

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.05.008

三维编织机携纱器运动仿真分析与实验研究^{*}

徐海亮,刘宜胜^{*},袁嫣红

(浙江理工大学 机械与自动控制学院,浙江 杭州 310018)

摘要:针对旋转式三维编织机携纱器运动研究方面存在的不足,对旋转式三维编织机进行了动力学研究,通过 SolidWorks 软件建立了旋转式三维编织机简化后的三维模型,然后导入 ADAMS 中,对简化后的模型添加了运动副以及驱动,设置了合理的仿真参数并进行了动力学仿真分析;通过改变轨道半径以及角导轮的角速度,得到了不同轨道半径下、不同角速度下携纱器的速度变化规律;并通过实验研究验证了仿真分析的正确性。研究表明,携纱器的速度曲线存在周期性,周期与角速度的乘积近似为 2π ;在过渡处速度达到峰值,存在较大接触冲击;结果可为后续的旋转式三维编织机轨道优化打下基础。

关键词:三维编织机;携纱器;ADAMS;实验

中图分类号:TH113;TS103.33⁺7.9

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)05-0465-05

Motion simulation and experiment of yarn carrier in three-dimensional braiding machine

XV Hai-liang, LIU Yi-sheng, YUAN Yan-hong

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

Abstract: Aiming at the deficiency of the research on the motion of the yarn carrier of the rotary three-dimensional braiding machine, the dynamic study of the rotary three-dimensional braiding machine was carried out, the simplified three dimensional model of the three-dimensional braiding machine was established by the software of SolidWorks, and then which was imported into ADAMS. The kinematic pair and the drive were added to the simplified model, the reasonable simulation parameters were set, and the dynamic simulation analysis was carried out. By means of changing the radius of the track and the angular velocity of the angle guide wheel, the regularity of velocity of the yarn carrier was obtained under different radius of the orbit or different angular velocity. And the correctness of the simulation analysis was verified through the experiment study. The results indicate that the velocity curve of yarn carrier has a periodicity, the product of the period and the angular velocity is approximately 2π . At the transition, the velocity reaches the peak, and there is a large contact impact, which lays the foundation for the follow-up orbit optimization of the rotary three-dimensional braiding machine.

Key words: three-dimensional braiding machine; yarn carrier; ADAMS; experiment

0 引言

编织是一种通过沿织物成型方向取向的多根纱线按照特定的规律倾斜交叉,使纱线相互交织在一起的工艺^[1]。最初的编织形式,就像编辫子一样,几根纱

线的一端被固定住,而另一端的纱线则按着一定的规律进行手工编织,从而使纱线相互交织在一起,形成编织物^[2-3]。而三维编织则是通过经纬纱和轴向纱线的运动完成编织。其可以应用于航空航天、生物组织材料、风力发电的风叶等领域^[4]。

收稿日期:2016-11-18

基金项目:浙江省公益技术研究国际合作项目(2016C34008)

作者简介:徐海亮(1989-),男,江苏宿迁人,硕士研究生,主要从事机械结构、仿真分析等方面的研究。E-mail:1576255612@qq.com

通信联系人:刘宜胜,男,博士,副教授。E-mail:lysleo@zstu.edu.cn

在此之前,国内外的研究人员对编织机进行了分析研究。其研究主要集中在 4 个方面,即编织机张紧机构的建模和分析;不同横截面的编织结构及其对应的编织过程研究;编织预成型中纱线的轨迹预测以及编织复合材料力学性能研究^[5-8]。编织机动力学方面的研究主要为竹席编织机和五朔节花柱编织机的动力学仿真研究^[9],对于本研究中三维编织机携纱器的运动情况,即携纱器速度,加速度等方面的研究则没有涉及。所以对三维编织机携纱器的运动进行一定的研究是必要的。

本研究以旋转式三维编织机的携纱器为主要研究对象。其基本步骤如下:首先,在 SolidWorks 中建立旋转式三维编织机零部件简化后的三维模型,并在其中进行装配组合;其次,将简化后三维模型以 parasolid 格式导入 ADAMS 中,并添加复杂的约束和驱动力,设置合理的仿真参数,对模型进行运动仿真分析,得到携纱器的速度曲线。最后对旋转式三维编织机携纱器运动进行实验研究,通过实验研究验证仿真分析的正确性。

