

重膜包装机工位转换机构结构设计及运动仿真

马振中, 裴农

(北京航天动力研究所, 北京 100076)

摘要: **目的** 设计一种工位转换机构, 使重膜包装机实现更加精确平稳的取袋送袋和取包送包。**方法** 通过分析工位转换机构的工作, 建立相关数学模型, 并应用 SolidWorks 软件建立简化机构模型, 然后利用 Motion 分析中的“跟踪路径”功能设计凸轮理论轮廓曲线, 最后建立机构的三维实体模型, 并进行仿真分析。**结果** 相对运动的 2 个摆臂没有发生干涉, 其运动学曲线轨迹过渡平稳、没有突变。**结论** 工位转换机构具有良好的运动特性, 能够满足工作要求。

关键词: 包装机; 工位转换; 结构设计; Motion 分析

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)09-0131-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.09.023

Structure Design and Kinematic Simulation of the Station Change Mechanism in Heavy Film Packaging Machine

MA Zhen-zhong, PEI Nong

(Beijing Aerospace Propulsion Institute, Beijing 100076, China)

ABSTRACT: The work aims to design a kind of station change mechanism to enable the heavy film packaging machine to receive and deliver the bags and packages in a more precise and stable manner. By analyzing the working principle of the mechanism, the related mathematical model was established. The SolidWorks software was applied to build the simplified mechanism model, and then the “tracking path” function in the Motion analysis was applied to design the theoretical contour curve of cam. Finally, the 3D physical model of the mechanism was built for the simulation analysis. There was no interference between the two swing arms in relative motion and their kinematic curve track was in a stable transition without sudden change. The station change mechanism has good kinetic characteristics and can meet the working requirements.

KEY WORDS: packaging machine; station change; structure design; Motion analysis

重膜即重包装膜, 指能承载 10~50 kg 固体颗粒或粉状物料的包装膜^[1]。重膜包装机, 学名 FFS^[2]型包装机, 是指预制成的薄膜卷筒, 在包装过程中由包装机自动完成制袋、充填、封口过程的全自动包装机。在近些年包装机械发展中, 该包装机由于具有快速包装、一次成型、结构紧凑、运行效率高等优点, 逐步替代传统给袋式包装机。重膜包装机主要包括供膜机构、角封机构、封口机构、工位转换机构、下料机构和封口冷却机构等 6 部分。其中工位转换机构是包装机的重要执行机构, 主要是把空袋移动至下料工位, 同时把满包移动出下料工位。为了确保包装效率, 该机构运动要求必须平稳准确和安全可靠。

文中根据工位转换机构的工作原理建立相关数学模型, 并结合包装机结构布局和机构工作参数, 确定各部件结构尺寸, 然后应用 SolidWorks 软件对所设计的机构进行建模^[3], 最后对机构进行运动仿真, 验证是否能够满足工作要求。

1 工位转换机构的分析

1.1 工位转换机构组成及工作原理

工位转换机构是由 2 个平面连杆机构和 2 个摆动滚子推杆盘形凸轮机构构成的组合机构, 其机构简图见图 1。摆臂 1 作用是带动满包抓手从下料口位置抓

住料包口两侧移动至上封口位置,摆臂2作用是带动空袋抓手从底封口位置抓住袋口两侧移动至下料口位置,摆臂1,2的臂长和摆动角度均相等,并且摆动中心B,C在同一水平线上。图1中2个凸轮1,2作为机构的原动件,固定在同一驱动主轴上,组成联动凸轮。两凸轮的从动件摆杆 AD_1 和 AE_1 长度相等。工位转换机构在两凸轮作用下分别推动摆杆 AD_1 , AE_1 ,并经由连杆1,2,带动摆臂1,2运动,使得摆臂末端机械抓手实现空袋和满包的工位转换。凸轮旋转1周即1个周期,机械抓手带动袋子完成一次工位转换,循环作业。

