

玄武岩/聚苯硫醚纤维复合滤料 PTFE 乳液浸渍工艺研究

周冠辰^a, 韩建^{a,b}, 于斌^{a,b}, 朱斐超^a

(浙江理工大学, a. 材料与纺织学院, b. 浙江省产业用纺织材料制备技术重点实验室, 杭州 310018)

摘要: 采用 PTFE 乳液对玄武岩/聚苯硫醚针刺复合滤料进行浸渍后整理,通过正交试验设计,分析了乳液浓度、浸渍时间、焙烘温度和焙烘时间等工艺参数对过滤效率的影响,以获得最佳性能的复合滤料。结果表明:各因素对复合滤料过滤效率影响排序为乳液浓度>浸渍时间>焙烘温度>焙烘时间;乳液浸渍后复合滤料的平均孔径由 33.1 μm 降低到 27.3 μm ,过滤效率由 89.9% 提高到 97.2%,过滤性能有了明显的提高。

关键词: 玄武岩; 聚苯硫醚; 过滤材料; PTFE 乳液; 正交试验; 过滤性能

中图分类号: TS106.62

文献标志码: A

0 引言

近年来,国家对环境保护日益重视,先后出台了多项大气污染排放标准。许多传统的除尘方式难以到达排放标准,因此,袋式除尘技术得到了重视推广和应用^[1-2]。随着市场竞争力的提高,目前围绕提高过滤效率、降低能耗和成本等,采用新工艺、新材料开发的滤料也在不断增加^[3]。玄武岩/聚苯硫醚(BF/PPS)纤维过滤材料作为一种新型的复合滤料,并具有优异的力学性能和耐酸碱性能,应用于袋式除尘材料的应用前景非常可观^[4]。但是在制备玄武岩/聚苯硫醚的过程中发现,这种复合滤料的过滤性能还存在孔径及孔隙较大、过滤性能相对较低等缺陷,有待于进一步完善和提高。后整理作为一种手段对于复合材料的性能有着显著的影响,焦晓宁等^[5]对经不同后整理处理的针刺材料进行研究,结果发现后整理对于材料的清灰除尘、表面性能有了一定的提高。蔡伟龙^[6]等通过对 PTFE 乳液涂层后的针刺复合滤料的过滤性能进行研究,发现 PTFE 乳液涂层有利于过滤性能的改善,处理后的产品适合用于高浓度、粉尘粘性大等条件要求高的工况。PTFE 乳液由于其本身的优异性能,是一种用于处理复合滤料的良

好产品,可以赋予复合滤料良好的过滤特性^[7-8]。

本文通过 PTFE 乳液对玄武岩/聚苯硫醚针刺复合滤料进行浸渍后整理,通过正交试验设计分析不同因素对于过滤性能的影响显著性,选择出最佳浸渍工艺;并通过乳液浸渍前后的过滤性能对比,研究其对于复合滤料过滤性能的影响规律,为玄武岩/聚苯硫醚针刺滤料在除尘领域的应用提供参考。

1 实验部分

1.1 实验材料与仪器设备

材料:玄武岩纤维(1.86 dtex, 2.63 g/cm³);聚苯硫醚纤维(2.40 dtex, 1.35 g/cm³);玄武岩纤维与聚苯硫醚纤维的配比为 7:3(质量比);玄武岩基材(单根纤维直径 13 μm 、经纬密度 58 根/10 cm, 2 上 2 下斜纹组织,平方米质量 365.7 g/m²);PTFE 浓缩分散液(质量分数 60%);乙醇(分析纯)。

仪器设备:超声波清洗机(广州科盟超声有限公司);Model P-AO 直立式压染树脂机(厦门瑞比精密机械有限公司);MINI-TENTER 连续式定型烘干机(杭州三锦技术有限公司);PSM165 孔径仪(德国 TOPAS 公司);LZC-H 型滤料综合性能测试台(苏州华达仪器设备有限公司)。