1 三维编织机建模及其仿真分析

旋转式三维编织机的运动简图如图 1 所示。

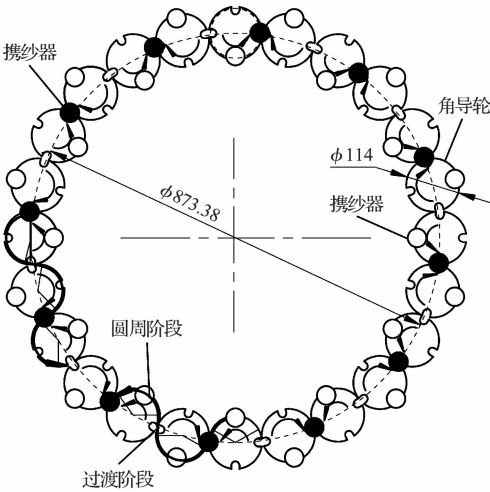


图 1 三维编织机运动简图

其工作原理为:启动电机,电机带动相互啮合的齿轮转动,从而使与齿轮相连的角导轮转动,携纱器在角导轮的驱动下按着特定的轨道进行运动,从一个角导轮传递到另一个角导轮,从而使携纱器上纱线运动,经纬纱与轴纱配合完成编织。

本研究通过旋转式三维编织机的样机,利用 SolidWorks 建立旋转式三维编织机的简化模型。其简化后的三维模型如图 2 所示。

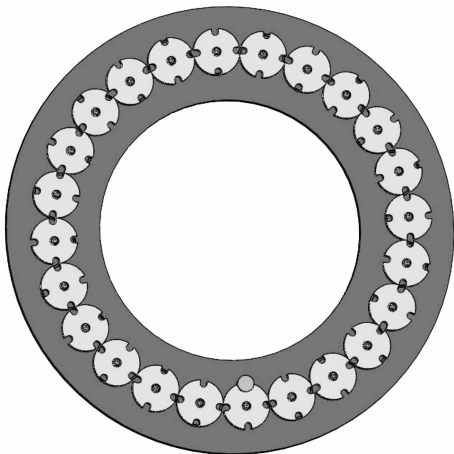


图 2 三维编织机三维简化模型

旋转式三维编织机携纱器的仿真通过 ADAMS 软件实现。对于刚性系统,ADAMS 采用变系数的向后微分公式刚性积分程序,它是自动变阶、变步长的预估校正法,并分别以 I3、SI2、SI1 积分格式,在积分的每一步采用了修正的 Newton-Raphson 迭代算法^[10]。

旋转式三维编织机仿真步骤如下:启动 ADAMS 软件,导入三维模型的 parasolid 格式文件,对简化后的三维模型添加运动副,驱动,接触等,设置仿真参数,然后进行仿真。积分格式、步长的不同,仿真结果也会出现较大的差别。故通过选择合理的仿真参数能大幅提高设计的效率。

本研究对照仿真出现的问题,调整模型和仿真参数,进行运动仿真^[11-15]。最后仿真步数设置为 600 步,时间 6 s,积分器选择为 WSTIFF,积分格式为 SI1,积分误差为 0.001,最大迭代为 25 阶。

仿真添加的约束如表 1 所示。

表 1 系统中的主要约束关系

构件 1	构件 2	运动副名称
编织盘	大地	Fixed Joint
角导轮	大地	Revolute Joint
角导轮	相邻角导轮	Gear Joint
角导轮	携纱器	Contact1
编织盘	携纱器	Contact2

角导轮的初始转动角速度为 π rad/s,轨道半径为 53 mm。为了研究不同角速度下携纱器的运动情况,笔者调节角导轮的角速度分别为 $5\pi/6$ rad/s, $2\pi/3$ rad/s。其仿真曲线如图 3 所示。

为了研究不同的轨道半径下携纱器的运动情况,笔者调节轨道半径分别为 47 mm, 50 mm,角导轮角速度为 π rad/s,施加运动副,接触以及动力,然后进行仿真,仿真曲线如图 4 所示。

