

纳米复合口罩过滤性能影响因素的正交试验分析

翁浦莹, 金梦楚, 蒙冉菊, 张金婧, 吴俊鹏, 高慧英*

(嘉兴职业技术学院 纺织与艺术设计学院, 浙江 嘉兴 314000)

摘要: 为了提高纳米复合口罩的过滤性能, 采用静电纺丝技术, 以丝胶蛋白、聚环氧乙烷为原料制备丝胶纳米复合口罩用料; 设计四因素三水平正交试验, 分析纳米复合口罩的过滤性能影响因素。结果表明: 纺丝时间是影响纳米复合口罩过滤效率与吸气阻力的最重要因素, 平均纤维直径的影响次之, 而无纺布层数和无纺布克重对其影响较小。当纳米复合口罩制备工艺参数为纺丝时间 10 h, 平均纤维直径 472 nm, 无纺布克重 20 g/m², 无纺布层数为 2 层时, 口罩的过滤效果好。

关键词: 纳米复合口罩; 静电纺丝; 过滤性能; 正交试验法

中图分类号: TS941.724

文献标识码: B

文章编号: 1673-0356(2019)03-0035-03

空气质量是一个严峻的环境问题, 尤其是雾霾的出现。雾霾中的颗粒物成分极其复杂, 由空气中的灰尘、二氧化硫、氮氧化物、有机碳氢化合物等大量极细微的干尘粒子组成, 是肉眼无法分辨的气溶胶和固态微粒, PM_{2.5} 是霾的主要污染物, 已经严重影响到人们的生活质量。口罩已成为一种人们使用频率很高的日常用品, 目前市面上有各种各样声称可以防 PM_{2.5} 的口罩, 但这些口罩绝大多数都是使用无纺布、纱布、塑料网布等制备而成, 他们的孔隙都比较大, 一些细小的颗粒依旧能穿过口罩进入鼻腔^[1], 因此对于口罩过滤性能的研究具有较高的价值。

静电纺丝技术是一种简便高效的纤维新型加工技术, 其制备的纤维膜具有高孔隙率和大比表面积, 在空气过滤、防护服、传感器、组织工程支架和膜分离材料等领域得到广泛关注^[2]。而静电纺纳米纤维膜与传统滤料相比, 拥有更高的过滤效率和更好的性能^[3-4]。正因为丝胶复合纳米具有高的比表面积、多孔结构和高的孔隙率, 所以能够促进水和氧气的透过^[5]。丝胶蛋白(SS)无毒, 具备较好的抗氧化性、抗菌性以及良好的生物相容性、生物降解性^[6]; 聚环氧乙烷(PEO)是一种水溶性的高聚物, 能溶于水, 且水溶液在低浓度也具有较高的黏性, 并且与 SS 之间具有一定相容性或部分相容性^[7]。选用丝胶蛋白、聚环氧乙烷作为原料, 利用静电纺丝技术, 制备纳米复合口罩, 设计正交试验, 通过直观分析表与效应曲线图分析纳米复合口罩的过滤

性能。

1 试验部分

1.1 材料

试验中所用丝胶蛋白(上海步克医药科技有限公司), 简称 SS; 聚环氧乙烷(平均分子量为 10 万, 阿拉丁试剂有限公司), 简称 PEO; 克重为 16、20、24 g/m² 无纺布(浙江省桐乡市崇福利民卫生用品厂); 试验用水采用超纯水。

1.2 仪器与设备

HSW-1 磁力搅拌恒温水浴锅(上海极恒实业有限公司); HJ-5 型多功能搅拌器(郑州长城科工贸有限公司); FM1107 静电纺丝设备(北京富友马科技有限公司); AU120 电子天平(日本 SHIMADZU 公司); Gerti Test 8130 型自动滤料测试仪(美国 TSI 公司)。

