

## 自动装盒机推料机构设计与仿真

董伟<sup>1</sup>, 李克天<sup>1</sup>, 李啟定<sup>2</sup>

(1. 广东工业大学, 广州 510006; 2. 广州利氏包装设备有限公司, 广州 510450)

**摘要:**目的 针对轻型物料装盒机,设计串联式曲柄连杆推料机构。方法 分析推料机构各参数间的关系,确定参数尺寸范围,运用SolidWorks建立三维模型和运动仿真,求解得到推料滑块的线性速度、加速度和位移曲线,验证设计的合理性,最后进行模态分析得到机构的固有频率。结果 经过仿真分析,推料机构运动平稳,具有明显的急回特性,工作效率高。结论 该机构性能稳定,经过投产使用证明达到设计要求。

**关键词:** 推料机构; 曲柄连杆; 仿真; 模态分析

中图分类号: TB486+.03 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2015)19-0089-04

### Designing and Simulation of Pusher Mechanism for Automatic Cartoning Machine

DONG Wei<sup>1</sup>, LI Ke-tian<sup>1</sup>, LI Qi-ding<sup>2</sup>

(1. Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;

2. Guangzhou Packaging Equipment Co., Ltd., Guangzhou 510450, China)

**ABSTRACT:** The aim of this work was to design a tandem crank rod pusher mechanism for cartoning machine of lightweight materials. The relationship among the different parameters of the pusher mechanism was analyzed and the size ranges of the parameters were determined. 3D mode and motion simulation were built based on SolidWorks, and the linear speed, acceleration and displacement curves of pusher slide were obtained by solving. The reasonability of the design was verified. Finally, modal analysis was conducted to get the natural frequency of the mechanism. Though simulation analysis, the pusher mechanism moved smoothly, with obvious quick-return characteristics and high efficiency. In conclusion, the mechanism had stable performance and met the design requirements as proved by putting into production.

**KEY WORDS:** pusher mechanism; crank rod; simulation; modal analysis

推料机构是装盒机生产线上独立的模块,对装盒机的生产效率起着决定性作用。大多数间歇式装盒机推料机构采用凸轮连杆机构,其缺点是凸轮轮廓曲线设计复杂,调整不易、速度低、震动大<sup>[1-3]</sup>。对于轻型物料(食品、小型化妆品、药品等)而言,曲柄连杆推料机构在推料速度方面有着明显的优势。这里着重在提高推料机构的速度方面设计串联式曲柄连杆机构,该机构是在原有的沟槽凸轮连杆推料机构基础上进行的重新设计<sup>[4]</sup>,沟槽凸轮连杆推料机构采用轴承套在沟槽内滚动作为动力元件,存在着推料速度慢、凸

轮凹槽与轴承之间的干涉磨损大、工作噪音大等问题。在串联式曲柄连杆机构中,采用法兰结构式曲柄直接与传动轴相配合,以及曲柄与可调节连杆相配合,使得整个推料机构结构紧凑,消除了动力元件之间的干涉,对推料速度的提升有明显改善。

### 1 推料机构运动学分析

#### 1.1 结构原理分析

自动装盒机的推料机构采用串联式曲柄连杆机

收稿日期: 2015-03-23

基金项目: 校企联合项目(13HK0124)

作者简介: 董伟(1988—),男,湖北人,广东工业大学硕士生,主攻机械结构设计与仿真分析。

通讯作者: 李克天(1957—),男,湖北人,博士,广东理工大学教授、硕导,主要研究方向为包装工程、机械制造及其自动化。

构,见图1。该机构的作用是当物料输送到推料机构工位时,快速准确地将物料推入撑开的包装盒内<sup>[5-6]</sup>。

在图1中,曲柄固定在传动轴上,随传动轴一起转动,连杆两端接有关节轴承,端点B固定在曲柄上,连杆和摆杆为铰连接,摆杆通过关节轴承与推杆相连接。曲柄作为原动件,曲柄转动时通过连杆带动摆杆作往复运动,与摆杆另一端相连的推杆在摆杆的带动下,使滑块在水平方向上作往复直线运动,实现装盒机的推料动作。

### 1.2 运动分析

推料机构运动分析见图2。曲柄半径为R,连杆AB的长度为l<sub>1</sub>;摆杆CD的长度为l<sub>2</sub>,转动角度为α;推杆DE长度为l<sub>3</sub>;滑块行程EF长度为s。分析图2可知:曲柄顺时针匀速转动,连杆AB和摆杆CD的连接点在B点时,滑块运动到左极限点;连杆AB和摆杆CD的连接点在B'点时,滑块运动到右极限点;极位夹角为β。

