http://pmse.scu.edu.cn

抗菌聚己内酯基三维纤维骨架材料的制备及油水分离性能

张文雅[1,2]，董 硕[1]，刘絮瑶[1]，洪大卫[1]，程德山[2]，王英沣[1]
（1. 安徽工程大学 纺织服装学院，安徽 芜湖 241000；2. 武汉纺织大学 纺织科学与工程学院，湖北 武汉 430200）

摘要：油水分离及水体抗菌处理是水资源应用领域的重要课题。基于此，文中以二氯二甲基海因（DCDMH）为添加剂、聚己内酯（PCL）电纺纤维为骨架，构建了一种疏水亲油的三维纤维骨架材料。利用扫描电镜及表面能谱对材料的结构形态及元素分布进行了分析，并对材料的密度及孔隙率进行了研究。这种材料疏水性能较好，接触角可达141.1°，且对有机溶剂的吸附性能优异，吸附量可达74~206 g/g。材料对有机溶剂循环吸附性能良好，15次吸附/解吸附后油水分离效率仍高于95%。基于DCDMH的添加，样品在30 min内对数量级为6的金黄色葡萄球菌及大肠杆菌灭活率可达到79.59%及71.76%，具有一定的抗菌效果。

关键词：聚己内酯；静电纺丝；抗菌；卤胺；油水分离
中图分类号：TB383 **文献标识码：**A **文章编号：**1000-7555（2024）08-0147-08

随着后疫情时代全球经济的逐步复苏，针对海洋资源的开采及运输正逐年增加，随之而来的是越来越多的溢油、漏油事故的发生。2010年，深水地平线漏油事故不仅造成的严重的生态灾害，导致多种鱼类及珊瑚几乎灭绝，在十余年后仍在当地数千种鱼类体内发现了油污染[1, 2]。此外，油膜随着洋流会冲向陆地，同样对沿海内陆生态环境甚至人类生存造成了严重威胁。因此，寻找一种高效、环保、安全的处理手段是目前油水分离领域的重要课题。

目前主要采用的油水分离方法主要有化学法（分散、凝固）、原位燃烧法、生物修复和物理回收（围油栏、屏障、撇渣器和吸附剂）4种不同类型的方法[3]。由于操作简单、回收高效且不易产生二次污染，物理回收中吸附剂的方式一直是油水分离领域中的研究热点。因此，开发具有高效油水分离效率，且安全环保的吸附材料具有十分切实的必要性。作为一种环境友好型材料，聚己内酯（PCL）由于其良好的生物相容性、优异的生物降解性、高结晶性、低熔点等特点，已被广泛地应用于超疏水材料及油水分离材料的制备[4~6]。He等将合成的耐热硅电纺材料与PCL共混，制备了复合电纺纤维膜；随着后续氟化基团的引入，该复合电纺纤维膜不但具有很好的自清洁及油水分离性能，还具有耐高温的特点[7]。

作为吸附材料，膜类材料是油水分离领域应用的一种有效形态，其中静电纺丝作为一种具有高比表面积、高孔隙率、高连通性等特点，被广泛应用于油类废水纯化领域[8~10]。但是，作为一种2D膜材料，其在实际应用中存在如纵向较短的渗透通道、材料结构本身密度较高的等问题，极大地限制了膜材料的进一步应用[11, 12]。因此，一种三维结构的电纺纤维气凝胶材料成为了油水分离材料的新兴之选。相较于传统膜材料，这种电纺纤维三维材料具有更高的孔隙率、大量贯通的渗透通道及更高的互通结构，可以实现针对油类污水更高效的吸附。

doi: 10.16865/j.cnki.1000-7555.2024.0154
收稿日期：2023-09-18
基金项目：安徽工程大学校级科研项目（Xjky2022073）；"纺织面料"安徽省高校重点实验室安徽省纺织工程技术研究中心联合开放基金（2021AETKL14）
通讯联系人：王英沣，主要从事功能化纺织材料、抗菌高分子材料研究，E-mail: wangyingfeng@ahpu.edu.cn；
程德山，主要从事功能化纺织品、纳米纤维膜材料研究，E-mail: chengcds@163.com

基于此，本文以PCL基电纺纤维膜为材料，构建了一种PCL基三维纤维骨架材料。为了进一步提高材料的疏水性能，通过原位生长的方式在骨架结构中生长了硅纳米单丝。通过对材料制备工艺的调整，研究其对材料内部结构、亲疏水性的影响。基于污水中大量存在的细菌等微生物，于PCL基三维纤维骨架材料中添加小分子卤胺化合物，以提高材料的抗菌性能。在进一步提高材料污水净化效果的同时，可以有效防止表面生物污染的发生，提高材料的使用寿命。后续对构建的三维纤维骨架材料的油水分离性能、抗菌性能进行了分析，为后期三维油水吸附材料的研发提供新的发展方向及思路。