1.3 丝胶纳米复合口罩用料的制备

将 SS 粉与超纯水混合, 加热搅拌配制 20% 浓度的 SS 溶液; 将 PEO 与超纯水混合, 加热搅拌配制浓度为 6% 的 PEO 溶液; 将 20% SS 水溶液与 6% PEO 水溶液混合并搅拌均匀, 得到 SS/PEO 纺丝液。在室温条件下, 利用静电纺丝技术, 将 SS/PEO 纺丝液喷射到接收屏处, 以无纺布为基底接收静电纺纳米纤维得到丝胶纳米复合口罩用料。静电纺丝参数设置为纺丝电压 25 kV, 纺丝距离 20 cm, 纺丝速度分别为 0.001、0.004、0.007 ml/s, 得到纳米纤维平均直径分别为 283、472、671 nm^[8]。

1.4 正交试验设计

无纺布的质量及层数对口罩的过滤性、吸气阻力及透气性都会产生一定的影响, 为了优化纳米口罩的

收稿日期: 2019-01-28

作者简介: 翁浦莹(1990-), 女, 汉族, 浙江余姚人, 助教, 硕士, 研究方向为复合材料。

* 通信作者: 高慧英(1970-), 副教授, 主要研究方向: 天然纤维的再生及应用, 448483699@qq.com。

制备工艺,在前期试验探索时,利用3水平4因素的正交试验,设计了不同纺丝时间、平均纤维直径纳米纤维膜与不同克重数不同层数无纺布复合的过滤性能,以 $L_9(3^4)$ 正交分析表分析影响纳米复合口罩过滤性能的主要因素,试验参数如表1所示。

表1 纳米复合口罩工艺参数正交试验表

水平	纺丝时间/h	平均纤维直径/nm	无纺布克重/ $g \cdot m^{-2}$	层数
1	8	283	16	1
2	10	472	20	2
3	12	671	24	3

1.5 测试与表征

采用美国 TSI 公司的 Gerti Test 8130 型自动滤料测试仪测量纳米复合口罩用料的过滤效率和吸气阻力。

2 结果与讨论

2.1 纳米复合口罩过滤效率分析

根据纳米复合口罩制备工艺正交表 $L_9(3^4)$ 进行试验,测量纳米复合口罩的过滤效率,得到纳米复合口罩过滤效率直观分析表,如表2所示。通过表中的极差比较发现,四项因素中极差最大的是纺丝时间,其次依次为平均纤维直径、无纺布层数、无纺布克重,极差越大,所对应的因素影响越重要。由此得出结论:试验范围内,纺丝时间是影响纳米复合口罩过滤效率的最重要因素,平均纤维直径的影响次之,而无无纺布层数和无纺布克重对过滤效率的影响较小。

表2 纳米复合口罩过滤效率直观分析表

因素	纺丝时间/h	平均纤维直径/nm	无纺布克重/ $g \cdot m^{-2}$	无纺布层数	过滤效率/%
试验1	1	1	1	1	89.2
试验2	1	2	2	2	97.8
试验3	1	3	3	3	98.7
试验4	2	1	2	3	99.1
试验5	2	2	3	1	99.1
试验6	2	3	1	2	99.5
试验7	3	1	3	2	99.2
试验8	3	2	1	3	99.6
试验9	3	3	2	1	99.5
均值1	95.233	95.833	96.100	95.933	
均值2	99.233	98.833	98.800	98.833	
均值3	99.433	99.233	99.000	99.133	
极差	4.200	3.400	2.900	3.200	

根据各影响因素水平与纳米复合口罩过滤效率的关系,得到效应曲线图,如图1所示。从图1中可以看出,随着各影响因素值的增大,纳米复合口罩的过滤效率均呈现相似规律,都随着各因素值的增加而增加,但

到达一定的数值后,增值逐渐趋于平缓。过滤效率越大表示纳米复合口罩的过滤效果好,由过滤效率试验得出纳米复合口罩制备的最佳工艺参数:纺丝时间为10 h,平均纤维直径为472 nm,无纺布克重为20 g/m^2 ,无纺布层数为2层。

