

# 仿麻聚丙烯竹节纤维成形原理 及其结构与性能的关系

朱 本 松

(北京服装学院)

**【摘要】** 本文根据聚物流变原理,采用共混纺丝方法,制成具有麻纤维结构和性能的异形聚丙烯竹节纤维。应用各种测试手段,对共混聚丙烯竹节纤维的成形条件、形态结构和聚集态结构进行了研究。结果表明,共混纤维为多相结构,纤维内部有大量贯穿的孔洞、微孔,表面有许多网络状裂缝和沟槽,竹节部分有很好的刚性和高卷曲度,竹节沿纤维呈随机分布。纤维手感粗糙,酷似天然麻纤维。

天然麻织物具有吸水排水快、通风透气、凉爽舒适、有麻特有光泽等特点。但麻纤维弹性差、不耐折皱、手感糙硬、纺织加工困难,严重影响它的服用性能<sup>[1~2]</sup>。化纤仿麻素材主要有涤纶、腈纶、醋酯纤维和粘胶纤维;仿麻方法主要有复合变形加工、异形纺丝、不均匀拉伸和混纤技术等<sup>[3~4]</sup>。对于以聚丙烯纤维(PP纤维)作为仿麻素材,用共混流变原理生产竹节纤维的仿麻方法,至今尚未见到有关研究报告。本文对聚丙烯竹节纤维的成形原理、竹节纤维的聚集态及形态结构、竹节纤维性能及仿麻效果进行了研究,对开发仿麻化纤品种,扩大丙纶在服用纤维方面的应用有很好的实用价值。

## 一、实验方法

### 1. 原料

等规聚丙烯(PP),PC-932, MI = 22。添加剂见表1。

### 2. 改性母粒制备

为提高改性组分分散均匀性,需要先制成改性母粒。将添加剂和PP按表2比例配料,用 $\phi 25\text{mm}$ (L/D = 25)的共混螺杆进行共混造粒。

表1 共混添加剂种类

种 类	作 用	性 能
P-150	流变调节剂	柔性链极性共聚物
P-528	形成纤维粗节组分	刚性链极性共聚物 $M_w = 2.5 \times 10^4$
P-128	同上	刚性链极性共聚物 $M_w = 5.9 \times 10^4$
P-123	同上	刚性链极性均聚物 $M_w = 2.3 \times 10^4$
P-626	成孔和改善纤维手感	刚性链非极性均聚物

表2 改性母粒配比

改性母粒	改性母粒配比(重量%)					
	PP	P-150	P-528	P-128	P-123	P-626
A母粒	25	17	—	17	—	41
B母粒	20	15	15	—	15	35

### 3. 共混纺丝

改性母粒A或B与聚丙烯共混比均为5.0/95。纺制的纤维为A纤维或B纤维。试纺是在由意大利普兰泰克斯(Plantex SPA)公司引进的纺丝机上进行。纺丝螺杆直径为 $\phi 120\text{mm}$ ,喷丝孔为三叶形10134孔,纺丝温度为 $250 \sim 270^\circ\text{C}$ ,环吹风温度为 $10 \sim 15^\circ\text{C}$ ,其他条件与常规聚丙烯纺丝相似。

#### 4. 测试仪器和测试方法

(1) 结晶结构测定, 用日本理学电机株式会社制的 D/max-RB 型 X 光衍射仪。镍过滤器的  $\text{CuK}_\alpha$  波长  $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$ , 电压 40kV, 电流 50mA, 扫描范围  $2\theta = 6 \sim 30^\circ$ , 扫描速度为  $4^\circ/\text{min}$ 。

(2) 热性能测定, 用北京光学仪器厂制造的 PCR-1 型差热分析仪。参比物为  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 升温速度为  $20^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

