

# PPS+PTFE 混纺针刺滤袋在 燃煤电厂的应用分析

陈好<sup>1,2,3</sup> 陈建文<sup>1,2,3</sup> 郑智宏<sup>1,2,3</sup> 林蓝婷<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:**针对某燃煤电厂使用聚苯硫醚(PPS)滤袋不足一年时间即发生大面积破损的问题,制备面层不同PPS和聚四氟乙烯(PTFE)纤维质量比的PPS+PTFE混纺针刺滤袋,对其进行挂袋试验,并从面密度、透气性、拉伸性能、粉尘渗透情况、材质变化及微观形貌等方面分析使用前后的PPS+PTFE混纺针刺滤袋的性能。根据试验数据进行PPS+PTFE混纺针刺滤袋使用寿命的预估分析,推算其剩余使用寿命。研究结果显示,制备的PPS+PTFE混纺针刺滤袋满足粉尘排放质量浓度长期低于 $10\text{ mg/m}^3$ 的要求;面层PPS和PTFE纤维质量比为50:50时,制备的PPS+PTFE混纺针刺滤袋的整体使用寿命可达74个月。研究为燃煤电厂滤袋除尘器的超低排放及滤袋选型提供参考。

**关键词:**聚苯硫醚(PPS);聚四氟乙烯(PTFE);混纺针刺滤袋;性能;寿命预估

中图分类号:TS 176

文献标志码:A

文章编号:1004-7093(2024)06-0048-06

## Application analysis of PPS+PTFE blended needled filter bags in coal-fired power plants

Chen Hao<sup>1,2,3</sup>, Chen Jianwen<sup>1,2,3</sup>, Zheng Zhihong<sup>1,2,3</sup>, Lin Lanting<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:** In order to solve the problem that polyphenylene sulfide (PPS) filter bag was damaged in a large-scale within less than one year after it was used in a coal-fired power plant, PPS and polytetrafluoroethylene (PPS+PTFE) blended needled filter bags with different mass ratios of PPS to PTFE fiber were prepared, and the filter bags hanging test was carried out. The properties of PPS+PTFE blended needled filter bags before and after use were analyzed from the aspects of surface density, air permeability, tensile properties, dust penetration, changes in functional groups and micro-morphology. Based on the test data, the service life of PPS+PTFE blended needled filter bags was estimated and the remaining service life was calculated. The results showed that the prepared

收稿日期:2024-04-29

作者简介:陈好,1982年生,本科,主要从事过滤材料检测技术研究工作,34888082@qq.com

PPS + PTFE blended needled filter bags could meet the requirement of dust emission mass concentration below  $10 \text{ mg/m}^3$  for a long period of time. It was estimated that the overall service life of PPS+PTFE blended needled filter bags with a 50:50 mass ratio of PPS to PTFE fibers in the top layer could reach 74 months. The research provides reference for the ultra-low emission of filter bag dust collector and filter bag selection in coal-fired power plants.

**Keywords:** polyphenylene sulfide (PPS); polytetrafluoroethylene (PTFE); blended needled filter bag; property; life prediction

根据 2024 年国家统计局发布的《中华人民共和国 2023 年国民经济和社会发展统计公报》，中国是全球最大的煤炭生产国和消费国，2023 年我国能源消费总量达 57.2 亿 t 标准煤，较 2022 年增长 5.7%。其中，煤炭消费量增长 5.6%，占能源消费总量比重为 55.3%。我国发电用煤年消费量近年来基本维持在 20 亿 t 左右，位居全球之首。与此同时，燃煤电厂在煤燃烧过程中释放出大量的有害物质与气体，如固体颗粒物、二氧化硫和氮氧化物等，导致区域大气污染和酸雨形成。对于燃煤电厂的除尘工作而言，减少污染物排放和降低碳排放，治理环境污染问题，既是机遇，也是挑战<sup>[1-3]</sup>。

