

文章编号:0253-9721(2010)07-0117-05

含间隙织机四连杆打纬机构的虚拟样机仿真

陈 革¹, 寇剑斌¹, 罗 军², 沈 军²

(1. 东华大学 纺织装备教育部工程研究中心, 上海 201620; 2. 中国纺织机械股份有限公司, 上海 200090)

摘 要 为研究织机四连杆打纬机构中牵手栓轴承间隙对打纬运动的影响,根据间隙副反力小于零即表明运动副元素间产生分离的原则,对牵手栓轴承内部的接触和碰撞进行预测。采用连续接触模型建立含间隙运动副,以无质量刚性杆代替运动副内间隙,在 Solidworks 中建立牵手栓轴承的虚拟样机分析模型,应用 COSMOSMotion 进行运动学和动力学仿真。对间隙杆的动力学分析发现,在曲柄运动的 1 个周期中,运动副内会产生若干次分离和接触。对箱座进行运动学分析发现,在高速状态下打纬机构的间隙使构件受到冲击力作用,对机构的打纬特性及织物质会造成不良影响。

关键词 虚拟样机; 四连杆; 打纬; 运动副间隙

中图分类号:TH 113. 2; TS 103. 135 文献标志码:A

Virtual prototype simulating of four-bar beating-up mechanism of loom with joint clearance

CHEN Ge¹, KOU Jianbin¹, LUO Jun², SHEN Jun²

(1. Engineering Research Center of Advanced Textile Machinery, Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 201620, China; 2. China Textile Machinery Co., Ltd., Shanghai 200090, China)

Abstract This study intends to research the influence of the joint clearance in connecting rod bin on beating-up motion. Based on the principle that the force in the bearing clearance is negative or zero means the pairing elements separate, the contact and collision in the bearing of the connecting rod bin is predicted. The kinetic pair with clearance is established by a continuous contact model, and the clearance between components is replaced by a rigid bar without mass. Virtual prototype model is established in Solidworks, and the kinematics and dynamics simulation is applied on it with COSMOSMotion. By analyzing the magnitude and direction of force loading on the clearance-bar, it is persuadable that the elements of the pair will separate and contact several times in a period of crank's movement. Based on the kinetic analysis of the slay, it is noted that the components are affected by impact force under high speed conditions, which brings negative effect on the mechanism's beating-up performance and fabric's quality.

Key words virtual prototype; four-bar; beating-up; pair clearance

四连杆打纬机构是喷气织机典型的打纬机构,它的结构简单制造容易,在高速状态下运行平稳可靠,箱座在后心的静止时间较长,可以为引纬提供足够的停顿时间,因而在织机中应用广泛。

对于高速连杆打纬机构来说,运动副中的间隙

不仅使机构的实际运动轨迹与理想的运动轨迹间发生偏离,而且增加了构件的动应力,引起构件的振动,使运动副内产生分离碰撞,加剧了轴承内部的磨损,进一步会影响到织口处的布面振荡,使纬纱密度不均,从而影响织物的质量,因此,有必要研究连杆

收稿日期:2009-07-23 修回日期:2009-10-22

基金项目:上海市科技攻关项目(08111100704)

作者简介:陈革(1967—),男,教授。主要研究方向为机械设计及理论、新型纺织机械。E-mail: chenge@dhu.edu.cn。

打纬机构中运动副间隙对打纬特性的影响。

目前,针对含间隙机构的研究一般采用的方法是用某种方法建立含间隙机构的运动微分方程,通过数值积分求出稳定周期运动的解,但是含间隙机构的运动方程都是强非线性的方程,求解这类方程需要耗费大量的时间^[1],这类方法在实际应用中具有局限性。随着各种虚拟样机分析软件的功能越来越完善,有学者利用虚拟样机技术对含间隙机构进行分析,如王华杰、童雷等利用 ADAMS 软件对含间隙运动副机构进行了动力学分析^[2-4],并且指出运动副间隙对高速机械的动态性能有很大影响,同时也说明虚拟样机技术在含间隙机构动力学研究中的应用具有广阔的前景。

