

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2022.07.009

PAN/HNTs 纤维膜及聚烯烃复合材料的制备及表征

杜青¹, 何祎¹, 余坦竟¹, 蓝艳姣¹, 周菊英^{1,2}, 张霞³

(1. 广西民族大学, 化学化工学院, 南宁 530006; 2. 林产化学与工程国家民委重点实验室, 广西林产化学与工程重点实验室 / 协同创新中心, 南宁 530006; 3. 海南京润珍珠生物技术股份有限公司, 海口 570100)

摘要: 将埃洛石纳米管 (HNTs) 混入聚丙烯腈 (PAN) 溶液中, 通过改变滚筒收卷速率并对纳米纤维膜进行热拉伸处理得到一系列混杂 PAN/HNTs 纤维膜。研究了混杂 PAN/HNTs 纤维膜的结晶形态转变与拉伸性能。将混杂 PAN/HNTs 纤维膜与热塑性聚烯烃弹性体 (POE) 制备成 POE/PAN/HNTs 复合材料 (POE/PH), 研究了各类混杂纳米纤维增强 POE 复合材料的拉伸性能, 结果表明, 收卷速率的增大会使拉伸强度和拉伸弹性模量增大、断裂伸长率减小; 热牵引处理也会进一步提高复合材料的强度和弹性模量, 进一步减小断裂伸长率。且随着 PAN/HNTs 纤维膜含量的增加, POE/PH 复合材料的拉伸强度和拉伸弹性模量先增加后减小, 纳米纤维膜质量分数约为 6.7% 时, 复合材料的拉伸性能最佳。并通过断裂截面分析研究了其增强机理。

关键词: 静电纺丝; 混杂纳米纤维; 收卷速率; 热牵引; 力学性能

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2022)07-0052-07

Preparation and Characterization of PAN/HNTs Fiber Membrane and Polyolefin Composites

Du Qing¹, He Yi¹, Yu Tanjing¹, Lan Yanjiao¹, Zhou Juying^{1,2}, Zhang Xia³

(1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi Minzu University, Nanning 530006, China; 2. Key Laboratory of Chemistry and Engineering of Forest Products, State Ethnic Affairs Commission, Guangxi Key Laboratory of Chemistry and Engineering of Forest Products, Guangxi Collaborative Innovation Center for Chemistry and Engineering of Forest Products, Nanning 530006, China; 3. Hainan gN Pearl Biotechnology Co., Ltd, Haikou 570100, China)

Abstract : A series of hybrid polyacrylonitrile (PAN)/halloysite nanotubes (HNTs) nanofiber membranes were obtained by mixing HNTs into PAN solution with the change of the winding rate and conducting subsequent thermal tensile treatment of nanofiber membranes. The crystal morphology and tensile strength of hybrid PAN/HNTs nanofiber membranes were studied. Polyolefin (POE)/PAN/HNTs composites with various hybrid nanofibers were prepared. The tensile strength of composite materials were studied. The results show that the tensile strength and modulus increase and the elongation at break decrease with the increasing winding speed. Hot traction treatment further improves the strength and elastic modulus of the composite material and further reduces the elongation at break of composites. Moreover, with the increase of the content of nanofiber membrane, the tensile strength and elastic modulus of the composite increases firstly and then decreases. When the content of nanofiber membrane is about 6.7%, the tensile strength of the composite are the highest. And the strengthening mechanism was studied by fracture section analysis.

Keywords : electrospinning; hybrid nanofibers; winding rate; hot traction; mechanical properties.

埃洛石纳米管 (HNTs) 在结构上与高岭石相似, 但两者不完全相同, HNTs 中存在的单分子水可将其单元层隔开, 所以其结构式为 $\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5 \cdot$

$\text{nH}_2\text{O}^{[1]}$ 。HNTs 表面积大、孔隙率高、表面可调, 且具有较高的机械强度, 因此可将其作为一种环境友好的增强材料应用于聚合物基体从而获得性能优良

基金项目: 国家自然科学基金项目 (52063004)

通信作者: 周菊英, 教授, 研究方向为聚合物基复合材料制备与应用

收稿日期: 2022-03-30

引用格式: 杜青, 何祎, 余坦竟, 等. PAN/HNTs 纤维膜及聚烯烃复合材料的制备及表征 [J]. 工程塑料应用, 2022, 50(7):52-58.

Du Qing, He Yi, Yu Tanjing, et al. Preparation and characterization of PAN/HNTs fiber membrane and polyolefin composites[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(7):52-58.

