

基于并联机器人的禽蛋包装生产线的研究与试验

寇舒¹, 王永慧²

(1. 嘉兴职业技术学院, 浙江 嘉兴 314036; 2. 杭州电子科技大学, 浙江 杭州 310018)

摘要: **目的** 为了提高禽蛋包装加工的效率 and 成本, 设计了一台基于并联机器人的禽蛋拾放包装生产线。**方法** 根据禽蛋装盘的实际需求, 设计了一条禽蛋包装加工生产线, 主要由输送部分、并联机器人、传感器、蛋托输送部分等组成, 对机器人的拾放路径和拾放方案作了伦理分析和计算, 并通过实验比较得到了机器人拾放的最优方案。**结果** 对 64 种拾放方案均进行 3 次试验, 每次均完成一整托 30 枚鸡蛋的取放, 结果表明机器人的拾蛋成功率为 99.3%, 在保证成功率和精度的前提下, 机器人完成一次拾放过程, 最快速度为 2.4 s。**结论** 此禽蛋拾放包装生产线的设计符合预期设计要求, 为并联机器人在禽蛋包装上的应用提供了技术支持。

关键词: 禽蛋; 包装加工; 并联机器人

中图分类号: TP246 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)01-0169-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.01.019

Research and Experiment of Egg Packaging Production Line Based on Parallel Robot

KOU Shu¹, WANG Yong-hui²

(1. Jiaxing Vocational and Technical College, Jiaxing 314036, China; 2. Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

ABSTRACT: The work aims to design a parallel robot based egg picking and placing packaging production line to improve the efficiency and cost of egg packaging processing. According to the actual demand of egg packaging, an egg packaging and processing production line was designed, which consisted of conveying part, parallel robot, sensor, egg carb conveying part, etc. The ethical analysis and calculation were made on the picking and placing path and scheme of the robot, and the optimal picking and placing scheme of the robot was obtained through experimental comparison. Three tests were carried out for each of the 64 picking and placing schemes, and the picking and placing of 30 eggs in a whole group was completed each time. The success rate of the picking and placing robot was 99.3%. Under the premise of ensuring the success rate and accuracy, the fastest speed of the robot for one round of picking and placing was 2.4 seconds. The design of the egg picking and placing packaging production line is in line with the expected design requirements, which provides technical support for the application of the parallel robot in egg packaging.

KEY WORDS: eggs; packaging processing; parallel robot

禽蛋是人们生活的必需品, 是重要的农产品。我国的禽类养殖场以中小规模居多, 一般都是通过人工进行禽蛋上料、分拣和加工, 少量采用半自动化的禽蛋包装设备, 这使得禽蛋包装不仅效率低,

而且存在污染和感染风险^[1-3]。目前国外的禽蛋生产已经实现规模化生产, 一般采用的是整套自动化生产设备及处理系统, 将禽蛋集中到托辊上后, 进行洗蛋、分级、包装等一系列工作。荷兰的 MOBA、

收稿日期: 2022-11-20

作者简介: 寇舒 (1984—), 女, 硕士, 副教授, 主要研究方向为工业机器人应用技术。

丹麦的 SANOVO 等大型禽蛋生产加工公司采用的生产系统, 都具备了检测、清洗、分级、包装等一系列流程, 由于该系统成本较高, 并不适合中小型企业的需求。

目前国内禽蛋加工虽然引进了不少先进设备, 由于受到生产规模和成本的限制, 禽蛋生产加工的自动化水平仍然较低。目前中小型养鸡场采用的生产过程大多是将托辊上的禽蛋人工转移到传送带上, 然后输送到捡拾位置, 进行人工装托和包装, 这种生产过程需要耗费大量的人工, 且效率低。虽然一些大型的养鸡场配备了一些自动集蛋、冲洗设备, 但是禽蛋的装盘和包装还是通过人工完成。

随着高新科技的推广, 机器人在农业领域的应用越来越广泛。并联机器人具有承载能力强、精度高、灵活性好等优点, 适合用于禽蛋自动包装生产线, 不仅能够提高效率, 而且可以降低加工成本^[4-5]。文中设计一台基于并联机器人的禽蛋拾放包装生产线, 对机器人的拾放路径和拾放方案进行伦理分析和计算, 最后通过试验测试, 得到机器人最优拾放方案, 为并联机器人在禽蛋包装上的应用提供技术支持。