1 实验部分

1.1 主要原料

聚己内酯：M_n=8×10^4，上海阿拉丁生化科技股份有限公司；乙酸乙酯：分析纯，北京百灵威科技有限公司；亚甲基蓝、三水：分析纯，国药集团化学试剂有限公司；LB营养琼脂、LB肉汤、Typic Soy营养琼脂、Typic Soy肉汤：美国BD公司；金黄色葡萄球菌（ATCC 538）、大肠杆菌（ATCC 8739）：上海维塔化学试剂有限公司；植物油：市购；其余药品均购自上海阿拉丁生化科技股份有限公司，药品于使用前未进一步纯化。

1.2 制备方法

1.2.1 PCL基电纺纤维膜的制备：PCL纺丝液采用混酸溶剂进行配置[13]。将PCL溶解至醋酸/甲酸溶液（体积比3:7）中，配置质量分数12%的纺丝液。待溶解完全后，加入质量分数7%的柠檬酸至上述纺丝液中，于室温磁力搅拌3 h后溶解得到均一PCL纺丝液。静电纺丝工艺参数为纺丝电压20 kV、纺丝速度1.5 mL/h、纺丝距离15 cm。所得电纺纤维膜命名为PCL-NFs。于纺丝液制备过程中加入质量分数10%的2-氯-5,5-二甲基乙内酰脲（DCDMH），最终制备得到功能化PCL电纺纤维膜，命名为PCL/MCDMH-NFs。

1.2.2 PCL基三维电纺纤维骨架材料的制备：将上述电纺纤维膜剪碎，并取0.4 g分散于80 mL叔丁醇溶液中。使用高速均质机将上述分散液充分分散（2×10^4 r/min，2 h），倒入模具中并冷冻干燥，得到相应三维纤维骨架材料。为进一步提高上述材料的强力，通过溶剂熏蒸法对材料进行加固，加热温度为40 ℃、加热时间为2 h、乙酸乙酯用量为300 μL。将最终所得材料命名为PCL-NFAs和PCL/MCDMH-NFAs。

为进一步提高三维纤维骨架材料疏水性能，采用原位生长的方式提高材料的疏水性。取100 mL庚烷，并加入15 μL去离子水及125 μL甲基三氯硅烷（TCMS）。将上述三维纤维骨架材料浸泡在上述溶液中一段时间后（3 h，6 h，12 h，18 h，24 h），叔丁醇洗涤并冷冻干燥，得到电纺硅丝改性的三维纤维骨架材料，命名为PCL-SiNFAs和PCL/MCDMH-SiNFAs。

1.3 测试与表征

1.3.1 SEM/EDS分析：采用扫描电子显微镜（S4800, 日本Hitachi）观察三维纤维骨架材料样品的形貌进行观察，加速电压为5 kV。

1.3.2 体积密度及孔隙率测试：将冻干得到的规定尺寸材料进行称量，并根据式(1)计算样品的体积密度（ρ），

$$\rho=m/V \tag{1}$$

式中：m——样品质量，mg；V——样品的体积，cm^3。

利用阿基米德原理的方式对材料孔隙率进行计算。样品孔隙率（P）计算如式(2)所示，

$$P=((m_2-m_3-m_s)/\rho_e)/((m_1-m_3)/\rho_e) \tag{2}$$

式中：m_1——乙醇的质量；m_2——乙醇和材料的总质量；m_3——不含乙醇饱和材料的质量；m_s——材料的质量；ρ_e——乙醇的密度；$(m_2-m_3-m_s)/\rho_e$——包括气隙在内的材料的总体积；$(m_1-m_3)/\rho_e$——材料的孔隙体积。

1.3.3 润湿吸收性能测试：利用接触角测试仪对样品的接触角进行测定，并对其水浸润性进行评价。采用各种有机溶剂（正己烷、正十六烷、石油醚、植物油等）对样品的吸油能力进行评价。将样品分别浸润于上述溶液中，静置5 min后取出样品，轻轻吸去样品表面附着液体后称量。样品吸收能力（W）计算如式(3)所示：

