

## 基于工业机器人的电梯厅门立式装箱系统的研制

赵海文<sup>1</sup>, 常庆麒<sup>1</sup>, 郝斌<sup>2</sup>, 王亚军<sup>2</sup>, 王哲<sup>2</sup>, 苏凡<sup>1</sup>, 董雪朋<sup>1</sup>

(1.河北工业大学, 天津 300000; 2.奥的斯电梯(中国)有限公司, 天津 300457)

**摘要:** **目的** 为了提高电梯厅门的包装效率, 降低工人劳动强度, 应某电梯企业的要求提出一种电梯厅门自动包装装箱方案, 并开发基于工业机器人的电梯厅门立式装箱系统。**方法** 该系统主要由门板翻转机、箱体上线输送机、箱体定位输送机及装箱机器人组成, 通过门板翻转机将电梯厅门呈立式姿势, 空箱通过箱体上线输送机输送至箱体定位输送机进行定位, 再由装箱机器人抓取厅门并将其装入空箱内, 该系统自动完成空箱的上线、定位以及厅门装箱, 实现电梯厅门装箱的自动化。**结果** 根据箱子宽度的不同, 装箱成功率也有所不同, 成功率最小为 95.5%, 最大为 100%, 均满足要求。**结论** 该系统在保证电梯厅门装箱效率的前提下, 大大降低了工人的劳动强度, 提高了系统的自动化程度。

**关键词:** 电梯厅门装箱; 立式装箱; 自动化; 工业机器人

**中图分类号:** TB486<sup>+</sup>.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)05-0146-06

## Research and Development of Vertical Packaging System of Elevator Landing Door Based on Industrial Robot

ZHAO Hai-wen<sup>1</sup>, CHANG Qing-qi<sup>1</sup>, HAO Bin<sup>2</sup>, WANG Ya-jun<sup>2</sup>, WANG Ze<sup>2</sup>, SU Fan<sup>1</sup>, DONG Xue-peng<sup>1</sup>

(1.Hebei University of Technology, Tianjin 300000, China;

2.Tianjin Otis Elevator Co., Ltd., Tianjin 300457, China)

**ABSTRACT:** The work aims to put forward a plan for automatic packaging of elevator landing door, and develop the vertical packaging system for elevator landing door based on industrial robot at the request of some elevator enterprise, in order to improve the efficiency of packaging elevator landing door and reduce labor intensity. The system was composed of plank turnover mechanism, preparing conveyor and positioning conveyor of case, and packaging robot. The elevator landing door was stood by the plank turnover mechanism. The empty case was transported to the positioning conveyor by the preparing conveyor for positioning. Then the landing door was grasped by the packaging robot and placed into the empty case. The system automatically completed the preparing and positioning of empty case and the packaging of landing door, to achieve the automation of packaging elevator landing door. According to the various case widths, the success rate of packaging would differ. The minimum success rate was 95.5% and the maximum was 100%, both of which met the requirements. This system has greatly reduced the labor intensity and improved the system automation while ensuring the efficiency of packaging the elevator landing door.

**KEY WORDS:** packaging of elevator landing door; vertical packaging; automation; industrial robot

城市的发展促进了中高层楼盘的建设, 同时也带动了电梯行业的迅猛发展, 中国已经成为全球最大的电梯制造地和销售国<sup>[1-2]</sup>。随着需求量的增加, 对电梯的生产及包装效率提出了更高的要求, 如何提高电梯包装装箱的自动化水平成为了人们关注的一个重

点。目前, 我国电梯厅门自动装箱技术相较国外还十分滞后。为了保证厅门表面不被磨损, 许多企业还在使用人工装箱的方法, 不仅效率低下, 而且使工人承受着极高的劳动强度<sup>[3-4]</sup>。相比之下, 国外许多电梯企业已经有了较为成熟的厅门自动装箱技术, 但都是