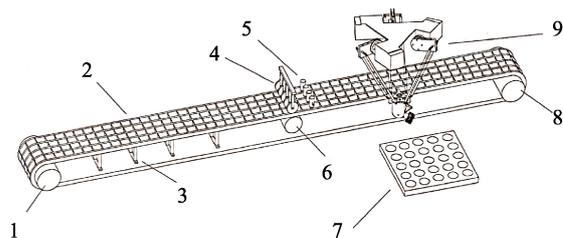
1 禽蛋包装生产线的基本结构

设计的禽蛋加工生产线主要由输送部分、并联机器人、传感器等组成^[6-7], 其基本结构见图 1。分级完成后被有序放置在传送带上的硅胶槽内, 传送带在滚轮和链条的带动下输送禽蛋进入抓取位置, 通过接近传感器检测, 与并联机器人配合完成禽蛋的捡拾和装盘。

禽蛋的输送部分主要由传送带、驱动滚轮、从动滚轮、伺服电机和压紧滚轮组成。传送带由硅胶材料制成, 表面有多个矩形槽, 矩形槽宽略大于禽蛋的宽度, 长度略大于禽蛋的长度; 传送带安装在驱动滚轮和从动滚轮上, 驱动滚轮由伺服电机驱动, 保证传送带稳定匀速运动。压紧滚轮安装在传送带中间位置, 由多个压紧从动轮组成; 压紧滚轮安装在支撑从动轮上方, 压紧传送带, 防止捡蛋区的传送带受到震动矫正装置的影响而发生震动。压紧滚轮将禽蛋运输装置分为矫正区和捡蛋区。矫正区用于将传送带上的禽蛋填入矩形槽中; 捡蛋区用于捡拾禽蛋并放置到蛋托盘中。

1.1 包装箱输送

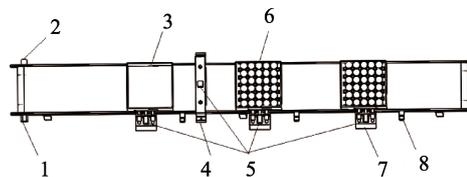
装有鸡蛋托盘的包装箱同样通过输送线输送到指定位置。包装箱运输线由转轴、齿轮、传送带、编码器、光电传感器、挡板等组成^[8], 见图 2。包装箱到达指定位置后, 触发对射传感器, 传感器发送信号使气缸动作, 将包装箱固定。机器人完成禽蛋装托后, 气缸松开, 包装箱被传送进入下一工位。



1.从动滚轮; 2.带槽传送带; 3.支撑矫正结构; 4.压紧滚轮;
5.接近传感器; 6.支撑从动轮; 7.禽蛋托盘;
8.驱动滚轮; 9.并联机器人。

图 1 禽蛋加工生产线基本结构

Fig.1 Basic structure of egg processing production line



1.旋转编码器; 2.驱动电机; 3.空包装箱托盘; 4.挡板;
5.气缸; 6.禽蛋放置位; 7.带禽蛋包装箱; 8.光电传感器。

图 2 禽蛋包装箱输送结构

Fig.2 Conveying structure of egg packaging box

包装箱输送线主体是由伺服电机带动转轴旋转, 转轴上安装有齿轮, 齿轮与传送带上的卡槽啮合传动, 从而带动整个传送带运动。旋转编码器安装在转轴上, 通过旋转编码器反馈传送带的运动速度, 从而计算包装箱的瞬时位置。通过对射光电传感器反馈包装箱的运动, 通过旋转编码器计算包装箱的运动位置, 从而触发相应的气缸动作, 通过对应的挡板对包装箱进行加紧固定, 使包装箱位置固定, 配合并联机器人完成禽蛋的拾取与放置工作。

1.2 捡拾机构设计

并联机器人在抓取放置的过程中充当的是手臂的角色。抓取动作的具体实施靠的是末端执行器, 末端执行器实现禽蛋输送线的识别抓取与放置功能, 相当于人手, 因为抓取对象为易碎的禽蛋, 所以不宜采用机械式的抓取机构, 选用真空吸盘作为终端抓取机构^[9-10]。食品加工行业常用的真空吸盘一般是由橡胶制成, 考虑到橡胶吸盘与目标禽蛋接触过程中也会存在一定的冲击, 为了减小此冲击, 减少破损率, 选取波纹型真空吸盘, 见图 3。在抓取过程中由于鸡蛋高度不同, 为了实现更大范围的抓取且不对鸡蛋造成破坏, 在吸盘座上设计有弹簧装置, 可以使吸盘高度实现微调, 既避免了过大的鸡蛋被压破, 同时也保证过小的鸡蛋被拾取。