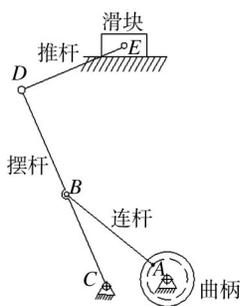


图1 装盒机推料机构

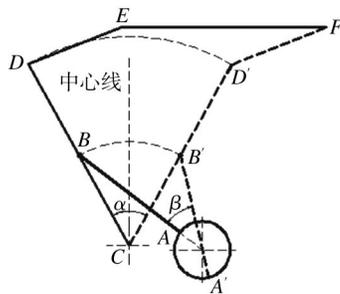


图2 推料机构运动分析

Fig.1 Diagram of pusher mechanism for cartoning machine Fig.2 Kinematic analysis diagram of pusher mechanism

在曲柄连杆机构中,摆杆转动的角度α可能不是对于中心线对称,为了简化计算,定义摆角α是对于中心线对称的,滑块行程与摆杆端点B所转过的弧线长度相等。则有:

$$s = \frac{\alpha \pi l_2}{180} \quad (1)$$

在摆杆CD从左端转动到中心线位置的过程中,推杆对滑块有向上的作用力,摆动角度α越大,则向上的作用力越大,导致滑块与导轨的磨损加快。由式(1)可知,滑块的行程与摆动角度α正相关。根据经验,为了平衡这一关系,α一般小于60°<sup>[7]</sup>。

极位夹角β是连杆在2个极限位置之间的角,连杆转动时端点B与摆杆转动时中点B形成的路径相同,都为弧BB',则有:

$$2\alpha \pi l_2 = \beta \pi (R + l_1) \quad (2)$$

由式(2)可得:

$$\beta = \frac{2\alpha l_2}{R + l_1} \quad (3)$$

急回特性表述为:

$$k = \frac{180^\circ + \beta}{180^\circ - \beta} \quad (4)$$

将式(3)代入式(4),可得行程速度变化系数的关系式为:

$$k = \frac{180^\circ (R + l_1) + 2\alpha l_2}{180^\circ (R + l_1) - 2\alpha l_2} \quad (5)$$

根据上述分析,推料滑块行程主要由曲柄半径R、连杆长度l<sub>1</sub>、摆杆长度l<sub>2</sub>和摆角α决定。

### 1.3 参数设计

根据客户要求,装盒机的装盒速度至少为80盒/min。预期设计的装盒速度为100盒/min,根据包装纸盒的大小,确定推料滑块的行程至少为400mm,摆角α为50°~60°,曲柄半径为60~80mm,根据式(1)和式(3)计算得到连杆、摆杆的长度<sup>[8-9]</sup>。依据推料滑块的起始点,确定推杆长度为220~240mm,最后确定设计参数:曲柄半径R为60~80mm;连杆长度l<sub>1</sub>为280~300mm;摆杆长度l<sub>2</sub>为350~400mm;推杆长度l<sub>3</sub>为220~240mm;曲柄转速n为80~120r/min;摆杆角度α为50°~60°;推料滑块行程s为400~450mm;极位夹角β为25°~35°。

## 2 推料机构三维建模与运动仿真

### 2.1 三维建模

根据推料机构配合关系和尺寸要求,确定具体的参数,利用SolidWorks建立推料机构装配体模型<sup>[10-12]</sup>,见图3。曲柄采用法兰盘代替,固定在传动轴上,随传动轴一起转动;连杆由关节轴承与杆相连接构成,便于调节连杆的长度;摆杆中间有对称的U型槽,以减



图3 推料机构装配体模型

Fig.3 Assembly model of pusher mechanism

轻摆杆的重量;推杆两端也采用关节轴承连接,可以调节推杆的长度和调整推料滑块的起始点位置。图3中导轨固定座、传动轴未标出,只给出了机构主要零件间的装配关系。

### 2.2 运动仿真

装配体模型建立后,为了验证推料机构的稳定性,需要模拟推料机构的运动状况,进行SolidWorks Motion仿真分析。在整个推料机构仿真的过程中,因为推料滑块是固定在滚珠导轨上的,推送的物料为轻型物料,所以可以忽略滑块在运动时受到的阻尼<sup>[13-14]</sup>。预定的推料速度为80~120 m/min,现设置旋转马达速度为100 r/min,运动算例属性为精确接触,选取推料滑块为分析对象进行运动算例仿真,得到推料滑块的线性速度、加速度、位移的特性曲线,见图4。

