

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.06.013

静电纺 PMIA 纳米纤维的制备工艺优化及性能

丰江丽,韩万里,谢胜,杨恩龙,席曼

(嘉兴学院材料与纺织工程学院,浙江嘉兴 314001)

摘要:以氯化锂/*N,N*-二甲基乙酰胺为溶剂,通过静电纺丝和正交试验优化制备了间位芳纶(PMIA)纳米纤维。采用扫描电子显微镜、傅立叶变换红外光谱和热失重分析表征了PMIA纳米纤维的外貌形态和性能。在正交试验优化结果的基础上,将PMIA纳米纤维复合到PMIA针刺非织造布上得到PMIA复合过滤非织造布,并对其力学性能、透气性能和过滤性能进行了测试。结果表明,LiCl浓度对PMIA纳米纤维直径影响最显著。在LiCl浓度为2%,PMIA浓度为12%及接收距离为20 cm和静电电压为20 kV时,制得的PMIA纳米纤维平均直径最小,为74.84 nm。PMIA纤维的分解温度约为415℃。红外光谱显示,PMIA纳米纤维的微结构没有变化,在3450 cm⁻¹处存在羟基特征峰。PMIA复合过滤非织造布的透气性能下降16.4%,过滤阻力增加27.5%,过滤效率提高46.2%。

关键词:静电纺;间位芳纶;纳米纤维;复合过滤非织造布;工艺优化;性能

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)06-0070-06

Optimization and Properties of Poly(m-phenylene isophthalamide) Nanofibers via Electrospinning Process

Feng Jiangli, Han Wanli, Xie Sheng, Yang Enlong, Xi Man

(Materials and Textile Engineering College, Jiaxing University, Jiaxing 314001, China)

Abstract : The *N,N*-dimethylacetamide / LiCl was used as solvent, and the electrospinning method and the orthogonal experiment were designed in order to obtain and optimize poly(m-phenylene isophthalamide) (PMIA) nanofiber. Scanning electron microscopy, Fourier transformation infrared spectrum and thermal gravimetric analysis were used to characterize the morphology and properties of PMIA nanofibers. Based on the optimized experiments, the PMIA composite filtration nonwovens for filtration were obtained by PMIA nanofibers compounding onto PMIA needle-punched nonwovens and their properties were tested, including mechanical properties, air permeabilities and filterability. The results show the concentration of LiCl is the most important factor affecting the average diameter of PMIA nanofiber. PMIA nanofibers with diameters of 74.84 nm are obtained with the concentrations of PMIA 12%, the concentration of LiCl 2%, collector distance 20 cm and the the electrostatic voltage 20 kV, the decomposition temperature of PMIA nanofiber is 415℃. The infrared spectrum shows the microstructure of PMIA nanofiber has not changed and there is hydroxyl at the peak of 3450 cm⁻¹. The air permeability of PMIA composite filtration nonwoven is decreased by 16.4%, the filtration resistance and the filtration efficiency are increased by 27.5% and 46.2% respectively.

Keywords : electrospinning ; poly(m-phenylene isophthalamide) ; nanofiber ; composite filtration nonwoven ; process optimization ; property

近几年,我国空气PM_{2.5}严重超标,雾霾污染天气给居民的生活、出行和身体健康带来了严重的危害。雾霾污染物主要来自汽车尾气、冬季烧煤供暖所产生的废气及工业生产排放的废气等,其中工业

高温废气中所含粉尘是其主要来源之一^[1]。而在高温废气处理中,对其使用的耐高温过滤材料的要求较高。通常耐高温过滤材料的耐温温度要在200℃以上,且在高温环境中保持较好的力学性能,从而确

基金项目: 国家自然科学基金项目(51506075,11702113),浙江省自然科学基金项目(LY18E030004, LQ19E030014),嘉兴市公益科技计划项目(2018AY11006)

通讯作者: 韩万里,副教授,博士,主要研究微纳米纤维成型及非织造材料加工 E-mail : jxwlhan@163.com

收稿日期: 2019-03-21

引用格式: 丰江丽,韩万里,谢胜,等. 静电纺 PMIA 纳米纤维的制备工艺优化及性能 [J]. 工程塑料应用,2019,47(6) : 70-75.