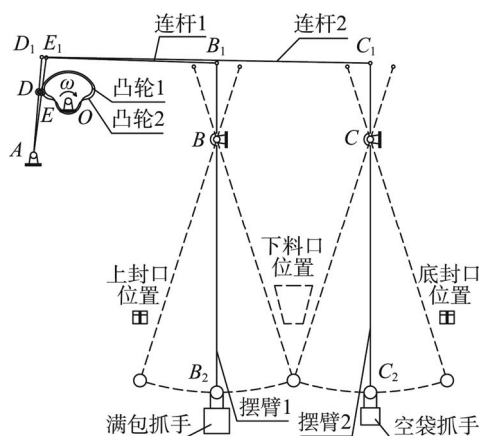


图1 工位转换机构

Fig.1 The station change mechanism

根据包装机工作要求,工位转换机构的2个摆臂

$$\varphi(t) = \begin{cases} \alpha & t \in (0 \sim \delta / \omega) \\ \alpha [1 - 10(\omega t - \delta) / \beta + 15(\omega t - \delta) / \beta - 6(\omega t - \delta) / \beta] & t \in (\delta / \omega \sim \delta / \omega) \\ 0 & t \in (\delta / \omega \sim \delta / \omega) \\ \alpha [10(\omega t - \delta) / \beta - 15(\omega t - \delta) / \beta + 6(\omega t - \delta) / \beta] & t \in (\delta / \omega \sim 2\pi / \omega) \end{cases} \quad (1)$$

式中: α 为摆杆 AD_1 最大摆角; ω 为联动凸轮转速; β_2 为回程运动角; β_1 为推程运动角; δ_1 , δ_2 和 δ_3 为凸轮1转角。其中 $\omega=200$ (°)/s, $\beta_2=96^\circ$, $\beta_1=80^\circ$,

需要按照一定节拍进行运动,在运动过程中,2个摆臂既要能够满足包装要求,同时也需要保证在同一空间不发生干涉。按照2个摆臂的动作要求绘制的运动循环见图2^[4]。

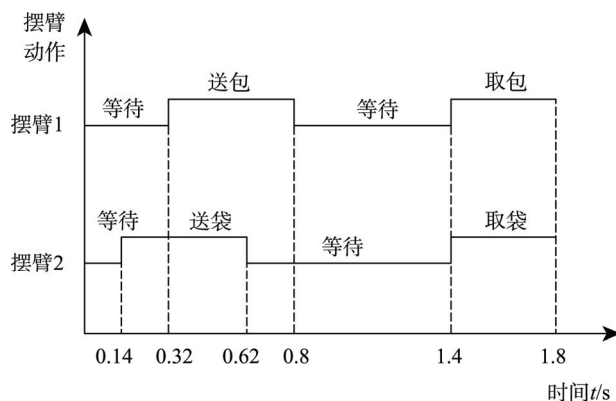


图2 运动循环

Fig.2 Motion cycle

1.2 凸轮从动件数学模型

凸轮机构作为工位转换机构中非常重要的执行机构,其从动件的运动规律直接决定着2个摆臂的运动规律。为确保机构运动平稳准确,选取3-4-5多项式运动规律作为凸轮1,2的从动件运动规律^[5-7]。根据机构运动原理分析可知,凸轮1轮廓线由远休止阶段、回程阶段、近休止阶段和推程阶段组成,则凸轮1的从动件摆杆 AD_1 的摆角函数 $\varphi_1(t)$ 为:

$\delta_1=64^\circ$, $\delta_2=160^\circ$, $\delta_3=280^\circ$ 。同理,凸轮2轮廓线由远休止阶段、回程阶段、近休止阶段和推程阶段组成,则凸轮2的从动件摆杆 AE_1 的摆角函数 $\varphi_2(t)$ 为:

$$\varphi_2(t) = \begin{cases} \alpha' & t \in (0 \sim \theta_1 / \omega) \\ \alpha' [1 - 10(\omega t - \theta_1)^3 / \beta_2'^3 + 15(\omega t - \theta_1)^4 / \beta_2'^4 - 6(\omega t - \theta_1)^5 / \beta_2'^5] & t \in (\theta_1 / \omega \sim \theta_2 / \omega) \\ 0 & t \in (\theta_2 / \omega \sim \theta_3 / \omega) \\ \alpha' [10(\omega t - \theta_3)^3 / \beta_1'^3 - 15(\omega t - \theta_3)^4 / \beta_1'^4 + 6(\omega t - \theta_3)^5 / \beta_1'^5] & t \in (\theta_3 / \omega \sim 2\pi / \omega) \end{cases} \quad (2)$$

