

DOI: 10. 13475/j.fzxb.20180800307

聚氨酯/二氧化硅复合超细纤维膜的制备 及其防水透湿性能

张 琼¹, 刘翰霖¹, 李平平¹, 李 妮^{1, 2}

(1. 浙江理工大学 材料与纺织学院 丝绸学院, 浙江 杭州 310018; 2. 浙江理工大学
先进纺织材料与制备技术教育部重点实验室, 浙江 杭州 310018)

摘 要 为制备具有防水透湿性能的超细纤维膜, 在聚氨酯(PU) 纺丝液中添加疏水二氧化硅(SiO_2) 颗粒, 制备 PU/ SiO_2 复合超细纤维膜。通过软件模拟分析了纺丝液浓度和纤维膜厚度对纤维膜孔径的影响, 根据静态水接触角、静水压、透气率和透湿率分析了复合超细纤维膜的防水透湿性能, 并讨论了不同质量分数 SiO_2 对 PU/ SiO_2 复合超细纤维膜防水透湿性能的影响。结果表明: 复合纤维膜的孔径随着纺丝液浓度的增加而增加, 随着纤维膜厚度的增加而减少; 当 SiO_2 质量分数为 9%、PU 质量分数为 18% 时, PU/ SiO_2 复合纤维膜的静态水接触角达到 131° , 静水压为 6.4 kPa, 透气率为 33.4 mm/s, 透湿率为 8.065 kg/($\text{m}^2 \cdot \text{d}$); 该条件下复合纤维膜断裂应力为 4.16 MPa, 断裂伸长率为 184%, 与纯 PU 膜相比具有较好的尺寸稳定性。

关键词 聚氨酯; 二氧化硅; 静电纺丝; 防水透湿

中图分类号: TS 102.5 文献标志码: A

Preparation and waterproof and moisture-permeable properties of electrospun polyurethane/silica composite superfine fiber membrane

ZHANG Qiong¹, LIU Hanlin¹, LI Pingping¹, LI Ni^{1, 2}

(1. Silk Institute, College of Materials and Textiles, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China;
2. Key Laboratory of Advanced Textile Materials and Manufacturing Technology, Ministry of Education,
Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China)

Abstract In order to prepare a superfine fiber membrane with waterproof and moisture-permeable properties, polyurethane/silica (PU/ SiO_2) membranes were prepared by electrospinning. The spinning solution was prepared by adding hydrophobic SiO_2 to PU solution. The effects of spinning solution concentration and membranes thickness on the pore size of the membranes were analyzed by software simulation. The waterproof and moisture-permeable properties of the membranes were characterized by the water contact angle, hydrostatic pressure, air permeability and moisture permeability. The effects of different SiO_2 concentrations on the waterproof and moisture-permeable properties of the PU/ SiO_2 composite superfine fiber membranes were studied. The results show that the pore size of membranes increase with the spinning solution concentrations, and decrease with the increase of the membranes thickness. When the concentration of SiO_2 is 9% and that of PU is 18%, the composite membranes are endowed with the water contact angle of 131° , the hydrostatic pressure of 6.4 kPa, the air permeability of 33.4 mm/s and the moisture permeability up to 8.065 kg/($\text{m}^2 \cdot \text{d}$). Meantime, the broken stress of the PU/ SiO_2 composite membranes reaches 4.16 MPa, and the elongation at break reaches 184%. Therefore, the membranes have better dimensional stability than pure PU membranes.

Keywords polyurethane; silica; electrospinning; waterproof and moisture-permeable property

收稿日期: 2018-08-01 修回日期: 2018-11-11

获奖说明: 本文荣获中国纺织工程学会颁发的第 19 届陈维稷优秀论文奖

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(LY16E030007); 浙江理工大学 521 人才培养计划项目(11110132521507)

第一作者: 张琼(1993—), 女, 硕士生。主要研究方向为静电纺纳米纤维。

通信作者: 李妮(1979—), 女, 副教授, 博士。主要研究方向为功能性纤维材料。E-mail: lini@zstu.edu.cn。

随着社会的快速发展,生活水平的不断提高,人们在追求服装满足基本穿着需求的同时,还要求其具备一些特殊功能。防水透湿服装作为一种户外运动装备可满足许多功能需求,如在寒冷的冬天可以防风保暖,在雨雪天气能够防止雨雪的渗透,而运动产生的汗蒸汽也可以很好地透过这种面料^[1]。美国 Gore-Tex 公司制备的聚四氟乙烯 (PTFE) 层压织物,是目前广受欢迎的防水透湿膜织物,但 PTFE 价格昂贵,且纤维膜制备工艺复杂^[2]。聚氨酯 (PU) 也常被制成纤维膜用于防水透湿织物^[3]。PU 是一种由硬段 (多异氰酸酯) 和软段 (多元醇) 组成的嵌段共聚物,具有优良的化学和物理性能,如化学稳定性和优异的纤维成形特性^[4],被广泛应用于纺织材料涂料^[5]、人造皮革^[6]、服装^[7] 等领域。

