

# 自发伸长涤纶复合丝的制备及其影响因素

蔡东照<sup>1</sup>, 秦兆琼<sup>2</sup>, 徐建峰<sup>1</sup>, 黄机质<sup>3</sup>, 潘涛<sup>1</sup>

(1. 东丽纤维研究所(中国)有限公司, 江苏南通 226009; 2. 东丽酒伊织染(南通)有限公司, 江苏南通 226009;  
3. 江南大学生态纺织教育部重点实验室, 江苏无锡 214122)

**摘要:** 以高收缩纱线 33T-12-FDY 为芯纱、超细预取向丝 35T-96-POY 为鞘纱, 设计制备出自发伸长涤纶复合丝, 并对鞘纱松弛热处理温度、超喂率及牵伸倍率进行探讨。结果表明, 即使热处理的温度不同, 沸水收缩率也会随着超喂率的提高而呈逐渐减小的趋势, 沸收后的自发伸长率均会随着超喂率的提高而呈逐渐增大的趋势。而在相同的超喂率下, 温度越高沸水收缩率越小, 自发伸长率越低。根据总体伸长率情况, 最终确定选用温度为 185 °C、超喂率 40%、POY 不延伸的加工工艺。

**关键词:** 自发伸长复合丝; 超喂率; 牵伸倍率; 沸水收缩率; 自发伸长率

中图分类号: TS102.522 文献标志码: A 文章编号: 1001-7003(2018)06-0014-05 引用页码: 061103

## Preparation of self-extensible polyester composite filament and its influencing factors

CAI Dongzhao<sup>1</sup>, QIN Zhaoqiong<sup>2</sup>, XU Jianfeng<sup>1</sup>, HUANG Jizhi<sup>3</sup>, PAN Tao<sup>1</sup>

(1. Toray Fibers & Textiles Research Laboratories (China) Co., Ltd., Nantong 226009, China; 2. Toray Sakai Weaving & Dyeing (Nantong) Co., Ltd., Nantong 226009, China; 3. Key Laboratory of Eco-Textiles, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** The self-extensible polyester composite filament was prepared by using the high-shrinkage yarn (33T-12-FDY) as the core yarn and the superfine POY (35T-96-POY) as the sheath yarn. The shrinkage temperature, over-feeding ratio and drafting ratio were discussed. And the results showed that, 1. boiling water shrinkage reduced gradually with the increase of over-feeding ratio even if heat treatment temperature was different; 2. the self-extensible ratio of the composite filament after boiling processing increased gradually with the increase of over-feeding ratio; 3. under the same over-feeding ratio, the higher temperature, the less shrinkage ratio and the lower self-extensible ratio. The optimal parameters (185 °C, 40% over-feeding rate and no stretching of POY) were established by analyzing the experimental results.

**Key words:** self-extensible composite filament; over feeding rate; drafting ratio; boiling water shrinkage; self-extensible rate

自发伸长涤纶纤维(self-elongation filament)是一种功能性高分子纤维材料。目前还没有正式的定义, 一般认为, 这种纤维具有一定的取向、结晶度, 在纤维染色、定型过程中由于高温作用, 导致进一步结晶和结晶完整化, 晶体的增大从而使纤维自行伸长<sup>[1]</sup>。自发伸长纤维主要用以和其他纤维复合, 普通异收缩混纤纱是通过复合纱线收缩差异的不同,

使低收缩的纤维凸出在织物表面, 形成微小纱圈, 使织物蓬松和柔软。自发伸长纤维的研究开发是高异收缩复合丝的关键技术。普通的异收缩复合丝受织物交织的影响, 纤维受到阻碍不能充分收缩, 则产生的长度差异效果就差<sup>[2]</sup>。而自发伸长长丝在沸水和高温干热下处理时能自动伸长, 受交织的影响小。作为复合纱的外层纤维, 纱线具有多级微波状结构, 可制得光泽柔和、蓬松柔软且悬垂性优良的“新合纤”织物<sup>[3]</sup>。

