

# 含苯磺酸侧基杂萘联苯聚醚砜纳滤膜的制备与性能

冯会美, 王丹慧, 徐培琦, 徐树刚, 李 潮, 吕 飞,  
王旭昆, 张守海\*, 蹇锡高

(大连理工大学 化工学院, 辽宁省高性能树脂材料专业技术创新中心,  
辽宁省高分子科学与工程重点实验室, 大连市膜材料与膜过程重点实验室, 大连 116024)

**摘要:** 将含苯磺酸侧基杂萘联苯聚醚砜(SPPES-P-H)浸泡于氯化钠溶液中得到含苯磺酸钠侧基杂萘联苯聚醚砜(SPPES-P-Na), 采用涂覆法制备含苯磺酸侧基杂萘联苯聚醚砜复合纳滤膜, 考察聚合物浓度、热处理条件对复合纳滤膜性能的影响。结果表明, SPPES-P-Na复合纳滤膜的通量高于 SPPES-P-H 复合纳滤膜的通量; 当 SPPES-P-Na 的质量分数为 1.5%, 热处理温度为 100 °C, 热处理时间为 30 min 时, 复合膜的水通量达到 58.0 L/(m<sup>2</sup>·h), Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 的脱盐率为 89.0%; 当操作温度为 95 °C 时, 复合膜的水通量为 205.0 L/(m<sup>2</sup>·h), 对 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 的脱盐率为 82.0%, 表现出良好的耐热性; 将复合膜在质量浓度 0.2 g/L 的次氯酸钠溶液中浸泡 10 d, 性能无明显变化, 表现出优异的耐氯性。

**关键词:** 含苯磺酸侧基杂萘联苯聚醚砜; 复合膜; 纳滤膜

**中图分类号:** TQ326.55 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-8924(2024)05-0012-08

**doi:** 10.16159/j.cnki.issn1007-8924.2024.05.002

纳滤作为一种新型膜分离技术, 具有分离性能高、能耗低及环境友好等优势, 可以高效脱除相对分子质量介于 200~1 000 的有机物, 以及选择性分离单价和多价离子, 被广泛应用于水处理、食品、生物制药等领域<sup>[1-3]</sup>。

纳滤膜是纳滤技术的核心, 常见的纳滤膜分离层材料有醋酸纤维素、聚酰胺、磺化聚醚砜等, 其中, 醋酸纤维素膜亲水性较好, 但耐酸耐碱性较差; 聚酰胺膜具有优异的渗透选择性, 但极易受到活性氯攻击, 导致膜性能急剧下降; 磺化聚醚砜具有优异的机械性能、化学稳定性以及较好的亲水性, 是一种优良的材料。磺化杂萘联苯聚醚砜具有扭曲非共平面

的结构, 且分子链中含有砜基, 赋予聚合物良好的热稳定性和机械性能; 使用磺化联苯型杂萘联苯共聚醚砜(SPPBES)制备的复合纳滤膜表现出良好的渗透选择性、耐热性以及耐氯性<sup>[4]</sup>; 将金属反离子引入 SPPBES 中制备了磺酸盐型 SPPBES-M 复合纳滤膜<sup>[5]</sup>, 提高了膜的水通量, 但与商业纳滤膜相比, 磺化杂萘联苯聚醚砜纳滤膜的渗透性还有待提高。含侧苯基杂萘联苯聚醚砜(PPES-P)具有较高的玻璃化转变温度和优良的综合性能, 易于在侧苯基上引入磺酸基团以改善亲水性, 用于制备纳滤膜有望进一步提高膜的通量, 拓展其在造纸、制糖和纺织等高温废水的处理应用。

收稿日期: 2024-04-23; 修改稿收到日期: 2024-06-27

第一作者简介: 冯会美(1999-), 女, 河北衡水人, 硕士, 从事磺化聚醚砜复合纳滤膜的研究。\* 通讯作者, E-mail: zhang-shh@dlut.edu.cn

引用本文: 冯会美, 王丹慧, 徐培琦, 等. 含苯磺酸侧基杂萘联苯聚醚砜纳滤膜的制备与性能[J]. 膜科学与技术, 2024, 44(5): 12-19.

Citation: Feng H M, Wang D H, Xu P Q, *et al.* Preparation and properties on poly (phthalazinone ether sulfone) containing pendant sodium benzenesulfonate group nanofiltration membrane[J]. Membrane Science and Technology (Chinese), 2024, 44(5): 12-19.

为了制备耐高温、高渗透性纳滤膜,本研究以 PPES-P 为原材料,通过磺化改性制备含苯磺酸侧基杂萘联苯聚醚砜(SPES-P-H),再经氯化钠溶液浸泡得到含苯磺酸钠侧基杂萘联苯聚醚砜(SPES-P-Na),以聚醚砜(PES)超滤膜为基膜,采用涂覆法制备含苯磺酸侧基杂萘联苯聚醚砜复合纳滤膜,研究聚合物浓度、热处理条件对复合纳滤膜分离性能的影响,并考察该复合纳滤膜的耐热性和耐氯性能。

