

一种多垛型机器人码垛系统的设计

李红果, 刘新乐, 徐德众, 周益林, 朱佳琪

(北京强度环境研究所, 北京 100076)

摘要: **目的** 实现码垛设备能够满足多种垛型和特殊复杂垛型码垛的作业要求。**方法** 研制一种多垛型机器人码垛系统, 根据具体的设计要求, 选用合适的工业机器人; 采用一次抓取分批次放置的整体方案, 设计具有分箱单独夹持功能的机器人夹具; 研究各种垛型图样的共性, 提出一种基于垛型数据结构的机器人码垛编程方法。**结果** 该码垛系统能够适应多种垛型和各种复杂垛型码垛的工艺要求, 运行稳定可靠, 大大提高了生产效率; 所设计的垛型数据结构包含了机器人搬运过程中的全部信息, 更改和修改垛型时, 无需更改机械结构, 只需在线或者离线更新垛型数据结构即可。**结论** 该码垛系统对垛型的适应能力强, 对相关码垛设备的研制具有一定借鉴意义。

关键词: 码垛; 机器人; 数据结构; 夹具设计

中图分类号: TB486⁺.3; TP242.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)05-0040-05

Design of Palletizing Robot System for Multiple Stack Types

LI Hong-guo, LIU Xin-le, XU De-zhong, ZHOU Yi-lin, ZHU Jia-qi

(Beijing Institute of Structure & Environment Engineering, Beijing 100076, China)

ABSTRACT: The work aims to enable the palletizing equipment to meet the needs of multiple, special and complex stack types. A palletizing robot system for multiple stack types was designed. According to the specific design requirements, proper industrial robots were selected. An overall solution in which robot grabbed once for multiple placements was applied, and a robot griper with separate clamping function was designed. The commonness of all kind of stack types was studied, and a programming method for palletizing by robots based on the stack data structure was presented. The palletizing robot system could adapt to the technological requirements of multiple and complex stack types, and run stably and reliably, which enhanced the production efficiency greatly. As the stack data structure included all the information of robot during its working process, when the stack type was changed or modified, only the stack data structure should be updated online or offline without any change of the mechanical structure. The palletizing system is highly adaptable to stack type and provides some reference for the research and development of relevant palletizing equipment.

KEY WORDS: palletizing; robot; data structure; griper design

随着我国工业自动化程度的不断提高和物流行业的不断发展, 为了保护劳动工人的安全和健康, 加快物流速度, 工业机器人作为一种典型的机电一体化高科技产品, 在食品、化工等领域中不断替代传统的码垛机和人工码垛, 得到了越来越多的应用^[1-7]。为了提高码垛效率, 工业现场的大多数机器人码垛系统和传统码垛机一样, 一般采用整层搬运的工作方式, 在产品输送线体末端配有产品整形平台或者产品编组辊道等整形机构, 先将产品按照预先设定的垛型图样整理编组, 然后再搬运。这种方式虽然降低了生产线高速产能对工业机器人工作速度的要求, 但大大提

高了对工业机器人工作负载能力的要求, 增加了机器人的采购成本; 当面对垛型图样复杂或者多个垛型图样时, 增加了整形机构的设计难度和成本。另外, 为了满足特殊的工艺需求, 工业现场有一些特殊的垛型图样, 例如中间镂空、垛型周边有空缺等情况。在这种情况下, 整层搬运的工作方式根本就无法使用。针对这种情况, 笔者充分利用了工业机器人柔性好、处理能力强的特点, 选用工作负载相对较小、工作速度相对较快的工业机器人, 合理设计夹具, 采用一次抓取分批次放置的方式, 设计了一种多垛型机器人码垛系统, 不仅降低了码垛系统的制造成本, 而且成功解

收稿日期: 2016-06-22

作者简介: 李红果 (1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为包装设备自动化系统设计。

决了多个垛型码垛和特殊垛型码垛的难题。为了便于更换和修改垛型，文中提出了一种基于垛型数据结构的机器人码垛程序编程方法。该编程方法设计了一种能够描述机器人码垛过程所有工作参数的垛型数据结构，使得繁琐复杂的机器人程序编写、调试工作变成了修改垛型数据结构所含有的参数，便于同类码垛项目的程序移植和离线编程，大大节约了调试时间，提高了工作效率。

