

折叠滤筒结构参数的试验验证及工业应用 优化策略

王 锦¹ 戴云峰² 金平良³

1. 上海华滤企业发展有限公司, 上海 201801;
2. 华滤环保(广东)有限公司, 广东 清远 511547;
3. 上海市纺织科学研究院有限公司, 上海 200082

摘 要:针对工业除尘中折叠滤筒因结构参数不当导致的运行阻力大、清灰难等痛点,探究了褶间距与褶深比值对滤筒过滤性能及剥灰率的影响机制。研究表明,剥灰率随褶间距与褶深比值增大而提升;滤筒褶间距与褶深的最优配比区间为 0.38~0.46。工程应用验证显示,在山西某炼钢厂改造项目中,采用优化参数后的滤筒可使系统运行阻力和粉尘浓度明显下降,且滤筒使用寿命显著延长。研究为折叠滤筒的精密制造与工业除尘系统的节能降耗提供了量化依据与实践指导。

关键词: 折叠滤筒;褶间距与褶深比值;过滤性能;优化设计;剥灰率

中图分类号:X701.2

文献标志码:A

文章编号:1004-7093(2026)06-0049-08

Experimental verification of structural parameters and optimization strategies for industrial applications of pleated filter cartridges

Wang Jin¹, Dai Yunfeng², Jin Pingliang³

1. Shanghai Farrleey Enterprise Development Co., Ltd., Shanghai 201801, China;
2. Farrleey Filtration Co., Ltd., Qingyuan 511547, Guangdong, China;
3. Shanghai Textile Science Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200082, China

Abstract: To address high operating resistance and poor cleaning efficiency caused by inappropriate parameter configuration of pleated filter cartridges in industrial dust removal, the impact of the pleat spacing-to-depth ratio on filtration performance and dust removal efficiency was investigated. The results showed that the dust removal efficiency increased with an increased pleat spacing-to-depth ratio; the optimal range for the pleat spacing-to-pleat-depth ratio was 0.38 – 0.46. Engineering application validation demonstrated that, in a steel plant renovation project in Shanxi, the use of optimized filter cartridges could significantly reduce system operating resistance and dust concentration, and extend the service life of the filter cartridges. The study provides a quantitative basis and practical guidance for the precision manufacturing of pleated filter cartridges and energy conservation of industrial dust removal systems.

Keywords: pleated filter cartridge; pleat spacing-to-depth ratio; filtration performance; optimal design; dust removal efficiency

收稿日期:2026-03-29

作者简介:王锦,男,1982年生,在读博士研究生,主要研究方向为产业用纺织品在环保领域的设计、加工及应用,13701983470@163.com

随着工业化进程的推进与环保标准的日益严格,空气过滤已成为工业粉尘治理和节能减排的核心技术。冶金、化工、水泥、煤炭等高耗能行业中,传统袋式除尘器普遍存在过滤面积不足、占地面积大、运行能耗高等问题,难以满足“双碳”战略下超低排放(粉尘浓度 $\leq 10 \text{ mg/m}^3$)与节能降耗的双重要求。折叠滤筒可有效替代传统滤袋,在有限空间内大幅提升过滤面积、降低过滤风速与运行阻力。

折叠滤筒作为一种高效除尘设备,具备高过滤面积(同体积下为传统滤袋的2~3倍)、低运行阻力和良好的清灰性能,近年来在治理工业粉尘领域得到广泛应用。然而,在复杂工况下,其性能仍存在局限性^[1]。工业粉尘具有粒径分布宽、黏性大、湿度高等特点,会显著影响过滤与清灰稳定性。过滤风速、粉尘浓度、温度等工况波动会进一步加大折叠滤筒使用时的结构适配难度。此外,目前产品规格单一,高粉尘浓度、高黏性粉尘清灰能力的不足,导致滤筒寿命缩短、系统能耗与运行维护成本上升。

