

邻苯二甲酸氢钾对纳滤膜和反渗透膜分离影响

蔡景成, 孙瑞松, 郭 飞

(大连理工大学能源与动力学院 辽宁 大连 116023)

摘 要 利用自主搭建的基于平板膜的纳滤-反渗透实验系统,参照一种实际煤化工分盐流程的废水配制实验样本,测定了不同废水离子含量下纳滤膜和反渗透膜对 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的截留率以及废水中添加邻苯二甲酸氢钾对纳滤膜和反渗透膜截留 Cl^- 和 SO_4^{2-} 效果的影响。结果表明,当 SO_4^{2-} 的质量浓度小于 4 g/L 时,在废水中添加邻苯二甲酸氢钾不影响纳滤膜对 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的截留率。当 SO_4^{2-} 的质量浓度大于 4 g/L 时,废水中添加邻苯二甲酸氢钾提高了纳滤膜对 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的截留率,但导致纳滤膜的分盐效果变差。废水中添加邻苯二甲酸氢钾对反渗透膜截留 Cl^- 和 SO_4^{2-} 没有影响,反渗透膜的分盐效果也不变。研究可为采用膜法分盐的技术处理工业废水提供理论分析和数据支持。

关键词 纳滤;反渗透;邻苯二甲酸氢钾;分离膜;COD

中图分类号 :TQ028.8

文献标识码 :A

文章编号 :1000-3770(2018)11-0088-005

我国是以煤炭为主要能源的国家,因此煤化工产业每年产生的废水总量非常大。煤化工废水处理方法包括物理化学法和生物氧化法。目前一般采用的处理流程为首先采用生物氧化法除去废水中的氨氮和大部分有机物^[1]。但是经生物氧化法处理过的废水仍含有无机盐离子和难降解的有机物。利用膜分离技术对废水进行脱盐、分盐处理是一种非相变分离过程,并在工业废水处理领域受到越来越大的关注。膜分离方法可以利用膜孔有效筛分直径不同的污染物,提高产水品质^[2-3]。废水经膜分离方法处理后,其中的污染物集中在膜浓缩液中。最后膜浓缩液可采用高级氧化法(如 Fenton 法和类 Fenton 法等)进行处理^[4]。高级氧化法氧化能力强,可直接处理高浓有毒害和难降解有机物,最终达到零排放目的。

纳滤(NF)和反渗透(RO)都属压力驱动膜^[5]。NF膜的膜孔直径约 1 nm^[6]。NF膜的分离机理一种是筛分效应,筛分机理为依靠膜的孔隙截留直径比膜孔直径大的离子;另一种是道南效应,即 NF 膜的表面电荷排斥与膜表面电荷电性相同的离子向膜表面扩散,这 2 种效应使 NF 膜对废水中的大多数有机物和多价盐离子具有很高的截留率^[6]。RO 膜的膜孔直径(0.3~0.5 nm)比 NF 膜小,理论上只容许水分子透过膜,因此 RO 技术可以提高出水品质,达到回用或排放标准^[7]。因此近年来膜分离技术被广泛

应用于水处理过程中,其具有分离效率高、能耗低、无二次污染和便于流程操作等特点,目前在水处理、化工、食品和医药等行业内均有应用^[8-11]。

以往研究表明,废水通过生物法处理后,其中的有机物大部分被降解^[12]。降解产物的分子量较大,可以直接被 NF 膜截留,NF 膜对其截留率高达 90%以上^[13]。RO 膜对 COD 的截留率可达 95%以上^[14]。但是废水中有机物会改变 NF 膜和 RO 膜的表面性质和水的表面张力。虽然有大量关于 NF 和 RO 对 COD 截留的研究,但是 COD 对 NF 膜和 RO 膜截留废水中其他物质的影响研究却较少。因此本研究以煤化工废水脱盐分盐流程中含有离子为参照,探讨废水中离子含量以及废水中添加邻苯二甲酸氢钾(PB)对 NF 膜和 RO 膜截留 Cl^- 和 SO_4^{2-} 效果的影响。

1 实验部分

1.1 水样与试剂

参照相关煤化工企业 NF-RO 联用膜法脱盐分盐流程中的废水样品,根据废水样品中的 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 Na^+ 含量配置水样。为验证 COD 对 NF 膜和 RO 膜截留 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的影响,选用 PB 作为 COD 物质加到废水中。所有废水采用同一 COD(100 mg/L)。