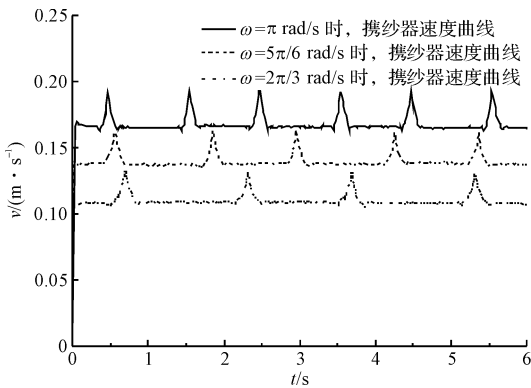


图3 $r_1 = 53\text{ mm}$,不同角速度下携纱器速度仿真曲线

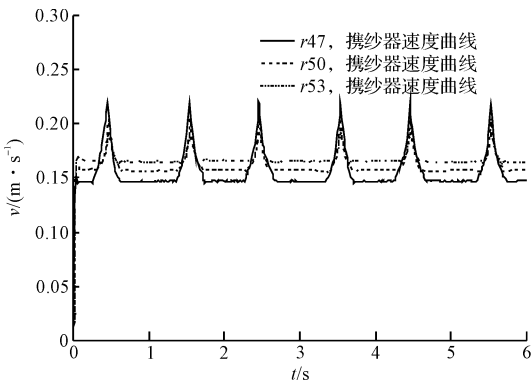


图4 $\omega = \pi\text{ rad/s}$,不同轨道半径下携纱器速度仿真曲线

通过图3可以看出,当角导轮的角速度为 $\pi\text{ rad/s}$, $5\pi/6\text{ rad/s}$, $2\pi/3\text{ rad/s}$ 时,携纱器在圆周阶段的速度分别约为 0.167 m/s , 0.139 m/s , 0.111 m/s 。在过渡阶段携纱器速度曲线近似呈对称分布,峰值分别约为 0.192 m/s , 0.164 m/s , 0.133 m/s 。且携纱器的运动周期分别近似为 2 s , 2.4 s , 3 s ,两者存在一个等式关系,角速度与时间的乘积近似为 2π 。并且角速度越大,携纱器过渡阶段运动的时间越短,携纱器的速度与

加速度的峰值越大,在过渡处产生的冲击越大。

通过图4可以看出,当电机转速不变,即角导轮的角速度值为 $\pi\text{ rad/s}$ 时,轨道半径发生改变时,即轨道半径为 47 mm , 50 mm , 53 mm ,携纱器在圆周阶段的速度值分别约为 0.148 m/s , 0.157 m/s , 0.167 m/s 。携纱器在过渡阶段的速度近似呈对称分布,峰值分别约为 0.22 m/s , 0.205 m/s , 0.192 m/s 。且不同轨道半径下,携纱器的速度曲线周期不变。另外携纱器运动的轨道半径越大,携纱器在过渡阶段的运动时间越短,携纱器的速度峰值越小。

2 实验及分析

为了比较实验结果和仿真结果,验证仿真结果的可靠性,本研究通过高速摄像机进行了实验研究。

实验的仪器包括:

高速摄像机: pco. 1200 s;

供电的电源: pco. power;

感光镜头: AF Nikkor 50 mm f/1.4D;

高速数据传输: IEEE1394;

光源: GK6 型 2 000 W 金卤灯。

高速摄像机是一种用于测量运动体瞬时姿态与坐标的光学测量仪器^[16]。其本体主要由主机、镜头、云台、三脚架以及电源线、触发线、网线等组成。高速摄像机能以很高的频率记录一个物体的动态图像,一般可以 $1\text{ 000 fps} \sim 10\text{ 000 fps}$ 的速度记录。但频率过高,每张图片的像素则相对不会太高,在实验研究时,需要合理调节拍摄的频率。通过对运动体运动图片的分析,可以获得运动体位移,速度等曲线。

