

# 屋顶盒灌装机底部成型机构的设计及仿真

陈红, 赵美宁

(西安工业大学, 西安 710021)

**摘要:** **目的** 针对目前屋顶盒灌装机底部成型机构设计的非合理性及工作不稳定等问题, 对其进行结构设计。**方法** 结合其工艺要求, 设计出屋顶盒灌装机底部成型机构。对成型机构进行设计分析, 计算中心杆的运动行程、摆杆张角范围及驱动力与纸盒反推力之间的关系。通过在 SolidWorks 软件中建立三维模型, 导入 ADAMS 软件仿真完成成型机构的动作过程。**结果** 屋顶盒灌装机底部成型机构的运动轨迹合理, 且摆杆张角在理论计算范围内, 能够在运动时间内完成盒底成型。**结论** 该设计不仅节省了空间, 降低了成本, 且提高了现有屋顶盒灌装机底部封口效率, 具有较高的应用价值。

**关键词:** 屋顶盒; ADAMS; 仿真分析; 灌装机

**中图分类号:** TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)07-0164-05

## Design and Simulation of the Bottom Forming Mechanism of Gable-box Filling Machine

CHEN Hong, ZHAO Mei-ning

(Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

**ABSTRACT:** The work aims to design the structure of the bottom forming mechanism of gable-box filling machine with respect to its unreasonable design and unstable operating, etc. In combination with its technological requirements, the bottom forming mechanism of gable-box filling machine was designed. By analyzing the design of the bottom forming mechanism, the motion displacement of the center rod, the opening angle range of the swing rod and the relationship between the driving force and the carton reverse thrust were calculated. A 3-D model was built based on SolidWorks and imported into ADAMS to simulate the action process of the forming mechanism. The simulation analysis results showed that the motion track of the bottom forming mechanism of gable-box filling machine was reasonable, and the opening angle of swing rod was within the theoretical calculation range. In such case, the bottom forming could be completed during one-time motion cycle. The design not only saves space and reduces costs, but also improves the bottom sealing efficiency of the existing gable-box filling machine, which has a high application value.

**KEY WORDS:** gable-box; ADAMS; simulation analysis; filling machine

屋顶盒包装液体果汁及牛奶不但有利于环保、美观, 更加方便销售及货架摆放, 开封后的放置及冷藏也十分方便, 逐渐成为了乳品包装的主流<sup>[1]</sup>。盒底成型机构是底部封口过程中非常重要的机构, 其动作的准确度及合理性, 决定灌装封口的成败。针对我国屋顶盒灌装机成型机构存在动作过于复杂, 空间布局不合理等问题, 进行了成型机构的设计及研究, 对提高屋顶盒灌装效率及包装质量有着重要意义<sup>[2]</sup>。

## 1 屋顶盒灌装机底部成型机构的设计

### 1.1 屋顶盒灌装机工作原理

屋顶盒灌装机主要由纸盒输入、盒底成型、纸盒输出、盒顶成型、纸盒灌装、盒顶封口和纸盒送出等组成<sup>[3]</sup>, 其工作流程见图 1。机构将预成型好的屋顶盒间歇输送至加热、成型、封口工位, 完成屋顶盒的

