

DOI: 10.13475/j.fzxb.20170901405

采用 ABAQUS 的粘胶机织物拉伸力学性能仿真

刘倩楠, 刘新金

(生态纺织教育部重点实验室(江南大学), 江苏 无锡 214122)

摘要 为预测织物拉伸性能,采用有限元方法对织物拉伸力学性能进行数值模拟分析。在实测织物几何结构参数的基础上,借助纺织建模软件 Texgen 建立了织物模型;利用有限元软件 ABAQUS 模拟织物拉伸环境,设置材料属性、相互作用和边界条件,得到织物拉伸变形后应力分布云图以及拉伸时应力-应变曲线图等数值模拟结果;最后通过织物拉伸强力测试实验对数值模拟结果进行了验证。结果显示:模拟所得应力-应变曲线和实验所得拉力-伸长曲线上升趋势大致相同;模拟所得最大拉伸应力与实验所得拉伸应力平均误差为 3.03%,证明采用 ABAQUS 有限元软件模拟粘胶织物拉伸力学性能是可行的。

关键词 粘胶平纹织物; 拉伸力学性能; 几何模型; 有限元模拟

中图分类号: TS 101.8 文献标志码: A

Tensile mechanical properties simulation of viscose woven fabrics based on ABAQUS

LIU Qiannan, LIU Xinjin

(Key Laboratory of Eco-Textiles (Jiangnan University), Ministry of Education, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract In order to predict fabric tensile properties, the finite element method was used to analyze the tensile mechanics of the fabric. Based on the geometric structure parameters of the fabric, the fabric model was established by using the textile modeling software Texgen, and the material properties, interaction and boundary conditions were set in the finite element software ABAQUS to simulate the tensile mechanical properties of the fabric, strain-strain curve and stress distribution after extension and deformation. Finally, the simulation results were verified by the tensile strength test of the fabric. The results show that the simulated stress-strain curve is approximately the same as the tensile-elongation curve of the experiment. The error between maximum tensile stress and the experimental tensile stress is 3.03%, which proves that ABAQUS finite element software can simulate the reliability of viscose fabric tensile mechanical properties.

Keywords viscose plain weave fabric; tensile mechanical property; geometric model; finite element simulation

拉伸破坏作为机织物最基本的力学性能,在纺织品的设计和生产中有着重要的参考价值。近年来,许多研究人员采用了有限元理论分析法^[1]研究机织物拉伸力学性能。曹荣平^[2]利用 ABAQUS 有限元软件模拟了机织物建筑膜材料单轴向与双轴向的拉伸,讨论了材料属性、Step 值、纱线相互作用等因素对机织物建筑膜材料拉伸模拟结果的影响;程建芳等^[3]利用有限元软件 ANSYS 求解 Kevlar 129

纱线及织物带有主应力断裂失效准则的弹性正交各向异性材料模型,分析了织物的拉伸力学性质。这类研究均是基于纱线的材料属性和织物的结构特征建立机织物三维细观模型,利用有限元软件创建拉伸环境模拟织物拉伸过程,求解数学模型。

由于机织物中经纬纱的挤压变形,单纱材料的非线性和织物拉伸时影响因素的多样性,导致机织物拉伸模型求解存在一定的难度。随着专业纺织建

收稿日期: 2017-09-05 修回日期: 2018-01-26

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK20170169); 江苏省产学研项目(BY2016022-27); 江苏省科技成果转化项目(BA2014080)

第一作者简介: 刘倩楠(1993—),女,硕士生。主要研究方向为织物性能的有限元模拟。

通信作者: 刘新金, E-mail: liuxinjin2006@vip.163.com。

模软件的开发和有限元软件的应用,突破了织物三维建模的难度和拉伸环境设置的局限性。本文以粘胶平纹织物为例,基于织物结构参数,借助专业纺织建模软件 Texgen 建立织物模型,利用有限元软件 ABAQUS 模拟织物拉伸力学性能,并通过实验验证模拟数值结果。

1 实验部分

1.1 粘胶单纱强力测试

从织物中取出带有屈曲的单根纱线,参照 GB/T 3916—1997《纺织品 卷装纱 单根纱线断裂强力和断裂伸长率的测定》^[4],使用 YG020B 型电子单纱强力机,设置有效加持距离为 200 mm,拉伸速度为 200 mm/min,分别对织造粘胶织物的经纬单纱

