

# 丙纶细旦短纤维的研制

吴建东 施永林

(上海石化股份公司塑料部, 200540)

7.2 4 = 6.2

丙纶细旦纤维有其固有的特殊性能,在服用领域具有广阔的发展前景。根据纤维的固有特性、从试制条件、生产工艺流程、设备特点及测试方法等方面展开分析和讨论,并对各种原料方案进行了小试,从中选择最优方案。实践证明,当孔径在 0.5 mm 左右,孔长径比为 7 时,可使流体稳定、纺出超细旦丙纶纤维。

关键词: 丙纶 细旦纤维 试制

短纤维, 原料 - 工艺流程, 孔径

## 1 前言

丙纶细旦纤维芯吸效应好,有优良的导汗、透气等性能。在常用的服用纤维中,它的热传导率最低,甚至低于羊毛,作为保暖材料最为理想。它的抗磨损能力可以与尼龙媲美,其强度可以保证,并延长服装的使用寿命。丙纶纤维比重轻,0.45 kg 的聚丙烯的覆盖能力相当于 0.75 kg 棉花,0.66 kg 羊毛,0.59 kg 腈纶。对成衣而言,这一点再加上其低热传导率,意味着这种纤维又轻又保暖,与其它衣用的高技术的绝热材料相比有很强的成本和性能上的竞争力。丙纶还有很强的防污防臭能力,S-S 曲线与棉相似,起球少,不贴身,其疏水的特性导致它能抗菌、无毒、不霉、抗微生物。

但要使以上特性淋漓尽致地发挥,必须使纤维的纤度小于 1.3 dtex,而且纤维越细,特性愈加明显。短纤维比长丝效果更甚,为此,对 0.9~1.2 dtex 的丙纶短纤维进行研制开发。

## 2 试制条件

### 2.1 原、辅料

原料:

聚丙烯(PP)切片: PP1<sup>#</sup>

PP 切片: PP2<sup>#</sup>

PP 切片:

PP3<sup>#</sup>

辅料:

添加剂

DTC

油剂

进口 FO1<sup>#</sup>、FO2<sup>#</sup>

国产 YO1<sup>#</sup>、YO2<sup>#</sup>

### 2.2 工艺流程

添加剂 + PP → 共混 → 纺丝 → 冷却吹风 → 上油 → 拉伸(二道) → 卷曲 → 热定型 → 切断 → 打包

### 2.3 设备

短程纺一步法生产装置;大长径比双螺槽突变结构螺杆挤压机;电脑添加剂计量加入器;环形喷板直径 670 mm,喷孔 50 000~60 000 孔,孔径 0.4~0.5 mm;大型内环吹冷却形式;二节拉伸、拉伸机辊面加热。

### 2.4 生产工艺

螺杆挤压机温度:220~295 ℃;

辅螺杆挤压机温度:190~280 ℃;

纺丝温度:250~295 ℃;

纺前压力:7.0~10.0 MPa;

冷却风温:28~36 ℃;

收稿日期:2000-10-10。

作者简介:吴建东,1956年出生,毕业于中国纺织大学化纤专业、高级工程师。现从事丙纶工艺技术及产品开发工作,曾发表论文3篇,并曾获两项上海市科技进步奖

冷却风速:5~12 m/s;

纺丝速度:40~100 m/min;

拉伸倍数:2.5~3.5倍;

拉伸配比:约96%;

拉伸箱温度:100~120℃;

拉伸辊温度:70~130℃;

热定型温度:110~138℃;

定型时间:10~15 min;

卷曲压力:主压0.2~0.25 MPa;背压0.04~0.06 MPa;侧压0.2~0.3 MPa;

切断长度:38 mm。

### 2.5 仪器测试方法

按丙纶常规测试法。

## 3 分析与讨论

### 3.1 原、辅料的选择

决定最大丝条长度的断裂机理有内聚能破坏和毛细破坏,并在此基础上提出了定量的可纺性理论。而在实践中,所指的可纺性是指熔体承受稳定的拉伸所具有的形变能力,是一个单轴拉伸流动的流变问题。

