

基于多传感器的机器人夹取系统设计

陈东青, 姚超友

(华南理工大学广州学院, 广州 510800)

摘要: 目的 在分拣包装应用中, 实现工业机器人使用指定的压变设置对物体进行夹取作业。方法 设计由 PLC、机械夹手、触摸屏、工业机器人组成的夹取系统。其中采用三菱 FX 系列 PLC 为控制中心, 具有多传感器的机械夹手为末端执行器, 三菱 GS 系列触摸屏为交互界面, 安川工业机器人为运动机构。根据夹取流程, 采用 PLC 分析夹取限位、闭合限位、压力检测、变形检测等传感信息, 并协调各部分运行。结果 系统能够在设定的压变范围内, 实现对适用物体的自动夹取作业, 并且通过触摸屏可便捷查看检测信息及设置参数。结论 该系统能够基于多传感器的检测进行机器人夹取作业, 且参数可调控, 适用于自动化夹取作业。

关键词: PLC; 工业机器人; 多传感器

中图分类号: TP242.2 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)15-0200-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.15.030

Design of Robot Clip System Based on Multi-sensor

CHEN Dong-qing, YAO Chao-you

(Guangzhou College of South China University of Technology, Guangzhou 510800, China)

ABSTRACT: The work aims to clamp the object with the specified pressure change setting in the sorting and packaging of industrial robot. The clip system composed of PLC, mechanical gripper, touch screen and industrial robot was designed. Among them, Mitsubishi FX series PLC was the control center, mechanical gripper with multi-sensors was the end-effector, Mitsubishi GS series touch screen was the interactive interface, and Yaskawa industrial robot was the motion mechanism. According to the clamping process, PLC analyzed the clamp limit, closed limit, pressure detection, deformation detection and other sensing information, and coordinated the operation of each part. The system could realize the automatic clamping operation of the applicable object within the set pressure change range. And the touch screen could be used conveniently to check the detection information and set parameters. The system which is suitable for automatic clamping operation can perform robot clamping operation based on multi-sensor detection, and the parameter is adjustable.

KEY WORDS: PLC; industrial robot; multi-sensor

近年来, 随着机器换人的趋势发展, 工业机器人在分拣包装行业中的应用也日趋广泛^[1-4]。在分拣包装行业中作业对象种类繁多, 不同对象对末端执行

器的要求存在差异。其中夹持类执行器因其结构简单、夹持稳定等特点被广泛使用, 但同时又因夹持力与物体变形的因素而受到制约^[5-6]。为此各机构从夹

收稿日期: 2019-11-18

基金项目: 校级高等教育教学改革项目 (JY191401); 广东省教育厅重点培育学科建设项目 (52-CQ170006)

作者简介: 陈东青 (1986—), 男, 硕士, 华南理工大学广州学院实验师, 主要研究对象为工业自动化技术、工业机器人技术。

具材料^[7]、结构优化^[8]等方面积极探索,使夹持类执行器满足各类应用需求。其中传感技术的应用在机器人智能夹取中起到重要作用,如曹建国^[9]分析电子皮肤触觉传感器在机器人中的应用趋势,张妮妮^[10]采用滑觉传感器进行果蔬的机器人柔性抓取,王学林^[11]采用力传感配合运动控制实现抓持力跟踪阻抗控制等。

在自动化方面,工业机器人作为运动机构,需要与相关智能设备共同组成系统。其中 PLC 与触摸屏因其强大的处理分析能力与人机交互功能被广泛应用于工业机器人自动化项目中^[12-16]。

基于多传感器的机器人夹取系统,目的为在施加必要夹持力的同时,防止物体因受压变形而损坏。通过 PLC 对机械夹手作业过程中的多传感检测,包括基于激光传感的夹取限位、基于接触传感的开闭限位、基于压变传感的压力检测以及基于编码传感的变形检测,由 PLC 分析后协调夹手与工业机器人完成夹取作业,且相关功能可从人机界面进行查看与设置。

1 系统硬件设计

在工业机器人的分拣包装等应用中,针对具有压变要求的夹取物体,机器人搭载夹手至夹取工位,夹手开始动作,当判断接触物体时,进行检测并分析压力与变形,最后根据分析结果执行动作。根据作业要求,设计夹取系统结构见图 1,由 PLC、机械夹手、触摸屏、工业机器人共 4 个部分构成。

