

文章编号 :0253-9721(2006)02-0065-03

# 等离子体处理对丙纶纤维表面接触角的影响

黄锋林,魏取福,徐文正

(江南大学 纺织服装学院,江苏 无锡 214122)

**摘要** 论述了等离子体处理后丙纶纤维表面形态以及接触角的变化。利用基于 Wilhelmy 原理的接触角测量仪测量了纤维的动态接触角,为表征纤维的润湿性能提供了一种很好的途径。通过比较分析得出了等离子体处理后丙纶纤维的表面形态和表面接触角的关系。

**关键词** 等离子体;接触角;原子力显微镜;Wilhelmy 原理

**中图分类号**:TS141.8 **文献标识码**:A

## Influence of plasma treatment on contact angles of PP fibers

HUANG Feng-lin, WEI Qu-fu, XU Wen-zheng

(School of Textiles and Clothing, Southern Yangtze University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

**Abstract** The change in surface morphology and contact angle of the polypropylene (PP) fibers treated by low temperature plasma is discussed. The instrumentation of contact angle measurement based on Wilhelmy technique offers a new approach to measuring the dynamic contact angle of fibers, which can be used to characterize the wettability of the fiber. The relationship between the morphology and the dynamic contact angle of polypropylene fibers treated by plasma was found out through comparative analysis.

**Key words** plasma; contact angle; AFM; Wilhelmy technique

丙纶纤维有许多独特的优良性能,如密度低,强度高,耐酸碱性比较好而且不刺激皮肤,有良好的隔热性,所以在运动服装、产业用纺织品等方面得到了广泛的应用,但是丙纶纤维是常用纺织纤维中吸湿性能最差的纤维,其回潮率在 20 时只有 0.05%<sup>[1]</sup>,接近于零。它的不良润湿性不仅使染色困难,而且限制了其在服装面料上的应用,所以改善丙纶纤维的润湿性能具有很强的应用价值和现实意义。但传统的化学处理方法有着很多致命的缺点,如会改变纺织材料的特性,并且会造成环境污染等。等离子体处理技术是一种对环境友好的表面物理处理技术,其特点是工艺简单,处理只限于材料表面而不影响材料的本体性质,无三废污染问题<sup>[2,3]</sup>。众所周知,等离子体对纤维的表面处理,其效果可以归结为两类,一类是对纤维表面的物理刻蚀,如使用一些惰性气体氩气等对纤维表面进行处理;另一类是在纤维表面进行化学接枝,引入很多极性基团<sup>[4]</sup>,例如

使用氧气、氮气等离子体处理。

有关用等离子体处理纤维表面改善其润湿性能的研究国内外已经有很多报道<sup>[2,3,5]</sup>。本文通过原子力显微镜对纤维表面形貌进行了观察,使用 Wilhelmy 原理<sup>[6]</sup>研究了丙纶纤维的动态接触角。不仅得出了等离子体处理技术能显著改善丙纶纤维表面润湿性能的结论,而且还分析了丙纶纤维的表面形态与接触角中的前进角和后退角之间的关系。

## 1 实验部分

### 1.1 材料

丙纶纤维是借助 ESL 实验室纺丝设备采用切片型号为 HF445J B (由 Borealis 公司提供)的丙纶切片在下列条件下纺丝而成:牵伸比为 50%,喷丝孔尺寸为 0.8 mm,挤压一区温度为 215,二区温度为 225,三区温度为 230,喷丝板温度为 230,卷

收稿日期:2005-05-12 修回日期:2005-10-08

作者简介:黄锋林(1979-),男,汉族,博士生。主要从事纤维改性功能化的研究。

绕速度为 100 m/min, 计量泵速度为 3 r/min, 无纺丝上油。

### 1.2 步骤及原理

采用 HD-1A 型等离子体处理机对纤维进行处理。由于丙纶纤维的熔点较低(165 ~ 173 °C), 所以控制等离子体处理的功率尤为重要, 实验采用较低功率 30 W, 时间采用 30、60 s 不等, 处理气体为氧气和氩气。

