全自动装箱机机械式抓头机构的设计

程芳，赵美宁
（西安工业大学，西安 710032）

摘要：目的 为了实现异型瓶的自动化装箱，以提高全自动装箱机的工作效率。**方法** 结合抓头的工艺要求，设计机械式抓头实现异型瓶的装箱。通过机械式抓头的设计分析，理论计算出机械式抓头驱动力与夹紧力的关系，抓头夹紧力及抓头张角的大小等数据。根据计算出的理论数据，为机械式抓头的仿真分析提供理论依据。通过在SolidWorks中建立三维模型，导入ADAMS中，设置参数，定义约束和驱动，在ADAMS中完成仿真机械式抓头的装箱动作过程。**结果** 根据仿真数据结果分析，机械式抓头的抓瓶和放瓶动作能够满足异型瓶的装箱要求，实现了异型瓶的自动化装箱。**结论** 机械式抓头机构的设计实现了异型瓶装箱，提高了装箱机的生产效率。

关键词： 装箱机；机械式抓头；ADAMS；仿真分析
中图分类号： TB486 **文献标识码：** A **文章编号：** 1001-3563(2016)09-0094-04

Design of Mechanical Manipulator of the Automatic Packing Machine

CHENG Fang, ZHAO Mei-ning
(Xi′ an Technological University, Xi′ an 710032, China)

ABSTRACT: This work aimed to improve the efficiency of Automatic Packing Machine of shaped bottles. Combining the industrial need of the manipulator, a mechanical manipulator was designed for packing of shaped bottles. The relationship between driving force and clamping force of the mechanical manipulator was theoretically calculated through design analysis of the mechanical manipulator, as well as the clamping force of Chuck and the Turning Angle of the Chuck. Based on the calculated theoretical data, theoretical basis was provided for the simulation analysis of the mechanical manipulator. A 3-D model was built based on Solidworks and imported into ADAMS, the parameters were set, and the constraints and drive were defined. The simulation analysis of the packing process of the mechanical manipulator was completed in ADAMS. According to the results of the simulation analysis, the manipulator could grab and put a bottle in the carton to achieve automatic packing of shaped bottles. The design of the mechanical manipulator achieved packing of shaped bottles, and improved the production efficiency of the automatic packing machine.

KEY WORDS: packing machine; mechanical manipulator; ADAMS; simulation analysis

针对快速消费品行业里的酒类、日化、调味品等液态商品越来越注重产品的个性化包装，各式各样的异型瓶（非规则的圆形瓶）让人眼花缭乱，丰富繁荣了市场，同时异型瓶的装箱给包装行业提出了新的课题[1]。为了能够实现异型瓶的装箱要求，提出设计机械式抓头的构思，对实现异型瓶自动化装箱具有一定的现实意义。

1 装箱机设计

1.1 工作原理

装箱机是一种把未进行包装的产品或者小包装

收稿日期： 2015-07-31
作者简介： 程芳（1990—），女，河南濮阳人，西安工业大学硕士生，主攻包装机械设计。
通讯作者： 赵美宁（1964—），女，陕西西安人，西安工业大学教授，主要研究方向为包装机械的设计与研究。

产品自动装入运输包装箱(集装箱或者纸箱)的一种设备。装箱机的工艺流程见图1,一定数量的空箱周期性地被输箱系统送到装箱区域,在挡箱装置的作用下,被分成若干组,并且停下来等待装箱。另一方面,瓶子不断地由输瓶系统送到装箱机中的输瓶台,通过排瓶装置、输瓶装置梳理,瓶子一个接一个按照一定的规律排列成行[2]。当装箱机检测到同时有瓶子和箱子的时候,机械式抓头开始抓瓶,通过电机驱动,将瓶子放到箱子里。

