

某燃煤锅炉袋式除尘器滤袋应用分析

陈建文^{1,2,3}

1. 厦门中创环保科技股份有限公司, 福建 厦门 361101;
2. 厦门市袋滤材料与技术重点实验室, 福建 厦门 361101;
3. 华侨大学, 福建 厦门 361021

摘要:针对某燃煤锅炉袋式除尘器运行 18 个月后粉尘排放质量浓度超标的问题, 分别抽取其 A、B 侧各 1 条滤袋进行检测, 从红外光谱、常规性能、微观形貌和过滤性能等多角度表征滤袋的性能。结果显示, A 侧聚苯硫醚(PPS)面层/聚四氟乙烯(PTFE)基布滤袋过滤性能表现良好, B 侧聚酯(PET)+PPS+PTFE 面层/PTFE 基布滤袋过滤性能已失效。使用 A 侧滤袋替换 B 侧滤袋后发现, 除尘器运行良好。研究结果可为燃煤锅炉袋式除尘器的滤袋选用提供技术参考。

关键词: 袋式除尘器; 滤袋; PET 纤维; 红外光谱; 微观形貌; 过滤性能

中图分类号: TB332; X701

文献标志码: A

文章编号: 1004-7093(2026)07-0045-06

Application analysis of filter bags in the bag-type dust collector for a coal-fired boiler

Chen Jianwen^{1,2,3}

1. Xiamen Zhongchuang Environmental Protection Technology Co., Ltd., Xiamen 361101, Fujian, China;
2. Xiamen Key Laboratory of Bag Filter Materials and Technology, Xiamen 361101, Fujian, China;
3. Huaqiao University, Xiamen 361021, Fujian, China

Abstract: Addressing the issue of excessive dust emission mass concentration detected in the bag-type dust collector for a coal-fired boiler after 18 months of operation, one filter bag from each of the side A and side B units was sampled for inspection. The performance of the filter bags was characterized from multiple perspectives, including infrared spectroscopy, conventional properties, micromorphology, and filtration performance. The results indicated that the filter bag on side A with polyphenylene sulfide (PPS) surface layer and polytetrafluoroethylene (PTFE) substrate exhibited good filtration performance, whereas the filter bag on side B with polyester (PET)+PPS+PTFE surface layer and PTFE substrate had lost its filtration performance. Following the replacement of the filter bag on side B with that on side A, the dust collector operated effectively. The research findings provide technical references for the selection of filter bags in the bag-type dust collector for coal-fired boilers.

Keywords: bag-type dust collector; filter bag; PET fiber; infrared spectroscopy; micromorphology; filtration performance

收稿日期: 2025-09-01

作者简介: 陈建文, 男, 1987 年生, 在读硕士研究生, 高级工程师, 主要研究方向为大气污染治理和过滤材料检测, 734336178@qq.com

我国是世界上最大的煤炭生产国和消费国。燃煤在燃烧过程中会释放大量的颗粒物与烟气。其中,颗粒物尺寸以亚微米级为主,主要是 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} ;烟气中含有大量的二氧化硫(SO_2)和氮氧化物(NO_x)等有害气体。它们对人体健康和生态环境构成了严重威胁,已成为国际社会广泛关注的问题。袋式除尘器因高效、稳定和可靠等优势,在燃煤锅炉烟尘治理领域得到广泛应用^[1-4]。滤袋是袋式除尘器的核心部件,同时也是易耗品。据统计,在袋式除尘器的总造价中,滤袋成本占 40%,而更换滤袋的费用更是达到了袋式除尘器日常检修费用的 85% 以上。因此,滤袋性能的优劣直接决定袋式除尘器的整体使用效果和运行成本^[5-7]。而在实际应用中,除尘器本体、滤袋及运维管理等均可引起袋式除尘器的粉尘排放质量浓度超标^[8-10]。