因此,通过结构参数优化提升复杂工况适应性已成为解决工程应用问题的关键^[2-3]。卜海鹏等^[4]和吴利瑞等^[5]研究表明,滤材微观结构参数直接决定过滤效率,并验证了结构参数对滤筒除尘性能的调控作用,为滤筒结构优化提供了依据。现阶段研究已逐步延伸至新型滤料制备与折叠结构优化,如通过制备梯度复合滤料可有效提升过滤适配性^[6],同时针对工业滤筒的结构参数优化,进一步完善了滤筒设计体系^[7]。冯朝阳^[8]通过试验阐明了过滤器结构与运行阻力的关联规律,为滤筒阻力特性研究提供了理论支撑。近年,国内外的研究方向存在差异,国内学者多聚焦实际应用层面。袁惠新等^[9]分析了滤芯褶皱数对过滤流体力学特性的作用规律;李慧芳等^[10]结合成本效益完成了滤筒结构优化;刘彭^[11]依托数值模拟手段剖析了褶皱滤芯参数特性。国外研究则偏向理论机制探索,如Fong等^[12]针对褶皱过滤器开展了参数优化理论分析。现有研究虽推动滤筒结构与性能不断优化,但大多仅围绕单一参数展开调整,缺乏多参数协同设计思路,同时复杂工况适配探究偏少,材料与结构一体化优化体系尚不完善。

本研究结合试验测试与工程应用,探究褶间距与褶深比值对滤筒阻力、过滤及清灰性能的影响机

制,确定最优参数区间并给出优化设计方案。经实际工况验证,优化结构可降低粉尘浓度、运行阻力与运行维护成本,实现节能降耗,保障滤筒工况稳定、运行高效。研究成果可为滤筒的设计应用提供参考,助力空气过滤与工业除尘技术迭代发展。

1 理论基础和研究方法

1.1 理论基础

1.1.1 颗粒物捕集机制及通风阻力

颗粒物过滤主要依靠多种捕集机制实现。大颗粒主要通过惯性碰撞和重力沉降作用被滤料截留,微细颗粒则借助流体布朗运动产生扩散效应被捕集^[13]。通风阻力反映滤筒对气流的阻碍作用,受结构参数、滤料属性及过滤风速共同影响,一般用初始通风阻力(简称初始阻力)表征。阻力主要由摩擦损耗、湍流损耗与介质渗透阻力构成。优化设计需兼顾过滤效率,通过调整结构与材质参数降低阻力,提升除尘系统综合性能。

1.1.2 过滤效率

过滤效率($e, \%$)通常用滤筒对特定颗粒物的捕集率来衡量,按照式(1)计算。

$$e = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: C_0 为滤筒外部的颗粒物质量浓度, g/m^3 ; C_1 为滤筒内部的颗粒物质量浓度, g/m^3 。

1.1.3 剥灰率

剥灰率是评价滤筒清灰效果的核心指标,受滤筒结构参数、清灰工况及粉尘物性等因素影响。该指标可通过调整结构与清灰参数进行优化,可在保障过滤效率的同时提升清灰能力,削减滤筒的运行维护与能耗成本。剥灰率一般按清灰前后滤筒阻力降幅百分比计算,按工况分为在线剥灰率和离线剥灰率2种,两者计算逻辑相同,但测试条件存在差异。在线剥灰率对应设备运行时的动态工况,过滤与喷吹清灰同步进行;离线剥灰率对应切断除尘器仓室气流时的工况,仓室临时脱离系统过滤流程(离线停风),在无正向烟气流动的静止环境下进行脉冲喷吹清灰。

根据T/CAEPI 72—2023《袋式除尘用折式滤筒技术要求》标准,剥灰率($K, \%$)可以按照式(2)

计算。

$$K = \frac{P - P_i}{P - P_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中: P 为清灰前阻力, P_a ; P_i 为第 i 次清灰后阻力, P_a ; P_0 为洁净滤料阻力, P_a 。

滤筒清灰效果受褶间距、褶深、过滤风速及脉冲清灰参数等多重条件制约。赵志宏^[14]探究了滤筒脉冲喷吹清灰规律,证实了滤筒结构与清灰参数会直接影响清灰效果;Gao 等^[15]也分析了滤筒结构参数与运行阻力的关联特性。合理优化滤筒结构及清灰参数,能够强化气流冲击作用,减弱粉尘黏附与二

