

印染废水中水回用工艺组合选型

朱阿妹

宁波水艺膜科技发展有限公司杭州分公司, 浙江 杭州 310020

[摘要] 目前, 我们国家印染废水普遍采用双膜法(压力式超滤+反渗透)工艺进行深度处理来实现生产回用, 然而双膜法工艺存在高能耗、高污染、高清洗频率等“三高”问题。本文基于传统双膜法工艺在印染废水回用中所存在的问题, 研究分析浸没式超滤+高分离纳滤膜在印染废水回用中的可行性, 以期对印染废水深度处理及回用提供参考。结果表明, 浸没式超滤+纳滤工艺能够避免传统双膜法工艺频繁清洗, 回收率低(50%)的问题, 系统清洗周期大于1个月, 且回收率大于70%。证明了该工艺在印染废水回用中的可行性。

[关键词] 双膜法; 印染废水; 中水回用

DOI: 10.33142/sca.v6i2.8575

中图分类号: X79

文献标识码: A

Selection of Process Combination for Water Reuse in Printing and Dyeing Wastewater

ZHU Ashu

Hangzhou Branch of Ningbo Shuiyi Membrane Technology Development Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310020, China

Abstract: Currently, the dual membrane process (pressure ultrafiltration+reverse osmosis) is widely used in our country for advanced treatment of printing and dyeing wastewater to achieve production reuse. However, the dual membrane process has "three high" problems such as high energy consumption, high pollution, and high cleaning frequency. This article is based on the problems existing in the traditional double membrane process in the reuse of printing and dyeing wastewater. The feasibility of submerged ultrafiltration+high separation nanofiltration membrane in the reuse of printing and dyeing wastewater is studied and analyzed, in order to provide reference for the deep treatment and reuse of printing and dyeing wastewater. The results show that the immersion ultrafiltration+nanofiltration process can avoid the problem of frequent cleaning and low recovery rate (50%) in the traditional dual membrane process. The system cleaning cycle is more than one month, and the recovery rate is greater than 70%, which is proved the feasibility of this process in the reuse of printing and dyeing wastewater.

Keywords: double membrane method; printing and dyeing wastewater; water reuse

我们国家是印染纺织大国, 据不完全统计, 我国印染废水年排放量在 23 亿吨左右, 占工业废水总量的 35%, 而印染废水的回用率不足 10%^[1]。随着印染行业各种化学合成染料以及助剂的大量使用, 未经科学处理的废水对环境造成巨大冲击, 这些废水通常具有成分复杂、排放量大、水质不稳定、可生化性差、色度高、处理难度大等特点^[2], 成为印染废水处理的难题。

应国家纺织工业“十二五”科技进步纲要以及工信部和发改委的要求: 推广废水深度处理及回用技术, 要求水重复利用率要达到 35%以上。同时对印染废水进行回用不仅有利于改善水资源危机, 减少废水的排放, 也有利于提高企业的经济效益。

目前印染行业中水回用的工艺主体选型均为双膜法工艺, 但膜法种类选择相对较多, 不同的厂家采用不同的工艺组合也导致了业主对工艺选择的疑惑, 到底该如何选择适合自己的工艺越来越被广大业主所关心。压力式超滤+反渗透工艺? 浸没式超滤+反渗透工艺? 膜生物反应器+反渗透工艺? 甚至后段深度处理工艺可否采用低压运行的纳滤来替换常用的反渗透, 在这些不同的工艺包组合的

实际应用中业主到底该如何选择?

