

DOI:10.13475/j.fzxb.20200806808

生物基聚对苯二甲酸丙二醇酯织物的 阻燃与三防一步法泡沫整理

李永贺, 瞿凌曦, 徐 壁, 蔡再生, 葛凤燕

(东华大学 生态纺织教育部重点实验室, 上海 201620)

摘 要 为提升生物基聚对苯二甲酸丙二醇酯(PTT)织物的功能性且满足节能减排生态染整需求,采用泡沫整理技术对生物基 PTT 织物进行阻燃与三防一步法整理。通过响应面实验设计和优化法,分析了阻燃剂和三防整理剂质量浓度、带液率以及焙烘温度等对整理效果的影响,得到最佳整理工艺:阻燃剂和三防整理剂质量浓度分别为 390、43 g/L,带液率为 42%,141 °C 下焙烘 1 min。研究表明:在最佳工艺条件下整理的 PTT 织物具有优异的阻燃性能和良好的三防效果,其阻燃等级达到国标 B1 标准,水相和油相接角分别达到 145.6°和 129.2°;经 20 次水洗和 50 次摩擦后织物仍保持良好的阻燃和三防效果。实验研究的泡沫多功能整理方法为生物基纤维材料绿色清洁生产提供了有效途径。

关键词 生物基聚对苯二甲酸丙二醇酯织物;阻燃整理;三防整理;泡沫整理;功能纺织品

中图分类号:TS 156 文献标志码:A

One-step foam finishing of flame retardancy and three-proof finishing for bio-based polytrimethylene terephthalate fabrics

LI Yonghe, QU Lingxi, XU Bi, CAI Zaisheng, GE Fengyan

(Key Laboratory of Science and Technology of Eco-Textile, Ministry of Education,
Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract In order to improve the functionality of bio-based polytrimethylene terephthalate (PTT) fabrics and meet the needs of energy saving and emission reduction for ecological dyeing and finishing, foam finishing technology are used to treat bio-based PTT fabrics for flame-retardancy and three-proof one-step finishing. Using the responsive surface experimental design and optimization method, the effects of the concentration of the flame retardant and the three-proof finishing agent, liquid carrying rate and the baking temperature on the finishing effect were analyzed. The optimal finishing process was as follows: the concentration of flame retardant and three-proof finishing agent are 390 and 43 g/L respectively, the liquid carrying rate is 42%, and baking is performed at 141 °C for 1 min. The research results show that the PTT fabrics finished under the optimal technological conditions have excellent flame retardant properties and good three-proof effects. The flame retardant grade reaches the national B1 standard, and the contact angles of the water phase and the oil phase reach 145.6° and 129.2°, respectively. In addition, after 20 washings and 50 rubs, the fabric still maintains good flame retardant and three-proof effects. The experimentally researched foam multifunctional finishing method provides an effective way to improve the green and clean production of bio-based fiber materials.

Keywords bio-based polytrimethylene terephthalate fabric; flame retardant finishing; three-proof finishing; foam finishing; functional textile

收稿日期:2020-08-17 修回日期:2021-01-15

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2017YFB0309400)

第一作者:李永贺(1996—),男,硕士生。主要研究方向为纺织品功能整理。

通信作者:葛凤燕(1976—),女,副教授,博士。主要研究方向为功能性纺织品开发。E-mail:dhufyge@163.com。

聚对苯二甲酸丙二醇酯(PTT)作为一种新型聚酯纤维,独特的螺旋型结构使其具有一定的弹性和形状记忆性,并在具有聚酯的基本特性上兼有锦纶的柔韧性和腈纶的蓬松性,集多种纤维优良性能于一体^[1-2],在服装、地毯、车饰面料等多个领域得到广泛应用。传统的PTT纤维是以石油为原料制备,但在石油能源对环境的危害以及石油总量日益减少的现状下,石油基纤维发展受到了制约。生物基PTT纤维是通过生物发酵法制得,相比于石油基原料,可减少20%的温室气体排放和40%的能量损耗^[3-4],具有绿色可再生性^[5]。目前,对功能性生物基PTT纤维的研究主要集中在阻燃^[6]、防辐射^[7]及抗菌^[8]等单一功能整理,而对于生物基PTT织物的多功能整理方面,尤其是一步法实现多功能整理的研究鲜有报道。

近年来,随着人们对清洁生产的重视,以同浴加工方式赋予产品多功能性已成为未来发展的一大趋势,对生物基PTT纤维进行阻燃、三防一步法功能整理将能够更好地满足生物基PTT纤维用于地毯、墙布、车饰面料等领域的需求。但阻燃剂与三防整理剂进行同浴整理时,二者整理效果之间存在抑制作用,因此,对生物基PTT织物进行阻燃、三防一步法整理工艺探究,降低2种整理剂整理效果间的影响,进一步提高生物基PTT纤维的功能性具有一定的研究意义和应用价值。泡沫整理作为一项新型染整加工技术^[9-10],具有低耗能、低给液、低焙烘的优点,能够有效降低高带液率、高焙烘条件对双功能整理织物的影响,可最大限度地保留生物基PTT纤维特有的物理特性。同时泡沫整理具有节能、降耗的