## 1 实验部分

### 1.1 实验材料与仪器

PPES-P(侧苯基单元摩尔分数为 90%,特性黏度为 0.58 dL/g),合成方法参照文献[6];PES 超滤膜[水通量为 2 900 L/(m<sup>2</sup>·h·MPa)、牛血清白蛋白(BSA)截留率为 100%],自制;浓硫酸,分析纯,天津市博迪化工有限公司;硫酸钠、氯化钠、乙二醇甲醚(EGME)、丙酮等,均为分析纯,天津市津东天正精细化学试剂厂;无水葡萄糖,分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司。恒温鼓风干燥箱,DHG-101,上海精宏实验设备有限公司;电导率仪,DJS-1C,上海雷磁仪器有限公司;高压平板膜实验机,TYLG-19,山东博纳生物科技集团有限公司;紫外分光光度计,SP-723 型,上海光谱仪器有限公司;电感耦合等离子体发射光谱仪,AVIO-500 型,美国 PerkinElmer 公司。

### 1.2 SPES-P-Na 的制备与表征测试

#### 1.2.1 SPES-P-Na 的制备

如图 1 所示,将 PPES-P 溶解于浓硫酸中,采用均相磺化法制备 SPES-P-H,再将 SPES-P-H 浸泡在 1.0 mol/L 的 NaCl 溶液中 48 h,用去离子水清洗,得到 SPES-P-Na。

#### 1.2.2 聚合物的表征与测试

使用傅立叶变换红外光谱仪(FT-IR,iN10,美国 Thermo Fisher 公司)和核磁共振波谱仪(NMR,AVANCE III 500,瑞士 Bruker 公司)表征聚合物的结构;使用热重分析仪(TGA,瑞士 METTLER 公司)测试聚合物在氮气氛围中的稳定性,升温速率为 20 °C/min。

离子交换容量(IEC)可以用来表明 SPES-P-H 中磺酸基团的数量。使用 NaOH 标准溶液滴定 SPES-P-H 溶液,根据式(1)计算 IEC,根据式(2)计算磺化度(SD)<sup>[4]</sup>:

$$IEC = \frac{C_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}}}{W} \times 1\,000 \quad (1)$$

$$SD = \frac{M \times IEC}{1\,000 - 80 \times IEC} \quad (2)$$

式中: $C_{\text{NaOH}}$ 和 $V_{\text{NaOH}}$ 分别为 NaOH 标准溶液的浓度(mol/L)和消耗的 NaOH 的体积(mL); $W$ 是 SPES-P-H 的质量,g;IEC 为离子交换容量,mmol/g。

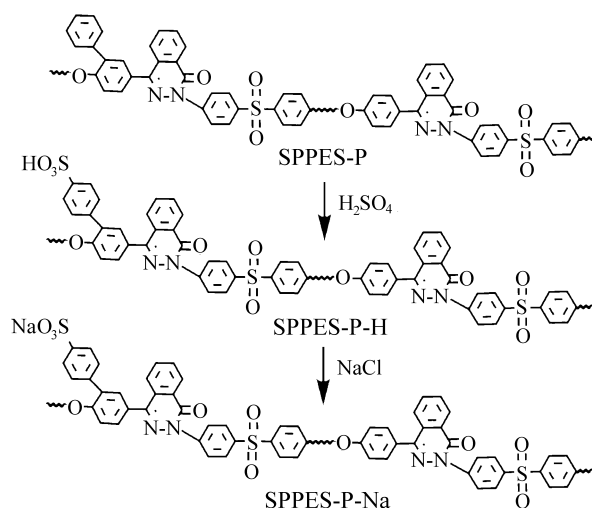


图 1 SPES-P-Na 的制备

Fig. 1 Preparation of SPES-P-Na

### 1.3 复合纳滤膜的制备与表征测试

#### 1.3.1 复合纳滤膜的制备

按照一定质量比将干燥的 SPES-P-Na(或 SPES-P-H)溶解于乙二醇甲醚和丙酮(体积比 5:1)的混合溶剂中配制浸涂液,过滤、脱泡后静置 24 h 备用。将 PES 基膜固定在玻璃板上,采用刮刀将浸涂液涂覆在 PES 基膜上,5 min 后排除多余溶液,然后将膜放在烘箱中一定温度下进行热处理,最终得到含苯磺酸侧基杂萘联苯聚醚砜复合纳滤膜。

#### 1.3.2 复合纳滤膜的表征与测试

使用扫描电子显微镜(SEM,SU8220 型,日本日立高新技术公司)表征膜形貌;使用接触角测试仪(JC2000D2W 型,上海中晨数字技术设备有限公司)测试膜接触角。

使用高压平板膜交叉错流过滤设备评价复合纳滤膜的性能。配制质量浓度 1.0 g/L 的 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 作为进料液,在 0.6 MPa 下预压 30 min,在 0.5 MPa 压力下接取一定时间内的渗透液,根据式(3)计算水通量 $J$ <sup>[7]</sup>:

$$J = \frac{Q}{A t} \quad (3)$$

式中: $J$  为复合纳滤膜的水通量, $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ;  $Q$  为渗透液体积, $\text{L}$ ;  $A$  为有效膜面积, $\text{m}^2$ ;  $t$  为收集渗透液的时间, $\text{h}$ .

通过测试渗透液以及进料液电导率,根据式(4)得到复合纳滤膜的脱盐率  $R^{[7]}$ :

$$R = (1 - \frac{C_p}{C_f}) \times 100\% \tag{4}$$

式中: $R$  为复合纳滤膜的脱盐率, $\%$ ;  $C_p$  和  $C_f$  分别为渗透液和进料液的质量浓度, $\text{g}/\text{L}$ .