(3) 纤维形态结构测定, 用英国 CAMBRIDGE INSTRUMENTS S-250 型扫描电镜。

(4) 纤维吸湿保水率测定, 分别根据文献 [5] 和 [6] 的方法测定。

(5) 染色性测定, 用日本进口的分散染料 Kayacelon Blue E-TB, 按一般分散染料染色方法进行无载体常压沸染。染液浓度为 2% (对纤维重), 浴比为 1:100。上染率按下式计算。

$$\text{上染率} = \left( 1 - \frac{\text{染后残液中染料浓度}}{\text{染前染料浓度}} \right) \times 100(\%)$$

(6) 力学性能测定, 用太仓纺织仪器厂制造的 YG001A 型改进的单纤维电子强力仪测定。

## 二、结果与讨论

### 1. 仿麻聚丙烯竹节纤维成形原理

在一般熔体纺丝中, 产生竹节丝是属于不正常纺丝, 研究竹节丝产生原因, 目的在于避免出现竹节丝。本研究是利用这个竹节现象, 结合聚合物共混纺丝原理, 使分散相流体束在连续纤维中形成周期性的节状隆起, 制成有粗节的仿麻纤维。关于竹节丝形成机理有多种说法。归纳起来其主要原因是由于流体不稳定弹性湍流、表面张力效应和流体滑一粘效应综合作用的结果<sup>[7-9]</sup>。根据共混纺丝流变原理, 共混物的形态结构与共混条件、共混物组成及其性能有很大关系<sup>[10]</sup>。当共混物熔体通过喷丝孔时, 在毛细管入口处, 熔体突然进入高剪切

区, 分散相组分要发生形变和破碎。根据 G.I. Taylor 等人<sup>[11-13]</sup>的研究结果, 只有当两相间界面张力较大, 分散相与连续相的粘度比值为  $0.3 \sim 0.9$  时, 分散相液滴才比较容易形变、破裂。

研究结果表明, 要使共混聚丙烯纤维达到仿麻效果, 共混体系必须包括以下三种组分, 并且必须满足以下条件:

(1) 形成节状隆起组分: ① 必须与聚丙烯完全不相容, 在共混物中是分散相, 与聚丙烯形成海/岛结构; ② 有较大的表面张力, 有利于产生两相间滑一粘效应; ③ 有较大的弹性, 当分散相形变断裂时容易产生弹性回缩; ④ 有较高分子量, 可以降低临界切应力  $\sigma_{MF}$  和临界切变速率  $\dot{\gamma}_{MF}$ , 有利于产生不稳定流动; ⑤ 有较高的玻璃化转变温度 ( $T_g$ ), 可以减少拉伸过程形变性。

(2) 形成孔洞、改善手感组分: ① 与聚丙烯不相容, 有较好的流变性, 共混中容易形变而不易断裂, 形成基体一微纤型两相结构; ② 有较大的热收缩系数, 使纤维冷却成形时产生相分离, 形成裂缝和孔洞, 提高纤维的吸湿透气性。

(3) 流变调节剂: ① 有较好的流变性, 提高纤维的可纺性; ② 和聚丙烯及成孔组分均有一定相容性, 可以降低成孔组分的分散尺寸, 提高结构稳定性; ③ 带有一定极性基团, 可以提高吸湿性和染色性。

### 2. 仿麻聚丙烯竹节纤维的结构

#### (1) 纤维形态结构

仿麻聚丙烯竹节纤维形态如图 1 所示, 由图 1 可见, A 和 B 纤维都有许多不规则粗节, 这些粗节由 P-128、P-528 和 P-123 组分的不稳定流动、变形断裂、相界面滑脱、弹性回缩和强烈的卷曲定型所形成。因为这些组分为刚性聚合物, 有很高的  $T_g$  温度, 有很好的卷曲定型性, 所以粗节部分有较高的卷曲度、较大的卷曲峰, 较高的卷曲牢度和卷曲弹性。比较图 1(a), 1(b) 和表 2 可见, B 母粒中形成粗