重复测试 10 次,结果取平均值,得到粘胶单纱拉伸强力参数,如表 1 所示。

表 1 单纱拉伸强力参数

Tab.1 Single yarn tensile strength parameters

纱线类型	密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	强力/ eN	伸长率/ %	弹性模量/ MPa	泊松比
经纱	0.85	224.33	8.76	835	0.3
纬纱	0.85	190.33	11.45	543	0.3

1.2 粘胶织物拉伸性能测试

粘胶平纹织物规格如表 2 所示,按照 GB/T 3923.1—2013《纺织品 织物拉伸性能 第 1 部分:断裂强力和断裂伸长率的测定(条样法)》说明,用条样法将织物制作成规格为 35 cm × 5 cm 的试样,使用 YG026D 型多功能电子织物强力机^[5],设置隔距 200 mm,拉伸速度 100 mm/min,重复测试 5 次。

表 2 织物规格参数

Tab.2 Fabric specification parameters

组织	纱线线密度/tex		捻度/(捻·(10 cm) ⁻¹)		密度/(根·(10 cm) ⁻¹)		紧度/%	面密度/ ($g \cdot m^{-2}$)	织物厚度/ mm
	经纱	纬纱	经纱	纬纱	经纱	纬纱			
平纹	14.8	14.8	93(Z)	153(S)	267.5	220.5	57.51	87.41	0.265

2 有限元模拟

2.1 Texgen 模型建立

Texgen 织物仿真软件可准确地模拟纱线或织物的几何结构^[6],其良好的图形用户界面(GUI)使用户可以在“Weave Wizard”中设置经纬纱数量、纱线间隔、纱线宽度、纱线高度、织物厚度和经纬纱交织形式等一系列指标,完成模型的初步建立;在“Modeller”中设置纱线截面形状、屈曲形态和纱线属性等参数进一步细化模型。

本文将表 3 所示粘胶平纹织物的几何结构参数输入 Texgen 软件,得到如图 1、2 所示的织物经向和纬向拉伸模型。再将建立的模型以 .stp 格式输入有限元软件 ABAQUS 中进行拉伸力学性能分析^[7]。

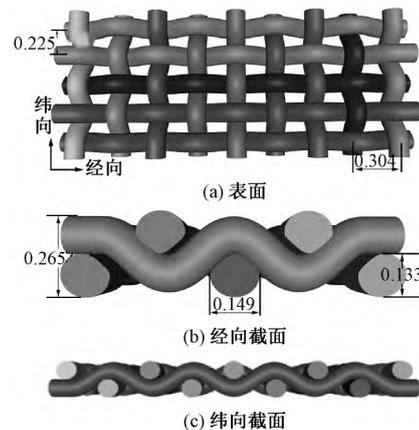
表 3 织物几何结构参数

Tab.3 Fabric geometry parameters mm

纱线类型	宽度	高度	间距
经纱	0.149	0.133	0.225
纬纱	0.149	0.133	0.304

2.2 ABAQUS 有限元模拟

ABAQUS 是一套功能相对强大的有限元分析软件,既能分析简单的线性静力学问题,又能解决工程中复杂模型的高度非线性问题^[8]。ABAQUS 有限元分析时有 ABAQUS/CAE 前处理、分析计算、



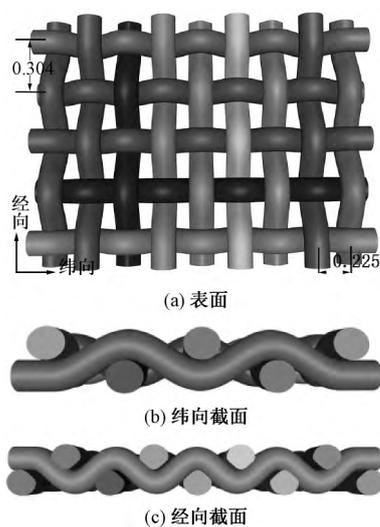
注:图中数值单位为 mm。

图 1 织物经向拉伸模型

Fig.1 Fabric stretch model in warp direction. (a) Model surface; (b) Warp wise section; (c) Weft wise section

