

摘要

近年来快递业务量持续增长，末端配送压力不断增大，智能快递柜成为解决"最后一公里"难题的重要设施。本设计以 PLC 为核心控制器，配合触摸屏人机界面，构建了一套智能快递柜控制系统。系统实现身份核验、柜门精准控制、存取件状态监测、故障检测与报警、状态反馈与记录等功能。硬件采用 8 格口设计，每格口配备电磁锁、门状态传感器和物品检测传感器；软件采用梯形图编程，完成存件自动分配柜门、取件身份验证、管理员手动开门及开门超时报警等逻辑。HMI 界面包含模式控制、柜门状态显示、身份核验反馈、故障报警和操作记录等模块。通过 PLC 与 HMI 联合仿真，验证了系统功能的正确性和稳定性，满足工程应用需求。

关键词：PLC；智能快递柜；身份核验；柜门控制；HMI 触摸屏

Abstract

In recent years, express delivery volume has continued to grow, and the pressure of last-mile delivery has increased. Intelligent express cabinet has become an important facility to solve the last-mile delivery problem. This design takes PLC as the core controller and touch screen as human-machine interface to build an intelligent express cabinet control system. The system realizes identity verification, precise cabinet door control, storage and retrieval status monitoring, fault detection and alarm, and status feedback and recording. The hardware adopts 8 compartments, each equipped with electromagnetic lock, door status sensor and item detection sensor. The software adopts ladder diagram programming to realize automatic cabinet allocation in storage mode, identity verification in retrieval mode, manual door opening by administrator and door opening timeout alarm. The HMI interface includes mode control, cabinet door status display, identity verification feedback, fault alarm and operation record modules. Through joint simulation of PLC and HMI, the correctness and stability of system functions are verified, meeting the requirements of engineering application.

Keywords: PLC; Intelligent Express Cabinet; Identity Verification; Cabinet Door Control; HMI Touch Screen

目录

摘要	1
Abstract	2
第 1 章 绪论	5
1.1 研究背景与意义	5
1.2 国内外研究现状	6
1.2.1 国内研究现状	6
1.2.2 国外研究现状	6
1.2.3 研究现状总结	7
1.3 研究目标与内容	7
1.3.1 研究目标	7
1.3.2 研究内容	7
1.4 研究方法与技术路线	8
1.4.1 研究方法	8
1.4.2 技术路线	8
第 2 章 PLC 概述	10
2.1 PLC 的定义	10
2.2 PLC 的工作原理	10
2.3 PLC 的发展前景	12
2.4 PLC 选型依据	13
第 3 章 第三章 控制系统硬件设计	14
3.1 PLC 运行指令	14
3.2 PLC 硬件总体框图	14
3.3 PLC 系统主控电路和输入输出电气接线图	15
3.4 3.4 IO 接口分配图和物料表	16
3.5 物料选型与型号说明	18
3.5.1 PLC 控制器	18
3.5.2 触摸屏人机界面	19
3.5.3 开关电源	20

3.5.4 电磁锁	21
3.5.5 门状态传感器	21
3.5.6 物品检测传感器	22
3.5.7 其他辅助器件	23
3.5.8 选型清单	24
3.6 通信与网络配置	25
第 4 章 快递柜控制系统功能模块	26
4.1 身份核验系统	28
4.2 柜门精准控制系统	33
4.3 存取件状态监测系统	40
4.4 故障检测与报警系统	44
4.5 状态反馈与记录系统	49
4.6 系统工作模式切换逻辑	50
第 5 章 第五章 HMI 触摸屏仿真	51
5.1 触摸屏产生背景及定义	51
5.2 西门子 TP1200 触摸屏	51
5.3 HMI 身份核验系统仿真	52
5.4 HMI 柜门状态显示系统仿真	53
5.5 HMI 故障报警系统仿真	54
5.6 HMI 操作记录显示系统仿真	54
5.7 仿真测试与验证	54
第 6 章 总结与展望	57
6.1 总结	57
6.2 展望	57
致谢	59
参考文献	60

