

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2018.01.002

基于 ADINA 流固耦合的纤维 在涡流场中的运动研究

李 炯^{1,2}, 陈洪立^{1,2}

(1. 浙江理工大学 现代纺织装备技术教育部工程研究中心, 浙江 杭州 310018;
2. 浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018)

摘 要:为了研究纤维在喷气涡流纺喷嘴中的运动状况,以 MVS861 型喷气涡流纺喷嘴为原型建立二维计算模型,运用有限元计算软件 ADINA 中的流固耦合计算模块对纤维-气流两相耦合进行数值分析,同时研究喷孔处的压力大小对两相流运动的影响。结果表明:气流经两侧喷孔喷出后,在流场内会产生涡流场推动内部纤维以波浪式运动向喷嘴出口推进;随着喷孔处的压力增大,纤维的运动周期变短、摆动频率变高;增大喷孔处的压力能够提高纤维加捻包缠的工作效率。

关 键 词:喷气涡流纺;流固耦合;有限元计算软件 ADINA;纤维变形

中图分类号:TS101.2 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2018)01-0004-05

Study on Motion of Fiber in Vortex Flow Field Based on ADINA Fluid Structure Interaction

LI Jiong^{1,2}, CHEN Hongli^{1,2}

(1. Engineering Research Center of Modern Textile Equipment Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;
2. School of Mechanical Engineer and Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: To study the fiber movement in air jet vortex spinning, the 2D computational model based on MVS861 air jet vortex spinning was developed; By using the fluid-solid interaction calculation module in the finite element calculation software ADINA, analysis result of the fiber air two-phase interaction was obtained, in the meanwhile, the influence of the pressure at the nozzle hole on the two-phase flow was studied. Simulation results show that air is ejected from the jet orifice, the vortex field is generated in the flow field and the internal fiber is pushed in a wave motion toward the nozzle exit. With the increase of the pressure at the nozzle, the fiber's period of movement becomes shorter and the frequency of fiber's oscillation frequency increases. Increasing the pressure at the nozzle hole can improve the work efficiency of twisting and wrapping of the fiber.

Keywords: air jet vortex spinning; fluid-solid interaction; ADINA; fiber deformation

流固耦合力学^[1]是流体力学与固体力学交叉而成的一门力学分支,它是研究变形固体在流场作用下的各种行为以及固体位形对流场影响这两者相互作用的一门科学,流固耦合的重要特征是两相介质之间的相互作用,变形固体在流体载荷作用下会产生变形或

运动,产生的变形或运动反过来又会影响流体运动,从而改变流体载荷的分布和大小。ADINA 流固耦合^[2]计算时,需要分别在 ADINA 结构模块(ADINA Structures)和流体模块(ADINA CFD)中建立结构模型和流体模型,然后把 2 个模型一起放到 ADINA 流固耦

收稿日期:2017-06-06;修回日期:2017-08-10

基金项目:浙江省自然科学基金项目(LY15E050027);浙江省自然科学基金项目(LZ14E050004);国家自然科学基金项目(51576180);国家自然科学基金项目(51205363)。

第一作者简介:李炯(1993),男,浙江宁波人,硕士研究生,主要研究方向为纺织装备技术。通信作者:陈洪立(1980),男,山东曲阜人,副教授,主要研究方向为纺织装备技术。E-mail:chenhldr@zstu.edu.cn

