

## 细旦、超细旦聚丙烯纤维的开发与应用进展

东华大学材料学院 张瑜

### 前言

上世纪九十年代初，在美国亚特兰大召开的世界“聚烯烃在纺织工业中的应用”的研讨会上意大利学者报告了对聚丙烯纤维织物一系列性能的测试和与其它纤维织物对比结果，充分表明丙纶进入衣着领域是一种革命，它被视为一种具有不可取代特性的新的纺织原料，通过对其正确的使用或者与其它纤维的混用，可以获得很好的服用性和舒适性，适合做内衣、运动衣、防寒衣。”

聚丙烯纤维具有许多优良的性能，但是也存在许多缺点，阻碍了它在应用领域的扩展，为此对于它的改性和开发应用从没有间断过。经过改性的聚丙烯以及茂金属聚丙烯催化剂的研发成功和纺丝技术的进步为制备细旦和超细旦聚丙烯纤维创造了条件。

细旦化的聚丙烯纤维具有独特的“芯吸效应”，使织物能够导湿排汗、透气滑爽，不粘身，具有其它纤维织物所不具备的优良的服用性能。由于细旦聚丙烯纤维的开发，大大开拓了聚丙烯纤维的应用领域，已经导致其在高性能运动服，牛仔裤，流行袜类，贴身内衣和汽车用产品、无纺布过滤材料以及医疗卫生等方面的应用。

国内在上世纪九十年代初，中科院、东华大学（原中国纺织大学）等推出的高科技成果解决了聚丙烯纤维细旦、超细旦化的难题，又通过最近几年的努力，东华大学成功地开发了具有国际领先水平的可染微细旦丙纶长丝以及具有特殊功能的抗紫外、远红外、抗菌等功能性的微细旦的聚丙烯纤维以及开展了对茂金属聚丙烯纤维的研究。

### 一、细旦、超细旦纤维的性能特点

#### （一）、纤维单丝细旦化的几何特性

随单纤维细化程度的增加，单丝直径变小，纤维比表面积增大，表面的补偿效应增加，从而赋予织物蓬松性能、提高覆盖性能。

表 1 聚丙烯纤维单丝纤度与直径及比表面积的对对应关系

纤维规格 (dtex/f)	77/24	77/68	77/136
单丝纤度 (dtex)	3.2	1.1	0.55
单丝直径 ( $\mu$ )	18	11	7.5
比表面积 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	1.744	3.020	4.118

### (二)、纤维单丝细旦化的物理机械特性

由于纤维细，纤维的弯曲阻力小，有高的可挠性和扭转性，卷曲模量低和高的比强力，使织物手感柔软，悬垂性好，但由于弯曲阻力小、使卷曲模量低、回弹性小。

通常随着纤维直径变细弯曲刚度越来越小，使织物的手感柔软，但当纤维单丝的直径大于  $30\mu$  时人体皮肤的感觉就差。

### (三)、光学特性—反射光柔和，具有丝光效应

当单丝细时，其织物单位面积上反射入射光的各个独立反射的表面积虽然小，但由于丝细所以独立反射的表面数量多，使反射光泽柔和，从而具有丝光效应。

### (四)、细旦、超细旦纤维织物及其后加工特性

#### 1. 织物特性：

织物微气室效应赋予织物高保温性和吸音性（常规纤度的纤维每平方厘米可织 40-50 万根单丝，而超细旦纤维每平方厘米可织 140 万根单丝），从而使织物有蓬松性、高保温性和吸音性。）