收稿日期: 2013-10-17

基金项目: 浙江省重点科技创新团队项目(2011R50003)

作者简介: 周冠辰(1989-),男,安徽六安人,硕士研究生,主要从事产业用纺织材料的开发和应用研究。

通信作者: 韩建, E-mail: hanjian8@zstu.edu.cn

1.2 试样制备

1.2.1 复合滤料的制备

采用针刺法制备玄武岩/聚苯硫醚纤维复合滤料,其工艺流程为:

纤维单独开松→纤维混合→二次开松→梳理成网→交叉铺网→上下纤网层与基材中间层叠合→预刺→主刺→玄武岩/聚苯硫醚纤维复合滤料。

1.2.2 复合滤料的乳液后整理

将已经制备好的玄武岩/聚苯硫醚复合滤料放入不同浓度的 PTFE 乳液浸渍槽中浸渍一定的时间,再通过轧车轧压后,经高温拉幅烘箱的烘干,卷绕成处理后的试样。

1.3 测试方法

1.3.1 SEM 测试

用 JSM-5610LV 型扫描电子显微镜对玄武岩/聚苯硫醚复合滤料的表面形貌进行观察,加速电压 20 kV。

1.3.2 孔径测试

采用 PSM165 孔径测试仪,按照 ASTM F316 标准,对玄武岩/聚苯硫醚复合滤料的孔径及其分布进行测试,表面张力为 16.0 mN/m,毛细常数为 28.60,横截面积为 0.95 cm²。

1.3.3 过滤性能测试

应用 LZC-H 型滤料综合性能测试台,按照 VDI 3926 标准,对复合滤料的过滤性能进行测试。

本试验的主要是在 6 种不同的粒径下测得。

2 结果与讨论

2.1 正交试验设计及结果分析

用 PTFE 乳液对制备好的玄武岩/聚苯硫醚复合滤料进行乳液后整理,参照实际工艺的过程选取的因素与水平如表 1 所示。在前期实验中发现,PTFE 乳液浓度和浸渍时间不仅会对复合滤料的过滤性能产生影响,而且会对复合滤料的过滤阻力以及透气性能产生影响,实际生产中也会对滤料的寿命产生一定的影响,并考虑到生产成本的问题,因此 PTFE 乳液浓度参数不易过大,基本保持在 10% 及以下,浸渍时间保持在 5 min 之内。

表 1 实验因素和水平

水平	因素 A	因素 B	因素 C	因素 D
	乳液浓度/%	浸渍时间/min	焙烘温度/℃	焙烘时间/min
1	6	1	150	3
2	8	3	160	4
3	10	5	170	5

本试验为 4 因素 3 水平试验,由于不考虑其交互作用,选用正交表 L₉(3⁴) 来安排试验,以过滤效率作为主要指标。由于试验过程中需要估计误差和进行方差分析,因此,为提高统计分析的可靠性需进行重复试验。最终实验的结果如表 2 所示。

表 2 PTFE 乳液后整理正交实验结果表

试验号	因素 A: 乳液浓度/%	因素 B: 浸渍时间/min	因素 C: 焙烘温度/℃	因素 D: 焙烘时间/min	过滤效率/% (10 μm 粒径下)		
	1	2	3	4	Y ₁	Y ₂	Y ₁ +Y ₂
1	1(6)	1(1)	1(150)	1(3)	90.765	91.660	182.425
2	1	2(3)	2(160)	2(4)	91.330	91.322	182.652
3	1	3(5)	3(170)	3(5)	91.574	94.521	186.095
4	2(8)	1	2	3	95.455	93.760	189.215
5	2	2	3	1	94.297	95.521	189.818
6	2	3	1	2	95.066	96.136	191.202
7	3(10)	1	3	2	96.787	96.640	193.427
8	3	2	1	3	97.040	96.955	193.995
9	3	3	2	1	97.229	97.215	194.444
极差	5.12	1.11	0.50	0.44			
因素主次顺序				A>B>C>D			
优水平	A ₃	B ₃	C ₂	D ₁			
优组合				A ₃ B ₃ C ₂ D ₁			

