

## 包装机械

## 可控连杆手指式纸箱封箱机的设计

侯志利<sup>1,2</sup>, 武文革<sup>1</sup>, 李瑞琴<sup>1</sup>, 姚国强<sup>1</sup>, 秦慧斌<sup>1</sup>

(1.中北大学, 太原 030051; 2.山西职业技术学院, 太原 030006)

**摘要:** **目的** 为电商快递行业提供一种封装多样化、自动化的纸箱封装机, 降低从业人员的劳动强度, 提高纸箱封装效率。**方法** 封箱机主要由底座支撑装置、纸箱对正调整装置、可控连杆手指封装装置、纸箱旋转装置、胶带封装装置及控制系统组成。设计双向丝杠滑台实现不同规格尺寸纸箱的对中、找正。通过控制可控连杆手指封装装置的原动件运动参数, 实现不同规格尺寸纸箱的摇盖折合、封装。胶带封装装置由直动式电磁铁、微型真空泵、吸盘等零件组成, 与纸箱旋转装置协调配合, 共同实现纸箱的十字封装和胶带的自动切断。**结果** 样机有效工作空间为 550 mm×450 mm×300 mm, 能够对外形尺寸在 (140~550) mm×(140~450) mm×(180~300) mm 的纸箱进行封装工作, 每个纸箱封装时间为 60 s。**结论** 该纸箱封箱机可完成不同型号纸箱的包装、胶带的十字封装工作, 实现了封装多样化与自动化; 具有占地空间小、功能柔性可控、造价低的特点, 可提高电商快递从业人员的工作效率。

**关键词:** 双向滑台; 可控连杆机构; 十字封装; 纸箱封箱机

**中图分类号:** TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)03-0078-05

## Design of Finger Type Carton Packaging Machine with Controllable Linkage Mechanism

HOU Zhi-li<sup>1,2</sup>, WU Wen-ge<sup>1</sup>, LI Rui-qin<sup>1</sup>, YAO Guo-qiang<sup>1</sup>, QIN Hui-bin<sup>1</sup>

(1.North University of china, Taiyuan 030051, China; 2.Shanxi Polytechnic College, Taiyuan 030006, China)

**ABSTRACT:** The work aims to provide a diversified and automated carton packaging machine in E-commerce express industry, so as to reduce the labor intensity of employees and improve the efficiency of carton packaging. The carton packaging machine was mainly composed of base support device, adjustment device for cardboard box, finger packaging device with controllable linkage mechanism, carton rotating device, adhesive tape packaging device and control system. Dual screw sliding table was designed to achieve the alignment and centering of cartons of different specifications and dimensions. The flap folding and packaging of cartons of different specifications and dimensions was realized by controlling the motion parameters of driving links of controllable finger packaging device. Adhesive tape packaging device was composed of direct-acting electromagnet, mini vacuum pump, adhesive disc and other parts. Cross packaging of carton and automatic cutting of adhesive tape were carried out with the coordination of adhesive tape packaging device and carton rotating device. Effective working space of the prototype machine was 550 mm×450 mm×300 mm. The prototype machine could package the cartons ranging from 140 mm×140 mm×180 mm to 550 mm×450 mm×300 mm. Each carton packaging time was about 60 s. The carton packaging machine can finish the packaging of cartons of different types and the cross packaging of adhesive tape, which achieves the diversification and automation of packaging. Characterized by small space occupation, flexible and controllable functions and low cost, the packaging machine can improve the working efficiency of E-commerce express employees.

