

玻璃杯自动封装机及流水线平衡控制

周龙阳, 张博, 孙宇鲲, 巫浩然, 袁慧静, 高艺

(长春理工大学, 长春 10186)

摘要: **目的** 针对易碎品玻璃杯研究一种玻璃杯自动封装机, 通过各工序之间的协调配合实现玻璃杯的快速封装, 重点解决玻璃杯的高效封装问题。**方法** 通过囤箱机构、撑箱机构、热熔机构、升降机构、推杯机构、折箱机构、封箱机构实现易碎品封箱动作。纸箱运到下一机构时, 上一机构继续工作, 实现流水线封装过程控制。**结果** 样机能将外形尺寸直径为 80 mm, 高为 80 mm 的玻璃杯缠绕减振膜后, 装入纸箱中, 并对纸箱进行封装工作。**结论** 该流水线具有体积小、功能全、造价成本低等特点, 提高了包装业的机动性, 降低了包装成本, 缩短了周期。

关键词: 易碎品; 封装机; 流水线; 平衡控制

中图分类号: TB486⁺.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)23-0182-05

Automatic Packaging Machine for Glass and Balance Control of Assembly Line

ZHOU Long-yang, ZHANG Bo, SUN Yu-kun, WU Hao-ran, YUAN Hui-jing, GAO Yi
(Changchun University of Science and Technology, Changchun 10186, China)

ABSTRACT: The work aims to study an automatic packaging machine for fragile glass, and achieve the rapid packaging of the glass through the coordination between the various processes, so as to emphatically solve the problem of efficient packaging of glass. The packaging of fragile products was achieved through the hoarding box mechanism, supporting box mechanism, hot melting mechanism, lifting mechanism, pushing cup mechanism, folding box mechanism and packaging mechanism. When the carton was transported to the next mechanism, the last mechanism continued working so that the packaging process of assembly line control was controlled. The prototype could place the glass (diameter: 80 mm, height: 80 mm) wrapped with vibration damping film into the carton for packaging. The assembly line is characterized by small size, full function and low cost, which can improve the mobility of the packaging industry, reduce the packaging cost and shorten the cycle.

KEY WORDS: fragile; packaging machine; assembly line; balance control

随着电子商务的迅速发展,以网上购物为主的电商快递业快速增长,2015 年全年业务量达 200 亿件,同比增长 52%,我国已成为世界快递业第一大国^[1]。我国包装机械厂家经过不断努力,包装机械在计量、制造、技术性能等方面有了不错的成就,特别是啤酒、饮料灌装设备具有高速、成套、自动化程度高、可靠性好等特点^[2]。纸箱的折盖、胶带封装等工作大都由手工完成,包装业存在人手少、工作量大、工作效率低、包装质量不可控、资源浪费等现象。目前市面上的封箱机器大多数为包装流水线、占地空间大、价格

昂贵、操作复杂^[3-6]。伴随着房价的不断上涨,厂房租金不断提高,大部分工厂规模较小,缩小生产流水线已成必然的趋势。

易碎品在装卸和运输过程中极易受损,所以其对于包装的防护性能要求更高^[7]。吴萍^[8]等设计了一种瓦楞纸板包装结构,但是针对易碎品的包装流水线的研究却寥寥无几,文中的全自动纸箱包装流水线便是针对易碎品而设计的。由单片机驱动控制,有响应速度快、体积小、功能全、承载能力强等特点^[9-10]。可广泛应用在大、中、小型工厂和电商等从事易碎品包装的行业。

收稿日期: 2017-05-13

作者简介: 周龙阳(1994—),男,长春理工大学本科生,主攻机械设计制造及其自动化。

通讯作者: 高艺(1968—),女,长春理工大学教授、硕导,主要研究方向为机电系统控制与技术、在线检测理论。

1 玻璃杯自动纸箱封装机设计原理

纸箱由一块瓦楞纸板开槽而成，经过分切、压痕、开槽、开角、钉合或粘合等操作后制成。每个压痕与其相邻的纸箱摇板可以看作一个转动关节，纸箱摇板的折叠是通过纸箱摇板沿压痕转动一定角度来完成^[11-13]。