由表 2 可以看出,第 9 组的过滤效率最高。通过极差分析可以得出各因素对过滤效率影响的顺序为:乳液浓度>浸渍时间>焙烘温度>焙烘时间。经过验证得理论最佳工艺参数的样品的过滤效率为

96.3%,效果比直观分析得到的样品稍低。因此,最佳工艺参数为 A₃ B₃ C₂ D₁,即乳液浓度为 10%,浸渍时间为 5 min,焙烘温度为 160℃,焙烘时间为 3 min。

表3 方差分析表

方差来源	偏差平方和	自由度	均方和	F 值	显著性
A	81.41	2	40.71	90.47	**
B	5.45	2	2.73	6.07	*
C	0.2	2	0.1	0.22	
D	1.96	2	0.98	2.18	
误差	4.07	9	0.45		
总和	93.09	17			

注:1) **, * 分别表示在显著水平 $\alpha=0.01$ 和 0.05 的条件下对指标的影响显著;2) $F_{0.01}(2,9)=8.02$; $F_{0.05}(2,9)=4.26$ 。

由表3可知,对于复合滤料的过滤效率, $F_A > F_{0.01}(2,9)$,说明在显著水平 $\alpha=0.01$ 的条件下,乳液浓度 A 水平的改变对复合滤料过滤效率的试验结果影响高度显著; $F_{0.01}(2,9) > F_B > F_{0.05}(2,9)$,说明浸渍时间 B 的改变对于复合滤料过滤效率影响显著;其它工艺条件对复合滤料的过滤效率影响不显著。

2.2 表观形貌分析

PTFE 乳液浸渍处理前后玄武岩/聚苯硫醚针刺复合滤料的表观形貌如图1所示,由图1(a)和(b)可以看出,复合滤料的纤维之间均存在相互缠

结,未经处理的复合滤料的纤维间存在较大的空隙,经过 PTFE 乳液浸渍后整理的复合滤料的表面附着物(PTFE 膜状物)有明显的增加,纤维之间的空隙变小。这是由于浸渍过程中,PTFE 乳液不断地附着于复合滤料的表面,在焙烘过程中凝固在纤维的之间,这使得纤维结构变的更加密实,对复合滤料的表面进行了“微孔化”,有利于降低其孔隙率和提高其过滤性能。由图1(c)和(d)可以看出,在 PTFE 乳液的作用下,单根纤维的表面已经被乳液形成的薄膜状物体所包覆,这是由于在乳液浸渍的过程中,乳液渗透入纤维之间,凝固后在表面产生膜状物包覆在纤维表面,这种膜状物具有较小的孔隙,有利于降低单根纤维的孔隙,有利于过滤性能的提高。与此同时,由于 PTFE 几乎不受任何化学试剂的腐蚀,具有耐强酸、强碱的优良性能,因此 PTFE 浸渍处理有利于提高复合滤料的耐腐蚀性^[9]。由于 PTFE 摩擦因数可低至 0.04,其表面具有不黏性,因此 PTFE 乳液膜状物有利于改善复合滤料的表面性能,同时,研究表明,PTFE 乳液浸渍后,一定程度上有利于清灰性能的提高^[10]。

