

考虑铰链间隙和连杆柔性推料机构运动学分析

席晓燕

(唐山学院, 唐山 063000)

摘要: **目的** 基于 ADAMS 软件, 对包装机推料机构进行虚拟样机建模。**方法** 对机构进行仿真, 在此基础上建立铰链间隙模型、柔性体模型和铰链间隙柔性体都存在的模型。通过与理想模型运动曲线进行对比, 分析各个铰链间隙和连杆柔性对运动学规律的影响。**结果** 运动副间隙 (0.25 cm) 对推料板的速度、加速度影响明显, 会产生振荡现象; 同时考虑运动副间隙 (0.25 cm) 和构件柔性, 得到的速度、加速度曲线趋于平稳, 缓解了铰链间隙产生的冲击。**结论** 适当考虑连杆柔性, 可以缓解铰链间隙产生的振荡, 使推料板运动趋于稳定。

关键词: 包装机; 推料机构; ADAMS; 柔性体; 铰链间隙

中图分类号: TB486; TS261.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)05-0136-05

Kinematics of Pusher Considering Hinge Gap and Linkage Flexibility

XI Xiao-yan

(Tangshan College, Tangshan 063000, China)

ABSTRACT: The work aims to build a virtual prototype model of pusher for packaging machine based on ADAMS. The simulation of pusher was carried out, based on which the hinge gap model, the flexible body model and the hinge gap flexible body model were established. Through the comparison with the motion curves of ideal model, the influences of each hinge gap and linkage flexibility on the kinematics law were analyzed. The effect of kinematic pair clearance (0.25 cm) on speed and acceleration of pushing plate was obvious, which caused oscillation; meanwhile, kinematic pair clearance (0.25 cm) and component flexibility were considered. The speed and acceleration curves obtained tended to be stable, which eased the hinge gap impact. Appropriate considerations taken for linkage flexibility can ease the oscillation generated by hinge gap, so as to enable the pushing plate to move stably.

KEY WORDS: packaging machine; pusher; ADAMS; flexible body; hinge clearance

包装机的推料机构是将流水线生产出来的产品按照一定轨迹运送到包装机的相应进口进行包装。根据包装工艺的要求, 执行机构需要按照特定轨迹运动, 根据推送物料性质的不同, 例如一些易碎、高精度仪表器件等要求工作行程速度应接近匀速, 以保证推料过程平稳、无冲击, 由于凸轮机构可以用在对从动件运动规律要求严格的场合, 也可以根据实际需要任意拟定从动件的运动规律, 因此推料机构常用凸轮连杆机构实现^[1-3]。在加工制造过程中, 推料执行机构由于装配、制造误差及正常磨损, 会使运动副产生间隙, 导致运动副元素之间可能会发生碰撞和冲击, 加剧磨损以及产生噪声和振动。文献^[4]提出了一

种含间隙平面连杆机构运动精度的稳健优化设计方法。文献^[5]基于仿真软件对含间隙铰链酒瓶装箱机构进行了优化设计。机构在实际运行时, 由于材料的特性对构件的柔性影响也不容忽视, 有许多学者针对柔性连杆机构的动力学特性进行了较为深入的研究^[6-8], 而对考虑运动副间隙和连杆柔性的共同影响的研究报告较少。文献^[9]基于仿真软件平台, 采用冲击函数理论模拟间隙接触的碰撞, 研究了含间隙运动副柔性曲柄摇杆机构的动力学行为, 文献^[10]同时考虑构件的柔性和运动副的间隙, 对酒瓶装箱机构进行了优化设计与动力学分析。

文中应用虚拟样机软件 ADAMS 建立推料执行

收稿日期: 2016-06-05

基金项目: 河北省科技厅项目 (16221923)

