

面向实验教学的PLC物料分拣控制平台改进设计与工程化验证

吴景春 王吴光 陈华铮

无锡城市职业技术学院, 中国·江苏 无锡 214000

摘要: 当前高校的 PLC 物料分拣控制实验装置普遍存在传感器配置单一、控制模式固化、人机交互薄弱及程序结构缺乏模块化等问题, 难以满足工程实践能力培养的需求。针对上述问题, 本文以西门子 S7-1200PLC 为核心, 设计了一套改进型物料分拣控制实验平台。该平台采用“传感器检测-逻辑决策-气动执行-人机监控”的四层架构, 实现四类物料的自动识别与分类。通过 PLCSIM 与 HMI 联合仿真对五种典型工况进行验证, 结果表明系统能够准确完成四类物料的自动分拣、气缸动作时序与传感器信号逻辑吻合, 自动/手动模式切换互锁有效。该改进方案以工业通用器件实现了多属性物料分拣功能, 显著提升了实验平台的综合性与工程贴近度, 可为 PLC 实践教学及小型自动分拣系统的控制程序模块化设计提供参考。

关键词: PLC; 物料分拣; S7-1200

Improved Design and Engineering Validation of a PLC-Controlled Material Sorting Platform for Experimental Teaching

Wu Jingchun, Wang Wuguang, Chen Huazheng

Wuxi City College of Vocational Technology, China Jiangsu Wuxi 214000

Abstract: Currently, PLC-based material sorting control experimental devices in universities commonly suffer from problems such as single sensor configuration, fixed control modes, weak human-machine interaction, and a lack of modularity in program structure, making it difficult to meet the requirements for cultivating engineering practical abilities. To address these issues, this paper designs an improved material sorting control experimental platform with a Siemens S7-1200 PLC as the core controller. The platform adopts a four-layer architecture of "sensor detection - logic decision - pneumatic actuation - human-machine monitoring" to realize automatic identification and classification of four types of materials. Through PLCSIM and HMI co-simulation, five typical operating conditions are verified. The results demonstrate that the system accurately completes the automatic sorting of all four material types, the cylinder actuation timing corresponds correctly to the sensor signal logic, the automatic/manual mode switching interlock functions effectively. This improved solution achieves multi-attribute material sorting using industrial standard components, significantly enhances the comprehensiveness and engineering relevance of the experimental platform, and can serve as a reference for PLC practical teaching and the modular design of control programs for small-scale automatic sorting systems.

Keywords: PLC; Material sorting; S7-1200

0 引言

在工业 4.0 和智能制造时代背景下, PLC 以其高可靠性的系统性能、良好的抗电磁干扰能力和日趋成熟的工业以太网通讯功能, 承担数据采集、预处理以及控制命令下发的职能, 进而提升工业企业的生产效率、改善产品的质量水平。

物料分拣是工业自动化领域典型性的应用案例, 在各高等院校机电一体化、自动控制、电气自动化等相关专业的 PLC 实验教学中使用频率最高。但目前我国大部分高

校的物料分拣实验装置存在功能不完善、与实际工程结合不够紧密等问题。例如, 某高校的电气自动化技术专业的 PLC 课程教学环节中有几套小型物料分拣演示系统, 一般由传送带 +1~2 个传感器 +1~2 个气缸组成, 只能实现简单有/无检测或者单一材质的识别功能。该类实验教学仪器一般存在以下几个方面的问题: 首先, 系统只采用 1~2 种传感器进行识别, 无法让学生掌握多传感器融合决策; 其次, 控制系统只能实现一个控制方式, 学生不能自主完成系统的故障检测、人工操控等工作; 最后, 人机交互薄

弱,不能直观显示系统的工作状况,不利于学生建立控制系统总体概念。第三,控制程序没有进行模块化设计,不能帮助学生形成工业控制中模块化编程的思路。相关研究亦指出,高校现有 PLC 实验设备普遍功能简单、综合性不足,难以满足学生对系统集成能力培养的教学需求。