实验试剂有氯化钠、无水硫酸钠和 PB 等,均分析纯。

收稿日期:2018-02-06

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(DUT17JC05)

作者简介:蔡景成(1990—),男,博士研究生,研究方向为膜法脱盐技术,联系电话:15242606223,电子邮件:21310059@mail.dlut.edu.cn

联系作者:郭 飞,教授,博士生导师,电子邮件:feiguo@dlut.edu.cn

1.2 实验装置

实验采用小型平板膜分离装置。平板膜分离装置由增压泵(EC-103-75)、膜组件、节流阀、压力表和储液罐组成,如图1所示。其中膜组件如图2所示。

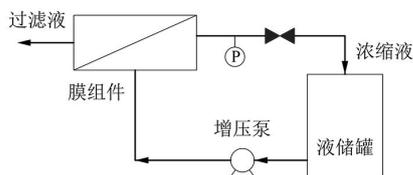


图1 过滤操作过程

Fig.1 Schematic diagram of filtration process

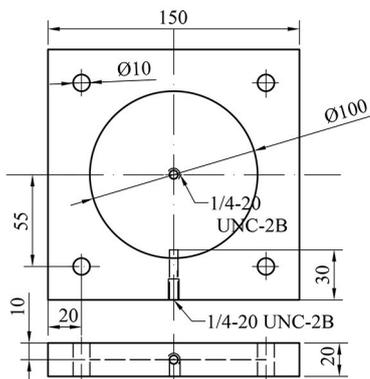


图2 膜组件内部结构

Fig.2 Internal structure of membrane module

储液罐的废水经增压泵加压后进入膜组件进行过滤。过滤液流出膜组件留做后续检测,浓缩液回流进入储液罐。采用压力传感器(CYYZ11-HK-67-RS-16-B-G)对操作压力进行实时监测。出水压力通过节流阀开度进行调控。

膜组件包含2个15 cm×15 cm×20 cm的铝合金板。铝合金板上铣削直径10 cm、深1 cm的圆槽作为膜池,有效面积78.5 cm²。NF膜规格为ESNA1-4040,该膜最高耐受温度为45℃,可承受最大运行压力为4.14 MPa,进水pH为3~10。RO膜规格为BW60-1812-75,该膜最高耐受温度为45℃,最大运行压力1 MPa,进水pH为2~11。实验时将膜裁剪成直径约为11 cm的膜片,然后将膜片装夹在膜组件中,通过螺栓连接将膜组件加压密封。所有实验的膜组件内运行压力为0.8 MPa,进水体积流量为0.1 L/min,整个系统运行温度为室温(25℃)。

1.3 分析方法

Cl⁻含量测定采用离子计(PXS-270)。SO₄²⁻含量测定采用硫酸盐测定仪(LS-1A),测试按照HJ/T 342—2007步骤进行操作^[15]。

1.4 预处理

首先用自来水对实验装置系统进行试运行,检测装置运行情况。待整个系统运行稳定,无泄漏点、无故障后,对整个系统进行泄压,导出管路及膜池内

驻留的水。再用去离子水清洗管路3次,排出管路内残余水。最后采用配置水样进行实验。每次实验完成后,用去离子水清洗实验装置及管路3次,消除装置内残余废水对下一次实验的影响。新RO膜和NF膜在实验前先用去离子水试运行24 h,使RO膜和NF膜在过滤水样时稳定运行。

水样采用氯化钠、硫酸钠和PB按照NF-RO联用膜法脱盐分盐流程中的废水的离子含量进行配置。所有水样的PB质量浓度为100 mg/L。配置的水样在实验装置内循环过滤。实验启动阶段,将过滤液回流至储液罐中。待系统稳定运行30 min后,开始收集实验装置过滤液进行离子检测。

