

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.02.009

共轭凸轮打纬机构运动精度分析*

唐雪梅^{1,2}, 朱伟林¹, 赖奇暉¹, 巫世晶^{1*}, 何佳¹

(1. 武汉大学 动力与机械学院, 湖北 武汉 430072;

2. 武汉纺织大学 机械工程与自动化学院, 湖北 武汉 430073)

摘要: 为了解决国产织机可靠性、稳定性较差, 织机速度、运动精度有待进一步提高等问题, 借鉴摆动凸轮机构误差分析方法, 将凸轮机构反转原理、有效长度理论、转换机构法等多种误差分析技术应用到织机运动精度分析中。开展了剑杆织机共轭凸轮打纬机构在考虑基本尺寸误差、运动副间隙误差及凸轮副磨损误差3种情况下的打纬摇轴摆角误差计算方法的研究, 建立了各摆角误差与凸轮转角之间的关系, 运用Maple数值分析计算软件对打纬机构的运动精度进行了数学建模及分析计算。研究表明, 在所考虑的3种主要误差中, 共轭凸轮打纬机构的运动精度受凸轮副磨损误差的影响最大, 应采取措施控制凸轮副磨损误差。并且该研究对无梭织机的改造和高速剑杆织机的设计应用具有理论指导作用和实用价值。

关键词: 打纬机构; 运动精度; 共轭凸轮; 误差分析

中图分类号: TH122; TS1 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2014)02-0173-05

Analysis of kinetic precision on conjugate cams beating-up mechanism

TANG Xue-mei^{1,2}, ZHU Wei-lin¹, LAI Qi-wei¹, WU Shi-jing¹, HE Jia¹

(1. School of Power and Mechanical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China

2. School of Mechanical Engineering and Automation, Wuhan Textile University, Wuhan 430073, China)

Abstract: In order to solve the problems of poor reliability, poor stability, low speed and low precision movement of domestic loom, learning the error analysis method of moving disk-cams and rollers, the inversion principle of cam mechanism, the theory of effective length and the method of conversion mechanism were applied to the movement precision analysis of loom. Considering the three errors including dimension errors, clearances of hinged joints and surface wear caused by conjugate cam in beating-up mechanism, the corresponding calculation methods for position errors of the follower of beating rocker in beating-up mechanism with swing rollers were investigated. The relationship between position errors of the follower and cam angle was established. The motion accuracy simulation of beating-up mechanism was carried out by Maple software. The results show that the surface wear caused by conjugate cam affected the motion accuracy of conjugate cam in beating-up mechanism is greatest in the considered three major errors. It has some guidance and practical value to improvement of shuttle-less loom and development of high speed rapier loom.

Key words: beating-up mechanism; kinetic precision; conjugate cams; error analysis

0 引 言

打纬机构是剑杆织机中的关键部件, 它的运动性能直接决定了剑杆织机的质量和效率。在织机上, 单

是把纬纱纳入梭口还不能构成织物, 这是因为纬纱对经纱的相对位置尚不稳定, 纬纱同织口的距离太大, 不具备构成织物所应有的起码的纬纱密度。打纬的作用就在于把已经纳入梭口的纬纱推向织口, 并使它逐步稳定在织物内。经过若干次打纬以后, 才能达到

收稿日期: 2013-10-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51375350, 51005170)

作者简介: 唐雪梅(1983-), 女, 广西桂林人, 博士, 讲师, 主要从事机械数字化设计、机械动力学方面的研究。E-mail: xmtang_2000@163.com

通信联系人: 巫世晶, 男, 教授, 博士生导师。E-mail: wsj@whu.edu.cn

所需要的织物纬密,打纬过程及条件对织物结构的特征有着决定性的影响^[1]。打纬运动是织物形成时的一个重要条件,对形成织物的内在质量和外观及织物的几何结构都有重要的影响,其工作性能的优劣直接影响织物的质量、织机的工作稳定性和工作速度。因此,打纬机构运动的精确性和稳定性将成为织机正常工作的充要条件。根据打纬原理,纬线和经线形成的织物必须疏密均匀,避免形成“开车稀密挡”织疵,这就要求打纬机构的各组成构件具有严格的尺寸关系和加工精度^[2]。如何在现有加工条件下确定机构中各误差因素对打纬机构最终输出运动精度及其运动可靠性的影响关系,对各组成构件加工误差进行合理分配和控制,对织机打纬机构输出运动精度进行预判,具有重要的理论价值和实用意义。