1 码垛系统的组成和工作原理

机器人码垛系统由配套设备、机器人本体和夹具组成^[8]，其中配套设备包含托盘输送设备、产品输送设备 and 安全防护装置。码垛系统组成结构见图 1，托盘输送设备由托盘仓和托盘输送线组成，产品输送设备主要由产品输送线和剔除缓存线组成，而安全防护装置主要指安全护栏和安装在其上的安全光幕。

在码垛系统工作时，人工或者叉车将托盘以上下层叠的形式放入托盘仓，托盘仓将托盘整理成单个空托盘，托盘输送线将空托盘输送到机器人码垛位，以便机器人码放产品，待产品码垛完毕时，托盘输送线再将整垛产品输送到线体末端，等待叉车将产品下线入库^[9]。产品输送线前端配有外观检测装置或者称量检测装置，当检测到外观或质量不合格产品时，剔除机构将不合格产品剔除到剔除缓存线上，以备人工处理；产品输送线末端配有分组气缸，对顺序输送来的产品，按照夹具的抓取个数进行简单的分组，以备机器人抓取。码垛系统根据机器人的工作范围将整个工作区域分为安全区域和危险区域，并通过网格状安全护栏进行警示和隔离，在安全护栏上安装有安全光幕和安全门开关，当工人进入安全区域时，设备停止运行，以保证操作人员的人身安全。机器人码垛系统组成结构见图 1。

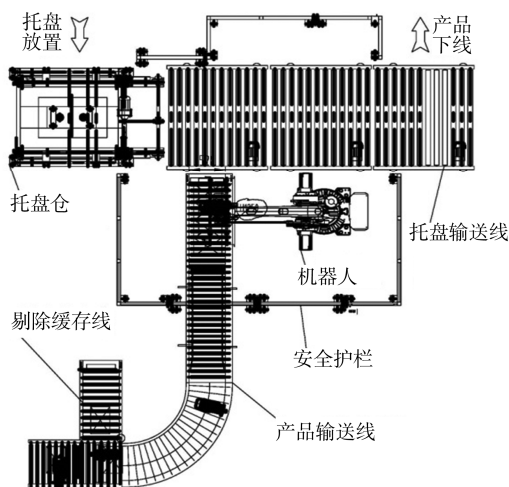


图 1 机器人码垛系统组成结构

Fig.1 Structure of the palletizing robot system

2 设计要求和机器人选型

码垛系统的设计需要根据客户的具体要求，确定厂房布局、产品种类、垛型要求、产能要求和制造成本等因素，因地制宜，综合各方面因素制定最佳的解决方案。

该码垛系统的设计要求和参数：所码垛产品是长方形纸箱，内装有罐装饮料，表面四周有塑料薄膜密封，每箱质量为 9 kg，外形尺寸为 405 mm×270 mm×121 mm；码垛托盘材料可为木头、塑料或者金属，外形尺寸为 1200 mm×1100 mm×150 mm；码垛系统垛型见图 2，共有 2 种垛型，可以根据产品生产批次进行选择，其中数字代表了各箱码垛次序，黑色边框为放置纸箱时夹具移动板的位置，图 2a 为中间镂空的垛型，码垛层数最多为 16 层，1~16 层可按需设置；连续生产速度不小于每小时 1800 箱。

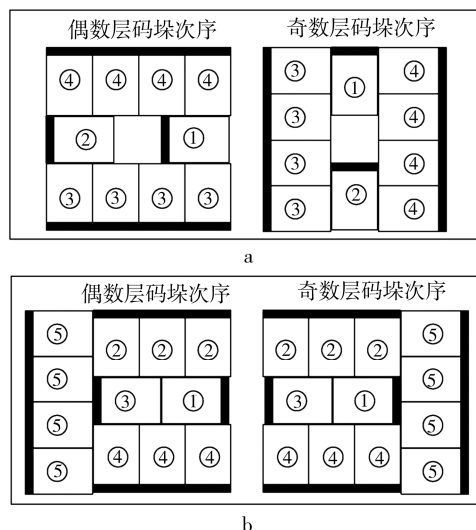


图 2 码垛系统垛型

Fig.2 Diagram of stack type

国内市场上机器人品牌繁多，例如日本的发那科、瑞士的 ABB 和德国的库卡等^[1-3]。机器人的选型主要取决于负载能力、作业半径和高度以及运行速度等性能指标。根据设计要求，机器人的选型参数分析为以下几个方面：由图 2 可知垛型和夹具结构，机器人 1 次最多需要抓 4 箱产品，其对应质量为 36 kg，而夹具的实际质量为 55 kg，所选机器人负载能力应该大于 101 kg；根据托盘尺寸、垛型和辅助线体的布局，机器人的选择半径应该大于 2 m；根据纸箱高度、码垛层数、夹具的高度和托盘输送线体的高度，机器人的垂直工作高度应该大于 2 m；根据产能要求，机器人需要平均在 8 s 内完成 1 个抓放的动作循环。