优点,更符合生物基纤维材料绿色发展的要求。

为此,本文采用泡沫整理方法对PTT织物进行阻燃、三防一步法整理工艺探究,在实现阻燃和三防整理一步工艺开发的同时,进一步缩短工艺步骤,并对阻燃剂、三防整理剂、带液率、焙烘温度等对整理效果的影响进行探究,采用响应面实验设计进行工艺优化,确定优化的整理工艺。

1 实验部分

1.1 实验原料与仪器

原料:斜纹生物基PTT织物(面密度为 135 g/m^2),江苏盛虹控股集团有限公司;发泡剂脂肪醇聚氧乙烯醚型表面活性剂(JU),工业级,海安石油化工厂;稳泡剂羟乙基纤维素(HEC),分析纯,国药集团化学试剂有限公司;三防整理剂TF-4116G,工业级,浙江传化集团有限公司;磷系阻燃整理剂FRN,工业级,上海雅运纺织化工股份有限公司。

仪器:JF-3型氧指数测试仪,南京炯雷仪器设备有限公司;YG-815A型水平垂直燃烧仪,温州方圆仪器有限公司;SW-24型耐洗色牢度试验机,温州大荣纺织仪器有限公司;Y571B型摩擦色牢度仪,南通宏大实验仪器有限公司;MINITENTERS型热定型机,厦门瑞比精密机械有限公司;DSA30型接触角分析仪、DFA100型动态泡沫分析仪,克吕士科学仪器(上海)有限公司。

1.2 生物基PTT织物的整理工艺

本文采用泡沫整理法对生物基PTT织物进行多功能整理,其整理工艺流程如图1所示。

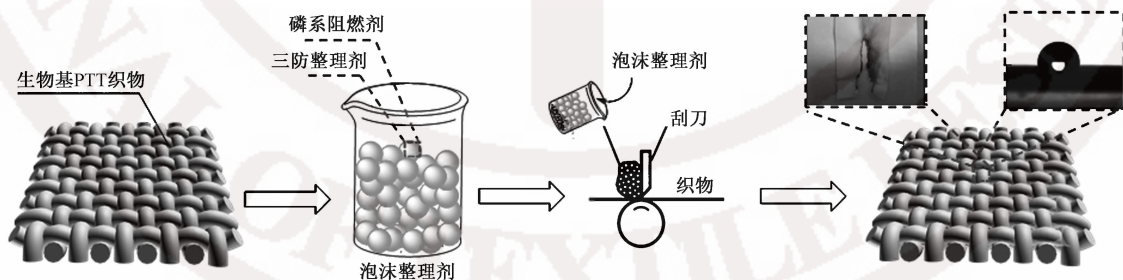


图1 生物基PTT织物阻燃与三防一步法泡沫整理工艺流程图

Fig. 1 Process flow chart of bio-based PTT fabric one-step foam finishing of flame retardant and three-proofing finishing

1.2.1 泡沫整理液配制

采用动态泡沫分析仪进行机械发泡。发泡剂和稳泡剂的质量浓度分别为 $8, 0.4\text{ g/L}$,阻燃剂的质量浓度为 $100\sim 500\text{ g/L}$,三防整理剂的质量浓度为 $10\sim 50\text{ g/L}$ 。在 $30\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下控制剪切速率为 $3\ 500\text{ r/min}$ 对整理液进行发泡处理,发泡时间为 2 min 。

1.2.2 涂层法泡沫整理工艺

泡沫整理工艺:配制泡沫整理液→机械发泡→刮刀涂层→预烘($80\text{ }^\circ\text{C}$)→焙烘(1 min)。

1.2.3 响应面实验设计及工艺优化

本文采用Box Behnken^[11-12]方法,并利用Design Expert软件对实验条件进行响应面分析优化^[13-14]。

1.3 测试与表征

1.3.1 泡沫的性能测试

采用发泡性能和稳定性能综合表征泡沫的总体性能。其中:用发泡比表征溶液发泡性能;用泡沫半衰期表征泡沫稳定性。本文采用泡沫仪自带的发泡量筒取 50 mL 发泡液,发泡结束后记录泡沫排液到一半体积时所需要的时间,记为泡沫半衰期;将发泡原液密度近似视为水的密度 1 g/mL,则发泡比(R_F)计算公式为

$$R_F = \frac{\rho_1}{\rho_2} \approx \frac{1}{\rho_2} = \frac{V}{m}$$

式中: ρ_1 为发泡原液的密度, g/mL; ρ_2 为泡沫的密度, g/mL; m 为泡沫的质量, g; V 为泡沫的体积, mL。

1.3.2 阻燃性能测试

参考 GB/T 5454—1997《纺织品 燃烧性能试验 氧指数法》,采用氧指数测试仪测试整理后织物的极限氧指数(LOI)值;参考 GB/T 5455—2014《纺织品 燃烧性能 垂直方向损毁长度、阴燃和续燃时间的测定》,采用水平垂直燃烧仪测定织物的损毁长度。综合 2 项因素评判织物的阻燃性能。

1.3.3 接触角测试

参考 GB/T 31906—2015《纺织品 拒水溶液性抗水醇溶液试验》,在接触角分析仪上测试织物的水相和油相接触角。液滴体积为 5 μ L,测试 5 次取平均值。