流水线的包装流程：首先由工作人员将成批的折叠纸箱放入囤箱机构，由囤箱机构将纸箱输送至撑箱机构；撑箱机构的机械爪将纸箱撑起并输入折叶机构的等待区；与此同时，热熔机构将泡沫膜缠绕至玻璃杯外壁，由升降机构把玻璃杯送至推杯机构的等待区；此时，推杯机构将玻璃杯推入纸箱（一箱一杯），之后退回原位；夹持机械爪松开归位；由推箱机构进行短边折叶并将纸箱推入折叶机构；折叶机构对纸箱进行折叶；由推箱机构将纸箱推入封箱机构；封箱机构旋转 360°进行胶带封装；最后由推箱机构将纸箱送至待取区。

2 玻璃杯自动纸箱封装机设计

2.1 整体结构

玻璃杯自动纸箱封装机主要由囤箱机构、撑箱机构、热熔机构、推杯机构、推箱机构、折叶机构、封箱机构等 7 部分组成。

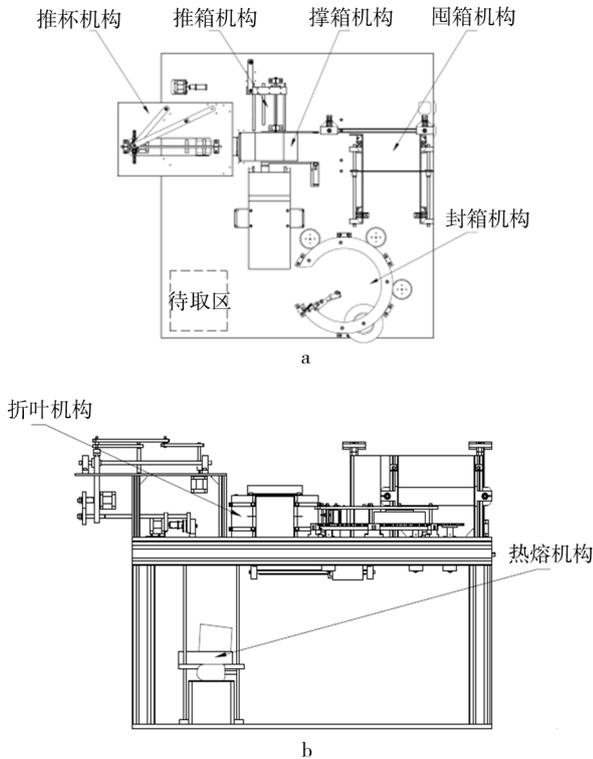


图 1 封箱机整体结构

Fig.1 Overall structure of the packaging machine

2.2 囤箱机构

囤箱机构的工作过程（见图 2）：由侧板将折叠

的纸箱限制在一定范围内，在重锤的重力作用下，后板将纸箱压紧在皮带上；电机转动带动皮带轴转动，由于纸箱被压在皮带上与皮带同步运动，皮带运动将纸箱运送出去，落到机架上顶板指定位置，电机停转，等待下次启动。

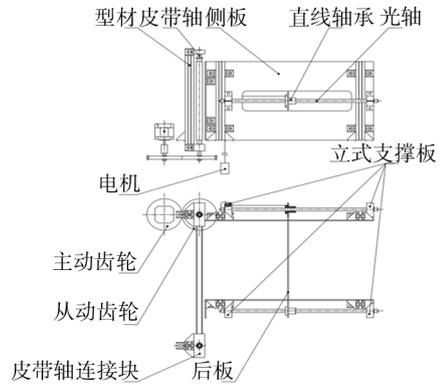


图 2 囤箱机构

Fig.2 The hoarding box mechanism

2.3 撑箱机构

撑箱机构的工作过程（见图 3）：由立式支撑座与机架上顶板相连，将撑箱机构固定在机架上顶板下方；由吸盘吸住折叠状态的纸箱一侧，电机 1 正转，使转动夹板由水平位置转 90°至竖直位置，将折叠状态的纸箱撑起并夹持住；电机 2 正转并带动丝杠转动，电机固定块带动被固定夹板和转动夹板夹持住的纸箱向前移动至下一工作位。下一工作位完成动作后，电机 1 反转，使转动偏心夹板归位。