作者简介: 席晓燕(1979—), 女, 硕士, 副教授, 主要研究方向为机械动力学、机械设计及理论教学与研究。

机构的虚拟样机模型并进行仿真分析^[11-15], 得到铰链处受力图。考虑运动副处间隙, 用销孔和轴的间隙配合替换理想运动副, 并添加碰撞接触力, 分析了运动副间隙对推料板位移、速度、加速度的影响; 考虑构件的柔性对机构中连杆柔性化, 并分析连杆的柔性对机构动力学特性的影响。

1 推料机构建模仿真

直角坐标型推料机构的机构运动简图见图 1^[16]。

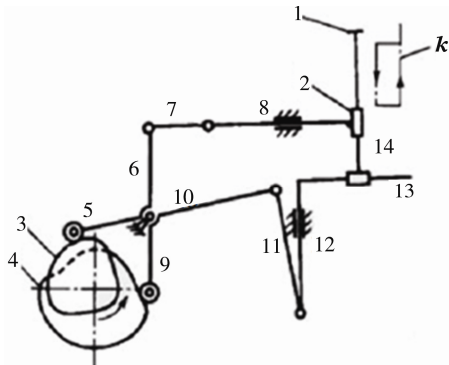


图1 推料机构运动简图

Fig.1 Kinematic sketch of pusher machine

经过机构运动分析可以看出杆5、6、7、8组成一个水平方向的偏置滑块机构, 杆8可以看做滑块, 只能在水平导轨上运动。其杆长和水平方向的最大行程有关, 设最大行程为 s , 固定铰链到滑块的垂直距离为偏距 e , 设杆6长为 x , 杆7长为 y , 见图2。

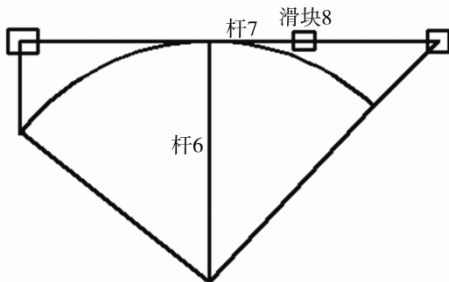


图2 水平方向运动

Fig.2 Horizontal movement

由图2可以看出当杆6与杆7共线时, 夹角达到 180° 时, 达到最右端, 推程最大处。当杆7达到垂直位置时, 达到左端最大位移处, 由此可知最大行程为最左端滑块到最右端滑块的距离。用图解法可以求得最大行程 s , 由图3可以得到水平方向最大行程 s 与杆长的关系。

$$s = \sqrt{(x+y)^2 - e^2} + \sqrt{x^2 - (e-y)^2} \quad (1)$$

根据机构设计要求的最大行程, 可以确定杆6与杆7的长度, 固定铰链的位置根据偏距来确定, 杆5和杆8的尺寸可以根据机构所占空间大小, 以及实际情况来分析确定, 杆13的长度必须大于设计行程长度。杆9、10、11、12组成垂直方向的偏置滑块机构,

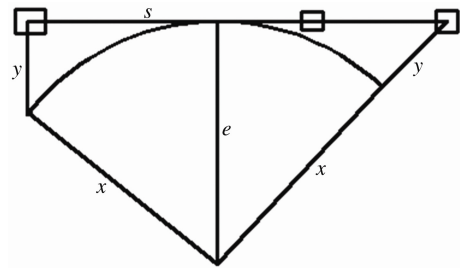


图3 行程 s 求解

Fig.3 Solution of distance s

杆12可以看做滑块, 只能在垂直方向上运动, 设垂直方向最大行程为 s' , 固定铰链到杆12的水平距离为偏距 e' , 设杆10长为 x' , 杆11长为 y' , 见图4。

由图4可以看出当杆10与杆11共线时, 夹角达到 180° 时, 达到最下端, 推程最大处。当杆11达到水平位置时, 达到上端最大位移处, 由此可知最大行程为最上端滑块到最下端滑块的距离。

