

综述国内外丙纶纤维的开发生产与应用

一、前言

丙纶是聚丙烯纤维的简称，是以等规聚丙烯为原料制成的合成纤维，是纺织纤维中比重最小，能浮于水上的纤维。该纤维可纯纺或与棉、毛等纤维混纺制成织品做衣料、窗帘、家具用布，还可以做袜子、工业滤布、绝缘材料、非织造布等。据国外咨询公司预测，世界丙纶纤维 2000-2010 年之间消费需求年均增长率为 3.8%，我国为 6.8%，高于世界年均需求增长率 3.0 个百分点。近年来，国内外市场对丙纶高强丝的需求量出现了上升趋势，丙纶高强丝（俗称：丙纶丝、丙纶工业丝、丙纶强力丝、PP 纱、丙纶长丝、工业丙纶长丝）因其具有抗老化、耐酸碱、质轻、耐磨、低导热性、耐海水腐蚀、不吸湿、断裂强度大等优点，被广泛应用于安全网带、工业吊带、柔性集装袋、土工布、工业过滤布、绳缆、光缆、高压消防水带、PVC 增强管、输送带、工业缝纫线、篷帆布、聚丙烯抗裂纤维、塑编袋等领域，是替代涤纶、锦纶、乙纶的新型理想化纤材料。

二、丙纶纤维的大致分类

1. 丙纶短纤维

- 1.1 与棉花混纺、可做细布、床单、手套、裤子
- 1.2 与粘胶纤维混纺可做毛毯
- 1.3 丙纶毛毯、地毯
- 1.4 丙纶棉絮，既轻盈又保暖

2. 丙纶长丝

- 2.1 丙纶比重比水小，耐磨，耐腐蚀，可做绳索、渔网等
- 2.2 工业用途可做帆布、水龙带、包装材料、过滤布、工作服
- 2.3 有色纤维：用有色母粒通过熔融纺丝工艺，纺制有色丙纶短纤维、长丝。采用纯纺或混纺制作各种织物和装饰织物

三、丙纶纤维的发展历史情况

20 世纪末以来，丙纶纤维工业迅猛发展，新产品不断出现，应用范围日益广泛。纺丝工艺也由一般的常规纺丝速度(1.0-2.0km/min)、中速纺(2.0-3.0km/min)发展到高速纺(3.0-4.5km/min)和超高速纺(6.0-12.0km/min)[1]。细旦、超细旦丝和超细无纺布新品种的出现，使丙纶纤维的应用越来越广。除了生产的无纺布用作工业用布、过滤材料、土工布、农业用布、覆盖材料之外，医用材料、卫生材料、一次性材料等方面也大量使用丙纶纤维。

