

# 静电植绒法制备超疏水表面研究

冯磊,徐壁,邓环亮,蔡再生

(东华大学纺织面料技术教育部重点实验室,上海201620)

**摘要:**利用静电植绒技术在纺织纤维表面构建粗糙结构,结合聚二甲基硅氧烷(PDMS)表面修饰,制备超疏水表面。利用接触角测试仪、马丁戴尔摩擦仪、扫描电镜对材料表面形貌与疏水性能进行测试与表征。结果表明,经PDMS修饰的植绒织物具有超疏水性,其与水滴的静态接触角达 $150^\circ$ 以上。利用静电植绒技术制备的超疏水表面具有良好的耐磨性,其中绒毛长度为0.6 mm时具有最佳的疏水、耐磨性能。

**关键词:**超疏水;静电植绒;PDMS;耐磨性

**中图分类号:**TS19

**文献标志码:**A

**文章编号:**0253-4320(2015)06-0078-03

## Preparation of superhydrophobic surface by electrostatic flocking technology

FENG Lei, XU Bi, DENG Huan-liang, CAI Zai-sheng

(Key Laboratory of Textile Fabric Technology, Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 201620, China)

**Abstract:** Electrostatic flocking technology is used to construct roughness on textile fiber. Polydimethylsiloxane (PDMS) is employed to modify the rough textile fiber and prepare the superhydrophobic surface. Contact angle tester, martindale friction tester and scanning electron microscopy are applied to characterize the morphology and hydrophobicity of the surface. The results indicate that the electrostatic flocking fabrics show superhydrophobicity and have water contact angles larger than  $150^\circ$ . At the same time, the obtained superdophobic surface exhibits good abrasion resistance and durability. Optimal superhydrophobic and abrasion-resistant surface can be obtained when the flocking fluff is 0.6 mm long.

**Key words:** superhydrophobic; electrostatic flocking; polydimethylsiloxane; abrasion-resistant

超疏水材料在国防、工农业生产和日常生活中有着极其广阔的应用前景<sup>[1-3]</sup>。通常超疏水表面可以通过在材料表面构建微观粗糙结构结合低表面能物质修饰得到。超疏水表面的制备技术主要有等离子体处理法、气相沉积法、自组装技术、溶胶凝胶法、模板法、刻蚀法、静电纺丝法等<sup>[4]</sup>。上述方法大多存在工艺复杂、所用设备或者原料昂贵、条件苛刻等缺点,制约了超疏水技术的推广应用。

静电植绒技术是指将经过电着处理的绒毛在高压静电场作用下,规则、均匀地植入湿润状态的黏合剂中,经固化后最终形成柔软、光滑的绒毛层。作为一种方法成熟、操作简单的工业技术,静电植绒已广泛应用于纺织服装、汽车装饰材料等领域<sup>[5]</sup>。静电植绒后的材料表面由于具有连续、密集的绒毛从而在材料表面形成粗糙结构,这为超疏水纺织品的快速高效构建提供了有利条件。

笔者利用静电植绒技术构建粗糙表面,并用聚二甲基硅氧烷对材料表面进行低表面能物质修饰,成功制备耐久超疏水表面。

## 1 实验部分

### 1.1 材料和试剂

纯棉针织物,规格为 $105\text{ g/m}^2$ ;尼龙绒毛,规格

为 $1.5\text{ D}\times 0.5\text{ mm}$ 、 $1.5\text{ D}\times 0.6\text{ mm}$ 、 $1.5\text{ D}\times 0.8\text{ mm}$ (中山市金盈毛绒工艺有限公司生产);静电植绒胶DA-24H(山东华诚高科胶粘剂有限公司生产);聚二甲基硅氧烷PDMS(Dow Corning Corporation生产);正庚烷、无水乙醇(化学纯,国药集团化学试剂有限公司生产)。

