

(6) 聚丙烯纤维, 短纤维, 生产技术

# 丙纶短纤维生产技术浅析

22-18

吴建东 史宗火  
(股份公司实验厂)

12342.62

随着聚丙烯纤维在服用领域和医疗、卫生用品领域的应用和扩大,国外制备丙纶细旦短纤维的生产技术相应也有了新的突破。为提高我国的化纤水平,我厂对丙纶短纤维生产技术进行探索。

## 1 前言

丙纶是近年来合成纤维中发展速度最快的品种。由于丙纶重量轻,保暖性强,而且有独特的“芯吸效应”,被有识之士称为集天然和化学纤维特点为一体的优质纤维。用丙纶面料制作的内衣裤,一次性贴身卫生用品正在高速进入市场,深受用户们的青睐。但贴身用丙纶面料应有很好的柔软性,并充分体现其强烈的“芯吸效应”,这对纤维的质量要求就比较高,必须制成 2.2 dtex 以下的细旦纤维,而且各种行业对于纤维“强、伸”等指标都有严格的适用要求。由于纺制高质量的丙纶细旦短纤维难度极高,现国内几乎无企业能成规模生产高质量的丙纶细旦短纤维,世界上发达国家能纺出细旦(1.32 dtex)高质量短纤维的也为数极少。

纺制涤纶的挤压机螺杆属低长径比,无混炼段的渐变形螺杆。由于 PP 分子量高,分子量分布宽,结晶度大,比热大,熔融热大,比重轻,与钢的摩擦系数随温度的升高而逐渐降低。如果用以上设备纺制丙纶,物料不易压实,使压缩段的传热效果变差,易造成熔体包围未熔融的固体颗粒。另外,物料在输送过程中压力建立迟缓,易产生压力的波动,影响整个挤压机的操作稳定性。冷却成形装置虽采用了双环套冷却吹风,仍难以适应聚丙烯纺丝成形的特殊要求,致使初生纤维的取向度高,结晶度高,而且大多为单斜晶体,造成后拉伸困难。

## 2 对国产丙纶装置和引进装置的评价

80 年代中、后期,我国先后从意大利、德国等国引进了数条丙纶短纤维生产线,系纺丝、拉伸连续一步法工艺。它具有生产流程短,工程投资少,生产效率高,自动化程度高等特点。

国产丙纶装置原先是生产涤纶短纤维的 VD-403、VD-404 设备(省略干燥工序),纺制丙纶短纤维。该工艺和设备在生产时存在以下问题。

引进设备针对 PP 特性,采用原液着色,并在螺杆挤压机,熔体过滤,输送管道,组件结构等方面做了重大改造,以适应 PP 在纺制纤维中的要求,满足后加工需要。

用这类引进设备,能正常地生产出 3 dtex 以上丙纶短纤维,尤其适用粗旦纤维。但对纺制细旦 PP 短纤维仍嫌不足。难以生

产出 2.2 dtex 以下细旦短纤维,尤其是生产伸长小于 40%~50%的服用短纤维难度更高,其装置主要缺陷是:

1) 纺制细旦短纤维时为达到单位产量不降目的,板面喷丝孔设计过密,孔的排列不尽合理,造成冷却风内外差异大,丝束内外部分凝固点不一致,初生纤维的结晶度,取向度高低不匀易造成纺丝条件恶化。

2) 喷丝板孔径和长径比以及孔道形状未达到最佳设计,致使纺细旦纤维时,挤出熔体膨化度未得到有效抑制,限制了纤维的细化,并且喷丝孔与孔之间距离小挤出熔体膨化度高,易引起单纤维之间的熔并。

3) 有些引进装置虽采用了内环吹剧烈冷却成形,但其吹风机结构未能恰如其分地设计,对纤维纺程上降温、固化,再冷却不能形成合理的风速及风温分布。吹风管道由下至上,冷却风由下向上吹,使本来离喷丝板已很近的吹风嘴对喷丝板产生致冷效应。易引起整个喷丝板面的温度不匀。并由于此风道如此走向,使纤维并束时间提前,更易产生硬并丝现象。

4) 在后处理拉伸、热定型上设计也尚欠合理,这就导致在纤维制成率和纤维成品质量上的不足。

### 3 当今丙纶短纤维生产技术分析

#### 3.1 PP 的熔融挤压纺丝

由于 PP 分子量高、分子量分布宽,大分子间牵引过大,分子流动跃迁困难,PP 熔融热、比热大,熔体粘弹性高,形变弹性能大。为此,挤压机应采用大长径比双螺槽突变螺杆,并带有混炼剪切装置,以提高传热、压缩效率,提高切变速率,从而使熔体可纺性有了极大改善。

