

## 异形细旦丙纶交络 POY 纺丝工艺的研究

董学之 郭群 施美德 李良训

(华东理工大学石油化工学院化工系, 上海, 200540)

对异形喷丝板及聚丙烯原料进行了选择, 探索了 POY 纺丝工艺对异形细旦丙纶结构和性能的影响, 研究表明, 在合适的纺丝温度范围内, 较高的温度有利于保持较大的异形度, 在稳定的纺丝条件下, 丙纶的力学性能随着纺丝速度的提高而提高, 随着单丝纤度的升高而降低。

关键词: 聚丙烯 异形纤维 POY 细旦 纺丝, 聚丙烯纤维,

异形细旦丙纶具有手感滑爽、抗起球、抗污性强、悬垂性好等特点, 由于其具有独特的“芯吸效应”, 制成的内衣排汗性好、透气、凉爽。采用交络 POY 纺丝使各单丝之间的抱合力强, 解决了 POY 退绕困难, 后加工过程产生毛丝、断丝和松圈丝等问题。异形丙纶具有三角形截面, 赋予纤维真丝般光泽。华东理工大学石油化工学院在细旦丙纶开发成功的基础上, 进一步开发异形交络细旦丙纶, 探索了其 POY 纺丝工艺对异形细旦丙纶结构和性能的影响。

## 1 实验

## 1.1 原料

辽阳石化化纤公司产 PP 71735,  $MFI = 35$ ;  $\bar{M}_n = 15.4 \times 10^4$ ; 上海石化股份有限公司产 PP Z30S,  $MFI = 23$ ;  $\bar{M}_n = 15.07 \times 10^4$ ; 美国 Homont 公司产 PP PC966,  $MFI = 22$ ;  $\bar{M}_n = 16.50 \times 10^4$ ; 中国科学院化学研究所生产的降温母粒; 上海石化股份有限公司化工研究所研制的丙纶高速卷绕油剂。

## 1.2 熔融纺丝

德国 Automatic EX 30/25D 熔体纺丝机, 交络压力 0.3 MPa; 喷丝板规格: 等长三叶形, 叶长

0.7 mm, 叶宽 0.3 mm, 当量直径 0.5 mm, 孔长 2.0 mm, 孔数  $36 \times 2$ , 异形度 78.37%。

## 1.3 密度

MD-01 型密度梯度仪, 25℃, 在乙醇-水密度梯度管里测定初生纤维的密度, 再求出结晶度<sup>[1]</sup>。

## 1.4 X 射线衍射分析

日本理学 D/max-Br, Cu 靶, Ni 滤色, 30 kV, 20 mA,  $2\theta = 5 \sim 36^\circ$ 。

## 1.5 取向

采用 Som-I 声速仪, 测量声波在纤维中的传播速度  $C$ , 用公式计算样品声速取向因子  $f_s$ 。

## 1.6 异形度

用 Y 172 型哈氏切片器制得纤维截面切片, 对纤维横截面照像, 在 59X 型显微摄影仪上再放大描图, 计算异形度  $B$ ,  $B = (1 - r/R) \times 100\%$ ,  $r, R$  分别是异形纤维内切圆、外接圆半径。

## 1.7 强力及伸长

常州第二纺织机械厂制造的 YG6021-3 型强力机。

## 1.8 特性粘数

采用粘度法, 十氢萘作溶剂, 温度  $(135 \pm 1)^\circ\text{C}$  下测得。

## 2 结果与讨论

## 2.1 三叶形异形喷丝板的选择

聚丙烯熔体是典型的非牛顿流体, 挤出膨化严重<sup>[2]</sup>, 按公式计算非牛顿流体在圆形孔中的切变速率  $\dot{\gamma}$ 。

$$\dot{\gamma} = (1/n + 3)Q/\pi r^3$$



## 作者简介:

董学之, 45 岁, 硕士, 副教授。一直从事教学、科研工作。已发表论文 16 篇。

式中  $Q$  —— 熔体流量;

$r$  —— 喷丝孔孔径;

$n$  —— 非牛顿指数。

由上式可见,在相同的挤出量时,切变速率与喷丝孔径的三次方成反比,Anthony 指出,切变速率增加,膨化度增大<sup>[3]</sup>。熔体在异形喷丝板三叶形喷丝孔中流动时,更易产生不稳定流动,不规则的喷丝孔壁的曲率半径更小,流体的切变速率更大,故选择较大的喷丝孔尺寸,有利于异形丙纶的纺丝。本实验选择喷丝孔当量直径为 0.5 mm,以稳定熔体的流动。喷丝孔的长径比也是影响熔体流变性能的重要因素,长径比较大时,可增加熔体在孔道中的流经时间,有利于弹性能在孔道中的耗散,所以选择较大的长径比可使孔口膨化减少,本实验选择长径比为 4。

