

# 迎尘面层细旦纤维质量分数对聚苯硫醚滤料性能的影响

林蓝婷<sup>1,2,3</sup> 陈建文<sup>1,2,3</sup> 赖正<sup>1,2,3</sup> 张静云<sup>1,2,3</sup>

1. 厦门中创环保科技股份有限公司,福建 厦门 361101;
2. 福建省袋滤材料与技术重点实验室,福建 厦门 361101;
3. 厦门市袋滤材料与技术重点实验室,福建 厦门 361101

**摘要:**基于滤料迎尘面层为普通纤维与细旦纤维混纺的滤料结构,制备迎尘面层添加不同质量分数聚苯硫醚(PPS)细旦纤维的滤料,测试滤料的规格参数常规性能及过滤性能,并与常规 PPS 滤料进行对比。结果表明,迎尘面层细旦纤维质量分数为 15%~20% 的 PPS 滤料的综合性能最优,其力学性能与过滤性能良好。研究可为性能更优的 PPS 滤料的制备提供技术参考。

**关键词:** 滤料结构;细旦纤维;聚苯硫醚(PPS);过滤性能

中图分类号:TS 176.3

文献标志码:A

文章编号:1004-7093(2024)10-0034-05

## Influence of fine fiber mass fraction of dust-receiving surface layers on properties of polyphenylene sulfide filter materials

Lin Lanting<sup>1,2,3</sup>, Chen Jianwen<sup>1,2,3</sup>, Lai Zheng<sup>1,2,3</sup>, Zhang Jinyun<sup>1,2,3</sup>

1. Xiamen Zhongchuang Environmental Protection Technology Co., Ltd., Xiamen 361101, Fujian, China;
2. Fujian Provincial Key Laboratory of Bag Filter Materials and Technology, Xiamen 361101, Fujian, China;
3. Xiamen Key Laboratory of Bag Filter Materials and Technology, Xiamen 361101, Fujian, China

**Abstract:** Filter materials with different mass fraction of polyphenylene sulfide (PPS) fine fibers were prepared based on the structure of a filter material whose dust-receiving surface is a mixture of ordinary fibers and fine fibers. The specification parameters, conventional properties and filtration properties of the filter materials were tested, and compared with conventional PPS filter materials. The results show that the PPS filter materials with fine fibers mass fraction of 15%–20% is suitable for dust-receiving surface, which has the best comprehensive properties, and their mechanical properties and filtration properties are good. The research can provide technical reference for the preparation of PPS filter material with better performance.

**Keywords:** filter material structure; fine fiber; polyphenylene sulfide(PPS); filtration property

在空气污染治理领域,袋式除尘器扮演着重要的角色。滤袋作为袋式除尘器的核心元件,在烟尘的过滤过程中起着不可代替的作用。随着国家对钢

铁、燃煤电厂等行业污染物超净排放要求的日益提高,传统的滤料已无法满足要求。针对微细颗粒物的过滤,常用的覆膜滤料因存在阻力高、覆膜易破损

收稿日期:2024-06-20

作者简介:林蓝婷,女,1999 生,本科,主要从事过滤材料检测技术的研究工作,1307913200@qq.com

等情况,距离超净排放要求有一定的差距。基于此,梯度结构设计的超细纤维面层滤料应运而生。传统滤料结构多为迎尘面层-基布层-净气面层对称结构,而超细纤维面层滤料则是在迎尘面层添加超细纤维形成的致密面层,中间层采用与传统滤料相同的基布,底层净气面层采用普通纤维制作的材料,以形成梯度结构,其结构示意如图 1 所示。超细纤维面层滤料的不对称结构,有利于其对微细颗粒的捕集,尤其是对空气动力学当量直径小于等于  $2.5 \mu\text{m}$  的颗粒物( $\text{PM}_{2.5}$ )的过滤,效果显著。梯度结构的超细纤维面层滤料依靠面层的超细纤维对粗颗粒进行初步过滤,减少进入纤维层深层的粉尘量<sup>[1-2]</sup>。

