

文章编号: 0253-9721(2008)07-0001-05

张力对 PET/PTT 长丝结构和性能的影响

肖红¹, 施楣梧¹, 刘晶²

(1. 总后军需装备研究所, 北京 100082; 2. 东华大学, 上海 201620)

摘要 讨论外加张力对 PET/PTT 双组分长丝结构、卷曲状态和力学性能的影响。随着张力的增加, PET/PTT 双组分长丝的声速取向因子增加、初始模量增加; 卷曲伸长率和收缩率呈一阶指数的形式下降。完全松弛条件下的湿热处理可使 PET/PTT 双组分长丝得到显著的卷曲, 但拉伸初始模量大大降低, 适当的小张力有利于兼顾长丝模量和卷曲弹性。

关键词 PET/PTT 双组分长丝; 张力; 卷曲性能; 力学性能; 声速取向因子

中图分类号: TS 102.52.6 文献标识码: A

Impact of tension on the structure and properties of PET/PTT filaments

XIAO Hong¹, SHI Meiwu¹, LIU Jing²

(1. *The Quartermaster Research Institute of the General Logistics Department of the PLA, Beijing 100082, China;*

2. Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract The paper discusses the properties and structure of the PET/PTT filaments under various tension conditions. As the tension increases, the sonic orientation factor of PET/PTT fiber increases and the Yang's modulus also increases; the crimp shrinkage rate and the curve elongation rate of PET/PTT fiber decrease exponentially. Moisture thermal treatment of PET/PTT filament under fully relaxed state can impart it the most prominent crimp, but the Yang's modulus of the fiber will decrease significantly; appropriate small tension is beneficial for both the crimp and the Yang's modulus.

Key words PET/PTT bicomponent fiber; tension; crimp properties; mechanical properties; sonic orientation factor

因热收缩性能差异产生卷曲的 PET/PTT 双组分长丝, 只有在合适的温度条件下, 辅以适当的张力、水和时间的作用, 才能释放其潜在的卷曲势能, 获得理想的卷曲形貌、回弹性和其他力学性能^[1-2]。在卷曲释放的过程中, 不仅纤维的取向、结晶结构会发生变化, 而且在不同温度、张力、水等处理条件下, 纤维的卷曲形貌和力学性能也会显著不同^[3-4]。因此, 研究不同后处理条件下双组分长丝的结构和性能, 对于阐述卷曲机制、研发性能优良的新型弹性纤维及弹性纺织品是非常重要的。本文主要研究不同张力作用下, PET/PTT 复合长丝的结构变化、卷曲性能及力学性能, 用以指导使用过程中对其张力的控

制和选择, 使该纤维制成的织物具有良好弹性。

1 实验样品

样品包括在同一纺丝条件下得到的 2 种不同组分比例的 PET/PTT 双组分长丝和单成分的 PET、PTT 长丝, 试样的性能参数见表 1。纺丝速度均为 950 m/min; 单组分 PTT 纤维的牵伸倍数较低, 但也达到了与其特性黏度相对应的极限牵伸倍数。在与单组分长丝的结构性能对比分析中, 以 14# 双组分长丝样品为对对照。9# 与 14# 的差异只是 PET 与 PTT 的含量不同。

表 1 所用试样的性能参数

Tab.1 Property parameters of all samples

编号	组分比例	沸水缩率/%	牵伸倍数
9#	PET55/PTT45	9.8	3.0
14#	PET65/PTT35	9.3	3.0
23#	100%PTT	11.2	2.5
26#	100%PET	5.6	3.0

注:试样线密度均为 14.4 tex/64 f。

2 实验方法

试样预处理采用湿热处理和干热处理 2 种方式。为防止丝筒表层长丝的局部破坏影响实验结果,处理前将各丝筒的外层丝剥掉 200 m 左右。

湿热处理: 若为松弛处理,则将试样用纱布包裹,放在不同温度的恒温水浴锅中,使试样完全浸没在水中,分别处理不同时间。若为定张力下的沸水处理,则用高度为 50cm 的不锈钢锅盛水,用电磁炉将水煮沸,然后将试样吊挂不同质量的砝码,完全浸没在水中处理不同时间。

干热处理: 若为松弛处理,则将试样用纱布包裹,放在不同温度的烘箱中,分别处理不同时间。若为定张力下的干热处理,则将试样吊挂不同质量的砝码,然后在烘箱中处理不同时间。

