

一种指甲油自动包装生产线的设计与实现

林利彬^{1a,1b}, 张昱^{1a,1b}, 陆英^{1a,1b}, 杨瑞^{1a,1b}, 褚国忠², 游淞麟²

(1.广东省智能制造研究所 a.广东省现代控制技术重点实验室 b.广东省现代控制与光机电技术公共实验室, 广州 510070; 2.广州市腾田机械实业有限公司, 广州 510070)

摘要: **目的** 为了提高指甲油包装生产线的效率, 降低人工成本, 实现机器替代人工的目标, 应某指甲油生产企业的要求提出一种指甲油自动包装生产线方案, 并研制出实现指甲油自动化包装生产的包装生产线。**方法** 通过分析某指甲油生产企业的指甲油包装生产过程, 采用 SolidWork 软件分别建立空瓶放置、钢珠放入空瓶、指甲油注入、瓶盖放置、拧入瓶盖和成品输出等装置的三维模型, 并对组成各装置的零部件进行图纸设计。利用西门子 S7-200 PLC 控制各机构的 AC 电机和气缸的协调运作, 实现指甲油的自动化包装生产。**结果** 研制出了一种指甲油自动包装生产线, 实现了指甲油的自动化包装生产, 满足了企业要求。**结论** 该指甲油包装生产线解决了指甲油自动化包装的难题, 实现了机器替代人工的目标, 提高了指甲油包装生产效率。

关键词: 三维模型; S7-200 PLC; 指甲油; 包装生产线

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)21-0135-06

Design and Realization of an Automatic Nail Polish Packaging Production Line

LIN Li-bin^{1a,1b}, ZHANG Yu^{1a,1b}, LU Ying^{1a,1b}, YANG Rui^{1a,1b}, CHU Guo-zhong², YOU Song-lin²
(1.Guangdong Institute of Intelligent Manufacturing a.Guangdong Provincial Key Laboratory of Modern Control Technology b.Guangdong Province Modern Control and Photoelectromechanical Technology Public Laboratory, Guangzhou 510070, China; 2.Guangzhou Tengtian Machine Industry Co., Ltd., Guangzhou 510070, China)

ABSTRACT: The work aims to put forward a scheme of automatic nail polish packaging production line at the request of some nail polish production enterprise, and develop the packaging production line for the automatic packaging production of nail polish, in order to improve the efficiency of the nail polish packaging production line, reduce the labor cost and achieve the goal that machine replaces manpower. Through the analysis on the nail polish packaging production process of some nail polish production enterprise, SolidWork software was adopted to respectively establish the 3D models for the empty bottle placing device, device used to place steel ball into empty bottle, nail polish injection device, bottle cap placing device, cap screw-in device and finished product output device, etc., and design the drawings for the parts composed of each device. Siemens S7-200 PLC was used to control the coordination operation of AC motor and cylinder of each mechanism, so as to achieve the automatic packaging production of nail polish. An automatic packaging production line of nail polish was developed, which achieved the automatic packaging production of nail polish and met the enterprise requirements. Such packaging production line of nail polish has solved the difficulty of automatic packaging of nail polish, which achieves the goal that machine replaces manpower and improves the packaging production efficiency of nail polish.

KEY WORDS: three-dimensional models; S7-200 PLC; nail polish; packaging production line

随着近几年出现招工难等问题, 对指甲油生产及包装效率提出了更高的要求^[1]。目前国内大部分指甲

油生产企业的包装生产部分都是依靠人工去完成的, 人工包装效率低, 自动化程度低。针对以上问题, 研

收稿日期: 2017-05-04

基金项目: 广州市科技计划项目 (201504300937557)