的纳米复合材料。赵伟^[2]用 HNTs 与聚乳酸通过熔融共混法制备了复合材料,发现 HNTs 含量对聚乳酸结晶度有较大影响。Luo 等^[3]分别利用熔融共混和原位聚合法制备了聚氯乙烯 (PVC)/HNTs 复合材料,研究了增强材料 HNTs 对两者界面结合和力学性能的影响,结果显示, HNTs 在聚合物中均匀分散,可增强聚合物的断裂强度和拉伸弹性模量,对提高其热稳定性和结晶度有很大的作用。秦茜茜^[4]以 HNTs 作增强材料,利用静电纺丝分别与聚乙烯醇 (PVAL)、聚丙烯腈 (PAN)、聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 三种聚合物制备了复合纤维,并研究了三种复合材料的力学特性。

静电纺丝被认为是一种高效的制备工艺^[5],已被广泛应用于聚合物纳米纤维的制备,纤维形貌有一维纳米纤维、二维纳米薄膜和三维球体等^[6]。近十年,静电纺丝在制备聚合物纳米纤维膜领域取得了极大的进步,通过这种简单通用的方法,聚合物可以被制成连续的直径为几微米的超薄纤维^[7],静电纺丝已广泛应用于组织工程支架、伤口敷料、传感器、过滤领域等^[8]。这些领域对材料的要求较高,需有较好的力学性能,因此通常利用化学、物理处理或添加纳米增强剂等实现力学性能的提升。纳米材料是一种具有优异性能的新型材料^[9],利用纳米增强剂增强可有效保留其结构优异特性,且制作工艺简单。纳米增强剂的类型包括纳米粒子^[10],纳米管^[11]、纳米线^[12]和量子点^[13]。含有碳纳米管的聚合物纳米纤维的力学性能都得到很大的改善^[14]。

近年来,在静电纺丝研究领域发现并提出了一个新的理念,即通过控制聚合物晶体形态和纤维膜的取向可以提升纳米纤维复合材料的力学性能。如可以通过控制滚筒接收器的电压和收卷速率使聚合物的形态发生变化从而得到较好的力学性能。

笔者将添加纳米增强剂和制备有取向的纤维膜两种增强膜性能的方法同时应用于静电纺丝混杂纳米纤维膜的制备,并将制备的纳米纤维膜作为热塑性聚烯烃弹性体 (POE) 的增强材料。利用透射电子显微镜 (TEM), X 射线衍射 (XRD) 技术研究了纳米纤维膜的结构、形态及结晶情况。通过拉伸试验研究了各类混杂纳米纤维膜及复合材料的力学性能,并研究了其增强机理。

1 实验

1.1 主要原材料

POE : 8200, 美国陶氏杜邦公司;

PAN : P823209, 上海麦克林生化科技有限公司;

HNTs : 200 目 (75 μm), 宏桥纳米科技 (昆山) 有限公司;

蔡磺酸钠: S817704, 上海麦克林生化科技有限公司;

聚羧酸钠盐: LF-570, 苏州云峰化工科技有限公司。

1.2 主要设备及仪器

静电纺丝装置 (包括滚筒接收装置): 自制;

马弗炉: SX2-4-10N 型, 上海一恒科技有限公司;

球磨机: DECO-PBM-AD-2L 型, 长沙市德科仪器设备有限公司;

双流体喷雾干燥机: Jipad-JP-5000ML 型, 上海旌派仪器有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱, DHG-9247A 型, 上海精宏实验设备有限公司;

傅里叶变换红外光谱 (FTIR) 仪: MAGNA-IR550 型, 美国 Nicolet Magna 公司;

热重 (TG) 分析仪: STA449F3 型, 德国耐驰公司;

XRD 仪: D/Max-III A 型, 日本理学株式会社;

场发射扫描电子显微镜 (SEM), SUPRA 55 型, 德国 Carl Zeiss 公司;

电子万能试验机: JDL-5000N 型, 江苏扬州市天发试验机有限公司;

TEM : TECNAI G2 F30 型, 美国 FEI 公司。

1.3 HNTs 的纯化

将 100 g HNTs 置于 500℃ 马弗炉中焙烧 3 h 后过筛, 在转速为 1500 r/min 磨砂机中反复研磨, 然后在 450 r/min 行星球磨机中研磨 3 h, 超纯水清洗得到 HNTs 悬浮分散液, 将 1.2 g 改性磺酸钠和 10 g 聚羧酸钠加入悬浮分散液中混合均匀, 最后在压力为 0.25 MPa、进口温度为 170℃、出口温度为 80℃ 的操作条件下, 从双流体喷雾干燥机中分离得到改性好的 HNTs 粉末。

