

功能材料

PET/CA 根须状蓬松纳米纤维复合膜的制备及其烹饪油烟过滤性能

吴婷^{1,2}, 周伟涛^{1,2,3*}, 李勇¹, 韩璐¹, 周飞越³, 杜姗^{2,4}

(1. 中原工学院 纺织服装产业研究院, 河南 郑州 451191; 2. 纺织行业纳米纤维纱线重点实验室, 河南 郑州 451191; 3. 郑州市绿色染整技术重点实验室, 河南 郑州 451191; 4. 河南省纺织服装协同创新中心, 河南 郑州 450007)

摘要: 为有效净化烹饪油烟, 采用共溶剂静电纺丝技术, 通过调控聚酯 (PET) 和醋酸纤维素 (CA) 共混质量比, 制备了根须状蓬松纳米纤维复合膜。借助 SEM、接触角测试仪、热重分析仪及自动滤料测试系统对所制备纤维膜的微观形貌、表面润湿性、热稳定性及油烟过滤性能进行了测定。结果表明, $m(\text{PET}) : m(\text{CA}) = 8 : 2$ 制备的纳米纤维复合膜成型良好, 具有明显的根须状结构, 根须直径约 100 nm、根冠直径约 300 nm; 且堆积蓬松, 孔隙率、堆积密度分别达 $93.85\% \pm 0.23\%$ 、 $(0.023 \pm 0.001) \text{ g/m}^3$; 与水接触角为 $154.0^\circ \pm 0.5^\circ$, 与油接触到油完全吸收仅需 2 s, 具有特殊表面润湿性; 纳米纤维复合膜分解温度 $> 300^\circ \text{C}$; 烹饪油烟初始过滤效率达 92%, 初始过滤阻力仅为 36 Pa, 且经 20 次循环测试后, 其过滤效率仍 $\geq 91\%$, 过滤阻力规律性缓慢上升。

关键词: 根须状; 蓬松结构; 静电纺丝; 纳米纤维复合膜; 油烟过滤; 功能材料

中图分类号: TB383.2 文献标识码: A 文章编号: 1003-5214 (2022) 09-1788-06

Preparation of PET/CA root hair-like fluffy nanofibrous composite films and their cooking oil fume filtration performance

WU Ting^{1,2}, ZHOU Weitao^{1,2,3*}, LI Yong¹, HAN Lu¹, ZHOU Feiyue³, DU Shan^{2,4}

(1. Research Institute of Textile and Clothing Industries, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 451191, Henan, China; 2. Key Laboratory of Nanofiber Yarn in Textile Industry, Zhengzhou 451191, Henan, China; 3. Key Laboratory of Green Dyeing & Finishing Technology in Zhengzhou, Zhengzhou 451191, Henan, China; 4. Collaborative Innovation Center of Textile and Garment Industry, Zhengzhou 450007, Henan, China)

Abstract: A series of electrospun root-like fluffy composite nanofibrous films for efficient filtration of cooking fumes were synthesized using polyester (PET)/cellulose acetate (CA) co-solvent system with different mass ratios. The morphology, surface and interface wettability, thermal stability and cooking fume filtration performance of these obtained films were characterized and analyzed by SEM, contact angle tester, thermal gravimetric analyzer and automatic filter material test system. The results showed the nanofibrous composite film with $m(\text{PET}) : m(\text{CA}) = 8 : 2$ exhibited obvious root hair-like fluffy structure with a root tip diameter 100 nm, root cap diameter about 300 nm, porosity $93.85\% \pm 0.23\%$, bulk density $(0.023 \pm 0.001) \text{ g/m}^3$, and water contact angle $154.0^\circ \pm 0.5^\circ$, respectively. Moreover, the composite membrane displayed short oil absorption time 2 s, decomposition temperature $> 300^\circ \text{C}$, cooking fume initial filtration efficiency 92% and initial filtration pressure drop 36 Pa. The filtration efficiency still remained $\geq 91\%$ with slow and regular increase in filtration resistance even after being recycled 20 times.

Key words: root hair-like shape; fluffy structure; electro-spinning; nanofiber composite films; oil fume filtration; functional materials

收稿日期: 2022-03-10; 定用日期: 2022-04-28; DOI: 10.13550/j.jxhg.20220211

基金项目: 河南省高等学校青年骨干教师培养计划 (2021GGJS108); 河南省高等学校重点项目 (22A540002); 中原工学院骨干教师资助计划 (2018XQC03)

作者简介: 吴婷 (1995—), 女, 硕士生。联系人: 周伟涛 (1981—), 男, 副教授, E-mail: 6275@zut.edu.cn。

中国煎、炒、烹、炸的饮食习惯易产生大量的油烟,其成分主要是固、液态颗粒物及挥发性有机物^[1]。这些有毒有害物质易引起人体呼吸系统不适、免疫功能下降,甚至会诱发癌变;其排放造成严重的空气污染,已经成为强霾污染的第三大“元凶”^[2-3]。烹饪油烟的排放威胁着人体健康和大气环境,其治理刻不容缓。

