



# 防暴雨面料的基材制备及其无氟防水整理工艺研究

张明飞<sup>1</sup>,章淑娟<sup>2</sup>,乔路阳<sup>3</sup>,董洪波<sup>3</sup>,金世豪<sup>3</sup>,王成龙<sup>1,2</sup>,郑今欢<sup>1,2</sup>

(1. 浙江理工大学纺织科学与工程学院(国际丝绸学院),杭州 310018;2. 浙江省现代纺织技术创新中心(鉴湖实验室),浙江绍兴 312000;3. 浙江东进新材料有限公司,浙江绍兴 312000)

**摘要:** 为进一步提高户外面料的防暴雨性能,通过分析防暴雨面料基材结构对户外面料防暴雨性能的影响,优化无氟防水整理工艺,测试面料的防暴雨性能,确定防暴雨面料基材结构及无氟防水整理工艺。结果表明:在确定面料基材其他结构参数的情况下,无弹和机械纬弹面料的防暴雨性能相较于机械四面弹更优异;防暴雨性能随着纱线纬度和面料经纬密的增加而增加,面料组织结构对防暴雨性能影响较小。选定机械纬弹、纱线纬度为 167 dtex、经纬密度为 376×300 根/(10 cm)的平纹面料作为防暴雨面料基材,对其进行防水整理,整理工艺为无氟防水剂 R3 质量浓度 40 g/L、交联剂 TF-569P 质量浓度 12 g/L、带液率 60%,一浸一轧,焙烘温度 170 °C,焙烘时间 90 s。经防水整理后,洗前防泼水评分为 100 分,耐水洗测试 20 次后防泼水评分仍然可保持在 95 分,进一步对单布进行邦迪斯门防暴雨测试,测试 10 min 时的防水等级可达 3~4 级,吸水率为 12.5%,透水量为 10 mL。该研究结果可为防暴雨户外运动面料的制备提供参考。

**关键词:** 面料弹性; 纤维; 经纬密度; 组织结构; 无氟防水整理

**中图分类号:** TS195.6

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-3851(2024)03-0210-10

**引文格式:** 张明飞,章淑娟,乔路阳,等. 防暴雨面料的基材制备及其无氟防水整理工艺研究[J]. 浙江理工大学学报(自然科学),2024,51(2):210-219.

**Reference Format:** ZHANG Mingfei, ZHANG Shujuan, QIAO Luyang, et al. Research on the preparation and fluoride-free waterproofing process of the substrate for rainstorm-proof fabrics[J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University, 2024, 51(2): 210-219.

## Research on the preparation and fluoride-free waterproofing process of the substrate for rainstorm-proof fabrics

ZHANG Mingfei<sup>1</sup>, ZHANG Shujuan<sup>2</sup>, QIAO Luyang<sup>3</sup>, DONG Hongbo<sup>3</sup>, JIN Shihao<sup>3</sup>,  
WANG Chenglong<sup>1,2</sup>, ZHENG Jinhuan<sup>1,2</sup>

(1. College of Textiles Science and Engineering (International Institute of Silk), Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. Zhejiang Provincial Innovation Center of Advanced Textile Technology (Jianhu Laboratory), Shaoxing 312000, China; 3. Zhejiang Dongjin New Materials Co., Ltd., Shaoxing 312000, China)

**Abstract:** To further improve the rainstorm-proof performance of outdoor fabrics, the influence of substrate structure of rainstorm-proof fabrics on rainstorm-proof performance of outdoor fabrics was studied, the fluoride-free waterproofing process was optimized, the rainstorm-proof performance of the fabrics was tested, and substrate structure and fluorine-free waterproofing process of the rainstorm-proof fabrics were finally confirmed. The results showed that: in the case of determining other specifications of the fabric substrate, the elasticity-free fabrics and mechanical weft elasticity fabrics had better rainstorm resistance than fabrics with mechanical four-sided elasticity; the rainstorm resistance increased with the

收稿日期: 2023-09-14 网络出版日期: 2023-12-12

基金项目: 浙江省基础公益研究计划项目(LGC20E030001, LGF21E030004)

作者简介: 张明飞(1999—),男,黑龙江伊春人,硕士研究生,主要从事功能性纺织面料方面研究及应用。

通信作者: 郑今欢, E-mail: hzzjh1968@126.com

increase of linear density and fabric warp and weft density, and the fabric structure had less effect on the rainstorm resistance. Plain weave fabrics with mechanical weft elasticity, a linear density of 167 dtex, and a warp and weft density of  $376 \times 300$  pieces/(10 cm) were selected as the base material of rainstorm-proof fabrics, and the waterproofing was carried out. The waterproofing process required a the mass concentration of fluorine-free waterproof agent R3 of 40 g/L, a mass concentration of cross-linking agent TF-569P of 12 g/L, and a liquid carrying rate of 60% by one dipping and one rolling under a baking temperature of 170 °C for 90 s. After waterproofing, the water repellency score was 100 points, and after 20 washable tests, the water repellency score could still be maintained at 95 points. Further Bundesmann rainstorm-proof tests were performed on single-layer fabrics, and it was found that the waterproof level could reach the third or fourth grade after 10 min, the water absorption rate was 12.5%, and the water permeability was 10 mL. The research results can provide reference for the preparation of rainstorm-proof outdoor sports fabrics.

