

文章编号: 0253-9721(2008)08-0027-04

彩棉喷气涡流纺纱线应力松弛机制分析

梁方阁¹, 程隆棣¹, 刘燕², 刘小珍³, 邵楠³

(1. 东华大学 纺织面料技术教育部重点实验室, 上海 201620; 2. 南通大生集团, 江苏 南通 226300;
3. 顶呱呱彩棉服饰有限公司, 江苏 常州 213000)

摘要 以四元件模型为基础, 利用玻尔兹曼叠加原理建立了纱线应力松弛变化过程的理论方程, 并分别对彩棉喷气涡流纺及环锭纺纱线进行松弛实验。基于应力松弛理论模型, 利用 Origin 7.5 软件求得纱线应力松弛的回归方程, 分析了喷气涡流纺纱线应力松弛机制。结果表明: 理论值与实测值具有良好的相关性, 可以利用该模型预测纱线的松弛性能; 喷气涡流纺纱线的松弛时间较短, 弹性比例较小; 通过预测纱线的松弛性能, 可有效改善彩棉产品手感较软的问题。

关键词 喷气涡流纺; 应力松弛; 四元件模型; 回归方程

中图分类号: TS 101.2 文献标识码: A

Study on the stress relaxation mechanism of air jet vortex spun yarns with naturally colored cotton

LIANG Fangge¹, CHENG Longdi¹, LIU Yan², LIU Xiaozhen³, SHAO Nan³

(1. Key Laboratory of Textile Science & Technology, Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 201620, China;
2. Dasheng Fabric Enterprise of Nantong, Nantong, Jiangsu 226300, China; 3. Changzhou Marverlous Natural Color Cotton Garments Limited Corporation, Changzhou, Jiangsu 213000, China)

Abstract Based on the four-element model, the equation of the stress relaxation process is developed using the principle of Boltzmann superposition in this paper. Stress relaxation experiments of air jet vortex spun and ring spun yarns made of naturally colored cotton are measured. The regressive equation of the stress relaxation of yarns is calculated using Origin 7.5 based on the model of the stress relaxation, and the stress relaxation mechanism of air jet vortex spun yarn is explained. The results show that the theoretical value is conformed with the experimental results very well, and this model can forecast the relaxation properties of yarns. The relaxation time of air jet vortex spun yarns is relatively short, so the elasticity is smaller. Through predicting the relaxation property of the yarn spun with naturally colored cotton, the hand feeling of its product can be improved.

Key words air jet vortex spinning; stress relaxation; four-element model; regressive equation

纱线应力松弛是纱线静态黏弹性力学性能的典型表现之一, 也是一个值得研究的课题。近年来对纱线蠕变性能的研究受到学者的普遍关注, 从研究方式上讲大体可分为 3 类: 一是理论研究, 用由虎克弹簧和牛顿黏壶组成的黏弹性模型理论模拟实际测试的效果; 二是松弛、蠕变实验研究; 三是结合实验数据建立有限元计算模型, 进行计算机模拟^[1-2]。其中, 力学模型在纺织材料的分析与研究中应用尤

为广泛。理论模型不仅能直观、形象地描述纺织材料的宏观力学行为, 也可以对材料的力学性质进行定量分析^[3-4], 模拟结果可用来解释纺织材料的变形机制, 它已成为研究纺织材料力学性能的十分有效的方法, 且力学元件越多, 描述越精确^[5], 但是对彩棉喷气涡流纺纱线松弛性能的分析少有文章报道。本文将利用四元件模型对喷气涡流纺纱线的松弛机制进行分析, 以更好地研究纱线的力学性能。

收稿日期: 2007-06-25 修回日期: 2008-02-28

作者简介: 梁方阁(1982—), 女, 硕士生。研究方向为纺纱工艺与纱线性能的相关性。程隆棣, 通讯作者, E-mail: ldch@dhu.edu.cn。

1 试样与实验条件

纱线试样分别选用线密度为 18.2、14.5 tex 的彩棉/白棉(80/20)喷气涡流纺(MVS)及环锭纺(RS) 4 种纱线。拉伸实验在 YG061 型纱线拉伸仪上进行, 试样长度 L 为 250 mm, 拉伸速度 V 为 250 mm/min, 预加张力为 0.5 cN/tex, 纱线形变为 4%, 测试精度为 ± 1 cN。每种试样测试 50 次, 每个试样松弛时间为 300 s。大气条件: 温度为 20 ℃, 相对湿度为 60%。纱线基本性能见表 1。

