

# 棉纱拉伸性质的建模研究

黄 成, 吴震宇\*

(浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018)

**摘要:** 通过对纱线拉伸过程中应力-应变关系的分析, 得到纱线具有蠕变、应力松弛现象以及非线性特征。为建立四元件模型, 将标准线固体和非线性弹簧进行并联。从模型并联特性出发, 采用泰勒公式, 利用正交回归确定参数, 获得了相应的理论曲线。建立了纱线测试试验台, 该试验台采用 LPC1768 单片机对 57BYGH250C 步进电机进行了精确位置控制, 采用研华 PCI1768 数据卡进行了实时张力检测。在该试验台上, 采用 34.29 tex、45.45 tex、58.3 tex 棉纱进行了实验测试, 并通过多项式拟合, 可以得到纱线实验曲线。研究表明, 理论曲线与实验曲线基本一致(误差为  $\pm 5\%$ )。

**关键词:** 纱线模型; 拉伸性能; 粘弹性

中图分类号: TS11; O31; TH135

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)02-0177-03

## Modeling the tensile property of cotton yarn

HUANG Cheng, WU Zhen-yu

(Faculty of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** After analysis of the tensile property curve, yarns are born with creep, relaxation of stress phenomenon and non-linear spring. In order to build the four-element model, the three-element model and the non-linear spring were parallel connected. Based on the model features, yarn theoretical curve was built with the Taylor formula and orthogonal polynomial regression analysis were used. The LPC1768 single chip microcomputer was used to control the 57BYGH250C step motor exactly while the PCI1768 data acquisition card was used to acquire real time data in the experiment platform. 34.29 tex, 45.45 tex and 58.3 tex cotton yarns were used to do experiments, the experiment curves were gotten based on polynomial fitting. The results indicate that the theory curve is consistent with experiment curve (error  $\pm 5\%$ ).

**Key words:** yarn model; tensile property; viscoelastic

## 0 引 言

纺织行业是关系国计民生的重大行业。纱线张力不稳影响织物质量及生产效率。纱线张力不均匀容易造成: 纬缩、跳花、星跳、断经、缺经等, 影响织物拉伸强力、撕裂强力、抗磨损性、起毛起球、水洗尺寸稳定性和洗后外观<sup>[1]</sup>。常用的纱线模型有 Maxwell、Kelvin、三元件等模型。Maxwell 模型具有流体特性描述蠕变特性<sup>[2]</sup>, Kelvin 模型可以描述应力松弛现象<sup>[3-5]</sup>。

通过对纱线拉伸过程中应力-应变关系的分析可知, 纱线具有蠕变、应力松弛现象以及非线性, 因此,

本研究建立标准线固体和非线性弹簧并联组成的四元件模型。

## 1 理论模型

纺织纤维的力学性能兼具有粘性流体和弹性固体的形变特征, 典型的表现纤维具有显著的蠕变和应力松弛现象。蠕变是指在一定负荷作用下, 变形随时间而逐渐增加的现象; 应力松弛是指在一定变形条件下, 纤维内力随时间增加而逐渐衰减的现象<sup>[2]</sup>。三元件标准线固体模型由两个胡克弹簧和一个牛顿黏壶组成, 能描述纺织纤维的粘弹性力学性能。几种常见

收稿日期: 2011-07-21

作者简介: 黄 成(1987-), 男, 江西樟树人, 主要从事纺织设备机电控制方面的研究。E-mail: chenfeng8721@163.com

通信联系人: 吴震宇, 男, 副教授, 硕士生导师。E-mail: zjuwuzhenyu@gmail.com

纤维拉伸曲线如图 1 所示,从图 1<sup>[6]</sup>中可以看出,纱线不但具有粘弹性还是非线性的。因此,模型中应该包括反映粘弹性质的粘弹元件和反映非线性力学的非线性元件。为此,本研究用三元件标准线固体模型和非线性弹簧并联组成模型<sup>[7-9]</sup>。