丙纶纤维加工工艺的不断发展以及新应用领域的不断出现，都对丙纶树脂的性能提出了更高的要求，也促使各丙纶生产厂家不断研制生产适应各种新工艺需要的专用树脂。

回顾丙纶纤维的历史发展情况，据悉 20 世纪 60 年代丙纶纤维开始进入市场，丙纶扁丝逐渐顶替黄麻而成为麻袋行业的基本原料。加拿大 Cel-lanese 公司于 1962 年开发出丙纶短程纺丝，同期膨体连续长丝(BCF)开始用于地毯行业。目前，世界上 90% 的地毯底布和 25% 地毯面纱是由丙纶纤维制作的。功能纤维最早在日本和美国等纤维工业发达国家得到重视。而 20 世纪 60 年代后期，日本地区便加大对功能纤维、高性能纤维研究的投入工作，不断推出高技术新产品，并着重强调其在装饰和产业用方面的用途，拓宽纺织品的应用领域。目前，日本的功能纺织品占全部纺织品的 39%，最近日本三菱推出环保型丙纶纤维三菱 Pylon。随着聚合纺丝技术的提高，丙纶纤维已由粗旦向细旦和超细旦发展。20 世纪 70 年代，丙纶细旦纤维的开发首先在美国、意大利、捷克等国家兴起；超细旦丙纶纤维是聚丙烯纤维向仿真丝和织物薄型化发展的新品种，除具有常规丙纶纤维的比重轻、保暖性好、强度高、耐腐蚀、耐磨等优点外，还兼有柔软、导湿和穿着舒适等特点，其细旦和超细旦丝是制作运动服、内衣、高档服装和过滤介质的极好材料，它们具有独特、优异的服用性能。20 世纪 80 年代中期，混凝土增强丙纶纤维取得了进展，美国、西欧已开始用于建筑行业；20 世纪 90 年代以来，随着丙纶的性能的不断改进，丙纶纤维的品种更加多样化，美国通用汽车公司、道化学公司和孟山都公司等在该领域占据很重要的地位。美国纺织品中有 28% 是功能纺织品。由于丙纶纤维是四大合成纤维之一，丙纶纤维原料来源丰富、制造工艺简单、成本低廉。由于其具有优良的性能，在服装、装饰及产业用品应用有着广阔的前景，因此对聚丙烯纤维新产品的开发出层出不穷。美国研制的 PP 抗菌纤维具有阻燃、抗静电、防污等多种功能。西欧各国对丙纶纤维研究与开发出相当活跃，已成功开发出丙纶导电纤维、电热纤维、生物吸收降解纤维。

而我国丙纶纤维的发展虽然起步较晚，但发展较快。上世纪 80 年代的年均增长率达 36

%，大大高于全球丙纶 12% 的增长速度，也明显高于国内合纤 16% 的增长速度。20 世纪 90 年代我国丙纶仍以高于合纤平均增长的速度发展，国内年需求量已超过 50 万吨，但是高档无纺布、运动服用料还是基本依赖进口。上世纪 90 年代中期以前，我国丙纶供应基本可以满足市场需求，很少进口。但近几年国内产量增长较慢，2004 年国内丙纶产量为 27.58 万吨，进口量呈现大幅增长的态势。从进出口情况看，尽管丙纶的进出口贸易绝对量不大，但进口增长速度较快。特别是丙纶短纤的进口量大幅增加，说明作为纺织及无纺布材料的丙纶短纤需求量较大，而国内短纤供应还不能完全满足市场需求。我国对丙纶纤维的研究与开发在过去 20 年里经历了从无到有的过程，如今丙纶纤维功能化的研究已进入一个蓬勃发展时期。不但品种日趋多样化，大部份的新型丙纶功能纤维在我国都有生产和研究。如阻燃纤维、抗菌纤维、抗紫外线纤维、远红外纤维等品种都有一定的产量。充分利用我国的资源优势，积极开发高附加值新产品，赋予常规丙纶纤维新性能，使之多功能化，继续开拓丙纶纤维的应用领域是这一世纪纤维发展的旋律。

四、纤维级丙纶树脂的质量要求

在丙纶树脂中，对成纤影响最大的是相对分子质量、相对分子质量分布 (MWD)、熔体流动指数 (MI) 和等规指数等指标。目前，国内各种档次的丙纶厂使用的纤维级丙纶树脂质量指标见下表 1。

表 1 纤维级丙纶树脂的质量指标要求

项目	MI/[g·(10min) -1] (2.16kg)	等规指 数,%	拉伸强度 /MPa	MWD	灰分 /($\mu\text{g}\cdot\text{g}$ -1)
一般要求	10-30	≥ 96	≥ 30	≤ 6.0	≤ 250
细旦短纤、复丝、POY、FDY、纺 粘法、无纺布	30-40	≥ 96	≥ 33	≤ 3.0	≤ 150
中旦短纤、复丝、FDY、BCF	18-26	≥ 96	≥ 34	≤ 4.0	≤ 200
粗旦短纤、复丝、BCF	12-18	≥ 96	≥ 34	≤ 5.0	≤ 250

超细短纤、复丝、细旦纺粘法无 织布、熔喷法无纺布	80-1000	≥97	≥30	≤2.5	≤100
-----------------------------	---------	-----	-----	------	------