2 结果与讨论

2.1 离子含量对NF膜截留Cl⁻和SO₄²⁻的影响

图3是废水中Cl⁻和SO₄²⁻含量对NF膜截留Cl⁻和SO₄²⁻效果的影响。

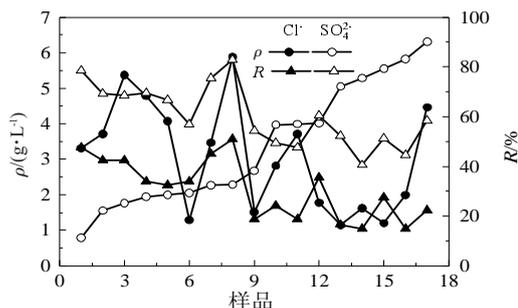


图3 NF膜Cl⁻和SO₄²⁻含量对其截留率的影响

Fig.3 Effect of Cl⁻ and SO₄²⁻ content on its rejection rate by NF membrane

由图3可知,随着SO₄²⁻含量的增加,NF膜对Cl⁻和SO₄²⁻的截留率R呈总体减小趋势,分别在10%~40%和40%~70%。在测试的离子含量范围内,NF膜对SO₄²⁻的截留率比对Cl⁻的截留率约高30个百分点。这与理论上NF膜对2价盐截留效果较好相符合。当SO₄²⁻的质量浓度小于3 g/L时,NF膜对Cl⁻和SO₄²⁻的截留率分别约为40%和70%。在此SO₄²⁻含量范围内,随着Cl⁻含量的增加,NF膜对Cl⁻和SO₄²⁻的截留率均有小幅度降低,但几乎不受SO₄²⁻含量的影响。当SO₄²⁻的质量浓度大于4 g/L时,NF膜对Cl⁻和SO₄²⁻的截留率分别约为20%和50%,此时NF膜对Cl⁻和SO₄²⁻的截留率几乎不受离子含量的影响。综上所述,NF膜对Cl⁻和SO₄²⁻的截留率会随SO₄²⁻含量的增加而降低。

离子的水合离子直径是NF膜对该离子的截留率的影响因素之一。离子的水合离子直径越大,NF膜对该离子的截留率越大^[11]。由于SO₄²⁻的水合离子直径($d_s=0.762$ nm)大于Cl⁻的水合离子直径($d_c=$

0.664 nm) 因此 NF 膜对 SO_4^{2-} 的截留率比对 Cl^- 的截留率高^[11]。同时所用的芳香聚酰胺 NF 膜在 $\text{pH} > 4$ 时膜表面带负电荷, 而 SO_4^{2-} 所带的负电荷比 Cl^- 的多, 因此 NF 膜对 SO_4^{2-} 排斥力更大, 由此也造成 NF 膜对 SO_4^{2-} 的截留率较大^[16]。离子透过 NF 膜的方式也可以用溶解扩散模型解释, 溶解扩散模型推动力为 NF 膜两侧的渗透压差^[17]。渗透压差主要与离子含量有关, 离子浓度越大, 渗透压差越大。膜两侧的离子浓度差越大, NF 膜对该离子的截留率越小。

2.2 离子含量对 RO 膜截留 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的影响

图 4 是废水中 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量对 RO 膜截留 Cl^- 和 SO_4^{2-} 效果的影响。

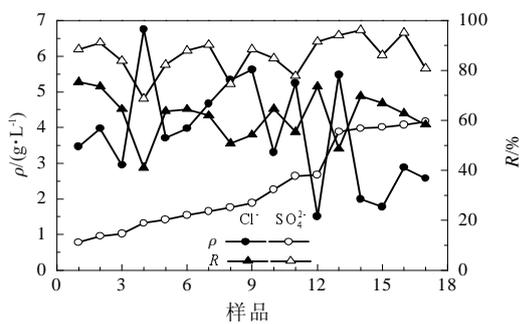


图 4 RO 膜 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量对其截留率的影响

Fig.4 Effect of Cl^- and SO_4^{2-} content on its rejection rate by RO membrane

由图 4 可知, RO 膜对 SO_4^{2-} 的截留率在 80% 以上。对比图 3 和图 4 可知, RO 膜对 SO_4^{2-} 的截留效果好于 NF 膜对 SO_4^{2-} 的截留效果。RO 膜对 Cl^- 的截留率在 60%~80%。当 Cl^- 的质量浓度与 SO_4^{2-} 的质量浓度比大于 1.5 时, Cl^- 含量增加会降低 RO 膜对 Cl^- 的截留率, 但 SO_4^{2-} 含量几乎不影响 RO 膜对 Cl^- 的截留率。当 Cl^- 与 SO_4^{2-} 的质量浓度比小于 1.5 时, Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量的增大会降低 RO 膜对 Cl^- 的截留率。RO 膜对 SO_4^{2-} 的截留率比 Cl^- 的截留率约高 20 个百分点。