并联机器人在接收到目标信息后, 按照既定轨迹运动到禽蛋输送线的目标禽蛋位置上方, 拾取目标, 然后运动到包装输送线上的蛋托位置, 按照放置方案

在蛋托中实现逐行或者逐列的排布。由于机器人在运输过程中在输送线与蛋托之间会有姿态变化, 所以末端执行器需要具有翻转功能。

末端执行器由底板、舵机、底座、吸盘等组成, 底板通过螺栓与并联机器人连接, 舵机固定在底板上, 吸盘固定在底座上, 舵机与底座通过轴连接, 通过单片机控制舵机转动, 实现末端执行器拾取禽蛋的位姿变化。



图 3 抓取吸盘的结构
Fig.3 Structure of grab suction cup

2 机器人路径规划

生产线的布局示意图见图 4, 假设输送带为 4 行, 蛋托为 5 行 6 列, 以最远端接近传感器为原点建立坐标系, 设输送带前进速度为 v_0 , 输送带行间距为 a , 则输送带鸡蛋的坐标为 $(v_0t, (n-1)a, 0)$, 其中 t 为接近传感器感应到鸡蛋后的时间, n 为输送带的行数(最外侧为 1)。

设蛋托上的蛋孔中心距为 b , 蛋托左上角的蛋孔 $x_i y_j$ 的坐标为 $(x_i, y_j, 0)$, 则蛋托上任意一个蛋孔 $x_i y_j$ 的坐标为 $(x_i + (i-1)b, y_j + (j-1)b, 0)$ 。

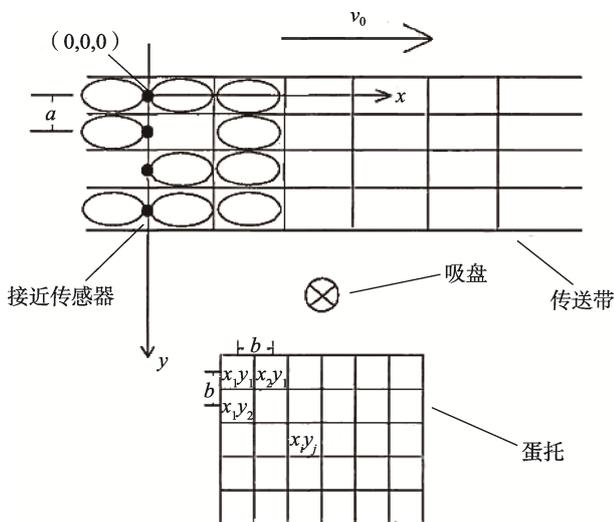


图 4 生产线的布局示意
Fig.4 Layout diagram of the production line

并联机器人的拾取放置轨迹采用经典的“门字型”路径^[11-13]。机器人从原点出发, 向拾取点运动, 到达拾取点正上方后, 垂直下降到拾取高度, 然后回路工作, 真空吸盘吸住目标物, 完成拾取动作, 之后机器人上升到初始高度, 前进到放置点正上方, 垂直下降到放置高度, 真空吸盘放气, 目标物落下, 完成放置动作, 最后机器人垂直上升到初始高度, 并运动到初始位置, 此时一个周期的拾放动作完成。其路径轨迹见图 5, 机器人完成一次拾放动作的路径为 A—B—C—B—A—D—E—D—A。

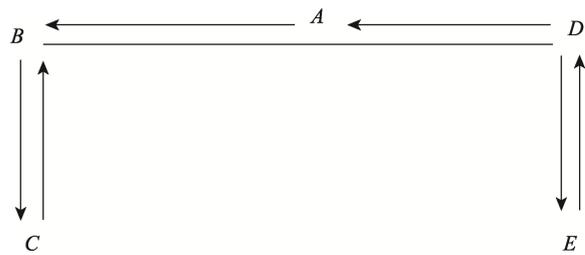


图 5 机器人拾放路径轨迹
Fig.5 Path trace of robot picking and placing

因为传送带一直处于匀速运动中, 所以机器人在工作过程中需要预算下一个目标物的坐标位置, 从而作出相应的路线调整^[14-15]。设目标物初始坐标为 $(x_0, y_0, 0)$, 机器人完成上一个放置动作时的坐标为 $(x_i, y_j, 0)$, 并联机器人与下一个目标物经过时间 t 后重合, 则重合时的坐标 $(x, y, 0) = (x_0 + v_0t, y_0, 0)$, 可以得到:

$$\theta = \arctan\left(\frac{y_j - y_0}{x_i - x_0}\right) \quad (1)$$

设并联机器人水平运动速度为 v_x , 竖直运动速度为 v_y , 机器人完成一个动作循环竖直方向运动总时间为 t_y , 根据余弦定理可以得到:

$$v_x^2 (t - t_y)^2 = (x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + v_0^2 t^2 - 2v_0 t \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \cos \theta \quad (2)$$