螺杆的大长径比,使熔体在螺杆内停留

时间增长,根据高分子传热“时、温等效”原理,可相应地减少加热温度,这样能避免 PP 大分子在 290℃ 以上急剧降解。PP 大分子降解与温度时间的关系见图 1。

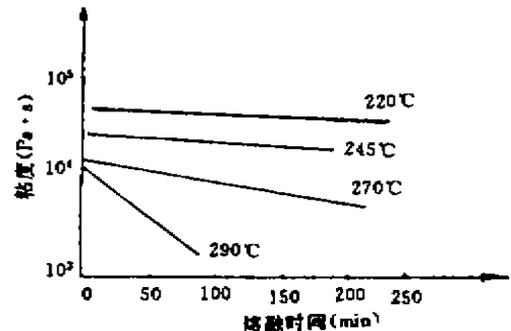


图 1 PP 大分子降解与温度时间的关系

纺丝头的结构采用了专有新技术。熔体自入口至每一个喷丝孔的流动距离基本相等。

这样各喷丝孔挤出的熔体质量差异减至最小。由于纺丝头内熔体管路的增长,使熔体压力降增加,切变速率增大,分子间缠结数减少,切变粘度迅速下降,熔体流变性、可纺性增加。

在实际纺丝中,既要保证 PP 熔体有一定的流变性能,又要使 PP 无较大的降解。因此根据其以上原理和其设备特点,纺丝温度根据原料和纺丝纤度不同,一般控制在 275℃~290℃ 之间为佳。

一般纺丝温度有两种选择,见图 2。

a 曲线特点是:逐次升温,使熔融体高温状态时间缩短,相应对 PP 高聚物分子量降解减少。对纤维提高强度有益。熔体在出喷丝孔前温度达到最高,对熔体出口膨化抑制,对纺制细旦纤维有利,但此法纤维不匀率增加。

b 曲线特点为:增加 PP 熔体的流变能力,在螺杆熔融区把 PP 料熔透,在一定高的温度下使其有一定的降解,以后各区使其得

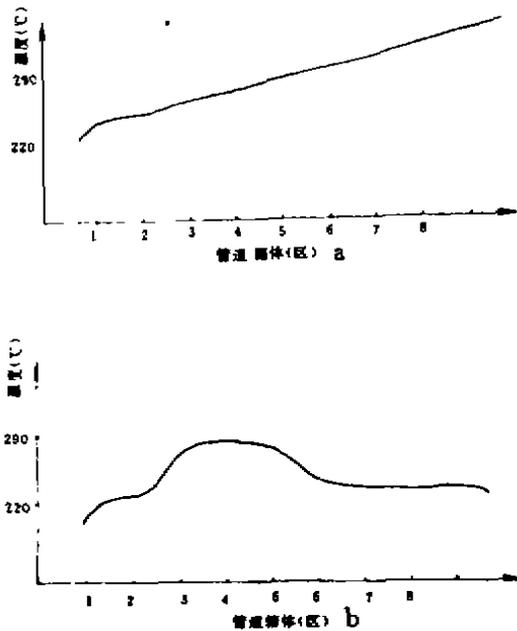


图2 纺丝温度的两种选择

到一定的缓冲,均匀、恒压。在保证流变能力的基础上,尽量使熔体降低温度,使熔体出喷丝孔后迅速成形,改善成纤能力。

这两个温度分布特点,有待于在今后的实践中进行试验,探索总结,综合运用。

再者 PP 熔体是一种典型的高弹性流体,其弹性表现显著。熔体挤出孔道后膨化严重,这也就是 PP 料难以细化的主要原因。为此要克服过大的膨化现象,除采用较高的纺丝温度外,还采用了喷孔长径比大于 7 mm,孔径大于 0.35 mm,喷板外径达 700 mm 的特大环形喷丝板,喷丝孔数高于 6 万个,这样可使单个喷丝孔的 PP 熔体流量大大减少。

据有关资料介绍,PP 熔体膨化度与喷丝孔长径比,孔径熔体单孔挤出量有如下关系,见图 3~5。

按图分析,喷丝孔直径的增加,减少了熔体的入口效应;喷丝孔长径比的增加,使 PP 熔体在喷丝孔道中“松弛时间”增加;熔体在喷丝孔道中流动量减少,相应切变速率降低,

PP 熔体的“弹性记忆”相应降低。从而挤出熔体残留的弹性能大大减少。膨化现象减少,单丝能向细化发展。并且使用此先进技术纺丝,其纺丝速度可减慢至 100 m/min 左右,远低