1 常见工艺包组合简介

印染废水是一种含有大量有机物和无机盐的高浓度污水, 处理难度较高, 同时也是水资源的浪费。为了提高水资源的利用率, 利用印染废水中的水资源进行回用已成为研究的热点。下面介绍一些可行的工艺组合选型:

1.1 预处理+压力式超滤+反渗透/纳滤工艺

压力式超滤系统是通过超滤截留废水中的胶体物质和可溶性大分子有机物, 从而能减轻反渗透 RO 膜的污染, 延长膜的使用寿命, 减少膜系统的运行成本。

压力式超滤+反渗透是目前国内印染废水中水回用应用最广泛的组合工艺, 在压力式超滤工艺前端需要增加预处理工艺多为机械过滤(如砂滤、活性炭等), 以此来降低超滤进水的悬浮物和浊度, 因此实际主体工艺流程为二沉池出水—机械过滤—压力式超滤—反渗透—生产端回用。

1.2 浸没式超滤+反渗透/纳滤工艺

浸没式超滤系统是二沉池出水直接进浸没式超滤膜池, 取代了机械过滤+压力式超滤, 对于来水波动较大, 且悬浮物浓度偏高的时候(30~50ppm)适合选用该工艺

组合。一般处理水量 > 5000 吨/天，选择浸没式超滤+反渗透/纳滤更有优势。

1.3 膜生物反应器+反渗透/纳滤工艺

膜生物反应器（简称 MBR）进水来源于前端生化反应的好氧池出水，进水有机物浓度较高，水质波动大，现场占地紧张时可以将膜生物反应器直接取代二沉池，并且 MBR 出水水质也能满足直接进反渗透/纳滤的水质要求。

1.4 多膜工艺段组合选型

利用膜生物反应器、超滤膜前置处理、纳滤或者反渗透膜工艺、正渗透膜后置处理等技术，将印染废水中的水资源进行回用。该工艺组合具有净水效率高、废水排放量少以及水质稳定等优点。

1.5 微生物处理工艺组合选型

采用生物接触氧化、MBR 工艺、MBBR 工艺等微生物处理技术处理印染废水，利用微生物将废水中有机物质转化为更容易降解的有机物和无机物，最终将水资源回用。该工艺组合具有处理效率高、设备投资少、运行费用低等优点。

1.6 高级氧化工艺组合选型

常见包括臭氧氧化法、紫外线氧化法、H₂O₂ 氧化法等，通过不同的物理、化学反应去除印染废水中大分子有机物、一些难降解的有机物、重金属等成分，最终将水资源回用。该工艺组合具有技术成熟、处理效率高、操作简单等优点。

2 如何选择工艺包组合的不同预处理工艺

在处理污水的过程中，不同的污染负荷、水质要求、处理效率等因素都会影响工艺包组合的选择。为了使工艺包组合达到最优效果，选择合适的中水回用前端预处理工艺也是非常关键的。以下是一些选择预处理工艺的几个关键考虑因素：

(1) 物理性质：预处理工艺通常是根据处理水质中的固体、液体或气体等物理属性来选择。例如，对于含有较高悬浮物和沉淀物的污水，通常采用物理预处理方法来去除这些物质，例如筛分、沉淀、过滤等方法。

(2) 化学性质：一些物质在水环境中不易分解，需要通过化学处理才能被去除。例如，在含有氨氮、氰化物、汞、铜、铅等污染物质较多的污水中，需要采用化学沉淀、氧化、还原等预处理工艺。

(3) 生物性质：生物预处理工艺在处理含有大量有机物质的污水中通常具有很好的处理效果。例如，采用好氧生物处理和厌氧生物处理工艺可以去除有机物且能够生产可靠的污泥。

(4) 能耗：选择低能耗预处理工艺能够降低运行成本和维护费用。例如，采用物理过滤和生物处理方法既能达到较高的处理效果，同时也具有较低的能耗。

选择合适的预处理工艺需要考虑到污水水质特性、要求的处理效果、成本和能耗等因素，并综合考虑现场实际情况进行选择。此外，为了达到预处理效果，需要结合后续采用的工艺包组合来选择合适的预处理方法，以充分发