通过求出 t 的值, 可以确定机器人与下一个目标物重合时的坐标, 从而对机器人作出相应的路线调整。

3 机器人取放方案实验

禽蛋智能包装系统应通过机器识别系统来识别目标, 通过机器人完成捡拾与放置动作, 并需要规划好高拾取率和低破损率的路径。在整个过程中, 末端执行器的拾取位置是随时变化的, 且为了拾取效率最高, 在机器人运行速度一定时, 路径要最短。

在机器人工作时, 虽然禽蛋包装的蛋托位置固定不动, 但是机器人却可以从蛋托的 4 个不同的角开始按顺序放置禽蛋, 可以同向一次放置, 也可以走蛇形路线, 所以机器人在蛋托上的放蛋方案有 16 种, 见图 6。

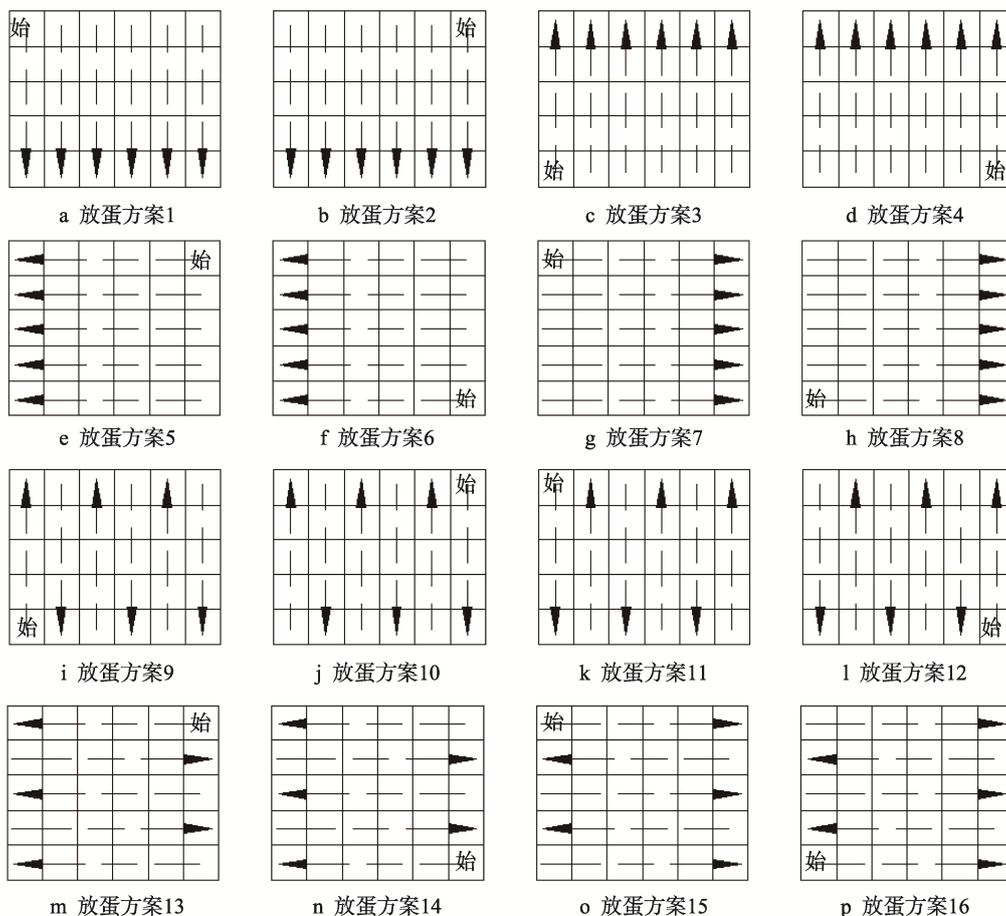


图6 放蛋方案示意
Fig.6 Schematic diagram of egg placing scheme

为了防止机器人错过禽蛋,让机器人优先拾取传送带上最前列的禽蛋,所以机器人在传送带上的取蛋顺序有4种,见图7。

验样机见图8。

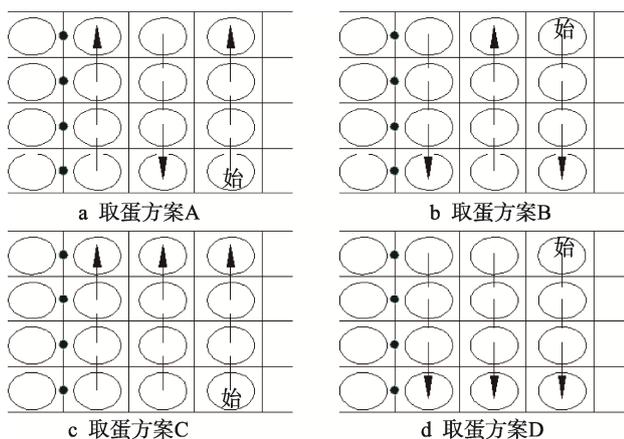


图7 取蛋方案示意
Fig.7 Schematic diagram of egg picking scheme

将取蛋和放蛋方案组合后,共有64种方案,需要从中选取最优方案。由于在作业过程中,禽蛋和机器人都处于运动状态,所以通过计算获得最优方案较复杂且容易出错,文中采用样机试验的方式获得,实

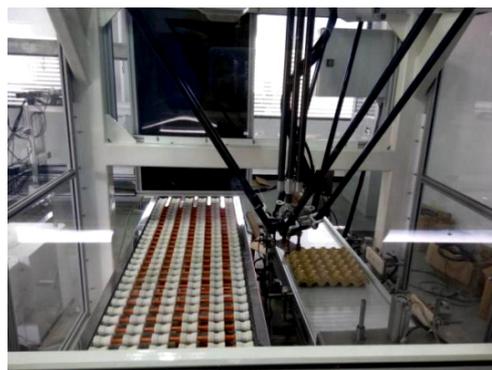


图8 实验样机
Fig.8 Experimental prototype

通过对30枚禽蛋(一整托盘)的拾取放置实验,对64种方案均进行3次完整的拾取放置,记录所用时间,取平均值,获得哪种方式效率最高,通过拾取成功率来测试机器人末端吸盘。

