

3500m/min 卷绕速度聚酯 FOY 热管纺丝一步法研究

陈 稀 罗宁燕 吴嘉麟 吴宗铨

(中国纺织大学)

【摘要】 本文研究了热管纺丝一步法制取全取向聚酯长丝新工艺及其结构性能。研究表明：在聚酯 POY 纺丝机的长甬道中，在丝条应力为 $1.50 \sim 1.55 \times 10^3 \text{N/cm}^2$ 处将已完全固化的丝条再加热至最佳结晶温度，在 $3200 \sim 3500 \text{m/min}$ 卷绕速度下使丝条在热管中再进行拉伸取向和结晶，从而获得可直接供纺织使用的全取向丝(FOY)，其结构和物理机械性质与普通拉伸丝(DY)相似，而染色深度却比 DY 高一倍。

随着高速纺丝技术的发展，为降低成本提高劳动生产率，近十几年来一步法纺制聚酯长丝(即取消后拉伸工序、直接从熔融纺丝制取全取向丝)的研究非常活跃。国内外现有一步法工艺主要有：(1) 超高速($6000 \sim 8000 \text{m/min}$)纺丝工艺；(2) 在卷绕机上安装拉伸热辊(盘)的纺丝-拉伸一步法纺丝工艺；(3) 纺速大于或等于 4000m/min 的热管纺丝工艺，亦称“温度梯度拉伸法”^[1]。据报道^[2]，英国 I.C.I 公司采用热管纺丝工艺，在 4000m/min 纺速下制得的全取向丝，其力学性能几乎与拉伸丝一样。上述工艺要求的卷绕速度都在 4000m/min 以上，前两种方法需要价格昂贵的进口超高速卷绕机和拉伸辊，且设备损耗严重，从而增加了成本；后一种工艺虽然是在大于或等于 4000m/min 速度下运转，但目前聚酯长丝生产中普通高速纺卷绕机约占 90%，其机械设计速度为 4000m/min ，如在 该速度下运行，机械磨损亦很大，严重地影响设备寿命，故不宜推广使用。

本文用自行设计的平板加热器^[3]对 3500m/min 卷绕速度下一步法制得全取向聚酯长丝的工艺及其结构性能进行了研究，在该卷绕速度下机械磨损大为减轻，从而使具有长甬道高速纺 POY 卷绕机的工厂可以利用现有

设备，只须添个加热管(平板加热器的简称)就能做到高产量、低成本、短流程的一步法生产聚酯长丝。研究表明，用本工艺制得的聚酯长丝各主要性能指标均达到全取向聚酯丝的要求，且其染色深度比拉伸丝高一倍，该工艺特别适合于细度小的长丝生产。制得的长丝可直接用于针织或机织生产，适于生产中高强度、低模量，手感柔软的织物。

一、实验部分

(一) 实验装置与工艺

1. 实验设备：单部位高速纺丝卷绕机^[4]和自行设计的平板加热器，其有效加热长度为 1.8m ，可在甬道内上下移动，用 DTW 控系统调节加热板的温度。

2. 工艺条件：采用金山涤纶二厂的切片，特性粘度为 0.66 ，含水率为 0.005% ；熔体温度 290°C ；油剂为 FT-621，丝条出加热器后 20cm 处由喷嘴加油；所纺的纤维为 $110 \text{dtex}/36\text{f}$ 。

3. 工艺流程：丝束由喷丝板 1 喷出后经自然冷却，在距上甬道口上方 10cm 左右将丝集束进入甬道 2 并穿过平板加热器

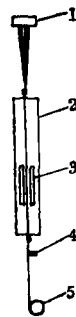


图 1 一步法工艺流程示意图

3, 丝束出甬道 2 后经上油装置 4 至卷绕机 5 (见图 1)。如欲提高后加工性还可增设吹捻的网络装置。

(二) 测试仪器与方法

1. X射线衍射分析: 用日本理学 X 衍射仪测结晶度。

2. 声速法: 用中科院化学所研制的 SSY-1 型声速仪测定声模量及声速取向 f_s 。未取向样品的声速值由自制试样测得, 其声速值 c_n 为 1.45km/s。