作者简介: 林利彬 (1992—), 男, 助理工程师, 广东工业大学硕士生, 主攻机械自动化技术。

通讯作者: 张昱 (1973—), 男, 硕士, 广东省智能制造研究所研究员, 主要研究方向为先进制造领域自动控制技术及理论。

设计出了一种指甲油自动包装生产线,实现指甲油的自动化包装生产^[2]。

1 指甲油自动包装生产线的研究与方案设计

该包装生产线主要由空瓶放置装置、钢珠放入空瓶装置、指甲油注入装置、瓶盖放置装置、拧入瓶盖装置和成品输出装置等组成^[3]。其中,空瓶放置装置主要实现将圆柱形塑料材质的空瓶自动放置到制品载具上的功能。钢珠放入空瓶装置主要是实现将球形钢珠放入空瓶的功能。指甲油注入装置主要是将指甲油注入到已放入钢珠的瓶子里。瓶盖放置装置主要负责将瓶盖放置在已注入指甲油的瓶口上。拧入瓶盖装置主要负责将瓶盖拧入已注入指甲油的瓶口。成品输出装置主要负责将已经包装好的成品夹取输出,为下一个工序做好准备。

2 相关技术参数与包装生产线工作流程

2.1 相关技术参数

企业要求该包装生产线一次能生产一组为 6 瓶并且各瓶指甲油溶液都不一样的指甲油产品,空瓶外形近似为圆柱形。瓶盖前端为毛刷,底部近似为圆柱形的螺纹瓶盖。空瓶有 2 种容量规格,分别为 5 mL 与 10 mL。瓶盖只有一种规格,都适用于上述 2 种容量规格的空瓶。该指甲油包装生产线的产能要求为每小时 600 组即为每小时生产 3600 瓶指甲油^[4]。

2.2 包装生产线的工作流程

指甲油自动包装生产线的工作流程:放置空瓶→放入钢珠→注入指甲油→放置瓶盖→拧入瓶盖→成品输出。

3 包装生产线机械结构设计

该指甲油自动包装生产线共由 7 部分组成^[5],实现指甲油的自动化包装生产功能,满足了企业的生产要求。其总体机械结构见图 1。

3.1 制品载具输送机

制品载具输送机主要是用于输送搭载了空瓶的制品载具。因为该指甲油空瓶外形形状近视为圆柱形,体积小,并由塑料材质制成重量轻,难以定位,加上该空瓶底部半径与其瓶子高度的比例不利于空瓶放置在输送带上输送,输送过程瓶子容易倒下,所以需要制品载具来搭载空瓶。制品载具输送机结构包括 2 个链板式输送机构、22 个制品载具、2 个阻挡机构、2 个推送机构、机架、限位架^[6]。整体的结构见图 2。

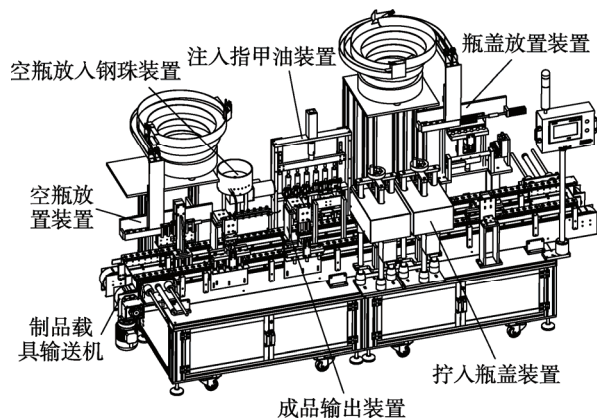


图 1 总体机械结构

Fig.1 Overall mechanical structure

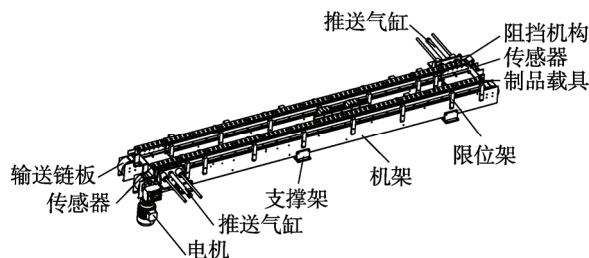


图 2 制品载具输送机

Fig.2 Conveyor of goods carrier

3.2 空瓶放置装置

空瓶放置装置主要由空瓶整列机构与空瓶放置机构组成^[7]。空瓶整列机构在振动盘输送轨道出口上设计一个铁钩。当瓶子底部先经过铁钩时,由于瓶子底部是平面,瓶子会掉下顺利通过。当空瓶瓶口先经过铁钩时,铁钩会勾住瓶口,后面的瓶子在振动盘的作用下往前挤推前面的瓶子,使瓶子自动翻转导致空瓶经过出口时,保持瓶子底部在前、瓶口在后,最终使得空瓶放置时瓶口保持向上,实现空瓶放置方向一致的功能,机构见图 3。空瓶放置机构通过气缸的协调运作,实现了把空瓶自动放置在制品载具上的功能,机构见图 4。