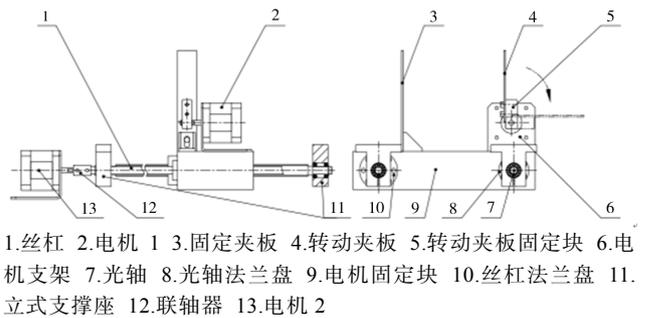


图 3 撑箱机构

Fig.3 The supporting box mechanism

2.4 热熔机构

热熔机构的工作过程（见图 4）：将泡沫膜手动放置于玻璃杯支撑块上，随后将玻璃杯手动放置到玻璃杯支撑块上，直线电机正转，带动热熔棒支架和热熔棒分别向左、右移动，推动泡沫膜并将其裹在玻璃杯外壁上并熔断，直线电机反转归位；电机正转将直线玻璃杯支撑块拉起到指定位置。完成动作后玻璃杯支撑块归位。

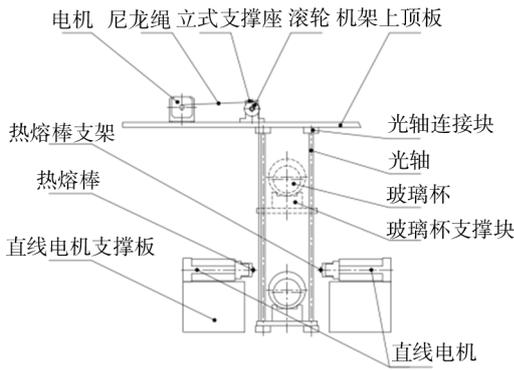


图4 热熔机构
Fig.4 The hot melting mechanism

2.5 推杯机构

推杯机构的工作过程(见图5):从俯视图上看到,由电机带动曲柄运动,通过曲柄摇杆机构使摇杆的竖直分运动带着滑块在滑轨上竖直运动,摇杆的水平分运动使滑轨通过光杆水平滑动,从而带动凸轮水平运动运动,当凸轮要接触到玻璃杯杯底时,电机通过齿轮传动,使凸轮发生转动,使凸轮将玻璃杯顶起。玻璃杯被顶起后继续随摇杆向前移动,送入纸箱中,电机反转,使凸轮与玻璃杯发生分离,并随摇杆向后移动归至原位,待下一个动作发生。

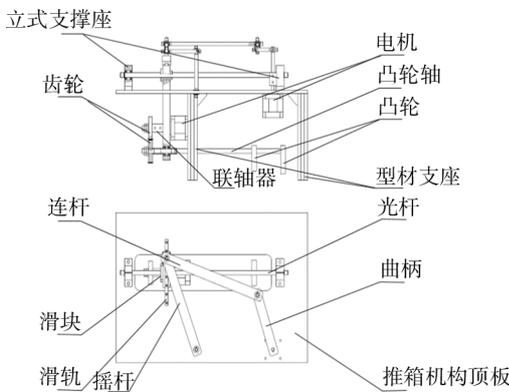


图5 推杯机构
Fig.5 Pushing cup mechanism

由于曲柄摇杆机构具有急回特性且结构简单,易于制造,能够实现多运动规律,在工程实际中应用非常广泛^[14]。在已知运动特性的曲柄摇杆机构的基础上,建立从动件运动角度建立模型,并用 Matlab 进行优化设计,优化方法参考文献[15—16]。已知点 M 沿 x 轴的运动范围是 250 mm,即|x|=250,摇杆的摆动角范围为 90°,a=100,令α=30°,则有方程组:

$$\begin{cases} \cos \alpha = \frac{c^2 + d^2 - (b-a)^2}{2cd} \\ \cos(\alpha + 90^\circ) = \frac{c^2 + d^2 - (b+a)^2}{2cd} \end{cases} \quad (1)$$

使用 Matlab 计算得 b=188.44, d=156.07。由

|x|=250 可得 c=125√2。为设计与加工方便,将计算值圆整,得 a=100, b=200, c=170, d=160。校验得 |x|=250, |y|=31, 极位夹角 β=52.49°。