机器人选用 ABB 公司的 IRB 460，并用 Robot Studio 软件进行建模仿真。

3 夹具的设计

夹具作为机器人末端的执行器,一般通过抓、夹、铲、吸等拟人化的动作方式实现货物抓取功能^[10-14],其性能的好坏直接影响码垛系统的可靠性。码垛过程不仅要求夹具能够满足搬运的功能要求,而且还要高效可靠,不能发生掉箱、脱落等现象,也不能使产品及其外包装发生破损。对此,该码垛系统中的夹具采用先夹后抓的方式,减少产品脱落的概率。此外,为了满足一次抓取批次放置的功能,夹具采用了分箱单独夹持的结构。

码垛系统所采用的夹具见图3,由夹具安装板、导轨和夹具本体组成。夹具本体由导轨安装板、夹取机构和钩取机构组成;夹取机构包含固定板、固定角板、夹板气缸、移动板、浮动接头、滑轨和滑动角板,其中固定角板、夹板气缸和滑轨通过螺钉和导轨安装板连接;钩取机构包含抓钩气缸和抓钩,其中抓钩气缸固定在移动板上。

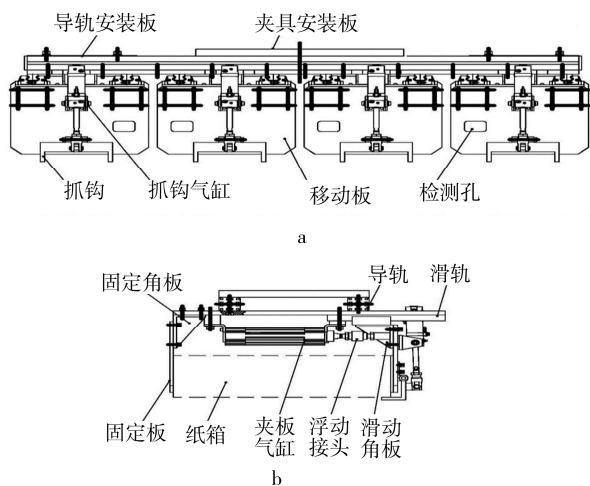


图3 夹具结构

Fig.3 Structure of the gripper

1) 码垛夹具通过导轨、夹具安装板和机器人连接,并且夹具安装板在导轨上的安装位置可以变动。该结构可将夹具重心安装在机器人末端轴法线方向上,减小夹具转动时的转动惯量。

2) 夹板气缸通过浮动接头带动移动板和滑动角板沿滑轨移动,完成夹取动作。夹具配有气体减压阀,可以调整夹板气缸的工作压力,从而调节夹持力的大小;夹板气缸和导轨安装板进行固定时,在导轨安装板上预留几组安装孔,可以调节夹持的行程和应对不同的产品外形尺寸。

3) 当夹取动作完成后,抓钩气缸动作带动抓钩旋转90°,完成钩取动作,防止产品脱落。

4) 根据产品的外形尺寸,移动板可为多个,每个都配有1套钩取机构。码垛系统具体采用的夹具可最多对4箱产品进行同时抓放。

4 机器人编程方法

目前机器人码垛系统编程工作一般通过示教再现的方式实现,即现场调试人员手动移动机器人,将码垛过程中的产品抓取点、产品放置点以及运动轨迹中必要的过渡点对机器人进行示教,编写程序,反复测试机器人程序,并不断进行修改。这样机器人系统要记录大量的示教数据,示教的过程复杂,这不仅加重了现场操作人员的工作量,而且机器人的编程工作量也很大,十分不利于提高机器人的调试效率。另外一种方法是通过离线编程设计机器人程序^[14-15],该方法虽然提高了编程工作的效率,但必须使用相应的仿真编程软件,对编程人员的素质要求高,当现场线体布局发生变化时,或者仿真数据错误时,必须重新进行仿真。在总结多个码垛项目的基础上,针对各种垛型图样的共性,文中设计了一种能够充分描述机器人码垛过程中所有工作参数的垛型数据结构及其相关的编程方法。在该垛型数据结构中,包含了机器人抓取和放置产品时的位置、姿态、次序、夹具的使用情况和机器人搬运产品时所有的过渡点等信息。其具体思路的描述为以下几个方面。