烹饪油烟颗粒物尺寸小(粒径 0.01~0.30 μm),且具有强黏性^[4]。针对其特性,科研人员研发了多种净化技术。目前,已见报道的油烟去除方法有机械式、静电式、吸附式、过滤式和生物降解式、催化燃烧式等^[5]。前 3 种方法对细小颗粒物过滤精度差、效率低、衰减快;生物降解式、催化燃烧式等新型过滤技术过滤性能好但设备成本高,且受温度影响大^[6]。与以上方法相比,过滤法设备简单、能耗低,应用最为广泛。SHENG 等^[7]证明新型三维编织纤维过滤器对较大的油烟颗粒(2.5 μm)具有良好的过滤性能,过滤效率达 80%,且滤阻较小(84 Pa);但由于普通纤维直径大,对粒径较小的颗粒物过滤效果不理想,限制了其在油烟过滤中的应用。王迪^[8]探究了不同种类和细度纤维纸的油烟过滤性能,发现相同条件下微纳米纤维的过滤效率(75%)远高于普通微米级纤维(50%),但其滤阻均超过 2000 Pa。由此可知,减小纤维直径,有利于提升滤材对油烟的捕获能力,但同时会导致过滤阻力倍增。与传统纤维相比,静电纺纳米纤维直径小、过滤效率更高^[9-10]。ZHOU 等^[11]采用静电纺丝技术制备两栖超亲水超亲油纳米纤维膜(直径 70 nm),其分离油性气溶胶(粒径 330 nm)效率高达 95%,但初始滤阻高(126 Pa);WANG 等^[12]制备了一种氟化聚氨酯改性纳米纤维膜,通过调控膜材料表面润湿性、多孔结构实现对油性气溶胶较高的过滤效率(90%),滤阻降至 106.9 Pa;LIU 等^[13]通过湿度诱导静电纺制备蓬松纳米纤维网,形成可调控的孔径和堆积密度,过滤阻力 101.33 Pa。上述文献表明,蓬松结构及特殊的表面润湿性有助于过滤性能提升(高效低阻)。

聚酯(PET)无毒无害、具有良好的耐高温、疏水性;醋酸纤维素(CA)易纺丝成型,在过滤和分离领域广泛应用。本文拟采用共溶剂静电纺丝技术制备具有蓬松结构和特殊表面润湿性的 PET/CA 纳米纤维复合膜,研究 PET/CA 纺丝液浓度和共混比对复合纳米纤维膜形貌结构及润湿性的影响,构建复合膜结构和润湿性调控机制,并探讨其作为烹饪油烟过滤材料的可行性。

1 实验部分

1.1 材料

PET 非织造材料〔直径(21.00 \pm 3.31) μm , 克重 33.9 g/m^2 , 市售]; PET 切片〔白色颗粒物, 相对分子质量(简称分子量, M_w) 31500], 癸二酸二正辛酯(DEHS, 质量分数 95.0%), 上海阿拉丁生化科技股份有限公司; 醋酸纤维素(CA, 乙酰基质量分数 39.8%, 羧基质量分数 3.5%, $M_w=35000$)、三氟乙酸(TFA, 质量分数 99.0%), 上海麦克林生化科技有限公司。

1.2 样品制备

1.2.1 纺丝液制备

将一定质量的 PET 与 CA 加入三氟乙酸中室温搅拌 12 h 至完全溶解, 配成质量分数为 6%~12% 的纺丝液; 保持 PET 与 CA 质量分数不变, 调整 PET 与 CA 共混质量比〔即 $m(\text{PET}):m(\text{CA})$, 简称共混比〕分别为 1:0(纯 PET)、9:1、8:2、7:3、6:4、0:1(纯 CA), 得到不同的纺丝液。

1.2.2 纳米纤维复合膜的制备

用注射器吸取 5 mL 所配制的纺丝液, 在温度(24 \pm 2) $^\circ\text{C}$ 、相对湿度 35% \pm 2% 的条件下, 用 HD-2335 静电纺丝机(北京永康乐业发展有限公司, 毛细管直径 0.7 mm) 进行静电纺丝实验。将纳米纤维纺于 PET 非织造材料(过滤效率 0.1%, 过滤阻力 0 Pa, 可忽略不计) 基底上 30 min, 电压、接收距离和纺丝速度分别为 26 kV、16 cm 和 0.08 mL/min, 所制备的纳米纤维复合膜命名为 $x\text{PET}/\text{CA}$, x 为 PET 与 CA 共混质量比, 取值为 9:1、8:2、7:3、6:4。