用图解法可以求得最大行程 s' , 由图5可以得到垂直方向最大行程 s' 与杆长的关系:

$$s' = \sqrt{(x'+y')^2 - e'^2} + \sqrt{x'^2 - (e'-y')^2} \quad (2)$$

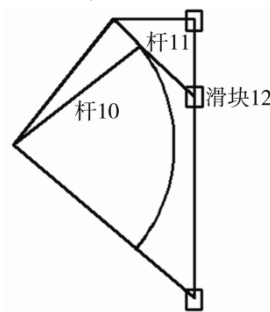


图4 垂直方向运动图

Fig.4 Vertical movement

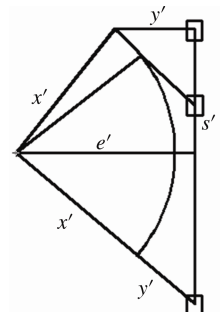


图5 行程 s' 求解

Fig.5 Solution of distance s'

根据机构设计要求的最大行程, 可以确定杆10与杆11的长度, 固定铰链的位置根据偏距来确定, 杆9和杆12的尺寸可以根据机构设计要求所占空间大小, 以及实际情况来分析确定, 杆14的长度必须大于设计行程长度。

凸轮的求解用ADAMS中反转法, 根据反转法, 凸轮不动, 滚子按照预定轨迹运动, 绕回转中心旋转一周, 凸轮的理论轮廓曲线就是滚子中心走过的曲线, 最终建立的模型见图6。

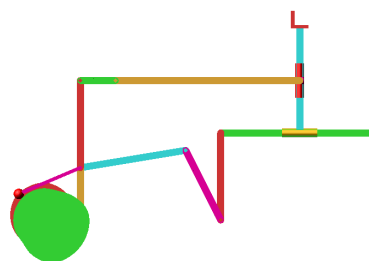


图6 推料机构模型

Fig.6 Model of pusher

2 机构运动学分析

2.1 刚性连杆含间隙运动学分析

由于加工误差、制造、装配等原因,运动副处的间隙不可避免。间隙的存在对运动产生影响,因为间隙改变连接件间受力的方向和力的大小,对构件的速度、加速度等产生影响。CONTACT 力是 ADAMS 软件对于仿真模拟这种实际问题而设置的。通过在 ADAMS 机构模型中添加 CONTACT 力来对机构实际运行状态进行仿真分析,以得到更加切合实际的结果。

连杆是具有较高的强度和抗疲劳强度;又要求具有足够的钢性和韧性,其运动形式比较复杂,所受力也在一直变化,所以选择连杆的铰链处创建 CONTACT 力,可以更加有效地分析间隙铰链连接对运动的影响,连杆处铰链见图 7。

