

## 剑杆织机电子卷取系统的研究

邵珠景<sup>1</sup>, 蔡燕<sup>1</sup>, 范少雄<sup>1</sup>, 刘广喜<sup>2</sup>

(1. 天津工业大学 电工电能新技术天津市重点实验室, 天津 300387; 2. 北京众仁智杰科技发展有限公司, 北京 100176)

**摘要:** 针对 JWG1728 型高速剑杆织机在大卷装卷取过程中存在摩擦盘相对滑动过大、卷布张力不稳定的问题, 提出了一种基于伺服电机直接驱动卷布辊的卷取方案. 该方案通过实时测量卷布辊半径, 利用当前半径值计算出驱动卷布辊所需要的电机转速, 进而由控制器驱动伺服电机调速, 实现卷绕过程恒张力恒线速度运行的目的. 在 MATLAB/Simulink 开发环境中对卷绕过程进行了建模仿真, 当给定纬密后, 随着卷取半径的增加, 驱动电机转速不断下降, 从而保证了织机卷绕线速度的恒定. 仿真结果表明, 该控制方案达到了卷取过程的预期调速效果, 对实际生产具有指导作用.

**关键词:** 剑杆织机; 电子卷取系统; 经纱张力; MATLAB 仿真

**中图分类号:** TS103.132 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-024X(2014)02-0057-05

### Research of electronic take-up system in rapier loom

SHAO Zhu-jing<sup>1</sup>, CAI Yan<sup>1</sup>, FAN Shao-xiong<sup>1</sup>, LIU Guang-xi<sup>2</sup>

(1. Tianjin Key Laboratory of Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China; 2. Beijing Zhongrenzhijie Technology Development Co Ltd, Beijing 100176, China)

**Abstract:** The take-up process of JWG1728 high-speed rapier loom is analyzed and some problems are pointed out that loom take-up roll drive will make friction disc have huger relative friction motion when the volume becomes bigger and the stability of tension is inadequate. Aiming at this problem, the servo motor is adopted to drive take-up roll directly. This proposal measures the real-time radius of take-up roll which is utilized to calculate the motor speed that is enough to drive take-up roll and is regulated by servo motor via controller, in order to keep a constant speed and tension during the winding operation. Considering the process that is simulated in MATLAB/Simulink, when weft density is set, with the take-up radius increasing, the speed of motor drive gradually decreases so as to ensure constant take-up linear velocity. The simulation results show that this control scheme can achieve the expected effect in take-up process and provides instruction to actual production.

**Key words:** rapier loom; electronic take-up system; warp tension; MATLAB simulation

剑杆织机的发展趋势为高速化、智能化、高可靠性和用途的多样化. 卷取机构是高速剑杆织机 5 大运动机构中的关键部分, 其作用是织机按照纬密的要求将织物以恒定的线速度引离织口, 卷绕到卷布辊上, 保证织机织造过程的连续进行<sup>[1-2]</sup>. 目前, 国内外先进的剑杆织机, 其送经卷取装置普遍都采用电子送经卷取的方式, 由于伺服电机具有旋转惯量小、起动力矩大、制动迅速的特点, 电子送经卷取控制系统驱动方式多采用伺服电机系统<sup>[3-5]</sup>. JWG1728 型高速剑杆织机的卷取系统采用的是伺服电机驱动卷取轴提供卷取

张力, 同时通过链轮和摩擦盘连接卷布辊完成卷布运动. 由于卷布辊和驱动轴靠摩擦盘连接, 织物在大卷径卷绕的时候, 卷布辊与驱动轴摩擦盘之间的相对摩擦运动与卷布辊空轴时相比会有成倍的增加, 这将增加摩擦盘的损耗, 减少使用寿命. 同时, 由于织物在大卷径的情况下, 卷布辊自身重量的增加, 驱动卷布辊所需要的摩擦力矩也会随之增大, 这就需要对摩擦盘的摩擦力进行补偿, 但在实际操作过程中, 摩擦盘的摩擦力很难精确调节, 这就造成了大卷装时, 卷布辊的卷布张力减小, 不能满足恒张力卷取的要求. 针对

收稿日期: 2013-10-22 基金项目: 国家自然科学基金面上项目(51077100); 天津市科技支撑重点项目(09ZCKFGX03100)

第一作者: 邵珠景(1988—), 男, 硕士研究生.