本研究将运用凸轮机构反转原理、有效长度理论、转换机构法等多种误差分析方法,研究共轭凸轮打纬机构在考虑基本尺寸误差、运动副间隙误差及凸轮副磨损误差 3 种情况下的打纬摇轴摆角误差的计算方法;运用 Maple 数值分析计算软件对打纬机构的运动精度进行数学建模并分析计算,为高速织机的设计提供技术参考。

1 共轭凸轮打纬机构的运动误差分析

近代织机大多采用共轭凸轮打纬机构,它具有打纬行程、开口高度、经丝张力和织机振动较小且运动平稳等优点,更适应高速运行。在影响凸轮机构从动件位置误差的众多因素中,基本尺寸、运动副间隙和凸轮副表面磨损是比较重要的要素,共轭凸轮机构的运动精度主要从该 3 个方面来进行误差考虑。本研究借鉴摆动凸轮机构的误差分析方法,对共轭凸轮打纬机构从动件打纬摇轴的摆角误差进行分析计算。

1.1 考虑基本尺寸误差时机构打纬摇轴的摆角误差分析

本研究通过数学公式推导建立打纬摇轴摆角 φ 对于凸轮轮廓尺寸、转角 θ 以及机构基本尺寸的关系式,然后采用泰勒级数展开法对机构打纬摇轴摆角位置误差进行分析。

摆动推杆盘形凸轮机构几何关系如图 1 所示,根据凸轮机构反转原理,本研究建立打纬摇轴摆角 φ 与凸轮轮廓坐标 x 、 y , 凸轮转角 θ 和机构基本尺寸摆杆 l 、中心距 a 、从动件滚子半径 r 的函数关系^[3]。

$$\varphi = \arccos\left(\frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac}\right) + \arccos\left(\frac{l^2 + c^2 - r^2}{2lc}\right) - \varphi_0 \quad (1)$$

$$c = \sqrt{(x - a \cos \theta)^2 + (y - a \sin \theta)^2} \quad (2)$$

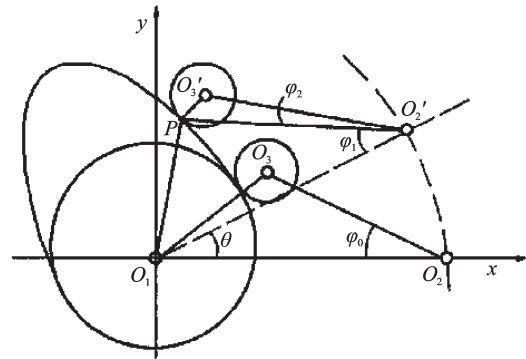


图 1 摆动推杆盘形凸轮机构几何关系

式中: φ_0 —初始位置摆杆与中心距之间的夹角。

摆动凸轮机构中的尺寸误差主要有以下几方面: ①凸轮轮廓线加工误差 Δx , Δy ; ②摆杆长度加工误差 Δl ; ③摆杆安装误差 Δa 以及滚子半径加工误差 Δr 。

将打纬摇轴摆角 φ 函数按泰勒级数在各变量均值点处展开,忽略二阶导数项及以上的高次项,可得凸轮由各参数的误差导致的总误差 $\Delta\varphi$,即:

$$\Delta\varphi_1 = \frac{\partial\varphi}{\partial x}\Delta x + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\Delta y + \frac{\partial\varphi}{\partial l}\Delta l + \frac{\partial\varphi}{\partial a}\Delta a + \frac{\partial\varphi}{\partial r}\Delta r \quad (3)$$

上式中,各个偏导数的具体表达式参见文献[4]。

凸轮轮廓坐标 $P(x,y)$ 是凸轮轮廓线形状的反应,而且最终可以用凸轮转角 θ 来表达。虽然不同的从动件运动规律和尺寸参数对应的凸轮轮廓线是不同的,但对同一凸轮轮廓形状而言,只要给定一个 θ 值,凸轮轮廓线上就会有相应的点与之对应,给定一组 θ 值,就有一组点与之对应,这样就可以求出凸轮任意转角 θ 所对应的 $\Delta\varphi_1$ 。