**Key words:** fabric elasticity; linear density; warp and weft density; fabric structure; fluoride-free waterproof finish

## 0 引 言

随着户外运动的流行,人们对户外面料的功能性特别是在暴雨等极端天气下面料的性能提出了更高的要求。因此,高性能户外面料受到了越来越多的关注。暴雨一般是指每 1 h 降雨量超过 16 mm,连续 12 h 降雨量超过 30 mm,或连续 24 h 降雨量超过 50 mm 的降水。目前,针对防暴雨面料的测试方法主要采用邦迪斯门测试,通过模拟面料在暴雨环境下的表面动态拒水性能来衡量面料的防暴雨性能。当面料在邦迪斯门测试中 10 min 的防水等级在 3 级以上、透水量在 3 mL 以内,吸水率在 25% 以下时,认为该面料具有防暴雨性能。与普通防泼水的静态拒水性测试相比,邦迪斯门测试具有水流量更大、速度更快、冲击力更强、时间更持久等特点。防暴雨面料通常采用单布基材与 PTFE 膜进行层压复合来制备,而对于单布基材,一般要求其在邦迪斯门测试中 10 min 的防水等级在 3 级以上、透水量和吸水率分别在 10 mL 和 15% 以下。而常规防水透湿面料难以满足该要求,为此,需要对适用于防暴雨面料的单布基材进行研究。

除面料基材外,影响面料防暴雨性能的主要因素还有面料基材防水整理、防水透湿膜和复合工艺。近年来,研究人员从上述几方面对高防水透湿面料开展了大量研究。针对面料基材,陈丽华<sup>[1]</sup>研究了面料或里料种类、复合方式(涂层或层压)以及组合方式对面料防水透湿性能的影响,结果表明,防水透湿织物的防泼水能力主要取决于面料的防泼水性,抗渗水性主要取决于层压膜或涂层的抗渗水性。针对防水整理,由于 C8、C6 防水剂在生产和服用过程

中具有潜在的致癌性和环境累积性,为此,具有安全、环保特性的无氟防水剂成为了研究人员开发和推广应用的方向<sup>[2-4]</sup>。李翔等<sup>[5]</sup>分析了无氟拒水整理工艺对棉、涤棉面料拒水性能的影响,按照《面料拒水性测定 邦迪斯门淋雨法》(GB/T 14577—1993)测试了面料的动态拒水性能。经防水整理后,面料洗前防水等级可达 5 级,10 次 5A 程序洗涤烘干后评分能保持在 3 级以上,具有优良的动态拒水性能,但仍不符合防暴雨的要求。张建国等<sup>[6]</sup>采用无氟防水剂 ECO ADV 对化纤高密织物进行防水整理,结果表明,经无氟防水剂整理后再进行后整理加工(如涂层、贴合、复合等),面料色变小、防水性能稳定,且贴条强力较强、手感好、手抓白痕少。针对防水透湿膜方面,目前市场上主要采用 PTFE 薄膜与面料贴合来实现面料的高防水高透湿性能。邵青青等<sup>[7]</sup>探讨了 PTFE 膜厚度及面料种类对复合面料的防水透湿性能的影响,结果表明,2 种不同厚度的 PTFE 膜分别与 3 种面料复合,所得复合面料均具备良好的防水透湿性能。黄慧<sup>[8]</sup>分析了聚四氟乙烯膜面料性能的影响因素,对开发的面料透气率、沾水等级、透湿率等性能进行测试。结果表明,该面料的透气率达到 186 mm/s,沾水等级 4~5 级,透湿率  $7.71 \times 10^3$  g/(m<sup>2</sup>·24 h),各方面性能达到了功能纺织品的要求。然而,随着人们环保意识的提高,传统防暴雨面料的制备受到了一定的限制,因此,需要对绿色低碳防暴雨面料制备技术进行开发,如无氟防水整理等。

本文结合面料的基材结构和无氟防水整理工艺,探究面料基材的各项结构参数对防暴雨性能的影响,筛选出适合防暴雨的户外面料基材;对比市场

上常用的三款无氟防水剂与一款有氟防水剂的性能,选取性能最佳的无氟防水剂,并分析其防水整理工艺,通过考察防水剂质量浓度、交联剂质量浓度、带液率等因素对防暴雨性能的影响,确定最佳的无氟防水整理方案;探索防暴雨基材结构和防水整理工艺优化协同作用对防暴雨性能的影响规律,为防暴雨户外纺织面料的制备提供参考。

# 1 实验部分

## 1.1 实验材料与仪器

实验材料:100%涤纶(浙江东进新材料有限公司提供),机械纬弹为纬向具有弹性,机械四面弹为经向与纬向均具有弹性,纱线纤度经纬向一致,不同试样编号面料的规格参数见表 1。

表 1 涤纶面料的规格参数

试样编号	弹性类型	组织结构	面料厚度/mm	密度/(根·(10 cm) <sup>-1</sup> )		纱线纤度/dtex
				经	纬	
1#	无弹	平纹	0.385	304	240	167
2#	机械纬弹	平纹	0.193	304	240	55
3#	机械纬弹	平纹	0.274	304	240	83
4#	机械纬弹	平纹	0.335	304	240	90
5#	机械纬弹	平纹	0.386	304	240	167
6#	机械四面弹	平纹	0.383	304	240	167
7#	机械纬弹	平纹	0.384	156	128	167
8#	机械纬弹	平纹	0.385	244	192	167
9#	机械纬弹	平纹	0.384	304	240	167
10#	机械纬弹	平纹	0.382	376	300	167
11#	机械纬弹	方平	0.385	376	300	167
12#	机械纬弹	2/1 右斜纹	0.386	376	300	167
13#	机械纬弹	2/2 右斜纹	0.384	376	300	167
14#	机械纬弹	3/1 右斜纹	0.383	376	300	167

试剂:无氟防水剂 R3(含固率 25%,美国亨斯曼公司);无氟防水剂 9885(含固率 24%,浙江元贞化学有限公司);无氟防水剂 TF-5018(含固率 22%,传化智联股份有限公司);交联剂 TF-569P(含固率 18%,传化智联股份有限公司);含氟防水剂 5546(含固率 24%,上海有运纺织科技有限公司)和交联剂 SFB(含固率 23%,浙江东进新材料有限公司)。