$$W=(m_a-m_0)/m_0 \tag{3}$$

式中：m_a和m_0——分别为样品吸收前后的质量。

1.3.4 样品重复使用性能分析：将样品分别浸润至

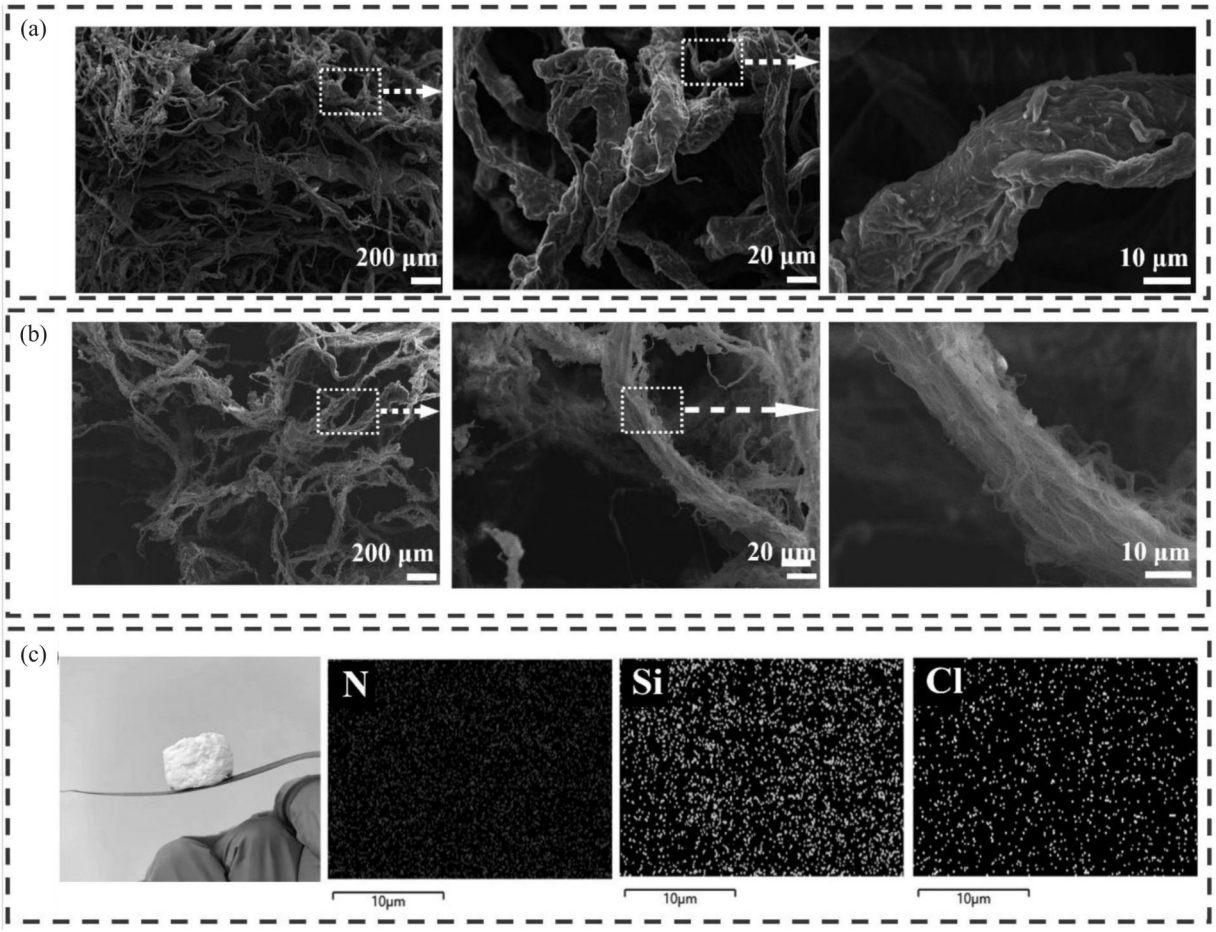


Fig. 1 (a) SEM images of PCL/MCDMH- NFAs with different magnifications; (b) SEM images of PCL/MCDMH- SiNFAs with different magnifications; (c) digital photo and EDS images of PCL/MCDMH-SiNFAs

正己烷和石油醚中。待吸收完全后取出样品，轻轻挤压去除多余溶剂并称量，此为1个吸收循环。将上述样品于40 ℃真空干燥0.5 h后重复进行15次吸收循环测试。

1.3.5 含氯量测定：采用硫代硫酸钠滴定法对样品含氯量进行测定。取一定量样品剪碎后加入去离子水中，随后加入一定量碘化钾及几滴淀粉并磁力搅拌1 h。随后使用硫代硫酸钠溶液滴定溶液至无色，并记录硫代硫酸钠用量。样品含氯量（C_{Cl}）通过式(4)进行计算：

$$C_{Cl}=C\times(V_s-V_0)\times35.45/2m \quad (4)$$

式中：m——样品质量，g；V_0，V_s——分别为硫代硫酸钠标准液滴定前及滴定后体积，L；C——硫代硫酸盐的标准液的浓度，mol/L。

1.3.6 抗菌性能测试：依照AATCC标准检测法100-2004对样品抗菌性能进行测试。取0.1 g样品剪碎后投入10 mL PBS中，随后吸取0.1 mL细菌悬浮液加入上述溶液，并于37 ℃恒温震荡培养。待特定时间后，将上述溶液涡旋并梯度稀释，取100 μL均匀滴加到对应琼脂板上。待琼脂板干燥后，倒置琼脂板并于37 ℃恒温培养20~24 h。完成后计算琼脂板菌落数并计算样品抗菌率，所有样品均重复测试3次。抗菌率（R）计算公式如下，

