

纸纱复合制袋印刷一体机张力控制器设计

罗桂兵, 彭珍瑞

(兰州交通大学, 兰州 730070)

摘要: **目的** 研究纸纱复合制袋印刷一体机纸张张力控制器。 **方法** 针对纸纱复合制袋印刷一体机的张力控制问题, 结合模糊自适应PID与粒子群算法, 设计基于余弦自适应调整惯性权重的粒子群优化算法的模糊自适应PID张力控制器。利用余弦自适应调整惯性权重的粒子群优化算法, 搜索出一组最优的PID参数, 来提高张力的控制精度。 **结果** 仿真结果表明, 该张力控制方法的响应时间为0.25 s, 最大超调量为2%, 小于其他方法的响应时间和最大超调量。 **结论** 设计的控制器与传统的PID控制和模糊自适应PID控制相比, 具有响应速度快、控制输出稳定、调节时间短等优点。

关键词: 张力控制; 粒子群算法; 模糊控制; 惯性权重

中图分类号: TS803 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)05-0100-05

Design of Tension Controller for Compound Paper-yarn Bag-making and Printing All-in-one Machine

LUO Gui-bing, PENG Zhen-rui

(Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

ABSTRACT: The aim of this study was to investigate the paper tension controller for compound paper-yarn bag-making and printing all-in-one machine. According to the problem of tension control of the compound paper-yarn bag-making and printing all-in-one machine, combining the fuzzy adaptive PID control and particle swarm algorithm, a fuzzy adaptive PID tension controller based on cosine adjusting inertia weight of the particle swarm optimization algorithm. A set of optimal PID parameters were searched out using particle swarm optimization algorithm with cosine adaptive inertia weight to improve the accuracy of tension control. The simulation results showed that the response time of the tension control method was 0.25 s, and the maximum overshoot was 2%, smaller than the response time and maximum overshoot of other methods. Compared with the traditional PID control and fuzzy adaptive PID control, the controller designed had advantages such as quick response speed, stable control output and short setting time.

KEY WORDS: tension control; particle swarm algorithm; fuzzy control; inertia weight

目前市场上主要的包装袋型有塑料编织袋、多层纸袋、纸塑复合袋等3种, 最新研发的纸纱复合袋具有高强度、抗老化、防潮、环保等特性, 成为符合国内外环保和工艺要求的新一代包装产品^[1-2]。在纸纱复合包装袋生产过程中, 纸张张力是影响纸纱复合袋质量的一个重要因素, 因此设计一个可靠的张力控制器变得十分重要。

传统PID控制器因其具有结构简单、运行稳定等

特点, 在工业控制中被广泛使用。传统PID控制器对系统模型的精确性依赖较强, 适用于可建立精确数学模型的确定性控制系统。为了更好地控制被控对象, 提出了模糊控制, 相比之下模糊控制不需要精确的系统模型, 但是模糊控制的主观性和随意性较强。为了提高纸纱复合制袋印刷一体机的纸袋质量, 将改进的粒子群算法和模糊自适应PID控制器相结合, 设计了一种基于粒子群算法的模糊自适应PID张力控制器。

收稿日期: 2014-09-23

作者简介: 罗桂兵(1989—), 男, 宁夏同心人, 兰州交通大学硕士生, 主攻检测与控制。

通讯作者: 彭珍瑞(1972—), 男, 甘肃民勤人, 博士, 兰州交通大学教授, 主要研究方向为机电一体化。

通过张力控制器控制磁粉制动器,使制袋过程中纸张张力的 大小始终稳定在设定值附近,从而保证纸袋的质量。

1 纸纱复合制袋印刷一体机参数及操作流程

1.1 设计参数

根据设计要求确定一体机的主要控制参数:袋长为 600 ~ 1200 mm,袋宽为 480 ~ 550 mm;纸袋印刷速度为 0 ~ 20 m/min;自动纠偏行程为 ± 100 mm;张力控制范围为 ± 1 N;胶槽温度为 (80 ± 3) ℃。

1.2 纸纱复合制袋印刷一体机结构及操作流程

纸纱复合制袋印刷一体机结构及操作流程见图 1,纸纱复合制袋印刷一体机由制袋机构、加压机 构、张力控制机构、纠偏机构、印刷机构、干燥装置、扎微 孔机构、折边机构、定型机构和裁切装置等组成^[3-4]。

