

姬江涛,贾世通,杜新武,等. 基于 PLC 控制的散烟分拣系统[J]. 江苏农业科学,2016,44(10):424-427.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.10.123

基于 PLC 控制的散烟分拣系统

姬江涛¹,贾世通¹,杜新武¹,贺智涛¹,金鑫¹,刘剑君²

(1. 河南科技大学农业工程学院,河南洛阳 471003; 2. 河南省烟草公司郑州市公司,河南郑州 450001)

摘要:为有效避免散烟收购过程中定级分拣的人为因素,提高烟叶分拣的准确性,设计一套基于 PLC 控制的散烟在线分拣系统。该系统采用输送带机构承载并输送烟叶,真空装置通过气嘴有效吸附烟叶,机械手机构结合位置检测传感器分拣烟叶。以可编程逻辑控制器作为系统的控制核心,研究其控制策略,提出一种多级程序控制方案,并运用仿真软件对控制程序进行模拟仿真运行。对系统的各个执行部件分别进行功能试验,结果表明:检测识别机构响应灵敏,能准确控制电机的启停;真空装置满足要求,气嘴对烟叶的吸附效果良好;机械手带动气嘴和烟叶运行状态良好,分拣系统可满足分拣要求。本研究为散烟检测分级分拣的自动化、数字化领域提供基础。

关键词:散烟;分拣;PLC;控制系统

中图分类号:S226.5

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2016)10-0424-04

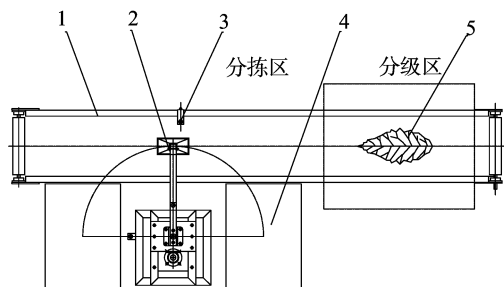
烟草是我国重要的经济作物,在农作物中占有重要的经济地位,不仅是我国重要的出口农产品,而且是我国大部分地区提高农民收入的重要手段^[1]。散烟定级分拣是烟草行业的一项基础性工作,GB 2635—1992《烤烟》规定了 42 级烤烟综合评价标准,按照国标对烤烟烟叶进行准确的定级分拣是提高烟草制品品质的关键因素,同时也是确保广大烟农和工业生产者之间经济利益合理分配的重要依据。

目前,国内外烟草行业均根据烟叶标准样本对烟叶质量进行检验与分拣,再依靠人体感官来判断。依靠评定人员的感官进行定性评定,极易受到客观环境条件、评定人员情绪、评定人员经验的影响,从而出现评级定价不准确的现象^[2]。每年烟叶收购前,全国各烟区主管部门均要举办培训班,并将大量样本发往各收购站,必然造成人力、物力、财力的巨大消耗^[3-4]。传统的烟叶定级分拣方式不仅给国家、烟农、烟叶加工部门造成经济损失,也使后期加工变得繁琐^[5]。

研究现代化的烟叶质量检测技术,运用多种控制理论,开发自动程度较高的烟叶分拣装备,对于裁决烟叶质量纠纷、指导散烟收购定级分拣工作、保护烟农与国家利益均具有非常重要的意义。本研究是“散烟收购自动化分级技术研究及系统开发”项目的一部分,将定级后的烟叶自动分拣至相应烟箱,以区分不同级别烟叶的价值,实现烟叶按质定价,在保护烟农经济利益的同时为后续烟叶加工提供便利。

1 在线分拣系统组成及工作原理

在线分拣系统主要由输送机构、分拣机构、检测机构、烟箱组成。总体结构见图 1。



1—输送机构; 2—分拣机构; 3—检测机构; 4—烟箱; 5—烟叶

图1 在线分拣系统的总体结构

1.1 输送机构

输送机构是整个系统的基础载体,散烟放置在输送带上依次被分级、输送、分拣至各级烟箱,结合人机工程学原理,选取人体适宜的操作高度,确定整个输送机构高度为 0.65 m。烟叶在输送机构上纵向放置,因此输送机构宽度、输送带宽度根据散烟的最大展开宽度确定。测量烟叶样本由河南省宜阳县烟草公司提供,烟叶品种为北方地区大面积种植的 NC89 型烟叶,具有代表性,测量平均宽度为 0.168 m,最大宽度为 0.23 m。考虑余量输送带宽度选用 0.4 m,输送机构宽度为 0.5 m,输送带材质选用烟草茶叶业常用的食品级 PE 输送带。