目前,制备疏水织物主要有 2 种途径:一是在粗糙表面修饰低表面能的物质;二是在低表面能物质上构造微纳米级的粗糙度。Zhang 等^[8] 在聚乙烯醇缩丁醛 (PVB) 中加入聚偏氟乙烯 (PVDF) 低表面能物质,增加其防水透湿性能,制备的 PVDF/PVB 复合膜透气率为 9.8 mm/s,透湿率为 10.6 kg/(m²·d),静水压高达 58 kPa。李静等^[9] 采用全氟辛基三氯硅烷在 SiO₂ 纳米粒子表面进行改性,改性后将其与聚对苯二甲酸乙二酯 (PET) 共混溶于六氟异丙醇 (HFI) 中进行静电纺丝,制备改性 PET/SiO₂ 复合膜,其表面呈现大量的微纳米复合结构,加上低表面能含氟链段的富集,赋予复合膜良好的超疏水性能,其水接触角高达 155.2°,水的滞后角仅为 3.4°。

根据多孔膜的防水透湿机制,决定多孔膜防水透湿性能好坏的关键结构参数是纤维膜孔径^[10]。在静电纺丝过程中,纺丝液质量分数与纤维膜厚度是影响纤维膜孔径大小的直接工艺参数。本文首先分析了 PU 纤维膜孔径大小与静电纺丝液质量分数和纤维膜厚度的关系,并通过在超细纤维表面引入疏水性 SiO₂ 颗粒降低纤维表面能的同时,在纤维表面构造粗糙的微纳米结构来增加 PU 纤维膜的防水性能,探讨了疏水 SiO₂ 颗粒含量对超细纤维膜形貌结构和防水透湿性能的影响。

1 实验部分

1.1 材料和仪器

材料:聚氨酯 (PU),上海精尖塑料有限公司; N,N-二甲基甲酰胺 (DMF)、乙酸丁酯 (BuAc),分析纯,杭州高晶精细化工有限公司;疏水 SiO₂ 颗粒,自制^[11]。

仪器:静电纺丝装置 (采用 FC60P2 型高压电源,美国 Glassman 公司;KDS200 型微量注射泵,美国 KDS Scientific Inc 公司),自制;Ultra55 型场发射扫描电子显微镜,德国 Carl Zeiss 有限公司;JEM-2100 型透射式电子显微镜,日本电子株式会社;Nicolet 5700 型傅里叶变换红外光谱仪,美国 Thermo Fisher Scientific 公司;KEG-G1 型拉伸试验机,日本 Kato-Tech 公司;CFP-1500AE 型孔径分析仪,美国 PMI 有限公司;JCY 系列接触角测定仪,上海方瑞仪器有限公司;FX3000-IV 型静压透水性测试仪,瑞士 TEXTTEST 公司;YG461E 型透气性测试仪,温州方圆仪器有限公司;YG(B) 216-II 型织物透湿仪,温州大荣纺织仪器有限公司。

1.2 聚氨酯纤维膜的制备

取一定质量的 PU 颗粒溶于 DMF 与 BuAc (DMF 与 BuAc 体积比为 4:6) 混合溶剂中,制备质量分数分别为 14%、16%、18%、20% 的 PU 溶液,并在 PU 质量分数为 18% 时制备厚度分别为 20、40、60、80、100 μm 的 PU 纤维膜。静电纺丝过程中纺丝速率为 0.6 mL/h,喷丝头与接收滚筒的距离为 13 cm,纺丝电压为 12 kV。

1.3 聚氨酯/二氧化硅复合纤维膜的制备

先将一定质量的疏水 SiO₂ 粉末添加到 DMF 与 BuAc (DMF 与 BuAc 体积比为 4:6) 的混合溶剂中,室温下磁力搅拌 30 min 后,超声处理 1 h,使其与溶剂均匀混合, SiO₂ 的质量分数分别为 3%、6%、9%、12%。随后称取质量分数为 18% 的 PU 颗粒加入上述溶液中,在室温条件下搅拌 24 h,制备 PU/SiO₂ 混合溶液进行静电纺丝,纤维膜厚度控制在 (60±5) μm。静电纺丝过程中的纺丝参数设置同 1.2 节。

