

基于废旧涤纶织物的静电纺纳米纤维膜的制备及其性能研究

崔展 刘江涛 邵子洋 鲁元铮 牛梅

太原理工大学 a. 轻纺工程学院, b. 新材料界面科学与工程教育部重点实验室, 山西 太原 030024

摘要:为了解决废旧涤纶织物分离难,回收附加值低的问题,利用静电纺丝方式将其制备成热稳定性优良、高韧性、新型环保的废旧涤纶纳米纤维膜。并通过力学性能测试,以及扫描电镜(SEM)、差示扫描量热(DSC)、热重分析(TGA)等技术手段,对膜的性能进行研究。结果表明,根据其平均直径及方差的分析,确定出最佳工艺为 22 kV 的纺丝电压、16%的纺丝液质量分数。在最佳工艺下也展现出最佳的力学性能,其拉伸强度达到 4.7 N,断裂伸长率达到 210%,体现为很强的韧性。对比聚对苯二甲酸乙二醇酯薄膜(PET膜),废旧涤纶纳米纤维膜的最大热解速率明显下降,结晶度提高了 4.8%,证明废旧涤纶纳米纤维膜具有更优异的结晶性能、热稳定性能。

关键词: 废旧涤纶织物;静电纺丝;纳米纤维膜;力学性能

中图分类号:TS 106.5

文献标志码:A

文章编号:1004-7093(2025)12-0040-10

Preparation of electrospun nanofiber films based on waste polyester/cotton fabric and study on their properties

Cui Zhan, Liu Jiangtao, Shao Ziyang, Lu Yuanzheng, Niu Mei

a. College of Textile Engineering, b. Key Laboratory of Interface Science and Engineering in Advanced Materials, Ministry of Education, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, Shanxi, China

Abstract: To address the issues of difficult separation and low recycling value of waste polyester/cotton fabric, waste polyester/cotton nanofiber films with excellent thermal stability, high toughness and good environmental protection were prepared by electrostatic spinning. And the performance of the films were investigated by mechanical property tests, and scanning electron microscopy (SEM), differential scanning calorimetry (DSC), thermogravimetric analysis (TGA) and other technical means. The results showed that the optimal process was determined by the analysis of the average diameter and variance to be a spinning voltage of 22 kV and a spinning solution mass fraction of 16%. It also showed the best mechanical properties under the optimal process, with a tensile strength of 4.7 N and an elongation at break of 210%, reflecting strong toughness. Compared with

基金项目:山西省回国留学人员科研资助项目(2020-052);山西浙大新材料与化工研究院资助项目(2021SX-TD013);山西省自然青年科学基金(20210302124200)

收稿日期:2025-06-10

作者简介:崔展,男,2000年生,在读硕士研究生,主要研究方向为废旧涤纶纺织品再资源化,461876435@qq.com

通信作者:牛梅,教授,主要研究方向为废旧纺织品再生复合材料,niumei@tyut.edu.cn

the polyethylene terephthalate film (PET film), the maximum pyrolysis rate of waste polyester/cotton nanofiber film decreased significantly, and the crystallinity increased by 4.8%, which proved that the waste polyester/cotton nanofiber film had more excellent crystalline properties and thermal stability.

Keywords: waste polyester/cotton fabric; electrostatic spinning; nanofiber film; mechanical property

随着纺织行业的蓬勃发展,以及直播带货、跨境电商等新兴模式的迅速崛起,人们对纺织品的需求不再只是保暖御寒,更多地体现为美的追求,这直接导致纺织品使用周期大大缩短,取而代之的是堆积成山且难以自然降解的废旧纺织品^[1]。我国作为全球第一纺织大国,每年废旧纺织品总量高达 2 000 万 t,占全球总量的 50%以上^[2],预计到 2050 年,中国纺织品产量将超过 1.3 亿 t。而废旧纺织品的回收量仅 400 万 t,回收率仅 20%^[3]。根据联合国环境规划署 (UNEP) 统计,废旧涤纶织物占所有废旧混纺织物的 70%左右^[4-5]。这些废旧涤纶织物中的涤纶难以自然降解,无论是将其掩埋还是焚烧都会造成资源浪费和环境污染。

目前,最常见的回收方法主要分为能量回收法^[6]、物理机械法^[7-8]、化学回收法^[9]。但是能量回收法回收附加值低,污染巨大;物理机械法对技术要求高,分类困难,前处理应用的机器设备多,回收工艺相对复杂;化学回收法工艺相当复杂,且得到的单体还需再聚合才能使用,成本过高^[10]。

基于现阶段对废旧纺织品回收利用^[11]附加值低的问题,本文以废旧涤纶织物为原料,利用静电纺丝技术将其制备成孔隙率高、力学性能优异的纳米纤维膜。其中,静电纺丝技术是利用高压电场使聚合物溶液在电场力的作用下通过针头挤出,液滴凭借静电斥力形成“泰勒锥”^[12],并进一步被拉伸成纳米级纤维,最终固化沉积在接收装置上,堆叠形成纳米纤维膜的工艺。其具有反应条件简单、简洁高效,以及高灵活性和可控性等优势^[13]。

因此,本文利用静电纺丝技术以废旧涤纶织物为原料制备废旧涤纶纳米纤维膜,并探究膜在制备过程中的最佳工艺,以及在最佳工艺条件下的理化性能。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与仪器

试验材料:废旧涤纶织物,购自太原市废旧纺织品回收工厂;六氟异丙醇,分析纯,艾康生物有限公司;十二烷基苯磺酸钠,分析纯,天津市永大化学试剂开发中心;聚对苯二甲酸乙二醇酯薄膜(简称 PET 膜),实验室自制。