### 1.2 植绒织物表面的制备

取棉布作为基底,在其表面涂覆静电植绒胶(厚度为0.5 mm),开启手提式静电植绒箱,在50 kV静电高压下,在棉布基底上分别种植不同长度(0.5、0.6、0.8 mm)绒毛,然后 $60^\circ\text{C}$ 下预烘8 min,再进行 $130^\circ\text{C}$ 焙烘10 min,以使静电植绒胶充分交联,最后取出植绒织物刷去表面浮毛完成植绒。

### 1.3 PDMS表面修饰构建超疏水表面

用PDMS对织物进行处理时,将织物浸在PDMS与正庚烷体积比为1:20溶液中,浴比为1:20,浸泡2 min,取出置于温度 $60^\circ\text{C}$ 烘箱,加热处理时间为3 h,以制备超疏水织物。

### 1.4 测试及表征

利用Kruss DSA30接触角与表面张力测试仪对织物疏水性能进行表征;利用日立TM-100扫描电子显微镜对织物表面形貌进行测试表征;通过Nu-

收稿日期:2014-12-08

基金项目:纺织面料技术教育部重点实验室开放课题资助(14D110533);东华大学中央高校科研业务(14D110516)

作者简介:冯磊(1988-),男,硕士生,主要从事功能性整理剂的合成及应用,021-67792808,931564192@qq.com;蔡再生(1965-),男,博士,教授,主要研究方向为纺织品功能整理,zshcai@dhu.edu.cn。

Martindale 864 马丁戴尔耐磨仪对织物耐磨性能进行表征。

## 2 结果与讨论

### 2.1 植绒织物的表面润湿性

为了考察植绒织物的润湿性能,利用接触角测试仪对不同长度绒毛植绒后经 PDMS 修饰的材料表面润湿性能进行测试,结果如表 1 所示。

表 1 PDMS 修饰不同长度绒毛植绒材料表面润湿性能

绒毛长度/mm	0.5	0.6	0.8
PDMS 修饰后对水滴接触角/(°)	149.1	156.9	148.5

由表 1 可知,0.5、0.6、0.8 mm 绒毛的植绒织物,经过 PDMS 修饰后,均具有较高的疏水接触角,其中 0.6 mm 长绒毛所得植绒织物经 PDMS 修饰后,其疏水性能最好,接触角可以达到 150° 以上。

### 2.2 PDMS 修饰前后植绒织物表面接触角随时间变化情况

用 PDMS 对绒毛长度为 0.6 mm 的植绒织物进行处理,PDMS 修饰前后植绒织物表面接触角随时间变化情况如图 1 所示。

0 s 137.31°	15 s 118.64°	30 s 108.39°	45 s 107.47°	1 min 101.32°	5 min 83.53°	10 min 65.15°
0 s 152.16°	1 min 152.06°	5 min 151.37°	10 min 150.10°	15 min 150.01°	20 min 149.80°	25 min 148.64°

图 1 PDMS 修饰前后植绒织物表面接触角随时间变化情况

由图 1 可知,未经 PDMS 修饰的植绒织物,水滴刚接触织物时,接触角较大,有一定的疏水能力,这是由于绒毛之间有空气层存在,起到一定的疏水效果。但随着时间的延长,水滴逐渐渗透到织物内部,水滴接触角变小,所以其疏水性能是短暂的。经过 PDMS 修饰的植绒织物,在测试时间内,其疏水性能稳定持久。

### 2.3 植绒织物的耐磨性

用 PDMS 对不同绒毛长度的植绒织物进行修饰,并将织物置于马丁戴尔耐磨仪上进行最大耐摩擦次数实验,选出较优绒毛长度,PDMS 修饰前后织物的耐磨性能如表 2 所示。

表 2 不同绒毛长度植绒织物 PDMS 修饰前后的耐磨性能

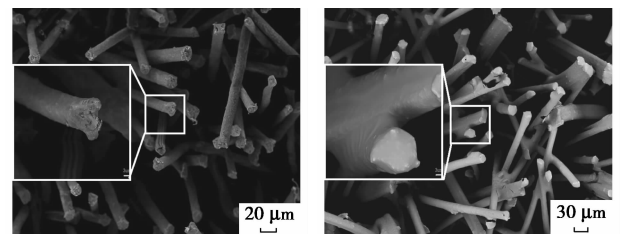
绒毛长度/mm	未经 PDMS 修饰 最大摩擦次数	PDMS 修饰 最大摩擦次数
0.5	3500	5600
0.6	10000	12000
0.8	3000	6000