Feng Jiangli, Han Wanli, Xie Sheng, et al. Optimization and properties of poly(m-phenylene isophthalamide) nanofibers via electrospinning[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(6) : 70-75.

保过滤材料在使用过程中发挥作用。而非织造耐高温过滤材料作为一种新型过滤材料,具有高产量、低成本和易在生产线上进行深加工处理且能与其它过滤材料复合等优势,因此得到广泛应用^[2-3]。

间位芳纶(聚间苯二甲酰间苯二胺, PMIA)属芳香族聚酰胺纤维,可采用干法纺丝、湿法纺丝和干湿法纺丝等工艺制得^[4-10],具有超高强度、高弹性模量、耐酸、耐碱及质量轻等优良性能,是处理 180~220℃高温腐蚀性气体的良好材料,广泛应用在高温过滤材料、电绝缘纸等领域,满足特殊情况下的过滤需求。目前 PMIA 纤维的产品类型由传统的机织物、针织物向非织造布、复合材料等方向发展。虽然国内 PMIA 制备技术得到了较好的发展,但其纤维直径一般都为微米级,限制了 PMIA 产品的开发和应用。如果能将 PMIA 纤维细度纳米化,将会使其产品具有更优异的性能(如比表面积大、孔隙率高等),从而进一步扩展 PMIA 纤维的应用领域。研究人员^[11-12]采用静电纺丝法制备了 PMIA 纤维,并通过 X 射线衍射(XRD)、差示扫描量热(DSC)和扫描电子显微镜(SEM)研究了纤维形貌结构特征,在此基础上对 PMIA 纳米纤维进行了复合开发,进一步扩展了 PMIA 纳米纤维的应用。但目前对 PMIA 纳米纤维的研究主要集中在纤维形貌结构的表征分析方面,对 PMIA 静电纺丝的工艺优化仍需要进一步探讨。

笔者将 PMIA 短纤维溶解在氯化锂/*N,N*-二甲基乙酰胺(LiCl/DMAc)溶剂体系中,通过静电纺丝技术和正交试验方法优化了 PMIA 纳米纤维的静电纺丝工艺参数,并对 PMIA 纳米纤维的表面形态结构、热稳定性能等进行了表征分析。在此基础上,将 PMIA 纳米纤维与 PMIA 针刺非织造布进行复合制得 PMIA 复合过滤非织造布,并对其力学性能、透气性能和过滤性能进行了研究,以期开发出性能优越的高温过滤非织造材料。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PMIA 短纤维: 1.5D/51mm, 保定白沟新城锦年特种纤维制造有限公司;

DMAc: 分析纯, 含量 $\geq 99.0\%$, 国药集团化学试剂有限公司;

无水 LiCl: 含量 $\geq 97.0\%$, 上海山浦化工有限公司;

PMIA 针刺非织造布: 面密度为 350 g/m², 自

制。

1.2 主要仪器与设备

静电纺丝机: SS-3556H 型, 北京永康乐业科技发展有限公司;

强力测试机: YG(B)026H250 型, 温州大荣纺织仪器有限公司;

织物透气测试仪: YG461E 型, 温州际高检测仪器有限公司;

数显电子天平: DC-320AS 型, 南京苏测计量仪器有限公司;

恒温加热磁力搅拌器: DF-101Z 型, 河南省予华仪器有限公司;

SEM: S-4800 型, 日本日立公司;

傅立叶变换红外光谱(FTIR)分析仪: VERTEX 70 型, 德国布鲁克(北京)有限公司;

热失重(TG)分析仪: TGAQ50 型, 美国 TA 仪器公司;