1.2 考虑运动副间隙误差时机构打纬摇轴的摆角误差分析

运动副中的间隙是由运动副元素表面的不准确引起的,间隙的存在将导致机构从动件运动精度的下降。S. J. Lee 在 1991 年提出了“有效长度模型”理论,该理论针对铰链式运动副中径向间隙和销轴位置的不确定性等因素对连杆有效长度的影响,以及所造成的机构输出运动误差作了详尽分析^[5];将“有效长度理论”应用到共轭凸轮机构的分析中^[6],对铰链间隙的影响给出了定量分析。

有效长度示意图如图 2 所示。根据该理论,当销轴在铰接副套筒中运动时,销轴中心在误差圆内随机分布,且有效杆长与实际杆长关系为:

$$R = \sqrt{(r+x)^2 + y^2} \quad (4)$$

设主凸轮与支座之间铰链的径向间隙为 R_c ,其

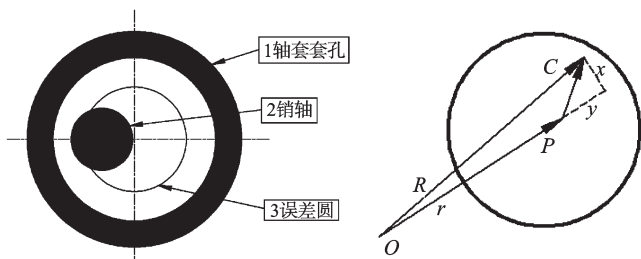


图2 有效长度示意图

销轴中心的局部坐标为 x_{o1} 、 y_{o1} ; 滚子与摆杆之间铰链径向间隙为 R_2 , 其销轴中心的局部坐标分别为 x_{o2} 、 y_{o2} ; 摆杆与支座之间的铰接误差不计。则受间隙影响参数的有效长度为:

$$\begin{cases} a^* = \sqrt{(a+x_{o1})^2 + y_{o1}^2} \\ b^* = \sqrt{(b+x_{o1})^2 + y_{o1}^2} \\ l^* = \sqrt{(l+x_{o2})^2 + y_{o2}^2} \\ r^* = \sqrt{(r+x_{o2})^2 + y_{o2}^2} \end{cases} \quad (5)$$

在式(1)中将参数 a 、 b 、 l 、 r 用其有效长度 a^* 、 b^* 、 l^* 、 r^* 来代替, 且同样按泰勒级数展开, 可得到考虑运动副间隙时的打纬摇轴摆角位置误差 $\Delta\phi_2$ 的表达式:

$$\Delta\phi_2 = \frac{\partial\phi}{\partial x_{o1}} \Delta x_{o1} + \frac{\partial\phi}{\partial x_{o2}} \Delta x_{o2} + \frac{\partial\phi}{\partial y_{o1}} \Delta y_{o1} + \frac{\partial\phi}{\partial y_{o2}} \Delta y_{o2} \quad (6)$$

1.3 考虑凸轮副表面磨损误差时机构打纬摇轴的摆角误差分析

凸轮机构使用过程中, 凸轮和滚子的表面会不断被磨损, 从动件摆角会因磨损量的不断增加而产生误差, 从而导致机构运动精度降低。本研究采用转换机构法由凸轮副磨损导致的从动件摆角误差进行分析。

对于复杂机构很难求解出偏导数, 勃鲁也维奇在1966年提出了一种计算单个原始误差引起的机构输出误差的计算方法, 即做出与每个原始误差对应的转换机构, 通过求转换机构传动比来求得各个偏导数, 该方法简称为转换机构法。求解时可采用图解法, 也可以采用图解解析法, 后者更适合于计算机编程计算。该方法已经被广泛应用于对机构运动精度及其可靠性问题的求解中^[7-8]。

在转换机构中, 本研究作出转换机构的位移图, 得出打纬摇轴位置误差的表达式为:

$$\Delta\phi_3 = \frac{\Delta\rho_1 + \Delta\rho_2}{l \cos \gamma} \quad (7)$$

式中: $\cos \gamma = \sqrt{1 - [(r^2 + l^2 - c^2) / 2rl]}$ 。

凸轮磨损量 $\Delta\rho_1$ 和滚子磨损量 $\Delta\rho_2$ 一般很难获得

精确的表达式, 近年来随着对机构磨损量函数形式的研究不断深入, 相关文章已有发表^[4]。

2 织机共轭凸轮打纬机构运动精度计算实例

某织机共轭凸轮打纬机构, 设计转速为 300 r/min, 中心距 a 为 128 mm, 摆杆的最大摆角 $h = 24^\circ$, 打纬推程角和回程角都是 70° , 给出基圆的初始半径 r_b 为 90 mm, 滚子半径 r 为 30 mm, 两摆杆长度 l_1 、 l_2 为 60 mm, 推程和回程采用摆线运动规律^[9]。