ABAQUS/Viewer 后处理 3 个阶段,其中分析计算阶段有 ABAQUS/Standard 和 ABAQUS/Explicit 2 种分析形式,ABAQUS/Standard 可分析广泛领域的线性和非线性问题,但对于短暂、瞬时的动态事件的模拟,以及冲击和高度不连续问题的求解不及 ABAQUS/Explicit。粘胶平纹织物的拉伸实验中实验材料属于非线性材料,且织物交织过程中经纬纱之间存在一定的摩擦,拉伸时经纬纱线间产生滑移,所以更适合使用 ABAQUS/Explicit 显示分析。

在 ABAQUS/CAE 中导入 Texgen 创建的织物模



注: 图中数值单位为 mm。

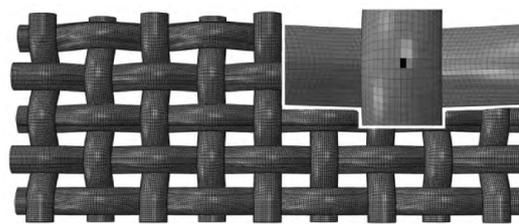
图2 织物纬向拉伸模型

Fig. 2 Fabric stretch model in weft direction. (a) Model surface; (b) Weft wise section; (c) Warp wise section

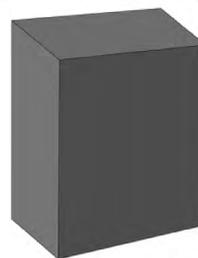
型, Property 模块将纱线定义为弹塑性材料, 即应力低于屈服点时, 表现为弹性行为, 应力大于屈服点后, 发生塑性变形。参照表 1 数据, 赋予经纬纱这种非线性材料属性^[9]。经纬纱非线性材料属性基于纱线体积质量, 通过弹性模量和泊松比定义纱线弹性行为, 塑性应力和应变定义纱线的塑性变形。

分析计算阶段采用动态显示分析, 用 Step 模块创建初始分析步后, 选择“Dynamic Explicit”为“Step1”, 设置“Time Period”为 1E-5, 然后设置相应的场输出和历程输出, 并将输出频率设置为 200; 用 Interaction 模块定义织物中经纬纱的接触, 在“Step1”下设置“General contact(Explicit)”, 定义纱线与纱线间切向摩擦系数为 0.17; 用 Load 模块设置 1 个“PINNED(U1 = U2 = U3 = 0)”的边界条件, 将织物一端固定, 并且给另一端定义 1 个 100 mm/min 的拉伸速度; 用 Mesh 模块分别对经纬纱进行网格划分, 设置网格种子尺寸为 0.1, 由于纱线截面近似椭圆形, 采用中性轴算法用六面体对织物模型进行网格划分, 将其划分为若干个单元, 图 3 示出粘胶平纹织物经向拉伸试样网格模型。其中图 3(b) 为 3(a) 中黑色方格所表示的单元; 在 Job 模块给要分析的模型数据创建 1 个作业, 进行提交计算。

在 ABAQUS/Viewer 后处理阶段显示 ODB 文件中的分析计算结果, 包括变形前/后的模型图、矢量/张量符号图、材料方向图、各种变量的分布云图、变量的 X-Y 图表、动画等^[10]。本文分别模拟了粘胶平纹织物的经向拉伸和纬向拉伸, 其应力分布情况如图 4 所示(图中颜色越深, 表示应力越大)。