收稿日期: 2016-08-14

作者简介: 赵海文(1974—), 男, 博士, 河北工业大学副教授, 主要研究方向为机电一体化、智能检测与控制。

堆叠式装箱,而这种装箱方式只适用于较轻且占地面积较小的门板,一旦厅门重量较大或堆叠较高,则会使下面的厅门发生变形,从而破坏厅门的强度<sup>[5]</sup>。针对以上问题,研制了基于工业机器人的电梯厅门立式装箱系统。该系统具有自动化程度高、对不同规格的厅门适应性强等优点。

### 1 厅门装箱研究与方案设计

目前国内电梯企业厅门装箱过程如下:在厅门装配完成后,由 2 名工人一起把厅门从装配工位取下,使厅门呈立式姿势放入箱子中,见图 1。



图 1 电梯厅门人工装箱方式

Fig.1 Manner of artificial packing for elevator landing door

根据厅门人工装箱方式,作者提出了一种基于工业机器人的电梯厅门立式装箱系统,主要完成空箱自动上线、空箱自动定位、使厅门由水平放置姿势翻转为立式姿势、机器人自动装箱等 4 种功能。该系统主要由门板翻转机、箱体上线输送机、箱体定位输送机以及装箱机器人 4 部分组成。其中,门板翻转机主要负责对厅门进行定位、尺寸检测以及翻转;箱体上线输送机主要用于空箱的上线和储备;箱体定位输送机主要负责对空箱进行定位和单侧顶升;装箱机器人主要负责对厅门进行抓取装箱,是整个装箱系统的核心部分。

### 2 相关技术参数与系统工作流程

#### 2.1 厅门技术参数

厅门主要是由门板和加强筋组成的,厅门外形见图 2。厅门的长度  $L_1$  范围为 2020~2420 mm,每 100 mm

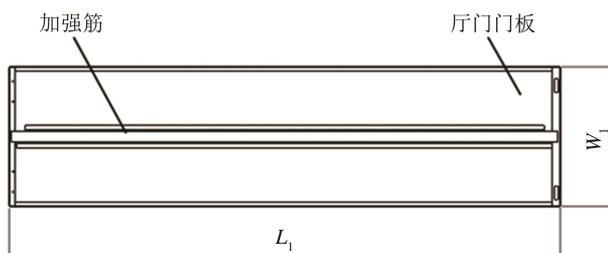


图 2 厅门外形

Fig.2 Shape of landing door

一种规格;宽度  $W_1$  范围为 420~620 mm,每 50 mm 一种规格,厅门的长和宽并非一一对应的,因此厅门共有 25 ( $5 \times 5$ ) 种规格。

宽度  $W_1$  分别为 420, 470, 520, 570, 620 mm,厚度为 1.5 mm,质量在 15~25 kg 不等。 $L_2, H_2$  与  $W_2$  的尺寸不是一一对应的,箱子一共有 175 ( $5 \times 5 \times 7$ ) 种规格。