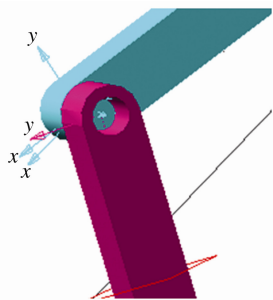


图 7 间隙铰链模型
Fig.7 Model of hinge clearance

模型建立好后对机构进行仿真和运动学分析,将刚性连杆含铰链间隙的位移、速度、加速度曲线与不含铰链间隙状态下不含间隙的模型作对比分析,见图 8。

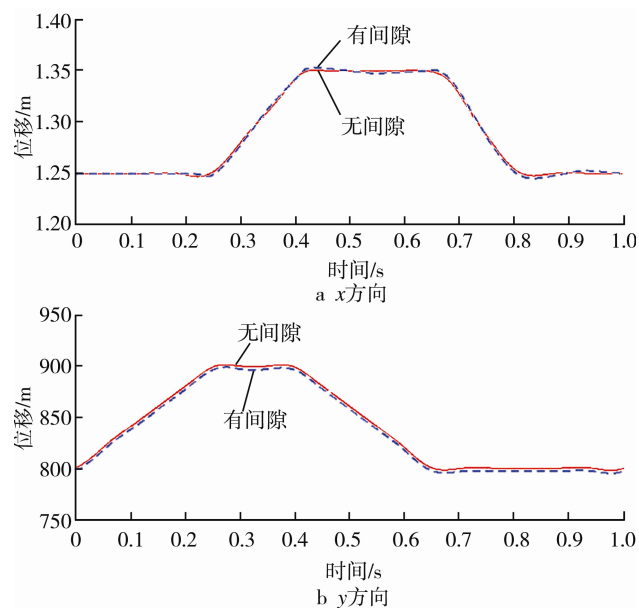


图 8 位移对比曲线
Fig.8 Displacement comparison curve

由图 8a 可以看出,有无间隙铰接对 x 方向的位移影响不大,曲线基本重合。由图 8b 可知,有间隙的铰接和理想状态下没有间隙的铰接 y 方向位移大致相等,但推料板的各个时间的高度位置比无间隙时要向低一点, y 方向位移曲线整体向下平移,平移的距离正好等于间隙值。这是因为有间隙的铰链连接处存在缝隙,主动件动作时,由于间隙的存在,轴套和轴不能第一时接触产生力来驱动从动件的运动,这就使运动延迟,运动所能达到的位置发生改变。总体来说,间隙铰接对位移影响较小。

由图 9 可以看出,含间隙的速度曲线出现不稳定,对于 x 方向影响较大。对于 y 方向只在开始的时候曲线出现剧烈跳动,之后与理想状态下的速度曲线基本重合,趋向于稳定。在动态含间隙运动副的轴和轴套中,通常包含 3 种运动形态,连续接触、碰撞、自由运动。运动状态在不停发生着变化,所以速度也在不断发生变化,出现不稳定状态。

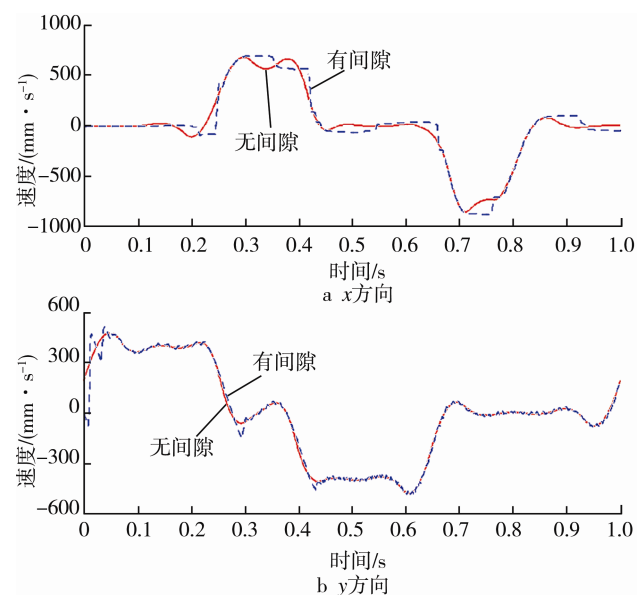


图 9 速度对比曲线
Fig.9 Speed comparison curve

由图 10 可以得出间隙铰接对加速度的影响很大。当间隙存在时,运动状态会出现时而接触碰撞、时而分离的情况,加速度明显出现剧烈波动,运动不稳定。间隙值越大,运动越不稳定。

2.2 柔性连杆含间隙机构运动学分析

机构在实际运行时,由于材料的特性对构件的柔性影响也不容忽视,应用有限元分析软件 ANSYS 将连杆柔性化,并生成 mnf 格式的文件,将生成的文件用柔性体替换刚性体的方法导入到 ADAMS 中。将柔性连杆和含铰链间隙的模型与刚性连杆不含铰链间隙理想模型作对比,分析其位移、速度、加速度曲线。

