

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2024.02.021

静电纺PMMA纤维生物膜的制备及性能

郑高峰^{1,2}, 张心怡^{1,2}, 吴德志^{1,2}, 卓丽云^{3,4}

[1. 省部共建精密电子制造技术与装备国家重点实验室, 广州 510006; 2. 厦门大学萨本栋微米纳米科学技术研究院, 福建厦门 361102; 3. 柔性制造装备集成福建省高校重点实验室(厦门工学院), 福建厦门 361021; 4. 厦门工学院机械电气与信息工程学院, 福建厦门 361021]

摘要: 为了获得净水效果好的纤维生物膜载体材料, 通过静电纺丝工艺制备聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)生物膜载体, 通过多种表征方法测试PMMA与无纺布生物膜载体间的性能差异, 完成了生物膜载体的结构(表面形貌、比表面积、孔隙率)和润湿性(水接触角和吸水率)的测试。结果表明, 静电纺丝工艺制备的PMMA纤维膜的纤维直径为100~900 nm, 比表面积达到19.2 m²/g, 孔隙率达到80%, 而无纺布的纤维直径为微米级, 比表面积为0.365 9 m²/g, 表明制备的PMMA纤维生物膜属于小直径、高比表面积的载体, 可为微生物提供更多的附着位点及孔隙, 更有利于微生物的附着。同时PMMA纤维膜表面水接触角为133.25°, 吸水率达到313%, 相较无纺布的吸水率(75%)明显上升, 有效提高了载体在污水中的浸润性。最后, 在相同条件下对PMMA和无纺布生物膜载体进行养菌挂膜试验。发现PMMA纤维生物膜载体处理污水的效果明显高于无纺布: 养菌6 d后, PMMA纤维生物膜载体的挂膜量比继续处于快速上升趋势, 而无纺布生物膜载体的挂膜量比变化很小; 养菌15 d后, PMMA纤维生物膜载体的挂膜量比达到227.1%, 而无纺布生物膜载体的挂膜量比仅为109.23%。

关键词: 静电纺丝; 纤维生物膜; 表征分析; 挂膜量比

中图分类号: TQ340.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2024)02-0136-06

Preparation and properties of electrospun PMMA fiber biofilm

ZHENG Gaofeng^{1,2}, ZHANG Xinyi^{1,2}, WU Dezhi^{1,2}, ZHUO Liyun^{3,4}

[1. State Key Laboratory of Precision Electronic Manufacturing Technology and Equipment, Guangzhou 510006, China; 2. Pen-Tung Sah Institute of Micro-Nano Science and Technology, Xiamen University, Xiamen 361102, China; 3. The Higher Educational Key Laboratory for Flexible Manufacturing Equipment Integration of Fujian Province (Xiamen Institute of Technology), Xiamen 361021, China; 4. School of Mechanical Electrical and Information Engineering, Xiamen Institute of Technology, Xiamen 361021, China]

Abstract : In order to obtain fiber biofilm carrier materials with good water purification effect, polymethyl methacrylate (PMMA) biofilm carriers were prepared by electrospinning process. The performance differences between PMMA and non-woven fabric biofilm carriers were tested through various characterization methods, and the tests of the structure (surface morphology, specific surface area, porosity) and surface wettability (water contact angle and water absorption) of the biofilm carriers were completed. The results show that the PMMA fiber membrane prepared by electrospinning process has a fiber diameter of 100–900 nm, a specific surface area of 19.2 m²/g, and a porosity of 80%, and the non-woven fabric has a fiber diameter of micrometers and a specific surface area of 0.365 9 m²/g, it indicates that the prepared PMMA fiber membranes are carriers with small diameter and high specific surface area, which can provide more attachment sites and pores for microorganisms and are more conducive to their attachment. At the same time, the water contact angle on the surface of PMMA fiber membrane is 133.25°, and the water absorption reaches 313%, which is higher than that (75%) of non-woven fabric, effectively improving the wettability of the carrier in wastewater. Finally, under the same conditions, bacterial cultivation membrane hanging tests were conducted on PMMA fiber and non-woven fabric biofilm carriers. It is found that the effectiveness of PMMA fiber biofilm carrier in treating wastewater is significantly higher than that of non-woven fabric. After 6 days of bacterial cultivation, the membrane hanging ratio of PMMA fiber biofilm carrier continues to show a rapid upward trend, while the ratio of non-woven fabric biofilm carrier has little changes. After 15 days of bacterial cultivation, the membrane hanging ratio of PMMA fiber biofilm carrier reaches 227.1%, while the ratio of non-woven fabric biofilm carrier is only 109.23%.

