

可适应多规格浅盘型纸盒插舌包装机的设计

侯志利^{1,2}, 武锋锋¹, 秦慧斌², 李瑞琴²

(1. 太原理工大学 机械与运载工程学院, 太原 030024;

2. 中北大学 先进制造技术山西省重点实验室, 太原 030051)

摘要: **目的** 设计一种应用于多规格浅盘蛋挞纸盒包装的包装机, 以实现适应多规格浅盘纸盒的自动包装。**方法** 基于浅盘纸盒的折叠工艺流程, 将纸盒襟片、侧板、盖板的折叠运动轨迹等效为各面板沿折痕转动的运动模型, 设计能适应不同规格浅盘纸盒包装的插舌包装机。将同轴布局 5R 机构作为盖板折叠装置, 利用同轴布局 5R 机构运动轨迹的多样性及运动可控性, 控制其末端输出运动轨迹, 实现 2 粒、3 粒、4 粒、6 粒规格浅盘纸盒的襟片、侧体板、盖板的折叠及插舌。**结果** 样机有效工作空间为 300 mm×200 mm×50 mm, 能够对外形尺寸在 145 mm×78 mm×35 mm 到 230 mm×152 mm×37 mm 的浅盘纸盒进行折叠插舌, 纸盒完成折叠时间约 15 s。**结论** 可以完成多种规格蛋挞纸盒的包装工作, 实现了浅盘型纸盒折叠自动化包装; 包装机占地面小、运动柔性可控, 能快速适应规模定制产品的需求。

关键词: 浅盘蛋挞纸盒; 适应调整装置; 5R 机构; 插舌; 包装机

中图分类号: TB486 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)09-0199-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.09.030

Design of Tongue-inserting Packaging Machine for Multi-specification Shallow Carton

HOU Zhi-li^{1,2}, WU Feng-feng¹, QIN Hui-bin², LI Rui-qin²

(1. College of Mechanical and Vehicle Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

2. Shanxi Key Laboratory of Advanced Manufacturing Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

ABSTRACT: The work aims to design a packaging machine suitable for multi-specification shallow egg tart cartons, in order to adapt to the automatic packaging of multi-specification shallow cartons. Based on the folding process of the shallow cartons, the folding trajectory of the flap, side plate and cover plate of the carton was equivalent to the movement model of each panel rotating along the fold, so as to design a tongue-inserting packaging machine which could adapt to different specifications of shallow carton packaging. With 5R mechanism of coaxial layout as the folding device of cover plate, its trajectory diversity and motion controllability were used to control its end output trajectory, thus achieving the folding and tongue insertion of the flaps, side plates and cover plates of the two-grain, three-grain, four-grain and six-grain egg tart cartons. The effective workspace of the prototype was 300 mm×200 mm×50 mm. It could fold and insert tongues for shallow cartons with outline dimensions ranging from 145 mm×78 mm×35 mm to 230 mm×152 mm×37 mm. The folding time of each carton was about 15 s. It can complete the packaging of various specifications of egg tart cartons and realize the automatic folding and packaging of shallow cartons. Featured by small space occupation and controllable movement, the proposed packaging machine can quickly adapt to the requirements of mass customized products.

KEY WORDS: shallow egg tart carton; adjusting device; 5R mechanism; tongue insertion; packaging machine

收稿日期: 2019-10-15

基金项目: 先进制造技术山西省重点实验室开放基金 (XJZZ201703); 国家自然科学基金青年科学基金 (51705353)

作者简介: 侯志利 (1978—), 女, 博士, 太原理工大学讲师, 主要研究方向为并联机构设计理论与技术。

近年来纸包装使用持续增长,据统计纸质包装材料在四大主要包装材料中占比达 40%以上,在食品、日用品等领域应用广泛^[1-3]。蛋挞等糕点食品不能受碰挤压,其外包装以浅盘纸盒包装为主。YAO Wei, DAI J S 等^[4-6]研究了纸盒造型和纸盒折叠工艺,将可重构并联连杆机构安装在可调位置的装置上实现纸盒折叠,基于纸盒折叠数学模型实现纸盒上盖插舌动作,开发了用于纸盒包装的可重构机器人折叠系统。任大龙、孙西卓、冯小平等^[7-9]发明了特定规格纸盒的包装机器人,能够降低劳动强度和人工成本,但一台设备只能完成一种纸盒的折叠,通用性和柔性不足。现有浅盘型纸盒包装机多以冲锤和成型导向装置为主,该类包装机主要用于一种定型产品的批量包装生产线,而对于规格变化纸盒的糖果、糕点包装则靠人工实现,产品包装设备缺乏柔性。