透湿防水性：细旦、超细旦纤维由于直径小，纤维之间间隙小，织物结构紧密，而且在织物表面有许多微纤形成凹凸不平结构，所以毛细的芯吸作用大，可以提高透湿性。

织物的去污能力大：由于纤维细与污物的接触面积大；又由于极强的毛细芯吸作用将污物吸入织物内，可以避免污物再次污染。

#### 2. 织物后加工特性：

染色性能较差：染色色调浅，需用染料量大，染色容易不均匀，光牢度和色牢度都较差。

织造中上浆和退浆：当纤维单丝的直径小于  $10\mu$  时织造时有一定难度，在织造以前必须经过致密工艺进行加固，为此对纤维进行或是上浆、或是加捻、或是网络。

#### 3. 与其它纤维混纺、交织的技术特点：

针对各个纤维原料的特性、纤度、截面的形状以及织物的结构以及原料的混合比等进行合理的选择才能使织物具有优良的性能。

## 二、细旦、超细旦聚丙烯纤维及其织物性能表征

应用细旦、超细旦聚丙烯纤维制成的织物具有优良的透湿性、导湿性以及保暖性，这些性能可以应用以下几种方法进行测定和表征。

### (一)、透湿性:

聚丙烯纤维是拒水性的，所以水蒸汽通过聚丙烯纤维面料的扩散能力主要是取决于纤维材料的多孔性和织物中纤维间的空隙数量，这些空隙的存在为水蒸汽分子逸出织物的表面提供了通道。

透湿性能的测定是应用 ASTM 透湿阻抗测定法进行的，透湿阻抗越大；织物的透湿性能越差。透湿阻抗 R 的计算公式如下：

$$R(\text{cm})=D\Delta C \text{ AT}/W$$

### (二)、导湿性:

导湿是液态水分的传递。织物的导湿性能是衡量服用舒适性的极其重要的指标。织物的导湿性用毛细吸引力表示，又称芯吸效应。导湿性一般可以通过毛细升高法进行测定，并用吸湿高度 H 表示，见下式所示：

$$H=2\sigma \cos \theta /(\gamma\rho g)$$

细旦化的聚丙烯纤维具有细小的直径，从而具有高的毛细芯吸效应，此外细旦丝的制备是通过高倍拉伸制得的，经拉伸后的纤维表面会出现沟槽和凹坑使纤维表面粗糙不光滑这也有利于毛细水的吸附和传递。

### (三)、织物保暖性:

保持人体和外界环境的热平衡是服装的主要功能之一，所以织物的热传递性能成为服用舒适性的重要指标之一。织物保暖性的测定一般可采用日本 KES 风格仪 (F-6 型)，数据测定后可以应用以下两式分别计算出为保持织物的恒温所需要的热量 Q 和传热系数 K:

$$Q (\text{J}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}) =0.0418IV - \text{泄漏电流} \times \Delta T$$

$$K (\text{J}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}) =Q/\Delta T \cdot d$$

### (四)、聚丙烯纤维单丝纤度对服用性能的影响

试验表明聚丙烯纤维单丝纤度对服用性能有影响，但是当应用细旦聚丙烯纤维织造面料时织物的结构对服用舒适性能的发挥也有着很大的影响。通常随着单丝纤度的减小透气性和透水量多有所增加，随着织物密度的增加透气性和透湿多有所下降，而悬垂性有所提高。

表 2 单丝纤度与丙纶针织品服用性能的关系 (针织组织结构均为单面平行)

样品纤度 (dtex)	织物结构		透气性 L ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )	透湿特性 透水量/hr	芯吸效应 H cm/hr
	纵密横列/5cm	横密纵行/5cm			
3	86	66	3228.6	0.0134	0.30

2.25	84	64	3310.5	0.01436	0.50
1.5	88	67	2868	0.01795	1.1
0.9	85	65	3375.7	0.02290	1.3
0.6	86	66	3465.7	0.0244	1.5

### 三、细旦、超细旦聚丙烯纤维的性能和应用

细旦、超细旦聚丙烯纤维有长丝（包括拉伸复丝和低弹丝）及短纤维等多种规格。应用细旦、超细旦聚丙烯纤维制成的面料有纯丙纶织物如纯丙纶起绒布、纯丙纶毛圈布、纯丙纶网眼纬平布、纯丙纶无网眼纬平布以及棉盖丙纬平布、粘盖丙、真丝盖丙等织物。

细旦聚丙烯短纤维可以用来制成适用户外大运动量高性能针织运动服如慢跑服、步行服、渔夫装、滑雪服、猎装、游泳衣、流行袜类、贴身内衣和汽车用品等方面；细旦聚丙烯短纤维还可与棉混纺的牛仔服装有优良的导湿功能和高的服用舒适性。细旦聚丙烯长丝可以用于生产保暖内衣、能促进人体增氧活动的服装。