次附着现象,有效提升剥灰率。

1.2 研究方法与试验设计

1.2.1 研究方法

研究采用除尘器上机试验,设计筛选了一系列褶间距与褶深比值的滤筒进行试验,探究不同褶间距与褶深比值对滤筒通风阻力、除尘效率、剥灰率等性能指标的影响,得到最优参数区间。

1.2.2 试验设计

为了验证褶间距与褶深比值对滤筒过滤性能的影响,本研究设计了系统的对比试验,试验流程示意如图 1 所示。

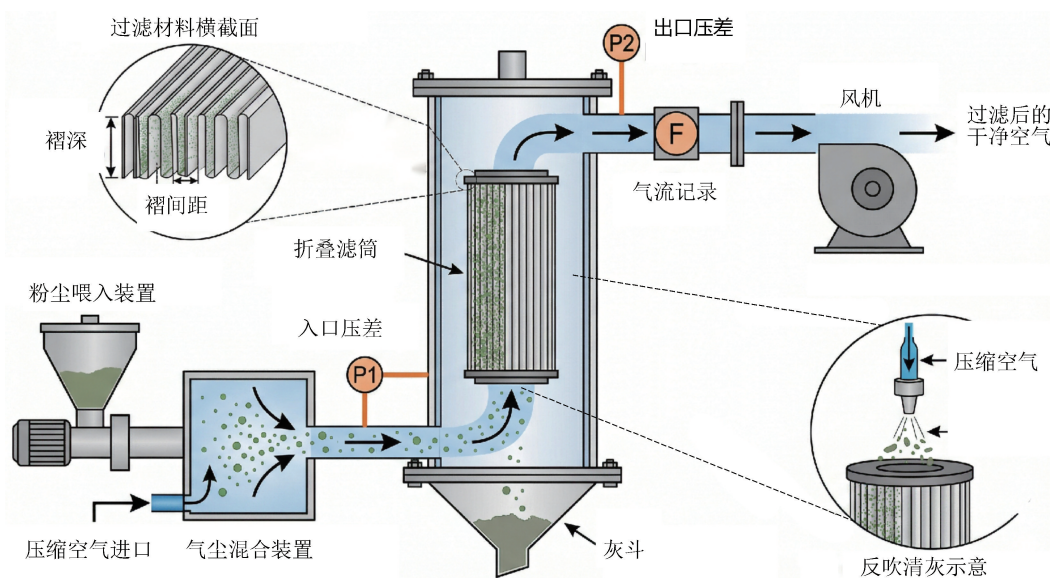


图 1 试验流程示意

Fig. 1 Schematic of test process

试验采用高通透覆膜滤料(Fartex®聚四氟乙烯覆膜滤料)制备了具有不同褶间距与褶深比值的滤筒样品,并严格控制其他结构参数保持一致,以确保试验的对比性。在试验平台搭建方面,利用除尘器试验台集成风速计、颗粒物监测仪及压差传感器,实时采集过滤风速、粉尘浓度及滤筒内外压差等关键数据。试验过程中,设定了 3 种过滤风速(0.6、0.8、1.0 m/min),记录并分析不同褶间距与褶深比值样品的初始阻力、过滤效率及清灰效率。为保证试验数据的有效性,每种过滤风速下均进行 3 次平行试验,结果取算术平均值。同时基于上述试验设计,系统分析了褶间距与褶深比值对滤筒过滤性能的影响规律,以为滤筒结构的优化设计提供科学依据。

2 褶间距和褶深对过滤性能的影响分析

本章基于既有研究成果,结合滤筒应用经验,设计并制造了不同结构参数的滤筒样品。对滤筒进行除尘器上机试验,验证其除尘与清灰效果,以及滤筒在多工况下的适应性。

2.1 褶间距和褶深的定义与测量方法

褶间距是指相邻褶中心线之间的水平距离。测量褶间距时,使用游标卡尺多点测量,结果取平均值。褶深是指滤筒折叠区域的深度。测量褶深时,使用游标卡尺插入褶内部,多点测量,结果取平均值。