#### 2.3 系统的工作流程

厅门装箱系统的工作流程,见图 3。

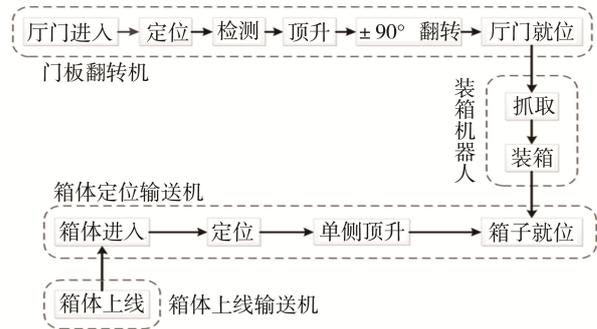


图 3 工作流程

Fig.3 Work flow

### 3 厅门装箱系统结构设计

该系统共有 4 部分组成,完成电梯厅门的自动装箱工作,其总体结构见图 4。

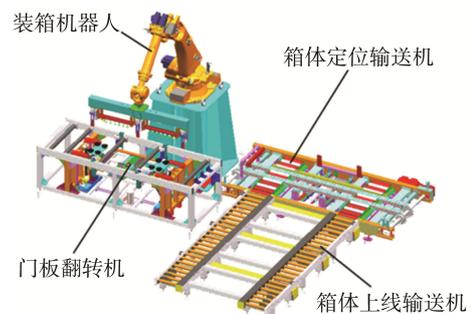


图 4 厅门自动装箱系统整体结构

Fig.4 General structure of automatic packing system for landing doors

#### 3.1 门板翻转机

门板翻转机主要包括架体、动力辊筒、门板宽度方向中心定位机构、顶升翻转机构、厅门长度检测传感器以及其他辅助机构。门板翻转机整体结构见图 5。

门板宽度方向中心定位机构采用齿轮齿条传动,其优点是承载力大且传动速度较快,见图 6。该机构选用气缸驱动,在气缸上配置了相应数量的磁性开关,可完成厅门的宽度检测。

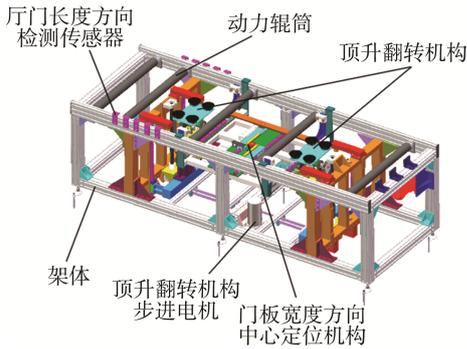


图5 门板翻转机  
Fig.5 Flipping mechanism of landing door

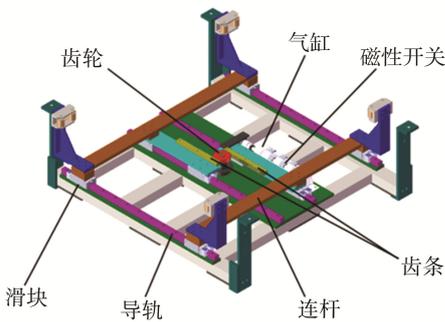


图6 厅门宽度方向中心定位机构  
Fig.6 Centrally positioning mechanism of the width direction of landing door

顶升翻转机构由于负载较大，传动精度要求高，故选用步进电机驱动滚珠丝杠实现该机构的升降<sup>[6]</sup>，见图7。丝杠传动是将回转运动转化为直线运动的理想产品，同时兼具高精度、高效率等特点<sup>[7-9]</sup>。厅门±90°的翻转功能由步进电机驱动实现。

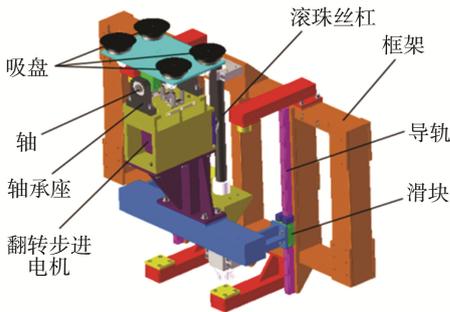


图7 顶升翻转机构  
Fig.7 Mechanism of jacking and flipping

### 3.2 箱体上线输送机

箱体上线输送机主要用于输送和储备由叉车运来的空箱，为后续的箱体定位输送机自动输送空箱。该输送机采用模块化结构，包括3个输送单元和2个限位架。限位架的作用是对准备上线的空箱进行粗定位，使其能够平稳的进入后续工位。箱体上线输送机整体结构见图8。