材料过滤综合性能测试仪: LD-05 型, 苏州华仪仪器设备有限公司。

1.3 PMIA 纳米纤维及其复合非织造布的制备

称取一定量的 PMIA 短纤维, 将其剪碎, 在 120℃的烘箱中干燥 4 h 后, 将其放入 LiCl/DMAc 溶剂体系中(LiCl 的浓度分别为 2%, 3%, 4%), 在 60℃的恒温磁力搅拌至完全溶解, 配制 PMIA 浓度分别为 8%, 10%, 12% 的纺丝溶液, 在微量注射泵推进速率为 0.01 mm/min 条件下进行静电纺丝。以 PMIA 针刺非织造布为基布, 接收滚筒转速为 60 r/min, 将 PMIA 纳米纤维非织造布沉积在 PMIA 针刺非织造布上, 使其复合获得 PMIA 复合过滤非织造布, 纺丝工艺过程如图 1 所示。

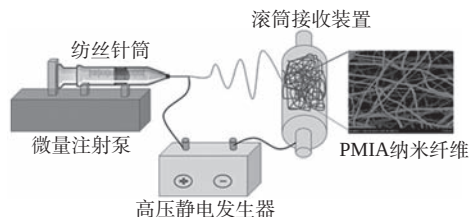


图 1 PMIA 静电纺丝工艺示意图

1.4 正交试验

为优化静电纺丝工艺参数对 PMIA 纳米纤维直径的影响, 采用三水平四因素正交表进行正交试验。考察下列 4 种因素对 PMIA 纳米纤维直径的影响: (1) 静电电压(A); (2) 接收距离(B); (3) LiCl 浓度(C); (4) PMIA 浓度(D), 设计的 L₉(3⁴) 正交试验因素水平表见表 1。

表1 正交试验因素水平表

水平	因素			
	A/kV	B/cm	C/%	D/%
1	16	20	3	10
2	18	15	4	8
3	20	10	2	12

1.5 性能测试

(1) PMIA 纳米纤维形貌表征。

采用 SEM 对 PMIA 纤维微观形貌进行观察,测试之前对样品表面进行喷金处理。利用 Image-Pro-plus 6.0 软件对多根 PMIA 纳米纤维进行直径测量,并计算其平均值。

(2) PMIA 纳米纤维 FTIR 测试。

采用 FTIR 分析仪测试不同工艺下制备的 PMIA 纤维的 FTIR,采用 KBr 压片法,扫描范围为 $500 \sim 4000 \text{ cm}^{-1}$,分辨率为 4 cm^{-1} 。

(3) PMIA 纳米纤维 TG 测试。

采用 TG 分析仪测试 PMIA 短纤维原料和 PMIA 纳米纤维的热稳定性能。 N_2 保护氛围,测试温度为 $35 \sim 650^\circ\text{C}$,升温速率为 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

(4) PMIA 复合过滤非织造布性能测试。

拉伸性能按照 GB/T 3923.1-2013 测试,试样尺寸为 $120 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$,拉伸速度为 $200 \text{ mm}/\text{min}$;

透气性能按照 GB/T 5453-1997 测试,试样尺寸为 $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$,压差为 100 Pa ;

采用材料过滤综合性能仪在自动操作模式下测试样品对直径 $0.8 \mu\text{m}$ 颗粒的过滤效率和过滤阻力。

2 结果与讨论

2.1 静电纺丝 PMIA 纳米纤维工艺优化

在 PMIA 静电纺丝工艺优化过程中,分析了纺丝静电电压(A)、接收距离(B)、LiCl 浓度(C)和 PMIA 浓度(D)等主要工艺参数对纤维形貌及其直径分布影响的结果^[13],对所得的 PMIA 纳米纤维直径进行了测量。所得 9 次正交试验结果数据见表 2,正交试验因素直观分析图如图 2 所示。

由表 2 和图 2 可知,影响纳米纤维直径的因素主次顺序为: $C > D > B > A$ 。由极差分析可以看出,C 的影响最大,这是因为 PMIA 在含有 LiCl 的 DMAc 溶剂中具有良好的溶解性能。PMIA 具有致密的结晶结构,且在大量的分子内和分子间具有较多的氢键,溶剂 DMAc 只能对 PMIA 进行有限的溶胀。而 PMIA 中的氢键是由大量酰胺键中羰基上