1.3.4 耐水洗和耐摩擦色牢度测试

参照 GB/T 3921—2008《纺织品 色牢度试验 耐皂洗色牢度》和 GB/T 3920—2008《纺织品 色牢度试验 耐摩擦色牢度》对织物进行摩擦处理分别采用耐洗色牢度试验机和摩擦色牢度仪对织物进行耐水洗和耐摩擦色牢度测试。

2 结果与讨论

2.1 阻燃剂对泡沫体系及整理效果影响

在发泡剂质量浓度为 8 g/L,稳泡剂质量浓度为 0.4 g/L 条件下,加入 100~500 g/L 的阻燃剂进行发泡,探究阻燃剂质量浓度对原液发泡性能的影响,结果如图 2 所示。可知,发泡比随阻燃剂质量浓度的增大而逐渐下降,但泡沫稳定性随阻燃剂质量浓度的增加而提高。这是由于磷系阻燃剂的加入使溶液黏度增加,增大了表面张力梯度,使生成的泡沫周围的表面活性剂向表面张力增加点的流动性下降,导致泡沫体系包覆空气的能力减弱,发泡性能降低,但黏度的增加有效降低了泡沫的排液现象,泡沫稳定性得到增强,因此,考虑到后续泡沫整理效果,阻

燃剂质量浓度应控制在 300~400 g/L 范围内。

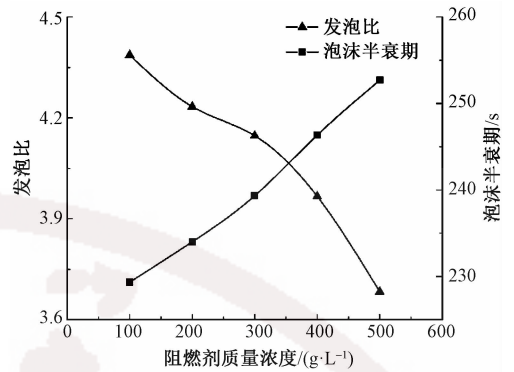


图 2 阻燃剂质量浓度对泡沫性能的影响

Fig. 2 Effect of flame retardant agent mass concentration on properties of foam performance

在三防整理剂质量浓度为 40 g/L,焙烘温度为 140 $^{\circ}$ C,带液率为 40% 及不同质量浓度阻燃剂的整理工艺条件下对织物进行泡沫整理,进一步探究阻燃剂质量浓度对织物阻燃性能的影响,结果如图 3 所示。可知:织物的阻燃性能随阻燃剂质量浓度的增加而逐渐上升,阻燃剂质量浓度在 400~450 g/L 时,LOI 值达到最大,约为 28.4%;但水相接触角随阻燃剂质量浓度的增大而持续下降,这是由于织物对整理剂吸附量有限,在整理过程中 2 种整理剂存在竞染现象,因此,阻燃剂质量浓度不宜过大,选用 400 g/L 进行后续实验。

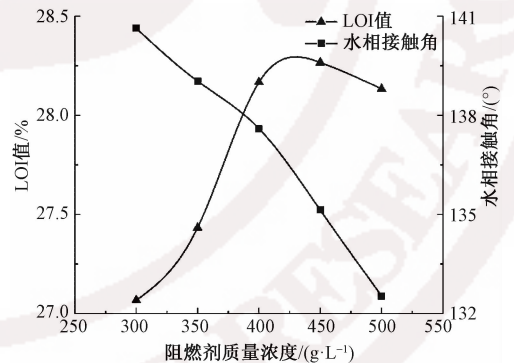


图 3 阻燃剂质量浓度对整理效果的影响

Fig. 3 Effect of flame retardant agent mass concentration on finishing effect

2.2 三防整理剂对泡沫体系及整理效果影响

在发泡剂和稳泡剂的质量浓度为 8.04 g/L 条件下,三防整理剂质量浓度对泡沫性能的影响如图 4 所示。可知,随着三防整理剂质量浓度的提升,发泡比持续增大,但泡沫半衰期降低,泡沫稳定性下降,这是因为三防整理剂极性低,其氟碳链间相互作用力弱,降低了溶液的表面张力和黏度。随着三防整理剂质量浓度增大,发泡液表面张力和黏度逐渐减小,发泡性能提高。但体系黏度的降低使泡沫排

液速率加快,泡沫稳定性下降,因此,三防整理剂质量浓度也不宜过高,应控制在30~45 g/L范围内。

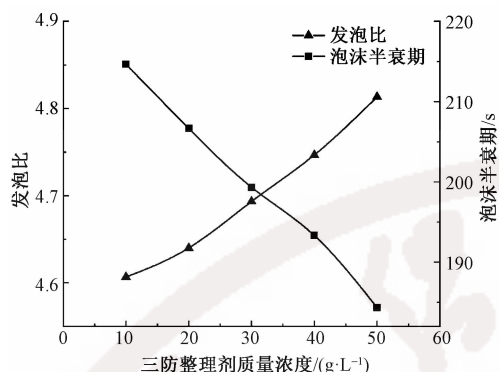


图4 三防整理剂质量浓度对泡沫性能的影响

Fig. 4 Effect of mass concentration of three-proof finishing agent on foam performance