聚酯(PET)纤维又称涤纶,成本低,常用于滤袋开发。林秀丽等^[11]研究了碱性环境对滤料中涤纶的影响,发现在碱性条件下涤纶会水解,其分子结构会有所变化,力学性能会发生衰减。张晓峰等^[12]研究发现,氢氧化钠、氢氧化钾、丙三醇、乙二醇和碱性脂肪酶等试剂均能使涤纶发生降解。柳静献等^[13]研究了温度和时间对涤纶滤料水解特性的影响,发现:中性环境中,延长水解时间或提高水蒸气温度皆会加速涤纶滤料水解;涤纶滤料水解后收缩率增加、脆性增加、纤维间孔隙变大。代峰等^[14]研究了涤纶滤料在复杂烟气环境中的老化行为,发现涤纶滤料在酸碱耦合环境中耐水解性能较差,高温、高湿、高腐蚀性环境中水解老化严重,滤料力学性能下降显著。以上研究多基于实验室数据,缺少实际工程应用案例的佐证。

本研究针对某燃煤锅炉袋式除尘器运行 18 个月后排放超标的问题,在停机检修排除除尘器本体泄漏问题后,对 A、B 侧滤袋进行检测,分析滤袋失效原因并提出解决措施,以期为燃煤锅炉袋式除尘器的滤袋应用提供技术参考。

1 试验准备

某燃煤锅炉袋式除尘器运行工况如表 1 所示。该除尘器 A、B 两侧安装有不同材质的滤袋。停机检修发现除尘器本体无泄漏,但 B 侧大部分滤袋上发现有荧光粉泄漏。于是,分别抽取 A、B 侧滤袋各

1 条送至已通过中国合格评定国家认可委员会(CNAS)认证的实验室进行检测,以期确定袋式除尘器粉尘排放质量浓度超标的原因。

表 1 某燃煤锅炉烟气排放参数

Tab. 1 Emission parameters of flue gas from a coal-fired boiler

项目	参数
烟气流/($\text{km}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	1 700~1 800
烟气温度/ $^{\circ}\text{C}$	120~160
SO_2 质量浓度/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	1 800~2 000
NO_x 质量浓度/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	80~150
O_2 体积分数/%	6~8
H_2O 体积分数/%	5~7

2 试样检测项目及方法

2.1 红外光谱

采用傅里叶变换红外光谱仪(IRAffinity-1S 型,日本岛津)观察并分析滤袋各层所含的官能团情况^[15]。

2.2 面密度

按照 GB/T 4669—2008 标准,在不同的纵横向位置裁取 10 块面积为 100 cm^2 的滤袋试样,利用电子天平(BSM402.3 型,上海卓精电子科技有限公司)称量质量,然后计算滤料试样的面密度,结果取平均值。

2.3 拉伸性能

根据 JB/T 13559—2018 标准,在滤料不同的纵横向位置各取 5 块尺寸为 $5 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ 的试样。按照 GB/T 3923.1—2013 标准,利用电子织物强力机(YG026D-II 型,宁波纺织仪器厂)测试滤料试样的拉伸性能。测试时,设置夹持隔距长度为 20 cm,拉伸速度为 100 mm/min 。测试结果取平均值。

2.4 透气性能

按照 GB/T 5453—1997 标准,在不同纵横向位置各取 10 块面积为 50 cm^2 的滤袋试样,采用全自动透气量仪(YG461E-III 型,宁波纺织仪器厂)测试试样的透气率。测试时,控制两侧压降为 200 Pa。测试结果取平均值。

2.5 微观结构

采用扫描电子显微镜(G4 pure 型,荷兰 Phenom)

观察滤袋试样的微观结构;采用视频显微镜(GYS-2QDM 型,厦门顺达诚)观察滤袋试样横截面的粉尘渗透情况。

2.6 过滤性能

参照 GB/T 6719—2009《袋式除尘器技术要求》附录 B,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^[16]。试验采用氧化铝粉尘(90%粒径小于 1.479 μm),并设定粉尘质量浓度为 5 g/m^3 、过滤风速为 2 m/min 。