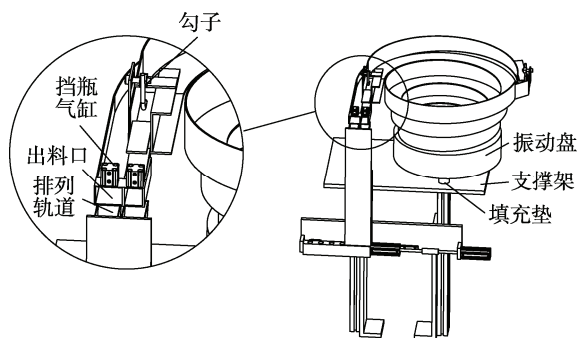


图 3 空瓶整列机构

Fig.3 Aligner mechanism of bottom

3.3 空瓶放入钢珠装置与注入指甲油装置

空瓶放入钢珠装置利用旋转电机带动回转转盘

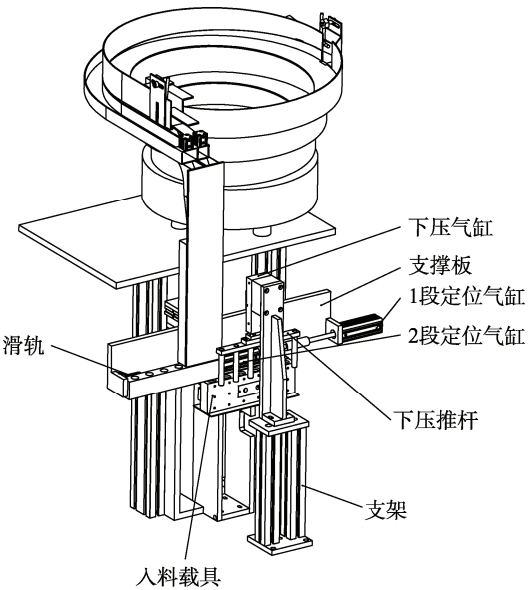


图 4 空瓶放置装置
Fig.4 Empty bottle placing device

转动，利用离心力原理，使钢珠跟随回转转盘进行圆周运动，进而使钢珠进入 6 个钢珠输出口，最终通过控制挡片气缸使钢珠落入到指甲油空瓶中，整体结构见图 5。注入指甲油装置^[8-10]主要包括 6 个三通阀、6 个定量机构和 1 个灌装气缸，整体结构见图 6。注入指甲油装置通过控制气缸动作使横梁向下运动，压缩定量缸的原料，使得原料从出料口流出，实现了定量注入指甲油的功能。因为定量缸是标准的圆柱形状，所以注入容量体积为：

$$V=R^2\times\pi\times H \tag{1}$$

式中： R 为定量缸的半径； H 为横梁向下运动的距离。设定量缸的半径 $R=10\text{ mm}$ ，横梁向下运动的距离 $H=31.83\text{ mm}$ ，注入的指甲油容量 $V\approx 10\text{ mL}$ 。根据上述所知，可以通过调整横梁向下运动的