针对以上问题,本研究旨在为 PLC 控制类课程的实验教学提供一套更具综合性且与工程实践贴近的实践平台,也为同类小型自动分拣设备的控制方案设计提供参考。

1 系统总体方案设计

1.1 改进目标与功能需求

本改进方案面向高校 PLC 控制类课程的实验教学中的小型物料分拣装置。升级后的料件分拣实验台应达到的效果为:能够对金属铁、金属铝、红色塑料和其他共计 4 种材料进行自动识别及分选;具有自动工作方式以及手动调试方式两种控制方式,并可在手动方式下利用人机界面单独操控各气缸以方便机器的故障维修以及调试;配置触摸屏实现启停按钮、模式转换、分拣计数器显示、计数器清零、报警指示等功能;一件物料从检测到分拣结束全过程的时间不超过 10s;设计气缸动作超时报警和急停功能,避免因机械卡滞导致的设备损伤。

1.2 系统架构

系统设计成分级控制系统,其工作过程可简单描述为三部分:传送带上的一系列物品逐一进入各传感区,传感器采集被测物的物理特性和颜色特征并转化为二值化的数字信号,信号实时传送给控制器的输入端口;控制器依据一定的逻辑对这些信号进行处理分析,给相应的分拣气缸电磁控制阀下达执行指令;气缸迅速弹出,将物料推向对应收集料箱内,然后气缸自行回缩,等待下一次工作周期的到来。控制系统组成原理框图见图 1。

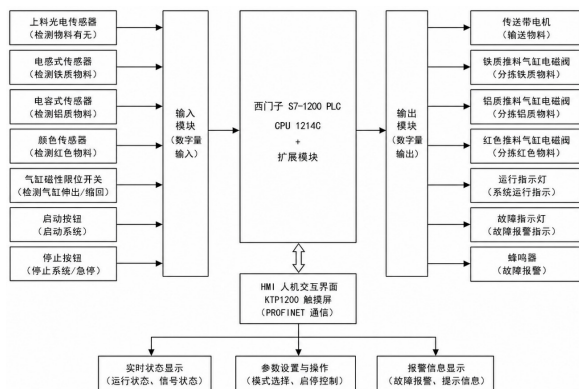


图1 系统框图

1.3 工作流程

物料分拣按照以下工作流程执行,如图 2 所示。

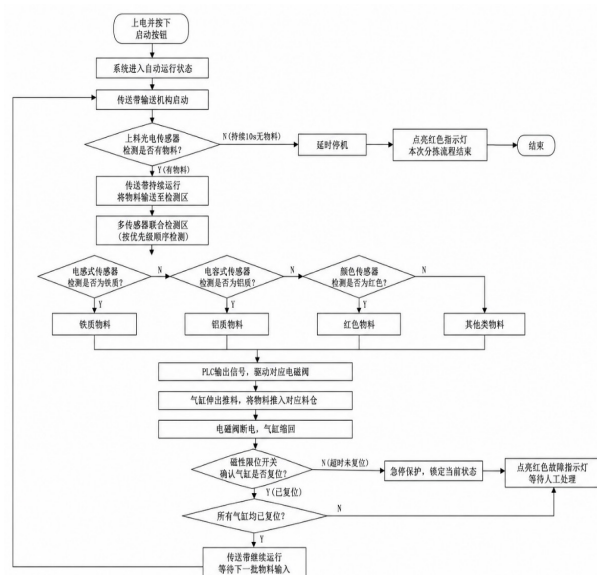


图2 工作流程图

上料光电感应器探测到物料后,控制器启动输送带驱动装置,输送带以 0.2 米 / 秒的恒定速率运行。物料进入识别区域后进行分级判断:电感式感应器首先进行检测,若触发则判定为铁质材料,后续该感应器不再参与该物料的识别流程;若电感未触发,物料继续移动至电容式感应器,触发则判定为铝质材料;若前两种均未触发,色彩感应器检测是否为红色,若符合则判定为红色塑料材质;三类均未能识别的物料统一归为其他类别。物料根据其分类运行至对应分选工位时,控制器输出指令驱动相应气缸电磁阀,推杆伸出将物料拨入收集装置。当完成一个动作后气缸会退回,并将行程开关信号反馈给控制模块进行复位确认;如果没有新的工件进入供料感应器,十秒后输送机停止工作,完成一个循环。

2 硬件改进设计与选型

2.1 PLC 选型

物料以 0.2 米 / 秒的速度运行,从感应器检测到物料抵达分选位置的时间间隔较短,需要控制器的位处理指令响应时间达到微秒量级;系统总共需要 11 路数字输入信号和 7 路数字输出信号;考虑到后续可能增加检测工位或执行机构,控制器应当保留扩展接口;人机界面通信要求控制器支持工业以太网通信协议。