挥工艺包组合的协同作用。

以下以 10000 吨/天印染废水设计规模为例，不同工艺包组合情况下的主要指标分析对比表格：

表 1 工艺组合指标分析表

	预处理（机械过滤）+UF+RO/NF	SMF+RO/NF	MBR+RO/NF
总体适用性	处理规模较小，二沉池出水水质较稳定，生产段回用水水质要求更高，不适合新建或改造土建池体的情况	处理规模较大，二沉池出水不太稳定，来水水质较波动	处理规模较大，占地紧张（二沉池直接改造为膜池）或者二沉池出水 SS 较高，生化出水水质有机物浓度偏高
进水水质	COD≤100, SS≤10	COD≤200, SS≤30	COD≤500, SS≤100
产水水质	浊度<0.1NTU, SDI ₁₅ <3	浊度<0.5NTU, SDI ₁₅ <3	浊度<0.5NTU, SDI ₁₅ <5
运行费用	中	低	高
投资概算（不含土建）	中	低	高
占地面积约	中	低	低（新建膜池时占地面积高）
优势	①厂房整体外观整洁②降低了 RO/NF 工艺段的膜污染频率③运行维护操作简单，自动化程度更高	①来水水质适用性较广②离线化学清洗比较方便③相对 UF+RO/NF 而言，运行能耗偏低、吨水投资较低④占地最节约	①节约占地，可二沉池直接改造为膜池②对生化出水水质要求更宽泛③相对 UF+RO/NF 而言，运行能耗偏低、吨水投资较低，相比 SMF+RO/NF 吨水投资偏高
缺点	①运行能耗较高②设备投资较高（需要预处理）	相比 UF+RO/NF，膜池敞开，观感较差	①设备膜产品投资偏高②出水水质不稳定③RO/NF 工艺段膜污染频率偏高④膜池敞开，观感较差

综上所述对比分析，一般情况下印染废水中水回用可以以浸没式超滤工艺首选考虑：①其进水水质指标可以相对较宽泛，对生化段出水控标没有 UF+RO/NF 严格，减轻了生化段压力，一定程度上节约了生化段投资；②且其出水水质相比 MBR 出水更稳定更优，更好地保护了后段 RO/NF 工艺，减少 RO/NF 膜污染；③同时 SMF 工艺相对运行能耗以及吨水投资均更为经济。

3 如何从不同生产端的回用标准来选择中水回用后段工艺

不同生产端的回用标准是决定中水回用后段工艺选择的重要因素，因为每个生产端的中水回用标准可能不同，对于中水回用后段的工艺选择也会产生显著的影响。以下是选择中水回用后段工艺的几个关键考虑因素：

(1) 回用标准要求：回用标准主要涉及水质的各项

指标, 包括化学需氧量 (COD)、总悬浮物 (TSS)、氨氮 (NH₃-N)、总磷 (TP)、细菌总数等等。根据生产过程中要求回用水质的各项参数, 选择对应的后段工艺, 满足回用水质要求。

(2) 处理效率: 选择具有高效率的中水回用后段工艺, 可以有效地去除废水中的有机物、微生物和悬浮物等, 从而达到回用标准。

(3) 工艺复杂度: 选择简单操作、维护成本低的中水回用后段工艺, 可以降低运营成本和维护成本。

在选择合适的中水回用后段工艺时, 需要综合考虑以上因素, 并结合企业实际情况进行选择。需要注意的是, 为了确保中水回用水质的稳定性和安全性, 应选择具备完善的自动控制系统和运行管理体系的中水回用后段工艺。印染废水回用水的主要去向有两种: 漂洗和染色/印花。《纺织染整工业废水治理工程技术规范》HJ471-2020 对这两类回用水水质做出了各项建议值如下:

表 2 漂洗用回用水水质

序号	项目	数值
1	色度 (倍)	25
2	总硬度 (以 CaCO ₃ 计, mg/L)	450
3	pH 值	6.0-9.0
4	铁 (mg/L)	0.2-0.3
5	锰 (mg/L)	≤0.2
6	透明度 (cm)	≥30
7	悬浮物 (mg/L)	≤30
8	化学需氧量 (mg/L)	≤50
9	电导率 (μs/cm)	≤1500