输送单元见图9，双链辊筒安装在输送单元铝型

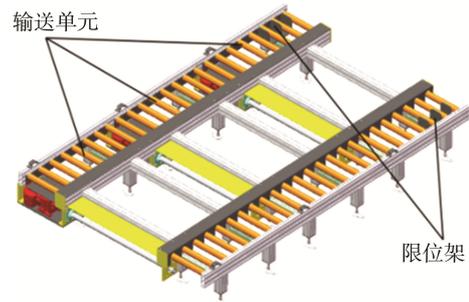


图8 箱体上线输送机  
Fig.8 Online conveyor of case

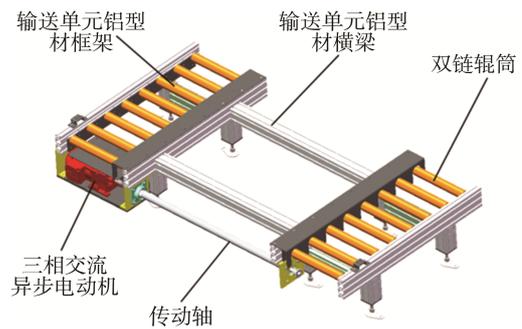


图9 输送单元  
Fig.9 Conveying unit

材框架上并均匀排布，且相对于输送单元铝型材框架的横梁对称。三相交流异步电动机通过驱动传动轴使双链辊筒同时运转，保证箱体平稳输送。

### 3.3 箱体定位输送机

箱体定位输送机的作用是将箱子定位并将空箱从后下方顶起，使箱子成倾斜姿势，保证装箱后的厅门均向一侧靠拢，防止厅门倾倒。箱体定位输送机整体结构见图10。

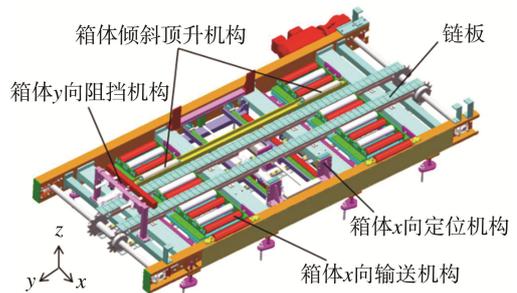


图10 箱体定位输送机  
Fig.10 Positioning conveyor of case

箱体定位输送机主要包括箱体y向阻挡机构、箱体倾斜顶升机构、箱体x向输送机构、箱体x向定位机构、链板以及其他辅助机构。其中，箱体x向定位机构是该输送机的关键，可实现空箱宽度方向的中心定位。箱体x向定位机构见图11，前定位装置采用步进电机驱动滚珠丝杠方式，后定位装置采用气缸驱动方式，可实现箱体的宽度方向准确定位。由于步进电

机的输出力大于气缸输出力，因此以前定位装置为基准进行定位，可以保证不同宽度尺寸的箱体均能实现中心定位。

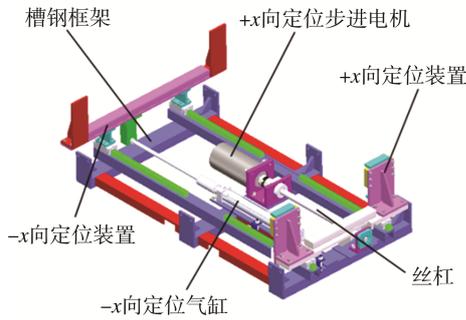


图 11 箱体定位机构  
Fig.11 Positioning mechanism of case

### 3.4 装箱机器人

装箱机器人的作用是将翻转后的厅门装入完全定位的箱子中。装箱机器人整体结构见图 12。

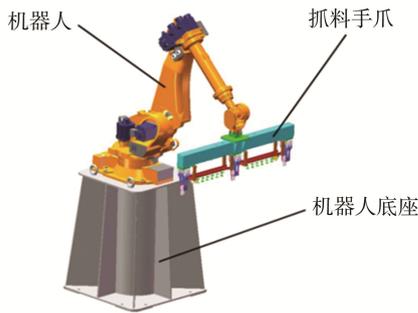


图 12 装箱机器人  
Fig.12 Packing robot

装箱机器人的关键在于抓料手爪的设计，而抓料手爪设计的重点在于刚度高、质量轻、可靠性高<sup>[10-13]</sup>，见图 13。手爪法兰用于与工业机器人的腕部法兰连接。3 个气动手爪用于抓取厅门，而真空吸盘起到辅助作用，在移动中增加厅门抓取的稳定性。它们的载体为手爪架体。