现有糕点、糖果等行业的食品包装,手工包装成本高,而生产线包装规格单一、缺乏适应柔性,不能满足需求产品规格变化的定制化要求。由于并联机构刚性好、承载能力强,而二自由度闭链 5R 机构作为并联机械手,其尺寸参数、驱动元件输入运动参数实时运动可控,可获得柔性输出,响应外部功能需求变化^[10-12]。纸盒折叠运动可等效为纸盒相邻面以折痕为旋转轴的模型,可将该运动等效为一个转动副。文中针对上述问题,浅盘纸盒的外形规格不同,襟片、盖板折叠的运动轨迹则不同,选择同轴布局的 5R 机构作为盖板折叠机械手,设计一种可适应多规格浅盘型纸盒插舌包装机器人^[13]。通过规划可控平面 5R 机构末端执行器的运动轨迹,实现多种规格浅盘纸盒的折叠包装,并进行实验验证。

1 浅盘蛋挞纸盒的结构与折叠流程

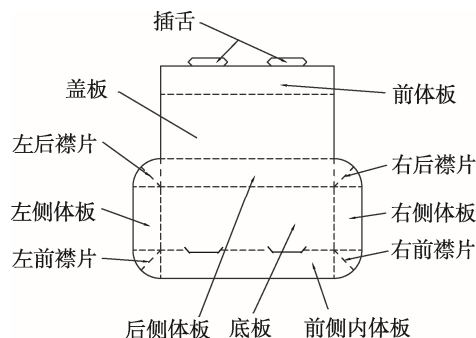
蛋挞盒一般用白卡纸制成,有 2 粒、3 粒、4 粒、6 粒装等不同规格。蛋挞纸盒有折痕、面板和插舌,由带折痕的相邻面板顺序折叠而成,是一种典型的浅盘型纸盒。蛋挞纸盒的展开结构见图 1。

浅盘蛋挞纸盒折叠流程主要分为 3 步:纸盒展开固定;底盒成型;盖板折叠与插舌。其中底盒成型由襟片折叠与侧体板折叠配合动作完成。其折叠工艺包括襟片折叠、体板折叠、盖板闭合、插舌等,改变盖板和体板的相对位置,可实现纸盒的折叠。由于包装蛋挞的数目(2 粒、3 粒、4 粒、6 粒)不同,浅盘蛋挞纸盒的外形尺寸会随之发生变化。

2 浅盘纸盒包装机的设计方案及工作流程

基于蛋挞纸盒折叠的工艺过程,设计一种含可控 5R 机构的浅盘纸盒包装机。该包装机由底座支撑、

襟片折叠、侧体板折叠、适应调整、盖板折叠及纸盒插舌导向等装置组成。其数字样机见图 2。



a 蛋挞纸盒的展开简图



b 3 粒装蛋挞纸盒实物

图 1 蛋挞纸盒展开结构

Fig.1 Expansion structure of egg tart carton

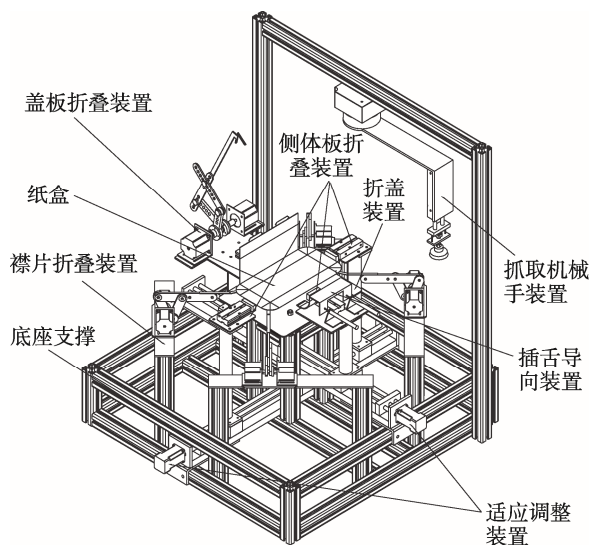


图 2 蛋挞纸盒包装机数字样机

Fig.2 Digital prototype of egg tart carton packaging machine

适应调整装置与底座支撑连接,侧体板折叠装置固定于适应调整装置上,盖板折叠、插舌导向装置与侧体板折叠装置连接,襟片折叠装置固定在底座支撑上。包装机工作流程见图 3。

