



基于 ANSYS/LS-DYNA 电脑袜机 成圈机件的动力学分析

方园¹, 王辉¹, 唐艳², 王红¹

(1. 浙江理工大学 材料与纺织学院, 浙江 杭州 310018;

2. 浙江理工大学 材料与纺织教育部重点实验室, 浙江 杭州 310018)

摘要 为提高国产电脑袜机的设计与研发水平, 运用现代机械设计分析软件 ANSYS/LS-DYNA 显性动力学分析模块对电脑袜机成圈机件进行动态仿真分析, 主要研究电脑袜机编织过程中织针与三角接触-碰撞时织针的响应情况, 包括织针的位移、速度、加速度及受力情况。实验分析结果与理论分析对比表明, ANSYS/LS-DYNA 分析方法能准确地模拟织针的运动情况及复杂的动态受力情况, 为电脑袜机成圈系统的优化设计提供了一种可靠的理论分析方法。

关键词 电脑袜机; 工艺点; 成圈机件; 动力学; ANSYS/LS-DYNA

中图分类号: TS 183.6 文献标志码: A

Dynamics analysis of computer hosiery machine's knitting system based on ANSYS/LS-DYNA

FANG Yuan¹, WANG Hui¹, TANG Yan², WANG Hong¹

(1. College of Textile and Materials, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China;

2. Key Laboratory of Materials-Textiles, Ministry of Education, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China)

Abstract The present work was undertaken with a view to raising the level of design and development of domestic computer hosiery machine. The modern mechanical design software ANSYS/LS-DYNA dynamics analysis module was used to perform dynamic stimulation and analysis of the knitting system of the computer hosiery machine, focusing on the response of the needle at the time when it comes into contact or impact with the cam (including displacement, velocity, acceleration and force bearing). It has been proven by comparing the experimental results with those of theoretical analysis that the ANSYS/LS-DYNA analytical method can exactly simulate needle's movement and complicated dynamic force bearing situation, thus providing a reliable theoretical analytical method for optimizing the design of the knitting system of the computer hosiery machine.

Key words computer hosiery machine; processing point; knitting system; dynamics; ANSYS/LS-DYNA

近20年来,我国电脑袜机产业发展迅速,但受自身技术力量和研发能力的限制,大部分国内袜机的研制水平只停留于对国外先进电脑袜机的技术消化和吸收。这也造成了国产电脑袜机与国外先进机型相比性能差距较大,国产电脑袜机缺乏高端产品,只能依靠引进先进电脑袜机以满足我国织袜业的产业升级。

目前,国内缺乏对电脑袜机工作原理及成圈的

分析。在设计过程中,电脑袜机成圈系统的运动平稳性和可靠性是重中之重,所以深入分析成圈机件的冲击和织针的运动情况是非常必要的。成圈机件之间接触-碰撞是非常复杂的非线性问题,采用一般的图解法和解析法很难解决这类问题,且设计耗时多、试制开发周期长、产品更新换代慢、成本高^[1],严重制约了电脑袜机整体水平的提高。为此,本文尝

试运用 ANSYS/LS-DYNA 对袜机成圈系统进行动力学分析,以期对袜机成圈系统的设计优化提供必要的理论设计基础。

1 电脑袜机主要参数与设计要求

成圈系统是电脑袜机的核心机构,成圈系统中各机件的状态及运动配合情况直接关系到机器能否正常运行和产品质量的好坏。成圈系统主要包括针筒、织针和三角装置等,三角的尺寸是根据所选用的

舌针所决定的。三角装置是由若干三角按一定规律组成,为针踵提供运动针道,织针与三角形成了凸轮约束关系,从而带动织针完成编织动作。由袜机的成圈原理和成圈过程可知,袜子的形成取决于织针的运动轨迹,而织针的运动轨迹取决于编织系统三角与选针系统配合,即成圈系统各个三角工艺点参数和工作状态决定了织针的走针轨迹。