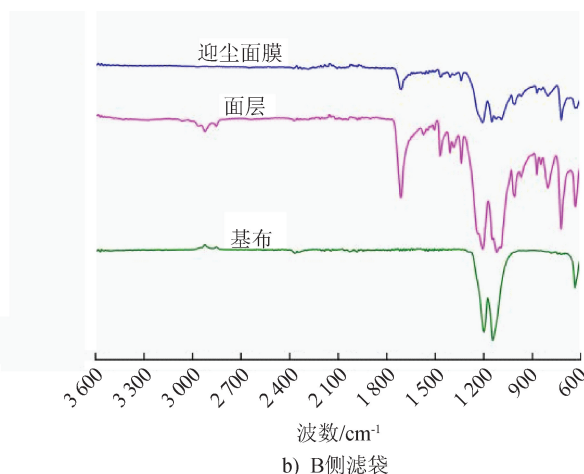
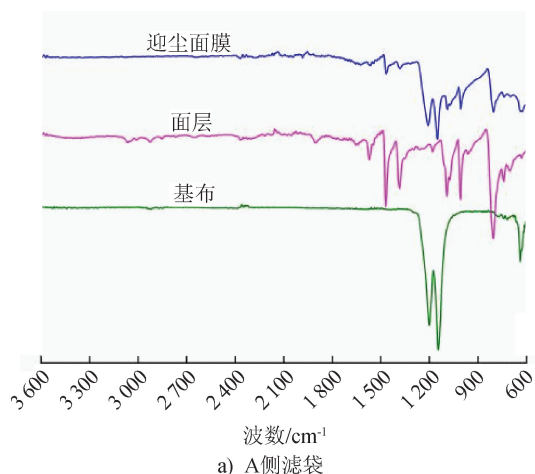


图 1 滤袋的红外光谱

Fig. 1 Infrared spectrum of filter bags

由图 1a)可以看出,A 侧滤袋面层表现出聚苯硫醚(PPS)的特征吸收峰。其中,3 066、3 051 和 3 009 cm^{-1} 处为苯环 C—H 键的伸缩振动吸收峰,1 570 cm^{-1} 和 1 470 cm^{-1} 处为苯环 C=C 键的骨架振动吸收峰,1 072 cm^{-1} 处为对称苯环上 C—S 键的伸缩振动吸收峰,806 cm^{-1} 处为苯环对位取代 C—H 键的面外弯曲振动吸收峰。A 侧滤袋迎尘面膜及基布均表现出聚四氟乙烯(PTFE)的特征吸收峰。其中,1 207 cm^{-1} 处为—CF₂ 的反对称伸缩振动吸收峰,1 150 cm^{-1} 处为—CF₂ 的对称伸缩振动吸收峰,637 cm^{-1} 和 628 cm^{-1} 处为 C—F 的弯曲振动吸收峰。故可以得出,A 侧滤袋面层材质为 PPS 纤维,基布材质为 PTFE 纤维,迎尘面经过了 PTFE 覆膜处理。

由图 1b)可以看出,B 侧滤袋面层除了表现出 PPS 和 PTFE 的特征吸收峰外,还表现出 PET 的特征吸收峰。其中,1 713 cm^{-1} 处为酯羰基 C=O 的伸缩振动吸收峰,1 234 cm^{-1} 和 1 096 cm^{-1} 处为酯键(C—O)的伸缩振动吸收峰,873 cm^{-1} 和 721 cm^{-1}

由于试样为使用过的滤袋,其纤维层中已有粉尘附着,视同已经过老化处理,故本研究仅测试 2 种滤袋试样最后 30 个周期的过滤性能数据。

3 结果与讨论

3.1 红外光谱

图 1 是 2 种滤袋试样的红外光谱图。

处为苯环上 C—H 键的平面外弯曲振动吸收峰。B 侧滤袋迎尘面膜及基布均表现出 PTFE 的特征吸收峰。故可以得出,B 侧滤袋面层材质为 PET、PPS 和 PTFE 纤维,基布材质为 PTFE 纤维,迎尘面经过了 PTFE 覆膜处理^[17-18]。