第 1 章 绪论

1.1 研究背景与意义

近年来，我国电子商务蓬勃发展，快递业务量连续多年位居世界第一。国家邮政局数据显示，全国快递业务量已突破千亿件大关，2024 年快递业务量超过 1400 亿件，日均处理量超过 3.8 亿件，末端配送压力持续增大。传统的“门对门”配送模式受收件人时间、地点等因素制约，配送员往往需要多次上门才能完成投递，配送效率低、人力成本高，成为制约快递行业发展的瓶颈。据行业统计，末端配送成本约占快递总成本的 30% 以上，且随着人力成本上升呈逐年增长态势。智能快递柜作为一种 24 小时自助存取设施，能够有效解决“最后一公里”配送难题，实现快递件的安全暂存与灵活取件，用户可根据自身时间安排随时取件，快递员可一次性投放多件包裹，显著提升配送效率、降低运营成本，深受消费者和快递企业的青睐。截至 2024 年，全国智能快递柜数量已超过 40 万组，格口总数超过 4000 万个，覆盖社区、写字楼、高校、医院等各类场景。

智能快递柜控制系统的核心在于实现用户身份核验、目标柜门精准解锁、存取件操作引导、门锁闭合检测以及状态反馈与记录等完整工作流程。系统需具备高可靠性，确保在无人值守环境下长期稳定运行；需具备良好的可维护性，便于故障诊断与快速修复；还需具备一定的扩展能力，以适应不同规格格口数量、不同身份核验方式的定制需求。传统的继电器-接触器控制方式接线复杂、可靠性差、功能扩展困难，难以满足现代智能快递柜对控制精度、安全性和可维护性的要求。可编程逻辑控制器（PLC）具有可靠性高、抗干扰能力强、编程灵活、易于扩展等特点，已成为工业自动化领域的标准控制设备，在智能快递柜、自动售货机、智能仓储等场景中应用广泛。本设计采用 PLC 作为核心控制器，可充分发挥其逻辑运算能力强、I/O 扩展方便、编程直观等优势，为快递柜控制系统提供可靠的技术支撑。

本设计通过 PLC 搭建快递柜核心控制模块，实现身份核验、柜门精准控制、存取件状态监测、故障报警等功能；结合触摸屏设计人机交互界面，提升操作便捷性；优化控制逻辑与传感器响应参数，使系统运行稳定，具有较好的工程应用价值。研究成果可为智能快递柜的研发、生产与运维提供参考，对推动末端配送

智能化具有一定的现实意义。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国内研究现状

国内学者在智能快递柜及 PLC 控制方面开展了较多研究。汤云峰等人对双面型快递柜的结构设计与应用进行了研究[1]。冯叶陶等人设计了基于 PLC 的自动化立体仓储控制系统[2]。刘淼分析了基于 PLC 控制系统的智能柔性生产线设计[3]。程浩等人完成了智能化电商仓储系统的设计与实现[4]。李红等人研究了智能仓储系统教学设计在职业教育中的应用[5]。在快递柜应用优化方面，Guo H 研究了基于终端用户画像的快递柜广告动态优化机制[6]。陈文科等人基于 S7-1200 PLC 设计了智能柔性生产性实训系统[7]。曾丹丹等人研究了绿色物流背景下智能快递柜的设计与应用[8]。李文科等人研究了可移动快递柜和车载机器人协同配送绿色路径优化[9]。吴萌等人分析了社区丰巢快递柜的发展现状及优化策略[10]。Gu X 等人提出了基于风光互补发电的离网快递柜方案[11]。马耀家等人研究了智能车库存取设备系统及关键技术[12]。杨千伟研究了基于 PLC 和条形码识别的快递分拣控制系统[13]。李芹芹等人设计了基于 PLC 系统的平面移动式立体车库[14]。李睿智等人完成了基于 S7-1200 PLC 和触摸屏的自动化立体仓库控制系统设计[15]。Lu H 研究了无接触智能快递柜的应用[16]。杨雪峰研究了基于立体仓库式的新型智能快递柜存取控制技术[17]。这些研究为本设计提供了参考，但在 PLC 与 HMI 的深度集成、多模式切换逻辑及故障诊断记录等方面仍有改进空间。

1.2.2 国外研究现状

国外在智能快递柜及自动化存储方面起步较早，相关成果多集中在仓储物流、智能分拣、新能源快递柜等领域。欧美国家在自动售货机、包裹寄存柜等自助终端设备中广泛采用 PLC 控制方案，积累了丰富的工程经验。在仓储物流领域，德国、日本等国的自动化立体仓库普遍采用西门子、三菱、欧姆龙等品牌 PLC 作为主控制器，实现货位分配、堆垛机调度、出入库流程的自动化控制，其控制逻辑与快递柜的格口分配、存取流程具有相似性。在智能快递柜方面，亚马逊、DHL 等企业推出的智能包裹柜采用嵌入式控制器或工业 PLC，结合条码扫描、RFID 等技术实现身份核验与柜门联动。在新能源应用方面，Gu X 等人提出了基于风光互补发电的离网快递柜方案[11]，为无电网覆盖区域的快递柜供电提供了

