

③

10-14

# 丙纶中空异形三维自卷曲纤维的研制

单国荣

(上海石化股份公司塑料部, 200540)

TQ 342.62  
TQ 342.95

探讨试制丙纶中空异形三维自卷曲纤维的基本原理、试制条件、工艺流程和设备等特点。试验结果表明:采用特殊结构的喷丝板、改进后的冷却装置将 *MFR* 较低的高等规度聚丙烯原料和一定比例降温母粒进行复配,生产的中空异形三维自卷曲丙纶具有弹性好,卷曲质量好的特点,改善了纤维的手感和弹性,提高了纤维的保暖性。

关键词: 中空 异形 三维自卷曲纤维 研制

聚丙烯纤维,  
中空纤维,  
异形纤维,

丙纶是当今世界合成纤维领域中发展最快的品种。自 80 年代中后期起,我国丙纶的生产和消费进入了高速增长阶段,1998 年产量约 212.6 kt,产品主要应用于纺织类和非织造布应用领域,约占总产量的 57%。在非织造布应用领域,丙纶集中用于医疗卫生用材、装饰材料 and 地毯、充填材料等。充填材料主要指充填的床上用品,如:被絮、垫絮、枕芯、服装、玩具中的一种高蓬松、柔性、弹性材料,主要功能和特性是保暖、蓬松、弹性、质轻和卫生。我国拥有世界上最多的人口和最大的玩具市场,充填材料市场潜力巨大。90 年代初由于涤纶中空三维自卷曲等弹性纤维的成功开发,占据了充填材料市场相当的份额,但就充填材料的特性要求而言,由于丙纶具有隔热、质轻和抗菌卫生等性能优势,更适宜用作充填材料。为此,塑料部在小纺丝机装置上进行了中空、异形、三维自卷曲纤维的研制,并根据研制的情况,从原料选择、工艺条件和设备特性等方面进行了探讨。

## 1 基本原理

采用特殊结构的喷丝板、改进后的冷却吹风装置,使聚丙烯熔体出喷丝孔时形成局部湍流,产生内应力,利用聚丙烯的记忆功能,在后拉伸、热定型时使应力释放,使纤维产生局部收缩差异而

形成中空、异形、三维自卷曲纤维<sup>[1]</sup>。

## 2 试制条件

### 2.1 基本原料

上海石化塑料部生产的聚丙烯产品;*MFR* 为 4.0~8.0 g/10 min;等规度>98%;辅料采用外购的聚丙烯降温母粒。

### 2.2 设备

小纺丝机型号:FFS-600;螺杆直径  $\varnothing$  25 mm;长径比:24;

纺丝组件:特殊结构的喷丝板;

冷却装置:改进后的冷却吹风装置;

拉伸络筒机型号:FMD600

### 2.3 工艺流程

聚丙烯原料+降温母粒→螺杆熔融→纺丝箱体→计量泵→纺丝组件→吹风冷却→卷绕→拉伸→切断→热定型

### 2.4 工艺参数

螺杆温度:220~290℃;箱体温度:240~285℃;冷却风温:12~20℃;冷却风速:2~8 m/min;拉伸倍数:3~4倍;拉伸辊温度:70~120℃;热板温度:75~115℃;定型温度:100~

本文于 2000-02-25 收到。

130℃。

### 2.5 研制产品的质量指标

纤度: 6.2~7.0 dtex; 强度: 3.1~3.5 cN/dtex; 断裂伸长: 84.7%~145.2%; 卷曲率: 10%~30%; 中空度: 15%~22%; 卷曲弹性回复率: 80%~95%。

### 2.6 测试仪器

XQ-1 型强伸仪, 测定: 强度、断裂伸长;

XG-362 纤维卷曲弹性仪, 测定: 卷曲率、卷曲弹性;

