

# 无缝内衣机成圈机构建模与仿真的研究

曹 斌, 方 园, 居婷婷, 赵树超

(浙江理工大学材料与纺织学院, 杭州 310018)

**摘 要:** 在分析无缝内衣机成圈工艺的基础上, 基于虚拟样机技术对成圈机构进行建模与运动仿真, 得到织针与三角瞬态运动的受力分析结果, 其结果与以往静力学分析的结果基本一致, 验证了此种方法的可行性。应用虚拟样机仿真技术为进一步优化成圈机构设计提供新的方法。

**关键词:** 无缝内衣机; ADAMS; 虚拟样机; 仿真

**中图分类号:** TS183.42 **文献标识码:** A

## 0 引 言

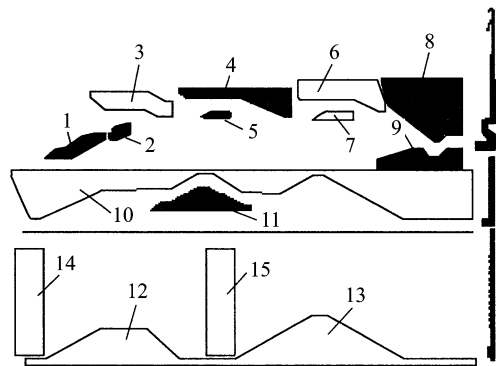
无缝内衣机是生产高档弹性内衣的全电脑针织机, 成圈机构是该机最核心的机构<sup>[1]</sup>。由于该机采用全成形编织, 其成圈机构机件众多, 结构复杂, 运动的协调性极为重要。特别是高速编织时, 织针与三角之间存在着较大的冲击<sup>[2]</sup>, 会影响织针的正常编织, 甚至会导致织针的失稳, 严重影响编织的平稳性与可靠性。因此, 对织针与三角的瞬态动力学分析极为重要。

以往对此研究主要是对织针与三角进行静力学分析, 得出某一运动状态时的受力情况<sup>[3]</sup>。此方法分析繁琐, 计算过程复杂, 容易造成结果错误。本文采用 ADAMS 虚拟样机技术对织针与三角之间的碰撞、接触进行虚拟样机建模, 并对模型进行全息仿真, 以得到较为准确的分析结果。

## 1 无缝内衣机成圈编织原理

无缝内衣机的成圈机构结构复杂, 在最常见的 SANTONI SM8-TOP2 系列单针筒无缝针织内衣圆机上, 共装有 8 路成圈系统。每路系统由针筒、编织机件(包括织针、沉降片、哈夫针、中间片、选针片)、三角(包括织针三角、中间片三角、选针片三角、沉降片三角)及对应三角座、选针器等组成。其中织针与三角构成了一对特殊的凸轮和从动件, 织针在针筒的带动下与三角接触碰撞, 迫使织针沿着三角既定的工作面运行, 从而完成起针、退圈、垫纱、弯纱、成圈等一系列成圈编织动作<sup>[4]</sup>。织针与三角配置如图 1 所示, 针由上到下依次是织针、中间片和选针片; 三角主要有织针三角、中间片三角和选针片三角, 其中黑色部分为可动三角, 可沿针筒径向运动, 其它三角为固定三角<sup>[6]</sup>。

通过上述各种成圈机件的配合, 可编织出不同花型, 其基本



1. 集圈三角, 2. 退圈三角, 3. 收针三角, 4. 收针三角, 5. 退圈三角, 6. 收针三角, 7. 退圈三角, 8. 成圈三角, 9. 成圈三角, 10. 中间片上三角, 11. 中间片下三角, 12, 13. 选针片三角, 14. 第一选针器, 15. 第二选针器