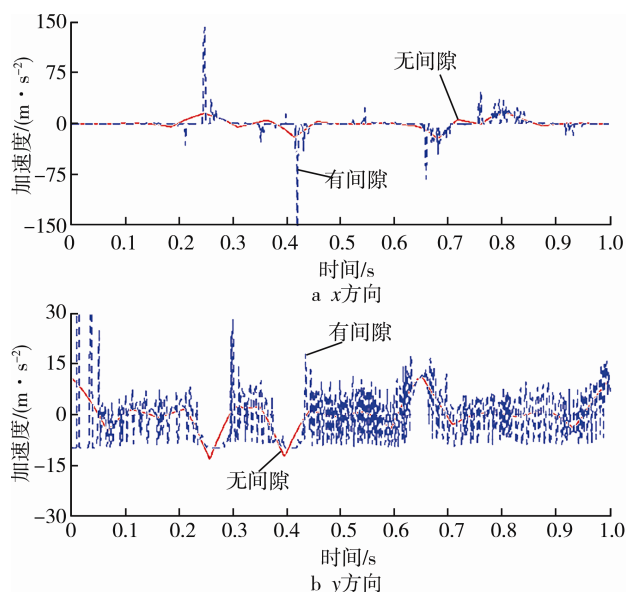


图10 加速度对比曲线

Fig.10 Acceleration comparison curve

由图 11 可知含柔性和间隙的模型对于位移的影响甚小,可以忽略。与之前只考虑铰链间隙的模型位移曲线相对比,柔性体使铰链间隙对位移的影响减小。

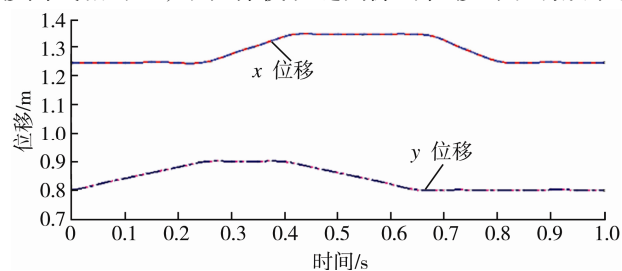


图11 位移曲线

Fig.11 Displacement curve

由图 12a 可知铰链间隙和柔性对速度对 x 方向的速度影响较小,由图 12b 可知 y 方向的速度曲线有轻微的波动,与图 9 只考虑间隙铰接的模型速度曲线对比,由于添加了柔性杆,间隙对速度的影响减弱了。

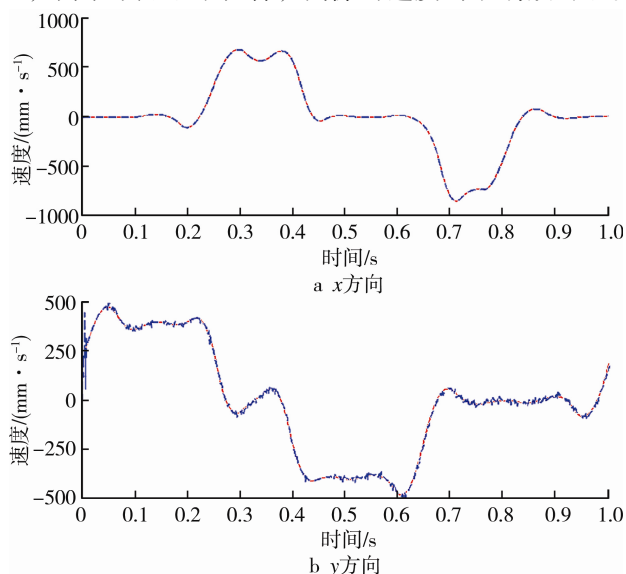


图12 速度曲线

Fig.12 Speed curve

对比图 10a 和图 13a, 图 10b 和图 13b 可知,考虑连杆柔性后,铰链间隙产生的接触力对推料板的振动冲击得到缓解,加速度波动减缓。通过和连杆为刚性铰链含有间隙时的仿真曲线对比,可以得出销轴与销孔基本都是外表面一直接触,而且中心距离稳定波动,进一步说明柔性因素对接触力碰撞形态有缓冲作用,对碰撞的剧烈程度有所减轻,说明柔性因素可以抑制间隙因素带来的影响。