卷曲形态: 通过光学显微镜获得。

收缩率: 在竖置量尺(最小分度 1 mm)上量取 1 m 长丝,记为原始长度,预加张力为 0.13 cN/dtex,将试样在不同条件下处理,待试样自然干燥冷却,在同样张力下量取其长度,则收缩率 B 为

$$B = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \times 100\%$$

式中: L_0 为处理前试样的平均长度, cm; L_1 为处理后试样的平均长度, cm。每个试样测 3 次。

力学性能评价及测试: 在 Instron 5566 上进行,夹距 100 mm, 拉伸速度 100 mm/min, 预加张力 0.066 cN/dtex, 每个试样测试 5 次。

双组分长丝的典型应力应变曲线如图 1 所示。该曲线分为 OA 段和 AD 段,其中 OA 段为双组分长丝卷曲伸长和伸直的阶段,这个阶段在小应力作用下会发生大变形,阶段的应变值对应纤维的卷曲伸长率; AD 段则为伸直纤维的拉伸应力应变曲线,具有虎克弹性变形区域 AB 段、屈服区域 BC 段和增强区域 CD 段, D 点为断裂点。

通过对试样的曲线进行分析,取得以下指标对弹性纤维的力学性能进行评价。

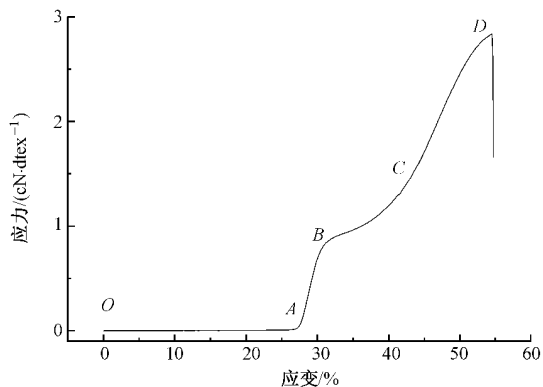


图 1 PET/PTT 长丝的典型应力应变曲线

Fig.1 Typical strain-stress curve of the PET/PTT filament

卷曲伸长率: A 点对应的应变,其中 A 点定义为应力在 0.14 cN/dtex 时对应的点,即大多数纤维处于卷曲伸直而不伸长、伸直纤维开始发生线性变形的点,用以反映纤维的卷曲程度和卷曲弹性大小。初始实验时取 0.014 cN/dtex 对应的点作为 A 点,实验过程中发现,对于处理过的双组分长丝而言,卷曲模量增加,导致 0.014 cN/dtex 时依然处于小应力大应变的阶段,最后统一取多数伸直纤维开始出现线性变形的起点为 A 点,对应应力值为 0.14 cN/dtex。

伸直纤维的弹性模量即 AB 区域的模量,数值上等于通过最小二乘法获得的 0.2 ~ 0.8 N 线段的斜率值;伸直纤维的虎克变形应变即 AB 段的应变值;伸直纤维的断裂伸长率即 AD 段的应变率;断裂强力即 D 点对应的力值。Moseley^[5]提出的声速取向公式为

$$f_s = 1 - C_n^2 / C^2$$

式中: f_s 为声速取向因子, C_n 为纤维完全无规取向的声速值; C 为试样的实测声速值。无油丝未经拉伸和后道高温处理,基本上可看作是无结晶和无取向的纤维,因此以各试样无油丝的声速值作为完全无规取向样品的声速值,采用 SSY-1 声速仪(声频 5 kHz)测试;由于双组分长丝存在卷曲,因此室温下外加张力为 0.2 cN/dtex,比一般纤维测试略大;由于无油丝容易拉伸变形,预加张力为 0.07 cN/dtex。同一试样的声速测定重复 3 次,取其平均值。

3 张力对双组分长丝性能和结构的影响

3.1 对卷曲性能的影响

面料加工过程中,织物会受到各种力的作用,不同拉伸张力下的热处理会引起纤维卷曲收缩率和伸

长率的变化。为模拟面料加工过程中不同环境条件下纤维的受力情况,将双组分长丝分别在0、0.013、0.02、0.037、0.06、0.1、0.2、0.41 cN/dtex张力下,沸水处理5 min,其卷曲收缩率和卷曲伸长率变化规律见图2。

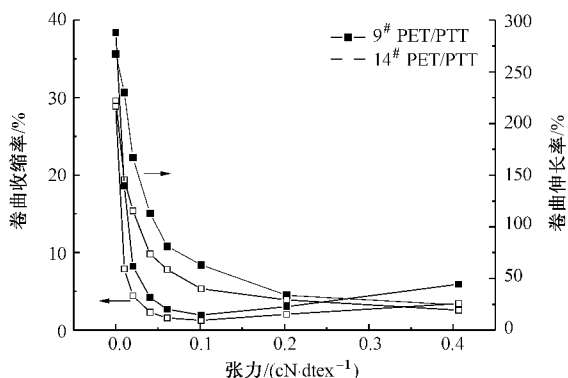


图2 PET/PTT长丝在不同张力下沸水处理的卷曲性能

Fig.2 Crimp properties of PET/PTT filament under different tension in boiling water