新思路。此外，无接触智能快递柜在疫情背景下受到关注，Lu H 研究了无接触智能快递柜的应用^[16]。上述研究对末端配送柜的 PLC 控制逻辑、人机交互设计和用户体验优化具有一定借鉴意义。

1.2.3 研究现状总结

综合国内外研究可见，PLC 在智能快递柜、自动分拣、仓储物流等场景中应用广泛，但针对用户身份核验、目标柜门解锁、存取件操作、门锁闭合检测、状态反馈与记录这一完整工作流程的系统化设计与仿真验证仍不够充分。本设计将围绕上述流程，利用西门子 S7-1200 系列 PLC 和 TP1200 触摸屏，完成从硬件选型、控制程序编写到 HMI 界面设计的全流程开发，并通过仿真验证系统功能。

1.3 研究目标与内容

1.3.1 研究目标

本设计的研究目标为：以 PLC 为核心控制器，搭建智能快递柜控制系统，实现身份核验、柜门精准控制、存取件状态实时监测、故障报警等功能；优化 PLC 控制逻辑与传感器响应参数，确保系统运行稳定、操作便捷；设计 HMI 人机交互界面，实现运行状态监控、模式切换和操作记录显示；为实际智能快递柜的研发与应用奠定基础。

1.3.2 研究内容

研究内容重点完成以下工作：一是方案调研与总体设计，通过文献查阅和需求分析，确定系统功能指标、控制流程和硬件架构；二是 PLC 硬件选型与接线，根据格口数量、I/O 点数、通信需求选择适宜的 PLC 型号，完成主回路、控制回路及 I/O 接线设计；三是控制程序编写，采用梯形图语言实现身份核验、柜门控制、存取件监测、故障检测、模式切换等逻辑，合理运用定时器、计数器完成超时报警、使用统计等功能；四是 HMI 触摸屏界面设计，在 TIA Portal 中组态根画面、柜门状态显示、身份核验反馈、故障报警、管理员界面等画面，建立 HMI 变量与 PLC 数据块的连接；五是系统功能测试与仿真验证，通过 PLC 与 HMI 联合仿真，逐项验证存件、取件、管理员三种模式下的功能正确性，以及故障报警、复位等异常处理逻辑。

1.4 研究方法与技术路线

1.4.1 研究方法

采用文献调研、方案设计、软件仿真相结合的研究方法。首先通过查阅智能快递柜、PLC 编程、门禁识别、物联网通信等相关文献资料，梳理行业现状与技术要点，明确系统功能需求与性能指标；其次利用 TIA Portal 博途开发环境进行 PLC 程序编写和 HMI 界面设计，采用模块化编程思想，将身份核验、柜门控制、故障检测等功能划分为相对独立的程序块，便于调试与维护；最后通过 PLC 与 HMI 的联合仿真验证系统功能，模拟实际运行场景下的存件、取件、管理员操作及故障工况，检验控制逻辑的正确性与稳定性。

1.4.2 技术路线

技术路线为：需求分析、总体方案设计、PLC 硬件选型与接线、控制程序编写与调试、HMI 界面设计与变量连接、联合仿真测试、总结与优化。具体而言，需求分析阶段明确 8 格口快递柜的存件、取件、管理员三种工作模式及身份核验、超时报警、状态记录等功能要求；总体方案设计阶段确定以 PLC 为核心、HMI 为交互界面的硬件架构及控制流程；PLC 硬件选型与接线阶段完成 S7-1214C 选型、I/O 分配、主回路与控制回路设计；控制程序编写与调试阶段采用梯形图实现各功能模块逻辑，并通过仿真逐项验证；HMI 界面设计与变量连接阶段在 TIA Portal 中组态画面并建立与 PLC 的变量绑定；联合仿真测试阶段进行完整流程测试与异常工况测试；总结与优化阶段归纳设计经验并提出改进方向。各环节相互衔接，形成完整的开发流程。

图 1-1 为技术路线流程图，直观展示了从需求分析到总结优化的完整开发流程，各环节按顺序衔接，需求分析明确功能要求后进入总体方案设计，继而完成 PLC 硬件选型与接线、控制程序编写与调试、HMI 界面设计与变量连接，最后通过联合仿真测试验证系统功能并总结优化。