聚酯自发伸长纤维的开发, 在 20 世纪 50~60 年代杜邦公司的专利文献中有所记载, 当时由于它强

收稿日期: 2017-09-11; 修回日期: 2018-04-11

作者简介: 蔡东照(1971—), 男, 硕士, 主要从事新型纺织品开发的研究。

度差、稳定性差、纺织加工性能不好,以致各国放慢了在这一领域的研究。日本从 20 世纪 80 年代以来,进行“新合纤”的研究,采用不同方法开发出一系列自发伸长纤维,并且在应用和进一步加工及改善某些性能方面取得了突出的成绩。中国从 21 世纪初也成功地开发了聚酯自发伸长纤维,但对超细聚酯自发伸长纤维面料的开发还几乎是空白<sup>[4]</sup>。本文采用超细纤维进行实验,提高织物柔软的手感和蓬松性。利用超细纤维增加丝的层状结构,增大比表面积,使纤维内部反射光在表面分布更细腻,使之具有真丝般的高雅光泽,并具有良好的吸湿导湿性。但超细纤维本身制造难度大,超细纤维自发伸长纱对原料的结晶取向要求更高,对纱线制备的工艺更难寻找。通常的共聚纺丝、共混纺丝的方法无法制得工业化用丝。本文利用空气混纤机通过松弛热处理对制备超细自发伸长丝进行了尝试,制备出具有一定强度、自发伸长良好、染色稳定性较好的纱线,实现了工业化生产。

## 1 实验

为获得光泽柔和、蓬松柔软且悬垂性优良的织物,一般芯纱采用具有高沸水收缩率的纱线,鞘纱采

用低沸水收缩率纱线<sup>[5]</sup>。在染色过程中,由于沸水收缩的差异,芯纱和鞘纱形成丝长差,获得蓬松的手感;高温定型时芯纱进一步收缩,而自发伸长纱在高温处理时得到伸长,进一步增大丝长差。而且,采用超细纤维手感会更加柔软、细腻、蓬松。

### 1.1 材料

本实验采用的原丝材料(恒力合成纤维有限公司)包括 35T-96-POY 超细预牵伸丝,断裂强度 1.85 cN/detx,断裂伸长 120%; 33T-12-FDY 高收缩全牵伸丝,断裂强度 3.79 cN/detx,断裂伸长 23%,沸水收缩率 21.7%。

### 1.2 仪器

AT-501 型混纤机(日本爱机工业株式会社), YG086 型缕纱测长仪(南通宏大仪器有限公司), Q200 型 DSC 差示扫描量热仪(美国 TA 仪器有限公司), EL202 型电子天平(梅特勒-托利多仪器有限公司), DZF-6050 型真空烘箱(上海三发科学仪器有限公司), W201 型恒温水浴锅(上海申生科技有限公司)。

自发伸长复合丝的加工方法如图 1 所示。其中:超喂指牵伸罗拉速度超过第四罗拉速度,让纱线在热箱内呈松弛状态;超喂率 = [(牵伸罗拉速度 - 第 4 罗拉的速度) / 第 4 罗拉的速度] × 100%。

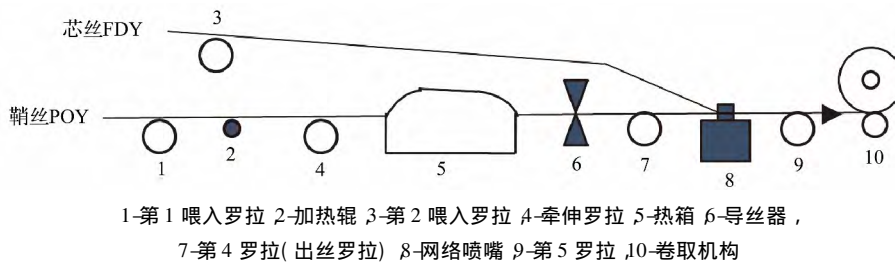


图 1 自发伸长复合丝制造装置示意

Fig. 1 Manufacturing device of self-extensible composite filament

首先通过第 1 罗拉喂入 35T-96-POY,经热辊后进入牵伸罗拉,从牵伸罗拉到出丝罗拉之间在非接触加热箱上进行高温松弛热处理,得自发伸长丝。然后将自发伸长丝与 33T-12-FDY 高收缩全牵伸丝经导丝器一起进入喷嘴进行网络,得到自发伸长复合丝。