4.1 确定码垛次序和夹具的使用情况

该码垛系统的码垛次序见图2,另外,对于图2a,第1次抓取对应第1次和第2次放置,第2次抓取对应第3次放置,第3次抓取对应第4次放置;对于图2b,第1次抓取对应第1次和第2次放置,第2次抓取对应第3次和第4次放置,第3次抓取对应第5次放置。

4.2 确定码放产品的位置和姿态

机器人码垛时,不仅需要知道产品码放位置,而且还需要知道码放时机器人的姿态。首先,码垛流程见图4,在托盘上表面的一个角上,即将A点定义为用户坐标的原点,平行于托盘输送方向为x轴正方向,垂直向上为z轴正方向,再根据右手坐标原则确定y轴的正方向。然后,根据箱子的外形尺寸和垛型图样确定放置位置,具体位置由式(1)确定:

$$D=K\alpha+L \quad (1)$$

式中: D 为放置的坐标; K 为外形尺寸系数; α 为纸箱的外形尺寸; L 为垛型放置边沿和托盘边沿的相对偏差距离。式(1)进一步可表述为:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & x_b & x_h \\ y_1 & y_b & y_h \\ z_1 & z_b & z_h \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l \\ b \\ h \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_x \\ L_y \\ L_z \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: l 为纸箱长度; b 为纸箱宽度; h 为纸箱高度; L_x , L_y , L_z 分别为垛型放置边沿和托盘边沿在 x 轴、 y 轴和 z 轴方向上的相对偏差。

最后,为了确定各次序放置时的姿态,在图4中

的托盘上方示教 4 个点, 即 B_0 , B_{90} , B_{180} 和 B_{N90} , 分表对应了 4 个码放基本姿态, 即相对于抓取位置的姿态, 抓手顺时针转动 0° , 90° , 180° 和逆时针转动 90° 。

根据以上方法, 在图 4 中, 假设该层为第 n 层, 则第 5 次放置的位置计算为 $(0.5l+L_x, -2b+L_y, (n-1)h+L_z)$, 姿态可与 B_{180} 点一致, 对应的程序如下:

```
pTarget.trans.x:=0.5*nBoxL+Lx;
pTarget.trans.y:=-2*nBoxB+Ly;
pTarget.trans.z:=(n-1)*nBoxH+Lz;
pTarget.rot:=pB180.rot;
pTarget.robconf:=pB180.robconf;
```

4.3 确定运动轨迹和过渡点的位置及其姿态

现场示教运动轨迹中过渡点的工作量异常繁重, 特别是复杂垛型, 因此, 码垛系统中的所有过渡点的位置均在用户坐标系内, 相对于放置点进行偏移确认; 所有过渡点的姿态均可以根据抓手和实际的空间位置, 在 4 个码放基本姿态中选择。机器人程序将机器人运动所需要的点, 分为 Home 点(P_0)、抓取点(P_1)、放置点(P_4)和过渡点(P_2 , P_3 , P_5 , P_6)。机器人自 P_0 点运动到 P_1 点, 抓取纸箱, 自 P_1 点经过 P_2 和 P_3 到达 P_4 点, 放置纸箱, 自 P_4 点经过 P_5 和 P_6 点回到 P_0 点, 完成 1 个抓放的动作循环, 见图 4。