$$R=(N_0-N_1)/N_0 \quad (5)$$

$$N=\lg N_0-\lg N_1 \quad (6)$$

式中：N——细菌对数减少值；N_1——样品细菌菌落数；N_0——空白样细菌菌落数。

2 结果与讨论

2.1 形貌及表面元素分析

此处采用浸泡3 h的PCL/MCDMH-SiNFAs为样品，对三维纤维骨架材料的表面形貌及元素分析进行表征，结果如Fig.1所示。可以看出，PCL/MCDMH-SiNFAs具有十分明显的纤维网状结构，纤

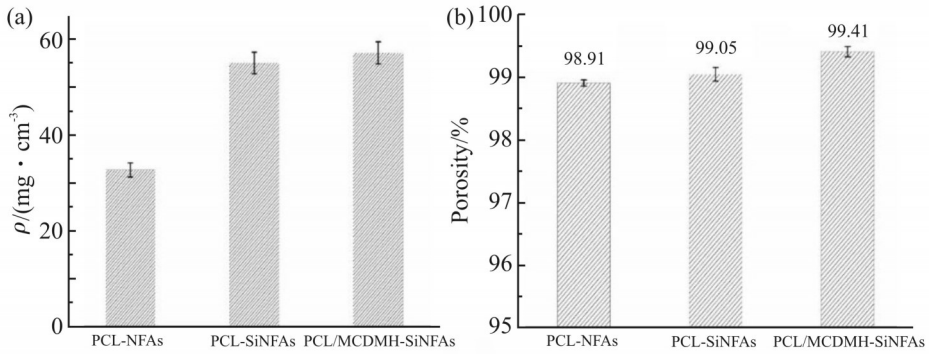


Fig. 2 (a) Densities of PCL based nanofiber aerogels; (b) porosities of PCL based nanofiber aerogels

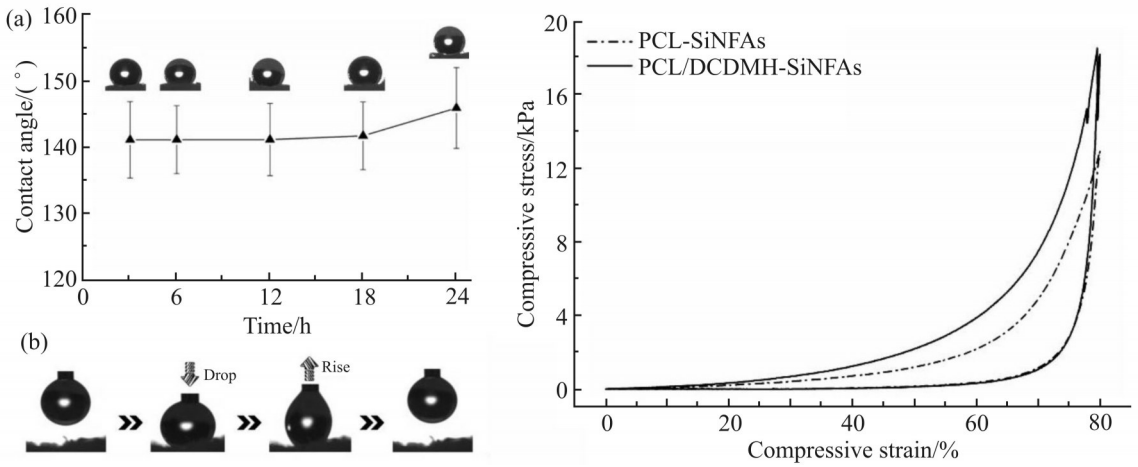


Fig. 3 (a) Contact angle of PCL/DCDMH- SiNFAs with different reaction time; (b) dynamic hydrophobic effect of PCL/DCDMH-SiNFAs; (c) typical stress-strain curves of PCL based nanofiber aerogels

维直径在10~15 μm；这是由于纺丝工艺以及后续乳化过程中PCL纤维发生溶胀所造成的。经由TCMS庚烷溶液浸泡3 h后，如Fig.1(b)所示，纤维表面较为明显的生长出了纳米丝结构。PCL及MCDMH结构中的羰基为硅纳米丝的原位生长提供了反应位点，暴露的羰基与Si—OH基团之间形成了氢键；TCMS的连续水解为硅纳米丝在PCL电纺纤维表面的连续生长提供了足够的原料。由PCL/MCDMH- SiNFAs对应EDS图谱可以发现，MCDMH中的N元素及Cl元素均均匀分布于样品表面；材料表面生长纳米硅丝中的Si元素也均匀分布于材料表面。上述结果表明，MCDHM及电纺硅丝都均匀分布于材料中。