图 1 织针与三角的配置

成圈过程为成圈、集圈、浮线三种线圈编织状态。

a) 成圈编织: 成圈编织时, 织针全部被选中, 由中间片作用于织针进入工作位置, 再由中间片下三角作用达到退圈高度, 织针编织成圈线圈。

b) 集圈编织: 在集圈编织时, 中间片下三角退出工作位置, 织针在第一个选针区被选中, 织针上升到集圈高度。此时旧线圈停留在针舌上方位置, 与新垫入的纱线一起形成集圈线圈。

c) 浮线编织: 浮线编织时, 所有织针不被选中, 织针不参加编织形成浮线。

## 2 织针与三角的力学分析

三角、织针、针槽之间的相互作用和力学条件的变化错综复杂, 从运动学和动力学的角度看, 整个编织过程中织针的受力有以下三种情况:

a) 针筒带动织针运动, 迫使织针的针踵与三角之间发生作用, 这种作用方式完全属于两物体的碰撞;

b) 三角对针踵的压力, 迫使针踵平稳地贴附在三角工作面上, 此时织针处于一个相对平衡的力学状态;

c) 织针在巨大冲击力作用下窜动, 针踵脱离三角表面, 处于三角轨道的游隙之中, 此时织针只受到编织工艺阻力和针槽粘滞阻力的作用<sup>[5]</sup>。

织针的受力主要有织针与三角的作用力、织针与针槽的作用力、编织工艺阻力及其惯性力。其受力分析如图 2 所示(假定织针向左运动), 图中的各相关量分别为:

$R$ —三角对织针针踵的作用力,  $R_x$ 、 $R_y$  分别为  $X$ 、 $Y$  轴方向上的分量;

$F$ —针槽内油润系统对织针的粘滞阻力,  $F=c dy/dt$ ,  $c$  为粘滞系数;

$f_{11}$ 、 $f_{12}$ — $f_1$  在  $X$ 、 $Y$  方向上的分量, 即  $\mu_1 R \cos\theta$ 、 $\mu_1 R \sin\theta$ ;

$f_2$ —针槽对织针和中间片的总摩擦力, 即  $\mu_2 S + \mu_2 R_k$ ;

$R_k$ —针槽底部的侧向反作用力;

$S$ —针槽壁对织针的侧向反作用力;

$P$ —纱线对织针工艺阻力的垂直分量;

$Q$ —箍簧力,  $mg$ —织针的重力;

$\mu_1$ —三角与针踵的摩擦因数;

$\mu_2$ —织针与针槽的摩擦因数;

$a$ — $R$  在  $X$  向的力臂,  $b$ — $S$  在  $X$  向的力臂;

$\theta$ —三角的倾斜角。

如图 2 所示, 当织针向左运动沿集圈三角上升时, 力平衡方程如下:

$Y$  方向上的力平衡方程为,

$$R \cos\theta - f_{12} - (S + R_k + Q)\mu_2 - mg - F - P = m \frac{d^2 y}{dt^2} = mV^2 \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (1)$$

$X$  方向上的力平衡方程为,

$$R \sin\theta + f_{11} + R_k = S \quad (2)$$

力矩平衡方程:

$$a(R \sin\theta + f_{11}) = Sb \quad (3)$$

将整理的  $S$ 、 $R_k$  值代入  $Y$  平衡方程, 得:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = R(\cos\theta - \mu_1 \sin\theta) - \mu_2 a(\sin\theta + \mu_1 \cos\theta)R - S - P - F \quad (4)$$

式中:  $\alpha = \frac{2a}{b} - 1$ 。

在时间  $t$  内针筒转过的距离为  $vt$ , 若此时针踵沿针槽跌落的距离为  $y$ , 则

$$\delta = vt - y \operatorname{ctg}\theta \quad (5)$$

式中:  $\delta$  为织针偏距, 其中一部分  $\Delta$  是克服针与针槽之间的间隙所引起的, 剩下的部分是由于材料的弹

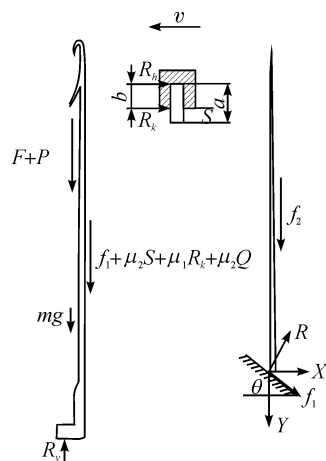


图 2 三角与织针受力分析

性变形所引起的。 $(\delta-\Delta)$ 与针踵所受三角的水平作用力成正比。假若比例常数为 $K$ ,则

$$R(\sin\theta+\mu_2\cos\theta)=K(\delta-\Delta) \quad (6)$$

把此式代入(4)得

$$D\delta-H'=m\frac{d^2y}{dt^2} \quad (7)$$

把 $\delta$ 代入并整理为微分方程得:

$$\ddot{y}+n^2y=\left(\frac{D}{m}v\right)t-\frac{H'}{m} \quad (8)$$

方程式的解有补救函数和特殊函数组成。代入整理得:

$$R=\frac{K(\delta-\Delta)}{\sin\theta+\mu_2\cos\theta}=\frac{K(vt-y\text{ctg}\theta-\Delta)}{\sin\theta+\mu_2\cos\theta}$$