该实验的实验原理图如图5所示。

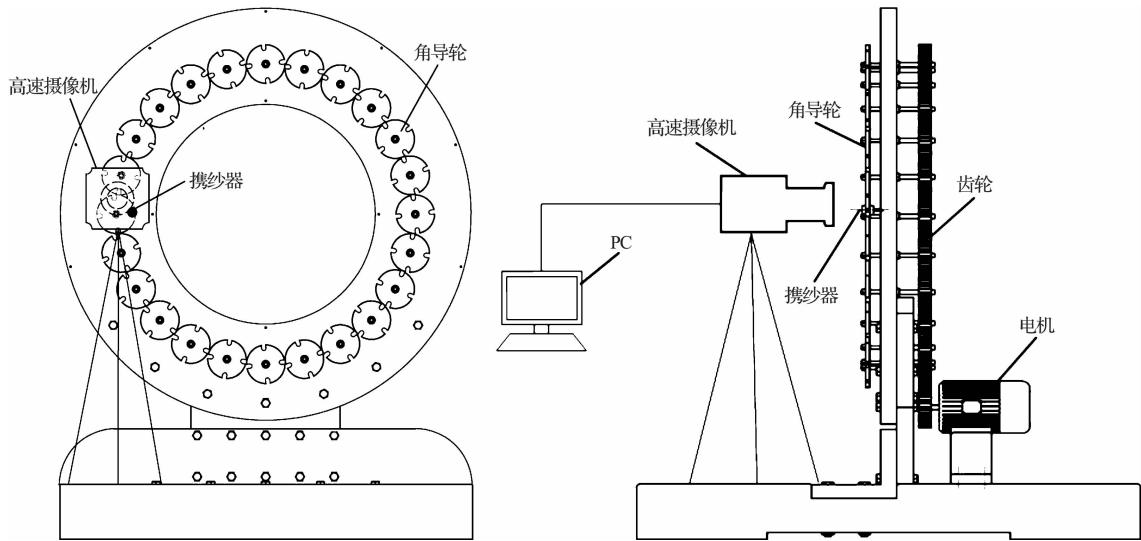


图5 实验原理图

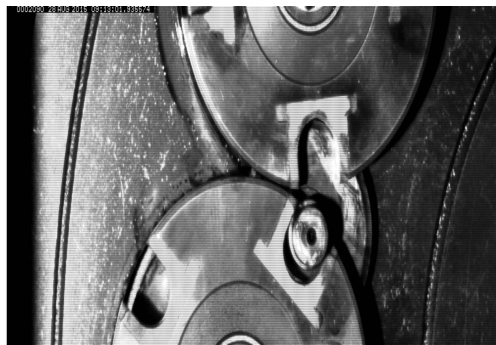
如图 5 所示,高速摄像机的拍摄流程为:首先将高速摄像机与 PC 连接,将镜头对准角导轮的表面,保证角导轮表面与镜头平行。然后调节高速摄像机各个参数,使成像清晰。最后启动旋转式三维编织机并启动

高速摄像机进行拍摄。

本次实验的角导轮设置的转速约为 4.189 rad/s ,即 $240^\circ/\text{s}$ 。通过高速摄像机拍摄到的部分图像如图 6 所示。



(a) time=1.782 108 s图像



(b) time=1.935 574 s图像



(c) time=2.102 992 s图像



(d) time=2.270 410 s图像

图 6 旋转式三维编织机部分运动图像

本研究将选定的图像导入 AutoCad 中,通过等比例缩放法,获得携纱器的速度值。其原理为:通过将相同尺寸的标定图像,即初始位置图像以及选定的终止位置图像黏贴到 AutoCad 中,然后利用软件的“缩放”功能,将图像整体缩放至实际尺寸。最后,通过测量出携纱器标定点初始位置与终止位置间的距离 ΔL ,除以间隔时间 Δt 可计算出携纱器平均速度 $v^{[17]}$,用平均速度代替瞬时速度。将数据导入 Origin 软件中,进行携纱速度曲线的绘制。携纱器的实验与仿真速度曲线如图 7 所示。

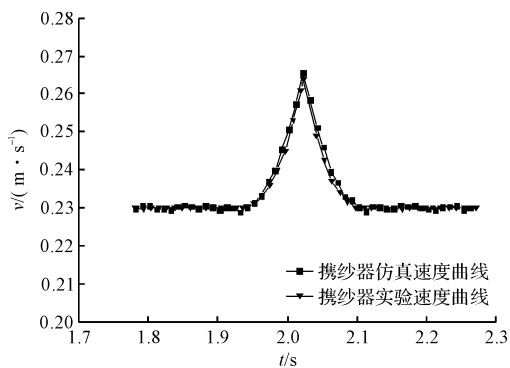


图 7 携纱器实验与仿真速度曲线

通过图 7 中仿真速度曲线和实验速度曲线的对比可以看出,在圆周阶段和过渡阶段携纱器的仿真速度曲线和实验速度曲线吻合。过渡阶段速度先增大后减小,仿真速度最大值约为 0.2656 m/s ,实验曲线的速度最值略小于理论的数值,峰值约为 0.264 m/s 。

3 结束语

本研究以旋转式三维编织机的携纱器为主要研究对象,通过软件建模与机构运动仿真得到携纱器沿着轨道运动过程中的仿真运动曲线,得出携纱器的运动规律。并且通过高速摄像机对旋转式三维编织机进行实验研究。通过分析研究,得出以下结论:

(1) 当轨道半径不变,角导轮的角速度为 $\pi \text{ rad/s}$, $5\pi/6 \text{ rad/s}$, $2\pi/3 \text{ rad/s}$ 时,携纱器在圆周阶段的速度值分别约为 0.167 m/s , 0.139 m/s , 0.111 m/s 。在过渡阶段携纱器速度先增大后减小,曲线近似呈对称分布,速度峰值分别约 0.192 m/s , 0.1644 m/s , 0.1334 m/s 。且携纱器的运动周期分别近似为 2 s , 2.4 s , 3 s 。两者存在一个等式关系,角速度与时间的乘积近似为 2π 。并且角速度越大,携纱器过渡阶段运动的时间越短,携