通信作者: 蔡燕(1964—), 女, 博士, 教授, 硕士生导师. E-mail: caiyan\_tj@163.com

这一问题,本文提出一种新型的改进方案,使用伺服电机系统直接驱动卷布辊.根据卷布辊半径的变化,来控制伺服电机的转速,从而达到织物恒张力恒线速度卷取的目的.由于在卷布辊和驱动轴之间移除了摩擦盘,所以卷绕机构得到了简化,卷绕装置的使用寿命得到了提高.

## 1 结构分析与改进

### 1.1 卷取过程分析

JWG1728 型高速剑杆织机采用的是连续式积极卷取装置,其卷取过程如图 1 所示.

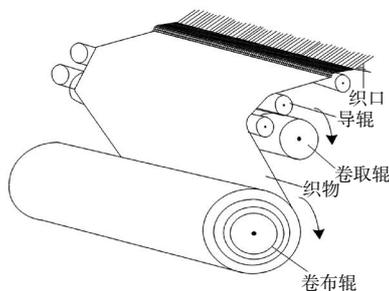


图 1 织机卷绕机构原理图

Fig.1 Schematic diagram of take-up system of loom

织机通过引纬和打纬过程,在织口形成织物.由于卷取辊和导辊表面是粗糙面,所以织物经卷取辊与导辊包裹缠绕时,可以通过织物与粗糙面的摩擦力形成牵引拉力将织物引离织口.驱动卷取辊的伺服电机以恒定的转速转动,所以卷取辊可以保持恒定的转速转动.由于卷取辊与织物表面摩擦力的存在,理论上限制了织物在经纱张力的牵引下发生收缩打滑的现象,从而保证了在送经系统的作用下,经纱可以保持恒定的张力.

### 1.2 卷取装置介绍

卷取棍的动力装置来源于伺服电机的独立驱动.图 2 所示为该卷布装置系统的原理图<sup>[6-7]</sup>.

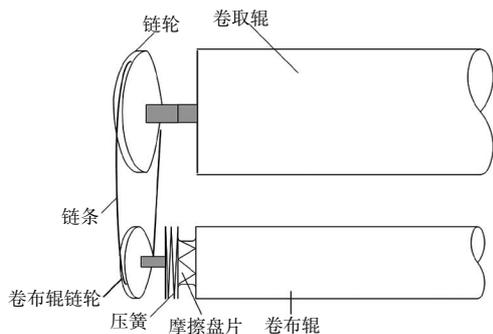


图 2 卷取装置驱动机构

Fig.2 Drive mechanism of take-up device

卷取棍的转动速度由纬密的大小决定.通过控制器控制伺服电机转动;伺服电机通过驱动轴与链轮连接,通过链轮带动卷取棍转动;同时链轮通过链条与卷布棍的链轮连接,链轮通过压簧和摩擦盘片与卷布棍连接,由于压簧的存在,保证了卷布棍始终克服恒定的摩擦张力转动.

随着织造过程的进行,卷布棍半径不断增大,链轮与卷布棍发生相对滑动的速度也不断变化.由于织物线速度需要保持恒定,所以卷布棍转速将会随着半径增大而相应降低,摩擦盘的相对滑动速度将会增大,甚至成倍增加.而在织造一个卷装的大部分时间里,摩擦盘与摩擦片是在高滑动速度下运行的,这样势必会造成摩擦片的快速磨损.同时还会产生大卷装时外层卷绕张力超过内层卷绕张力,导致内层打滑、起皱,严重时产生球面型端头布卷,将明显损害布匹的质量.所以,该系统不能满足大卷装的要求.

### 1.3 新型卷绕方案

改进方案中,动力装置从直接驱动卷取棍改为直接驱动卷布棍,卷布棍和驱动轴之间移除了摩擦盘,由伺服电机直接驱动卷布棍转动,产生卷绕张力.通过对驱动电机的控制,以保证织物的恒线速度卷绕.卷取方案框图如图 3 所示.

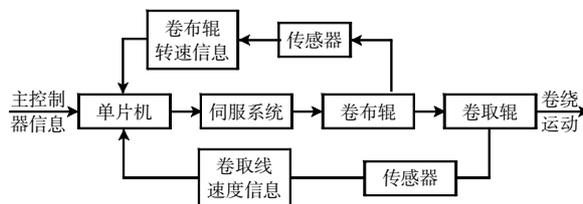


图 3 新型卷取系统工作原理框图

Fig.3 Operating diagram of new type take-up system

织物卷取速度和卷布棍转速与当前卷径大小有关.在该系统中,由单片机构成的控制器接收测量模块的当前卷布棍转速信息和当前卷取线速度信息,计算出卷布棍的当前半径,利用当前半径值得到驱动电机的转速值,通过控制器转换成驱动脉冲驱动伺服电机转动,带动卷布棍完成卷绕运动.