**KEY WORDS:** double sliding table; controllable linkage mechanism; cross package; carton packaging machine

收稿日期: 2016-08-18

基金项目: 国家自然科学基金 (51275486)

作者简介: 侯志利 (1978—), 女, 中北大学博士生, 山西职业技术学院讲师, 主要研究方向为可控重构并联机构设计理论与技术。

通讯作者: 李瑞琴 (1964—), 女, 中北大学教授、博导, 主要研究方向为机构理论与复杂机械系统。

随着电子商务的迅速发展,以网上购物为主的电商快递业快速增长,2015 年全年业务量达 200 亿件,同比增长 52%,我国已成为世界快递业第一大国<sup>[1]</sup>。性价比较高的纸箱包装成为网店商家的首选包装方式。纸箱的折盖、胶带封装等工作大都由手工完成,快递业存在人手少、工作量大、工作效率低、包装质量不可控、资源浪费等现象。目前市面上的封箱机器大都为包装流水线、占地空间大、价格昂贵、操作复杂<sup>[2-5]</sup>,不适合中小型电商、快递从业人员的使用,缺少小型、便捷的纸箱封箱机。

文献[6]提出一种纸盒封箱机的封盒机构,采用限位钢丝滑槽,拉齿带动纸盒移动,气缸驱动推盒器向前运动,推盒器上的推头两边内切角配合挡板入口处向外的倒角,完成纸盒内盒舌的折叠过程。纸盒在拉齿的作用下,继续向前运动,在钢丝滑槽及插舌板的作用下完成纸盒折合。这种机构整体结构较大,不适合小场地使用;针对不同尺寸的纸盒,要手动调整。此外,还缺少胶带封装过程。文献[7]在空调包装领域公开了一种自动化包装装置,包括机架、上模压箱机构、下模压箱机构、伸出机构。包装装置工作时首先将纸板放在下模压箱机构上,上模压箱机构做下降运动,与下模压箱机构配合将纸板弯折成箱状结构。该装置无需人工干预,可降低工作人员的工作强度,但包装装置的柔性较差,纸箱尺寸大小规格发生变化时,上下模压箱机构更换困难,成本较高。

可控连杆并联机构是指二自由度或多自由度闭链机构中的连杆结构尺寸参数、驱动元件输入运动参数,可实时受控变化,以期得到柔性输出,改善机构的运动学、动力学特性,快速响应外部功能需求的变化<sup>[8-9]</sup>。具有并联机构刚性好、运动速度快、承载能力强、伺服驱动柔性好的特点<sup>[10-11]</sup>。可作为闭环并联机械手和机器人的主体运动机构,广泛用于从事产品精密取放、组装、整列与包装作业领域<sup>[12-13]</sup>。文中针对上述问题,利用可控连杆并联机构,设计一种可控连杆手指式纸箱封箱机<sup>[14]</sup>,并完成不同规格、尺寸纸箱的摇盖折合与十字胶封实验。

## 1 可控连杆手指式纸箱封箱机的设计原理

纸箱由一块瓦楞纸板开槽而成,经过分切、压痕、开槽、开角、钉合或粘合等操作后制成。每个压痕与其相邻的纸箱摇板可以看作一个转动关节;纸箱摇板的折叠是通过纸箱摇板沿压痕转动一定角度来完成。通过纸箱的关节角度,可计算出折叠路径和序列<sup>[15-16]</sup>。

可控连杆手指式纸箱封箱机应完成不同模块重构,以实现不同尺寸规格纸箱的包装功能,包括用手指末端执行器进行拨、翻折、挤压操作。通过折合常见运动及动作研究,设计可控五连杆手指模块。可控

五连杆手指模块可以以若干组合来组装,组装的变化取决于不同任务,手指可以实现不同的翻折任务。纸箱折合与封装的动作流程为:放入纸箱→纸箱找正→摇板折叠→一字封箱→丝杠回零→工位转换→十字封箱→取出纸箱。

首先工作人员将纸箱放到纸箱托盘上,纸箱对正调整装置进行对正调整操作,由 2 个双向滑块丝杠滑台完成。针对不同规格的纸箱,由微动开关作为位置传感器,控制相应步进电机的运转与停止。在纸箱对正调整过程中,纸箱短摇盖在滑台带动的触手作用下完成折合。再进行长摇盖折合工作。纵向的 2 个可控连杆手指封装装置进入工作空间,在这个工作过程中,短摇板侧的对正调整装置退后,让出长摇盖的折合空间,待长摇盖折合完成后再次夹紧。然后进行胶带封装工作,即单向滑台和推杆电机配合工作,完成胶带封装装置右移和下移及复位的动作。上述工作完成后,纸箱的对正调整装置反向移动,将纸箱释放。在旋转步进电机的带动下,转盘和纸箱一起旋转 90°后,对正调整装置再次将纸箱对正并夹紧,然后胶带装置完成另一边的胶带封装,达到十字胶带封装的目的。纵向与横向对正调整装置的调整步进电机反转,带动 2 滑块进行反向运动,2 个连杆手指包装装置退出工作空间,最后由使用人员拿取已封装好的纸箱。