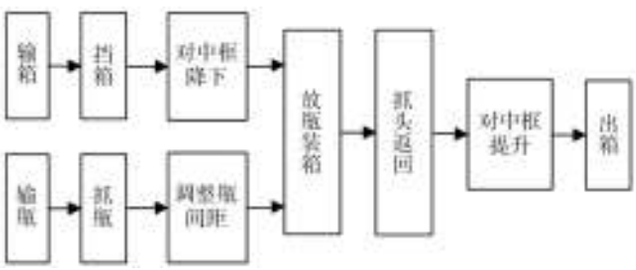


图1 装箱机工作流程

Fig.1 Work flowchart of case packer

1.2 机械式抓头机构的结构设计

全自动装箱机主要由输瓶链道、抓头机构、传动部件、机架、对中装置、输箱链道、气控部件、电控部件等部件构成,其核心部件是抓头机构[3]。依据装箱产品的不同,抓头机构中抓头的形式有气动吸盘、气囊式抓头、机械式抓头等。机械式抓头用于异型瓶等瓶间距较小的装箱机械手。根据异性瓶瓶型的特殊性,结合抓头的工艺要求[4],设计出机械式抓头。三维图见图2,单个抓头的结构见图3。

图2 机械式抓头三维图

Fig.2 The three dimensional figure of the mechanical manipulator

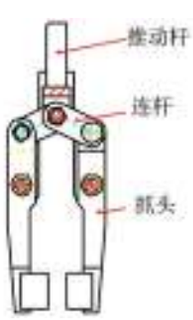


图3 单抓头二维图

Fig.3 The machine drawing of the Manipulator

工作原理:当驱动器推动杆向上移动时,由杆、连杆、抓头等组成的夹紧机构迫使夹头(手爪)完成松开动作;反之,当推动杆向下运动时,手爪夹紧。机械式抓头抓取瓶子的瓶口直径可以变化,并且夹持比较平稳,同时夹持误差也较小。

2 机械式抓头的理论计算

2.1 夹紧机构

夹紧机构是机械式抓头完成瓶子抓紧与松开的执行装置。由于手爪在抓取瓶子时要满足稳、准、快的要求,所以夹紧机构对全自动装箱机的装箱过程的准确性和安全性具有非常重要的作用。夹紧机构要有一定的开口尺寸,以满足抓取的要求。为防止抓取时,瓶子掉落以及夹紧力过大使瓶口破碎,夹紧力要有一定的范围。并且在设计时,夹紧机构还要满足简单、体积小、动作灵活、工作可靠以及质量轻等设计要求[5]。

2.2 机械式抓头夹紧力与驱动力的关系

机械式抓头在抓取瓶子时必须要有合适的夹紧力,在保证能够抓稳瓶子的同时,不会因为力过大而把瓶子夹碎。机械式抓头的结构,夹紧的位置以及瓶子的尺寸都会对实际夹紧力产生影响。

当机械式抓头受力抓瓶时,其夹紧力F_n跟驱动力F_p的关系见图4。

$$F_n = \frac{F_p L_1 \sin\alpha}{2L_2} \tag{1}$$

式中:α为夹紧时抓头的连杆方向与水平线的夹角;L_1为连杆上两空之间的距离;L_2为支点A与手抓抓瓶支点之间的距离。式(1)表示机械式抓头抓瓶后夹紧力与驱动力之间的关系。

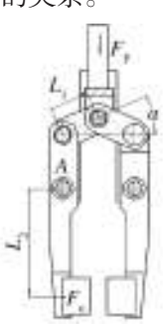


图4 抓头受力

Fig.4 The force diagram of the Manipulator

2.3 抓头夹紧力的计算

机械式抓头的夹紧力必须克服本身重力所产生的静载荷跟在装箱过程中移动瓶子到装箱位置时动

作变化所产生的惯性力或惯性力矩，以保证瓶子的夹紧状态。夹头对瓶子的夹紧力可按公式(2)计算[6]：

$$\mu G \leqslant F_n < F \tag{2}$$

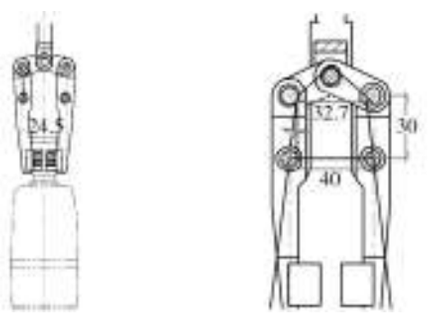
式中：μ为橡胶垫与瓶盖之间的摩擦系数；G为瓶子的重力；F为瓶子即将破碎的最大应力。