抓取鸡蛋总数为30枚,禽蛋输送线电机速度为1500 r/min,机器人运动速度为1200 mm/s,试验后测得每种方案的平均用时见表1。由表1可知,放蛋采取方案7时,当取蛋采取方案3,平均用时最短。

表 1 拾放蛋实验结果
Tab.1 Experimental results of egg picking and placing

放蛋方案	取蛋方案			
	1	2	3	4
1	69.6	70.1	69.2	71.5
2	78.8	72.0	70.2	69.8
3	70.3	69.3	70.1	71.6
4	68.9	68.8	69.2	69.6
5	69.0	68.7	69.6	69.9
6	69.3	70.3	69.3	70.5
7	70.5	69.6	68.1	69.1
8	68.6	70.5	69.9	68.8
9	69.1	69.3	69.5	70.0
10	71.3	70.6	70.1	69.5
11	73.6	71.6	70.5	69.9
12	70.6	69.6	70.2	69.7
13	70.2	70.8	68.9	69.5
14	68.8	69.0	70.3	70.1
15	69.4	70.2	69.6	70.1
16	71.2	69.3	70.1	70.6

经过实验测得, 机器人的拾蛋成功率为99.3%, 在保证成功率和精度的前提下, 机器人完成一次拾放过程, 最快速度为2.4 s, 符合预期要求。

4 结语

根据禽蛋装盘的实际需求, 设计了一条禽蛋包装加工生产线, 主要由输送部分、并联机器人、传感器、蛋托输送部分等组成, 对机器人的拾放路径和拾放方案作了伦理分析和计算, 对 64 种拾放方案均进行 3 次试验, 每次均完成一整托 30 枚鸡蛋的取放, 得到当取蛋采取方案 3, 放蛋采取方案 7 时, 平均用时最短, 测得机器人的拾蛋成功率为 99.3%。在保证成功率和精度的前提下, 机器人完成一次拾放过程, 最快速度为 2.4 s, 达到预期设计要求, 为并联机器人在禽蛋包装上的应用提供了参考。

参考文献:

- [1] 杨宁. 2014 年我国蛋鸡产业状况及发展趋势[J]. 中国畜牧杂志, 2015(2): 32-37.
YANG Ning. Laying Hens Industry Status and Development Trend in 2014 in China[J]. Chinese Journal of Animal Husbandry, 2015(2): 32-37.
- [2] 陈金泉, 任奕林, 任祖方. 禽蛋加工技术与装备的研究现状及发展趋势[J]. 湖北农机化, 2010(3): 55-57.
CHEN Jin-quan, REN Yi-lin, REN Zu-fang. Research Status and Development Trend of Poultry Egg Processing Technology and Equipment[J]. Hubei Agricultural Mechanization, 2010(3): 55-57.
- [3] LAWRENCE K C, YOON S C, JONES D R, et al. Modified Pressure System for Imaging Egg Cracks[J]. Transactions of the Asabe, 2009, 52: 983-990.
- [4] 宁欣. 禽蛋的分级、检测与包装机[J]. 中国家禽, 2004(12): 59-63.
NING Xin. Egg Grading, Testing and Packaging Machine[J]. China Poultry, 2004(12): 59-63.
- [5] 陈志刚, 赵志刚, 苟向锋. 一类鸡蛋包装机器人系统设计及运动分析[J]. 兰州交通大学学报, 2012, 31(1): 69-72.
CHEN Zhi-gang, ZHAO Zhi-gang, GOU Xiang-feng. Design and Motion Analysis of a Kind of Egg Packaging Robot[J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2012, 31(1): 69-72.
- [6] 陈红, 陈伟, 文有先. 禽蛋自动上料装置的研究[J]. 粮油加工与食品机械, 2003(7): 66-68.
CHEN Hong, CHEN Wei, WEN You-xian. Research on Automatic Egg Feeding Device[J]. Grain & Oils Processing and Food Machinery, 2003(7): 66-68.
- [7] 胡小静. 自动分拣鸡蛋平台智能控制系统研究[D].

- 洛阳: 河南科技大学, 2013: 35-37.
- HU Xiao-jing. Research on Intelligent Control System of Automatic Egg Sorting Platform[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2013: 35-37.
- [8] 王至秋, 李胜多, 纪晶, 等. 禽蛋检测与装箱自动化装置设计[J]. 食品工业, 2016(1): 226-231.
- WANG Zhi-qiu, LI Sheng-duo, JI Jing, et al. Design of Egg Detection and Packing Automation Device[J]. Food Industry, 2016(1): 226-231.
- [9] YUANH K, ELISABETH H L, JOSEPHG S, et al. High-oxygen Modified Atmosphere Packaging System Induces Lipid and Myoglobin Oxidation and Protein Polymerization[J]. Meat Science, 2010, 85(4): 759-767.
- [10] 张宁, 项庆伟. 气动真空吸盘在工业生产线上应用及研究[J]. 技术与市场, 2015(8): 47-48.
- ZHANG Ning, XIANG Qing-wei. Application and Research of Pneumatic Vacuum Sucker in Industrial Production Line[J]. Technology and Market, 2015(8): 47-48.
- [11] 苑进, 李扬, 刘雪美, 等. 禽蛋自动捡拾系统结构设计及机械手运动规划[J]. 农业工程学报, 2016, 32(8): 48-55.
- YUAN Jin, LI Yang, LIU Xue-mei, et al. Structure Design and Manipulator Motion Planning of Automatic Egg Collection System[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(8): 48-55.
- [12] YUE C, ZHANG Y, SU H J, et al. Type Synthesis of Three-Degree-of-Freedom Translational Compliant Parallel Mechanisms[J]. Journal of Mechanisms & Robotics, 2015, 7(3): 31-32.
- [13] 谢平, 杜义浩, 田培涛, 等. 一种并联机器人误差综合补偿方法[J]. 机械工程学报, 2012(9): 43-49.
- XIE Ping, DU Yi-hao, TIAN Pei-tao, et al. A Synthetic Error Compensation Method for Parallel Manipulators[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012(9): 43-49.
- [14] 袁亭雪. 三自由度并联机器人研究与实验平台开发[D]. 包头: 内蒙古科技大学, 2014: 40-47.
- YUAN Ting-xue. Research and Experimental Platform Development of 3-DOF Parallel Manipulator[D]. Baotou: Inner Mongolia University of Science and Technology, 2014: 40-47.
- [15] KANG B H, TING-YUNG WEN J, DAGALAKIS N G, et al. Analysis and Design of Parallel Mechanisms with Flexure Joints[J]. IEEE Transactions on Robotics, 2005, 21(6): 1179-1185.

责任编辑: 曾钰婵