## 2 可控连杆手指式纸箱封箱机结构设计

### 2.1 整体结构

可控连杆手指式封箱机整体结构见图 1,由底座支撑装置、纸箱对正调整装置、纸箱旋转装置、可控连杆手指封装装置、胶带封装装置、控制系统组成。2 套纸箱对正调整装置互呈 90°,分别与底座支撑装置的横向槽钢连接。纸箱旋转装置固定在底座支撑装置的中间固定架上,可控连杆手指封装装置固定在纸箱对正调整装置的电机底板上。胶带封装装置位于纸箱旋转装置和五杆机构手指包装装置的上方,并通过 2 根支撑柱固定在底座支撑装置上。

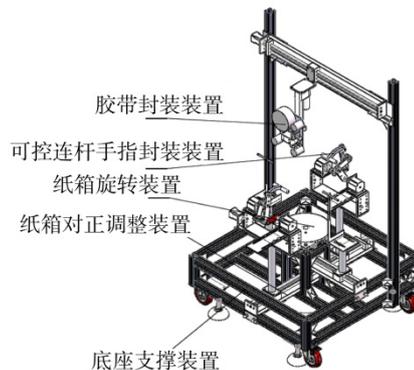


图 1 封箱机整体结构

Fig.1 Structure of the packaging machine

可控连杆手指式纸箱封箱机具有适应性和通用性，能够在可重构空间内通过重新定位和调整模块，适应多任务需求。可实现程序化运动和进程控制。随着纸箱形状和折叠顺序的变化，结构组成模块的位置和方向发生变化，可满足不同尺寸纸箱的包装。

### 2.2 底座支撑装置

目前铝型材的使用日益广泛，其连接技术成熟，连接方便、灵活、可靠。底座支撑装置采用 4040L 铝型材搭建支撑主体，底座支撑装置由 8 根长度相等的横向槽钢、4 根长度相等的纵向槽钢、底板、中间固定架、4 个连接板、4 个万向轮和 4 个脚杯组成；8 根横向槽钢分为 2 组，连接成 2 个水平方框，由 4 根纵向槽钢通过螺栓连接在 2 个水平方框的 4 个角上，构成上下 2 层水平矩形框架。底板固定在横向槽钢下层矩形框的上表面，中间固定架固定在底板中央，中间固定架与纸箱升降装置的支撑座固定。4 个连接板对称固定在底板下表面 4 角处。4 个万向轮和脚杯分别固定在连接板上。当整个装置需要移动时，通过旋转螺母将脚杯升起，万向轮着地；当整个装置移动到合适位置时，通过旋转螺母下降脚杯，万向轮被抬高，远离地面，从而实现装置的固定。底座支撑装置可实现封箱机的便携移动和固定。

### 2.3 纸箱对正调整装置

纸箱对正调整装置(见图 2)由结构相同的横向对正调整装置和纵向对正调整装置组成。双滑块丝杠导轨滑台的丝杠左半区螺纹右旋，右半区螺纹左旋，双滑块丝杠导轨滑台的丝杠由调整步进电机驱动；双滑块丝杠导轨滑台的左滑块在丝杠左半区，右滑块在丝杠右半区，双滑块丝杠导轨滑台通过固定板与底座支撑装置的横向槽钢连接；左纸箱对正调整板与右纸箱对正调整板沿丝杠方向相对设置，并连接在各自双向丝杠的滑台上。在步进电机的驱动下，同一方向上的纸箱对正调整板可以同步相向或反向运动实现纸箱的对正与夹紧。

