂式柔性填料,以强化对总氮的去除,并安装了潜流搅拌器搅拌混合,防止污泥沉淀,提高微生物与污泥的接触效果。设备间设有碳源和 PAC 加药箱,通过隔膜泵分别投加到缺氧池和好氧池(膜池)。工艺流程如图 1 所示。

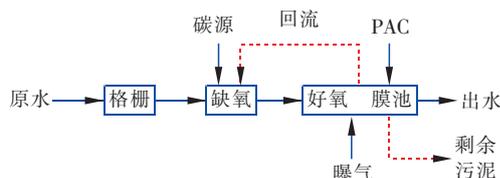


图1 MBR 一体化设备工艺流程

Fig. 1 Flow chart of MBR integrated equipment

### 1.3 膜及膜组件选择

该一体化 MBR 项目采用国产聚四氟乙烯(PTFE)平板膜,平均过滤孔径为 0.2 μm。该平板膜抗污染能力强、过滤阻力低,采用独特的箱体组合方式,填充密度高,过滤面积大,集成简单,运行费用低。PTFE 平板膜及其组件具有以下特点:

① PTFE 平板膜具有较强的化学稳定性和不粘附任何物质的表面特性,抗污染能力强,特别是抗油污染能力具有明显优势;同时可耐受较高浓度的化学药剂,清洗更彻底。

② PTFE 膜具有永久亲水性,膜与水接触可以即刻湿润,不需要酒精引导。

③ PTFE 平板膜采用双向拉伸工艺制造,厚度仅为 0.02 mm,是普通滤膜厚度(0.2~0.4 mm)的十几分之一,过滤阻力极低。

④ 平板膜组件采用上下两端开放结构,可以有效避免组件内纤维物质缠绕堵塞和污泥沉积。

### 1.4 MBR 工艺参数设计

MBR 一体化设备由标准集装箱改造而成,宽和高分别为 2.3、2.4 m,内部用钢板隔成不同的功能区域,缺氧和好氧(含膜池)长度分别为 1.6、3.0 m(好氧池为 2.0 m,膜池为 1.0 m),满负荷运行时处理能力为 50 m<sup>3</sup>/d(2.08 m<sup>3</sup>/h)。生物池有效水深为 2.0 m,设计水力停留时间(HRT)为 10.17 h,其中缺氧区为 3.54 h、好氧区为 6.63 h(未考虑膜组件本身占据的体积)。设计污泥回流比为 200%,污泥浓度为 7 000 mg/L,污泥负荷为 0.05 kgBOD<sub>5</sub>/(kgMLSS·d),总泥龄为 26.5 d,剩余污泥量为 5.6 kgDS/d。设计最大气水比为 20:1,好氧区溶解氧控制在 2~3 mg/L 之间。运行期间室外温度为 20~35℃。

MBR 系统共使用平板膜 120 m<sup>2</sup>,设计膜通量为 15 L/(m<sup>2</sup>·h)。为了有效控制膜表面污染,通过控制阀门启停对膜组件交替曝气,以 10 min 为一个周期,膜组件曝气产水 8 min 后停止产水,曝气擦洗膜表面 2 min,以防止膜表面颗粒物质的大量沉积,当跨膜压差达到设计值时,启动在线清洗系统。

## 2 MBR 工艺调试运行

### 2.1 进、出水水质

MBR 进水为山东省滨州市某污水处理厂的市政生活污水,因上游印染企业较多,进水中含有 15%~20% 的印染废水。该印染废水水质虽然符合《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015),但仍具有难降解有机物含量较多、可生化性较差等特点。2017 年 7 月 31 日—9 月 30 日实际进水水质统计见表 1。

表1 实际进水水质

Tab. 1 Actual influent quality mg·L<sup>-1</sup>

项 目	COD	BOD <sub>5</sub>	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP	
进水	最大值	357.0	91.0	58.1	59.8	3.2
	最小值	131.0	46.0	15.7	18.5	1.7
	平均值	186.6	59.1	41.6	42.4	2.5

进水 COD、BOD<sub>5</sub>、TN、TP 浓度都符合《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)的规定,但 NH<sub>3</sub>-N 超标天数为 19 d,超标率达到 30.65%,该水质情况符合印染废水的性质<sup>[7]</sup>。废水 B/C 值为 0.32,虽可生化处理,但可生化性明显低于常规生活污水<sup>[8]</sup>;BOD<sub>5</sub>/TN 值为 1.4,实际工程中 C/N≥3.5 时才能进行有效脱氮,因此处理该印染废水时缺少碳源成为去除 TN 的制约因素;BOD<sub>5</sub>/TP 值为 23.6,可以进行生物除磷<sup>[9]</sup>。

