

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2012.05.012

# 连续微滤应用于印染废水反渗透预处理的研究

张 云,杨柳俊

(江苏省水文水资源勘测局南通分局,江苏 南通 226006)

**摘要:**采用连续微滤(CMF)作为反渗透(RO)的预处理工艺,对印染废水二级生化出水进行深度处理。结果表明:CMF 处理系统运行稳定,对色度、膜污染指数值的去除率均达到 RO 系统进水的要求。RO 系统对盐度的去除率达到 98% 以上,出水水质优于自来水,各项水质指标满足印染工艺回用的要求。

**关键词:**连续微滤;印染废水;反渗透;预处理

中图分类号:X793      文献标识码:A      文章编号:1004-6933(2012)04-0057-03

## Application of continuous micro-filtration to reverse osmosis pretreatment of dyeing wastewater

ZHANG Yun, YANG Liu-jun

(Nantong Branch of Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Jiangsu Province, Nantong 226006, China)

**Abstract:** Continuous micro-filtration (CMF) technology was used for reverse osmosis (RO) pretreatment of secondary effluent of dyeing wastewater. The results show the CMF system was stable during operation, and the removal rates of chromaticity and SDI were able to meet the influent quality demand of the RO system. The RO system could effectively remove salinity by over 98%. The water quality of the RO effluent was superior to the tap water, and all the water quality indices were able to meet the demands of reuse of the dyeing technique.

**Key words:** continuous micro-filtration; dyeing wastewater; reverse osmosis; pretreatment

纺织印染业是我国 5 大废水排放行业之一,每天排放的印染废水 300 万~400 万 t,且废水中有机污染物含量高。实行最严格的水资源管理制度,落实用水量、用水效率、纳污总量 3 条红线管理,必须对印染业废水进行再生处理回用,这也是建设资源节约型和环境友好型社会的必经之路。

越来越多的研究表明,膜分离技术是印染废水回用最可行的技术之一<sup>[1-2]</sup>。反渗透(以下简称 RO)具有优异的脱色、脱盐效果,其出水水质完全能够满足纺织印染工艺废水回用的要求。而预处理效果直接影响着 RO 系统的稳定运行、RO 膜的使用寿命与清洗周期等<sup>[3-4]</sup>。本实验通过测定 COD、膜污染指数(SDI)值、浊度、色度来研究连续微滤(以下简称 CMF)为印染废水回用 RO 系统进行预处理的可行性。

## 1 实 验

### 1.1 实验材料

废水来源于南通某印染企业二沉池出水,该印染企业主要从事短纤、长丝坯布、色织布、绒布和精、粗毛布的生产与销售,其废水主要来源于染色工段,废水的主要成分为 COD、BOD<sub>5</sub>、色度等,COD 的质量浓度在 1 200~1 800 mg/L,色度在 300~450 PCU。采用“水解酸化+接触氧化+砂滤池”工艺进行废水处理,经处理后的出水水质达到膜处理装置的进水要求,即 pH=6~9,ρ(COD)≤180 mg/L,ρ(BOD<sub>5</sub>)≤25 mg/L,ρ(SS)≤70 mg/L。

### 1.2 实验装置与实验方法

CMF 膜选用天津膜天膜工程技术有限公司研制的

基金项目:江苏省水利科技重点项目(2009033)  
作者简介:张云(1983—),女,工程师,硕士,主要从事环境化学与水资源保护方面的研究。E-mail:zhangyun\_1983924@163.com

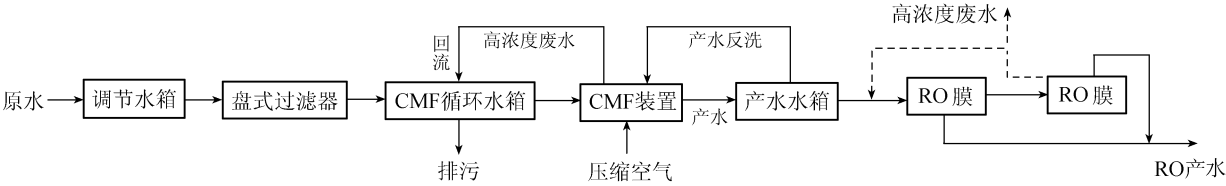


图1 CMF+RO 系统的工艺流程

内压式聚偏氟乙烯中空纤维滤膜组件(  $\varnothing 160\text{ mm}\times 1730\text{ mm}$  )1根,膜表面积为  $40\text{ m}^2$ 。CMF+RO 运行的工艺流程见图1。RO 膜采用陶氏 TW30~4014 膜组件。RO 装置由高压泵、两段 RO 膜及出水箱组成。