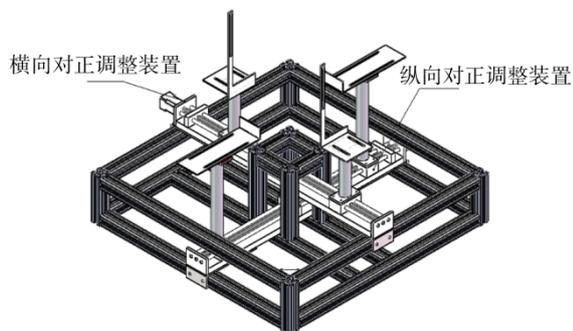


图 2 纸箱对正调整装置  
Fig.2 Adjustment device for cardboard box

### 2.4 纸箱旋转装置

纸箱旋转装置(见图 3)由 57 步进电机、步进电机

固定支架、联轴器、转盘连接件、球头螺栓、转盘组成。纸箱转动装置是由 57 步进电机驱动，转盘与转盘连接块是过盈配合。转盘连接块通过联轴器与步进电机连接，步进电机通过步进连接板与球头螺栓连接，球头螺栓通过在底座上的螺纹孔及螺母与底座连接。球头螺栓上方的球形头部与转盘接触，起到支撑作用，它们之间有四氟薄膜，以减少摩擦。当纸箱完成一字胶带纸封装时，57 步进电机工作，带动纸箱旋转 90°，纸箱对正调整装置工作，修正由于转动带来的误差并夹紧。胶带封装装置直接工作完成纸箱另一侧面的胶带封装，即十字封装。

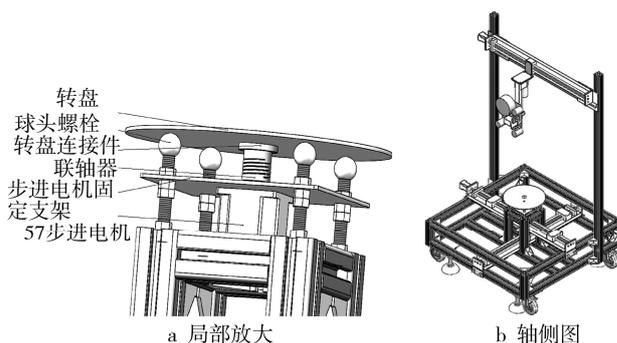


图 3 纸箱旋转装置  
Fig.3 Rotating device for cardboard box

### 2.5 可控连杆手指封装装置

可控连杆手指封装装置安装在纸箱对正调整装置的立柱上，完成纸箱摇盖的折合和夹紧。可控连杆手指机构(见图 4)是两自由度可控五杆并联机构，结构刚度大，抗干扰能力强，有很好的稳定性与可控性。该装置由步进电机支架、步进电机、联轴器、连杆、摇杆、手指等零件组成。摇杆的长度尺寸、手指在摇杆上的位置、步进电机的速度参数可控，通过前述三者的组合，实现可控连杆手指机构末端输出轨迹的可控。最终实现不同尺寸规格纸箱摇盖的折合与夹紧。

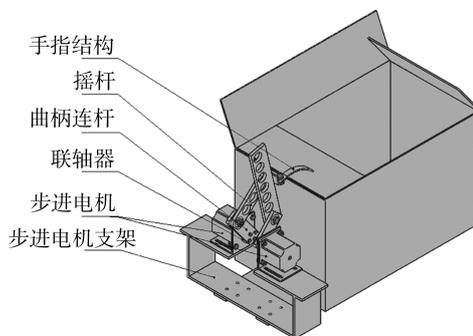


图 4 可控连杆手指封装装置  
Fig.4 Finger packaging device with controllable linkage mechanism