文中利用 ADAMS 对曲柄摇块机构做的运动仿真, M 点的速度与加速度见图 7,可以看出,急回运动明显且工作行程速度平缓增加,有利于玻璃杯放入纸箱而不滑落。前置凸轮推程为 30 mm,后置凸轮推程为 25 mm,再次保证玻璃杯在推送至纸箱的过程中不会发生滑落。

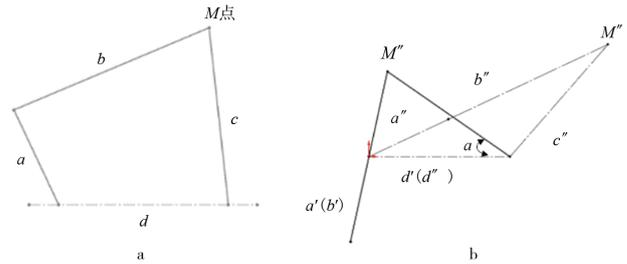


图6 曲柄摇杆
Fig.6 Crank rocker

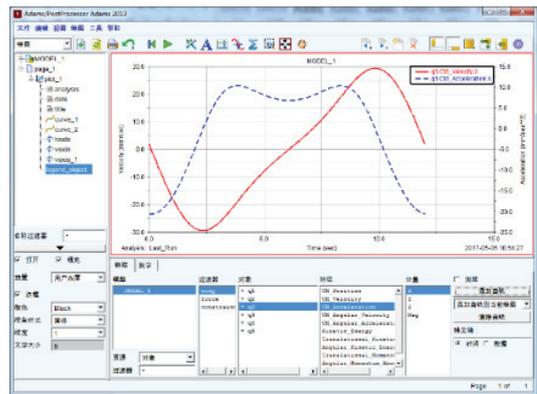


图7 曲柄摇杆 M 点速度与加速度
Fig.7 The speed and acceleration of the M point of crank rocker

2.6 推箱机构

推箱机构的工作过程(见图8):由电机带动曲柄做圆周运动,使杆件连接块在光轴上做直线往复运动;在杆件连接块的带动下,单边折叶杆先接触到纸箱短叶并以压痕为关节发生转动已达到合叶的效果;杆件连接块继续向前运动,纸箱推杆接触到纸箱侧壁并随杆件连接块向前推动纸箱进入折叶机构。