仪器:P-B0 型卧式气压电动小轧车(宁波纺织仪器厂)、R-3 型自动热定形机(宁波纺织仪器厂)、JA2003 型电子天平(宁波纺织仪器厂)、Ultra 55 型场发射扫描电镜(德国蔡司公司)、Cyclone-5-700-C-RT 型 AcutEye 高速摄影仪(湖南科天健光电技术有限公司)、Kino SL200B 型视频接触角测量仪(美国科诺工业有限公司)、Y813 型防泼水性测定仪(南通宏大实验仪器有限公司)、YG089 S 型国际标准缩水率试验机(南通宏大实验仪器有限公司)和 SDL ATLAS 型邦迪斯门防暴雨测试仪(锡莱雅太拉斯有限公司)。

## 1.2 防暴雨面料基材的制备

在室温下,将防水剂(30~50 g/L)、交联剂(0~

15 g/L)加入 250 mL 水中,配制成防水整理液,未处理的涤纶面料基材经过一浸一轧(带液率 50%~70%)放入 170 ℃热定形机中,90 s 后取出待测。

## 1.3 测试与表征

### 1.3.1 防泼水测试

防泼水测试按照《纺织品 防水性能的检测和评价沾水法》(GB/T 4745—2012)测定。喷淋测试方法:截取 180.0 mm×180.0 mm 试样,在温度(21±1)℃、相对湿度(65±2)%的条件下调温调湿 4 h 后,紧绷于试样夹持器上,并以 45°放置,使面料的纵向顺着水流下的方向,将 250 mL 蒸馏水迅速倾入玻璃漏斗中,淋洒完毕,取起夹持器,使面料正面向下呈水平,然后轻敲一下,再翻转 180°,再次敲击原握持处,立即将试样与标准图片对照。

### 1.3.2 耐水洗测试

耐洗性测试按照 4 N《纺织品 试验时采用的家庭洗涤及干燥程序》(GB/T 8629—2017)(A 型洗衣机—4 N 洗涤温度(40±3)℃,洗涤剂 ECE 20 g,水洗 20 次,烘干温度 50~60 ℃)测定。对面料进行标准家庭洗涤并烘干,在 20 次完整洗涤程序后,对面料进行喷淋测试,并进行评分。

1.3.3 扫描电镜测试

采用台式扫描电子显微镜观察面料的表面形貌,并利用 Image J 软件(1.8.0 正式版)对 SEM 照片进行分析,获得面料表面孔隙率数据,具体方法参考文献[9]。

1.3.4 防暴雨测试

防暴雨测试按照《织物拒水性测定邦迪斯门淋雨法》(ISO 9865—2017)测定。通过防水等级、吸水率和透水量 3 个指标评价防暴雨性能,市场上一般认为单布防暴雨测试 10 min 防水等级在 3 级以上、吸水率和透水量分别在 15%和 10 mL 以下视为达到要求。主要方法为:首先称量试样的质量为  $m_1$  精确至 0.01 g。将面料测试面朝上,平整无张力地放于样杯上,用合适的夹样环夹住试样。拉开挡雨板,在 1.5 min 和 10 min 时用参比样目测评定湿试样的拒水性。观察试样未受淋面润湿情况。测试 10 min 后测量透过试样的水量,以样杯中所收集的水按 mL 计量。试样离心脱水 15 s,立即称出其质量为  $m_2$ ,精确至 0.01 g。吸水率  $W$  以质量百分比表示,计算见式(1):

$$W/\% = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \tag{1}$$

其中: $m_1$  为试样在试验前的质量,g; $m_2$  为试样试验后质量(即湿重),g。

1.3.5 接触角测试

采用视频接触角测量仪测试接触角,实验中测试静态接触角时,设定水的体积为 3  $\mu$ L,并取 3 次测试的平均值作为最终值。

1.3.6 AcutEye 高速摄影仪测试

在冷光源灯的照明下,高速摄像机以 450 帧/s 的拍摄速率采集图像,并传输至计算机。

2 结果与讨论

2.1 面料基材结构及纱线纤度对防暴雨性能的影响

2.1.1 面料基材弹性类型

面料的防暴雨性能与基材的结构有着密不可分的关系,越“紧密”的面料,防暴雨性能越好<sup>[9]</sup>。因此在确定面料基材纱线纤度为 167 dtex、经纬密为 304×240 根/(10 cm)的平纹面料情况下,分析面料基材弹性类型对防暴雨性能的影响,结果如表 2 所示。高速摄像机拍摄的水滴滴落面料表面瞬间形貌如图 1 所示。

表 2 不同面料基材弹性类型对防暴雨性能测试结果

弹性类型	防泼水性能/分		静态接触角/(°)	防暴雨性能				
	洗前	洗后		防水等级/级			吸水率/%	透水量/mL
				1 min	5 min	10 min		
无弹	100	95	135.1	4	3	3	20.4	18
机械纬弹	100	95	137.8	5	4	3~4	18.9	17
机械四面弹	100	90	133.2	4	3	1~2	27.5	36

注:防水整理工艺为无氟防水剂 R3 质量浓度 40 g/L,交联剂 TF-569P 质量浓度 10 g/L,带液率 50%,一浸一轧,烘干温度 170  $^{\circ}$ C,烘干时间 90 s。