1.4 PAN/HNTs 的制备及热牵引

将 HNTs 在 PAN 中占比的质量分数为 0%, 5%, 10%, 15% 和 20% 的表面改性 HNTs 加入到提前配制好的质量分数为 13% 的 PAN/ 二甲基甲酰胺 (DMF) 混合溶液中, 室温下搅拌 4 h 左右, 将得到的 PAN/HNTs/DMF 混合溶液放入注射器中, 通

过静电纺丝制备 PAN/HNTs 纤维膜。在电压为 14 kV、纺丝距离为 10 cm、喷头速率为 0.58 mL/h 参数条件下制备纳米纤维膜;将所得纤维膜裁剪为 13 cm × 5 cm 大小后,用夹子把 PAN/HNTs 纤维膜两端夹紧,在下面加 25 g 砝码,置于 130℃ 的烘箱中进行热牵引处理,时间约为 30 min。

在制备纤维膜的过程中,根据滚筒接收装置转速的不同得到不同取向的纤维膜。当滚筒转速为 0, 450, 1 050 r/min 时,得到的不同取向的纤维膜分别记为 u-PAN/HNTs, o-PAN1/HNTs 和 o-PAN2/HNTs;将滚筒转速为 450, 1 050 r/min 条件下得到的不同取向程度的纤维膜分别按照上述热牵引处理条件和步骤进行处理,获得更大取向的 PAN/HNTs 纤维膜,分别记为 h-PAN1/HNTs 和 h-PAN2/HNTs。

1.5 POE/PAN/HNTs 复合材料的制备

将 10 g POE 在 230℃ 下溶解于 120 mL 正庚烷中,回流搅拌 5 h 即可得到目标溶液。将冷却至 160℃ 的 POE 溶液先倒入模具使其占模具一半体积,再将用 PAN 和 HNTs 制备的不同取向度的纳米纤维膜倒入模具,最后将另一半 POE 溶液倒入模具;在温度为 40℃ 的条件下静置 24 h,目的是使溶剂挥发固化,即可得到 POE/PAN/HNTs 复合材料。为了区分不同条件下制备的纤维膜及复合材料,其简化命名见表 1。

表 1 不同取向 PAN/HNTs 纤维膜和 POE/PAN/HNTs

复合材料的简化命名

膜处理方法	PAN/HNTs 纤维膜	POE/PAN/HNTs 复合材料
平板接收	u-PAN/HNTs	u-POE/PH
450r/min 滚筒接收	o-PAN1/HNTs	o-POE/P1H
450r/min 滚筒接收 + 热牵引	h-PAN1/HNTs	h-POE/P1H
1 050r/min 滚筒接收	o-PAN2/HNTs	o-POE/P2H
1 050r/min 滚筒接收 + 热牵引	h-PAN2/HNTs	h-POE/P2H

1.6 性能测试与表征

复合材料断裂截面及纤维形貌测试:将复合材料断裂截面进行喷金处理,在室温、测试电压 15 kV 条件下利用 SEM 观察复合材料断裂截面,并拍摄 SEM 照片。

PAN/HNTs 纤维形貌:将铜网粘在平板上,通过静电纺丝将 PAN/HNTs 纤维喷在铜网上,利用 TEM 对 PAN/HNTs 纳米纤维进行形貌分析,加速电压 300 kV。

拉伸性能测试:按照 GB/T 1447-2005 标准,利用万能试验机测试纤维膜及复合材料的拉伸性能。夹紧试样拉伸直至试样被拉断,常温下每个样品重

复测量 6 次并求算术平均值,拉伸速率为 0.8 mm/s。

FTIR 分析:利用 FTIR 仪对纳米纤维膜及复合材料进行测试, PAN/HNTs 纤维膜以溴化钾压片为背景进行测样, POE/PH 复合材料是以空气为背景测样,范围为 400 ~ 4 000 cm^{-1} ,分辨率为 0.5 cm^{-1} 。

热性能测试:利用 TG 分析仪测试样品的热稳定性,温度范围设置在 30 ~ 900℃,升温速度为 10℃/min。

结晶分析:利用 XRD 仪测定结晶状态,以 Cu 靶 $K\alpha$ 射线为射线源,电压为 40 kV,电流为 40 mA, 2θ 范围为 5° ~ 90°,步长 0.02°,每步停留时间 40 s。