1.3 结构表征与性能测试

将喷金处理后纳米纤维复合膜置于电子显微镜(Phenom Pure 型, 荷兰电子公司) 下进行形貌和结构观察(加速电压 5 kV) 及截面厚度测试。随机抽取 100 根纤维, 用粒径分析软件测量纤维直径分布, 并依据文献^[14]方法计算纤维膜的比表面积、孔隙率以及堆积密度。

用光学接触角测度仪(OCA20 型, 德国 Data-physics 公司) 测试所制备纳米纤维复合膜的表面润湿性, 液滴体积 2 μL , 每个样品测 5 次取平均值。

采用热重分析仪(Discovery SDT 650 型, 美国 TA 公司) 在氮气氛围下对纳米纤维复合膜进行热学性能测试。测试条件: 样品 5 mg, 温度 50~800 $^\circ\text{C}$, 升温速率 10 $^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

1.4 烹饪油烟过滤性能测试

DEHS 与烹饪油烟物理性质接近, 被广泛用于模拟烹饪油烟过滤测试实验^[15]。通过自动滤料测试

系统 (TSI-8130A, 美国 TSI 公司) 用自带 DEHS 气溶胶发生器来评估纳米纤维复合膜的油烟过滤性能。测试条件: 将纳米纤维复合膜裁成直径 15 cm 圆形, 风速 32 L/min 和气溶胶 15 mg/min, 重复测试 10 次求平均值。为了综合评价其油烟过滤性能, 根据过滤效率和过滤阻力用式 (1) 计算纤维膜过滤的品质因子 (Q_f , Pa^{-1}):

$$Q_f = \frac{-\ln(1-\eta)}{\Delta P} \quad (1)$$

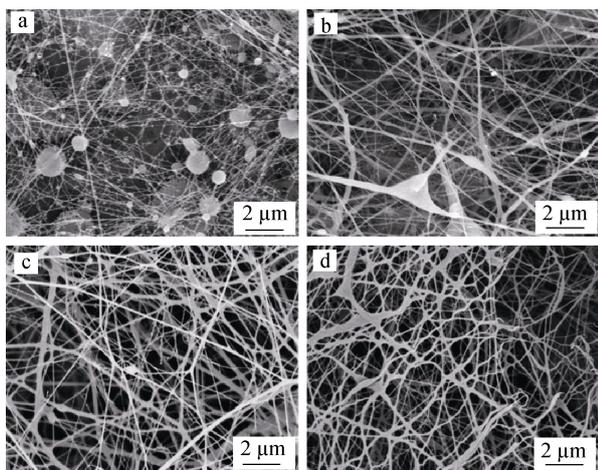
式中: η 为过滤效率, %; ΔP 为过滤阻力, Pa。

循环使用性及连续过滤测试条件与过滤性能测试条件一致, 并记录仪器显示的过滤效率、过滤阻力结果。

2 结果与讨论

2.1 纳米纤维复合膜结构调控

纺丝液质量分数对纳米纤维复合膜形貌的影响见图 1 (PET/CA 共混比为 1:1, 其他实验条件同 1.2.2 节)。由图 1 可见, 当纺丝液质量分数为 6% 时, 能得到大量的散乱纤维 [直径为 $(0.8 \pm 0.02) \mu\text{m}$], 并出现较大且未牵伸的珠状物质 (图 1a)。这可能是由于纺丝液质量分数低, 分子链之间缠结作用小, 难以获得连续稳定的射流, 纺丝不稳定 (弯曲鞭动) 所致。当纺丝液质量分数增至 8% 时, 所得纤维形貌明显改善, 纤维明显变粗, 且出现少量纺锤体 (图 1b)。当纺丝液质量分数为 10% 时, 纤维成型良好, 直径在 $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$, 且相互穿插, 呈现明显根须结构 (图 1c)。继续增大纺丝液质量分数到 12% 时, 纤维黏连严重 (图 1d)。因此, 纺丝液质量分数为 10% 较佳。



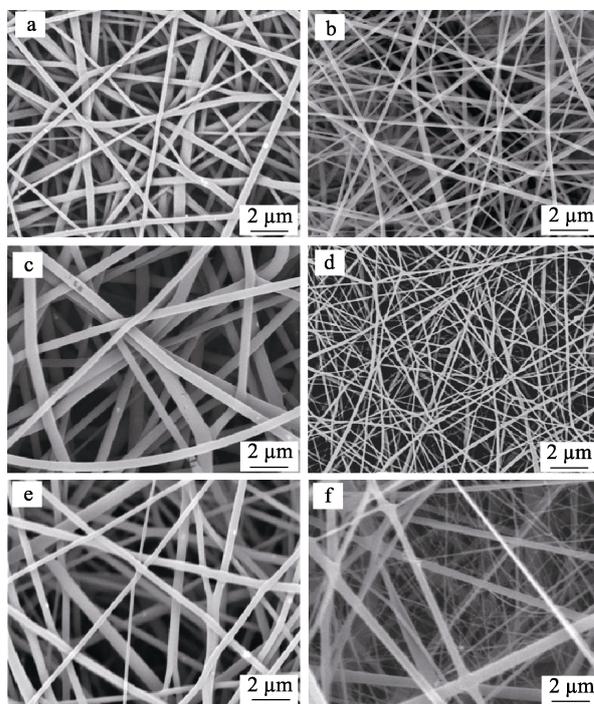
a—6%; b—8%; c—10%; d—12%

图 1 不同质量分数纺丝液制备的 PET/CA 纳米纤维复合膜的 SEM 图

Fig. 1 SEM images of PET/CA nanofiber composite films with different mass fractions