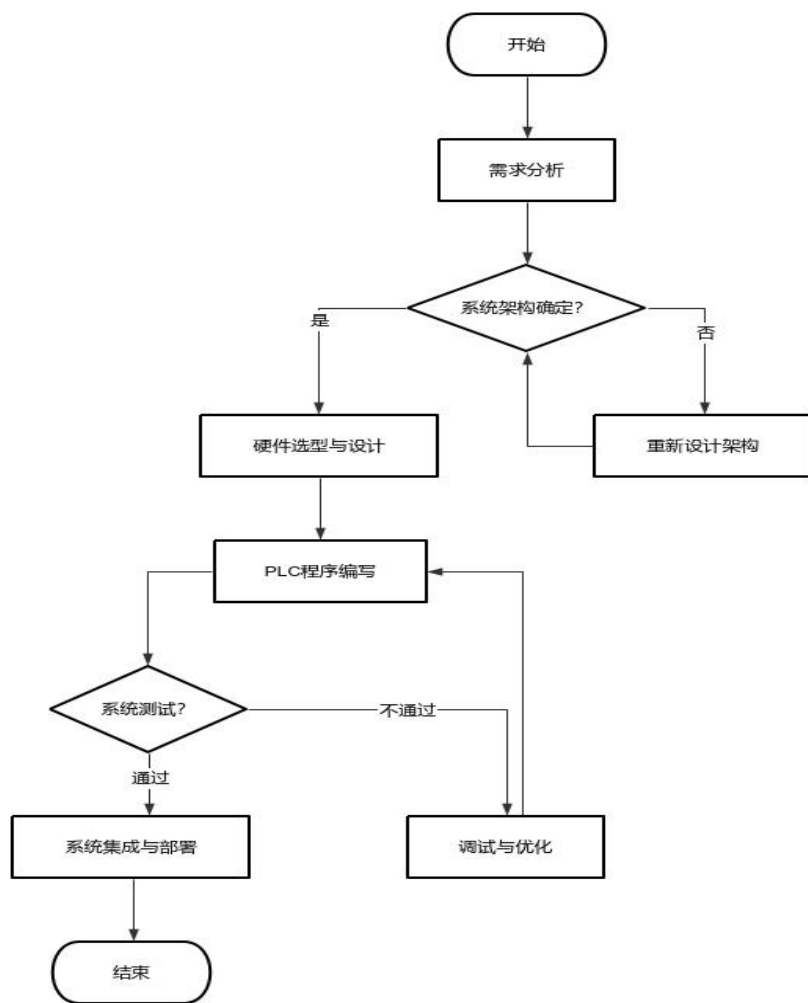


图 1-1 技术路线流程图

第 2 章 PLC 概述

2.1 PLC 的定义

可编程逻辑控制器（Programmable Logic Controller, PLC）是一种专门为工业环境应用而设计的数字运算操作电子系统。它采用可编程存储器，用于其内部存储程序、执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数与算术操作等面向用户的指令，并通过数字或模拟式输入/输出控制各种类型的机械或生产过程。PLC 具有可靠性高、抗干扰能力强、编程简单、维护方便等特点，广泛应用于机械制造、电力、冶金、化工、交通等领域。

PLC 的基本组成包括中央处理单元（CPU）、存储器、输入/输出模块、电源模块和编程器。CPU 是 PLC 的核心，负责执行用户程序、处理数据、协调各模块工作，其运算速度与指令集决定了 PLC 的实时性与功能上限；存储器分为系统存储器和用户存储器，前者存放监控程序、编译程序等系统软件，后者存放用户编写的控制程序及运行时的中间数据；输入模块将现场开关量、模拟量信号转换为 PLC 可识别的电平，通常采用光电隔离技术提高抗干扰能力；输出模块将 PLC 内部信号转换为可驱动执行机构的电平，常见输出形式有继电器型、晶体管型、晶闸管型，本设计采用的 DC/DC/DC 型 PLC 输出为晶体管型，适用于电磁锁、指示灯等直流负载；电源模块为 PLC 各部件提供稳定工作电压，一般将 AC220V 或 DC24V 转换为 CPU 及 I/O 模块所需的直流电压。现代 PLC 还支持多种编程语言，如梯形图（LAD）、语句表（STL）、功能块图（FBD）、结构化控制语言（SCL）等，其中梯形图因直观易懂、与继电器电路图相似而应用最广，便于电气工程师快速掌握。