使用质量浓度为  $2.0 \text{ g}/\text{L}$  的葡萄糖溶液作为进料液,测试复合纳滤膜对葡萄糖的脱除率,以此评估复合纳滤膜孔径的大小. 测定步骤为:在  $0.6 \text{ MPa}$  下预压  $30 \text{ min}$ ,在  $0.5 \text{ MPa}$  下收集渗透液;取  $1 \text{ mL}$  的葡萄糖样品液,加入  $2 \text{ mL}$  的水杨酸钠进行混合,将该混合溶液在沸水浴中加热  $2 \text{ min}$  后立即冷却,再加入  $7 \text{ mL}$  去离子水,在  $540 \text{ nm}$  波长下测定葡萄

糖样品液的吸光度. 依据吸光度~浓度曲线,计算进料液和渗透液中葡萄糖的浓度,根据式(5)计算复合膜对葡萄糖的脱除率<sup>[4]</sup>:

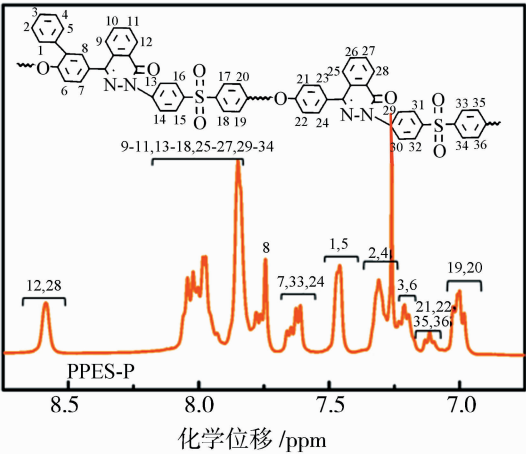
$$R' = (1 - \frac{C_p'}{C_f'}) \times 100\% \tag{5}$$

式中: $R'$  为复合膜对葡萄糖的脱除率, $\%$ ;  $C_p'$  和  $C_f'$  分别为渗透液和进料液的质量浓度, $\text{g}/\text{L}$ .

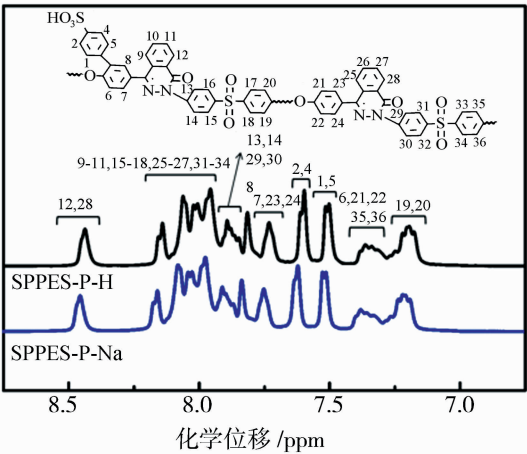
2 结果与讨论

2.1 聚合物的结构表征

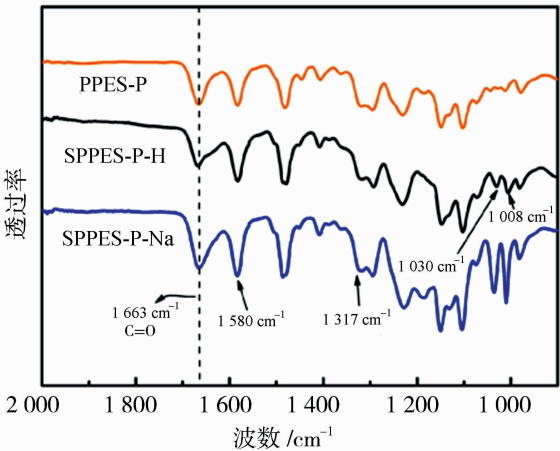
PPES-P 的核磁谱图如图 2(a)所示, $7.26 \text{ ppm}$  是溶剂信号峰;由于受到羰基与芳环的去屏蔽作用, $\text{H}_{12}$ 、 $\text{H}_{28}$ 的信号峰出现在低场  $8.58 \text{ ppm}$  处;醚键邻位氢  $\text{H}_6$ 、 $\text{H}_{19}$ – $\text{H}_{22}$ 、 $\text{H}_{35}$ 、 $\text{H}_{36}$ 的信号峰在  $7.00 \sim 7.21 \text{ ppm}$  处,侧苯基上的  $\text{H}_1$ – $\text{H}_5$  的信号峰在  $7.31 \sim 7.48 \text{ ppm}$  处, $7.74 \sim 8.05 \text{ ppm}$  处为重复单元上其



(a) PPES-P 的核磁谱图



(b) SPES-P-H 与 SPES-P-Na 的核磁谱图



(c) 聚合物的红外光谱图

图 2 聚合物的结构表征

Fig. 2 Structural characterization of polymer

他位置的 H 原子化学位移. 使用电感耦合等离子体发射光谱仪对聚合物进行表征, 在 589.6 nm 处出现了钠离子的特征谱线, 表明钠离子成功引入到磺化聚合物中. 图 2(b) 为 SPPEs-P-H 与 SPPEs-P-Na 的核磁谱图, 羰基的邻位氢  $H_{12}$ 、 $H_{28}$  信号峰出现在 8.44 ppm 处, 磺酸基团引入到 PPES-P 的侧苯基对位氢  $H_3$  上, 受磺酸基团的影响,  $-SO_3H$  邻位氢  $H_2$ 、 $H_4$  的信号峰向低场偏移, 出现在 7.60 ppm 处, 表明得到预期结构的 SPPEs-P-H; 同时 SPPEs-P-Na 的核磁谱图与 SPPEs-P-H 的各结构信号峰没有明显差异, 表明钠离子的引入并未影响聚合物结构.