蔡司(ZISS)显微摄影仪, 测定: 纤维截面和外观卷曲性能。

## 3 试制工艺和设备探讨

### 3.1 原料对纤维质量的影响

纺制中空异形三维自卷曲丙纶纤维的原料选择, 除满足原料的可纺性外, 更取决于纤维的力学性能和外形质量, 即纤维的强伸度、中空度、刚性及异形截面和三维自卷曲效果等因素。在试制中采用了不同 MFR 的聚丙烯和降温母料组合, 结果表明: 采用较低 MFR 的原料, 并加入一定比例的降温母粒进行混合, 所生产的纤维其截面变异、卷曲弹性回复率、强度等指标均优于其它原料(见表 1), 但纤维的中空度和可纺性稍差。

表 1 不同原料的可纺性和纤维质量对比

项目	1#样品	2#样品	3#样品*
原料 MFR/g · (10min) <sup>-1</sup>	10.8	26.5	4.2
分子量分布	中	小	大
纺丝状态	少量断丝	无断丝	少量断丝
强度/cN · dtex <sup>-1</sup>	3.02	2.87	3.2
中空度, %	19.6	21.8	18.9
卷曲弹性回复率, %	78.9	76.9	81.9
截面变异	大	中	小

\* 为 PP 和母粒复配混合原料。

这主要是由于采用低 MFR 原料并加入一定量的降温母粒, 一方面使熔体的分子量分布变窄, 从而改善熔体的流动性能和减少熔体孔口膨化现象, 对提高纤维强度和刚性较为有利, 另一方面由于分子量的降低和过氧化物残留物的存在, 使得熔体在纺丝及冷却成形时, 形成的晶核数量和成核速率增加, 提高了初生纤维的结晶能力, 从而提高了产生三维自卷曲的潜能。

### 3.2 纺丝温度对纤维质量的影响

纺丝温度的选择主要受原料的性能和降温母粒的添加量所制约。在一定的纺丝温度范围内, 温度的高低对纤维性能有较大关系。试纺表明: 随着纺丝温度逐步提高, 纤维的中空度有所提高(见图 1); 纤维截面异形化增加(见图 2); 三维卷曲结构变得大而松(见图 3、4), 但超过一定的温度值, 纤维的中空度及截面异形化反而有所下降。