注：POY 为预取向丝(高速纺丝)；FDY 为全拉伸丝(纺拉一步法纺丝)；BCF 为膨体(变形)长丝；复丝为复合纺丝。

细旦高速纺丝工艺对丙纶树脂的指标要求包括 MI、等规指数、MWD、凝胶含量、颗粒度、灰分等 30 余项指标。另外，丙纶香烟过滤嘴丝束原料还应符合国际食品卫生标准。

随着高速纺工艺的发展，国外纤维级丙纶树脂的品种逐年增加，质量不断提高，Exxon 公司、Shell 公司、Soltex 公司等也相继开发出了各具特色的适于高速纺丝级的不同牌号丙纶树脂，其牌号及性能见下表 2 所示。

表 2 国外不同牌号纤维级 PP 树脂

Exxon	PP3145	32.5	非常窄	熔体喷出
	PP3235	35	3	BCF
	PP3245	30	3.5	高伸长纤维
Shell	PIZ2744	15	3.5	POY
	PIZ769	20	3.5	POY
	PIZ216	35	3.5	POY
	PIZ769	25	3.5	BCF
Himont	PC966	20	4	POY
	PC961	35	<4.0	POY
	PC967	36	<4.0	POY

国外有代表性的纤维级丙纶树脂牌号包括：用于短丝的 PPU 1080F，PPU 1780F 2，PPV 1080F1；用于纺粘的 PPU 1080F 2，PPU 1780F 2，PPU1780 F 3，用于长丝的 PPU 1080 FE，PPU 1080FEG 等[1]。Amoco 公司开发出的纺粘无纺布专用树脂 PP 7957，具有可减少 50%加工烟雾、消除产品因氧化导致的返黄现象等优点。日本宇部日东化成公司开发了高流动性、高强度纤维级丙纶树脂。其拉伸强度是传统纤维级 PP 树脂的 2 倍，日收缩率低 50%，具有极强

的耐化学药品性。该产品已用于再充电电池分离器、溶剂用过滤器及工业纱，代替目前使用的聚酰胺及聚酯纤维。

五、酸性染料对丙纶纤维染色性能的研究

丙纶纤维具有强度高、耐摩擦、抗微生物腐蚀等优异的物理和化学性能，因此，在某些工业领域成为使用最广泛的合成纤维之一。然而，丙纶是一种疏水性极强的纤维，与染料的相容性差，容易产生静电荷，这些都束缚了丙纶在纺织工业的有效利用。许多研究都集中于克服这些缺点，本文作者提供了一种改善丙纶纤维亲水性能的简便、可行的方法，提高了对酸性染料的上染率。

原料和方法如下：平纹机织丙纶织物，在 60℃ 下浸渍在非离子型洗涤剂中 30min，用清水洗涤干净，室温晾干；实验所用的染料包括 CI 酸性红 1 和 CI 酸性绿 16；其它试剂包括醋酸钠、醋酸铵和硫酸等。将已知质量的丙纶织物在 0-20g/l 的处理液中浸渍 0-160min，保持浴比 50: 1，温度变化范围选择 60-100℃。取出预处理之后的织物，用清水反复洗涤，室温晾干。经过改性处理之后，丙纶纤维大分子链上的腈基转变成氨基，可以改善纤维的亲水性能。预处理的样品与染料按照 50: 1 的浴比染色 60min，待测。DAO 表示预处理剂密度，表达式为： $DAO = \frac{W}{N} \times 1000$ ，PE 表示改性效率，表达式为： $PE\% = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100$ ，其中：W-预处理后纤维质量；N-由于纤维增重引入羟胺的摩尔数；W₀ 预处理前纤维的质量；WHA 一羟胺的用量 结果与讨论：随着预处理剂浓度的增加，DAO 和 PE 值按一定比例增加。