我国纺机制造企业中普遍采用 Solidwork 软件进行造型和分析。COSMOSMotion 软件是一款出色的动力学分析软件,可以直接内嵌在 Solidwork 三维设计软件中对装配体进行虚拟样机分析。本文将采用 COSMOSMotion 软件对喷气织机的含间隙打纬机构进行动力学分析。

1 运动副元素分离判断准则

对于含间隙机构的动态特性分析,普遍采用 3 种铰接副模型,即三状态碰撞模型、二状态碰撞模型、连续接触模型。其中,三状态碰撞模型是指在 1 个运动周期中,运动副的元素间相对关系可能存在接触、分离、碰撞 3 种状态^[5-6];二状态模型是指在 1 个运动周期中,对于运动副的元素间相对关系只考虑接触和自由 2 种状态^[7];连续接触模型是指在 1 个运动周期中,由于分离、碰撞的时间都很短,从而假定运动副元素之间始终处于连续接触状态,并且忽略运动副的变形和摩擦,将间隙视为 1 个无质量刚性杆,从而将原来的含间隙机构转化为多杆多自由度无间隙机构^[8]。

在含间隙机构的研究中,判断运动副元素是否发生分离成为一个专门的内容。文献[9]最早研究运动副元素分离的判断准则。李哲在总结前人成果的基础上,提出了一种判断含间隙运动副的元素是否分离的比较好的预测方法^[10],即通过测量刚性杆受力的数值就可以知道是否出现运动副元素的分离情况,当运动副反力出现零值或负值时即认为出现了运动副元素分离。运动副元素分离准则表达式为

$$R \leq 0 \quad (1)$$

$$R = \frac{J_{2B}\theta''_2 + J_{3D}\theta''_3 + m_2gr_2\cos\theta_2}{l_2\sin(\alpha - \theta_2) + l_3\sin(\alpha - \theta_3)} - \frac{m_2r_2l_1\theta'^2_1\sin(\theta_1 - \theta_2) + m_3g(l_3 - r_3)\cos\theta_3}{l_2\sin(\alpha - \theta_2) + l_3\sin(\alpha - \theta_3)}$$

式中: J_{2B} 、 J_{3D} 分别为连杆 2 对 B 点和摇杆 3 对 D 点的转动惯量; m_i 为第 i 个杆的质量; θ_i 、 θ'_i 、 θ''_i 为第 i 个杆的位置角及其对时间的一阶、二阶导数; α 为间隙杆的位置角; g 为重力加速度; l_i 为第 i 个杆杆长; S_i 为第 i 个杆的质心位置点; r_i 为第 i 个杆质心到转动中心距离,如图 1 所示。

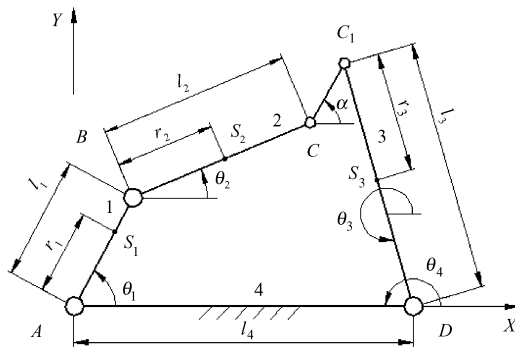


图 1 曲柄摇杆机构图

Fig. 1 Four-bar linkage with clearance at coupler-rocker joint

2 虚拟样机仿真过程

2.1 含间隙连杆打纬机构的虚拟样机

本文应用连续接触模型研究 GA708-190 型喷气织机的四连杆打纬机构。该四连杆机构原理图如图 2 所示,其中 C 处为牵手栓铰接副。对于曲柄摇杆打纬机构,磨损量较大的是牵手和摇杆之间的牵手栓轴承^[11],因此本文只考虑该牵手栓轴承存在间隙,忽略其他 3 个轴承的间隙。