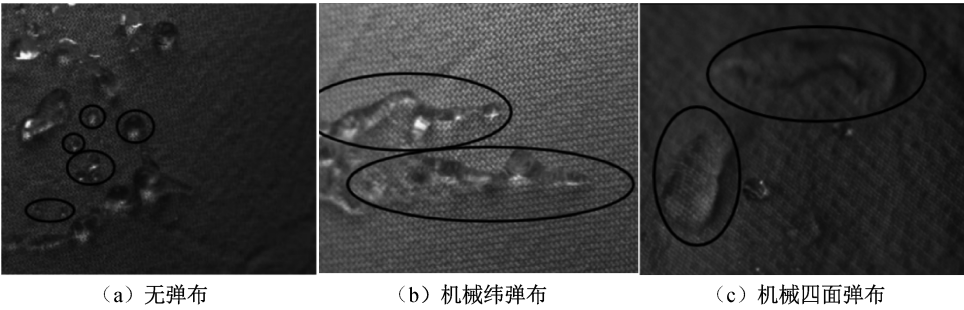


图 1 水滴滴落面料表面瞬间形貌

从表 2 可知,3 种不同弹性类型面料的洗前防泼水性能均可达 100 分,经过 20 次水洗烘干后防泼水性能仍在 90 分及以上,这表明面料弹性类型对面料防泼水性能影响不大。同时,随着面料基材弹性

类型的变化,相同时间的防水等级呈现机械纬弹较优,其次无弹,机械四面弹最差;吸水率和透水量方面,机械纬弹和无弹基本一致,机械四面弹相对较差,这可能是因为当具有重力势能和动能的水滴与



不同弹性的面料碰撞时,由于四面弹面料相对纬弹和无弹面料而言,经向与纬向均有弹性,更容易产生较大形变,导致纤维间的瞬时孔隙变大使水滴更易吸附和吸入面料表面(如图 1(c)所示),在造成面料吸水率和透水量均较大的同时导致面料的防水等级下降明显;而无弹面料不具备弹性面料对雨滴的缓冲作用,因此一部分水滴炸裂成较小水滴进入面料孔隙(如图 1(a)所示),也会造成吸水率增大的情况;机械纬弹面料一方面具有纬向弹性对水滴有柔性承载作用使其摊开后重新聚合(如图 1(b)所示),另一方面只有纬向弹性的面料受到经向无弹的限制也能阻挡水滴直接进入面料内部。

从表 2 还可知,同一面料基材随着测试时间的增加,防水等级均有不同程度的下降,10 min 后等

级分别为 3~4 级和 3 级;机械四面弹从 4 级下降到 1~2 级。这是因为防暴雨测试模拟雨滴从 1.5 m 高度垂直下落撞击面料,随着雨滴冲击面料表面的时间不断增加,水滴吸入和透过面料的程度逐渐加剧,进而导致防水等级随之下降。综上,机械纬弹面料防暴雨性能略优于无弹面料,机械四面弹面料较差,且考虑到户外运动面料为无弹布可能会影响到消费者的运动舒适感,故选择机械纬弹面料作为面料基材进行进一步研究。

2.1.2 面料基材经纬密

在面料确定机械纬弹、纱线纤度为 167 dtex 且同为平纹面料的情况下,选择不同经纬密的面料分析其对防暴雨性能的影响,防水整理工艺同上,测试结果如表 3 和图 2—图 3 所示。

表 3 不同经纬密的面料基材防暴雨性能测试结果

经纬密/ (根·(10 cm) <sup>-1</sup> )		防泼水性能/分		静态接触 角/(°)	防暴雨性能				
经	纬	洗前	洗后		防水等级/级			吸水率/ %	透水量/ mL
					1 min	5 min	10 min		
156	128	100	85	136.7	4	3~4	2~3	21.6	38
244	192	100	85	137.8	5	4	3	20.4	32
304	240	100	90	138.6	5	4~5	3	17.9	23
376	300	100	95	139.3	5	4~5	3~4	16.5	18

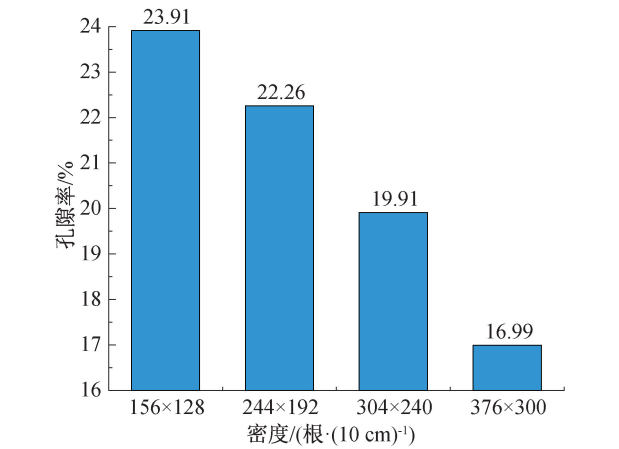


图 2 不同经纬密面料表面孔隙率

表 3 为不同经纬密的面料基材防暴雨性能测试结果,图 2—图 3 分别为不同经纬密面料的表面孔隙率和水洗前后接触角。如表 3 所示,随着面料经纬密的增加,面料的耐水洗性能逐渐增加,洗后防泼水性能由 85 分增加至 95 分;在防暴雨测试中,10 min 防水等级无明显差别,基本维持在 3 级左右,面料吸水率从 21.6%下降至 16.5%;但面料透水量下降较为明显,由 38 mL 下降至 18 mL。这主要是因为随着面料经纬密的减少,面料变得疏松,孔隙率随之增加(如图 2 所示),进而使得耐水洗测试

