

文章编号:1673-9469(2011)03-0039-03

## 聚偏氟乙烯疏水平板膜用于真空膜蒸馏的研究

李福勤,安晓蝉,牛红兰

(河北工程大学 城市建设学院,河北 邯郸 056038)

**摘要:**采用自制聚偏氟乙烯疏水平板膜,通过改变进水温度、进水流量、冷侧真空度及进料浓度等影响因素,对真空膜蒸馏的性能进行实验研究。结果表明,随进水温度(40~65℃)、进水流量(1.8~17.5 L/h)、冷侧真空度(0.038~0.093 MPa)的增加,膜通量呈增大趋势,最大可达39.22 kg/(m<sup>2</sup>·h);随进料 NaCl 溶液浓度(1~40 g/L)的增加,膜通量减小,截留率增加。在40 g/L时,膜通量仅为9.59 kg/(m<sup>2</sup>·h),截留率达到98.6%。

**关键词:**聚偏氟乙烯;真空膜蒸馏;平板膜

**中图分类号:** TQ028

**文献标识码:** A

### Study on vacuum membrane distillation via PVDF hydrophobic flat membrane

LI Fu-qin, AN Xiao-chan, NIU Hong-lan

(College of Urban Construction, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

**Abstract:** The self-made microporous hydrophobic membrane of polyvinylidene fluoride was used to research the performance of vacuum membrane distillation by changing the influencing factors such as the inlet water temperature, influent flow, the vacuum degree of the cold side and feed concentration. The result shows that the permeation flux of membrane increases with the increase of vacuum tightness(0.038~0.093 MPa), feed flux(1.8~17.5 L/h) and feed temperature(40~65℃), and reaches the maximum flux at 39.22 kg/(m<sup>2</sup>·h). The permeation flux decreases while the reject rate increases with the increase of the concentration of feed(1~40 g/L). The membrane flux is only 9.59 kg/(m<sup>2</sup>·h) and the reject rate is 98.6% when the concentration is 40 g/L.

**Key words:** polyvinylidene fluoride; membrane distillation; flat membrane

膜蒸馏是传统蒸馏工艺与膜分离技术相结合的一种新型膜分离技术。近年来随着高分子材料和制膜工艺的迅速发展,膜蒸馏的实用潜力和商业潜力得到广泛认可<sup>[1-3]</sup>。其中真空膜蒸馏采用在膜的一侧抽真空,使得蒸汽抽离于膜表面,再通过冷凝收集,其热传导损失比较低,膜通量也较一般方式大,并且可以充分利用廉价能源,因此具有良好的应用前景<sup>[4-5]</sup>。制取疏水膜的原材料主要有:聚四氟乙烯、聚丙烯、聚乙烯、聚偏氟乙烯等。其中以聚偏氟乙烯为原材料所制的疏水膜具有疏水性良好,韧性高,化学稳定性、冲击强度及耐磨性能较好,受到越来越多的关注。于德贤等<sup>[6]</sup>采用聚偏氟乙烯中空纤维膜进行了海水淡化的实验

研究。吕晓龙<sup>[7]</sup>也采用聚偏氟乙烯中空纤维膜对真空膜蒸馏、直接接触式膜蒸馏、气扫式膜蒸馏等三种膜蒸馏的脱盐效果及膜通量进行了比较,结果表明真空膜蒸馏的膜通量最大,脱盐效果良好。本实验在此基础上对真空膜蒸馏实验的影响因素进行进一步的研究,采用聚偏氟乙烯疏水平板膜,着重考察膜冷侧真空度、料液温度、料液流量以及料液浓度等对膜通量与截留率的影响。

### 1 实验部分

#### 1.1 仪器和材料

雷磁 DDS-307 电导率仪;上海精密科学仪器

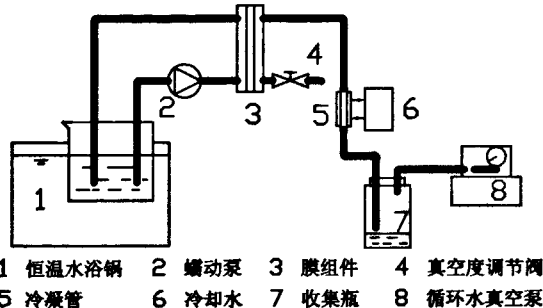
收稿日期:2011-04-18

基金项目:河北省科学技术研究与发展计划项目(11215116D)

作者简介:李福勤(1966-),男,山西临县人,教授,博士,从事膜法水处理技术方面的研究。

有限公司;SHZ-Ⅲ型循环水真空泵:上海亚荣生化仪器厂;BT00-100M蠕动泵:保定保定兰格横流泵有限公司;DK-S24型电热恒温水浴锅:上海市森信实验仪器有限公司;电子天平:梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;氯化钠(分析纯):天津市红岩化学试剂厂;自制聚偏氟乙烯疏水平板膜,膜厚0.2 mm。