2.2 上机试验

2.2.1 试验样品

根据设计需求,制备不同褶间距与褶深比值

的折叠滤筒样品,滤筒照片如图2所示,滤筒样品的参数如表1所示,每个除尘器内配备18支滤筒。

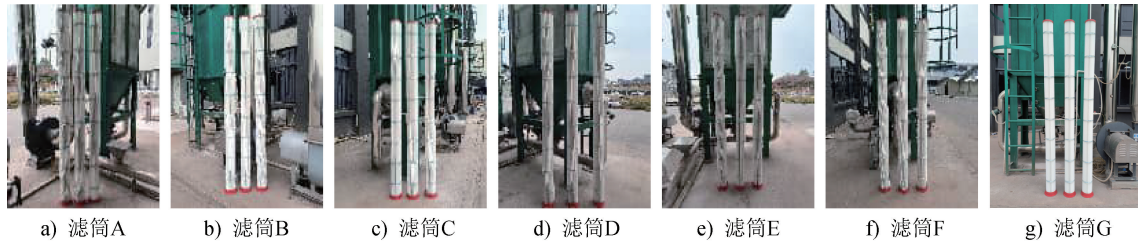


图2 滤筒照片

Fig. 2 Photographs of filter cartridges

表1 滤筒样品参数

Tab. 1 Parameters of filter cartridge samples

滤筒编号	内网直径/ mm	滤筒直径/ mm	滤筒高度/ mm	褶数量/个	褶间距/ mm	褶深/mm	褶间距 与褶深比值	单支滤筒过滤 面积/m ²
A	90	148	500	54	8.61	29	0.30	1.566
B	90	142	500	50	8.92	26	0.34	1.300
C	90	140	500	46	9.56	25	0.38	1.150
D	90	136	500	44	9.71	23	0.42	1.012
E	90	132	500	43	9.64	21	0.46	0.903
F	90	130	500	41	9.96	20	0.50	0.820
G	90	128	500	39	10.31	19	0.54	0.741

2.2.2 试验设备

试验设备主要由除尘器和控制仪等组成(图3),具体的设备参数设置见表2。

表2 设备参数及规格

Tab. 2 Equipment parameters and specifications

设备参数	规格
处理风量/(m ³ ·h ⁻¹)	3 500
风机功率/kW	4
风机全压/Pa	3 000
脉冲阀直径/cm	3.81
脉冲阀数量/个	3
检测仪入口粉尘浓度/(g·m ⁻³)	0~100
检测仪出口粉尘浓度/(mg·m ⁻³)	0~100
传感器压差/Pa	-2 500
传感器压力/MPa	0~1.0
传感仪风速/(m·s ⁻¹)	0~50

2.3 试验结果

2.3.1 初始阻力

选择褶间距与褶深比值在0.30~0.54范围内的折叠滤筒进行上机测试,研究褶间距与褶深比值对通风阻力的影响,以优化滤筒除尘性能。试验结



图3 除尘器及控制仪照片

Fig. 3 Photos of dust collector and controller

果如图4、图5所示。

试验数据表明,当褶间距与褶深比值处于0.38~0.46时,单位面积初始阻力相对较低。这可能与褶间距与褶深比值处于该范围时,气流流经滤筒褶结构时摩擦阻力大幅下降,褶皱间隙不易形成高强度湍流,有效降低了初始阻力有关。然而,当褶间距与褶深比值偏离上述理想范围时,滤筒单位面积初始阻力会相应增加,这可能与流体流动路径的复杂变化以及流体与褶结构相互作用的改

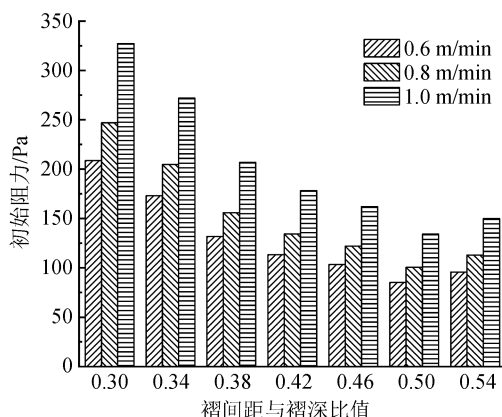


图 4 不同过滤风速下褶间距与褶深比值对初始阻力的影响
Fig. 4 Influence of pleat spacing-to-depth ratio at different filtration velocities on initial resistance