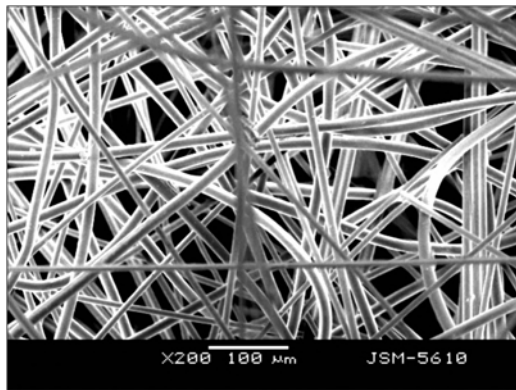
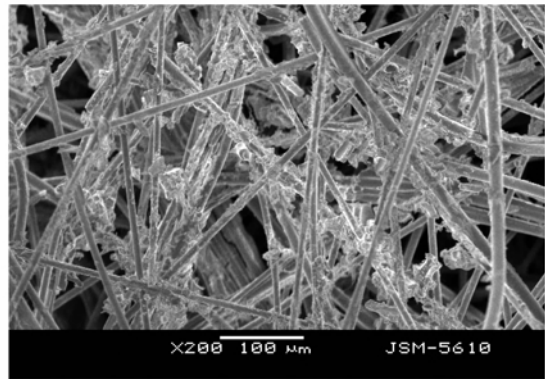
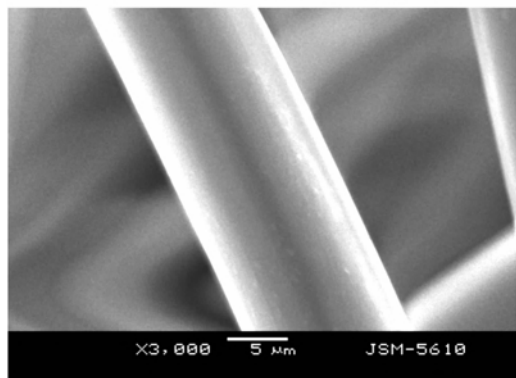
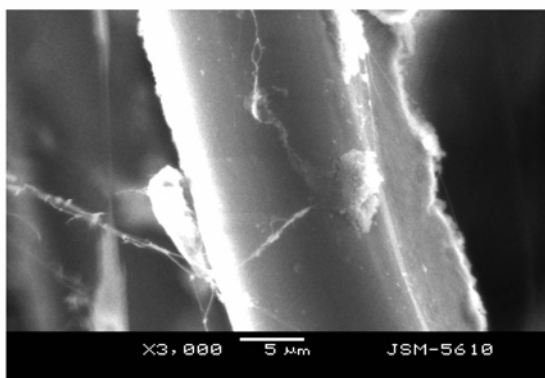
(a) 未经处理的复合滤料的SEM照片($\times 200$)(b) 乳液处理后的复合滤料的SEM照片($\times 200$)(c) 未经处理的复合滤料的SEM照片($\times 3000$)(d) 乳液处理后的复合滤料的SEM照片($\times 3000$)