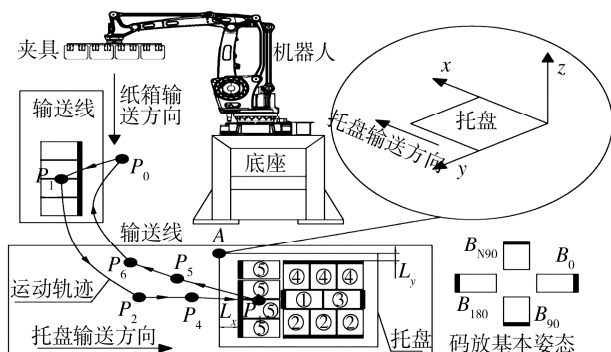


图 4 码垛流程

Fig.4 Diagram of the palletizing flow

4.4 确定垛型数据结构

根据码垛次序, 每种垛型都可以用一种高度为 3 的树型结构表示, 图 2b 对应的码垛树见图 5。该树型结构包含了每层、每次抓取和每次放置的信息, 而机器人码垛过程中, 仅需按照抓取次数查找对应的层数和全部放置次数, 计算放点和所有的过渡点, 确定运动轨迹。笔者将其简化为 2 个线性表, 即抓取数据表和放置数据表, 其存储结构分别采用 RAPID 语言 (ABB 机器人编程语言) 的二维数组和三维数组实现。抓取数据表按照每次抓取的次序来顺序存储抓取数据信息, 第 1 个数据项为抓取产品时夹具的使用情况, 第 2 个数据项和第 3 个数据项是指针域, 指向其

子树, 即放置数据表中第几次放置的数据信息。放置数据表按照每次放置的次序顺序存储放置数据信息, 其每个数据项都是包含 3 个元素的一维数组, 具体含义为: 第 1, 2, 3 个数据项存储着式(1)中的 K 值, 包含着放置点 P_4 的位置信息; 第 4 个数据项的第 1 个元素为放置时的抓手使用情况, 第 2 个元素为放置时抓手的姿态, 第 3 个元素为放置后是否接着放置; 第 5, 6, 7, 8 个数据项为过渡点 P_2 , P_3 , P_5 , P_6 的位置信息, 其中的 3 个元素分别为 x 轴、 y 轴、 z 轴相对于放置点坐标的偏移量; 第 9 个数据项包含了该次放置归属的层数和是否为码垛完成的最后一次放置等信息。

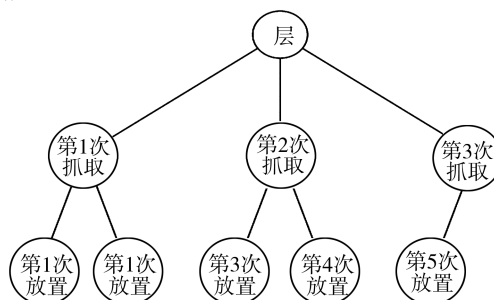


图 5 码垛树

Fig.5 Tree of palletizing

5 结语

该机器人码垛系统采用了一种 1 次抓取多次放置的技术方案和具有分箱单独夹持功能的机器人夹具, 彻底解决了多种垛型和特殊复杂垛型的码垛难题。该系统在中国石油、中国石化、加多宝 (中国) 饮料有限公司和王老吉大健康产业有限公司等多个公司得到了广泛应用, 运行时间长达 3 年以上, 稳定可靠, 大大提高了劳动效率, 码垛速度每小时可达 2000 箱, 产品码放整齐美观, 重复定位精度可达 0.2 mm, 操作简单方便, 可以在 3 min 内完成产品垛型转换。此外, 该码垛系统中提出的垛型数据结构包含了机器人搬运过程中的全部信息, 更改和修改垛型时, 机械结构无需任何更改, 只需在线或者离线修改垛型数据结构即可, 简单方便, 大大提高了现场机器人编程调试效率, 具有一定的推广价值。

参考文献:

- [1] 王田苗, 陶永. 我国工业机器人技术现状与产业化发展战略[J]. 机械工程学报, 2014, 50(9): 1—13.
WANG Tian-miao, TAO Yong. Research Status and Industrialization Development Strategy of Chinese Industrial Robot[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2014, 50(9): 1—13.
- [2] 谭民, 王硕. 机器人技术研究进展[J]. 自动化学报, 2014, 40(1): 1—13.