基于上述分析,选用西门子 CPU 1214C DC/DC/DC(6ES7 214-1AG40-0XB0)为主 PLC 控制器,该 PLC 具备了 14 路数字量输入和 10 路数字量输出,满足本系统的 I/O 点需求;PLC 的晶体管输出模块的输出扫描周期在 100 μ s 左右,比使用继电器输出快得多,可以更好地满足电磁阀快开快关控制所需的响应时间的要求;200KB

的程序容量可容纳所有的控制程序；而且此款 PLC 支持 PROFINET 工业以太网协议，可以直接与上位触摸屏通讯。

2.2 传感器配置改进

考虑到传统设备上一般仅配置 1~2 个传感器，只能实现“有/无”“金属/非金属”的简单判别，改进后的新一代配置了包括 4 类共 5 种传感器在内的多个传感器组成检测链，完成多种特性指标的判别。这 4 类传感器都是目前在工农业中较为常见的普通型传感器，各传感器类型及规格见表 1 所示。而且各个传感器输出电平信号都与 S7-1200 PLC 的输入电路匹配。

表1 传感器型号及参数表

传感器 型号	型号	检测对象	检测 距离
光电传感器（上料）	E3F-DS10C4	物料有无	0-10cm
光电传感器（末端）	E3F-DS10C4	剩余物料	0-10cm
电感传感器	IJ12A3-4-Z/BX	铁质物料	4mm
电容传感器	CJM12-4N	铝质物料	4mm
颜色传感器	TCS3200	红色物料	0-5cm

2.3 执行机构选型

运输皮带的拖动电机为 YS7124 型三相异步电动机，该类型电机具有较大的裕量，可满足全负载起动及正常连续运行的要求；气缸选用了 QSC80×200 双作用单活塞杆式气缸，在气动装置中，相对弹簧复位方式的单作用气缸来说，不需要弹簧复位过程，执行动作更快捷。对应的电磁阀选用了 4V210-08 型二位五通单电控阀，此类型电磁阀的动作规律完全适合本系统所要求的“脉冲触发驱动气缸伸出一断电后阀芯复位带动气缸缩回”的控制方式。PLC 的 I/O 地址见表 2。

表2 I/O地址分配表

输入信号		输出信号	
PLC 元件	作用说明	PLC 元件	作用说明
I0.0	启动按钮	Q0.0	传送带电机接触器
I0.1	停止按钮	Q0.1	气缸电磁阀1（铁质）
I0.2	上料传感器（光电）	Q0.2	气缸电磁阀2（铝质）
I0.3	电感传感器（铁质检测）	Q0.3	气缸电磁阀3（红色）
I0.4	电容传感器（铝质检测）	Q0.4	气缸电磁阀4（其他）
I0.5	颜色传感器（红色检测）	Q0.5	红色指示灯
I0.6	末端光电传感器	Q0.6	绿色指示灯
I0.7	气缸1限位开关（铁质）		
I1.0	气缸2限位开关（铝质）		

2.4 电气系统设计

整个 PLC 电气接线原理图见图 3。

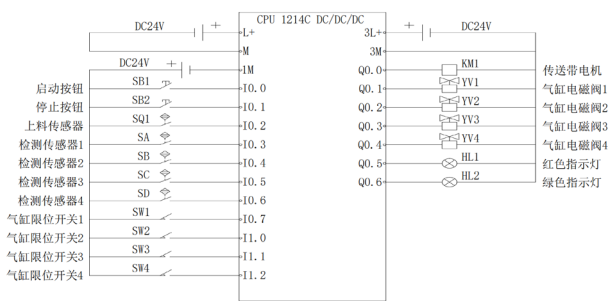


图3 PLC外部接线图

主电路给三相异步电动机供给电源并实现过载和短路保护；PLC 外部接线采用了源输入方式，所有开关量输入的公共端接到 +24V 上，当 NPN 型传感器带一个低电平时，则相应的 PLC 输入端为活动状态。为了保护 PLC 的输出晶体管不被烧坏，在所有的感性负载（例如电磁阀线圈）两端都加有续流二极管来吸收负载断电一瞬间产生的反方向感应电动势。