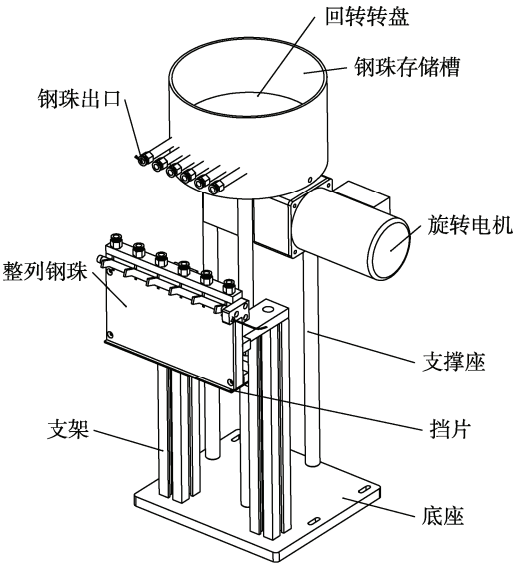


图 5 空瓶放入钢珠装置
Fig.5 Device to put the steel ball into bottle

距离实现对不同容量规格的指甲油定量灌装的功能，所以注入指甲油装置设计了行程调整块实现对横梁向下运动距离的调整来达到要求。

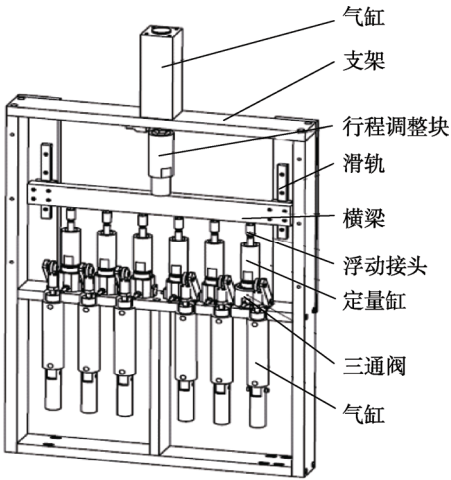


图 6 注入指甲油装置
Fig.6 Nail polish injection device

3.4 瓶盖放置装置

瓶盖放置装置主要由瓶盖整列机构与瓶盖放置机构组成^[11]。瓶盖整列机构在振动盘输送轨道上设计一个一定长度的槽口（长度超过瓶盖后端长度，小于瓶盖总长度），如果瓶盖后端先经槽口时，因为瓶盖后端较重，瓶盖掉落顺利通过。如果瓶盖前端先经过槽口时，瓶盖前端是毛刷比后端螺纹瓶盖轻，由于重力差异的缘故，加上后面的瓶盖在振动盘的作用下往前挤推瓶盖，使瓶盖继续往前输送，待瓶盖后端到达槽口时，瓶盖后端先掉进槽口中，使得瓶盖经过振动盘输送瓶盖装置出口时，达到保持瓶盖后端在前、瓶盖前端在后的效果。机构见图 7。瓶盖放置机构通过气缸的协调运作与翻转机构的动作，最终实现瓶盖前端毛刷伸进瓶子里，瓶盖后端放置在瓶口的功能，机构见图 8。