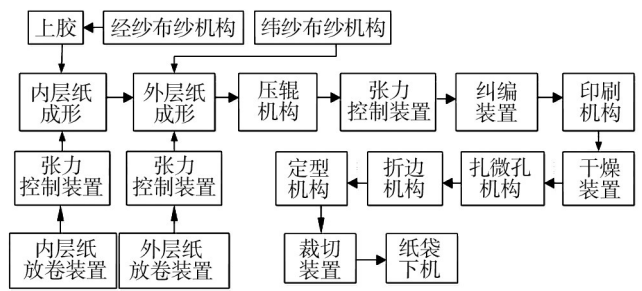


图1 纸纱复合制袋印刷一体机结构及操作流程
Fig.1 Structure and workflow of the compound paper-yarn bag-making and printing all-in-one machine

为了提高纸袋质量,一体机控制系统中需要在内层纸放卷处、外层纸放卷处和纸袋印刷前,增加张力控制装置。内外层纸放卷处,由于内外层纸张送料采用卷筒状,容易产生纸张跑偏和皱褶,因此要求系统纸张送进方向张力保持恒定。纸袋印刷前,当纸袋的张力不一致时,会使商标印刷过程中出现皱褶、重影等问题,因此在印刷前要加张力控制系统。如图2所示,以内外层放卷装置为研究对象,在内外层放卷装置处增加张力控制器。

一体机工作时,牵引电机带动牵引辊,并经导辊带动内外层纸放卷辊工作,张力传感器检测纸带运动过程中的拉伸形变,并将张力信号送入张力控制器,张力控制器通过控制磁粉制动器的激磁电流,来调节制动转矩,使纸带张力保持在设定值,确保纸带不会因张力过大而断裂,从而实现对纸袋张力的闭

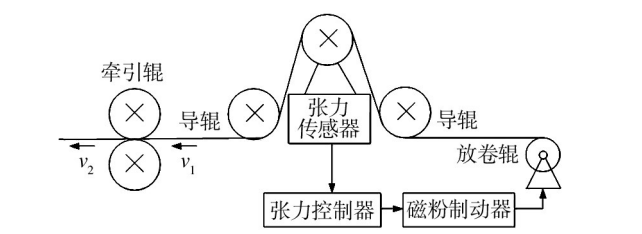


图2 纸纱复合制袋印刷一体机纸带张力控制系统
Fig.2 Diagram of paper tape tension control system of the compound paper-yarn bag-making and printing all-in-one machine

环控制^[5-7]。

2 基于余弦自适应调整惯性权重的模糊自适应PID张力控制器

基于余弦自适应调整惯性权重优化算法的模糊自适应PID张力控制系统结构见图3。粒子群算法优化的PID控制与传统算法相比,在优化控制器参数时能搜寻到最优或次优的参数空间,能得到更优解^[8-9]。

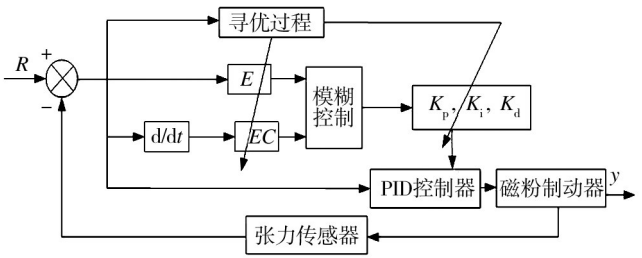


图3 张力控制器结构
Fig.3 Structure diagram of tension controller

模糊控制器中的量化因子和比例因子均会影响整个模糊控制器的控制效果,仅凭人工经验确定参数值具有一定的盲目性,且很难得到最佳参数值,因此文中采用余弦自适应调整惯性权重优化算法的寻优能力,来优化模糊控制器中的参数值,选择出最优的PID参数。通过模糊自适应PID控制器对磁粉制动器进行控制,以满足纸带张力在不同时刻的变化要求,保持对纸张张力的控制。

2.1 余弦自适应调整惯性权重粒子群算法

粒子群优化算法(PSO)是一种群体智能优化算法,它源于对鸟群捕食的行为研究^[10],通过模拟鸟类的觅食行为,及个体之间的竞争与协作来得到最优解。目前已被广泛应用于神经网络训练、函数优化、模糊控制以及工程应用^[11-12]等领域。