收稿日期: 2016-09-04

作者简介: 陈红 (1991—), 女, 西安工业大学硕士生, 主攻为包装机械设计。

通讯作者: 赵美宁 (1964—), 女, 西安工业大学教授, 主要研究方向为包装机械的设计。

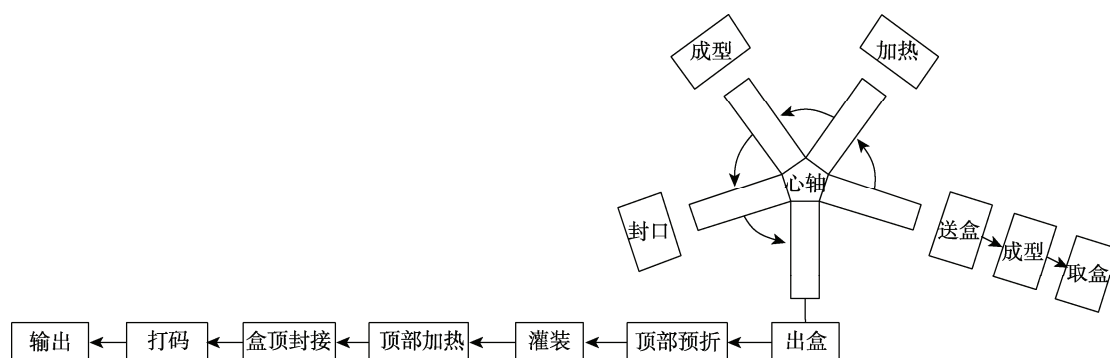


图 1 屋顶盒灌装机工作流程

Fig.1 Work flow of gable-box machine

底部封口。再由取盒装置将屋顶盒放入输送链道, 完成灌装、封口、打印<sup>[4]</sup>。盒底成型机构将盒底翼片进行折叠, 是盒底封合的核心部件之一。

## 1.2 成型机构的结构设计

盒底成型需 4 个动作先后完成, 首先将两端三角形折叠翼推进, 使盒翼初步变形, 再使纸盒两侧翼(右侧翼、左侧翼)沿折叠线先后折叠成型, 过程中右侧翼先动作, 左侧翼需始终在右侧翼上方<sup>[5]</sup>。成型机构主要由安装板、上连接板、滑动板、下连接板、导向杆、中心杆、连杆、摆杆、插板、成型罩、气缸等组成, 其结构见图 2, 三维图见图 3。

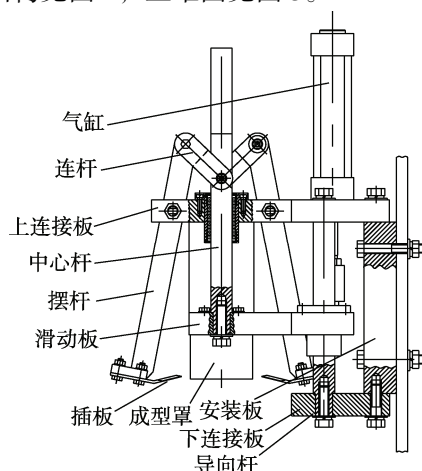


图 2 成型机构

Fig.2 Schematic diagram of forming mechanism

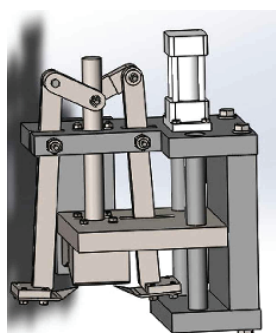


图 3 盒底成型机构模型

Fig.3 3D figure of forming mechanism

工作原理: 上下连接板固定在安装板上, 将整个机构固定, 由导向杆连接上、下固定板, 并穿过中间滑动板, 滑动板上下两侧分别连接中心杆与成型罩, 由气缸带动滑动板上下移动, 完成成型动作, 中心杆上端两侧由连杆将摆杆与中心杆连接, 将摆杆适当位置固定在上连接板处, 在气缸驱动下, 随中心杆的上下移动做摆臂动作, 形成一定角度, 完成折叠动作。即中心杆上移, 两摆杆同时向内折盒; 中心杆下移, 两摆杆打开, 成型罩下降完成纸盒成型。

## 1.3 成型机构气缸选型

1) 气缸缸径计算。由于成型机构负载受力主要为重力, 利用 SolidWorks 软件添加材料属性方可得到运动件的质量  $M=16\text{ kg}$ , 考虑摩擦等其他因素, 设定负载  $F=200\text{ N}$ , 气源压力  $P=0.6\text{ MPa}$ , 由  $F=n \times P \times S$ , 可得  $S=0.000\ 667\text{ m}^2$ 。由  $S=\pi \times r^2$  得  $r=14.6\text{ mm}$  故  $D=2r=29.2\text{ mm}$ , 故选用气缸缸径为  $32\text{ mm}$ 。