2.2 PLC 的工作原理

PLC 采用循环扫描的工作方式，其工作过程可分为输入采样、程序执行、输出刷新三个阶段。在输入采样阶段，PLC 依次读入所有输入端的通断状态，并存入输入映像寄存器；在程序执行阶段，PLC 按用户程序顺序逐条执行指令，从输入映像寄存器和元件映像寄存器中读取数据，进行逻辑运算，将运算结果写入元件映像寄存器；在输出刷新阶段，将元件映像寄存器中所有输出继电器的状态转

存到输出锁存器，驱动输出端负载。这种循环扫描方式使 PLC 能够可靠地响应外部输入变化，并产生相应的输出控制。

PLC 的扫描周期是指完成一次输入采样、程序执行、输出刷新所需的时间，通常为几毫秒至几十毫秒。扫描周期与用户程序长度、指令类型、I/O 点数等因素相关，程序越复杂、指令越多，扫描周期越长。扫描周期越短，系统响应越快，对快速变化的输入信号能够及时响应；但对实时性要求极高的场合可采用中断方式，在特定事件发生时立即暂停主程序、执行中断服务程序，处理完毕后再返回主程序。PLC 还提供丰富的定时器（TON 接通延时、TOF 断开延时、TP 脉冲等）和计数器（CTU 加计数、CTD 减计数、CTUD 加减计数等）指令，可方便地实现延时控制、脉冲计数、频率测量等功能。在快递柜控制中，TON 定时器用于开门超时检测、存件取件确认延时，CTU 计数器用于各柜门使用次数及总操作次数的统计，这些指令的合理运用是保证控制逻辑正确性的关键。

图 2-1 为 PLC 循环扫描工作流程图，描述了 PLC 在每个扫描周期内依次执行的输入采样、程序执行、输出刷新三个阶段，输入采样阶段将现场信号读入输入映像寄存器，程序执行阶段按顺序运行用户程序并更新元件映像寄存器，输出刷新阶段将运算结果输出至负载，三者循环往复构成 PLC 的基本工作方式。