粒子群算法中的惯性权重 ω 控制 PSO 的全局搜索能力和局部搜索能力, 因此有人提出了基于余弦自适应调整惯性权重的粒子群优化算法^[13-14], 根据不同的粒子聚集度 s , 采用不同惯性权重生成策略。

1) 当 $0 < s \leq \frac{1}{2}$ 时, 由于粒子的位置分布比较散, 为了维护群体的多样性, 有利于全局搜索, 所以使惯性权重 ω 以步长 $1/T_{\max}^2$ 为非线性递减, 从而避免了算法早熟收敛。

$$\omega = \omega_{\max} + (\omega_{\max} - \omega_{\min}) \cos\left(\frac{\pi}{2} \times \frac{t}{T_{\max}^2}\right) \quad (1)$$

2) 当 $\frac{1}{2} < s \leq 1$ 时, 此时粒子的位置相对集中, 为了进行精细的局部搜索, 所以惯性权重 ω 以步长 $1/T_{\max}$ 非线性递减, 提高算法的精度。

$$\omega = \omega_{\min} + (\omega_{\max} - \omega_{\min}) \cos\left(\frac{\pi}{2} \times \frac{t}{T_{\max}}\right) \quad (2)$$

式中: $\omega_{\max}$, $\omega_{\min}$ 分别为最大惯性权重和最小惯性权重; $T_{\max}$ 为终止迭代次数; t 为当前进化代数。

2.2 粒子的编码

文中粒子的编码采用实数编码, 将粒子编码分为两部分:

$$P = [P_1, P_2] \quad (3)$$

$$P_1 = [p_1, p_2, \dots, p_n] \quad (4)$$

$$P_2 = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i] \quad (5)$$

式中: P_1 为一体机张力控制器中输入变量 E 和 EC 的隶属度函数的顶点集合; P_2 为模糊规则库中所有模糊规则的权值; n 为输入变量隶属函数参数的个数; i 为模糊规则的数目。粒子编码 P_1 部分的粒子范围由实际情况确定, 粒子编码 P_2 部分的范围为 $[0, 1]$ ^[15]。

2.3 算法描述过程

基于余弦自适应调整惯性权重策略算法优化的算法流程见图 4。首先对粒子群进行初始化编码, 然后计算粒子群的适应度值和种群聚集度, 并根据种群聚集度选择不同的惯性权重, 来更新每个粒子的速度与位置。最后判断算法误差是否满足要求, 如未达到结束条件, 则继续根据种群聚集度选择惯性权重, 更新粒子的速度与位置, 直至符合终止条件, 得出 K_p , K_i , K_d 值。

2.4 模糊规则的建立

模糊规则是模糊控制的重要组成部分, 其参数设置决定着控制器的控制精度。在纸张的恒张力控制

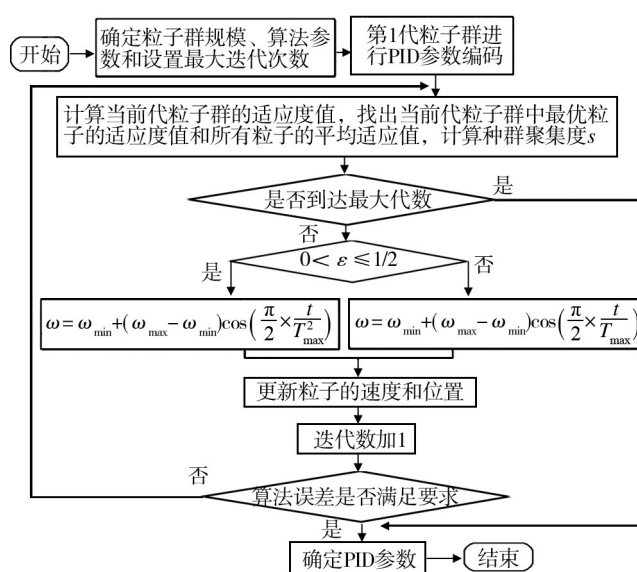


图 4 算法流程

Fig.4 Algorithm flowchart

中, 要实时检测外界扰动, 且对其参数进行快速调节。由此, 根据现场操作人员与专家的现场运行维护经验, 建立适当的模糊控制规则表。

设定一体机纸带张力控制系统的输入变量为 E 和 EC , 输出变量为 ΔK_p , ΔK_i , ΔK_d 。输入输出变量的模糊子集都为 $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$, 量化论域均为 $[-3, 3]$ 。模糊控制器中输入输出变量隶属度函数见图 5。模糊控制规则见表 1。

