

芳砜纶耐高温过滤织物的性能研究

郑 帼^{1,2,3}, 强永勤^{1,3}, 张晓慧², 彭浩凯^{2*}, 储文培²

(1.天津工业大学环境与化学工程学院,天津 300387; 2.天津工业大学纺织学院,天津 300387;
3.天津市纺织纤维界面处理技术工程中心,天津 300270)

摘要:为了研究不同组织结构对芳砜纶耐高温过滤织物性能的影响,制备了3种不同组织结构的复合织物,并对织物的拉伸、透气、透湿、隔热、阻燃、过滤性能进行测试分析。研究表明,3种复合织物的断裂强力、断裂伸长率的大小为:平纹>2/1斜纹>3/1斜纹;导热系数、燃烧损毁长度的大小为:平纹>2/1斜纹>3/1斜纹;过滤阻力系数的大小为:平纹<2/1斜纹<3/1斜纹。因此,3/1斜纹复合织物的隔热、阻燃和过滤性能较好。

关键词:芳砜纶;针刺;耐高温;阻燃;过滤;复合织物

中图分类号:TS102

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2019)02-0117-04

DOI:10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2019.02.026

Study on properties of polysulfonamide-based high temperature-resistant filtration fabrics

ZHENG Guo^{1,2,3}, QIANG Yong-qin^{1,3}, ZHANG Xiao-hui², PENG Hao-kai^{2*}, CHU Wen-pei²

(1.School of Environmental and Chemical Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China;

2.School of Textiles, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China;

3.Tianjin Engineering Research Center of Textile Fiber Interface Treatment Technology, Tianjin 300270, China)

Abstract: In order to study the effects of different tissue structures on the properties of polysulfonamide-based high temperature-resistant filter fabrics, three kinds of composite fabrics with different microstructures are prepared, and the tensile, breathable, moisture permeable, heat insulation, flame retardant and filtration properties of the fabrics are tested and analyzed. Study results illustrate that the breaking strength and elongation at break of these three composite fabrics ranges from high to low as follows: plain weave>2/1 twill>3/1 twill; Thermal conductivity and length of burning damage: plain weave>2/1 twill>3/1 twill; The filter resistance coefficient: plain weave<2/1 twill<3/1 twill. Therefore, the 3/1 twill composite fabric has better heat insulation, flame retardancy and filtration properties.

Key words: polysulfonamide; acupuncture; high temperature resistance; flame retardancy; filtration; composite fabric

随着现代工业技术的发展,工业生产排放的高温烟气粉尘 SO_x 、 NO_x 等有害气体逐渐增多,不仅造成环境污染影响人类身体健康,甚至危及生命安全^[1-2]。因此,制备耐高温滤料并对高温含尘气体除尘成为关注的焦点。

目前,用于高温过滤的材料如聚四氟乙烯纤维过滤材料^[3]、玻璃纤维过滤材料^[4]、陶瓷纤维过滤材料^[5]以及金属纤维过滤材料^[6]等织物孔径大、结构疏松、对小粒径烟尘颗粒物过滤效果差、除尘效率低^[7-8]。与此同时,过滤材料在高温环境下的使用寿命较短,频繁更换滤袋会给企业生产带来很大经济损耗^[9]。同时,设计制造防护用品用于各种火灾逃生是当前我们的迫切需求^[10]。因此,对耐高温过滤材料的研发尤为重要。

芳砜纶纤维(Polysulfonamide fiber, PSA)是我国

自主研发的一种新型高技术纤维产品,具有优良的耐热阻燃过滤性能、优异的物理机械性能和化学稳定性^[11]。PSA纤维长期使用温度为250℃,100 h加热后强度保持率大于80%,极限氧指数(LOI)为33%,符合耐高温滤料用纤维原料的基本性能要求^[12]。PSA现已广泛应用于防护产品、建筑材料、航空航天、国防军工等领域^[13],与其他纤维混合互补制作耐高温过滤复合材料,弥补其他纤维的缺陷^[14]。

笔者以芳砜纶机织布为中层,2块梳理匀整的芳砜纶纤维网分别为面层和底层,采用非织造针刺工艺使二者结合,设计出具有功能性的“三明治结构”芳砜纶复合织物。研究了不同组织结构对复合织物拉伸性能、透湿性能、透气性能、隔热性能、阻燃性能和过滤性能的影响。