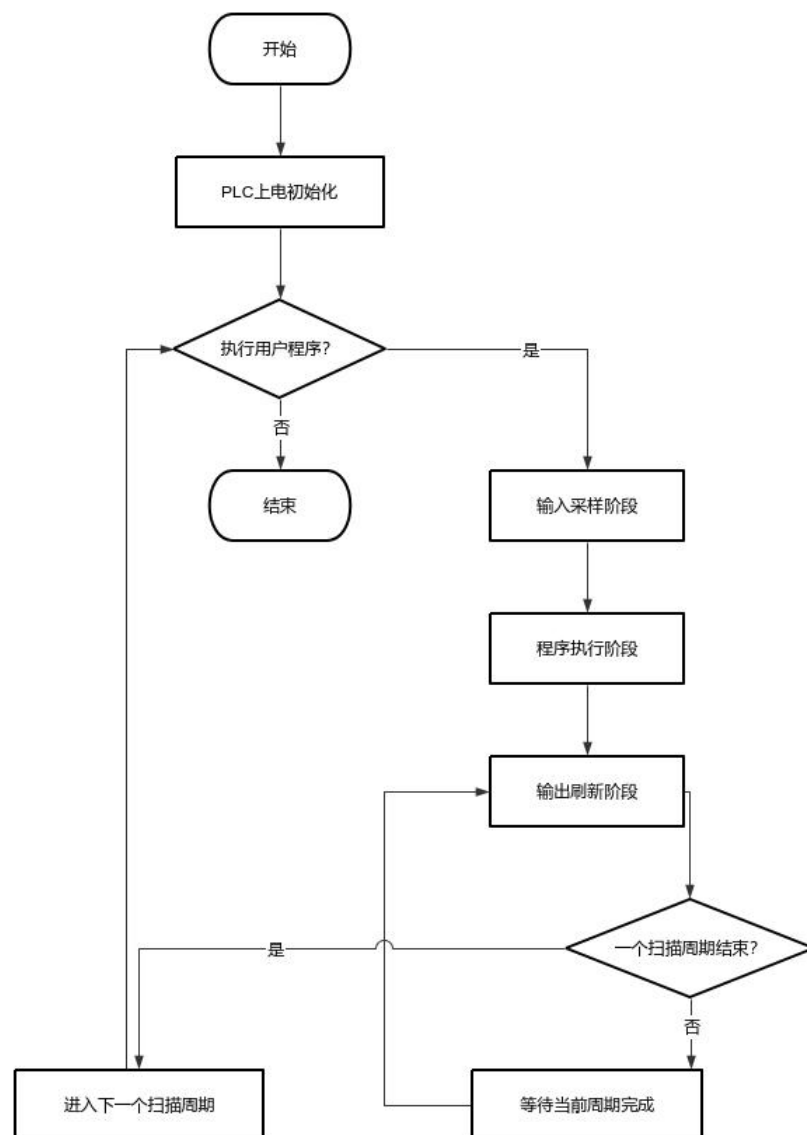


图 2-1 PLC 循环扫描工作流程图

2.3 PLC 的发展前景

随着工业 4.0 和智能制造的推进，PLC 正朝着高性能、网络化、智能化方向发展。现代 PLC 不仅具有更强的运算能力和更大的存储容量，还支持以太网、PROFIBUS、PROFINET 等工业总线通信，能够与上位机、触摸屏、变频器、机器人等设备实现数据交换，便于构建分布式控制系统。PLC 与 HMI、SCADA 等系统的集成日益紧密，通过统一的工程组态软件可实现 PLC 程序与 HMI 画面的协同开发，变量可直接引用，大大提高了开发效率；在智能快递柜、智能仓储、柔性生产线等新兴应用场景中，PLC 将继续发挥核心控制作用。

2.4 PLC 选型依据

本设计在 PLC 选型时主要考虑以下因素：一是 I/O 点数，系统采用 8 槽口配置，需 16 路数字量输入、11 路数字量输出，S7-1214C 具有 14 路 DI、10 路 DO，可通过添加信号模块扩展 I/O 点数，满足实际工程需求；二是通信能力，系统需与 TP1200 触摸屏进行数据交换，S7-1200 系列集成 PROFINET 接口，支持与西门子 HMI 的以太网通信，无需额外通信模块；三是编程环境，TIA Portal 博途为西门子全集成自动化平台，支持 PLC 与 HMI 统一工程管理，变量可直接跨项目引用，便于开发与维护；四是应用案例，S7-1200 在立体车库、智能仓储等领域已有成熟应用[7][15]，技术成熟度高、资料丰富。综合上述因素，选用西门子 S7-1214C DC/DC/DC 型 PLC 作为本设计的核心控制器。

第 3 章 第三章 控制系统硬件设计

3.1 PLC 运行指令

本设计采用西门子 S7-1214C DC/DC/DC 型 PLC 作为主控制器。S7-1200 系列 PLC 在立体车库、智能仓储等自动化系统中应用广泛,陈文科等人基于 S7-1200 PLC 设计了智能柔性生产性实训系统[7],李睿智等人完成了基于 S7-1200 PLC 和触摸屏的自动化立体仓库控制系统设计[15]。本系统所选型号具有 14 路数字量输入、10 路数字量输出,支持 DC24V 供电,满足 8 个柜门电磁锁、系统运行指示灯、故障报警指示灯、蜂鸣器等输出设备以及门状态传感器、物品检测传感器等输入设备的连接需求。PLC 通过以太网与 TP1200 触摸屏通信,实现人机交互。

S7-1214C 的主要技术参数包括工作存储器 50KB、装载存储器 2MB、集成 PROFINET 接口、支持以太网通信、扫描周期典型值 1ms。工作存储器用于存储运行时所需的程序和数据,本设计控制程序规模适中,50KB 容量绰绰有余;装载存储器可存储项目备份、配方数据等。系统上电后执行初始化逻辑,延时后置位系统初始化完成标志,并初始化故障代码、开门保持时间、超时报警时间等参数;之后每个扫描周期执行主程序 OB1,实现启动、停止、急停、复位、模式选择、柜门控制、故障检测等逻辑。OB1 为循环组织块,PLC 在 RUN 模式下每个扫描周期自动调用一次,是用户主程序的入口。

3.2 PLC 硬件总体框图

系统硬件总体框图包括 PLC 主控单元、输入模块、输出模块、电源模块和 HMI 触摸屏。PLC 主控单元采用 S7-1214C,负责接收输入信号、执行控制程序、驱动输出设备;输入模块包含 8 路门状态传感器和 8 路物品检测传感器,门状态传感器采用常开型磁性开关或行程开关,安装在柜门与门框之间,门闭合时触点闭合、PLC 输入为高电平,门打开时触点断开、输入为低电平,物品检测传感器采用红外对射或超声波传感器,检测格口内是否有物品遮挡;输出模块包含 8 个电磁锁、系统运行指示灯、故障报警指示灯和蜂鸣器,电磁锁采用 DC24V 供电,得电时锁舌缩回、柜门可打开,失电时锁舌伸出、柜门锁定;电源模块将