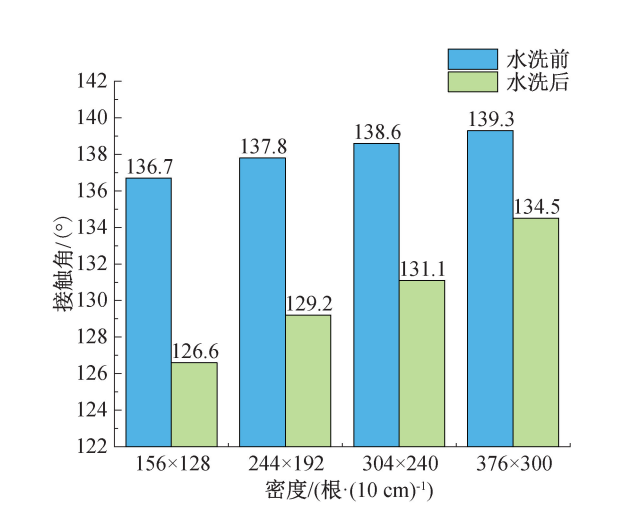


图 3 不同经纬密面料水洗前后表面接触角

时洗涤剂更易渗透进面料内部,并且使纱线之间更易发生摩擦滑移,增加了对防水层的破坏<sup>[9]</sup>,而当面料经纬密较高时,面料紧密程度增加,孔隙率下降,所以有效降低了雨水喷淋时面料的形变程度,减少对防水层破坏的同时,也降低了水滴透过面料的可能性。从图 3 看出面料水洗前后接触角均有不同程度的减小,也可以说明面料表面防水层受到了不同程度的破坏。因此,后续选择经纬密为 376×300 根/(10 cm)进行实验。

2.1.3 面料基材组织结构

在面料确定机械纬弹、纱线纤度为 167 dtex、经纬密为 376×300 根/(10 cm)的情况下,研究面料基

材组织结构对防暴雨性能的影响,防水整理工艺同上。不同组织结构的面料基材防暴雨性能测试结果见表 4,不同组织结构面料表面孔隙率见图 4。

表 4 不同组织结构的面料基材防暴雨性能测试结果

组织结构	防泼水性能/分		静态接触角/(°)	防暴雨性能				
	洗前	洗后		防水等级/级			吸水率/%	透水量/mL
				1 min	5 min	10 min		
平纹	100	95	137.8	5	4	3~4	17.5	15
方平	100	90	138.1	4	3	3	17.8	16
2/1 右斜纹	100	90	137.2	4~5	4	3~4	20.4	20
2/2 右斜纹	100	85	136.4	5	4	3~4	20.8	21
3/1 右斜纹	100	85	136.6	4	4	3	20.5	19

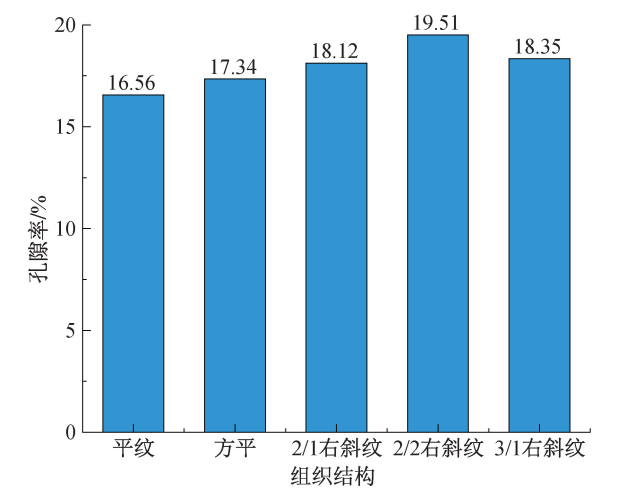


图 4 不同组织结构面料表面孔隙率

从表 4 中可以看出,随着组织结构的变化,面料耐水洗性能变化较为明显,且斜纹组织洗后防泼水性、面料吸水率及透湿量均差于平纹和方平组织。

这主要是因为,平纹组织和方平组织的组织点多于斜纹组织,面料结构更加稳定,水洗时形变较小,对面料的防水层破坏程度较小;而斜纹组织的组织循环较大、浮现较长,使其吸水率好于平纹及方平组织<sup>[10]</sup>。同时,斜纹组织孔隙率大于平纹及方平组织(如图 4 所示),进而导致其透水量相对较高。因此,综合考虑面料组织结构对防暴雨性能的影响,后续选择平纹组织面料进行实验。

2.1.4 面料基材纱线纤度

确定面料其他参数相同的情况下,选择纱线纤度为 56~167 dtex 的面料,分析纱线纤度对防暴雨性能的影响,防水整理工艺同上。不同纱线纤度面料基材防暴雨性能的测试结果见表 5,不同纱线纤度面料表面整体放大 500 倍和水洗前后局部放大 2000 倍防水层 SEM 图见图 5,不同纱线纤度面料表面孔隙率见图 6。

表 5 不同纱线纤度面料基材防暴雨性能的测试结果

纱线纤度/ dtex	面料厚度/ mm	防泼水性能/分		静态接触 角/(°)	防暴雨性能				
		洗前	洗后		防水等级/级			吸水率/ %	透水量/ mL
					1 min	5 min	10 min		
56	0.193	100	90	137.1	4	2	2	30.2	28
83	0.274	100	90	137.3	4	3	2~3	27.2	22
90	0.335	100	95	138.5	4	3~4	3	23.5	18
167	0.386	100	95	138.6	5	4	3~4	16.5	14

从表 5 可知,纤度对防水性能影响较小,洗后均能达到 90 分及以上;而随着纱线纤度的增加,面料防暴雨性能随之增加。这是因为纱线纤度增加会导致面料更加厚重,从而延长了水滴透过面料所经过的路径,降低水滴穿过面料的可能性。从图 5 可以发现,面料表面的防水整理剂随着洗涤次数增加都有不同程度的破坏,而纱线纤度较高的面料,由于组织结构更加紧密使得洗涤剂不易渗透进纤维内部,

对表面防水层的破坏较小<sup>[11]</sup>。

进一步测试不同面料表面孔隙率,发现随着纱线纤度的增加,面料更加紧密,面料表面孔隙率逐渐下降,雨水喷淋对表面防水层的破坏程度减小。整体来看,纱线纤度为 167 dtex 的面料在测试 10 min 后防水等级依然可以维持在 3 级以上,吸水率和透水量均优于其他几种面料基材,虽未达到市场对面料防暴雨性能的要求但相差不大。本文最终选择弹