3.2 常规性能

测得滤袋的常规性能如表 2 所示,可以看出:A 侧滤袋面密度低于 B 侧滤袋。A 侧滤袋纵横向断裂强力较高,清灰后透气量恢复良好;B 侧滤袋横向断裂强力小于纵向,清灰后透气量远超覆膜滤料指标要求[JB/T 11261—2023 中对普通覆膜滤料透气量的技术要求为 20~45 $\text{L}/(\text{dm}^2 \cdot \text{min})$],这说明在实际工况运行中,B 侧滤袋受高温、高湿及腐蚀性气体的影响,纤维受损严重,其断裂强力受到了影响,透气量超出了正常指标要求。A 侧滤袋清灰后透气量指标略微超出技术要求的上限值,分析其原因可能与实验室清灰时人为损伤有关,其相对 B 侧滤袋超出的量值可忽略不计。

表 2 滤袋的常规性能

Tab. 2 Coventional properties of filter bags

样品	面密度/(g·m ⁻²)		断裂强力/N		断裂伸长率/%		透气量/(L·dm ⁻² ·min ⁻¹)	
	载灰时	清灰后	横向	纵向	横向	纵向	载灰时	清灰后
A 侧滤袋	679	554	2 106	1 206	24.8	12.7	19.59	45.85
B 侧滤袋	765	677	537	1 094	7.8	8.2	24.99	102.55

3.3 微观形貌

图 2 是滤袋试样去除表面覆膜后的 SEM 照片。可以看出:A 侧滤袋试样中纤维表面光滑平整,未出现明显的断裂损伤等异常情况;B 侧滤袋试样中纤维出现了明显的裂纹,说明其纤维受到了损伤。

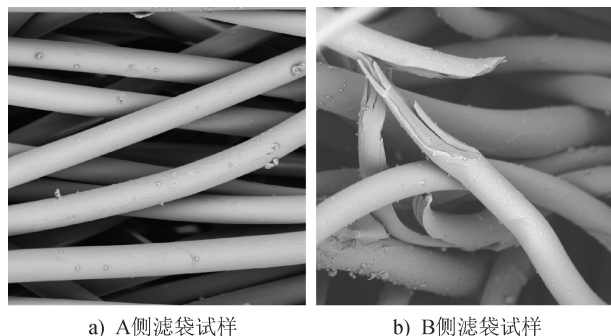


图 2 滤袋试样去除表面覆膜后的 SEM 照片(放大 2 000 倍)
Fig. 2 SEM images of filter bag specimens after removing surface coating (× 2 000 times)

图 3 和图 4 分别是滤袋试样迎尘面 PTFE 膜的 SEM 照片和试样横截面的视频显微镜照片。除尘滤料的过滤方式一般分为表面过滤和深层过滤^[19-20]。表面经覆膜处理的滤料,其过滤属于表面过滤。图 3a)和图 4a)显示,A 侧滤袋试样的迎尘面覆膜的微孔结构保持完好,未见明显的破损,因此该滤袋能将微细粉尘拦截在迎尘面膜的外侧;其试样横截面较干净,未见明显的粉尘附着,说明此时的滤袋仍保持着良好的过滤性能。图 3b)和图 4b)显示,B 侧滤袋试样的迎尘面覆膜局部破损严重,纤维裸露可见,这与面层纤维受损,进而导致纤维和 PTFE 膜间的黏接点破坏有关。此时的滤袋其表面失去了 PTFE 微孔膜的保护,故其过滤属于深层过滤,整个横截面内粉尘残留较多。