表2 正交试验方案及试验结果分析

试验号	A/kV	B/cm	C/%	D/%	直径/nm
1	1	1	1	1	352
2	1	2	2	2	153
3	1	3	3	3	83
4	2	1	2	3	247
5	2	2	3	1	98
6	2	3	1	2	135
7	3	1	3	2	81
8	3	2	1	3	153
9	3	3	2	1	200
k_1	196	227	213	217	
k_2	160	135	200	123	
k_3	145	139	87	161	
极差 R	51	92	126	94	
因素主→次	$C \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow A$				
优选方案	$A_3B_2C_3D_2$				

注: k_i 表示任意列上水平号为*i*时所对应的试验结果之和的平均值,其中*i*=1,2,3。

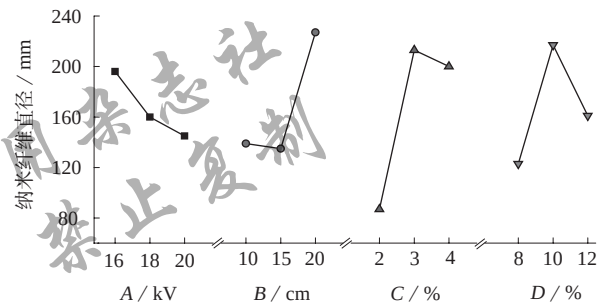


图2 PMIA 静电纺丝正交试验因素直观分析图

的氧和仲胺基上的氢形成的。元素周期表中氯、氧元素的电负性分别为 3.16 和 3.44,当加入特定的氯化盐后,盐中的金属阳离子与 DMAc 会形成稳定的大阳离子络合结构,使得氯离子上集中更多的负电荷,使氯离子活性增强,从而能与氢之间形成新的氢键结构,而 PMIA 中原来的氢键结构则被破坏而逐渐溶解^[14-15]。因此在浓度较高的 LiCl 溶液体系中,可获得浓度较高的 PMIA 纺丝溶液,而较高浓度的 PMIA 溶液对纳米纤维直径影响显著,因而 LiCl 的浓度对 PMIA 纳米纤维的直径分布具有重要影响。

从图 2 可以看出,PMIA 纳米纤维直径随着纺丝电压的增加而减小,这是因为较高的电压会形成较大的电场,使聚合物细流受到的牵伸力较大,纤维直径减小。PMIA 纳米纤维直径随着接收距离的增加先减小后增大,其主要原因是较大的接收距离会导致静电场发散,电场强度也随之减小,不利于聚合物射流的牵伸细化,从而纤维直径较大。另外,PMIA 纳米纤维直径随着 LiCl 浓度和 PMIA 浓度的增加先增大后减小。PMIA 浓度过大时,聚合物大分子链在溶液中相互缠结,纺丝溶液黏度变大,可

纺性变好,因而纤维直径减小。

另外,从表 2 还可知,当静电电压为 20 kV,接收距离为 15 cm, LiCl 浓度为 2% 和 PMIA 浓度为 8% 时,制备的 PMIA 纳米纤维直径最小,即最优方案为 $A_3B_2C_3D_2$,其 PMIA 纳米纤维的 SEM 照片和直径分布如图 3 所示。

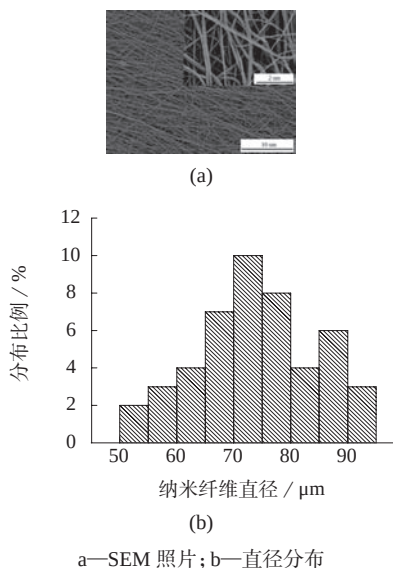
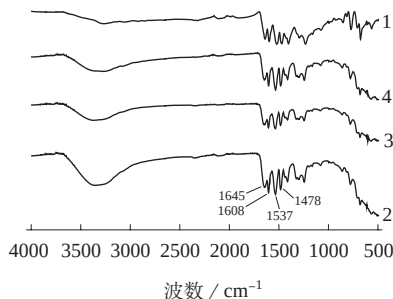