2.4 抓头张角的计算[7]

通过气缸的充气和放气，使活塞杆做直线运动，从而带动推杆运动，推杆通过连杆控制手爪的张开与闭合，从而完成瓶子的抓紧跟松开。当推杆伸出时，手爪张开；推杆收回时，手爪闭合。整个过程可在控制的要求下实现全部自动化。

设计时支点连线跟手爪在同一直线上。当手爪夹紧瓶子时，手爪向内倾斜一定的角度。机械式抓头夹紧瓶子时的状态见图5。经过计算，向内倾斜的角度α=2.7°。

当推杆向外移动时，机械式抓头松开，手爪达到张角最大值。机械式抓头的初始位置跟最后达到的位置见图6。计算得到手爪的最大张角β=7°。根据计算得到的张角大小值，可求得设计的机械式抓头夹头的张角范围为-5.4°～14°。



a 抓瓶　　b 放瓶

图5 机械式抓头的工作位置

Fig.5 The work position of the mechanical manipulator

3 机械式抓头装箱过程动态仿真分析

全自动装箱机抓瓶过程：机械式抓头在原点位置，在1 s时下降抓瓶完成，沿导轨运动，在6 s时完成放瓶动作，在10 s时机械式抓头完成整个装箱动作。在完成抓瓶后，传动系统带动抓头向上运动，在加速度从0变化到502 N/kg的过程中会产生惯性力，通过动态条件下的仿真分析来研究惯性力对夹头夹紧瓶子产生的影响。在SolidWorks中建立好模型，导入ADAMS中，定义材料属性、约束及驱动等。在胶垫与瓶子之间设置接触约束。查阅相关参考资料，计算接触力的方法采用碰撞法，相互滑动时摩擦力的计算方法采用库仑计算法，因此在接触力对话框的接触力和滑动摩擦力的参数设置[8—11]见表1。

表1 接触参数的设置

Tab.1 Setting of the contact parameters

接触力	碰撞法	摩擦力	库仑法
刚度系数	25.1188	静摩擦系数	0.6
弹性力系数	1.5	动摩擦系数	0.5
阻尼系数	10	静摩擦临界速度/(mm·s^{-1})	100
切入深度/mm	0.1	滑动摩擦临界速度/(mm·s^{-1})	1000

机械式抓头在整个仿真过程中添加旋转副、移动副，具体设置过程如下：

Motion 1(夹头1驱动)：step(time,0,0d,1,15d)+step(time,4.8,0d,4.9,-15d)；

Motion 2(夹头2驱动)：step(time,0,0d,1,15d)+step(time,4.8,0d,4.9,-15d)；

Motion 3(拉杆驱动)：step(time2,0,2.5,502)+step(time,2.5,0,3,-1004)+step(time,3,0,3.9,502)

在Adams中，将上述STEP函数添加到与之对应的驱动中，然后设定仿真时间为5 s，仿真步数为1000步[12]。机械式抓头的拉杆驱动拉杆加速度的变化曲线见图6。