Keywords : electrospinning ; fiber biofilm ; characterization analysis ; membrane hanging ratio

基金项目: 国家自然科学基金项目(52275575), 省部共建精密电子制造技术与装备国家重点实验室开放课题(JMDZ 2021019, JMDZ 2021014), 厦门市自然科学基金项目(3502Z20227329), 厦门工学院科研项目(KYZX2023005, KYTD202102)

通信作者: 卓丽云, 教授, 工学硕士, 研究方向为静电纺丝、工程图学及计算机辅助设计

收稿日期: 2023-11-24

引用格式: 郑高峰, 张心怡, 吴德志, 等. 静电纺PMMA纤维生物膜的制备及性能[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(2): 136–141.

ZHENG Gaofeng, ZHANG Xinyi, WU Dezhi, et al. Preparation and properties of electrospun PMMA fiber biofilm[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(2): 136–141.

纳米纤维生物膜技术应用在污水处理领域的研究越来越多,静电纺丝纳米纤维生物膜因其独特的性质,比如高孔隙率、高比表面积等受到广泛关注^[1-2],且相比于其他纳米纤维制造技术,静电纺丝可开发独特的纳米纤维支架结构,通过多功能材料复合实现纳米纤维功能化。目前静电纺丝工艺已经有很多应用于水处理技术的研究,功能化的静电纺丝纤维膜显示出多种水处理能力,例如分离、吸附、抗菌等^[3-4]。主要的研究成果包括:(1)压力驱动膜工艺方面的应用,Liao等^[5]通过静电纺丝制备了一种纳米复合超滤膜,其性能优于传统的超滤膜,其截留率可达到99.5%;(2)膜生物反应器方面的应用,Chen等^[3]将静电纺丝纳米纤维膜与悬浮生长生物反应器结合,研究不同材料纳米纤维膜的性能,发现更亲水的聚合物纤维膜具有更好的性能;(3)膜蒸馏方面的应用,Liao等^[6]通过非织造支撑物上的静电纺丝超疏水层制造了一种3D超疏水膜,其表现出更高的强度和长期稳定性,Li等^[7]通过静电纺丝工艺制备了聚砜(PSU)纳米纤维,对纤维进行聚二甲基硅氧烷(PDMS)改性和后处理,制备出超疏水自清洁的纳米纤维膜;(4)吸附工艺方面的应用,Vo等^[8]和Zhu等^[9]通过静电纺丝制备的纳米纤维膜对重金属表现出高选择性和高吸附能力,Islam等^[10]使用静电纺丝技术制备了聚乙烯醇/SiO₂多孔复合纳米纤维,对Mn²⁺、Ni²⁺的去除率达到96%~98%,Camire等^[11]发现静电纺丝纤维还可在溶液中吸附药物污染物,Liu等^[12]制备了聚丙烯腈(PAN)/Fe₃O₄纳米纤维膜,其可以通过络合和离子交换,经化学吸附有效去除四环素;(5)水体除菌工艺方面的应用,Parekh等^[13]将Ag离子转化成Ag纳米粒子后与PAN纳米纤维膜结合制备出一种纤维膜,此纤维膜对革兰氏阴性大肠杆菌菌落的除菌率达到99.99%;(6)油水分离方面的应用,Cao等^[14]利用静电纺丝结合电喷雾工艺制备尼龙(PA)6-还原氧化石墨烯(rGO)纳米纤维膜实现重度含油污水的初步分离,Gao等^[15]将静电纺丝制备的表面改性TiO₂涂覆在单壁碳纳米管(SWCNT)薄膜上,制备了在紫外线照射后具有超亲水和水下超疏油性能的复合膜。由此可见,静电纺丝纳米纤维膜应用于生物膜污水处理方法仍是大势所趋。