## 2.2 聚丙烯原料的选择

对 4 种聚丙烯原料在纺丝速度 2 500 m/min,纺丝温度 275 °C 时试纺 POY 初生纤维,测得各种纤维的结构与力学性能见表 1。PP 71735  $MFI$  较高,纺得的纤维力学性能良好,PP Z30S 切片纺得的初生纤维强度低、伸长大,力学性能较差,但加入了降温母粒后纺得的纤维,力学性能大大改善。从表 1 可见,取向度、结晶度并没有什么变化,但从它的 X 光衍射图的各衍射峰的位置分析<sup>[4]</sup>(图 1),PP 71735 及 PP Z30S(添加降温母粒)的衍射判断主要为准六方晶系,PP Z30S(不添加降温母粒)及 PP PC966 的初生纤维的特征衍射峰主要是单斜晶系,初生纤维中的准晶结构有利于力学性能的提高<sup>[5]</sup>。PP Z30S 经添加降温母粒后

表 1 不同原料的初生纤维的性能

原料	结晶度, % (X光)	$f_s$	强度/ $cN \cdot dtex^{-1}$	伸长, %
PP 71735	46.79	0.543	3.12	137
PP Z30S	46.20	0.532	1.98	280
PP Z30S+降温母粒	46.18	0.543	2.86	146
PP PC966	48.58	0.535	2.39	172

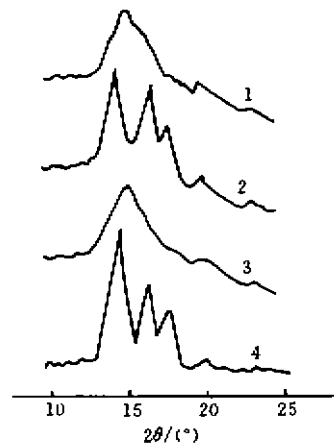


图 1 不同原料初生纤维的 X 光衍射(WAXD)

1. PP 71735; 2. PP Z30S;

3. PP Z30S+降温母粒; 4. PP PC966

纺丝,改善了力学性能的主要原因是化学降解后,改变了结晶的晶系。本实验采用 PP 71735 及 PP Z30S 加降温母粒后进行纺丝试验。

## 2.3 纺丝温度对纤维结构性能的影响

纺丝温度是高速纺丝工艺的重要参数之一,聚丙烯熔体粘流活化能比其他高聚物高 2 倍以上<sup>[6]</sup>,说明温度控制对于细旦丙纶的可纺性至关重要,否则将引起熔体粘度波动,可纺性变差,条干不匀等。

表 2 为纺丝速度 2 500 m/min,采用 PP 71735 纺得的总纤度为 110 dtex 的异形细旦丙纶的结构和性能。

表 2 纺丝温度对纤维结构性能的影响

温度/ °C	结晶度, %		$f_s$	强度/ $cN \cdot dtex^{-1}$	伸长, %	$[\eta] /$ $dL \cdot g^{-1}$
	X光	密度法				
265	50.46	64.88	0.552	2.77	130	121.265
275	46.79	62.28	0.543	3.12	137	119.658
285	46.78	60.77	0.534	2.67	158	112.758

随着纺丝温度的提高,结晶度减小,取向度减小,而力学性能在 275 °C 时最佳。纺丝温度为 285 °C 时,特性粘数有所下降,这是因为纺细旦

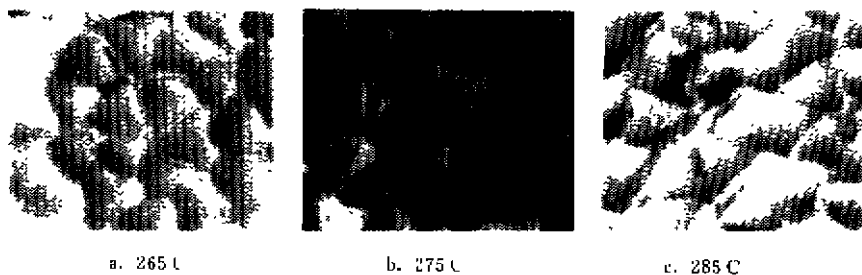


图 2 纺丝温度对 POY 异形度的影响

丝, 泵供量小, 熔体在螺杆中停留时间长, 引起高聚物部分降解, 力学性能变差。从异形度分析, 温度升高, 降低了熔体粘度, 减小了聚丙烯熔体出喷丝孔口时的膨化, 有利于保持异形度。从图 2 可见, 随着温度的升高, 异形度升高,  $285^{\circ}\text{C}$ ,  $B = 0.54$ ;  $275^{\circ}\text{C}$ ,  $B = 0.51$ ;  $265^{\circ}\text{C}$ ,  $B = 0.48$ 。