图 1 示出了电脑袜机走针轨迹。根据织针的主要尺寸和电脑袜机主要工艺要求,可得到电脑袜机主要工艺点参数,如表 1 所示。

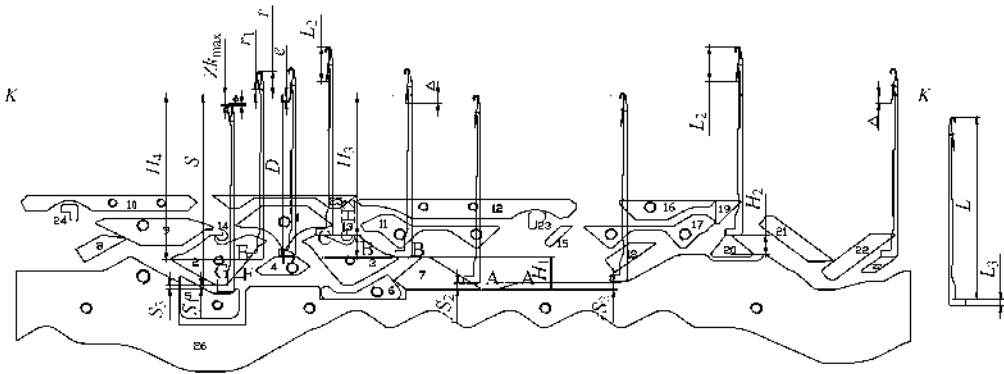


图 1 电脑袜机三角工艺点

Fig.1 Computer hosiery machine's cam process points

表 1 电脑袜机主要工艺点参数

Tab.1 Main process points parameters of computer hosiery machine

工艺点类别	工艺点高度	织针上升高度
起针工艺点 S_2	1.95	—
集圈工艺点 H_1	12.16	10.21
退圈工艺点 ($H = H_1 + H_2$)	20.36	18.41
成圈工艺点 S_1	1.50	—

2 电脑袜机成圈机件之间的冲击分析

电脑袜机编织过程中,织针与三角发生接触-碰撞^[2-3],考虑到碰撞过程中三角对针踵作用力的非线性,不能从静力学角度分析二者之间的碰撞问题。由于织针是弹性体,三角与织针的冲击碰撞过程中可将织针看成是 1 个单自由度系统^[3-4,6]。本文以右活络镶板接触-碰撞为例,织针冲击力学模型如图 2 所示。

三角与织针针踵之间垂直方向上的瞬间冲击力为

$$R_v = k \tan \theta (vt - y \cot \theta) \tag{1}$$

根据图 2 可知,织针在垂直方向上的运动方程为

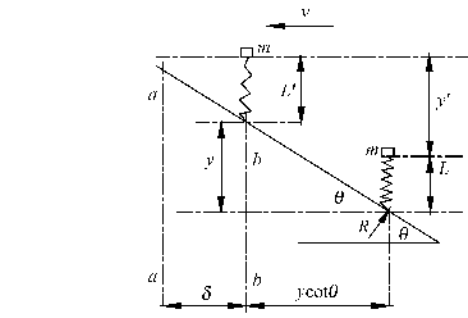


图 2 织针冲击的力学模型

Fig.2 Computer hosiery machine's mechanical model

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + f(x) - R_v = 0 \tag{2}$$

代入 R_v 得

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{c}{m} \cdot \frac{dy}{dt} + \frac{f(x)}{m} - \frac{k \tan \theta (vt - y \cot \theta)}{m} = 0 \tag{3}$$

整理可得

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{c}{m} \cdot \frac{dy}{dt} + \frac{f(x)}{m} = \frac{k}{m} (vt \tan \theta - y) \tag{4}$$

令 $2n = \frac{c}{m}, \omega^2 = \frac{k}{m}$, 取边界条件 $t = t_0, f(x) = kv(\tan \theta)t_0$, 则有

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2n \cdot \frac{dy}{dt} + \omega^2 y = \omega^2 vt \tan\theta(t - t_0) \quad (5)$$

利用拉普拉斯变换求解方程得

$$y = \frac{\Delta}{\omega^2}(t - t_0) - \frac{2n\Delta}{\omega^4} + \frac{v \tan\theta}{\sqrt{\omega^2 - n^2}} \cdot \exp\{-n(t - t_0)\} \cos[(t - t_0)\sqrt{\omega^2 - n^2} + \delta]$$

其中 $\Delta = \omega^2 vt \tan\theta$,

$$\delta = \tan^{-1}\left(\frac{\omega^2 - 2n^2}{2n\sqrt{\omega^2 - n^2}}\right)$$

则三角对织针垂直方向上的冲击力为

$$R_v = f(x) + 2m \, nv \tan\theta + \frac{vk \tan\theta}{\sqrt{\omega^2 - n^2}} \cdot \exp\{-n(t - t_1)\} \cos[(t - t_1)\sqrt{\omega^2 - n^2} + \delta]$$

式中: R_v 为织针与三角在 Y 方向上的瞬间冲击力; k 为针的弹性系数; k_1 、 k_2 分别为纵向、横向刚度

(弹性系数); m 为力学模型质心(假定织针质量集中于一点); F 为针槽内油润系统对子织针的黏滞阻力, $F = c dy/dt$, c 为黏滞系数。

3 ANSYS/LS-DYNA 建模分析处理

ANSYS/LS-DYNA 显性动力学分析程序系统是将 ANSYS 程序系统的前处理和后处理与非线性动力学分析程序 LS-DYNA 显式积分部分紧密连接成一体, 这样既能充分利用 LS-DYNA 强大的非线性动力分析功能, 又能很好地利用 ANSYS 完善的前后处理功能来建立有限元模型和观察结果。电脑袜机成圈机件之间的运动状态呈现非线性和复杂性, 所以本文充分运用 ANSYS/LS-DYNA 强大的非线性动力学分析功能来研究电脑袜机成圈机件之间相互作用问题^[7-8]。技术分析流程如图 3 所示。