2.2 密度、孔隙率及亲疏水性能分析

基于不同的制备工艺，对各个样品的密度及孔隙率进行测试，相关结果如Fig.2所示。可以发现，PCL-NFAs密度为32.8 mg/cm^3；当采用TCMS处理3 h后，材料的密度有显著提升，PCL-SiNFAs及PCL/DCDMH-SiNFAs的密度分别达到了55.17 mg/cm^{3}和55.27 mg/cm^3。MCDMH的添加对PCL三维纤维骨架材料的质量影响较低，材料密度的添加主要由纳米硅丝的生长所造成的。虽然纳米硅丝的生长会一定程度提高材料密度，但其平均密度仍低于60 mg/cm^3，属于低密度材料。所有材料孔隙率均在99%左右，材料的孔隙率较高，MCDMH及纳米硅丝的存在对材料孔隙率影响较低。

为了达到油水分离目的，材料的亲疏水性起着至关重要的作用。PCL/DCDMH-NFAs具有一定的疏水效果，接触角为126.9°；为了进一步提升疏水效果，通过在材料表面控制纳米硅丝的生长时间，对材料的亲疏水性进行控制，相关结果如Fig.3(a)所示。可以发现，当材料表面生长纳米硅丝后，材料的疏水性能得到了一定的提升，达到了141.1°。虽然经生长24 h后，材料的接触角可达146.09°，提升纳米硅丝的生长时间对材料疏水性提高影响不大。因此，

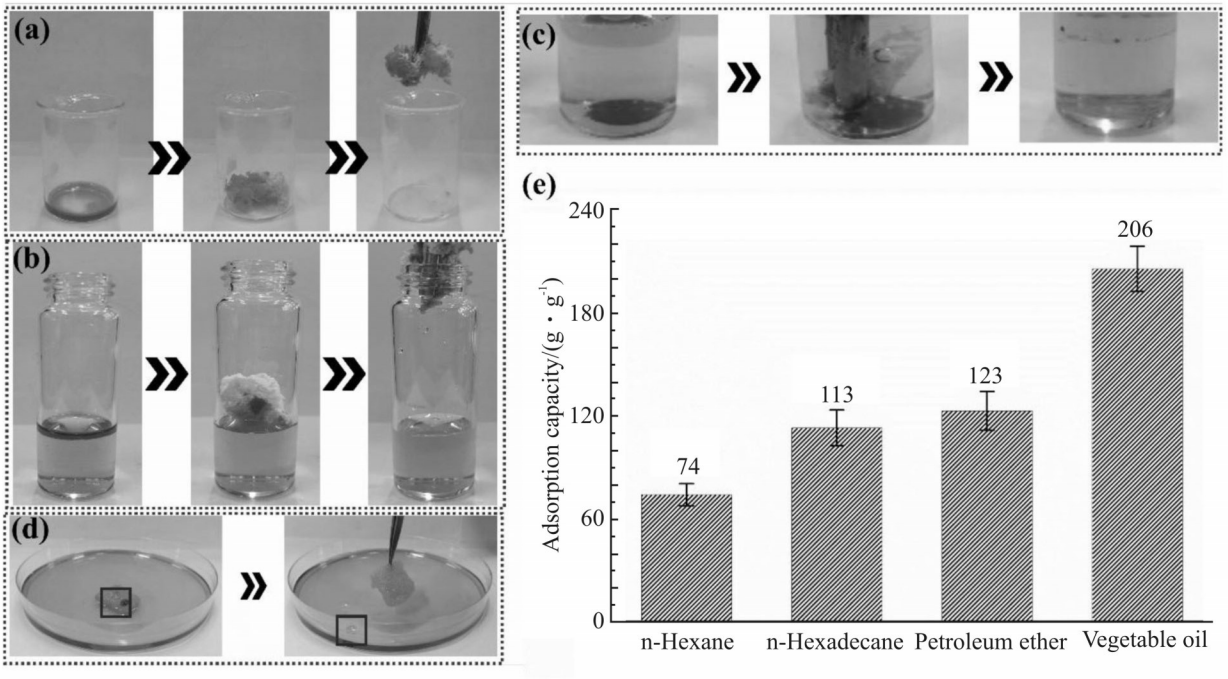


Fig. 4 (a) Adsorption capacity of sample for organic solvents in air; (b) adsorption capacity of sample for organic solvents in water surface; (c) adsorption capacity of sample for organic solvents under water; (d) anti-viscous-water-adhesion property of sample in organic solvents; (e) adsorption capacity of sample for different organic solvents