利用 SolidWorks Motion 分析模块跟踪摇盖折合轨迹，仿真纸箱摇盖折合过程，利用逆解方法，用路

径跟踪法求出两自由度驱动电机的角速度曲线。经 Matlab 数值拟合成解析函数,输入到手指结构控制程序中,实现预期的纸箱摇盖折合轨迹。

## 2.6 胶带封装装置

胶带封装装置见图 5,由胶带封装工具头、推杆电机、L 形支架、横向滑台和 2 根支撑柱组成;胶带封装工具头见图 5b,由粘胶支架、胶带固定柱、导向滚轴、吸盘、直动式电磁铁、切断刀片、2 个压实滚柱和真空泵组成。具体运动过程为横向滑台在步进电机的驱动下,左右往复移动。在向右移动过程中,吸盘工作吸住胶带,当胶带粘附在纸箱侧面时,横向滑台停止移动;真空泵停止工作;推杆电机动作,带动胶带封装工具头向上移动,到达纸箱顶面时推杆电机停止工作;横向滑台继续向右移动,直到到达纸箱的另一侧面后再次停止动作;此时真空泵工作,吸盘吸住胶带纸,防止翻卷,直动式电磁铁工作带动切断刀片将胶带切断;随后推杆电机通电带动胶带封装工具头下移完成纸箱另一侧面的封装,随即快速复位。

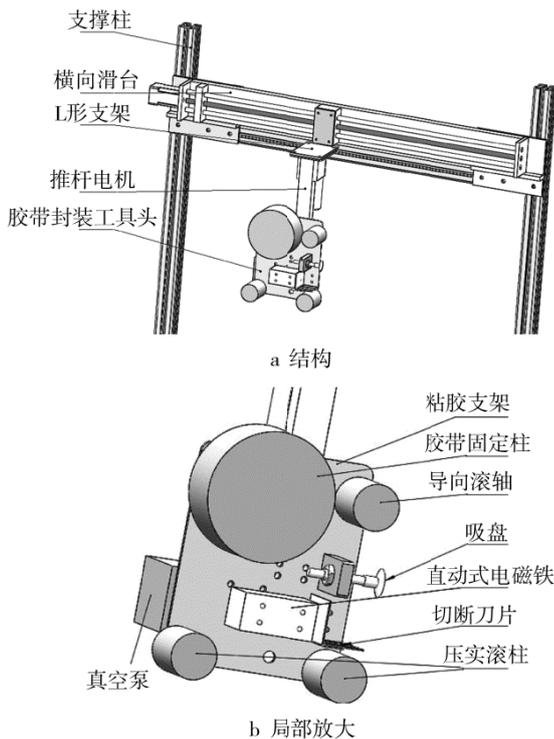


图 5 胶带封装装置

Fig.5 Adhesive tape packaging device

## 3 实验

可控连杆手指式纸箱封箱机实物见图 6。纸箱对正调整装置的正反牙双向丝杠滑台有效行程为 600 mm,往复定位精度为 0.05 ~ 0.08 mm,滑台最大移动速度为 30 mm/s,总长度为 910 mm,总质量为 7 kg,由 ZD-2HD442 驱动器驱动 57-115 步进电机,进而带

动丝杠滑台工作。

可控连杆手指封装装置正对纸箱摇盖,沿底座支撑装置的中心四周对称布置。可控连杆手指以步进电机为驱动元件,电机安装在原型手指两端,由两轴步进电机控制器控制,间歇地驱动机构执行操作运动,跟踪折角仿真折叠的运动轨迹,最终完成纸箱摇盖的折合。