图1 乳液处理前后复合滤料的 SEM 照片

2.3 孔径分析

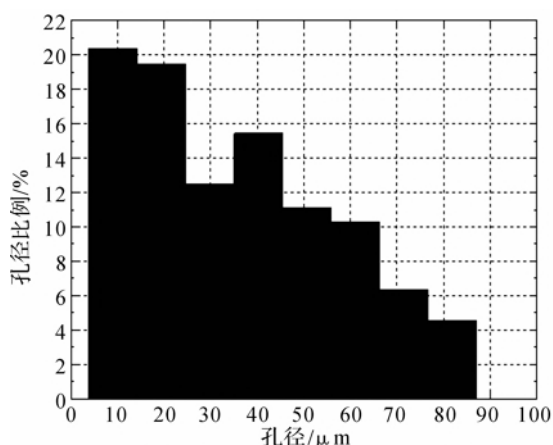
PTFE 乳液处理前后,玄武岩/聚苯硫醚针刺复

合滤料的孔径及孔径分布分别如表4和图2所示。由表4可以看出,乳液浸渍处理后,复合滤料的面密

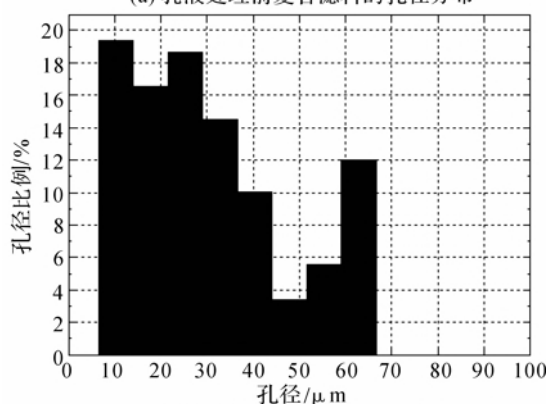
度和厚度均略有增加,未处理的复合滤料最小孔径为 $3.8\ \mu\text{m}$,最大孔径为 $87.1\ \mu\text{m}$,平均孔径为 $33.1\ \mu\text{m}$ 。经过 PTFE 乳液处理后,复合滤料的最小孔径为 $6.5\ \mu\text{m}$,最大孔径为 $66.7\ \mu\text{m}$,平均孔径为 $27.3\ \mu\text{m}$ 。乳液处理后平均孔径减小了 $5.8\ \mu\text{m}$,由此可以看出,PTFE 乳液浸渍处理有利于减小复合滤料平均孔径;由图 2 可以看出,乳液处理前,复合滤料的孔径分布在 $4\sim 87\ \mu\text{m}$ 之间,分布区域较宽,乳液浸渍后,复合滤料孔径分布在 $7\sim 66\ \mu\text{m}$ 之间,分布区域明显变窄,而且分布较为均匀,因此,PTFE 乳液处理有利于改善了复合滤料的孔径分布及平均孔径,有利于过滤性能的提高。

表 4 乳液处理前后复合滤料的孔径对比

面密度/ (g/m^2)	厚度/ mm	最小孔径/ μm	最大孔径/ μm	平均孔径/ μm
600	2.82	3.8	87.1	33.1
627	2.84	6.5	66.7	27.3



(a) 乳液处理前复合滤料的孔径分布



(b) 乳液处理后复合滤料的孔径分布

图 2 乳液处理前后复合滤料的孔径分布

2.4 过滤性能分析

乳液处理前后复合滤料在不同粒径下的过滤效率如图 3 所示。由图 3 可知,对于不同粒径的颗粒物,复合滤料的过滤效率有所不同,其过滤效率随着

粒径的增加而提高;同时可以看出该复合滤料比较适合过滤 $2\ \mu\text{m}$ 以上的颗粒物,其中在过滤 $2\ \mu\text{m}$ 颗粒物时效率明显增加,达到 80% 以上;在过滤 $10\ \mu\text{m}$ 颗粒物时,过滤效率达到最大;而在过滤 $2\ \mu\text{m}$ 以下颗粒物时其效率均在 60% 以下。乳液浸渍后,在不同粒径条件下复合滤料的过滤效率均有所提高,在 $10\ \mu\text{m}$ 的条件下,复合滤料的过滤效率最高,可达 97.2% ,相对未经处理时的 89.9% 有了明显提升,这充分说明了 PTFE 乳液浸渍处理能有效的提高玄武岩/聚苯硫醚复合滤料的过滤效率。

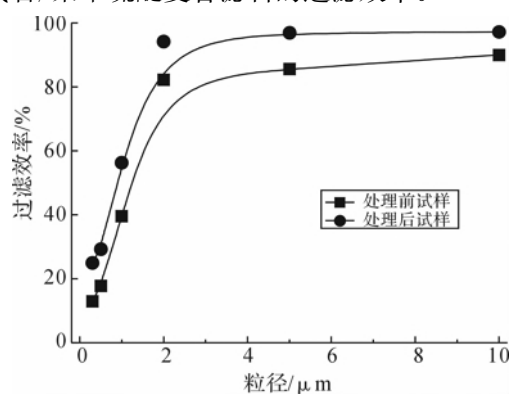


图 3 乳液处理前后复合滤料在不同粒径下的过滤效率

3 结 论

a) 根据正交试验可知,影响玄武岩/聚苯硫醚针刺复合滤料过滤性能的因素其显著性排序是:乳液浓度 $>$ 浸渍时间 $>$ 焙烘温度 $>$ 焙烘时间,在考虑实际生产条件下,乳液浓度 10% ,浸渍时间 $5\ \text{min}$,焙烘温度 160°C ,焙烘时间 $3\ \text{min}$ 时,复合滤料的过滤效率最高。

