

后处理工艺对抗静电滤料性能的影响

柳静献 任 磊

东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819

摘要:选择基布中嵌织导电纱线的基布导电型和面层中混入导电纤维的面层导电型 2 种典型抗静电滤料作为基材,进行聚四氟乙烯 (PTFE) 乳液浸渍处理和 PTFE 微孔膜覆膜处理,得到面密度和厚度均匀的复合滤料。再基于电阻率、静电压衰减时间及摩擦带电电压 3 项指标,从静电荷的消散及积聚 2 个角度,探究了后处理工艺对抗静电滤料性能的影响。试验结果表明:浸渍处理后,滤料抗静电性能提升,2 种滤料的迎尘面表面电阻率和体积电阻率均降低且降幅小于 1 个数量级,基布导电型滤料和面层导电型滤料的迎尘面静电压半衰期分别由 0.40 s、0.23 s 缩短至 0.38 s、0.20 s,摩擦时间为 60 s 时摩擦带电电压分别由 1 043 V、596 V 减小至 668 V、67 V。覆膜处理后,滤料抗静电性能下降,基布导电型滤料迎尘面表面电阻率升高且升幅为 1 个数量级、体积电阻率升高但升幅小于 1 个数量级,面层导电型滤料迎尘面表面电阻率和体积电阻率均升高且升幅为 4 个数量级,基布导电型滤料和面层导电型滤料迎尘面静电压半衰期分别由 0.40 s、0.23 s 延长至 0.53 s、0.77 s,摩擦时间为 60 s 时摩擦带电电压分别由 1 043 V、596 V 增大至 1 952 V、920 V。

关键词:后处理工艺;浸渍处理;覆膜处理;抗静电滤料;表面电阻率;体积电阻率;静电压衰减时间;摩擦带电电压

中图分类号:TS 176; X 964

文献标志码: A

文章编号: 1004-7093(2024)07-0019-08

Effect of post-treatment process on performance of antistatic filter materials

Liu Jingxian, Ren Lei

School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, Liaoning, China

Abstract: Two typical antistatic filter materials, the conductive type of the base cloth embedded with conductive yarns and the conductive type of the surface layer mixed with conductive fibers, were selected as the substrate, and polytetrafluoroethylene (PTFE) emulsion impregnation treatment and PTFE microporous film coating treatment were carried out to obtain the composite filter material with uniform surface density and thickness. Then based on electrical resistivity, static voltage decay time and friction charged voltage 3 indexes, the effects of post-treatment process on the properties of antistatic filter materials were investigated from the perspectives of dissipation and accumulation of static charges. The experimental results showed that, the antistatic performance of the filter material increased after impregnation treatment. The surface resistivity and volume resistivity of the dust-

基金项目:国家十四五重点研发计划(2022YFC2503201);国家自然科学基金(52174215);辽宁省兴辽人才计划(XLYC2002091);辽宁省揭榜挂帅科技攻关专项(2021JH1/10400023);浙江省重点研发计划(2020C03089)

收稿日期:2024-03-26

作者简介:柳静献,男,1966年生,教授,博士生导师,主要研究方向为过滤材料、工业通风、矿井通风与地热控制等,82003@163.com

facing surface of the two kinds of filter materials decrease by less than one order of magnitude. The static voltage half-life of the dust-facing surface of the substrate conductive filter material and the surface conductive filter material was shortened from 0.40 s and 0.23 s to 0.38 s and 0.20 s respectively. The friction charged voltage decreased from 1 043 V and 596 V to 668 V and 67 V respectively when the friction time was 60 s. The experimental results also showed that, the antistatic performance of the filter material decreased after film coating treatment. The surface resistivity of the dust-facing surface of the substrate conductive filter material increased by one order of magnitude, and the volume resistivity increased by less than one order of magnitude. The surface resistivity and volume resistivity of surface conductive filter material increased by 4 orders of magnitude. The static voltage half-life of the dust-facing surface of the substrate conductive filter material and the surface conductive filter material was prolonged from 0.40 s and 0.23 s to 0.53 s and 0.77 s respectively. The friction charged voltage increased from 1 043 V and 596 V to 1 952 V and 920 V respectively when the friction time was 60 s.