Tab. 1 Adsorption capacity comparison of various absorbent materials

Adsorbent materials	Organic substances	Adsorption capacities/(g·g^{-1})	Ref.
PCL/DCDMH-SiNFAs	Vegetable oil, n-hexane, etc	70~206	This work
SiNFs/PI-NFAs	Pump oil, chloroform, etc	70~159	[9]
Banana peel/wastepaper hybrid aerogels	Olive oil, pump oil, acetone, etc.	35~115	[14]
Silica aerogels	Olive oil, gasoline, chloroform, etc	45~91	[15]
Carbon nanofiber-based aerogels	Oils and nonpolar organic solvents	10~29	[16]
Cotton-cellulose aerogels	Motor oil, petroleum ether, etc	40~100	[15]
Magnetically carbonaceous fiber aerogels	Pump oil, diesel oil, etc	22~87	[17]
Biomass carbon@SiO_2@MnO_2 aerogels	Pump oil, diesel oil, etc	60~120	[18]
Graphene/carbon aerogels	Chloroform, petroleum ether, etc	40.2~80.9	[19]
Nanocellulose/Al_2O_3 aerogels	Sesame oil, acetone, etc	64~117	[20]

后续测试中纳米硅丝生长时间统一控制为3 h。由Fig.3(b) 可以发现，PCL/DCDMH-SiNFAs具有很好的动态疏水效果。针对材料的压缩力学性能，其结果如Fig.3(c) 所示，实验中样品为直径1.5 cm、高1.5 cm的圆柱形样品。可以发现，三维纤维骨架材料具有较好的压缩强力，当压缩应变小于50%时，呈现出较好的线性弹性规律；当压缩应力达到80%时，样品展现出较好的压缩强力和回弹性。由于其多孔的骨架结构，PCL-SiNFAs和PCL/DCDMH-SiNFAs的压缩应力分别为13.15 kPa和18.25 kPa，均现出较高的压缩应力。DCDMH的加入在一定程度上提高了材料的压缩性能，但总体影响不大。实验中针对材料的耐热性能进行研究发现，温度在溶剂熏蒸加固的过程中对材料结构造成非常严重的影响。当温度高于40 ℃时，在溶剂熏蒸的过程中会造成结构塌缩；基于此，溶剂熏蒸法加固材料的加热温度选定为

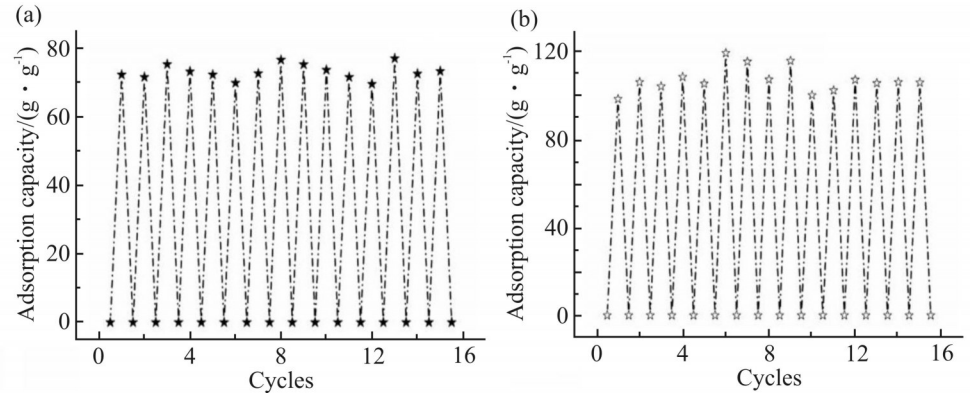


Fig. 5 (a) Reusability of PCL/DCDMH- SiNFAs to n- hexane; (b) reusability of PCL/DCDMH- SiNFAs to petroleum ether

Tab. 2 Antibacterial properties of each sample

Sample	Contact time /min	*E.coli* O157:H7		*S. aureus*	
		Antibacterial rate/%	Log reduction	Antibacterial rate /%	Log reduction
PCL-NFAs	30	5.88	0.03	6.80	0.03
PCL-SiNFAs	30	15.29	0.07	14.29	0.07
PCL/DCDMH-SiNFAs	1	47.06	0.28	55.78	0.37
	5	52.94	0.33	72.79	0.59
	10	69.41	0.52	77.55	0.67
	30	71.76	0.55	79.59	0.71

40 ℃。

2.3 油水分离及可重复使用性能

为了评估PCL/DCDMH- SiNFAs油水分离能力，实验中分别采用正己烷、正十六烷、石油醚、植物油和二氯甲烷为有机溶剂进行分析，相应结果如Fig.4所示。实验中采用亚甲基蓝对水溶液进行染色，苏丹III对有机溶剂进行染色进行测试。可以发现，PCL/DCDMH-SiNFAs对有机溶剂具有很好的选择吸收效果，可以在短时间内吸收气相(Fig.4(a))、水面(Fig.4(b))以及水下(Fig.4(c))的有机溶剂。当样品表面存在水滴时，可以通过将样品浸润于有机溶剂中实现水溶液的有效去除(Fig.4(d))。在上述吸附过程中，PCL/DCDMH-SiNFAs几乎未吸收水溶液，表现出优异的油水分离能力。Fig.4(e)显示了样品对不同有机溶剂的吸附能力。可以发现PCL/DCDMH-SiNFAs表现出优异的吸附能力，吸附量可达76~206 g/g。如Tab.1所示，对比其他三维气凝胶吸收材料，PCL/DCDMH-SiNFAs具有很好的吸附能力。样品中的CH_2—及Si—CH_3—基团极大地提高了材料的亲脂性，显著提高了材料的油水分离能力。