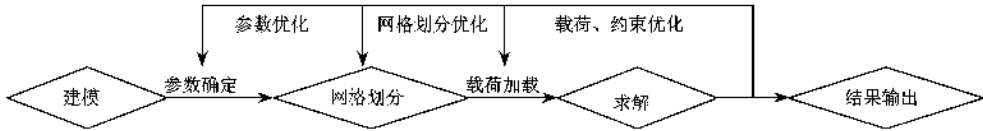


图 3 ANSYS/LS-DYNA 动力学分析流程
Fig.3 ANSYS/LS-DYNA dynamic analysis process

3.1 单元类型的选择及材料属性的定义

参考有关文献^[4], 本文选择 Solid164 单元, 根据舌针、三角、针槽的材料, 取材料各向同性, 具体的单元和材料定义见表 2(具体参数在 K 文件中编辑、修改)。

表 2 模型的单元和材料参数

Tab.2 Model units and materials parameters

部件名称	材料	密度/ (kg·m ⁻³)	弹性模量/ 10 ¹¹ Pa	泊松比
织针	弹性体	7 850	2.15	0.29
三角座	刚体	7 830	2.17	0.29
针槽	刚体	7 830	2.17	0.29

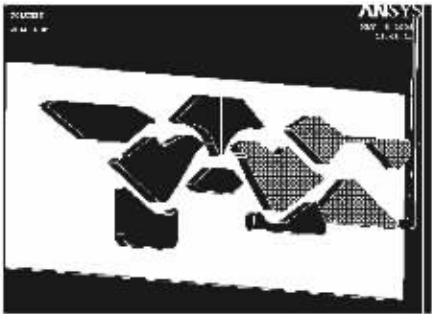
3.2 构件有限元实体模型及网格划分

电脑袜机采用多路编织, 但是双向三角座是主编织系统, 故本文只分析主编织系统冲击碰撞, 其他系统由于工艺的相似性不在此赘述。冲击碰撞的主体是织针针踵, 故本文在建模分析中省略对针头的建模^[4-5]。不同编织状态下, 成圈机构实体模型如图 4 所示。

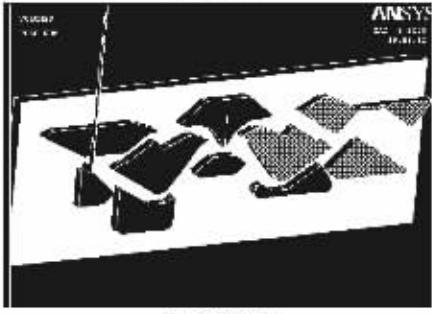
利用实体分割-SWEEP 网格划分方式对有限元实体模型进行网格划分, 如图 5 所示。

3.3 创建分类体及定义接触类型与约束

网格划分完成后, 生成要求定义接触碰撞的体,



(a) 正常编织



(b) 逆转编织

图 4 成圈机构实体模型图

Fig.4 Models of looping agencies. (a)Normal knitting; (b) Reversal knitting

本文中生成 3 个分类体, 分别为所有织针、三角和针筒。

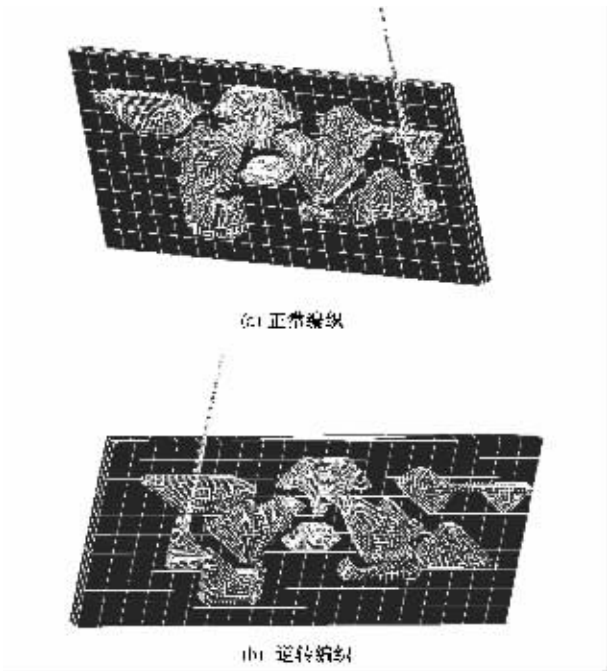


图 5 成圈机构实体模型网格划分效果
Fig.5 Mesh effect of looping agencies' models.
(a)Normal knitting; (b)Reversal knitting

根据成圈机件接触状况的不确定性,选用 Single Surface-Automatic (ASSC)单面接触类型。根据实际情况及接触类型的选择,简化设定成圈机件之间的摩擦因数为 0.13,机构的黏滞阻尼系数为 0.38。

假定针筒径向为 Z 轴方向, XZ 平面的垂直方向为 Y 方向,根据袜机运动特性,约束三角和针筒的

所有自由度、约束针 Z 轴方向上的自由度。

3.4 K 文件的操作

当 ANSYS/LS-DYNA 中建立的分析模型完全正确时,就可以直接用 solve 命令直接进行计算分析,但事实上并非如此简单。由于模型建立过程中一些参变量没有定义,所以需对 K 文件进行修改,修改材料模型、载荷曲线、速度曲线和重力场等主要关键字和参数。