PLC 为控制中心,选用三菱 FX-3U 系列 PLC,并采用三菱 FX-2AD 模块进行模拟量检测,控制中心功能为:PLC 通过触摸屏的串口通信实现人机交互功能;机械夹手由 PLC 发送脉冲控制步进电机进行驱动,夹手上装载的传感设备信号反馈至 PLC 进行分析处理;PLC 与工业机器人控制器通过电平信号交互,实现两者的协作运行。

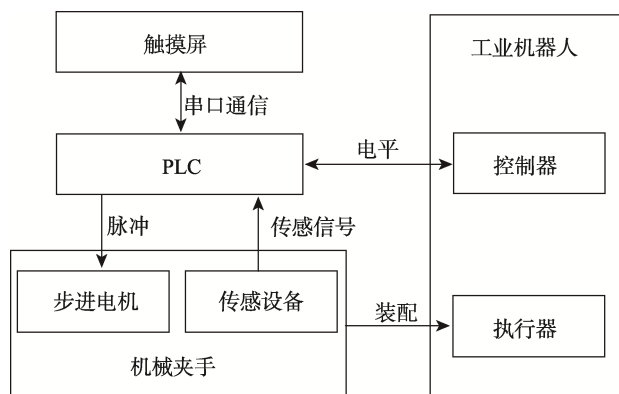


图 1 夹取系统结构
Fig.1 Clip system structure

机械夹手作为末端执行器,包含夹取动作与检测信息 2 项主要功能。同时夹手作为直接作业的机构,

要求夹取对象满足一定适用条件。

夹取动作功能见图 2,机械夹手的运动机构为由步进电机带动的丝杆滑块机构,通过标定步进频率与滑台移动速度的系数,实现对夹手的快速、低速运动控制。

检测信息功能依靠机械夹手上装载的 4 类传感器设备,以实现对其作业过程中各信息的检测。包括以下方面。

1) 基于接触传感的开闭限位。传感器 1, 2 为接触传感器,作用分别为夹手开限位确保夹手处于张开位置,夹手闭限位为检测夹手是否与夹取对象接触。

2) 基于激光传感的夹取限位。传感器 3, 4 为激光传感器,作用为限制对象与夹手的相对位置,使每次夹取的位置统一,以确保压力检测精度。如图 3 所示,传感器 3 为检测物体与夹手侧板的接触位置是否达到预设,传感器 4 为检测物体与夹手的接触高度是否达到预设。

3) 基于压变传感的压力检测。传感器 5 为贴合于侧板的应变片,通过标定应变电压与压力系数,作用为检测夹手侧板对物体施加的压力情况。

4) 基于编码传感的变形检测。传感器 6 为编码器,其脉冲信号接 PLC 的高速计数端子 X0,通过标定编码器脉冲与位移系数,作用为从夹手闭限位传感触发后,检测物体的变形情况。

根据机械夹手的功能设计,夹取物体的适用条件主要包括材质与形状 2 个方面。

1) 物体材质需能够承受一定的压缩变形,以适用基于力传感与编码器的压变检测。

2) 物体形状需满足如图 4 所示条件,要求对象的夹取处、检测处为具有一定面积的平整表面,其他无特殊要求。其中夹取处为接触位置,以确保夹取与力测的稳定性;检测处为传感器 3 的触发区域。激光传感器的工装需根据物体形状调整,以实现基于传感器 3 检测夹手是否于夹取处。