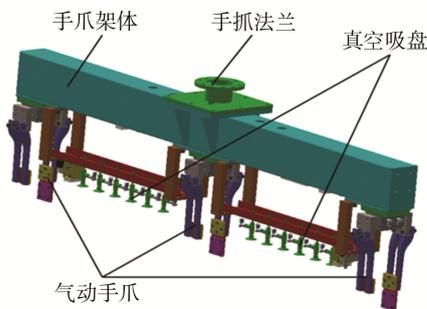


图 13 抓料手爪  
Fig.13 Grasping gripper of landing door

为了验证气动手爪的最大变形量，需对其进行 Ansys 分析，见图 14。气动手爪的最大变形发生在手

爪底端为 2.86 mm，与厅门接触部分的最大变形量为 1.27 mm，在允许范围内。

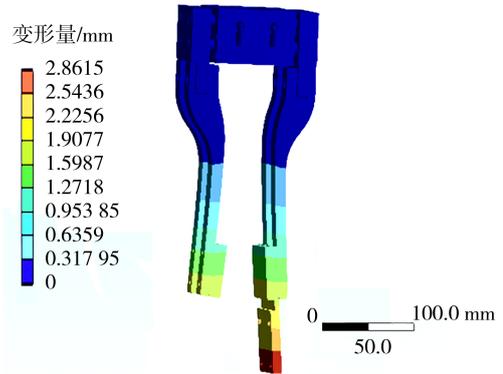


图 14 气动手爪的变形量分析  
Fig.14 Analysis of deformation of pneumatic hand

工业机器人的技术参数主要包括自由度、重复定位精度、工作范围、工作速度、承载能力<sup>[13-15]</sup>。该系统的机器人选用 6 轴机器人，重复定位精度为±0.1 mm，最大工作半径为 2654 mm，最大速度可达到 4.54 r/s，承载能力为 166 kg，各参数均能满足系统要求。

## 4 装箱实验

在现场，针对不同尺寸的厅门和箱子进行实验，记录每个厅门的装箱时间以及装箱结果，以验证该装箱系统的可行性。实验对象是由该电梯企业提供的全部 25 种厅门和 175 种箱子。实验设备是来自于“厅门 I 号生产&装配线”中的厅门装箱系统，主要包括门板翻转机、箱体上线输送机、箱体定位输送机以及装箱机器人。除此之外，该生产线还包括涂胶工位、人工放筋板工位等。该生产线的工艺流程见图 15。

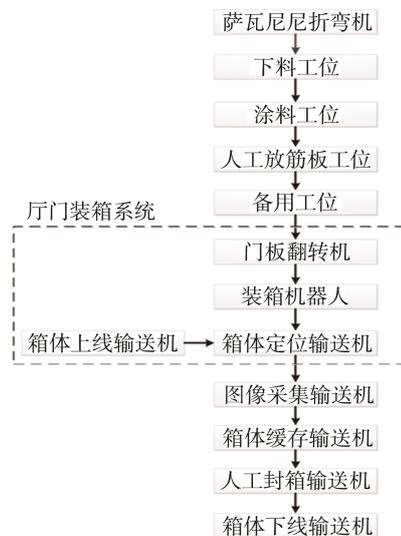


图 15 厅门 I 号生产、装配线工艺流程  
Fig.15 The flow chart of production & assembly line for No. I elevator landing door

#### 4.1 实验步骤

该厅门装箱系统的详细运动方案有以下5个步骤。

厅门翻转。厅门进入门板翻转机，门板对中机构对厅门进行定位，同时对厅门尺寸进行检测，顶升翻转机构上吸盘吸附厅门后将其顶升至最高点，随后沿轴旋转+90°或-90°，使厅门呈立式姿势。