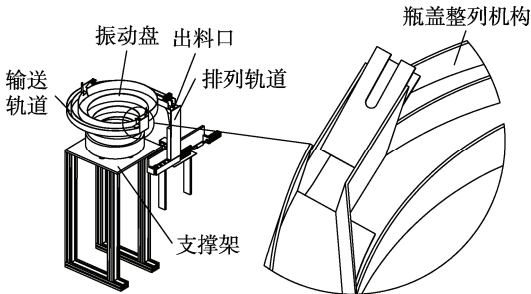


图 7 瓶盖整列机构
Fig.7 Aligner mechanism of bottle caps

3.5 瓶盖拧入装置与成品输出装置

由于旋转拧入机构机械尺寸较大，所以该指甲油包装生产线设计 2 个瓶盖拧入装置实现对 6 个瓶盖拧紧的功能。瓶盖拧入装置主要包括一台 AC 电机、升降

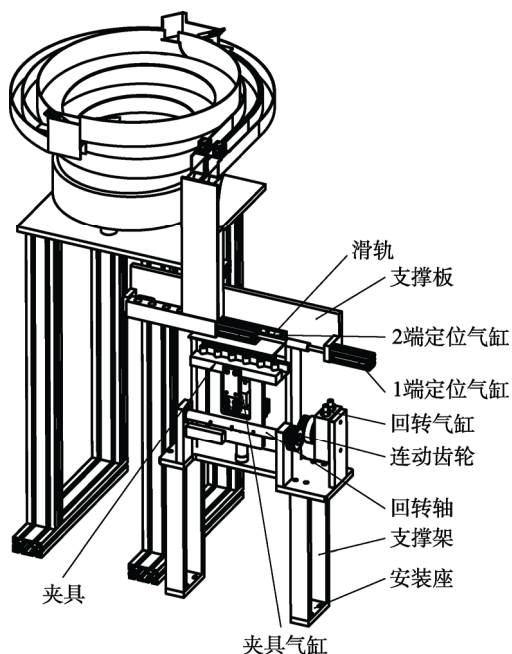


图8 瓶盖放置装置

Fig.8 Placing device of bottle caps

气缸、夹紧气缸、拧紧扭力调整机构和旋转拧入机构^[12]。瓶盖拧入装置先通过升降气缸动作使瓶盖进入旋转拧入机构,然后利用夹紧气缸动作使旋转拧入机构夹紧瓶盖,通过拧紧扭力调整机构可以调整瓶盖拧紧程度,最后AC电机通过皮带带动旋转拧入机构旋转实现瓶盖拧紧的功能,机构见图9。成品输出装置的作用是将已拧入瓶盖的指甲油从制品载具中夹取出来,使制品载具能循环使用,也为下个工序做准备,机构见图10。

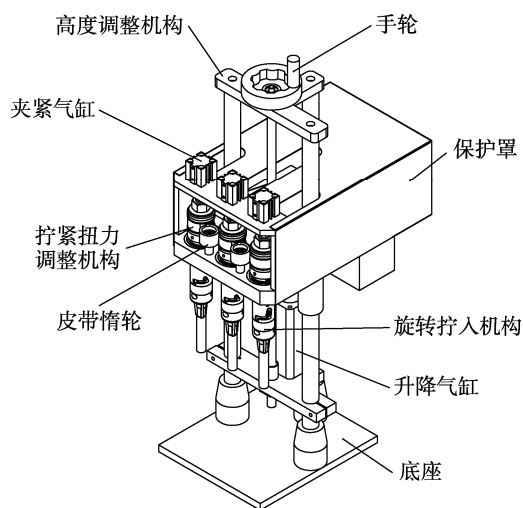


图9 瓶盖拧入装置

Fig.9 Cap screw-in device

4 电气控制系统的设计

该指甲油自动包装生产线主要利用PLC^[13-14]控制。综合控制要求,控制器选用型号为S7-200 CPU226CN的PLC,1个32输入/32输出数字量模块,

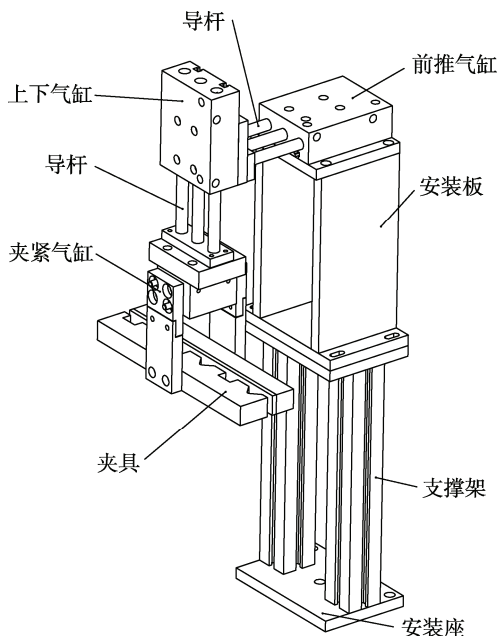


图10 成品输出装置

Fig.10 Finished product output device

1个西门子7寸(1寸=3.33 cm)的SMART LINE触摸屏。该包装生产线的电气控制系统共控制1台750 W变频器、4台200 W的变频器、2个振动盘以及若干个气缸。电气控制系统见图11。