图 3 正交试验优选方案下 PMIA 纳米纤维形貌的 SEM 照片及直径分布

从图 3 可知,在静电纺丝最优工艺条件下获得的 PMIA 纳米纤维外观形貌较好,纤维直径分布集中,粗细均匀,主要集中在 60~80 nm 之间,平均直径为 74.84 nm。另外,PMIA 纳米纤维在接收装置上呈现出随机排列趋势,非织造布的力学性能具有较好的各向同性。

2.2 PMIA 纳米纤维的 FTIR 分析

图 4 为静电纺丝溶液中 LiCl 浓度为 2% 时,PMIA 浓度分别为 8%,10%,12% 时制备的 PMIA 纳米纤维和 PMIA 短纤维的 FTIR 谱图。

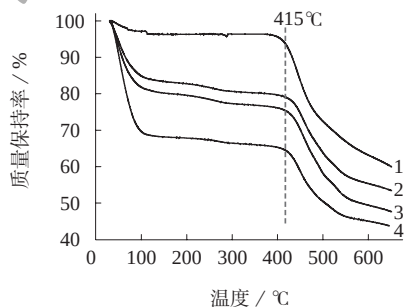


1—PMIA 短纤维; 2—8% PMIA 纳米纤维;
3—10% PMIA 纳米纤维; 4—12% PMIA 纳米纤维
图 4 LiCl 浓度为 2% 时不同浓度 PMIA 纳米纤维和 PMIA 短纤维的 FTIR 谱图

从图 4 可以看出,PMIA 短纤维与 PMIA 纳米纤维的 FTIR 谱图峰位基本一致,这是因为所制备的静电纺丝溶液并没有改变 PMIA 的大分子结构。PMIA 主要是由苯环和酰胺键构成的,在 780 cm^{-1} 处的吸收峰是 C—H 的变形振动峰;波数为 1487 cm^{-1} 和 1537 cm^{-1} 处的吸收峰是苯环上的 C=C 不对称伸缩振动引起的; 1608 cm^{-1} 处的吸收峰是 N—H 变形振动峰,即酰胺 II 峰;波数为 1645 cm^{-1} 处是酰胺 I 峰,即 C=O 伸缩振动峰;波数 3272 cm^{-1} 附近的峰为 N—H 伸缩振动峰。对比 PMIA 短纤维与 PMIA 纳米纤维的 FTIR 谱图可以发现,PMIA 纳米纤维在 $3000\sim 3500\text{ cm}^{-1}$ 之间的峰形较宽,吸收峰的强度也较大,这是因为纳米纤维比表面积大,吸收了空气中的水分,在 3450 cm^{-1} 处存在水分子的羟基特征峰,与酰胺键中的 N—H 伸缩振动峰叠合在一起形成宽峰。

2.3 PMIA 纳米纤维热性能分析

图 5 为静电纺丝溶液中 LiCl 浓度为 3% 时,制备的不同浓度 PMIA 纳米纤维和 PMIA 短纤维的 TG 曲线。



1—PMIA 短纤维; 2—8% PMIA 纳米纤维;
3—10% PMIA 纳米纤维; 4—12% PMIA 纳米纤维
图 5 LiCl 浓度为 3% 时不同浓度 PMIA 纳米纤维和 PMIA 短纤维的 TG 曲线

