

基于曲柄摇块机构的封盖机设计与仿真

刘宝华, 魏民, 陶颖

(北华航天工业学院, 廊坊 065000)

摘要: **目的** 为自动化灌装生产线设计一种新型的自动封盖机械, 实现对批量桶盖的自动拆分、抓取、翻转移动、下压动作。**方法** 以单个气缸作为封盖机的唯一动力, 采用特殊的曲柄摇块机构, 将气缸的直线运动转化为末端执行机构的复合运动, 实现封盖过程。通过 Pro/E 机构运动学仿真, 验证运动过程轨迹。**结果** 推导出曲柄摇块机构末端位置方程。建立了机构的运动仿真模型, 通过运动学仿真得到末端执行机构的位置和速度曲线, 以及盖体运动过程中所占用的空间范围, 验证了该设计的可行性, 缩短了产品的开发周期。**结论** 采用曲柄摇块机构完成封盖机运动过程的集成, 通过单一动力源实现自动封盖机功能。设备结构简便、易操作、工作效率高、稳定性好, 便于与各类灌装机械相集成。

关键词: 封盖机; 运动学仿真; Pro/E; 曲柄摇块

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)05-0158-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.05.030

Design and Simulation of Capping Machine Based on Crank Rocker Mechanism

LIU Bao-hua, WEI Min, TAO Ying

(North China Institute of Aerospace Engineering, Langfang 065000, China)

ABSTRACT: The work aims to design a new type of automatic capping machine of the automatic filling production line, to achieve the automatic separation, grabbing, tumbling and moving and pushing down of the mass produced covers. With single cylinder as the only power, the capping machine was designed based on a special crank rocker mechanism, which turned the rectilinear movement of the cylinder into compound movement of the end actuator to achieve the capping process. The movement trajectory was verified through mechanism kinematic simulation in Pro/E. The end position equation of the crank rocker mechanism was derived. The motion simulation model of the mechanism was established. The position and velocity curve of the end effector as well as the spatial range occupied by the movement of the cover body were obtained through kinematics simulation. The feasibility of the design was verified and the development cycle of the products was shortened. The crank rocker mechanism is used to complete the integration of capping machine movement process, and the functions of automatic capping machine are achieved through a single power source. The capping machine, characterized by simple structure, easy operation, high working efficiency and good stability, can be easily integrated with all kinds of filling machinery.

KEY WORDS: capping machine; kinematics simulation; Pro/E; crank rocker

自动封盖机是涂料自动灌装生产线的重要组成部分, 实现涂料容器的封装, 完成灌装过程。当前国内的主流封盖机均采用多个动力源及执行机构协调运行的方式完成取盖、移动、压盖动作, 这种形式的封盖机结构复杂, 工作效率和稳定性都较低^[1-2]。文

中设计的基于曲柄摇块机构的自动封盖机, 采用气缸作为单一驱动力, 通过曲柄摇块机构实现完整运动轨迹, 气缸一次伸缩即完成整个取盖、封盖过程, 大幅提升设备效率。可应用于广口金属容器包装的液体涂料、胶体等流动液体的包装与封口。设计过程采用

收稿日期: 2017-04-27

基金项目: 河北省教育厅青年基金 (QN2014213)

作者简介: 刘宝华 (1981—), 男, 硕士, 北华航天工业学院讲师, 主要研究方向为包装机械和工业自动化。

Pro/E 建立三维数字模型,通过 Assembly 模块进行装配连接,排除自动封盖机在物理装配过程中可能出现的问题^[3],对设计不合理的部分进行修改,利用 Pro/E 机构模块对自动封盖机进行运动学仿真^[4-5],检验运动部件是否存在干涉并得到自动上盖机末端执行机构相应的位置、速度、加速度曲线,优化运动轨迹和运动过程。

1 曲柄摇块机构

曲柄摇块机构是将曲柄滑块机构中的原连杆做为机架而得到的一种特殊机构,曲柄摇块机构也称为曲柄导杆摇块机构,该机构是以曲柄作为主动件,曲柄做旋转运动,通过导杆驱动摇块做往复摆动。如图 1 所示,曲柄摇块机构常应用于摆动式内燃机和液压驱动装置内,其特点是在单一动力条件下,摇块可以做转动和滑动的复合运动。