另外,夹取物体的大小、重量与夹手行程、电机负载等相关,通过替换夹手部件,可实现系统功能在一定范围内的通用性。

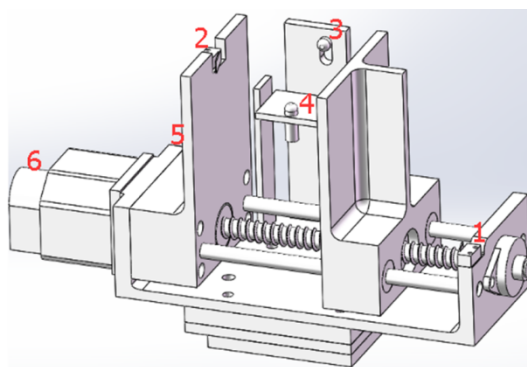


图 2 机械夹手
Fig.2 Mechanical gripper

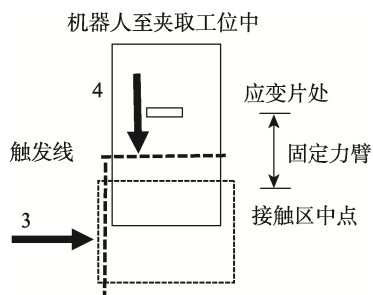


图3 激光传感的夹取限位
Fig.3 Clip limit of laser sensor

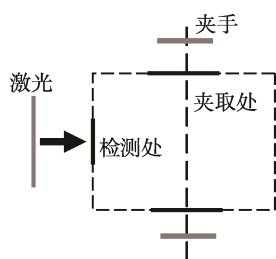


图4 适用条件
Fig.4 Application condition

触摸屏作为人机交互界面,选用三菱GS系列,为系统操作与设置提供便利的窗口。工业机器人作为夹取作业的运动载体,选用安川SV3X本体,控制柜型号为XRC。

各组成部分通过与PLC的电气接线连为一体,IO分配见表1,夹取系统实物调试现场见图5。

表1 PLC的IO分配
Tab.1 IO allocation of PLC

类别	IO	注释
输入端子	X0	编码器脉冲反馈
	X4	机器人待机信号,接机器人OUT1端子
	X5	下移到位信号,接机器人OUT2端子
	X6	放置到位信号,接机器人OUT3端子
	X10	夹手开限位传感
	X11	夹手闭限位传感
	X12	夹取限位传感,判断宽度
	X13	夹取限位传感,判断高度
输出端子	Y0	步进驱动脉冲输出 PUL-
	Y1	步进驱动方向输出 DIR-
	Y4	机器人启动信号,接机器人IN1端子
	Y5	放置信号,接机器人IN2端子
	Y6	待机信号,接机器人IN3端子
	Y7	夹取限位满足信号,接机器人IN4端子
FX-2AD模块	VIN1	压力应变放大器电压输出+
	COM1	压力应变放大器 COM

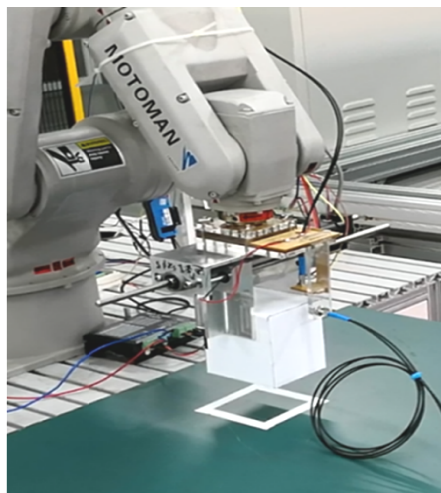


图5 调试现场
Fig.5 Debugging site

2 系统流程设计

2.1 操作流程

在分拣包装等工业机器人应用中,夹取系统的操作流程分为前期准备与自动控制等部分。前期准备为系统面向适用物体进行自动化夹取作业的基础,包括根据物体调整夹手工装,人工获取物体的夹取压力及变形参数并在系统进行设置。自动控制为系统运行后,根据设置要求,对指定物体进行自动化夹取的过程。

2.2 自动控制

机器人夹取系统的自动控制过程为PLC控制系统与工业机器人系统同时运行,两者通过指定的电信号实现交互,达到协同运作的效果。PLC控制流程与工业机器人流程分别见图6和图7。根据夹取作业顺序,可分为待机、夹取、放置3个环节。

待机环节。工业机器人运行后运动至待机位置,并向PLC发送待机信号;PLC系统运行后,检测机器人待机信号是否为ON,若否,则PLC待机;若为ON,则进入夹取环节。

夹取环节。PLC向工业机器人发送夹取请求;工业机器人收到夹取请求信号后,运动至夹取工位,并向PLC发送已至夹取工位信号。PLC收到已至夹取工位信号后,驱动夹具以快速夹紧,并实时检测触碰信号,若夹具与物品接触,闭限位信号置ON,则转为低速夹紧。低速夹紧过程中实时检测压力与变形量,根据触摸屏的设置值判断是否为以下3个情况之一。