2) 气缸行程计算。为了防止前后摆杆和成型罩 1, 2 的运动干涉, 静止时, 设计插板顶端和成型罩之间的间隙为  $5\text{ mm}$ , 通过对屋顶盒底面测量可得, 前后翼尺寸为  $30\text{ mm}$ , 因此, 插板所需的行程为  $35\text{ mm}$ 。由作图法可知, 当插板运动  $35\text{ mm}$  时, 中心杆向上运动距离为  $41\text{ mm}$ 。当完成盒底的前后翼折叠时, 两侧摆臂带动插板向外运动, 此时连接板带动成型罩 1, 2 向下运动。屋顶盒左右两翼的垂直高度可得其尺寸为  $40\text{ mm}$ , 因此, 当成型罩 1, 2 完成盒底成型时, 成型杆需要向下运动  $40\text{ mm}$ , 故中心杆运动的总行程为  $81\text{ mm}$ , 气缸行程选择  $100\text{ mm}$ 。查 FESTO 公司气缸书选用气缸型号为: 双动气缸, 型号 DNGU, 缸径为  $32\text{ mm}$ , 推力为  $482\text{ N}$ , 返回力为  $415\text{ N}$ , 行程为  $100\text{ mm}$ , 因此气缸的总体型号选为 DNGU-32-100-PPV-A。

## 2 盒底成型机构的理论计算

### 2.1 摆杆张角的计算

成型机构摆杆张角是摆杆绕回转支点所转过的

角度,张角是一个衡量此机构的十分重要的参数<sup>[6]</sup>。在成型过程中,张角过大可能导致驱动系统消耗能量太多;张角太小,在运动过程中由于误差影响会出现干涉,因此,需要设计计算出满足要求的范围。经过分析,计算出成型机构摆杆在推入和张开时张角的数值,作为成型机构运动学分析的理论数据<sup>[7]</sup>。成型机构结构见图4。当摆杆推入时,此时盒底前后两翼已被完全压紧,摆杆向内有一定成型角度。 $L_1=58\text{ mm}$ ,  $L_2=200\text{ mm}$ ,  $L_3=280\text{ mm}$ ,  $L_4=100\text{ mm}$ ,  $L_5=35\text{ mm}$ ,由图4计算可得成型角度为:

$$\sin \beta_1 = \left| \frac{L_5 - \frac{L_4}{2}}{L_2} \right| = \frac{3}{40} \quad (1)$$

由式(1)可得  $\beta_1=4.3^\circ$ 。当摆杆张开时,此时成型罩将盒底所有侧翼压下,完成成型动作。同理,此时的张角  $\beta_2=-13^\circ$ 。分析计算得到设计的成型摆杆张角范围为  $-13^\circ \sim 4.3^\circ$ 。

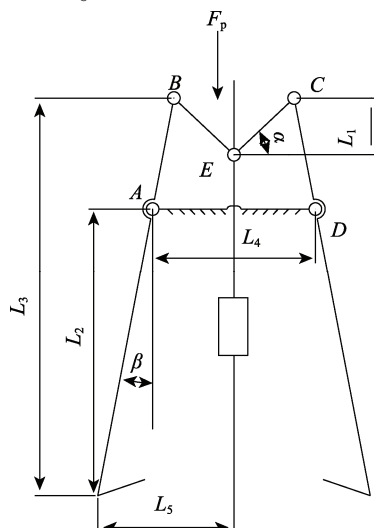


图4 成型机构结构

Fig.4 Structure diagram of forming mechanism

## 2.2 成型机构驱动力与纸盒反推力的关系

屋顶盒为复合纸板材料,其抗压强度、挺度等性能比一般白纸板强很多,但是却比其他硬质材料强度差<sup>[8]</sup>,因此合适的驱动力十分重要,过大则可能损坏盒片,过小则不能将纸盒两侧翼推折成型。当插板将纸盒前后侧翼推入时,其受力关系为:

$$F_n = \frac{F_p \cdot L_1 \cdot \cos \alpha}{2 \cdot L_2} \quad (2)$$

式中: $\alpha$ 为推进时连杆方向与水平线之间的夹角; $L_1$ 为连杆上销轴之间的距离; $L_2$ 为支点A与插板之间的距离。式(2)就是成型机构驱动力与纸盒反推力之间的关系。查阅资料可知,施加  $F_n=30\text{ N}$  的力可将有折痕的纸板折叠,结合式(2)计算出  $28^\circ < \alpha < 47^\circ$ ,可得  $235\text{ N} < F_p < 304\text{ N}$ ,所选气缸最大推力为  $482\text{ N}$  时满足要求<sup>[9]</sup>。