由流体在 RO 膜孔隙内的流动模型可知, RO 膜对离子的截留率的大小主要由该离子的水合离子直径决定, 离子的水合离子直径越大, RO 膜对其截留率越高^[11,18]。 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的水合离子直径都比 RO 膜孔径 (0.3~0.5 nm) 大, 因此 RO 膜对 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的截留率都比较高, 由于 Cl^- 的水合离子直径比 SO_4^{2-} 的水合离子直径小, 因此 RO 膜对 Cl^- 的截留率比对 SO_4^{2-} 的截留率小。

NF 膜对 SO_4^{2-} 的截留率比对 Cl^- 的截留率约高 30 个百分点, 而 RO 膜对 SO_4^{2-} 的截留率比对 Cl^- 的截留率约高 20 个百分点, 因此 NF 膜在煤化工废水中的脱盐分盐流程中的起分盐作用。由于 RO 膜对 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的截留率都较高, 因此 RO 模块在煤化工废水中的脱盐分盐流程中还起到高效脱盐和浓缩

过滤液的作用。

2.3 添加 PB 对 NF 分离的影响

图 5 是废水中添加 PB 后, Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量对 NF 膜截留 Cl^- 和 SO_4^{2-} 效果的影响。

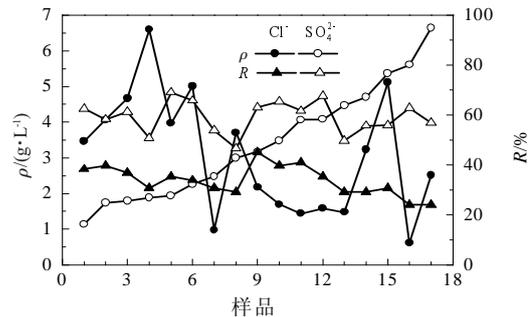


图 5 添加 PB 后 NF 膜 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量对其截留的影响

Fig.5 Effect of Cl^- and SO_4^{2-} content on its rejection rate by NF membrane with PB addition

由图 5 可知, 废水中添加 PB 后, NF 膜对 Cl^- 的截留率在 35% 左右, 且随 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量的增大而降低。NF 膜对 SO_4^{2-} 的截留率在 50%~70%。对比图 5 和图 3 可知, 当 SO_4^{2-} 的质量浓度小于 4 g/L 时, NF 膜对 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的截留率与未加 PB 时相近, 说明废水中添加 PB 并不影响 NF 膜对 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的截留率。但是当 SO_4^{2-} 的质量浓度大于 4 g/L 时, 废水中添加 PB 后, NF 膜对 Cl^- 、 SO_4^{2-} 的截留率分别增加了约 15 个、10 个百分点。

废水中添加 PB 后 NF 膜对 SO_4^{2-} 的截留率比对 Cl^- 的截留率约高 25 个百分点, 小于未加 PB 时 NF 膜对 SO_4^{2-} 的截留率与对 Cl^- 的截留率的差值。这说明废水中添加 PB 削弱了 NF 膜对 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的分离能力。其原因可能是质量浓度 100 mg/L 的 PB 的 pH 约为 4, 废水 pH 与所用 NF 芳香聚酰胺 NF 膜的等电点的 pH 相近^[16]。因此, 废水中添加 PB 后, 膜表面所带负电荷的电荷密度减小, 膜表面呈电中性, NF 膜丧失了由道南效应引起的离子选择性。所以废水中所有离子都会由于浓差极化现象在表面分离层内聚集。当 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量较小时, 表面分离层内离子含量较小, 表面分离层内邻苯二甲酸根离子的富集对表面分离层内 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量影响不大。但是当 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量增加时, 废水中所有离子在表面分离层产生竞争关系。由于邻苯二甲酸根离子与芳香聚酰胺都含有苯环, 因此更容易在表面分离层内富集。邻苯二甲酸根离子的富集减小了 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的渗透分压。因此 NF 膜对 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的截留率均增大。表面分离层内 Cl^- 渗透分压减小更多, 这是由于废水中添加 PB 后 NF 膜的道南效应丧失导致 SO_4^{2-} 进入表面分离层, 因此 NF 膜对 Cl^- 截留率的增加量比对 SO_4^{2-} 截留率的增加量更大。