PPES-P、SPPEs-P-H 和 SPPEs-P-Na 的红外光谱如图 2(c) 所示,  $1\,663\text{ cm}^{-1}$  是羰基 ( $C=O$ ) 的伸缩振动吸收峰,  $1\,580\text{ cm}^{-1}$  为苯环骨架伸缩振动吸收峰,  $1\,317\text{ cm}^{-1}$  为砜基的伸缩振动吸收峰; SPPEs-P-H 的谱图中  $1\,030$ 、 $1\,008\text{ cm}^{-1}$  是磺酸基团 ( $O=S=O$ ) 的特征吸收峰, 由此表明磺酸基团已引入聚合物链上<sup>[8]</sup>. 以  $1\,663\text{ cm}^{-1}$  处的羰基作为基准峰, SPPEs-P-Na 在  $1\,008$  以及  $1\,030\text{ cm}^{-1}$  处磺酸基团特征吸收峰的位置发生了变化, 这可能是钠离子与磺酸基团相互作用使  $-SO_3H$  不对称振动吸收峰向高波数方向偏移, 这定性表明了钠离子的引入<sup>[5]</sup>. 经滴定法测试, 计算得到 SPPEs-P-H 的磺化度为 0.85.

## 2.2 聚合物的热性能测试

聚合物的 TGA 如图 3 所示, 其中 PPES-P 仅有 1 个热失重区间, 初始热失重温度在  $470\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右; SPPEs-P-H 在  $258\text{ }^{\circ}\text{C}$  附近开始降解, 此为磺酸基团的降解, 在  $400\sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$  为聚合物主链的降解. 与

SPPEs-P-H 相比, SPPEs-P-Na 仅有 1 个热失重区间, 初始热失重温度在  $480\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右, 其 5% 热失重温度高于  $509\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 且残碳率大于 SPPEs-P-H 的残碳率, 进一步表明了钠离子已成功引入. SPPEs-P-Na 的初始降解温度高于 SPPEs-P-H, 说明含苯磺酸钠聚合物分解需要更高的能量<sup>[9-10]</sup>, 具有更好的热稳定性.

## 2.3 聚合物浓度对纳滤膜性能的影响

在膜的制备工艺中, 聚合物的浓度会直接影响膜分离层厚度, 进而影响膜分离性能. 考察浸涂液中 SPPEs-P-H 含量对复合膜性能的影响, 结果如图 4 所示. 随着 SPPEs-P-H 质量分数从 1.0% 增加到 2.5%, 复合膜的水通量由  $57.4\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  降低到  $26.5\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 这是因为随着浸涂液中 SPPEs-P-H 浓度的增大, 分离层厚度从 298 nm 增加到 787 nm, 并且分离层更为光滑和致密 (见图 5), 使得进料液的渗透阻力变大<sup>[11]</sup>; 复合膜的脱盐率随着 SPPEs-P-H 浓度的增大而增大, 从 70.8% 增加到 93.2%, 这是因为浓度的增大使得复合膜分离层更为致密, 进料液中离子的传质阻力增强, 脱盐率也随之增加<sup>[12-13]</sup>. 选用质量分数 1.5% 为浸涂液浓度做进一步的探究.

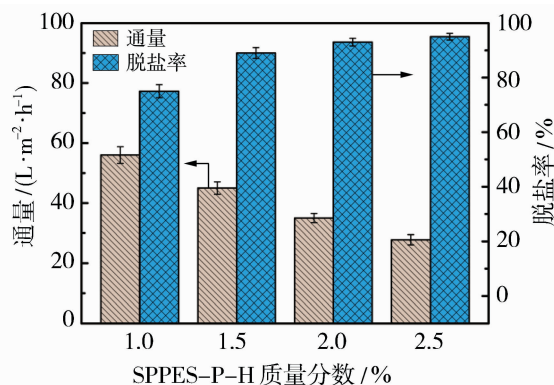


图4 聚合物浓度对复合膜性能的影响

Fig. 4 Effect of polymer concentration on performance of composite membranes

## 2.4 钠离子对纳滤膜性能的影响

以 SPPEs-P-H、SPPEs-P-Na 为分离层材料, 考察钠离子对复合膜性能的影响, 结果如图 6 (a) 所示. SPPEs-P-Na 复合膜的通量高于 SPPEs-P-H 复合膜的通量, 这可能是由于钠离子的引入占据了更大的体积, 使得膜孔径变大. 测试了复合膜对葡萄糖的脱除率, 结果如图 6(b) 所示, SPPEs-P-H 复合膜对葡萄糖的脱除率高于 SPPEs-P-Na 复合

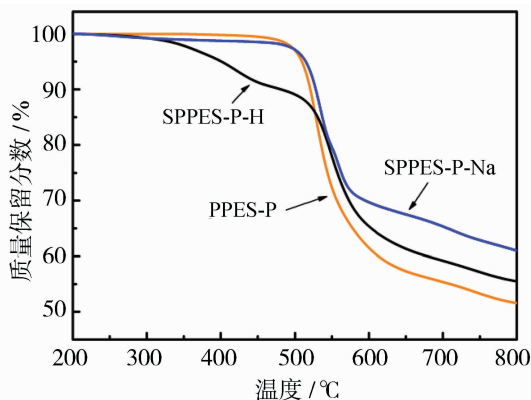


图3 聚合物的 TGA 曲线

Fig. 3 TGA curve of polymer

膜,说明 SPPEs-P-Na 复合膜的平均孔径大于 SPPEs-P-H 复合膜.此外,SPPEs-P-Na 复合膜的接触角略低于 SPPEs-P-H 复合膜[见图 6(c)],

说明其具有更高的亲水性,因而膜的水通量提高<sup>[14-15]</sup>. SPPEs-P-Na 复合膜的水通量可达 63.0 L/(m<sup>2</sup>·h),脱盐率保持在 82.0%.