原子力显微镜扫描方法为接触式, 扫描范围为 5.0 μm<sup>[6]</sup>。

液体在固体的表面张力主要是通过测量它在固体表面的接触角来表征。而测量固、液体接触角的方法有很多种, 通常可以分为 2 大类: 静态的液滴形状观察法<sup>[7-9]</sup>和动态的 Wilhelmy 法。但液滴形状观察法测试过程复杂, 数据离散性大且只能测试静态接触角。因此本文采用基于 Wilhelmy 原理的动态测试方法。

当一固体部分插入一液体时, 液体会沿着固体的垂直壁上升(亲液)或下降(疏液), Wilhelmy 法就是通过测定液体对固体的拉力(推力)——润湿力的方法来间接测定接触角。

实验使用的是英国 Camtel 公司生产的 CDCA-100F 表面动态接触角测量仪。此仪器的核心部件为精密天平, 它可以记录力  $F$  变化的动态过程。

$$F = \text{重力} - \text{浮力} + \text{界面张力} = (\rho_p l w t) \times g - (\rho_L h w t) \times g + 2 \times (w \times t) \times \gamma \times \cos \theta$$

在仪器测试前天平会自调节平衡, 即会消除被测试品重力的影响。则上述公式可表示为

$$F = - (\rho_L h w t) \times g + 2 \times (w \times t) \times \gamma \times \cos \theta$$

如果浮力等于零(可以由图像回退至零点, 如图 1 所示), 则可得  $F$  和  $\theta$  的关系为  $F = 2 \times (w \times t) \times \gamma \times \cos \theta$ , 其中, 假定被测物体的横截面面积为  $w \times t$ , 浸入深度为  $h$ ; 被测试样的密度是  $\rho_p$ , 长度为  $l$ , 测量使用液体的密度为  $\rho_L$ ,  $\gamma$  为液体的表面张力,  $g$  为重力加速度。

## 2 结果与讨论

### 2.1 原子力显微镜观察

从宏观上看, 未经处理的丙纶纤维表面较为光滑, 但在原子力显微镜下观察可以发现, 纤维表面有较明显的纹路和细微的凹凸不平, 如图 2(a) 所示,

这是导致纤维原样的表面接触角出现略微滞后(前进接触角与后退接触角之差为 10.8°)的原因之一。如前所述, 使用氧气等离子体处理纤维不仅会在表面引入刻蚀而且会在纤维的表面引入一些极性基团, 如图 2(b) 所示, 也可以很明显地看到纤维表面的 2 种形态。而惰性的氩气处理纤维在表面的刻蚀更为明显, 如图 2(c) 所示, 且随着处理时间的延长, 纤维表面的刻蚀现象越来越明显, 如图 2(d) 所示。

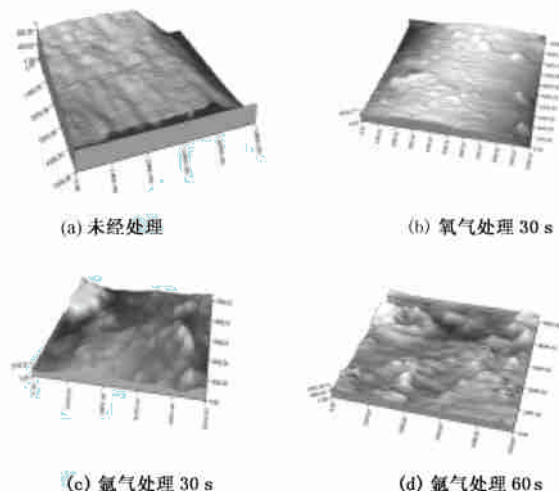


图 1 丙纶纤维的 AFM 图像

### 2.2 动态接触角

纤维原样经过各种气体处理后测试纤维的接触角, 结果见表 1, 测试液体为去离子水。

表 1 气体处理后的接触角测试结果 (°)

气体	0 s(未处理)		30 s		60 s	
	a	r	a	r	a	r
O <sub>2</sub>	91.0	80.2	68.5	49.0	43.8	23.0
Ar	91.0	80.2	72.2	54.3	54.6	22.2