当 NF 膜对 Cl^- 的截留率与对 SO_4^{2-} 的截留率的差减小时,需要增加 NF 模块级数才能将 Cl^- 或 SO_4^{2-} 在分离液中的质量分数达到 90%。综合图 3 和图 5 可知,NF 膜对 SO_4^{2-} 的截留率与对 Cl^- 的截留率在废水中添加 PB 前后的差由 30 个百分点降至 25 个百分点,这说明废水中添加 PB 会导致 NF 膜的分盐效果变差。

2.4 添加 PB 对 RO 膜分离的影响

图 6 分别是废水中添加 PB 后 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量对 NF 膜截留 Cl^- 和 SO_4^{2-} 效果的影响。

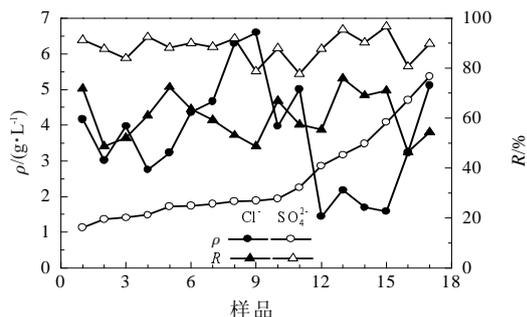


图 6 添加 PB 后 RO 膜 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量对其截留率的影响

Fig.6 Effect of Cl^- and SO_4^{2-} content on its rejection rate by RO membrane with PB addition

由图 6 可知,废水中添加 PB 后,RO 膜对 SO_4^{2-} 的截留率均在 80% 以上,受废水中离子含量的影响较小。RO 膜对 Cl^- 的截留率在 45%~80%,随 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量的增加而降低。对比图 6 和图 4 发现,废水中添加 PB 前后,RO 膜对 Cl^- 和 SO_4^{2-} 截留率变化不大,RO 膜对 SO_4^{2-} 截留率仍然比对 Cl^- 的截留率约高 25 个百分点。这说明废水中添加 PB 不影响 RO 膜截留 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的效果。

RO 膜对离子的截留原理可以用流体在 RO 膜孔隙内的流动模型解释^[18]。当废水中添加 PB 后,由于废水中的邻苯二甲酸根离子和 K^+ 的水合离子直径都比 RO 膜的膜孔直径大,因此这 2 种离子都会被 RO 膜截留。此外,虽然 RO 膜不能截留 H^+ ,但是 pH 分别为 4 和 7 时,RO 膜对 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的截留率基本相同。又由于添加的 PB 质量小于每个水样总质量的 5%,因此对废水总离子含量影响很小。由于 RO 膜表面呈电中性,不存在道南效应,所以废水中添加 PB 后 RO 膜表面的离子含量基本不变。综上所述,废水中添加 PB 不影响 RO 膜对 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的截留效果。因此不改变 RO 模块在整个脱盐分盐流程中的作用。但是 RO 模块级数可作为配套浓缩 NF 液出水模块随 NF 模块级数增加而增加。

3 结论

废水中仅有 NaCl 和 Na_2SO_4 时,NF 膜对 Cl^- 和

SO_4^{2-} 的截留率比 RO 膜对 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的截留率更小。NF 膜对 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的截留率分别在 10%~50% 和 40%~80%。NF 膜对 Cl^- 的截留率比对 SO_4^{2-} 的截留率约低 30%,此时截留率差值最大,分盐效果最好。

RO 膜对 SO_4^{2-} 的截留率超过 80%,对 Cl^- 的截留率在 60%~80%。RO 膜对 Cl^- 的截留率比对 SO_4^{2-} 的截留率约低 20 个百分点。废水中添加 PB 后,在 SO_4^{2-} 的质量浓度小于 4 g/L 时,NF 膜对 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的截留率变化很小,但当 SO_4^{2-} 的质量浓度大于 4 g/L 时,虽然 NF 膜对 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的截留率增加,但是 NF 膜对 SO_4^{2-} 的截留率比对 Cl^- 的截留率约高 25 个百分点,与废水中未加 PB 相比分盐效果变差。RO 膜对 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的截留率基本保持不变,不受废水中 PB 影响。