如果PP树脂的分子量较大,分子量分布较宽,熔体弹性就较大。熔体经喷丝孔挤出后,熔体细流急剧膨化。熔体细流在塑性状态时,拉伸受到限制。用现有成形方法很难获得细纤度的纤维,也就是说,纤度愈细成形愈不稳定。为此,要获得1.1 dtex以下的超细旦纤维,必须采用分子量较低、分子量分布窄,且熔体熔融指数MFI均匀的PP树脂原料。只有这样,才能改善熔体孔口挤出时的流变性能。形成均匀的喷头形变拉伸,纺制出条干均匀的初生纤维。按照这思路,拟定了7种原料方案进行小试。其试制情况见表1。

从表1中看出:PP1<sup>#</sup>加0.5% DTC 辅料,纺丝、拉伸状况最佳,成品强伸指标最好。

PP1<sup>#</sup>是分子量较高的PP加上有机过氧化物和其它助剂经过两次造粒的PP切片,MI约25 g/10 min。其分子量较低,分子量分布窄(<4),等规度好,熔体流变性能好;灰分和凝胶粒子低,适合于高速纺丝和纺制细旦丝。在其中放入少量的DTC母粒后,使分子量再次降低,分子量分布进一步变窄,且熔体均匀。

表1 各种原料方案小试结果

序号	原料名称	辅料添加量, %	纺丝情况	后拉伸情况	强度/cN·dtex <sup>-1</sup>	伸长, %
1	PP1 <sup>#</sup>	0	一般	一般	3.6	40
2	PP2 <sup>#</sup>	0	一般	一般	3.3	50
3	PP3 <sup>#</sup>	0	较差	较差	2.5	60
4 <sup>*</sup>	PP3 <sup>#</sup> + DTC	2.2	一般	一般	2.8	60
5 <sup>*</sup>	PP3 <sup>#</sup> + DTC	3.0	较好	较好	3.0	55
6 <sup>*</sup>	PP2 <sup>#</sup> + DTC	1	较好	较好	3.5	40
7 <sup>*</sup>	PP1 <sup>#</sup> + DTC	0.5	较好	较好	3.9	35

注:1.以上原辅料各有试验工艺,都根据具体情况进行仔细的测算和调试。

2.都以1 dtex棉型纤维为成品准则。

高熔融指数的聚丙烯可用较低纺丝温度来达到所要求纺丝熔体的表观粘度,以减少助剂的挥发与热降解。分子量分布越窄,流动性越好,临界切变速率越高,纺丝膨化效应越小,结晶速度越快。最大拉伸倍数越多,纤维强度越高,可纺纤度就越细。熔体均匀度越高,其纺丝毛疵、拉伸绕辊越少,初生纤维条干越均匀。

### 3.2 喷丝孔入口形状、孔径、孔长径比的讨论

#### 3.2.1 喷丝孔入口导角的选择

PP熔体从组件的空腔压入直径很小的喷丝孔道时,沿流动方向产生很大速度梯度,从而产生弹性形态,造成很大的入口压力降,除了部分消耗外,大部分以弹性能形式贮存起来。纺制细旦纤维,为抑制PP熔体的弹性膨化,在喷丝孔入口区必须设有锥形导角,使熔体平稳导入孔流区。不同的入口导角,对丝流出现波动(即挤出时形变的临界切变速率)的影响见图1,入口导角缩小,丝流产生不稳定流动的临界速率就迅速升高,这样

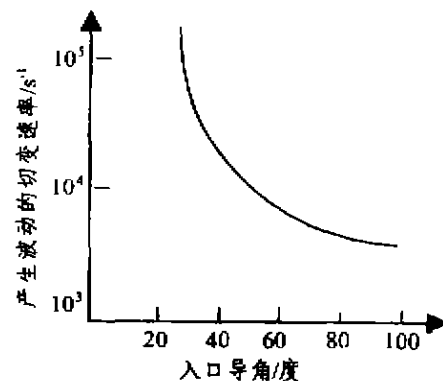


图1 不同的入口导角对丝流波动的切变速率影响

就可在更高的挤出速度下纺丝。纺制超细旦纤维时,最好能采用二导角二节式喷丝孔,这样能使熔体流动更稳定,抑制弹性效应更有效。

### 3.2.2 喷丝孔直径和长径比的选择

图2为熔体膨化率与孔径及孔长径比的关系。

从图2可以看出,膨化率随着喷丝孔径和喷丝孔长径比的加大而迅速减小。这是因为孔径愈

大,在入口处大分子的形变就愈小,因而熔体的内应力就减少,出口处膨化现象就愈轻微。当孔长度加大时,可增加熔体在孔道的流经时间,这样弹性中耗损部分增加,应力松弛的机会也相对增加,熔体残留的可变弹性减少,因而可使膨化现象减少。实践中得出,当孔直径在0.5 mm左右,孔长径比为7时,可以使流体稳定,纺出超细旦(0.8~1.2 dtex)丙纶短纤。