卷径信号的采集,通常采用直接测量法和间接测量法,由于直接测量会产生较大的误差<sup>[8]</sup>,所以本方案采用间接测量法.间接测量<sup>[9]</sup>时,半径需要通过安装在卷取棍上测织物线速度的传感器和安装在卷布棍一端测量卷布棍转速的传感器分别测取当前卷取线速度和卷布棍当前转速的值,经过卷径公式(1)计算得到.

$$R_j = \frac{60}{\pi} \times \frac{v}{v_n} \tag{1}$$

式中:  $v_n$  为织物线速率;  $v$  为卷布辊转速;  $R_j$  为卷布辊的直径. 同时, 目标卷取线速度根据织物纬密确定, 每纬引离织口的长度为:

$$L_j = \frac{1}{\rho_w(1-\alpha)} = \theta_j R_j \quad (2)$$

式中:  $L_j$  为经纱每纬应送出的长度;  $\theta_j$  为卷取电机在一纬中应转过的弧度;  $\rho_w$  为织物纬密;  $\alpha$  为织物下机缩率. 驱动电机转速<sup>[10]</sup>计算公式为:

$$V = \frac{N(1-\alpha)}{2\pi R_j S_j \rho_w} \quad (3)$$

式中:  $N$  为织机主轴转速;  $S_j$  为伺服电机驱动轴与卷布辊之间的传动比.

由公式(3)可见, 在当前纬密条件下, 卷布辊驱动电机的转速与卷布辊当前半径成反比, 并随着卷布辊的半径增大而减小; 同时, 由于伺服电机直接驱动卷布辊, 避免了使用摩擦盘带来的滑动摩擦运动过大的问题, 在大卷装下, 也能保证织物的恒线速度卷绕.

## 2 改进方案卷取系统的仿真

### 2.1 卷取系统仿真原理

原方案中, 根据织物的纬密来设定转速后, 卷取电机通过驱动卷取辊为织机提供卷绕张力; 在新方案中, 卷取电机的转速是根据织物的纬密和卷布辊当前半径来共同确定的, 并且转速会根据卷径的变化不断调整, 可以达到更加精确的调速效果. 为了验证调速过程的动态变化, 本文对卷绕过程进行了仿真研究.

由于永磁同步电动机具备谐波少、转矩精度高、运行平稳的特点, 常用于伺服系统和高性能的调速系统. 另外, 电机体积小, 重量轻, 非常适合应用于电机卷绕驱动系统. 因此, 本文仿真采用正弦波永磁同步电动机, 转子为永磁体励磁, 转子磁链矢量与转子磁极的位置一致, 采用转子坐标系, 电机方程如下:

$$\frac{d}{dt} i_d = \frac{1}{L_d} u_d - \frac{R}{L_d} i_d + \frac{L_q}{L_d} p \omega_r i_q \quad (4)$$

$$\frac{d}{dt} i_q = \frac{1}{L_q} u_q - \frac{R}{L_d} i_q - \frac{L_d}{L_q} p \omega_r i_d - \frac{\lambda p \omega_r}{L_q} \quad (5)$$

$$T_e = 1.5 p [\lambda i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \quad (6)$$

式中:  $L_q, L_d$  为  $q, d$  轴电感;  $R$  为电子绕组电阻;  $i_q, i_d$  为  $q, d$  轴电流分量;  $u_q, u_d$  为  $q, d$  轴电压分量;  $\omega_r$  为转子角速度;  $p$  为极对数;  $T_e$  为电磁转矩. 卷布辊驱动电机的调速系统原理如图 4 所示.