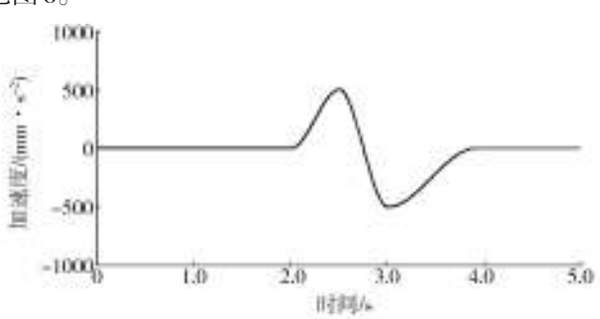


图6 拉杆的加速度的变化曲线

Fig.6 The acceleration curve of draw-bar

经理论计算得到夹头的转角为-2.8°～14°。根据这一理论数据，结合实际工作状况得到机械式抓头在整个装箱过程中的角度变化值，变化曲线见图7。从图7中分析，机械式抓头在整个装箱过程中转过15°。仿真结果得到的数据结果与理论计算结果一致。

机械式抓头在抓瓶完成后，沿导轨向上运动时，在加速度从0变化到502 N/kg的过程中会产生惯性力。机械式抓头向上运动产生的惯性力大小对瓶子产生的影响对全自动装箱机的整个装箱过程很重要[13—15]。在ADAMS中，动态仿真过程机械式抓头对瓶子的夹紧

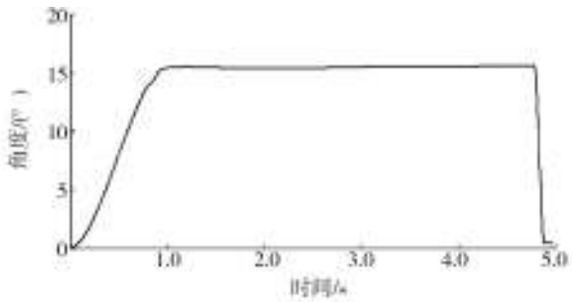


图7 机械式抓头转过角度变化曲线

Fig.7 The turning angle curve of the mechanical manipulator

力见图8。

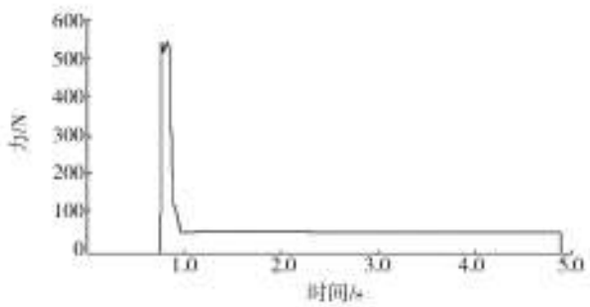


图8 机械式抓头夹紧力的变化曲线

Fig.8 The clamp force curve of the mechanical manipulator

从图8可以看出,机械式抓头在0.8 s开始夹紧瓶子,夹紧力逐渐变大。随着抓瓶动作完成后,整个抓瓶机构突然开始向上运动。由于惯性的作用,瓶子还处于静止状态,因而夹紧力逐渐减小。直至将瓶子抓起后,瓶子和机械式抓头一起沿导轨匀速运动。在匀速运动过程中,匀速运动对机械式抓头的影响很小,夹紧力基本保持不变。在4.8 s时完成放瓶动作,整个装箱过程结束。根据图8中的变化曲线分析,机械式抓头的仿真结果符合设计的要求,能够实现异型瓶装箱。

4 结语

根据装箱机的结构特点及工艺要求,设计出了机械式抓头。首先对其进行理论计算分析。在SolidWorks中建模后,导入ADAMS中,设置参数、约束及驱动。在ADAMS中进行机械式抓头抓瓶和放瓶的装箱过程,从得到的数据进行分析,设计出的机械式抓头能够满足异型瓶的装箱要求,实现异型瓶自动化装箱。

参考文献:

[1] 张有良. 异型瓶装箱机的设计和电气设计[J]. 伺服控制,2007:67—69.
ZHANG You-liang. The Design and Control of Carton Packing Machine[J]. Servo Control,2007:67—69.

[2] 王妮,赵美宁,孙莎莎. 全自动装箱机抓瓶机构的优化设计[J]. 包装工程,2010,31(23):32—34.
WANG Ni,ZHAO Mei-ning,SUN Sha-sha. Optimization Design of Bottle Gripping Device of Full Automatic Case Packer [J]. Packaging Engineering,2010,31(23):32—34.