试验仪器:DA2004N 电子天平,上海菁海仪器有限公司;YXQM-2L 型行星球磨机,长沙米淇仪器设备有限公司;DHG-9075AD 型电热恒温鼓风干燥箱,上海博讯实业有限公司;SHZ-D(III)型超声波清洗机,上海力辰邦西仪器科技有限公司;自搭建静电纺丝机,太原理工大学;JSM-IT700HR 型场发射扫描电子显微镜(SEM),上海百贺仪器科技有限公司;DSC-6000 型差示扫描量热仪,美国 PerkinElmer 公司;TGA-4000 型热重分析仪,美国 PerkinElmer 公司。

1.2 废旧涤纶纳米纤维膜的制备

1.2.1 废旧涤纶织物的预处理

选用 3 种市面上最常见的废旧涤纶织物(涤纶混纺比分别为 50/50、65/35 和 90/10)为原料,将回收的废旧涤纶织物用剪刀剪碎后,放置于质量分数为 10%的 NaOH 溶液中,60 ℃下搅拌 2 h,再用去离子水洗涤至滤液呈中性后放入电热恒温鼓风干燥箱内烘干。最后,将一定量处理好的废旧涤纶织物放入行星球磨机中磨碎,通过孔径为 0.35 mm 的标准筛,得到废旧涤纶粉末。

1.2.2 废旧涤纶纳米纤维膜的制备

将预处理后得到的废旧涤纶粉末置于六氟异丙醇中,加入质量分数为 0.6%的十二烷基苯磺酸钠,并超声 30 min。将超声后的纺丝液在室温下进行充分搅拌,按照不同质量分数(10%、12%、14%、16%、18%)配制出 5 种纺丝液。将纺丝液置于 8 号针头

的注射器内,并在推柱作用下从针头缓慢挤出,以直接接地的金属滚筒作为接收装置收集纺制的纳米纤维,针头到滚筒表面的直线距离为 12 cm。并施加 16、18、20、22、24 kV 的电压,推进速度设置为 5 mm/h。纺丝液在电场力作用下受到牵伸,溶剂快速挥发,最终在滚筒表面形成废旧涤纶(WPC)纳米纤维膜。将制备好的废旧涤纶纳米纤维膜放入真空干燥箱中,在 60 °C 下进行烘干处理,得到废旧涤纶纳米纤维膜试样。

2 测试与表征

2.1 扫描电子显微镜(SEM)测试

采用 JSM-IT700HR 型场发射扫描电子显微镜对废旧涤纶纳米纤维膜的表面形貌进行观察。并采用 ImageJ 软件取 50 根纤维的直径,计算算术平均值和方差。

2.2 力学性能测试

选用 CMT2404G 型电子万能试验机,根据 GB/T 1040.3—2006《塑料 拉伸性能的测定 第 3 部分:薄膜和薄片的试验条件》对废旧涤纶纳米纤维膜的力

学性能进行测试。

2.3 热重分析(TGA)测试

通过 TGA-4000 型热重分析仪在氮气气氛下对废旧涤纶纳米纤维膜的热稳定性进行分析,测试温度为 30~600 °C。

2.4 差示扫描量热(DSC)测试

采用 DSC 热分析仪分析废旧涤纶纳米纤维膜的熔融和结晶过程。测试采用氮气保护(氮气流量约 10 mL/min),样品质量约为 5 mg。测试温度为 30~300 °C,升温速率为 20 °C/min。结晶度(X_c)按式(1)计算:

$$X_c = \frac{\Delta H_m}{w \cdot \Delta H_m^0} \quad (1)$$

式中: ΔH_m 为熔融焓; w 为废旧涤纶纳米纤维膜中涤纶的质量分数; ΔH_m^0 为 100% 晶体结构熔融焓。

3 结果与讨论

3.1 废旧涤纶纳米纤维膜微观形貌影响因素分析

3.1.1 涤纶混纺比

图 1a)~c) 显示了 3 组不同涤纶混纺比的废旧

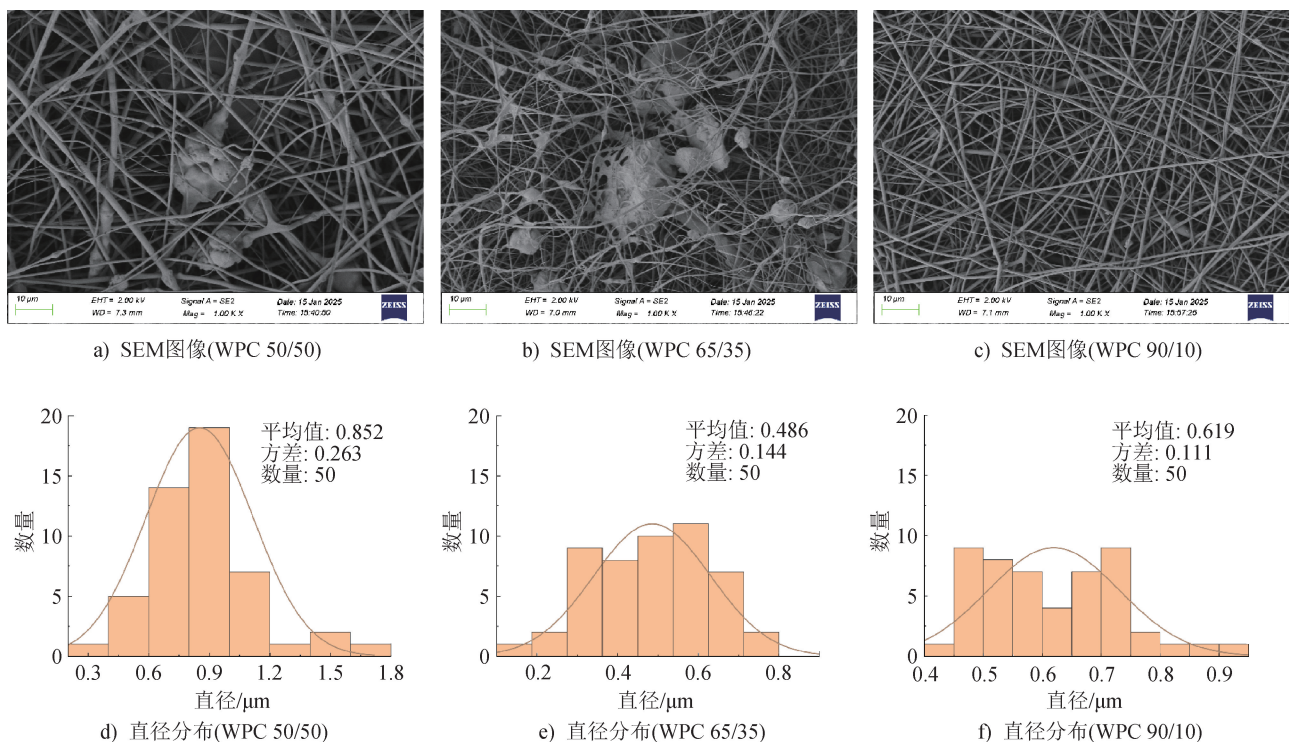


图 1 不同涤纶含量下废旧涤纶纳米纤维膜的 SEM 图像与直径分布

Fig. 1 SEM images and diameter distribution of waste polyester/cotton nanofiber films under different polyester/cotton contents

涤纶纳米纤维膜的表面形貌;图 1d)~f) 显示了对应的纤维直径分布。其中,WPC 50/50 代表由涤纶混纺比为 50/50 的废旧涤纶织物制备的废旧涤纶纳米纤维膜,WPC 65/35 代表由涤纶混纺比为 65/35 的废旧涤纶织物制备的废旧涤纶纳米纤维膜,WPC 90/10 代表由涤纶混纺比为 90/10 的废旧涤纶织物制备的废旧涤纶纳米纤维膜。结果表明,随着棉组分的降低,纤维的形貌发生明显改善。从 WPC 50/50 和 WPC 65/35 的 SEM 图像[图 1a)和 b)]中能观察到明显的颗粒团聚现象,并且少量区域出现了纤维断裂、粘连、纤维尺寸极为分散的现象。图 1c) 显示,当原料中棉组分占比为 10%时,未见明显颗粒或纤维粘连现象,纤维整体呈现出连续、平滑的网络结构,表现为良好的静电纺丝可纺性。当原料中棉的组分占比过高时,会造成纺丝液在纤维成型过程中喷射不稳定,从而产生颗粒团聚,这是因为纤维素中所含的大量羟基会影响纺丝液的黏度。而涤纶组分具有良好的成膜性和可控性,因此在适当降低原料中棉组分的条件下,可显著提高废旧涤纶纳米纤维膜的形貌均匀性和结构完整性。

3.1.2 纺丝液质量分数

在静电纺丝过程中,纺丝液质量分数是影响纤维成形质量的关键参数之一。为探究纺丝液质量分数对废旧涤纶纳米纤维膜结构的影响,本文以涤纶混纺比为 90/10 的废旧涤纶织物为原料,在不同的纺丝液质量分数下,通过静电纺丝工艺制备废旧涤纶纳米纤维膜。设置接收距离为 12 cm,推进速度为 5 mm/h,施加电压为 18 kV,调控纺丝液质量分数分别为 10%、12%、14%、16%和 18%,所得废旧涤纶纳米纤维膜的 SEM 图像及纤维直径分布如图 2 所示。从图 2a)中可以看出,当纺丝液质量分数为 10%时,膜中出现大量颗粒状凝聚结构,未形成连续且均一的纳米纤维网络结构。该现象的出现归因于溶液黏度较低,电场作用下形成的射流稳定性较差,溶剂挥发不充分,聚合物链缠结不足,进而导致喷射过程无法维持连续拉伸,产生了串珠状结构。此时废旧涤纶纳米纤维膜的平均纤维直径为 0.461 μm ,标准差为 0.342,直径分布分散。当纺丝液质量分数升高至 12%,如图 2b)所示,串珠状结构有所减少,但纤维表面仍不均匀,直径波动较大,此时废旧涤纶纳米纤维膜的平均纤维直径为 0.719 μm ,标准

差为 0.338,说明纺丝液质量分数升高,纺丝液的成纤性能有所改善但尚未稳定。随着纺丝液质量分数继续升高至 14%,如图 2c)所示,膜的表面形貌逐渐趋于稳定,结构均匀性显著提高,此时废旧涤纶纳米纤维膜的平均纤维直径为 0.682 μm ,标准差下降至 0.265。在 16%的质量分数条件下,如图 2g)所示,废旧涤纶纳米纤维膜表现出良好的连续性和均一性,纤维直径分布集中,平均直径为 0.724 μm ,标准差为 0.172,为本组样品中形貌最优的一组,表明该质量分数下聚合物链缠绕程度和黏度均处于适宜范围,可有效维持射流稳定性并形成均匀纤维。当质量分数进一步增至 18%,如图 2h)所示,膜中的纤维直径明显增大,此时废旧涤纶纳米纤维膜的平均纤维直径为 1.008 μm ,标准差为 0.332,同时观察到部分纤维出现交联与粘连现象,这可能是由于过高的质量分数抑制了射流拉伸过程,纤维在静电场中的细化能力下降,进而降低了纤维网络的均一性。研究结果表明,纺丝液质量分数对废旧涤纶纳米纤维膜的形成过程具有显著影响。纺丝液质量分数过低时易形成串珠状结构,过高则导致纤维直径增加且形貌不稳定^[14],16%为纺丝液的最优质量分数,该质量分数有助于获得结构连续、直径稳定的废旧涤纶纳米纤维膜。