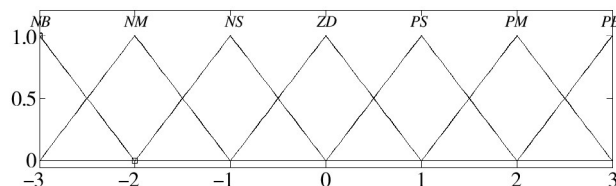


图 5 输入输出变量隶属度函数

Fig.5 Membership function of the input and output variables

3 仿真实验

如图 2 所示, 以纸纱复合制袋印刷一体机制袋过程中的放卷过程为研究对象, 只有当 $v_2 > v_1$ 时, 才会有张力产生。牵引电机带动牵引辊转动, 使纸张拉伸产生张力, 当张力达到所需值时, 此时拉动放卷辊转动。设纸卷卷径为 D_1 , 纸卷芯轴转动惯量为 J_1 , 放卷辊卷径为 D_0 , 放卷辊纸带密度为 ρ , 磁粉制动器激磁电流为 I_t , 转动阻尼系数为 B_t , 静特性斜率为 K_ω , 纸带宽度为 b , 纸带厚度为 h , 干性摩擦力矩为 M , 纸带运动速度为 v_1 , 可得放卷辊的力矩平衡方程为^[6-7]:

表1 模糊控制规则
Tab.1 Rule of fuzzy control

E	EC						
	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
PB	NB,PB,PB	NB,PB,PS	NM,PM,PS	NM,PM,PM	NM,PS,PM	ZO,ZO,PM	ZO,ZO,PB
PM	NB,PB,PB	NM,PB,PS	NM,PM,PS	NM,PS,PS	NS,PS,PS	ZO,ZO,NS	PS,ZO,PB
PS	NM,PB,ZO	NM,PM,ZO	PS,NS,ZO	NS,PS,ZO	ZO,ZO,ZO	PS,NS,ZO	PS,NM,ZO
ZO	NM,PM,ZO	NM,PM,NS	NS,PS,NS	ZO,ZO,NS	PS,NS,NS	PM,NM,NS	PM,NM,ZO
NS	NS,PS,ZO	NS,PS,NS	ZO,ZO,NS	PS,NS,NM	PM,NS,NM	PM,NM,NS	PM,NB,ZO
NM	NS,ZO,ZO	ZO,ZO,NS	PS,NS,NM	PS,NS,NM	PM,NM,NB	PB,NB,NS	PB,NB,PS
NB	ZO,ZO,PS	ZO,ZO,NM	PS,NS,NB	PM,NM,NB	PM,NM,NB	PB,NB,NS	PB,NB,PS

$$F = \frac{2K_{\omega}I_f}{D_1} + \frac{4B_1}{D_1^2}v_1 + \left(-\frac{8hJ_1}{\pi D_1^4} + \frac{\rho bh\pi D_0^4}{4D_1^4} - \frac{5\rho bh}{4}\right) \cdot$$
$$v_1^2 + \left(\frac{4J_1}{D_1^2} + \frac{\rho b\pi D_1^2}{8} - \frac{\rho b\pi D_0^2}{8D_1^2}\right)\frac{dv_1}{dt} + M \tag{6}$$

张力控制的执行部件磁粉制动器的数学模型可写成一阶纯滞后的形式^[16]:

$$G(s) = \frac{M(s)}{I(s)} = \frac{K_0}{t_0s + 1}e^{-\tau s} \tag{7}$$

式中: $M(s)$ 为磁粉制动器转矩; $I(s)$ 为激磁电流; τ 为磁粉制动器滞后时间常数; t_0 为时间常数; K_0 为磁粉制动器增益。

通过 Matlab 软件来实现系统的仿真实验, $K_0=8.2$, $t_0=0.2$, $\tau=0.65$,采样时间间隔为 0.1,仿真时间为 2 s,粒子种群数 $L=100$,最大迭代次数 $N=100$,常数 $C_1=C_2=2$ 。通过对传统 PID 控制、模糊 PID 控制与文中设计的控制器进行仿真比较,得到的仿真结果见图 6。3 种控制方案的性能指标比较见表 2。