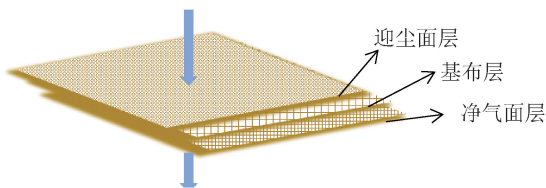


图 1 超细纤维面层滤料梯度结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of gradient structure of microfibre surface layer filter materials

目前,市场上已出现多种超细纤维面层滤料。然而,若迎尘面层均为超细纤维,则不仅制作工艺繁杂,而且成本颇高。基于此,市场上常见的梯度结构滤料多采用细旦纤维替代滤料面层中的超细纤维。这种迎尘面层添加细旦纤维的滤料同样可达到提高过滤效率的效果<sup>[3]</sup>。此外,目前关于梯度结构滤料的研究大多集中在细旦纤维的制备工艺,以及常规水刺滤料、覆膜滤料与细旦纤维面层滤料的过滤性能对比方面,而关于迎尘面层细旦纤维添加量的相关研究鲜有涉及。因此,本文制备 4 种不同质量分数的聚苯硫醚(PPS)细旦纤维与 PPS 普通纤维混纺材料,并将其作为滤料的迎尘面层,通过与 PPS 基布、PPS 普通纤维制成的净气面层复合,制备 4 种梯度结构滤料,测试其规格参数、常规性能及动态过滤性能,并与均由 PPS 普通纤维制成的常规滤料进行对比分析。研究旨在为滤料迎尘面层细旦纤维质量分数的合理选择及性能更优的 PPS 滤料的制备提供参考。

## 1 试验

### 1.1 试验材料

试验用原材料均为 PPS 纤维,各滤料试样的差异主要体现在迎尘面层。其中常规滤料(1<sup>#</sup>)全部采用普通纤维(线密度 2.2 dtex,长 51 mm,强力约 10.1 cN)制备,梯度结构滤料(2<sup>#</sup>~5<sup>#</sup>)是将不同质量分数的细旦纤维(线密度 1.2 dtex,长 51 mm,强力约 5.7 cN)与普通纤维混纺制作迎尘面层,再与 PPS 基布、PPS 普通纤维制成的净气面层复合而成的,本文制备的滤料试样及其迎尘面层所含细旦纤维质量分数如表 1 所示。

表 1 滤料试样及其迎尘面层所含细旦纤维质量分数

Tab. 1 Filter material samples and fine fibers mass fractions of dust-receiving surface layers

滤料编号	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>
细旦纤维质量分数/%	0	12	15	20	30

### 1.2 试验

对迎尘面层添加不同质量分数细旦纤维的 4 块梯度结构滤料与全部由普通 PPS 纤维制成的常规滤料进行规格参数、常规性能及动态过滤性能的测试与对比,以确定合理的滤料迎尘面层细旦纤维质量分数。

#### 1.2.1 面密度

采用电子天平(BSM 402.3 型,上海卓精电子科技有限公司),按 GB/T 4669—2008 的规定对滤料试样进行面密度测试。取样面积为  $100 \text{ cm}^2$ ,各取样点分布于试样上不同的横纵向位置,取 10 块试样测试,结果取平均值<sup>[4]</sup>。

#### 1.2.2 厚度

采用数字式织物厚度仪(YG141LA 型,宁波纺织仪器厂),按 GB/T 3820—1997 的规定对滤料试样进行厚度测试。取样面积为  $50 \text{ cm}^2$ ,压脚面积选用  $2000 \text{ mm}^2$ ,加压压力设定为 0.5 kPa,各取样点均分布于试样上不同的横纵向位置,取 10 块试样测试,结果取平均值。

#### 1.2.3 透气性

采用全自动透气量仪(YG461E-III 型,宁波纺

织仪器厂),按 GB/T 5453—1997 的规定对滤料试样进行透气性测试。取样面积为 50 cm<sup>2</sup>,试验压强为 200 Pa,各取样点均分布于试样上不同的横纵向位置,取 10 块试样测试,结果取平均值。