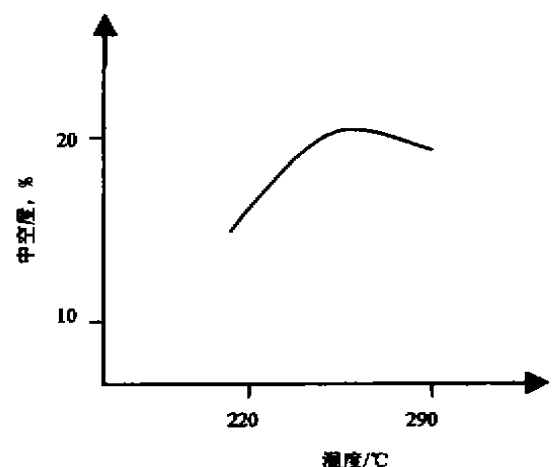


图 1 纺丝温度对中空度的影响

这主要是随着纺丝温度的升高, 熔体流动性能提高, 膨化性减少, 熔体易于形成异形截面, 但纺丝温度过高, 不仅会引起降解过度, 恶化纺丝性

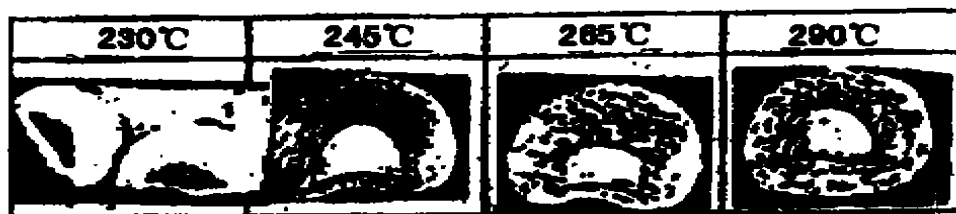


图 2 纺丝温度对异形截面的影响

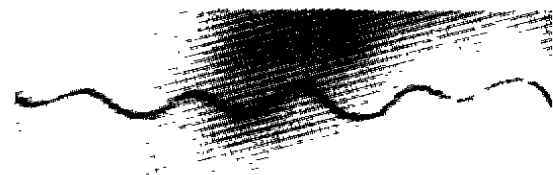


图3 纺丝温度在245~265℃时纤维卷曲形状



图4 纺丝温度在265~285℃时纤维卷曲形状

能,同时熔体流动性更强,熔体表面张力减少,截面趋于圆形,不利于异形截面的形成,因此试纺表明依据原料的质量指标和加入降温母粒的比例,选择适宜的纺丝温度是生产中空异形三维自卷曲纤维的关键之一。试验表明:选择245~265℃的纺丝温度较为适宜。

### 3.3 冷却成形条件对纤维质量的影响

#### 3.3.1 冷却风速、风速及匹配的影响

冷却成形条件也是纺制中空异形三维自卷曲丙纶纤维的关键参数之一,它不仅影响纺丝成形质量和纤维的力学性能,而且对三维自卷曲纤维的螺旋结构形成有着重要的关系。经试纺表明,随着冷却条件的加剧,即提高吹风速度或降低风温,初生纤维的中空度逐渐提高,其结构的细密度也相应提高(见图5~8)。

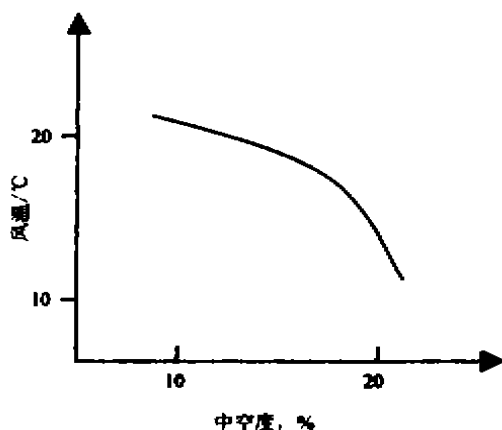


图5 风温对纤维中空度的影响

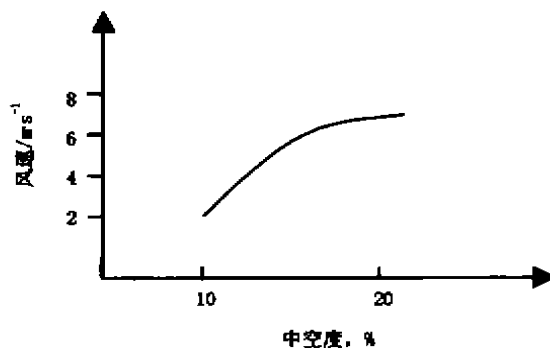


图6 风速对纤维中空度的影响

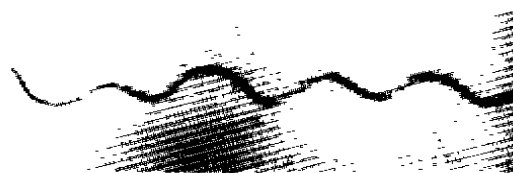


图7 较剧烈冷却纤维卷曲形状

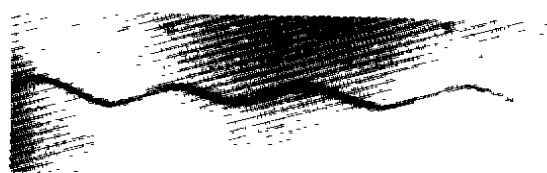


图8 一般冷却纤维卷曲形状

由于采用较为剧烈的骤冷方式,聚丙烯分子的结晶易产生不稳定的准晶结构。这种不稳定的结构对后面的拉伸处理的工艺控制较为有利,它可以通过控制不同的拉伸温度和倍数,形成具有不同的三维螺旋卷曲结构的纤维。而冷却工艺控制范围的选择,一方面受到可纺性、聚丙烯纺丝断头的增多、丝束粘结等不良成形质量的限制,另一方面受到初生纤维结构形成的影响,如冷却时产生皮芯结构的丝束,初生纤维内部结晶形式的稳定性及结晶度的提高,都会减少熔体在出喷丝孔时产生的湍流所引起的内应力差异,降低纤维潜在的自卷曲能力。试纺表明:采用冷却风温16~20℃、风速2~6 m/s及两者合适匹配,能够得到较为稳定和均匀的螺旋卷曲结构。