3.4 过滤性能

为进一步了解滤袋过滤性能的变化情况,将 A、B 侧滤袋试样分别经 1 000 Pa 定压喷吹清灰 30 次,观察其清灰周期和粉尘排放质量浓度,试验结果如

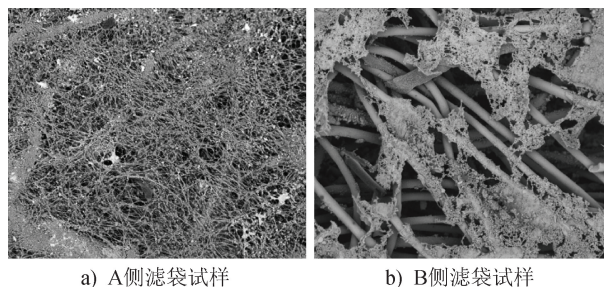


图 3 滤袋试样迎尘面覆膜的 SEM 照片(放大 500 倍)
Fig. 3 SEM images of membrane-coated dust-facing side of filter bag specimens(× 500 times)

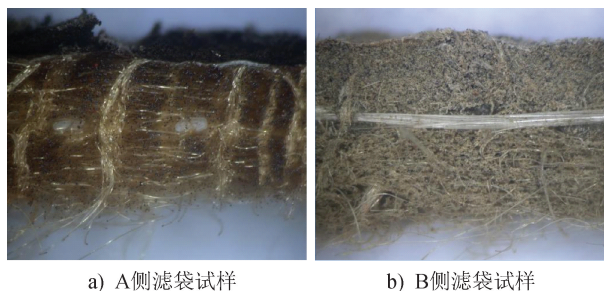


图 4 滤袋试样的横截面视频显微镜照片
Fig. 4 Cross-sectional video micrographs of filter bag specimens

图 5 所示。从图 5 可以看出:A 侧滤袋的清灰周期大于 B 侧滤袋,这与 3.3 节所述 B 侧滤袋 PTFE 膜破损有关,粉尘更易进入 B 侧滤袋内部,堵塞滤袋过滤孔隙,滤袋清灰难度增加、清灰周期缩短;A 侧滤袋的粉尘排放质量浓度较 B 侧滤袋低 1 个数量级,B 侧滤袋已无法满足标准对粉尘排放质量浓度的要求,这也与 B 侧滤袋覆膜已破损,粉尘已穿透至滤袋横截面内部有关,这些粉尘会在过滤与清灰气流的反复作用下从纤维层中逃逸出来。故在复杂的燃煤锅炉工况中,A 侧滤袋会表现出优于 B 侧滤袋的适应性,A 侧滤袋节能减排效果更优。