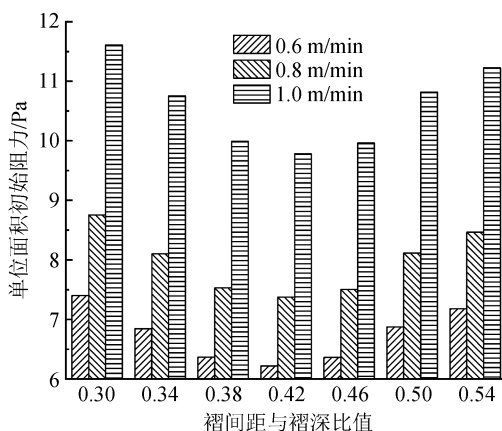


图 5 不同过滤风速下褶间距与褶深比值对单位面积初始阻力的影响
Fig. 5 Influence of pleat spacing-to-depth ratio at different filtration velocities on initial resistance per unit area

变有关。此外,研究还发现通风阻力受过滤风速影响。随着过滤风速的增加,通风阻力普遍呈现上升趋势。这是因为过滤风速增加会导致流体与褶结构之间的相互作用增强,黏性效应与湍流强度加剧。

综上所述,在设计滤筒除尘器时,需综合考虑褶间距与褶深比值、过滤风速等关键因素,以提升通风系统的除尘效率,同时降低通风阻力,从而改善除尘系统的整体性能。

2.3.2 过滤效率

试验探究了不同过滤风速下,滤筒的关键结构参数(褶间距与褶深比值)对过滤效率的影响,结果如图 6 所示。

图 6 试验数据表明,滤筒的过滤效率随褶间距

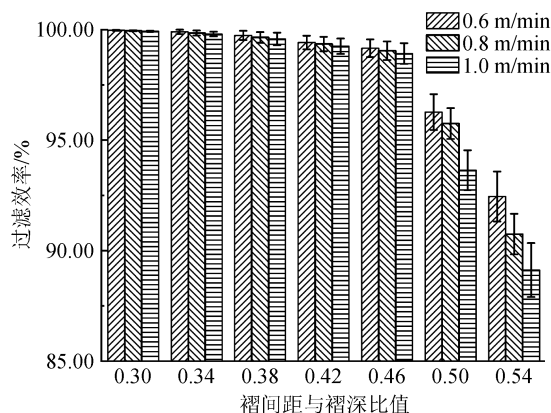


图 6 不同过滤风速下褶间距与褶深比值对过滤效率的影响
Fig. 6 Influence of pleat spacing-to-depth ratio at different filtration velocities on filtration efficiency

与褶深比值的增大逐渐下降。具体表现为,当该比值从 0.30 增至 0.54,在 0.6、0.8 和 1.0 m/min 的过滤风速下,过滤效率分别从 99.97% 降至 92.45%、从 99.95% 降至 90.75%、从 99.93% 降至 89.12%。

这一现象可能与褶间距与褶深比值增大,即褶间距增大或褶深减小时,滤筒有效过滤面积减小,部分区域气流过于集中,使得沉积的颗粒物增多,滤筒的通风阻力增大有关。同时,过滤面积利用不足也会影响清灰效果,使滤筒表面的颗粒物无法被有效清除。此外,通风阻力的增加还会进一步影响除尘系统的通风量。这些因素综合作用,最终导致过滤效率显著下降。

2.3.3 在线剥灰率

试验探究了不同过滤风速下,褶间距与褶深比值对滤筒除尘器清灰性能的影响。为保持单位面积清灰压力一致,设定滤筒 A、B、C、D、E、F、G 的喷吹压力分别为 0.47、0.43、0.40、0.38、0.36、0.34、0.32 MPa,测试结果如图 7 所示。