表 1 试样基本性能

Tab.1 Basic properties of yarn samples

试样品种	强度/ (cN•tex ⁻¹)	条干不匀 CV 值/%	断裂伸长 率/%	断裂功/ mJ	初始模量/ (cN•tex ⁻¹)
MVS 18.2 tex	15.1	13.43	6.34	23.8	3.7
MVS 14.5 tex	14.1	15.12	5.24	16.3	5.1
RS 18.2 tex	18.1	12.66	5.83	25.9	4.7
RS 14.5 tex	17.2	13.99	5.51	20.7	5.5

2 理论模型

按松弛定义, 应力松弛的测量需要对试样施以阶跃式的应变, 而采用纱线拉伸仪研究纱线的应力松弛时, 拉伸到一定应变需要时间, 因此, 就必须要考虑拉伸阶段的影响。在本文实验中, 纱线以恒定的速率拉伸, $\epsilon_1(t) = kt$, 纱线的内应力逐步增加, 达到一定伸长后维持不变, 纱线开始应力松弛, 内应力逐步下降。

根据四元件模型的基本特点, 纱线的形变包括急弹性、缓弹性及塑性变形。该模型的本构关系式为

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

式中, σ 为纱线应力; E_1, E_2 为弹簧的弹性系数; η_1, η_2 为牛顿黏壶的黏性系数。四元件模型见图 1。

用 YG061 型纱线拉伸仪, 在 250 mm/min 的恒定速度下拉伸纱线, $\epsilon_1(t) = kt$, 同时为简便起见, 令 $A = \frac{E_1}{\eta_2} \left(1 + \frac{E_2}{E_1} + \frac{\eta_2}{\eta_3} \right), B = \frac{E_1 E_2}{\eta_2 \eta_3}, C = \frac{E_1 E_2}{\eta_2} k$, 则解此二阶齐次线性微分方程可得:

$$\sigma(t) = C_1 e^{-\frac{-A + \sqrt{A^2 - 4B}}{2} t} + C_2 e^{-\frac{-A - \sqrt{A^2 - 4B}}{2} t} + \frac{C}{B} \quad (2)$$

纱线拉伸过程中, $t = 0$ 时, $\sigma = 0, \dot{\sigma}$ 等于纱线初

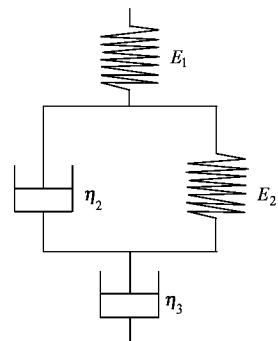


图 1 纱线松弛性能的四元件模型

Fig.1 Four-element model for describing the stress relaxation of yarns

始模量 E , 代入式(2)后得:

$$\sigma(t) = \frac{C(-A + \sqrt{A^2 - 4B}) - 2E}{2\sqrt{A^2 - 4B}} e^{-\frac{-A + \sqrt{A^2 - 4B}}{2} t} + \frac{C(A + \sqrt{A^2 - 4B}) + 2E}{2\sqrt{A^2 - 4B}} e^{-\frac{-A - \sqrt{A^2 - 4B}}{2} t} + \frac{C}{B} \quad (3)$$

再令: $a = \frac{C(-A + \sqrt{A^2 - 4B}) - 2E}{2\sqrt{A^2 - 4B}},$

$b = \frac{C(A + \sqrt{A^2 - 4B}) + 2E}{2\sqrt{A^2 - 4B}}, c = a + b, -\frac{1}{\tau_1} = \frac{-A + \sqrt{A^2 - 4B}}{2}, -\frac{1}{\tau_2} = \frac{-A - \sqrt{A^2 - 4B}}{2}$, 且在