1.4 测试与表征

1.4.1 纤维膜微观结构表征

采用场发射扫描电子显微镜 (电压为 3 kV) 和透射式电子显微镜 (点分辨率为 0.23 nm;线分辨率为 0.14 nm,最大加速电压为 200 kV) 观察纤维的表面形貌。将拍摄的图片通过 Image-Pro Plus 6.0 软件对纤维直径进行统计,在相同放大倍数下选取 50 根纤维,统计 PU/SiO₂ 复合纤维膜的直径分布。

利用傅里叶变换红外光谱仪采用衰减全反射法测试纤维的化学结构。

1.4.2 孔径大小及孔隙率测试

借助孔径分析仪,以 PTFE 微孔膜为模板,测试气压为 20 MPa,测量 PU/SiO₂ 复合纤维膜的泡点孔径 (最大孔径) 和平均孔径。按下式计算 PU/SiO₂ 复合纤维膜的孔隙率:

$$P = \left(1 - \frac{m}{hS\rho}\right) \times 100\%$$

式中: P 为孔隙率, %; m 为纤维膜的质量, g; h 为纤维膜的厚度, μm ; S 为纤维膜的面积, cm^2 ; ρ 为纤维膜的密度, g/cm^3 。

1.4.3 力学性能测试

使用拉伸试验机测量纤维膜的力学性能。采用单向拉伸的方式, 拉伸速率为 $0.3 \text{ cm}/\text{min}$, 量程为 10 cm 。测试试样被制成 $20 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 的条带形状。

1.4.4 水接触角及静水压测试

在 PU/SiO₂ 复合纤维膜上旋滴 $2 \mu\text{L}$ 的水珠, 利用视频接触仪测定 PU/SiO₂ 复合纤维膜的水接触角; 参照 AATCC 127—2003 《耐水性 流体静压试验》, 测试复合纤维膜的静水压, 升压速率为 $6 \text{ kPa}/\text{min}$, 测试面积为 100 cm^2 。

1.4.5 透气及透湿性测试

参考 GB/T 5453—1997 《纺织品 织物透气性的测定》利用透气性测试仪测试 PU/SiO₂ 复合纤维膜的透气率, 测试面积为 20 cm^2 , 压降为 100 Pa 。

参考 GB/T 12704.1—2009 《纺织品 织物透湿性测试方法 第 1 部分: 吸湿法》测试样品的透湿性能。每个样品各剪取 3 块试样, 放置于含有 35 g 无水氯化钙的透湿杯上密封好, 放入织物透湿仪中, 在温度为 $(38 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 $(90 \pm 2) \%$ 、风速为 $0.34 \text{ m}/\text{s}$ 的环境下平衡 1 h , 然后放在硅胶干燥器中平衡 30 min , 称取初始质量 m_0 。再次放入织物透湿仪中 1 h 并在硅胶干燥器中平衡 30 min , 其中实验条件同第 1 次实验, 称取质量为 m_1 。透湿率按下式计算:

$$W_{\text{WVT}} = 24 \frac{m_1 - m_0}{1000At}$$

式中: W_{WVT} 为透湿率, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; m_0 为初始质量, g; m_1 为实验质量, g; A 为有效面积, m^2 ; t 为实验时间, h。

2 结果与讨论

2.1 PU 纤维膜孔径分析

2.1.1 PU 质量分数对纤维膜孔径的影响

保持 PU 纤维膜厚度为 $(60 \pm 5) \mu\text{m}$ 不变, 不同质量分数 PU 纺丝液制备的纤维膜的孔径分布均类似于对称分布, 如图 1 所示。可知, 随着纺丝液质量分数的增加, PU 纤维膜的平均孔径从 $1.57 \mu\text{m}$ 增加至 $2.07 \mu\text{m}$ 。当 PU 质量分数由 14% 增加至 16% 时, PU 纤维膜的泡点孔径 (即最大孔径 d_{max}) 从 $2.15 \mu\text{m}$ 下降至 $2.05 \mu\text{m}$; 而随着 PU 质量分数继续