分析图4可知:推料滑块往返1次的时间约为0.6 s,返回行程时间约为0.25 s,说明该机构具有明显的急回特性,提高了生产效率;由线性位移曲线可知推料行程为420 mm,在400~450 mm之间,满足设计要求;滑块的线性速度、加速度、位移曲线变化是光滑的连续曲线,没有出线断点和瞬间变化很快的情况,因而在整个推料过程中是平稳的、震动冲击小,达到了设计要求。

### 3 推料机构模态分析

为了避免推料机构在工作过程中与装盒机其他机构发生共振,有必要对所设计的结构进行模态分

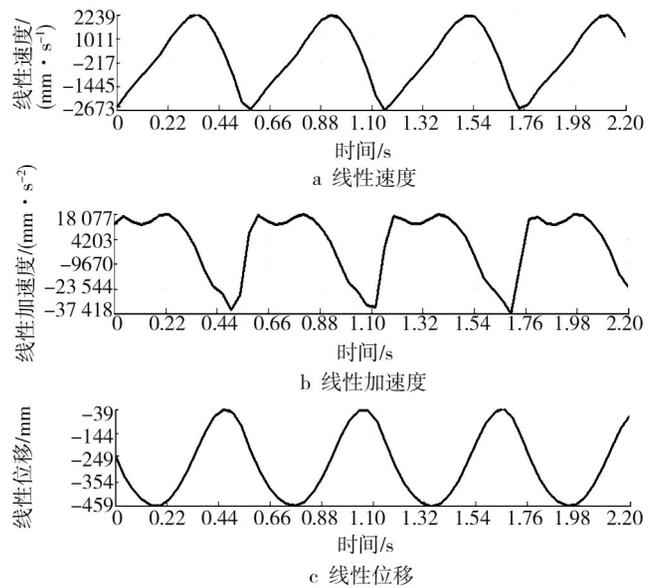


图4 推料滑块线性速度、加速度和位移时间特性曲线

Fig.4 Curves of velocity-time, acceleration-time and linear displacement-time

析。Ansys Workbench能与SolidWorks软件无缝连接,在SolidWorks中将推料机构整体模型保存为IGES文件格式,然后直接导入到Ansys Workbench中分析计算,划分好网格后进行模态分析<sup>[15]</sup>。由于曲柄连杆机构的低阶模态才对机构的振动分析有实际的参考价值,故选取前6阶作为参考。推料机构前6阶模态分析的固有频率 $f$ 分别为109.57,172.32,177.19,184.41,201.25,239.41 Hz。

推料机构模态分析前6阶振型见图5。由图5可知,机构的第1阶模态振型为推料机构推料方向的实

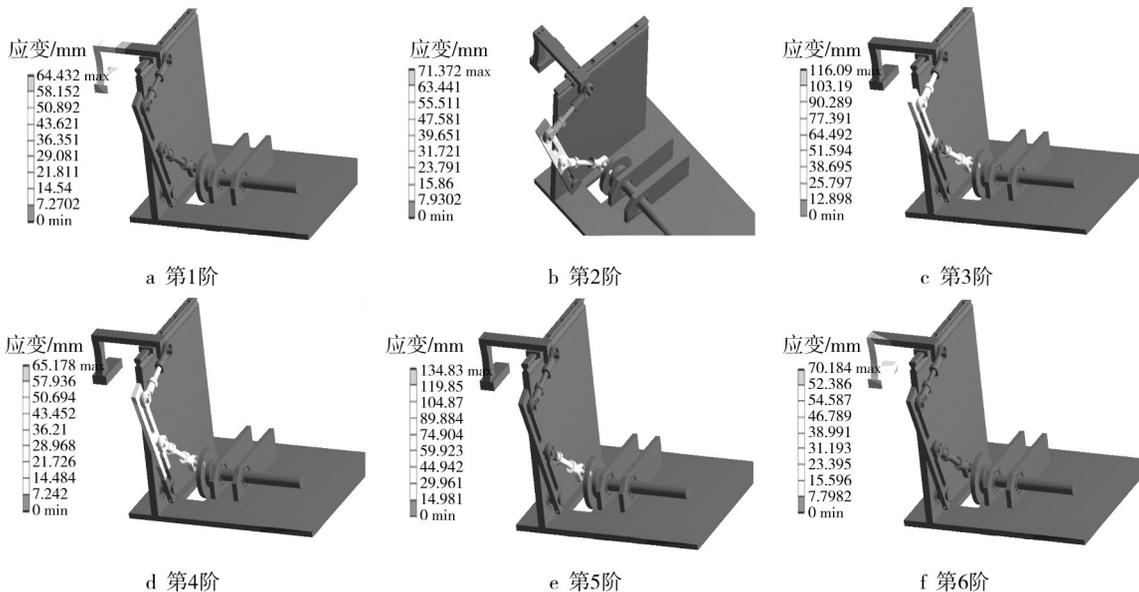


图5 推料机构模态分析前6阶模态振型

Fig5 The modal analysis of pusher mechanism—the first six order modal vibration mode