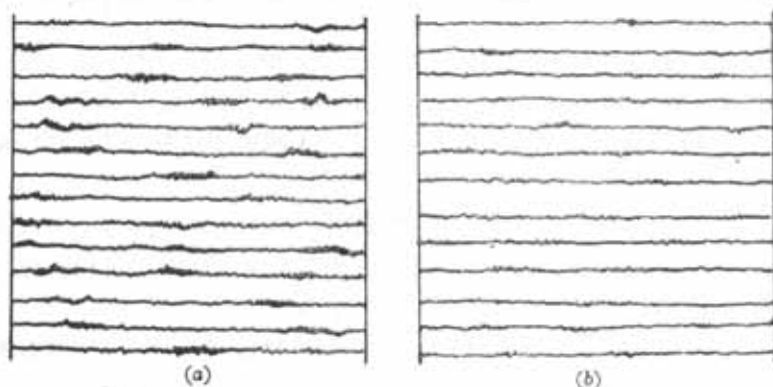


图1 仿麻聚丙烯竹节纤维形态  
(a)-A母粒/PP=5/95(A纤维);(b)-B母粒/PP=5/95(B纤维)。



图2 仿麻聚丙烯纤维断面形态

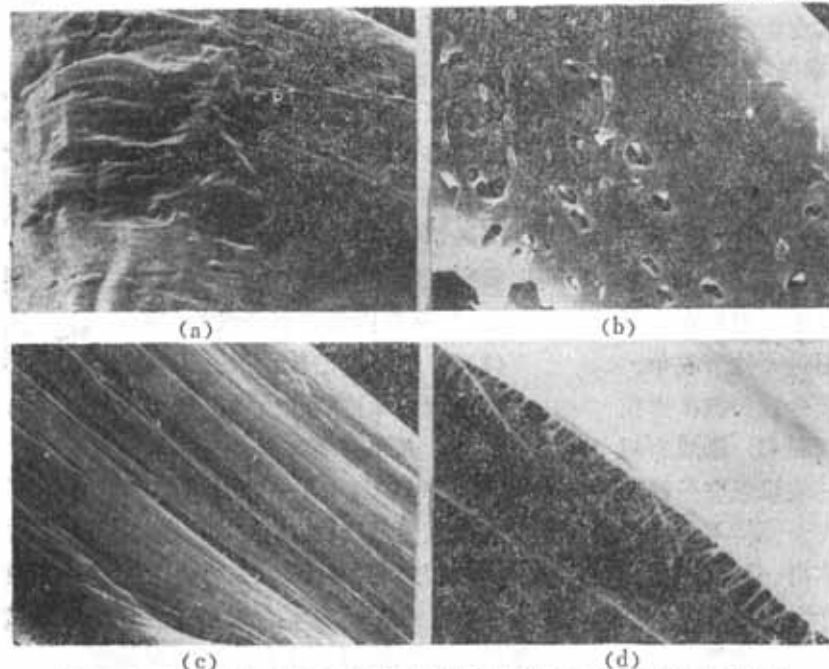


图3 A母粒/PP=5/95仿麻聚丙烯竹节纤维(A纤维)扫描电镜照片  
(a)——竹节部分表面扫描照片; (b)——竹节部分横断面扫描照片;  
(c)——纤维表面扫描照片; (d)——表面裂缝扫描局部放大。

节组分含量大于A母粒,但A纤维粗节却明显大于B纤维,这可能是由于P-128分子量大,形变断裂后弹性回缩大,拉伸形变小的原因,说明分子量对粗节大小的影响大于组分含量的影响。图2为仿麻纤维三叶型断面形态,呈明显的海/岛结构,断面上有许多由相分离形成的孔洞(详见图3、图4)。图3