增加, PU 纤维膜的泡点孔径随之增大, 直至达到 $3.02 \mu\text{m}$ 。

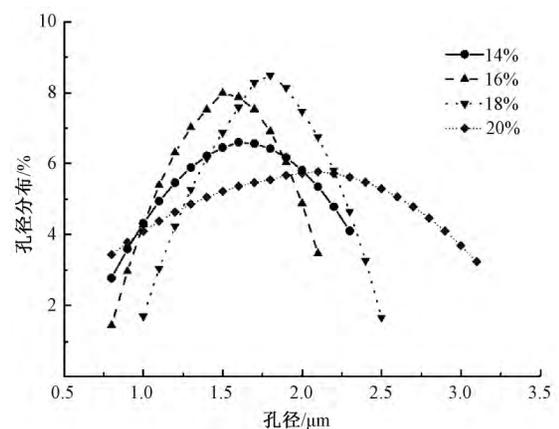


图 1 不同纺丝液质量分数下 PU 纤维膜的孔径大小
Fig.1 Pore size of PU membrane prepared with different mass fraction of PU

不同质量分数的纺丝液制备 PU 纤维膜, 其形貌结构特征可造成薄膜内部孔径大小及分布的差异, 采用三维 MAX 软件对 PU 纤维膜进行三维模拟, 其结构如图 2 所示。

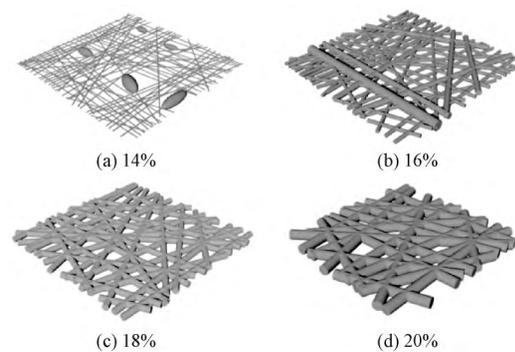


图 2 不同纺丝液质量分数下 PU 纤维膜的三维结构模型

Fig.2 3-D structure model of PU membrane prepared with different mass fraction of PU

由图 2 可以看出: 当纺丝液质量分数为 14% 时, 制备的 PU 纤维膜中单根纤维上存在串珠 (见图 2(a))。由于串珠的出现, 在串珠位置处孔径大, 因此, 质量分数为 14% 条件下得到的纤维膜孔径曲线趋向于大孔径分布。随着纺丝液的质量分数由 16% 增长至 20% , PU 纤维膜中串珠消失, 纤维平均直径增加^[12], 纤维间在同一平面内排列的趋势 (平行效应) 减弱, 由三维结构模型可看出, 纤维直径增加, 纤维之间的间距拉大, 同一体积内 PU 纤维膜的孔径增大^[13]。

2.1.2 纤维膜厚度对其孔径的影响

采用质量分数为 18% 的纺丝液制备 PU 纤维膜, 通过改变静电纺丝时间调节纤维膜厚度, 其孔径变化如图 3 所示。可见, 随着厚度的增加, PU 纤维

膜的平均孔径从 1.96 μm 下降到 1.64 μm , 泡点孔径从 3.08 μm 下降到 2.05 μm 。

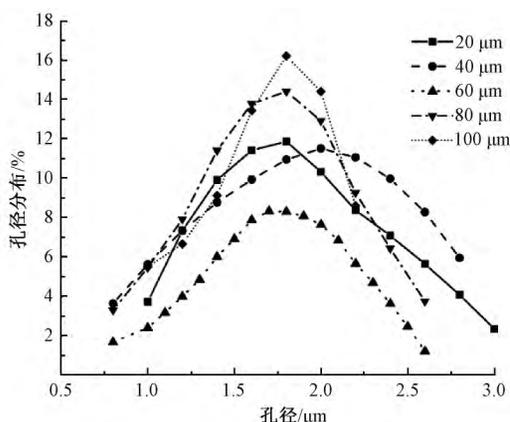


图 3 不同厚度的 PU 纤维膜的孔径大小
Fig.3 Pore size of PU membrane with different thicknesses

纺丝液质量分数相同, 纤维膜厚度不同条件下构建的三维模型如图 4 所示。由于纺丝液的质量分数不变, 纤维的直径保持不变, 同一平面内纤维根数基本相同。由三维模型可以看出, 通过逐层增加纤维层数, 上层纤维遮盖住下层纤维孔隙, 导致 PU 纤维膜的整体孔径(平均孔径和最大孔径)减小。