燃煤电厂的除尘方法，主要包括静电除尘、电袋复合除尘和袋式除尘。袋式除尘器因具有适用范围广、除尘效率高、结构简单、系统运行稳定等特性，在燃煤烟尘治理领域得以广泛应用。常用的滤料纤维材料有聚苯硫醚 (PPS)、聚酰亚胺 (PI) 和聚四氟乙烯 (PTFE) 等<sup>[4]</sup>。其中，PPS 的抗氧化性不佳，PI 的耐碱性较差<sup>[5]</sup>，PTFE 则具有良好的化学稳定性，优异的耐腐蚀、耐水解、抗氧化和耐高温等优点<sup>[6]</sup>。燃煤电厂的烟气成分复杂，烟温波动性较大，氧化性强，使用纯 PPS 滤袋容易受氧化腐蚀等影响而出现破损失效的情况<sup>[7-11]</sup>，导致除尘器粉尘排放量超标。针对这一问题，本文基于某燃煤电厂原先使用的 PPS 滤袋大面积破损的案例，制备面层不同 PPS 和 PTFE 纤维质量比的 PPS+PTFE 混纺针刺滤袋，再对其进行挂袋试验，然后对比使用前后混纺针刺滤袋的性能参数，包括拉伸性能、面密度、

透气性、粉尘渗透情况、材质变化、微观形貌等。最后，根据试验数据进行 PPS+PTFE 混纺针刺滤袋使用寿命的预估分析，推算其剩余使用寿命。研究旨在为燃煤电厂滤袋除尘器的超低排放及滤袋选型提供参考。

## 1 试验部分

### 1.1 运行工况分析及解决方案

某燃煤电厂电袋除尘器采用 PPS 滤袋不足一年时间即出现了大面积破损，分析发现，滤袋失效的原因是 PPS 受氧化腐蚀，导致其力学性能衰减而破损失效。对该燃煤电厂除尘器运行工况进行检测分析，结果如表 1 所示。烟气中  $\text{SO}_2$  质量浓度较高 (超过  $3\ 000 \text{ mg/m}^3$ )，并且含有对 PPS 滤料产生氧化作用的成分，如  $\text{NO}_x$ 、 $\text{O}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  等<sup>[9-11]</sup>。综合考虑多种因素，对滤袋进行选型和产品结构设计的优化，采用性能良好的 PTFE 基布替代原先的 PPS 基布，并在滤袋的面层中添加适量的 PTFE 纤维。具体而言，设计了 3 种面层 PPS 和 PTFE 纤维质量比 (不含基布)，分别为 90:10、70:30 和 50:50。将制备的混纺针刺滤袋应用于电袋除尘器中进行挂袋试验。投运后，电袋除尘器运行压差  $\leq 1\ 000 \text{ Pa}$ ，出口粉尘排放质量浓度为  $3 \sim 8 \text{ mg/m}^3$ 。利用停炉检修机会，对使用了 26 个月的 PPS+PTFE 混纺针刺滤袋进行常规性能、粉尘渗透情况、材质变化及微观形貌等方面的测试与对比，分析面层不同 PPS 和 PTFE 纤维质量比的混纺滤袋的性能变化情况。

表 1 某燃煤电厂烟气参数检测

Tab. 1 Flue gas parameter testing of a coal-fired power plant

烟气量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	烟气温度/ $^{\circ}\text{C}$	露点温度/ $^{\circ}\text{C}$	$\text{SO}_2$ 质量浓度/ ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	$\text{NO}_x$ 质量浓度/ ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	$\text{O}_2$ 体积分数/ %	$\text{H}_2\text{O}$ 体积分数/ %
2 104 560	95~145	95	3 000~3 651	40~50	5.45	8.64