#### 3.3.2 吹风位置的影响

改变吹风位置,即调节吹风高度,对纤维的成形、纺丝稳定性及三维卷曲性能也有着较大的影

响(见表2)。试纺显示,随着吹风位置的上移,冷却由缓冷逐步增加至骤冷形式,三维卷曲效果增强,但离板面位置过小,喷丝板靠近吹风装置附近的丝束断丝现象明显增多,甚至无法纺丝。同样如吹风位置下移至一定距离,喷丝孔距离吹风位置较远的丝束断丝也会大量产生。这主要与吹风运动中心与丝束或喷丝孔的设计及内外层风源的平衡有较大的关系,试纺表明:吹风位置控制在2~5 cm较好。

表2 吹风位置与工艺稳定及质量对比

性能	<2 cm	2~5 cm	4~8 cm	>8 cm
可纺性	纺丝断头较多	正常	纺丝断头较多	较难纺丝
可拉伸性	绕辊多	正常	绕辊较小	—
成品卷曲效果	过密	适中	太疏	—

### 3.4 拉伸工艺和热定型对纤维质量的影响

#### 3.4.1 拉伸辊温度、热板温度对纤维质量的影响

经吹风冷却的初生纤维的结构是不稳定的,经热辊加热后,使其不同晶态区得到固定,通过设定拉伸温度就可以控制晶态区,控制纤维内部结晶颗粒的大小,进而达到调节卷曲度的目的。通过改变结晶温度,可以生产出具有不同卷曲率的纤维品种<sup>[2]</sup>。

拉伸倍数对纤维卷曲率有较密切的关系,由于初生纤维同一截面结构的不同,故其拉伸性能

要比普通纤维差,如拉伸倍数过大,加速了大分子沿轴向排列均匀性,使卷曲收缩能力逐渐消失,同时产生断丝、毛丝,所以拉伸倍数不宜过大。如拉伸倍数过小,则达不到拉伸的目的。试纺表明,拉伸工艺宜控制在:拉伸辊温度 80~90℃;热板温度 85~100℃;拉伸倍数 3.5~3.8倍。

#### 3.4.2 热定型对纤维质量的影响

初生纤维经拉伸后部分纤维已出现不明显的三维卷曲形状,但还不很完全,只有通过较高温度的热定型,使纤维的内应力充分消失才能产生三维螺旋状的卷曲,同时热定型使纤维结晶度提高,从而使纤维的三维螺旋结构更稳定。试纺表明,热定型温度控制在 115~130℃,定型时间在 10~15 min 为宜。

### 3.5 设备结构对纤维质量的影响

喷丝板的特殊结构是熔体局部产生湍流的基础,也是生产中空异形三维自卷曲丙纶纤维的核心技术。在试纺中,采用特殊结构的喷丝板与改造后的吹风冷却装置的合理组合,经一定的工艺调整能够生产出中空异形三维自卷曲纤维。试纺表明:特殊结构的喷丝板对初生纤维产生必要的内在应力差异对造成三维自卷曲的趋势起着至关重要的作用,而采用传统的喷丝板和改建的冷却装置不易产生三维自卷曲的纤维(见表3),冷却装置的重要作用是将初生纤维断面存在的内应力的差异进行锁定和使纺丝正常成形。

表3 不同部件及组合对纤维性能的影响

部件和组合	纤维形状	纺丝可纺性	纤维性能
特殊结构的喷丝板+优化吹风装置	中空异形三维自卷曲	可纺性稍差,工艺控制难度较高	具有三维螺旋卷曲结构,波纹稳定、细密、手感弹性较好,有一定的刚性
普通结构圆形喷丝板+优化吹风装置	圆形实心	纺丝稳定,工艺控制方便	无明显螺旋卷曲
特殊结构喷丝板+普通吹风装置	中空异形	纺丝稳定,工艺控制难度小	具有不明显的螺旋卷曲结构、波纹相对较大,手感弹性稍差