CMF 进水为原污水处理系统水解酸化+接触氧化+砂滤池的出水,水质指标为: $\rho(\text{COD})=168.2\text{ mg/L}$ ,浊度为  $20\text{ NTU}$ ,  $\rho(\text{SS})=63.2\text{ mg/L}$ ,  $\text{pH}=6\sim 9$ ,色度为  $30\text{ PCU}$ 。RO 实验进水为本实验中的 CMF 产水。

1.3 测定指标与方法

实验中通过测定 CMF+RO 系统运行的压力来考察膜系统运行的稳定性,测定 COD 质量浓度、SDI 值、浊度、色度来研究 CMF 为印染废水回用 RO 系统进行预处理的可行性。实验中 COD 质量浓度的检测采用重铬酸钾法,浊度的检测采用分光光度法,SDI 值的测定采用 SDI 值测定仪法,色度的检测采用铂钴比色法,电导率的检测采用电极法。

2 结果与讨论

2.1 CMF 系统运行压力情况

对 CMF 系统的运行压力进行跟踪测定,结果见图2。

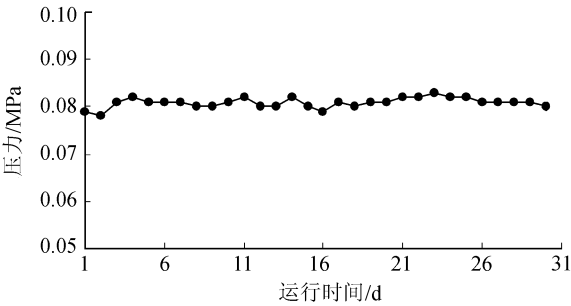


图2 CMF 运行压力变化情况

由图2可见,在1个月的运行过程中,CMF 的运行压力变化很小,运行情况十分稳定,这主要因为采用了恒流量(渗透通量为  $1000\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ )的 CMF 运行方式。

2.2 CMF 系统对 COD 的去除效果

对 CMF 系统进出水的 COD 质量浓度值进行连续1个月的跟踪监测,结果见图3。

由图3可见,CMF 系统进水中 COD 质量浓度值存在较大的波动,但通过微滤膜的截留作用,产水中

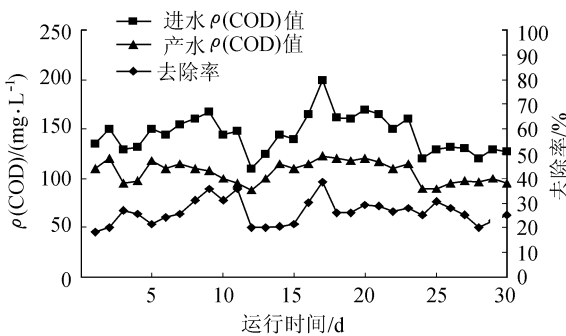


图3 CMF 膜过滤对 COD 的截留情况

的 COD 质量浓度值基本稳定在  $100\text{ mg/L}$  上下,去除率最高可以达到  $40\%$  左右,这保证了膜出水水质具有较高的稳定性,提高了印染废水回用的可靠性。

2.3 CMF 系统过滤产水的膜污染指数值变化情况

CMF 产水的膜污染指数值是 RO 进水水质的主要控制指标,它表征水中胶体和悬浮颗粒等的数量,直接关系到 RO 膜的运行寿命<sup>[5-7]</sup>。实验中采用 SDI 值测定仪来测定膜污染指数值:在膜直径为  $47\text{ mm}$ 、微孔直径为  $0.45\text{ }\mu\text{m}$  的微孔滤膜上连续加入一定压力( $30\text{ PSI}$ ,相当于  $2.1\text{ kg}/\text{cm}^2$ )的被测定水,记录滤得  $500\text{ mL}$  水所需的时间  $T_i$  和  $15\text{ min}$  后再次滤得  $500\text{ mL}$  水所需的时间  $T_r$ ,按式(1)求得阻尼系数  $P_1$ 。