2 结果与讨论

2.1 HNTs 的 TEM 表征

图 1 为表面处理 HNTs 的 TEM 图,从图 1 可见 HNTs 形状为圆柱形管状,且切面不平整,长度在 200 ~ 500 nm,内径在 40 ~ 70 nm,图中 HNTs 有团聚现象发生,是因其表面有许多羟基结构。

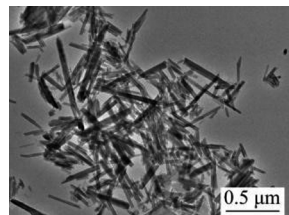
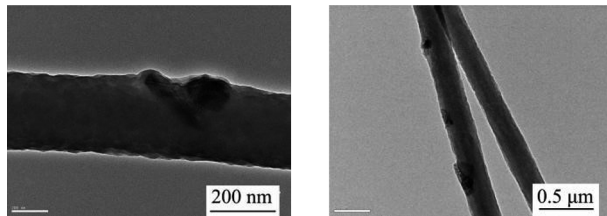


图 1 纯化处理后 HNTs 的 TEM 图

2.2 PAN/HNTs 纤维膜的 TEM 表征

图 2 为 PAN 与 HNTs 制备的纳米纤维膜的 TEM 图。可见 HNTs 在 PAN 中无序排列,因其没有导电性;且部分 HNTs 分布在纳米纤维表面,不能被全部包裹在 PAN 纤维里。



放大倍数: a—30 000; b—10 000

图 2 PAN/HNTs 纤维膜的 TEM 图

2.3 PAN/HNTs 纤维膜的 XRD 分析

图 3 为不同 HNTs 含量的 PAN/HNTs 纤维膜 XRD 图。对于 HNTs 质量分数为 0% 的 PAN/HNTs 纤维膜,衍射峰只有两个,分别在 $2\theta \approx 17^\circ$ 和 $2\theta \approx 26^\circ$ 处;在质量分数为 10% 的 PAN/HNTs 纤维膜中,开始有新的衍射峰在 $2\theta \approx 11^\circ$ 左右出现,当 HNTs 在 PAN/HNTs 纤维膜中质量分数为 15% 时,

上述出现的新衍射峰在此含量的纤维膜中也出现了且强度达到最大; HNTs 质量分数为 20% 时, 对比质量分数为 10% 时新出现的衍射峰, 此处衍射峰发生位移, 并且还有新的衍射峰在 $2\theta \approx 20^\circ$ 和 24.4° 处出现, 综合实验结果证明, 在 PAN 中加入 HNTs 可促进 PAN 纤维膜的结晶。

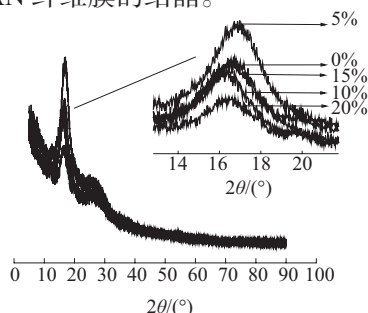


图3 不同 HNTs 含量 PAN/HNTs 纤维膜的 XRD 图

图 4 为不同取向度纳米纤维膜的 XRD 图。无取向 u-PAN/HNTs 纤维膜有四个衍射峰分别在 $2\theta \approx 12.25^\circ, 16.8^\circ, 24.9^\circ, 28.2^\circ$ 处, 而通过调节滚筒收卷速率制备的有取向 o-PAN1/HNTs 纤维膜出现新的衍射峰, 位于 $2\theta \approx 20^\circ$ 处, 将上述有取向纤维膜再热牵引处理增强取向度后 h-PAN1/HNTs 纤维膜又出现较弱的新衍射峰, 位于 $2\theta \approx 29.4^\circ$ 处, 同时位于 $2\theta \approx 17^\circ$ 处的衍射峰增强。说明通过提高取向度会提高 PAN 纳米纤维的结晶度, 同时也促使新的晶型产生。

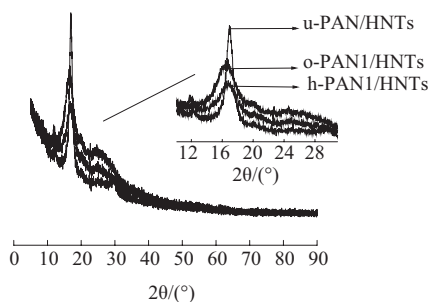
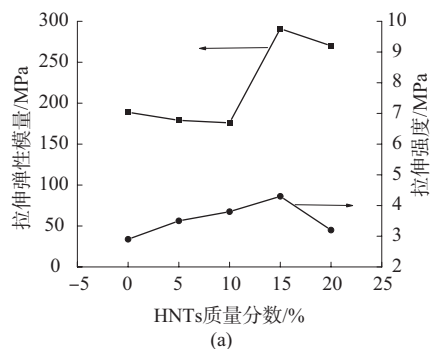