#### 1.2.4 拉伸性能

采用电子织物强力机(YG026D-II型,宁波纺织仪器厂),按 GB/T 3923.1—2013 的规定对滤料试样进行拉伸性能测试。取样尺寸为 5 cm×20 cm,隔距长度设定为 200 mm,拉伸速度为 100 mm/min,根据 JB/T 13559 标准的要求制样,沿滤料横纵向各取 5 块试样测试,结果分别取平均值。

#### 1.2.5 孔径分布

采用孔径分析仪(PSDA-20型,南京高谦功能材料科技有限公司),对滤料试样进行孔径测试,计算出滤料的平均孔径与最大孔径,得到孔径分布曲线。

#### 1.2.6 微观结构

采用扫描电子显微镜(SEM,G4 pure型,荷兰Phenom)观察滤料试样的微观结构、滤料纤维间孔隙疏密与缠结程度。

#### 1.2.7 过滤性能

采用滤料模拟测试装置(VDI 1-AT型,德国FilTEq)对滤料试样进行过滤性能测试。采用 90% 粒径小于 1.479 μm 的氧化铝粉尘,设定过滤风速为 2 m/min,粉尘质量浓度为 5 g/m<sup>3</sup>,清灰方式为 1 000 Pa 定压清灰。参照 GB/T 6719《袋式除尘器技术要求》附录 B 的测试方法进行滤料过滤性能测试<sup>[5]</sup>。

## 2 试验结果分析

### 2.1 规格参数与透气性

5 种滤料的厚度、面密度和透气性测试结果如表 2 所示。由表 2 可以看出,5 种滤料厚度、面密度测试结果较接近,其差异可忽略不计。而由透气性测试结果可知,1<sup>#</sup>滤料的透气率远高于其余 4 种滤料,表明添加细旦纤维后,滤料的透气性下降,透气率降低 21%~26%。5 种滤料的透气性由优到劣依次为 1<sup>#</sup>滤料、2<sup>#</sup>滤料、3<sup>#</sup>滤料、4<sup>#</sup>滤料、5<sup>#</sup>滤料,可见,滤料迎尘面层细旦纤维质量分数越高,透气性越差。原因是随着细旦纤维质量分数的增大,迎尘面层纤维间缠结得更加紧密,纤维间的空隙减小,能够通过

面层的气流量减少。

表 2 滤料厚度、面密度和透气性测试结果

Tab. 2 Test results of filter materials thickness, surface density and permeability

滤料编号	厚度/mm	面密度/(g·m <sup>-2</sup> )	透气率/[L·(dm <sup>2</sup> ·min) <sup>-1</sup> ]
1 <sup>#</sup>	1.98	549	160.00
2 <sup>#</sup>	1.79	522	126.99
3 <sup>#</sup>	2.01	584	123.23
4 <sup>#</sup>	2.05	590	121.10
5 <sup>#</sup>	2.02	575	119.13

### 2.2 拉伸性能

5 种滤料的拉伸性能测试结果如图 2 所示。可以看出,5 种滤料纵向断裂强力的差异较小,横向断裂强力由大到小依次为 3<sup>#</sup>滤料、4<sup>#</sup>滤料、5<sup>#</sup>滤料、2<sup>#</sup>滤料、1<sup>#</sup>滤料。总体而言,随着细旦纤维质量分数的增大,滤料拉伸断裂强力呈现先上升后下降的趋势。添加 15%(质量分数)细旦纤维的 3<sup>#</sup>滤料与未添加细旦纤维的常规滤料(1<sup>#</sup>滤料)相比,横向断裂强力提高了约 20%。增大迎尘面层细旦纤维质量分数,可使迎尘面层细旦纤维与普通纤维的缠结效果更好,滤料拉伸性能提升显著。但细旦纤维质量分数超过 20%后,滤料拉伸性能略有下降,原因可能是细旦纤维自身的强力较低,当迎尘面层细旦纤维质量分数过大时,纤维本身强力的降低导致滤料整体拉伸性能下降。