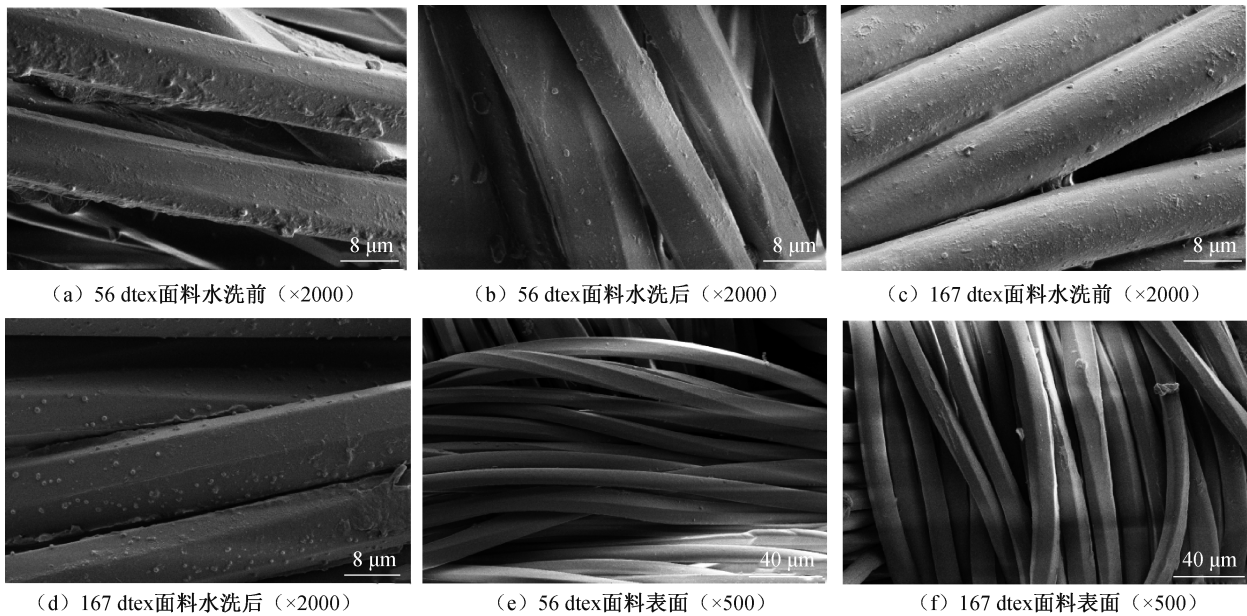


图 5 不同纱线纤维水洗前后防水层 SEM 图和表面整体相貌

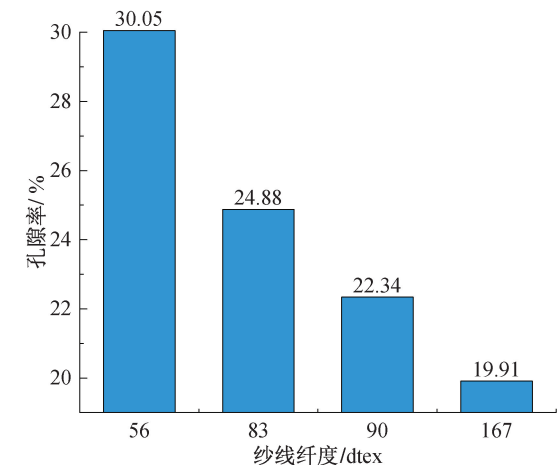


图 6 不同纱线细度面料表面孔隙率

性类型为机械纬弹、纱线细度为 167 dtex、经纬密度为 376×300 根/(10 cm)的平纹涤纶面料基材作为防暴雨面料基材进行防水整理工艺优化。

2.2 防暴雨面料基材防水整理工艺优化

2.2.1 防水剂种类

在纺织品拒水整理方面,通过将碳氢化合物与疏水性的树枝状大分子聚合物结合,将疏水性基团引入树枝状大分子聚合物表面,从而降低聚合物的表面张力。树枝状大分子聚合物采用多功能单体,通过引入保护基和脱保护,控制聚合物有序增长,形成高度规整的聚合物<sup>[2]</sup>。树枝状大分子聚合物的物理和化学性能显著增强,如分子不易缠结、表面性能高、黏度低、反应性高、溶解度较高等<sup>[12]</sup>。因此,此类聚合物常被用于无氟防水剂的制备。本文选用市场上常用的三款无氟防水剂(一款聚氨酯类 Zelan

R3 防水剂和两款丙烯酸类防水剂 9885 和 TF-5018)和一款含氟防水剂(5546)分别对面料基材进行防水整理,研究防水整理剂种类对防暴雨性能的影响。为避免存在交联剂适配问题,分别采用交联剂 SFB 和交联剂 TF-569P 进行实验,测试结果见表 6。

由表 6 可知,经 4 款防水剂整理后,面料的洗前防泼水性能为 100 分;20 次水洗烘干后防泼水性能均为 90 分及以上。邦迪斯门防暴雨测试结果显示:含氟防水剂 5546 整理后的面料测试 10 min 的防水等级面料为 4~5 级,其次是无氟防水剂 R3 整理后的为 3~4 级,9885 和 TF-5018 均为 2.5 级及以下;含氟防水剂 5546 和无氟防水剂 R3 整理后面料吸水率均在 20%以下,且透水量均为 14 mL 左右;从表 6 还可知,交联剂种类对防水等级影响不大,在吸水率和透水量方面交联剂 TF-569P 略优于交联剂 SFB,因此,需要进一步测试 TF-569P 交联剂整理后面料表面接触角。