图 7 表明,当褶间距与褶深比值从 0.30 增至 0.54 时,滤筒在不同过滤风速下的在线剥灰率均逐渐提高。这可能与褶间距增大或褶深减小时,滤筒内气流分布更加均匀,褶间通道更为宽敞,清灰气流阻碍与涡流减少,能顺畅穿透并作用于滤料表面有关。均匀的气流使粉尘受力均匀,附着力减小,气流冲击力有效传递至滤料积尘表面,粉尘更易脱落并顺利排出,减少滞留与二次附着。然而,过大的褶间距或过小的褶深会导致滤筒过滤面积显著下降,进而降低过滤性能。

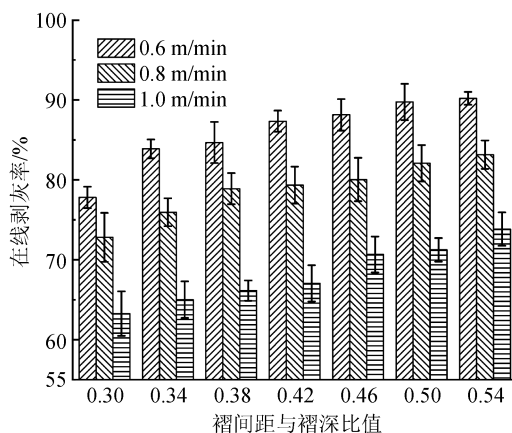
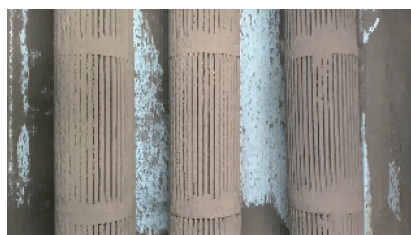


图7 不同过滤风速下褶间距与褶深比值对在线剥灰率的影响
Fig. 7 Influence of pleat spacing-to-depth ratio at different filtration velocities on online dust removal efficiency

因此,在滤筒褶结构选型中,应优先选择褶间距与褶深比值在0.38~0.46范围内的滤筒。在此比值下,滤筒因较大的过滤面积具备良好的过滤性能,且在不同过滤风速下剥灰率均处于较高水平,具备较好的清灰效果。研究还发现,低过滤风速时滤筒的在线剥灰率较高,这是因为低过滤风速时清灰气流与过滤气流方向相反,更有利于积灰的清除。综上,合理选择褶间距与褶深比值可提高在线剥灰率,提升清灰效率,降低维护成本与能源损耗。



a) 清灰前



b) 清灰后

图9 滤筒清灰前后照片对比

Fig. 9 Photos of filter cartridges before and after ash cleaning

综合考虑滤筒的过滤性能以及清灰性能发现,褶间距与褶深比值为0.38~0.46时,所制备的滤筒既能保持较高的过滤效率,又具备良好的清灰效果,是理想的滤筒参数设计区间。

2.3.5 多工况适应性验证

为验证褶间距与褶深比值为0.38~0.46时,折叠滤筒在不同工况下的适应性和可靠性,本研究设计了高温($\geq 150\text{ }^{\circ}\text{C}$)、高湿(相对湿度 $\geq 70\%$)、高过滤风

2.3.4 离线剥灰率

试验还探究了离线停风条件下褶间距与褶深比值对滤筒除尘器清灰性能的影响,结果如图8所示,滤筒清灰前后的照片如图9所示。

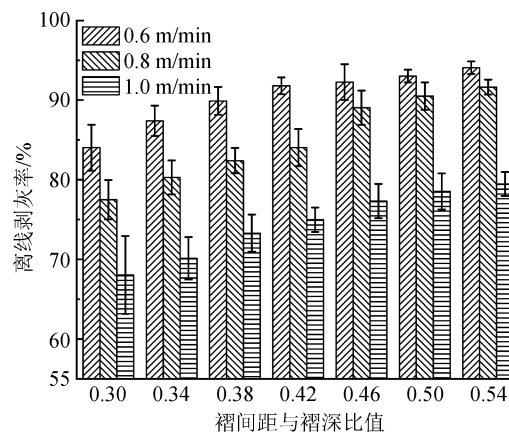


图8 不同过滤风速下褶间距与褶深比值对离线剥灰率的影响

Fig. 8 Influence of pleat spacing-to-depth ratio at different filtration velocities on offline dust removal efficiency