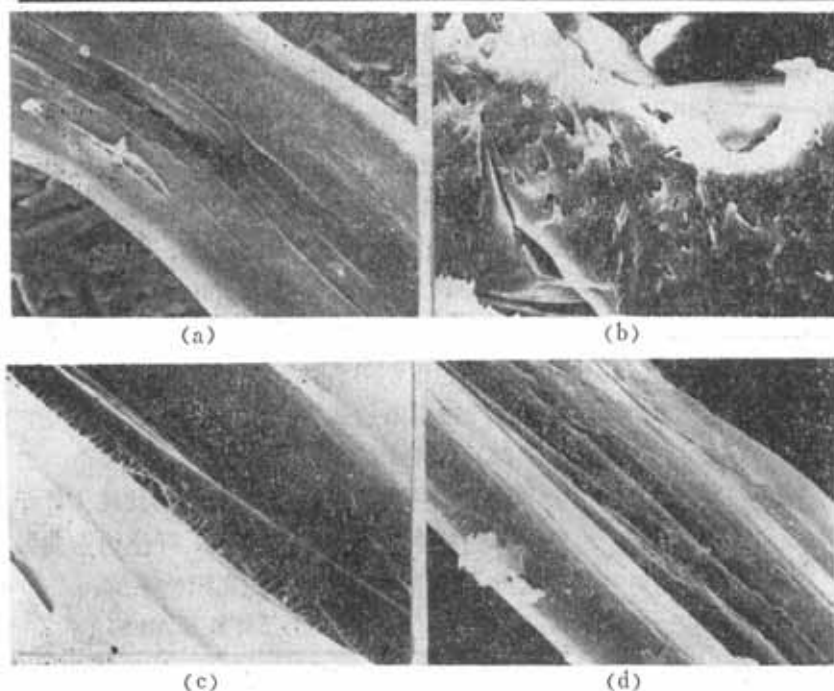
为A母粒改性A纤维的形态。图3(a)、3(c)分别为纤维竹节部分和非竹节部分的表面形态,可以看到纤维表面有大量的微孔、裂缝和沟槽,微孔直径为 $0.1\sim 5\mu\text{m}$ ,沟槽裂缝宽度为 $0.1\sim 2\mu\text{m}$ 。将裂缝沟槽局部放大如图3(d),可以清楚看到裂缝内部为网络状结构。图3(b)为纤维横断面形态,可以看到大量由相分离产生的孔洞和微孔,尺寸为 $0.1\sim 3\mu\text{m}$ 。检测结果表明,孔洞内的纤维状物和裂缝表面均为P-626。图4为B母粒改性B纤维的形态,它与A纤维结构基本相似,所不同的是纤维表面的裂缝沟槽较少,网络孔眼较细,孔洞尺寸较小,孔径约为 $0.5\sim 3\mu\text{m}$ 。这是由于成孔剂P-626添加量较少的原因。

## (2) 纤维结晶结构

由图5和表3可见,仿麻聚丙烯竹节纤维的广角X衍射曲线和纯PP纤维没有什么变化。这说明改性母粒的加入,不影响PP的结晶结构。没有出现新的结晶变体和混晶或共晶结构。但从表4可以看出,添加5%改性母粒,可以提高聚丙烯纤维的结晶度。因为改性母

表 3 仿麻聚丙烯竹节纤维广角X衍射峰的  $2\theta$ 角

试 样	晶 面 指 数 (HKL)					
	110	040	130	111	131	041
纯PP纤维	12.661	13.961	16.740	18.405	21.396	21.654
A纤维	12.529	13.963	16.794	18.567	21.060	21.773
B纤维	12.621	14.013	16.825	18.492	21.043	21.758



粒中形成粗节的刚性组分是高结晶高聚物,也是PP结晶的成核剂,可以提高PP在高温结晶区的结晶速度。由于P-123结晶性更好,所以B纤维结晶度高于A纤维。结晶度的增加,对提高仿麻纤维刚性和手感是有利的。