PET/CA 共混比对纳米纤维复合膜形貌的影响

如图 2 所示 (控制纺丝液质量分数、电压、接收距离和纺丝速度分别为 10%、26 kV、16 cm 和 0.08 mL/min)。纯 PET 和 CA 纳米纤维膜纺丝成型良好, 纤维连续且光滑 (图 2a、b)。但其直径差异大, 平均直径分别为 (0.60 ± 0.19) 和 $(0.27 \pm 0.05) \mu\text{m}$ 。PET/CA 共混后, 纤维成型良好, 共混比对纤维形貌有明显的影响 (图 2c~f), 各自成纤, 形成蜂网结构。当 PET/CA 混合共溶剂静电纺丝时, 其形貌发生显著变化。当 PET 占比较大 [$m(\text{PET}) : m(\text{CA}) = 9 : 1$] 时, 所纺纤维直径较粗 ($0.3 \sim 1.3 \mu\text{m}$), CA 均匀分散于 PET 中 (图 2c)。当 $m(\text{PET}) : m(\text{CA}) = 8 : 2$ 共混时, 所制备的纤维纵横交错, 劈裂的纤维如根须般弯曲分叉 (图 2d), 直径粗 (约 300 nm) 的纤维交错形成根冠, 直径细 (约 100 nm) 的纤维组成根须穿插其中。纤维形貌出现明显变化, 这些变化可能是 PET/CA 共混比接近两者分相的临界点, 部分分相各自成纤, 形成根须状纳米纤维。这些根须状蓬松结构, 可能有利于其在烹饪油烟过滤上的应用。继续调整 $m(\text{PET}) : m(\text{CA}) = 7 : 3$ 时, 纤维直径增至约 $1.5 \mu\text{m}$ 且出现少量约 $0.08 \mu\text{m}$ 较细纤维, 根须结构消失 (图 2e)。当 CA 占比提高 [$m(\text{PET}) : m(\text{CA}) = 6 : 4$] 时, 形成大量较细纤维 ($\leq 0.08 \mu\text{m}$), PET/CA 完全分相 (图 2f)。



a—1:0; b—0:1; c—9:1; d—8:2; e—7:3; f—6:4

图 2 PET/CA 不同共混比纳米纤维复合膜的 SEM 图
Fig. 2 SEM images of PET/CA nanofibrous composite films with different mass ratios

为进一步观察 PET/CA 纳米纤维复合膜形貌, 通过电子显微镜拍摄 8:2 PET/CA 纳米纤维复合膜的截面照片, 如图 3 所示。

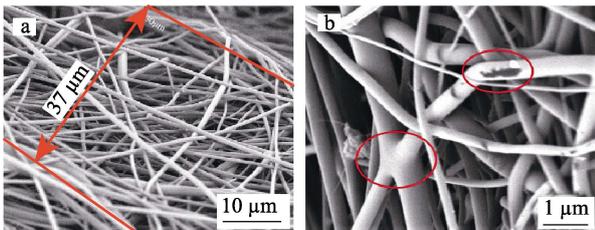


图 3 8 : 2 PET/CA 纳米纤维复合膜不同放大倍数的截面 SEM 图

Fig. 3 Cross section SEM images of PET/CA nanofibrous composite films with $m(\text{PET}) : m(\text{CA})=8 : 2$ at different magnification

由图 3 可知, 视野范围内复合膜厚度为 $37 \mu\text{m}$, 纤维堆积松散, 可以明显观察到相互搭接的根须状结构, 与图 2d 一致。从图 3b 可清晰看到相互贯通的根须状纤维, 且局部为中空结构, 该结构可能是由于纺丝过程中空气的混入, 形成空心泰勒锥所致。蓬松和中空结构也