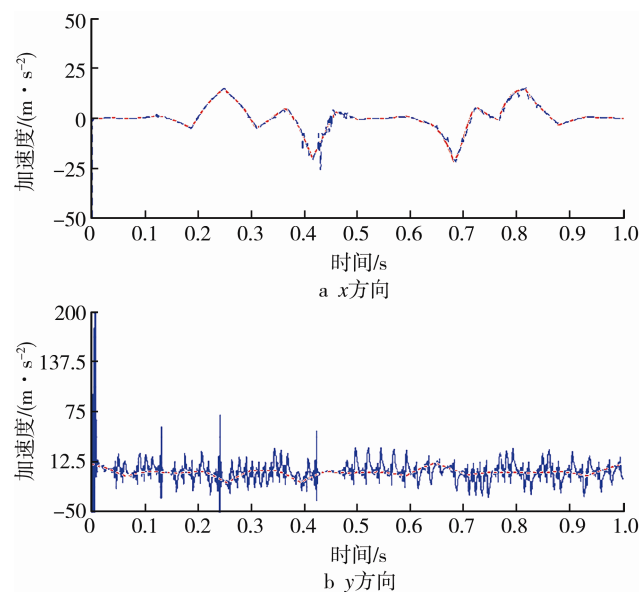


图13 加速度曲线

Fig.13 Acceleration curve

3 结语

建立了包装机推料机构的虚拟样机模型并仿真,得到了考虑连杆柔性和铰链间隙对运动学的影响规律,对位移的影响较小,对加速度影响较大。铰链间隙的存在对速度和加速度影响很大,轴和轴套出现剧烈碰撞,使机构运动出现振动,运动曲线剧烈震荡,对机构的运动属于不利因素。同时考虑运动副间隙和连杆柔性,得到的速度、加速度曲线又趋于平稳,缓解了铰链间隙产生的冲击,连杆柔性因素对轴和轴套的碰撞有一定的缓冲作用,使运动曲线在大部分周期内趋于平稳,适当考虑连杆柔性,可以缓解铰链间隙产生的振荡,使推料板运动趋于稳定。

参考文献:

- [1] 董伟, 李克天, 李啟定. 自动装盒机推料机构设计与仿真[J]. 包装工程, 2015, 36(9): 14—16
DONG Wei, LI Ke-tian, LI Qi-ding. Designing and Simulation of Pusher Mechanism for Automatic Carton-ing Machine[J]. Packaging Engineering, 2015, 36 (9): 14—16.
- [2] MI Jin-tai, MENG Yong-gang. Numerical Analyses of