## 3 盒底成型机构的运动学仿真分析

屋顶盒灌装机底部封口部件成型过程需在  $1.2\text{ s}$  的节拍时间内完成,机构开始在初始位置,由于气缸的作用,  $0.3\text{ s}$  时完成盒底两侧翼的折叠,  $0.8\text{ s}$  时完成压合成型,  $1.2\text{ s}$  时恢复至初始位置,完成一个盒底成型动作。通过仿真分析研究其设计是否合理,运动是否干涉。将 SolidWorks 中模型文件保存为 Parasolid (\*.x\_t) 格式,并输入文件名,将整理好的成型机构模型导入 ADAMS 中,定义材料属性,添加约束及驱动等<sup>[10-11]</sup>。为了方便研究,避免结构过于复杂而影响仿真计算速度,将结构等效简化,对中心杆、滑板及成型罩进行布尔运算,见图5。

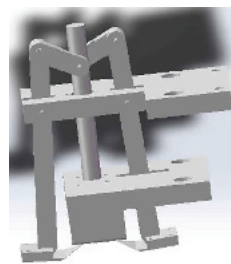


图5 成型机构简化结构

Fig.5 Simplified structure of forming mechanism

在各零件间添加约束副,并在中心杆与上连接板处添加驱动。根据其运动原理可知,成型机构有8处需要添加运动副约束,其中上连接板与地面为固定副,与中心杆为移动副,其他连接处均为转动副约束。模型验证成功后,设置驱动函数为:  $\text{STEP}(\text{time}, 0, 0, 0.3, 38) + \text{STEP}(\text{time}, 0.3, 0, 0.9, -81) + \text{STEP}(\text{time}, 0.9, 0, 1.2, 43)$ 。

在 Adams 中,将上述 STEP 函数添加到与之对应的驱动中,设定仿真时间为  $1.2\text{ s}$ ,仿真步数为 500 步,进行运动学仿真分析,再进入后处理模块得到各部件的运动曲线<sup>[12-14]</sup>见图6—7。

气缸通过带动中心杆上下运动从而完成成型动作,通过对中心杆曲线分析可知,机构在  $1.2\text{ s}$  内完成一个运动周期,  $0 \sim 0.3\text{ s}$  时向上移动  $38\text{ mm}$ ,  $0.3 \sim 0.9\text{ s}$  时向下移动  $81\text{ mm}$ ,  $0.9 \sim 1.2\text{ s}$  恢复至初始位置。由图6显示,在  $0.2, 0.6, 1\text{ s}$  时速度达到最大,分别为  $180, 220, 190\text{ mm/s}$ ,而加速度在  $0.3, 0.9\text{ s}$  突变,这样的突变会产生很大的惯性力和惯性力矩,对整个机构的运动会造成一定的影响<sup>[15-16]</sup>。为了防止加速度突变产生的惯性力对机构产生冲击并导致运动误差,需使用带有缓冲性能的气缸来减少运动过程中产生的冲击。

通过对摆杆的分析可知,同样在  $1.2\text{ s}$  运动时间内,摆杆角速度变化较为平缓,与中心杆类似,在  $0.3\text{ s}$  和  $0.9\text{ s}$  时角加速度出现突变,由于推送的是有预折痕的纸盒侧翼,一定的冲击也不会将纸盒破坏,故通过在执行机构中添加缓冲来解决此问题,从而减小一定的冲击。由图7c摆杆的张角变化可知,摆杆