#### 2.4 纤度对纤维结构性能的影响

在纺丝速度为  $2\,500\text{ m/min}$ , 纺丝温度为  $275^{\circ}\text{C}$  时纺制 3 种不同纤度的纤维, 对它们的结构、性能分别进行测定, 由表 3 可见, 随单丝纤度的升高, 取向度降低, 结晶度随之降低, 力学性能变差。当单丝纤度较小时, 冷却快, 在结晶温区停留的时间较短, 但实验结果显示, 结晶度反而较高, 这说明在丙纶高速纺丝过程中, 影响结晶速率的主要因素是纺程上的张应力, 张应力引起大分子取向, 取向诱导结晶<sup>[7]</sup>, 结晶又巩固了取向。另外, 随单丝纤度的升高, 熔体细流冷却减慢, 丝束凝固点下移, 轴向速度梯度变小, 有利于大分子解取向, 从而导致纺程上张应力的降低, 取向降低, 结晶度降低。

表 3 纤度对纤维结构及性能的影响

规格 (dtex/72 f)	$f_a$	结晶度, % (X 光)	强度/ $\text{cN} \cdot \text{dtex}^{-1}$	伸长, %
110	46.79	0.543	3.12	137
165	45.28	0.528	2.88	158
220	44.87	0.508	2.75	156

从图 3 可见, 纤度对异形度的影响很小。

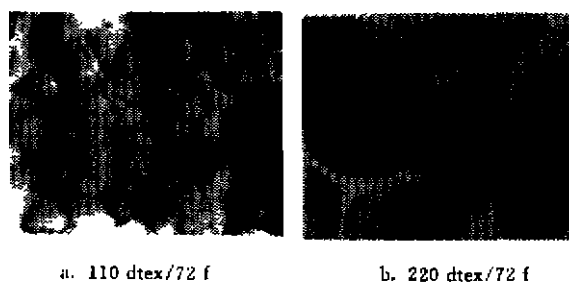


图 3 纤度对 POY 异形度的影响

#### 2.5 纺丝速度对纤维结构性能的影响

对不同纺丝速度下纺制的异形纤维的结构和性能测定, 由表 4 可见, 随纺丝速度的提高, 取向逐步增大, 纺丝速度  $2\,500\text{ m/min}$  时基本趋于饱和, 结晶度随纺丝速度的变化呈“V”字形, 在低纺速区, 以冷却速率的影响为主, 结晶度随纺丝速度上升、冷却速率加快而降低; 在纺丝速度大于

$400\text{ m/min}$  时, 分子取向诱导结晶为主<sup>[7]</sup>, 结晶度随纺丝速度增大而升高, 力学性能随之而得以改善, 但纺丝速度达  $3\,000\text{ m/min}$  时强度下降, 可能是由于初生纤维的结构中出现了缺陷所致<sup>[8]</sup>。异形度随纺丝速度的增大而升高, 见图 4。

表 4 纺丝速度对纤维结构性能的影响

纺丝速度/ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	$f_a$	结晶度, % (X 光)	强度/ $\text{cN} \cdot \text{dtex}^{-1}$	伸长, %
200	0.05	43.2	0.50	337.2
400	0.24	37.8	0.81	272.9
600	0.36	31.4	1.17	187.8
1 000	0.45	38.6	1.80	181.2
2 000	0.54	46.5	2.56	148.8
2 500	0.55	47.7	3.12	137.7
3 000	0.56	48.3	2.86	156.8

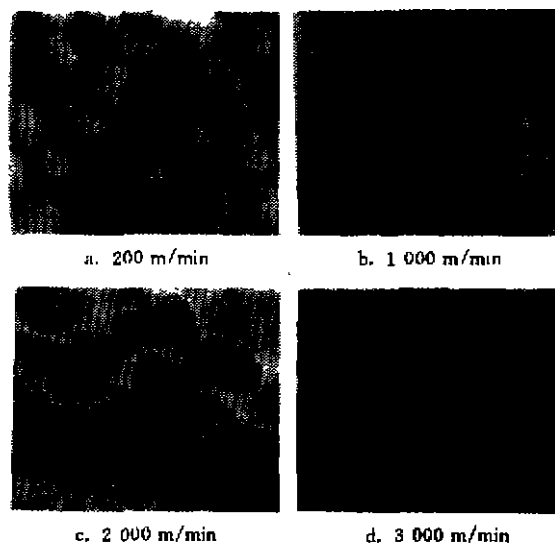


图 4 纺丝速度对初生纤维异形度的影响

#### 2.6 交络工艺

POY 交络可使后加工过程中易退卷、毛丝断头减少, 织造性能好, 由于抱合力好, 可省却上浆, 络筒等工序, 但交络空气压力不能过大, 否则会产生轴向的振动波而影响纺丝的稳定性和初生纤维的条干。实验结果证明: 空气压力控制在  $0.3\text{ MPa}$  较合适, 既不影响条干又达到交络的目的。