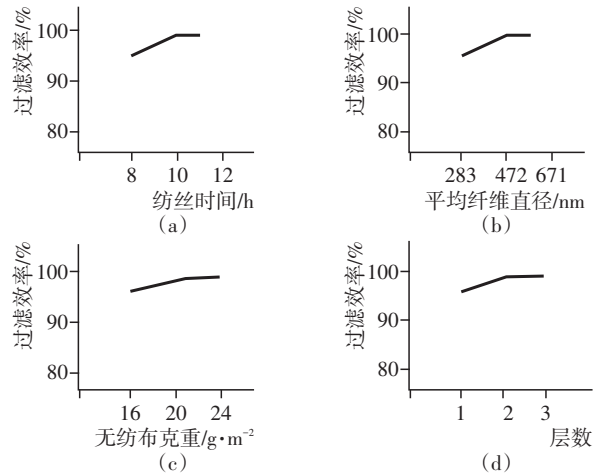


图1 纳米复合口罩过滤效率效应曲线图

2.2 纳米复合口罩吸气阻力分析

根据纳米复合口罩制备工艺正交表 $L_9(3^4)$ 进行试验,测量纳米复合口罩的吸气阻力,得到纳米复合口罩吸气阻力直观分析表,如表3所示。通过表3中的极差比较发现,影响口罩过滤性能因素的排序为:纺丝时间>平均纤维直径>无纺布克重>无纺布层数。由此得出结论:试验范围内,纺丝时间是影响纳米复合口罩吸气阻力最重要的因素,平均纤维直径的影响次之,而无无纺布克重和无纺布层数对吸气的影响较小。

根据各影响因素水平与纳米复合口罩吸气阻力的关系,得到纳米复合口罩吸气阻力效应曲线图,如图2所示。通过观察可见,随着主要影响因素纺丝时间增加,纳米复合口罩吸气阻力先保持平稳略微下降,达到一定值后吸气阻力急速增加;其他三项影响因素增大,吸气阻力都随着各因素值的增加而增加,先增加缓慢,到达一定值后吸气阻力增加急速。吸气阻力小表示纳米复合口罩的过滤效果好,由吸气阻力试验得出纳米复合口罩制备的最佳纺丝时间同样为10 h。

口罩滤料的常用指标有过滤效率、吸气阻力,纳米复合口罩既要有良好的过滤性还要有很低的吸气阻力,综合两个正交试验,防霾纳米口罩的最佳工艺参数:纺丝时间10 h,平均纤维直径472 nm,无纺布克重20 g/m^2 ,无纺布层数2层。根据该工艺重新制备新的样品,测试的结果:过滤效率为99.1%,吸气阻力为137.4 Pa(约为14 mmH₂O)。

表3 纳米复合口罩吸气阻力直观分析表

因素	纺丝时间/h	平均纤维直径/nm	无纺布克重/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$	无纺布层数	吸气阻力/Pa
实验1	1	1	1	1	64.7
实验2	1	2	2	2	131.9
实验3	1	3	3	3	303.7
实验4	2	1	2	3	130.2
实验5	2	2	3	1	147.4
实验6	2	3	1	2	221.1
实验7	3	1	3	2	286.3
实验8	3	2	1	3	282.5
实验9	3	3	2	1	373.1
均值1	166.767	160.400	189.433	195.067	
均值2	166.233	187.267	211.733	213.100	
均值3	313.967	299.300	245.800	238.800	
极差	147.734	138.900	56.367	43.733	

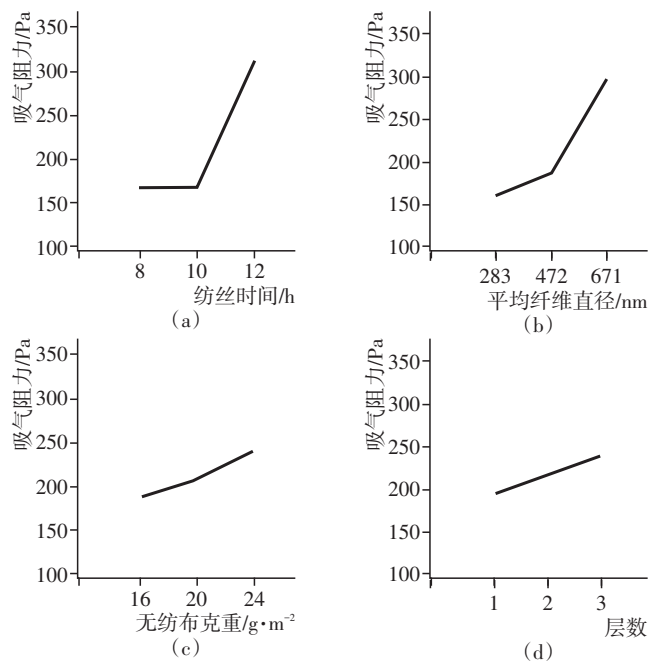


图2 纳米复合口罩吸气阻力效应曲线图

3 结论

基于正交试验设计方法,设计 $L_9(3^4)$ 正交分析表,

Orthogonal Experimental Analysis of the Factors Influencing the Filtration Performance of Nano-Composite Masks