2.1 主凸轮机构运动精度的仿真计算

根据凸轮设计原理, 得主凸轮廓线方程为^[10]:

$$\begin{cases} x_1 = a \cos \theta - l_1 \cos(\theta - \varphi_0 - \varphi) \\ y_1 = a \sin \theta - l_1 \sin(\theta - \varphi_0 - \varphi) \end{cases} \quad (8)$$

初始位置摆杆 l 与中心距夹角为 φ_0 :

$$\varphi_0 = \arccos\left(\frac{a^2 + l_1^2 - r_b^2}{2al_1}\right) \quad (9)$$

主凸轮摆杆采用摆线运动规律, 最大摆角 $h = 24^\circ$, 凸轮推程角为 $\varphi_1 = 70^\circ$, 回程角为 $\varphi_2 = 70^\circ$, 近休止角为 220° 。

其推程阶段方程式为:

$$\varphi = h \left[\frac{\theta}{\phi_1} - \frac{1}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{\phi_1} \theta\right) \right] \quad 0 \leq \theta \leq \phi_1 \quad (10)$$

回程阶段为:

$$\begin{cases} \phi = h \left[1 - \frac{\theta - \varphi_1}{\varphi_2} + \frac{1}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{\varphi_2} (\theta - \varphi_1)\right) \right] \\ \varphi_1 < \theta \leq \varphi_1 + \varphi_2 \end{cases} \quad (11)$$

近休止阶段: 此时推杆摆角保持不变, 即: $\phi = 0$, $\phi_1 + \phi_2 < \theta \leq 2\pi$ 。

在分别考虑机构尺寸、运动副间隙和凸轮副磨损3种误差的情况下, 本研究采用上述方法对主凸轮机构进行机构运动精度分析计算。笔者运用 Maple 软件进行数学仿真, 得出打纬摇轴摆角误差随凸轮转角变化的曲线 $\Delta\varphi - \theta$ 图如图 3~5 所示。

通过对以上计算结果分析可知, 主凸轮机构的基本尺寸误差对摇轴的运动精度影响较小, 整个周期内误差最大值接近 0.000 20 rad; 运动副间隙对打纬摇轴推程和回程的运动精度影响大, 且变化幅度比较大; 凸轮副磨损对摆杆运动精度的影响在整个周期内均比较大, 摆杆运动误差最小值达 0.005 25 rad, 且随凸轮转角的变化波动较大。