3 软件设计与模块化实现

3.1 程序架构

在软件编程方面，在 TIA Portal V17 工程软件平台上采用梯形图语言编写模块化控制程序，并将各部分功能（系统启停控制；三级传感器互锁识别；自动/手动双模式切换；物料计数统计及延时停机）编制成不同的程序段，使得程序层次清晰明了，具有较好的可读性和可维护性。其中，为确保系统能正确识别四种不同类型物料而专门设置的“电感检测先于电容检测、电容检测又先于颜色检测”的分层互锁判断逻辑，体现了工业控制中基于多传感器的信息融合来进行决策的思想。

3.2 核心控制逻辑

物料分拣核心控制程序分为三层判断：当感应式接近开关 SA（I0.3）的输入信号经 20ms 延时常开触点闭合，则定时器 T1 开始计时，在其常开触点闭合瞬间通电继电器 YV1 控制金属铁皮分选气缸；对于铝块来说，只有电容式接近开关 SB（I0.4）的输入信号有效且感应式接近开关的输入信号无效，这样就不会再次进行分选，接下来是 T2 的启动及 YV2 的输出，红色物判断的条件是当颜色传感器 SC（I0.5）有效，而电感和电容传感器都没有信号，则启动 T3 并输出 YV3。其余类别物料的识别条件为前述三种传感器均未动作且末端光电传感器 SD（I0.6）检测到物料存在，系统将直接输出 YV4。这种分级互锁的设计结构是实现四类物料准确对应分拣的核心保障。

3.3 双模控制实现

在功能扩展方面，系统实现了自动/手动双模控制的

切换，手动模式为设备调试与故障排查提供了操作入口。在由自动模式转换为手动模式时，需经过互锁程序方可进行，在此过程中先判断皮带是否处于运行状态，若处于运行状态则待已经进入流程的物料全部出完后才可进行转换操作，若不在运行状态下直接转换即可。“手动出料”灯变为绿灯，当“自动出料”指示灯变为红光后，并再次确定所有气缸均复位并传送带上无物料的情况下，“允许手动出料”指示灯点亮，则手动操作按钮有效，按下对应物料按钮则 PLC 控制对应的电磁阀进行动作；而在自动工作方式下，因程序中存在互锁功能（即手动标志位等于零且传送带运行标志位等于一），此时手动出料按钮失效，即两种方式互不影响。

3.4 HMI 界面设计

HMI 主界面如图 4 所示，包含有操作按钮栏，包括启动、停止、自动放料、手动放料按钮。HMI 触摸屏集中管理启停、模式选择、计数显示与清零等操作，改变了传统实验设备“运行状态不可视、操作过程不可控”的不足。

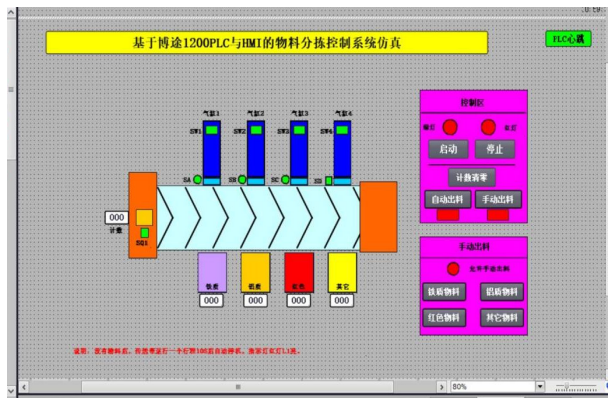


图4 HMI画面

按钮显示状态根据工作方式不同而有所变化；手动放料栏放置不同物料的选择按钮，当处于手动工况时才有效；指示灯以不同的颜色及闪烁频率表示不同的实时状态信息；在数据显示区中显示当前正在分类的四种物料的数量，用一个数字框来表示，并将每一个按钮都与 PLC 变量关联起来，画面刷新时间为 100ms。

4 系统仿真与验证

4.1 仿真环境搭建

打开 TIA Portal 中 PLCSIM，将 PLC 下载到 CPU 并转为 RUN 模式后，再对 HMI 进行仿真；用鼠标点击 HMI 的按钮，观察指示灯以及计数器值变化情况，确认 PLC 是否做出了正确的反应。