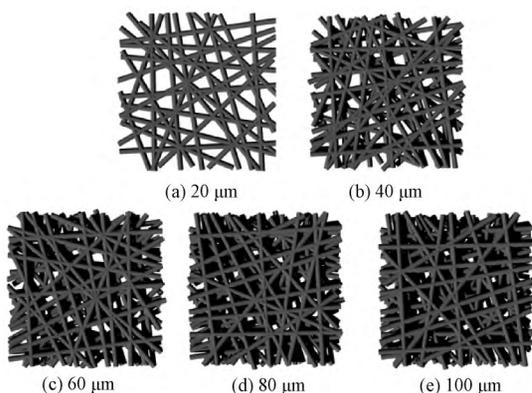


图 4 不同厚度的 PU 纤维膜的三维结构模型的俯视图

Fig.4 Vertical view of 3-D structure model of PU membrane with different thicknesses

由以上分析可以得出, 在纺丝液质量分数为 18%、厚度为 60 μm 条件下得到的纤维膜形貌和结构最稳定, 因此, 选用该条件制备 PU/SiO₂ 纤维膜进行下一步研究。

2.2 PU/SiO₂ 纤维膜表面形貌和结构分析

图 5 示出 SiO₂ 质量分数分别为 0%、3%、6%、9%、12% 的复合纤维膜扫描电镜图。图 6 示出 SiO₂ 质量分数为 9% 时纤维膜的透射电镜照片。从图 5(a) 中不难发现, 纤维形貌平滑, 无串珠, 纤维平均直径为 1.1 μm 。从图 5(b) ~ (e) 可以看出, 随着

SiO₂ 质量分数的增加, 复合纤维膜表面上 SiO₂ 颗粒显著, 且单根纤维上 SiO₂ 分布逐渐增多, 纤维表面越来越粗糙, 纤维平均直径也不断增加。另外, 当 SiO₂ 的质量分数从 3% 增加到 9% 时, 纤维粗细逐渐均匀, 进一步增加 SiO₂ 的质量分数时, 纤维粗细不匀。这可能是因为 SiO₂ 在单根纤维上分布不均匀导致。结合图 6 可知, SiO₂ 随机分布在单根纤维中, 使得纤维的表面粗糙, 且 SiO₂ 颗粒有团聚现象, SiO₂ 颗粒在纤维中的均匀分布仍有待进一步研究。

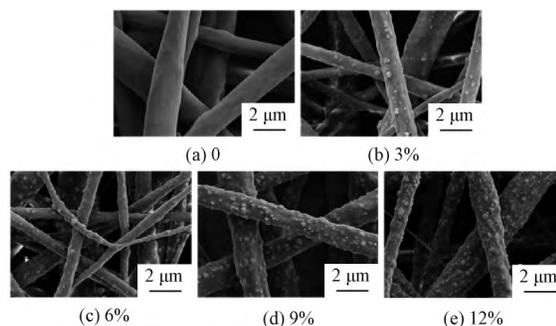


图 5 不同 SiO₂ 质量分数的 PU/SiO₂ 复合纤维膜的 SEM 照片

Fig.5 SEM images of PU/SiO₂ composite membranes

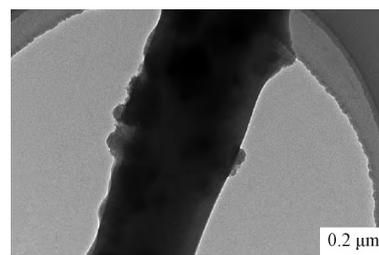


图 6 PU/SiO₂ 复合纤维膜的 TEM 照片

Fig.6 TEM images of PU/SiO₂ composite membranes

图 7 示出 PU/SiO₂ 纤维膜的红外谱图。可以看出, 曲线中 1 715 cm^{-1} 处为 C=O 的伸缩振动峰, 1 570 cm^{-1} 处对应 N—H 的伸缩振动, 1 250 ~ 1 000 cm^{-1} 属于 C—O、C—C、C—N 的伸缩振动, 这些都是 PU 的特征吸收峰^[14]。还可看出: 曲线在 2 920 cm^{-1} 观察到明显的峰, 这是因为烷基中 C—H 键的伸缩振动; 当 SiO₂ 质量分数为 3% ~ 12% 时, 曲线在 1 090 cm^{-1} 处出现新的吸收峰对应于 Si—O—Si 键的振动^[15]; 960 cm^{-1} 处吸收峰对应于 Si—OH 键的振动, 进一步证实了 SiO₂ 的成功掺杂。

2.3 PU/SiO₂ 纤维膜的孔径与孔隙率分析

表 1 示出不同 SiO₂ 质量分数的 PU/SiO₂ 纤维膜的孔径及孔隙率分布。可知, 当 SiO₂ 的质量分数从 0% 增加到 6% 时, 纤维膜的平均孔径由 2.273 μm 增加到 4.218 μm , 最大孔径由 28.256 μm 增加到 42.850 μm 。进一步增加 SiO₂ 的质量分数时, 平均