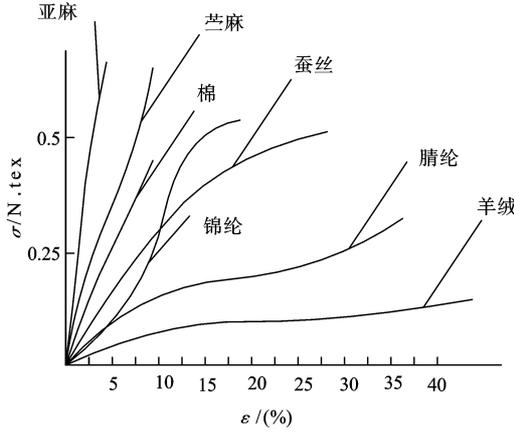


图 1 几种常见纤维拉伸曲线

纱线模型如图 2 所示,由一个三元件标准线固体模型并联上一个非线性弹簧组成。

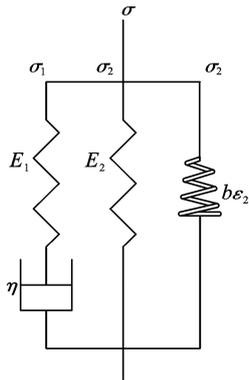


图 2 非线性模型

假定在模型中,马克斯韦中的弹簧弹性系数为 $E_1$ ,阻尼器的粘性系数为 $\eta$ ,线性弹簧弹性系数为 $E_2$ ,非线性弹簧应力应变成平方关系,平方系数为 $b$ 。马克斯韦关系中, $\sigma_1$ 与 $\varepsilon$ 满足关系 $\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_1 + \dot{\varepsilon}_2 = \dot{\sigma}_1/E_1 + \sigma_1/\eta$ ,纱线的运动过程是一个加速过程<sup>[9]</sup>。在此,本研究假设 $\varepsilon = at^2$ ,其中加速度为常量,代入上式,根据初始条件 $\sigma(0) = 0$ ,得到 $\sigma_1 = 2a\eta\sqrt{\varepsilon} + 2a\eta^2(e^{-\frac{E_1}{\eta}\sqrt{\varepsilon}} - 1)/E_1$ , $\sigma_2 = E_2\varepsilon$ , $\sigma_3 = b\varepsilon^2$ ,从而得到纱线模型为:

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 2a\eta\sqrt{\varepsilon} + \frac{2a\eta^2}{E_1}(e^{-\frac{E_1}{\eta}\sqrt{\varepsilon}} - 1) + E_2\varepsilon + b\varepsilon^2 \quad (2)$$

把泰勒展开式: $e^x = 1 + x + x^2/2! + x^3/3! + x^4/4! + \dots$ 代入式(2),整理后得到模型一般形式: $\sigma = A_0 + A_1\varepsilon + A_2\varepsilon^2 + A_3\varepsilon^3 + A_4\varepsilon^4 + \dots$ 。

根据本研究实验环境,以及 $F = A\sigma$ 与 $\varepsilon = \Delta l/l_0$ ,把式

(2)转换成张力与伸长量的关系:

$$F = B_0 + B_1\Delta l + B_2\Delta l^2 + B_3\Delta l^3 + B_4\Delta l^4 + \dots \quad (3)$$

## 2 实验验证

纱线一端固定在步进电机上,另一端通过传感器连接在固定架上。PC 机通过用 Delphi 制作的控制界面(界面如图 3 所示,Delphi 界面采用三方控件 Tmscomm 实现 PC 机和单片机通信)向 LPC1768 单片机发送脉冲,单片机经光耦放大信号后向 HB-4020M 两相步进电机驱动器发送脉冲,驱动器通过光耦向 57BYGH250C 步进电机发送脉冲步进信号,电机正反转使纱线拉紧松开,采用 PCI1768 数据采集卡实时精确采集纱线信号。信号流程如图 4 所示。试样采用的是 34.29 tex、45.45 tex、58.3 tex 的 3 种棉纱,试样长度是 100 cm,实验温度为 30°,相对湿度为 65%。



图 3 步进电机控制界面

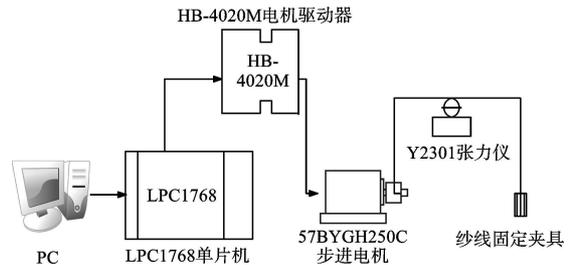


图 4 实验流程图

多次测量的实验数据如表 1 所示。

表 1 拉伸实验数据

脉冲个数	伸长量 /cm	张力/N		
		34.29 tex	45.45 tex	58.3 tex
0	0	0	0	0
40	0.44	7.28	12.60	18.97
80	0.88	23.08	28.00	44.60
120	1.32	38.03	46.78	77.51
160	1.76	47.09	67.90	140.44
200	2.20	54.11	86.45	107.44
240	2.64	63.17	107.75	165.99
280	3.08	73.14	126.45	198.20
320	3.52	100.87	145.45	229.70

多次实验得到数据如表1所示,电机步进角为 $1.8^\circ$ ,直径为0.7 cm,可以得到脉冲个数与伸长量的关系。通过正交回归计算<sup>[12]</sup>可以得到参数如表2所示。