3.1.3 纺丝电压

图 3 展示了在恒定纺丝液质量分数(16%)条件下,以涤纶混纺比为 90/10 的废旧涤纶织物为原料,不同纺丝电压(16、18、20、22、24 kV)对废旧涤纶纳米纤维膜微观形貌的影响及纤维直径分布的情况。由图 3a)可知,在 16 kV 的条件下纤维成形连续,但整体分布不够均匀,存在部分直径过细或过粗的纤维;其平均直径为 0.708 μm ,标准差为 0.243,这表明纤维的直径分布较为分散。随着纺丝电压升高至 18 kV,如图 3b)所示,纤维的形貌有所改善,直径分布进一步集中,平均直径为 0.724 μm ,标准差为 0.172。进一步提高纺丝电压至 20 kV,如图 3c)所示,纤维成形效果好,表面平整,平均直径为 0.683 μm ,标准差为 0.146,这说明增加纺丝电压对于纤维的牵伸作用显著,有利于纤维的细化和成形。而在 22 kV 的条件下,如图 3g),纤维平均直径最小,为 0.619 μm ,且标准差降低至 0.111,表明此时电场力与纺丝液黏弹性处于较为理想的平衡状态,

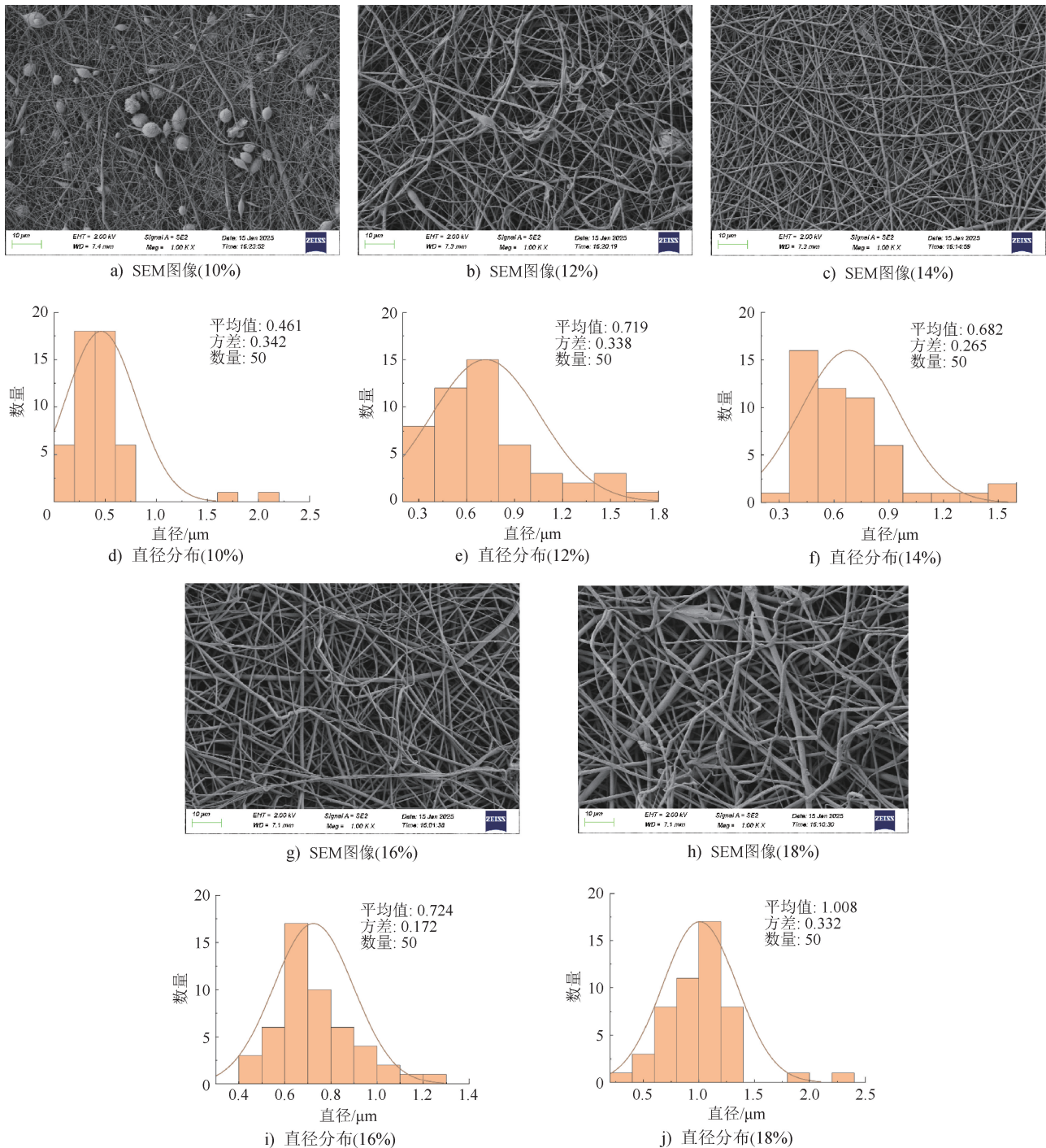


图2 不同纺丝液质量分数下废旧涤纶纳米纤维膜的SEM图像与直径分布

Fig. 2 SEM images and diameter distribution of waste polyester/cotton nanofiber films under different spinning solution mass fractions

能够有效稳定成形并控制纤维尺度。当纺丝电压上升至 24 kV 时,如图 3h)所示,纤维的直径分布不均匀,且平均直径升高至 0.851 μm ,标准差升至 0.238,说明过高的纺丝电压也会引起喷射不稳定,使溶液过度拉伸,从而影响纤维成形的连续性、均匀性。纺丝电压作为静电纺丝过程中控制纤维牵伸的