Keywords: post-treatment process; impregnation treatment; film coating treatment; antistatic filter material; surface resistivity; volume resistivity; electrostatic voltage decay time; friction charged voltage

袋式除尘器具有运行稳定、除尘高效、清灰彻底等特点,被广泛应用于工业粉尘治理领域。滤料作为除尘器的关键组成部分,在粉尘捕集过程中发挥着极为重要的作用。随着科技的发展,滤料的材质已由早期的棉、麻等天然纤维转变为品质更加优越的合成纤维,滤料性能得到大幅提升^[1]。但是有机合成材料具有高阻性,袋式除尘器运行过程中,粉尘、纤维与袋笼骨架间碰撞摩擦易产生静电并积聚在滤料中,难以快速消散。若静电荷积聚至一定程度,则可能引发火花放电,进而导致粉尘爆炸等静电灾害发生^[2]。大量生产经验表明,抗静电滤料的应用可以有效降低静电灾害发生的可能性。经过多年的发展,抗静电滤料主要可归纳为基布中嵌织导电纱线型、面层中混入导电纤维型、缝合处编织金属长丝型,以及表面进行抗静电剂整理型等四大类型。鉴于抗静电剂效果受环境湿度限制(只有当环境湿度达到一定水平时抗静电效果才显著),而其余几类通过填充导电材料实现的抗静电效果则不受环境湿度因素制约,并表现出更稳定的抗静电性,因此在实际生产中较为常见。

同常规滤料一样,抗静电滤料在经过开松、混料、梳理、成网、针刺等步骤基本成型后^[3],为实现更高效的除尘效率或满足不同工况条件下对滤料性能的特殊需求,需进行再加工后处理。常见的后处

理工艺包括烧毛、热轧、热定型、浸渍、涂层、覆膜等,其中烧毛、热轧、热定型等直接对滤料进行加工处理以改善其表面特性,而浸渍、涂层、覆膜等则在滤料内部或表面加入新的成分或形成新的结构获得复合材料,以进一步提高滤料的各项性能^[4-7]。由于浸渍、涂层、覆膜等处理后滤料自身组成发生了改变,因而滤料的抗静电性能将不可避免地受到影响。因此,借助科学的抗静电性能评价方法探究后处理工艺对抗静电滤料性能的影响,对抗静电滤料的开发具有重要意义。

目前有关滤料抗静电性能方面的研究报道尚且较少。卢亚菁等^[8]通过多项抗静电评价指标,对比分析了抗静电滤料与非抗静电滤料在抗静电性能方面的差异;韩旭等^[9]重点探究了荷尘状态下,不同环境湿度及不同抗静电处理方式对抗静电滤料抗静电性能的影响;刘娜等^[10]选择3种非抗静电改性滤料作为研究对象,探究了聚四氟乙烯(PTFE)乳液浸渍前后滤料静电电压半衰期的变化。但有关抗静电滤料在工艺处理前后性能发生的变化,尚未有深入的探究。基于以上研究背景,本研究选择抗静电处理方式分别为基布中嵌织导电纱线和面层中混入导电纤维的2种针刺毡滤料作为抗静电滤料基材展开系列试验。2种滤料基材中导电材料分布相对均匀,抗静电性能较为稳定,且结构相似,具有可比性。

对滤料基材分别进行 PTFE 乳液浸渍处理和覆膜处理,得到复合滤料。在分析滤料处理前后基本性能的基础上,重点探究浸渍处理和覆膜处理对滤料抗静电性能的影响。由于抗静电性能既包括加快静电荷消散的能力,又包括减少静电荷产生的能力,因而通过单一的评价指标往往难以全面地评价滤料的抗静电性能。本文将采用电阻率、静电压衰减时间与摩擦带电电压这 3 项指标,分别从静电的消散和积聚这 2 个角度,对滤料抗静电性能进行综合测评。

1 试验

1.1 材料及设备

试验材料:抗静电滤料 A,基布中经向均匀嵌织导电纱线的基布导电型滤料,导电纱线间隔距离为 1 cm,为实验室留存滤料;抗静电滤料 B,面层中混入导电纤维的面层导电型滤料,其迎尘面导电纤维掺入量多于净气面,为实验室留存滤料;聚酰胺(PA)热熔胶网膜,面密度为 8 g/m²,使用温度为 130~160 ℃,苏州涵睿斯新材料科技有限公司;PTFE 微孔膜,平均孔径为 0.3 μm,苏州泽优氟塑料科技有限公司;PTFE 乳液,固含量为 60%,山东东岳高分子材料有限公司;去离子水,实验室自制。

试验设备:YG(B)141D 型数字式织物厚度仪,温州市大荣纺织仪器有限公司;FED400 型多功能热风循环烘箱,德国 BINDER 公司;LFY-406 型织物表面比电阻测试仪,山东省纺织科学研究院;LFY-401 型织物感应式静电测试仪,山东省纺织科学研究院;LFY-402 型织物摩擦式静电测试仪,山东省纺织科学研究院;BT224S 型分析天平,沈阳龙腾电子有限公司;JF-956S 型双数显恒温加热台,东莞市长安金峰电子工具厂;Gemini 300 型扫描电子显微镜(SEM),德国 ZEISS 公司。

1.2 试验方法

浸渍处理:称取 60 g 固含量为 60% 的 PTFE 乳液于容器中,加入去离子水稀释至质量分数为 6%,得到浸渍乳液;将滤料基材裁剪至规定大小的试样备用。具体工艺如图 1a) 所示,将滤料基材浸渍在质量分数为 6% 的 PTFE 乳液中,浸渍 6 min 后取出