## 2.2 稳定运行效果分析

MBR 系统按照设计参数调试稳定运行后,对 COD 和 NH<sub>3</sub>-N 的去除效果见图 2。

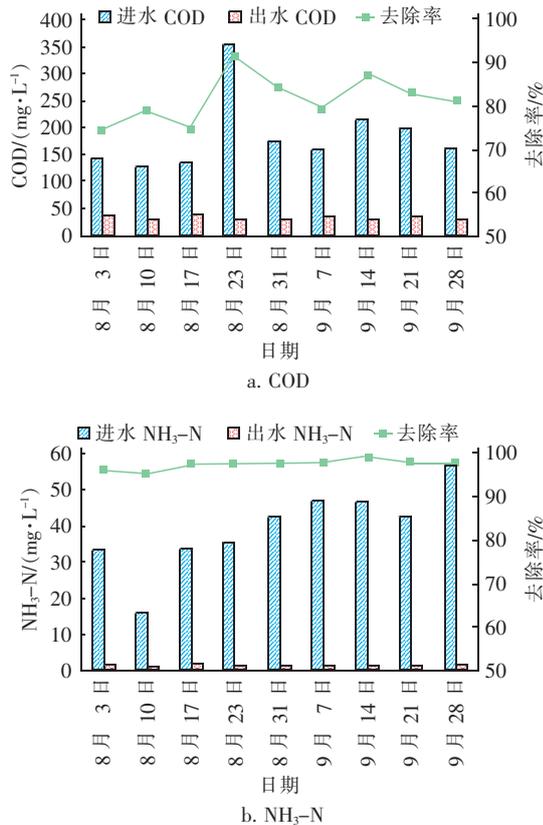


图2 对 COD 和 NH<sub>3</sub>-N 的去除效果

Fig. 2 Removal effect of COD and ammonia nitrogen

由图 2 可以看出,出水 COD 最高值为 36.0 mg/L,均值为 31.4 mg/L,平均去除率达到 80% 以上,出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。出水 NH<sub>3</sub>-N 最高值为 1.2 mg/L,均值为 0.84 mg/L,稳定达到一级 A 标准。值得注意的是,尽管进水 NH<sub>3</sub>-N 值时有超标,最大超标率接近 30%,但去除率达到 95% 以上,由此可见系统具有非常好的硝化效果。系统

的污泥龄长达 26.5 d,有利于硝化细菌的生长繁殖。从进水 COD、NH<sub>3</sub>-N 浓度变化和出水效果来看,MBR 一体化系统有很强的抗有机物和氨氮冲击负荷的能力。

MBR 系统稳定运行期间对 TN 和 TP 的去除效果见图 3。

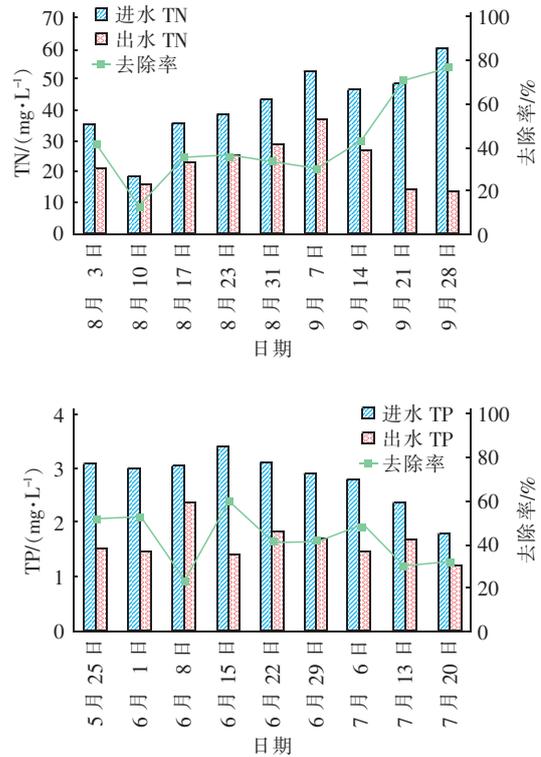


图3 对 TN 和 TP 的去除效果

Fig. 3 Removal effect of TN and TP

由图 3 可知,系统未投加碳源(9月7日)以前,对 TN 的平均去除率为 31.63%,最大去除率为 55.84%。由于 NH<sub>3</sub>-N 的去除效果明显,大部分被转化成硝酸盐和亚硝酸盐,而总氮去除效果不理想,说明系统反硝化效果较差,考虑到系统的反硝化运行时间和回流比理论上合理,可以推测出系统因为碳源的短缺导致缺氧池中尚未培养出稳定、足够的反硝化菌群。对于 TP 的去除,仅靠生化处理平均去除率为 42%,最高去除率为 59%,尚未达标。