收稿日期:2018-05-23;修回日期:2018-12-12

基金项目:国家自然科学基金项目(51503145);天津市2017大学生创新创业训练计划项目(20170058110)

作者简介:郑帼(1957-),女,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为纺织助剂和高分子材料, zhengguo0703@126.com;彭浩凯(1980-),男,博士,讲师,主要研究方向为纺织助剂和高分子材料改性,通讯联系人, skyphk@163.com

1 实验部分

1.1 原材料

芳砜纶股线,细度为 21S/3;芳砜纶纤维,细度为 2 dtex×51 mm,均由上海特氨纶纤维有限公司生产。

1.2 实验设备

AS181A 梳棉试验机,江西纺织机械厂生产;GA747 型小型剑杆织机,杭州天马纺织机械有限公司生产;WL-GZ-C-800 型针刺机,太仓市双凤非织造布设备有限公司生产;YG(B) 216-Π 型织物透湿量仪,温州大荣纺织仪器有限公司生产;DRX-1-SPB 型导热系数测试仪,湘潭华丰仪器制造有限公司生产;8130 型自动滤料检测仪,上海汇分电子科技有限公司生产;YG065 型电子织物强力仪,莱州市电子仪器有限公司生产;YG(B) 461D-Π 型数字式织物透气量仪,温州大荣纺织仪器有限公司生产;ZF-621 型垂直燃烧试验仪,青岛众邦仪器有限公司生产。

1.3 芳砜纶基布的制备

采用 21S/3 的芳砜纶纱线作基布的经纬纱线,分别在小型自动织机上织成规格为 30 cm×200 cm 的平纹布、2/1 右斜纹布、3/1 右斜纹布。其经密、纬密、缩率、幅宽等都相同的 3 种基布规格如表 1 所示。

表 1 芳砜纶基布组织工艺参数

工艺参数	织物组织	经纱缩率/%	幅宽/cm	经纬密/[根·(10 cm) ⁻¹]
规格	平纹布、2/1 右斜纹、3/1 右斜纹	5	30	120×90

1.4 芳砜纶纤维梳理

由于芳砜纶纤维静电效果较强,在梳理之前喷洒适量的抗静电油剂以消除静电,静待 5 min,梳理后试样基本参数如表 2 所示。

表 2 试样基本参数

参数	质量/g	克重/(g·m ⁻²)
规格	46.2	230

1.5 芳砜纶针刺非织造复合织物的制备

将梳理好的芳砜纶纤维网通过调节预针刺机进出料速度参数,防止针刺过程中造成织物拉伸撕裂,进行正反两面针刺。然后,将基布放在中间,上下 2 层平整铺上已预针刺的纤维网,叠为三明治形状,如图 1 所示,最后通过主针刺机制备不同组织结构的芳砜纶针刺复合过滤织物。针刺复合织物工艺参数

如表 3 所示。

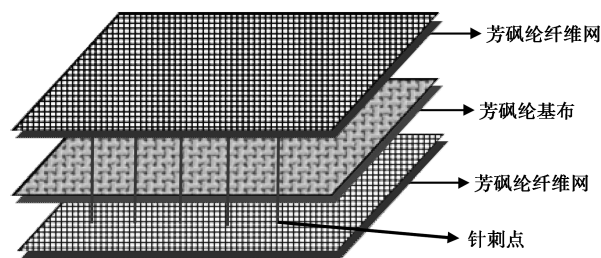


图 1 复合织物结构

表 3 针刺复合织物工艺参数 (m·min⁻¹)

参数	预针刺机				主针刺机		
	主机	进料	出料	进料机	主机	进料	成卷
规格	13.07	9.20	10.76	4.67	17.26	6.81	2.92

1.6 过滤织物性能测试

1.6.1 拉伸断裂性能

根据 GB/T 3923.1 标准,采用 YG065 型电子织物强力仪进行测试。试样尺寸为 300 mm×50 mm,夹持距离为 200 mm,拉伸速度为 100 mm/min,经向和纬向试样各测试 5 块。