图 3 所示为牵手栓轴承的轴承孔和轴颈 2 圆柱面,轴承孔直径为 d ,轴颈直径为 d_1 ,径向间隙 $c = (d - d_1)/2$,根据文献[11]的分析,本文假设运动副直径的最大间隙量等效为间隙杆的长度 0.05 mm (50 μm)。

本文在理想状态下建立打纬机构的运动模型,利用 COSMOSMotion 中的铰接副和刚性无质量短杆建立含间隙铰接副的等效约束(如图 4 所示)。

2.2 含间隙连杆打纬机构的仿真分析

根据图 2 建立图 4 平面四连杆打纬机构模型,暂不考虑打纬阻力和摩擦影响。假设该机构中所有

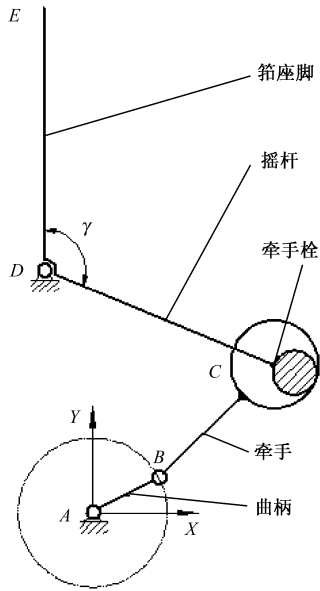


图 2 四连杆打纬机构图

Fig. 2 Four-bar beating-up mechanism

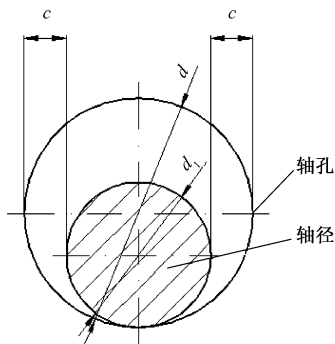


图 3 牵手栓轴承间隙图

Fig. 3 Clearance of connecting rods pin

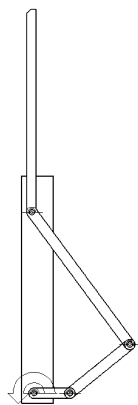
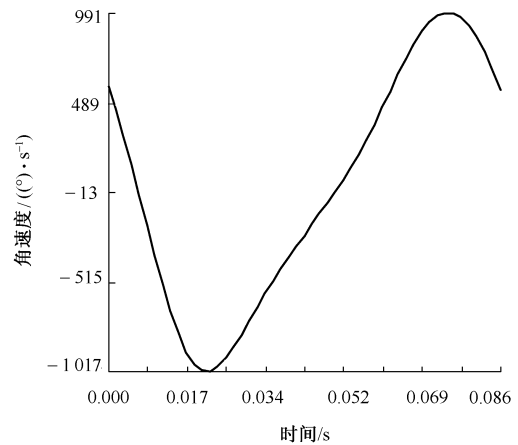


图 4 四连杆打纬模型

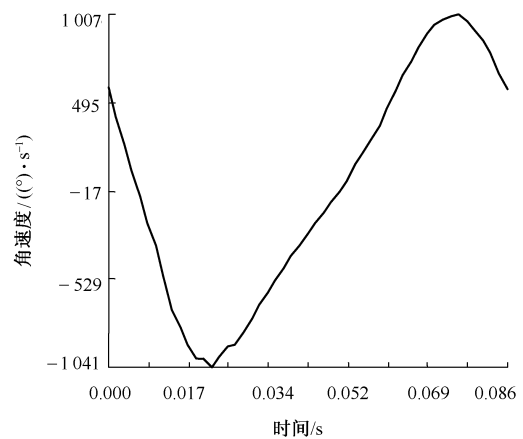
Fig. 4 Four-bar beating-up model

零件的材料为 QT700-2,各杆件尺寸杆长 × 杆宽 × 杆厚(单位 mm)如下:曲柄 $l_{ab} = 34 \times 10 \times 10$,牵手