对防暴雨面料进行接触角测试,结果如图 7 所示。从图 7 可见,4 种防水剂中,R3 与含氟防水剂 5546 防水整理后的面料接触角可达 139.5°和 142.2°,而无氟防水整理是防水剂的发展趋势,R3 在符合绿色生态理念的同时能够为多种纺织基材提供耐久性防水功效<sup>[13]</sup>。综上所述,选择无氟防水剂 R3 进行后续研究。

2.2.2 防水剂质量浓度

在确定其他工艺参数的基础上,调节无氟防水剂 R3 质量浓度 30~50 g/L,分析无氟防水剂 R3 质



表 6 不同防水剂整理的面料基材防暴雨性能测试结果

防水剂 种类	交联剂 TF-569P								交联剂 SFB						
	防泼水性能/分		防暴雨性能						防泼水性能/分		防暴雨性能				
			防水等级/级			吸水率/ %	透水量/ mL	防水等级/级			吸水 率/%	透水 量/mL			
	洗前	洗后	1 min	5 min	10 min			洗前	洗后	1 min			5 min	10 min	
R3	100	95	4~5	4	3~4	16.5	13	100	95	4~5	4	3~4	18.9	16	
9885	100	90	3~4	2~3	2	21.5	18	100	90	3	2~3	2	23.4	20	
TF-5018	100	90	3~4	3	2~3	22.4	20	100	90	3~4	2~3	2~3	25.5	22	
5546	100	95	5	4~5	4~5	15.5	13	100	95	5	4~5	4~5	16.5	14	

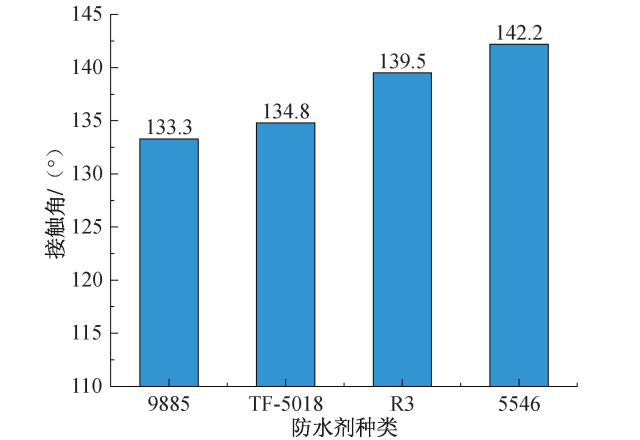


图 7 不同防水剂的面料表面接触角

量浓度对防暴雨性能的影响。不同防水剂质量浓度整理后面料基材防暴雨性能测试结果见表 7,防水整理前后纤维表面 SEM 图见图 8。

从表 7 可知,随着防水剂质量浓度的增加,面料的防泼水性能提升后稳定不变,当防水剂 R3 质量浓度为 40 g/L,洗前防泼水性能评分达到 100 分,此时水滴静态接触角维持在 138°左右,耐水洗烘干后防泼水性能仍然能达到 95 分,10 min 的防水等级为 3~4 级,吸水率和透水量分别为 15.8%和 13 mL。继续增加防水剂质量浓度,防泼水性能和防水等级也变化不大,这主要是因为防水剂 R3 质量浓度为 40 g/L 时已经足够覆盖住面料纤维表面

表 7 不同防水剂质量浓度整理后面料基材防暴雨性能测试结果

质量浓度/ (g·L <sup>-1</sup> )	防泼水性能/分		静态接触角/(°)	防暴雨性能				
				防水等级/级			吸水率/%	透水量/mL
	洗前	洗后		1 min	5 min	10 min		
30	95	90	136.2	4	3~4	3	18.2	22
40	100	95	138.2	5	4	3~4	15.8	13
50	100	95	138.8	5	4~5	4	15.1	10

注:防水整理工艺为无氟防水剂 R3 质量浓度 30~50 g/L,交联剂 TF-569P 质量浓度 10 g/L,带液率 50%,一浸一轧,烘干温度 170 ℃,烘干时间 90 s。

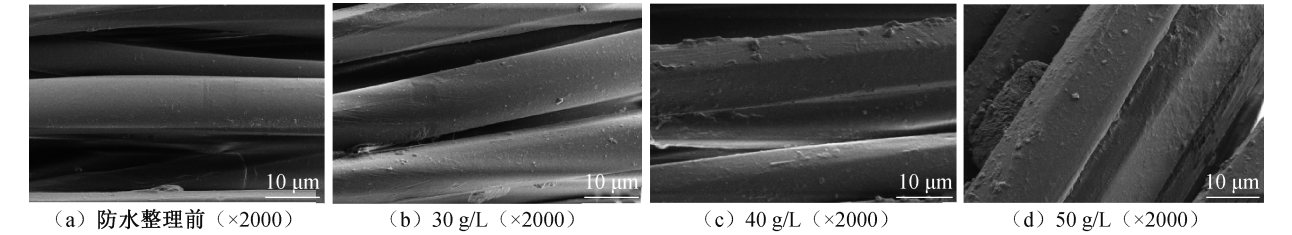


图 8 防水整理前和不同浓度防水剂整理后 SEM 图

(如图 8(c)所示),再增加防水剂也只是在表面堆积覆盖(如图 8(d)所示),对防暴雨性能提升不明显,故防水剂质量浓度选择 40 g/L。

2.2.3 交联剂质量浓度

确定无氟防水剂 R3 的质量浓度为 40 g/L 和其他工艺参数,调节交联剂质量浓度 0~15 g/L,分析交联剂质量浓度对防暴雨性能的影响,结果见表 8。

由表 8 可以看出,随着交联剂质量浓度的增加,面料的防泼水性能和静态接触角均有提升,当交联剂 TF-569P 质量浓度为 12 g/L 时,面料的防泼水性能达到最佳,接触角达到 142.3°,耐水洗烘干后防泼水性能为 95 分,10 min 时防水等级为 3~4 级,吸水率为 13.6%,透水量为 12 mL。继续增加交联剂质量浓度,防水等级反而会有所下降,这可能