1.6.2 透湿性能

根据标准 GB/T 12704.2—2009、ASTM E—1996(Procedure B),采用 YG(B)216-Π 型织物透湿量仪进行测试。每个样品取 3 块,试样直径为 70 mm,试验箱温度为 21.8℃,试验箱湿度为 50% RH。

1.6.3 透气性能

根据标准 GB/T 5453—1997、GB 6529—86,采用 YG(B)461D-Π 型数字式织物透气量仪进行测试。试样圆台面积为 20 cm²,试样压差为 200 Pa。样本测试数目 N=5。

1.6.4 隔热性能

根据 YB/T 4130—2005 耐火材料导热系数试验方法(水流量平板法),采用 DRX-1-SPB 型导热系数测试仪进行热平板法热传导系数的测试。测试试样尺寸为 200 mm×200 mm。

1.6.5 阻燃性能

根据标准 GB/T 5455—1997,采用 ZF-621 型垂直燃烧试验仪进行测试。经纬向裁取 3 块试样,每块试样尺寸为 300 mm×80 mm。点燃时间设定为 12 s。试验温度为(20±2)℃,相对湿度为(65±3)%。

1.6.6 过滤性能

利用 8130 型自动滤料检测仪对芳砜纶滤料的过滤性能进行检测。氯化钠气溶胶的质量中值 $\varphi =$

0.26 μm , 计数中值 $\varphi = 0.075 \mu\text{m}$, 几何标准偏差 < 1.83 , 气流量为 32 L/min (ISO 11057 Air quality Test method for filtration characterization of cleanable filter media)。样本测试数目 $N=5$ 。

2 结果与讨论

2.1 拉伸断裂强力性能

3种不同组织结构的复合织物经纬向断裂强力和断裂伸长率如表4所示。织物在拉伸过程中由于受力伸长作用而产生一定的形变,进而影响织物的拉伸断裂强力。而在织物拉伸过程中,经纱所受最大载荷发生在与纬纱切向直线段上,其大小随着织物组织参数不同而不同^[15]。

表4 不同组织复合织物拉伸断裂强力和拉伸断裂伸长率

样品	断裂强力/N		断裂伸长率/%	
	径向	纬向	径向	纬向
平纹织物	462.0	343.5	23.6	21.6
2/1斜纹	453.0	286.9	22.2	20.5
3/1斜纹	426.3	227.7	21.6	19.6

由表4可以看出,3种复合织物的经向拉伸断裂强力分别为462、453、426.3 N,平纹的经向强力比3/1斜纹提高8.37%。纬向拉伸断裂强力分别为343.5、286.9、227.7 N,平纹的纬向强力比3/1斜纹提高50.86%。由表4可知,3种不同组织织物经向拉伸断裂伸长率分别为23.6%、22.2%、21.6%,平纹的经向断裂伸长率比3/1斜纹提高了9.26%。纬向拉伸断裂伸长率分别为21.60%、20.5%、19.63%,平纹的纬向伸长率比3/1斜纹提高10.04%。

针对相同经纬密度,仅改变基布组织结构的复合织物来说,其断裂强力和断裂伸长率的大小均为:平纹织物>2/1斜纹织物>3/1斜纹织物。这是因为平纹织物比斜纹织物在相同长度的纱线内交错次数增多,纱线之间不易发生相对滑动,而且在拉伸方向上纱线受力均匀且向相同方向受力,织物比较致密厚实,所以平纹织物的力学性能较其他组织结构织物的好^[16]。

2.2 透气性能

气体主要通过纱线交织处的孔隙通过织物^[17]。3种复合织物的透气率分别为1330、1117、1039 mm/s,即平纹织物>2/1斜纹织物>3/1斜纹织物。这是因为平纹织物经纬线交织次数最多,纱线间孔隙增多,透气性也增大;其次由于织物组织结构的变化,引起经纬纱浮长线增加,织物的透气率也随之减