上述针踵与三角的压力,在 $vt-y\text{ctg}\theta\geq\Delta$ 是才存在。当其小于 $\Delta$ 时,针踵与三角相分离。在忽略针槽间隙 $\Delta$ 以及在低速不考虑速度因素时,可得:

$$R=\frac{T+P+F\pm\left|m\frac{d^2y}{dt^2}\right|}{(1-\alpha\mu_1\mu_2)\cos\theta-(\alpha\mu_1+\mu_2)\sin\theta}$$

由于三角工作面曲线都是由曲线段和直线段相互衔接而成,织针在三角直线段平稳运行时处于匀速状态,此时织针惯性力为零,即 $\left|m\frac{d^2y}{dt^2}\right|=0$ ;织针处于加速阶段 $\left|m\frac{d^2y}{dt^2}\right|$ 前取“+”;织针处于减速阶段 $\left|m\frac{d^2y}{dt^2}\right|$ 前取“-”。

由上分析可得影响织针和三角之间作用的因素很多,主要的因素是织针的运动速度(或针筒转速)和三角的倾斜角 $\theta$ ,两者都与作用力 $R$ 的大小成正比<sup>[6]</sup>。此种方法的研究为下面的虚拟样机建模提供理论支持。

### 3 成圈系统的建模与运动仿真

使用 ADAMS 虚拟样机技术,它主要是研究复杂系统的运动学关系和动力学关系,以计算多体系统动力学为理论基础,结合高速计算机来对产品进行仿真计算,得到各种实验数据<sup>[7]</sup>,帮助纺机设计者发现问题并解决问题。

#### 3.1 模型的建立

对织针与三角进行测绘,并辅以织机的使用说明书及工艺参数,把针筒和针筒外面环绕的8个成圈系统抽出模型,得出一套成圈系统的三角配合图,建立模型如图4所示。

#### 3.2 仿真分析预设置

##### 3.2.1 定义材料属性

根据所使用织针的结构参数和实验分析所得到的实验数据,可以定义织针与三角的材料属性,材料属性如表1所示。

表1 织针与三角材料属性

机件	密度/( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	杨氏模量/Pa	泊松比
织针	7 850	$2.15\times 10^{11}$	0.29
三角	7 830	$2.17\times 10^{11}$	0.29

##### 3.2.2 定义接触

织针与三角的相互作用分为两个阶段:a)接触碰撞;b)沿工作面滑动。在接触碰撞时,两者之间非连续接触,是两个实体之间的碰撞。碰撞的一瞬间,织针和三角从不接触到接触再到不接触,由于相对运动,在接触的位置,会出现材料压缩,动能转化成压缩势能,并有能量损失,相对速度为零时,织针要弹起,势能转化成动能,又伴随着能量的损失<sup>[8]</sup>。在沿工作面滑动时,是两者之间连续接触,这一过程织针与三角成了特殊的凸轮机构<sup>[9]</sup>。定义时按类型分别定义。

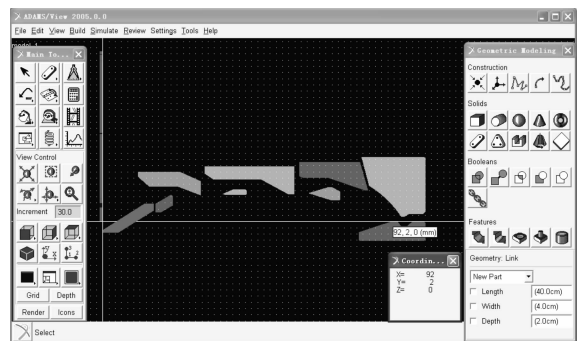


图4 虚拟样机模型

### 3.2.3 施加载荷

施加载荷时,分别对三角和织针施加载荷。对于三角,将其全部固定在 Ground 上,限定所有自由度。对于织针,在针槽里随针筒旋转,水平方向上由于织针相对于针筒质量非常小,织针在模型中可近似看成水平向右匀速运动,根据机号和 50 r/min 的机速,速度可设定为  $930.487 * \text{time}$ 。而织针相对于三角的运动,主要是在竖直方向,所以针织在水平方向的运动是靠针槽的推动实现,在针槽上加水平向右的移动副,速度为  $930.487 * \text{time}$ ;竖直方向的自由度是通过与针槽之间的滑移副确定,并且在该滑移副上施加摩擦力。