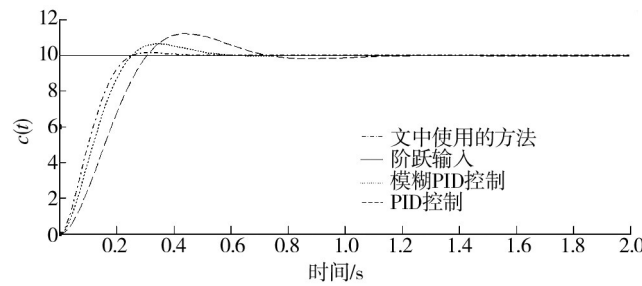


图6 仿真结果

Fig.6 Simulation results

表2 3种控制方案的性能指标比较

Tab.2 Comparison of performance indexes of three kinds of control schemes

控制器类型	超调量/%	上升时间/s	调节时间/s	积分性能指标
PID控制	12	0.32	1.3	2.4
模糊PID控制	8	0.25	0.8	1.3
文中方法	2	0.24	0.5	0.6

通过以上几种方法比较发现,文中所使用的张力控制方法最后得到的曲线超调小、上升时间短、响应速度快、调节时间短,能够得到比较理想的控制效果。

4 结语

在纸纱复合制袋印刷一体机中,张力控制的精确程度直接影响纸纱复合袋的质量。文中利用模糊控制理论和 PSO 优化算法理论,设计了一种张力控制器。通过 PSO 优化算法对其比例因子和量化因子进行优化,选择出一组最优的 PID 参数来提高张力的控制精度。通过仿真比较得出,相比于 PID 张力控制器和模糊自适应 PID 张力控制器,文中提出的张力控制器在提高系统响应快速性、减小系统稳态误差、缩短系统过渡过程时间等方面均有较好的效果,可以满足纸纱复合制袋印刷一体机的张力控制要求。

参考文献:

[1] 彭珍瑞,董海棠,殷红,等. 新型纸纱复合制袋机控制系统的研制[J]. 传感器与微系统,2011,30(6):90—92.
PENG Zhen-rui, DONG Hai-tang, YIN Hong, et al. Research and Fabrication of Control System of New Paper and Yarn Compounding Bag-making Machine[J]. Transducer and Microsystem Technologie,2011,30(6):90—92.

[2] 殷红,董海棠,汪净,等. 纸纱复合制袋机控制系统设计[J]. 自动化仪表,2012,33(3):24—27.
YIN Hong, DONG Hai-tang, WANG Zheng, et al. Design of the Control System for Compound Paper-yarn Bag-making Machine[J]. Automatic instruments,2012,33(3):24—27.

[3] 岳艳虹,彭珍瑞,侯飞. 纸纱复合制袋印刷一体机控制系统设计[J]. 制造业自动化,2013,35(1):121—122.
YUE Yan-hong, PENG Zhen-rui, HOU Fei. Design of the Control System for Compound Paper-yarn Bag-making and Printing Machine[J]. Manufacturing Automation,2013,35(1):