4.2 功能验证

功能验证包括自动模式验证、手动模式验证、计数清

零验证、延时停机验证。

例如铁质物料自动识别系统验证过程如下：将物料置于上位检出传感器的有效范围内后，输送机便开始工作；物料到达电感式接近开关处，并经 20ms 防抖动处理后，PLC 将置位定时器 T1（设检出点至气缸有效作用距离 $L=0.4\text{m}$ ，输运速率 $v=0.2\text{m/s}$ ，则所以 $T1=2\text{s}$ ）。在定时完成后，由 Q0.1 控制电磁阀 YV1 动作，带动气缸将物料推出；延时 0.3s 后 Q0.1 复位，气缸缩回，在位置开关 SW1 检测出气缸已回到原位后发出信号，铁质物料计数器加 1。在人机界面上相应数字变化。同理可得铝质物料、红色物料及其他类别的检测及分拣过程。主要区别为所触发的传感器种类及对应的时间间隔设置，仿真调试如图 5 所示。

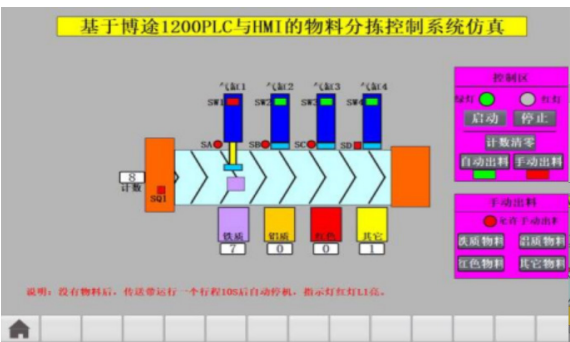


图5 仿真调试

4.3 改进效果对比

改进前后实验平台在五个维度上的差异列于表 3。

表3 改进前后实验平台功能对比

对比维度	改进前	改进后
传感器配置	1—2种（光电/电感单一）	5种（光电+电感+电容+颜色）
可识别物料类别	1—2类	4类（铁质、铝质、红色、其他）
控制模式	仅自动运行	自动/手动双模，带互锁切换
人机交互	无或仅有基本指示灯	触摸屏集中监控与操作
程序结构	整体式硬编码	模块化封装，可复用可调整
故障处理	无	气缸超时报警、急停、限位反馈

检测元件数量由原来的 1~2 个增至 5 个；被测物品种类由 1~2 种增至 4 种；控制方式由原来单纯的自动化变成具有自动 / 手动两种操作模式并增设了互锁保护装置；人机界面由原来无显示或仅用一些简单的指示灯变为集中的触摸屏进行统一监控及设置。将原本一个完整的程序转化为多个功能独立的程序，并进行了模拟调试，在调试中证明每个功能都是正确的，达到了预期的效果。

5 结语

本文以高校 PLC 实验教学中普遍使用的小型物料分拣装置为对象，针对目前存在的问题，基于西门子 S7-

1200 可编程控制器搭建了新型物料分拣控制试验台,并运用电磁感应传感器、电容传感器以及光电颜色传感器三种传感方式组合而成的三阶段检测系统来完成对铁块、铝块、红色物料和其他物料四种不同材质及形状的物料进行分类。软件方面,在 TIA Portal V17 开发平台上编制模块化梯形图控制程序并设置人机界面触摸屏对整个系统的运行状况进行监测。

通过系统仿真验证了该改进方案以工业通用器件实现了多属性物料的分拣控制,提升了实验平台的综合性与工程贴切度,可为同类 PLC 实践教学装置的升级改造提供参考。

参考文献:

[1] 陈毓莉,庞水全,郑志军. 基于 PLC 与触摸屏的物料分拣教学实验台设计[J]. 实验技术与管理, 2017, 34(10).

[2] 林隆荣,彭文竹. 物料分拣实验系统的研究与开发[J]. 曲靖师范学院学报, 2018, 37(3).

[3] 李叶铭,林勇,远飞. 基于西门子 PLC 的自动分拣控制程序设计[J]. 湖南邮电职业技术学院学报, 2023, 22(4).

[4] 尚东东,孟春志,张玉艳等. 基于 TIA Portal 的智能分拣仓储控制系统的设计与仿真[J]. 沈阳工程学院学报(自然科学版), 2023, 19(4).

基金项目:江苏省高等教育教改研究课题,编号:2025JGYB702。

作者简介:吴景春(1988.04-),女,江苏盐城,硕士,讲师,无锡城市职业技术学院,研究方向:主要从事机电一体化技术、电气自动化技术、机器人系统集成的应用与研究。