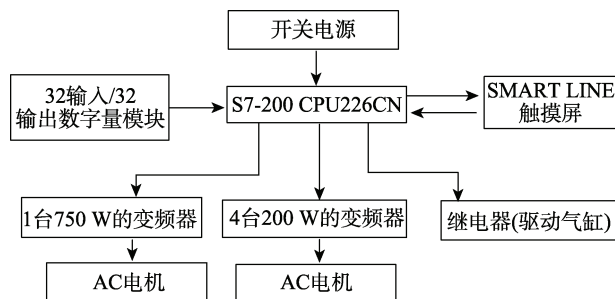


图11 电气控制系统

Fig.11 Electric control system

该包装生产线中的每个气缸都设有2个磁感应传感器,用于判断气缸的状态。当PLC输出控制气缸时,PLC通过读取气缸上的磁感应传感器信号,判断气缸是否动作到位或故障,如果PLC没有检测到气缸到位,该指甲油包装生产线不会继续下一个动作,如果PLC持续一定时间没有检测到气缸到位,表明该气缸出现故障,通过该指甲油包装生产线上的蜂鸣器进行报警及提醒故障,并通过触摸屏显示故障原因。

该包装生产线还设有手动操作模式,操作者可以对该包装生产线的每个执行机构进行手动操作,方便其在自动化的生产运行前调试机器,方便排除故障与保证机器正常运行。该包装生产线还设有紧急停止按钮,当发生故障时能够及时停止机器运作,保证生产安全。

5 软件设计

软件设计主要是涉及 PLC 编程，实现对各种类

型电机控制、各种气缸控制、传感器信号的检测及人机交互界面设计。其主要的程序流程见图 12。

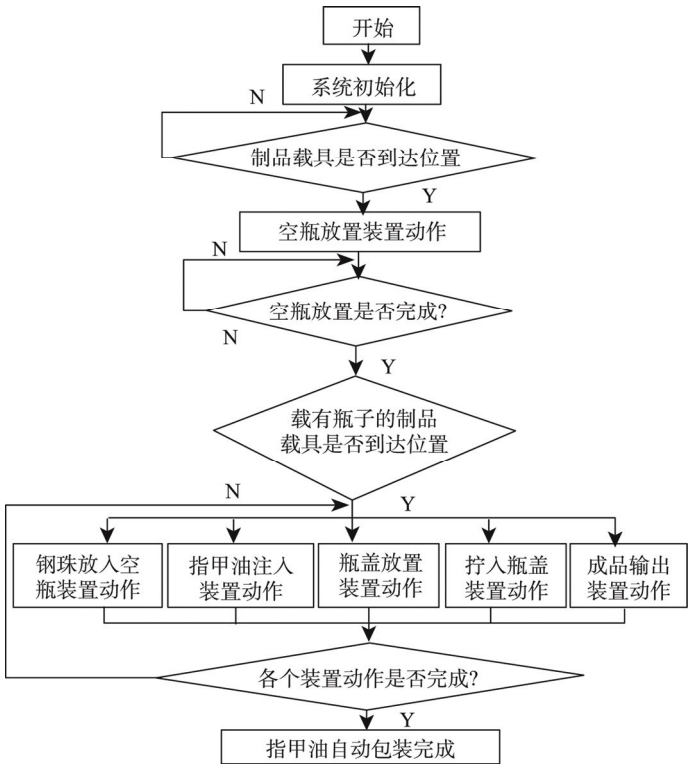


图 12 主程序流程
Fig.12 Main program flow

6 结果

依据上述方案设计和机构图设计,对该指甲油自动包装生产线进行机械组装,首先对各个机构进行测试调试^[15],确保各个机构能够正常运行,然后开启整条包装生产线,试运行 1 h,统计出 1 h 内生产的总量。最后统计出该生产线 1 h 生产了 650 组指甲油产品,一组产品具有 6 瓶指甲油,所以该包装生产线的产能 $M=3900$ 瓶/h。