并轧去多余乳液,在烘箱中 120 ℃ 处理至水分完全蒸发,得到试验样品。

覆膜处理:采用胶膜复合法将 PTFE 微孔膜与抗静电滤料基材黏合在一起,形成 3 层复合结构的覆膜抗静电滤料。具体工艺如图 1b) 所示,即先将 PTFE 微孔膜放置在加热台上加热到 135 ℃,再将热熔胶膜与抗静电滤料基材同时放置在 PTFE 微孔膜上,热熔胶膜在高温下迅速熔化,此时即进行热压处理,使 PTFE 微孔膜与滤料基材充分贴合在一起。

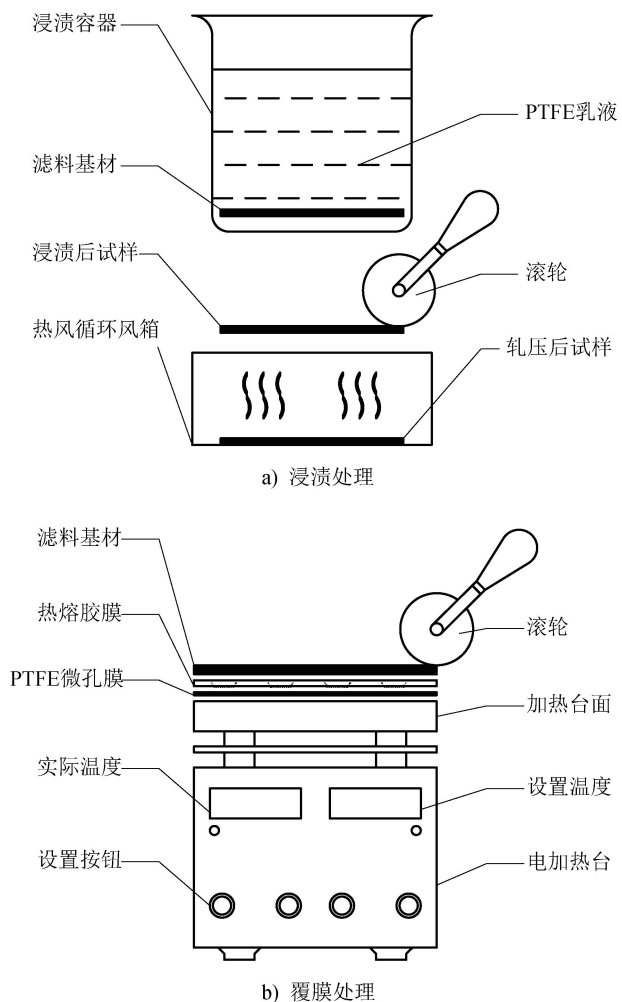


图 1 抗静电滤料基材后处理工艺示意
Fig. 1 Post-treatment process diagram of antistatic filter materials

1.3 表征与测试

1.3.1 微观形貌及基本性能

微观形貌:滤料试样表面进行喷金处理后,将试样置于扫描电子显微镜的试样台上,观察试样表面的微观形貌。

面密度:依据 GB/T 24218.1—2009《纺织品 非织造布试验方法 第1部分:单位面积质量的测定》标准,测试并计算试样的面密度。

滤料厚度:依据 GB/T 24218.2—2009《纺织品 非织造布试验方法 第2部分:厚度的测定》标准,测试试样的厚度。

1.3.2 电阻率

表面电阻率、体积电阻率是分别表征滤料中积聚电荷通过滤料表面、内部泄露难易程度的物理量,两者均是影响静电电荷消散速度的重要因素。电阻率的测试依据 GB/T 12703.4—2010《纺织品 静电性能试验方法 第4部分:电阻率》进行,如图2所示,利用三电极法测试试样的表面电阻、体积电阻。取3组测试的均值作为结果。试验环境条件为温度 25℃、相对湿度约 40%。