式中: α' 为摆杆 AE_1 最大摆角; ω 为联动凸轮转速; β_2' 为回程运动角; β_1' 为推程运动角; θ_1 , θ_2 和 θ_3 为凸轮2转角。其中 $\omega=200$ (°)/s, $\beta_2=96^\circ$, $\beta_1=80^\circ$, $\delta_1=28^\circ$, $\delta_2=124^\circ$, $\delta_3=280^\circ$ 。

2 机构结构设计

2.1 关键结构参数确定

由凸轮从动件摆杆、连杆和摆臂可以组成双摇杆

机构,通过对其工作原理分析,并结合包装机布局要求,可以得知,凸轮1,2的从动件摆杆长度 $AD_1=AE_1=310$ mm,连杆1的长度 $D_1B_1=540$ mm,连杆2的长度 $E_1C_1=1026$ mm,摆臂1和摆臂2的臂长为 $B_1B_2=C_1C_2=1042$ mm,其中 $AD=AE=200$ mm, $BB_1=CC_1=240$ mm, $BB_2=CC_2=802$ mm。根据已知的结构尺寸,可以作图求得摆杆 AD_1 的最大摆角 $\alpha=27.2^\circ$,机构运动简图见图3。同理,可以求得摆杆 AE_1 的最大摆角 $\alpha'=27.3^\circ$ 。

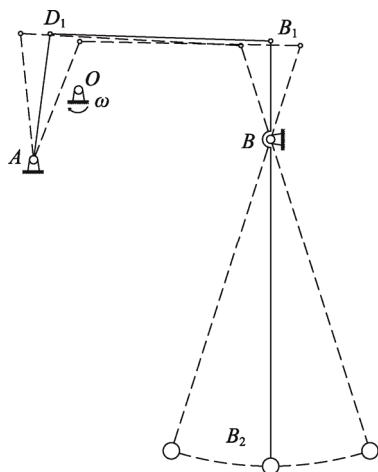


图 3 双摇杆机构运动简图
Fig.3 Motion diagram of double rocker mechanism

2.2 联动凸轮轮廓曲线设计

传统凸轮轮廓曲线设计方法主要是图解法和解析法，图解法设计的凸轮曲线精度较低，而解析法设计需要大量的计算且设计周期长^[8-10]。文中设计的联动凸轮不仅要求精度高而且 2 个凸轮要有准确的相对位置，因此，利用 SolidWorks 中的 Motion 仿真分析设计凸轮曲线^[11-12]既可以满足设计要求，还可以提高凸轮设计效率^[13]。

按照工位转换机构的工作要求，首先在三维软件中建立联动凸轮机构的简化模型，其中凸轮暂由凸轮基体代替，然后，结合摆杆的运动范围，调整好各摆杆的初始位置，准备进行 Motion 分析。联动凸轮简化模型见图 4。

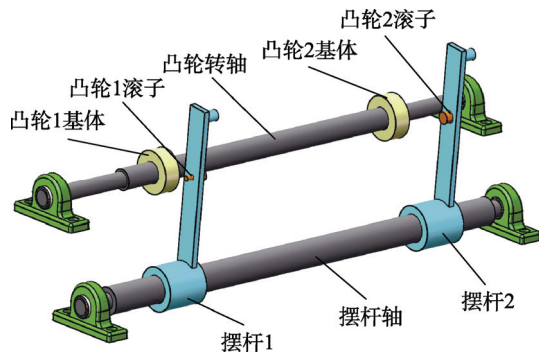


图 4 联动凸轮简化模型
Fig.4 Linkage cam simplified model

根据机构运动原理分析可知，凸轮 1、2 在凸轮转轴驱动下顺时针匀速旋转，摆杆 AD_1 和摆杆 AE_1 分别按照各自的运动规律绕摆杆轴往复摆动，因此，在简化模型中应分别为凸轮转轴、摆杆 AD_1 和摆杆 AE_1 添加旋转马达，凸轮转轴按照角速度为 $200\text{ (}^\circ\text{)/s}$ 添加等速旋转马达，摆杆 AD_1 和摆杆 AE_1 分别按照各自的 4 个运动阶段，在“运动 (M)”项中选择“线段”进入“函数编制程序”界面，对不同时间段马达的位置进行编