表 8 不同交联剂质量浓度整理后面料基材防暴雨性能测试结果

质量浓度/ (g·L <sup>-1</sup> )	防泼水性能/分		静态接触 角/(°)	防暴雨性能				
	洗前	洗后		防水等级/级			吸水率/%	透水量/mL
				1 min	5 min	10 min		
0	90	80	116.3	3	1~2	1	27.6	28
5	90	90	133.2	3~4	2	1~2	23.7	27
8	95	90	134.9	3~4	2—3	2	22.7	20
10	100	95	138.2	4~5	4	3	16.1	14
12	100	95	142.3	5	4~5	3~4	13.6	12
15	95	90	139.5	4	3~4	3	17.6	16

是交联剂中存在的活性异氰酸酯基团与防水剂反应,在纤维表面形成网状结构<sup>[14]</sup>,提高了纤维表面防水层的致密性,但过量的交联剂覆盖在面料表面,反而会阻止防水剂与面料正常作用,造成面料的防暴雨性能下降。故交联剂质量浓度以 12 g/L 为宜。

表 9 不同带液率整理后面料基材防暴雨性能测试结果

带液率/%	防泼水性能/分		静态接触角/(°)	防暴雨性能				
	洗前	洗后		防水等级/级			吸水率/%	透水量/mL
				1 min	5 min	10 min		
50	100	95	133.8	5	4	3~4	13.8	12
60	100	95	134.1	5	4~5	3~4	12.5	10
70	100	95	135.2	5	4~5	3~4	12.1	10

从表 9 可知,随着带液率的增加,面料的防泼水性能和防暴雨性能均没有明显改变,带液率提高到 60%时,面料的吸水率和透水量分别达到 12.5%和 10 mL,而带液率达到 70%时,防暴雨性能基本无变化,综合考虑到带液率增加过高将会使能耗和成本上升,因此选择带液率为 60%。

3 结 论

本文选择涤纶面料进行防水整理,研究防暴雨面料的基材结构对防暴雨性能的影响,并通过优化防水整理工艺,进一步提高面料的防暴雨性能,主要结论如下:

a)机械纬弹和无弹的面料防暴雨性能优于机械四面弹面料,纱线纤度越大、经纬密越大防暴雨性能越好,面料组织结构对防暴雨性能影响较小。

b)最终优化防水整理工艺:无氟防水剂 R3 质量浓度 40 g/L,交联剂 TF-569P 质量浓度 12 g/L,带液率 60%,一浸一轧,焙烘温度 170 ℃,焙烘时间 90 s,经过防水整理后的面料在经过耐水洗测试 20 次后,仍然保持了良好的防泼水性能,邦迪斯门防暴雨测试 10 min 后的防水等级可达 3~4 级,吸水率为 12.5%,透水量为 10 mL。

2.2.4 带液率

确定无氟防水剂质量浓度 40 g/L,TF-569P 交联剂质量浓度 12 g/L 以及其他工艺参数,调节浸轧时带液率 50%~70%,研究带液率对防暴雨性能的影响,结果如表 9 所示。

参考文献:

[1] 陈丽华. 防水透湿织物服用性能的影响因素分析[J]. 棉纺织技术,2014,42(10):27-32.

[2] 杨兴,何陆春. 纺织品用无氟防水整理剂的现状及进展[J]. 印染助剂,2022,39(5):11-15.

[3] 李璐,王世雄,卢神州,等. 真丝(缙丝)织物的三防整理[J]. 现代丝绸科学与技术,2015,30(6):204-207.

[4] 单世宝. 无氟防水剂的发展和应用现状[J]. 纺织科学研究,2017,153(8):78-79.

[5] 李翔,高殿权,邓燕. 无氟拒水整理织物的静态和动态拒水性能[J]. 印染,2018,44(4):28-31.

[6] 张建国,沈俊,陈翔,等. 无氟防水整理在化纤高密织物上的应用[J]. 染整技术,2020,42(3):36-39.

[7] 邵青青,杜赵群,郑冬明,等. PTFE 膜复合织物的防水透湿性能研究[J]. 产业用纺织品,2020,38(3):36-40.

[8] 黄慧. 聚四氟乙烯膜面料的开发及其关键性能测试[J]. 纺织检测与标准,2023,9(2):15-17.

[9] 朱清,徐丹丹,潘国歌,等. 水性聚丙烯酸酯对涂层商标织物图案打印效果的影响[J]. 纺织学报,2020,41(8):55-62.

[10] 王丽,熊艳丽,郭嫣. 高透湿聚氨酯层压帐篷面料的开发[J]. 纺织报告,2021,40(1):16-18.

[11] 陈丽华. 组织结构对吸湿排汗织物性能的影响[J]. 棉纺织技术,2007,427(5):5-8.

[12] 龙晶,沈兰萍. 织物紧度对拒水拒油型保暖织物性能的

影响[J]. 印染,2019,45(11):39-42.

[13] Sujitha V, Sayana B, Kalyani P. Dendrimers and its application [J]. International Research Journal of Pharmacy,2011,2(7):104-111.

[14] 方娟娟,高妍,顾浩. 无氟防水整理剂的应用现状与发展趋势[J]. 纺织导报,2022(3):58-60.

[15] 靳晓松,涂伟文,郭龙. 大金防水剂在芳纶织物拒水拒油整理中的应用[J]. 印染,2018,44(7):45-46.

(责任编辑:张会巍)