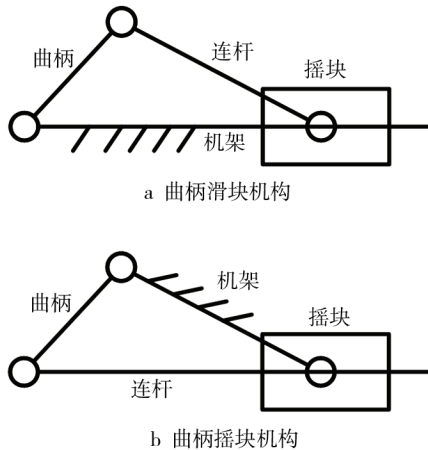


图 1 曲柄滑块机构和曲柄摇块机构

Fig.1 Crank slider mechanism and crank rocker mechanism

2 自动封盖机设计

自动封盖机包括主机架、桶盖存储库、分盖机构、真空吸盘取盖机构和压盖机构 5 部分,见图 2。其中真空吸盘取盖机构部分采用曲柄摇块机构实现。

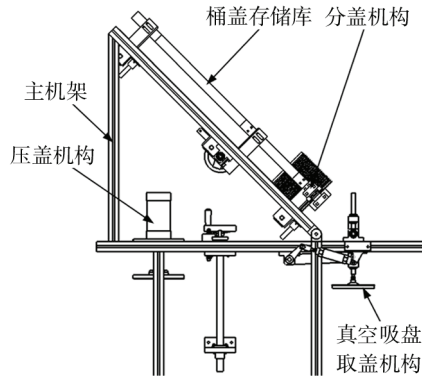


图 2 自动封盖机组成

Fig.2 The composition of automatic capping machine

如若完成取盖动作,真空吸盘需要有水平方向和垂直方向的平动及绕垂直于视图方向的旋转运动。传统设计方法通常对每个方向的运动单独设计,各方向需要独立的动力及导向机构。文中由单一气缸提供驱动力,带动机构中曲柄做往复摆动,由曲柄摇块机构实现吸盘在水平方向和垂直方向做取盖、翻转、下压运动。这种设计能最大程度地简化设备结构,减少驱动部件,可避免由于驱动部件之间动作时序错误而造成的工作故障或设备损坏。真空吸盘取盖机构主要由驱动气缸、驱动轴、曲柄、导杆、滑块、吸盘座、吸盘、和主机架组成,见图 3,其结构可简化为曲柄摇块机构。

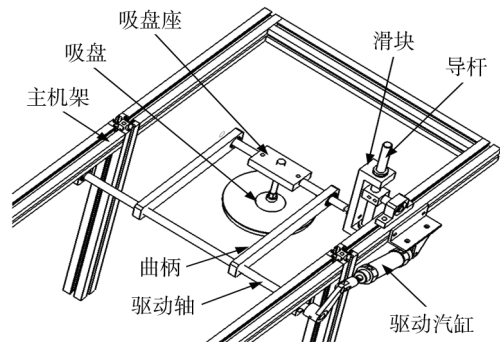


图 3 真空吸盘取盖机构

Fig.3 Cap taking mechanism based on vacuum sucker

真空吸盘取盖机构结构见图 4。其中 AC 为曲柄摇块机构的机架,长度为 L_1 , 机架与横轴夹角为 θ_0 , 通过 A, C 点与主机架固定, A, C 点为铰链连结; AB 为曲柄摇块机构的曲柄,长度为 L_3 , 曲柄作为机构的主动件以机架 AC 为中心线上下各摆动 θ_0 角度,角速度为 ω ; BE 为曲柄摇块机构的导杆,与曲柄 AB 铰接于点 B 并穿过绕 C 点转动的摇块; BD 为取盖机构中的吸盘,长度为 L_2 , 机构工作时 BD 与 BC 始终保持共线。坐标系 xOy 为自动封盖机坐标系,真空吸盘取盖机构各点坐标设定见图 4。图 4a 中,当曲柄 AB 与导杆 BC 垂直时作为取盖机构上极限。由图 4b 可以得到,当导杆 BD 竖直向下时为上盖机构的下极限,因此可以得到曲柄 AB 长度 $L_3=L_1 \sin \theta_0$ 。