## 2.3 总氮运行调试

研究表明,乙酸钠、甲醇、乙醇和葡萄糖作为反硝化碳源时,均可获得较高的硝酸盐氮去除率<sup>[10,11]</sup>。在相同的 COD 投加当量下,乙酸钠的强化反硝化速率明显高于葡萄糖和白砂糖,而葡萄糖则略高于白砂糖,但葡萄糖和白砂糖的强化作用时

间比乙酸钠的要长。由于具有相对较长的强化作用时间,葡萄糖和白砂糖在强化反硝化阶段表现出的单位 COD 投量的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  去除增量与乙酸钠基本相当<sup>[11]</sup>。调试过程中为了强化总氮的去除,采取两个措施:一是补充反硝化所需的碳源,在缺氧池中加入葡萄糖提高 C/N 值;二是将内回流比调整为 300%,加大回流的硝酸盐量,原水经硝化后,氨氮几乎全部转化为硝态氮或亚硝态氮,总氮值理论上变化不大。经计算,应补充的  $\text{BOD}_5$  值为 100 mg/L,此时 C/N 值为 3.5。考虑到原水中碳源以  $\text{BOD}_5$  计算,实际进水 C/N 值应高于 3.5。

补充碳源后对 TN 的去除效果见图 4。

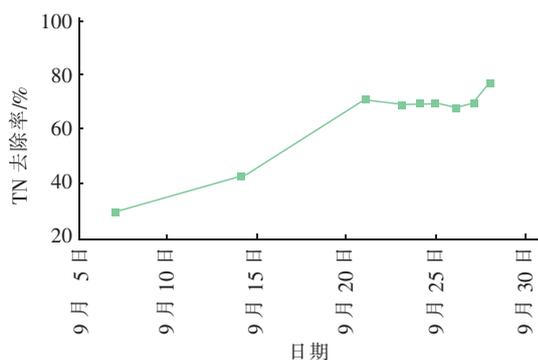


图4 补充碳源后的 TN 去除率

Fig.4 TN removal after adding carbon source

由图 4 可知,在缺氧池连续补充葡萄糖 7 天后,总氮去除率为 30.07%,出水总氮尚未明显下降,推测这个过程是反硝化细菌的培养建立阶段。14 天后总氮去除率达到 42.76%,去除率逐步提升,推测此时系统中反硝化菌逐渐培养起来。至 21 天以后 TN 的去除率稳定在 70% 左右, TN 达到出水要求。MBR 缺氧池中设有固定床填料,填料具有比表面积大、表面粗糙等特点,可以吸附各类微量元素及有机物,有利于微生物的附着生长,大大提高了反硝化菌的泥龄与活性,从而促进了生物脱氮过程。相关研究表明,投加碳源的反硝化生物滤池的挂膜时间为 14~25 d<sup>[12~14]</sup>,考虑到本 MBR 系统采用固定床填料,上述结论与本调试运行结论相似。

## 2.4 总磷运行调试

研究表明采用化学法除磷时,投加 PAC 有良好的效果<sup>[15]</sup>。为使 MBR 系统 TP 的去除率达到排放标准,通过在好氧池中投加 PAC 提高总磷的去除率(见图 5)。自 8 月 7 日起在好氧池中投加 PAC,投

加量为 10 mg/L,8 月 19 日 PAC 投加量提升至 20 mg/L,9 月 5 日提升至 25 mg/L。

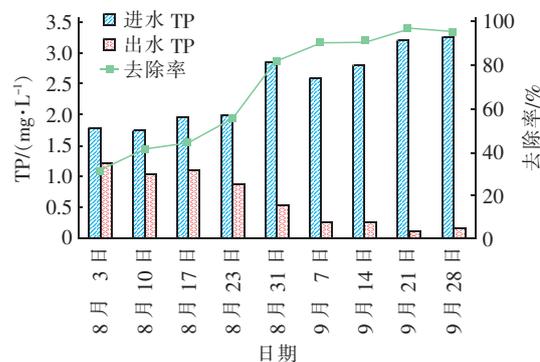


图5 投加 PAC 对 TP 去除效果的影响

Fig.5 Influence of PAC dosage on TP removal

由图 5 可知,当 PAC 投加量为 10 mg/L 时,TP 的去除率逐步上升至 40%;PAC 投加量为 20 mg/L 时,TP 的去除率迅速提升到 80% 以上,出水 TP 浓度基本达到排放标准;PAC 投加量为 25 mg/L 时,TP 的去除率达到 90% 以上,出水 TP 浓度降到 0.2 mg/L 以下。由此可以得出,TP 的去除率随着 PAC 的投加量增加而提高,至投加量为 25 mg/L 时,取得较好的效果。