有助于对烹饪油烟的高效过滤。

2.2 纳米纤维复合膜的特性参数

为分析共混比对纳米纤维复合膜结构的影响, 对膜的特性参数进行测定, 结果如表 1 所示。与普通滤纸的孔隙率 ($48.01\% \pm 0.93\%$) 和堆积密度 [$(0.095\% \pm 0.002) \text{ g/m}^3$] 相比, 纯 PET 和 CA 纳米纤维膜具有较高孔隙率 ($42.21\% \pm 1.25\%$ 和 $48.40\% \pm 1.56\%$) 和较低堆积密度 [(0.080 ± 0.003) 和 $(0.060 \pm 0.004) \text{ g/m}^3$]。当 PET/CA 共混静电纺丝时, 其孔隙率大幅度提高, 堆积密度明显降低。当 $m(\text{PET}) : m(\text{CA})=8 : 2$ 时, 其孔隙率及堆积密度均优于其他比例, 孔隙率高达 $93.85\% \pm 0.23\%$, 堆积密度低至 $(0.023 \pm 0.001) \text{ g/m}^3$, 堆积密度远低于普通纤维膜 ($0.05 \sim 0.06 \text{ g/m}^3$)^[16]。8 : 2 PET/CA 根须状蓬松纳米纤维复合膜的高孔隙率、低堆积密度可能有利于气体流通及液体渗透, 适用于对烹饪油烟的高效过滤。

表 1 纳米纤维复合膜的特性参数

Table 1 Specific parameters of nanofibrous composite films

样品	平均直径/ μm	厚度/ μm	比表面积/ $(\times 10^7 \text{ m}^2/\text{m}^3)$	孔隙率/%	堆积密度/ (g/m^3)
PET	0.60 ± 0.19	41	0.667 ± 0.161	42.21 ± 1.25	0.080 ± 0.003
CA	0.27 ± 0.05	44	1.481 ± 0.231	48.40 ± 1.56	0.060 ± 0.004
9 : 1 PET/CA	0.59 ± 0.18	48	0.678 ± 0.159	87.20 ± 0.89	0.042 ± 0.004
8 : 2 PET/CA	0.16 ± 0.07	52	2.500 ± 0.761	93.85 ± 0.23	0.023 ± 0.001
7 : 3 PET/CA	0.48 ± 0.21	46	0.834 ± 0.254	85.32 ± 2.35	0.046 ± 0.006
6 : 4 PET/CA	0.24 ± 0.20	46	1.667 ± 0.758	84.24 ± 3.04	0.051 ± 0.007
普通滤纸	16.13 ± 3.74	158	0.025 ± 0.049	48.01 ± 0.93	0.095 ± 0.002

2.3 纳米纤维复合膜的润湿性

所制纳米纤维复合膜表面润湿性如图 4 所示。可以看出, 纯 PET 和 CA 的水接触角分别为 $122.0^\circ \pm 2.0^\circ$ 和 $127.0^\circ \pm 2.5^\circ$, 表现出良好的疏水性。与纯 PET 和 CA 纤维膜相比, PET/CA 共混纺丝复合膜润湿性有一定变化。当 $m(\text{PET}) : m(\text{CA})=9 : 1$ 时纤维较粗(图 2c), 润湿性变化不大; 当 $m(\text{PET}) : m(\text{CA})=7 : 3$ 及 $6 : 4$ 时, PET/CA 分相明显(图 2e、f), 对应其表面润湿性略微升高。

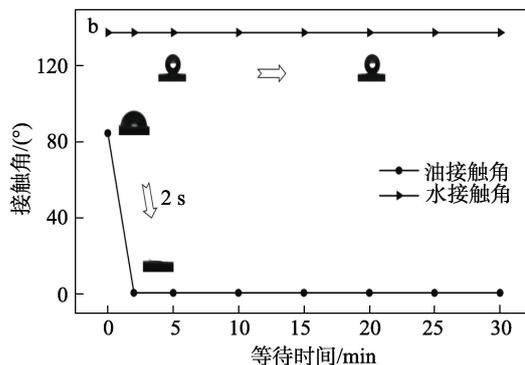
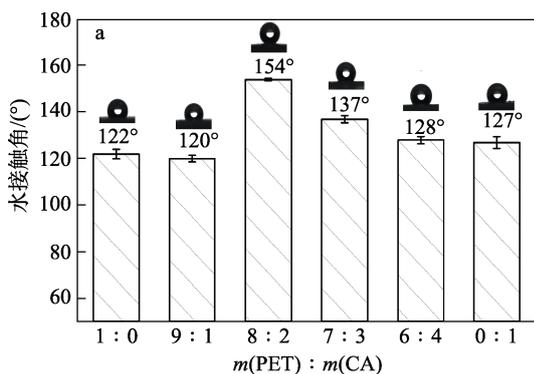


图 4 不同共混比 PET/CA 纳米纤维复合膜的水接触角 (a); 30 min 内 8 : 2 PET/CA 纳米纤维复合膜与水或油接触角的变化 (b)

Fig. 4 Water contact angles of PET/CA nanofibrous composite films with different molar ratios (a); Water and oil contact angles of nanofibrous composite film with $m(\text{PET}) : m(\text{CA})=8 : 2$ at 30 min (b)