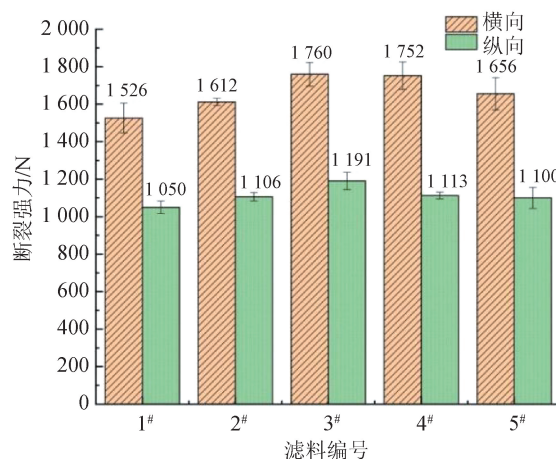


图 2 1<sup>#</sup>~5<sup>#</sup>滤料的拉伸性能

Fig. 2 Tensile properties of 1<sup>#</sup>~5<sup>#</sup> filter materials

### 2.3 孔径分布

滤料主要通过纤维内部的孔径通道实现对粉尘

的拦截,因此,滤料对粉尘的拦截效果在很大程度上取决于其孔径分布<sup>[6]</sup>。表 3 为 5 种滤料的最大孔径与平均孔径测试结果,图 3 为滤料的孔径分布图。结合表 3 和图 3 可知,1<sup>#</sup>~4<sup>#</sup>滤料的孔径多集中在 10~20 μm,5<sup>#</sup>滤料的孔径大多小于 10 μm,3<sup>#</sup>滤料与 4<sup>#</sup>滤料的孔径分布曲线较为相似;随着细旦纤维质量分数的增大,滤料的平均孔径与最大孔径呈减小趋势,且平均孔径的减幅大于最大孔径的减幅。

表 3 滤料孔径测试结果

Tab. 3 Pore size test results of filter materials

滤料编号	平均孔径/ μm	最大孔径/ μm
1 <sup>#</sup>	22.93	64.45
2 <sup>#</sup>	22.62	63.56
3 <sup>#</sup>	20.97	63.56
4 <sup>#</sup>	19.13	61.84
5 <sup>#</sup>	18.85	60.21

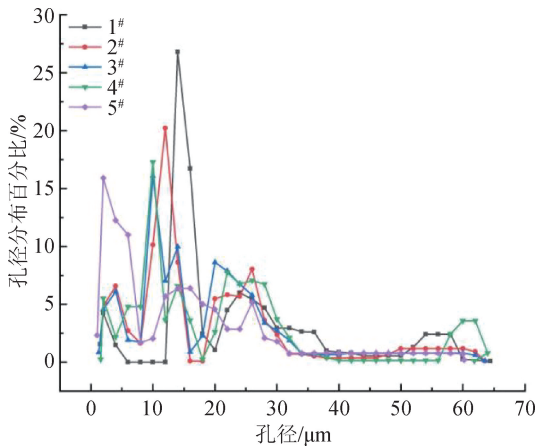


图 3 1<sup>#</sup>~5<sup>#</sup>滤料孔径分布图

Fig. 3 Distribution of pore size of 1<sup>#</sup>-5<sup>#</sup> filter materials

图 4 为 5 种滤料迎尘面层的扫描电子显微镜图。可以看出,随着细旦纤维质量分数的增大,滤料迎尘面层细旦纤维分布量增加,纤维之间的孔隙减小,这与滤料孔径变化的测试结果一致。

综上,随着细旦纤维质量分数的增大,纤维间的孔隙明显减小,滤料的孔径也相应减小,结合前文滤料透气性测试结果可知,滤料的透气性能下降。这有利于滤料对粗颗粒粉尘的拦截,提升滤料对微细颗粒粉尘的捕集效果,同时减弱粉尘穿透纤维层的能力<sup>[7]</sup>。