由前面集圈的特点及工艺分析可知,集圈三角在工作位置,织针被第一选针区选中,选针片推动中间片进而推动织针沿集圈三角上升,后在压针三角 3 的作用下进入第二选针区,在第二选针区不被选中,经由压针三角 7 进入成圈三角区域进行成圈,最后到达起针点高度。

### 3.2.4 仿真

ADAMS 虚拟样机运动仿真可以在 ADAMS/View 里面实现。ADAMS 的仿真计算选择 Default,让软件自行判断分析方式并作出仿真<sup>[10]</sup>。

由一个三角系统的长度和织针水平运动的速度可算出仿真时间为 0.12 s,仿真步长 2 000 步,仿真过程见图 5。

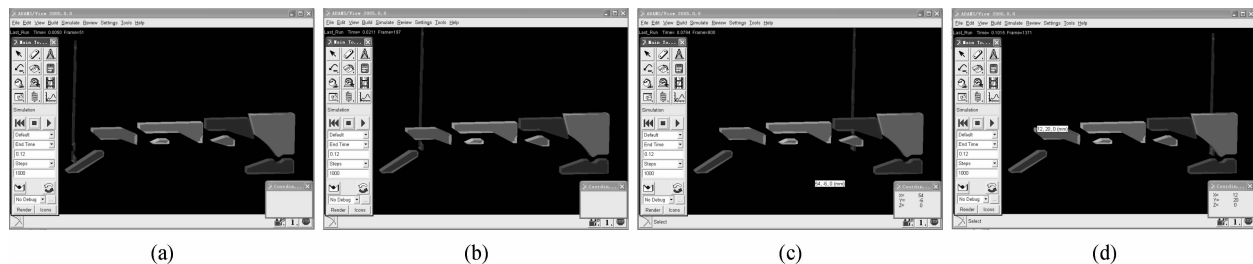


图 5 仿真过程

仿真过程中软件没有提示错误,表明此样机可以运行。在此基础上,本文利用软件的后处理模块 ADAMS/PostProcess 对前面的仿真进行数据处理。按 F8 即可进入 ADAMS/PostProcess 后处理模块,由相关操作可得织针质心处的位移、速度和加速度及受力情况,结果如图 6 和图 7 所示。