纱线拉伸过程中预加张力为 σ_0 , 则方程(3)化为

$$\sigma_1(t) = \sigma_0 + a e^{-t/\tau_1} + b e^{-t/\tau_2} + c \quad (4)$$

此方程即为纱线拉伸方程。

在 $t = t_0$ 时, 纱线拉伸至一定伸长, 由于本文实验中纱线的变形比较小, 认为纱线为线性变形, 可利用玻尔兹曼叠加原理^[1], 即: 在原来应变 $\epsilon_1(t)$ 不变的基础上再加上一个负的应变 $\epsilon_2(t), \epsilon_2(t) = -k(t - t_0)$, 在 $t \geq t_0$ 时, $\epsilon_1(t) + \epsilon_2(t) = \epsilon_0$ 。那么应变 $\epsilon_2(t)$ 所产生的应力方程为

$$\sigma_2(t) = \sigma_0 + a e^{-(t-t_0)/\tau_1} + b e^{-(t-t_0)/\tau_2} + c \quad (5)$$

那么纱线的松弛应力 $\sigma(t) = \sigma_1(t) - \sigma_2(t)$, 即:

$$\sigma(t) = a(e^{-t/\tau_1} - e^{-(t-t_0)/\tau_1}) + b(e^{-t/\tau_2} - e^{-(t-t_0)/\tau_2}) + 2(\sigma_0 + c) \quad (6)$$

为便于计算, 式(6)简化为

$$\sigma(t) = a' e^{-t/\tau'_1} + b' e^{-t/\tau'_2} + \sigma'_0 \quad (7)$$

式(7)即为纱线在松弛过程中内部应力随时间衰减的过程。

3 实验结果及分析

把实验得到的平均松弛曲线数字化,用数学软件 Origin 7.5 根据式(7) 拟合得出彩棉喷气涡流纺纱松弛曲线的方程并计算出理论曲线。彩棉纱线理论松弛曲线所对应参数的数值及相关系数 r^2 列于表 2。

表 2 彩棉纱线松弛方程参数及相关系数

Tab.2 Stress relaxation equation parameter and correlation of the yarns

试样品种	a'	τ'_1	b'	τ'_2	σ'_0	r^2
MVS 18.2 tex	20.2	58.2	156.1	1.47	96.4	0.98
MVS 14.5 tex	18.4	48.3	138.9	1.52	92.5	0.99
RS 18.2 tex	22.7	63.3	133.6	1.81	116.6	0.99
RS 14.5 tex	21.2	61.2	138.2	1.58	102.8	0.99

把表 2 中的参数代入式(7),可以计算出各种彩棉纱线的松弛应力,各种彩棉纱的理论值和实测值如图 2 所示,从图中可以看出,理论值与实测值具有良好的相关性。

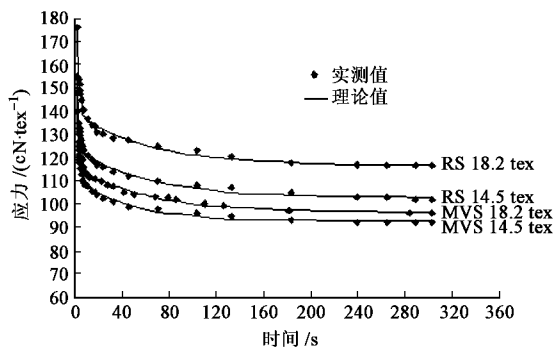


图 2 喷气涡流纺及环锭纺纱线松弛曲线

Fig.2 Stress relaxation curve of yarns in air jet vortex spinning and ring spinning

对纱线松弛性能的测量过程存在困难^[1],本文采取纱线拉伸仪把纱线拉伸到一定应变后才开始纱线的松弛。从图中可以看出,用四元件模型得出的理论值与实测值在实验时间内具有很好的相关性,说明用该模型预测纱线的松弛性能是可行的。

4 种纱线的松弛过程中应力变化呈现相似的规律,即纱线应力在起始阶段下降很快,大约 10 s 以后应力下降趋于缓和,随着时间的延长,纱线内应力逐渐不再变化。这是因为在拉伸停止时刻,纱线虽然仍然受到一定的拉伸,但纤维大分子及纤维都试图减小应力,恢复到它们原始的结构^[7];纱线中纤维内