$l_{bc} = 73.5 \times 10 \times 10$,摇杆 $l_{cd} = 157.5 \times 10 \times 10$,箱座脚 $l_{de} = 195.3 \times 10 \times 10$ 。由于 $l_{bc}/l_{ab} < 3$,该打纬机构为短牵手打纬机构,其中摇杆箱座脚固连且夹角 $\gamma = 144^\circ$,机架 D 处铰接副相对于 A 处铰接副坐标为 $(-2, 174)$ 。在铰接点 C 处添加间隙杆,其尺寸为 $0.05 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 。曲柄以匀角速度逆时针转动,转速在 700 r/min 即 $4\ 200 \text{ (}^\circ\text{)/s}$ 时,对机构进行仿真试验。仿真步骤为:首先在 Solidworks 中建模,其次应用 COSMOSMotion 进行动力学分析。仿真结果见图 5(图中横轴为曲柄旋转 1 周所用时间)。



(a) 无间隙理想状态



(b) 含间隙状态

图 5 箱座角速度曲线

Fig. 5 Slay angular velocity curve. (a) Under ideal conditions; (b) With clearance-bar

图 5(a)、(b) 示出曲柄角速度为 $4\ 200 \text{ (}^\circ\text{)/s}$ 时无间隙和有间隙的箱座角速度曲线。比较 2 个图可以看到,在无间隙理想状态下的箱座角速度曲线和考虑间隙影响状态下的角速度曲线基本吻合。从图 5(a) 可知,角速度最大值为 $991 \text{ (}^\circ\text{)/s}$, 最小值为

-1 018(°)/s。图 5 (b) 显示,角速度最大值为 1 006(°)/s,最小值为 -1 040(°)/s。由图可以观察到,当 C 处铰接副中的间隙很小时(如本例中取间隙为 50 μm),箱座的摆动角速度曲线基本不发生变化。

图 6 分别示出曲柄角速度为 4 200(°)/s 时无间隙和有间隙的箱座角加速度曲线。由图 6(a)可知,曲柄匀角速度下(本例中 $\omega = 4\ 200(°)/s$),当 C 处铰接副为理想状态时,箱座在前心($t = 0.006\ 7\ s$)附近的打纬角加速度极值为 -100 434 (°)/s²,后心($t = 0.052\ s$)附近引纬角加速度极值为 55 237(°)/s²。由图 6(b)可知,当 C 处铰接副间隙用等效间隙杆代替后,箱座的打纬区内角加速度的极值为 -1 006 847 (°)/s²,引纬区内角加速度极值为 169 013(°)/s²,由于间隙的存在,加速度曲线变化陡峭,在打纬区内($t = 0\ s$ 到 $t = 0.017\ s$),惯性打纬力激增至 10 倍于理想状态。

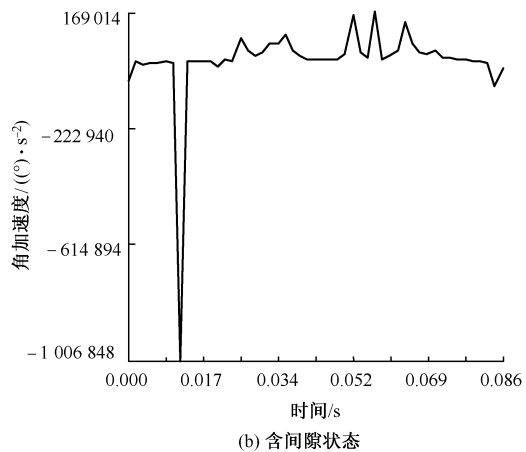
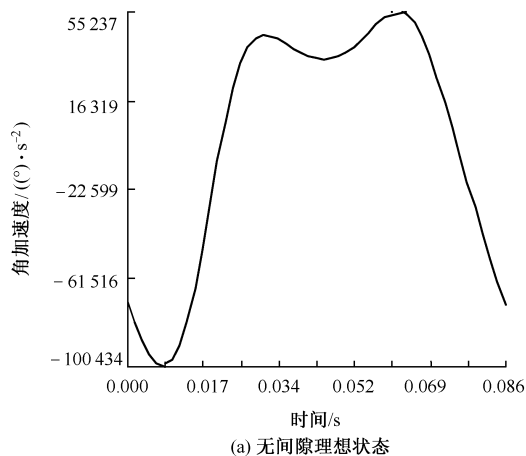