由图 5 可知,与 PMIA 短纤维相比,静电纺丝 PMIA 纳米纤维的热稳定性能降低,且纺丝液 PMIA 浓度会影响 PMIA 的热稳定性能。PMIA 短纤维的 TG 曲线在温度小于 100°C 时呈下降趋势,这是因为 PMIA 短纤维中含有水分,干燥挥发造成的。随后曲线趋于稳定,PMIA 纤维表现出优异的热稳定性,直到当温度超过 400°C 时才开始出现热分解。比较可以看出,PMIA 纳米纤维的 TG 曲线变化和 PMIA 短纤维有明显不同,温度在 100°C 之前,PMIA 短纤维由于吸附水分较少,蒸发去除后只发生了低于 5% 的失重,而 PMIA 纳米纤维因较大表面积的松散结构,且在纤维成形过程中溶剂没有完全挥发,失重达

10%以上。另外,根据图5曲线可以看出,PMIA纤维的分解温度在415℃左右,其在415℃以上热分解速率较快,在460℃时的分解速率最大。12% PMIA 纳米纤维在650℃时的质量保持率可达43%以上。与PMIA短纤维相比,PMIA纳米纤维的TG曲线明显下移,这是因为PMIA大分子之间的相互作用,特别是氢键作用对其热性能有着重要的影响^[16]。当PMIA溶解在LiCl/DMAc溶剂体系中时,氢键受到破坏导致PMIA纳米纤维的热稳定性降低。纺丝液PMIA浓度越高,溶液黏度越大,纺丝过程中溶剂挥发减慢,导致PMIA纳米纤维直径增大,结构也较为松散,从而影响了PMIA纳米纤维的热稳定性,表现为PMIA纳米纤维的热稳定性随着纺丝液PMIA浓度的增加而降低。

2.4 PMIA复合过滤非织造布的性能

将最优方案制备的PMIA纳米纤维与PMIA针刺非织造布复合,其中PMIA针刺非织造布的面密度为350 g/m²,测得的PMIA复合过滤非织造布力学、过滤和透气性能列于表3。

表3 PMIA复合过滤非织造布性能测试结果

样品	断裂强度 / MPa	断裂伸长率 / %	断裂强力 / N	过滤效率 / %	过滤阻力 / Pa	透气率 / (mm·s ⁻¹)
PMIA 针刺非织造布	11.3	104	473	62.4	121.3	342.7
PMIA 复合非织造布	11.5	98	491	91.2	154.6	286.4

从表3可以看出,PMIA复合过滤非织造布的断裂强度、断裂伸长率和断裂强力与PMIA针刺非织造布的相当。这是因为非织造布的强力取决于拉伸方向上相互缠结的纤维数量和缠结程度,即非织造布的力学性能与其面密度密切相关,其中断裂强力随着非织造布面密度的增大而增大。而PMIA纳米纤维复合非织造布随机分布,具有各向同性,且复合后的PMIA复合过滤非织造布的面密度不会显著增加,纤维之间的纠缠程度也没有明显变化,因此PMIA复合过滤非织造布的力学性能没有发生显著变化。

从表3还可以看出,PMIA复合过滤非织造布的过滤性能和透气性能变化较为明显。其中PMIA针刺非织造布的过滤效率为62.4%,PMIA复合过滤非织造布的过滤效率为91.2%,过滤效率增加了46.2%,过滤效率提升明显;而过滤阻力由原来的121.3 Pa变为154.6 Pa,过滤阻力仅增加了27.5%。

PMIA复合过滤非织造布的透气率由PMIA针刺非织造布的342.7 mm/s下降为286.4 mm/s,减小了16.4%。因此通过PMIA纳米纤维与PMIA针刺非织造布复合,所得PMIA复合过滤非织造布的过滤效率大大提高,虽然过滤阻力有所增加和透气性能有所降低,但通过采用粗细纤维合理搭配的非织造结构,可显著改善滤材的过滤性能。因为在PMIA复合过滤非织造布结构中,PMIA针刺非织造布中的粗纤维起到了较好的支撑作用,使产品既有较好的力学性能,又有较高的孔隙率,而复合一层较薄的PMIA纳米纤维可将粗纤维形成的较大孔径变小,从而提高了过滤精度,而滤材的压差和透气性能变化较少,同时也使滤材具有较大的纳污容量。