表2 理论曲线系数

纱线号数	$B_0$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$
34.29 tex	0.555 76	33.888 01	-8.033 29	1.453 24	5.632 4
45.45 tex	0.760 96	19.250 62	17.831 43	-4.972 34	0.474 78
58.3 tex	1.385 1	14.531 02	64.473 99	-32.791 06	7.761 77

拉伸曲线和理论推导的4次回归方程曲线进行比较,得到的棉纱线理论曲线与实验曲线图如图5所示。

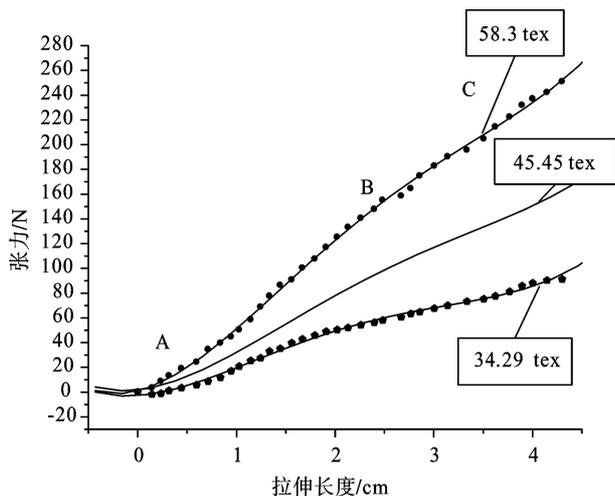


图5 棉纱线理论曲线与实验曲线图

由图5可知,理论推导模型与实验拉伸曲线基本一致(误差在5%内),表明该推导模型可以反映纱线拉伸曲线。在没有考虑别的因素(温度、频率等)影响下,具有粘弹性的纱线模型可用多项式表示,一般四阶多项式可以达到足够精度。拉伸曲线可以分成3个不同的区域:A为线性区;B为屈服区;C为强化区。拉伸曲线3个不同区域的变形原理是不同的。A区纤维产生的伸长是由于分子链本身的伸长和无定性区中缚结分子链伸展时,分子链间横向次价键变形产生的结果,即分子链由卷取到伸直产生的结果。B区是在A区基础上,分子链受力增加而导致断裂,使得分子链进一步伸展。在这一阶段,纤维伸长容易,张力上升缓慢。C变形主要是纤维大分子链键长和键角改变所致,直至纤维断裂。这一阶段,由于纤维中分子链经过屈服流动

后,分子链已充分伸直,进一步拉伸分子链比较困难。

### 3 结束语

通过对纱线拉伸曲线的分析,本研究建立了标准线固体和非线性弹簧并联的四元件非线性粘弹性模型。通过对棉纱线进行实验分析,得到棉纱线拉伸实验曲线与理论曲线,这两曲线符合程度较好(误差在 $\pm 5\%$ ),证明该模型可以用来描述纱线力学行为。本研究假设纱线加速度为常量,但现实中加速度为常量往往会使设备受到较大刚性冲击,因此使用不多,纱线加速度运动方式以及更好的模型需要做进一步的研究。

### 参考文献(References):

- [1] 王瑞. 纺织品质量控制与检验[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [2] 于伟东,储才元. 纺织物理[M]. 上海:东华大学出版社,2002.
- [3] 来震. 织机经纱张力模型的建立和分析[J]. 丝绸,2004,41(8):34-37.
- [4] 林坤,吴震宇,郑舟. 基于单神经元自适应算法的经纱张力控制器设计[J]. 现代纺织技术,2010(9):45-47.
- [5] BAUMGART M D, PAO L Y. Robust control of nonlinear tape transport systems with and without tension sensors[J]. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control* 2007,129(1):41-55.
- [6] 姜怀. 纺织材料学[M]. 上海:东华大学出版社,2009.
- [7] 催世忠,石风骏. 大豆蛋白质纱线拉伸性质的研究[J]. 纺织学报,2003,24(6):29-30.
- [8] 石风骏,刘萍,张颖,等. 氨纶包芯纱拉伸性能建模的研究[J]. 纺织学报,2005,26(2):56-58.
- [9] 吕立斌,杜梅,赵磊. 涤/棉/丝三组分 Sirofil 复合纱的拉伸性能分析[J]. 纺织学报,2007,28(6):45-47.
- [10] 何平笙,朱平平,杨海洋. 高聚物粘弹性力学模型的等当性[J]. 高分子材料科学与工程,2010,26(11):169-171.
- [11] ZHAO Hai-yu. Iterative learning velocity and tension control for single span axially moving materials [J]. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*,2008,130(5):1-6.
- [12] 张成军. 实验设计与数据处理 [M]. 北京:化学工业出版社,2006.

[编辑:李辉]