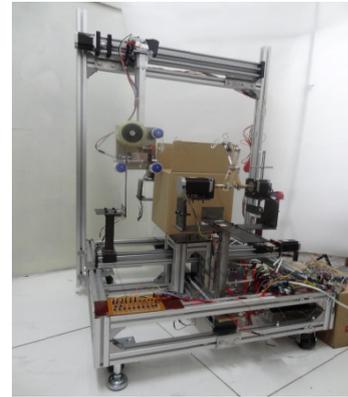


图 6 可控连杆手指式纸箱封箱机

Fig.6 Finger packaging machine with controllable linkage mechanism

胶带封装装置的单向丝杠滑台,有效行程为 600 mm,往复定位精度为 0.05 ~ 0.08 mm,滑台最大移动速度为 50 mm/s,总长度为 805 mm,质量为 5.2 kg,丝杠直径为 16 mm,光杠直径为 12 mm,采用刚性联轴器,由 ZD-6560-V4C 驱动器驱动 57—76 步进电机,进而带动单向丝杠滑台工作。推杆电机有效行程为 200 mm,移动速度为 48 mm/s,最大推力为 250 N,额定电压为 12 V。微型真空泵的额定电压为 12 V,额定电流为 500 mA,额定功率为 6 W,抽气流量为 5 L/min,真空度为 65 kPa,最大压力为 120 kPa,质量为 290 g。硅胶吸盘直径为 20 mm,进气孔直径为 4 mm。胶带是 BOPP 包装胶带,基材是 BOPP 双向拉伸聚丙烯膜。胶粘剂为丙烯酸脂胶水,其 180°剥离强度为 0.65 kg/(25 mm)。

控制系统由上位机控制程序、运动控制轴卡(PCI-DMC-F01)、I/O 模块(ASD-DMC-RM32PT)、2 套脉冲模块(ASD-DMC-RM04PI)、步进电机驱动模块(TB6600)、DMCNET 连接线(NC-CAB-DMC015)、通讯终端电阻(ASD-TR-DM0008)和开关电源(DRP024V120W1AA)组成。上位机程序控制轴卡向脉冲模块发出控制指令,脉冲模块向步进电机驱动模块发出可控脉冲;步进电机驱动模块按照接收脉冲控制步进电机运转。一套脉冲模块 ASD-DMC-RM04PI 控制 2 组可控连杆手指封装装置的 4 个步进电机,另一套脉冲模块 ASD-DMC-RM04PI 控制横向对正调整装置、纵向对正调整装置、纸箱旋转装置和胶带封装装置中的 4 个步进电机。I/O 模块负责接收限位开关信号,负责推杆电机、真空泵、直动式电磁铁的开关量控制。

实物作品的最大有效工作空间为 550 mm×450 mm×300 mm, 能够对外形尺寸在(140 ~ 550) mm×(140 ~ 450)mm×(180 ~ 300)mm 的纸箱进行封装工作。选择了 3 种规格纸箱(350 mm×190 mm×230 mm, 250 mm×250 mm×250 mm, 320 mm×270 mm×270 mm)作为实验对象, 实现了纸箱摇盖折合, 纸箱一字封装、纸箱旋转、纸箱十字封装工艺, 封装时间约为 60 s。

#### 4 结语

为中小型淘宝商家和快递从业人员提供了一种可控连杆手指式纸箱封箱机。其创新点在于: 设计双向丝杠滑台实现了不同规格尺寸纸箱的对中、找正, 相对于传送带式的封箱机, 占用空间小; 通过设计连杆手指包装装置并控制其原动件运动参数, 实现了不同规格尺寸纸箱的摇盖折合、包装; 胶带封装装置由直动式电磁铁、微型真空泵、吸盘等组成, 与底座回转结构共同实现了纸箱的十字封装和胶带的自动切断。

经实验验证, 可完成不同型号纸箱的包装、胶带十字封装工作, 实现了封装的多样化与自动化; 具有占地空间小、功能柔性可控、造价低的特点, 可提高快递从业人员的工作效率。产品样机已获实用新型专利 ZL 201520813208.5, 发明专利 ZL 201510681385.7 授权。在快递行业具有推广应用价值, 可提高网店运营的自动化水平, 符合网购行业的未来发展趋势。下一步研究将提高封箱机样机的工作效率、工艺稳定性以及产品外观的宜人性。