羟胺是一种亲核能力很强的氨基化合物，能与各种腈基反应，因此，这一测试结果表明丙纶纤维大分子链的腈基通过与预处理剂的原位聚合反应生成 AO 基团；另外，预处理后纤维的染色测试结果表明，当 DAO 到达某一值时，纤维的染色效果不再发生变化，这一方面是由于纤维表面已存在的染料分子的阻碍作用，另一方面，当预处理剂浓度超过 10g/l 时，丙纶纤维紧密度增加，影响了染料分子的进一步介入。当预处理温度达到 80℃，DAO 和 PE 值随温度的升高显著增加。

一般地说，丙纶纤维的玻璃化转变温度在 80-100℃，因此，当温度超过 80℃ 之后，聚合物的链段开始运动，无定形区增加，更多的反应性分子进入纤维内部，导致 DAO 和 PE 值增加。耐久性测试结果表明，在最优条件下处理后的丙纶织物，对酸性染料的亲和力提高，染色效果好，并且，染色后的织物具有一定的耐洗涤、耐摩擦性能和排汗效果。红外测试结果表明，未经预处理的丙纶纤维在 3542、2948、2248、1738、1454、1360、1242 和 1075cm⁻¹ 分别出

现特征吸收峰。与之比较,预处理后丙纶纤维的红外谱图明显不同。腈基在 2248cm 处的吸收峰强度均有一定程度的下降;并且,出现 H₂N-C=N-OH 基团在 3550-3150、1659、937cm⁻¹ 的特征峰。XRD 测试结果表明,未经预处理的丙纶纤维在 2θ=17° 出现强衍射峰,2θ=30° 出现强度稍弱的衍射峰;预处理后的纤维在 2θ=17° 的衍射峰强度略有下降,而且衍射峰变宽,这表明预处理使丙纶纤维结晶度下降,结晶尺寸变小。

六、新一轮丙纶纤维开发应用热潮在进展中

尽管丙纶在服用方面受到一定局限,但无论是前几年迅速发展的烟用丝束、地毯,还是最近几年来发展较快的非织造布,尤其是产业用纺织品这一新兴领域的不断开拓,都在有力推动国内丙纶行业新一轮开发与应用热潮的兴起。

业内人士及相关企业对丙纶未来的发展充满信心,丙纶纤维所占优势市场将进一步迅速扩大,如非织造布、医疗卫生及工程用领域。同时,随着丙纶改性技术的发展,丙纶也正在一些纺织领域开始替代其他合纤品种。丙纶具有的低成本、易加工、疏水性好的特性,使其开始在原本属于涤纶和腈纶的棉纺、毛纺市场中占据一席之地,并有快速扩张的趋势。此外,丙纶还可通过改性或与其他纤维复合,加工高档地毯,进而与锦纶相抗衡。

随着原料聚丙烯生产技术的不断发展,特别是茂金属催化剂在聚丙烯工业生产中应用成熟度的提高,将为丙纶的发展提供更加多样的原料选择途径。目前,世界一些大公司已经工业化生产出采用茂金属催化剂生产的纤维级聚丙烯,可以加工超细纤维、熔喷无纺布等功能性丙纶产品。同时,加工及改性技术的创新也为丙纶产品的更新换代创造了条件。预计今后 5-8 年内,中国乃至世界丙纶产业的发展将高于其他小的合纤品种。

七、结束语

我国纤维级丙纶树脂无论在种类还是数量上都与国外先进国家有很大差距,远不能满足国内对丙纶纤维原料的需求。相比较国内丙纶纤维生产工艺的进展,丙纶纤维原料的开发是相对落后的,这也阻碍了我国丙纶工业的发展和应用。为了适应丙纶纤维,特别是无纺布和高档丙纶纤维(超细旦、熔喷无纺布等)市场需求的高速增长,今后国内研究单位和生产企业应加大对新产品的开发力度,积极引进和吸收国外在催化剂体系和生产工艺上的新技术,加大力度研制和生产国内紧缺的超细旦纤维和高档无纺布专用树脂。而丙纶细旦丝是除棉花、

丝、麻等天然纤维外理想的贴身衣着的材料，再加上比重小、洗可穿等特性，其织物愈来愈受到人们的青睐，丙纶纤维产品前景仍然比较广阔。