合求解器 (ADINA-FSI) 中进行求解。通过 2 个模型的耦合求解, 可以得到流场和结构场的各种结果。Zeguang Pei 等^[3-5] 建立了能够反映柔性纤维物理与力学特征的二维模型, 结合流固耦合分析得出喷气涡流纺喷嘴中的纤维在气流作用下呈现波浪形的螺旋运动, 并向下游运动。Hui-Fen Guo 等^[6] 建立了三维喷气涡流纺喷嘴数学模型分析纤维释放位置、喷气孔角度对纤维在流场中运动的影响, 得出纤维在越远离中心的位置释放其柔性越小, 喷嘴角度越小纤维包缠的位置越靠近下游, 还分析了喷嘴直径较小时的纤维螺旋结构。张勇等^[7] 求解了纤维在喷气涡流纺气流场中的运动轨迹, 得出纤维呈波浪形运动, 纤维尾端越靠近加捻室区域摆动越明显。刘一君^[8] 通过有限元软件 ADINA 对织物在气流场中的动态弯曲变形运动进行了仿真计算得出模拟结果与实验结果完全一致。金玉珍等^[9] 建立了喷气织机主喷嘴纤维和气流耦合方程, 通过耦合分析得出纤维在气流作用下呈现正弦或余弦形式波动。课题组采用有限元软件 ADINA 进行数值计算, 采用迭代求解方式, 建立流场模型和结构模型并分别求解, 再将 2 个模型各个时间步之间耦合迭代, 收敛后进行后处理。

1 二维纤维-气流耦合模型

1.1 计算模型

课题组以 MVS861 型喷气涡流纺喷嘴^[10]为原型,以喷孔与入口平面夹角 30°为例,结合相关参数建立模型,具体尺寸如图 1 所示。其中定义纤维长度为 7.00 mm,纤维直径为 0.10 mm。

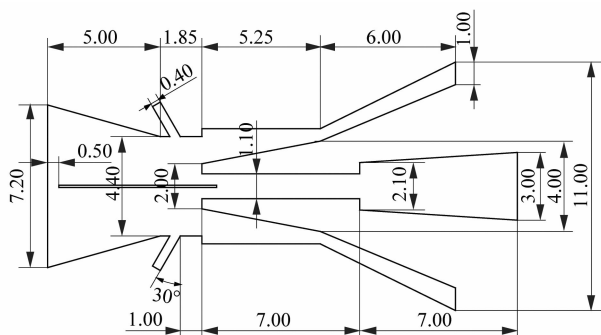


图 1 二维喷嘴模型

Figure 1 Two-dimensional nozzle model

1.2 定义材料属性

计算采用的流场定义为黏性不可压缩空气, 气体密度为 1.225 kg/m^3 , 黏度为 $1.789 4 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$; 纤维采用棉纤维, 其材料特性为: 密度为 $1 540 \text{ kg/m}^3$, 泊

松比为0,弹性模量为8 GPa。

1.3 边界条件设定

在喷孔入口处设置为压力入口,设置压力值分别为 0.3、0.4、0.5 MPa,设置纤维出口和喷嘴出口为自由出入口,设置喷嘴壁面为无滑移壁面条件,纤维与气流的交界面设置为流固耦合界面,设置纤维入口存在沿着纤维方向速度值为 10 m/s 的速度边界条件,以模拟四罗拉牵伸后纤维尾端进入纤维入口时的速度。

1.4 模型选择和初始条件设定

已知喷气涡流纺喷嘴中的气流流动属于湍流流动,对流场全局采用 Laminar 模型计算,设置流场内初始气压为 1 个大气压,将时间步长设置为 $2\ \mu\text{s}$,共模拟 1 500 步。

1.5 网格划分

分别对结构模块和流场模块进行网格划分,由于二维模型相对简单,故直接对流场模块采取自由网格划分并勾选网格自适应选项,将全局网格设置为 0.10 mm,对纤维部分进行网格加密,设置网格为 0.05 mm;结构模块只需对纤维和可能与纤维进行接触的部分进行网格划分,对可能与纤维接触的内管壁面设置网格密度为 0.10 mm,纤维部分同样为加密网格 0.05 mm,流场模块总网格数为 21 952,结构模块总网格数为 840。经 1.1 ~ 1.5 小节的设置后流场模块和结构模块如图 2 所示。