重要参数,对纤维成形质量具有显著影响^[15]。研究结果表明,在以上电压梯度中,纺丝电压为 22 kV 时制备的废旧涤纶纳米纤维膜具有最优异的连续性,且纤维的平均直径最小。

3.2 废旧涤纶纳米纤维膜的力学性能

图 4 展示了不同涤纶混纺比、不同纺丝液质量

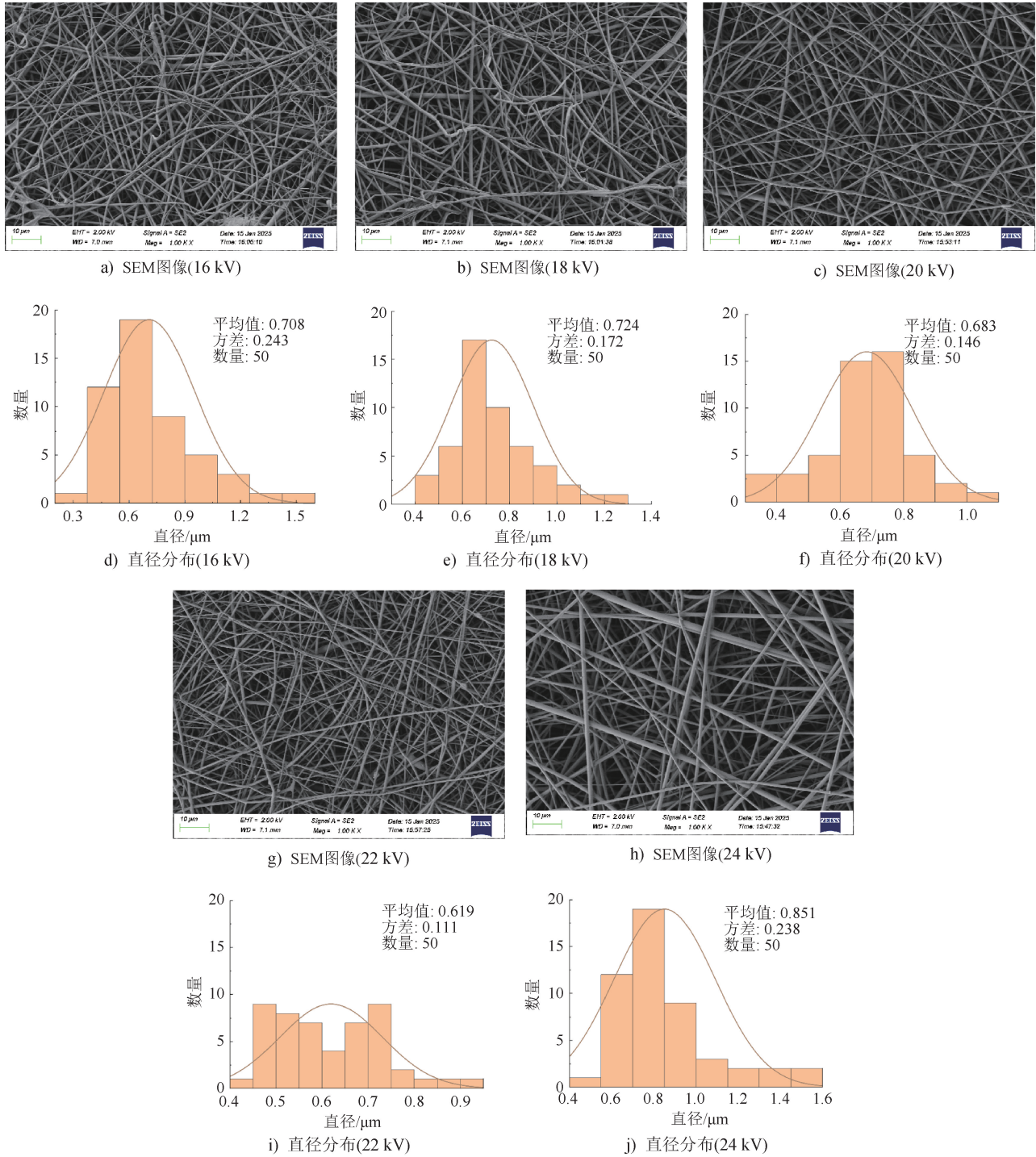


图 3 不同纺丝电压下废旧涤纶棉纳米纤维膜的 SEM 图像与直径分布

Fig. 3 SEM images and diameter distribution of waste polyester/cotton nanofiber films under different spinning voltages

分数及不同纺丝电压条件下制备的废旧涤纶棉纳米纤维膜的断裂强力与断裂伸长率测试结果。图 4a) 展示了在纺丝液质量分数为 16%, 纺丝电压为 22 kV 的条件下, 不同涤纶混纺比对膜力学性能的影响。随着棉纤维比例的增加, 膜的断裂强力和断裂伸长

率均显著下降。WPC 90/10 样品的断裂强力为 4.6 N, 断裂伸长率为 210%, 而 WPC 65/35 和 WPC 50/50 样品的断裂强力分别降至 3.4 N 和 2.7 N, 断裂伸长率分别降至 120% 和 90%。这表明, 以棉含量高的废旧涤纶织物作为原料虽有助于提升膜的亲水性,

但削弱了纤维结构的连续性与完整性,从而导致废旧涤纶纳米纤维膜整体力学性能下降。图 4b)展示了在纺丝电压为 18 kV,以涤纶混纺为 90/10 的废旧涤纶织物为原料的条件下,不同纺丝液质量分数对膜力学性能的影响。随纺丝液质量分数从 10% 升高至 16%,膜的断裂强力由 1.0 N 提高至 3.3 N,断裂伸长率由 30% 升至 203%。该趋势表明,适当增加纺丝液质量分数可增强聚合物链间的缠结程度,有利于构建连续致密的纤维网络,提高膜体承载能力。但是,当纺丝液质量分数继续增至 18% 时,强力略有下降,表明过高黏度可能造成纤维直径不均或喷射不稳定,影响废旧涤纶纳米纤维膜的结构致密性^[16]。图 4c)展示了在纺丝液质量分数为 16%,以涤纶混纺比为 90/10 的废旧涤纶织物为原料