整个输送机构由调频电机驱动,速度可调,设计的正常工作速度为 0.05 m/s。整个输送机构采用模块化设计,总体长度可根据分拣烟叶的级别和分拣机构的数量调整。

1.2 分拣机构

分拣机构主要由机架、驱动电机、摆臂机构、气嘴、真空泵等部分组成,整体结构见图 2。

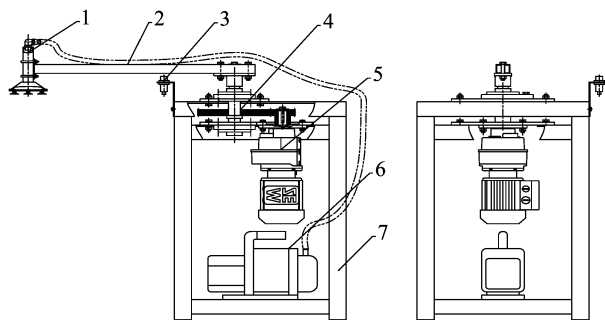
驱动电机采用减速电机,工作时减速电机通过传动机构带动摆臂机构顺时针(逆时针)转动,实现分拣动作。气嘴安装在摆臂末端,气嘴吸气口通过气管与真空泵相连,工作时真空泵保持一定的真空度,当气嘴接近烟叶时气阀开启,气嘴吸起烟叶,此后摆杆转动,转到烟箱位置时气阀关闭,气嘴吸力消失,烟叶落入相应烟箱中。

收稿日期:2015-08-07

基金项目:河南省科技厅产学研项目(编号:142107000053);河南省烟草公司科技计划(编号:201212)。

作者简介:姬江涛(1965—),男,河南偃师人,博士,教授,主要从事智能化农业装备研究。

通信作者:杜新武,博士,副教授。E-mail:du_xinwu@sina.com。



1—气嘴；2—摆臂机构；3—接近开关；4—传动机构；
5—驱动电机；6—真空泵；7—机架

图2 分拣机构图示

驱动电机选用 RF27DR63M4 系列减速电机 (SEW 传动设备公司产品), 电机额定功率 $P_N = 0.18 \text{ kW}$, 额定转速 $n_N = 1400 \text{ r/min}$, 减速比 $i_1 = 69.47$ 。外部减速传动机构采用一级齿轮机构传动, 设计传动比 $i_2 = 3$ 。分拣机构总传动比为:

$$i = i_1 i_2 = 69.47 \times 3 = 208.41; \quad (1)$$

分拣机构最终转速为:

$$n = \frac{n_N}{i} = \frac{1400}{208.41} = 6.72 \text{ r/min}。 \quad (2)$$

摆臂机构设计长度为 0.6 m , 材质选用 304 不锈钢管, 在满足使用强度要求的前提下, 尽量降低机械摆臂机构的质量, 不仅使整个机构更加紧凑和轻巧, 还可降低驱动功率。摆臂机构的力学模型为悬臂梁机构, 摆臂一端的挠度会影响摆臂运动的稳定性, 因此需要对摆臂机构挠度进行校核。初选几种不同尺寸的不锈钢方管或矩形管, 建立力学模型对其挠度进行校核。最终选取规格为 $0.04 \text{ m} \times 0.03 \text{ m} \times 0.002 \text{ m}$ 的不锈钢管。最大挠度校核为:

$$w_B = \frac{Fl^3}{3EI}。 \quad (3)$$

式中: F 为摆臂末端作用力, N , 取 $F = 20 \text{ N}$; l 为摆臂长度, m , 设计长度 $l = 0.6 \text{ m}$; E 为弹性模量, GPa , 资料查询 304 不锈钢 $E = 193 \text{ GPa}$; I 为截面惯性矩, m^4 。

由于采用不锈钢矩形空心管, 可知惯性矩 I 为:

$$I = \frac{BH^3 - bh^3}{12}。 \quad (4)$$

式中: B 为不锈钢管宽度, m , $B = 0.04 \text{ m}$; H 为不锈钢管高度, m , $H = 0.03 \text{ m}$; b 为不锈钢管内孔宽度, m , $b = 0.036 \text{ m}$; h 为不锈钢管内孔高度, m , $h = 0.026 \text{ m}$ 。