由图2可见,双组分长丝的卷曲伸长率在初始阶段随张力的增加而迅速减小,当张力超过0.1 cN/dtex,卷曲伸长率又略有增加,但增加幅度很小;同时,双组分长丝的卷曲收缩率随着张力的增加呈一阶指数关系减少,初始变化显著,当张力超过0.1 cN/dtex后,基本恒定。可以推测,张力增加不仅限制了大分子链的解取向作用,且在温度场作用下,卷缩或无规排列的分子链将沿纤维轴向规整排列,导致纤维在张力作用下的取向度和结晶度同时增加,从而纤维自身的长度收缩率减小,卷曲变得稀疏,卷曲曲率变小。在较大张力作用下,双组分长丝中的PET组分承受了更大的张力作用,减小了两组分间的收缩率,导致两组分形成的卷曲长度减小。

双组分长丝的卷曲模量相当小,远远小于纤维伸直后的拉伸模量,只有在小张力或完全松弛的条件下,双组分长丝的卷曲收缩率会很高。但是当张力超过0.1 cN/dtex纤维的卷曲收缩率和单组分纤维的卷曲收缩率相当,在5%左右。该结果表明在此张力作用下,双组分长丝潜在的收缩势能基本消失,张力使得各单组分都得到了有效拉伸和取向,取向差异变小,且在温度场下该变化固定下来,即使再经过松弛处理,亦不会有卷曲现象。结果还表明,小张力下不同组分长丝的收缩率差异无论有多大,当张力达到一定值后,不同组分长丝间的收缩率基本一致,处于一种平衡状态,且该收缩率值和双组分长丝中收缩率较低组分的收缩率值相当,如图3(a)所

示,14#双组分试样和PET试样的收缩率在张力大于0.1 cN/dtex后基本一致,且都小于收缩率较大的PTT单组分试样。

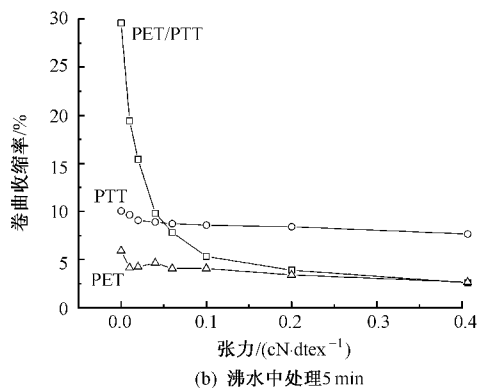
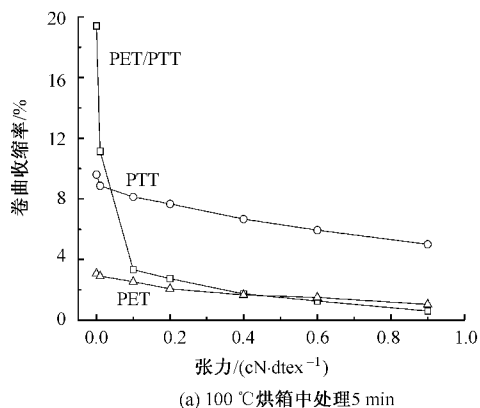


图3 3种纤维在不同张力下的卷曲收缩率

Fig.3 Crimp shrinkage rate of three fibers with different tension in different environment. (a) In oven with 100 °C for 5 minutes; (b) In boiling water for 5 minutes

张力对双组分长丝收缩率的影响要远远大于对单组分纤维收缩率的影响。在图3(a)中,PTT和PET单组分纤维的收缩率随着张力的增加只有较小的变化。PTT、PET、9# PET/PTT、14# PET/PTT 4种纤维在0.92 cN/dtex张力条件下和松弛条件下的收缩率差异分别为4.7%、2.1%、18.8%和25.4%。因此,为了获得有效卷曲,双组分长丝在后处理过程中所能承受的最大张力应该是使纤维完全伸直所需要的力,超过该值,双组分长丝将不再有任何卷曲产生;同时,改变外加张力可以控制长丝的卷曲弹性,具体通过后道处理的拉伸力和织物紧度造成的阻力来实现。在松弛处理条件下,可以获得最好的卷曲显现,但长丝在松弛处理的收缩过程中容易发生缠结,导致纤维过于蓬松和杂乱。因此,在小张力作用,如0.01 cN/dtex条件下处理双组分长丝,既可以获得有效卷曲,又可以保持纤维的基本外观形态。