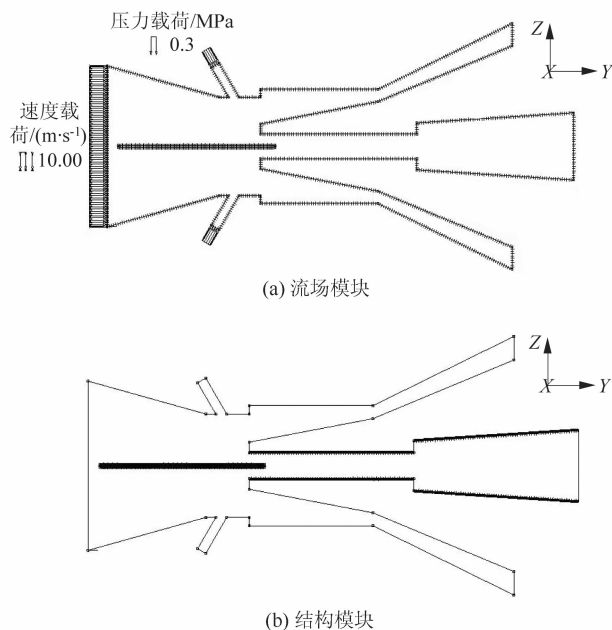


图2 ADINA 分块网格划分

Figure 2 ADINA block meshing

2 流固耦合结果分析

2.1 流场分析

选取入口压力为 0.3 MPa 时进行分析,速度云图及压力云图如图 3 所示。由速度云图 3(a)可知气流经喷孔进入加捻腔后速度存在一个递减的过程,气流在加捻腔内部被分成 3 部分:第 1 部分气流经加捻腔外壁和空心锭外壁之间的间隙向下游游动并从喷嘴出口喷出;第 2 部分气流贴着纤维部分进入纱线通道并向纤维出口推进;第 3 部分气流贴着纤维部分向纤维入口方向流动形成回流。由压力云图 3(b)可知,当计算至 0.000 4 s 时纤维两侧开始出现压力分布不对称现象,正是这种压差的存在使纤维开始发生弯曲变形,随着时间的推移这种压力不对称现象会越来越明显。