包装机整机由进程化程序顺序控制,调整各组装模块的位置与姿态,可以实现不同尺寸规格蛋挞纸盒的折叠包装。随着纸盒规格(2 粒、3 粒、4 粒、6 粒)的变化,包装适应调整装置依靠传感器反馈调整纸盒吸附工作位置 1, 2, 3, 4, 同时调整 4 个纸盒襟片

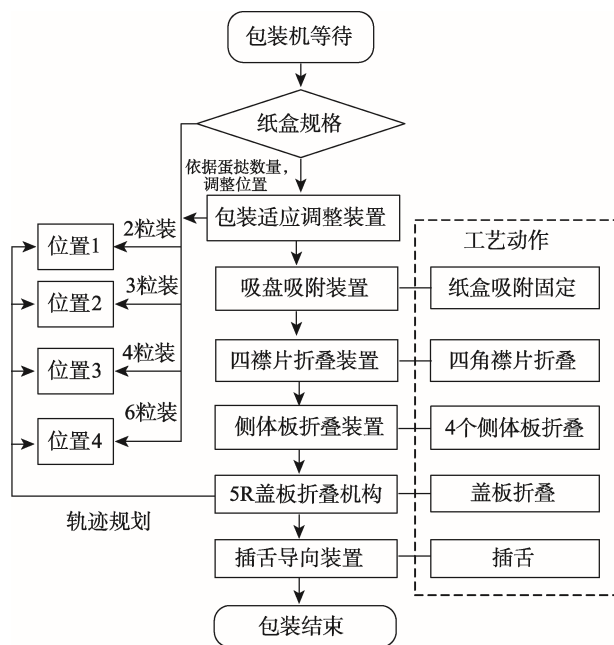


图 3 包装机工作流程

Fig.3 Workflow of packaging machine

折叠装置和左右侧体板折叠装置的位置，依次完成 4 个角的襟片折叠、左右前后侧体板的折叠动作，至此底盒成型。

盖板折叠机构为同轴布局 5R 机构。5R 机构工作空间相对较大，根据不同规格纸盒的位置，对 5R 盖板折叠机构末端的输出轨迹进行规划。对 2 粒、3 粒、4 粒、6 粒装不同规格蛋挞纸盒的位置调整，实现末端输出轨迹的柔性控制，同时调整插舌导向装置位置完成插舌，可以实现不同规格纸盒的封装。

3 浅盘蛋挞纸盒包装机的主要部件

3.1 适应调整装置

包装适应调整装置，见图 4，其功能在于接收传感器反馈纸盒位置信号，调整襟片折叠装置和纸盒侧体板折叠装置的位置，并调整至初始工作位置，适应不同规格纸盒的后续折叠动作。包装适应调整装置固定于底座支撑装置上，由前后位置调整装置和左右位置调整装置 2 部分组成，利用双向丝杠滑块与导轨滑块的移动来执行动作。

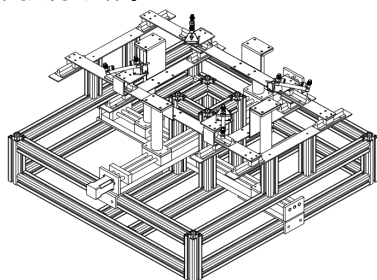


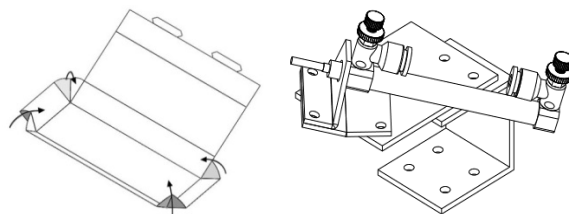
图 4 包装适应调整装置

Fig.4 Packaging adjusting device

3.2 襟片折叠装置

纸盒四角襟片以其折角顶点为转动原点，沿圆弧轨迹运动，见图 5a。在适应调整装置的左前、左后、右前、右后 4 个方位设计并安装有一定仰角的 4 个折叠机构，即纸盒襟片折叠装置，见图 5b。单个折叠机构由 U 型板、安装板、微型气缸、气缸固定板以及气缸折弯钣金件组成。