(a) 经向拉伸试样网格模型



(b) 网格模型中黑色方格所示单元

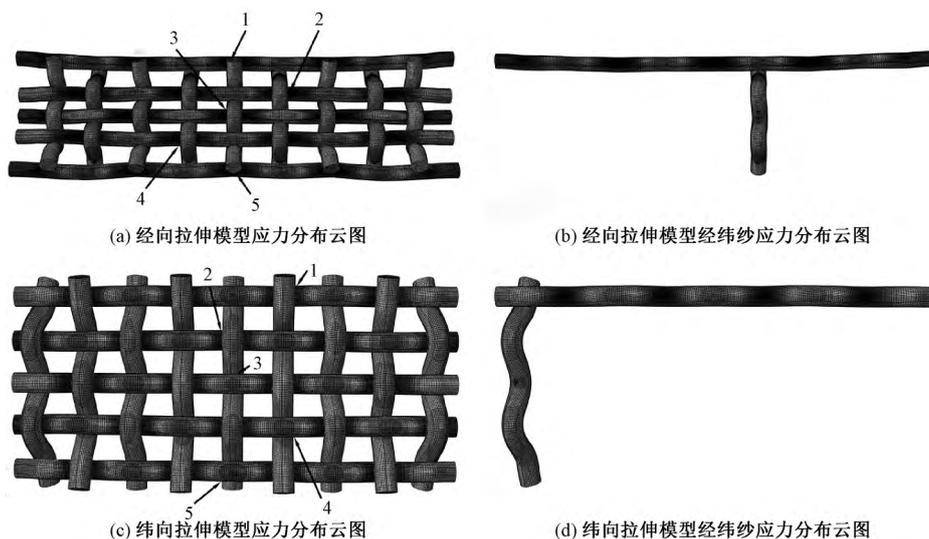
图3 织物网格模型

Fig. 3 Mesh model of fabric. (a) Mesh model of stretch in warp direction; (b) Element shown in black square of mesh model

从图 4 可看出, 织物模型拉伸后发生变形, 此时经纬纱上均出现应力分布。经向拉伸时, 经纱上分布的应力较纬纱明显许多, 这是由于织物经向拉伸过程中, 经纱从屈曲状态被拉直, 然后再被拉伸, 起到了主要的拉伸作用, 而纬纱由于拉伸过程中纱线之间产生滑移、摩擦等作用(Interaction 模块赋予了纱线间 0.17 的摩擦因素), 因此在拉伸过程中, 通过经纬交点点的应力传递, 产生一定的应力分布; 纬向拉伸时, 纬纱承受主要的拉伸作用, 纬纱上分布的应力较明显, 经纱由于拉伸过程中纱线之间产生滑移、摩擦等作用, 经经纬交点点的应力传递, 产生一定的应力分布。图 4(b)、(d) 为通过 ABAQUS 的“Remove Selected”选项, 移除其余经纬纱, 仅剩 1 根经纱和 1 根纬纱, 从图上可清晰地看出织物拉伸过程中经纬纱的受力情况。经向拉伸时, 经纱上纱线交点处所受应力最大, 为 23.78 MPa, 纬纱上纬纱边缘所受应力最小, 为 6.266×10^{-3} MPa; 纬向拉伸时, 纬纱上纱线交点处所受应力最大, 为 15.27 MPa, 经纱上经纱边缘所受应力最小, 为 4.399×10^{-3} MPa。

3 结果与分析

采用 YG026D 型多功能电子织物强力机对粘胶平纹织物进行 5 次测试, 分别得到织物经向拉伸和纬向拉伸的平均拉伸断裂强力、拉伸长度、伸长率等参数如表 4 所示。将其转化为拉力-伸长曲线, 结果如图 5 所示。



注: 图中 1、2、3、4、5 表示节点。

图 4 织物模型拉伸变形后应力分布情况

Fig. 4 Stress distribution of fabric model after tensile deformation. (a) Stretch in warp direction stress pattern of fabric model; (b) Stretch in warp direction stress distribution of warp and weft yarn; (c) Stretch in weft direction stress pattern of fabric model; (d) Stretch in weft direction stress distribution of warp and weft yarns