小^[18];还有针刺织物结构中充满微孔,纤网结构较疏松,气体通过时受到的阻力小^[19],所以平纹织物具有良好的透气性。

2.3 透湿性能

3种复合织物的透湿量分别为2764.07、2034.06、1759.52 g/(m²·d),即平纹织物>2/1斜纹织物>3/1斜纹织物,平纹织物的透湿量比3/1斜纹织物提高了57.09%。影响织物透湿性的因素主要和水汽通过织物的传递途径有关^[20],实验中3种织物针刺效果和基布的经纬密度基本相同,造成其透湿量有差异的主要原因是其组织结构的不同,平纹织物组织结构最简单,同时其经纬纱交织次数最多,因此织物间的空隙最多,使液态水或水蒸气更易透过织物。

2.4 隔热性能

不同复合织物的热传导系数在100、200、300℃的测试结果如表5所示。由表5可以看出,100℃时,3/1斜纹织物的导热系数较2/1斜纹和平纹小,升温后,不同复合织物导热系数均有所下降。这是因为织物的导热系数与纤维的结构排布、空气流动性和水分含量等因素有关,随着温度的升高,织物经纬向产生一定范围的收缩,织物更加紧密,致使织物内空气含量和水分均减少,而同种纤维织成的织物,温度与其导热系数成反比,即温度升高,导热系数降低^[21],因此,斜纹织物具有较好的隔热性能。

表5 不同组织复合织物的导热系数

样品	平纹织物		
	100℃	200℃	300℃
导热系数/(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	0.595	0.27	0.192
样品	2/1斜纹		
	100℃	200℃	300℃
导热系数/(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	0.698	0.304	0.247
样品	3/1斜纹		
	100℃	200℃	300℃
导热系数/(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	0.76	0.441	0.271

2.5 阻燃性能

3种复合织物的经向燃烧损毁长度如表6所示。由表6可以看出,3种复合织物的经向损毁长度分别为17.5、15、13.5 mm;纬向损毁长度分别为20、19、17 mm。平纹织物的经向、纬向燃烧损毁长度分别比3/1斜纹织物提高29.63%和17.65%。燃烧损毁长度大小依次是:平纹>2/1斜纹>3/1斜纹。这是由于平纹的经纬线交错点更加密集,组织结构相对简单均匀,而同等条件下的斜纹织物更加厚实,纱线间的排列更加紧密,使得其更不易燃烧,燃烧损

毁长度更小^[22]。因而,芳腈纶制成的 3/1 斜纹复合织物阻燃性能更好。

表 6 不同组织复合织物燃烧损毁长度

样品	燃烧损毁长度/mm	
	经向	纬向
平纹织物	17.5	20
2/1 斜纹	15.0	19
3/1 斜纹	13.5	17

2.6 过滤性能

3 种复合织物的氯化钠透过率和阻力系数如表 7 所示。由表 7 可以看出,3 种复合织物的氯化钠透过率分别为 68.16%、67.96%、67.91%,对应的阻力系数分别为 19.56%、22.49%、23.73%。平纹复合织物的氯化钠透过率比 3/1 斜纹复合织物提高了 0.37%;3/1 斜纹的氯化钠阻力系数比平纹提高了 21.32%。其原因在于斜纹织物的经纬纱交织的次数比平纹少,经纬纱之间的孔隙较小,纱线可以排列的较密,使得织物比较致密厚实,因而斜纹织物阻碍氯化钠透过的性能较强^[23]。

表 7 不同组织复合织物氯化钠透过率和阻力系数

样品	氯化钠透过率/%	阻力系数/%
平纹织物	68.16	19.56
2/1 斜纹	67.96	22.49
3/1 斜纹	67.91	23.73

3 结论

芳腈纶纤维网分别与平纹、2/1 斜纹、3/1 斜纹组织织物上下叠加形成芳腈纶非织造过滤复合织物,使得基布与纤维网之间形成不同的组织结构,对复合织物的多种性能有不同的影响。织物的断裂强力、断裂伸长率、透气率、透湿量、导热系数和燃烧损毁长度均呈如下趋势:平纹织物>2/1 斜纹织物>3/1 斜纹织物;过滤阻力系数:3/1 斜纹织物>2/1 斜纹织物>平纹织物。因此,3/1 斜纹复合织物的阻燃、隔热、过滤效果较好,平纹复合织物的强力、透气、透湿性能较好。不同组织结构对芳腈纶复合织物的性能有不同的影响,在实际产业化中,根据不同的环境需求,选择性能相对较优的复合组织织物。