- 121—122.
- [4] 侯飞. 新型纸纱复合制袋印刷一体机开发研究[J]. 中国印刷与包装研究, 2012, 4(6): 22—27.
HOU Fei. Research and Exploitation of the New Paper and Yarn Compounding Bag-making and Printing All-in-one Machine[J]. China Printing and Packaging Study, 2012, 4(6): 22—27.
- [5] 孙玉秋. 卷筒纸印刷机张力系统的检测[J]. 包装工程, 2008, 29(1): 78—80.
SUN Yu-qiu. Tension Detection System of Web Printing Press [J]. Packaging Engineering, 2008, 29(1): 78—80.
- [6] 郭应锋. 印刷机系统恒张力控制的研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2004.
GUO Ying-feng. Research of Constant Tension Control System of Printing Machine[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2004.
- [7] 田志强, 张青, 王菲, 等. 基于模糊遗传PID的育果袋机纸带张力控制应用[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(1): 98—102.
TIAN Zhi-qiang, ZHANG Qing, WANG Fei, et al. Application of Tension Control of Paper Tape of Fruit Cultivating Bag Machine Based on Fuzzy Genetic PID[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2014, 35(1): 98—102.
- [8] 胡海兵, 胡庆波, 吕征宇. 基于粒子群优化的PID伺服控制器设计[J]. 浙江大学学报(工学版), 2006, 40(12): 2144—2148.
HU Hai-bing, HU Qing-bo, LYU Zheng-yu. PID Controller Design in Servo System Based on Particle Swarm Optimization [J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2006, 40(12): 2144—2148.
- [9] 郭大庆, 李晓, 赵永进. 基于改进PSO算法的PID参数自整定[J]. 计算机工程, 2007, 33(18): 202—204.
GUO Da-qing, LI Xiao, ZHAO Yong-jin. Self-tuning of PID Parameters Based on Improved PSO Algorithm[J]. Computer Engineering, 2006, 40(12): 2144—2148.
- [10] 史峰, 王辉, 胡斐, 等. MATLAB智能算法30个案例分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.
SHI Feng, WANG Hui, HU Fei, et al. Matlab Intelligent Algorithm 30 Case Studies[M]. Beijing: Beihang University Press, 2011.
- [11] 王咏, 刘晓东, 徐小慧, 等. 基于粒子群优化的数据分类算法[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(22): 6158—6162.
WANG Yang, LIU Xiao-dong, XU Xiao-hui, et al. Particle Swarm Optimization for Data Classification[J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(22): 6158—6162.
- [12] 王晓敏, 刘希玉, 戴芬. 基于PSO的关联规则挖掘方法及应用[J]. 信息技术与信息化, 2009(3): 85—87.
WANG Xiao-min, LIU Xi-yu, DAI Fen. Method and Application of Mining Association Rules Based on PSO Algorithm[J]. Information Technology & Informatization, 2009(3): 85—87.
- [13] 路杨, 张晓丽. CW-PSO及其在古建筑传感器优化配置中的应用研究[J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(5): 268—270.
LU Yang, HANG Xiao-li. Particle Swarm Optimization Based on Cosine Adaptive Adjusting Inertia Weight and Its Application Research in Optical Sensor Placement of Historic Architecture[J]. Computer Engineering and Applications, 2013, 49(5): 268—270.
- [14] 王润芳, 张耀军, 裴志松. 新型的动态粒子群优化算法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(16): 32—34.
WANG Run-fang, ZHANG Yao-jun, PEI Zhi-song. Novel Particle Swarm Optimization Algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2011, 47(16): 32—34.
- [15] 应明峰, 王海洋, 翟力欣. 一种云自适应粒子群优化的模糊PID控制器设计[J]. 计算机测量与控制, 2013(12): 3278—3280.
YING Ming-feng, WANG Hai-xiang, DI Li-xin. Design of Fuzzy PID Controller Based on Adaptive Particle Swarm Optimization with Cloud Theory[J]. Computer Measurement & Control, 2013(12): 3278—3280.
- [16] 盛新. 模糊PID在高速切纸机张力控制中的应用[D]. 济南: 山东轻工业学院, 2009.
SHENG Xin. Application of Fuzzy-PID Intension Control of High Speed Sheeting[D]. Jinan: Shandong Polytechnic University, 2009.

(上接第81页)

- Beijing: Mechanical Industry Press, 2009.
- [14] 徐芳, 周志刚. 基于ADAMS的凸轮机构设计及运动仿真[J]. 机械设计与制造, 2007(9): 78—80.
XU Fang, ZHOU Zhi-gang. Analysis on CAM Mechanism Design and Motion Simulation Based on ADAMS[J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2007(9): 78—80.
- [15] 周泉, 孔建益, 杨金堂. 基于ADAMS/View的内啮合齿轮运动学仿真[J]. 计算机应用技术, 2009, 36(4): 50—52.
ZHOU Quan, KONG Jian-yi, YANG Jin-tang. Kinematic Analysis of Inside Engaged Gear Based on ADAMS[J]. Technology of Computer Application, 2009, 36(4): 50—52.