将试样分别在 0、0.01、0.02、0.04、0.06、0.1、0.2、0.4 cN/dtex 张力时用 100 °C 沸水处理 5 min，其卷曲收缩率如图 3(b) 所示。当张力达到 0.2 cN/dtex 后，双组分长丝的收缩率趋于一致，且和单组分中收缩率较低的纤维相近。张力值在一定范围内，双组分长丝的收缩率介于各单组分长丝的收缩率之间，而小张力条件下，双组分长丝收缩后产生卷曲，具有一定的卷曲模量，导致在同样测试条件下其卷曲收缩率远远高于各单组分长丝的收缩率。

3.2 对力学性能的影响

在一定张力下处理双组分弹性纤维，将限制纤维内分子链及链段的自由运动和收缩，导致卷曲伸长率随着张力的增加而减小，同时卷曲收缩率也减小。图 4(a) 中，双组分长丝的模量随着张力的增加而有所增加，这一现象充分证明了张力增加导致卷曲伸长率和收缩率同时下降。张力的增加同时限制了两组分的取向，并在一定程度上会形成诱导结晶，使得两组分子链沿轴向的取向增加，导致收缩

率逐渐减小，处理后两组分取向和结晶差异也随着外加张力的增加而减小。

图 4(a) 中，PET、PTT、PET/PTT 3 种纤维的模量随着张力的增加呈增加趋势，张力达到 0.1 cN/dtex 后，模量基本恒定，且 3 种纤维在松弛状态和有张力条件下的模量存在明显差异。PET/PTT 长丝在松弛状态及 0.06 cN/dtex 小张力处理时的模量均低于同样处理条件下 PTT 纤维的模量，其他张力条件下模量介于 PET 和 PTT 纤维之间，但是数值上更接近具有较小模量的 PTT 纤维，远远小于 PET 纤维的模量。因此，虽然松弛热处理条件下，PET/PTT 长丝可以获得最佳的卷曲伸长和收缩率，但是大大降低了其伸直纤维的初始模量；而在小张力处理条件下，可兼顾卷曲收缩率和初始模量，使得 PET/PTT 长丝织物既具有一定的弹性，又不过于柔软。

3 种纤维的断裂伸长率均随着张力的增加而减少，当张力大于 0.1 cN/dtex 后，断裂伸长率基本恒定，如图 4(b) 所示。张力作用使得分子链处于拉伸状态并尽可能地得到了规整排列，降低了拉伸过程分子链的延伸性能。与对模量的影响一样，PET/PTT 长丝在松弛热处理条件下，其伸直纤维的断裂伸长率高达 72.5%，远远高出相同条件下处理的 PET 和 PTT 纤维。其他张力处理条件下，PTT、PET/PTT、PET 3 种纤维的断裂伸长率依次降低。

完全松弛状态下处理的试样其屈服点不显著，拉伸曲线平滑；随着张力增加，屈服点显著，虎克形变区域应变减小，伸直纤维可完全回复的弹性降低，不同张力处理条件下 3 种纤维的虎克形变区域应变如图 5 所示。

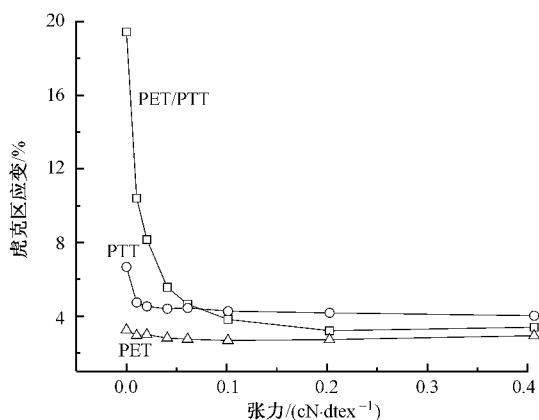
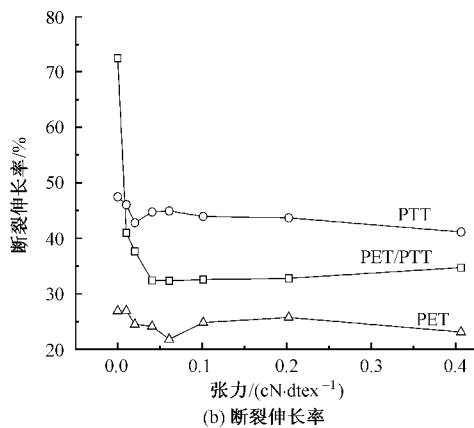
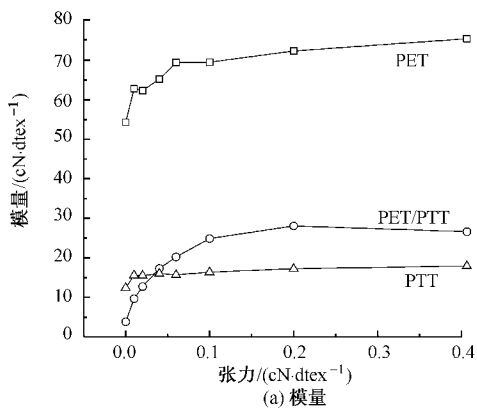