## 1.2 滤袋试样

滤袋试样分别为未使用的面层 PPS 和 PTFE 纤维质量比为 90:10 的 PPS+PTFE 混纺针刺滤袋(N1<sup>#</sup>滤袋)和对应的已使用 26 个月的滤袋(O1<sup>#</sup>滤袋)、未使用的面层 PPS 和 PTFE 纤维质量比为 70:30 的 PPS+PTFE 混纺针刺滤袋(N2<sup>#</sup>滤袋)和对应的已使用 26 个月的滤袋(O2<sup>#</sup>滤袋)、未使用的面层 PPS 和 PTFE 纤维质量比为 50:50 的 PPS+PTFE 混纺针刺滤袋(N3<sup>#</sup>滤袋)和对应的已使用 26 个月的滤袋(O3<sup>#</sup>滤袋)。

## 1.3 性能测试与表征

### 1.3.1 面密度

采用电子天平(BSM420.3 型,上海卓精)按 GB/T 24218.1 的规定对滤袋试样进行面密度测试。取样面积为 100 cm<sup>2</sup>,沿滤袋试样的横向和纵向各取 10 块试样测试,结果取平均值。

### 1.3.2 透气性测试

采用全自动透气量仪(YG-461E-III型,宁波纺仪)按 GB/T 5453 的规定对滤袋试样进行透气性测试。取样面积为 50 cm<sup>2</sup>,压差设定为 200 Pa,在滤袋试样的横向和纵向各取 10 块试样测试,结果取平均值。

### 1.3.3 拉伸性能测试

采用气动电子织物强力机(YG026D-II型,宁波纺仪)按 GB/T 24218.3 的规定对滤袋试样进行拉伸性能测试。取样尺寸为 5 cm×20 cm,根据 JB/T 13559 的采样方法制样,沿滤袋的横向和纵向各取 10 块试样测试,结果分别取平均值。

### 1.3.4 粉尘渗透情况

采用视频显微镜(GYS-2QDM 型,厦门顺达诚)观察滤袋试样的横截面粉尘渗透情况。

### 1.3.5 材质变化

采用傅里叶变换红外光谱仪(IRAffinity-1S 型,日本)观察分析滤袋纤维的官能团变化情况。

### 1.3.6 微观形貌

采用扫描电子显微镜(SEM, G4 Pure 型,荷兰)观察分析滤袋试样的微观形貌。

## 2 结果与讨论

### 2.1 常规性能分析

6 种滤袋的设计面密度均为 600~620 g/m<sup>2</sup>,设

计透气量均为 110~130 L/(dm<sup>2</sup>·min)。6 种滤袋试样的面密度测试结果如图 1 所示。由图 1 可以看出,3 条未使用的滤袋试样(N1<sup>#</sup>、N2<sup>#</sup>和 N3<sup>#</sup>滤袋)的面密度相当,投运 26 个月后,O1<sup>#</sup>、O2<sup>#</sup>、O3<sup>#</sup>这 3 条滤袋的面密度与未使用滤袋的相当,说明滤袋清灰后,仍能够保持良好的过滤性能。

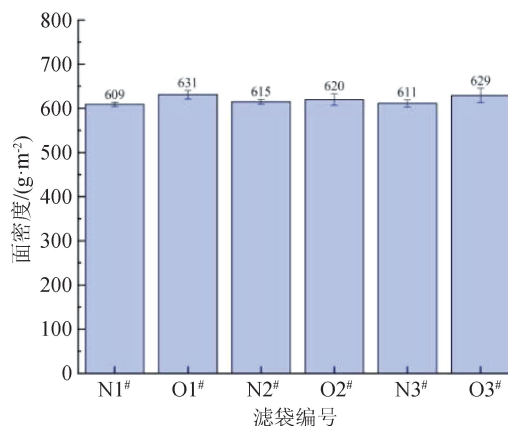


图 1 滤袋试样的面密度测试结果

Fig. 1 Density test results of filter bag samples

6 种滤袋试样的透气量测试结果如图 2 所示。由图 2 可以看出,N1<sup>#</sup>、N2<sup>#</sup>和 N3<sup>#</sup>滤袋的透气性均在设计范围内,投运后,O1<sup>#</sup>、O2<sup>#</sup>和 O3<sup>#</sup>滤袋的透气性能仍然良好,透气量保持率均超过 80%。

