

文章编号 : 0253-9721 (2006) 09-0062-04

# PTT 短纤纱性能研究

任永花<sup>1,2</sup>, 刘颖<sup>1</sup>, 俞建勇<sup>1</sup>

(1. 东华大学 纺织学院, 上海 201620; 2. 西安工程大学 纺织学院, 陕西 西安 710048)

**摘要** 采用 4 种不同捻系数(280, 320, 360, 400)的 PTT 短纤纱做为研究对象, 对其主要力学性能(强伸性、拉伸回复性以及蠕变性能)进行了研究。通过纱线的强伸性能实验, 初步得出了 PTT 短纤纱的临界捻系数范围在 360 左右, 定伸长反复拉伸实验证明了 PTT 短纤纱具有良好的弹性回复性能; 同时, 由蠕变实验可以看到捻系数的大小对其弹性回复性影响不显著。并引入四元件模型对纱线的蠕变性能进行了模拟, 模型拟合的参数与实验结果可以较好地吻合。

**关键词** PTT 短纤纱; 捻系数; 弹性回复性能; 弹性模型

中图分类号: TS102.522 文献标识码: A

## Study on the properties of PTT staple yarn

REN Yong-hua<sup>1,2</sup>, LIU Ying<sup>1</sup>, YU Jian-yong<sup>1</sup>

(1. College of Textile, Donghua University, Shanghai 201620, China;

2. College of Textiles, Xi'an Polytechnic University, Xi'an, Shanxi 710048, China)

**Abstract** The mechanical properties (action stretch, elastic recovery and creeping) of four kinds of PTT staple yarns with twist factor of 280, 320, 360, 400 respectively were studied. Action stretch experiments of the yarns were performed and it was found that the critical twist factor of PTT staple yarn was around 360. Its good elastic recovery was demonstrated by constant rate of extension test and creep test showed that twist factor has insignificant effect on its elastic recovery. The creeping property of the yarn was analogized by a four-element analogous model and the result obtained is coincident with that of the experiment.

**Key words** PTT staple yarn; twist factor; elastic recovery; elastic model

国外已有用 PTT 短纤维纺纱的报道, 其延伸率高达 50%, 施加静负载 24 h 后的弹性回复率达 98%, 纱线强度不小于 14 cN/dtex, 与其它合成纤维和天然纤维制成的纱线强度相当<sup>[1]</sup>。PTT 短纤维纺织产品的生产在我国刚刚起步, 关于其纱线力学性能的理论研究较少, 大部分研究都集中在纤维的生产上。为此, 本文对 PTT 短纤纱的力学性能进行了研究。

## 1 实验部分

### 1.1 试样

自纺 PTT 短纤纱, 18.45 tex, 捻系数分别为 280、320、360、400。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 强伸性能测试

仪器选用 XL-1 型纱线强伸度仪; 测试条件: 隔距为 500 mm, 预加张力为 9.225 cN, 拉伸速度为 500 mm/min。

#### 1.2.2 反复拉伸回弹性测试

仪器选用 AGS-500ND 型岛津万能材料试验机; 测试条件: 夹持长度为 100 mm, 预加张力为 9 cN, 拉伸速度为 50 mm/min。

#### 1.2.3 蠕变性能测试

仪器自备; 测试条件: 隔距为 500 mm, 预加张力为 4.9 N, 拉伸应力为 49 cN。

收稿日期: 2004-12-17 修回日期: 2005-05-17

作者简介: 任永花(1976-), 女, 博士生。主要研究方向为纺织新材料。

## 2 结果和讨论

### 2.1 强伸性能

纱线受到拉伸发生断裂时,断裂总是发生在强力最薄弱的断面上。但断面上只是一部分纤维断裂,另一部分纤维滑脱,且断裂的那部分纤维也非同时断裂。加捻使纱线中纤维间产生向心压力,外层纤维压向内层,纤维间摩擦阻力增加,使断裂时滑脱纤维的根数减少。在捻度较小的条件下,加捻作用主要表现为减少细纱断裂时的滑脱纤维根数,捻度增大时,纤维滑脱根数减少,细纱强力随之增大。当捻度达到一定数值后,不利因素占主导地位,细纱强力随捻度继续增加而减小,出现所谓的临界捻度及临界捻系数,见图 1。

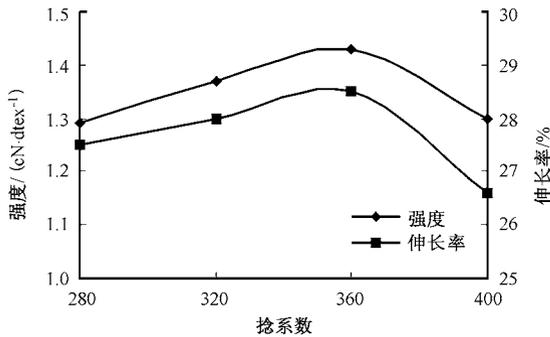


图 1 PTT 纱线强伸性能

从图 1 可见,随着纱线捻系数即捻度的增大,纱线的强度和伸长率逐渐增大,但当捻系数为 360 时,强度和伸长率反而开始降低,因此可以说,捻系数在 360 左右时,是 PTT 纯纺纱线强伸性能的一个转折点,即为临界捻系数。