- Hydro-dynamic Lubrication and Dynamics of the Rolling Piston and Crankshaft in a Rotary Compressor [J]. Tribology Transactions, 2014(6): 1136—1147.
- [3] 向飞, 李克天, 何卫峰, 等. 自动装盒机推料机构凸轮的设计及运动仿真[J]. 制造业自动化, 2014(5): 137—139.
XIANG Fei, LI Ke-tian, HE Wei-feng, et al. Design and Kinematic Simulation of Pusher Mechanism in Automatic Car-toning Machine[J]. Manufacturing Automation, 2014(5): 137—139.
- [4] 郭惠昕, 岳文辉. 含间隙平面连杆机构运动精度的稳健优化设计[J]. 机械工程学报, 2012, 48(3): 75—81.
GUO Hui-xin, YUE Wen-hui. Design Optimization of Planar Linkage Mechanism with Joint Clearance for Improving the Robustness of Kinematic Accuracy[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(3): 75—81.
- [5] 席晓燕. 基于 ADAMS 的含间隙酒瓶装箱机构优化设计[J]. 包装工程, 2013, 34(1): 69—74.
XI Xiao-yan. Optimization Design of Wine Bottle Packing Machine Based on ADAMS[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(1): 69—74.
- [6] LOWEN G G, CHASSAPIS C C. The Elastic Behavior of Linkages: An Update[J]. Mechanism & Machine Theory, 1986, 21(1): 33—42.
- [7] BEJKOW I J. Application FEM in Modeling Rigid and Flexible Systems with Joint Clearances[J]. Shock and Vibration Digest, 2000, 32(1): 63.
- [8] MIYABE T, KONNO A, UCHIYAMA M. Cooperative Control of a Two-arm Flexible Manipulator with Redundancy[C]//IEEE/RSJ, 2002, 3: 2708—2713.
- [9] 郭杏林, 赵子坤. 含间隙柔性曲柄摇杆机构动力学分析[J]. 机械强度, 2010, 32(6): 905—909.
GUO Xing-lin, ZHAO Zi-kun. Dynamic Analysis of A Flexible Crank Rocker Mechanism with Clearance[J]. Journal of Mechanical Strength, 2010, 32(6): 905—909.
- [10] 席晓燕. 基于 ADAMS 的含间隙柔性酒瓶装箱机构的优化设计与动力学仿真[J]. 机械科学与技术, 2013, 32(8): 1195—1199.
XI Xiao-yan. Kinematics Simulation and Optimization Design of Flexible Wine Bottle Packing Machine with Clearance Based on ADAMS[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2013, 32(8): 1195—1199.
- [11] 李宇庭, 胡万里, 谢伟华, 等. 椭圆齿轮-槽轮组合机构的虚拟样机设计及仿真分析[J]. 包装工程, 2014, 35(17): 79—85.
LI Yu-ting, HU Wan-li, XIE Wei-hua, et al. The Design and Simulation Analysis for the Virtual Prototype of Elliptic Gear-geneva Combined Mechanism[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(17): 79—85.
- [12] 刘静, 汪中厚, 黄德杰. 基于 ADAMS 的包裹机推料机构凸轮轮廓曲线设计[J]. 包装工程, 2011, 32(13): 14—16.
LIU Jing, WANG Zhong-hou, HUANG De-jie. Cam Contour Curve Design of Packaging Machine Pusher Mechanism Based on ADAMS[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(13): 14—16.
- [13] 李宇庭, 胡万里, 谢伟华, 等. 椭圆齿轮-槽轮组合机构的虚拟样机设计及仿真分析[J]. 包装工程, 2014, 35(17): 79—85.
LI Yu-ting, HU Wan-li, XIE Wei-hua, et al. The Design and Simulation Analysis for the Virtual Prototype of Elliptic Gear-geneva Combined Mechanism[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(17): 79—85.
- [14] 田野, 孙智慧, 郑赛男, 等. 包装机中推料机构分析及优化[J]. 包装工程, 2013, 34(21): 66—70.
TIAN Ye, SUN Zhi-hui, ZHENG Sai-nan, et al. Analysis and Optimization of Feeding Mechanism of Packaging Machine[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(21): 66—70.
- [15] 袁清珂, 李龙刚, 冯竞浩, 等. 先进设计技术平台与包装机械虚拟样机[J]. 包装工程, 2014, 35(19): 59—64.
YUAN Qing-ke, LI Long-gang, FENG Jing-hao, et al. Advanced Design Technique Platform and Packaging Machinery Virtual Prototype[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(19): 59—64.
- [16] 刘静, 汪中厚, 黄德杰. 基于 ADAMS 的包裹机推料机构凸轮轮廓曲线设计[J]. 包装工程, 2011, 32(13): 14—15.
LIU Jing, WANG Zhong-hou, HUANG De-jie. Cam Contour Curve Design of Packaging Machine Pusher Mechanism Based on ADAMS[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(13): 14—15.