纱器的速度与加速度的峰值越大,在过渡处产生的冲击越大;

(2)当电机转速不变,轨道半径分别为 47 mm, 50 mm, 53 mm 时,携纱器在圆周阶段的速度值分别约为 0.148 m/s, 0.157 m/s, 0.167 m/s。携纱器在过渡阶段的速度先增大后减小,曲线近似呈对称分布,峰值分别约为 0.22 m/s, 0.205 m/s, 0.192 m/s。且不同的轨道半径下,携纱器的速度曲线周期不变。另外携纱器运动的轨道半径越大,携纱器在过渡阶段的运动时间越短,携纱器的速度峰值越小;

(3)通过实验分析可以看出,携纱器的仿真曲线与实验曲线近似吻合,仿真结果准确。

参考文献(References):

- [1] 赵展, MD HASAB IKBAL, 李炜. 编织机及编织工艺的发展[J]. 玻璃钢/复合材料, 2014(10): 90-94.
- [2] 李嘉禄. 三维编织复合材料的研究和应用[C]. 复合材料: 生命、环境与高技术——全国复合材料学术会议, 天津: 中国复合材料学会, 2002.
- [3] 胡芳. 三维编织技术新进展[J]. 非织造布, 2013(5): 94-98.
- [4] 杨红娜, 李嘉禄, 焦亚男. 三维编织材料在骨修复领域中的应用[J]. 天津工业大学学报, 2002, 21(2): 79-82.
- [5] MA Guang-li, BRANSCOMB D J, BEALE D G. Modeling of the tensioning system on a braiding machine carrier[J]. **Mechanism and Machine Theory**, 2012, 47(1): 46-61.
- [6] TADA M, UOZUMI T, NAKAI A, et al. Structure and machine braiding procedure of coupled square braids with various cross sections[J]. **Composites**, 2001, 32(10): 1485-1489.

- [7] KESSELS J F A, AKKERMAN R. Prediction of the yarn trajectories on complex braided preforms[J]. **Composites**, 2002, 33(8): 1073-1081.
- [8] BOGDANOVICH A E, KARAHAN M, LOMOV S V, et al. Quasi-static tensile behavior and damage of carbon/epoxy composite reinforced with 3D non-crimp orthogonal woven fabric[J]. **Mechanics of Materials**, 2013, 62(3): 14-31.
- [9] CHUNG W J, KIM J L, CHOI S J, et al. Dynamic analysis and modeling of guide track for a braiding machine of may-pole[J]. **Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers**, 2003(12): 70-76.
- [10] 于殿勇, 钱玉进. 基于 ADAMS 动力学仿真参数设置的研究[J]. 计算机仿真, 2006(9): 103-107.
- [11] 张培培, 赵相君, 彭樟林, 等. 基于 Solidworks 与 ADAMS 重载越野汽车悬架的仿真分析[J]. 北京汽车, 2010(2): 37-39.
- [12] 谢最伟, 吴新跃. 基于 ADAMS 的碰撞仿真分析[C]. 第三届中国 CAE 工程分析技术年会暨全国计算机辅助工程技术与应用高级研讨会, 大连: 中国机械工程学会, 2007.
- [13] 魏勇亮, 金圭. ADAMS 仿真时发生接触穿透的原因及对策[J]. 机械工程师, 2005(9): 53-54.
- [14] 赫雄. ADAMS 动力学仿真算法及参数设置分析[J]. 机械工程师, 2005(9): 53-54.
- [15] 续彦芳, 崔俊杰, 苏铁熊. 虚拟样机技术及其在 ADAMS 中的应用[J]. 机械管理开发, 2005(3): 27-30.
- [16] 梁蕴绵, 边川平, 赵晓明. 高速摄影测量仪中的数据采集与记录[J]. 陕西师范大学学报, 2003(4): 110-112.
- [17] 刘华宁, 郑宇, 李文彬, 等. 基于高速摄影技术的速度测量方法[J]. 兵工自动化, 2014, 33(11): 71-74.

[编辑: 李辉]

本文引用格式:

徐海亮, 刘宜胜, 袁嫣红. 三维编织机携纱器运动仿真分析与实验研究[J]. 机电工程, 2017, 34(5): 465-469.

XV Hai-liang, LIU Yi-sheng, YUAN Yan-hong. Motion simulation and experiment of yarn carrier in three-dimensional braiding machine[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2017, 34(5): 465-469.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>