正弦波永磁同步电动机调速系统的控制方案是按转子磁链定向并且使定子电流的励磁分量  $i_{sd} = 0$ . 永磁同步电机由三相 SPWM 逆变器供电, 转子位置传

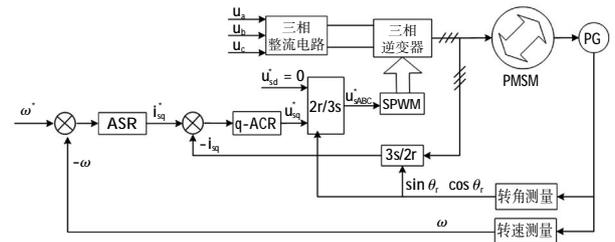


图 4 正弦波永磁同步电机调速系统原理图

Fig.4 Illustrative diagram of sinusoidal-wave permanent synchronous motor drive system

感器 PG 检测转子转速  $\omega_r$  和转角  $\theta_r$ , 并计算  $\sin \theta_r$  和  $\cos \theta_r$ . 由转速调节器 ASR 和电流调节器 ACR 得到定子电压的转矩分量  $u_{sq}^*$ , 在设定励磁分量  $u_{sd}^*$  为“0”的条件下经二相旋转/三相静止坐标变换  $2r/3s$ , 得到 SPWM 调节器的三相电压调制信号. 定子电流经检测和三相静止/二相旋转坐标变换  $3s/2r$ , 得到定子电流的转矩分量  $i_{sq}$  作为电流的反馈信号.

卷取系统的仿真模型由主电路和控制电路组成. 系统主电路由三相交流电源、整流模块、逆变器和永磁同步电机组成; 系统控制电路中, 转速调节器 ASR 和电流 ACR 调节器模型如图 5 所示.

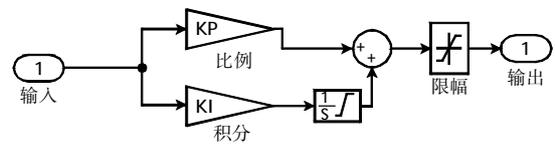


图 5 带饱和和输出限幅的 PI 调节器模块

Fig.5 PI regulator block with saturation and output amplitude limit

模型中比例和积分调节分为 2 个通道, 其中积分调节器的限幅表示调节器的饱和限幅值, 而调节器的输出限幅值由饱和模块设定. 卷取过程电机驱动系统仿真模型如图 6 所示.

### 2.2 仿真结果及分析

电机转速模块接受来自织机主轴的转速和纬密信息, 根据卷布辊当前半径值利用驱动电机转速公式(3)计算出当前目标转速, 并通过目标转速来控制同步电机转动, 达到调速的目的. 仿真选用的电机参数为: 定子电阻  $R_s = 2.875 \Omega$ , 永磁体磁链  $\phi = 0.175 \text{ Wb}$ , 定子电感( $q$  轴和  $d$  轴)  $L_d = L_q = 0.0085 \text{ H}$ , 转动惯量  $J = 0.008 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ , 极对数  $p = 1$ , 起动方式为带载起动. 卷取过程中卷布辊半径变化曲线如图 7 所示.

图 8 为卷布辊半径从初始值为 10 cm 开始卷绕时, 驱动电机的转速仿真曲线.