代入式(4)中可得:

$$I = \frac{0.04 \times 0.03^3 - 0.036 \times 0.026^3}{12} = 3.727 \times 10^{-8} \text{ m}^4;$$

最终可得摆臂末端最大挠度:

$$w_B = \frac{20 \times 0.6^3}{3 \times 1.93 \times 10^{11} \times 3.727 \times 10^{-8}} = 0.0002 \text{ m}。$$

经分析, 不锈钢尺寸满足使用要求。

真空泵的作用是为吸气嘴提供真空吸力, 工作时通过控制器控制气阀的开来实现气嘴对烟叶的吸起和放下, 因此真空泵的优越性能指标满足分拣要求的前提条件, 真空泵的主要性能指标为极限真空度和吸气量。通过理论计算和实物测试, 要求极限真空度达到 -98 kPa 以上, 吸气量达到 2 L/s 。为保证工作时吸气的平稳性, 还需为真空泵配备 1 个容积为

40 L 的稳压罐 (分拣机构图中未画出)。通过对不同型号真空泵的分析对比, 本研究确定选用飞越牌 FY-2C-N 型真空泵, 额定功率为 0.25 kW , 吸气量为 2 L/s , 极限真空度满足使用要求, 实际真空度还可根据需要进行调节。

1.3 系统工作原理

工作时, 烟叶在输送带的带动下首先经过分级区, 由分级设备采集烟叶外观信息, 并由计算机处理计算分出级别, 然后将级别信号传给分拣系统, 分拣控制系统接到信号后向相应机械手下达工作指令, 机械手控制电路导通。当烟叶运动到检测机构下方时, 检测机构响应, 此时控制系统控制真空泵气阀打开, 气嘴吸起烟叶。此后驱动电机工作, 摆臂机构带动气嘴顺时针或逆时针转动, 当转至烟箱位置上方时, 接近开关响应发出信号, 控制器控制驱动电机停转, 摆臂停止, 同时真空泵气阀关闭, 烟叶落入烟箱。此后摆臂反向转动至初始位置, 等待下一次工作指令。

2 自动识别及分拣控制系统

2.1 烟叶位置检测识别

由于整个系统在线工作, 输送机构带动烟叶一直在运动当中, 为了准确分拣需要对烟叶的位置进行检测。整个检测分为输送带检测和摆臂机构检测 2 个过程, 输送带检测的目的是确定烟叶是否到达分拣位置, 摆臂机构检测的目的是确定烟叶是否到达烟箱位置。

2.1.1 检测传感器 输送带上的检测元件采用光电传感器。目前常用的类型有对射式和反射式光电传感器。对射式光电传感器的发射装置与接受装置是分离的, 工作时, 发射装置与接收装置面对面安装, 当物体从中间通过时, 发射装置发射的光束被遮挡, 此时物体就被传感器检测到^[6-7]。本系统的检测对象为输送带上的单个烟叶, 烟叶呈扁平形状且厚度小, 摊平放置于输送带上无法实现对射检测; 因此, 本系统采用反射式光电传感器, 其发射装置与接受装置是一体的, 自身发射光束, 通过判断反射回来光束信号的强度来检测物体。

通过对比不同型号光电传感器的性能, 本系统确定选用欧姆龙公司生产的 E3F3-R11 2M 型反射式光电传感器。该传感器的参数为: 电源 DC12-24V, 接收光时 ON, 输出方式为 NPN 型, 检测距离可调, 最大 3000 mm , 配置受光、投光一体使用反射板, 放大器内置型, 保护结构 IP66, 使用温度范围 $-25 \sim 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 湿度范围 $45\% \sim 85\%$ 。

摆臂机构的检测元件采用接近开关传感器。接近开关是一种无需与机械运动机构直接接触就可实现控制的位置开关, 当运动机构靠近并到达预定距离时, 接近开关响应, 实现对运动机构的控制^[8-9]。其具有性能稳定、响应速度快、使用寿命长、抗干扰能力强等特点。通过分析不同类型和不同型号的接近开关, 并结合本系统的控制要求, 选用欧姆龙公司的 E2E-X20MD1-Z 2M 型接近开关。其参数为: 电感式直流两线型, 最大检测距离 20 mm , 工作电压 DC12~24V, 头部尺寸 M30, 输出元器件常开, 形状为螺纹型, 便于安装。