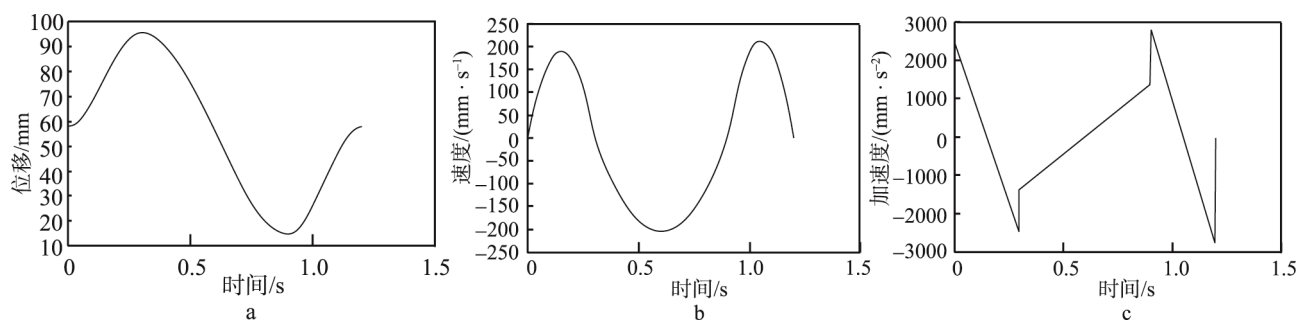


图6 中心杆运动曲线

Fig.6 The movement curve of center rod

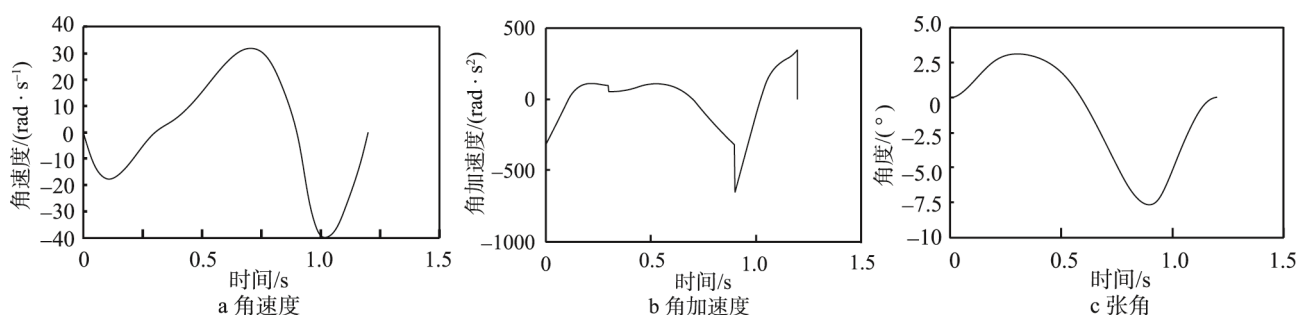


图7 摆杆运动曲线

Fig.7 The movement curve of swing rod

在 0.3 s 推入时张角为  $3.15^\circ$ , 0.9 s 张开时张角为  $-7.65^\circ$ , 在此前计算出的摆杆张角范围在  $-13^\circ \sim 4.3^\circ$  内, 故设计的成型机构运动分析合理, 能够完成成型动作。

#### 4 结语

目前市场上的屋顶盒灌装机底部成型机构由于机构设计的非合理性, 影响工作效率。根据其工艺要求, 设计出屋顶盒灌装机底部成型机构。通过对成型机构的运动学分析, 得出能够在节拍时间内实现屋顶盒的底部成型。文中设计出的屋顶盒灌装机底部成型机构的结构简单, 运动合理, 并且提高了生产效率。

#### 参考文献:

- [1] 张有良, 常晓煜, 张国安, 等. 屋顶形包装机的关键技术[J]. 包装与食品机械, 2010, 28(3): 9—13.  
ZHANG You-liang, CHANG Xiao-yu, ZHANG Guo-an, et al. Key Technology of the Gable-box Packaging Machine[J]. Packaging and Food Machinery, 2010, 28(3): 9—13.
- [2] 沈德红. 屋顶盒乳品包装机[J]. 包装与食品机械, 2002, 20(2): 25—27.  
SHEN De-hong. Q10 Gable-top Box Milk Packaging Machine[J]. Packaging and Food Machinery, 2002, 20(2): 25—27.
- [3] 王玉林, 赵美宁, 赵鹏. 无菌包装技术在屋顶盒包装机中的应用[J]. 包装工程, 2004, 25(4): 34—35.  
WANG Yu-lin, ZHAO Mei-ning, ZHAO Peng. The

Application of Aseptic Packaging Technology in Gable-box Machine[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(4): 34—35.