## 4 结论

a. 采用 MFR 较低的高等规度聚丙烯原料和一定比例的降温母粒进行复配,生产的中空异形三维自卷曲丙纶纤维强度较高,卷曲质量较好。

b. 在试制过程中采用较低的纺丝温度(245~265℃),冷却风温 16~20℃,风速 2~6 m/s,并保持风温、风速两者间的相对匹配,吹风位置在 2~5 cm 内,有利于纤维形成三维螺旋卷曲结构,拉伸和热定型工艺参数的不同设定,形成的纤维

的螺旋结构大小不同,纤维的平均弹性也不同。

c. 采用具有特殊结构的喷丝板和经改造的冷却装置是生产中空异型三维自卷曲丙纶纤维的关键技术和基础。一般情况下,纤维的三维螺旋结构主要由喷丝板的特殊结构所决定,冷却装置仅对完善和保护螺旋结构起较重要的作用,特殊结构的喷丝板不仅改善纤维的手感、弹性,而且对提高

纤维的保温性也有一定的作用。

### 参 考 文 献

- 1 潘淑娟. 三维卷曲丙纶短纤. 全国化纤产品和技术结构调整学术讨论会论文集. 中国纺织工程学. 化纤专业委员会编, 1998
- 2 白小光等. 新一代丙纶短纤维的纺丝工艺. 合成纤维, 1998, (5)

(上接第9页)

表 3。

表 3 方法检出限

元素	测定次数	SD	检出限/ $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$
Mo	14	0.019	0.058
Ni	14	0.0019	0.0058

### 2.5 方法的精密度

用上述实验步骤对试验的样品进行 8 次重复测定。测定结果的标准偏差(SD)与相对标准偏差(RSD)见表 4。

表 4 方法的精密度

元素	测定平均值/ $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$	SD	RSD
Mo	49	0.50	0.86
Ni	218	1.48	0.64

### 2.6 回收率试验

同一样品中加入已知量的钼、镍,按分析操作做标准回收试验,测定结果见表 5。

表 5 回收率试验

元素	加入标准/ $\mu\text{g}$	测得量/ $\mu\text{g}$	回收量/ $\mu\text{g}$	回收率, %
Mo	—	115.4	—	—
	100.0	215.9	100.5	100.5
	200.0	316.2	200.8	100.4
	400.0	513.5	398.1	99.5
	—	462.5	—	—
Ni	200.0	666.0	203.5	101.8
	200.0	662.5	200.0	100.0
	400.0	860.5	398.0	99.5

由表 5 可见,方法回收率在 99%~102%之间,说明方法准确度达到要求。

### 2.7 样品分析结果

用实验部分的分析方法分析样品,所得结果见表 6。

表 6 样品分析结果

样品号	ICP 法测得的含量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		AAS 法测得的含量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	
	Mo	Ni	Mo	Ni
	7.20 塔釜出液	49	218	50
8.4 塔中出液	0.025	35	0.01	35
8.4 塔釜出液	4.9	10	5.0	7.5

\* AAS 法即原子吸收法。

### 3 结论

采用“低温熔化-中温挥发-硝酸高氯酸消化溶解”的方法进行样品处理,用电感耦合等离子体发射光谱法同时测定醋酸中的钼和镍,方法操作简便、快速、干扰少,数据准确可靠。能够及时为 D-436 醋酸塔防腐蚀和设备失效工作提供设备腐蚀信息。

### 参 考 文 献

- 1 不破敬一郎等. ICP 发射光谱分析. 北京:化学工业出版社, 1987.6
- 2 J. E. 坎特利编. 原子吸收光谱分析. 北京:科学技术文献出版社, 1989.9:216
- 3 吴晨光, 田春芳. 理化检验——化学分册. 1996, 32(1):18~19