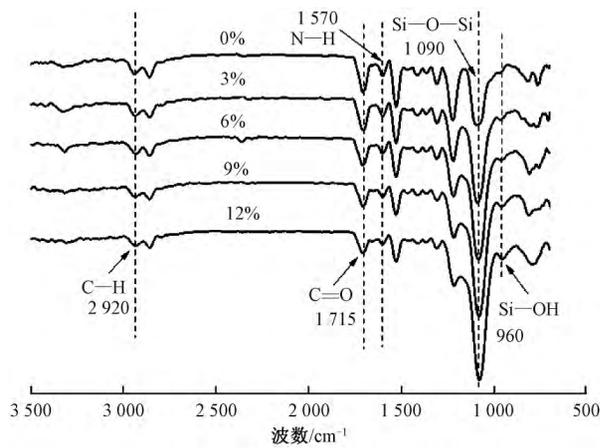


图 7 不同 SiO₂ 质量分数的 PU/SiO₂ 复合纤维膜的红外谱图

Fig.7 FT-IR spectra of PU/SiO₂ composite membranes prepared with different mass fraction of SiO₂

孔径和最大孔径呈现先下降后增加的趋势,这可能和添加 SiO₂ 导致纤维分布不均增加有关。同时,通过计算纤维膜的孔隙率得到,随着 SiO₂ 质量分数的增加孔隙率从 54.20% 降至 51.03%。

表 1 不同 SiO₂ 质量分数的 PU/SiO₂ 复合纤维膜的孔径及孔隙率

SiO ₂ 质量分数/%	平均孔径/μm	最大孔径/μm	孔隙率/%
0	2.273	28.256	54.20
3	2.435	41.257	53.90
6	4.218	42.850	52.70
9	3.031	35.868	52.10
12	3.423	39.714	51.03

2.4 PU/SiO₂ 纤维膜的力学性能分析

不同 SiO₂ 质量分数的 PU/SiO₂ 复合纤维膜的断裂应力、断裂应变及初始模量如表 2 所示。可知,随着 SiO₂ 质量分数的增加,与纯 PU 膜相比,PU/SiO₂ 复合纤维膜初始模量变化不大,而断裂应力从 6.15 MPa 降到 3.10 MPa。这是由于 SiO₂ 颗粒团聚造成内应力集中所致。与纯 PU 膜相比,PU/SiO₂ 复合纤维膜的断裂伸长率 238% 降到 162%,表明纤维膜尺寸稳定性增强。

2.5 PU/SiO₂ 纤维膜水接触角与静水压分析

通过静态水接触角测试 PU/SiO₂ 复合纤维膜的润湿性能,结果如表 3 所示。可以看出,纯 PU 膜的静态接触角为 125°,这是因为聚氨酯的软段(多元醇)具有亲水性^[16],因而其具有较高的表面能,疏水性能较差。当加入 SiO₂ 的质量分数逐渐增加时,静态水接触角呈现逐渐增加的趋势,当 SiO₂ 的质量

表 2 不同 SiO₂ 质量分数的 PU/SiO₂ 复合纤维膜力学性能

Tab.2 Mechanical properties of PU/SiO₂ composite membranes prepared with different mass fraction of SiO₂

SiO ₂ 质量分数/%	断裂应力/MPa	断裂伸长率/%	初始模量/MPa
0	6.15	238	14.72
3	5.70	216	14.53
6	4.54	203	13.62
9	4.16	184	13.61
12	3.10	162	14.21

分数为 9% 时静态接触角达到 131°。与纯 PU 膜相比,静水压随着 SiO₂ 质量分数的增加,从 1.4 kPa 增加到 7.6 kPa。这归因于加入疏水 SiO₂ 颗粒, SiO₂ 存在于单纤表面上,导致单纤表面的粗糙度增加,在提高纤维膜的疏水性能同时,无机颗粒的引入,增加了纤维膜承受静水压的能力。

表 3 不同 SiO₂ 质量分数的 PU/SiO₂ 复合纤维膜的静态水接触角和静水压

Tab.3 Water contact angle and hydrostatic pressure of PU/SiO₂ composite membranes prepared with different mass fraction of SiO₂

SiO ₂ 质量分数/%	静态水接触角/(°)	静水压/kPa
0	125	1.4
3	127	3.2
6	129	5.1
9	131	6.4
12	130	7.6