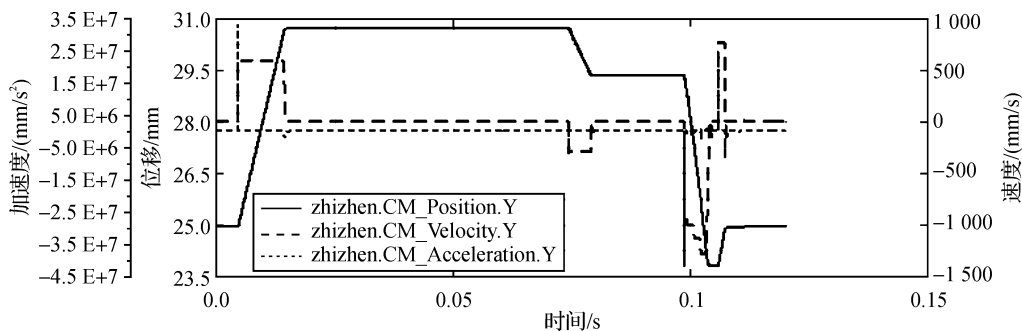


图 6 织针质心处的位移、速度和加速度

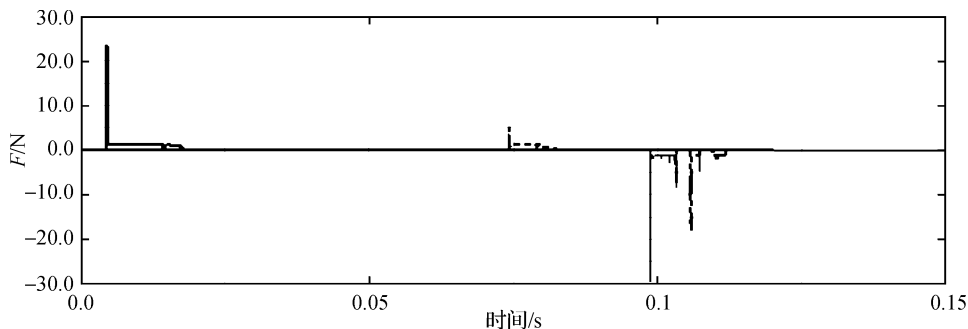


图 7 集圈过程中织针的受力

### 3.3 仿真结果分析

通过仿真和图 6、图 7 可以看出,在集圈过程中,织针在接触集圈三角 1、压针三角 7 和成圈三角 8、9 时,受到三角冲击力并在冲击力的作用下出现了位移、速度和加速度。3 个过程的冲击力大小及形式不一样,但都有两个共同点:一是时间的滞后性,如织针与集圈三角刚接触并出现受力和加速度的时间为 0.004 6 s,而出现位移的时间是 0.004 5 s,这一现象证实了传统分析时织针与三角的弹性碰撞理论;二是冲击瞬间有一个冲击力的最大值,如遇到集圈三角时冲击力为 0.413 6 N,然后突变变小(0.394 2 N)后又增大,最后在在一定三角工作面内受力稳定(0.408 5 N),直到脱离该三角工作面力变为零,此时产生一种波动。此情况与无缝内衣机实际编织情况相吻合。

仿真结果验证了用传统的方法研究织针在三角工作面受力分析的结论。但在 ADAMS 建模仿真中,可在任意时间查看针织与三角各个位置的位移、速度、加速度及受力情况,比传统方法更直观,更有价值。

## 4 结 论

a)采用 ADAMS 虚拟样机技术,可以对成圈机构织针与三角进行瞬态动力学分析。

b)ADAMS 虚拟样机技术的研究结果与成圈机构传统方法的力学研究相一致,吻合性良好。

c)在编织过程中,织针主要遇到起针三角、退圈三角和成圈三角时受力较大,波动也大。可在此处通过 ADAMS 中的参数优化功能优化三角从而减小受力。

### 参考文献:

- [1] 申 鸿, 邵小华. 无缝内衣设备与工艺[J]. 纺织科技进展, 2007(6): 88-90.
- [2] 陈明生. 针织机设计原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002: 76-79.
- [3] 熊 宪. 无缝针织圆机机构与编织工艺分析[J]. 针织工业, 2009(4): 3-7.
- [4] 龙海如. 针织学[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2008: 135-138.
- [5] 杨善同. 舌针与三角[M]. 北京: 纺织工业出版社, 1987: 9-10.
- [6] 雷 杰. 电脑无缝内衣机上机工艺及故障分析[J]. 针织技术, 2010(2): 61-62.
- [7] 李增刚. ADAMS 入门详解与实例[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009: 2-3.
- [8] 彭 磊, 姬长英, 王海青. 基于 Pro/E 和 ADAMS 的欠驱动苹果采摘机械手运动学仿真分析[J]. 机械与电子, 2002(6): 62-68.
- [9] 王彦相. SANTONI SM8 型电脑全成形内衣机编织全成形彩条内衣工艺[J]. 针织工业, 1997(6): 14-16.
- [10] 陈立辉, 杜彦蕊, 张艳华, 等. 基于 ADAMS 的曲轴连杆活塞建模与仿真[J]. 机械传动, 2010(7): 60-63.

## Study on the Modeling and Simulation of Knitting of the Seamless-wear Knitting Machine

CAO Bin, FANG Yuan, JU Ting-ting, ZHAO Shu-chao

(School of Materials and Textiles, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** On the research of knitting processes of seamless knitting underwear machine, and on the study of modeling and movement stimulation for knitting mechanism through the virtual prototype of the seamless underwear machine, analysis result of momentary movement of the needle-cam is obtained, and the analytical result is in general accordance with that of former statics, and verifies feasibility and the validity of the approach, and so a new approach is provided to optimize knitting mechanism and improve the stability and reliability of the knitting mechanism.

**Key words:** seamless-wear knitting machine; ADAMS; virtual prototype; simulation

(责任编辑: 张祖尧)