辑，摆杆 AD_1 和摆杆 AE_1 马达驱动参数见表 1 和表 2。

表 1 摆杆 AD_1 马达驱动参数
Tab.1 Motor drive parameters for the swing link AD_1

起点 时间/s	终点 时间/s	终点摆 角/($^\circ$)	分段类型	摆杆运动阶段
		27.2	初始	
0	0.32	27.2		远休止
0.32	0.8	0	3-4-5-Polynomial	回程
0.8	1.4	0		近休止
1.4	1.8	27.2	3-4-5-Polynomial	推程

表 2 摆杆 AE_1 马达驱动参数
Tab.2 Motor drive parameters for the swing link AE_1

起点 时间/s	终点 时间/s	终点摆 角/($^\circ$)	分段类型	摆杆运 动阶段
		27.3	初始	
0	0.14	27.3		远休止
0.14	0.62	0	3-4-5-Polynomial	回程
0.62	1.4	0		近休止
1.4	1.8	27.3	3-4-5-Polynomial	推程

设置完成运动参数后，在时间轴上设置运动时间为 1.8 s，此时凸轮转轴和 2 个摆杆正好运动 1 个周期，执行“计算”命令，生成运动仿真结果。通过“结果和图解”中“跟踪路径”命令^[14]，可以得到联动凸轮滚子中心点的路径轨迹，即凸轮的理论轮廓曲线，见图 5。

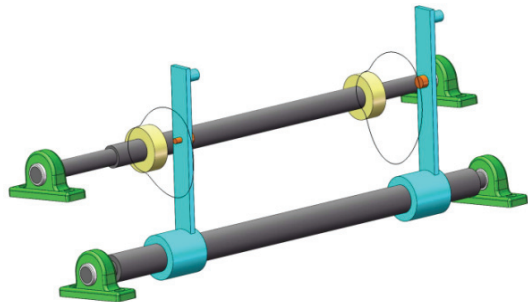


图 5 凸轮理论轮廓曲线
Fig.5 Theoretical contour curve of cam

把生成的凸轮曲线导入到凸轮基体上，应用“转换实体应用”和“等距实体”命令，得到凸轮的实际轮廓曲线，最终设计出 2 个凸轮，见图 6。

2.3 机构整体设计

凸轮设计完成后，根据确定的机构关键参数，并结合包装机整体布局和要求，对工位转换机构进行建模，见图 7。从图 7 中可以看出，摆臂 1 和摆臂 2 均采用双摆臂带动抓手实现空袋和满包的工位转换，同