2.6 PU/SiO₂ 纤维膜透气透湿率分析

图 8 示出不同 SiO₂ 质量分数的 PU/SiO₂ 纤维膜的透气透湿性能。

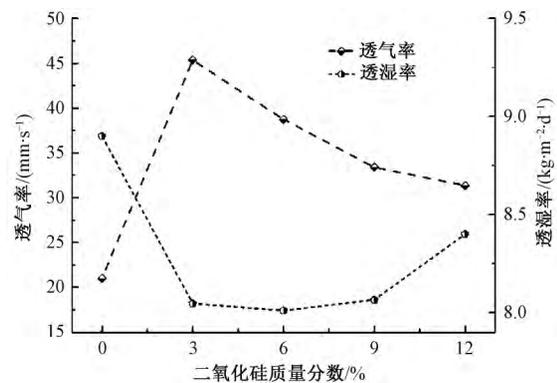


图 8 不同 SiO₂ 质量分数的 PU/SiO₂ 复合纤维膜的透气率与透湿率

Fig.8 Air permeability and W_{vtr} of PU/SiO₂ composite membranes prepared with different mass fraction of SiO₂

由图可知:随着 SiO₂ 质量分数的增加,纤维膜透气率呈现出先上升后下降的趋势;当 SiO₂ 的质量

分数从 0% 增加到 3% 时, 透气率从 21.01 mm/s 增加到 45.36 mm/s, 当 SiO₂ 的质量分数增加到 12% 时, 透气率下降到 31.36 mm/s。透湿率则呈现下降后又稍有上升的趋势, 透湿率从 8.9 kg/(m²·d) 下降到 8.01 kg/(m²·d) 又回升至 8.4 kg/(m²·d)。结合上述孔径大小和孔隙率分析可知: 在本文实验中影响透气性的主要参数为孔径大小, 纤维膜的透气性和孔径大小随 SiO₂ 质量分数的变化趋势基本一致; 而影响透湿率性能的主要参数为孔隙率, 纤维膜的透湿性和孔隙率随 SiO₂ 质量分数的变化趋势基本一致。

3 结 论

1) 结合纤维膜的三维结构模型分析得出, 纤维膜的孔径随着纺丝液质量分数的增加而增加, 随着纤维膜厚度的增加而减少。

2) SiO₂ 的质量分数为 9% 时, 与纯 PU 膜相比, 制备的 PU/SiO₂ 纤维膜具备较好的尺寸稳定性, 其断裂应力为 4.16 MPa, 断裂伸长率为 184%。

3) SiO₂ 的质量分数为 9% 时, 由于纤维膜表面能的降低和微纳米结构的建构, 制备的 PU/SiO₂ 纤维膜静态水接触角达 131°, 静水压为 6.4 kPa, 透气率为 33.4 mm/s, 透湿率为 8.065 kg/(m²·d)。

FZXB

参考文献:

- [1] AHN H, PARK C, CHUNG S. Waterproof and breathable properties of nanoweb applied clothing [J]. *Textile Research Journal*, 2011, 81(14): 1438-1447.
- [2] HUANG J. A new test method for determining water vapor transport properties of polymer membranes [J]. *Polymer Testing*, 2007, 26(5): 685-691.
- [3] 周颖, 姚理荣, 高强. 聚氨酯/聚偏氟乙烯共混膜防水透气织物的制备及其性能 [J]. *纺织学报*, 2014, 35(5): 23-29.
ZHOU Ying, YAO Lirong, GAO Qiang. Preparation and characterization of polyurethane/polyvinylidene fluoride waterproof permeable composite fabric [J]. *Journal of Textile Research*, 2014, 35(5): 23-29.
- [4] SUTON K, OMEROVIC K, KOVACEVIC M, et al. Analysis of Textile Materials Coating [M]. Zagreb: Faculty of Textile Technology, 2011: 239-249.
- [5] PIOTR K, BOZENA K. Surface free energy of polyurethane coatings with improved hydrophobicity [J]. *Colloid and Polymer Science*, 2012, 290(10): 879-893.
- [6] KAYAOGLU B K, OZTURK E, GUNER F S, et al. Improving hydrophobicity on polyurethane - based synthetic leather through plasma polymerization for easy care effect [J]. *Journal of Coatings Technology and Research*, 2013, 10(4): 549-558.
- [7] HASHIZUME R, FUJIMOTO K L, HONG Y, et al. Morphological and mechanical characteristics of the reconstructed rat abdominal wall following use of a wet electrospun biodegradable polyurethane elastomer scaffold [J]. *Biomaterials*, 2015, 31(12): 3253-3265.
- [8] ZHANG M, SHENG J, YIN X, et al. Polyvinyl butyral modified polyvinylidene fluoride breathable - waterproof nanofibrous membranes with enhanced mechanical performance [J]. *Macromolecular Materials and Engineering*, 2016. DOI: org/10.1002/name.2016002/2.
- [9] 李静, 易玲敏, 王明乾, 等. 静电纺丝法制备超疏水氟硅改性纳米 SiO₂/PET 共混膜 [J]. *高分子材料科学与工程*, 2016, 32(12): 115-120.
LI Jing, YI Lingmin, WANG Mingqian, et al. Fabrication superhydrophobic films of fluorosilicone - modified SiO₂/PET by electrospinning [J]. *Polymer Materials Science and Engineering*, 2016, 32(12): 115-120.
- [10] 徐旭凡. MCMC 对聚氨酯膜防水透湿性能的影响 [J]. *纺织学报*, 2005, 26(2): 64-66.
XU Xufan. Effect of modified carboxymethyl cellulose on the waterproof and moisture permeability of the polyurethane film [J]. *Journal of Textile Research*, 2005, 26(2): 64-66.
- [11] GU H, ZHANG Q, GU J, et al. Facile preparation of superhydrophobic silica nanoparticles by hydrothermal - assisted sol-gel process and effects of hydrothermal time on surface modification [J]. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 2018, 87(2): 478-485.
- [12] 常怀云, 许淑燕, 应黎君, 等. 静电纺 PAN 纳米纤维多孔膜的微观结构与过滤性能 [J]. *纺织学报*, 2011, 32(9): 1-4.
CHANG Huaiyun, XU Shuyan, YING Lijun, et al. Microstructure and filtration properties of electrospun PAN nanofibrous porous membrane [J]. *Journal of Textile Research*, 2011, 32(9): 1-4.
- [13] 张钊. SiO₂ 基纤维隔热瓦热导率及压缩性能研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014: 57-59.
ZHANG Zhao. Study on thermal conductivity and compression performance of SiO₂-based fibrous insulation [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014: 57-59.
- [14] 杨友红, 王云发, 闻春香. 红外光谱法鉴别 PVC 革和 PU 革 [J]. *产业用纺织品*, 2010, 28(2): 44-47.
YANG Youhong, WANG Yunfa, WEN Chunxiang. The discrimination of PU leather and PVC leather by infrared spectroscopy [J]. *Technical Textiles*, 2010, 28(2): 44-47.
- [15] CORCUERA M A, RUEDA L, FEMANDEZ D, et al.

- Microstructure and properties of polyurethanes derived from castor oil [J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2010, 95 (11): 2175-2184.
- [16] 谭晓玲, 果云, 潘肇琦, 等. 软段对水性聚氨酯结构与性能的影响 [J]. *功能高分子学报*, 2004(2): 235-240.
- TAN Xiaoling, GUO Yun, PAN Zhaoqi, et al. Influence of soft - segments on structure and properties of polyurethane emulsion [J]. *Journal of Functional Polymers*, 2004(2): 235-240.

第 15 届亚洲纺织会议暨第九届中国 纺织学术年会征文通知

亚洲纺织会议(ATC) 是亚洲纺织学会联盟(FAPTA) 的主要活动之一, 每 2 年召开 1 次。自 1991 年至今已在 FAPTA 成员所在地成功召开了 14 届, 为纺织服装领域及其相关交叉学科的发展状况和前景的研讨及尖端技术交流提供了一个高效的平台。第 15 届亚洲纺织会议(ATC-15) 将由中国纺织工程学会主办, 会议地点: 绍兴/杭州, 时间: 2019 年 9 月下旬。

中国纺织学术年会是中国纺织工程学会主办的我国纺织学术界一年一度交流、沟通、合作、创新的学术盛宴, 是纺织领域科研人员探讨新观点、新理论、新方法、新技术、新成果的重要平台, 至今已成功举办了 8 届。第九届中国纺织学术年会将与第 15 届亚洲纺织会议同期举行。

为保证本次会议的学术质量, 吸引更多的原创性、高水平的学术论文, 现公开征稿, 欢迎广大在纺织服装领域及相关交叉领域开展研究与学习的学者、科研工作者及学生踊跃投稿, 投稿论文将自动参评第 20 届陈维稷优秀论文奖。具体详情请查看网站 <http://atc15.csp.escience.cn>。

如有疑问请联系大会秘书处: atc15china@vip.126.com。