参考文献

- [1] Kumar P, Morawska L, Birmili W, *et al.* Ultrafine particles in cities [J]. *Environment International*, 2014, 66: 1-10.
- [2] Jones A M, Harrison R M. Emission of ultrafine particles from the incineration of municipal solid waste: A review [J]. *Atmospheric Environment*, 2016, 140: 519-528.
- [3] Jaworek A, Krupa A, Czech T. Modern electrostatic devices and methods for exhaust gas cleaning: A brief review [J]. *Journal of Electrostatics*, 2007, 65(3): 133-155.
- [4] Brown R C, Thorpe A. Glass-fibre filters with bimodal fibre size distributions [J]. *Powder Technology*, 2001, 118(1-2): 3-9.
- [5] Leibold H, Dirks F, Rüdinger V. Particulate emissions from a LLW incinerator and off-gas cleaning with a new type of ceramic candle filter [J]. *Waste Management*, 1989, 9(2): 87-94.
- [6] Ryi S K, Park J S, Park S J, *et al.* Fabrication of nickel filter made by uniaxial pressing process for gas purification: Fabrication pressure effect [J]. *Journal of Membrane Science*, 2007, 299(1-2): 174-180.
- [7] Hosseini S A, Tafreshi H V. On the importance of fibers' cross-sectional shape for air filters operating in the slip flow regime [J]. *Powder Technology*, 2011, 212(3): 425-431.
- [8] Bucher T M, Tafreshi H V, Tepper G C. Modeling performance of thin fibrous coatings with orthogonally layered nanofibers for improved aerosol filtration [J]. *Powder Technology*, 2013, 249: 43-53.
- [9] Lupión M, Ortiz F J G, Navarrete B, *et al.* Assessment performance of high-temperature filtering elements [J]. *Fuel*, 2010, 89(4): 848-854.
- [10] Ballesteros M F, Kresnow M J. Prevalence of residential smoke alarms and fire escape plans in the U.S.: Results from the second injury control and risk survey (ICARIS-2) [J]. *Public Health Reports*, 2007, 122(2): 224-231.
- [11] Li H, Zhu Y, Xu B, *et al.* Preparation and characterization of all para-position polysulfonamide fiber [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2013, 127(1): 342-348.
- [12] 彭浩凯, 郑幅, 孙玉. 空气等离子体处理芳腈纶纤维表面改性的研究 [J]. *材料导报*, 2015, 29(20): 87-91.
- [13] Li H, Zhu Y, Xu B, *et al.* Preparation and characterization of all para-position polysulfonamide fiber [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2013, 127(1): 342-348.
- [14] 汪晓峰, 张玉华. 芳腈纶的性能及其应用 [J]. *纺织导报*, 2005, (1): 18-20.
- [15] 张永励, 李岩, 孙震. 织物形式对苈麻纤维渗透率及其复合材料力学性能的影响 [J]. *复合材料学报*, 2013, 30(2): 195-200.
- [16] 邱茂伟, 王府梅. 机织物透气性能的预测研究 [J]. *纺织学报*, 2005, (4): 73-75.
- [17] 姚穆. *纺织材料学* [M]. 北京: 中国纺织出版社, 2009.1.
- [18] 楼利琴, 励宏, 黄锐镇. 不同混纺比芳纶、芳腈纶隔热层水刺非织造布性能分析 [J]. *纺织学报*, 2013, 34(6): 46-50.
- [19] Dedov A V. Evaluation of the air permeability of needle-punch materials [J]. *Fibre Chemistry*, 2006, 38(3): 218-220.
- [20] 于伟东. *纺织材料学* [M]. 北京: 中国纺织出版社, 2006: 329-334.
- [21] 朱方龙. 基于辐射衰减特征的隔热防护织物有效导热系数简化模型 [J]. *纺织学报*, 2011, 32(10): 57-60.
- [22] 李红燕, 张渭源. 消防服用织物的阻燃性能及其 TPP 值 [J]. *纺织学报*, 2008, 29(5): 84-88.
- [23] 王倩楠. 高温气体过滤材料的制备及过滤性能的研究 [D]. 上海: 东华大学, 2017. ■