与以上混合比相比, $m(\text{PET}) : m(\text{CA})=8 : 2$ 的 PET/CA 膜润湿性变化明显, 水接触角达到 $154.0^\circ \pm 0.5^\circ$, 展示出超疏水性。这是由于其形成了根须

状蓬松结构(图 2d), 其具有低堆积密度、高孔隙率(见表 1), 蓬松纤维表面不仅有更大的粗糙度, 而且增大了纤维间空气的托持。由图 4b 可知, $m(\text{PET}) : m(\text{CA}) = 8 : 2$ 的纳米纤维复合膜静置 30 min 后与水接触角依旧保持不变 (154.0°), 具有优异的疏水稳定性; 与油的初始接触角为 84.0° , 2 s 内迅速降至 0° , 表现出较好的亲油性。其特殊的表面润湿性(超疏水超亲油), 也可能有助于对油烟中液体颗粒物(水滴和油滴)的净化。

2.4 纳米纤维复合膜的热稳定性

PET、CA、8 : 2 PET/CA 纳米纤维复合膜的 TG 和 DTG 曲线如图 5 所示。

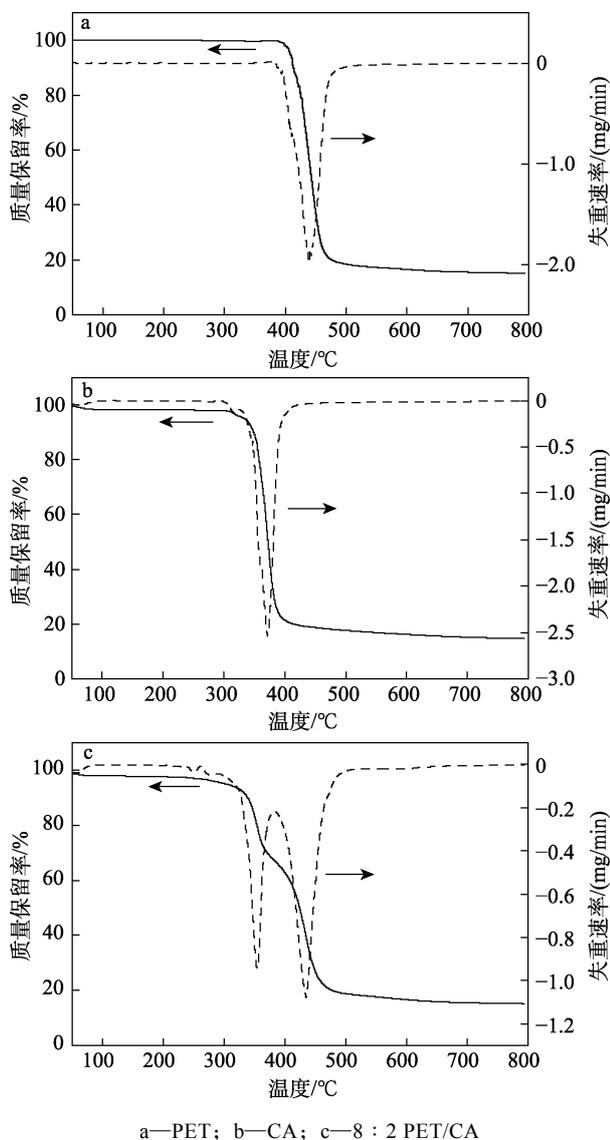


图 5 纳米纤维复合膜的 TG-DTG 曲线

Fig. 5 TG and DTG curves of nanofibrous composite films

由图 5 可知, 所制纳米纤维膜的分解温度均高于 300°C , 具有良好的热稳定性, 满足烹饪油烟过滤耐高温的需要(油烟温度 260°C)。纯 PET 和 CA 纳米纤维膜的分解峰分别为 440 和 370°C , 而

8 : 2 PET/CA 纳米纤维复合膜在 $350\sim 430^\circ\text{C}$ 内出现两个互不重叠的分解峰和两个连续失重台阶。表明 PET/CA 共溶剂静电纺丝后, 两组分高分子链段共溶接近二者分相的临界点, 部分相溶形成均相体系, 具备超出各组分单独存在时的性能(表 1, 图 4a)。