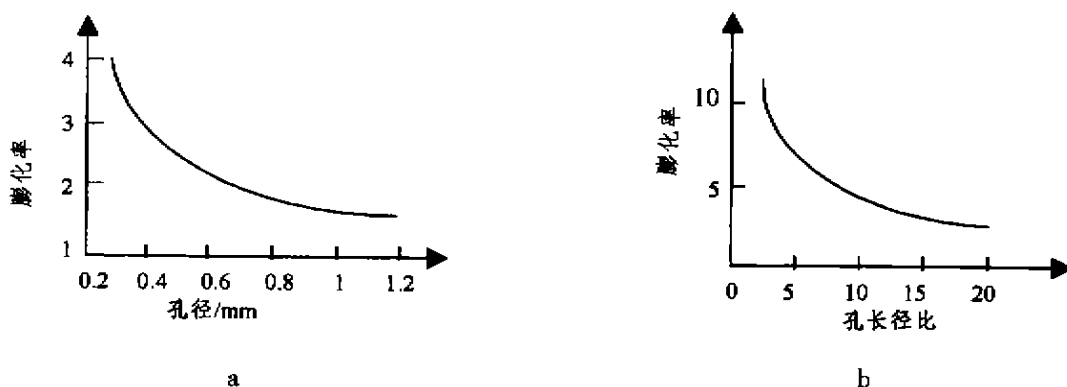


图2 膨化率与孔径及孔长径比的关系

### 3.3 纺丝成形工艺的选择

在PP原辅料和纺丝设备已确定的基础上,纺丝温度、冷却风速、风温、纺丝速度就成了确定初生纤维性能的主要因素。

#### 3.3.1 纺丝温度的控制

纺丝温度的提高,导致熔体粘度下降、纺丝应力下降、熔体可纺性提高,但过高的纺丝温度,会使熔体粘度过小,反而导致可纺性能恶化,实践表明,纺丝温度应控制在265~285℃之间。

#### 3.3.2 冷却工艺的选择

由于PP纺丝熔体温度比其凝固点高出100℃以上,放热量大,风温过高或风速过慢,容易导致单丝熔并,而风温过低或风速过快,又会造成丝束冷却过快,产生大量热力学上不稳定的结晶结构,给后拉伸带来困难。控制冷却风,以观察单丝不熔并的情况,相对固定较高的风温,尽量减慢风速,降低丝流的凝固高度,从而减少纤维中的大分子取向度和结晶度,并提高纤维的可拉伸性。

图3为初生纤维的冷拉倍数和风速的关系

#### 3.3.3 纺丝速度的探索

纺丝速度是影响初生纤维取向结晶的主要因

素,而试验装置系低速大喷头。纺丝速度仅为40~120 m/min,比常规二部法纺丝低15倍左右,所以虽经大型高速环吹风的冷却,但其取向度不高,一般双折射都在 $3 \times 10^{-3}$ 左右,而且纺丝速度在40~100 m/min范围内,双折射几乎没什么变化。

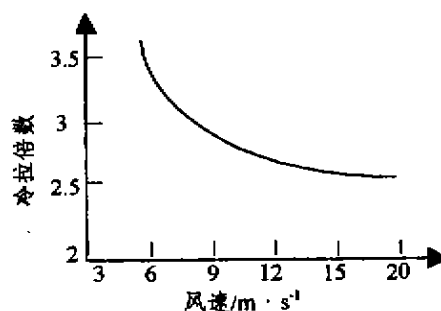


图3 冷拉倍数和风速的关系

注:1 风温固定在 $35 \pm 2^\circ\text{C}$ ;