### 3 结论

a. 异形细旦丙纶高速纺丝宜采用喷孔直径大, 长径比较大的喷丝板, 以减少孔口膨化效应, 提高可纺性。

b. 聚丙烯原料宜采用熔体流动指数较高的切片, PP Z30S 经过降温母粒的化学降解作用, 可提高可纺性, 改善力学性能。

c. 纺丝温度是影响异形细旦丙纶的性能及异形度的关键因素之一。在一定的温度范围内,适当提高纺丝温度,有利于减小熔体的孔口膨化,保持较高的纤维异形度。

d. 当纺丝速度在 2 500 m/min 以上,取向、结晶基本达到饱和,POY 的力学性能及异形度均随纺丝速度的提高而提高。

### 参 考 文 献

1 Samuels R J. J Polym Sci. 1965, 3(5):1 741

- 2 Minoshima Wataru, White James L, Spruiell Joseph E. J Appl Polym Sci. 1980, 25(4), 287~306
- 3 Anthony V, Conlani M S. Polypropylene Fibers and Films. 1965
- 4 Vittoria V, Perullo A. J Macromol Sci & Phys Willy, New York. 1988
- 5 Candia D F, Russo R. Polym Eng Sci. 1988, 28(15), 974
- 6 Thomas D P. Polym Eng Sci. 1971, 11(4), 305
- 7 Cao Jinan, Takeshi Kikutani. J Appl Polym Sci, 1989, 37(9): 2 683~2 697
- 8 Diacik jr, Diacik I, Jambrich M. Acta Polymerica, 1990, 41(9): 500~504

## STUDY ON SPINNING PROCESS OF INTERLACED POY FOR SHAPED FINE PP FIBER

Dong Qingzhi, Guo Qun, Shi Yinde and Li Liangxun

(Petrochemical Institute of East China University of Science and Technology, Shanghai)

### ABSTRACT

The shaped spinnerette and polypropylene chip were analyzed and chosen. The investigation results show that higher temperature is good for remaining higher shaped degree in a proper range of spinning temperature. Under the stable spinning conditions, the mechanical properties of the PP fiber are better as the spinning speed increases and worse as the denier of filament decreases.

**Key Words:** PP; shaped fiber; POY; fine denier

### ◀国外消息▶

#### 东丽及东洋纺株式会社增强 空气袋用锦纶 66

《日本合成纤维新闻》1997年6月2日报道,东丽、东洋纺株式会社增强空气袋用锦纶 66,并都估计轿车用空气袋的安装率将提高,向助手席、侧门用空气袋扩大。

东丽株式会社投资约 20 亿日元在冈崎工厂新设专用设备,月产 320 t,1998 年 4 月开始投产。已有设备也于 1997 年从月产 280 t 扩大到 300 t,1998 年空气袋用锦纶 66 总生产能力将扩大到 620 t。

东洋纺株式会社也投资数十亿日元于 1997 年增设敦贺工厂的空气袋用锦纶 66 设备,生产能力增加到现在的 2 倍左右,扩大为月产 250 t。

据东丽株式会社称,空气袋用原丝的需求量,1996 年约 4 000 t/a,估计扩大到 1998 年约 7 000 t/a,2000 年约 9 000 t/a。并预测全世界需求量从现在的 2 600 t/a 扩大到 5 600 t/a。

#### 2005 年日本化纤非衣料 需求量达 80.2 万 t

《日本合成纤维新闻》1997 年 6 月 2 日报道,据日本化纤协会最近汇总的《非衣料领域的化纤需求——现状与展望》,化纤在非衣料领域的需求量,1995 年为 68.6 万 t,预测 2005 年达到 80.2 万 t,平均增长率为 1.6%。从各领域看,建筑土木、医疗卫生材料、环境安全等高增长,按各材料看,以纺粘法为中心的合纤长丝非织造布将高增长。化纤在非衣料领域所占的比重也将从 1995 年的 8% 上升到 2000 年的 12%,2005 年为 15%。

(通讯员 王德诚 供稿)