随着卷绕过程的进行, 控制器根据测量模块的线速度信息和转速信息, 计算出当前卷布辊半径值, 利

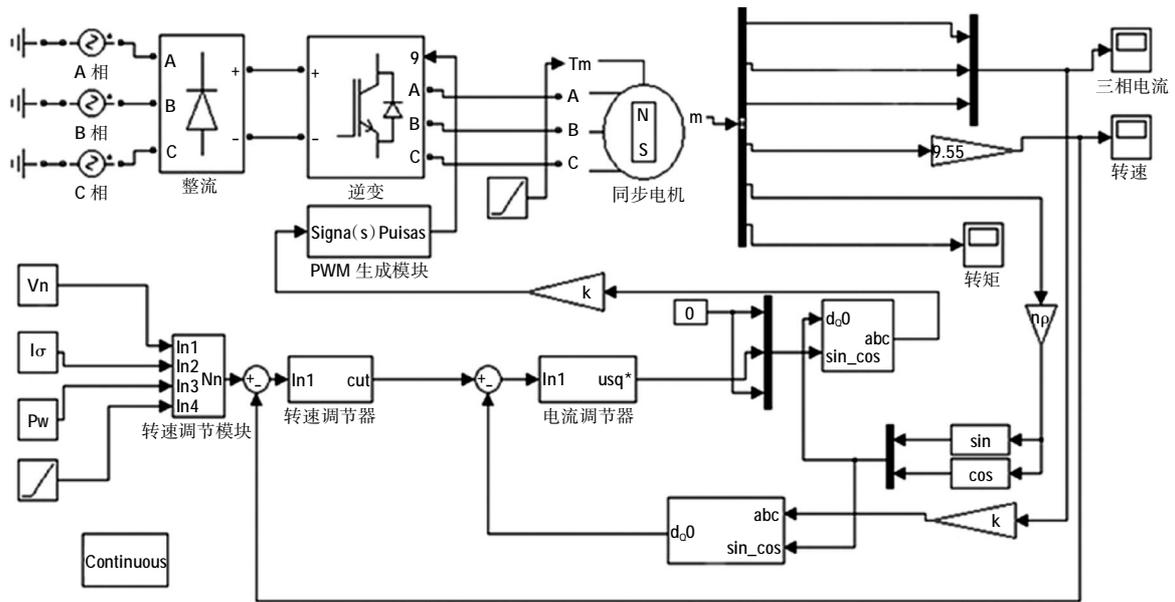


图 6 卷取过程电机调速系统仿真模型

Fig.6 Simulation model of motor drive system in take-up process

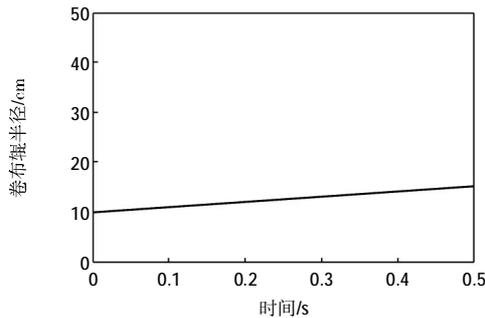


图 7 卷取过程卷布辊半径变化曲线

Fig.7 Curve of cloth roller radius changing in take-up process

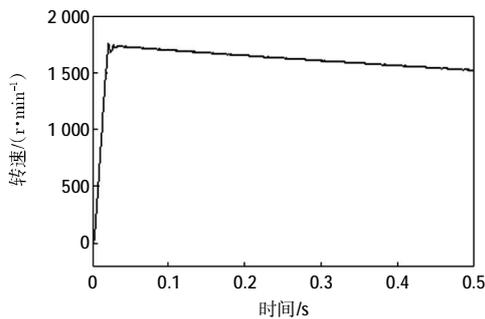


图 8 卷取过程电机转速仿真曲线

Fig.8 Simulation curve of motor speed in take-up process

用转速公式(3)得到驱动电机的转速,并通过控制器转换成相应的脉冲信号驱动电机调速.电机调速系统接受当前转速驱动信号,实时调整驱动电机的转速,当卷布辊半径增加时,驱动电机转速相应下降,保证了织机恒线速度卷绕的目的.

图 9 为卷布辊半径增加时,驱动电机输出转矩的曲线.在卷绕过程中,由于卷布辊半径逐渐增加,电机

输出转矩也会增大,使织机卷绕过程中张力保持恒定.卷取系统中电机定子三相电流的稳定增加,如图 10 所示,体现了系统转矩响应的稳定性.

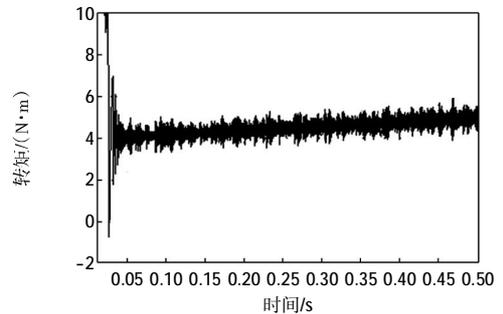


图 9 卷取过程电机输出转矩

Fig.9 Torque output by motor in take-up process

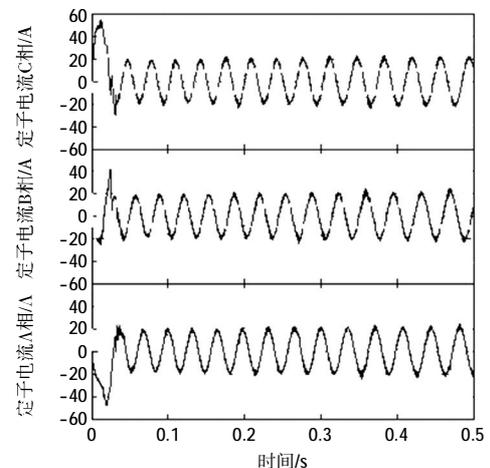


图 10 卷取过程电机定子三相电流仿真曲线

Fig.10 Simulation curve of three-phase stator current in take-up process

由此可以看出系统在运行的过程中,可以根据半径的变化迅速调整转速,实现恒张力恒线速度卷取的目的.与原方案相比,直接驱动卷布辊的卷绕方式,可以精确控制卷布辊转速和卷绕张力.同时,在新的卷绕方案中,驱动轴和卷布辊之间移除了摩擦盘,简化了卷绕装置的机械结构,增加了系统的可操作性.