### 2.2 反复拉伸回弹性

反复拉伸回弹性的实验过程:第 1 次拉伸纱线后停置 30 s 进行回复,回复后再停置 30 s,测出纱线的第 1 次弹性回复率和第 1 次塑性变形率,如此反复循环拉伸 10 次,最后测出纱线的末次弹性回复率和末次塑性变形率。每次试样数为 10。试样的反复拉伸弹性值见表 1。弹性指标计算公式为

$$\text{弹性回复率} = \frac{\text{弹性变形}}{\text{总变形}} \times 100\% = \frac{\text{急弹性变形} + \text{缓弹性变形}}{\text{总变形}} \times 100\%$$

$$\text{塑性变形率} = \frac{\text{塑性变形}}{\text{试样原长}} \times 100\%$$

表 1 PTT 纱线的反复拉伸弹性值 %

定伸长	弹性回复率		塑性变形率	
	第 1 次	末次	第 1 次	末次
5	82.80	70.40	0.86	1.48
10	77.00	69.75	2.30	3.52
15	76.00	68.00	3.60	4.80
20	74.75	66.80	4.65	6.05
25	71.00	64.80	7.25	8.30

纱线的第 1 次弹性回复率和第 1 次塑性变形率是第 1 次拉伸循环后的弹性回复率和塑性变形率,反复拉伸 10 次后对应的是末次弹性回复率和塑性变形率。由表 1 可以看出,在定伸长 5% 进行反复拉伸的时候,PTT 短纤纱的弹性回复率最大,相应的塑性变形最小;首次和末次的弹性回复率都较大,分别是 82.80% 和 70.40%,反复拉伸 10 次后弹性回复率下降了 15%,塑性变形率则增大了 72.1%;反复拉伸后的定伸长越大,则弹性回复率越小,塑性变形率越大,但从表 1 看,变化并不是很大,当定伸长由 5% 变为 25% 后,纱线最终的弹性回复率由 70.4% 降为 64.8%,仅仅降低了 8%,这说明 PTT 短纤纱具有优良的弹性回复性能,即使在较大变形的情况下弹性回复性能也是很不错的。

### 2.3 蠕变性能

蠕变实验过程:握持纱线的一端,在预加张力作用下在纱线长度 500 mm 处做好标记,实验时,另一端悬挂砝码,测量标记随时间而变化的伸长量,2 h 后撤去负载,继续测量标记随时间变化的伸长量至 4 h 结束。实验过程中的关键是要保证纱线不发生转动,因为转动可使纱线发生退捻,影响数据的可靠性。蠕变变形数据如表 2 所示。

表 2 PTT 纱线的蠕变变形

捻系数	初伸长/ %	末伸长/ %	急回复伸长/ %	塑性变形率/ %	弹性回复率/ %
280	2.21	2.89	1.03	0.78	73.01
320	2.32	2.97	1.09	0.80	73.06
360	2.46	3.09	1.37	0.78	74.76
400	2.35	2.87	1.07	0.78	72.82

表 2 中初伸长是指加载负荷时测得的伸长率,末伸长是指加载负荷 120 min 时的伸长率,急回复伸长指撤去负荷时的伸长率。在相同负荷作用下可以明显看出捻系数为 360 的纱线具有最大伸长,即此时纱线的延伸性最好,但无论是塑性变形率还是最终的弹性回复率,捻系数对纱线的影响并不大。

由于实验中没有采用专用仪器进行测试,全靠

人工完成,所以所测数据肯定存在误差。从图 2 可以看出,不同捻系数的纱线其蠕变变形曲线非常接近,捻系数对纱线的蠕变变形影响不是很大。

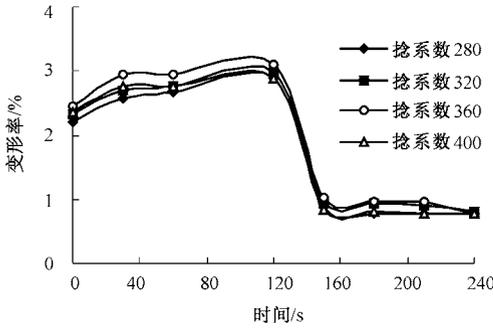


图 2 PTT 纱线的蠕变图

### 2.4 PTT 纯纺纱的拉伸蠕变模型

纱线的变形除了急弹性变形和缓弹性变形外,由于纤维产生滑移还会产生不可回复的塑性变形,为了形象描述纱线在恒定应力下的蠕变,这里引入了四元件模型<sup>[2]</sup>,见图 3。