$$P_1 = \left(1 - \frac{T_i}{T_r}\right) \times 100\% \tag{1}$$

$$S_{\text{SDI}} = P_1/15 \tag{2}$$

式中, $S_{\text{SDI}}$  为 SDI 值,15 指  $15\text{ min}$ 。

为掌握微滤膜产水的情况,连续  $18\text{ d}$  对膜产水的膜污染指数值进行跟踪监测,结果见图4。

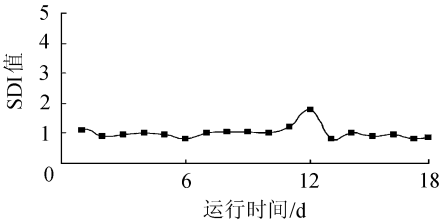


图4 CMF 产水 SDI 值变化情况

从图4来看,膜产水的 SDI 值一直维持在一个较低的水平,大部分数值均在  $1.5$  以下,而进入 RO 膜的污染指数值一般要求小于  $5$ <sup>[8]</sup>,这一方面表明 CMF 有着较好的出水效果,同时也表明 CMF 系统出水满足进入 RO 处理工艺的基本要求。

表 1 CMF 产水、RO 产水、自来水水质对比

| 项 目                 | $\rho(\text{SO}_4^{2-})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | $\rho(\text{Cl}^{-})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | $\rho(\text{Ca}^{2+})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | $\rho(\text{硬度})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | $\rho(\text{COD})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | $\rho(\text{TFe})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | $\rho(\text{TMn})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | 电导率/<br>$(\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1})$ | 浊度/NTU | 色度/倍 |
|---------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------|------|
| 自来水                 | 35.5                                                     | 19.3                                                  | 120.0                                                  | 160.0                                             | 10                                                 | 0.04                                               | <0.01                                              | 240                                          | 0.51   | <5   |
| CMF 产水              | 480.0                                                    | 580.0                                                 | 96.0                                                   | 360.0                                             | 130                                                | 1.20                                               | 0.60                                               | 5 200                                        | 0.1    | 5    |
| RO 产水               | 1.2                                                      | 2.8                                                   | 0.8                                                    | 2.5                                               | 未检出                                                | 未检出                                                | 未检出                                                | 100                                          | 未检出    | 未检出  |
| 去除率(%) <sup>①</sup> | 99.7                                                     | 99.5                                                  | 99.2                                                   | 99.3                                              | 100                                                | 100                                                | 100                                                | 98.1                                         | 100    | 100  |

注:①去除率指 RO 对 CMF 产水中污染物的去除率。

2.4 CMF 系统对色度的去除效果

为考察 CMF 系统对色度的去除效果,对 CMF 系统进水、产水的色度进行跟踪监测,结果见图 5。由图 5 可见,微滤膜过滤后,水的色度有了明显降低,进水的色度约为产水的 4~8 倍。

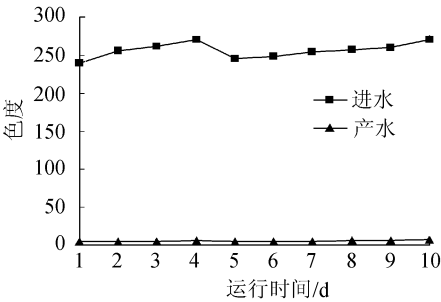


图 5 CMF 系统对色度的去除效果

2.5 CMF 系统对电导率的去除效果

为考察 CMF 系统对电导率的去除效果,采用电导率仪法对 CMF 系统进出水水质的电导率进行跟踪监测。结果表明,微滤膜出水的电导率降低程度很小,产水的电导率维持在 4 500~7 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  左右。这可能是由于膜截留的颗粒及胶体物质仍对离子有一定的吸附作用。

2.6 RO 深度处理

RO 是 CMF 后的一道工序,具有优异的脱色、脱盐效果。对 CMF 膜产水进行 RO 处理研究,首先要对 RO 膜处理的压力变化情况进行跟踪测定,结果见图 6。

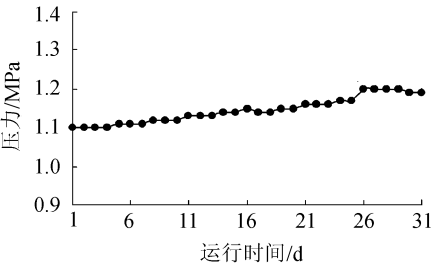


图 6 RO 系统的运行压力变化

由图 6 可看出,经过 CMF 的预处理后,RO 系统基本保持稳定运行,运行压力为 1.1~1.2 MPa。电导率是反映 RO 膜截留性能的一个重要指标,也是衡量印染废水是否可以回用的一个重要指标<sup>[9-10]</sup>。图 7 显示 RO 系统产水电导率变化情况。由图 7 可