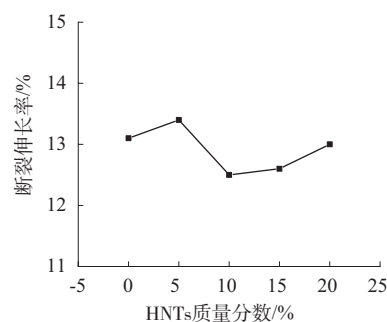
图4 不同取向 PAN/HNTs 纤维膜的 XRD 图

2.4 PAN/HNTs 纤维膜的拉伸性能

图 5 为不同 HNTs 质量含量 PAN/HNTs 纤维膜的拉伸性能图。由图 5 可看出, 拉伸强度会随 HNTs 含量的增加先增强后减小^[15], HNTs 质量分数为 15% 时, 拉伸性能最佳; 纤维的模量与强度增长趋势相反。无论 HNTs 含量怎么变化, 纤维膜的断裂伸长率始终变化不大, 位于 13% 左右; 后续实验中利用 HNTs 质量分数为 15% 的 PAN/HNTs 纤维膜为研究对象。



(a)

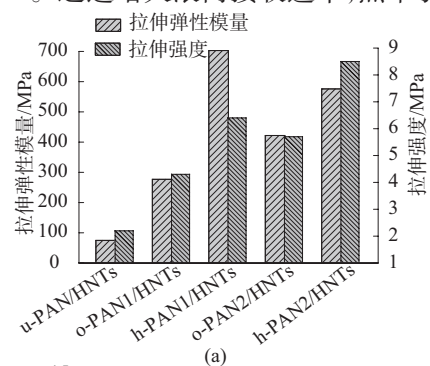


(b)

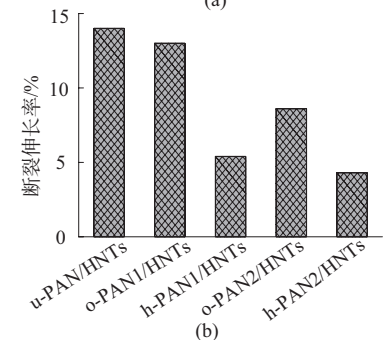
a—拉伸弹性模量与拉伸强度; b—断裂伸长率

图5 不同 HNTs 质量含量 PAN/HNTs 纤维膜的拉伸性能

图 6 为纺丝 3 h 下不同取向 PAN/HNTs 纤维膜的拉伸性能。由图 6 知, 纺丝时间相同条件下, h-PAN2/HNTs 拉伸强度较 u-PAN/HNTs 增加了 286%, 拉伸弹性模量增加了 668%, 断裂伸长率则降低了 69%。通过增大滚筒接收速率, 热牵引处理都



(a)



(b)

a—拉伸弹性模量与拉伸强度;
b—断裂伸长率

图6 纺丝 3 h 下不同取向 PAN/HNTs 纤维膜的拉伸性能

可以增加 PAN/HNTs 纤维膜的取向度从而提升拉伸强度和拉伸弹性模量,但其断裂伸长率会不同程度地减小^[16]。

2.5 POE/PH 复合材料的 FTIR 和 TG 分析

图 7 为 POE, PAN/HNTs, POE/PAN/HNTs 的 FTIR 谱图。由图 7 可看出,在 POE 基质中加入 PAN/HNTs 纳米纤维后,只显现了 PAN 结构中—CN 的吸收峰(2244 cm^{-1}); HNTs 由于含量少所以未显示其特征吸收峰。

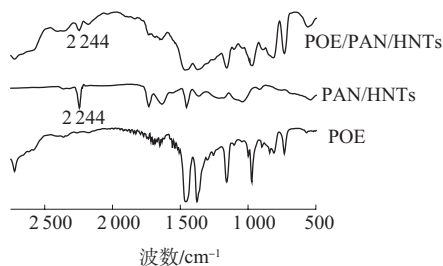


图 7 POE、PAN/HNTs、POE/PH 的 FTIR 光谱

图 8 为 o-POE/PAN1 和不同取向 POE/PAN/HNTs 复合材料的 TG 分析图。由图 8 得到的相关数据见表 2。由表 2 可知, o-POE/PAN1 开始分解温度为 187°C , 分解结束温度为 505°C ; 而 o-POE/P1H 的开始分解温度和分解结束温度分别与 h-POE/P1H 的相近, 分别在 350°C 和 514°C 左右。由此知, 加入 HNTs 与 PAN 制备的纳米纤维膜会使复合材料的稳定性变好。o-POE/P1H 与 h-POE/P1H 的 TG 曲线基本重合, 证明热牵引处理对复合材料的稳定性没有影响。