#### 参考文献:

- [1] 中国机械工程学会物流工程分会. 物流工程技术路线图[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2015.  
Logistics Engineering Institution of Chinese Mechanical Engineering Society. Technology Roadmap of Logistics Engineering[M]. Beijing: Science and technology of China press, 2015.
- [2] HUBERT P, NEUSS D E. Machine for Gluing Folding Cartons for Producing Folding Cartons from Blanks: US, 6503181B1[P]. 2003.
- [3] VAHID S, PEJVAK O, ANNIKA O. An Improved Supplier Driven Packaging Design and Development Method for Supply Chain Efficiency[J]. Packaging Technology and Science, 2016, 29(3): 161—173.
- [4] BERETTA A, SEMERARO Q, CASTILLO D E. On the Multihead Weigher Machine Setup Problem[J]. Packaging Technology and Science, 2016, 29(3): 175—188.
- [5] 李丽阁, 张有良, 段移丽, 等. 纸箱包装机纸板取送机构的设计与研究[J]. 包装与食品机械, 2014, 32(4): 28—30.  
LI Li-ge, ZHANG You-liang, DUAN Yi-li, et al. Design and Research of the Sucking and Delivery Mechanism for the Carton Packing Machine[J]. Packaging and Food Machinery, 2014, 32(4): 28—30.
- [6] 李风雷. 纸箱包装机的封盒机构: 中国, 203268336U[P]. 2013-11-06.  
LI Feng-lei. Sealing Box Mechanism of Carton Packaging Machine: CN, 203268336U[P]. 2013-11-06.
- [7] 孙西卓, 冯小平, 贾同飞, 等. 一种自动化包装装置: 中国, 102795354B[P]. 2015-02-18.  
SUN Xi-zhuo, FENG Xiao-ping, JIA Tong-fei, et al. An Automatic Packaging Device: CN, 102795354B[P]. 2015-02-18.
- [8] 王汝贵, 蔡敢为. 两自由度可控机构动态性能实验装置研制[J]. 实验室研究与探索, 2012, 31(12): 3—5.  
WANG Ru-gui, CAI Gan-wei. Development of a Two-DOF Controllable Linkage Mechanism Dynamic Performance Experimental Device[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2012, 31(12): 3—5.
- [9] 陈渊, 蔡敢为, 李岩舟, 等. 开放式多自由度可控机构综合实验台的研制[J]. 装备制造技术, 2011(9): 1—2.  
CHEN Yuan, CAI Gan-wei, LI Yan-zhou, et al. Development of Open Type Integrated Multi-DOF Controllable Mechanism Experimental Platform[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2011(9): 1—2.
- [10] 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.
- [11] 侯志利, 李瑞琴, 武文革. 混合驱动五杆机构的运动学解析法对比研究[J]. 机械传动, 2015, 39(11): 13—17.  
HOU Zhi-li, LI Rui-qin, WU Wen-ge. Comparative Study on the Kinematics Analytical Method of Hybrid Driven Five Bar Mechanism[J]. Journal of Mechanical Transmission, 2015, 39(11): 13—17.
- [12] HOU Z L, LI R Q, WU W G, et al. Kinematic Analysis and Experimental Verification of a Controllable Five-bar Parallel Kinematic Manipulator[C]// IEEE International Conference on Control, Automation and Information Sciences, Changshu, 2015: 486—490.
- [13] 秦慧斌, 侯志利, 李瑞琴, 等. 一种混合驱动可重构五杆机构实验台: 中国, 104819838B[P]. 2016-05-25.  
QIN Hui-bin, HOU Zhi-li, LI Rui-qin, et al. Hybrid Driven and Reconfigurable Mechanisms Experiment Platform with Five Bar Linkages: CN, 104819 838B [P]. 2016-05-25.
- [14] 侯志利, 秦慧斌, 李瑞琴, 等. 一种可控五杆机构手指式纸箱包装机: 中国, 105253378B[P]. 2016-05-25.  
HOU Zhi-li, QIN Hui-bin, LI Rui-qin, et al. A Controllable Five Bar Mechanism Finger Type Carton Packing Machine: CN, 105253378B[P]. 2016-05-25.
- [15] MULLINEUX G, MATTHEWS J. Constraint-based Simulation of Carton Folding Operations[J]. Computer-Aided Design, 2010, 42(3): 257—265.
- [16] YAO W, DAI J S. A Reconfigurable Robotic Folding System for Confectionery Industry[J]. Industrial Robot, 2010, 37(6): 542—551.