为了评价PCL/DCDMH- SiNFAs循环使用能力，采用正己烷和石油醚对材料的循环可用性及吸附能力进行评价，结果如Fig.5所示。可以发现，PCL/DCDMH-SiNFAs的干重以及对正己烷和石油醚的吸附能力在经过15次循环后基本保持不变，油水分离效率基本高于95%。经过多次吸附/分离周期后，PCL/DCDMH- SiNFAs仍保持了很好的原始状态。上述结果表明样品具有很好的结构稳定性及油水分离效率。

2.4 抗菌性能分析

污水中细菌不仅会造成水体生物污染，同时会在过滤吸附材料表面附着并大量繁殖，形成生物被膜，进而严重影响材料的吸附效率。虽然疏水表面可以有效避免细菌的黏附，但材料的抗菌性能仍需要进行进一步的提升。实验中采用大肠杆菌（细菌浓度：6.63 logs）及金黄色葡萄球菌（细菌浓度：6.87 logs）对样品的抗菌性能进行评价，结果如Tab.2所示。可以发现，PCL-NFAs及PCL-SiNFAs在与细菌

接触30 min后，均出现了一定的细菌减少，这主要是由于细菌黏附在材料表面及多孔结构中造成的。当DCDMH添加后，PCL/DCDMH-SiNFAs氯含量为0.08%，具有一定的抗菌效果，可以在30 min内减少71.76%的大肠杆菌及79.59%金黄色葡萄球菌。小分子卤胺DCDMH具有优异的抗菌效果，但化学活性较高，在三维纤维骨架材料的制备过程中不断流失，尤其在纳米硅丝生长过程中损失最为严重。PCL/DCDMH-SiNFAs在水体中虽具有一定的抗菌效果，可以减少细菌的滋生，但其抗菌性能有待进一步的提高。

3　结论

本文以DCDMH为添加剂，以PCL为原料，采用静电纺丝工艺制备了电纺纤维膜；通过后续机械分散、冷冻干燥、蒸汽交联、原位生长等手段得到了一种新型的三维纤维骨架材料PCL/DCDMH-SiNFAs。这种材料具有较低的密度（55.27 mg/cm^3）及较高的孔隙率（99.41%）。经由表面硅烷原位生长后，材料表面生成了大量的纳米硅丝提升了材料的疏水性。PCL/DCDMH-SiNFAs在空气及水溶液中均表现出较高的有机溶剂吸附性能及循环吸附稳定性。相比于其他工作的吸附能力，PCL/DCDMH-SiNFAs对有机溶剂（正己烷、正十六烷、石油醚、植物油）的吸附量可达74~206 g/g，具有优异的吸附效果。相比于PCL -SiNFAs，DCDMH的添加提升了材料的抗菌性能，PCL/DCDMH-SiNFAs可在30 min内杀灭71.76%的大肠杆菌及79.59%的金黄色葡萄球菌，具有一定的抗菌效果。该材料有望在水处理及净化领域取得广泛的应用前景。

参考文献：

[1] Schrope M. Deep wounds[J]. Nature, 2011, 472: 152-154.

[2] Reddy C M, Arey J S, Seewald J S, *et al.* Composition and fate of gas and oil released to the water column during the Deepwater Horizon oil spill[J]. PNAS, 2012, 109: 20229-20234.

[3] Zhang T, Li Z, Lü Y, *et al*. Recent progress and future prospects of oil- absorbing materials[J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2019, 27: 1282-1295.

[4] Berardino C D, Liverani L, Peserico A, *et al*. When electrospun fiber support matters: in vitro ovine long-term folliculogenesis on poly (epsilon caprolactone) (PCL)- patterned fibers[J]. Cells, 2022, 11: 1968.

[5] Eom J, Kwak Y, Nam C. Electrospinning fabrication of magnetic nanoparticles- embedded polycaprolactone (PCL) sorbent with enhanced sorption capacity and recovery speed for spilled oil removal[J]. Chemosphere, 2022, 303: 135063.

[6] Zhang G, Wang P, Zhang X, *et al.* The preparation of PCL/MSO/SiO_2 hierarchical superhydrophobic mats for oil-water separation by one- step method[J]. European Polymer Journal, 2019, 116: 386-393.