该研究结论可为采用膜法分盐的技术方式处理工业废水提供理论分析和实验数据支持。

参考文献:

- [1] 钱宇,杨思宇,马东辉,等.煤气化高浓酚氨废水处理技术研究进展[J].化工进展,2016,35(6):1884-1893.
- [2] 王新艳,王乐译,孙湛童.纳滤工艺深度处理 A/O-MBR 出水实验研究[J].水处理技术,2015,41(5):82-84.
- [3] 闻晓今,周正,魏钢,等.超滤-纳滤对焦化废水深度处理的试验研究[J].水处理技术,2010,36(3):93-95.
- [4] OZCAN A, SAHIN Y, KOPARAL A S, et al. Degradation of picloram by the electro-Fenton process[J].Journal of Hazardous Materials, 2008,153(1):718-727.
- [5] BÓDALO-SANTOYO A, GÓMEZ-CARRASCO J L, GÓMEZ-GÓMEZ E, et al. Application of reverse osmosis to reduce pollutants present in industrial wastewater[J].Desalination,2003,155(2):101-108.
- [6] 李昆,王健行,魏源送.纳滤在水处理与回用中的应用现状与展望[J].环境科学学报,2016,36(8):2714-2729.
- [7] 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.
- [8] TALALAJ I A, BIEDKA P. Impact of concentrated leachate recirculation on effectiveness of leachate treatment by reverse osmosis[J].Ecological Engineering,2015,85(1):185-192.
- [9] 丛纬,项海,张国亮,等.超滤/纳滤双膜技术资源化处理印染废水[J].水处理技术,2008,34(10):75-78.
- [10] 孙永超,解利昕,高婷婷,等.反渗透海水淡化预处理工艺[J].化工进展,2016,35(11):3658-3662.
- [11] 陈静,张杰,金艳,等.纳滤-反渗透集成处理海水淡化浓盐水工艺研究[J].水处理技术,2017,43(05):108-113.
- [12] 许玉东,范良鑫,黄友福.Fenton 法处理垃圾渗滤液 MBR-NF 浓缩液[J].环境工程学报,2014,8(9):3711-3717.
- [13] TURAN M. Influence of filtration conditions on the performance of nanofiltration and reverse osmosis membranes in dairy wastewater treatment[J].Desalination,2004,170(1):83-90.
- [14] 郭健,邓超冰,洗萍,等.“微滤+反渗透”工艺在处理垃圾渗滤液中的应用研究[J].环境科学与技术,2011,34(05):170-174.
- [15] 水质硫酸盐的测定铬酸钡分光光度法:HJ/T 342-2007[S].

- [16] 邱运仁,曾珍花,缪畅,等.芳香聚酰胺纳滤膜在电解质溶液中的电现象[J].中国有色金属学报,2009,19(11):2056-2060.
- [17] 邱实,吴礼光,张林,等.纳滤分离机理[J].水处理技术,2009,35(1):15-19.
- [18] 刘懋涛,鲁学仁.反渗透法脱盐机理的研究现状[J].水处理技术,1981(4):35-45.

Effects of Potassium Hydrogen Phthalate on Nanofiltration and Reverse Osmosis Membrane Separation

CAI Jingcheng, SUN Ruisong, GUO Fei

(School of Energy and Power Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China)

Abstract: A series experiments of nanofiltration and reverse osmosis (RO) filtration were conducted with a lab-scale plate membrane module. The experimental samples were prepared based on actual coal chemical waste liquids in separate and concentrate processes. The rejection rate of Cl^- and SO_4^{2-} by nanofiltration and reverse osmosis membrane and the effect of potassium hydrogen phthalate addition on the rejection rate were studied with different ion content in the wastewater. The results indicated that, the Cl^- and SO_4^{2-} rejection ratio of nanofiltration was almost the same after potassium hydrogen phthalate addition, when mass concentration of SO_4^{2-} was less than 4 g/L. The potassium hydrogen phthalate increased the Cl^- and SO_4^{2-} rejection ratio, but decreased selective rejection for sulfate ion and chloride, when mass concentration of SO_4^{2-} is higher than 4 g/L. However, the potassium hydrogen phthalate addition had no effect on Cl^- and SO_4^{2-} rejection ratio and salt separation efficiency of reverse osmosis. This study provided the theoretical analysis and experimental data for industrial wastewater treatment in the way of salt separation by membrane technology.