**表 3 细旦聚丙烯纤维的性能和织物的应用特点**

纤维的性能特点	织物应用特点
化学纤维中比重 (0.91g/cm <sup>3</sup> ) 最轻的纤维	织地轻、容积大、覆盖性能好
回潮率接近于零	织物织地干燥，穿着舒适干爽
细旦化后沿纤维轴向芯吸作用好	汗液传递性好
化学性能稳定不霉不蛀	具有无菌保健卫生性对皮肤有良好的接触舒适性
导热系数低，接近羊毛	保暖性好
纤维强度高，强韧性好	加工性能好、耐磨、不起球性
在所有纤维中表面张力最大	具有疏水性、织物表面不会粘水

### 四、细旦、超细旦聚丙烯纤维的开发与应用进展

#### (一)、细旦可染聚丙烯纤维

聚丙烯大分子链中没有极性基团，缺乏与染料分子结合的基团，而且结晶度高，大分子规整度高，使纤维的结构紧密，难以上色。聚丙烯纤维难以染色使它的应用受到了限制，因此聚丙烯纤维的染色问题一直为世界各国有关科研人员所关注。

应用共混改性技术对聚丙烯纤维染色改性。在聚合物中添加可染色的高聚物，经共聚物熔融纺丝后，使纤维具有可染性。近年来，往往是加入共聚物或共聚物的混合物，以赋予聚丙烯纤维多种性能，加入的高分子聚合物基本上有聚胺、聚亚胺、聚酯、聚醚、聚苯乙烯等，以及环氧丙烯基丙烯酸甲酯与聚苯乙烯的嵌段共聚物，或 N-取代马来酸酐与聚苯乙烯的嵌段

共聚物等。聚丙烯纤维的制备是采用熔融纺丝的方法, 因此在进行可染改性时, 选择的添加剂要耐一定的高温, 与聚丙烯共混后要有较好的可纺性, 纤维的物理机械性能不受影响, 而且在常规的染色条件下有较好的可染性等。

东华大学应用自制改性的聚烯烃添加剂, 使其能在聚丙烯的基体中以纳米尺寸进行均匀的分散并选择了合适的相容剂进行聚丙烯的可染改性获得较大成功, 制得  $d_{pf} < 1.2$  可染丙纶, 大大拓宽了聚丙烯纤维在服用领域的应用。由于添加剂的加入打破了 PP 大分子结晶结构的规整性, 有利于染料分子进入纤维的内部, 特别在较高温度和一定的压力下分子运动增加, 使染料上染速度增加。应用共混改性的方法改善了聚丙烯纤维的染色性能, 使拉伸丝可以染到中偏深色。

## (二)、新型多功能细旦聚丙烯纤维

聚丙烯纤维细旦化并结合可染色、远红外发射保健或抗菌抑菌等新技术新功能的开发应用是目前国际上聚丙烯纤维研制和开发的热点和最新进展。采用共聚, 共混等方法对聚丙烯树脂进行改性, 或通过纺丝技术和纺丝工艺变量的调节控制, 使其在能纺制细旦丝的前提下, 通过改变纤维化学成份、聚集态结构等并赋予其变化多端的其它功能, 如使纤维或具有保健功能, 或具有抗菌抑菌功能, 或可提高纤维的抗弯曲回复性等。

### 1. 抗菌聚丙烯纤维的应用

抗菌聚丙烯纤维用作卫生保健用品时, 具有相当大的竞争优势。丙纶已在医用布中占有 60—70% 的比例, 在妇女卫生巾和包装材料等方面几乎占有 100% 的优势。在众多的卫生保健织物中, 改性的聚丙烯纤维大都用于抗菌防臭方面的医护有布、内衣、袜子、便帽、手套、足球衣、擦布、地毯、床上用品等具有永久抗微生物的特点, 如果应用 30% 的此种纤维与其它纤维的混纺制品也可以提高抗微生物和抗菌的能力, 在被罩, 枕套以及垫衬等的用途中可以增强防尘抗菌的功能。虽然当前抗菌织物(纤维)主要应用于服装(内衣)和医疗卫生方面(垫套及医院的消毒服等), 但随着经济发展和新产品的开发, 必将在抗菌混粘土、全新概念的抗菌汽车、抗菌织物制成的过滤介质等方面将有很大的发展前途。