- 2013, 39(7): 963—972.
- TAN Min, WANG Shuo. Research Progress on Robotics[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2013, 39(7): 963—972.
- [3] 机器人技术与应用编辑部. 我国工业机器人现状与发展[J]. *机器人技术与应用*, 2013, 1(1): 3—5.
- Robot Technology and Application Editorial Department. Status and Development of Industrial Robots[J]. *Robot Technology and Applications*, 2013, 1(1): 3—5.
- [4] 杨传民, 田少龙, 杨锰, 等. 码垛机器人的工作空间分析[J]. *包装工程*, 2014, 35(7): 86—88.
- YANG Chuan-min, TIAN Shao-long, YANG Meng, et al. Workspace Analysis of the Palletizing Robot[J]. *Packaging Engineering*, 2014, 35(7): 86—88.
- [5] 赵杰. 我国工业机器人发展现状与面临的挑战[J]. *航空制造技术*, 2012(12): 26—29.
- ZHAO Jie. Development and Challenge of Chinese Industrial Robot[J]. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 2012(12): 26—29.
- [6] 吴昊, 张艳芳, 郑江花, 等. 基于 PLC 的控制系统在机器人码垛搬运中的应用[J]. *山东科学*, 2011, 24(6): 80—83.
- WU Hao, ZHANG Yan-fang, ZHENG Jiang-hua, et al. Application of a PLC Based Control System in Robot Palletizing[J]. *Shandong Science*, 2011, 24(6): 80—83.
- [7] 付铁, 李金泉, 陈恳, 等. 一种新型高速码垛机械手的设计与实现[J]. *北京理工大学学报*, 2007, 27(1): 17—20.
- FU Tie, LI Jin-quan, CHEN Ken, et al. Novel Design and Implement of a High-speed Palletizing Manipulator[J]. *Transaction of Beijing Institute of Technology*, 2007, 27(1): 17—20.
- [8] 赵伟, 李响, 郭爱华, 等. 工业机器人码垛线的设计[J]. *制造业自动化*, 2011, 33(10): 117—120.
- ZHAO Wei, LI Xiang, GUO Ai-hua, et al. The Design of Industrial Robot Palletizing System[J]. *Manufacturing Automation*, 2011, 33(10): 117—120.
- [9] 李红果, 石卓栋, 古田, 等. 龙门式码垛机防爆控制系统设计与实现[J]. *包装工程*, 2015, 36(7): 53—56.
- LI Hong-guo, SHI Zhuo-dong, GU Tian, et al. Design and Implementation of Explosion-proof Control System for Gantry Palletizing Machine[J]. *Packaging Engineering*, 2015, 36(7): 53—56.
- [10] 叶敏, 邹湘军, 蔡沛锋, 等. 水果采摘机器人通用夹持机构设计[J]. *农业机械学报*, 2011, 42(S1): 177—180.
- YE Min, ZOU Xiang-jun, CAI Pei-feng, et al. Clamping Mechanism of Fruits Harvesting Robot[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2011, 42(S1): 177—180.
- [11] 姬伟, 罗大伟, 李俊乐, 等. 果蔬采摘机器人末端执行器的柔顺抓取力控制[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(9): 19—26.
- JI Wei, LUO Da-wei, LI Jun-le, et al. Compliance Grasp Force Control for End-effector of Fruit-vegetable Picking Robot[J]. *Transactions of the CSAE*, 2014, 30(9): 19—26.
- [12] 陈宝江, 葛田子, 王建治. 一种包装机械手及其控制的研究[J]. *包装工程*, 2014, 35(7): 90—94.
- CHEN Bao-jiang, GE Tian-zi, WANG Jian-zhi. Control Methods and Manipulator Used for Packaging the Foli-form Type Materials[J]. *Packaging Engineering*, 2014, 35(7): 90—94.
- [13] 杨传民, 田少龙, 杨锰, 等. 码垛机器人末端执行器的设计[J]. *包装工程*, 2014, 35(3): 60—63.
- YANG Chuan-min, TIAN Shao-long, YANG Meng, et al. Design of End of Palletizing Robots[J]. *Packaging Engineering*, 2014, 35(3): 60—63.
- [14] 毛剑飞, 邹细勇. 基于面向对象的机器人离线编程和图形仿真系统的研究[J]. *中国机械工程*, 2005, 16(5): 436—438.
- MIAO Jian-fei, ZOU Xi-yong. Object-oriented Off-line Programming and Graphical Simulation System for Robots[J]. *China Mechanical Engineering*, 2005, 16(5): 436—438.
- [15] 宋鹏飞, 和瑞林, 苗金钟, 等. 基于 Solidworks 的工业机器人离线编程系统[J]. *制造业自动化*, 2013, 35(5): 1—4.
- SONG Peng-fei, HE Rui-lin, MIAO Jin-zhong, et al. Offline Programming System Based on Solidworks for Industrial Robot[J]. *Manufacturing Automation*, 2013, 35(5): 1—4.