真空膜蒸馏分为热侧水循环系统、聚偏氟乙烯疏水平板膜组件、真空系统及冷凝收集系统。实验装置流程见图1。



1 恒温水浴锅 2 蠕动泵 3 膜组件 4 真空度调节阀  
5 冷凝管 6 冷却水 7 收集瓶 8 循环水真空泵

图1 真空膜蒸馏实验装置流程

Fig.1 Schematic diagram of equipment used in vacuum membrane distillation

热侧水循环系统中通过恒温水浴锅加热料液,采用蠕动泵使之循环通过真空平板膜组件,另一侧采用循环水真空泵抽真空,使水蒸气透过膜组件后进入冷凝装置冷凝(冷凝温度为20℃),并收集至集液瓶。进料液侧应定时加入蒸馏水补充所消耗料液,保持进料浓度不变。本实验采用间歇操作,每次改变不同的膜蒸馏影响因素(进料温度、进料流速、进料浓度及冷侧真空度等),待装置稳定运行后开始收集渗透液。每次取得一定体积的渗透液后,使用量筒测量出渗透液体积,计算渗透液的质量,并用电导率仪测出进料液及渗透液电导,进行膜通量及膜组件截留率的计算。

## 1.2 数据处理方法

1)膜通量。在真空膜蒸馏过程中,膜通量是十分重要的工艺指标。其计算式如式(1)所示。

$$J = \frac{W}{S \times t} \quad (1)$$

式中  $J$ —真空膜蒸馏过程中的膜通量,  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ;  $W$ —一定时间测定的膜真空侧冷凝水的质量,  $\text{kg}$ ;  $S$ —膜的有效面积,  $\text{m}^2$ ;  $t$ —收集  $W$  冷凝水所需的时间,  $\text{h}$ 。

2)截留率。本实验采用进料水样为实验室自

制纯水及不同浓度的 NaCl 水溶液。其中 NaCl 水溶液浓度比较小时,浓度和电导率之间存在的线性关系,对组分相同或者相近的水样,含盐量在一定范围内其浓度与电导率的比值为常数<sup>[8]</sup>。因此可以在计算脱盐率时,使用电导率变化的差值取代浓度差计算。其计算式如式(2)所示。

$$\eta = \frac{c_h - c_c}{c_h} \times 100\% = \frac{\rho_h - \rho_c}{\rho_h} \times 100\% \quad (2)$$

式中  $\eta$ —真空膜蒸馏过程中的截留率(脱盐率);  $c_h$ —进料液浓度,  $\text{g/L}$ ;  $c_c$ —渗透液浓度,  $\text{g/L}$ ;  $\rho_h$ —进料液电导率,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ;  $\rho_c$ —馏出液电导率,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

## 2 结果与讨论

### 2.1 温度对膜通量的影响

在冷侧真空度为 0.052 MPa,进水流量分别为 5.6 L/h 和 11.5 L/h 时,纯水的膜蒸馏通量实验结果如图 2。

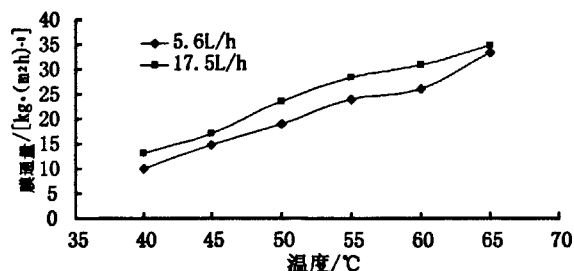


图2 温度对膜通量的影响

Fig.2 Effect of temperature on membrane flux

从图 2 可知,温度从 40℃ 升高至 65℃,其对应的膜通量呈线性增加。这是因为在膜蒸馏操作过程中,温度升高,膜组件热侧的水蒸气分压也增大,使得水蒸气透膜动力增加,因而导致膜通量的增大。

### 2.2 真空度对膜通量的影响

进水流量为 5.6 L/h,温度分别为 55℃ 和 60℃ 的条件下,通过改变冷侧真空度的大小对纯水的膜通量进行测试。结果如图 3 所示。

由图 3 可知,在较小真空度的变化下,膜通量随真空度的增加呈缓慢上升趋势。当真空度大于 0.08 MPa 时,膜通量随真空度的增加急剧增大。与李玲等<sup>[9]</sup>的研究结果相类似,这是因为在真空度较低时,水蒸气的透膜动力主要来源于膜两侧温差所带来的水蒸气压差。而当真空度增加至某