3 结论

(1) 由PMIA静电纺丝工艺正交试验可知,影响PMIA纳米纤维直径的因素主次顺序为:LiCl浓度(C) > PMIA浓度(D) > 接收距离(B) > 静电电压(A)。当LiCl浓度为2%,PMIA浓度为12%,接收距离为20 cm,静电电压为20 kV时,可制得最细的PMIA纳米纤维,其平均直径为74.84 nm。

(2) PMIA纤维的分解温度约为415℃,达到最大分解速率的温度为460℃。PMIA纳米纤维的热稳定性下降。FTIR分析显示,所制备的静电纺丝溶液并没有改变PMIA的大分子结构,因PMIA纳米纤维比表面积大,在3450 cm⁻¹处存在较宽的羟基特征峰。

(3) 在最优静电纺丝工艺条件下,将PMIA纳米纤维复合到PMIA针刺非织造布上,复合后的PMIA非织造布具有较好的力学性能,透气性能下降16.4%,过滤阻力增加27.5%,而过滤效率提高46.2%,得到明显改善。

参考文献

- [1] 李雪梅,许东明.京津冀城市群PM_{2.5}的空间分布及相关性分析[J].生态与农村环境学报,2019,35(2):174-179.
Li Xuemei, Xu Dongming. Research on the spatial distribution and correlation of PM_{2.5} in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2019,35(2):174-179.
- [2] 彭孟娜,马建伟.有机耐高温纤维及其在过滤材料中的应用[J].产业用纺织品,2017,35(10):27-31.
Peng Mengna, Ma Jianwei. Organic high temperature resistant fiber and its application in filtration materials [J]. Industrial Textiles, 2017,35(10):27-31.
- [3] 王璐,于斌,祝成炎,等.耐高温空气过滤材料的发展现状[J].产

- 业用纺织品.2010,28(3):1-5.
- Wang Lu, Yu Bin, Zhu Chengyan, et al. Research on high temperature resistance air filter media[J]. Industrial Textiles,2010,28(3):1-5.
- [4] Chen Weiwang, Weng Wenguo. Continuous aligned poly(meta-phenylene isophthalamide) fibers via stable jet electrospinning[J]. Journal of Applied Polymer Science.2016,133(29):doi:10.1002/app.43690.
- [5] Lee J, Broughton R M, Worley S D, et al. Antimicrobial polymeric materials:cellulose and m-aramid composite fibers[J]. Engineered Fibers and Fabrics,2007,2(4):25-32.
- [6] Yang Wen, Yu Hao, Zhu Meifang, et al. Poly(m-phenylene isophthalamide) ultrafine fibers from an ionic liquid solution by dry-jet-wet-electrospinning[J]. Journal of Macromolecular Science, Part B,2006,45(4):573-579.
- [7] 朱华,陈刚. 芳纶 1313 纤维的特点及其在个体防护服装领域的应用[J]. 中国安全生产科学技术.2014(5):159-164.
- Zhu Hua, Chen Gang. Performances of poly-m-phenylene isophthalamide and its application in individual protective clothing[J]. Journal of Safety Science and Technology,2014(5):159-164.
- [8] 王士华,董杰,徐圆,等. 干法纺聚酰亚胺纤维的结构与性能[J]. 合成纤维工业.2016(2):9-12.
- Wang Shihua, Dong Jie, Xu Yuan, et al. Structure and properties of polyimide fiber via dry spinning process[J]. China Synthetic Fiber Industry,2016(2):9-12.
- [9] Kim S S, Jung D, Choi U H, et al. Antimicrobial m-aramid nanofibrous membrane for nonpressure driven filtration[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research,2011,50(14):8 693-8 697.
- [10] 陈蕾,胡祖明,刘兆峰. 芳纶 1313 纤维制备技术进展[J]. 高分子通报.2004(6):1-8.
- Chen Lei, Hu Zuming, Liu Zhaofeng. Progress in preparation of meta-aramid fiber[J]. Polymer Bulletin,2004(6):1-8.
- [11] Lin Jiajun, Bang S H, Malakooti M H, et al. Isolation of aramid nanofibers for high strength and toughness polymer nanocomposites[J]. ACS Applied Materials & Interfaces,2017,9(12):11 167-11 175.
- [12] Li Yafang, Ma Xiaomin, Deng Nanpin, et al. Electrospun SiO₂ / PMIA nanofiber membranes with higher ionic conductivity for high temperature resistance lithium-ion batteries[J]. Fibers and Polymers,2017,18(2):212-220.
- [13] 张茂清,席曼,韩万里,等. 静电纺间位芳纶纳米纤维的制备工艺参数[J]. 工程塑料应用,2017,45(8):39-43.
- Zhang Maoqing, Xi Man, Han Wanli, et al. Effect on Electrospinning Process Parameters on the Meta-Aramid Nanofiber[J]. Engineering Plastics Application.2017,45(8):39-43.
- [14] 张伟,周琪,姚理荣. 静电纺间位芳纶纤维的制备及其性能[J]. 纺织学报,2011(2):11-17.
- Zhang Wei, Zhou Qi, Yao Lirong. Electrospinning of meta-aramid fiber and its properties[J]. Journal of Textile Research,2011(2):11-17.
- [15] He Bin, Tian Long, Li Jie, et al. Effect of hot-stretching on morphology and mechanical properties of electrospun PMIA nanofibers[J]. Fibers and polymers,2013,14(3):405-408.
- [16] Yao Lirong, Lee C, Kim J. Fabrication of electrospun meta-aramid nanofibers in different solvent systems[J]. Fibers and Polymers,2010,11(7):1 032-1 040.