注:植绒织物耐磨性牢度按 GB/T 21196.1 和 GB/T 21196.4 执行,压力为 9 kPa,以试样露底、条线断条或表面外观为不可接受(GB/T 250 3 级及以下)为试验终点,以不少于 3 个试样中摩擦次数最少者为该样品的植绒牢度。

由表 2 可知,经 PDMS 修饰后的植绒织物,其最大耐摩擦次数均增大,说明 PDMS 修饰有利于提高植绒织物的耐磨性能,这与 PDMS 在织物表面形成一层均匀的机械膜层有关,增强了植绒织物的机械强度;绒毛长度较短或较长的植绒织物,其最大耐磨性能较低的原因是绒毛较短,绒毛很快磨损,从而导致最大耐摩擦次数较小;绒毛较长,同样的植绒条件下,织物上的绒毛密度较小,其总的机械强度有所下降;绒毛长度为 0.6 mm 的植绒织物,其长度以及植绒密度均较好,故其整体机械强度较好。

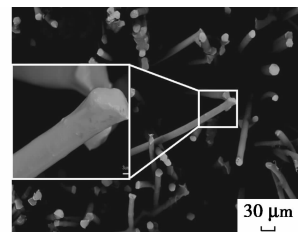
### 2.4 PDMS 修饰植绒织物摩擦前后表面形貌

用扫描电镜对 PDMS 修饰的 0.6 mm 绒毛织物摩擦(12 000 次)前后表面形态进行观察,如图 2 所示。



(a) 未经 PDMS 修饰绒毛

(b) 未经摩擦处理的 PDMS 修饰绒毛



(c) 经摩擦处理的 PDMS 修饰绒毛

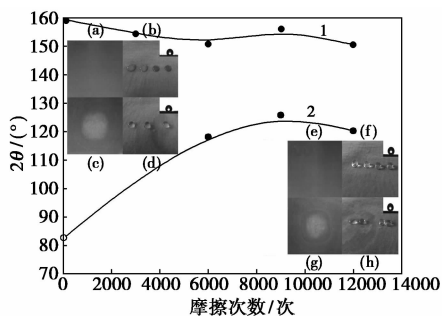
图 2 PDMS 修饰植绒织物摩擦前后绒毛表面形态

由图 2(a) 可知,植绒织物主要由绒毛构成粗糙表面;绒毛表面光滑度低。由图 2(b) 可知,绒毛经 PDMS 修饰后,PDMS 形成一层厚度非常小的薄膜包

覆在绒毛表面,使绒毛表面变得光滑,其中部分绒毛相交叉的地方,可以很明显地观察到一层薄膜将绒毛覆盖,即在绒毛表面形成一层疏水的薄膜,起到疏水作用;由图 2(c)可知,绒毛虽有相互聚集的现象,但其绒毛表面经摩擦之后基本不变,PDMS 薄膜没有脱落,证明其具有很好的耐摩擦性能。

## 2.5 植绒织物经 PDMS 修饰前后在不同摩擦次数时的接触角

用 PDMS 对绒毛长度为 0.6 mm 的植绒织物进行修饰,并将织物置于马丁戴尔耐磨仪上进行耐摩擦实验,PDMS 修饰前后织物在不同摩擦次数时的疏水性能如图 3 所示。



1—PDMS 处理;2—无 PDMS 处理

(a) 植绒织物; (b) 水滴在植绒织物表面,  $\theta = 92.30^\circ$ ; (c) 摩擦 12 000 次植绒织物; (d) 水滴在摩擦 12 000 次植绒织物表面,  $\theta = 120.26^\circ$ ; (e) PDMS 修饰植绒织物; (f) 水滴在 PDMS 修饰植绒织物表面,  $\theta = 158.48^\circ$ ; (g) 摩擦 12 000 次 PDMS 修饰植绒织物; (h) 水滴在摩擦 12 000 次 PDMS 修饰植绒织物表面,  $\theta = 150.47^\circ$