3.5 分析求解

对 K 文件进行修改和完善之后,将 K 文件递交给 LS-DYNA970 求解器进行计算。由于研究的模型计算量很大,程序分析时间在 30 ~ 40 h 范围内,所以,在求解过程中要求对分析结果分步进行保存,第 2 次采用重启动的方法继续分析。

4 计算结果分析

由于电脑辅助编织系统的三角工艺点及编织工艺与主编织系统一致,本文只分析主编织系统成圈编织过程,辅助编织系统成圈过程不再赘述。而集圈过程织针与三角的接触-碰撞与成圈过程基本一致,故省略集圈过程有限元分析。

4.1 成圈过程分析

在织针最大水平速度 1.5 m/s 和最大弯纱深度条件下,LS-DYNA 分析得到的主成圈系统成圈过程如图 6 所示,分析时间为 70 ms。

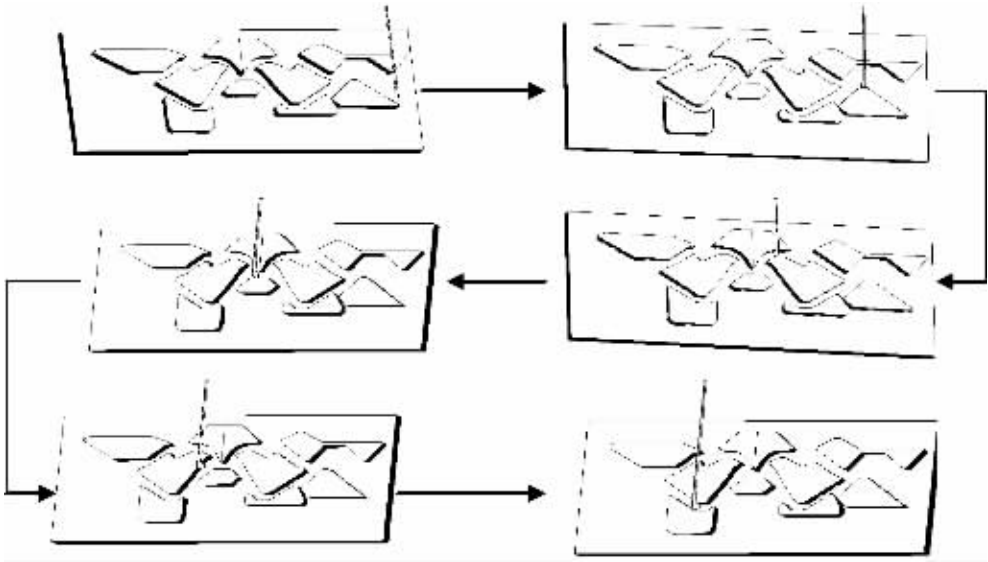


图 6 成圈过程
Fig.6 Looping process

利用后处理器 HISTORY 功能绘制得到成圈过程织针在 Y 方向的位移、速度、加速度变化曲线,如图 7 所示。

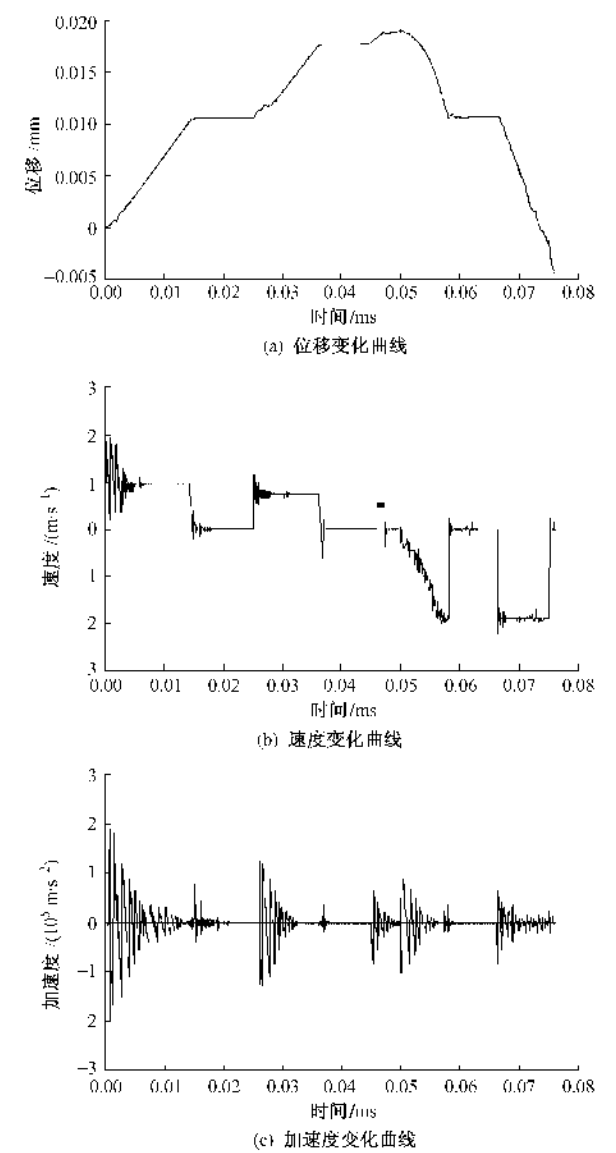


图 7 织针运动参数曲线

Fig.7 Knitting needles' dynamic parameter curve for normal knitting. (a)Displacement; (b)Velocity; (c)Accerelation