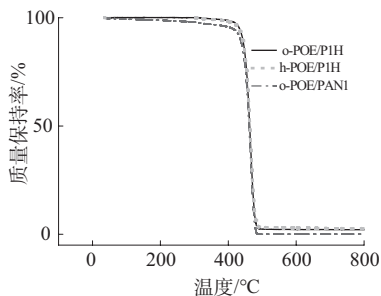


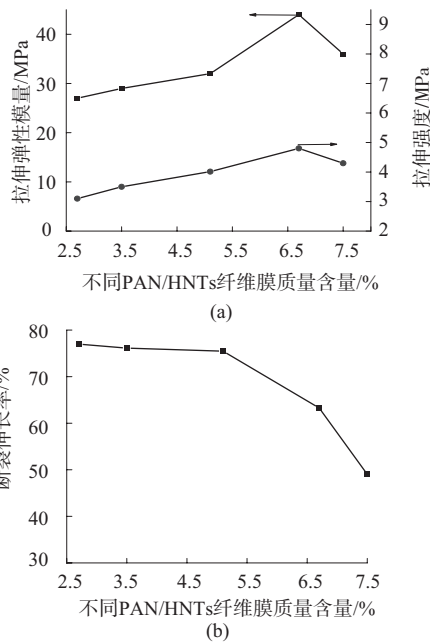
图 8 o-POE/PAN1、o-POE/P1H、h-POE/P1H 的 TG 图

表 2 o-POE/PAN1, o-POE/P1H, h-POE/P1H TG 数据

纤维膜	开始分解温度/ $^{\circ}\text{C}$	分解结束温度/ $^{\circ}\text{C}$	800 $^{\circ}\text{C}$ 时残炭率/%
o-POE/PAN1	187	505	0.1
o-POE/P1H	350	514	2.1
h-POE/P1H	350	514	2.6

2.6 POE/PH 复合材料的力学性能

图 9 为 PAN/HNTs 质量分数为 3.5% 时不同取向 POE/PAN/HNTs 复合材料的拉伸性能。由图 9 可看出, 随着纳米纤维膜含量的增加, o-POE/P1H



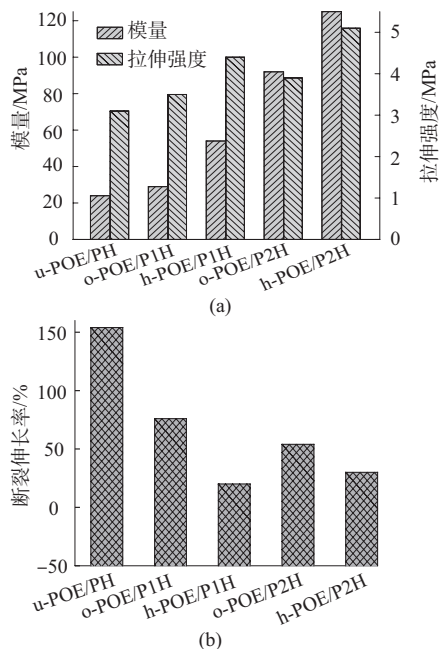
a—拉伸弹性模量与拉伸强度; b—断裂伸长率

图 9 PAN/HNTs 质量分数为 3.5% 时不同取向 POE/PH

复合材料的拉伸性能

复合材料的拉伸强度和拉伸弹性模量先增加后减小, 断裂伸长率一直在减小。当 PAN/HNTs 质量分数为 6.7% 时, 复合材料拉伸性能最优。

图 10 为同一取向 o-POE/P1H 下不同 PAN/HNTs 含量的复合材料拉伸性能。可以看出从无取向 u-POE/PH 到 h-POE/P2H, 复合材料的拉伸强度和拉伸弹性模量分别增长了 65% 和 421%, 而断裂