的条件下,不同纺丝电压(16~24 kV)对废旧涤纶纳米纤维膜力学性能的影响。在 16~22 kV 范围内,断裂强力由 3.2 N 增至 4.7 N,断裂伸长率基本保持在 190%~210%。22 kV 条件下废旧涤纶纳米纤维膜的断裂强力与断裂伸长率均达到最大,分别为 4.7 N 和 210%。当纺丝电压升高至 24 kV 后,断裂强力略降至 4.4 N,断裂伸长率降低至 169%,说明过高的纺丝电压可能导致纤维排列紊乱或发生粘连,削弱整体力学性能^[17-18]。结果表明,废旧涤纶纳米纤维膜的力学性能受涤纶混纺比、纺丝液质量分数与纺丝电压大小的共同影响。在本研究条件下,最佳综合力学性能对应于:90/10 的涤纶混纺比、16% 的纺丝液质量分数、22 kV 的纺丝电压。该组合在保证结构连续性与均匀性的同时,实现了良好的断裂强力与断裂伸长率。

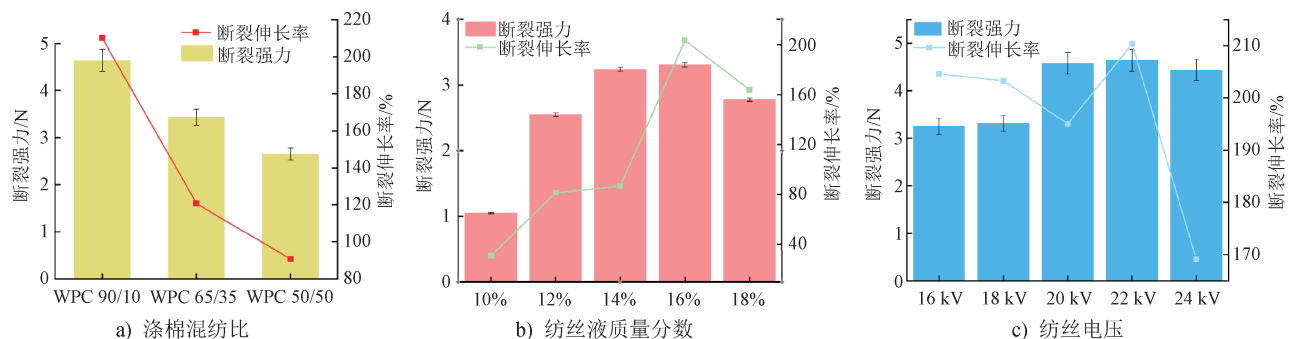


图 4 废旧涤纶纳米纤维膜断裂强力与断裂伸长率

Fig. 4 Breaking strength and elongation at break of waste polyester/cotton nanofiber films

3.3 废旧涤纶纳米纤维膜的热稳定性分析

热重分析(TGA)和导数热重分析(DTG)是评估膜热稳定性和分解行为的重要手段之一。图 5 和表 1 显示了自制的聚对苯二甲酸乙二醇酯薄膜(PET 膜)和废旧涤纶纳米纤维膜的热稳定性分析

数据。从热降解温度与质量损失速率来看,PET 膜的 5% 失重温度($T_{5\%}$)为 326.9 °C,而废旧涤纶纳米纤维膜的 $T_{5\%}$ 为 252.7 °C。废旧涤纶纳米纤维膜 $T_{5\%}$ 的下降与棉纤维的热稳定性差,棉纤维的碳化温度通常低于 PET 的热解温度,在 252.7 °C 附近时会进行分解

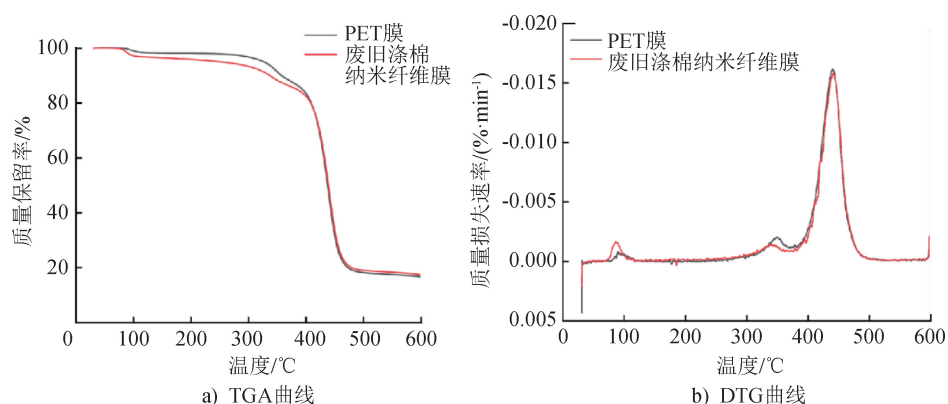


图 5 氮气气氛下 PET 膜和废旧涤纶纳米纤维膜的热稳定性分析

Fig. 5 Thermal stability analysis of PET film and waste polyester/cotton nanofiber film under nitrogen atmosphere

有关^[19]。图 5b) 进一步展示了 2 组材料最大热降解速率时的温度(T_{\max})。PET 膜的 T_{\max} 为 440.14 °C, 而废旧涤纶纳米纤维膜的 T_{\max} 为 442.07 °C, 这表明尽管 $T_{5\%}$ 下降, 废旧涤纶纳米纤维膜试样的 T_{\max} 仍有略微提升, 说明棉成分的存在, 一定程度上增强了废旧涤纶纳米纤维膜在高温下的热稳定性。表 1 显示了 PET 膜的最大热降解速率为 -0.016 0%/min, 而废旧涤纶纳米纤维膜的最大热降解速率为 -0.015 8%/min。这表明废旧涤纶中的棉纤维对于