知,整个 RO 过程中产水电导率都维持在 120  $\mu\text{S}/\text{cm}$  以下,脱盐率始终稳定在 98% 以上,达到了印染废水的回用标准。

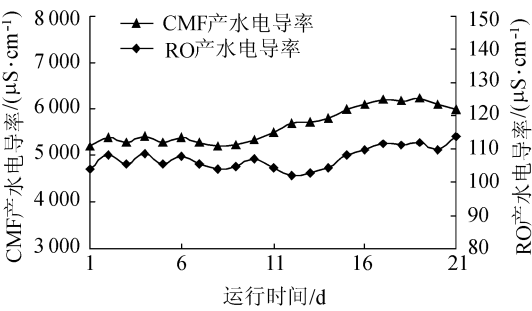


图 7 RO 系统产水电导率变化情况

在进水压力 1.2 MPa 的条件下,RO 系统进水、产水的具体水质指标见表 1。

从表 1 中可以看出,RO 对 CMF 产水中的大部分污染物均具有很高的去除率,对于常见的  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^{-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  等离子,去除率均大于 99%,产水水质优于自来水的水质,完全满足纺织印染工艺的要求。

3 结 论

a. 对印染废水二级生化处理后达标的废水,采用 CMF 膜进行预处理,系统运行稳定,出水色度、SDI 值均达到 RO 系统进水的要求。

b. 经 CMF 系统预处理后,RO 系统能够稳定运行,出水水质完全满足纺织印染工艺的要求。“CMF+RO”系统应用于印染废水的再生回用处理,自动化、连续化程度高,投资回收期短,具有较好的推广前景。

参考文献:

[1] 阮新潮,王涛,曾庆福. 印染废水的深度处理及回用[J]. 工业水处理,2006,26(4):22-24.  
[2] 胡萃,黄瑞敏,林德贤,等. 膜分离技术在印染废水回用中的应用现状[J]. 江西科学,2006,24(4):187-190.  
[3] 阮慧敏,褚红,阮水晶,等. 膜集成技术在印染废水回用中的应用研究[J]. 现代化工,2009,29(10):73-75.  
[4] 魏娜,张雁秋,季凯. 膜分离技术在印染废水回用中的研究和应用[J]. 净水技术,2009,28(5):1-5.  
[5] 徐竟成,许健,李光明,等. 微絮凝-微滤用于印染废水回用反渗透预处理的试验研究[J]. 环境工程学报,2007,1(1):64-68.

(下转第 65 页)