时为了使满包运动过程中更平稳,摆臂1采用凸轮1通过双摇杆带动双连杆的方式来实现驱动。

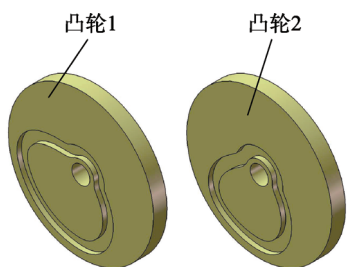


图6 凸轮实体
Fig.6 The cam entity

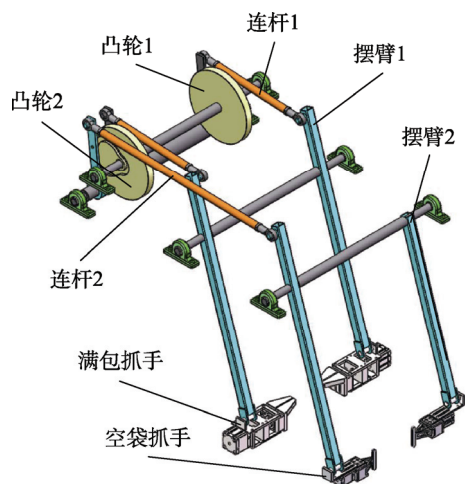


图7 工位转换机构实体模型
Fig.7 Physical model of the station change mechanism

3 机构运动仿真验证

依据建好的机构实体模型进行仿真分析^[15],由仿真结果,既可以看出工位转换机构各部件动作能够满足工作要求,满包和空包抓手在运动过程中不会发生干涉(见图8),也可以得到满包和空袋抓手的运动规律,见图9。由图9可以看出,满包和空袋抓手的速度曲线过渡平滑,没有尖点和突变,说明满包和空袋抓手运动平稳可靠,不会产生冲击。

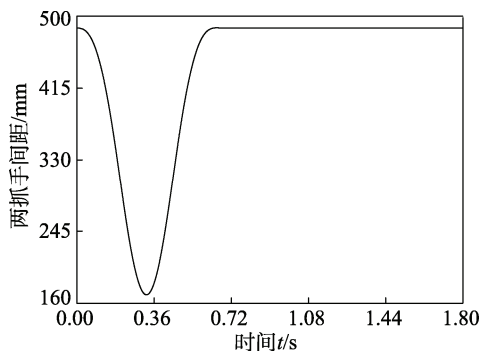


图8 空袋抓手和满包抓手间距曲线
Fig.8 The curve of distance between empty bags gripper and full bags gripper

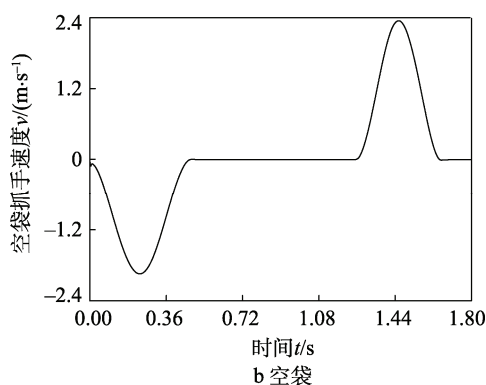
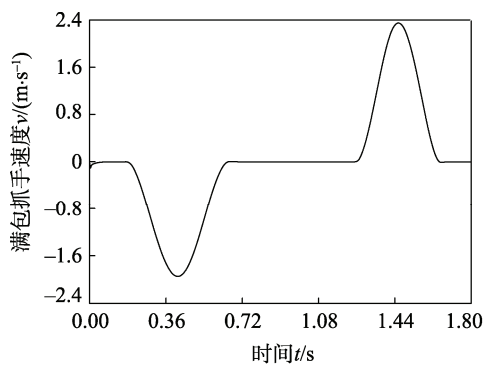


图9 抓手速度曲线
Fig.9 The velocity curve of gripper

4 结语

通过对工位转换机构的工作原理进行分析,绘制出摆臂1,2的运动循环图,建立凸轮1,2从动件的数学模型,并结合包装机整体结构布局确定相关各杆件的尺寸,巧妙应用SolidWorks中Motion的“跟踪路径”功能设计出凸轮1,2的轮廓曲线,然后建立机构的实体模型,最后由仿真分析验证机构设计的合理性。这种利用三维软件进行结构设计和运动仿真的方法,既能很大程度上缩短设计周期,又能保证机构设计的准确性。在工程应用中,可以有效地避免设计失误和降低设计成本,具有显著的实用价值。

参考文献:

- [1] 马洪亮. 重膜制袋机电气控制系统研制[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
MA Hong-liang. Development of Electrical Control System of Heavy Film Bag Forming Machine[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013.
- [2] 李光乐. FFS包装机伺服电子定量秤研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(4): 118—121.
LI Guang-le. Design of Electronic Servo Quantitative Scale for FFS Packaging Machine[J]. Food & Machinery, 2013, 29(4): 118—121.
- [3] 詹迪维. SolidWorks 2012 机械设计教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.