AC220V 市电转换为 DC24V，为 PLC、传感器、电磁锁等设备供电，选用开关电源以保证电压稳定、纹波小；HMI 触摸屏通过以太网与 PLC 通信，实现人机交互。各模块通过规范的接线与 PLC 连接，形成完整的硬件系统。

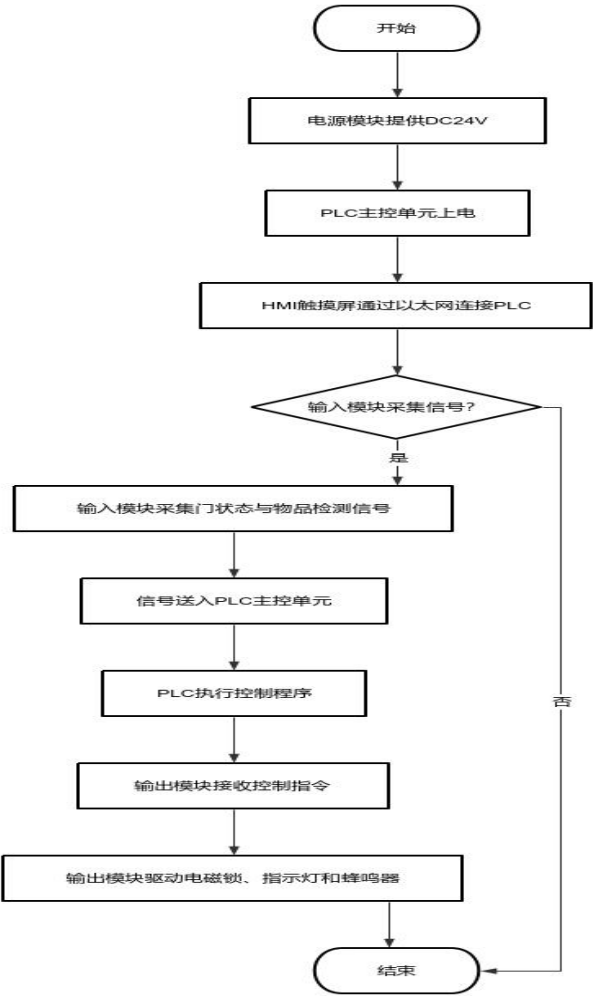


图 3-1 系统硬件整体流程图

3.3 PLC 系统主控电路和输入输出电气接线图

主回路采用 AC220V 市电供电，经断路器、开关电源转换为 DC24V，为 PLC、传感器、电磁锁等设备供电。开关电源容量需满足所有负载的功率需求，8 个电磁锁单路功耗约 2 至 5W，传感器、指示灯、蜂鸣器功耗较小，总负载约 50W 以内，选用 AC220V/DC24V 5A 规格的开关电源可留有余量。控制回路中，输入信号采用 DC24V 电平，传感器一端接 24V+，另一端经限流后接 PLC 输入端子，PLC 输入为漏型接线方式，公共端接 24V-；门状态传感器 I0.0 至 I0.7 检测柜门开闭状态，物品检测传感器 I1.0 至 I1.7 检测格口内是否有物品；输出信号控制 8 个柜门电磁锁 Q0.0 至 Q0.7、系统运行指示灯 Q1.0、故障报警指示灯 Q1.1 和蜂

鸣器 Q1.2，PLC 输出为源型，负载一端接 24V+，另一端接 PLC 输出端子。接线图按照西门子 S7-1200 系列标准接线规范设计，输入输出均采用光电隔离，确保电气安全与信号可靠传输。