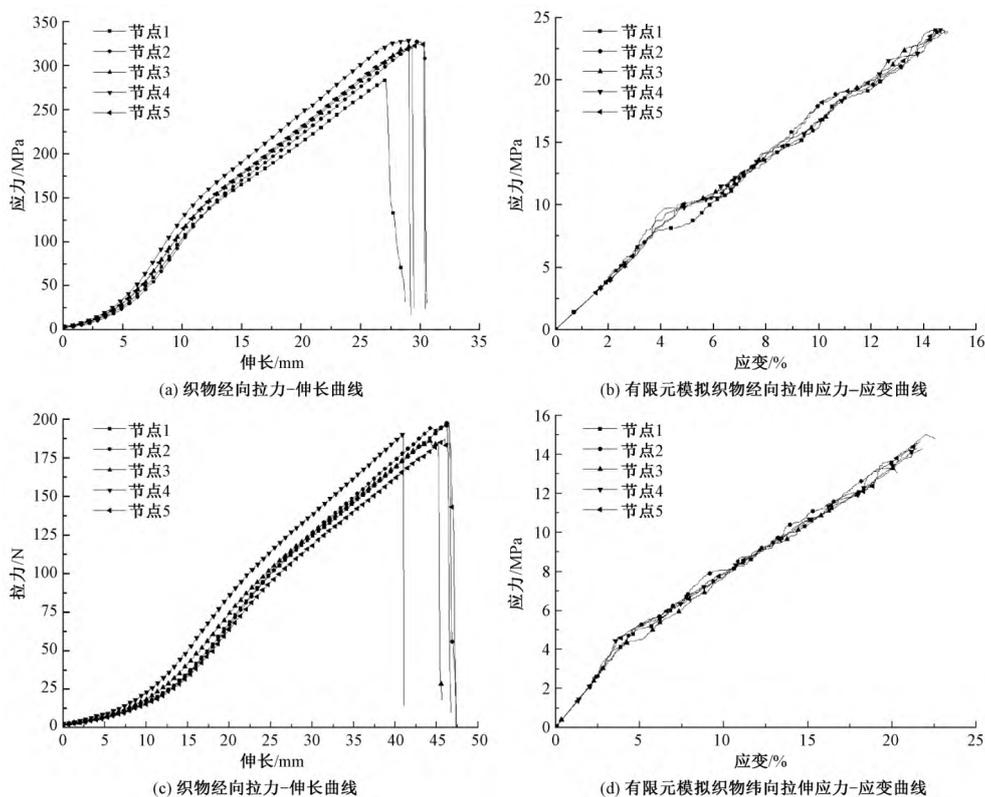


图 5 织物拉伸力学性能对比

Fig. 5 Comparison of tensile properties of fabrics. (a) Fabric tension-elongation curve of stretch in warp direction; (b) Finite element simulation of tensile stress-strain curve of stretch in warp direction; (c) Fabric tension-elongation curve of stretch in weft direction; (d) Finite element simulation of tensile stress-strain curve of stretch in weft direction

织物在被拉伸的过程中屈曲的纱线首先被拉直, 然后进入弹性变形阶段, 在这个阶段纱线所受拉伸强力呈线性增长, 当达到最大断裂强力时, 断裂强

度最低的纱线开始断裂, 接着大部分纱线断裂, 部分纱线滑移致使织物被拉断。

实际中纱线由纤维组成, 织物拉伸时组成纱线

表4 织物拉伸强力参数

Tab.4 Fabric tensile strength parameters

拉伸方向	强力/N	伸长/mm	伸长率/%	断裂时间/s
经向	317.68	28.92	14.46	17.32
纬向	191.87	44.77	22.39	26.82

的纤维间会产生滑移、剪切、摩擦等一系列的作用,织物的断裂实际上是织物中纱线的断裂,而纱线的断裂则是纱线中纤维的滑移和断裂。图5(b)、(d)所示为有限元模拟织物拉伸的应力-应变曲线图(所选节点分别为织物变形后经纬纱交织点处经纱和纬纱上节点,见图4(a)、(c)),有限元模拟时,将纱线看做一个整体,赋予其非线性的材料属性,使其产生理论化的变形,但是忽视了纱线中纤维断裂的随机性,达到最大应力时开始产生脆性断裂。

对比图5(a)与图5(b)~(d),发现2类曲线的上升趋势大致相同,并且均上升至某最大值;根据织物拉伸强力测试得到粘胶平纹织物经向拉伸强力317.68 N、纬向拉伸强力191.87 N,经公式 $\sigma = F/A$ (式中: σ 为拉伸应力,MPa; F 为拉伸强力,N; A 为拉伸切线方向横截面积, mm^2)转换得到经向拉伸应力为24.82 MPa,纬向拉伸应力为14.99 MPa,利用相对误差计算公式可得到模拟与实验的相对误差分别为4.19%、1.87%,经均值计算,平均误差为3.03%,说明有限元软件ABAQUS可用来模拟粘胶机织物拉伸力学性能,且模拟数值具有一定可靠性。