际固有频率,为 109.57 Hz,因此在实际工作时工作频率应避开 109.57 Hz。

#### 4 结语

运用 SolidWorks 对自动装盒机推料机构进行建模和仿真,得到推料滑块的运动特性曲线,并运用 Ansys 进行模态分析,验证了设计是合理的。该推料机构结构简单,在整个推料过程中运行平稳,推料行程为 415 mm,装盒效率可达到 110 盒/min。通过实际生产使用证明,该机构达到了预期的设计要求。

#### 参考文献:

- [1] 刘静,汪中厚,黄德杰.基于 ADAMS 的包装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.
- [2] MI Jin-tai, MENG Yong-gang. Numerical Analyses of Hydrodynamic Lubrication and Dynamics of the Rolling Piston and Crankshaft in a Rotary Compressor[J]. Tribology Transactions, 2014 (6):1136—1147.
- [3] 曾克俭,刘玉生,李光.组合推料机构的优化设计[J].机械设计与制造,2000(2):17—18.  
ZENG Ke-jian, LIU Yu-sheng, LI Guang. Optimum Design of The Combination Pusher Mechanism[J]. Machinery Design & Manufacture, 2000(2): 17—18.
- [4] 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 Cartoning Machine[J]. Manufacturing Automation, 2014 (5): 137—139.
- [5] ZHENG En-lai, ZHOU Xin-long. Modeling and Simulation of Flexible Slider-crank Mechanism with Clearance for a Closed High Speed Press System[J]. Mechanism and Machine Theory, 2014 (74):10—30.
- [6] 廖庆喜,舒彩霞,田波平.冲印饼干机成型机构优化分析[J].包装与食品机械,2005(6):1—4.  
LIAO Qing-xi, SHU Cai-xia, TIAN Bo-ping. Optimum Analysis on Shaping Mechanism of Impact-Printing Biscuit Machine[J]. Packaging and Food Machinery, 2005(6): 1—4.
- [7] PARLAKTA V, TANIK E. Single Piece Compliant Spatial Slider-crank Mechanism[J]. Mechanism and Machine Theory, 2014 (6):7—16.
- [8] 李书平,陈岳坪,范聚吉.夹片自动上下料机构设计[J].机械设计与制造,2011(8):150—151.  
LI Shu-ping, CHEN Yue-ping, FAN Ju-ji. Design of Auto Feeding and Discharging Device for Clip[J]. Machinery Design & Manufacture, 2011(8): 150—151.
- [9] 聂世涛.基于仿真技术的鱼罐头生产线研究与改进[D].广州:华南理工大学,2010.  
NIE Shi-tao. Research and Amelioration of Production Line of the Fish Can Based on Simulation[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010.
- [10] 吴宏元,王铁丽.一种可变步距自动送料机构的设计与应用[J].机械设计与制造,2000(3):54—55.  
WU Hong-yuan, WANG Tie-li. The Design and Application of an Automatic Feed Mechanism with Changing Step[J]. Machinery Design & Manufacture., 2000(3): 54—55.
- [11] WANG Bo-wen, QIAN Xiao-long. Automatic Control System for Uniformly Paving Iron Ore Pellets[J]. Enterprise Information Systems, 2014(3):391—405.
- [12] 李建,王建新,殷文齐,等.六连杆机械压力机传动机构优化设计[J].设计与计算,2011(1):7—10.  
LI Jian, WANG Jian-xin, YIN Wen-qi, et al. Optimization Design of the Six-link Transmission Mechanism Used in Mechanical Press[J]. Design and Calculation, 2011(1): 7—10.
- [13] SOOD V. Fuzzy Logic Control for Chaotic Response of a Slider Crank Mechanism[D]. Kingsville: Texas A & M University, 2004.
- [14] 潘冬.一种风力推料机构的设计[J].新工艺新技术,2013(11):28—29.  
PAN Dong. Design of Kind of Wind Material Pushing Mechanism[J]. New Technology & New Press, 2013(11): 28—29.
- [15] 刘恒珍,吴秀梅.全自动装盒机泡罩下料机构的设计[J].包装工程,2008,29(2):13—15.  
LIU Heng-zhen, WU Xiu-mei. Design for Loading Device of Automatic Blister Cartoner[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(2): 13—15.