大分子及纤维间的滑动在较短的时间里变化很快,但由于试样受到的应变恒定,经过一段时间后,纤维大分子的滑动及纤维间的滑动会达到该应变下的极限,松弛应力几乎不再变化。

纱线作为一种典型的黏弹性材料,在外力作用下,从一种平衡状态通过纤维内分子运动及纤维间滑移过渡到另一种状态是需要时间的,这个时间称为松弛时间 τ ^[8]。对同种原料相同形变下纱线松弛过程的分析可以发现,纱线越细,松弛时间 τ'_1 、 τ'_2 越小,松弛现象变快,也就是纱线弹性表现越不显著;而对于不同结构的纱线来说,环锭纺纱线相对于喷气涡流纺纱线,松弛时间 τ'_1 、 τ'_2 明显比较大,说明环锭纺纱的弹性比喷气涡流纺纱要好。其主要原因在于不同成纱原理导致纱线结构存在差异。对喷气涡流纺纱线,外部包缠纤维以螺旋状紧密缠绕在芯纤维上^[9],包缠纤维对芯纤维产生向心压力是构成纱线应力的主体,芯纤维滑移比较困难;纱线伸长过程中,包缠纤维由于伸长作用对芯纤维产生更大的向心压力,进一步阻止了内部芯纤维的滑移及滑移后的恢复,因此纱线容易在新的状态下趋于稳定,致使喷气涡流纺纱线松弛时间短;而环锭纺纱线内纤维排列相对比较平行顺直,纤维可部分移动,使得纤维需要较长的时间才能重新稳定。

4 结 论

1) 利用四元件模型对纱线松弛性能进行分析,得出纱线松弛过程中应力变化的回归方程。用该方程计算的理论值与实测值具有良好的相关性,说明能够利用该模型预测纱线的松弛性能。

2) 对彩棉纱线松弛性能测试结果表明,相对于环锭纺纱线,喷气涡流纺纱线的松弛时间较短,弹性稍有不足,但能够改善彩棉环锭纱产品手感过软的现象。

3) 与环锭纺相比,喷气涡流纺纱线内部纤维滑移及滑移后的恢复困难,使得纱线内应力下降较快,容易在新的状态下趋于稳定,这无疑会使喷气涡流纺纱后道产品在尺寸稳定性上占据优势。 **FZXB**

参考文献:

[1] 于伟东, 储才元. 纺织物理[M]. 上海: 东华大学出版社, 2001: 71 - 120.

(下转第 34 页)

(上接第 29 页)

- [2] 张洪弟, 骆呈军. 三元件模型理论及其在纺织上的应用[J]. 北京纺织, 2004, 25(2): 57 - 61.
- [3] 崔世忠, 石风俊. 大豆蛋白质纱拉伸性质建模的研究[J]. 纺织学报, 2003, 24(4): 324 - 326.
- [4] 杨英贤, 石风俊. 牛奶纤维拉伸性能理论模型的研究[J]. 毛纺科技, 2005(8): 5 - 8.
- [5] Shi Fengjun, Hu Jinlian. Study on bending of woven fabrics using linear viscoelasticity theory [J]. Journal of China Textile University, 2001, 8(1): 51 - 56.
- [6] Vangheluwe L. Influence of strain rate and yarn number on tensile test results [J]. Textile Research Journal, 1992, 62(10): 586 - 589.
- [7] Nachane R P, Sundaram V. Analysis of relaxation phenomena in textile fibres [J]. Journal of Textile Institute, 1995, 86(1): 10 - 32.
- [8] 张涛, 鲍文斌, 俞建勇. 竹浆纤维力学性能的模拟分析 [J]. 纺织学报, 2005, 26(1): 30 - 32.
- [9] Soe Aung Kyaw, Takahashi. Structure and properties of MVS yarns in comparison with ring yarns and open-end rotor spun yarns [J]. Textile Research Journal, 2004(9): 819 - 826.