笔者将静电纺丝纤维膜应用于生物膜法污水处理,考虑有机污水的处理环境为室外,常年处于

风吹日晒的环境下,同时考虑成本低、易获取和易电纺等因素,又因为聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)材料具有强度高、抗冲击、抗拉伸、可增强生物膜载体表面的强度等优点,适用于高浓度污水的长期治理。因此,最终选择PMMA材料作为电纺材料,将电纺纤维膜覆盖于无纺布基底上层,形成层叠纤维膜,从而起到保护作用。进行了纤维膜表面结构和润湿性方面的表征测试分析,并在相同条件下对PMMA纤维生物膜载体和空白无纺布生物膜载体进行养菌挂膜实验,实现了微生物高效附着的生物膜载体的稳定制备,从而获得较高污水处理效果的纤维生物膜载体,将为有机污水的处理提供重要的实践依据。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PMMA:分子量为20万,东莞市樟木头信诚塑胶原料商行;

无纺布:克重为40 g,义乌市派宝电子商务有限公司;

N,N-二甲基甲酰胺(DMF):分析纯,西陇科学股份有限公司;

葡萄糖:工业级,苏州鼎誉化工科技有限公司;

尿素、过磷酸钙:分析纯,天津福晨化学试剂有限公司;

甘度复合菌种:上海甘度环境工程有限公司。

1.2 主要仪器及设备

精密注射泵:Pump 11 Pico plus Elite,美国哈佛仪器公司;

直流高压电源:DW-P603-1ACF1,天津东文高压电源有限公司;

场发射扫描电子显微镜(FESEM):SUPRA55 SAPPHERE,德国蔡司光学仪器公司;

全自动物理吸附仪:SAP2460,上海力辰邦西仪器科技有限公司。

静电纺丝实验装置主要包含精密注射泵、直流高压电源、收集装置等部件,示意图如图1所示。

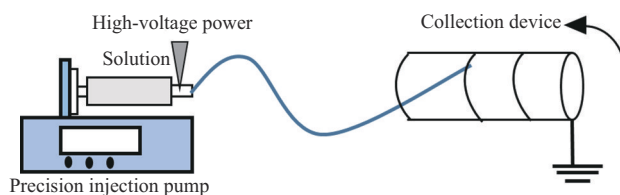


图1 静电纺丝实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of electrospinning experimental device

1.3 生物膜载体制备

先配制一定质量的PMMA粉末,溶于DMF中,再将磁粒子放入配置完成的溶液中,然后将溶液置于搅拌器上搅拌8 h,直到PMMA粉末完全溶解。最后静置2 h后,溶液中的气泡去除,得到质量分数为20%的PMMA溶液。

在注射器中注入配置好的PMMA溶液,选择25G喷头进行纺丝,将注射器装在精密注射泵上。在接收装置辊筒上固定无纺布基底并接地,调节喷头到收集装置距离15 cm,设置精密注射泵中的注射器直径,设定供液速度为500 $\mu\text{L}/\text{h}$,将连接高压的装置夹在喷头处,喷头处溶液可以均匀流出时,缓慢增加电压至16 kV。采用以上参数纺丝工艺,可使纺丝过程均匀且稳定,从而得到直径均匀的纤维结构。纺丝时,PMMA溶液形成射流并拉伸,PMMA纤维沉积在收集装置处的无纺布基底上,最终形成PMMA纤维膜。

1.4 生物膜载体结构表征与通用性能测试

生物膜载体的净水效果主要取决于其微生物附着量,而影响微生物附着量的主要影响因素是载体的微结构和吸水性能,因此主要通过FESEM和全自动物理吸附仪测试纤维膜表面形貌和比表面积,同时测试膜的孔隙率、吸水率。