### 2. 细旦抗紫外线聚丙烯纤维

对具有疏水导湿性的细旦、超细旦聚丙烯纤维赋予抗紫外线的功能, 用于制作夏季的服装这对改善服用性能和提高服装保健功能具有重要的意义。德国 Bottrop 纤维公司生产的牌号为 Vegon 的聚丙烯短纤维具有高耐紫外线稳定性、抗菌性抗微生物性以及阻燃性, 用于无纺布、地毯针刺毯、装潢服装用纺织品。此外英国的 Bonar Textiles 公司开发的具有抗紫外的高强聚丙烯复丝纱、德国 BTF Textil werke 公司开发的具有抗紫外和阻燃功能的聚丙烯复

丝纱, 还有一些科研单位正在应用复合纺丝机通过双组份挤出技术将卤素阻燃剂置于纤维的芯层, 将含有抗紫外线稳定剂置于纤维的皮层避免了卤素阻燃剂与常规的受阻胺光稳定剂相互抵触的矛盾, 这样制得的双组份纤维的抗紫外线稳定剂的稳定性要比单一组份的复丝高 50%, 而应用此种纤维制成的织物已经通过 MVSS302 阻燃测定, 获得 SE 等级。

### (三)、茂金属催化剂聚丙烯及其纤维

#### 1. 茂金属催化聚丙烯的性能特点

茂金属催化体系的催化活性高, 活性中心单一, 定向配位能力强, 所得聚合物分子量分布窄, 使其后续产品具有在抗张强度, 回弹性, 抗皱性, 可染性, 发粘/软化温度和阻燃性等方面都显示了独特的优点。

茂金属催化体系生产的聚丙烯 (miPP) 更适合于生产多种规格的产品, 又由于这些特点它使 miPP 具有更好的成形加工性能: 由于无规物含量低使纺丝时的挥发物大大减少, 由于分子量低以及窄的分子量分布使聚合物熔体弹性较低所以孔口膨胀较小提高了熔体的可纺性能, 改善纺丝连续性, 减少断头率; 又熔体粘度低, 拉伸粘度要比具有同样大小分子量数量级的常规聚丙烯低, 使其具有更良好的拉伸性, 有利于提高纺丝速度, 增加产量, 更有利于纺制细旦丝以及纤维力学性能的提高。

#### 2. 茂金属聚丙烯的应用

制备细旦和超细旦长丝; 聚合物的熔融指数范围也广, 产品的规格也较多, 无需化学降解就能制备 MFI 为 1200-2000dg/min 的聚合物, 适合于无纺布工业, 如茂金属催化剂生产的聚丙烯可以通过热粘合以及针刺非织造工艺加工成多种不同织物重量规格的非织造布, 为此各国企业应用茂金属聚丙烯积极开发了许多产品, 包括生产细旦丙纶长、短丝, 纺丝成网非织造布, 熔喷非织造布以及高强纤维等, 得到的产品具有更好的均匀性。

茂金属聚丙烯的研究开发成功, 显示了它对聚烯烃纤维工业的发展有重大的意义, 但在实际的应用和大规模推广中还有较多的技术问题需要解决, 如茂金属聚烯烃的生产成本还较高、茂金属聚烯烃的加工工艺有它的特殊性需要进一步的探索; miPP 分子量分布窄也会影响其流动性能; 又因结晶度低, 使其弹性模量、弯曲强度和热变形温度均差于 ZNiPP; 在非织造布制造过程中对聚合物用于热粘合用途的 PP 短纤维的可纺性、机械性以及热粘合性能还需进一步研究, 因此新产品的开发方向应考虑这些因素, 才能使茂金属聚丙烯得到进一步的推广和发展。

聚丙烯纤维具有许多优良的性能, 细旦和超细旦聚丙烯纤维的开发和应用只是聚丙烯纤维改性的一个方面, 通过我们不断的努力使聚丙烯纤维的应用领域进一步扩大, 产品更上一

个档次。