研究表明,当滤筒褶间距与褶深比值增大时,滤筒在不同过滤风速下的离线剥灰率均呈现出逐渐增强的趋势,其中褶间距与褶深比值为0.38~0.46时,离线剥灰率的提升幅度较大,当比值超过此区间后,离线剥灰率增长缓慢。

速($\geq 1.5\text{ m/min}$)、高粉尘浓度(粉尘浓度 $\geq 50\text{ g/m}^3$)4种典型工况,结果如表3所示。

结果表明,在高温、高湿、高过滤风速和高粉尘浓度4种典型工况下,褶间距与褶深比值为0.38~0.46时的折叠滤筒均表现出优异的综合性能。具体而言,滤筒的过滤效率在所有工况下均保持在98.0%以上,剥灰率随褶间距与褶深比值的增大而提高,最高可达89%。在高过滤风速工况下,通风阻力

表 3 滤筒在多工况下的适应性验证结果

Tab.3 Adaptability verification results of filter cartridges at multiple working conditions

工况条件	滤筒编号	过滤效率/%	剥灰率/%
高温	C	98.9	86
高温	D	99.0	88
高温	E	99.1	89
高湿	C	99.3	86
高湿	D	99.2	88
高湿	E	99.1	89
高过滤风速	C	98.6	84
高过滤风速	D	98.4	86
高过滤风速	E	98.2	88
高粉尘浓度	C	99.0	84
高粉尘浓度	D	98.8	86
高粉尘浓度	E	98.6	88

显著降低,能耗减少。在高温工况下,滤筒材料展现出较高耐久性,在运行 1 000 h 后性能下降幅度较小。

综合来看,褶间距与褶深比值为 0.38~0.46 时,滤筒能够在典型工况下实现高效过滤与清灰,同时降低系统能耗及维护成本,故建议在实际应用中优先选择该比值范围内的滤筒。

3 工业应用案例分析

在山西某炼钢厂建设了处理风量为 $1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{h}$ 的转炉三次烟气滤筒除尘系统超低排放低能耗项目,如图 10 所示。



图 10 山西某炼钢厂除尘项目照片

Fig. 10 Photos of dust removal project in a steel plant in Shanxi province

3.1 项目改造背景

山西某炼钢厂现有除尘系统采用传统布袋除尘器,存在通风阻力大、风机能耗较高等问题;同时为了降低压差,喷吹压力高并且次数频繁,导致滤袋使用寿命较短,频繁更换维护成本高。这些问题不仅增加了环保超标风险,还影响了生产效率和经济效益,亟需通过技术改造优化除尘系统,以实现节能减排与可持续发展。

3.2 改造措施

针对原有系统存在的问题,本次改造采取了多项针对性优化措施。首先,从滤筒结构入手,精确控制几何参数,确保褶间距与褶深比值稳定在 0.38~0.46 的优选范围内,从而在提升过滤效率的同时保障清灰效果。其次,系统通过对喷吹压力、持续时间及频率进行精细化调整,确立了最佳清灰参数。最后,在滤料选型上,采用了兼具高过滤性能与优异耐久性的 Farrtex® 聚四氟乙烯覆膜滤料,以从根本上延长滤筒的使用寿命。

3.3 改造效果

改造实施后,系统运行指标得到显著改善。运

行阻力由改造前的 1 200 Pa 大幅下降至 950 Pa,有效降低了系统能耗;滤筒使用寿命更是从传统滤袋的 1.5 年延长至 3.5 年,显著降低了备件更换频率与后期维护成本。在节能减排方面,得益于运行阻力的降低与清灰系统的优化,项目每年可节约标准煤约 2.85 万 t,减排 CO_2 约 5.69 万 t,环境效益与经济效益显著。