### 3. 仿麻聚丙烯竹节纤维的性能

#### (1) 纤维的热性能

由图6可见,A、B纤维熔点比纯PP纤维有所提高。B纤维熔点高于A纤维,这与表4结果是完全一致的。提高纤维熔点对改善仿麻纤维的耐热性是有利的。

表 4 仿麻聚丙烯竹节纤维结晶度

试 样	纯PP纤维	A纤维	B纤维
结晶度(%)	31.3	36.2	38.4

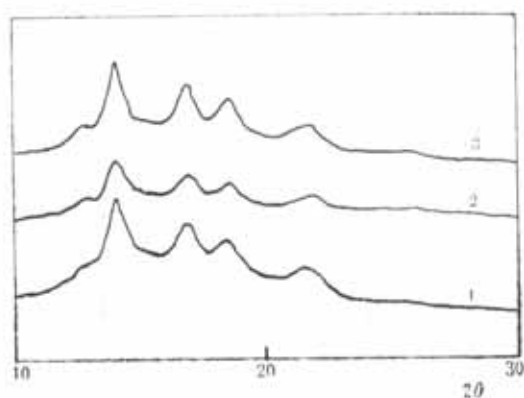


图 5 仿麻聚丙烯竹节纤维广角X衍射图  
1—纯PP纤维; 2—A纤维; 3—B纤维。

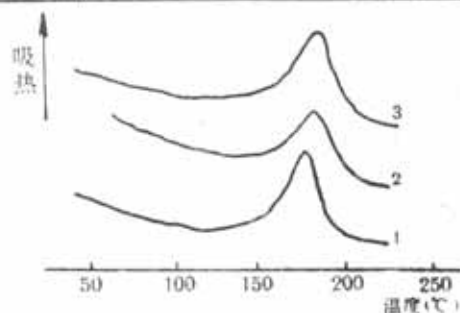


图 6 仿麻聚丙烯竹节纤维 DTA 曲线  
1—纯PP纤维; 2—A纤维; 3—B纤维。

表5 仿麻聚丙烯竹节纤维的吸湿保水率

试样	吸湿率(%)	保水率(%)
纯PP纤维	0.6613	5.61
A纤维	0.3556	14.34
B纤维	3.2003	15.81

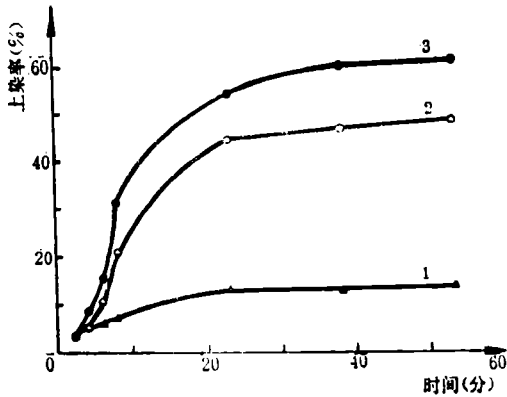


图7 染色时间与上染率关系

1—纯PP纤维；2—A纤维；3—B纤维(下图同)。

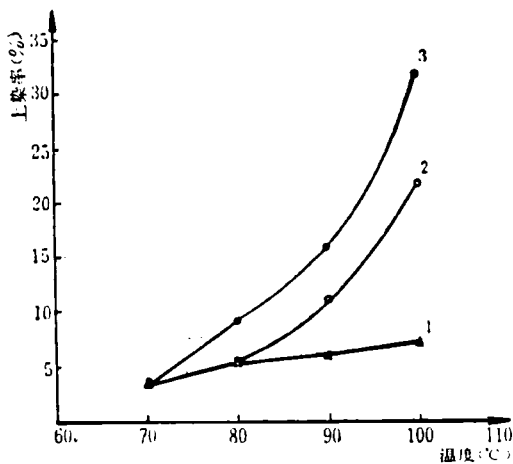


图8 染色温度与上染率关系

(2) 纤维的吸湿保水性

由表5可见，A、B纤维的吸湿率和保水率比纯PP纤维有较大提高。因为改性组分是极性高分子，有很好的吸湿性。P-528是高亲水性极性高聚物，并且B纤维微孔尺寸较小较多，所以B纤维吸湿性高于A纤维。由于它们的形态结构相同，所以保水率相似。