图 3 PDMS 修饰前后织物在不同摩擦次数时的疏水性能

由图 3 可知,经 PDMS 修饰的织物摩擦前后其对水的接触角均维持在  $150^\circ$  以上,在植绒织物经摩擦而有磨损的情况下,其疏水性能基本不变;而未经 PDMS 修饰的织物,随着摩擦次数的增加,其疏水接触角先上升后减小,这是由于织物在经受摩擦时,绒毛尖端逐渐磨损,绒毛底部相对密度变大,接触角变大,当摩擦次数继续增大,绒毛磨损严重,基本从布面脱落时,其疏水性下降。

由图 3(a)、图 3(e)可知,PDMS 修饰植绒织物与原织物表面形态相同,说明 PDMS 所成疏水膜很薄,对织物表面无影响;由图 3(c)、图 3(g)可知,PDMS 修饰植绒织物经过 12 000 次摩擦后比原织物表面保留的绒毛多,摩擦中心部位绒毛磨损面积较小,绒毛脱落较少。而未经 PDMS 修饰的织物,其经过 12 000 次摩擦后,摩擦中心部位磨损面积较大,绒毛脱落较多,说明 PDMS 薄膜的存在,增强了植绒

织物表面的机械强度,使其耐磨性能大幅增加;由图 3(b)、图 3(d)可知,植绒织物在摩擦前水滴接触角较小,经摩擦之后,水滴接触角增大;由图 3(f)、图 3(h)可知,植绒织物在摩擦前水滴接触角较大,水滴成球形,经摩擦之后,水滴接触角基本不变。

## 2.6 植绒方法的适用性<sup>[6-11]</sup>

静电植绒技术操作简单,加工方便,广泛应用于建筑、服装、玩具、家具和装饰等多个领域,具有良好的应用价值,而用 PDMS 进行修饰,方法简便,可有效增加静电植绒产品的使用价值。

## 3 总结

(1) 采用静电植绒的方法成功制备粗糙的植绒表面。

(2) 用 PDMS 对粗糙的植绒表面进行修饰制备出超疏水表面,并研究了植绒织物的性能。

(3) 利用 PDMS 修饰植绒织物,所得样品具有优良的超疏水性能、较佳的耐磨性能和良好的耐久性能。

## 参考文献

- [1] 李欢军,王贤宝,宋延林. 超疏水多孔阵列碳纳米管薄膜[J]. 高等学校化学学报,2001,22(5):759-761.
- [2] Li X, Reinhoudt D, Crego-Calama M. What do we need for a superhydrophobic surface? A review on the recent progress in the preparation of superhydrophobic surfaces[J]. Chemical Society Reviews, 2007,36(8):1350-1358.
- [3] Tu C, Tsai C H, Wang C. Fabrication of superhydrophobic and superoleophilic polystyrene surfaces by a facile one-step method[J]. Macromolecular Rapid Communications, 2007, 28(23):2262-2267.
- [4] 尚延伟. 超疏水/超亲油静电纺纤维膜的制备及油水分离的研究[D]. 上海:东华大学,2012.
- [5] 齐成. 静电植绒印花技术概述[J]. 丝网印刷,2006,05:26-29.
- [6] Ing Brigitte Neudeck. The use of flocked yarns in large embroidery machines[J]. Flock,2000,26(2):8-9.
- [7] Ing Gerald Hoffmann. New flock research project at the institute for textile and clothing technology of the TU Dresden[J]. Flock, 2002,106(28):5-6.
- [8] Innovative flock applications for the garments industry and other branches[J]. Flock,2001,104(25):3-5.
- [9] UrS Meyer. Textiles in automobile interiors[J]. Flock,2002,102(26):26-29.
- [10] Conway R. Technological advance offers new products and new markets[J]. International Dyer,1996,181(4):34-35.
- [11] Wehlow A. The technique of flocking-resurgence of a textile sector[J]. International Textile Bulletin-Dyeing/printing/Finishing, 1987,33(2):60-69. ■