2 试验装置采用低速大喷头专用环吹。

### 3.4 上油工艺的选择

#### 3.4.1 油剂的选择

超细旦丙纶短纤维由于比表面积大,回潮率

低,这就需要所选择的油剂具有更优良的润滑性能和抗静电性能,其集束功能则成为次要因素。同时又因纤维细软,纺纱梳理纤维时不易转移而出现较多棉结现象。因此,选择的油剂还要具有使纤维表面硬度增加的作用。根据这些原因,使用普通国产丙纶油剂进行结构比例调整,适当增加抗静电和润滑剂成分。同时司马油剂公司也提供了一种油剂,专纺丙纶超细旦纤维。这两种油剂的试验结果如表2。

表2 两种油剂的试验结果

油剂品种	比电阻 $\Omega \cdot \text{cm}$	纺丝拉 伸情况	纤维梳 棉情况	棉结 情况	针织 情况
国产改进油剂	$3.4 \times 10^7$	好	较好	尚可	较好
进口油剂	$3.0 \times 10^7$	好	好	较好	好

注:试验两种油剂时,实际上油率均约为0.6%。

从表2看出,两种油剂都能使用,进口油剂在纤维梳理、针织以及减少棉纺成网棉结方面占有优势,但国产油剂在成本方面占有优势。

### 3.4.2 纤维上油率的选择

在油剂选定后,还应确定纤维的上油率。上油率与纤维比电阻的关系见图4。

从图4可知,比电阻开始时随着纤维上油率上升而降低,当纤维上油率达到0.6%后,比电阻基本就在 $10^6 \sim 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 波动。

纤维上油率在0.5%~0.85%之间纺纱性能较好。而在上油率小于0.4%大于0.95%时纺纱性能较差,这是由于上油率太低时,棉网静电严重,集束性恶化,易产生梳棉缠绕、堵喇叭口、成形不良等现象。而上油率太高时,纤维将由边界润滑为流体润滑,在高温高湿时,易发生粘着及绕罗拉现象。

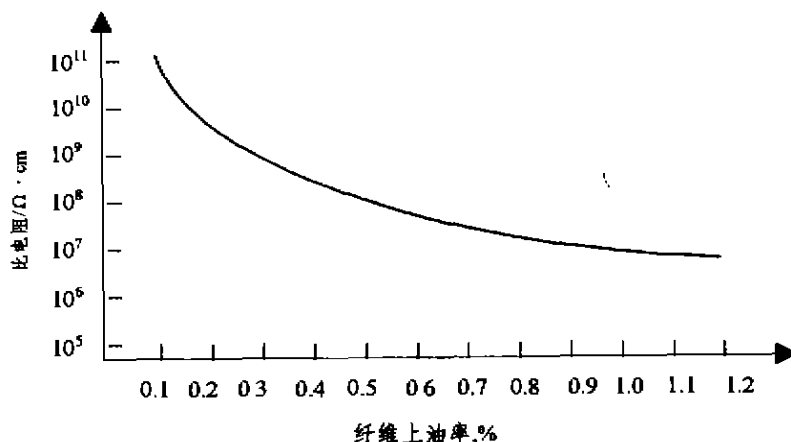


图4 上油率与纤维比电阻的关系

### 3.5 拉伸工艺的讨论

要使纤维具有较高的强度、刚性,较低的伸度、较好的尺寸稳定性,就必须要有较大的拉伸倍数,拉伸倍数的实现,依赖于合适的拉伸温度、合理的二节拉伸配比。纤维的某些物理指标也直接同这些温度有关。当拉伸倍数增加时,为降低拉伸能力,可适当增加拉伸槽温度,以不出现毛丝为限。

为进一步稳定细旦丙纶短纤维拉伸后丝束的热力学不平衡状态,需提高二拉伸辊表面温度。

由于丙纶原纤塑性形变较大,可在一节拉伸

中承受较大的拉伸比例。而且从细旦化短纤维的特征来说,由于其预拉伸比较大,生产中不宜在后拉伸中采用传统的分配比,以防止二节拉伸中产生更多的毛丝、断丝,从而形成更多的超倍长及疵点。

## 4 结论

a. 纺制0.8~1.0 dtex的丙纶超细旦短纤维需采用分子量较低、分子量分布较窄、流变性能良好且均匀的PP切片。

(下转第26页)