图7(a)所示为织针在成圈编织时的位移变化曲线。由图可得织针从起针点至各成圈工艺点之间的垂直高度,即成圈工艺点参数:起针点至集圈点高度 $h_{ji} = 10.28\text{ mm}$,起针点至成圈点高度 $h_{cheng} = 18.48\text{ mm}$ 。电脑袜机成圈工艺点的理论值:起针点至集圈点、成圈点高度分别为 $h_{ji} = 10.31\text{ mm}$ 、 $h_{cheng} = H - S_2 = 18.41\text{ mm}$,符合成圈三角系统工艺点分析的情况。

ANSYS/LS-DYNA 分析中织针的初速度设定为

1.5 m/s ,在各三角角度已知的情况下,通过公式 $V_y = V_x \tan\theta$ 可得织针在各三角部段的最大垂直速度,如表中所示。由表 3 数据可知,ANSYS/LS-DYNA 速度分析结果与理论分析基本一致,即实验分析过程真实地反映了实际成圈编织过程。

表 3 织针垂直速度对比表

Tab.3 Needles vertical speed comparative table			
工作部件	三角角度/ (°)	$V_y/(m\cdot s^{-1})$	
		理论值	实验值
右活络三角	33	0.97	0.958
右菱角	28	0.80	0.788
三角	53	-1.99	-1.96
左菱角	52	-1.92	-1.93

织针在 Y 轴的速度和加速度的变化曲线如图 7(b)、(c)所示。织针与起针三角碰撞,属于典型的弹性体和刚体之间的碰撞,由于起针三角的线性设计使得织针与起针三角发生碰撞时速度和加速度波动很大,此后在织针受到针槽内工艺阻力的作用下,速度和加速度波动减小,逐渐进入平稳区,速度、加速度趋于稳定。织针在成圈编织过程中与其他三角之间的运动状况也基本遵循上述分析。ANSYS/LS-DYNA 分析将织针定义为弹性体,由于弹性体的自身特性决定了织针内部应力波动不能即瞬消失,因此,即使针踵紧贴在三角表面运行,也可能由于三角表面光洁度的差异,速度和加速度还会存在小范围的波动,图中 $0.004 \sim 0.015\text{ s}$ 、 $0.016 \sim 0.02\text{ s}$ 、 $0.03 \sim 0.034\text{ s}$ 等时间段的速度和加速度变化曲线符合弹性体-刚体碰撞理论分析。图 8 的曲线变化充分地说明,织针在 Y 方向的最大冲击是在起针时瞬间发生,说明起针三角在设计上不是非常合理,未采用曲线三角设计,直接使织针在起针过程受到巨大冲击,损伤织针,甚至影响正常编织。

4.2 针筒逆转编织分析

由于袜头和袜跟的编织特性决定电脑袜机在该部段编织时针筒由单向运转改为双向往复运转,针筒反转(或逆转)时织针从集圈高度变转运行方向完成成圈编织运动。利用 LS-DYNA3D 时间历程后处理器中的 History 功能绘制织针上节点随时间与位移、时间与速度、时间与加速度曲线,如图 8 所示。

由于电脑袜机双向三角座部分成圈机件配置的对称性及双向编织时成圈工艺点的一致性,所以电脑袜机逆向成圈编织时走针轨迹及工艺点高度分析与成圈编织一致,由图8(a)可知 ANSYS/LS-DYNA 分析结果符合成圈三角系统工艺点分析。由于电脑袜