吸盘在机架上方机构见图 4a,当吸盘处于运动空间中任意一点 $D(x_D, y_D)$ 时,设曲柄与机架夹角为 θ_1 , 连杆方向角为 θ_2 , 可得到各点坐标为:

$$B \text{ 点坐标: } \begin{cases} x_B = x_0 + L_3 \cos(\theta_0 + \theta_1) \\ y_B = y_0 + L_3 \sin(\theta_0 + \theta_1) \end{cases}$$

$$C \text{ 点坐标: } \begin{cases} x_C = x_0 + L_1 \cos \theta_0 \\ y_C = y_0 + L_1 \sin \theta_0 \end{cases}$$

$$\text{连杆方向角: } \theta_2 = \arctan \frac{y_C - y_B}{x_C - x_B}$$

$$E \text{ 点坐标: } \begin{cases} x_E = x_B - L_2 \cos \theta_2 \\ y_E = y_B + L_2 \sin \theta_2 \end{cases}$$

吸盘在机架下方机构见图 4b, 当吸盘处于运动空间中任意一点 $D(x_D, y_D)$ 时, 设曲柄与机架夹角为 θ_1 , 连杆方向角为 θ_2 , 可得到各点坐标为:

$$B \text{ 点坐标: } \begin{cases} x_B = x_0 + L_3 \cos(\theta_0 - \theta_1) \\ y_B = y_0 + L_3 \sin(\theta_0 - \theta_1) \end{cases}$$

$$C \text{ 点坐标: } \begin{cases} x_C = x_0 + L_1 \cos \theta_0 \\ y_C = y_0 + L_1 \sin \theta_0 \end{cases}$$

$$\text{连杆方向角: } \theta_2 = \arctan \frac{y_C - y_B}{x_C - x_B}$$

$$E \text{ 点坐标: } \begin{cases} x_E = x_B - L_2 \cos \theta_2 \\ y_E = y_B - L_2 \sin \theta_2 \end{cases}$$

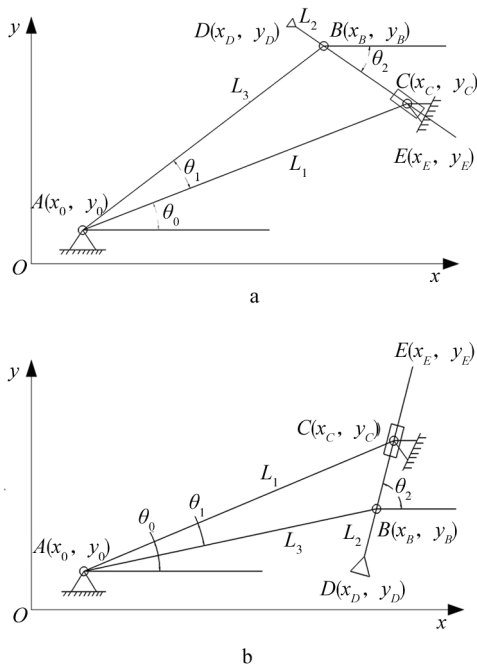


图 4 真空吸盘取盖机构结构
Fig.4 Structure of cap taking mechanism based on vacuum sucker

实际实施过程中, $L_1=269.6 \text{ mm}$, $L_2=250 \text{ mm}$, $L_3=269.6 \text{ mm}$ 。对于机构的运动分析多采用轨迹图法^[6]或根据实体间几何约束条件^[7]建立方程组求解, 但是当运动部件过多的情况下, 利用上述方法求解过程过于复杂或无法求解三维装配几何约束, 并且设计工作不直观, 设计结果不理想。目前广泛采用的运动分析仿真方法是利用计算机辅助分析软件仿真^[8-9], 实现机构的设计及运动轨迹的校核。