表 3 染色/印花回用水水质

序号	项目	数值
1	色度 (倍)	≤10
2	总硬度 (以 CaCO ₃ 计, mg/L)	见注
3	pH 值	6.5-8.5
4	铁 (mg/L)	≤0.1
5	锰 (mg/L)	≤0.1
6	透明度 (cm)	≥30
7	悬浮物 (mg/L)	≤10

注: 硬度小于 150mg/L 可全部用于生产。硬度在 150-325mg/L 之间, 大部分可用于生产, 但溶解染料应使用硬度小于或等于 17.5mg/L 的软水。

结合以上表格中水质指标分析, 印染工艺回用水对盐分要求并不高, 反而均对有机物和色度去除的要求更高。结合反渗透膜和纳滤膜的区别, 纳滤膜的特性正好在对分子量 200 以上的有机物和色度的脱除率能高达 90% 以上, 对盐分的去除率较 RO 低, 运行压力相对低很多。因此纳滤膜的特性正好可以满足印染回用水处理的要求, 从经济性和原理上综合考虑, 中水回用后段工艺可以根据不同生

产用水实际需求出发, 选择合适的工艺。

4 水艺印染废水浸没式超滤+纳滤中水回用中试案例分享

4.1 项目概况

本次中试地点位于广东东莞市麻涌镇豪丰工业园印染废水回用项目, 该项目现有工艺为物化→生化→后物化→芬顿→pH 回调出水, 为进一步去除悬浮物、有机物、二价盐等, 保障产水能够进行回用, 后续欲增加浸没式超滤+纳滤组合工艺。中水回用主要进水水质数据如下:

表 4 进水水质数据表

COD (mg/L)	氯化物 (mg/L)	pH 值	硫酸盐 (mg/L)	TDS (mg/L)	钙离子 (mg/L)	铁 (mg/L)	总硬度 (mg/L)
73.79	1163.26	10.54	6886.98	2880.03	14.11	0.36	110.87

4.2 中试运行概况

浸没式超滤工艺段选用水艺 US-A 系列产品, 纳滤工艺段选用水艺 DNF2 系列产品用于该中试试验。

①浸没式超滤运行通量与产水压力变化图: 中试运行数据分析得出: 浸没式超滤通量在 30~34LMH 范围内运行时, 系统稳定性较好; 中试进水浊度 0.50NTU, 产水浊度达到 0.10NTU。