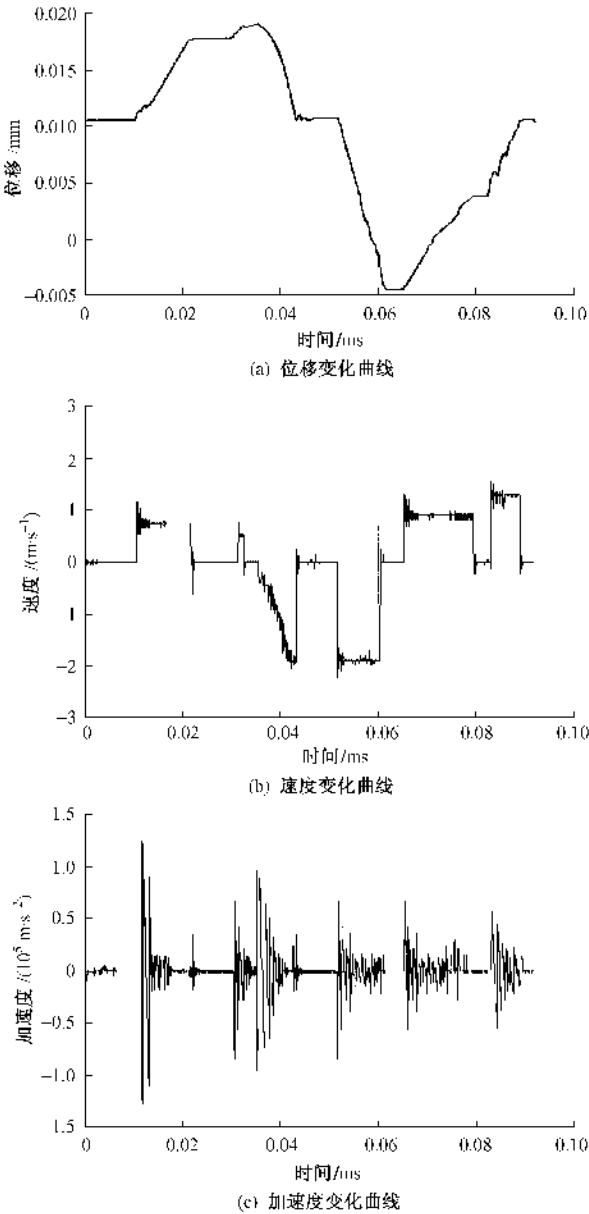


图 8 针筒逆转的织针运动参数曲线

Fig.8 Knitting needles' dynamic parameter curve for reversal knitting. (a) Displacement; (b) Velocity; (c) Accerelation

机走针轨迹各阶段的衔接阶段采用直线-直线设计，因此，织针在水平阶段运行至下个三角起始阶段由于织针和三角的巨大冲击力作用下很容易发生窜动，图 8(a)中 0.01 ~ 0.013 s、0.043 ~ 0.045 s、0.082 3 ~ 0.086 s 等时间段的位移变化是由于织针窜动所引起的正常现象。因此，在三角设计时，应倍加细致地研究此处的冲击力情况，设计出合理的三角曲线。

ANSYS/LS-DYNA 分析中织针的初速度设定为 1.5 m/s，各三角角度已知的情况下通过式 $V_y = V_x \tan \theta$ 可得织针在各三角部段的最大垂直速度，如

表 4 所示。ANSYS/LS-DYNA 速度分析结果与理论分析基本一致，即实验分析过程真实地反映了实际成圈编织过程。

表 4 针筒反转的织针垂直速度对比表

Tab.4 (Syringes reversal) Needles vertical speed comparative table

工作部件	三角角度/ (°)	$V_y/(m \cdot s^{-1})$	
		理论值	实验值
左菱角	28	0.80	0.788
中三角	53	-1.99	-1.960
右菱角	52	-1.92	-1.930
右活络镶板	31	0.90	0.906
右活络三角	40	1.30	1.305

电脑袜机逆向成圈编织也是一种弹性体(织针)与刚体(三角)的接触-碰撞，也符合接触-碰撞理论。由图8(b)、(c)的图形变化曲线可以反映：逆向编织时接触-碰撞同样经过冲击区-缓冲区-平稳区 3 个步骤，织针在与三角碰撞后速度、加速度波动逐渐减小，最终趋于平稳(速度趋于理论设计值，加速度趋于 0)。

4.3 冲击力分析

织针在不同运动速度条件下，三角对针踵的冲击力不同，本文进一步研究织针在不同运动速度条件下，三角对针踵的最大冲击力变化^[9-10]。

通过修改 K 文件中织针的加载速度，分析得到织针和三角在成圈编织过程中所引起的冲击力时间极值，如图 9、10 所示。

根据图 9、10 中 X、Y 方向的冲击力极值变化规律可知：1)织针在起针和成圈过程中与三角碰撞产生的冲击力最大，尤其在起针阶段，巨大的冲击力对织针产生应力性破坏，因此，起针和成圈衔接段的三角曲线设计尤为重要；2)不同速度条件下三角对织针的冲击力极值如表 5 所示。可以看出，织针速度为 1 m/s 时，X、Y 方向的冲击力极值约为 0.75 m/s 时的 1.7 倍，1.2 m/s 时的值约为 0.75 m/s 时的 2.2 倍。当机头达到最大运行速度 1.5 m/s 时，X、Y 方向的冲击力极值分别为 200.43、77.4 cN。