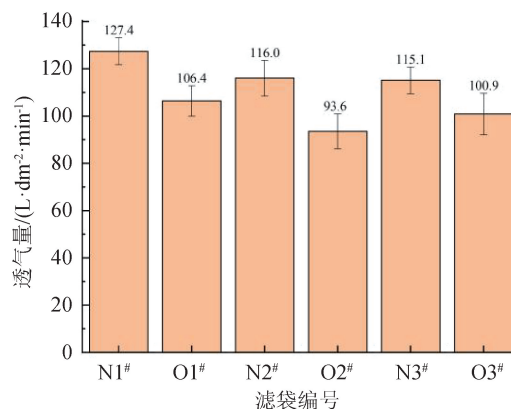


图 2 滤袋试样的透气量测试结果

Fig. 2 Air permeability test results of filter bag samples

6 种滤袋试样的拉伸性能测试结果如图 3 所示。由图 3 可知,滤袋试样的横向断裂强力表现为 N1<sup>#</sup>>N2<sup>#</sup>>N3<sup>#</sup>,表明随着面层中 PTFE 质量分数的增加,试样的横向断裂强力呈下降趋势。所有滤袋试样均采用相同生产工艺的 PTFE 基布制备,横向断裂强力差异主要是因为滤料面层纤维结构不同所

致,面层所含 PTFE 纤维本身的摩擦因数小,随着其质量分数的增加,纤维间的缠结略有减弱,试样的横向断裂强力下降;滤袋试样的纵向断裂强力主要由基布提供,3 条滤袋均采用 PTFE 基布,因此纵向断裂强力相当<sup>[12]</sup>。投运后,O1<sup>#</sup>滤袋和 O2<sup>#</sup>滤袋的断裂强力下降严重,其横向断裂强力保持率分别低至 30%和 50%;O3<sup>#</sup>滤袋的断裂强力损失较小,断裂强力保持率超过 89%。总体而言,随着面层中 PTFE 质量分数的增加,滤袋的断裂强力保持率随之增加。

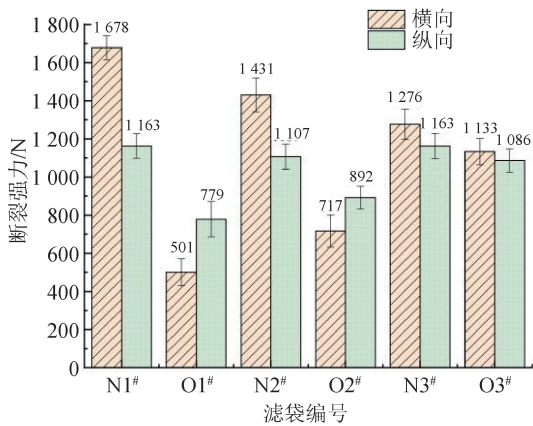


图 3 滤袋试样的拉伸性能测试结果  
Fig. 3 Tensile property test results of filter bag samples

## 2.2 粉尘渗透情况分析

本文 PPS+PTFE 混纺针刺滤袋的表面未进行 PTFE 覆膜处理,其在过滤机理上属于“深层过滤”。因筛滤、碰撞、滞留、扩散、静电等效应,粉尘积聚在滤料表面形成粉饼层,阻挡微细粉尘的渗入,即粉尘均被拦截在滤袋的迎尘面层。然而,随着运行时间的延长,易出现部分微细粉尘渗入纤维层内部的风险<sup>[13-14]</sup>。6 种滤袋试样的横截面显微镜图如图 4 所示。由图 4 可知,N1<sup>#</sup>、N2<sup>#</sup>和 N3<sup>#</sup>滤袋的迎尘面和净气面均干净整洁,基布洁白无粉尘污染;O1<sup>#</sup>、O2<sup>#</sup>和 O3<sup>#</sup>滤袋的迎尘面表层有粉尘截留,基布未受粉尘污染,仍洁白干净,滤袋的净气面层未见明显的粉尘污染。表明 O1<sup>#</sup>、O2<sup>#</sup>和 O3<sup>#</sup>滤袋均能够将微细粉尘拦截在迎尘面层,其过滤性能能够良好保持。