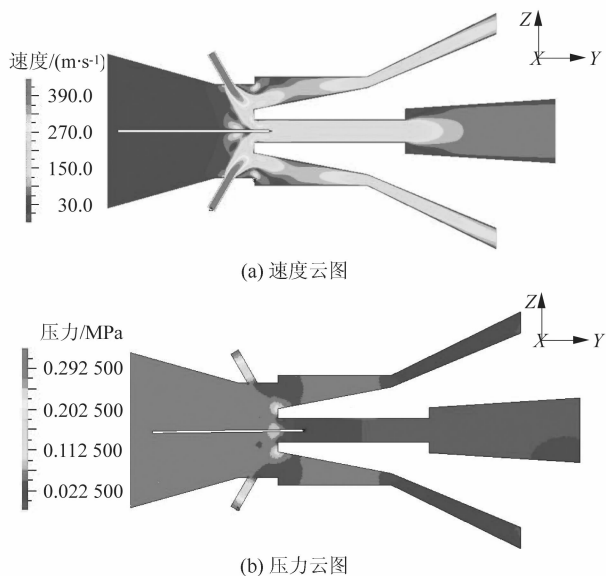


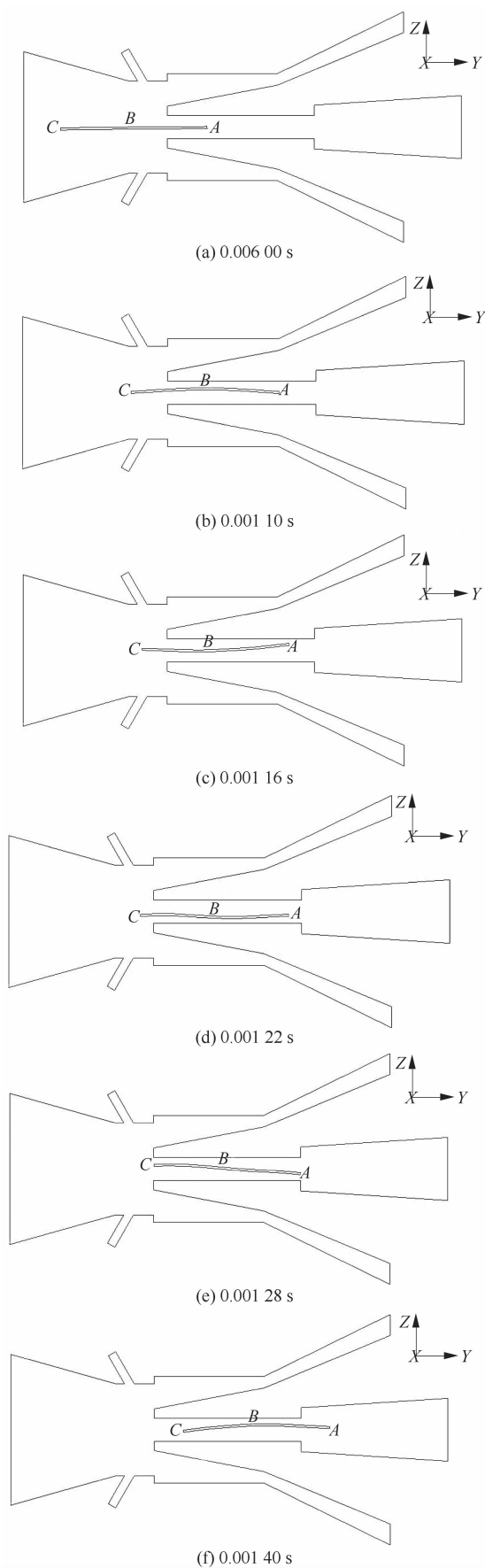
图 3 云图显示

Figure 3 Nephogram display

2.2 纤维运动分析

纤维在气流场作用下的运动特点决定了纤维加捻成纱的物理形态和力学特性,为便于分析在纤维上选取 A、B、C 共 3 个参考点,其中 A 端表示纤维尾端中点位置, B 端表示纤维中点位置, C 端表示纤维头端中点位置。

图 4 所示为不同时刻时纤维的运动状态,从截取的 8 个时刻来看,纤维会随着时间的变化发生弯曲变形,刚开始时纤维尾端以微小的幅度摆动,随着流场达到稳态,纤维尾端以较大幅度摆动,纤维整体呈现波浪式上下摆动并逐渐进入纱线通道向下游游动,纤维在纱线通道中会不断与壁面发生碰撞,这种上下摆动在实际的三维流场中体现为纤维的螺旋转动。



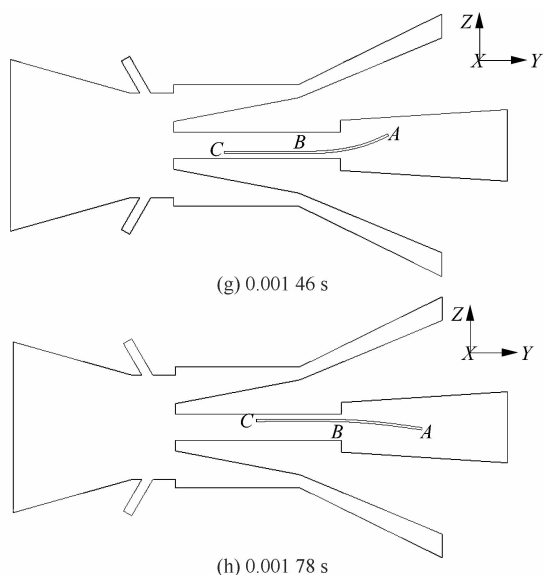
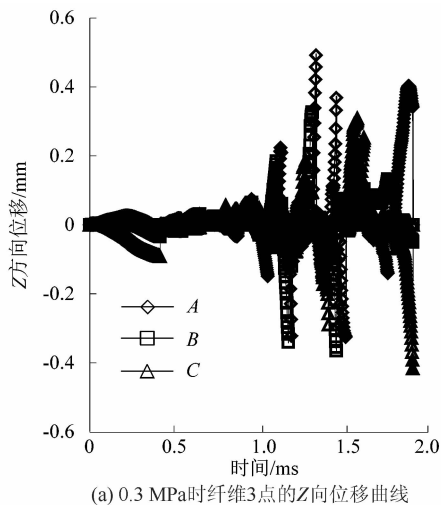