在指甲油包装生产线正常运行中随机抽查 10 次指甲油的灌装容量,计算出灌装容量的误差 $E=L-1$,目标灌装容量为 10 mL。具体的结果见表 1。可以看

出该指甲油自动包装生产线的灌装容量误差为 0.2 mL。制品载具输送机运行时,产生了较大的噪音,以后工作中可针对该问题进行改进。

7 结语

针对目前人工包装生产的方式,研制出指甲油自动包装生产线。该指甲油包装生产线通过机械结构和以西门子 PLC 为控制核心的电控系统来实现指甲油自动包装生产,整条包装生产线经过实际生产测试,包装生产线运行稳定,各项技术指标基本达到了企业的要求。该包装生产线运行时制品载具输送机会产生较大噪音,以后工作中可针对该问题进行改进。

表 1 产品灌装容量误差结果
Tab.1 The results of product filling capacity error

抽查序号	实际容量/mL	容量误差/mL
1	9.9	0.1
2	9.8	0.2
3	9.9	0.1
4	9.8	0.2
5	9.8	0.2
6	10	0
7	9.9	0.1
8	9.9	0.1
9	9.9	0.1
10	9.8	0.2

参考文献:

[1] 叶旋, 冯友强, 叶韬. 基于 PLC 的柔性的指甲油瓶旋盖生产线[J]. 电子世界, 2016(5): 158—160.
YE Xuan, FENG You-qiang, YE Tao. Flexible Nail Screw Cap Production Line Based on PLC[J]. Electronics World, 2016(5): 158—160.
[2] 李子昀. 基于 PLC 的自动生产线实验平台的研究[D]. 长沙: 中南大学, 2010.
LI Zi-yun. Study on the Experimental Platform of an

- Automatic production Line Based on PLC[D]. Changsha: Central South University, 2010.
- [3] 张萍萍. 基于 PLC 的气动机械手控制系统的设计[D]. 成都: 电子科技大学, 2013.
- ZHANG Ping-ping. The Excogitation for the Control System of the Pneumatic Manipulator Based on PLC[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2013.
- [4] 赵海文, 常庆麒, 郝斌, 等. 基于工业机器人的电梯厅门立式装箱系统的研制[J]. 包装工程, 2017, 38(5): 146—151.
- ZHAO Hai-wen, CHANG Qing-qi, HAO Bin, et al. Research and Development of Vertical Packaging System of Elevator Landing Door Based on Industrial Robot[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(5): 146—151.
- [5] LIU Zhi-hui, LI Meng-qi, CHEN Zhi-gang, et al. The Automatic Packaging Machine Design Based on Re-configurable Theory[C]// International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks, IEEE, 2011: 812—815.
- [6] 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.
- [7] 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, HUANG Xi-huan. Review of Development and Application of Industrial Robot Technology[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015, 32(1): 1—11.
- [8] LALIBERT T, GOSSELIN C M. Simulation and Design of Under Actuated Mechanical Hands[J]. Mechanism and Machine Theory, 1998, 33(1/2). 39—57.
- [9] AL-GALLAF E A. Multi-fingered Robot Hand Optimal Task Force Distribution Neural Inverse Kinematics Approach[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2006, 54(1). 34—51.
- [10] 尹章伟, 毛中彦. 包装机械[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- YIN Zhang-wei, MAO Zhong-yan. Packaging Machinery[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.
- [11] 黄颖为. 包装机械结构与设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- HUANG Yi-wei. Packaging Machinery Structure and Design[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007.
- [12] 程芳, 赵美宁. 自动装箱机机械式抓头机构的设计[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.
- [13] 刘乘, 李晓刚. PLC 在包装机械上的应用[J]. 包装工程, 2004, 25(2): 51—53.
- LIU Cheng, LI Xiao-gang. Application of PLC in Packaging Machine[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(2): 51—53.
- [14] 廖常初. S7-200 PLC 编程及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- LIAO Chang-chu. S7-200 PLC Programming and Applications[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2007.
- [15] 何用辉. 自动化生产线安装与调试[M]. 北京: 机械工业出版社, 2015.
- HE Yong-hui. Automatic Production Line Installation and Debugging[M]. Beijing: China Machine Press, 2015.