2.2 副凸轮机构运动精度的仿真计算

副凸轮摆杆也采用摆线运动规律, 副凸轮的起始

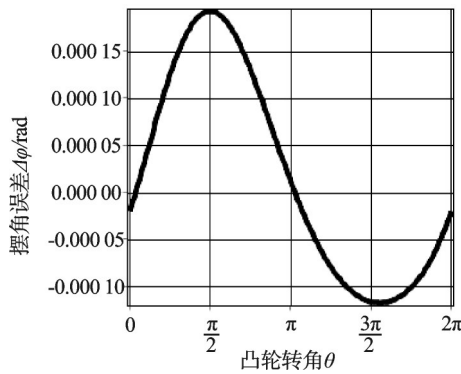


图3 考虑尺寸误差时摆角误差

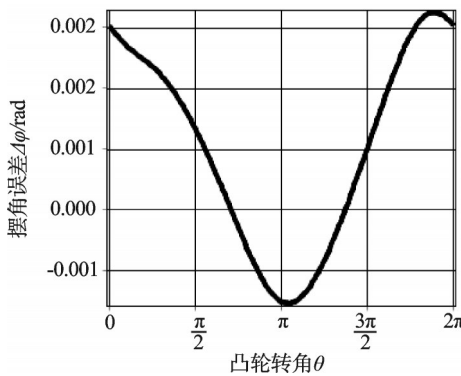


图4 考虑运动副间隙误差时摆角误差

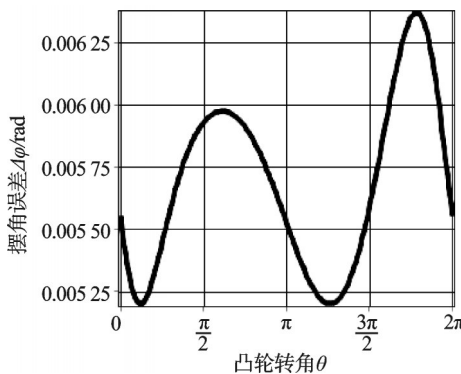


图5 考虑凸轮副磨损误差时摆角误差

段为回程曲线与主凸轮推程是对应的,该阶段从动件摆杆的运动规律与主凸轮的推程一致;副凸轮的推程摆杆运动规律与主凸轮的回程规律对应,该阶段从动件摆杆的运动规律与主凸轮的回程一致;休止段与主凸轮近休止运动规律对应,即为远休止。副凸轮推程角为 $\varphi_1=70^\circ$,回程角为 $\varphi_2=70^\circ$,远休止角为 220° 。

副凸轮廓线方程为:

$$\begin{cases} x_2 = a \cos \theta - l_2 \cos(\theta - \varphi_0 - \varphi + \psi) \\ y_2 = a \sin \theta - l_2 \sin(\theta - \varphi_0 - \varphi + \psi) \end{cases} \quad (12)$$

式中: ψ —两摆杆之间的夹角。

$$\psi = \arccos\left(\frac{r_b^2 + a^2 - l_1^2}{2r_b l_1}\right) + h + \arccos\left(\frac{a^2 + l_2^2 - r_b^2}{2al_2}\right) \quad (13)$$

副凸轮回程阶段方程式为:

$$\varphi = h \left[\frac{\theta}{\varphi_1} - \frac{1}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{\varphi_1} \theta\right) \right] \quad 0 \leq \theta \leq \varphi_1 \quad (14)$$

推程阶段为:

$$\begin{cases} \phi = h \left[1 - \frac{\theta - \varphi_1}{\varphi_2} + \frac{1}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{\varphi_2} (\theta - \varphi_1)\right) \right] \\ \varphi_1 < \theta \leq \varphi_1 + \varphi_2 \end{cases} \quad (15)$$

远休止阶段,推杆摆角保持不变,即 $\phi = h$, $\varphi_1 + \varphi_2 < \theta \leq 2\pi$ 。

分别考虑机构尺寸、运动副间隙和凸轮副磨损3种误差的情况下,本研究对副凸轮机构进行机构运动精度分析计算,运用Maple软件进行数学仿真,得出打纬摇轴摆角误差随凸轮转角变化的曲线 $\Delta\varphi - \theta$ 图。

由分析结果可知,对副凸轮机构进行运动精度分析,得出的结果曲线与主凸轮机构完全一致,这与共轭凸轮机构主、副凸轮的共轭特性相吻合。因此,研究分析共轭凸轮机构的运动精度时,只需直接对主凸轮机构进行分析计算即可。

3 结束语

本研究采用多种误差分析方法,建立了共轭凸轮打纬机构在考虑基本尺寸误差、运动副间隙误差及凸轮副磨损误差3种情况下的打纬摇轴摆角误差的计算公式。分析结果表明:在所考虑的3种主要误差中,共轭凸轮打纬机构的运动精度受基本尺寸误差的影响较小,其最大值低于0.00020 rad;受凸轮副磨损误差的影响最大,其最小值已接近0.00525 rad。因此,可以通过选择特殊耐磨材料加工凸轮和滚子表面,同时控制凸轮副表面的加工误差,并做好润滑保护措施来降低控制凸轮副磨损误差,最终提高共轭凸轮打纬机构的运动精度。

本研究通过分析共轭凸轮打纬机构的运动精度,找出造成其误差的影响因素并加以控制,对无梭织机的改造和高速剑杆织机的设计应用具有一定的理论价值和实用意义。

(下转第202页)

本文引用格式:

唐雪梅,朱伟林,赖奇峰,等. 共轭凸轮打纬机构运动精度分析[J]. 机电工程,2014,31(2):173-176,202.