## 2.3 材质变化和微观形貌分析

滤袋试样及 PPS+PTFE 的红外谱图如图 5 所示。由图 5 可知,O1<sup>#</sup>、O2<sup>#</sup>和 O3<sup>#</sup>滤袋均具有与 PPS+PTFE 相同的主要特征吸收峰,其中:1 570、1 470 和 1 385  $\text{cm}^{-1}$  处为苯环 C—C 的面内伸缩振动峰;1 204 和 1 150  $\text{cm}^{-1}$  处为碳氟键 (C—F) 的特征吸收峰;1 092  $\text{cm}^{-1}$  处为 C—S 的面内伸缩振动

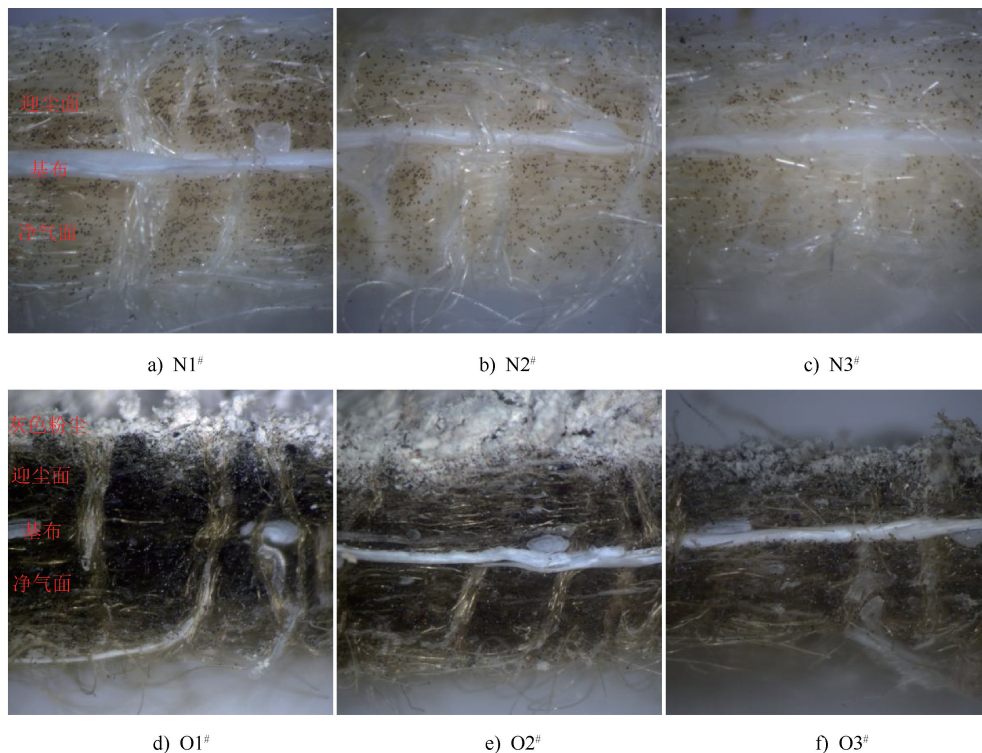


图 4 滤袋试样的横截面显微镜图  
Fig. 4 Microscopic cross-section of filter bag samples

峰;  $1\ 007\ \text{cm}^{-1}$  处为苯环 C—H 的面内变形振动峰;  $806\ \text{cm}^{-1}$  处为苯环 C—H 的面外变形振动峰。除此以外, O1<sup>#</sup> 滤袋在  $1\ 223\ \text{cm}^{-1}$  处的特征吸收峰归属于砒基(—SO<sub>2</sub>—)的伸缩振动峰,  $1\ 038\ \text{cm}^{-1}$  处的特征吸收峰归属于亚砒基(—SO—)的伸缩振动峰; O2<sup>#</sup> 滤袋在  $1\ 034\ \text{cm}^{-1}$  处的特征吸收峰归属于亚砒基(—SO—)的伸缩振动峰; 