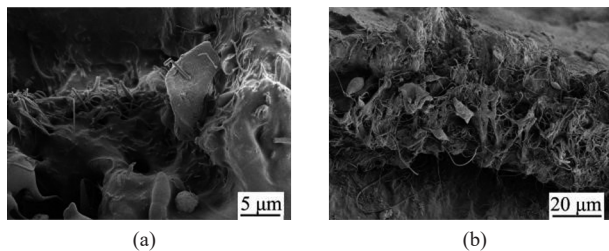
a—拉伸弹性模量与拉伸强度; b—断裂伸长率

图 10 同一取向不同 PAN/HNTs 质量分数 POE/PH 复合材料的拉伸性能

伸长率降低了 80%。结果表明,取向度的增加会提高复合材料的拉伸强度和拉伸弹性模量,但会进一步减小复合材料的断裂伸长率。

2.7 不同取向 POE/PH 复合材料的断裂截面

图 11 为 POE/PH 复合材料拉伸断裂截面 SEM 图。图 11a 中的空洞可能是纤维膜含量较少,在拉伸过程中被拉伸出来形成的。由图 11b 可知,纤维能引起基体的塑性变形,消耗更多的能量,表明热牵引可以使纳米纤维膜与基体结合更紧密,从而提升力学性能。



a—o-POE/PH 复合材料; b—h-POE/PH 复合材料

图 11 不同取向 POE/PH 拉伸断裂截面 SEM

3 结论

将利用高温煅烧、粉碎等一系列方法处理的 HNTs 与 PAN 混合并用静电纺丝方法制备 PAN/HNTs 纤维膜。通过改变接收装置的收卷速率、热牵引处理得到不同取向的纳米纤维膜。然后采用浸渍法制备 POE/PH 复合材料, POE/PH 复合材料的拉伸强度和拉伸弹性模量随着 PAN/HNTs 纤维膜取向度增加而增大,而断裂伸长率则减小;当增强材料质量分数为 6.7% 时拉伸强度达到最大。强度的增加归因于 HNTs 可提高 PAN 的结晶度,从而提高了 PAN/HNTs 纤维膜的拉伸性能。

参考文献

- [1] 张雯雨. 金属氧化物/埃洛石复合材料的制备及对有机污染物的去除研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2021.
Zhang Feiyu. Construction and study on organic contaminants removal of metal oxides/halloysite composites[D]. Huhehaote: Inner Mongolia University, 2021.
- [2] 赵伟. 碳纤维和埃洛石对聚乳酸结晶行为和力学性能的影响[D]. 广州: 暨南大学, 2016.
Zhao Wei. Effects of carbon fiber and elos on crystallization and mechanical properties of polylactic acid[D]. GuangZhou: Jinan University, 2016.
- [3] Luo Peng, Zhao Yafei, Zhang Bing, et al. Study on the adsorption of neutral red from aqueous solution onto halloysite nanotubes[J]. Water Research, 2010, 44(5): 1489–1497.
- [4] 秦茜茜. 静电纺丝法制备聚合物/埃洛石纳米管复合纳米纤维材料及其力学性能的研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2016.
Qin Qianqian. Preparation of polymer/ellonite nanotube composite nanofibers by electrostatic spinning and its mechanical properties[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2016.
- [5] Yamashita Y. Current state of nanofiber produced by electrospinning and prospects for mass production[J]. Journal of Textile Engineering, 2009, 54(6): 199–205.
- [6] 邓建辉, 杨晓青, 方称辉, 等. 静电纺丝/静电喷雾技术在电池领域的应用进展[J]. 化工进展, 2021, 40(10): 5600–5614.
Deng Jianhui, Yang Xiaoqing, Fang Chenghui, et al. Application of electrospinning and electrospray technology in battery/cell field[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2021, 40(10): 5600–5614.
- [7] Greiner A, Wendroff J H. Electrospinning: A fascinating method for the preparation of ultrathin fibers[J]. Angewandte Chemie, 2007, 38.46(30): 5670–5703.
- [8] Sahay R, Kumar P S, Sridhar R, et al. Electrospun composite nanofibers and their multifaceted applications[J]. Journal of Materials Chemistry, 2012, 22(26): 12953–12971.
- [9] 李永峰. 木材—有机—无机杂化纳米复合材料研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2012.
Li Yongfeng. Study of wood-organic-inorganic hybrid nanocomposites[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2012.
- [10] Han Xiaojian, Huang Zhengming, Huang Chen, et al. Preparation and characterization of electrospun polyurethane/inorganic-particles nanofibers[J]. Polymer Composites, 2012, 33(11): 2045–2057.
- [11] Komeil, Nasouri, Ahmad, et al. Single-wall carbon nanotubes dispersion behavior and its effects on the morphological and mechanical properties of the electrospun nanofibers[J]. Polymer Composites, 2012, 33(11): 1951–1959.
- [12] Dou Yuandong, Wu Chengtie, Chang Jiang. Preparation, mechanical property and cytocompatibility of poly(L-lactic acid)/calcium silicate nanocomposites with controllable distribution of calcium silicate nanowires[J]. Acta Biomaterialia, 2012, 8(11): 4139–4150.
- [13] Liu H Q, Edel J B, Bellan L M, et al. Electrospun polymer nanofibers as subwavelength optical waveguides incorporating quantum dots[J]. Small, 2006, 2(4): 495–499.
- [14] Liu L Q, Tasis D, Prato M, et al. Tensile mechanics of electrospun multiwalled nanotube/poly(methyl methacrylate) nanofibers[J]. Advanced Materials, 2007, 19(9): 1228–1233.
- [15] 李跃, 陶磊, 曹小玉, 等. MCPA6/埃洛石纳米管复合材料性能研究[J]. 工程塑料应用, 2016, 44(4): 16–20.