3. 双折射: 用色那蒙补偿法测定纤维的双折射 Δn 。

4. 力学性质: 用 Texttechno 公司 Statimat-II 型强伸仪测定。

5. 沸水收缩: 取试样长 L_0 为 200mm, 预张力 $2.11 \times 10^{-3} \text{CN/dTex}$, 在沸水中热处理 2min, 取出后测长度 L , 沸水收缩率 $S = (L_0 - L)/L_0 \times 100\%$

6. 热分析法: 用 Perkin-Elmer-7 型 DSC 仪器测定, 升温速率为 $20^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

7. 染色性能: 用电子测色配色仪 Match Scan II 型比较在同一染色条件下样品的染色深度。

二、结果与讨论

1. 纺程加热位置对卷绕丝 FOY 力学性能的影响

国内热管纺丝一步法工艺的研究已有报道^[4,5,6], 在丝条约 90% 固化处, 于纺速等于或高于 4000m/min 条件下将纤维再行加热至结晶的最佳温度, 以促进结晶生长, 稳定结构并增加纤维的强度, 从而获得有实用价值的纤维。

在高速纺丝时丝条中的应力随纺程 x (离喷丝板的距离) 的增加而增大。在 3500m/min 纺速下, 单丝为 3.05dTex 的聚酯长丝, 在 $x = 1.5\text{m}$ 处纺丝应力为 $1.0 \times 10^3 \text{N}/\text{cm}^2$, 而 $x = 8\text{m}$ 处为 $1.54 \times 10^3 \text{N}/\text{cm}^2$ ^[7]。显然在不同的纺程加热, 即相当于丝条在不同的应力下加

热。本研究在 3500m/min 卷绕速度下, 干丝条完全固化再将其加热至最佳结晶温度, 使长丝在热管中再进行拉伸取向和结晶。卷绕丝的强伸度与加热位置的关系如图 2 所示。从图 2 可见, 在热板温度为 350°C 条件下, 随纺程加热位置 x 的增大丝的强度逐渐增大, 伸度下降, 当 x 增大到 8m 后, 强度突然急剧增加, 而伸长却下降, 这是因为加热处丝条的应力随纺程加热位置 x 的增长而增大, 当该应力达到某一临界值时产生取向诱导结晶^[8]的结果。研究表明, 该应力的最佳值为 $1.58 \times 10^3 \text{N}/\text{cm}^2$ 。这与 Ziabicki^[9] 等人研究的结果基本相符。采用张力仪在纺线上测得丝条张力, 就可确定最佳应力值的位置——热管加热位置。必须指出, 该位置是随聚合物特性粘度、冷却速率、纺丝速度、集束点、甬道结构、纤度等的不同以及纺丝线上辅加张力与否而不同。

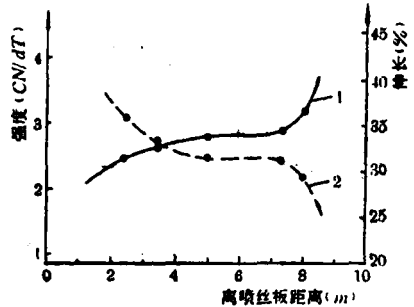


图 2 卷绕丝的强伸度与加热位置的关系
1-强度; 2-伸度。

2. 热管加热温度对卷绕丝 FOY 结构性能的影响

如上所述, 在 3500m/min 卷绕速度下, 距喷丝板 8m 处纺丝线上的应力已达到能诱导结晶的临界值。在该处对丝条加热使其升温而拉伸取向并结晶, 热管加热温度对 FOY 结构性能的影响如图 3、图 4 所示。

研究表明, 要制得全取向高结晶的长丝 FOY, 加热温度 (此处温度与图 3、4 的热板温度均为仪表指示的加热板面温度) 和卷绕张力是两个至关重要的参数, 即在应力达到临界值后, 还需要合适的丝条温度及加热区间, 以