空箱自动上线。叉车将空箱放入箱体上线输送机的第一个输送单元，输送机运行，将空箱输送至距箱体定位输送机最近的工位，等待进入下一个工位。

空箱定位。空箱进入箱体定位输送机，利用链板驱动箱子沿长度方向移动，再用箱体阻挡机构实现其长度方向上的定位；空箱宽度中心定位机构自动完成箱体宽度方向定位；定位完成后，箱体倾斜顶升机构将空箱顶起，使空箱成一定角度倾斜。

厅门抓取。装箱机器人根据厅门尺寸检测结果对手爪自动定位后抓取厅门、真空吸盘吸住厅门侧面，此时，厅门脱离门板翻转机，准备装箱。

厅门装箱。装箱机器人沿垂直方向将厅门放入倾斜的箱子中，随后松开气动手爪和真空吸盘，将其装入箱体内。

#### 4.2 实验结果与分析

该厅门装箱系统的实用性可用装箱成功率来衡量。决定装箱成功率的因素是箱子的宽度，即装厅门对数。通过现场大量实验可知，一班平均可装350块厅门，根据箱子宽度不同，可装18至58箱不等，1天3班，一共实验54 d，共装了3600箱，根据装箱结果计算不同宽度箱子的装箱成功率，见表1。

表1 不同宽度箱子的装箱成功率  
Tab.1 Packing success rate of different width cases

箱子宽度/mm	装厅门对数	装箱数	装箱成功率/%
454	3	200	100
	4	200	95.5
544	5	300	98.67
624	6	300	100
714	7	650	100
794	8	650	100
884	9	650	100
964	10	650	100

从表1可以看出，当装厅门对数为4和5时，装箱成功率不足100%，这主要是由于箱体外形不规范，尺寸存在偏差造成的，经测量箱体最大尺寸偏差可达到±20 mm，从而造成厅门装箱位置的偏差。针对这种情况，计划采用基于LabVIEW的机器视觉系统，通过CCD摄像机、图像采集卡、工业计算机对装箱过程的图片进行采集与处理，识别出厅门应放位置，再把处理好的数据传输给机器人，从而控制其装箱动

作，达到精确装箱的目的。

经实验表明，该厅门装箱系统在工艺和装箱速度方面均能达到客户生产实际要求，如装箱节拍控制在16 s以内，装箱成功率较高。据了解，OTIS、SIGMA、日立等电梯公司均采用人力装箱方式，而该厅门装箱系统实现了厅门无人化装箱，降低了工人的劳动强度。

## 5 结语

针对现有的电梯厅门人工装箱方式，提出了一种全新的自动装箱方案，并研制了基于工业机器人的电梯厅门立式装箱系统。该系统由门板翻转机、箱体上线输送机、箱体定位输送机以及装箱机器人组成，其具有自动化程度高，工作效率高，装箱准确度高等优点。整个装箱系统经过现场生产测试，针对不同尺寸的厅门和箱子具有极强的适应性，相较于人工装箱极大地提高了工作效率，降低了工人的劳动强度。

#### 参考文献:

- [1] 凌贸易. 装箱一体机系统方案设计及其控制系统开发[D]. 天津: 天津大学, 2010.  
LING Mao-yi. Packing Machine Control System Design and System Development[D]. Tianjin: Tianjin University, 2010.
- [2] 蔡幼忠, 戴青云. 电梯制造业MES的应用与实践[J]. 制造业自动化, 2008(7): 74—75.  
CAI You-zhong, DAI Qing-yun. Application and Practice of Elevator Manufacturing MES[J]. Manufacturing Automation, 2008(7): 74—75.
- [3] LIU Zhi-hui, LI Meng-qi, CHEN Zhi-gang, et al. The Automatic Packaging Machine Design Based on Reconfigurable Theory[C]// International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks, IEEE, 2011: 812—815.
- [4] GEDIG M, STIEMER S F. Methods for Selection of Efficient Forms in Conceptual Structural Design[J]. Annual Conference-Canadian Society for Civil Engineering, 2008(2): 204—213.
- [5] 王东爱, 王岭松, 乔志霞. 集装箱装箱优化与纸箱优化设计[J]. 包装工程, 2005, 26(5): 123—125.  
WANG Dong-ai, WANG Song-ling, QIAO Zhi-xia. Containerization Optimization and Optimum Carton Design[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(5): 123—125.
- [6] 廖伟强, 何佳兵, 李丽秀, 等. 步进电机驱动滚珠丝杠传动分析与应用[J]. 机械传动, 2014, 38(12): 171—172.  
LIAO Wei-qiang, HE Jia-bing, LI Li-xiu, et al. Analysis and Application of Stepper Motor Drive Ball Screw Drive[J]. Mechanical Transmission, 2014, 38(12):