在阻燃剂质量浓度为400 g/L,焙烘温度为140℃,带液率为40%时,三防整理剂质量浓度对整理效果的影响如图5所示。可知:随三防整理剂质量浓度的提高,水相接触角增大,当质量浓度为40 g/L时拒水性基本达到最佳,织物对整理剂的吸附量达到饱和;而织物LOI值略微下降,这是因为三防整理剂属于易燃性有机物,其增加会使阻燃性能有所下降,此外由于织物的吸附量有限,2种整理剂存在竞染关系,三防整理剂质量浓度增加势必会降低织物对阻燃剂的吸附量。当阻燃剂质量浓度为400 g/L,三防整理剂质量浓度为40 g/L时,织物的防水及阻燃性能均达到较佳水平。

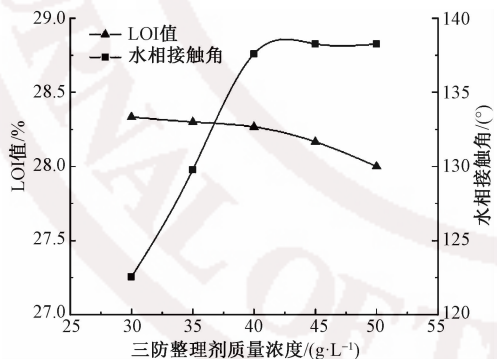


图5 三防整理剂质量浓度对整理效果的影响

Fig. 5 Effect of mass concentration of three-proof finishing agent on finishing effect

2.3 带液率对整理效果的影响

在阻燃剂质量浓度为400 g/L,三防整理剂质量浓度为40 g/L,焙烘温度为140℃条件下,探究带液率对织物泡沫整理效果的影响,结果如图6所示。可知,织物的阻燃、拒水性能随带液率的提高而缓慢增强,直至达到最大吸附量后趋于平缓。带液率在40%左右时已达到较优的整理效果,与传统轧烘焙

方法(带液率为60%~100%)相比,泡沫整理在保证整理效果的同时,带液率降低,焙烘时间也得到缩短,达到了节水节能的目的。

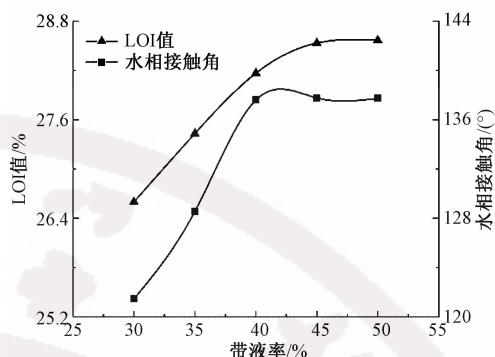


图6 带液率对整理效果的影响

Fig. 6 Effect of liquid carrying rate on finishing effect

2.4 焙烘温度对整理效果的影响

在阻燃剂质量浓度为400 g/L,三防整理剂质量浓度为40 g/L,带液率为40%,焙烘时间为1 min条件下,探究焙烘温度对织物整理效果的影响如图7所示。可知:焙烘温度提高,织物的阻燃和拒水性能均有所提高,焙烘温度在140~150℃时,上升趋势趋于平缓;继续提高温度,对织物性能提升不大。这主要是由于随着焙烘温度的提高,纤维大分子链运动加剧,整理剂分子更易扩散进入纤维无定型区,从而提升整理效果;如果焙烘温度过高,可能会导致已进入无定型区的整理剂分子在未与纤维交联的情况下,重新通过热迁移效应转移到纤维表面,而此时纤维表面所吸附的整理剂已达到饱和;此外由于生物基PTT的玻璃化转变温度较低,高温条件下织物力学性能及手感反而会受到严重影响。综合考虑,单因素实验后优化工艺条件为:发泡剂质量浓度8 g/L,稳泡剂质量浓度0.4 g/L,阻燃剂质量浓度400 g/L,三防整理剂质量浓度40 g/L,带液率40%,焙烘温度140~150℃,焙烘时间1 min。

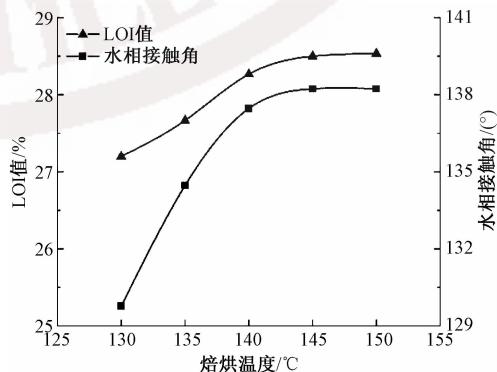


图7 焙烘温度对整理效果的影响

Fig. 7 Effect of baking temperature on finishing effect

2.5 泡沫阻燃与三防一步法整理工艺优化

2.5.1 模型的建立与显著性检验

基于单因素实验结果,采用响应面分析法进行实验设计,使用 Box-Behnken Design 方法对实验结果进行进一步优化。实验各因素水平如表 1 所示,响应面优化结果如表 2 所示。

表 1 阻燃与三防一步法泡沫整理的响应面因素与水平表

水平	A 阻燃剂质量 浓度/(g·L ⁻¹)	B 三防整理剂质量 浓度/(g·L ⁻¹)	C 带液率/ %	D 焙烘 温度/°C
-1	350	35	30	135
0	400	40	40	140
1	450	45	50	145