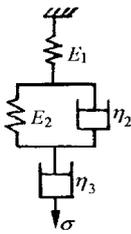


图 3 四元件模型

如图 3 所示,四元件模型的变形是虎克弹簧  $E_1$  的变形、伏欧脱模型  $E_2$  和  $\eta_2$  的变形以及牛顿时壶  $\eta_3$  的变形之和。由此可得到该模型的本构关系式为

$$E_1 \ddot{\varepsilon} + \frac{E_1 E_2}{\eta_2} \dot{\varepsilon} = \ddot{\sigma} + \frac{E_1}{\eta_2} \left( 1 + \frac{E_2}{E_1} + \frac{\eta_2}{\eta_3} \right) \dot{\sigma} + \frac{E_1 E_2}{\eta_2 \eta_3} \sigma \quad (1)$$

式中,  $\varepsilon$  为变形;  $\sigma$  为应力。在恒定应力作用下,即  $\sigma = \sigma_c = \text{常数}$  时,式(1)变为

$$\tau_k \ddot{\varepsilon} + \dot{\varepsilon} = \frac{\sigma_c}{E_1}$$

式中,  $\tau_k = \eta_2 / E_2$ 。

解上述微分方程,根据初始条件

$$\text{当 } t = 0, \varepsilon(0) = \frac{\sigma_c}{E_1}, \dot{\varepsilon}(0) = \frac{\sigma_c}{\eta_2} + \frac{\sigma_c}{\eta_3}$$

其解为

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_c}{E_1} + \frac{\sigma_c}{E_2} (1 - e^{-t/\tau_k}) + \frac{\sigma_c}{\eta_3} t \quad (2)$$

式(2)为四元件模型的蠕变方程式,它表明在恒定应力作用下,变形由 3 部分组成,其中缓弹性变形和塑性变形随着时间的增加而增加,塑性变形  $\frac{\sigma_c}{\eta_3} t_1$  是不可回复的,如图 4 所示。

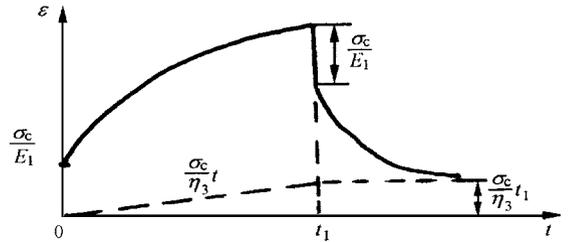


图 4 四元件模型蠕变曲线

图 4 中的蠕变曲线回复方程为

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_2 e^{-(t-t_1)/\tau_k} + \varepsilon_3 \quad (3)$$

式中,  $\varepsilon_2 = \frac{\sigma_c}{E_2} (1 - e^{-t_1/\tau_k})$ ;  $\varepsilon_3 = \frac{\sigma_c}{\eta_3} t_1$

PTT 短纤纱可以近似用四元件模型来模拟,模拟曲线在此没有列出,表 3 是表征各纱线力学性能的参数,其中  $\tau_k$  称为形变推迟时间,是纱线粘弹本质的一个参数。

表 3 PTT 纱线模型拟合参数

捻系数	$E_1/$ (cN· dtex <sup>-1</sup> )	$E_2/$ (cN· dtex <sup>-1</sup> )	$\eta_2/$ (cN·s· dtex <sup>-1</sup> )	$\eta_3/$ (cN·s· dtex <sup>-1</sup> )	$\tau_k/s$	残差平方 和/(cN· dtex <sup>-1</sup> )
280	0.048 9	0.388 0	2.396 2	29.501 1	6.175 8	0.042 0
320	0.046 7	0.333 7	2.265 8	34.930 4	6.789 9	0.038 3
360	0.044 6	0.243 5	1.229 3	35.384 2	5.048 5	0.089 8
400	0.048 9	0.250 0	2.804 3	96.853 4	11.217 2	0.071 7

由表 3 可以看出,相同应力下的蠕变随捻系数的增大,弹性模量的降低,到 360 时降到最小值,捻系数为 400 时又变大,代表 PTT 短纤纱的刚性随捻度增大先逐渐减小后增大,柔性则正好相反,捻系数为 360 时,纱线柔性最大,对应此时的弹性也是最大,这与实验结果相吻合。

### 3 结 论

- 1) PTT 短纤纱的临界捻系数范围在 360 左右。
- 2) 定伸长反复拉伸实验证明,PTT 短纤纱具有良好的弹性回复性能;同时,由蠕变实验可以得出捻系数对其弹性回复性影响不显著。
- 3) 引入四元件模型对纱线的蠕变性能进行了模

(上接第 64 页)

拟,模型拟合的参数与实验结果相吻合。 FZXB

参考文献:

[ 1 ] Busce mi M, Dangayach D. Challenges and opportunities for

Corterra PTT in textile fibers [ J ]. Chemical Fibers Internatioal , 2002 , 52 : 34 - 35.

[ 2 ] 于伟东,储才元. 纺织物理[ M]. 上海:东华大学出版社,2002. 71.