TANG Xue-mei, ZHU Wei-lin, LAI Qi-wei, et al. Analysis of kinetic precision on conjugate cams beating-up mechanism[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(2): 173-176, 202. [《机电工程》杂志: http://www.meem.com.cn](http://www.meem.com.cn)

工艺所完成的抛光后,表面粗糙度能达到图样要求。零件抛光前、后对比如图6所示。



(a) 抛光前



(b) 抛光后

图6 零件抛光前后对比

4 结束语

本研究介绍了一种车床砂带抛磨工艺,以及基于该工艺设计的砂带磨头。研究结果表明,利用工件的旋转及惯性轮与阻尼的辅助作用,驱动砂带缓慢移动,能成功完成砂带磨削和研抛工作。笔者所设计的无电机砂带磨头体积小,结构简单,携带方便,可作为车床附件,有效地扩大车床的工艺范围。该工艺节能环保,是绿色加工工艺的一种新尝试。

该工艺局限于车床上应用,并且笔者在工程实践

过程中发现,砂带磨头还应在有效控制砂带压力、防砂带跑偏、提高风动阻尼的响应速度等方面进一步改善设计。

参考文献(References):

- [1] 王先逵. 精密复合加工技术是提升数控机床核心竞争力的有效途径[J]. 机床与液压, 2011, 39(20): 1-7.
- [2] 赵有科, 王永清. PDP 砂轮机的研发创新设计[J]. 机械, 2012, 39(2): 44-49.
- [3] 王维朗, 潘复生. 砂带磨削金属材料的工艺及机理研究[D]. 重庆: 重庆大学材料与工程学院, 2006.
- [4] 杨宝成, 吴昌林. 铝合金轮毂复杂曲面砂带磨削方法研究[D]. 武汉: 华中科技大学机械与工程学院, 2007.
- [5] 程光杰, 黄云, 张美, 等. 砂带磨床模块化设计方法的研究与应用[J]. 工具技术, 2012, 46(6): 27-30.
- [6] 肖贵坚, 黄云, 黄智, 等. 超声振动砂带研磨曲轴主轴颈实验研究[J]. 机械科学与技术, 2011, 30(1): 92-97.
- [7] 张磊, 黄云, 王亚杰, 等. 曲轴连杆颈砂带随动研抛机理及工艺研究[J]. 机械科学与技术, 2011, 30(12): 1995-2202.
- [8] 石璟, 张秋菊. 六轴联动叶片砂带抛磨中接触轮姿态的确定[J]. 机械科学与技术, 2010, 29(2): 196-200.
- [9] 吴广领, 张秋菊. 六轴四联动数控系统曲面加工可行性分析[J]. 机械科学与技术, 2012, 31(8): 1329-1333.
- [10] 王先逵. 机械加工工艺手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [11] 沈鑫刚, 孙千里, 康善存. DK150型咬合成型钢材捆扎机气动系统的设计[J]. 机床与液压, 2010, 38(2): 67-69.

[编辑: 洪炜娜]

本文引用格式:

孙千里, 沈鑫刚, 范进楨, 等. 车床砂带抛磨绿色工艺的研究[J]. 机电工程, 2014, 31(2): 199-202.

SUN Qian-li, SHEN Xin-gang, FAN Jin-zhen, et al. Green process study on lathe abrasive belt grinding [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(2): 199-202.
《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第176页)

参考文献(References):

- [1] 李志杰. 打纬共轭凸轮机构的反求及其虚拟样机研究[D]. 上海: 东华大学机械工程学院, 2006.
- [2] 陈革. 织造机械[M]. 中国纺织出版社, 2009.
- [3] 孙恒. 机械原理[M]. 7版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [4] 国志刚, 冯蕴雯, 冯元生. 摆动推杆盘形凸轮机构运动精度可靠性分析[J]. 机械科学与技术, 2006(2): 200-203, 228.
- [5] 匡卫红, 倪侃. 给定置信度下的P-S-N寿命曲线[J]. 上海交通大学学报, 2002(11): 1583-1586.
- [6] LEE S J, GILMORE B J. The determination of the Probabilistic Properties of velocities and accelerations in kinematics chains with uncertainty [J]. Transactions of the ASME, 1991, 113(3): 84-90.
- [7] 勃鲁也维奇. 机构精确度[M]. 上海科学技术出版社, 1966.
- [8] 罗继曼, 孙志礼, 傅莉. 盘形凸轮机构运动可靠性模型的研究[J]. 机械设计与制造, 2002(3): 11-13.
- [9] 沈韶华, 张晓玲. 共轭凸轮机构的计算机辅助设计[J]. 包装工程, 2005(1): 29-32.
- [10] 张春林, 白士红. 打纬共轭凸轮机构的设计[J]. 北京理工大学学报, 2000(1): 32-36.

[编辑: 罗向阳]