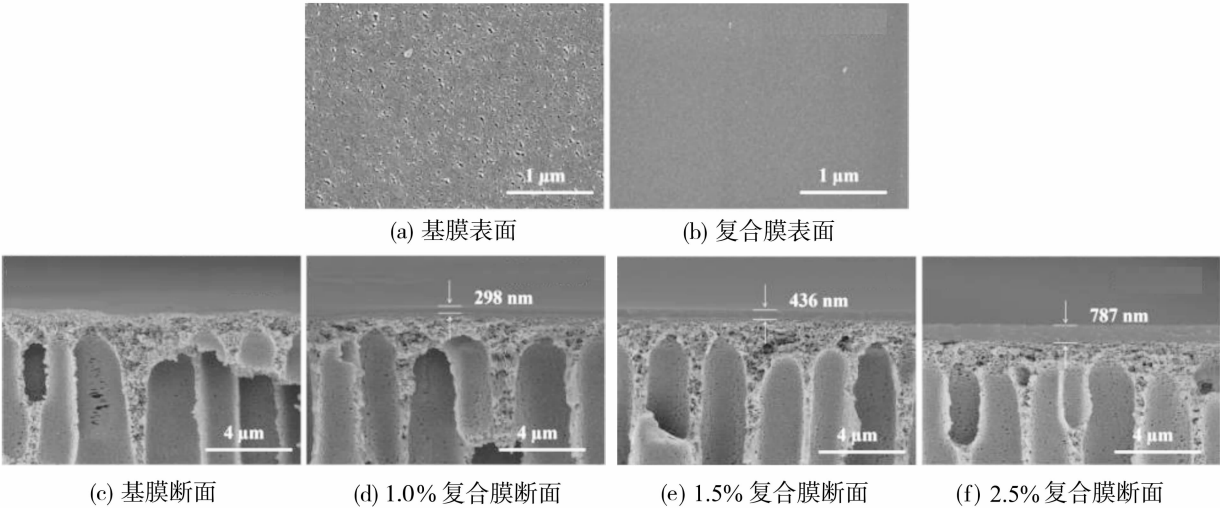


图 5 膜的 SEM 图

Fig. 5 SEM images of membranes

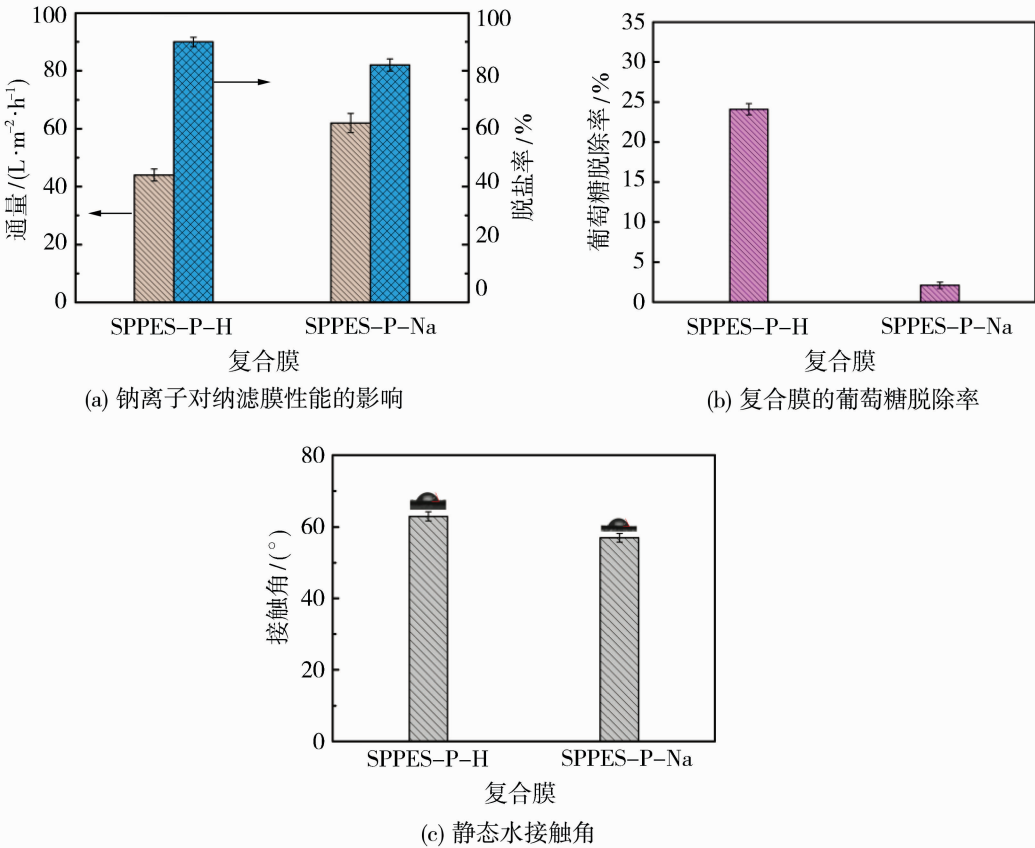


图 6 复合膜的性能

Fig. 6 Performances of composite membranes

2.5 热处理条件对纳滤膜性能的影响

以 SPPEs-P-Na 为分离层材料,质量分数为

1.5%,热处理时间为 30 min,制备 SPPEs-P-Na 复合膜,考察热处理温度对复合膜性能的影响,结果



如图 7 所示. 随着热处理温度从 80 ℃ 升高到 110 ℃,复合膜的通量从 69.0 L/(m<sup>2</sup> · h)降低到 46.0 L/(m<sup>2</sup> · h),脱盐率从 64.5%升高到 93.0%. 温度的升高使得浸涂液溶剂挥发加快,复合膜的分离层更为致密,同时,温度升高也会导致 PES 基膜膜孔收缩<sup>[16]</sup>,在一定程度上影响膜的渗透通量,因此复合膜的水通量呈现降低的趋势,而脱盐率呈现增加的趋势.

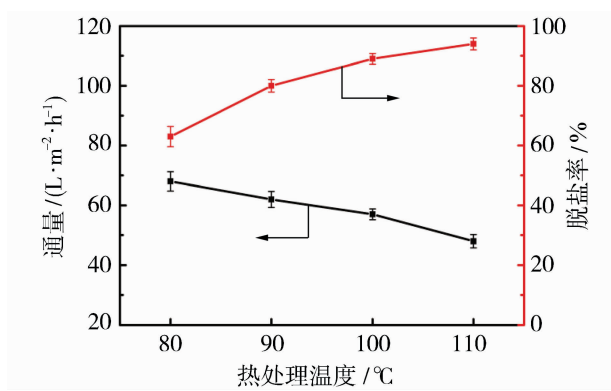


图 7 热处理温度对复合纳滤膜性能的影响  
Fig. 7 Effect of heat treatment temperature on performance of composite membranes