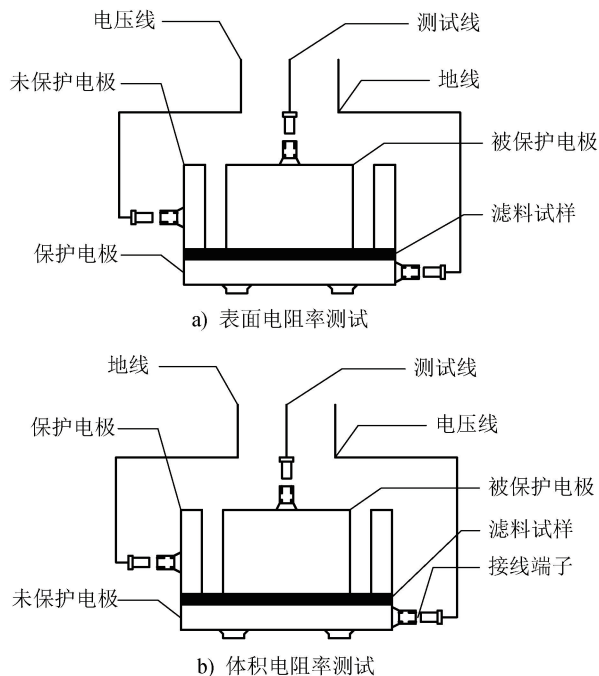


图2 电阻率测试装置示意及接线方法

Fig. 2 Resistivity test devices diagram and connection methods

测得表面电阻值后按照式(1)计算表面电阻率:

$$\rho_s = R_s \times \frac{L}{\omega} \quad (1)$$

式中: ρ_s 为表面电阻率, Ω ; R_s 为表面电阻, Ω ; L 为被保护电极的有效周长,cm; ω 为电极间距离,cm。

测得体积电阻值后按照式(2)计算体积电阻率:

$$\rho_v = R_v \times \frac{A}{h} \quad (2)$$

式中: ρ_v 为体积电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$; R_v 为体积电阻, Ω ; A 为被保护电极的有效面积, cm^2 ; h 为试样厚度,cm。

1.3.3 静电压衰减时间

静电压衰减时间是表征材料静电消散速度的物理量,其能够直观地反映积聚在滤料中静电电荷消散能力的强弱。测试依据 GB/T 12703.1—2021《纺织品 静电性能试验方法 第1部分:电晕充电法》进行,利用 10 kV 高压针电极,通过电晕放电电离空气,实现试样带电。电晕放电 30 s 后断开高压电源,试样静电压通过接地金属台自然衰减,记录衰减时间。取 3 组试样的测试均值作为试验结果。试验环境条件为温度 25℃、相对湿度约 40%。

1.3.4 摩擦带电电压

摩擦带电电压是表征材料通过摩擦产生静电效应的物理量,其在一定程度上能够反映滤料在应用过程中静电电荷积聚的能力。测试依据 GB/T 12703.5—2020《纺织品 静电性能试验方法 第5部分:旋转机械摩擦法》进行,利用转鼓式旋转装置,通过与锦纶标准布摩擦使试样带电,检测试样表面电荷积聚产生的对地电位瞬时峰值。取 3 组试样的测试均值作为试验结果。试验环境条件为温度 25℃、相对湿度约 40%。

2 结果与讨论

2.1 后处理工艺对滤料基本性能的影响

为探究浸渍处理、覆膜处理对抗静电滤料基本性能的影响,观察 2 种滤料处理前后的微观形貌,测试 2 种滤料处理前后的面密度、厚度,并计算厚度、面密度的离散系数。图 3 和图 4 为 2 种滤料处理前后迎尘面 SEM 照片,表 1 为 2 种滤料处理前后基本性能参数对比。

图 3a) 和图 4a) 显示工艺处理前,2 种滤料中纤维表面光滑,纤维间纵横交错,分布杂乱。在原料构成上,基布导电型滤料迎尘面由单一纤维构成,面层导电型滤料迎尘面由 2 种纤维构成。2 种滤料的 SEM 照片显示纤维表面无附着物。图 3b) 和图 4b) 显示浸渍处理后,PTFE 微粒已有效附着于 2 种滤料

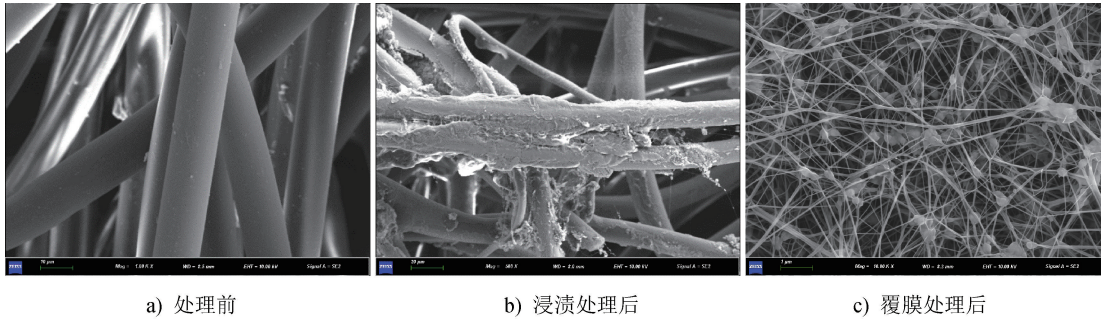


图 3 基布导电型滤料迎尘面微观形貌

Fig. 3 Microtopography of dust-facing surface of the substrate conductive filter material