### 1.3 设计

将 35T-96-POY 在第 1 喂入罗拉和牵伸罗拉之间牵伸,研究牵伸倍率与自发伸长率的关系。并在 140、155、170、185、200、215 °C 下进行弛缓热处理,同时分别加入 20%、25%、30%、35%、40% 的超喂,探究不同温度、不同超喂率对自发伸长率的影响,获得制备自发伸长涤纶复合丝的最佳工艺。

### 1.4 自发伸长率的计算

纱线的沸水伸长率按 GB/T 6505—2008《化学纤维长丝热收缩率试验方法》测试,自发伸长率的测试按照日本东丽株式会社的标准(TRS)进行,每组 3 个试样进行测试取平均值。如 3 个试样数据有明显误差时需重新测定。自发伸长率测试时,纱线样品施加 20 mg/dtex 的荷重,于水中加热处理,加热至 100 °C 并保持 30 min,从水中取出,在 20 °C、湿度 65% 的环境下自然干燥 24 h,测量样品长度  $L_1$ 。然后向样品施加 0.5 mg/dtex 的荷重,在 180 °C 烘箱中处理 5 min 后冷却取出,测量出样品长度  $L_2$ 。自发伸长率按下式计算:

$$\text{自发伸长率}/\% = \frac{(L_2 - L_1)}{L_1} \times 100 \quad (1)$$

## 2 结果与分析

### 2.1 在不同热箱温度下、牵伸倍率对沸水收缩率的影响

通常织物加工要经过精练、染色、定型的工序,因此首先对纱线的沸水收缩率影响因素进行探讨。由于采用的35T-96-POY为超细纤维,牵伸及加工过程中易产生毛羽,为保证生产品质,不宜采用过高的加工速度进行实验。优选的加工速度为400 m/min,同时考虑到松弛热处理超喂率太大可能导致松弛不匀,容易造成纱线接触热箱内壁,导致纱线的受热不匀。因此设定超喂率为20%,探究在不同热箱温度下,牵伸倍率对自发伸长涤纶纱线沸水收缩率的影响。为了更直观地看清趋势,本文作出以上各数据点的拟合曲线,如图2所示。

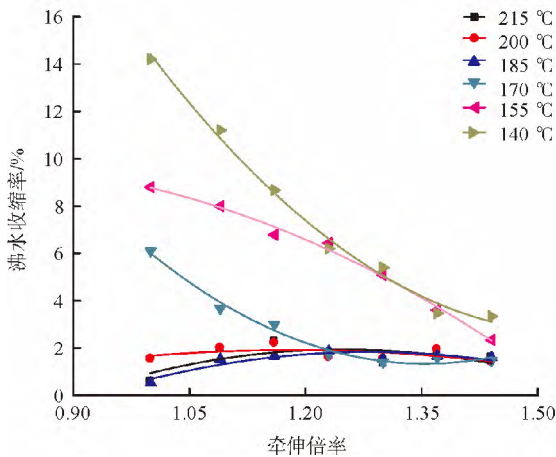


图2 不同热箱温度下牵伸倍率对复合丝沸水收缩率的影响  
Fig. 2 Effect of drafting ratio on boiling water shrinkage under different hot box temperature

从图2可以看出,热箱温度低于185℃时,随着牵伸倍率的提高,纱线的沸水收缩率呈下降的趋势。温度高于185℃时,纱线虽经过牵伸,但沸水收缩率基本不受牵伸倍率大小的影响。