根据不同速度条件下 X、Y 方向的冲击力极值的变化，运用 MatLab 插值功能进行曲线拟合，结果表明织针冲击力极值与织针速度是线性的。织针 X 方向冲击力极值与织针运动速度的线性方程为

$$P_x = 68.76v - 25.74$$

织针 Y 方向冲击力极值与织针运动速度的线性方程为

$$P_y = P_y = 176.8v - 64.8$$

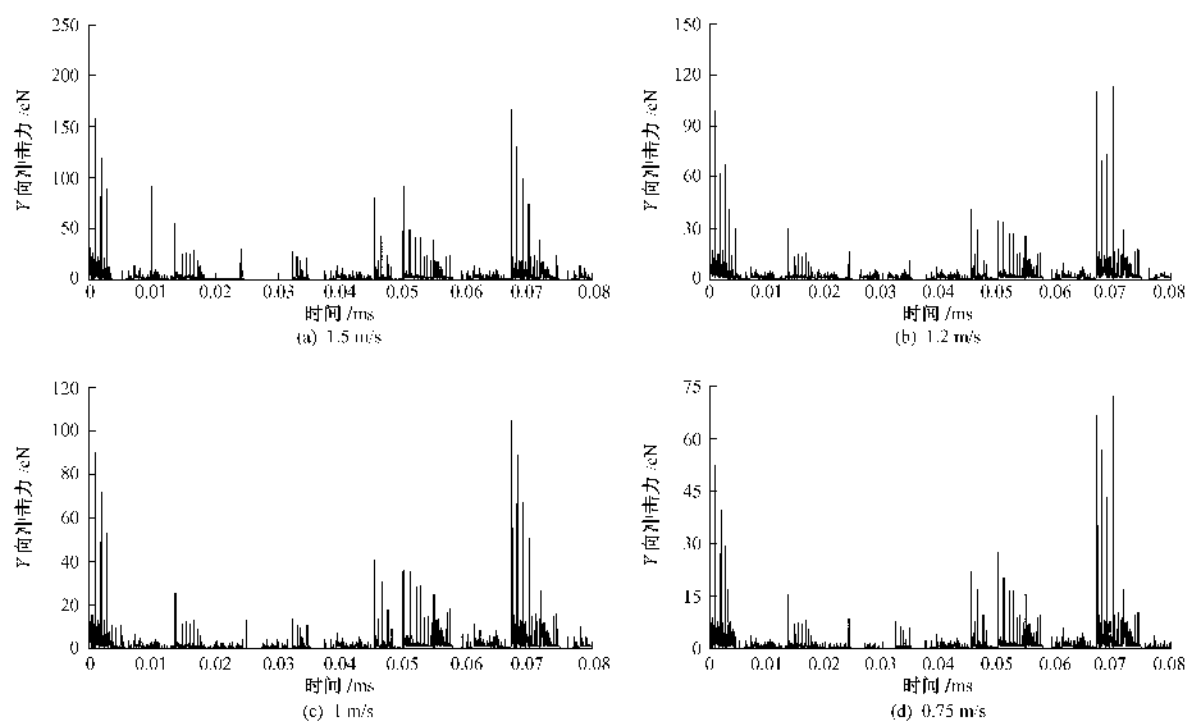


图 9 不同速度条件下织针 Y 向冲击力时间极值图
Fig.9 Knitting needles Y time-extreme impact under different speed

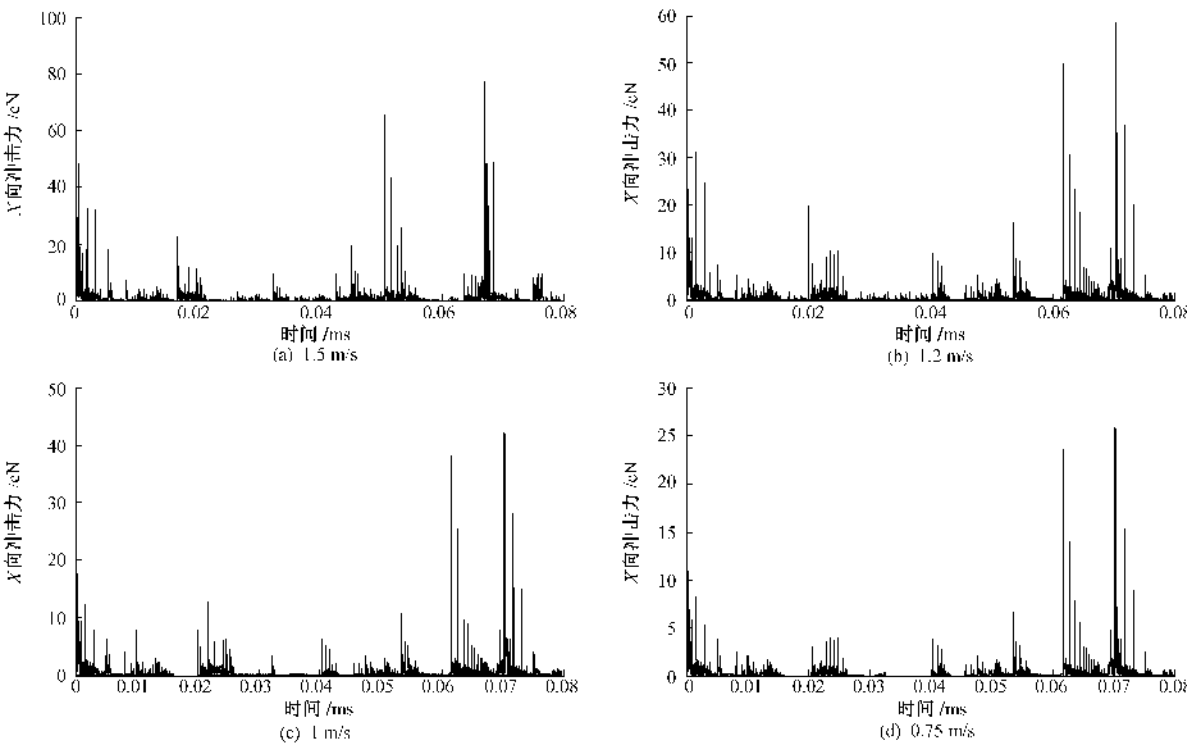


图 10 不同速度条件下织针 X 向冲击力时间极值图
Fig.10 Knitting needles X time-extreme impact under different speed