孔隙率的测试方法和过程如下:将制备的纤维膜剪裁成边长为2 cm的正方形试样,先称取初始干膜质量,再将纤维膜放入正丁醇中浸泡20 min,然后取出吸收正丁醇后的纤维膜,同时吸掉纤维膜表面多余的正丁醇,最后称取吸收正丁醇后的纤维膜质量。孔隙率的计算公式见式(1)^[16]。

$$P = \frac{M_b/\rho_b}{M_o/\rho_o + M_b/\rho_b} \times 100\% \quad (1)$$

式中: P 为孔隙率,单位%; M_o 为干膜质量,单位g; ρ_o 为膜用聚合物密度,单位 g/cm^3 ; M_b 为纤维膜吸收正丁醇质量,单位g; ρ_b 为正丁醇密度,单位 g/cm^3 。

吸水率的测试方法和过程如下:将制备的纤维膜剪裁成边长为2 cm的正方形试样,称取初始干膜质量,再将纤维膜放入水中,浸泡24 h,然后取出含水的纤维膜,吸去纤维膜表面多余的液体,称取纤维膜质量。纤维膜吸水率的计算公式见式(2)^[16]。

$$\theta = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中: θ 为吸水率,单位%; M_1 为干膜质量,单位

g; M_2 为含有水的湿膜质量,单位g。

1.5 生物膜载体挂膜量比测试

挂膜量比是生物膜载体污水净化能力的重要衡量指标,表明了生物膜载体对污水中污染物和降解细菌的吸附能力,因此高的挂膜量比是强污水净化能力的体现。在挂膜量比测试中,以葡萄糖、尿素、过磷酸钙分别作为碳源、氮源和磷源,按三者元素质量比为100:5:1的比例模拟污水来制备废料包,为微生物的生存提供营养源。选用甘度复合菌种,按照菌种密度800 g/m^3 倒入反应器进行养菌挂膜试验。

生物膜载体微生物挂膜量比测试步骤如下:(1)制备完成生物膜载体后对载体称重记录;(2)固定生物膜载体在支架上,开始养菌挂膜试验;(3)完成挂膜过程,将生物膜载体从反应器中取出,烘干并称重;(4)根据每个生物膜载体的挂膜前、后质量计算挂膜量比。挂膜量比计算公式见式(3)。

$$M = (m_1 - m_0)/m_0 \quad (3)$$

式中: M 为挂膜量比; m_0 为生物膜载体养菌挂膜前的质量; m_1 为生物膜载体经过养菌挂膜、烘干后的质量。

2 结果与讨论

2.1 纤维膜的表面形貌分析

运用静电纺丝工艺制备的PMMA纤维生物膜载体和无纺布基材的FESEM图如图2所示,其直径的柱状分布图如图3所示。从图2和图3可以看出,PMMA纤维直径分布区间为100~900 nm,无纺布基材的纤维直径分布区间为15 000~33 000 nm。从测试结果中发现,通过静电纺丝工艺制备的纤维膜直径远小于纯无纺布基底材料。小直径且分布均匀的纤维结构可以为微生物的附着提供更多的附着位点,且平面结构有利于微生物与溶解氧的充分接触。由此可见,静电纺丝工艺在制备更小直径的纤维膜载体,并应用于生物膜法污水处理中突显其优势。