[3] 邹文生,刘晔,朱景环. 全自动装箱机的研制(四)[J]. 南昌大学学报(理工科),1999(23):179—181.
ZOU Wen-sheng,LIU Ye,ZHU Jing-huan. The Development of Automatic Loading Chest Machine (4) [J]. Journal of Nanchang University(Natural Science), 1999(23): 179—181.

[4] 黄玉美,王润孝,梅雪松. 机械制造装备设计[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
HUANG Yu-mei, WANG Run-xiao, MEI Xue-song. Design of Machine Manufacturing Equipment[M]. Beijing: Higher Education Press,2006.

[5] 姜丽萍. 番茄力学力学特性及其在采摘机器人执行器设计中的应用[D]. 镇江:江苏大学,2006.
JIANG Li-ping. The Mechanical Properties of Tomatoes and the Application in the Paw′s Design of a Harvesting Robot[D]. Zhenjiang:Jiangsu University,2006.

[6] 周伯英. 工业机器人设计[M]. 北京:机械工业出版社,1995.
ZHOU Bo-ying. Industrial Robot Design[M]. Beijing: China Machine Press,1995.

[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] 王水林,邹月伟,李海伟. 基于ADAMS的仿真技术在履带行走装置的应用[J]. 机电产品开发与创新,2008,21(3):44—45.
WANG Shui-lin, ZOU Yue-wei, LI Hai-wei. Searches the Brand Recognition from the Semiotics[J]. Development & Innovation of Machinery & Electrical Products,2008,21(3):44—45.

[9] 安雪斌,潘尚峰. 多体系统动力学仿真中的接触碰撞模型分析[J]. 计算机仿真,2008,25(10):98—101.
AN Xue-bin,PAN Shang-feng. Analysis of Contact Model in Multi-body System Dynamic Simulation[J]. Computer Simulation,2008,25(10):98—101.

[10] LANKARANI H M,NIKRAVESH P E. A Contact Force Model with Hysteresis Damping for Impact Analysis of Multi-body Systems[J]. Journal of Mechanical Design,1990,1(12):369—376.

(下转第102页)

Updated into New Standards on Plastic Woven Bag(part one)[J]. Plastics Packaging,2015,25(1):43—46.

[5] 段青山,刘红清,李兵成. 塑料编织袋生产工艺现状[J]. 轻工科技,2013(3):26—27.
DUAN Qing-shan, LIU Hong-qing, LI Bing-cheng. The Status Quo of the Production Process of Plastic Woven Sack[J]. Light Industry Science and Technology,2013(3):26—27.

[6] GB/T 8946—2013,中华人民共和国塑料编织袋通用技术要求[S].
GB/T 8946—2013, General Technical Requirements of Plastic Woven Sack of the People′s Republic of China[S].

[7] 芦长椿. 高性能扁丝技术及市场的最新进展[J]. 纺织导报,2015(4):53—56.
LU Chang-chun. Latest Developments in the Technology and Market of High-performance Tape Yarn[J]. China Textile Leader,2015(4):53—56.

[8] 周先祥. 扁丝及其编织品的几个工艺及设计问题探讨[J]. 塑料科技,1998,12(6):8—16.
ZHOU Xian-xiang. Study on a Few of Issues of Technology and Design of Flat Yarn and Woven Products[J]. Plastics Science and Technology,1998,12(6):8—16.

[9] 葛长虹,刘齐舟,刘凯,等. 丝带收卷机换挡机构:中国,201010182110.6[P]. 2012-06-20.
GE Chang-hong, LIU Qi-zhou, LIU Kai, et al. The Shifting Mechanism of the Winding Machine of the Flattended Yarn: China,201010182110.6[P]. 2012-06-20.