考察热处理时间对 SPPEs-P-Na 复合膜性能的影响,其结果如图 8 所示. 随着热处理时间的增加,复合膜的水通量降低,脱盐率逐渐增加,这与热处理温度升高对复合膜性能的影响类似. 这是因为热处理时间的增加也可以形成更为致密的分离层,造成基膜膜孔收缩,所以热处理时间由 10 min 延长到 40 min 时,其通量由 68.0 L/(m<sup>2</sup> · h)降低到 52.0 L/(m<sup>2</sup> · h),脱盐率由 58.0%增加到 91.0%. 由上

述可看出,热处理温度为 100 ℃,热处理时间为 30 min,复合膜分离性能较佳.

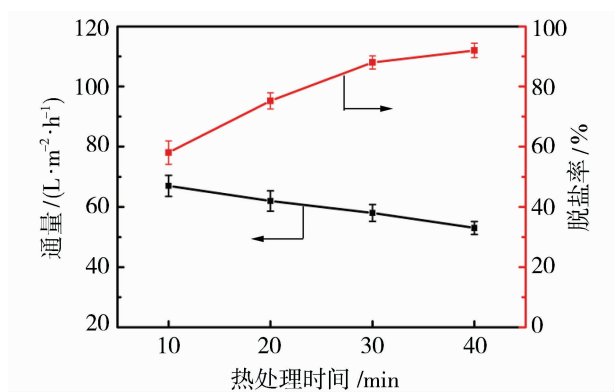


图 8 热处理时间对复合纳滤膜性能的影响  
Fig. 8 Effect of heat treatment time on performance of composite membranes

2.6 复合纳滤膜的耐热性和耐氯性

对 SPPEs-P-Na 复合纳滤膜进行耐热性测试,结果如图 9(a)所示. 当料液温度从 25 ℃ 升高到 95 ℃ 时,复合膜的水通量从 63.8 L/(m<sup>2</sup> · h)增加到 205.0 L/(m<sup>2</sup> · h),脱盐率从 91.8% 下降到 82.0%. 这是因为温度的升高加快了水分子的运动速率,使得水分子的跨膜运输速率增加,水通量也相应增加;温度的升高也会提高溶质的扩散速率,从而降低了对离子的排斥性,因而脱盐率有所下降<sup>[17]</sup>. 实验结果表明,SPPEs-P-Na 纳滤膜具有良好的耐热性. 将纳滤膜在 0.2 g/L 的次氯酸钠溶液中浸泡 10 d,结果如图 9(b)所示,膜的通量和脱盐率没有明显变化,其脱盐率和通量分别保持在 89.0% 和 58.0 L/(m<sup>2</sup> · h)左右,表现出良好的耐氯性.