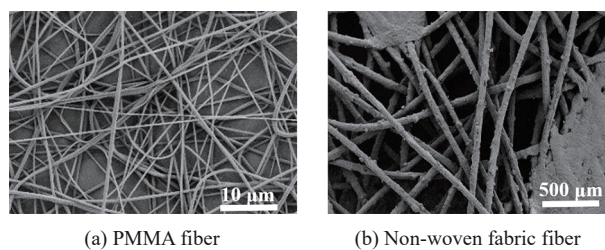


图2 纤维膜的FESEM图

Fig. 2 FESEM images of fiber membranes

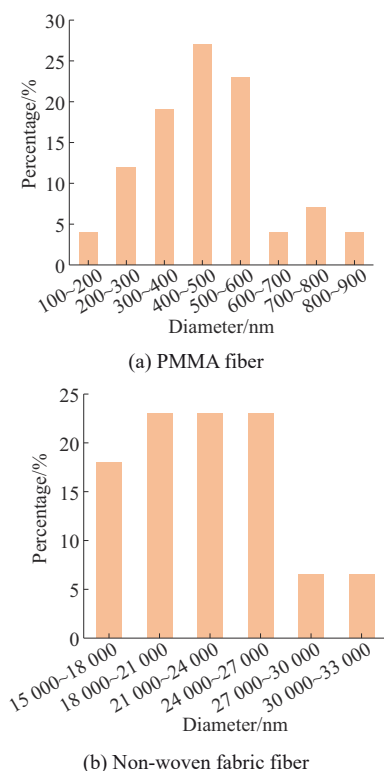


图3 纤维膜的直径分布图

Fig. 3 Diameter distribution of fiber membranes

2.2 纤维膜的比表面积测试分析

使用全自动物理吸附仪对无纺布和PMMA纤维生物膜载体进行比表面积测试,结果如图4所示。图4表明,无纺布基材的比表面积为 $0.3659\text{ m}^2/\text{g}$,PMMA纤维生物膜载体的比表面积为 $19.2\text{ m}^2/\text{g}$ 。从测试结果可知,增加PMMA纤维膜后的生物膜载体,相比于无纺布基材,比表面积大幅增加。大比表面积的纤维生物膜载体能为微生物提供更多的附着位点,使更多的微生物附着、繁殖,最终提高污水处理效率。

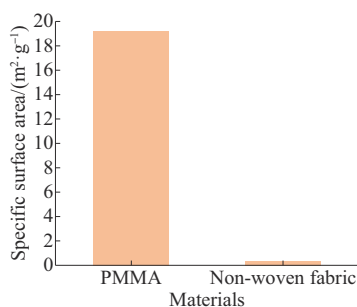


图4 不同材质纤维膜的比表面积测试结果

Fig. 4 Specific surface area test results of fiber membranes with different materials

2.3 纤维膜的孔隙率测试分析

孔隙率指孔隙体积占载体总体积的百分数,更

高的孔隙率代表载体具有更多微生物附着的空间。无纺布和PMMA纤维生物膜载体的孔隙率测试结果如图5所示。由图5可以看出,PMMA纤维膜孔隙率明显高于无纺布,达到80%。

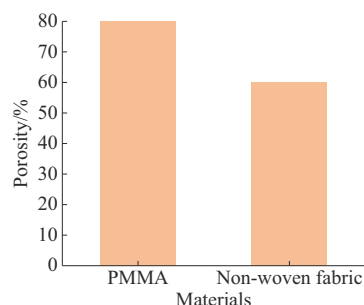


图5 不同材质纤维膜的孔隙率测试结果

Fig. 5 Porosity test results of fiber membranes with different materials

2.4 纤维膜的吸水率测试分析

具备更高吸水率的生物膜载体在用于生物膜法污水处理时,可提升其浸润性,使污水在更短的时间内浸润整个载体。在生物膜载体中,吸水率可表征载体的生物亲和性。无纺布和PMMA纤维生物膜载体的吸水率测试结果如图6所示。由图6可以看出,静电纺丝PMMA纤维膜的吸水率显著高于无纺布的吸水率(70%),达到313%。

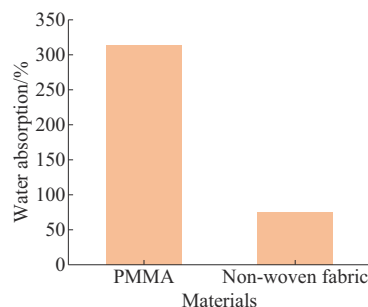


图6 不同材质纤维膜的吸水率测试结果

Fig. 6 Water absorption test results of fiber membranes with different materials

2.5 纤维膜的挂膜量比测试分析

采用PMMA溶液制备纤维生物膜载体,准备无纺布作为纤维的沉积基材,静电纺丝时间为1 h,以保证基材上有充分的纤维膜。在相同的反应器中进行PMMA纤维生物膜载体和空白无纺布生物膜载体的养菌挂膜试验后,得到的多时段复合细菌挂膜量比结果如图7所示。由图7可以发现,两种材料的生物膜载体的挂膜量比随着天数的增加而增大;PMMA纤维生物膜载体挂膜量比明显高于无纺布。PMMA纤维生物膜载体挂膜量比的增长速度高于无纺布:养菌6 d后,PMMA纤维生物膜载体挂