4 原因分析和解决措施

大部分 B 侧滤袋附近有荧光粉泄漏,原因可能

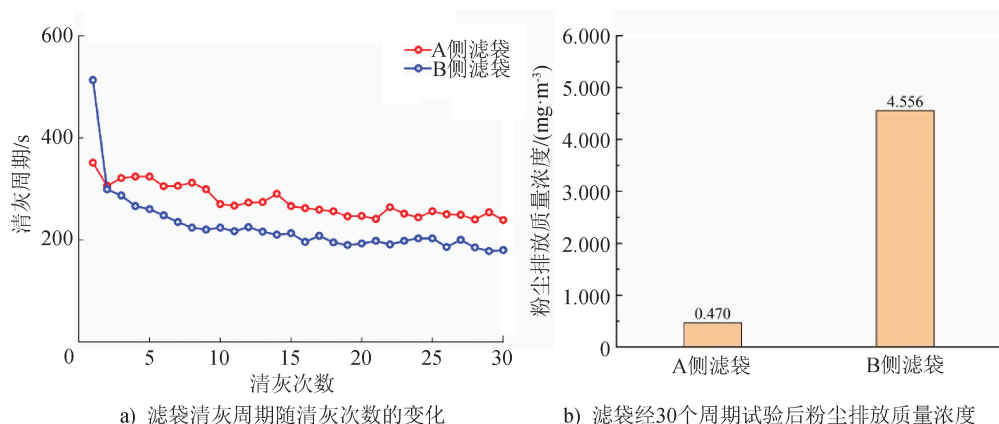


图 5 滤袋试样的过滤性能
Fig. 5 Filtration performance of filter bag specimens

与 B 侧滤袋面层含有 PET 纤维有关。PET 纤维不耐水解,且其长期运行温度应低于 130 ℃,瞬间运行温度应低于 150 ℃^[21]。本研究工况中,烟气温度高达 160 ℃,且含 SO₂、NO_x 等腐蚀性气体,故选用含 PET 纤维的滤袋易发生水解、腐蚀等状况。前述分析已表明,B 侧滤袋的力学性能和过滤性能已无法满足使用要求,而同等使用工况的 A 侧滤袋其力学性能和过滤性能均较好。

因此,选用与 A 侧相同材质的滤袋(只含 PPS 和 PTFE 成分)替换 B 侧滤袋后发现,除尘器运行稳定,其运行压差 < 800 Pa,粉尘排放质量浓度 < 10 mg/m³。据此可知,该除尘器粉尘排放超标的原因因为 B 侧滤袋含有 PET 纤维。

5 结论

2025 年是“双碳”目标提出 5 周年,也是“绿水青山就是金山银山”生态理念提出 20 周年。当前,我国生态环境质量持续改善,但改善成效不够稳固、改善难度在加大。其中,大气污染治理已进入深水区,主要大气污染物协同减排难度大,超标排放、治理设施不正常运行或低效、失效等问题突出。在此背景下,袋式除尘作为电力、钢铁、垃圾焚烧及水泥等行业超低排放中的主力军,其性能直接决定减排时效。对于高温、高湿及含有 SO₂、NO_x 等腐蚀性气体的燃煤锅炉烟气,滤袋选型至关重要。含 PET 纤维的滤袋在这种工况中纤维开裂明显,迎面面 PTFE 膜也因此而破损严重,最终导致滤袋断裂强力和过

滤性能无法满足使用要求。而选用只含 PPS 和 PTFE 成分的滤袋可以非常好地适应这类复杂工况。



期刊采编平台



中国知网下载

参考文献

- [1] 陈立波,徐敬玉. 燃煤锅炉除尘方法概述[J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2022(5): 114-116.
- [2] 陈好,陈建文,郑智宏,等. PPS+PTFE 混纺针刺滤袋在燃煤电厂的应用分析[J]. 产业用纺织品, 2024, 42(6): 48-53.
- [3] 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): 5955-5969.
- [4] 王巍,崔艳艳. 煤电厂排烟中颗粒物分布特性研究[J]. 制冷与空调(四川), 2024, 38(5): 679-684.
- [5] 李桂琼. 布袋除尘器滤袋选型及损坏原因分析[J]. 中国资源综合利用, 2019, 37(7): 116-118.
- [6] 张静云. 伪劣高温滤料的失效探讨[J]. 中国环保产业, 2021(7): 52-55.
- [7] 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.
- [8] 赵承山. 脉冲袋式除尘器收尘效率常见问题及对策[J]. 甘肃科技纵横, 2019, 48(5): 34-36.
- [9] 张国龙. CFB 机组布袋除尘器粉尘排放超标分析及对策[J]. 神华科技, 2016(3): 94-96.
- [10] 符世旭. 行喷吹脉冲袋式收尘器出口粉尘排放浓度