- 徽;安徽理工大学,2009.
  - [29] ASLAN A,TURKMAN A. Combined biological removal of nitrate and pesticides using wheat straw as substrates [J]. Process Biochem,2005,40:935-943.
  - [30] 张燕,陈余道,渠光华. 乙醇对地下水中硝酸盐去除作用的研究[J]. 环境科学与技术,2008,31(12):72-76.
  - [31] GOMEZ M A,GONZALEZ-LOPEZ,HONTORIA-GARCIA E. Influence of carbon source on nitrate removal of contaminated groundwater in a denitrifying submerged filter[J]. Hazardous Materials,2000,B80:69-80.
  - [32] ROBERTSON W D, BLOWES D W. Long-term performance of situ reactive barriers for nitrate remediation [J]. Ground water,2000,38(5):689-695.
  - [33] SOARES M I M, ABELIOVICH A. Wheat straw as substrate for water denitrification [J]. Water Res,1998,32(12):3790-3794.
  - [34] 沈梦蔚. 地下水硝酸盐去除方法的研究[D]. 杭州:浙江大学,2004.
  - [35] SCHIPPER L A, VOJVODIC-VUKOVIC M. Nitrate removal from groundwater and denitrification rates in a porous treatment wall amended with sawdust [J]. Ecological Engineering,2002,14(3):269-278.
  - [36] VOLOKITA M, BELKIN S, ABELIOVICH A, et al. Biological denitrification of drinking water using newspaper[J]. Water Res,1996,30(4):965-971.
  - [37] SCHIPPER L A, VOJVODIC-V M. Five years of nitrate removal, denitrification and carbon dynamics in adenitrification wall[J]. Water Res,2001,35(14):3473-3477.
  - [38] 罗泽娇,王焰心. 地下水脱氮技术研究进展[J]. 工程与技术,2004,4:22-23.
  - [39] SCHIPPER L A,BARKLE G F,HADFIELD J C,et al. Hydraulic constraints on the performance of a groundwater denitrification wall for nitrate removal from shallow groundwater[J]. Journal of Contaminant Hydrology,2004,69(3/4):263-279.
  - [40] 孔繁鑫,朱端卫. 脱氮沟对农业面源污染中地下水硝酸盐的去除效果[J]. 农业环境科学学报,2008,27(4):1519-1524.
  - [41] ZHAO H W, DONALDS M. Controlling factors for simultaneous nitrification and denitrification in a two-stage intermittent aeration process treating domestic sewage[J]. Water Res,1999,33(4):961-970.
  - [42] ROBERTSON L A,KUENEN J G. Aerobic denitrification: a controversy revived [J]. Arch Microbiol,1984,139:351-354.
  - [43] FRETTE L,GEJLSBJERG B, WESTERMANN P. Aerobic denitrifies isolated from an alternating activated sludge system[J]. FEMS Microbiology Ecology,1997,24:363-370.
  - [44] 李永勇,罗泽娇,毛绪美,等. 好氧反硝化细菌的筛选及反硝化效率测定[J]. 安徽农业科学,2008,36(6):2191-2193.
  - [45] DAHAB M F. Nitrate reduction by in-situ biodenitrification in groundwater [J]. Wat Sci Tech,1992,26(7/8):1493-1602.
  - [46] KRUTHOF J C. Experiences with nitrate removal in the eastern Netherlands [C]. Nitrate dansLes Eaux. Paris Unpublished Conference Proceedings,1985:22-24.
  - [47] KHAN I A,LEE P Y. SPALDING R F. Enhanced in-situ denitrification for a municipal well [J]. Water Res,2004,38:3382-3388.
  - [48] BRAESTER C,MARTINELL R. The Vyredox and Nitredox method of in situ treatment of groundwater [J]. Wat Ei Teehnol,1988,20:149-163.
  - [49] 张胜,张云,张翠云. 河北平原地下水 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 污染的原位微生物修复[J]. 地质通报,2006,25(5):73-79.
  - [50] 李盛源. 透水性净化壁による硝酸性窒素の原位浄化 [D]. 平城:筑波大学,2010.
  - [51] BOLEY A,MIILLE W R, HAIDER G. Biodegradable polymers as solid substrate and biofilm carrier for denitrification in recirculated aquaculture systems [J]. Aquacultural Engineering,2002,22:75-85.
  - [52] 田瀬則雄. 硝酸亞硝酸性窒素による地下水汚染の現状と動向[J]. 環境管理,2004,40(3):47-55.
  - [53] 田瀬則雄. 硝酸性窒素による地下水汚染[J]. 地下水技術,2006,48(1):31-43.
  - [54] 汪民,吴永锋. 地下水环境工程-水文地质发展的新动向[J]. 地球科学,1995,20(4):465-468.
  - [55] 吴耀国. 地下水环境中反硝化作用[J]. 环境污染治理技术与设备,2002,3(3):27-31.
  - [56] 张云,张胜,刘长礼,等. 强化有机碳源驱动地下水中的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 污染净化研究[J]. 环境污染与防治,2008,30(9):11-16.
- (收稿日期:2011-04-26 编辑:高渭文)
- +++++
- (上接第59页)
- [6] 杨泽志,奚旦立,毛艳梅. 微滤技术在纺织印染废水深度处理中的应用[J]. 印染,2007(14):6-8,15.
  - [7] 徐南平,邢卫红,赵宜江. 无机膜分离技术与应用[M]. 北京:化学工业出版社,2003:5-7.
  - [8] 毛艳梅,奚旦立. 优化设计制备动态膜及其对印染废水的深度处理[J]. 净水技术,2006,25(5):38-42.
  - [9] 张国平,徐宏凯,李士安,等. 高含盐印染废水的处理回用[J]. 净水技术,2006,25(2):59-61.
  - [10] 张永峰,王郁,许振良. 膜技术在废水处理中的应用[J]. 上海环境科学,2002,21(2):72-74.
- (收稿日期:2011-09-26 编辑:彭桃英)