2.1.2 传感器检测要求与安装 本系统传感器的检测类型为移动机构的位置检测识别, 属于动态识别, 外界干扰源多, 因此对传感器的响应精度和抗干扰能力要求较高。本研究选用的 2 种传感器, 其自身的响应和回复时间均在 1 ms 以下,

抗干扰能力较强,可满足精度要求。考虑到控制系统的响应时间以及机械机构的运动延迟,为保证检测识别-执行动作的协调性与准确性,要求被检测物料在运动到预定动作位置之前被检测到,等分拣机构开始动作时,物料正好到达合适位置,因此要求光电传感器安装在合适位置(图 3)。

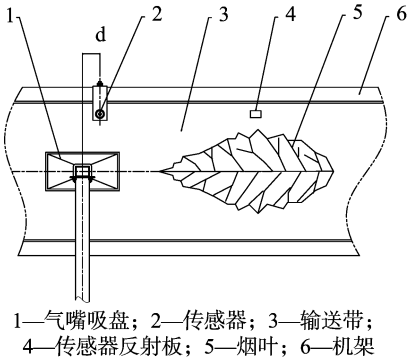


图3 传感器安装位置图示

光电传感器安装在输送机构机架上,考虑动作延迟,相对机械手气嘴吸盘中心偏距 d ,传感器反射板安装在输送带边缘与传感器对齐的位置,烟叶放置在输送带上,中心与传感器反射板对齐。输送带运动速度为 0.05 m/s ,在实验室用气嘴对烟叶进行吸附试验,调整合适的真空度,在距离中心叶片 0.05 m 处进行试验可达到吸附效果,因此取偏距 $d = 0.05\text{ m}$ 。

接近开关传感器工作时,气嘴吸盘已经吸住烟叶,因此安装时不用考虑机械手吸盘的吸附延迟,安装位置不用偏置。

2.2 分拣控制系统

2.2.1 控制器 控制器作为分拣控制系统的核心部件,直接决定着整个控制系统的性能。控制器既要具有准确的控制能力,还要具有高的可靠性^[10]。PLC (programmable logic controller) 是一种专门为工业环境下应用而设计的数字运算操作电子系统,具有可靠性高、抗干扰能力强、功能完善、适用性强、能耗低等优点,已被广泛应用于机械制造、石油化工、冶金钢铁、汽车、轻工业等领域^[11-14]。本研究选用技术成熟、物美价廉的 PLC 作为整个控制系统的控制器。通过对比不同型号 PLC 的性能,本系统采用三菱 FX3SA-30MR/DS 型 PLC。

2.2.2 控制要求与流程 分拣系统接到级别信号后开始工作,当光电开关检测到烟叶时,检测输入端响应,控制器控制驱动电机开启,延时 1.5 s 开始正向转动;同时控制气阀开启,吸附烟叶。当接近开关检测到摆臂机构到达烟箱时,检测输入端响应,控制驱动电机停止转动;同时控制气阀关闭,释放烟叶。驱动电机延时 1.5 s 反向转动;当接近开关检测到摆臂回到初始位置时,检测输入端响应,驱动电机停止,完成 1 个控制循环,等待下一次工作指令。根据系统控制要求绘制控制系统流程图(图 4)。

2.2.3 分拣控制系统的 I/O 分配 可编程控制器的 I/O 分配是编写程序的前提工作,也是现场接线和调试的重要依据^[15]。I/O 配置是 I/O 分配的直观体现,根据分拣控制系统的控制要求,确定 PLC 的 I/O 分配(表 1)。

整个系统涉及 8 个输入信号和 8 个输出信号。本系统采用的控制器为三菱 FX3SA-30MR/DS 型 PLC,共 30 个端口,有 16 个输入端口和 14 个输出端口,IO 点数满足要求并留有