膜量比继续处于快速上升趋势,而无纺布生物膜载体挂膜量比的增长基本处于水平趋势;养菌 15 d 后,PMMA 纤维生物膜载体的挂膜量比达到 227.1%,而无纺布生物膜载体的挂膜量比为 109.23%。由此可见,采用静电纺丝工艺制备的 PMMA 纤维生物膜载体可以明显提高污水的处理效果。

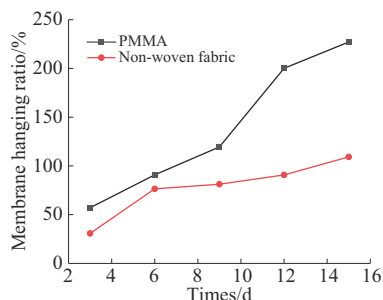


图7 不同材质纤维生物膜载体的复合细菌挂膜量比

Fig. 7 Composite bacterial membrane hanging ratios of fiber biofilm carriers with different materials

3 结论

(1)通过静电纺丝工艺制备了一种直径小、比表面积和孔隙率较高的PMMA纤维生物膜载体,相比于无纺布生物膜载体,其具有更多的附着位点和孔隙,有利于微生物的附着。

(2)静电纺丝工艺制备的PMMA纤维膜具有较高的吸水率,可有效提高生物膜载体在污水中的浸润性。

(3)在相同条件下进行PMMA纤维生物膜载体和无纺布生物膜载体的养菌挂膜试验,发现PMMA纤维生物膜载体的挂膜量比明显高于无纺布,且随时间增加,相比于无纺布,PMMA纤维生物膜载体的挂膜量比上升更快,养菌 15 d后,PMMA纤维生物膜载体的挂膜量比为 227.1%,远高于无纺布生物膜载体的挂膜量比(109.23%)。

参考文献

[1] 卓丽云,朱自明,郑高峰.多射流静电纺丝稳定性的影响分析[J].工程塑料应用,2020,48(10):59-64.
Zhuo Liyun, Zhu Ziming, Zheng Gaofeng. Analysis on stability of multi-jet electrostatic spinning[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(10):59-64.

[2] 卓丽云,朱自明,郑高峰.环境温湿度对静电纺丝稳定喷射的影响[J].工程塑料应用,2020,48(3):61-65.
Zhuo Liyun, Zhu Ziming, Zheng Gaofeng. Influence of environmental temperature and humidity on stable jet of electrospinning [J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(3):61-65.

[3] CHEN H, HUANG M, LIU Y, et al. Functionalized electros-

pun nanofiber membranes for water treatment: A review[J]. Science of the Total Environment, 2020, 739. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.139944.

[4] ESCRIBA A, DA SILVA B A T T, LOURENCO S A, et al. Incorporation of nanomaterials on the electrospun membrane process with potential use in water treatment[J]. Colloids and Surfaces a-Physicochemical and Engineering Aspects, 2021, 624. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2021.126775.

[5] LIAO Y, LOH C H, TIAN M, et al. Progress in electrospun polymeric nanofibrous membranes for water treatment: Fabrication, modification and applications[J]. Progress in Polymer Science, 2018, 77:69-94.

[6] LIAO Y, LOH C H, WANG R, et al. Electrospun superhydrophobic membranes with unique structures for membrane distillation[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2014, 6(18):16 035-16 048.

[7] LI X, GARCIA-PAYO M C, KHAYET M, et al. Superhydrophobic polysulfone/polydimethylsiloxane electrospun nanofibrous membranes for water desalination by direct contact membrane distillation[J]. Journal of Membrane Science, 2017, 542:308-319.