### 2.2 在不同热箱温度下、牵伸倍率对沸水收缩后自发伸长率的影响

比较不同温度下,牵伸倍率对沸水收缩后自发伸长率的影响,得到如图3所示曲线。

从图3可以看出,不同热箱温度下,随着牵伸倍率提高,沸水收缩后的自发伸长率基本呈现下降趋势。

势,在不牵伸情况下,自发伸长率均达到最高值。

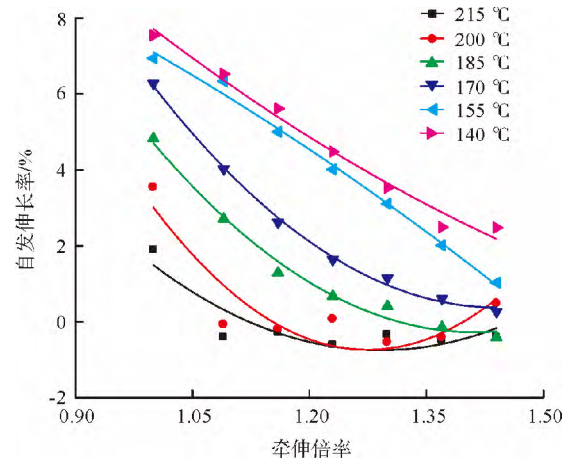


图3 在不同热箱温度下牵伸倍率对沸水收缩后自发伸长率的影响

Fig. 3 Effect of drafting ratio on self-extension property under different hot box temperature

### 2.3 自发伸长率与热箱温度、牵伸倍率关系的理论解释

通过以上实验看出,一定超喂下,随着热箱温度提高,沸水收缩率降低;随着牵伸倍率提高,自发伸长率降低。一般认为,热处理过程PET纤维内部会发生两种变化:1)取向松弛或分子卷缩;2)结晶。从宏观角度分析,取向松弛或分子卷缩是收缩过程,而结晶应该是一个伸长的过程。纤维的自发伸长与其超分子结构密切相关<sup>[6]</sup>。根据自发伸长纤维的结晶度、晶粒尺寸、取向度等超分子结构及其在不同条件下的伸长行为,提出如图4所示结构模型。

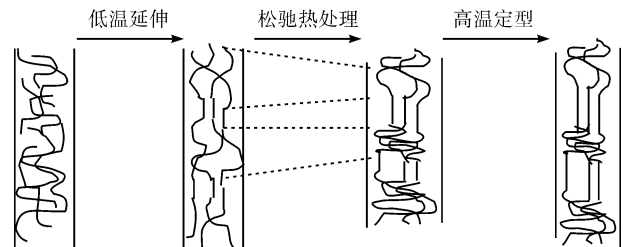


图4 自发伸长丝结构模型

Fig. 4 Structure model of self-extensible filament

35T-96-POY已有一定取向,经过低温热延伸,产生一些微小的冷结晶。同时取向度也越来越大,这时将丝条以松弛状态喂入热箱,通过结晶区的形成及解取向作用的发生使纱线收缩,形成自发伸长丝,再经染色和高温定型产生伸长。

研究表明,预牵伸丝已有一定取向,加热处理该纤维,会使其产生回缩。因此,本文首先对纱线进行定长松弛热处理,同时控制牵伸罗拉和第4罗拉的

速度,保持牵伸罗拉的速度是第 4 罗拉速度的 1.2 倍。POY 的热收缩率高达 50% 以上,因此需要在第 4 罗拉处设置一定的张力,使纤维保持稳定,不发生回缩,不接触热箱,同时将原有的一部分取向保留下来;此外,这也有助于高温热处理过程中诱导结晶的产生。在定长松弛热处理时,纤维内部产生的晶点数逐渐增大<sup>[5]</sup>。这些晶点像一个个网络点,阻止纤维大分子的回缩,使纤维在后面的热定型处理中不再发生收缩,而是在自由热处理结晶过程中得到伸长。

此外,定长松弛热处理过程中,纤维产生具有一定取向排列的小晶核<sup>[7]</sup>。在结晶过程中,无定形区分子沿纤维轴方向的小晶核生长变大,成为大晶体,使晶区取向提高。而无定形区的分子在进入晶格的过程中得到牵动,分子更好地沿纤维轴取向<sup>[8]</sup>。这一结晶过程最终导致纤维的纵向长度增加。