## 2.5 投加 PAC 对膜性能的影响

MBR 系统因膜组件性能优异,调试运行期间一直靠重力自流产水。系统通过电磁阀自动调节阀门开度以恒定流量产水,因此通过读取电磁阀的阀门开度,能够得知膜的污堵情况(见图 6)。

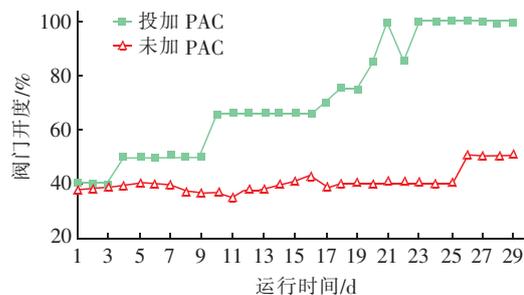


图6 投加 PAC 对膜污堵的影响

Fig.6 Influence of PAC on membrane fouling and cologing

由图 6 可以看出,当投加 PAC 后,阀门开度前 3 天并没有明显变化,维持在 40% 左右,说明膜的污染情况没有明显变化。结合此时出水 TP 尚未达标,说明此时 PAC 尚未与系统中的磷酸根离子结合成大分子物质被膜截留。3 天以后随着时间的推移,系统的阀门开度缓慢上升,10 天后维持在 60%

左右,并保持该开度一周左右。接下来阀门开度迅速上升,于第21天达到100%。当系统不加药时,在曝气吹扫下25天内阀门开度一直维持在40%左右,由此可以发现MBR系统本身有较强的抗污染能力,而投加PAC对膜的污堵影响显著。

综上,PAC对PTFE平板膜的膜通量有着非常显著的影响,且在21天后污堵情况上升最为明显。为了延长膜的使用寿命,使系统能够健康稳定运转,建议膜的清洗周期以不超过20d为宜。

### 3 结论

① AO+MBR工艺对该印染废水有着良好的处理效果,经调试运行各项出水指标均能达到排放标准。

② MBR一体化设备有较强的抗进水冲击负荷的能力,特别是抗有机物和抗氨氮冲击负荷的能力。

③ AO+MBR系统需投加PAC强化磷的去除,但会导致膜污染的加速,故需设置合理的膜清洗周期。

### 参考文献:

- [1] 朱虹,孙杰,李剑超. 印染废水处理技术[M]. 北京:中国纺织出版社,2004.
- [2] 陈春梅,李秀芬,刘春彦,等. 印染废水污染膜的组合清洗技术研究[J]. 膜科学与技术,2015,35(6):87-92.
- [3] 徐淑红,马春燕,张静文,等. 一体式MBR系统对印染废水有机物去除效果分析[J]. 净水技术,2008,(5):49-52.
- [4] 吴建通. 印染废水深度处理技术实践[J]. 福建轻纺,2017,(1):50-54.
- [5] John Howell A. Future of membranes and membrane reactors in green technologies and for water reuse[J]. Desalination,2004,162:1-11.
- [6] 白玲,蓝伟光,严滨,等. 废水处理中膜生物反应器的研究进展[J]. 膜科学与技术,2008,(1):91-96.

- [7] 裘伟明,来东奇,杨敏. 高氨氮印染废水处理实例[J]. 印染,2017,43(4):39-42.
- [8] 冯华军,冯小晏,薛飞,等. 浙江省典型地区生活污水水质调查研究[J]. 科技通报,2011,27(3):436-440.
- [9] 张自杰,林荣忱,金儒霖. 排水工程[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [10] 孙永利,许光明,游佳,等. 城镇污水处理厂外加商业碳源的选择[J]. 中国给水排水,2010,26(19):84-86.
- [11] 胡国山,张建美,蔡惠军. 碳源、C/N和温度对生物反硝化脱氮过程的影响[J]. 科学技术与工程,2016,16(14):74-77,106.
- [12] 周碧波,操家顺,徐哲明. 反硝化生物滤池的挂膜与启动[J]. 环境科技,2009,22(3):5-7.
- [13] 徐佩. 外加碳源生物滤池处理城市污水厂尾水脱氮实验研究[D]. 武汉:武汉科技大学,2011.
- [14] 孙迎雪,胡银翠,孙云祥,等. 反硝化生物滤池深度脱氮机理[J]. 环境工程学报,2012,6(6):1857-1862.
- [15] 马玉,黄娟,王世和,等. 混凝剂投加对膜污染及除磷效果的影响[J]. 水处理技术,2010,36(3):74-77.



作者简介:张宜伟(1989-),男,江苏赣榆人,硕士,工程师,主要从事水污染控制和小型污水处理一体化设备的调试、运行等工作,拥有数项发明专利。

E-mail:171030403@qq.com

收稿日期:2017-12-14