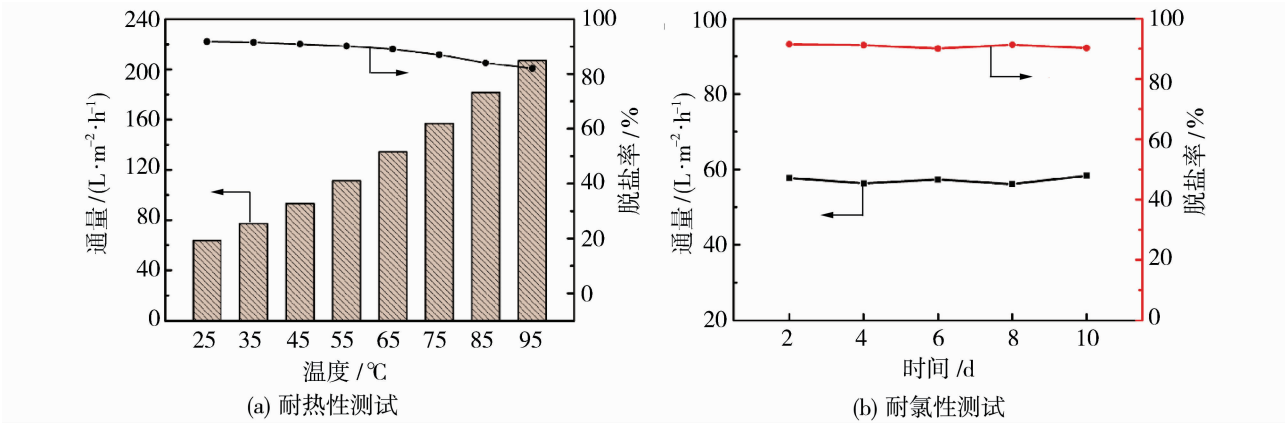


图 9 复合纳滤膜的稳定性  
Fig. 9 The stability of composite membranes

### 2.7 复合纳滤膜的分离性能比较

以质量分数 1.5% 的 SPPEs-P-Na 为分离层材料,在热处理温度为 100 ℃,热处理时间为 30 min 下制备 SPPEs-P90-Na 复合纳滤膜.将制得的复合纳滤膜与已报道的 SPPBES 和 SPPBES-100-K 复合纳滤膜进行比较,结果如表 1 所示.

表 1 复合纳滤膜的分离性能

Table 1 The separation performance of composite nanofiltration membranes

| 膜种类          | $R/\%$ | $J/(\text{L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})$ | $p/\text{MPa}$ | $C_f/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$ | 盐种类                      | 文献  |
|--------------|--------|--|----------------|--------------------------------------|--------------------------|-----|
| SPPEs-P-Na   | 89     | 58   | 0.5            | 1.0                                  | $\text{Na}_2\text{SO}_4$ | 本研究 |
| SPPBES       | 84     | 73   | 1.0            | 1.0                                  | $\text{Na}_2\text{SO}_4$ | [4] |
| SPPBES-100-K | 78     | 31   | 0.6            | 1.0                                  | $\text{Na}_2\text{SO}_4$ | [7] |

### 3 结论

通过对 PPES-P 进行磺化改性制备了 SPPEs-P-H,进而引入钠离子得到 SPPEs-P-Na,并采用涂覆法制备了复合纳滤膜.SPPEs-P-Na 的 5% 热失重温度高于 509 ℃,具有良好的热稳定性.浸涂液中 SPPEs-P-H 浓度的增加,使得复合膜脱盐率提高,通量降低.SPPEs-P-Na 复合膜的通量高于 SPPEs-P-H 复合膜的通量.热处理温度和热处理时间的延长使复合膜分离层更致密,导致较低的水通量和较高的脱盐率,热处理条件为 100 ℃、30 min 时,复合膜的水通量为 58.0 L/(m<sup>2</sup> · h),脱盐率为 89.0%.SPPEs-P-Na 复合膜表现出优良的耐热性和耐氯性.

#### 参考文献:

[1] Shang W, Sun F, Jia W, *et al.* High-performance nanofiltration membrane structured with enhanced stripe nano-morphology [J]. J Membr Sci, 2020, 600: 117852.

[2] Ren L, Chen J, Lu Q, *et al.* Construction of high selectivity and antifouling nanofiltration membrane via incorporating macrocyclic molecules into active layer[J]. J Membr Sci, 2020, 597: 117641.

[3] Li X, Mo Y, Qing W, *et al.* Membrane-based technologies for lithium recovery from water lithium resources: A review[J]. J Membr Sci, 2019, 591: 117317.

[4] 观姗姗. 磺化杂萘联苯共聚芳醚磺复合纳滤膜的研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2014.

[5] 唐金金, 张守海, 王丹慧, 等. 反离子对磺化杂萘联苯共聚醚磺纳滤膜性能的影响[J]. 膜科学与技术, 2021, 41(5): 65—72.

在 0.5 MPa 测试条件下,SPPEs-P90-Na 纳滤膜的水通量为 58 L/(m<sup>2</sup> · h),对 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 的脱盐率为 89%;而 SPPBES 纳滤膜在 1.0 MPa 下水通量为 73 L/(m<sup>2</sup> · h),SPPBES-100-K 纳滤膜在 0.6 MPa 下的通量为 31 L/(m<sup>2</sup> · h),相比之下,SPPEs-P-Na 复合膜表现出更好的渗透性.

[6] 张守海, 赵文颖, 陈丽云, 等. 磺化含侧苯基杂萘联苯聚醚磺质子交换膜材料的合成与性能[J]. 功能材料, 2013, 44(18): 2633—2637.

[7] 唐金金. 磷酸盐型杂萘联苯共聚醚磺复合纳滤膜的研制[D]. 大连: 大连理工大学, 2021.

[8] Wang D, Zhang S, Pan Y, *et al.* Fabrication of SPPEK-P/PPBES composite membranes for water vapor/N<sub>2</sub> separation at high temperature[J]. J Mater Sci, 2022, 57(45): 21251—21264.