b) PTFE 乳液处理有利于降低玄武岩/聚苯硫醚针刺复合滤料的平均孔径、改善其孔径分布。PTFE 乳液处理后,复合滤料的平均孔径从 $33.1\ \mu\text{m}$ 降至 $27.3\ \mu\text{m}$,有了明显的下降,孔径分布状况变的更佳。

c) PTFE 乳液处理有利于提高复合滤料的过滤性能,在不同粒径下的过滤效率均有所提高,在 $10\ \mu\text{m}$ 的粒径下过滤效率从 89.992% 提高到 97.229% ,有明显的提升。

参考文献:

- [1] 李瑞欣,彭景洋,刘亚,等. 非织造布在过滤中的应用[J]. 非织造布, 2011(5): 63-66.
- [2] 翟卫中. PPS 表面覆膜滤料和渗透式覆膜滤料的比较[J]. 产业用纺织品, 2007(10): 41-43.
- [3] 赵永霞. 国外工业用非织造过滤材料的发展动向[J].

- 纺织导报, 2010(10): 63-65.
- [4] 余鹏程, 于 斌, 韩 建, 等. 聚苯硫醚纤维对其复合滤料结构及力学性能影响[J]. 纺织学报, 2013, 34(7): 6-10.
- [5] 焦晓宁, 金明熙. 不同后整理手段对非织造布针刺过滤材料过滤性能的影响[J]. 产业用纺织品, 1999, 17(10): 24-26.
- [6] 蔡伟龙, 罗祥波, 郑智宏, 等. PTFE 乳液涂层对针刺毡复合滤料过滤性能的改良[J]. 电力科技与环保, 2010, 26(3): 32-33.
- [7] 陈锡勇, 李淑芳. 针刺过滤毡的 PTFE 乳液浸渍整理工艺浅析[J]. 产业用纺织品, 2010(12): 42-44.
- [8] 朱 冰, 靳向煜. 针刺复合材料的过滤性能研究[J]. 非织造布, 2010, 18(1): 31-35.
- [9] 何正兴. 国产聚四氟乙烯纤维的特性与应用[J]. 合成纤维, 2007, 36(4): 16-18.
- [10] 贺湘兵, 于 斌, 丁新波, 等. PTFE 材料在耐高温滤料中的应用[J]. 现代纺织技术, 2010(4): 60-64.

Research on the PTFE Emulsion Impregnation Technology of Basalt/PPS Fiber Composite Filter Material

ZHOU Guan-chen^a, HAN Jian^{a,b}, YU Bin^{a,b}, ZHU Fei-chao^a

(a. School of Materials and Textiles; b. The Key Laboratory of Industrial Textile Materials and Manufacturing Technology in Zhejiang Province, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The Basalt/PPS composite filter materials are finished by PTFE emulsion. The effects of four different technological parameters in PTFE emulsion finishing process on filtering efficiency of basalt/PPS composite filters are studied through orthogonal experiment, involving emulsion concentration, impregnation time, curing temperature and time. The compound filter materials with the best impregnation technological conditions are gained. The results show that: the influence of technological parameters on the filtration performance is listed in descending order as follows: emulsion concentration > impregnation time > curing temperature > curing time; the mean pore size of the compound filter material after impregnation decreased from 33.1 μm to 27.3 μm and the filtration efficiency significantly improved from 89.9% to 97.2%.

Key words: Basalt; PPS; filter material; PTFE emulsion; orthogonal experiment; filtration performance

(责任编辑: 张祖尧)