表 2 阻燃与三防一步法泡沫整理的响应面优化结果

实验号	A	B	C	D	LOI 值/%	水相接触角/(°)
1	450	45	40	140	27.4	135.6
2	350	35	40	140	27.1	134.1
3	450	40	40	145	27.7	136.1
4	400	40	50	145	27.9	138.1
5	350	40	30	140	27.4	135.6
6	350	40	40	135	27.2	139.7
7	400	35	40	135	28.2	134.6
8	400	45	30	140	27.8	137.1
9	350	40	40	145	27.3	138.1
10	450	40	30	140	27.7	137.6
11	450	40	40	135	28.1	136.0
12	400	40	40	140	28.3	140.1
13	400	40	30	135	28.3	140.1
14	400	35	30	140	27.4	135.4
15	400	35	50	140	27.9	132.8
16	400	40	30	145	27.8	137.6
17	400	40	40	140	28.2	139.6
18	400	40	50	135	27.8	137.6
19	450	40	50	140	27.7	131.2
20	400	45	50	140	26.5	136.9
21	400	40	40	140	28.4	140.8
22	450	35	40	140	27.4	130.7
23	350	45	40	140	26.4	135.5
24	400	45	40	145	27.5	137.1
25	400	40	40	140	28.3	140.1
26	400	45	40	135	27.5	139.1
27	400	35	40	145	27.9	135.1
28	350	40	50	140	26.8	138.1
29	400	40	40	140	28.3	140.1

利用 Design-Expert 10 统计分析软件对表 2 中 4 个因素进行回归分析,得到 2 个响应值 LOI 值 Y_{LOI} 和接触角 Y_{CA} 的回归方程:

$$Y_{LOI} = 28.3 + 0.32C_1 - 0.23C_2 - 0.15\omega - 0.083T + 0.17C_1C_2 + 0.15C_1\omega - 0.13C_1T - 0.45C_2\omega + 0.075C_2X_4 +$$

$$0.15\omega T - 0.65C_1^2 - 0.55C_2^2 - 0.3\omega^2 - 0.029T^2$$

$$Y_{CA} = 140.14 - 1.16C_1 + 1.55C_2 - 0.72\omega - 0.42T + 0.87C_1C_2 - 2.23C_1\omega + 0.42C_1T + 0.6C_2\omega - 0.63C_2T + 0.75\omega T - 2.77C_1^2 - 3.31C_2^2 - 1.55\omega^2 - 0.16T^2$$

式中: C_1 、 C_2 分别为阻燃剂和三防整理剂质量浓度, g/L; ω 为织物带液率, %; T 为焙烘温度, °C。

根据实验模型计算响应值 LOI 值的方差,通过分析发现:研究模型的检验统计量 F 的置信区间 P 值 < 0.000 1, 失拟项 $F = 0.306 9$, 无显著性差异, 系数 $R^2 = 0.986 2$ 接近于 1, 说明该模型可信度较高, 可准确地预测每个实验点。以同样方法对水相接触角进行方差分析, 该模型 P 值 < 0.000 1, $R^2 = 0.984 8$, $F = 0.457 4 > 0.05$, 无统计学差异, 该模型可准确地预测实验点。

2.5.2 响应面分析

根据回归模型绘制的响应面结果如图 8、9 所示。可知:响应面开口均向下具有最高点,即本文实验存在最优解,响应曲面的陡峭程度与该交互作用的显著性成正比,曲面越陡峭,说明该因素影响越显著。等高线的疏密性及形状可反映各因素间的相互作用的显著性^[15-16]。从图 8(a)~(d)可以看出,其倾斜度较陡,等高线间排列紧密,说明两两因素之间相互作用较显著;而图 8(e)、(f)的倾斜度较为平缓,从等高线图也可看出两两因素间的关联性相对较低。

从图 9 可以看出,6 个响应面曲面中焙烘温度与带液率 2 个因素之间的相互作用较弱;由图 9(a)可知,三防整理剂和阻燃剂质量浓度的等高线趋于圆形,但曲面倾斜程度较为陡峭,因此关联性稍弱;图 9(b)~(e)中曲面较为陡峭,且等高线密度较高,同时趋于椭圆,所以两两因素之间相关性较大。

对实验结果进行优化,LOI 值高于 27% 时为难燃织物,接触角大于 90° 时为不润湿,所以设定条件范围为 27% < LOI 值 < 30%, 90° < 水相接触角 < 150°, 在所得工艺条件中选择阻燃性能最高的条件作为优化工艺,模型预测的工艺条件:阻燃剂和三防整理剂质量浓度分别为 390、43 g/L,带液率为 42%,141 °C 条件下焙烘 1 min。

2.6 优化工艺与常规浸轧整理效果对比

阻燃与三防一步法泡沫优化工艺整理织物记为 1[#]样品,常规浸轧整理织物记为 2[#]样品。为保证 2[#]织物上整理剂吸附量与 1[#]织物相同,通过优化工艺所需的整理剂质量浓度以及带液率计算单位质量织物所需整理剂用量,在常规浸轧整理的带液率为 70% 的情况下,计算各整理剂所需的质量浓度,然后分别对 2 种整理织物效果进行比较,结果如表 3 所示。