图 6 箱座角加速度曲线

Fig. 6 Slay angular acceleration curve. (a) Under ideal conditions; (b) With clearance-bar

图 7 示出曲柄角速度为 4 200(°)/s 时 C 处间隙杆 X、Y 向受力曲线。从图中可观察到,在 $t = 0\ s$ 到 $t = 0.017\ s$ 的打纬区内, C 处间隙杆在 X 和 Y 方向的受力极值为 -159 N 和 -22 N。

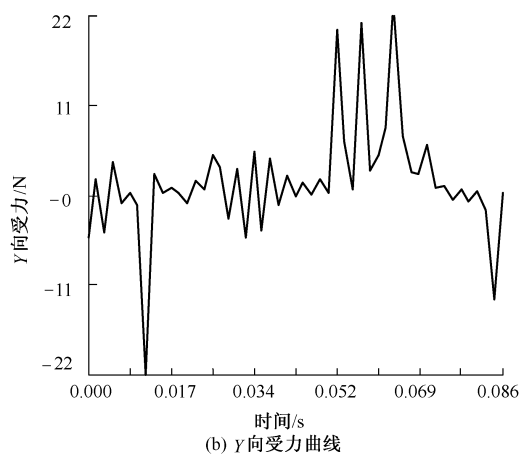
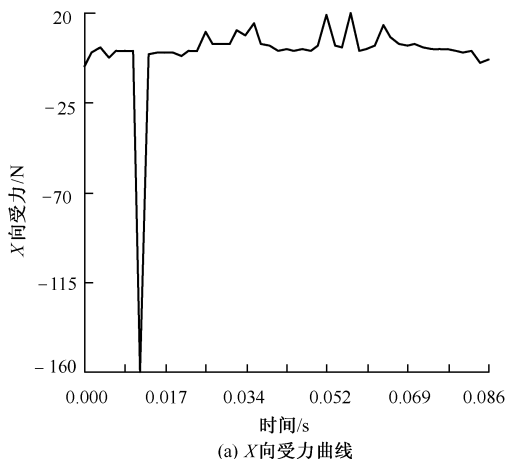


图 7 C 处间隙杆受力曲线

Fig. 7 Force curve on C clearance-bar. (a) X direction; (b) Y direction

根据式(1)的判断准则,在打纬区内,牵手栓间隙在平面坐标系的第 3 象限内,发生了分离接触,该段时间内受力对应箱座的负角加速度最大值。在引纬区内($t = 0.017\ s$ 到 $t = 0.086\ s$), X 方向上受力基本都大于 0, Y 方向上受力多次为负值。其中在引纬前期(0.017 s 到 0.052 s)内, Y 方向受力多次发生反向,对于这个时间段内的多次分离接触可以解释为:箱座从前心摆动到后心,速度减缓,使间隙内产生多次的分离接触,在织机的工况运行中,此段为振动的高发期。在引纬后期,1 个周期将近结束和打纬的前期 Y 向受力又有多次为负,根据式(1)的判断准则,在这个时间段内运动副元素出现分离和接触,对于这个时间段内的多次分离接触可以解释

为:箱座从后心摆动到前心,摇杆由于惯性速度减慢,连杆向前撞击摇杆产生接触分离^[11]。图7中显示X方向上的受力峰值大于Y方向受力,解释了在织机实际运行中机架在深度方向上受到的冲击力大于高度方向的冲击力,从而对机架的地脚联接强度要求增加。