而 O3<sup>#</sup> 滤袋未见明显异常于 PPS+PTFE 的特征吸收峰, 表明 O1<sup>#</sup> 滤袋和 O2<sup>#</sup> 滤袋 PPS 结构中苯环连接的 S 原子有 O 元素的引入, 即 O1<sup>#</sup> 滤袋和 O2<sup>#</sup> 滤袋均受到了氧化腐蚀; O3<sup>#</sup> 滤袋未受到明显的化学腐蚀<sup>[8,15]</sup>。

滤袋试样的 SEM 图如图 6 所示。由图 6 可以看出, N1<sup>#</sup>、N2<sup>#</sup> 和 N3<sup>#</sup> 滤袋上的 PPS 纤维表面均光滑平整, 未发生断裂等异常情况, 表明滤袋纤维未出现明显的损伤。而受氧化腐蚀的 O1<sup>#</sup> 滤袋和 O2<sup>#</sup> 滤袋表面的 PPS 纤维均出现了似刀割裂痕状的损伤,

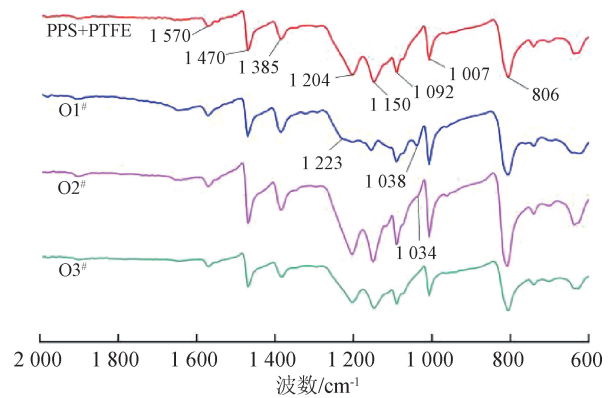


图 5 滤袋试样及 PPS+PTFE 的红外谱图  
Fig. 5 Infrared spectra of filter bag samples and PPS+PTFE

如图 6d) 和图 6e) 所示。其中 O1<sup>#</sup> 滤袋受损程度远大于 O2<sup>#</sup> 滤袋, 表明受腐蚀程度越大, PPS 纤维受损越严重; 而 O3<sup>#</sup> 滤袋的 PPS 纤维完好无损, 进一步说明 O3<sup>#</sup> 滤袋未受到明显的化学腐蚀。