4 结束语

利用计算机软件对织物拉伸性能进行模拟,可以使设计人员预测织物性能时,减少试纺、试织、后处理等工序,达到节约资源,降低成本,缩短周期的目的。本文借助专业纺织建模软件Texgen建立织物几何模型,利用有限元软件ABAQUS模拟粘胶织物拉伸力学性能,通过所得应力分布云图,发现了织物拉伸时应力分布规律:织物经向拉伸时,主要是经纱承受拉伸作用,经纬纱交织点处所受应力最大,纬纱受纱线间摩擦因素影响,纬纱边缘所受应力最小;织物纬向拉伸时,主要是纬纱承受拉伸作用,经纬纱交织点处所受应力最大,经纱受纱线间摩擦因素影响,经纱边缘所受应力最小。最后,通过实验验证了计算机模拟数值结果的可靠性。由于本文仅以粘胶织物为例,对于使用该方法预测织物性能是否具有普适性,还有待进一步论证。

FZXB

参考文献:

[1] 孙磊,陈韶娟,马建伟. ABAQUS在纺织上的应

用[J]. 山东纺织科技,2008(5):51-54.

SUN Lei, CHEN Shaojuan, MA Jianwei. The application of ABAQUS in textile industry [J]. Shandong Textile Science and Technology, 2008 (5): 51-54.

- [2] 曹荣平. 机织建筑膜材料拉伸力学性能的有限元模拟与分析[D]. 上海: 东华大学, 2013: 1-2.
CAO Rongping. Simulation and analysis of tensile property of woven architectural membrane material by finite element method [D]. Shanghai: Donghua University, 2013: 1-2.
- [3] 程建芳,肖露,柴晓明,等. 有限元分析法研究Kevlar129纱线及织物的拉伸性能[J]. 浙江理工大学学报, 2013, 30(5): 649-653.
CHENG Jianfang, XIAO Lu, CAI Xiaoming, et al. Study on tensile property of Kevlar 129 yarn and fabric with finite element analysis method [J]. Journal of Zhejiang University of Science and Technology, 2013, 30(5): 649-653.
- [4] 胡宏艳,田金家,张晓滨,等. 单纱断裂强力测试影响因素分析[J]. 棉纺织技术, 2016, 44(11): 48-51.
HU Hongyan, TIAN Jinjia, ZHANG Xiaobin. Influence factor analyses of breaking strength test to single yarn [J]. Cotton Textile Technology, 2016, 44(11): 48-51.
- [5] 张雯. 聚酯仿棉短纤维织物性能研究及风格评价[D]. 上海: 东华大学, 2014: 15-18.
ZHANG Wen. Study on performance and style evaluation of polyester imitation cotton staple fiber fabric [D]. Shanghai: Donghua University, 2014: 15-18.
- [6] 陈振,管江明,邢明杰. 基于TexGen的织物仿真建模及其应用方向[J]. 棉纺织技术, 2016, 44(11): 81-84.
CHEN Zhen, GUAN Jiangming, XING Mingjie. Fabric simulation modeling based on TexGen and Its application direction [J]. Cotton Textile Technology, 2016, 44(11): 81-84.
- [7] 吴佳佳,唐虹. 应用ABAQUS的织物热传递有限元分析[J]. 纺织学报, 2016, 37(9): 37-41.
WU Jiajia, TANG Hong. ABAQUS based finite element analysis of heat transfer through woven fabrics [J]. Journal of Textile Research, 2016, 37(9): 37-41.
- [8] 靳欢欢. 机织物三点梁弯曲性能有限元模拟与分析[D]. 上海: 东华大学, 2016: 13-18.
JIN Huanhuan. Simulation and analysis of three-point bending property of woven fabrics by finite element method [D]. Shanghai: Donghua University, 2016: 13-18.
- [9] 马倩. 机织物撕裂破坏机理的有限元分析[D]. 上海: 东华大学, 2011: 19-23.
MA Qian. Finite element analysis of woven fabrics tearing damage [D]. Shanghai: Donghua University, 2011: 19-23.
- [10] 邵明正. 层联机织复合材料细观结构建模与仿真[D]. 天津: 天津工业大学, 2017: 25-26.
SHAO Mingzheng. Modeling and simulation of microstructure of laminated woven composite [D]. Tianjin: Tianjin Polytechnic University, 2017: 25-26.