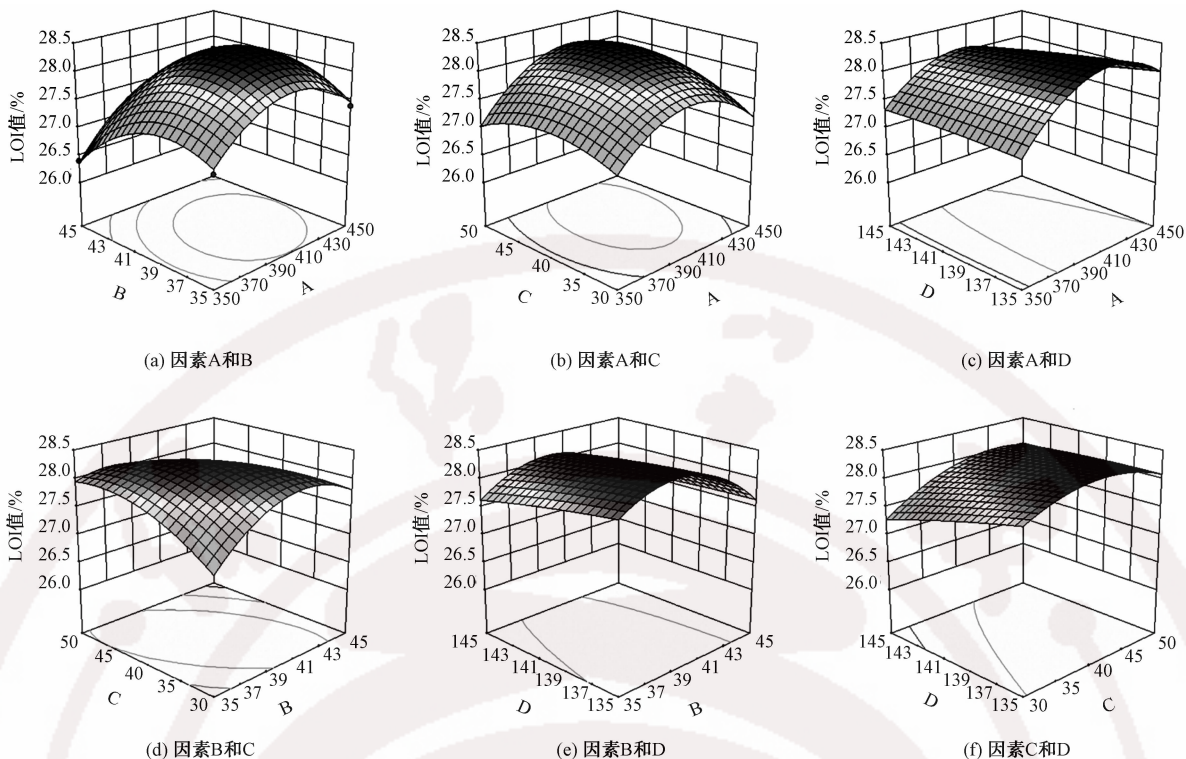


图 8 四因素中两两因素对织物 LOI 值的响应结果

Fig. 8 Response results of two of four factors to LOI value of fabric. (a) Factor A and B; (b) Factor A and C; (c) Factor A and D; (d) Factor B and C; (e) Factor B and D; (f) Factor C and D