- ZHAN Di-wei. SolidWorks 2012 Mechanical Design Tutorial[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2012.
- [4] 杜祖钧, 贾争现, 曹巨江. 滚子齿形凸轮循环图的设计与分析[J]. 西北轻工业学院学报, 2002, 20(5): 30—33.
- DU Zu-jun, JIA Zheng-xian, CAO Ju-jiang. Motion Analyze of Rolier-gear-cam in ATC[J]. Journal of North-west University of Light Industry, 2002, 20(5): 30—33.
- [5] 孙恒, 陈作模, 葛文杰. 机械原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- SUN Heng, CHEN Zuo-mo, GE Wen-jie. Mechanical Principles[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [6] 刘善林, 胡鹏浩, 王会生. 基于 SolidWorks 二次开发的凸轮廓线精确设计及运动仿真[J]. 机械传动, 2008, 32(5): 46—48.
- LIU Shan-lin, HU Peng-hao, WANG Hui-sheng. Design of Cam Contour Curve Based on SolidWorks Re-development and Motion Simulation[J]. Journal of Mechanical Transmission, 2008, 32(5): 46—48.
- [7] 陈继生, 张彩丽. 自动机械的凸轮运动规律及其通用性研究[J]. 机械设计与制造, 2008(3): 221—222.
- CHEN Ji-sheng, ZHANG Cai-li. Study on the Law of Cam Movement and Its Versatility of Automatic Machinery[J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2008(3): 221—222.
- [8] 李晓晓, 董万福, 吴昊荣. 滚子从动件盘形凸轮的三维快速精确设计[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2013, 32(1): 68—70.
- LI Xiao-xiao, DONG Wan-fu, WU Hao-rong. Quick and Accurate Design on Roller Follow Disc Cam[J]. Journal of Chengdu University (Natural Science), 2013, 32(1): 68—70.
- [9] 方芳, 黄松和, 林刚. 基于 Matlab 和 SolidWorks 的凸轮廓线设计及性能分析[J]. 矿山机械, 2010, 38(6): 39—42.
- FANG Fang, HUANG Song-he, LIN Gang. Design and Performance Analysis of the Cam Profile Based on Matlab and SolidWorks[J]. Processing Equipment, 2010, 38(6): 39—42.
- [10] 李雅昔, 王宏斌, 李晓莉. 基于 SolidWorks 与 Matlab 的凸轮机构设计与仿真运动分析[J]. 河北工业科技, 2015, 32(3): 253—256.
- LI Ya-xi, WANG Hong-bin, LI Xiao-li. Design and Simulation of the Cam Profile Based on MATLAB and SolidWorks[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2015, 32(3): 253—256.
- [11] 陈超祥, 胡其登. SolidWorks Motion 运动仿真教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- CHEN Chao-xiang, HU Qi-deng. SolidWorks Motion Simulation Tutorial[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2012.
- [12] 韩庆红, 张锁怀, 陈香利, 等. 基于 SolidWorks Motion 的灌装机分瓶机构凸轮曲线设计[J]. 包装工程, 2016, 37(5): 110—114.
- HAN Qing-hong, ZHANG Suo-huai, CHEN Xiang-li, et al. Design of the Cam Curve for Filling Machine Sub-bottle Mechanism Based on SolidWorks Motion[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(5): 110—114.
- [13] 徐芳, 周志刚. 基于 ADAMS 的凸轮机构设计及运动仿真分析[J]. 机械设计与制造, 2007(9): 78—80.
- XU Fang, ZHOU Zhi-gang. Design and Kinematics Simulation of Cam Mechanism Based on ADAMS[J]. Machinery Design & Manufacture, 2007(9): 78—80.
- [14] 姜岳键. 基于 SolidWorks Motion 运动仿真跟踪路径的应用[J]. 机械研究与应用, 2014, 27(2): 187—188.
- JIANG Yue-jian. Application of Tracking Path of Motion Simulation Based on SolidWorks[J]. Mechanical Research & Application, 2014, 27(2): 187—188.
- [15] 张军, 李宪华. 基于 COSMOSMotion 的凸轮-推杆机构运动仿真[J]. 煤矿机械, 2006, 27(9): 103—105.
- ZHANG Jun, LI Xian-hua. Emulation of Cam Carrier Mechanism Motion Based on COSMOSMotion[J]. Coal Mine Machinery, 2006, 27(9): 103—105.