当展开纸盒吸附固定之后，纸盒襟片折叠装置的微型气缸伸出沿圆弧轨迹折叠襟片，同时会带动纸盒的侧体板沿折痕转动折叠。



a 襟片折叠轨迹

b 襟片折叠装置

图 5 纸盒襟片折叠装置

Fig.5 Carton flap folding device

3.3 侧体板折叠装置

侧体板折叠运动可等效为纸盒底板和侧体板 2 个面绕折痕旋转的运动模型。纸盒侧体板折叠装置，见图 6，固定在包装适应调整装置的滑块上，利用 4 个双杆双轴气缸的推杆工作面来折叠纸盒的 4 个侧体板。当纸盒 4 个襟片折叠后，侧体板折叠装置的 4 个方位气缸伸出，将纸盒的侧体板折叠并将各边折痕压实，从而使纸盒底部成型。

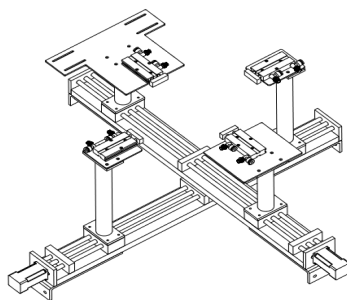


图 6 纸盒侧体板折叠装置

Fig.6 Folding device of carton side plate

3.4 盖板折叠装置

盖板折叠运动包括盖板、前体板、插舌的连续折叠运动，运动轨迹为盖板沿折痕转动、前体板沿折痕转动、插舌沿折痕转动，其理论运动轨迹见图 7。不同规格纸盒的尺寸参数不同，则运动轨迹位置参数不同。需要选取满足盖板运动轨迹特性的机构作为盖板折叠装置的主要执行机构。选取二自由度同轴布局平

面 5R 机构^[14—15]为盖板折叠机构,见图 8,其机架同轴心布局,即 2 个驱动电机轴线几何共线。在 5R 机构输出杆末端设计 60° L 型连杆作为手指杆,用于实现插舌折痕运动。

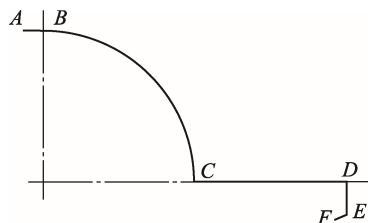


图 7 盖板折叠的理论运动轨迹

Fig.7 Theoretical trajectory of cover plate folding

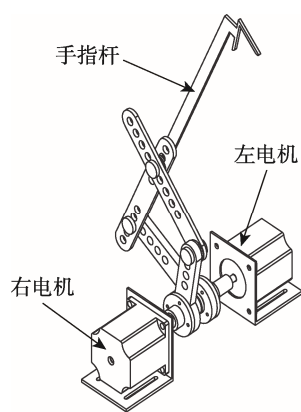


图 8 5R 盖板折叠机构

Fig.8 5R cover plate folding mechanism

首先根据 5R 机构与纸盒的相对位置,确定折叠状态的纸盒顶面与 5R 机构转轴的相对位置。然后设计手指杆的结构、5R 机构的初始位置、终止位置和手指运动轨迹,并确定 5R 机构的工作空间的范围。之后采用逆解法仿真得到多组机构杆长参数,仿真对比处理角速度、角位移等参数,从而选出一组性能良好的杆长参数。

根据纸盒折叠的工艺流程及纸盒规格,利用平面 5R 机构的运动轨迹多样性,输入不同的角位移曲线,配合插舌导向装置实现纸盒合盖。平面 5R 机构的刚性较串联机构大,能有效降低末端执行件的重量,减少结构惯量。5R 盖板折叠装置输出末端设计为双手指,用于增加输出运动的稳定性,见图 9。