- 超标问题浅析[J]. 建材发展导向, 2023, 21(8): 196-198.
- [11] 林秀丽, 王丽霞, 毛宁, 等. 涤纶滤料碱性水解的实验研究[C]//2018全国袋式除尘技术研讨会. 中国环境保护产业协会, 2018:359-364.
- [12] 张晓峰, 麻文效, 孙佳琪. 涤纶降解工艺的对比研究[J]. 毛纺科技, 2017, 45(5):43-49.
- [13] 柳静献, 汤佳丽, 毛宁. 温度和时间因素对滤料水解特性的影响[J]. 安全与环境学报, 2022, 22(4): 2123-2130.
- [14] 代峰, 柳静献. 钢铁企业除尘用涤纶滤料在复杂烟气环境下的老化行为分析[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2024, 45(6): 883-889.
- [15] 王敬尊, 王霆. 如何解释红外谱图[J]. 大学化学, 2016, 31(6): 90-97.
- [16] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 袋式除尘器技术要求: GB/T 6719—2009[S].
- [17] 曾晓, 陆振乾. 显微红外光谱法定性鉴别除尘滤料中纤维[J]. 合成纤维工业, 2023, 46(4): 87-90.
- [18] 徐燕, 金玉霞, 丁敏俊. 高温过滤材料定性鉴别方法分析[J]. 纺织检测与标准, 2021, 7(5): 14-19.
- [19] 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: 15-24.
- [20] 寇婉婷, 徐玉康, 杨旭红. 袋式除尘滤料的聚四氟乙烯后处理技术研究进展[J]. 现代丝绸科学与技术, 2020, 35(5): 34-40.
- [21] 陈好, 陈建文, 张静云. 水泥磨除尘器用涤纶滤袋的应用探讨[J]. 中国环保产业, 2022(9): 33-35.

欢迎订阅 2027 年《产业用纺织品》

《产业用纺织品》(月刊), 大 16 开, 全彩色印刷, 定价 12.00 元/册, 全年 144.00 元, 中国标准连续出版物号 ISSN 1004-7093, 邮发代号 4-492.
CN 31-1595/TS

《产业用纺织品》创刊于 1983 年, 由教育部主管, 东华大学、全国产业用纺织品科技情报站主办, 中国产业用纺织品行业协会协办, 东华大学期刊中心编辑出版, 月刊, 是全国产业用纺织品领域具有权威性的期刊之一; 为《中国学术期刊影响因子年报》统计源期刊, 已入编中国学术期刊(网络版)、万方数据-数字化期刊群、中文科技期刊数据库、超星期刊域出版平台等; 多次入编《中文核心期刊要目总览》; 现为 CACJ 中国应用型核心期刊; 入选《纺织领域高质量科技期刊分级目录(2025 版)》T3 级; 知网 CI 指数位居纺织科学技术类期刊 Q2 区; 获评上海市高校特色科技期刊; 被 EBSCO 数据库收录; “综述”栏目入选第七届华东地区期刊“优秀栏目”。

秉承“创新、严谨、求实”的办刊作风, 《产业用纺织品》致力于建设高质量、高水平一流学术期刊。期刊以“产业用纺织品”为特色, 主要刊登国内外有

关纺织品的综述文章, 科研与生产技术报告, 报道相关领域的新产品、新材料、新技术及新设备, 并介绍相关的专利、标准、测试方法, 以及相关领域的行业动态、市场信息等。

2027 年, 《产业用纺织品》重点选题方向包括高品质非织造材料、安全防护与应急救援用纺织品、航空航天用高性能纺织品、海洋产业与渔业用纺织品、医疗健康用纺织品、交通运输用纺织品、土工建筑用纺织品、过滤用纺织品等, 欢迎自荐栏目主持人。热忱欢迎国内外产业用纺织行业相关企业工程技术人员、纺织高等院校师生、科研人员等将优秀研究论文发表在《产业用纺织品》上。

《产业用纺织品》承接相关广告, 并热忱为客户宣传, 欢迎有意者来电或 E-mail 联系。

地址: 上海市延安西路 1882 号

东华大学出版社楼 207 室

电话: 021-62378228

E-mail: techtex@dhuf.edu.cn

采编平台: <https://cyf.cbpt.cnki.net>