3.4 改造效益

此次改造显著延长了滤筒寿命并降低了维护成本,直接减少了企业的运营支出。同时,粉尘浓度大幅降低,有效减少了大气污染物的排放量,显著改善了空气质量,实现经济与环境效益的双重提升。根据第三方检测报告,改造后的滤筒除尘系统在粉尘浓度和运行阻力方面均达到了设计要求,系统运行稳定,维护成本低。用户使用证明显示,企业对此改造效果高度认可。

综上,通过本项目的实施证明,采用优化的褶间距与褶深比值设计的折叠滤筒,在钢铁行业的超低排放改造中展现出卓越的性能与显著的环境效益与经济效益,这为其他行业提供了可借鉴的成功案例。

4 总结

研究采用多工况试验,探究了褶间距与褶深比值对折叠滤筒过滤性能的影响规律,并提出了结构参数优化策略。研究表明,剥灰率随该比值增大而提升,而过滤效率则随比值增大而逐渐下降。综合过滤与清灰性能,确定 0.38~0.46 为褶间距与褶深比值的最优设计参数区间。在此区间内,滤筒既能保持较高的过滤效率,又能实现良好的清灰效果,显著提升滤筒除尘器的整体性能,为实际工业应用提供了科学依据。

此外,研究还结合工业案例证明了优化后的滤筒可显著降低粉尘浓度,减小系统运行阻力,延长滤筒使用寿命,并达到了显著的节能降耗效果,兼具显著的环境与经济效应,这充分证明了优化设计策略在实际工程中的可行性与有效性。研究不仅为折叠滤筒的制造和使用提供了理论支持和实践指导,也为空气过滤技术的进步和环保节能目标的实现提供了有力支撑。



期刊采编平台



中国知网下载

参考文献

- [1] 张一帆,陈海焱,覃金珠. 滤筒除尘器及应用现状[J]. 能源与环境, 2009(5): 47-49.
- [2] 李慧芳. 新型滤筒除尘器的性能试验研究及工业应用[D]. 马鞍山:安徽工业大学, 2016.
- [3] 刘道清. 空气过滤技术研究综述[J]. 环境科学与管理, 2007, 32(5): 109-113.
- [4] 卜海鹏,杨洪兴,李宪莉,等. 滤材结构参数对过滤器过滤效率的影响[J]. 流体机械, 2018, 46(3): 1-6.
- [5] 吴利瑞,茅清希,梅红生,等. 滤筒结构优化试验研究[J]. 环境工程, 2003, 21(3): 39-41.
- [6] 朱景晶. 褶式过滤介质过滤性能的多尺度模拟与结构优化研究[D]. 马鞍山:安徽工业大学, 2020.
- [7] 查文娟,钱付平,鲁进利,等. 基于阻力的 V 型褶式滤芯结构参数的响应面法优化[J]. 过程工程学报, 2013, 13(5): 771-775.
- [8] 冯朝阳. 高效空气过滤器阻力与结构关系的试验研究[D]. 北京:清华大学, 2007.
- [9] 袁惠新,董擎天,付双成,等. 滤芯褶数对气体过滤器流体动力学性能影响的研究[J]. 流体机械, 2018, 46(1): 10-14.
- [10] 李慧芳,钱付平,史德明,等. 基于成本效益法优化新型滤筒除尘器结构[J]. 过程工程学报, 2015, 15(6): 988-993.
- [11] 刘彭. 基于 FLUENT 技术的折褶滤芯结构参数研究[J]. 过滤与分离, 2014, 24(3): 11-16.
- [12] FONG D, SANAEI P. Optimization of pleated filters[J]. Physics of Fluids, 2024, 36(9): 093352.
- [13] 付海明,沈恒根. 空气过滤理论研究与发展[J]. 过滤与分离, 2003, 13(3): 20-24.
- [14] 赵志宏. 滤筒脉冲喷吹清灰特性研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2024.
- [15] GAO J, WANG W, CAO C S, et al. The relationship between the resistance characteristics and structural parameters of the elongated filter cartridge in the dust collector[J]. Energy and Built Environment, 2025, 6(5): 847-861.

保护商业秘密

护航产业发展