- [4] 张有良, 王剑峰, 张国安, 等. 屋顶形包装机制盒机构及工艺的研究[J]. 包装与食品机械, 2012, 30(2): 34—37.  
ZHANG You-liang, WANG Jian-feng, ZHANG Guo-an, et al. The Study of the Box-making Mechanism and Craft of the Roof Shape-box Packaging Machine[J]. Packaging and Food Machinery, 2012, 30(2): 34—37.
- [5] 张国全, 徐伟民, 龚发云. 包装机械设计[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2013.  
ZHANG Guo-quan, XU Wei-min, GONG Fa-yun. Packaging Machinery Design[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2013.
- [6] 程芳, 赵美宁. 全自动装箱机械式抓手机构的设计[J]. 包装工程, 2016, 37(9): 94—97.  
CHENG Fang, ZHAO Mei-ning. Design of Mechanical Manipulator of the Automatic Packing Machine[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(9): 94—97.
- [7] 张露. 多孔板抓取机械手的研究与开发[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2012.  
ZHANG Lu. The Research and Development on Manipulator for Grabbing Porous Plate[D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2012.
- [8] 刘向红. 几种用于保鲜乳品屋顶型纸盒的材料强度性能测试[J]. 包装工程, 2012, 33(21): 31—36.  
LIU Xiang-hong. Material Mechanical Properties Tests of Gable Top Cartons for Fresh Milk[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(21): 31—36.
- [9] 刘天植. 纸盒的折叠过程及其折叠轨迹线研究[D].

- 无锡: 江南大学, 2008.
- LIU Tian-zhi. Research on Process of Carton Folding and the Trajectory[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.
- [10] 陈峰华. ADAMS 2012 虚拟样机技术从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.
- CHEN Feng-hua. ADAMS 2012 Virtual Prototyping Technology[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2013.
- [11] 贾长治. MD ADAMS 虚拟样机从入门到精通[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- JIA Chang-zhi. ADAMS MD Virtual Prototype[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2010.
- [12] 邢婷婷. 上下料机械手的运动学及动力学分析与仿真[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2012.
- XING Ting-ting. Kinematics Analysis And Dynamics Simulation For Up-down Material Robot[D]. Qingdao: Qingdao University of Science & Technology, 2012.
- [13] 谢剑. 轴承保持架上料机械手的设计及运动分析[D]. 长春: 长春理工大学, 2009.
- XIE Jian. Design and Motion Analysis of the Bearing Cage Manipulator[D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology, 2009.
- [14] 刘天植, 张新昌. 纸盒的高速自动折叠机构及其原理[J]. 包装工程, 2008, 29(2): 41—43.
- LIU Tian-zhi, ZHANG Xin-chang. High Speed Carton Automatic Folding Mechanism and its Principle[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(2): 41—43.
- [15] 马骏, 王俊元, 杜文华, 等. 糖果包装机推糖机构运动分析[J]. 包装工程, 2014, 35(21): 1—5.
- MA Jun, WANG Jun-yuan, DU Wen-hua, et al. Kinematic. Analysis of Feeding Mechanism for Candy Packaging Machine[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(21): 1—5.
- [16] 王莹. 基于 ADAMS 的自动纸杯成型机运动机构的仿真研究[J]. 河北联合大学学报(自然科学版), 2009, 31(1): 39—42.
- WANG Ying. Emulation Research on the Kinematic Mechanisms of the Paper Glass Machine Based on ADAMS[J]. Journal of Hebei Polytechnic University(Natural Science Edition), 2009, 31(1): 39—42.