最大热降解速率的影响较小^[20]。同时, 根据表 1 数据可知, PET 膜在 600 °C 时的残炭量为 0.166%, 废旧涤纶纳米纤维膜的残炭量为 0.173%, 残炭量的增加主要源于棉纤维在高温分解时留下的纤维素矿化物。残炭量的增加间接表明, 废旧涤纶纳米纤维膜的耐久性和结构稳定性有所提升。以上研究结果表明, 废旧涤纶纳米纤维膜中的棉纤维提高了 T_{\max} 并降低了最大热降解速率。总体上提高了废旧涤纶纳米纤维膜的热稳定性。

表 1 PET 膜和废旧涤纶纳米纤维膜的热失重数据

Tab. 1 Heat loss data of PET film and waste polyester/cotton nanofiber film

试样	$T_{5\%}/^{\circ}\text{C}$	$T_{\max}/^{\circ}\text{C}$	最大热降解速率/(%·min ⁻¹)	600 °C 时残炭量/%
PET 膜	326.9	440.14	-0.016 0	0.166
废旧涤纶纳米纤维膜	252.7	442.07	-0.015 8	0.173

3.4 废旧涤纶纳米纤维膜的结晶性能分析

为深入探究 PET 膜和废旧涤纶纳米纤维膜的热性能差异, 采用 DSC 对 2 种膜的熔融和结晶行为进行表征, 图 6 为 PET 膜和废旧涤纶纳米纤维膜的熔融、结晶曲线, 表 2 列出了二者的结晶度(X_c)。PET 膜和废旧涤纶纳米纤维膜的熔融温度(T_m)分别为 260.45 °C 与 256.57 °C, 两者差异较小, 而废旧涤纶纳米纤维膜的结晶温度(T_c)为 212.91 °C, 略高于 PET 膜的结晶温度 209.95 °C, 这说明废旧涤纶纳米纤维膜中可能存在一定的异相成核机制, 有

利于在升温过程中提前诱导聚合物结晶。根据计算得出, PET 膜和废旧涤纶纳米纤维膜的结晶度分别为 31.6% 和 36.4%, 这说明相比于 PET 膜, 废旧涤纶纳米纤维膜在受热后能形成更完整的微晶结构^[21-22]。

综上所述, 废旧涤纶纳米纤维膜中棉的存在作为异相成核剂一定程度上帮助了结晶, 使纳米纤维获得更高的结晶焓值, 表现出更强的结晶能力^[23-24]。这种优势会提升废旧涤纶纳米纤维膜的热稳定性和力学性能。

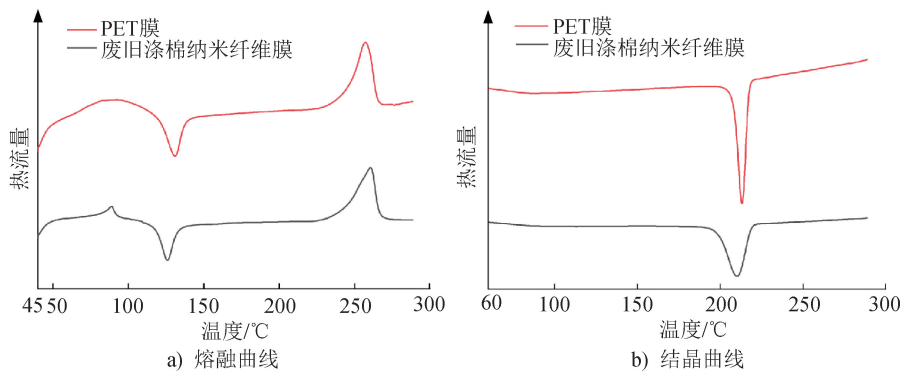


图 6 PET 膜和废旧涤纶纳米纤维膜的熔融及结晶曲线

Fig. 6 Melting and crystallization curves of PET film and waste polyester/cotton nanofiber film

表 2 PET 膜和废旧涤纶纳米纤维膜结晶、熔融参数

Tab. 2 Crystallization and melting parameters of PET film and waste polyester/cotton nanofiber film

样品	$T_m/^{\circ}\text{C}$	$T_c/^{\circ}\text{C}$	$\Delta H_m/(\text{J}\cdot\text{g}^{-1})$	$X_c/\%$
PET 膜	260.45	209.95	44.24	31.6
废旧涤纶纳米纤维膜	256.57	212.91	50.95	36.4

4 结论

本文利用静电纺丝设备,以废旧涤棉织物为原料,成功制备了废旧涤棉纳米纤维膜。探究了最佳涤棉含量、纺丝液质量分数、纺丝电压参数,以及最佳工艺下制备的纳米纤维膜的理化性能。通过扫描电镜(SEM)对废旧涤棉纳米纤维膜的形貌进行表征,根据其平均纤维直径及方差的分析,确定出最佳工艺参数为:90/10的涤棉混纺比、16%的纺丝液质量分数、22 kV的纺丝电压。在最佳工艺下制备的废旧涤棉纳米纤维膜力学性能优异,其断裂强力达4.7 N、断裂伸长率达210%,体现为极强的韧性。对比PET膜,废旧涤棉纳米纤维膜的最大热降解速率明显下降,结晶度提高了4.8%,证明废旧涤棉纳米纤维膜具有更优异的结晶性能和热稳定性。