根据以上实验结果,牵伸倍率越大,纤维的伸长越小。这一事实说明,牵伸太大时,纤维已有较高取向度和一定结晶度,限制了小晶核的产生及晶粒的生长,反而有可能随着牵伸倍率的增大取向度提高。所以在后面的干热处理时取向产生一定的回缩,在本实验条件下没有伸长现象。

#### 2.4 自发伸长涤纶最优条件选择

结合以上分析,对于具有少量结晶的超细预牵伸丝 35T-96-POY 而言,随着牵伸倍率的提高,自发伸长率降低。因此进一步采用不牵伸方式,直接对纱线进行松弛热处理,探讨超喂率与沸水收缩率、自发伸长率及总体伸长率的关系,得到如图 5 所示曲线。

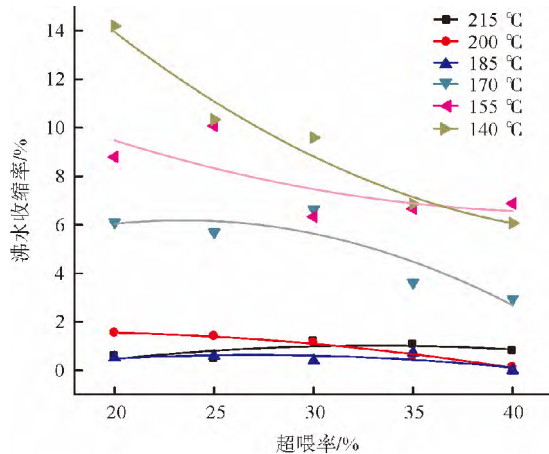


图 5 在不同热箱温度下超喂率对沸水收缩率的影响  
Fig.5 Effect of over-feeding ratio on boiling water shrinkage under different hot box temperature

随着超喂率的增加,沸水收缩率也呈下降的趋势,同样在 185 °C 以上沸水收缩率基本也未有明显变化。对不同超喂率下的自发伸长率作了再确认,其结果如图 6 所示。

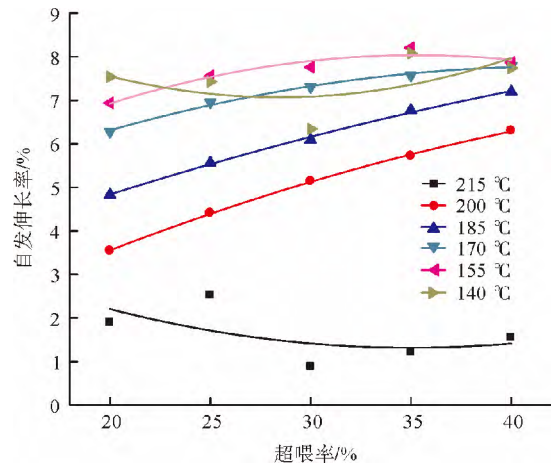


图 6 在不同热箱温度下超喂率对沸水收缩后自发伸长率的影响  
Fig.6 Effect of over-feeding ratio on self-extension property after boiling under different hot box temperature

对不同热箱温度下,超喂率对复合丝总体伸长率作了再确认,其结果如图 7 所示。

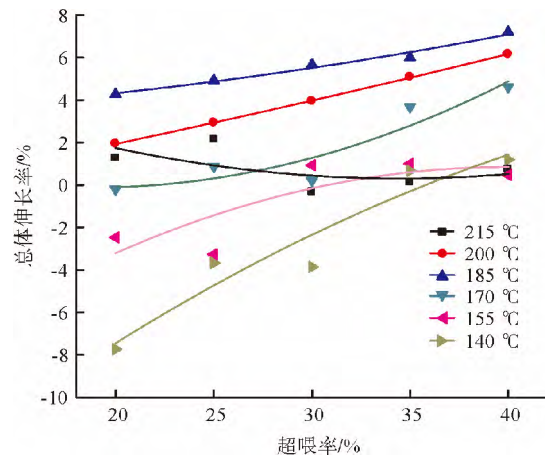


图 7 在不同热箱温度下超喂率对总体伸长率的影响  
Fig.7 Effect of over-feeding ratio on overall elongation under different hot box temperature