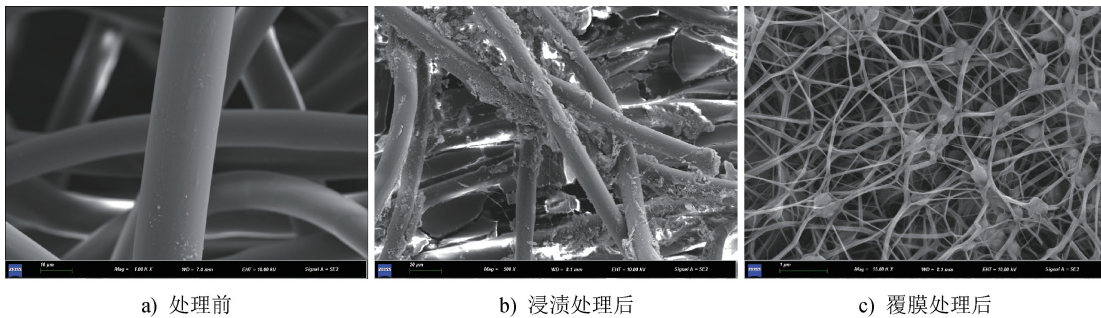


图 4 面层导电型滤料迎尘面微观形貌

Fig. 4 Microtopography of dust-facing surface of the surface conductive filter material

表 1 抗静电滤料基本性能参数对比

Tab. 1 Comparison of basic performance parameters of antistatic filter materials

试样	面密度/($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	面密度 CV 值/%	厚度/mm	厚度 CV 值/%	
基布导电型滤料	未处理	608.44	4.67	2.54	3.45
	浸渍处理	645.47	2.51	2.71	4.19
	覆膜处理	623.91	1.64	2.57	3.27
面层导电型滤料	未处理	566.88	4.04	3.20	3.34
	浸渍处理	619.85	4.39	2.96	3.72
	覆膜处理	582.03	2.96	2.78	3.07

的纤维表面,且相互之间发生了交联,纤维缠结更加紧密。图 3c)和图 4c)显示覆膜处理后,2 种滤料表面错杂无序的纤维被连续的具有空间立体网状结构的微孔薄膜所覆盖,且薄膜表面完好,无破损。

表 1 显示:

(1) 基布导电型滤料浸渍后面密度从 608.44 g/m^2 增长至 645.47 g/m^2 ,说明有一定量的 PTFE 微粒已经有效附着在滤料纤维表面,且滤料厚度从 2.54 mm 增加至 2.71 mm ;面层导电型滤料浸渍后面密度从 566.88 g/m^2 增长至 619.85 g/m^2 ,但厚度下降,这与所用滤料在浸渍处理前结构较为松散,浸渍轧压后变得更加紧实有关。

(2)覆膜处理后,基布导电型滤料和面层导电型滤料表面因附着了热熔胶膜和 PTFE 微孔膜而面密度分别提高了 15.47 g/m^2 和 15.15 g/m^2 。基布导电型滤料厚度增加,面层导电型滤料厚度下降,都是覆膜热压处理引起滤料结构变化所致。

(3)浸渍处理和覆膜处理前后,2 种滤料的面密度、厚度的离散系数(CV 值)均小于 5%,说明处理前后滤料试样都具有较好的均匀性和稳定性,这为后续的试验及分析后处理工艺对滤料抗静电性能的影响提供了坚实基础。