1) 小于,即为未至设置值。压力检测未达到设置要求,且变形量在限制范围内,则继续慢速夹紧。

2) 范围内,即为至设置范围。压力检测达到设

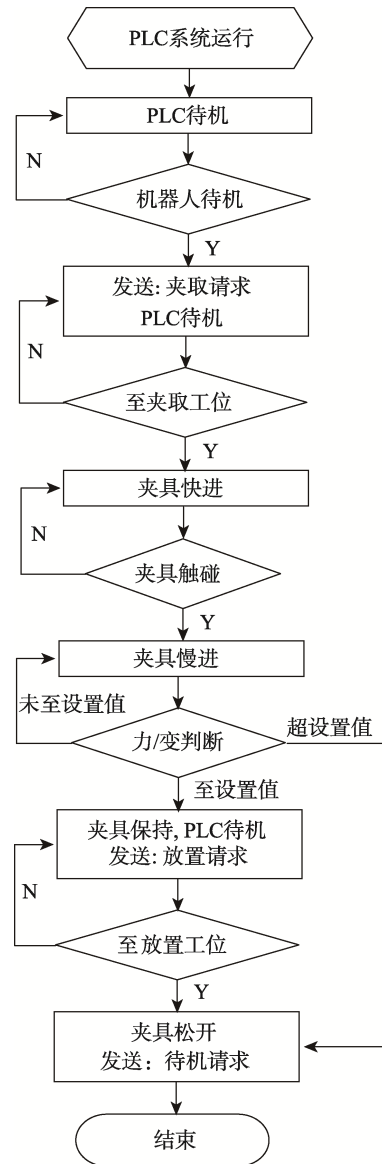


图 6 PLC 流程
Fig.6 Process of PLC

置区内，且变形量在限制范围内，则表示可以提起物品，转入放置环节。

3) 超限，即为超设置值。压力检测或变形量任一超过设置范围，则表示该物品无法提起，松开夹具后转入待机环节。

放置环节。PLC 控制夹具保持，并向机器人发送放置请求；机器人收到放置请求信号后，运动至放置位置，并发送已至放置工位信号。PLC 接收信号后驱动夹具松开，放下物品，并向机器人发送待机信号；机器人接收待机信号后运动至待机位置，依次循环。

3 程序设计

3.1 PLC 与触摸屏

PLC 与触摸屏的程序设计中,触摸屏界面见图 8,

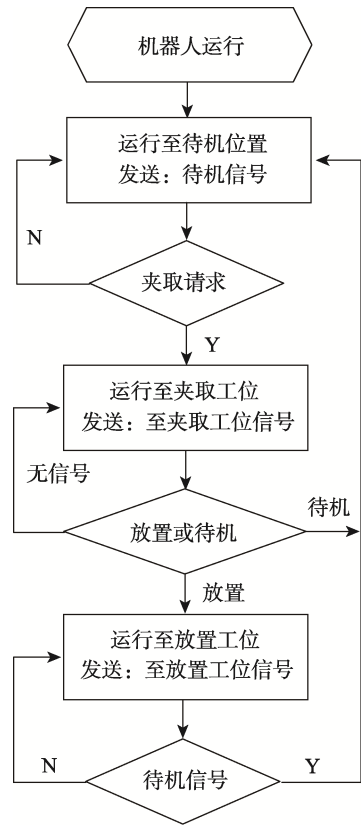


图 7 机器人流程
Fig.7 Process of the robot

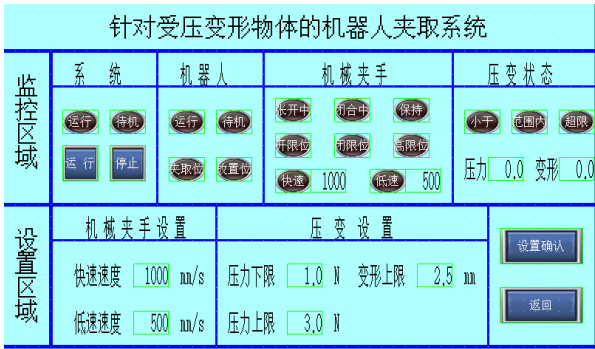


图 8 触摸屏界面
Fig.8 Touch screen interface

部分数据寄存器见表 2。由触摸屏界面可见，夹取系统的人机交互功能包含 2 部分：系统监控功能，包括系统启停控制，监视 PLC、机器人、机械夹手各状态的指示灯，以及当前速度、压力、变形量值；系统设置功能，包括夹手运动的快、低速设置，夹持压力范围的上下限设置，压缩变形的上限设置。各项功能的主要 PLC 指令如下所述。

1) 基于 PLSY 指令的夹手运动控制，通过硬件标定的步进频率与速度系数，将触屏设置速度运算后赋值给 PLSY 指令中的脉冲发送频率寄存器，从而实现夹手的速度控制。