在任一热箱温度条件下,随着超喂率的提高,沸水收缩后的自发伸长率呈逐渐增大的趋势;在任一超喂率条件下,随着热箱温度的提高,均呈现沸水收缩后自发伸长率的降低。从热箱温度、超喂率对总体伸长率的影响来看,超喂率越大,总体自发伸长率增加。185 °C 松弛热处理下超喂 40%,总体伸长率达到最大。另外,提高超喂率到 45% 时发现纱线运行后一段时间全部断纱,可能是由于纱线太松、张力不均匀出现断纱;超喂率 45% 的纱线染色时明显染色不

匀,推测纱线松弛后与热箱接触,造成受热不匀。综合以上推论,选用温度为185℃、超喂率40%、POY不延伸的加工工艺进行了加工。纱线生产性和染色性都没有问题,织物柔软细腻、悬垂性良好。

### 3 结论

1) 自发伸长涤纶复合丝所使用的超细预牵伸丝35T-96-POY本身具有一定的取向和结晶,进行牵伸不能得到很好的总体伸长效果。因此,本文适合采用不牵伸直接松弛热处理工艺。

2) 热箱温度、超喂率对自发伸长率的影响规律表明:即使热处理的温度不同,沸水收缩后的自发伸长率依然会随着超喂率的提高而呈逐渐增大的趋势,并且沸水收缩率呈现完全相反的趋势;在相同的超喂率下,温度越高沸水收缩率越小,自发伸长率越低。

3) 为了获得柔软细腻的手感,根据总体伸长率情况,最终确定选用温度为185℃、超喂率40%、POY不延伸的加工工艺。

#### 参考文献:

[1] 俞波. PET纤维自伸长机理的研究进展及探讨[J]. 合成纤维, 2001, 30(5): 14-18.  
YU Bo. Research process in the self-elongation mechanism of PET filament [J]. Synthetic Fiber in China, 2001, 30(5): 14-18.

[2] 俞波. PET自伸长纤维的制备及应用[J]. 合成纤维工业, 2001, 24(5): 42-46.  
YU Bo. Preparation and application of PET self-elongation

fiber [J]. China Synthetic Fibre Industry, 2001, 24(5): 42-46.

[3] 曹郁. 自伸长纤维定型工艺条件的研究[J]. 合成技术及应用, 2000, 15(4): 41-42.  
CAO Yu. Study on technological conditions of self-elongation fiber setting [J]. Synthetic Technology & Application, 2000, 15(4): 41-42.

[4] 曹娜. 聚酯自伸长纤维的研究发展[J]. 合成技术及应用, 2001, 16(1): 26-28.  
CAO Na. Review on development of PET self-elongation filament [J]. Synthetic Technology & Application, 2001, 16(1): 26-28.

[5] 乔光华, 胡学超, 鲍乙巳, 等. 取向涤纶结晶时的自动伸长[J]. 合成纤维工业, 1991, 14(1): 21-28.  
QIAO Guanghua, HU Xuechao, BAO Yisi, et al. Spontaneous extension of oriented PET fiber during crystallization [J]. Synthetic Fibre Industry, 1991, 14(1): 21-28.

[6] 刘勇, 邵宇, 罗吉江. PET卷绕丝热收缩-伸长的研究 II: PET热收缩-伸长的物理变化[J]. 合成纤维工业, 1991, 14(3): 15-19.  
LIU Yong, SHAO Yu, LUO Jijiang. Study of the thermal shrinkage-extension of PET-IF(II): physic change of thermal shrinkage-extension of PET-IF [J]. Synthetic Fibre Industry 1991, 14(3): 15-19.

[7] GUPIE K M. Microstructure rearrangement during the heat-treatment of melt-drawn(ethylene terephthalate) fibers [J]. Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry, 1983, 21(10): 1927-1953.

[8] 周卫东. 聚酯PET自伸长纤维的研究[J]. 针织工业, 2002(3): 35-37.  
ZHOU Weidong. Research of polyester self-elongation fiber [J]. Knitting Industries, 2002(3): 35-37.