WENG Pu-ying, JIN Meng-chu, MENG Ran-ju, ZHANG Jin-jing, WU Jun-peng, GAO Hui-ying*
(College of Textile and Art Design, Jiaxing Vocational and Technical College, Jiaxing 314000, China)

Abstract: In order to improve the filtration performance of nano-composite masks, silk sericin and polyethylene oxide were used as materials to prepare sericin nano-composite masks using electrostatic spinning technology. Four factors and three levels of orthogonal test were designed to analyze the factors influencing the filtration performance of the nano-composite mask. The results showed that the spinning time was the most important factor affecting the filtration efficiency and suction resistance of the nano-composite mask, followed by the average fiber diameter, and the non-woven layer number and non-woven weight had little influence on it. When the processing parameters of the nano-composite mask were spinning time of 10 h, the average fiber diameter was 472 nm, the weight of non-woven was $20 \text{ g}/\text{m}^2$, and the number of non-woven layers was 2, the filtration effect of the mask was good.

Key words: nano-composite masks; electrospinning; filtration performance; orthogonal test

测试纳米复合口罩的过滤效率与吸气阻力,采用直观分析法和效应曲线图分析了影响纳米复合口罩过滤效率和吸气阻力因素,得到结论:

(1)纺丝时间是影响纳米复合口罩过滤效率的最重要因素,平均纤维直径的影响次之,而无无纺布层数和无纺布克重对过滤效果的影响较小。

(2)纺丝时间是影响纳米复合口罩吸气阻力最重要的因素,平均纤维直径的影响次之,而无无纺布克重和无无纺布层数对吸气的影响较小。

(3)纳米复合口罩的最佳工艺参数:纺丝时间为 10 h,平均纤维直径为 472 nm,无纺布克重为 $20 \text{ g}/\text{m}^2$,无纺布层数为 2 层。根据该工艺重新制备新的样品,测试的结果:过滤效率为 99.1%,吸气阻力为 137.4 Pa (约为 14 mmH₂O)。

参考文献:

- [1] 刘学洋. PVDF/PSU 复合抗菌纳米纤维空气过滤材料的制备及其在口罩中的应用研究[D]. 上海: 东华大学, 2016.
- [2] 唐文超, 成国涛, 王鑫, 等. 静电纺丝素纳米纤维材料及其修饰研究进展[J]. 丝绸, 2014, 51(5): 30-37.
- [3] 汪小亮, 冯雪为, 潘志娟. 双喷静电纺聚酰胺 6/聚酰胺 66 纳米蛛网纤维膜的制备及其空气过滤性能[J]. 纺织学报, 2015, 36(11): 6-11.
- [4] 潘芳良. 静电纺复合纤维膜的结构及其空气过滤性能[D]. 江苏: 苏州大学, 2012.
- [5] 张丽, 蒙冉菊, 高慧英, 等. 静电纺纳米纤维空气过滤材料研究进展[J]. 纺织科技进展, 2016, (6): 18-21.
- [6] 肖肖, 陈昌盛, 刘伟强, 等. 丝胶蛋白的结构, 性能及生物学应用[J]. 化学进展, 2017, 29(5): 513-523.
- [7] 翟培羽. 高角蛋白含量的角蛋白/PEO 纳米纤维的制备与表征[D]. 天津: 天津工业大学, 2017.
- [8] 蒙冉菊, 王铁军, 翁浦莹, 等. 静电纺丝工艺参数对 SS/PEO 纳米纤维形貌及直径的影响[J]. 丝绸, 2018, 55(12): 37-42.