[9] Kim Y, Park H, Lee Y. Carbon molecular sieve membranes derived from metal-substituted sulfonated polyimide and their gas separation properties[J]. J Membr Sci, 2003, 226(1/2): 145—158.

[10] Fan Y, Tongren D, Cornelius C. The role of a metal ion within Nafion upon its physical and gas transport properties[J]. Eur Polym J, 2014, 50: 271—278.

[11] He T, Frank M, Mulder M, *et al.* Preparation and characterization of nanofiltration membranes by coating polyethersulfone hollow fibers with sulfonated poly(ether ether ketone) (SPEEK)[J]. J Membr Sci, 2008, 307(1): 62—72.

[12] Cheng Y, Ding H, Liu Y, *et al.* Fabrication of polyethersulfone/sulfonated polysulfone loose nanofiltration membranes for enhanced selectivity of pharmaceuticals and personal care products and minerals[J]. Sep Purif Technol, 2024, 337: 126466.

[13] Jin P, Yuan S, Zhang G, *et al.* Polyarylene thioether sulfone/sulfonated sulfone nanofiltration membrane with enhancement of rejection and permeability via molecular design[J]. J Membr Sci, 2020, 608: 118241.

[14] Geise G, Park H, Sagle A, *et al.* Water permeability and water/salt selectivity tradeoff in polymers for desalination[J]. J Membr Sci, 2011, 369(1/2): 130—138.

[15] Geise G, Paul D, Freeman B. Fundamental water and

salt transport properties of polymeric materials[J]. Prog Polym Sci, 2014, 39(1): 1–42.

[16] 李连超, 马成良, 谭惠民, 等. 磺化聚醚砜复合纳滤膜的制备[J]. 水处理技术, 2005, 31(10): 18–21.

[17] Ghazali N, Razak N. Recovery of saccharides from lignocellulosic hydrolysates using nanofiltration membranes: A review[J]. Food Bioprod Process, 2021, 126: 215–233.

Preparation and properties on poly (phthalazinone ether sulfone) containing pendant sodium benzenesulfonate group nanofiltration membrane

FENG Huimei, WANG Danhui, XU Peiqi, XU Shugang, LI Chao, LYU Fei, WANG Xukun, ZHANG Shouhai, JIAN Xigao

(Dalian University of Technology, School of Chemical Engineering, Liaoning Province Technology Innovation Center of High Performance Resin Materials, Liaoning Key Laboratory of Polymer Science and Engineering, Dalian Key Laboratory of Membrane Materials and Membrane Processes, Dalian 116024, China)

**Abstract:** Poly (phthalazinone ether sulfone) containing pendant sodium benzenesulfonate group (SPPEs-P-Na) was prepared by immersing poly (phthalazinone ether sulfone) containing pendant benzenesulfonic acid group in sodium chloride solution; poly (phthalazinone ether sulfone) containing pendant benzenesulfonate group composite nanofiltration membranes were prepared by coating method. The effects of polymer concentration and heat treatment conditions on the performance of composite nanofiltration membranes were investigated. In this work, the water flux of SPPEs-P-Na composite membrane was higher than that of SPPEs-P-H composite membrane. When the mass fraction of SPPEs-P-Na was 1.5%, the heat treatment temperature was 100 °C, and the heat treatment time was 30 min, the flux reached 58.0 L/(m<sup>2</sup> · h), and the rejection was 89.0%. When the operating temperature was 95 °C, the flux of the membrane was 205.0 L/(m<sup>2</sup> · h), and the rejection was 82.0%, which showed a better thermal resistance. The composite membrane was immersed in 0.2 g/L NaClO solution for 10 days, with no obvious change in performance and good chlorine resistance.

**Key words:** poly (phthalazinone ether sulfone) containing pendant benzenesulfonic acid group; composite membrane; nanofiltration membrane

●中国科技核心期刊●中国科学评价研究中心核心学术期刊(A)●开放获取期刊数据库(DOAJ) ●华东地区优秀期刊

欢迎订阅 2025 年《净水技术®》杂志

CN 31-1513/TQ ISSN 1009-0177 邮发代码:4-652 官方网址:www.jsjs1982.com

中国科技核心期刊《净水技术》(创刊于 1982 年)每月 25 日出版,是我国市政给排水和工业水处理领域最具知名度和权威性的国家核心期刊之一。国内外公开发行,侧重报道我国市政给排水和工业水处理中的科技创新和实践,理论与实践并重,常设栏目“大家之言”获评华东地区期刊优秀栏目。

《净水技术》常设“大家之言”“净水技术前沿与热点综述”“水源与饮用水保障”“污水处理与回用”“工业水处理”“城镇水系统研究与应用”“城镇给排水工程设计案例专栏”“城镇水系统全流程水质监测技术专栏”“供排水企业运行及管理成果专栏”等栏目,欢迎广大新老读者订阅《净水技术》杂志,相关订阅信息如下。

纸质版全年定价为 360 元/年(12 期正刊,快递寄送),电子版全年定价为 300 元/年。通过扫描微店二维码、拨打编辑部电话(021-66250061)或添加订阅责任编辑微信(18001441936)订阅。

1. 银行汇款(仅接受公司账户汇款)
- 收款人:上海《净水技术》杂志社
- 账号:1001222319024881609
- 开户行:工商银行上海杨树浦桥支行
2. 支付宝付款
- 收款人:上海《净水技术》杂志社
- 支付宝账号:shjsjs@vip.126.com



微店二维码