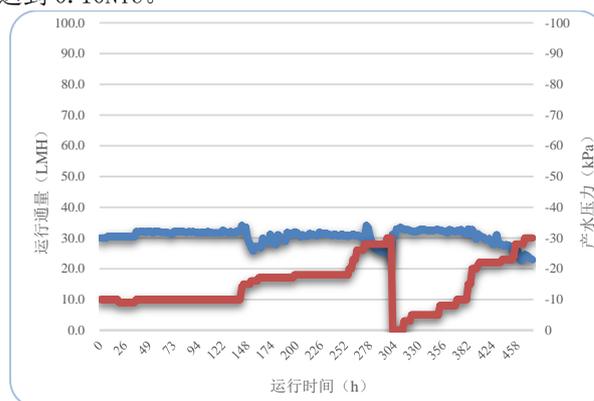


图 1 压力变化图

②纳滤系统运行通量与压力变化图: 运行压力稳定在 0.32MPa 左右; 实际产水回收率 70%; 且通过数据分析得知直接运行成本仅 1.06 元/吨水。

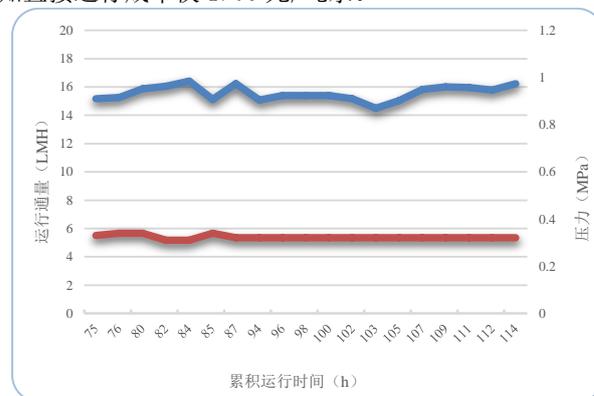


图 2 压力变化图

表 5 水质分析表

COD mg/L	氨氮 mg/L	总磷 mg/L	氯离子 mg/L	硫酸根 mg/L	总锰 mg/L	TDS mg/L	钠离子 mg/L	钙 mg/L	铁 mg/L	色 度	硬度 mg/L
10.75	0.97	0.09	41.75	84.35	0.02	165.00	779.20	9.91	0.01	2	39.67

③最终系统产水水质分析如下：

结合参考本文表 3 的染色/印花回用水质标准，该中试系统在 0.32MPa 低压运行条件下的产水水质完全满足该标准，可以用于染色/印花生产回用。

5 印染废水中水回用工艺包组合选型总结

总体来说，可根据项目现场场地、生化段来水水质情况、业主从感观要求以及经济性因素等各个方面综合考虑来选择不同的中水回用前段预处理工艺（机械过滤+压力式超滤，浸没式超滤，膜生物反应器），尤其对处理规模较大的项目建议首选浸没式超滤预处理。

后段反渗透或者纳滤则根据不同生产用水需求来决定，产水对电导要求不高的完全可以选择低压纳滤替换反渗透，且纳滤系统本身相比反渗透：运行能耗低、运行费用低，回收率高，浓水更好处理等优势。而对电导要求高的生产用水仍以脱盐率高的反渗透工艺优先考虑。

6 结语

印染废水中水回用工艺组合选型是处理印染废水的重要环节，合理选型可以及时高效地将水资源回用、达到环保和节能效果。根据印染行业特点，印染废水处理难度大，处理成本高，同时中水回用需求较大。因此，需要选择高效、可靠、技术成熟的工艺组合，如膜工艺、微生物

处理工艺、高级氧化工艺等。针对不同的回用类别和水质标准，选择不同的中水回用工艺组合。例如，对于工业回用水需求，可以采用膜工艺组合；对于农业回用水需求，可以采用微生物处理技术等。

为确保中水回用后水质稳定和运行安全，建议采用多级工艺组合。例如，先采用物理预处理技术去除悬浮物、沉淀废泥，然后采用生物处理或高级氧化工艺降解污染物，最后使用膜工艺等技术进行净化。印染废水中水回用工艺组合选型需要综合考虑印染行业特点、回用类别和标准、处理技术、污泥处理、处理成本等因素。合理的工艺组合能够提高水资源利用效率，降低成本，实现环保与经济的双重效益。

[参考文献]

- [1] 杨占红. 不同方法深度处理印染废水的比较研究[J]. 工业水处理, 2010, 30(7): 42-45.
 - [2] 谷俊辉. 印染废水处理工艺研究与进展[J]. 山东工业技术, 2018, 000(05): 27-28.
 - [3] 胡茂华. 膜技术在印染废水回用中的应用[J]. 低碳世界, 2019, 9(1): 8-10.
 - [4] 惠宇涛, 陆虎妹. 印染废水处理工艺及回用技术研究[J]. 资源节约与环保, 2016(11): 44.
- 作者简介：朱阿姝(1987.8-), 毕业院校：大连理工大学，所学专业：环境科学与工程，当前就职单位：宁波水艺膜科技发展有限公司杭州分公司，职务：技术支持经理，职称级别：中级工程师。