[7] He C, Wang F, Kang J, *et al.* Synthesis of ladder- like phenyl polysilsesquioxane with fluorinated side chains and its use in silicon/polycaprolactone electrospun membranes with excellent anti-fouling, self-cleaning, and oil-water separation performances [J]. Materials Today Communications, 2023, 34: 105082.

[8] Zaarour B, Zhu L, Huang C, *et al.* Controlling the secondary surface morphology of electrospun pvdf nanofibers by regulating the solvent and relative humidity[J]. Nanoscale Research Letters, 2018, 13: 285.

[9] Shen Y, Li D, Wang L, *et al.* Superelastic polyimide nanofiber-based aerogels modified with silicone nanofilaments for ultrafast oil/water separation[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2021, 13:20489-20500.

[10] Zhang J, Zhang F, Song J, *et al.* Electrospun flexible nanofibrous membranes for oil/water separation[J]. Journal of Materials Chemistry A, 2019, 7: 20075-20102.

[11] Jiang S, Li Y, Ladewig B P. A review of reverse osmosis membrane fouling and control strategies[J]. Science of the Total Environment, 2017, 595: 567-583.

[12] Zoubeik M, Salama A, Henni A. Investigation of oily wastewater filtration using polymeric membranes: experimental verification of the multicontinuum modeling approach[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2018, 57:11452-11464.

[13] Elnaggar A, Fawal H A N, Allam N K. Biocompatible PCL-nanofibers scaffold with immobilized fibronectin and laminin for neuronal tissue regeneration[J]. Materials Science and Engineering: C, 2020, 119: 111550.

[14] Yue X, Zhang T, Yang D, *et al.* Hybrid aerogels derived from banana peel and waste paper for efficient oil absorption and emulsion separation[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 199: 411-419.

[15] Mi H Y, Jing X, Xie H, *et al*. Magnetically driven superhydrophobic silica sponge decorated with hierarchical cobalt nanoparticles for selective oil absorption and oil/water separation[J]. Chemical Engineering Journal, 2018, 207: 541-551.

[16] Guan L Z, Gutiérrez M C, Roldán- Ruiz M J, *et al.* Highly efficient and recyclable carbon- nanofiber- based aerogels for ionic liquid – water separation and ionic liquid dehydration in flow- through conditions[J]. Advanced Materials, 2019, 31: 1903418.

[17] Liu R L, Li X Q, Liu H Q, *et al*. Eco- friendly fabrication of sponge- like magnetically carbonaceous fiber aerogel for high-efficiency oil – water separation[J]. RSC Advance, 2016, 6: 30301-30310.

[18] Yuan D, Zhang T, Guo Q, *et al*. Recyclable biomass carbon@SiO_2@MnO_2 aerogel with hierarchical structures for fast and selective oil- water separation[J]. Chemical Engineering Journal, 2018, 351: 622-630.

[19] Lu Y, Wang H, Lu Y. An architectural exfoliated-graphene carbon aerogel with superhydrophobicity and efficient selectivity[J]. Materials & Design, 2019, 184: 108134.

[20] Zhou X, Fu Q, Liu H, *et al*. Solvent- free nanoalumina loaded nanocellulose aerogel for efficient oil and organic solvent adsorption[J]. Journal of Colloids and Interface Science, 2021, 581: 299-306.

Preparation and Oil/Water Separation Properties of Antibacterial Polycaprolactone-Based 3D Electrostatic Fiber Scaffold

Wenya Zhang[1,2], Shuo Dong[1], Xuyao Liu[1], Dawei Hong[1], Deshan Cheng[2], Yingfeng Wang[1]

(*1. College of Textiles and Garments, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China; 2. College of Textile Science and Engineering, Wuhan Textile University, Wuhan 430200, China*)

ABSTRACT: Oil/water separation and antibacterial treatment of water resources are the major topics in the worldwide. Based on this, a hydrophobic 3D electrostatic fiber scaffold composed of polycaprolactone (PCL) electrostatic fibers and containing 1,3-dichloro-5,5- dimethylhydantoin (DCDMH) as additive was designed. SEM and EDS were used to analyze the microstructure and element distribution of the materials. The density and porosity of these materials were investigated. The electrostatic fiber-based aerogel exhibits excellent hydrophobic properties, with a contact angle of 141.1°, and an adsorption capacity for organic solvents between 74~206 g/g. The materials show a good reusability to organic solvent, and the adsorption efficacy reaches 95% after 15 cycles. Due to the addition of DCDMH, the electrostatic fiber-based aerogel exhibits a considerable antibacterial effect. After being treated with 6 logs of *S. aureus* and *E. coli* O157:H7, 79.59% and 71.76% of both bacteria are inactivated within 30 min.

Keywords: polycaprolactone; electrostatic spinning; antibacterial; N-halamine; oil/water separation