[8] VO T S, HOSSAIM M M, JEONG H M, et al. Heavy metal removal applications using adsorptive membranes[J]. Nano Convergence, 2020, 7(1). DOI:10.1186/s40580-020-00245-4.

[9] ZHU F, ZHENG Y M, ZHANG B G, et al. A critical review on the electrospun nanofibrous membranes for the adsorption of heavy metals in water treatment[J]. Journal of Hazardous Materials, 2020, 401. DOI:10.1016/j.jhazmat.2020.123608.

[10] Islam M S, Rahaman M S, Yeum J H. Phosphine-functionalized electrospun poly(vinyl alcohol)/silica nanofibers as highly effective adsorbent for removal of aqueous manganese and nickel ions [J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2015, 484:9-18.

[11] CAMIRE A, ESPINASSE J, CHABOT B, et al. Development of electrospun lignin nanofibers for the adsorption of pharmaceutical contaminants in wastewater[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2020, 27(4):3 560-3 573.

[12] LIU Q, ZHONG L B, ZHAO Q B, et al. Synthesis of Fe₃O₄/Polyacrylonitrile composite electrospun nanofiber mat for effective adsorption of tetracycline[J]. ACS Applied Material & Interfaces, 2015, 7(27):14 573-14 583.

[13] PAREKH S A, DAVID R N, BANNURU K K R, et al. Electrospun silver coated polyacrylonitrile membranes for water filtration applications[J]. Membranes, 2018, 8(3). DOI:10.3390/membranes8030059.

[14] CAO M, CHEN Y, HUANG X, et al. Construction of PA6-rGO nanofiber membrane via electrospraying combining electrospinning processes for emulsified oily sewage purification[J]. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 2021, 118: 232-244.

[15] GAO S J, SHI Z, ZHANG W B, et al. Photoinduced superwetting

single-walled carbon nanotube/TiO₂ ultrathin network films for ultrafast separation of oil-in-water emulsions[J]. ACS Nano, 2014, 8(6):6 344-6 352.

[16] 林睿. 填料内部空间尺度对生物膜动态生长的影响[D]. 马鞍

山:安徽工业大学,2020.

LIN Rui. Effect of carrier internal space scale on the dynamic growth of biofilm[D]. Maanshan: Anhui University of Technology, 2020.

第五届CHINAPLAS x CPRJ 塑料回收再生与循环经济论坛暨展示会将于4月22日在上海举办

绿色发展不仅是全球发展的最大共识,也已成为全球经济复苏重要新动力之一。无论是企业发展,还是产业出海,低碳、绿色,与自然和谐共生等因素在经济发展以及全球贸易所承担的角色变得越来越重要。

为进一步探讨绿色发展对塑料及下游应用行业带来的影响,尤其是塑料回收再生与循环经济如何推进产业升级与高品质发展,国际橡塑展CHINAPLAS(2024年4月23-26日,上海,国家会展中心)重要同期活动——“第五届CHINAPLAS x CPRJ 塑料回收再生与循环经济论坛暨展示会”,将邀请来自全球知名行业协会、品牌商及材料、设备解决方案供应商共议绿色发展之路。



本次论坛由雅式集团旗下“CHINAPLAS 国际橡塑展”与“雅式橡塑网(AdsaleCPRJ.com)”携手主办,计划于2024年4月22日在上海召开。

论坛以主论坛、平行分论坛形式,组织多场主题演讲,

就塑料循环经济全球新趋势、塑料循环与时尚潮流、回收再造与新塑料经济、产业联动与全球领域低碳等热门内容进行深入讨论,直击ESG、化学回收、单一材料、再生塑料、环保车用汽车内饰设计、低碳消费电子技术创新等创新技术。届时,现场还将有诸多方案供应商新品展示,以及丰富的同期活动。



欢迎来自家电/3C电子、汽车、快消品及日化包装、食品包装、外卖/电商/快递包装,农膜、运动休闲、家居用品、管道等下游应用品牌企业及配件生产商;塑料回收利用、再生塑料制品企业;政府部门、再生塑料循环经济园区、行业协会、科研院所等机构;塑料循环技术设计、回收平台等三方服务机构的团体及个人扫码报名参会。