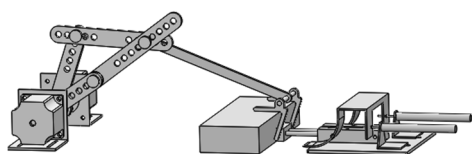


图 9 盖板折叠装置

Fig.9 Cover plate folding device

3.5 插舌导向装置

插舌导向装置见图 10a。利用 2 个圆形直线气缸

将插舌簧片以直线运动轨迹插入插槽中,见图 10b,并配合纸盒盖板折叠装置,引导插舌以预期运动轨迹插入插槽内,完成纸盒整体成型。

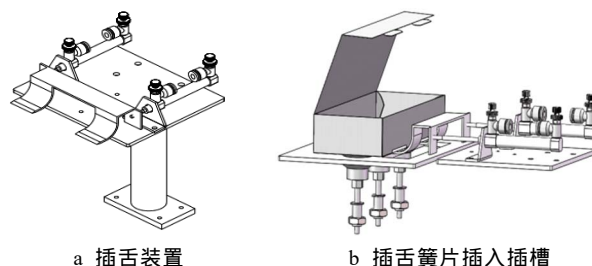


图 10 插舌装置

Fig.10 Tongue insertion device

4 实验样机

4.1 控制系统

浅盘型纸盒插舌包装机控制系统由气动控制系统和电机控制系统组成。气动控制系统由两位两通电磁阀、两位五通电磁阀、减压阀、真空发生器、过滤器和空气压缩机组成;气动控制系统通过硅胶管与相应的执行元件连接。电机控制系统由运动控制卡、I/O 模组、调整驱动器模块、盖板驱动器模块、襟片驱动器模块和同轴布局 5R 盖板折叠机构控制模块组成。

电气控制系统采用 Delta Motion Control Network 总线协议进行控制。采用运动控制轴卡 PCI-DMC-F01,搭载 ASD-A2 伺服驱动器、ECMA 伺服电机、ASD-DMC-RM04PI 模组、ASD-DMC-RM32PT 模组;利用 C++编写控制代码,完成所需功能。在运动控制过程中,各执行元器件与主控信号之间通过各种模组、继电器、电磁阀等连接在整个控制系统中。其控制系统连接关系见图 11。

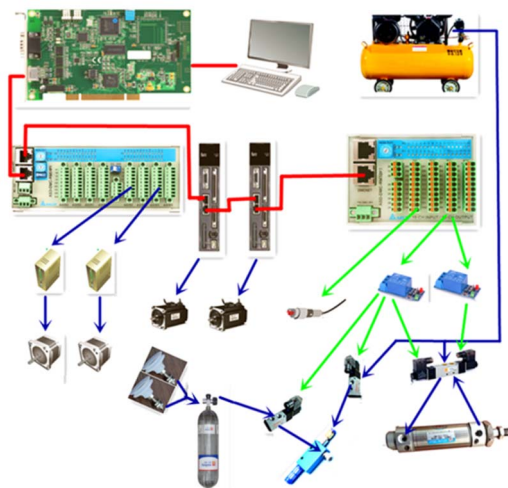
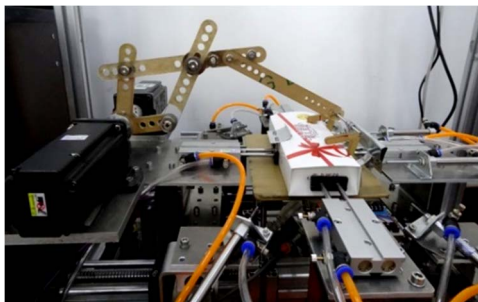


图 11 包装机控制系统连接

Fig.11 Connection of control system of packaging machine

4.2 实验样机整机

通过 5R 机构位姿调整及运动程序柔性控制,快速响应定制化的商品包装需求,实现浅盘型不同规格的蛋挞纸盒的包装。所设计的浅盘型纸盒包装机能实现 2 粒装蛋挞纸盒(145 mm×78 mm×35 mm), 3 粒装蛋挞纸盒(220 mm×80 mm×35 mm), 4 粒装蛋挞纸盒(143 mm×143 mm×37 mm), 6 粒装蛋挞纸盒(230 mm×152 mm×37 mm)这 4 种规格纸盒的包装。纸盒包装机实验样机见图 12。



a 纸盒盖板折叠装置



b 纸盒包装机整机

图 12 纸盒包装机实验样机

Fig.12 The experimental prototype of carton packaging machine

5 结语

将纸盒折叠运动轨迹等效为面板沿折痕转动的运动模型,依据纸盒折叠工艺流程,针对不同面板的折叠运动轨迹,设计了与之适应的包装机主要部件模块,实现了可适应多规格浅盘纸盒包装整机的物理样机与实验样机的设计以及制造。

同轴布局 5R 机构的运动轨迹多样且运动可控,调整 5R 机构的位姿,可实现多样化的盖板折叠运动轨迹,适应多规格纸盒包装需求。

包装机各主要功能装置由控制系统控制顺序动作,实现了浅盘型纸盒的不同折叠动作。经实验样机验证,可完成多规格浅盘纸盒的折叠包装,柔性可控,实现了多规格纸盒包装的自动化,可快速响应定制化