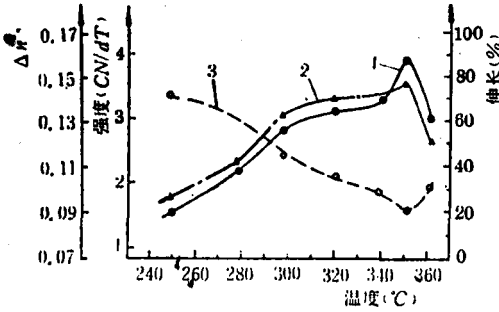


图3 卷绕丝的强伸度、双折射与热板温度的关系
1-双折射；2-强度；3-伸长。

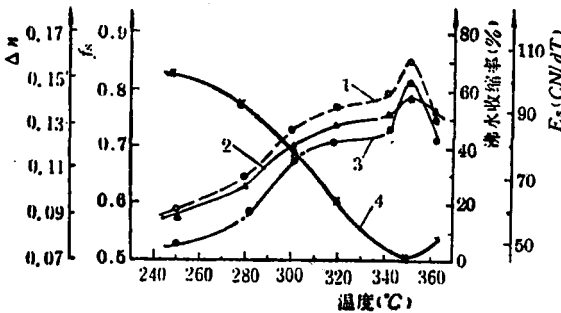


图4 卷绕丝的结构性能与热板温度的关系
1-双折射；2-声速取向；3-声模量；4-沸水收缩率。

保证丝条在热管中进一步拉伸取向和确保纤维结构发展所需的时间。当加热丝条的温度不足以使聚酯大分子达到最佳结晶温度时，则结晶不充分，结晶度低，取向也就不能维持住。从图3、图4可见，当热板温度小于350℃时，卷绕丝的强度、双折射、声速取向和声模量均随温度的增加而逐渐增大，而延伸度、沸水收缩率则逐渐下降；当加热温度为350℃左右各曲线有一最佳值；当温度大于350℃各曲线发生转向，出现相反的结果，这可能是由于丝条达到聚酯大分子的软化温度，不利于拉伸取向而有利于解取向所致。

3. 卷绕速度对卷绕丝 FOY 结构性能的影响

众所周知，在聚酯长丝超高速纺中，当卷绕速度达到6000m/min以上时，由于取向诱导结晶使卷绕丝性质亦能达到FOY的指标。本文研究的速度范围为3200~4000m/min，

在加热位置距喷丝板面8m处，热板温度300℃下，卷绕速度与卷绕丝的强度及其声速取向*f_s*的关系如图5所示。从图5可见，当卷绕速度为3750m/min时，强度与取向度最高，这可能是在300℃的加热温度下必需要3750m/min相对应的速度所提供的应力值才能得到最佳的取向结晶效果。速度低尚不足以达到临界应力值；速度高，由于进入热管前的纤维取向较大导致在热管中的拉伸倍率下降^[2]，同时由于速度过高，丝条在一定长度加热管中停留时间不够而使拉伸结晶温度低。

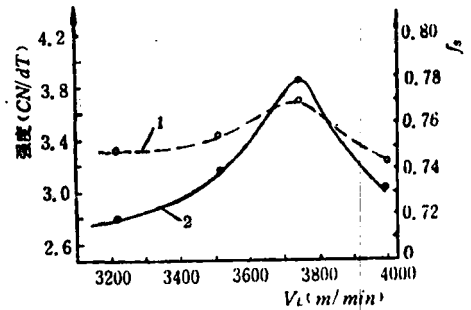


图5 卷绕速度对卷绕丝结构性能的影响
1-强度；2-声速取向。

研究表明，当热板温度提高到350℃左右，卷绕速度还可降低些^[3]。可见，纺程加热位置、热板温度和卷绕速度均为一步法制取FOY的关键参数。若卷速高达6000m/min则纺程不必加热，一步法制得POY性能可与FOY相当；若卷速高达4000m/min在丝束尚未完全固化时将丝条再次加热以强化结晶，可一步法制得FOY，(亦可称FCY)^[6]；若欲降低卷速至3200~3500m/min，则必需在远离板面一定距离处再行加热以使加热处丝条的应力达到临界值。总之，这三个工艺参数的适当组合可以得到制取FOY的不同加工方式。