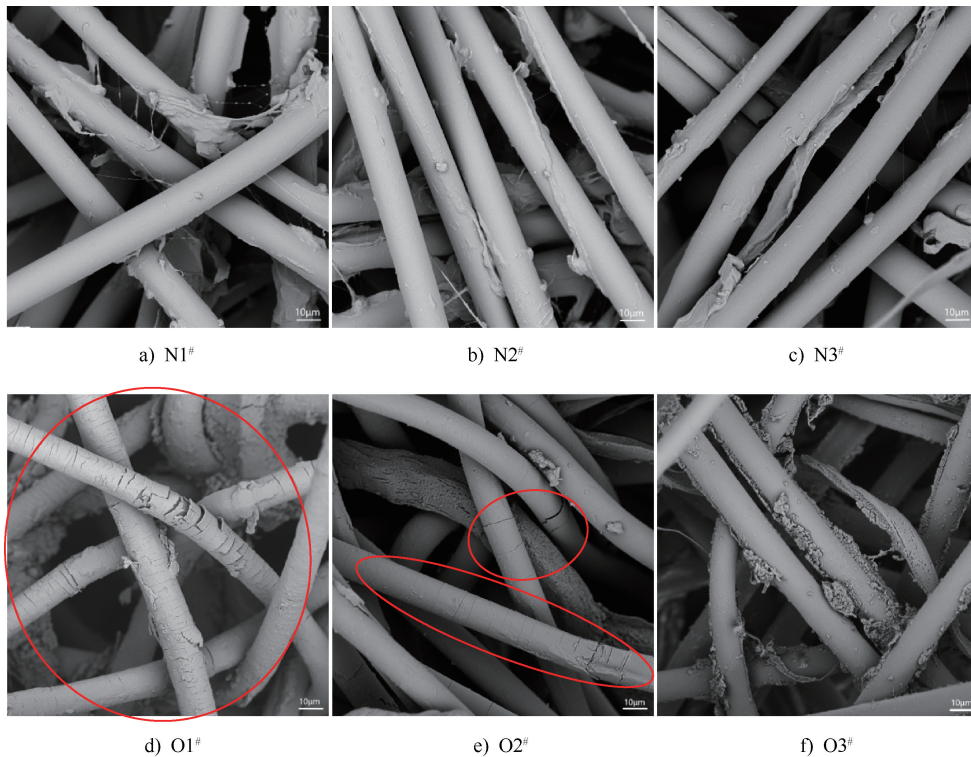


图 6 滤袋试样的 SEM 图  
Fig. 6 SEM images of filter bag samples

### 3 滤袋寿命预估

滤袋作为袋式除尘器的核心部件, 对袋式除尘器的除尘效果起着决定性作用。滤袋失效的原因主

要分为阻力过大失效和过滤性能不达标失效两大类<sup>[16-18]</sup>。阻力过大指经清灰系统操作后滤袋运行阻力仍居高不下, 而过滤性能不达标指滤袋由于各种原因出现破损或其他原因的排放量超标。为预估滤袋的剩余使用寿命, 可以参考滤袋机械寿命和滤

袋过滤寿命<sup>[19]</sup>。其中,滤袋机械寿命用滤袋投运后相对于投运前的断裂强力保持率表征;滤袋过滤寿命用滤袋投运后相对于投运前的透气量保持率表征。由前文研究可知,O1#滤袋的断裂强力保持率和透气量保持率分别为 30% 和 84%;O2#滤袋的分别为 50% 和 81%;O3#滤袋的分别为 89% 和 88%。根据 DL/T 1514—2016《火力发电厂袋式除尘器用滤料寿命管理与评价方法》中表 4 的计算方法,以 60 个月的设计寿命计,可计算得 O1#、O2# 和 O3# 滤袋在正常工况下的剩余使用寿命分别为 6 个月、20 个月和 48 个月。结合滤袋的已投运时间(26 个月)可知,O1#滤袋和 O2#滤袋的总体寿命达不到 60 个月,而 O3#滤袋的总体寿命可达 74 个月。表明面层 PPS 和 PTFE 纤维质量比为 50:50 的 PPS+PTFE 混纺针刺滤袋能够在长期、复杂的燃煤电厂除尘应用中表现出良好的适应性。

## 4 结论

对于 3 种不同面层 PPS 和 PTFE 纤维质量比的 PPS+PTFE 混纺针刺滤袋,随着 PTFE 纤维质量分数的增加,未使用的滤袋的横向断裂强力呈下降趋势,纵向断裂强力相当。