表 2 PLC 的部分数据寄存器
Tab.2 Part of the PLC data register

寄存器	注释
D0	触摸屏快速速度显示
D1	触摸屏低速速度显示
D2D3	触摸屏压力显示
D4D5	触摸屏变形显示
D6	触摸屏快速速度写入
D7	触摸屏低速速度写入
D8D9	触摸屏压力下限写入
D10D11	触摸屏压力上限写入
D12D13	触摸屏变形上限写入
D200	快速速度存储
D201	低速速度存储
D202D203	压力下限存储
D204D205	压力上限存储
D206D207	变形上限存储
D208D209	步进频率与速度系数
D210D211	编码脉冲与位移系数
D212D213	应变电压与压力系数

2) 基于 FROM 指令的压力检测, 通过硬件标定的应变电压与压力系数, 将从 Fx-2AD 通道 1 读取的电压量运算后显示为力值, 并提供给后续比较分析。

3) 基于高速计数器的变形检测, 当夹手闭限位传感器置 ON 时, 开始记录脉冲反馈数, 通过硬件标定的编码脉冲与位移系数运算后显示为物体变形量, 并提供给后续比较分析。

3.2 工业机器人

三菱 PLC 与安川工业机器人之间通过 IO 信号实现交互, 机器人的主程序如下所述, 包含待机、夹取、放置等 3 个部分。主程序的功能为根据输入信号的逻辑跳转及信号输出, 各部分的运动指令通过子程序调用。

```

NOP
*L_STANDBY//待机
DOUT OT#(2) OFF//信号初始化
DOUT OT#(3) OFF//信号初始化
CALL JOB:J_STANDBY//调用待机动作子程序
DOUT OT#(1) ON//进入待机状态
JUMP *L_STANDBY IF IN#(1)=OFF//判断启动
信号
DOUT OT#(1) OFF//取消待机状态
*L_CLAMP//夹取

```

```

CALL JOB:J_CLAMP//调用夹取动作子程序
DOUT OT#(2) ON//至夹取位置
*L_CLAMP2//等待 PLC 执行并选择
JUMP *L_PLACE IF IN#(2)=ON//选择放置
JUMP *L_STANDBY IF IN#(3)=ON//选择待机
WAIT T=0.3//短延时
JUMP *L_CLAMP2
*L_PLACE//放置
DOUT OT#(2) OFF//取消夹取位状态
CALL JOB:J_PLACE//调用放置动作子程序
DOUT OT#(3) ON//至放置位置
*L_PLACE2//等待 PLC 执行并选择
JUMP *L_STANDBY IF IN#(3)=ON//选择待机
WAIT T=0.3//短延时
JUMP *L_PLACE2
END

```

在夹取动作子程序中, 为实现当满足夹取条件时机器人执行后续作业的功能, 采用安川系统的 UNTIL 指令。该指令功能为后续 UNTIL 条件满足时, 停止当前动作并直接执行下一句程序, 因此, 当被夹取物体满足限制条件时, 即位置、高度 2 个限位激光传感器均触发, 由 PLC 将 Y7 置于 ON, 即发送 IN#(4) 信号给机器人。示例程序为:

```
MOVL C00001 V=50.0 PL=0 UNTIL IN#(4)=ON
```

4 结语

系统通过 PLC 对机械夹手上多个传感信息的检测与分析, 包括采用基于激光传感的夹取限位, 以确保检测的重复性; 采用基于接触传感的闭限位, 作为接触起始信号; 采用基于压变传感的压力检测、基于编码传感的变形检测, 实现对夹取物体受力变形情况的实时检测, 以将其控制在设置范围内。整系统由 PLC 协同机械夹手与工业机器人自动运行, 且可由触摸屏进行信息查看及功能设置。系统适用于夹取过程有压变控制要求的物体分拣或包装应用, 实现根据设置要求进行自动夹取作业。

参考文献:

- [1] 李芳芳, 孙乾. 我国工业机器人发展现状的调查分析[J]. 机械传动, 2019, 43(6): 172—176.
LI Fang-fang, SUN Qian. Investigation and Analysis of the Development Status of Industrial Robot of China[J]. Journal of Mechanical Transmission, 2019, 43(6): 172—176.
- [2] 李晓娟, 程智勇. 智能并联机器人在快递行业应用的可行性[J]. 机床与液压, 2018, 46(5): 34—36.
LI Xiao-juan, CHENG Zhi-yong. Feasibility of Application Intelligent Parallel Robots in Express Delivery Industry[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2018, 46(5):