### 3 结束语

本文对 JWG1728 型高速剑杆织机的卷绕装置进行了分析和研究,针对织机卷布辊传动在大卷装时存在相对摩擦过大、造成卷布过程中张力不稳定的问题,提出了一种基于伺服电机直接驱动卷布辊的新型卷取方案.即通过实时检测卷布辊半径来控制送经电机的转速,实现织物恒线速度恒张力卷绕的目的.与原方案相比新方案具有以下特点:驱动电机与卷布辊之间移除了摩擦盘,改为直接驱动卷布辊,简化了织机卷绕装置的机械结构;卷绕驱动电机能够在极短时间内启动,并迅速根据当前卷布辊半径的大小调整转速,对整个织造过程进行精确控制,避免了大卷装时张力不稳定的情况.通过 MATLAB/Simulink 对卷绕过程进行了建模仿真,仿真结果表明,改进方案达到了卷绕过程中恒张力恒线速度卷取的目的,对实际生产

和调试工作具有指导意义.

### 参考文献:

- [1] WANG Youzhao, HUANG Jing, CHEN Hanwei. Research on tension control model for traction and take-up system of loom [J]. *Advanced Materials Research*, 2013, 627: 444-448.
- [2] ZHOU Qihong, HE Yongyi, CHEN Ronglian, et al. Electronic let-off and electronic take-up system based on servocontrol [C] // *Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation*. Dalian: [s.n.], 2006: 21-23.
- [3] 周骏彦. 伺服驱动技术在织机电送经与卷取中的应用[J]. *上海纺织科技*, 2008(9): 13-16.
- [4] 冬昀. 变频调速器在现代织造设备上的应用[J]. *上海纺织科技*, 2009(2): 1-4.
- [5] 王雁平, 马会全. 基于模糊算法的收卷机恒张力控制[J]. *天津工业大学学报*, 2012, 31(4): 72-75.
- [6] 王荣军, 李加波. 织机卷布装置张力控制[J]. *纺织机械*, 2013(1): 28-30.
- [7] 崔红, 郁崇文. 粗纱卷绕外径递增规律探讨[J]. *纺织学报*, 2011, 32(2): 36-39.
- [8] 严鹤群, 戴继光. 喷气织机原理与使用[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2006.
- [9] 陈振翼. 张力控制系统[M]. 北京: 纺织工业出版社, 1988.
- [10] 姜位洪. 织机张力控制系统[D]. 杭州: 浙江大学, 2005.

(上接第 56 页)

机转速打下重要理论基础.

### 参考文献:

- [1] 魏展, 金国光, 畅博彦, 等. 基于有限元法的高速平面凸轮机构动力学分析[J]. *机械科学与技术*, 2012, 31(8): 1363-1368.
- [2] 卢剑伟, 陈昊, 孙晓明, 等. 考虑减速机构间隙的机械臂动力学建模分析[J]. *机械工程学报*, 2013, 49(15): 15-21.
- [3] QIN Yanding, TIAN Yanling, ZHANG Dawei. Design and dynamic modeling of a 2-DOF decoupled flexure-based mechanism[J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2012, 25(4): 688-696.
- [4] 金国光, 刘又午, 张明成, 等. 含柔性梁机械系统动力学分析的有限段方法 [J]. *郑州工业大学学报*, 2000, 21(3): 23-25.
- [5] 刘远, 金国光, 刘又午, 等. 基于有限段方法的高速凸轮机构动力学分析[J]. *天津工业大学学报*, 2007, 26(6): 66-69.
- [6] 梅丽文, 肖根先, 赵家黎. 曲柄滑块机构等效转动惯量的公式及曲线[J]. *甘肃科技*, 2010, 26(19): 59-61.
- [7] 张策. 机械动力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [8] 林仁邦. 共扼凸轮机构运动副接触刚度分析及动态特性研究[D]. 上海: 东华大学, 2009.
- [9] 石永刚, 吴央芳. 凸轮机构设计与应用创新[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.