时代新材研制的新型聚氨酯风电叶片完成交付

由中车株洲所旗下时代新材研制的聚氨酯风电叶片已成功交付远景能源公司,并计划于今年7月挂机安装。此款121型聚氨酯风电叶片为2.2兆瓦级,重约13.7 t,长59.5 m,是世界最长的新型高性能聚氨酯风电叶片。

该款风电叶片于2017年9月研制成功,是目前全球首款实现批量生产的创新型聚氨酯风电叶片。为确保叶片能在恶劣环境下实现稳定运转,时代新材于2018年先后通过了叶片四个方向的静力试验、疲劳试验及为期6个月的挂机考核。

与传统环氧树脂相比,新型聚氨酯树脂具有更优异的力学性能和抗疲劳性能,固化速度快,加工性能好,与玻璃纤维和碳纤维有更好的界面结合力,有助于提高生产效率和降低生产成本。据生产数据统计,聚氨酯树脂的灌注用量低于环氧树脂,灌注固化效率提高了40%。

根据世界风能协会统计,中国是世界最大的风电市场,截至2018年底,累计装机容量已达到221 GW。大型风机叶片可搭载更大的风力发电机,风电行业对大型风机叶片的需求日益增长。新型聚氨酯树脂正契合了全球风电叶片大型化、轻量化的发展趋势,为叶片设计提供了更多可能性,将

有助于推动清洁能源发展。

近年来,以时代新材为代表的株洲新材料生产企业,致力于推动风电叶片的大型化与轻量化进程,聚焦风电叶片新技术、新材料及新工艺领域的推陈出新,不断提升智能制造水平,积累了丰富的生产实践经验,为迎接全球风电行业的产业和技术变革做好了多方面储备。(株洲新闻网)

耐久性和滑动性能优越的新型聚甲醛

日本工程塑料供应商宝理公司推出了一种新的聚甲醛(POM)牌号,DURACON POM WW-09。它具有高强度和优越的蠕变以及滑动性能。

宝理公司的DURACON POM WW-09通过使用高分子量聚合物和采用公司独创的分子设计和聚合技术,实现了高初始强度和蠕变性能,从而提供更好的力学性能。据介绍,这种新材料满足对滑动级牌号的需求。

与现有滑动级牌号相比,DURACON POM WW-09具有较高的力学性能,并保持接近高黏度标准级DURACON M25-44的物理性能。由于采用高黏度型聚合物,其蠕变性能优于其它滑动级牌号。该材料还具有长期耐久性,因此可用于接近标准等级的产品设计和长期持续施加载荷的应用场合。(中塑在线)