2.5 油烟过滤性能评价

所制备纳米纤维复合膜的油烟过滤品质因子及其循环性能如图 6 所示。

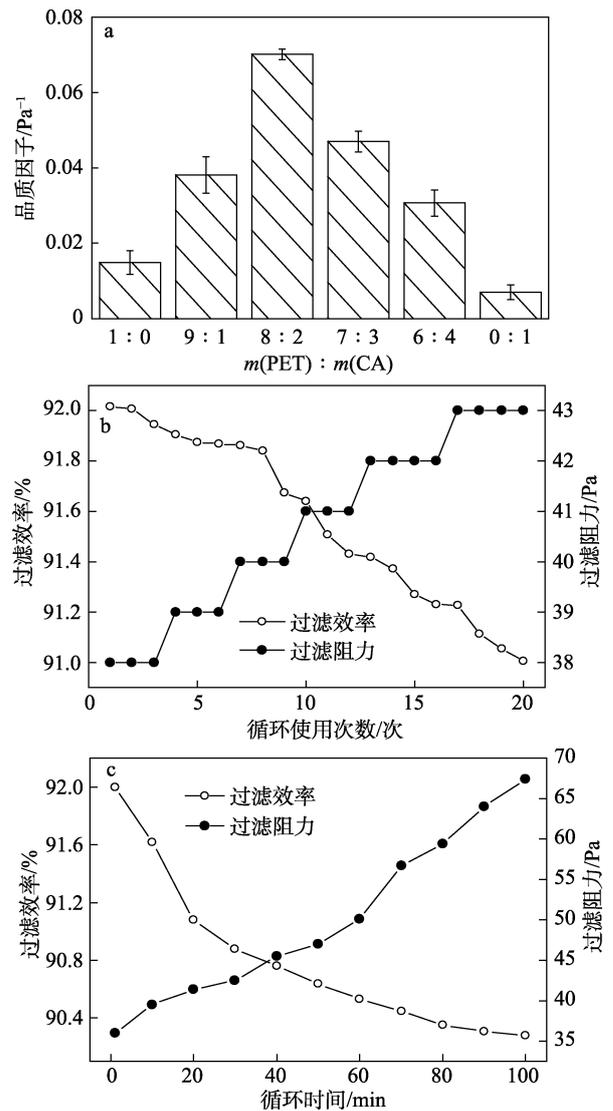


图 6 品质因子 (a)、8 : 2 PET/CA 复合膜的油烟过滤效率 (b) 和 100 min 连续过滤性能 (c)

Fig. 6 Quality factor (a), fume filtration efficiency (b) and 100 min continuous filtration (c) of 8 : 2 PET/CA composite film

纯 PET 和 CA 纤维膜的过滤效率均大于 90% , 但过滤阻力很高, 分别为 161 和 379 Pa 。由图 6a 对比发现, 8 : 2 PET/CA 纳米纤维复合膜的过滤综合效果最好(品质因子 0.0702 Pa^{-1})。这是由于其高孔隙率、低堆积密度的根须状蓬松结构和特殊表面润湿性所致(见表 1 和图 4)。一方面, 高孔隙率蓬松结

构提高了气体通量,降低过滤时的压阻;另一方面,特殊表面润湿性(超疏水超亲油)加速油滴的吸附和渗透,提升其油烟过滤效率。8:2 PET/CA 纳米纤维复合膜的油烟过滤循环性能测试如图 6b 所示。经 20 次循环测试后,仍保持较高的过滤效率($\geq 91\%$)和较小的过滤阻力(≤ 43 Pa);其过滤阻力则呈阶梯形上升规律,每经 3~4 次循环,过滤阻力上升 1 Pa,这可能是由于所过滤的油性颗粒在根须状蓬松纳米纤维复合膜中的聚结所致,被蓬松纤维捕获的油性颗粒,从根须末端向根部汇集,在其根须端聚集成小液滴,经过多次循环过滤,小液滴在纤维根部交叉处逐渐聚结成较大液滴,从而堵塞纳

米纤维复合膜的孔径,导致过滤阻力略有上升。对 8:2 PET/CA 纳米纤维复合膜进行 100 min 连续过滤测试,结果如图 6c 所示。经 100 min 的连续测试后,其油烟过滤效率仍高于 90%;且随着过滤时间的延长,过滤效率变化不大,其过滤阻力大致以 3 min/Pa 的速度上升,与图 6b 的测试结果一致。

本文制备材料与文献已报道的油烟过滤材料的过滤性能对比如表 2 所示。可以看出,本文所制备的 PET/CA 根须状蓬松纳米纤维复合膜的过滤效率与过滤阻力均优于其他过滤材料。其初始过滤效率为 92%,初始过滤阻力仅为 36 Pa,在烹饪油烟过滤领域处于领先地位。

表 2 不同滤材油烟过滤性能对比

Table 2 Comparison of fume filtration performance of different filter materials

分离材料	制备技术	初始过滤效率/%	初始过滤阻力/Pa	循环使用性能			参考文献
				循环次数/次	循环后过滤效率/%	循环后过滤阻力/Pa	
木棉纤维	造纸	69	2422	—	—	—	[8]
无纺布	熔喷	70	143	5	70	286	[7]
三维编织纤维	针织	80	84	5	80	178	[7]
含氟聚氨酯纳米纤维膜	静电纺丝	90	107	—	—	—	[12]
8:2 PET/CA 纳米纤维复合膜	静电纺丝	92	36	20	91	43	本文