3 结 论

1)在正常运转情况下,间隙的存在对摇杆的角速度影响微小,即对箱座在后止点的停顿时间影响微小,从而不会对顺利引纬造成阻碍。2)间隙的存在对箱座的加速度有较大影响,即打纬作用力突然加大,使引入织口的纬纱受力不均,对织物的纬密造成不良影响。3)通过对间隙杆的受力分析可以推断,在机构运行过程中,牵手栓运动副内部元素可能产生1次或多次的分离和接触。4)为减少间隙对织机运行的不良影响,一方面在设计时合理选择零件配合的精度等级,使其在保证机构运动的前提下,尽量减小间隙;另一方面可以对磨损量大的零部件进行适时的润滑,并记录和分析其磨损周期,以便及时更换零件。

FZXB

参考文献:

- [1] 张策,黄永强,王子良,等. 弹性连杆机构的分析与设计[M]. 2版. 北京:机械工业出版社,1997:223.
ZHANG Ce, HUANG Yongqiang, WANG Ziliang, et al. Analysis and Design of Elastic Linkage Mechanism[M]. 2nd ed. Beijing: Mechanical Industry Press, 1997:223.
- [2] 王华杰,张军. 含连杆摇杆运动副间隙四杆机构动力学仿真研究[J]. 襄樊学院学报,2006,5(27):89-91.
WANG Huajie, ZHANG Jun. Dynamic simulation of a four bar mechanism with clearance in linkage-rocker joint based on virtual prototyping technology [J]. Journal of Xiangfan University,2006,5(27):89-91.
- [3] 童雷,王华杰. 基于虚拟样机技术的含间隙移动副机构动力学仿真[J]. 重庆科技学院学报:自然科学版,2007,9(3):25-37.
TONG Lei, WANG Huajie. Dynamic simulation of a crank-slider mechanism including sliding joint with clearance based on virtual prototyping [J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology: Natural Sciences Edition,2007,9(3):25-37.
- [4] 王华杰. 基于虚拟样机技术的含间隙铰曲柄滑块机构动力学仿真研究[J]. 襄樊学院学报,2007,28(11):58-61.
WANG Huajie. Dynamics simulation of a crank-slider mechanism with a clearance-joint by virtual prototype[J]. Journal of Xiangfan University, 2007,28(11):58-61.
- [5] ERDMAN A G, FROHRIB D A. An approximate method for the dynamic analysis of elastic linkages[J]. ASME Journal of Engineering for Industry, 1977,99(5):449-455.
- [6] SOONG K, THOMPSON B S. A theoretical and experimental investigation of the dynamic response of a slider-crank mechanism with radial clearance in the gudgeon-pin Joint [J]. ASME Journal of Mechanical Design, 1990,112(2):183-189.
- [7] DUBOWSKY S, FREUDENSTEIN F. Dynamic analysis of mechanical system with clearances [J]. ASME Journal of Engineering for Industry, 1971,93:32-40.
- [8] 冯志友,孙序梁,张策. 多运动副间隙的平面四杆机构动力学分析[J]. 佳木斯工学院学报,1991,2(19):65-72.
FENG Zhiyou, SUN Xuliang, ZHANG Ce. Dynamic analysis of planar four-bar linkage with multiple clearances at turning pairs [J]. Journal of Jiamusi Institute of Technology, 1991,2(19):65-72.
- [9] WU C L S, EARLES S W E. A determination of contact-loss at a bearing of a linkage mechanism[J]. ASME Journal of Engineering for Industry, 1977,99(2):375-380.
- [10] LI Zhe, LI Li, BAI Shixian. A new method of predicting the occurrence of contact loss between pairing elements in planar linkages with clearances [J]. Mechanism and Machine Theory, 1992,3(27):295-301.
- [11] 祝章琛,夏义荣. 含运动副间隙的四杆机构摆动过程和动态分析[J]. 东华大学学报:自然科学版,2002,28(6):18-30.
ZHU Zhangchen, XIA Yirong. Kinematic characteristics and dynamic analysis of a four-bar beating-up linkage with clearance joints [J]. Journal of Donghua University: Natural Science Edition, 2002,28(6):18-30.