的商品包装需求。此产品样机已授权实用新型专利 ZL201720280426.6,申请发明专利 ZL201710172337.4,待实审提案,有助于提高糖果、巧克力等食品包装行业批量运营的自动化水平,具有良好的应用前景。

参考文献:

- [1] 张耀权. 2018 年中国纸包装行业发展现状及趋势[J]. 印刷技术, 2019(6): 39—40.
ZHANG Yao-quan. Development Status and Trend of Paper Packaging Industry in China in 2018[J]. Printing Technology, 2019(6): 39—40.
- [2] 刘林, 王凯丽, 谭海湖, 等. 中国绿色包装材料研究与应用现状[J]. 包装工程, 2016, 37(5): 24—30.
LIU lin, WANG Kai-li, TAN Hai-hu, et al. Research and Application Status of Green Packaging Materials in China[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(5): 24—30.
- [3] 许明. 纸材在包装设计中的应用研究[J]. 轻工标准与质量, 2018(3): 65—66.
XU Ming. Application of Paper Material in Packaging Design[J]. Standard & Quality of Light Industry, 2018(3): 65—66.
- [4] FERDINANDO C, DAI J S. Origami-carton Tuck-in with a Reconfigurable Linkage[J]. Reconfigurable Mechanisms and Robots, 2009, 233: 512—520.
- [5] YAO Wei, FERDINANDO C, DAI J S. Automatic Folding of Cartons Using a Reconfigurable Robotic System[J]. Robotics and Computer-integrated Manufacturing, 2010, 27: 604—613.
- [6] YAO Wei, DAI J S, MEDLAND T. A Reconfigurable Robotic Folding System for Confectionery Industry[J]. Industrial Robot: An International Journal, 2010, 37(6): 542—551.
- [7] 任大龙. 一种异形纸盒包装机的折盖机构: 中国, 205186589U[P]. 2016-04-27.
REN Da-long. An Cover Folding Mechanism of a Special-shaped Paper Box Packaging Machine: China, 205186589U[P]. 2016-04-27.
- [8] 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: China, 102795354B[P]. 2015-02-18.
- [9] 苏创. 自动化包装装置: 中国, 208979203U[P]. 2019-06-14.
SU Chuang. Automatic Packaging Device: China, 208979203U[P]. 2019-06-14.
- [10] WANG Li-ping, ZHANG Zhao-kun, SHAO Zhu-feng, et al. Analysis and Optimization of a Novel Planar 5R Parallel Mechanism with Variable Actuation Modes[J]. Robotics & Computer Integrated Manufacturing, 2019, 56: 178—190.

- [11] ISAKSSON M, ERIKSSON A, WATSON M, et al. A Method for Extending Planar Axis-Symmetric Parallel Manipulators to Spatial Mechanisms[J]. Mechanism and Machine Theory, 2015, 83: 1—13.
- [12] GIBERTI H, CINQUEMANI S, AMBROSETTI S. 5R 2dof Parallel Kinematic Manipulator-A Multidisciplinary Test Case[J]. Mechatronics, 2013, 23: 949—959.
- [13] 秦慧斌, 侯志利, 姚国强, 等. 一种可适应多规格浅盘型纸盒插舌包装机器人: 中国, 201710172337.4[P]. 2017-06-13.
QIN Hui-bin, HOU Zhi-li, YAO Guo-qiang, et al. An Robot of Adaptable Specifications Tray Type Carton Packaging and Inserting Tongue: China, 201710172337.4[P]. 2017-06-13.
- [14] 侯志利, 武文革, 李瑞琴, 等. 可控连杆手指式纸箱封箱机的设计[J]. 包装工程, 2017, 38(3): 78—81.
HOU Zhi-li, WU Wen-ge, LI Rui-qin, et al. Design and Experiment of Maniphalanx Type Carton Packing Machine with Controllable Linkage Mechanism[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(3): 78—81.
- [15] 侯志利, 武文革, 李瑞琴, 等. 变驱动布局 5R 机构的选型设计与应用研究[J]. 农业机械学报, 2017, 48(2): 402—408.
HOU Zhi-li, WU Wen-ge, LI Rui-qin, et al. Lectotype Design and Experiment of Variable Actuated Layout 5R Parallel Kinematic Mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2017, 48(2): 402—408.