由滤袋试样的横截面显微镜图可以看出,3 种不同面层 PPS 和 PTFE 纤维质量比的 PPS+PTFE 混纺针刺滤袋对微细粉尘均具有良好的截留效果。

在该燃煤电厂的强氧化烟气工况下,PPS+PTFE 混纺针刺滤袋的断裂强力保持率随着 PTFE 纤维质量分数的增加而增加。高 PTFE 纤维质量分数有利于提高滤袋的整体耐腐蚀性能,起到保护 PPS 纤维的作用,进而延长滤袋的使用寿命。其中,面层 PPS 和 PTFE 纤维质量比为 50:50 的 PPS+PTFE 混纺针刺滤袋在此工况条件下的应用效果最佳。



期刊采编平台



中国知网下载

## 参考文献

[1] 顾永正. 燃煤电厂大气重金属排放控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2023, 43(15): 5955-5970.

[2] 顾晨,赵瑜. 中国燃煤电厂大气污染物排放研究进展[J]. 煤炭学报, 2022, 47(12): 4352-4361.

[3] 孙尊强,郑成航,周灿,等. 燃煤电厂典型除尘器运行现状分析及优化[J]. 中国电力, 2022, 55(11): 194-201.

[4] 崔全禹. 燃煤锅炉烟气除尘技术与选型[J]. 中国电力企业管理, 2022(6): 94-95.

[5] 王玉华. 两种滤料耐腐蚀性研究[D]. 沈阳:东北大学, 2005.

[6] 陈锡勇,陶建勤,李淑芳. PTFE 短纤维性能与梳理工艺浅析[J]. 产业用纺织品, 2010, 28(9): 34-36.

[7] 聂换换,汪黎明. 燃煤锅炉除尘专用滤料的开发[J]. 产业用纺织品, 2015, 33(4): 6-8.

[8] 蔡伟龙,罗祥波,洪丽美,等. 燃煤电厂锅炉袋除尘器用 PPS 滤料失效原因分析[J]. 中国环保产业, 2010(1): 48-50.

[9] 郑奎照. 燃煤锅炉用 PPS 滤料失效分析[C]//中国环保产业协会. 2011 全国袋式除尘技术研讨会论文集. 苏州, 2011: 236-241.

[10] 蔡伟龙,张静云,郑智宏. 聚苯硫醚滤料在燃煤电厂应用失效规律研究[C]//中国电力企业联合会. 2015 年电力行业节能环保论坛暨技术应用交流会论文集. 上海, 2015: 8-16.

[11] 张弛,沈恒根,宋高举. 高温烟气用聚苯硫醚(PPS)滤料耐酸氧化腐蚀性的检测方法初探[J]. 产业用纺织品, 2022, 40(8): 45-52.

[12] 柳静献,代峰,毛宁. 酸碱交互腐蚀对芳纶滤料性能的影响[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2023, 44(7): 1034-1040.

[13] 刘登鹏. 炭黑厂自备电厂袋式除尘故障机理分析及寿命延长措施的分析研究[D]. 济南:山东大学, 2019.

[14] 雷李娜,郭国梁. 国内袋式除尘器滤袋滤料标准研究与质量问题分析[J]. 产业用纺织品, 2023, 41(11): 42-45.

[15] 李文刚,路海冰,黄标,等. 热处理聚苯硫醚的红外光谱分析[J]. 合成纤维工业, 2012(2): 71-73.

[16] 郭乃盐,赵霞. 除尘滤袋失效在线检测分析系统的研发[J]. 国际纺织导报, 2021, 49(7): 28-31.

[17] 柳静献,毛宁,孙熙,等. 预防袋除尘滤料失效的措施分析[J]. 中国环保产业, 2019(7): 26-28.

[18] 郑智宏,陈好,陈建文,等. 水泥窑尾收尘器用水刺覆膜滤袋的寿命预估分析[J]. 产业用纺织品, 2023, 41(2): 28-33.

[19] 电力行业环境保护标准化技术委员会. 火力发电厂袋式除尘器用滤料寿命管理与评价方法: DL/T 1514—2016[S]. 北京:中国电力出版社, 2016.