- 171—172.
- [7] LIN M C, RAVANI B, VELINSKY S A. Kinematics of the Ball Screw Mechanism[J]. *Journal of Mechanical Design*, 1994, 116(3): 849—855.
- [8] 王兆坦, 朱继生, 张瑞, 等. 滚珠丝杠副性能指标的测试与研究[J]. *制造技术与机床*, 2009(6): 128—134. WANG Zhao-tan, ZHU Ji-sheng, ZHANG Rui, et al. Test and Research of the Ball Screws Performance Indexes[J]. *Manufacturing Technology and Machine*, 2009(6): 128—134.
- [9] 褚传尧, 冯虎田, 欧屹, 等. 滚珠丝杠副选型计算过程中刚度算法改进与优选标准分析[J]. *组合机床与自动化加工技术*, 2015(7): 8—10. CHU Chuan-yao, FENG Hu-tian, OU Yi, et al. Ball Screw Stiffness Algorithm Improvement and Optimization Standard Analysis in Selection Process[J]. *Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique*, 2015(7): 8—10.
- [10] 程芳, 赵美宁. 全自动装箱机机械式抓手机构的设计[J]. *包装工程*, 2016, 37(9): 94—95. CHENG Fang, ZHAO Mei-ning. Design of Mechanical Manipulator of the Automatic Packing Machine[J]. *Packaging Engineering*, 2016, 37(9): 94—95.
- [11] 王凤云, 刘继展, 李萍萍. 采摘机器人末端执行器研究现状与展望[J]. *农机化研究*, 2011, 17(11): 10—11. WANG Feng-yun, LIU Ji-zhan, LI Ping-ping. Present Situation and Prospect of Robot End-effector for Picking Robot [J]. *Agricultural Mechanization Research*, 2011, 17(11): 10—11.
- [12] 龚志强, 陈进, 尹小琴, 等. 一种机器人末端执行器的运动学分析和实际应用[J]. *机械设计与研究*, 2012, 28(5): 18—19. GONG Zhi-qiang, CHEN Jin, YIN Xiao-qin, et al. Kinematics Research and Practical Application of a Robot Actuator[J]. *Machine Design and Research*, 2012, 28(5): 18—19.
- [13] 计时鸣, 黄希欢. 工业机器人技术的发展与应用综述[J]. *机电工程*, 2015, 32(1): 1—11. JI Shi-ming, HUNG Xi-huan. Review of Development and Application of Industrial Robot Technology[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2015, 32(1): 1—11.
- [14] 林威, 江五讲. 工业机器人笛卡尔空间轨迹规划[J]. *机械工程与自动化*, 2014(5): 141—143. LIN Wei, JIANG Wu-jiang. Trajectory Planning of Industrial Robots in Cartesian Space[J]. *Mechanical Engineering & Automation*, 2014(5): 141—143.
- [15] 徐方. 工业机器人产业现状与发展[J]. *机器人技术与应用*, 2007, 30(5): 1—6. XU Fang. Industry Situation and Development of the Robotics Industry[J]. *Robotics and Applications*, 2007, 30(5): 1—6.