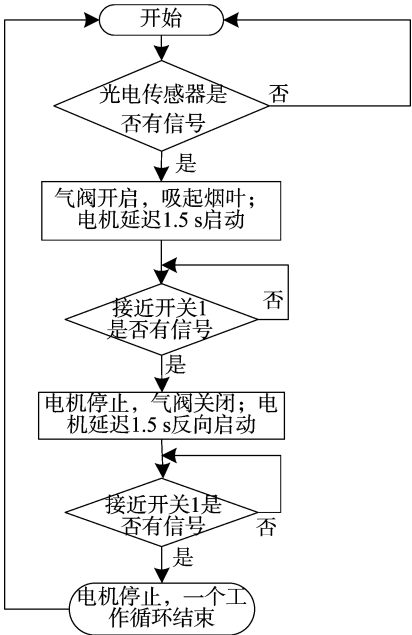


图4 控制流程

表 1 I/O 地址分配

类型	设备	PLC 端子号
输入端	系统总开关 K1	X000
	光电传感器 SB1	X001
	接近开关 SB2	X002
	接近开关 SB3	X003
	手动/自动开关 K2	X004
	手动正转开关 K3	X005
	手动反转开关 K4	X006
	急停开关 K5	X007
	电机正转 KM1	Y000
	电机反转 KM ²	Y001
输出端	气阀开启 KM3	Y002
	正转指示灯	Y003
	反转指示灯	Y004
	故障指示灯	Y005
	手动正转	Y006
	手动反转	Y007

余量;输入信号均为 24 V 直流电信号,与 PLC 信号源电平相匹配,无需电平转换。

3 控制系统模拟仿真及功能试验

控制系统的程序是根据系统的逻辑流程图设计的,本研究采用通用的梯形图语言来实现。本系统采用三菱 FX 系列 PLC,因此使用三菱 GX Developer 编程软件编制程序。程序采用模块化设计,包括主程序和子程序。针对单个机械手而言,1 个机械手负责分拣 2 个级别的烟叶。分拣 A 级别烟叶时,机械手吸取烟叶逆时针转动,将烟叶放入烟箱 A;分拣 B 级别烟叶时,机械手吸取烟叶顺时针转动,将烟叶放入烟箱 B。主程序接到上位机级别信号后,结合位置检测传感器,对机械手的动作进行决策,并确定下一步将要执行的子程序。子程序包括程序 A 和程序 B,分别对应执行机械手的 2 个分拣动作。

控制程序编制完成后,运用三菱 PLC 模拟仿真软件 GX Simulator 6 对控制系统进行模拟仿真。仿真的目的是将编制

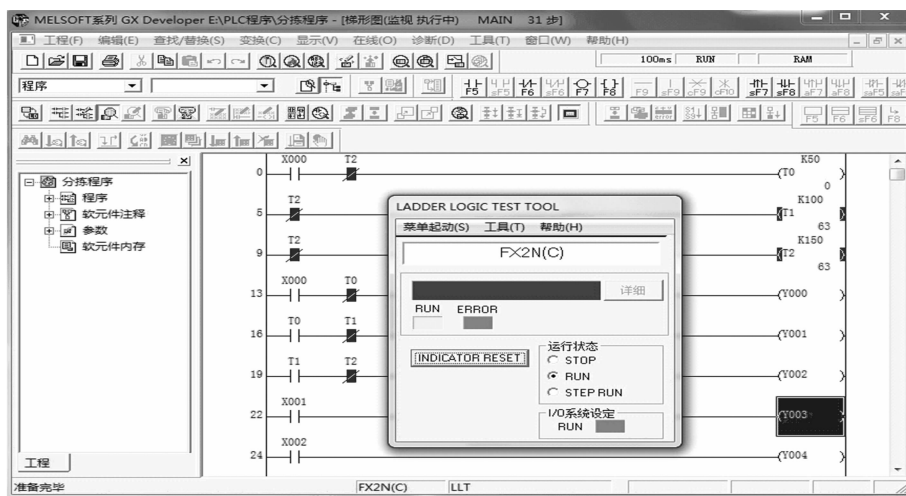


图5 控制程序仿真运行界面

好的控制程序在电脑中虚拟运行,检验程序的通顺性和正确性,验证程序是否按照设计的初衷去执行各种控制功能。

完成对控制程序的仿真运行检验后,还须对设计的各个硬件机构进行功能性试验。(1)检验光电传感器的响应速度,以及响应信号能否控制驱动电机的启动。运用 GX Developer 编程软件编制 1 个简单的控制程序写入 PLC,连接光电传感器和驱动电机各路信号线,用反射板感应光电传感器,观察控制效果。(2)检验接近开关的响应对驱动电机的制动效果。连接各路信号线,感应接近开关,验证接近开关相应灵敏度以及对电机的制动效果。(3)检验气嘴对烟叶的吸附效果。打开真空泵,使稳压罐保持设定压力,控制气阀开启和关闭,检验气嘴在设定真空度下对烟叶的吸附效果。(4)检验机械手转动过程中烟叶是否运行平稳。在机械手运动时,气阀为开启状态,气嘴吸附着烟叶随机械手运动,机械手启动、停止的惯性可能影响烟叶的运动状态。对此过程进行检验,以便进行参数调整,保证分拣效果。