图 4 沸水处理 5 min，不同张力下长丝的力学性能

Fig.4 Mechanical properties of the filament under different tension in boiling water for 5 minutes.

(a) Modulus; (b) Broken elongation rate

图 5 不同张力下长丝的虎克变形应变

Fig.5 Huke strain of the filament under different tension

3.3 对取向结构的影响

从绝对值进行比较,无论张力大小,PET、PET/PTT、PTT 3种纤维的声速取向因子依次降低。这表明,PTT单组分纤维中分子链沿纤维轴向的取向排列程度最低,而PET单组分纤维中分子链沿纤维轴向的取向排列程度最高。双组分长丝的声速取向因子开始时随着张力的增加而显著增加,当张力小于0.2 cN/dtex时,声速取向因子从0.44增加到0.62,分子链规整排列程度提高显著;当张力超过0.2 cN/dtex,声速取向因子变化较小,从0.62变化到0.66,并逐渐恒定。单组分PET纤维的声速取向因子变化不大,从0.78变化到0.81,当张力大于0.1 cN/dtex后,声速取向因子就基本恒定。单组分PTT纤维的声速取向因子从0.27变化到0.33,变化大于PET单组分纤维,如图6所示。声速取向因子

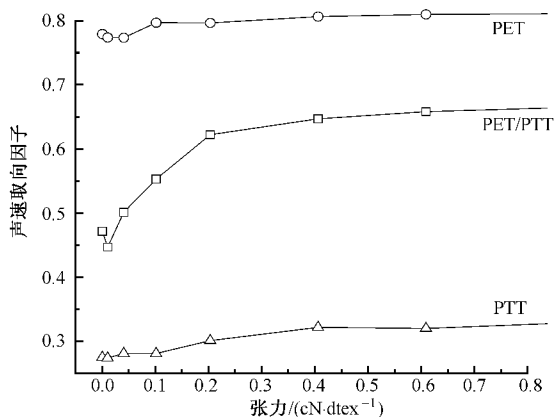


图6 不同张力下长丝的声速取向因子

Fig.6 Sonic orientation factor of the filament under different tension

的变化规律更好地证明了3种纤维的初始模量、断裂伸长率随张力增加的变化趋势。

4 结论

随着张力增加,纤维的卷曲伸长率和收缩率均呈一阶指数形式下降。当张力大于0.1 cN/dtex,纤维的卷曲伸长率和收缩率基本恒定,变化较小。张力增加使得纤维的声速取向因子增加,纤维的解取向程度降低。同时,张力增加有利于纤维初始模量的增加。完全松弛处理时,PET/PTT双组分长丝可以得到最好的卷曲显现,但双组分长丝伸直纤维的初始模量大大降低,模量的变化在张力大于0.1 cN/dtex后基本恒定。因此,在处理过程中适当的小张力有利于PET/PTT纤维的卷曲显现。 FZXB

参考文献:

- [1] Zepletalova T. 双组分纤维引论[J]. 高喜荣,译. 国外纺织技术,2000(1):8-10.
- [2] 孙宏,来侃,孙润军. PET/PTT复合纤维工艺性能研究[J]. 西安工程科技学院学报,2006,20(6):706-709.
- [3] David R Salem. 聚合物纤维结构的形成[M]. 高绪珊,吴大诚,译. 北京:化学工业出版社,2004:66-70.
- [4] Rwei S P, Lin Y T, Su Y Y. Study of self-crimp polyester fibers[J]. Polymer Engineering and Science, 2005, 45: 838-845.
- [5] Moseley W. The measurement of molecular orientation in fibers by acoustic methods[J]. J Appl Polym Sci, 1960, 3(9):266.