Keywords: nanofiltration; reverse osmosis; potassium hydrogen phthalate; separation; membrane; COD

(上接第87页)

参考文献:

- [1] 朱宏飞,李定龙,朱传为.印染废水的危害及源头治理举措[J].环境科学与管理,2007,32(11):89-92.
- [2] 马玉萍.印染废水深度处理工艺现状及发展方向[J].工业用水与废水,2013,44(4):1-5.
- [3] PUSPASARI T, PEINEMANN K V. Application of thin film cellulose composite membrane for dye wastewater reuse [J].Journal of Water Process Engineering,2016,13:176-182.
- [4] DOS SANTOS AB, CERVANTES FJ, VAN LIER JB. Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: perspectives for anaerobic biotechnology[J].Bioresour Technol,2007,98(12):2369-2385.
- [5] 李昆,王健行,魏源送.纳滤在水处理与回用中的应用现状与展望[J].环境科学学报,2016,36(8):2714-2729.
- [6] 水质 化学需氧量的测定 快速消解分光光度法: HJ/T 399—2007[S].
- [7] 羊小玉,周律.混凝技术在印染废水处理中的应用及研究进展[J].化工环保,2016,36(1):1-4.
- [8] 李敏,宗栋良.混凝中 Zeta 电位的影响因素[J].环境科技,2010,23(3):9-11.
- [9] 朱露山.PAC/PAM 絮凝处理印染废水的工艺研究[J].广东化工,2010,37(11):123-126.
- [10] ARKHANGELSKY E, WICAKSANA F, TANG C, et al. Combined organic-inorganic fouling of forward osmosis hollow fiber membranes [J].Water Res,2012,46(19):6329-6338.
- [11] GOULAS A K, KAPASAKALIDIS P G, SINCLAIR H R, et al. Purification of oligosaccharides by nanofiltration[J].J Membrane Sci,2002,209:321-325.
- [12] NANDA D, TUNG K L, HSIUNG C C, et al. Effect of solution chemistry on water softening using charged nanofiltration membranes [J].Desalination,2008,234(1-3):344-353.
- [13] Afonso M D. Surface charge on loose nanofiltration membranes[J].Desalination,2006,191(3):262-272.
- [14] 黄裕,张晗,董秉直.纳滤膜去除卡马西平的影响因素研究[J].环境科学,2011,32(3):705-710.
- [15] LIN J, TANG CY, YE W, Et al. Unraveling flux behavior of superhydrophilic loose nanofiltration membranes during textile wastewater treatment[J].Journal of Membrane Science,2015,493:690-702.
- [16] 城市污水再生利用工业用水水质:GB/T 19923—2005[S].

Treatment of Finishing Wastewater in Dyeing and Printing by Coagulation-Nanofiltration Combined Technology

LIU Wei^{1,2}, HANG Xiaofeng¹, WAN Yinhua^{1,2}

(1.State Key Laboratory of Biochemical Engineering, Institute of Process Engineering Chinese Academy of Science, 100190;

2.University of Chinese Academy of Sciences, 100840: Beijing, China)

Abstract: Four flocculants were investigated for the removal of COD and turbidity in dyeing wastewater using PAM as coagulant, and the operating conditions were optimized through orthogonal experiment. Then, the supernatant was treated by nanofiltration membrane NF270, after which the concentrate solution was again treated by coagulation and nanofiltration process. The results showed that at the optimized conditions of pH, PAC and PAM dosage was 7, 400 mg/L and 1.6 mg/L respectively, the removal efficiency of COD in wastewater was the best which reached over 88% and the COD of supernatant after nanofiltration was 33 mg/L. Moreover, the COD of concentrate solution could be reduced to 30 mg/L after coagulation and nanofiltration process, which met the industrial consumption recycling standard of GB/T 19923—2005. In practical application, the concentrate solution of nanofiltration could be mixed with the original wastewater and treated by the proposed process to realize zero discharge.

Keywords: finishing wastewater in dyeing and printing; coagulation; nanofiltration; water reuse