3 结论

采用共溶剂静电纺丝技术制备 PET/CA 纳米纤维复合膜,通过改变 PET/CA 的共混比,构筑具有高孔隙率($93.85\% \pm 0.23\%$)、低堆积密度[(0.023 ± 0.001) g/m^3]根须状蓬松纳米纤维复合膜。PET/CA 根须状蓬松纳米纤维膜具有超疏水($154.0^\circ \pm 0.5^\circ$)、超亲油性(油完全吸收时间 2 s)。DEHS 气溶胶模拟烹饪油烟测试其油烟过滤性能,结果表明,其具备较高的过滤品质($Q_f = 0.0702 \text{ Pa}^{-1}$),且经过 20 次循环后,对 DEHS 气溶胶仍保持较高的过滤效率($\geq 91\%$)和较小的过滤阻力(≤ 43 Pa);在经 100 min 连续过滤测试后,该纳米纤维复合膜的过滤效率仍高于 90%,过滤阻力规律性缓慢增长,能够满足烹饪油烟过滤材料的使用需求。PET/CA 根须状蓬松纳米纤维复合膜对烹饪油烟具有有效的过滤性能,有望成为过滤精度高、压阻低、使用时效长的油烟过滤新材料。

参考文献:

- [1] CHEN C, ZHAO Y J, ZHAO B. Emission rates of multiple air pollutants generated from Chinese residential cooking[J]. *Environmental Science & Technology*, 2018, 52(3): 1081-1087.
- [2] CHEN T Y, FANG Y H, CHEN H L, *et al.* Impact of cooking oil fume exposure and fume extractor use on lung cancer risk in non-smoking Chinese women[J]. *Scientific Reports*, 2020, 10(1): 1-10.
- [3] WANG Y Q (王亚琪), CHANG T (常甜), CHEN Q C (陈庆彩). Research progress on composition characteristics and treatment technology of VOCs from catering sources[J]. *Environmental Engineering (环境工程)*, 2021, 39(6): 90-98.
- [4] ZHAO Y J, ZHAO B. Emissions of air pollutants from Chinese

cooking: A literature review[J]. *Building Simulation*, 2018, 11(5): 977-995.

- [5] FENG T C (冯铁成), YI H H (易红宏), TANG X L (唐晓龙), *et al.* Research progress of food lampblack pollution and its purification technology[J]. *Modern Chemical Industry (现代化工)*, 2017, 37(3): 20-23.
- [6] ZHAO D F, YOU X Y. Cooking grease particles purification review and technology combination strategy evaluation for commercial kitchens[J]. *Building Simulation*, 2021, 14(6): 1597-1617.
- [7] SHENG Y, ZHENG L, WANG Y Q, *et al.* Exploration of a novel three-dimensional knitted spacer air filter with low pressure drop on cooking fume particles removal[J]. *Building and Environment*, 2020, 177: 106903.
- [8] WANG D (王迪). Study on structure and properties of coalescence materials for oil and gas separation[D]. Guangzhou: South China University of Technology (华南理工大学), 2020.
- [9] GAO D G (高党鸽), LI P Y (李鹏宇), SU Y (苏莹), *et al.* Research progress of special wettability oil-water separation materials[J]. *Fine Chemicals (精细化工)*, 2021, 38(9): 1746-1756.
- [10] WU Y P (吴延鹏), ZHONG Q Y (钟乔洋), XING Y (邢奕), *et al.* Progress in air filtration of electrospinning nanofiber membrane[J]. *Fine Chemicals (精细化工)*, 2021, 38(8): 1530-1541.
- [11] ZHOU H, NIU H T, WANG H X, *et al.* A versatile, highly-effective nanofibrous separation membrane[J]. *Nanoscale*, 2020, 12(4): 2359-2365.
- [12] WANG J, HOU L, YAO Z K, *et al.* Antifouling sandwich-structured electrospun nanofibrous membranes by integrating fluffy and hydrophobic layers for long-term airborne particulate matter segregation[J]. *Environmental Science: Nano*, 2021, 8(11): 3322-3330.
- [13] LIU H, ZHANG S C, LIU L F, *et al.* A fluffy dual-network structured nanofiber/net filter enables high-efficiency air filtration[J]. *Advanced Functional Materials*, 2019, 29(39): 1904108.
- [14] ZHOU W T, HUANG H T, DU S, *et al.* Removal of copper ions from aqueous solution by adsorption onto novel polyelectrolyte film-coated nanofibrous silk fibroin non-wovens[J]. *Applied Surface Science*, 2015, 345(1): 169-174.
- [15] LI W H (李文辉). Study on efficient separation, absorption-catalytic and rapid detection technology of cooking oil fume[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences (中国科学院大学), 2018.
- [16] NISHIHARA S, OTANI M. Hybrid solvation models for bulk, interface, and membrane: Reference interaction site methods coupled with density functional theory[J]. *Physical Review B*, 2017, 96(11): 115429.