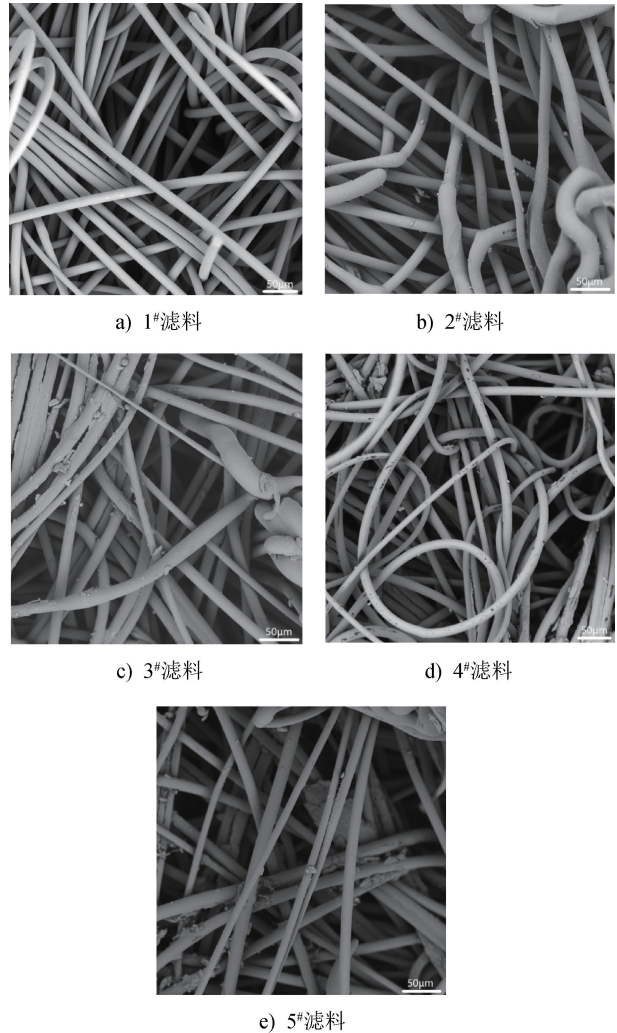


图 4 1<sup>#</sup>~5<sup>#</sup>滤料的扫描电子显微镜图

Fig. 4 Scanning electron microscope images of 1<sup>#</sup>-5<sup>#</sup> filter materials

## 2.4 过滤性能

5 种试验滤料的过滤效率测试结果如图 5 所示。可以看出,1<sup>#</sup>~5<sup>#</sup>滤料过滤效率测试结果均高于 99.90%,但 1<sup>#</sup>滤料的过滤效率明显低于 2<sup>#</sup>~5<sup>#</sup>滤料。其中,3<sup>#</sup>~5<sup>#</sup>滤料的过滤效果最优,过滤效率高达 100.000%。

5 种滤料稳定化测试阶段的运行阻力变化趋势如图 6 所示。由图 6 可以看出,随着细旦纤维质量分数的增大,滤料的运行阻力呈上升趋势,3<sup>#</sup>滤料与 4<sup>#</sup>滤料过滤阻力差异较小,5<sup>#</sup>滤料的运行阻力约为 1<sup>#</sup>滤料的 1.8 倍,运行阻力大幅提高。