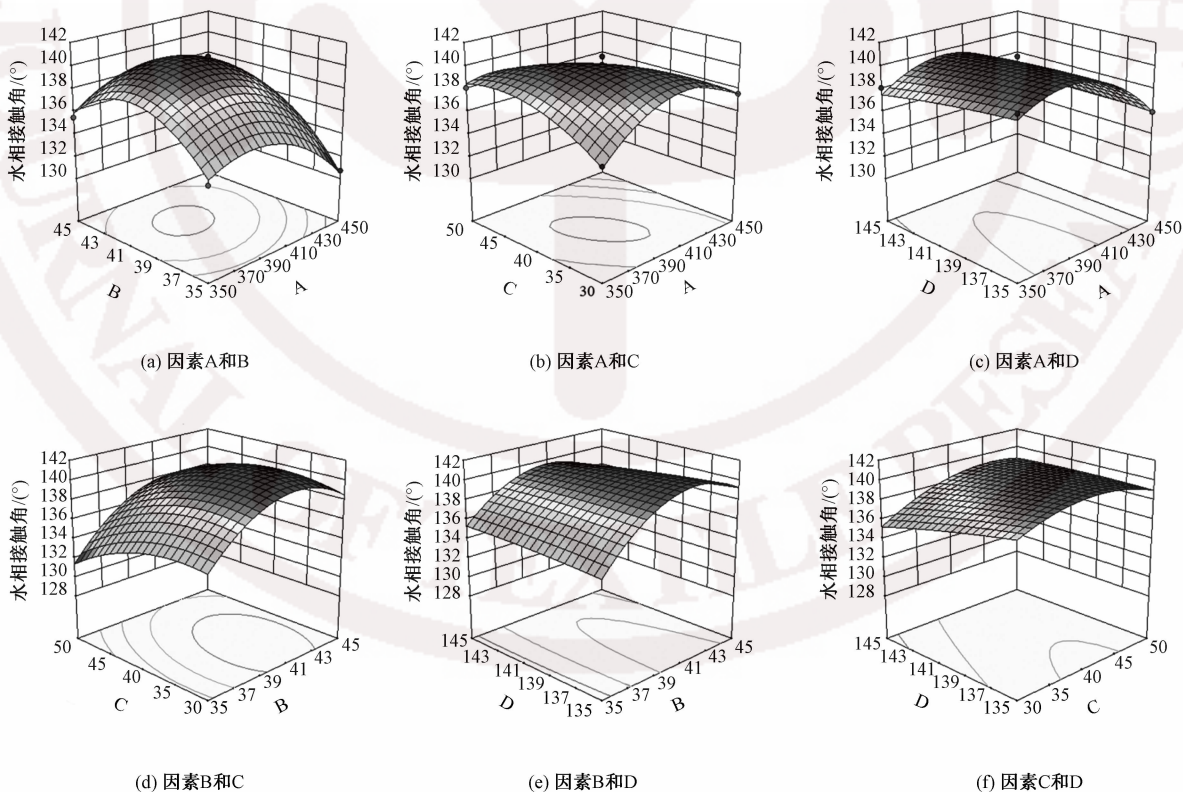


图 9 四因素中两两因素对织物水相接触角的响应结果

Fig. 9 Response results of two of four factors to water contact antenna of fabric. (a) Factor A and B; (b) Factor A and C; (c) Factor A and D; (d) Factor B and C; (e) Factor B and D; (f) Factor C and D

表 3 2 种整理织物效果的对比

Tab. 3 Comparison of finishing effects of two fabrics

试样	损毁长度/ cm		LOI 值/ %		水相接触角/ (°)		油相接触角/ (°)	
	1 [#]	2 [#]	1 [#]	2 [#]	1 [#]	2 [#]	1 [#]	2 [#]
	整理试样	10.5	10.8	28.5	28.4	145.6	142.6	129.2
水洗 20 次	11.9	12.1	27.9	27.5	142.7	141.9	125.8	123.6
摩擦 50 次	11.1	11.7	27.5	27.6	144.5	142.0	128.0	123.4

从表 3 可看出,1[#]织物的损毁长度为 10.5 cm, LOI 值达到 28.5%,水相接触角为 145.6°,油相接触角为 129.2°。2 种织物的阻燃效果均能达到国标 B1 标准以及三防整理效果的要求,且经过 20 次水洗和 50 次摩擦处理后,2 种织物的阻燃和三防效果基本无明显下降,说明二者具有类似的耐摩擦和耐水洗色牢度。2 种织物的阻燃效果相差不大,但泡沫整理织物的三防性能略微优于传统工艺整理。这是由于传统工艺整理织物的带液率大,烘干时间长,在烘干过程中更易泳移,造成织物吸附的整理剂均匀性有所降低,通过测试样品多个位置的接触角,以均方差表征其均匀性,结果如表 4 所示。可以看出,泡沫整理织物的均匀性相对较好,对于三防整理而言,整理剂的不均匀性会导致织物的表面张力不均匀,从而导致接触角下降。通过对比实验发现,在整理效果相差不大的情况下,泡沫整理的工艺过程更加节能降耗,极大降低生产时间和成本。

表 4 2 种织物整理均匀性比较

Tab. 4 Comparison of finishing evenness between two fabrics

织物编号	水相接触角均方差/(°)	油相接触角均方差/(°)
1 [#]	3.58	4.53
2 [#]	4.02	4.62

3 结 论

本文采用泡沫整理法对生物基聚对苯二甲酸丙二醇(PTT)织物进行阻燃与三防一步法整理,结合单因素实验,利用响应面法对整理工艺进行优化,得到优化工艺:阻燃剂质量浓度为 390 g/L,三防整理剂质量浓度为 43 g/L,带液率为 42%,焙烘温度为 141 °C,焙烘时间为 1 min。在此工艺条件下整理织物的损毁长度为 10.5 cm,LOI 值达到 28.5%,阻燃性能达到国标 B1 标准;水相接触角达到 145.6°,油相接触角达到 129.2°,具有良好的防水防油效果;且经 20 次水洗和 50 次摩擦后,织物仍保留了良好的阻燃和拒水拒油性能。对比实验发现,相比于常规浸轧实验,阻燃与三防一步法泡沫整理织物的阻燃和三防性能略好。

以低给液、短流程、高节能的泡沫整理方式对生物基 PTT 织物进行阻燃和三防双功能整理,不仅提高了生物基 PTT 织物的功能附加值,且符合生物基纤维材料绿色外延的拓展方向,为功能性生物基纤维材料的绿色可持续性发展提供了有效途径。

FZXB

参考文献:

- [1] 李现顺,甘胜华,汪少朋. 一种新型聚酯材料:PTT 的合成及应用[J]. 聚酯工业, 2014, 27(2): 7-12.
LI Xianshun, GAN Shenghua, WANG Shaopeng. A new polyester material: synthesis and applications of PTT[J]. Polyester Industry, 2014, 27(2): 7-12.
- [2] 马艳丽,王秀华,万继宪. 阻燃 PTT 共聚酯的制备及性能研究[J]. 合成纤维, 2010, 39(10): 20-23.
MA Yanli, WANG Xiuhua, WAN Jixian. Studies on preparation and properties of flame-retardant poly (triethylene terephthalate) copolymer [J]. Synthetic Fiber in China, 2010, 39(10): 20-23.
- [3] KURIAN J V. A new polymer platform for the future-sonora from corn derived 1,3-propanediol[J]. Journal of Polymers and the Environment, 2005, 13(2): 159-167.
- [4] LIU Hongjuan, XU Yunzhen, ZHENG Zongming, et al. 1, 3-propanediol and its copolymers: research, development and industrialization [J]. Biotechnol Journal, 2010, 5(11): 1137-1148.
- [5] 董奎勇,杨婷婷,王学利,等. 生物基聚酯与聚酰胺纤维的研发进展[J]. 纺织学报, 2020, 41(1): 174-183.
DONG Kuiyong, YANG Tingting, WANG Xueli, et al. Research and development progress of bio-based polyester and polyamide fibers [J]. Journal of Textile Research, 2020, 41(1): 174-183.
- [6] 王学利,彭治汉,江建明,等. 环状膦酸酯阻燃 PTT 纤维及其性能研究[J]. 合成纤维工业, 2007, 30(1): 25-27.
WANG Xueli, PENG Zhihan, JIANG Jianming, et al. Study on cyclic phosphonic acid flame retardant PTT fiber and its properties [J]. China Synthetic Fiber Industry, 2007, 30(1): 25-27.
- [7] 雷开强. 镍/聚苯胺/PTT 电磁屏蔽织物的制备及其性能[D]. 上海: 东华大学, 2015: 1-5.
LEI Kaiqiang. Preparation and properties of Ni/PANI/PTT electromagnetic shielding fabric [D]. Shanghai: Donghua University, 2015: 1-5.
- [8] 沈金科. 抗菌 PTT 纤维的制备及性能研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2014: 51-53.
SHEN Jinke. Preparation and properties studies of antibacterial poly (trimethylene terephthalate) filament [D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2014: 51-53.
- [9] GE Fangqing, ZHANG Jinju, LIU Jingyan, et al. A

- novel crease-resistant and hydrophobic dual-function foam coating for silk fabric by the one-step method[J]. *Textile Research Journal*, 2020, 90(13/14): 1495-1506.
- [10] 李珂,张健飞,巩继贤,等. 涤棉织物泡沫拒水拒油整理[J]. *纺织学报*, 2014, 35(4): 94-99.
LI Ke, ZHANG Jianfei, GONG Jixian, et al. Water and oil repellent finishing of polyester cotton by foam technology[J]. *Journal of Textile Research*, 2014, 35(4): 94-99.
- [11] 陈龙富,罗立善,罗竹青,等. 基于响应面实验设计的电泳工艺研究[J]. *湖南工业大学学报*, 2019, 33(4): 59-65.
CHEN Longfu, LUO Lishan, LUO Zhuqing, et al. Study on electrophoresis technology based on response surface analysis design[J]. *Journal of Hunan University of Technology*, 2019, 33(4): 59-65.
- [12] 赵宝宝,钱晓明,钱么,等. 水性聚氨酯机械发泡涂层的响应面法优化制备[J]. *纺织学报*, 2018, 39(7): 95-99.
ZHAO Baobao, QIAN Xiaoming, QIAN Yao, et al. Preparation of waterborne polyurethane coating by mechanical foaming based on response surface methodology[J]. *Journal of Textile Research*, 2018, 39(7): 95-99.
- [13] 吴龙. 应用响应面优化法的文胸泡沫模杯模压厚度变化趋势研究[J]. *纺织学报*, 2017, 38(11): 102-109.
WU Long. Thickness change trend under process parameters in foam cup molding using Box-Behnken design method [J]. *Journal of Textile Research*, 2017, 38(11): 102-109.
- [14] 苗苗,王晓旭,王迎,等. 氧化石墨烯接枝聚丙烯非织造布的制备及其抗静电性[J]. *纺织学报*, 2019, 40(11): 125-130.
MIAO Miao, WANG Xiaoxu, WANG Ying, et al. Preparation and antistatic property of graphene oxide grafted polypropylene nonwoven fabric [J]. *Journal of Textile Research*, 2019, 40(11): 125-130.
- [15] 谭富耀,盛赵越,胡婷,等. 超声波辅助提取麻城福白菊总黄酮工艺优化及其抗氧化活性分析[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(14): 154-159.
TAN Fuyao, SHENG Zhaoyue, HU Ting, et al. Ultrasonic-assisted extraction optimization of total flavonoids from macheng chrysanthemum morifolium and its antioxidant activity [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(14): 154-159.
- [16] 姚众,张贵云,张丽萍,等. 响应面法优化超临界二氧化碳萃取苦参碱工艺技术[J]. *山西农业科学*, 2020, 48(7): 1135-1139.
YAO Zhong, ZHANG Guiyun, ZHANG Liping, et al. Optimization of extraction process for matrine with supercritical carbon dioxide by response surface methodology [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2020, 48(7): 1135-1139.