3 自动封盖机的 Pro/E 运动仿真

Pro/E 是当前世界主流的模具和产品设计三维 CAD/CAM 软件, 文中采用 Pro/E 对自动封盖机进行运动仿真, 得出自动封盖机完整的动作流程及准确的运动轨迹, 以验证是否满足自动封盖机的设计需求。Pro/E 进行运动学仿真分析主要步骤为^[10-11]: 建立运

动机构的三维模型、建立运动部件的连接关系、运动学分析、输出可视化仿真结果。自动封盖机模型采用 Pro/E 进行零件模型建立, 利用 ASSEMBLY 模块进行参数化组装并根据各零件间的约束关系建立实体连接关系^[12], 自动封盖机中旋转运动部件采用销钉约束连接, 气缸、导杆等直线运动部件采用滑动杆约束连接, 保证设备仿真过程中的自由度及各部件的相互运动关系^[13-14]。

Pro/E 机构仿真模块可以在三维的环境中通过将设备中各运动部件建立约束连接实现对机构的运动轨迹、运动干涉及运动包络区域进行直观分析, 并能够分析出机构中各部件的运动速度、加速度、位置、力等参数。

3.1 部件装配连接关系建立

在 Pro/E 装配模块中将自动上盖机各部件根据相互之间的位置及运动关系进行组件装配, 由于组件之间存在相互运动, 因此在配合过程中需要根据部件间相互的运动情况限制相应的自由度, Pro/E 提供了常用的连接方式, 主要包括: 刚性、销钉、滑动杆、圆柱、平面、球、轴承等。文中在曲柄与铰链 A 之间、曲柄与吸盘座之间、滑块与铰链 C 之间施加销钉连接, 保证其具有旋转自由度。滑块与导杆之间、气缸本体与气缸杆之间施加滑动杆连接, 保证其具有沿杆方向的直线自由度。

3.2 封盖机末端执行机构仿真

将坐标系建立在图 4 中的 A 点, 水平方向为 x 轴, 竖直方向为 y 轴。自动封盖机仿真主要目的是确定真空吸盘中心的位置、速度及加速度, 以及工作过程中桶盖与机器其他部件是否存在运动干涉。仿真时动力源选取气缸杆作为驱动, 定义工作过程中气缸杆做匀速运动, 为机构中各铰链、滑块定义相应连接方式, 实现机构的运动过程仿真。经仿真计算, 得出自动封盖机的运动过程和运动轨迹, 见图 5。为获得运动过程中连续的运动参数, 可对仿真过程进行处理, 得到真空吸盘末端分别沿水平方向和竖直方向的位置和运动速度的变化曲线, 见图 6。

3.3 桶盖运动包络线仿真

为了考察自动封盖机取盖机构工作过程中运动部件相互之间是否存在干涉问题, 选取桶盖作为生成运动包络线实体, 采用上述运动仿真结果集作为包络线仿真结果集, 通过仿真结果生成运动过程中桶盖轨迹的包络线, 见图 7, 其中虚线部分为桶盖中心点运动轨迹, 实线为桶盖外轮廓移动过程的包络线。通过桶盖运动包络线仿真结果可以直观地得到设备工作过程中桶盖运动需要的空间区域, 可排除自动封盖机工作过程中的干涉问题。通过吸盘中心运动轨迹可以看到该设计中的取盖机构在取盖过程中对桶盖引拔