一临界值时,水蒸气的透膜动力水蒸气压差会随着冷侧真空度的增加而增大,使得膜通量的变化也较大。

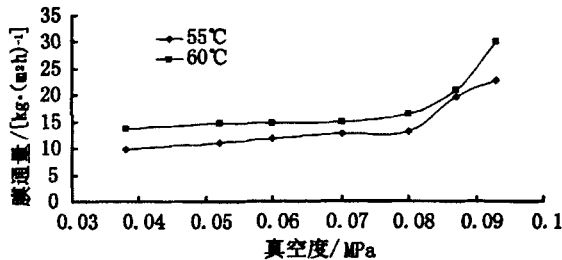


图3 真空度对膜通量的影响

Fig. 3 Effect of vacuum tightness on membrane flux

### 2.3 料液流量对膜通量的影响

在冷侧真空度为 0.052 MPa, 温度分别为 55 °C 和 60 °C 的条件下测定纯水流量对膜蒸馏通量的影响, 结果如图 4 所示。

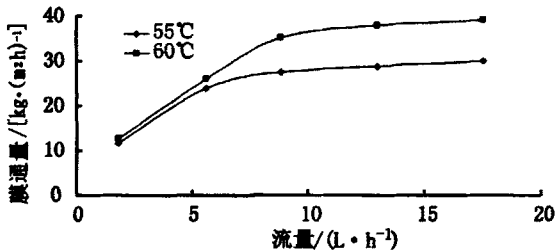


图4 料液流量对膜通量的影响

Fig. 4 Effect of feed flux on membrane flux

从图 4 中可知, 随进水料液流量的增加, 膜通量也随之增加, 且增加趋势由陡至较平缓。这是因为流量的增大加剧了膜表面流体的湍流程度, 使得浓差极化效应减弱, 从而增大膜通量。

### 2.4 料液浓度对膜通量及截留率的影响

在冷侧真空度为 0.065 MPa, 料液流量为 17.5 L/h, 温度为 50 °C 的条件下, 改变进水料液的浓度以测定其对膜通量的影响。进水料液采用分析纯 NaCl 进行配制。结果如图 5 所示。

分析图 5 可知, 料液浓度的增加会使膜蒸馏通量减小, 这是因为, 随料液浓度的增加, 溶液中的水蒸气分压减小, 使得水蒸气的透膜动力也相应减小。且浓度的增加会加剧膜表面的浓差极化现象, 也导致膜通量的降低。

从图 5 还可看出, 随着料液浓度的提高, 截留

率成上升趋势, 整个实验过程截留效果明显, 截留率均在 95% 以上。

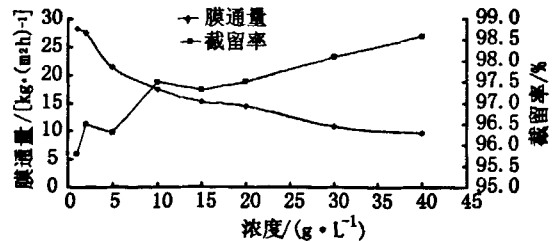


图5 料液浓度对膜通量及截留率的影响

Fig. 5 Effect of feed concentration on membrane flux and reject rate

## 3 结论

- 1) 随进水温度的增加, 膜通量呈线性增大。
- 2) 冷侧真空度的增大也会使膜通量增大。在较小真空度下膜通量的变化幅度亦较小, 当冷侧真空度达到 0.08 MPa 以上时, 膜通量急剧增加, 在真空度为 0.093 MPa, 膜通量可达 22.88 kg/(m²·h)。
- 3) 进水浓度的增加会使膜通量减小, NaCl 浓度为 40 g/L 时, 膜通量仅为 9.59 kg/(m²·h), 但截留率较高, 达到 98.6%。

### 参考文献:

- [1] 段济远, 李福勤, 王军. 基于溶胶凝胶法的 TiO<sub>2</sub> 溶胶的制备[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2011, 28(1): 57-59.
- [2] 吴庸烈. 膜蒸馏技术及其应用进展[J]. 膜科学与技术, 2003, 23(4): 67-79.
- [3] 李福勤, 李建红, 何绪文. 煤矿矿井水井下处理就地复用工艺及关键技术[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2010, 27(2): 46-49.
- [4] 张建芳, 李玲. 减压膜蒸馏淡化处理盐水的实验研究[J]. 精细石油化工进展, 2005, 6(3): 10-12.
- [5] 王车礼, 钟璟, 王军. 膜蒸馏淡化处理油田高含盐废水的实验研究[J]. 膜科学与技术, 2004, 24(1): 46-49.
- [6] 于德贤, 于德良, 韩彬, 等. 膜蒸馏海水淡化研究[J]. 膜科学与技术, 2002, 22(1): 17-20.
- [7] 吕晓龙. 聚偏氟乙烯中空纤维疏水膜及其初步应用[J]. 化工环保, 2008, 28(5): 377-382.
- [8] 刘成伦, 徐龙君, 鲜学福. 水溶液中盐的浓度与其电导率的关系研究[J]. 中国环境监测, 1999, 15(4): 21-24.
- [9] 李玲, 匡琼芝, 闵犁园, 等. 减压膜蒸馏淡化罗布泊地下苦咸水研究[J]. 水处理技术, 2007, 33(1): 67-70.

(责任编辑 马立)