上述各硬件的功能试验证明,本系统可在设计的硬件环境下完成其相应的动作响应,实现对电机、气嘴、气阀等运动机构的动作控制,能够达到对烟叶的分拣目的。

4 结论

设计了散烟在线分拣系统,完成了系统机械机构的设计加工和硬件搭建,并对关键部件进行强度校核;确定烟叶在线实时检测识别方案,选定合适的检测传感器,并实现对烟叶的自动识别。以各种传感器的识别响应信号作为分拣运动机构的驱动信号,控制各运动机构的顺序运行。确定分拣控制系统的控制策略,以 PLC 作为控制系统的控制器,控制程序采用模块化设计,运用多级程序结构思想,编制包括主程序和子程序在内的 2 级控制程序,明确各级程序分工,降低控制程序的复杂性,提高程序的运行速度和工作效率。

运用仿真软件对系统控制程序进行模拟仿真运行,根据运行效果对程序进行进一步完善,提高程序的通顺性和准确性。对系统的各个执行部件分别进行功能试验,结果表明,光电传感器和接近开关相应灵敏,能准确控制电机的启动和停止;真空泵满足要求,气阀开闭灵敏,气嘴对烟叶的吸附效果

良好;机械手带动气嘴和烟叶运行状态良好,满足分拣要求。本研究设计的烟叶在线分拣系统结构合理、控制策略得当,能够实现烟叶的自动分拣组作业。本系统只在实验室条件下进行了初步的功能性试验,由于相关设备和烟叶样品的限制,尚未对整个系统进行大范围试验,这是本研究下一步的工作内容。

参考文献:

- [1] 陈 鹏. 烟草智能化精准分拣控制系统软件的设计与实现[D]. 成都:电子科技大学,2014.
- [2] 曲 欣. 烟叶在线实时光电分拣系统研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2004.
- [3] 孙宝增,李树华,温永波,等. 原烟分拣输送机在烟叶分级扎把中的应用[J]. 内蒙古农业科技,2012(3):69-70.
- [4] 杨志杰,张汉千,邹胜荣,等. 自动化输送系统在烟叶收购工作中的应用研究[J]. 安徽农业科学,2013,41(7):3215-3217,3256.
- [5] 郑志军,张乐年,李世平,等. 基于图像处理的烟叶分拣系统的设计与实现[J]. 计算机测量与控制,2006,14(4):467-469.
- [6] 吴俊敏,张小超,金 鑫,等. 苗盘钵苗自动识别及控制装置的设计与试验[J]. 农业工程学报,2015,31(1):47-52.
- [7] 张旭飞,张 燕,梁 栋. 基于 PLC 的椰子切割机的设计与控制研究[J]. 农机化研究,2012,34(3):199-202.
- [8] 杨传华,方宪法,杨学军,等. 基于 PLC 的蔬菜钵苗移栽机自动输送装置[J]. 农业机械学报,2013,44(增刊1):19-23,18.
- [9] 应义斌,饶秀勤,黄永林,等. 水果高速实时分级机构控制系统[J]. 农业机械学报,2004,35(5):117-121,116.
- [10] 刘巧红,刘广瑞. 基于 PLC 控制的模块化自动分拣系统[J]. 微计算机信息,2010,26(13):67-68,88.
- [11] 颜伊庆,潘丽萍. 基于 PLC 的自动分拣系统[J]. 机电工程,2012,29(11):1286-1289,1317.
- [12] 金美华. 基于 PLC 的滑块自动分拣系统[J]. 制造业自动化,2011,33(22):138-140.
- [13] 胡良龙,胡志超,高刚华,等. 基于 PLC 的种子包衣机自动控制系统设计与实现[J]. 农业工程学报,2007,23(8):140-144.
- [14] 刘 凯,辜 松. PLC 在穴盘苗移栽机器人控制系统中的应用[J]. 农机化研究,2009,31(12):179-180,203.
- [15] 李胜多. 基于 PLC 和组态王的搬运机械手控制系统的设计[J]. 农机化研究,2010,32(11):141-145.