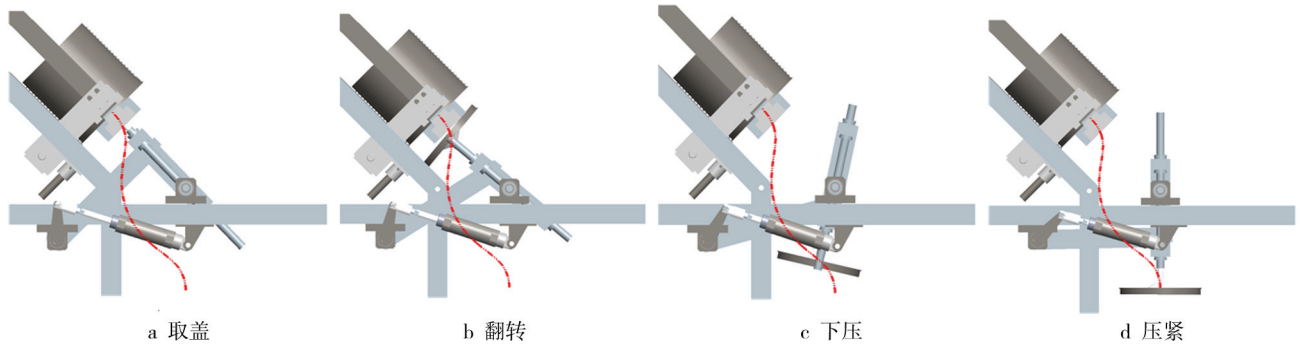


图 5 自动封盖机的 Pro/E 仿真运动过程

Fig.5 Pro/E simulation movement process of automatic capping machine

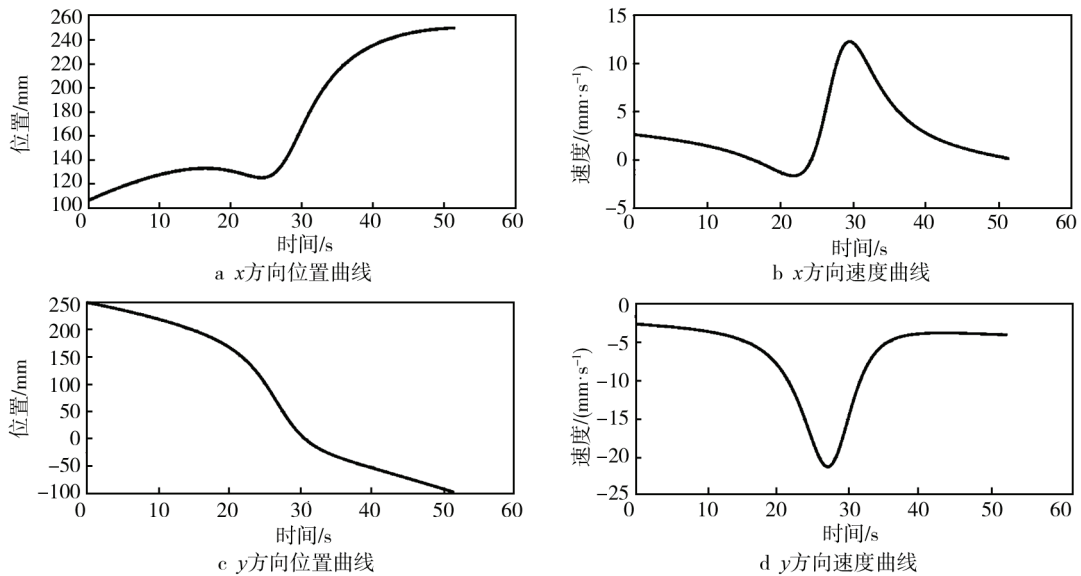


图 6 水平和竖直方向的位置曲线和速度曲线

Fig.6 Position curve and velocity curve in the horizontal and vertical directions