纺丝过程产生的大量泡沫,对成品纤维的质量没有影响,但对凝固浴液位的控制有一定影响。为消除纺丝过程中产生的泡沫,采用添加消泡剂的方法,效果比较明显。建议以后试纺时,在凝固浴槽或原液中添加消泡剂。

### 3.4 抗菌性能评估

试纺的抗菌纤维送国外公司测试,采用琼脂扩散试验方法,以革兰氏阳性菌(金黄色葡萄球菌)和革兰氏阴性菌(大肠杆菌、普通变形杆菌)为试验菌株,测定抗菌腈纶短纤的抗菌活性。用抑菌圈的大小来表征抗菌的性能。抑菌圈越大,抗菌性能越好。表3的测试结果表明,不含抗菌剂的腈纶纤维无任何抗菌活性;而含有抗菌剂的该纤维具有很好的抗菌活性,能有效抑制病原细菌的生长。

表3 抗菌性能两次测试对比表

纤维样品	金葡萄球菌 ATCC9144		大肠杆菌 NCTC8196	
	抑菌圈直径/mm	纤维片下细菌生长情况	抑菌圈直径/mm	纤维片下细菌生长情况
常规腈纶短纤	0/0	生长良好	0/0	生长良好
抗菌腈纶短纤	65/62	不生长	45/42	不生长

另外,试纺的纤维经国内权威机构测试,对革兰氏阳性和革兰氏阴性混合菌(供试菌种:大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、巨大芽胞杆菌、荧光假单胞杆菌、枯草杆菌)的24抗菌率一步法为82%,二步法为88%,表明该纤维具有良好的抗菌效果。同时,试纺的纤维再对其进行防霉测试,测得长霉等级均为1级,其防霉效果良好,即该纤维不但具有

(上接第8页)

(一般这些特制切片都要用普通PP加上专门添加剂进行二次造粒。)

b. 选用具有较好的人口效应和较大长径比的喷丝孔,以抑制熔体的膨化现象。

c. 对纤维的冷却成型,在熔体丝流不出现熔并和注头的情况下尽量使冷却缓和些,以得到低取向、低结晶的初生纤维。

d. 低速大喷头一步法工艺路线,其纺丝速度

抗细菌效果,同时还能抗真菌。

试织的样品经有关权威机构进行耐洗性试验,样品经过50次洗涤后,和洗涤前比较抗菌效果没有多大变化。

### 3.5 纤维后加工

本次试纺的抗菌腈纶已经南通方圆纺织有限公司制成了两种纱,一是100%腈纶纱,其目的在于全面了解使用100%抗菌腈纶在各道工序的加工性能以及成品的抗菌除臭效果;二是55%抗菌腈纶和45%棉的混合纱,其目的在于既要有抗菌保健功能,又要使袜品穿着舒适。两种纱分别经南通八一印染厂染色,由南通富尔达针织公司设计制造成抗菌袜。据用户反映该纤维的后加工性能良好,成纱质量达到国家一等品标准。

## 4 结论

a. 抗菌剂加入对正常纺丝原液质量指标基本没有影响,供纺原液条件和纺丝工艺无需做大的调整。

b. 抗菌剂在纺丝过程中损失量少,其有效成分已进入纤维内部,从而提高了纤维的耐洗性,使得纤维具有较好的抗菌长效性。

c. 添加抗菌剂对成品纤维的主要物理机械性能基本没有影响,此次工业化试生产产品对细菌和真菌具有良好的抗菌效果,产品经后加工用户使用,其加工性能良好。

d. 抗菌剂加入原液后对整个溶剂系统是否有影响有待进一步考察,此次试纺工艺条件可以作为南腈纶装置和金阳腈纶装置实现工业化生产的工艺条件。

很低,一般都使初生纤维的取向度处于较低水平,且在调节范围内变化不大。

e. 一般所采用的油剂以润滑性和抗静电性为主,并必须要增加纤维的表观硬度。纤维上油率必须合理适中。

f. 后拉伸倍率在运转正常的情况下适当提高。拉伸温度同时为减少拉伸张力,也须相应提高。拉伸倍率的分配要充分考虑聚丙烯塑性形变大的特点。