期刊采编平台

中国知网下载

参考文献

- [1] 蔡宇凌, 苏健梅, 段先月, 等. 气浮法分离废旧涤棉混合纤维的关键技术[J]. 印染, 2024, 50(12): 59-61.
- [2] MA J H, YANG K L, WANG M X, et al. Advancements in component separation through chemical methods for recycled polyester/cotton blended textiles [J]. Cellulose, 2024, 31(16): 9543-9563.
- [3] 王庭丽, 孙娟娟, 史肖蓉, 等. 柠檬酸-氯化锌协同酸解分离废旧涤棉混纺织物[J]. 高分子通报, 2024(5): 666-674.
- [4] 董轩, 塔斯亨·叶尔肯. 废旧学生校服回收再利用技术的研究进展[J]. 中国纤检, 2024(5): 45-49.
- [5] DE SILVA R, WANG X G, BYRNE N. Recycling textiles: the use of ionic liquids in the separation of cotton polyester blends [J]. RSC Advances, 2014, 4(55): 29094-29098.
- [6] 陈遒芳. 废旧纺织品用于空调隔音隔热材料研究[J]. 再生资源与循环经济, 2017, 10(9): 34-35.
- [7] HAKEIM O A, DIAB H A, MASHALY H M, et al. Printing and impact properties of cationised hollow cellulosic fiber based polyester/cotton composite [J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 171: 59-67.
- [8] 李翼然, 胡伟伟, 梁燕, 等. 我国废旧纺织品循环利用的现状、问题及建议[J]. 纺织检测与标准, 2024, 10(6): 54-57.
- [9] LEENDERS N, MOERBEEK R M, PUIJK M J, et al. Polycotton waste textile recycling by sequential hydrolysis and glycolysis [J]. Nature Communications, 2025, 16: 738.
- [10] MIHAJLOVIĆ S, VUKČEVIĆ M, PEJIĆ B, et al. Waste cotton and cotton/polyester yarns as adsorbents for removal of lead and chromium from wastewater [J]. Journal of Natural Fibers, 2022, 19(15): 9860-9873.
- [11] 王飞龙. 废旧纺织品在产业用纺织品领域中的高值化利用[J]. 产业用纺织品, 2022, 40(3): 1-4.
- [12] 汪成伟. 基于静电纺丝技术的纳米纤维制备工艺及其应用研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2016.
- [13] 宇平, 张乐乐, 贾子辰, 等. 聚酰亚胺纳米纤维膜的制备及性能调控研究进展[J]. 化工新型材料, 2025, 53(5): 1-5.
- [14] 王赛. 静电纤维膜基双电层电容传感器制备与性能研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2024.
- [15] 韩文庆. MXene 调控光热转换功能材料的构建及其水处理应用[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2024.
- [16] 孙国华, 崔佳齐, 汪杨, 等. 耐热型聚合物锂离子电池隔膜的研究进展[J]. 中国塑料, 2022, 36(10): 190-194.
- [17] 蔺泽宇. PEI 基耐热阻燃双功能隔膜的制备及性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2022.
- [18] 舒永琪, 胡斌, 李武, 等. 多巴胺改性制备聚丙烯基复合铜基锂电池集流体[J/OL]. 盐湖研究, 2025: 1-10 (2025-03-28). <https://link.cnki.net/urlid/63.1026.P.20250327.1408.002>.
- [19] 杨瑞华, 邵秋, 张欣, 等. 废旧涤棉纺织品的回收循环利用再利用技术[J]. 服装学报, 2022, 7(4): 283-290.
- [20] 史晟, 王彦, 李飞, 等. 草酸稀溶液高效分离废旧聚酯/棉混纺织物[J]. 纺织学报, 2022, 43(2): 140-148.
- [21] 李红月, 卢秀萍, 杨华, 等. 互穿网络聚乳酸/细菌

- 纤维素生物复合材料的制备与性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2016, 32(1): 169-173.
- [22] 武君君, 刘冬然, 闫胜利, 等. 聚酰胺弹性体端氨基检测方法所用溶剂对比分析[J]. 广州化工, 2022, 50(3): 97-99.
- [23] 孙颖颖. 一步法废旧漆/棉纺织品组分分离技术及其纤维素应用研究[D]. 天津: 天津工业大学, 2021.
- [24] WEN H J, ZHANG J J, CHAI J C, et al. Sustainable and superior heat-resistant alginate nonwoven separator of $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4/\text{Li}$ batteries operated at 55 °C [J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2017, 9(4): 3694-3701.

欢迎订阅《国际纺织品流行趋势》

《国际纺织品流行趋势》创刊于 1981 年, 双月刊; 是一本全方位系统提供从流行色、纱线、面料、辅料、图案到服装等纺织品国际时尚流行资讯, 设计趋势, 产品开发及相关研究成果的专业期刊。

《国际纺织品流行趋势》自创刊之日起就定位于为服装等纺织品设计领域专业人士提供专业的服务。期刊关注设计趋势, 贴近行业需求, 竭诚为读者提供前沿趋势和切实有用的专业内容, 以适应纺织品市场的全球化挑战和时尚潮流变换。《国际纺织品流行趋势》设有秀场直击、设计趋势、品牌风尚、服装设计与工程、学院创意、纤维艺术、视觉·模特、专栏·纱线、行业观察等主要栏目。

订阅方式:《国际纺织品流行趋势》编辑部
国内统一连续出版物号: CN 12-1266/TS
国际标准连续出版物号: ISSN 1007-8789

邮发代号: 6-308

电话: +022 60365475(稿件查询)
+022 60365363(合作与订阅)
+022 60365362(信息中心)

电子邮箱: gjfzplxqsbjb@163.com

订阅方式: 全国各地邮政局订阅或直接与编辑部联系

国内定价: 60 元/期, 360 元/年(港、澳、台邮费另收)

国外定价: 60 美元/期, 360 美元/年



天津时装官微



购书微店

科技点亮绿途 创新守护蔚蓝

智能绘就清景 数智焕新山河

匠心雕琢生态 携手共筑蓝天