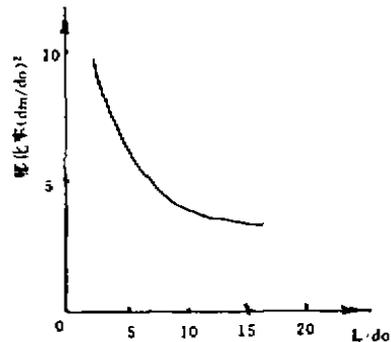


图3 PP 熔体膨化度与喷丝孔长径比关系

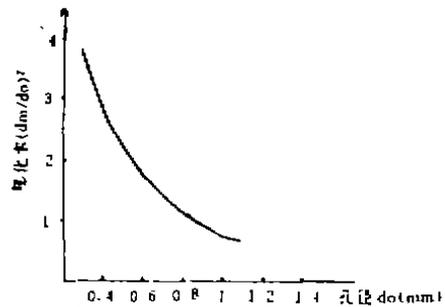


图4 PP 熔体膨化度与喷丝孔孔径关系

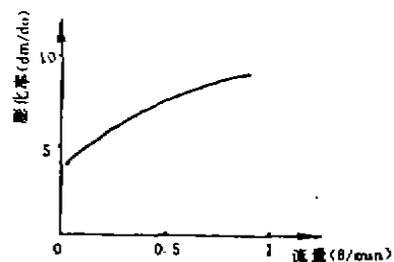


图5 PP 熔体膨化度与熔体单孔挤出量关系

于传统的纺丝速度,其切变速率远低于会引起“熔体破裂”的临界切变速率。

### 3.2 冷却成形技术

丙纶纺丝出口温度往往达 270 ℃ 以上,而其凝固温度却在 168 ℃ 左右,从中约有 100 ℃ 的温差,再加上 PP 比热大,熔融热大,并且易结晶,这样,PP 熔体丝流成为固体单丝,在瞬间需要放出很多的热量。这是在 PP 喷丝之后的又一关键性的技术问题。

先进的技术采用了适用多孔低速纺的内环吹,径向骤冷成形工艺,相应配套的环形喷丝板,其孔数和排列更科学,孔与孔之间距离更合理,风在单丝间穿透性变强。风从环形丝束自内向外吹,风速更高,冷却急烈。纺丝时风速可达 20 m/s 之高。由于风从丝束中心由内向外吹送,热空气在四周扩散,并被吸风机迅速从周围吸走。不受排风方式限制,避免了向内吹风时,排风相互干扰影响板面温度与丝条质量均匀的缺点。

采用骤冷工艺,纤维成形快,质量均匀,外观毛丝、单丝断裂大大减少,其调节参数——风量、风速、各层风嘴的宽度及相对应的风速分布、环吹风离板面距离以及和熔体温度,纺丝速度可组成多种调节方案,以满足不同纤度和品种的需要。

根据化纤理论分析,冷却风离喷丝板面越近,风速越大,也就是说冷却急烈,初生纤维取向度偏高,随之结晶度也偏高。纺丝速度的提高和降低,引起 PP 熔体丝流轴向速度梯度的提高和降低,相应使初生纤维的取向度和结晶度的提高和降低。

纺丝速度是影响初生纤维取向结晶的主要因素。况且,由于采用骤冷冷却工艺,所引起的单纤维结晶,其形态为准结晶结构,其晶态对大分子的束缚引力较小。所以综合各种因素,使用这种先进的工艺技术,可降低初生纤维取向度、结晶度。最重要的是,由于成形良好,有利于单丝细化。

经纺丝实践得出:此工艺环吹风速应在

15~25 m/s 左右,一般纺丝的纤维愈粗,其环吹风量、风速相应较大,环吹风装置离喷丝板距离较远,各风嘴宽度大小要求不严。但纺制细旦纤维,除了整体风量、风速及装置高度与粗旦有别外,对各层风嘴宽度有一定要求,也就是对各层风速有一个合理的分布。上层对熔体降温,风速相应缓和;中层固化,风速较快;下层对熔体降温,要求可粗略一些。