(3) 纤维的染色性

纤维分散染料染色的基本条件是：①染料分子能够扩散到纤维内部；②纤维与染料分子有亲和力。纯PP纤维由于疏水性强、结构紧密、无任何极性基团，所以染色性极差。仿麻聚丙烯竹节纤维，有如图1~4所示的特殊形态结构，共混组分带极性基团，完全满足分散染料染色的两个条件，有很好的染色性。图7、图8为A、B纤维的染色曲线。由图7可见，上染率均随时间增加而增加(常压沸染)。改性纤维上染率远高于纯PP纤维，与理论分析完全一致。B纤维上染率高于A纤维，这是由于B纤维含极性基团多，微孔尺寸合适，染色速度快的原因。图8结果表明，A、B纤维的染色速度均随温度增加而增加(升温速度5℃/分)，当温度高于90℃后尤为明显，特别是B纤维。这也说明B纤维染色性优于A纤维。而纯PP纤维的染色速度随温度的变化不大。

(4) 纤维力学性能

由表6可见，A、B纤维强力比纯PP纤维低，这有利于减少织物起球。纤维的卷曲弹性比纯PP纤维好，可以提高织物手感。

表6 仿麻聚丙烯竹节纤维力学性能

测试项目	纯PP纤维	A纤维	B纤维
断裂强度(N/dTex)	$3.15 \times 10^{-2}$	$2.44 \times 10^{-2}$	$2.66 \times 10^{-2}$
断裂伸长率(%)	46	48	45
卷曲弹性恢复率(%)	70	77	74

三、结论

1. 利用高聚物共混和纺丝流变原理，采用刚性链和柔性链高聚物适当搭配的方法，可以使改性组分流体在纺丝中产生弹性湍流、断裂、流层滑脱和弹性回缩，从而沿纤维轴形成许多不规则粗节，达到仿麻纤维粗节的效果。

2. 利用P-626和PP完全不相容和收缩性相差很大的特点，使纤维在冷却成形时发生相分离，形成许多微孔和裂缝，提高仿麻的光泽、手感、染色性和吸湿透气效果。

3. 添加极性高聚物, 可以明显提高纤维的吸湿保水性和染色性。做到分散染料无载体常压沸染 15 分钟就可以接近染色饱和值。

4. 仿麻聚丙烯竹节纤维结晶性能、热性能比纯 PP 纤维有所提高, 断裂强度有所下降, 弹性有所增加。手感酷似天然麻纤维, 有很好的综合仿麻效果。

### 参 考 资 料

- [ 1 ] 顾伯明编著, 《亚麻纺纱》, p1~25, 纺织工业出版社, 1987 年。
- [ 2 ] 濮美珍编著, 《苧麻织物的设计与生产》, p1~12, 纺织工业出版社, 1988 年。
- [ 3 ] 《纤维科学》, 1989, Vol.31, 第 6 号, p15~22。
- [ 4 ] 《广西化纤通讯》, 1989, No.1, p6~14。

- [ 5 ] 《合成纤维工业》, 1990, Vol. 13, No.5, p2。
- [ 6 ] 《合成纤维工业》, 1990, Vol.13, No.1, p36。
- [ 7 ] 董纪震等编, 《合成纤维生产工艺学》(上), p174~180, 纺织工业出版社, 1981 年。
- [ 8 ] S. Middleman 著, 赵得禄等译, 《聚合物加工基础》, p537~547, 科学出版社, 1984 年。
- [ 9 ] R. S. LENK 编著, 宋家琪等译, 《聚合物流变学》, p96~106, 国防工业出版社, 1983 年。
- [ 10 ] 《北京服装学院学报》, 1989, No.1, p22~36。
- [ 11 ] G. I. Taylor, 《Proc. Roy. Soc》, (London) 146A, 501(1934)。
- [ 12 ] S. Torza, R. G. Cox, S. G. Mason, 《J. Coll. Int. Sci.》, 38, 2, 395(1972)。
- [ 13 ] H. J. Karam, J. C. Bellinger, 《Ind. Eng. chem. Fundam》, 7(4), 576~581, (1968)。