注: 处理功率为 30 W, 气流压强为 15 Pa,  $a$  为前进接触角,  $r$  为后退接触角。

可以看出, 无论使用氧气还是氩气都能明显降低纤维的前进接触角和后退接触角, 经过 60 s 的处理后, 纤维的后退角已接近 20°。而对氧气和氩气处理结果的分析可知, 使用氧气处理的效果更为明显。这主要是由于氧气不仅在纤维的表面形成刻蚀而且接枝了亲水性的基团。

### 2.3 表面形貌和接触角之间的关系

实验发现, 表面粗糙只是引起接触角滞后现象的重要原因之一, 尤其对后退角的影响更为明显。事实上水分子吸附或者离开纤维都需要克服纤维表

面的横向结合键,但由于吸附和离开时所克服的横向结合键所需力的不同,这种力的差值也是形成接触角滞后现象的原因之一。

纤维的表面粗糙对后退角的影响更为明显,使用氩气等离子体经过60 s的处理以后,纤维的后退角从 80.2 降为 22.2°,而使用氧气等离子体处理对纤维前进角的影响更为明显,处理60 s后,丙纶纤维的前进角从 91.0 降为 43.8°,可以认为前进角和纤维表面组分的不匀有着重要的关系。

由于未经处理的丙纶纤维表面不平整,导致表面组分均匀的丙纶纤维依然存在明显的接触角滞后性( $\alpha_r = \alpha - \alpha_f = 10.8^\circ$ )。使用等离子体处理后,纤维表面的接触角滞后性有所增加: $\alpha - \alpha_f$  值增加。这在使用氩气处理时更为明显: $\alpha_r$  值从 10.8 增加到 17.9°(处理时间30 s)和 32.4°(处理时间60 s),这主要是由于纤维表面的粗糙度对后退角的影响比对前进角的影响更为明显。而使用氧气处理丙纶纤维后,纤维的接触角滞后性也不太明显,这主要是由于在纤维表面形成了大量亲水性基团<sup>[4]</sup>的缘故。

### 3 结 论

利用 Wilhelmy 原理测试了经过等离子体处理后丙纶纤维接触角的变化情况。结果表明,等离子体处理技术能够显著降低纤维表面接触角,改善纤维的润湿性能。使用原子力显微镜观察经过等离子体处理后的丙纶纤维的形貌,给出了等离子体处理对丙纶纤维表面进行刻蚀的直观图像。而且分析了影响等离子体处理后丙纶纤维接触角的因素,发现表面粗糙是导致纤维表面后退角降低的主要原因,而

前进角可能和纤维的组分有着密切的联系。 FZXB

#### 参考文献:

- [ 1 ] 姚穆,周锦芳,黄淑珍,等. 纺织材料学[M]. 第 2 版. 北京:中国纺织出版社,1997. 208.
- [ 2 ] Luigi Carrino, Giovanni Moroni. Cold plasma treatment of polypropylene surface: a study on wettability and adhesion [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 121 :373 - 382.
- [ 3 ] Tsai PP-Y, Wadsworth L C, Roth J R. Surface modification of fabrics using a one-atmosphere glow discharge plasma to improve fabric wettability [J]. Textile Research Journal, 1997, (5) :359 - 369.
- [ 4 ] Wei Q F. Surface characterization of plasma-treated polypropylene fibers[J]. Material Characterization, 2004, 52 :231 - 235.
- [ 5 ] Negulescu I I, Despa S, Chen J, et al. Characterizing polyester fabrics treated in electrical discharges of radio-frequency plasma [J]. Textile Research Journal, 2000, (1) : 1 - 7.
- [ 6 ] Wilhelmy J. Ueber die abhangigkeit der capillaritats-constanten des alkohols von substanz und gestalt des benetzten festen korpers[J]. Ann Physik, 1863, (119) :177 - 217.
- [ 7 ] Carroll B J. The accurate measurement of contact angle, phase contact areas, drop volume, and laplace excess pressure in drop on fiber systems[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 1976, 57(3) : 488 - 495.
- [ 8 ] Tammar S Meiron, Abraham Marmur, Saguy I Sam. Contact angle measurement on rough surfaces [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2004, (274) : 637 - 644.
- [ 9 ] Lam C N C, Ko R H Y, Yu, et al. Dynamic cycling contact angle measurements: study of advancing and receding contact angles[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2001, (243) : 208 - 218.