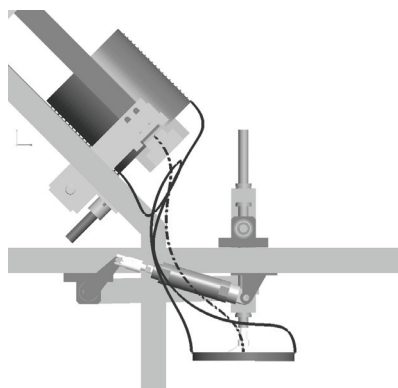


图 7 xy 平面内的运动包络线

Fig.7 Motion envelope of xy plane

效果，可以使桶盖库中的桶盖充分分离；在放盖过程中对桶盖有按压效果，能够使桶盖更好的放置在灌装后的涂料包装桶上。

4 结语

对自动封盖机进行设计，采用曲柄摇块机构完成

封盖机运动过程的集成，通过单一动力源实现自动封盖机取盖、翻转、下压的功能，设计出结构简便、易操作、工作效率高、稳定性好的新型自动封盖机。应用 Pro/E 软件的建模和机构分析模块对自动封盖机进行了虚拟样机设计及运动学仿真分析，得到了自动封盖机真空取盖机构末端的速度和位置曲线以及工作过程中盖体运动所占用的空间范围，直观地验证了该设备工作的可行性，提高了机构设计开发效率，缩短了产品的开发周期。文中设计的产品已应用于实际生产，通过 IO 通讯与相应的灌装机械连接，组成全自动灌装生产线，对灌装生产线效率和质量的提升起到良好的效果。

参考文献：

[1] 郑涛, 康利梅, 梁萍. 旋盖机旋盖失效分析[J]. 包装工程, 2011, 32(19): 8—10.
 ZHENG Tao, KANG Li-mei, LIANG Ping. Capping Machine Screw Cap Failure Analysis[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(19): 8—10.

- [2] 李诗龙. XF12 型旋盖机的设计[J]. 包装工程, 2000, 21(3): 24—26.
LI Shi-long. XF12 Type Capping Machines Design[J]. Packaging Engineering, 2000, 21 (3): 24—26.
- [3] 段敏, 李东, 石晶, 等. 应用 Pro/Engineer 实现机构的动态仿真设计[J]. 辽宁工程学院学报, 2004, 24(3): 26—27.
DUAN Min, LI Dong, SHI Jing, et al. Application of Pro/Engineer to Completion of Dynamic Imitation of Mechanism[J]. Journal of Liaoning Institute of Technology, 2004, 24(3): 26—27.
- [4] 李国平, 谭跃刚. 基于 Pro/Engineer 实现汽车自动调整臂机构的运动仿真[J]. 机械, 2005, 32(8): 28—30.
LI Guo-ping, TAN Yue-gang. Application of Pro/Engineer to Completion of Dynamic Imitation of Automatic Brake Adjuster Mechanism[J]. Mechanical, 2005, 32(8): 28—30.
- [5] 冯樱, 刘加华, 刘成武. 基于 Pro/E 的汽车变速器装配及运动仿真的动画实现[J]. 机械工程师, 2007(3): 63—65.
FENG Ying, LIU Jia-hua, LIU Cheng-wu. Based on Pro/E Auto Transmission Assembly and Motion Simulation Animation Realization[J]. Mechanical Engineer, 2007(3): 63—65.
- [6] KRAMER G A. Solving Geometric Constraints System: A Case Study in Kinematics[M]. Cambridge: MIT Press, 1992.
- [7] 黄真, 赵永生, 赵铁石. 高等空间机构学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- HUANG Zhen, ZHAO Yong-sheng, ZHAO Tie-shi. Advanced Spatial Mechanism[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [8] 杜宝江, 刘坡. 虚拟联动仿真技术的实现与应用[J]. 包装工程, 2013, 34(9): 6—9.
DU Bao-jiang, LIU Po. Realization and Application of Virtual Linkage Simulation Technology[J]. Packaging Engineering, 2013, 34 (9): 6—9.
- [9] 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.
- [10] 安宁, 尚涛. Pro/MECHANICA 运动仿真应用[J]. 武汉大学学报(工学版), 2003, 36(3A): 132—134.
AN Ning, SHANG Tao. Application of Pro/MECHANICA to Motion Simulation[J]. Journal of Wuhan University, 2003, 36(3A): 132—134.
- [11] CHANG Kuang-hua. Pro/MECHANICA Motion: Mechanism Design and Analysis[M]. Schroff Development Corporation, 2000.
- [12] SUN Wei. Pro/MECHANICA Simulation, Analysis and Optimization Tutorial[D]. Drexel University, 2001.
- [13] 闻邦椿. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
WEN Bang-chun. Mechanical Design Manual[M]. Beijing: China Machine Press, 2010.
- [14] THOMAS R K. Robotics and Automation Handbook[M]. CRC Press, 2005.