改善纤维后拉伸的性能,相对整体冷却要选择得缓和一些,由于此工艺的风速,风量比普通的环吹和侧吹高 10 倍以上,相应风温的调节就成为次要因素。

### 3.3 拉伸工艺技术

先进的丙纶短丝生产线,采用的拉伸机用热油式拉伸辊,加热箱配有热风循环和过热蒸汽,保证了纤维大分子链结晶区获得运动的足够能量。其调节参数有:第一拉伸机速度(纺丝速度)、拉伸倍率、拉伸配比、第一拉伸机辊面温度、拉伸箱温度、第二拉伸机辊面温度。这些参数可组成多种工艺方案,以满足纤维不同的强度、伸度、干热收缩等性能的要求。

拉伸倍率和拉伸加热箱温度的提高,必然会使纤维的强度提高,伸度下降,干热收缩率的降低。而拉伸辊表面温度的调节,则会使纤维质量指标更加完美。拉伸工艺参数见表 1。

这是由于纤维经过拉伸辊时得到了热量,使取向准晶转化为单斜晶体,使之取向更加稳固,同时为无定型的大分子运动提供了预先能量,在拉伸箱内,纤维内大分子再受到轴向外力拉伸和高温塑化,更易取向,并诱导结晶。

第二拉伸占总拉伸倍率的比例很小,也就是说第三拉伸机之速度比第二拉伸机速度相差不多,而第二拉伸机辊面温度控制较高,实际上第二拉伸机担负了两个作用,即拉伸和紧张定型。所以第一、第二拉伸机辊面的加温加大了纤维内大分子的取向,并诱导了结

晶,反过来结晶又固定了取向,从而纤维强度进一步升高,伸度进一步降低,干热收缩下降。

另外,还可利用纺丝成形工艺、拉伸速度

以及拉伸工序中所有参数的综合设计,纺制成低强高伸纤维。纤维断裂伸长指标可由40%至350%范围内任意调节。主要工艺和质量指标见表2。

表1 拉伸工艺参数

序号	拉伸倍率	拉伸箱温度 (°C)	第一拉伸温度 (°C)	第二拉伸温度 (°C)	纤度 (dtex)	强度 (cN/dtex)	伸度 (%)	干热收缩率 (%)
1	3.8	135	常温	常温	2.2	3.8	70	3.5
2	3.8	135	90	95	2.2	4.5	50	1.0
3	3.8	139	100	105	2.2	4.8	45	0.7

表2 主要工艺和质量指标

项目	高强低伸 (dtex, 38mm)			低强高伸
	2.2	1.67	1.32	2.2dtex, 40mm
PP切片 MFI(L/10min)	25	25	25	25
熔体温度(°C)	274	276	280	280
纺前压力(MPa)	10	10	10	10
环吹风速(m/s)	20	18	16	22
纺丝速度(m/min)	51	54	60	100
拉伸倍率	3.8	3.3	3.0	1.65
拉伸温度(°C)	115	120	130	100
定型时间(min)	6	6	5	5
平均纤度(dtex)	2.23	1.66	1.38	2.22
断裂强度(cN/dtex)	4.0	3.5	3.4	1.9
强不匀(%)	13	12	14	10
断裂伸长(%)	50	51	48	300
伸不匀(%)	24	23	25	20
生产运转	正常稳定			

丙纶纺丝生产线工艺流程如下:

PP切片投入→真空吸料→螺杆熔融、压缩、匀化→熔体过滤(三网并联)→管道混合、输送→计量、加压→喷丝→冷却固化成形→双面上油给湿→(内环吹骤冷)

第一拉伸机(辊面加热)→拉伸箱→第二拉伸机(辊面加热)→第三拉伸机→蒸汽预热→补给上油→卷曲→烘干、定型、冷却→切断→纤维风送→打包→成品堆放。

## 4 结束语

1) 聚丙烯牌号多,性能差异大,如不同牌号有不同的分子量和分子量分布,因此纺不同的纤维应选不同的聚丙烯,用非纤维级切片纺纤维是不合理的。

2) 纺丙纶纤维特别是细旦纤维,应根据不同纤维指标采用不同的工艺参数,采用相应的专用设备,否则不可能产生品质优良的产品。

3) 认为丙纶纺丝简单,工艺简单、设备简单,这是认识误区。

### 参考文献

- 1 落球法测定粘度,北京化学所,1974
- 2 V. Anthony. M. S. Catanti, Polypropylene fibers and Films, 1965
- 3 化学纤维译丛, 1964(1)

欢迎订阅

欢迎投稿