4. 一步法纺制的 FOY 结晶结构及其染色性能

本法纺制的FOY，其DSC热分析谱图如图6所示。由图6可见，其玻璃化转变峰和结晶峰都已消失，它与纺速高于6000m/min的POY热谱图一致^[10]，与常规两步法制取的

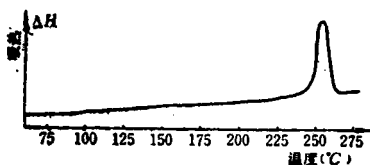


图 6 3500m/min 热管纺丝一步法试样的 DSC 图谱

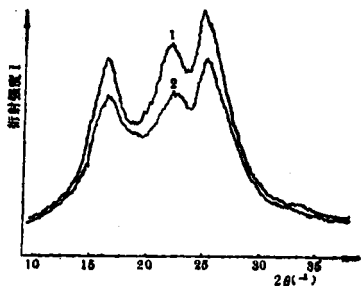


图 7 PET 长丝的 x-射线衍射结晶度测定曲线

1-一步法试样; 2-常规拉伸丝。

DY 丝接近。

图 7 是 3500m/min 下纺制的 FOY 与常规纺拉伸丝 DY 的 x 射线衍射图。从图 7 可见, 前者在 100、010、和 $1\bar{1}0$ 三个晶面上的衍射峰较高且窄, 这说明前者的结晶尺寸较拉伸丝 DY 为大。

由 3200m/min、3500m/min 一步法纺制的 FOY 与普通拉伸丝织成的袜筒在相同条件下进行染色, 结果列于表 1。从表 1 可见, 本一步法制得 FOY 的染色深度比 DY 高出一倍, 这显然是在纺程上由于温度高形成的结晶晶粒尺寸在 010 面较大所致^[6]。因此本法生产的 FOY, 其染色性能比拉伸丝好, 可以不必用高温高压法染色。这是本方法的一个优点。

表 1 本法制得 FOY 与 DY 的染色深度比较

试样	DY	FOY(1)	FOY(2)	FOY(3)
染色深度	100%	228%	208%	227%

三、结 论

1. 一步法制取 FOY 的结构是在纺丝线上发展起来的, 纺丝应力对其结构形成起决定

性作用。最佳加热位置在丝条完全固化, 丝条上应力为 $1.50 \times 10^3 \text{N/cm}^2 \sim 1.55 \times 10^3 \text{N/cm}^2$ 处, 在该处将丝条加热至最佳结晶温度, 使其拉伸取向并充分结晶, 这相当于一个独立的拉伸过程, 只是将其置于纺丝线上进行, 故 FOY 的取向高, 双折射值大, 结晶度也大, 其力学性质与普通 DY 丝相近, 可直接用于机织和针织生产。

2. 本法生产的 FOY 结构是在高温、高应力下发展起来的, 故结晶充分晶粒大, 其染色深度比 DY 高一倍。

3. 本法的卷绕速度为 3200~3500m/min, 适用于具有长甬道高速纺 POY 纺丝卷绕机的工厂, 只要添加个加热器就能实现一步法生产聚酯长丝 FOY, 特别适宜于细特的长丝生产。

参 考 资 料

- [1] JK77-5319, JK81-4731, JP80-11766, JP 80-10684, JK76-123319.
- [2] 《合成纤维》, 1988, №2, p. 16-20.
- [3] 中华人民共和国专利局, CN 1036415A(BJ 第1456号)。
- [4] 《中国纺织大学学报》外文版, 1988, №2, p. 83-95.
- [5] 《合成纤维工业》, 1988, №4, p. 1-7.
- [6] 《中国纺织大学学报》1990, №2, p. 14-22.
- [7] 《中国纺织大学学报》, 1986, №1, p. 1-10.
- [8] 《J. Appl. Polym. Sci.》, 1978, (22) 2229-2243.
- [9] Ziabicki et al 《High Speed Fibre Spinning》, 1986, H. Kawai New York, Wiley.
- [10] 日本纤维机械学会纤维工学出版委员会编, 丁亦平译, 《纤维的形成结构及性能》, p. 212 纺织工业出版社, 1988.