根据原理分析,当织针速度一定条件下,三角角度与织针的水平应力呈正比,与垂直应力呈反比,即 X 方向的冲击力随着角度的增大而增大, Y 方向的

冲击力随着角度的增大而减小,即 X 方向的冲击力成圈三角大于起针三角, Y 方向的冲击力成圈三角小于起针三角;当织针运行速度从0.75 m/s增加到

表 5 不同速度条件下织针冲击力极值表
Tab.5 Knitting needles extreme impact under different speed

速度/(m•s ⁻¹)	P_Y /cN	P_X /cN
0.75	67.85	25.83
1.00	114.89	42.16
1.20	145.36	58.12
1.50	200.43	77.40

1.5 m/s,同一时间历程织针受到的冲击力呈线性增加。LS-DYNA 分析得到图 9、10 所示的时间冲击力极值变化符合原理的变化趋势。

根据 ANSYS/LS-DYNA 动力学分析,在织针起针和成圈阶段织针与三角碰撞产生的冲击力最大,由于电脑袜机主编织系统三角配置的对称性,以及电脑袜机在集圈和双向往复成圈编织时起针和成圈阶段与成圈编织时走针轨迹相似,因此,集圈和双向往复成圈编织时织针冲击力极值与成圈编织时基本一致。

由于纱线张力变化的非线性和不确定性,上述分析均忽略了纱线张力,对于瞬间冲击力来说,纱线的张力会起到缓冲作用而减小织针冲击力,但也增加了 ANSYS/LS-DYNA 分析的不确定性和复杂性,因此,这一部分内容有待进一步探讨。

5 结 论

电脑袜机编织机构有限元动态仿真,分析结果与理论运动参数、力学情况基本一致,有利于提高针织机械设计效率,为针织机械设计提供了一条可靠的途径。在成圈编织过程中,织针与三角在起针和成圈阶段受到冲击最大,且冲击力的大小与机器运转速度呈线性关系。

FZXB

参考文献:

[1] 张鄂.现代设计方法[M].西安:西安交通大学出版

社,1999:1-5.
ZHANG E. Modern Design Methods[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1999: 1-5.
[2] 刘延柱,薛纭,陈立群.弹性细杆平衡的动态稳定性[J].物理学报,2004,53(8):24-28.
LIU Yanzhu, XUE Yun, CHEN Liqun. The dynamic stability of flexible small-balance[J]. Journal of Physics, 2004, 53(8): 24-28.
[3] HUANG Wei, ZOU Yida. Finite element analysis on collision between two moving elastic bodies at low velocities[J]. Computers & Structures, 1995, 57(3): 379-382.
[4] 杨善同,瞿履修.舌针与三角[M].北京:纺织工业出版社,1987:49-54.
YANG Shantong, QU Litixiu. Latch Needle and Cam[M]. Beijing: Textile Industry Press, 1987: 49-54.
[5] 白金泽.LS-DYNA3D 理论基础与实例分析[M].北京:科学出版社,2005:51-52.
BAI Jinze. LS-DYNA3D Theory and Case Analysis[M]. Beijing: Science Press, 2005: 51-52.
[6] 刘正芹.横机退圈过程的力学分析[J].青岛大学学报,2001,16(2):29-31.
LIU Zhengqin. The mechanical analysis of withdrawal process about flat knitting machine[J]. Journal of Qingdao University, 2001, 16(2): 29-31.
[7] WEN Zefeng, JIN Xuesong, ZHANG Weihua. Contact-impact stress analysis of rail joint region using the dynamic finite element method[J]. Wear, 2005(258): 1301-1309.
[8] 吴祚宝,肖田元.虚拟制造环境下有限元分析的应用[J].清华大学学报,2000,40(7):66-69.
WU Zuobao, XIAO Tianyuan. The application of finite element analysis under virtual manufacturing environment[J]. Journal of Tsinghua University, 2000, 40(7): 66-69.
[9] JEONG K Y, KIM Y B. Dynamic modeling of the latch needle cam system of weft proceedings of the institution of mechanical engineers, Part C[J]. Journal of Mechanical Engineering Science, 2003, 217(2): 219-227.
[10] DOROGOY A, RITTEL D. Numerical validation of the shear compression specimen. Part II: dynamic large strain testing [J]. Experimental Mechanics, 2005, 45(4): 178-185.