[10] 刘全军,何建文,郭钟宁. 微细扁线材恒张力绕卷系统[J]. 机电工程技术,2013,42(9):98—102.
LIU Quan-jun, HE Jian-wen, GUO Zhong-ning. Constant Tension Coiling System for Flat Micro-Wire[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology,2013,42(9):98—102.

[11] 刘齐舟,葛长虹,刘凯,等. 挂挡块:中国,201020202427.7[P]. 2010-12-15.
LIU Qi-zhou, GE Chang-hong, LIU Kai, et al. The Sliding Block for Shifting Mechanism: China, 201020202427.7[P]. 2010-12-15.

[12] 冯立. 桑塔纳轿车变速器换挡机构分析改进[J]. 汽车技术,2008(6):27—30.
FENG Li. Analysis and Improvement of Transmission Shifting Mechanism for Passenger Car Santana[J]. Automobile Technology,2008(6):27—30.

[13] 张栋杰,毛世伟,朱波. 手动挡汽车换挡困难原因及改进方法[J]. 汽车工程师,2011(2):40—44.
ZHANG Dong-jie, MAO Shi-wei, ZHU Bo. Improvement Method of Gear Shift Difficulty on Manual Shift Vehicle[J]. Auto Engineer,2011(2):40—44.

[14] 滕红华,侯传亮. 一类变参数螺杆的几何构造及其加工[J]. 包装工程,2002,23(6):39—43.
TENG Hong-hua, HOU Chuan-liang. Configuration and Machining of a Kind of Variable Pitch Serew[J]. Packaging Engineering,2002,23(6):39—43.

[15] 孙杰,尹俊兵,陈兵. 开式螺旋输送原理分析与参数设计[J]. 起重运输机械,2010(5):11—15.
SUN Jie, YIN Jun-bing, CHEN Bing. The Analysis of the Conveying Mechanism and Parameter Design of Open Screw [J]. Hoisting and Conveying Machinery,2010(5):11—15.

[16] 陈天河. 编织袋扁丝纱锭绕制机往复螺杆的设计与改进[J]. 纺织器材,2007,34(S1):11—13.
CHEN Tian-he. Design and Modification of the Reciprocate Screw on the Winding Machine for the Spindle of the Flattended Yarn for Bag Weaving Use[J]. Textile Accessories, 2007,34(S1):11—13.

[17] 申建广,陶涛,梅雪松. 一种任意比率电子齿轮分频器的实现方法[J]. 西安交通大学学报,2014,48(1):96—100.
SHEN Jian-guang, TAO Tao, MEI Xue-song. Realization of Arbitrary Ratio Frequency Division Electronic Gear[J]. Journal of Xi′an Jiaotong University,2014,48(1):96—100.

(上接第97页)

[11] MARGARIDA Machado, PEDRO Moreira, PAULO Flores. Compliant Contact Force Models in Multibody Dynamics: Evolution of the Hertz Contact Theory[J]. Mechanism and Machine Theory,2012:99—121.

[12] 陈锋华. ADAMS虚拟样机技术[M]. 北京:清华大学出版社,2013.
CHEN Feng-hua. ADAMS Virtual Prototype Technology[M]. Beijing:Tsinghua University Press,2013.

[13] 王建军. 基于ADAMS的搬运机械手运动学及动力学仿真分析[J].(缺刊名),2010(5):59—61.
WANG Jian-hua. The Kinematics and Dynamics Simulation Analysis of the Transition Manipulator Based on the ADAMS [J]. 2010(5):59—61.

[14] SHIGEHIKO Hayashi, KATSUNOBU Ganno, YUKITSUGU Ishii, et al. Robotic Harvesting System for Egg Plants[J]. JARQ,2002,36(3):163—168.

[15] 万海波. 五自由度机械手运动性能及动力学分析与仿真[D]. 天津:河北工业大学,2007
WAN Hai-bo. Kinematics Performance Analysis and Dynamics Simulation For Manipulator with Five Degree of Freedom [D]. Tianjing:Hebei University of Technology,2007.