5 种滤料稳定化测试阶段的清灰周期变化趋势如图 7 所示。由图 7 可以看出,随着迎尘面层细旦纤维质量分数的增加,滤料的清灰周期呈现缓慢下

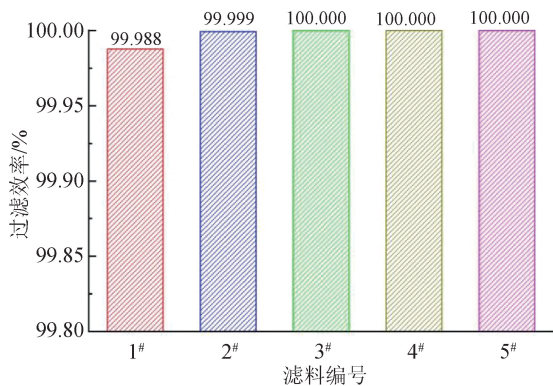


图 5 1#~5# 滤料的过滤效率

Fig. 5 Filtration efficiency of 1#-5# filter materials

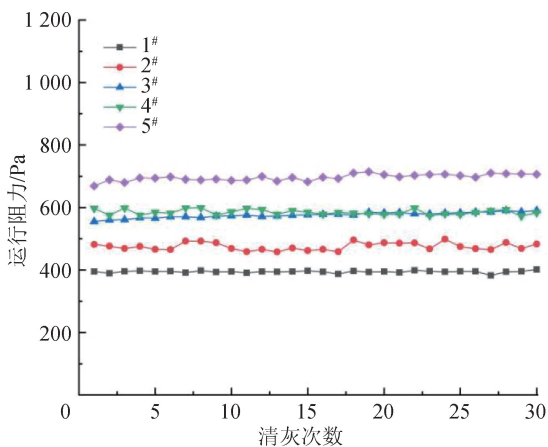


图 6 1#~5# 滤料运行阻力变化趋势图

Fig. 6 Operating pressure change trend charts of 1#-5# filter materials

降趋势,其中 3# 滤料与 4# 滤料清灰周期变化趋势差异较小,曲线重合程度较高,5# 滤料清灰周期最短,平均约为 24 s。

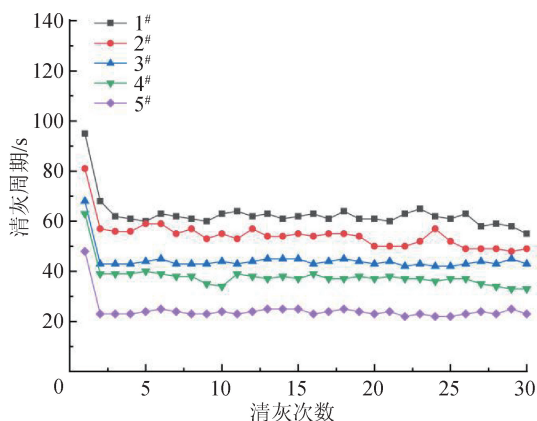


图 7 1#~5# 滤料清灰周期变化趋势图

Fig. 7 Cleaning cycle change trend charts of 1#-5# filter materials

对图 5~图 7 进行综合分析可知,迎尘面层添加细旦纤维后,面层纤维致密程度增加,滤料对细微粉尘的拦截效果提升,过滤效率提高<sup>[8]</sup>,但随着迎尘面层细旦纤维质量分数的增大,纤维之间的孔隙减小,滤料透气性下降,清灰气流不易传导至滤料迎尘面,粉尘剥落效果减弱,易导致运行阻力上升加快,清灰周期缩短,除尘器能耗增加<sup>[9-10]</sup>。

### 3 结论

(1) 随着迎尘面层细旦纤维质量分数的增大,滤料透气性能下降,拉伸性能则呈现出先上升后下降的趋势。当迎尘面层添加的细旦纤维质量分数为 15%~20% 时,滤料拉伸断裂强力较大。细旦纤维质量分数超过 20% 后,因细旦纤维本身的强力较小,滤料拉伸断裂强力呈下降趋势,但仍高于未添加细旦纤维的常规 PPS 滤料。

(2) 随着迎尘面层细旦纤维质量分数的增大,滤料孔径减小,滤料纤维之间的孔隙也随之减小,这有利于滤料对于微细颗粒粉尘的拦截。

(3) 随着迎尘面层细旦纤维质量分数的增大,滤料纤维之间缠结得更紧实,过滤精度随之提升。细旦纤维质量分数为 15% 时,滤料过滤精度即可达 100.000%。继续增大细旦纤维质量分数,滤料的运行阻力明显上升,清灰周期也呈现缩短趋势,导致除尘器运行能耗增加。综合考虑运行成本与应用效果,优选迎尘面层细旦纤维质量分数为 15%~20%。



期刊采编平台



中国知网下载

### 参考文献

[ 1 ] 严烁,周冠辰,杨东,等. 工业烟气除尘滤料材料与技术的最新进展[J]. 纺织导报,2022(3):34-40.  
[ 2 ] 柳静献,郭颖赫,赫伟东. 碳捕集用烟尘超净滤料现状及研究进展[J]. 纺织导报,2022(3):41-46.  
[ 3 ] 李婧岚,吴海波. 梯度结构的 PE/PP 皮芯纤维空气滤料性能研究[J]. 产业用纺织品,2019,37(2):14-19.

(下转第 52 页)