图 4 不同时刻纤维运动状态

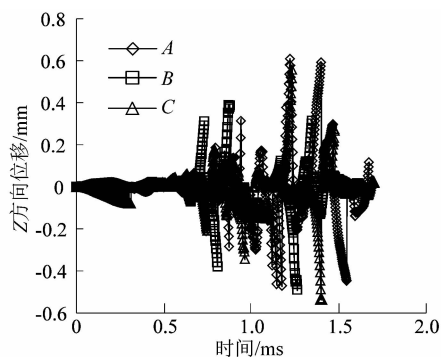
Figure 4 Fiber movement at different moments

3 不同压力时纤维运动分析

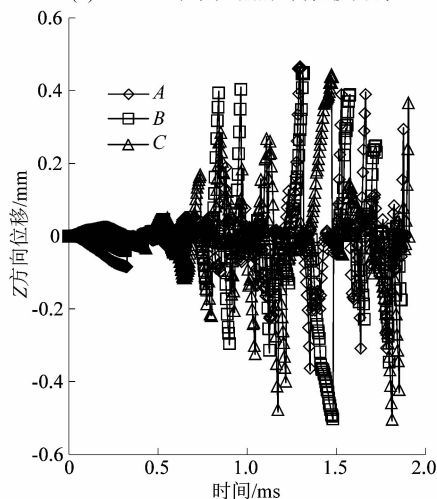
提取在不同压力入口时纤维上 A、B、C 这 3 点随时间变化的 Z 向位移进行对比分析,由图 5(a)得到纤维上 3 点由最初的小幅摆动到稳定状态后的较大幅度摆动且整个运动呈现出周期性,随时间变化 A 点动作要优于 B 点及 C 点,纤维上不同点在同一时刻上的位移差异使得纤维以波浪式向下游游动。如图 5(b)和图 5(c)所示,当入口压力增大后,纤维上 3 点位移运动规律相似,而摆动幅度略有提高,运动频率明显加快,周期明显缩短。由图 5(d)纤维尾端上 A 点在不同压力情况下的位移分析可知,随着压力的增大相同点的位移幅度会增加,其摆动频率也相应增加,综上所述说明随着压力的增加纤维在加捻腔内包缠加捻的速率变快,这样能够提高纤维的加捻强度。



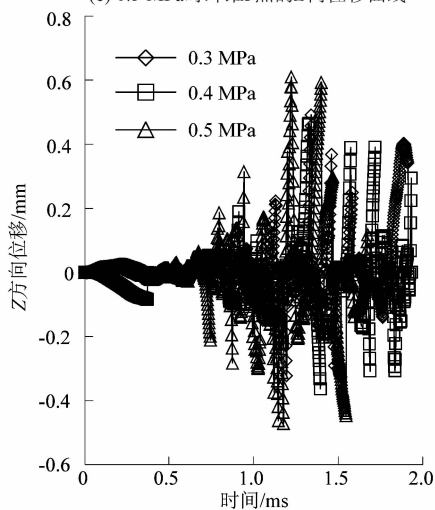
(a) 0.3 MPa 时纤维 3 点的 Z 向位移曲线



(b) 0.4 MPa 时纤维 3 点的 Z 向位移曲线



(c) 0.5 MPa 时纤维 3 点的 Z 向位移曲线



(d) 不同压力下纤维 A 点 Z 向位移曲线

图 5 纤维 3 点位移曲线

Figure 5 Three points' displacement curve

4 结论

课题组利用有限元分析软件 ADINA 研究了二维喷气涡流纺喷嘴纤维-气流两相耦合,研究了纤维在气流场作用下的位移及速度曲线,得出以下结论:

(下转第 12 页)