该机构采用对心曲柄滑块机构,行程为 100 mm,故曲柄长度为 50 mm。由图 9 可以看到杆件连接块的速度图像为快进快退,可提高工作效率。

2.7 折叶机构

折叶机构的工作过程(见图10):由推箱机构推动纸箱进入折叶机构,在折叶上顶板的作用下,纸箱不会向上翘起,由于上折叶杆与下折叶杆翘起一段距

离，故短边折叶杆先接触到纸箱短边并将其折叠，纸箱继续前进，接触到上折叶杆和下折叶杆将上下长边叶进行折叠。

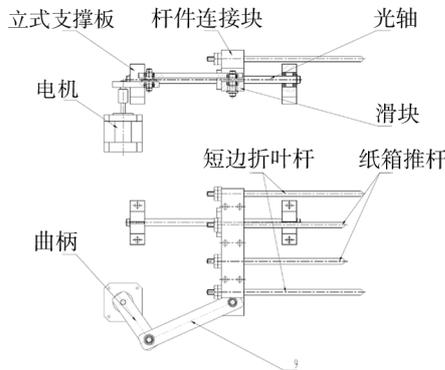


图 8 推箱机构

Fig.8 Pushing box mechanism

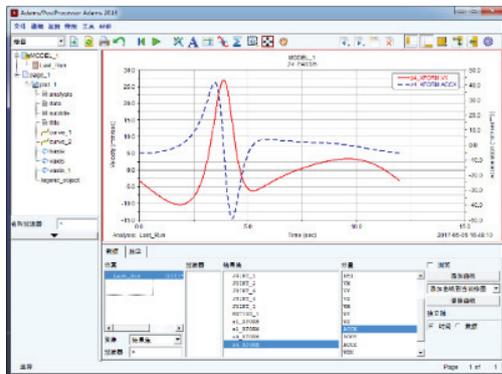


图 9 杆件连接块速度加速度图像

Fig.9 The speed and acceleration of rod connecting block

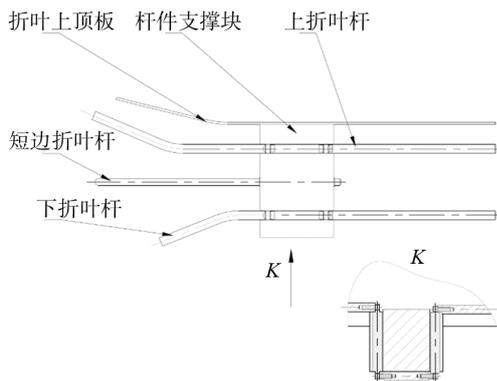


图 10 折叶机构

Fig.10 The folding box mechanism

2.8 封箱机构

封箱机构的工作过程（见图 11）：由推送杆架将纸箱送入封箱机构，电机带动从动齿轮转动，从动齿轮带动月牙夹板转动，由引导臂将胶带贴附在纸箱上，在月牙框架转动时，便将胶带粘在纸箱四周，完成封装，再由切割臂上的刀片将胶带切断，最后，推送杆架将纸箱送到待取区后，推送机构归位，手动将已封

好的纸箱取出。

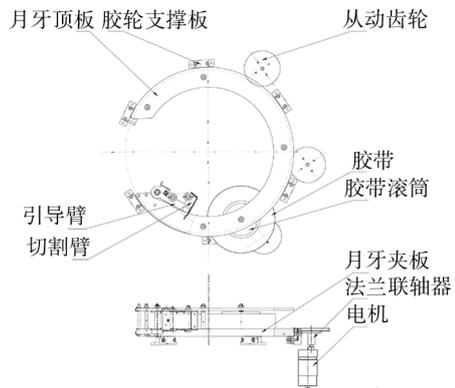


图 11 封箱机构

Fig.11 The packaging mechanism

3 理论时间与平衡控制

围箱机构中皮带电机输出转速为 480 r/min，传送带轴的直径为 10 mm，即纸箱从围箱区到撑箱区的时间为 $t_1=3.1$ s。撑箱机构的电机为步进电机，通过编程控制其由水平状态到竖直状态时间为 $t_2=2$ s。撑箱机构的丝杠电机的输出转速为 600 r/min，该机构的丝杠导程为 4，即纸箱移动到下一位置的时间 $t_3=3$ s。热熔机构此时将玻璃杯已经升至机架上顶板指定位置，动作与前面动作同时进行，故时间不再计算。推杯机构的时间为电机转 1 周的时间，经反复仿真实验分析，该时间为 $t_4=14$ s 较为合适。推箱机构电机转速为 10 r/min，而电机转 1 圈推箱结构实现推出和复位，故时间 $t_5=3$ s。推送杆件的丝杠电机输出转速 1200 r/min，丝杠的导程为 4，即纸箱移动到封箱机构需要 $t_6=3.25$ s。封装机构中电机转速为 60 r/min，传动比为 5，即月牙框架旋转 1 周需要 $t_7=5$ s。推送杆件的丝杠电机输出转速 1200 r/min，丝杠的导程为 4，即纸箱移动从封箱机构移动到待取区需要 $t_8=6.5$ s。每个位置衔接时间均为 2 s，共 7 次动作衔接，则单个纸箱包装用时为：

$$t_{总} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + 7t = 57.85 \text{ s} \quad (2)$$

为了生产线能获得一定的经济效益，需要进行生产线平衡控制，即生产线上各工序能相互配合，减少或消除等待时间。

该生产线中等待时间为上一个纸箱的胶带纸缠绕封装和下一个纸箱的折箱塞杯，2 段过程的用时分别是：

$$t_{上} = t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + 4t = 25.75 \text{ s} \quad (3)$$

$$t_{下} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + 3t = 28.1 \text{ s} \quad (4)$$

2 个生产节拍相差时间为 2.35 s，即一个动作衔接时间，在合理范围之内，故连续作业时，封装玻璃杯实际用时 $t=28.1$ s。

4 结语

为了解决目前工厂规模较小,而市场需求较大的问题,设计了一个小型的包装生产线,解决了目前较为复杂繁琐的包装工作过程,将工作时间缩短为 28.1 s。通过实验及软件仿真,该生产线能较好地完成各个动作,各工序的动作连续、成本低、效率高、占地面积小,有较大的应用市场。

参考文献:

- [1] 中国机械工程学会物流工程分会. 物流工程技术路线图[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2015.
Logistics Engineering Institution of Chinese Mechanical Engineering Society. Technology Roadmap of Logistics Engineering[M]. Beijing: Science and technology of China press, 2015.
- [2] 韩占华, 郭飞. 自动化在包装机械中的应用和展望[J]. 包装与食品机械, 2011, 29(3): 49—52.
HAN Zhan-hua, GUO Fei. Application and Prospects of the Automation in the Packaging Machinery[J]. Packaging and Food Machinery, 2011, 29(3): 49—52.
- [3] HUBERT P, NEUSS D E. Machine for Gluing Folding Cartons for Producing Folding Cartons from Blanks: US, 6503181B1[P]. 2003-07-01.
- [4] VAHID S, PEJVAK O, ANNIKA O. An Improved Supplier Driven Packaging Design and Development Method for Supply Chain Efficiency[J]. Packaging Technology and Science, 2016, 29(3): 161—173.
- [5] BERETTA A, SEMERARO Q, CASTILLO D E. On the Multihued Weighed Machine Setup Problem[J]. Packaging Technology and Science, 2016, 29(3): 175—188.
- [6] 李丽阁, 张有良, 段移丽, 等. 纸箱包装机纸板取送机构的设计与研究[J]. 包装与食品机械, 2014, 32(4): 28—30.
LI Li-ge, ZHANG You-liang, DUAN Yi-li, et al. Design and Research of the Sucking and Delivery Mechanism for the Carton Packing Machine[J]. Packaging and Food Machinery, 2014, 32(4): 28—30.
- [7] 连珊珊, 王金玲, 扶东海. 易碎品包装“变形计”[J]. 印刷技术, 2014(14): 36—38.
LIAN Shan-shan, WANG Jin-ling, FU Dong-hai. Fragile Packaging ‘Strain Gauge’[J]. Printing Technology, 2014(14): 36—38.
- [8] 吴萍, 高铭悦. 易碎品容器的瓦楞纸板包装设计研究[J]. 包装工程, 2015, 36(1): 74—79.
WU Ping, GAO Ming-yue. Packaging Design of Corrugated Paperboard for Fragile Container[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(1): 74—79.
- [9] 蔡川. 单片机应用系统的可靠性设计[J]. 科技信息, 2008, 27(31): 380—382.
CAI Chuan. Reliability Designing of an Application System Based on MCU[J]. Science & Technology Information, 2008, 27(31): 380—382.
- [10] 邝小磊. 单片机应用技术综述[J]. 电子工程师, 2001, 27(3): 12—16.
KUAI Xiao-lei. A Survey for Single-Chip Computer Application Technologies[J]. Electronic Engineer, 2001, 27(3): 12—16.
- [11] 侯志利, 武文革, 李瑞琴, 等. 可控连杆手指式纸箱封箱机的设计[J]. 包装工程, 2017, 38(3): 78—82.
HOU Zhi-li, WU Wen-ge, LI Rui-qin, et al. Design of Finger Type Carton Packaging Machine with Controllable Linkage Mechanism[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(3): 78—82.
- [12] MULLINEUX G, MATTHEWS J. Constraint-based Simulation of Carton Folding Operations [J]. Computer-Aided Design, 2010, 42(3): 257—265.
- [13] YAO W, DAI J S. A Reconfigurable Robotic Folding System for Confectionery Industry[J]. Industrial Robot, 2010, 37(6): 542—551.
- [14] 申永胜. 机械原理教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
SHEN Yong-sheng. Theory of Machines and Mechanisms[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1999.
- [15] 李莹莹, 游敏, 徐建军. 基于 MATLAB 的曲柄摇杆机构优化设计[J]. 制造业自动化, 2016, 38(1): 102—105.
LI Ying-ying, YOU Min, XU Jian-jun. Optimization Design of Crank Rocker Structure under the Given Output Angle Constraint[J]. Manufacturing Automation, 2016, 38(1): 102—105.
- [16] 马东辉, 赵东. 基于 ANSYS 和 MATLAB 的结构优化设计[J]. 制造业自动化, 2013, 35(10): 106—108.
MA Dong-hui, ZHAO Dong. Optimal Structural Design based on ANSYS and MATLAB[J]. Manufacturing Automation, 2013, 35(10): 106—108.