- Li yue, Tao lei, Cao Xiaoyu, et al. Study on properties of monomer casting polyamide 6/halloysite nanotube composites[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(4):16-20.
- [16] 滕晓波. 可交联稀土 / 聚合物防护材料的制备及性能研究 [D].

北京: 北京服装学院, 2019.

Teng Xiaobo. Preparation and properties of crosslinkable rare earth / polymer protective materials[D]. Beijing: Beijing Institute of Fashion Technology, 2019.

投稿须知

1 稿件内容

稿件应注重科学性、实用性及时效性,要求技术新颖,论点明确,论据可靠,数据准确,文字通顺、简练。稿件内容必须真实,避免抄袭,请作者文责自负。引用他人成果时,请按《著作权法》有关规定说明出处。内容应未曾发表过或被其他出版物刊载过,且无一稿多投。

2 稿件要求

凡属于重大科技获奖的论文和重点项目资助的论文,请在来稿第一页注明名称及批准号,本刊将优先刊登。

(1) 题目、作者署名及单位。题目力求简明、醒目,反映出文章的主题,一般不超过 20 个汉字。作者姓名在题目下按序排列,不同工作单位的作者,应在姓名右上角加注阿拉伯数字序号。作者单位须写全称并注明省份、城市和邮政编码。通讯作者信息(包括姓名,学历或职称,主要研究方向,电子邮箱)注在第一页下方。

(2) 摘要及关键词。论文需要同时提供中文和英文摘要,摘要以提供论文的内容梗概为目的,不加评论和补充解释,应简明、确切地论述研究目的、原理和结论,具有相对独立性。中文和英文摘要均要求采用报道性摘要类型。具体要求:中英文摘要均为一段式,内容比较具体,一般需要列举关键数据。中英文摘要内容基本一致,中文摘要以 200~300 字为宜,英文摘要可略详。关键词要求 3~8 个。

(3) 正文。正文各部分都应简洁明了。层次标题一律用阿拉伯数字连续编号,尽量减少层次;不同层次的数字之间用小圆点相隔,末位数字不加标点符号。如“1”,“1.1”等。文中量、单位及符号的使用应符合国际标准和国家标准。

(4) 图表。图表要设计合理,简单自明。每一幅图都应有图序和简短确切的图名,横纵坐标均要注明物理量及其单位,线条图要用矢量格式的图,或将 *.opg, *.dwg, *.eps 等格式的图打包压缩随投稿一起上传。表格请使用三线表,每一表格都应有表序和简短确切的表题。图表标题一律用中文表达。

(5) 参考文献。以作者亲自阅读过的主要原始文献为限,不可引用非公开出版或发表的文献,不能引用其他文章中引用的但未经核对原文的文献,要注意引用最新的文献。参考文献要有一定的数量,研究性论文至少 16 篇。参考文献的著录按文章中引用的顺序依次排列,中文参考文献要有对照英文部分(英文部分不编号)。无论中外文的作者,一律采用姓前名后的形式著录;作者不超过 3 人时可全部著录,超过 3 人时,只著录前 3 位,其后加“等”或“et al”。综述类论文的参考文献著录项目适当简化,可参见本刊相关栏目文章样式。作者对所引文献的准确性和完整性负责。

3 投稿方式

请作者登陆杂志社网站 <http://www.epa1973.net>, 点击“作者投稿”后投稿。来稿请注明详细地址、电话、邮箱等信息,便于通知联系。一般半个月左右可以查询稿件审理意见,超过 1 个月未收到修改意见或回复的可自行处理。

4 注意事项

为适应我国信息化建设需要,扩大学术交流渠道,本刊已编入国内外著名数据库。稿件一经录用,将同时被数据库收录,作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意收录,请在投稿时声明,否则将视为同意。