- 34—36.
- [3] 张卫芬, 汤文成. 基于机器视觉的物料自动分拣系统研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2019(6): 34—37.
ZHANG Wei-fen, TANG Wen-cheng. Research of the Material Automatic Sorting System Based on Machine Vision[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2019(6): 34—37.
- [4] 杜恩明, 张仁朝. 基于机器视觉的自动分拣码放系统研究[J]. 包装工程, 2018, 39(15): 194—198.
DU En-ming, ZHANG Ren-chao. Automatic Sorting and Stacking System Based on Machine Vision[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(15): 194—198.
- [5] 罗超, 苏靖惟, 张文增. 共圆滑杆直线平夹自适应机器人手的研制[J]. 机器人, 2019, 41(4): 519—525.
LUO Chao, SU Jing-wei, ZHANG Wen-zeng. Development of a Co-circular Slider Linear-parallel and Self-adaptive Robot Hand[J]. ROBOT, 2019, 41(4): 519—525.
- [6] LUO C, YANG S C, ZHANG W Z, et al. MPJ Hand: A Selfadaptive Underactuated Hand with Flexible Fingers of Multiple Passive Joints[C]// IEEE International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics Piscataway, USA, IEEE, 2016: 184—189.
- [7] 张立军, 赵永瑞, 相恒富. 夹钳式机器人手部材料应用探析[J]. 机床与液压, 2012, 40(22): 8—10.
ZHANG Li-jun, ZHAO Yong-rui, XIANG Heng-fu. Application Research of Clamp Type Robot Hand Material[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2012, 40(22): 8—10.
- [8] 王薪鉴, 郭烈恩, 王官明. 卸砖机执行装置的设计和夹板的结构优化[J]. 机床与液压, 2017, 45(3): 92—95.
WANG Xin-jian, GUO Lie-en, WANG Guan-ming. The Design of Unloading Brick Machine Actuators and Structure Optimization of Plywood[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2017, 45(3): 92—95.
- [9] 曹建国, 周建辉, 缪存孝, 等. 电子皮肤触觉传感器研究进展与发展趋势[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2017, 49(1): 1—13.
CAO Jian-guo, ZHOU Jian-hui, MIAO Cun-xiao, et al. Research Progress and Development Strategy on Tactile Sensors for E-skin[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2017, 49(1): 1—13.
- [10] 张妮妮, 袁路路. 基于滑觉检测的农业机器人果蔬柔性抓取控制研究[J]. 农机化研究, 2017, 39(6): 228—232.
ZHANG Wei-wei, YUAN Lu-lu. Design of the Control System of Fruit and Vegetable Flexible Grasping of Agricultural Robot Based on Slip Detection[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2017, 39(6): 228—232.
- [11] 王学林, 肖永飞, 毕淑慧, 等. 机器人柔性抓取试验平台的设计与抓持力跟踪阻抗控制[J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 58—63.
WANG Xue-lin, XIAO Yong-fei, BI Shu-hui, et al. Design of Test Platform for Robot Flexible Grasping and Grasping Force Tracking Impedance Control[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(1): 58—63.
- [12] 陈锐鸿. 基于 PLC 控制的多工位码垛系统设计与实现[J]. 包装工程, 2018, 39(17): 159—164.
CHEN Rui-hong. Design and Implementation of Multi-station Palletizing System Based on PLC Control[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(17): 159—164.
- [13] 蒋小平, 刘思晗, 叶剑斌, 等. 高压余能回收液力透平试验台开发[J]. 流体机械, 2017, 45(6): 44—48.
JIANG Xiao-ping, LIU Si-han, YE Jian-bin, et al. Development on Test System of Hydraulic Turbine to High Pressure Surplus Energy[J]. Fluid Machinery, 2017, 45(6): 44—48.
- [14] DUN C L. The Application of Intelligent Industrial Robotic Control System Based on PLC in Mechanical Automation[J]. Advanced Materials Research, 2013, 738: 272—275.
- [15] WEI D W, YU J F, TENG H, et al. Application of Economic CNC System Based on PLC and Touch Screen[J]. Advanced Materials Research, 2013, 816/817: 971—975.
- [16] HAN Y L, JIAO Z G, TIAN Y F, et al. Design of Loading Robot Control System Based on PLC[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 441: 792—795.