2.2 后处理工艺对滤料电阻率的影响

为探究浸渍处理和覆膜处理对抗静电滤料电

阻率的影响,测试了2种滤料处理前后的表面电阻、体积电阻,并计算了电阻率,结果如图5和图6所示。

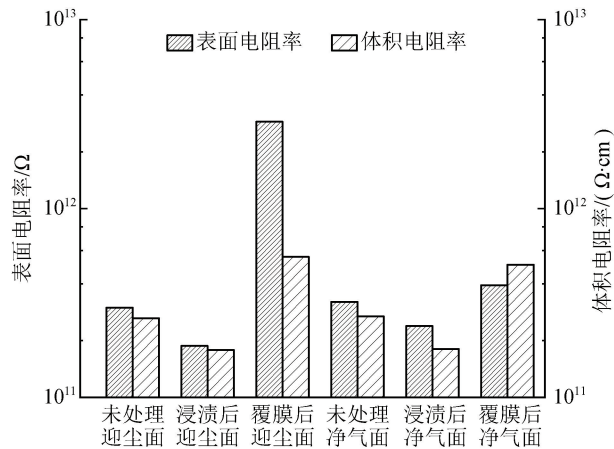


图5 基布导电型滤料电阻率

Fig. 5 Resistivity of substrate conductive filter materials

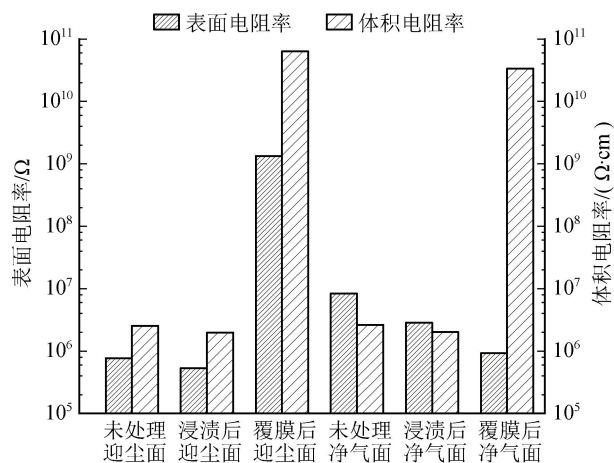


图6 面层导电型滤料电阻率

Fig. 6 Resistivity of surface conductive filter materials

从图5和图6可以看出:

(1)处理前,2种滤料的电阻率存在差异,这是因为2种滤料的抗静电处理方式及导电物质含量不同。其中,面层导电型滤料净气面与迎尘面的表面电阻率相差1个数量级,这是迎尘面导电纤维混掺量多于净气面导电纤维混掺量所致。

(2)浸渍处理后,2种滤料表面电阻率和体积电阻率均降低,且降幅在1个数量级之内,这可能与浸渍处理使用的PTFE乳液中含有质量分数5%~6%的表面活性剂(作为分散剂使用)有关。浸渍烘干后,部分表面活性剂被固定在纤维表面。表面活性剂也可以起到抗静电剂的作用,能在较高湿度(相

对湿度约40%)环境下,将空气中的水分子或小液滴吸附在滤料纤维表面,形成连续的或不连续的水膜,滤料电阻率因此而降低^[11]。

(3)覆膜处理后,由于PTFE微孔膜材质具有高阻性,2种滤料迎尘面表面电阻率出现了不同程度的升高,基布导电型滤料升高1个数量级,面层导电型滤料升高4个数量级。面层导电型滤料净气面表面电阻率有所下降,这是因为热压覆膜处理后,导电纤维面密度增大,更易连接形成导电网络。体积电阻率方面,覆膜处理后,同一滤料迎尘面和净气面两侧测试结果相近。其中,基布导电型滤料体积电阻率较处理前升高但数量级未发生变化,面层导电型滤料体积电阻率数量级则由6升高至10。对比覆膜处理对2种不同类型抗静电滤料电阻率的影响发现,面层导电型滤料受到的影响更为显著。这可能是因为导电材料填充改性的抗静电机制为,导电材料通过构成导电通路及隧道效应等传导电荷。面层导电型滤料的电阻率取决于上下层面中导电纤维交错相连构成的导电网络,而胶黏覆膜后由于PTFE微孔膜的高阻性使得导电通路受阻不再连贯,因而电阻率受到影响较大^[12]。

2.3 后处理工艺对滤料静电电压衰减时间的影响

为探究浸渍处理和覆膜处理对抗静电滤料静电电压衰减时间的影响,测试了2种滤料处理前后静电电压衰减20%、30%、40%、50%、60%、70%和80%的时间,结果如图7和图8所示。

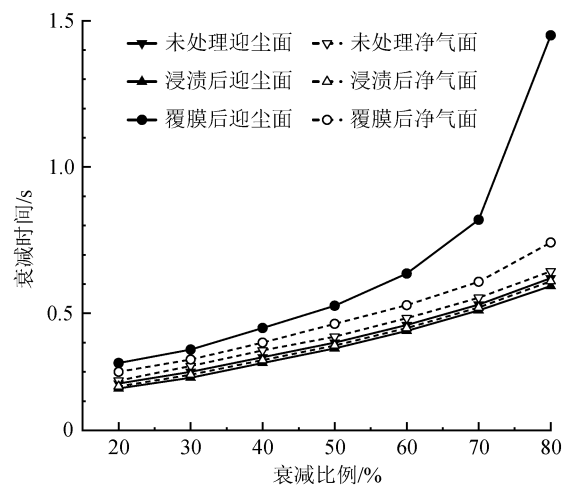


图7 基布导电型滤料处理前后衰减时间

Fig. 7 Attenuation time of substrate conductive filter materials

图7和图8显示:

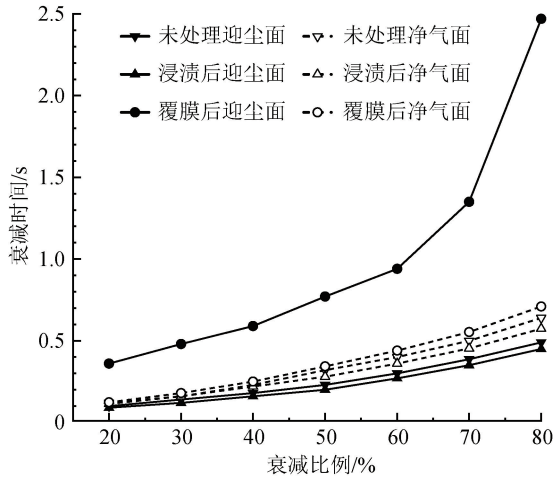


图 8 面层导电型滤料处理前后衰减时间

Fig. 8 Attenuation time of surface conductive filter materials

(1) 浸渍处理后, 相同衰减比例时, 2 种滤料静电电压衰减时间较未处理的缩短。其中, 基布导电型滤料迎尘面、净气面静电电压衰减 50% 所需时间(半衰期) 分别由未处理时的 0.40 s、0.42 s 缩短至 0.38 s、0.39 s, 面层导电型滤料静电电压衰减 50% 所需时间分别由未处理时的 0.23 s、0.32 s 缩短至 0.20 s、0.28 s。静电电压衰减时间的变化主要与滤料表面静电荷的衰减机制有关。静电消散的途径包括经滤料表面或内部通过接地装置泄露向大地, 或向空气中逸散, 或静电中和等。相同测试环境下, 滤料电阻率是影响静电电压衰减时间的重要因素^[13]。浸渍处理后, 滤料表面电阻率、体积电阻率降低, 衰减时间因此而缩短。

(2) 覆膜处理后, 相同衰减比例时, 2 种滤料静电电压衰减时间较未处理的延长。其中, 基布导电型滤料迎尘面和净气面静电电压衰减 50% 所需时间分别由未处理时的 0.40 s、0.42 s 延长至 0.53 s、0.46 s, 面层导电型滤料迎尘面和净气面静电电压衰减 50% 所需时间分别由未处理时的 0.23 s、0.32 s 延长至 0.77 s、0.34 s。覆膜处理影响静电电压衰减时间的原因与浸渍处理的相同, 且由于覆膜处理对面层导电型滤料电阻率影响更大, 其静电电压衰减时间受到的影响也更显著。

2.4 后处理工艺对滤料摩擦带电电压的影响

为探究浸渍处理和覆膜处理对抗静电滤料摩擦带电电压的影响, 测试了 2 种滤料处理前后摩擦时间为 10、20、30、40、50 和 60 s 的摩擦带电电压, 结果

如图 9 和图 10 所示。

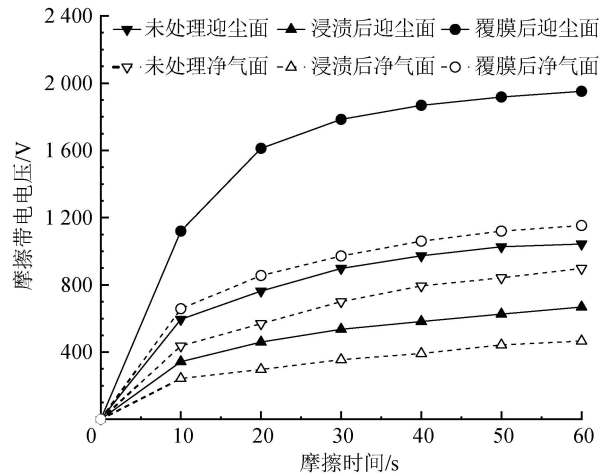


图 9 基布导电型滤料处理前后摩擦带电电压

Fig. 9 Friction charged voltages of substrate conductive filter materials

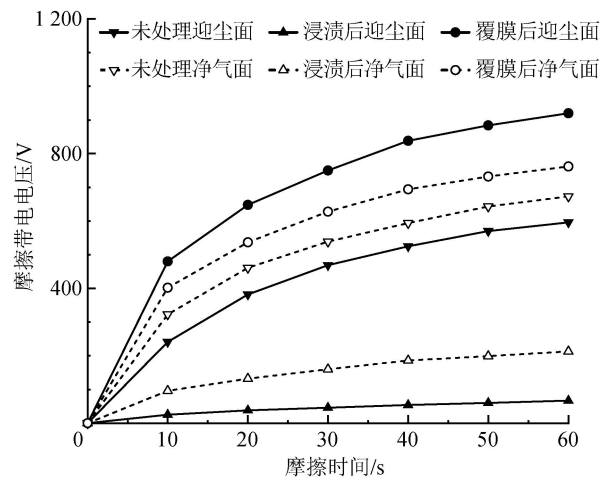


图 10 面层导电型滤料处理前后摩擦带电电压

Fig. 10 Friction charged voltages of surface conductive filter materials

图 9 和图 10 显示:

(1) 浸渍处理后, 相同摩擦时间时, 2 种滤料摩擦带电电压较未处理的减小。其中, 当摩擦时间为 60 s 时, 基布导电型滤料迎尘面、净气面摩擦带电电压分别从未处理的 1 043 V、898 V 减小至 668 V、446 V, 面层导电型滤料迎尘面、净气面摩擦带电电压则分别从未处理的 596 V、673 V 减小至 67 V、213 V。这可能是因为摩擦带电电压的大小取决于滤料表面积聚电荷的多少, 而电荷积聚是静电荷产生及消散共同作用的结果。由于浸渍后滤料电阻率降低, 加之滤料附着有一定量的表面活性剂, 因而静

电荷向大地及空气中泄漏和消散的速度加快,电荷积聚量减少,摩擦带电电压减小。

(2)覆膜处理后,相同摩擦时间时,2种滤料摩擦带电电压较未处理的增大。其中,基布导电型滤料迎尘面和净气面摩擦带电电压分别从未处理的1 043 V、898 V增大至1 952 V、1 153 V,面层导电型滤料迎尘面和净气面摩擦带电电压则分别从未处理的596 V、673 V增大至920 V、762 V。究其原因,一方面从摩擦静电序列的角度考虑,PTFE微孔膜相比于基材,在与锦纶标准布摩擦的过程中电荷更容易被剥离,另一方面滤料覆膜处理后电阻率升高,特别是体积电阻率,这将导致静电荷通过滤料内部向大地泄漏的速度减小。两方面共同作用使得滤料中积聚的总电荷量增加,滤料中积聚电荷所产生的摩擦带电电压增大。

3 结论

选择2种典型的抗静电滤料作为基材,通过PTFE乳液浸渍处理和PTFE微孔膜覆膜处理制得试验所需试样。在对2种滤料基材处理前后基本性能测试分析的基础上,重点探究后处理工艺对滤料抗静电性能的影响,并得出以下结论:

1)浸渍处理后,滤料抗静电性能提升,表面电阻率、体积电阻率降低,静电压衰减时间缩短,静电荷快速消散的能力增强;摩擦带电电压减小,减少静电荷积聚的能力增强。

2)覆膜处理后,滤料抗静电性能下降,表面电阻率、体积电阻率升高,静电压衰减时间延长,静电荷快速消散的能力减弱;摩擦带电电压增大,减少静电荷积聚的能力减弱。

3)浸渍处理对基布导电型和面层导电型这2种不同类型的抗静电滤料性能的影响无明显区别,但覆膜处理对面层导电型滤料的影响较对基布导电型滤料性能的影响更为显著。

4)浸渍处理对同一滤料迎尘面和净气面两侧抗静电性能的影响基本相同,而覆膜处理对同一滤料迎尘面抗静电性能的影响明显强于对净气面抗静电性能的影响。



期刊采编平台



中国知网下载

参考文献

- [1] 柳静献,毛宁,孙熙,等.我国袋式除尘技术历史、现状与发展趋势综述[J].中国环保产业,2022(1):47-58.
- [2] 程隆棣.静电的起因及滤料抗静电的研究[J].纺织科学研究,1998,9(1):47-50.
- [3] 梁荷叶,陈致帆.针刺密度对纺黏长丝针刺静电棉过滤性能品质因子的影响[J].产业用纺织品,2023,41(10):37-43.
- [4] 马池,张泾龙,侯琳,等.聚四氟乙烯在产业用纺织品领域的加工及应用进展[J].产业用纺织品,2023,41(3):1-7.
- [5] 何建良,阳建军,宋西全,等.PTFE浸渍整理对芳纶针刺毡滤料性能的影响[J].印染,2019,45(20):42-46.
- [6] 杨晨曦,谢明,刘丝梦,等.阻燃丙烯酸树脂涂料的制备及其性能[J].东华大学学报(自然科学版),2024,50(3):45-52.
- [7] 何建良,朱海霖,刘国金,等.PTFE发泡涂层整理对芳纶针刺毡滤料性能的影响[J].现代纺织技术,2021,29(2):81-84.
- [8] 卢亚菁,布莎莎,柳静献,等.几种过滤材料的静电性能测试及分析[J].中国环保产业,2018(4):41-44.
- [9] 韩旭,周明,柳静献,等.抗静电处理方式对滤料静电性能影响的实验研究[J].工业安全与环保,2020,46(10):38-42.
- [10] 刘娜,陈香云,张永锋,等.烟气净化用滤料表面改性及其性能[J].现代纺织技术,2022,30(1):162-168.
- [11] 程隆棣.双抗滤料的设计原理及其使用效果[J].纺织学报,1998,19(5):306-309.
- [12] 薛兵,翟学军,朱长军.静电防护理论与技术[M].西安:西安电子科技大学出版社,2019:137.
- [13] 杨林峰,王庭太,张玉广,等.高电阻材料界面静电荷的衰减机理[J].河北大学学报(自然科学版),2007,27(增刊1):26-28.