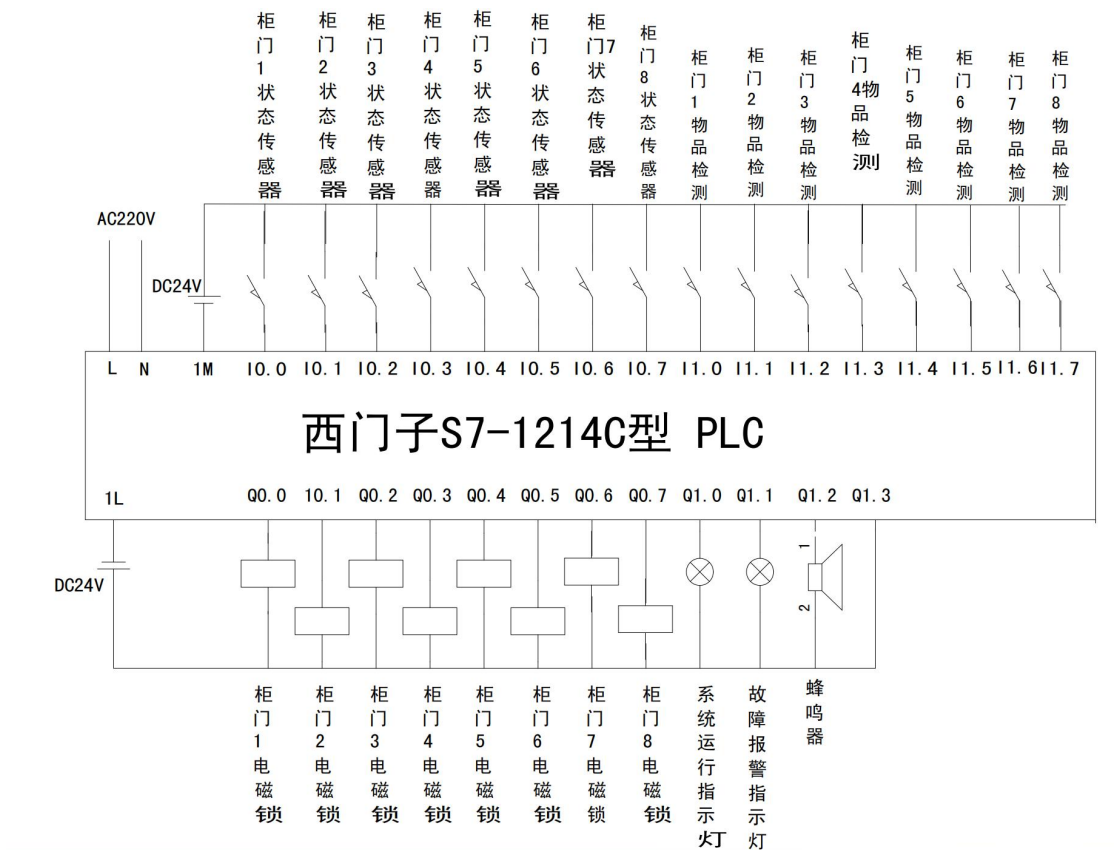


图 3-2 控制回路接线图

3.4 IO 接口分配图和物料表

根据系统功能需求，对 PLC 的输入输出地址进行合理分配。输入地址主要用于接收门状态传感器和物品检测传感器信号，输出地址用于控制电磁锁、指示灯和蜂鸣器。系统 I/O 地址分配如表 3-1 所示。

表 3-1 I/O 地址分配表

信号类型	序号	信号名称	PLC 地址	功能说明	信号类型	序号	信号名称	PLC 地址	功能说明
输入信号	1	柜门 1 状态传感器	I0.0	检测柜门 1 开闭状态	输出信号	1	柜门 1 电磁锁	Q0.0	控制柜门 1 电磁锁

输入 信号	2	柜门 2 状态传感器	I0.1	检测柜门 2 开闭状态	输出 信号	2	柜门 2 电磁锁	Q0.1	控制柜门 2 电磁锁
输入 信号	3	柜门 3 状态传感器	I0.2	检测柜门 3 开闭状态	输出 信号	3	柜门 3 电磁锁	Q0.2	控制柜门 3 电磁锁
输入 信号	4	柜门 4 状态传感器	I0.3	检测柜门 4 开闭状态	输出 信号	4	柜门 4 电磁锁	Q0.3	控制柜门 4 电磁锁
输入 信号	5	柜门 5 状态传感器	I0.4	检测柜门 5 开闭状态	输出 信号	5	柜门 5 电磁锁	Q0.4	控制柜门 5 电磁锁
输入 信号	6	柜门 6 状态传感器	I0.5	检测柜门 6 开闭状态	输出 信号	6	柜门 6 电磁锁	Q0.5	控制柜门 6 电磁锁
输入 信号	7	柜门 7 状态传感器	I0.6	检测柜门 7 开闭状态	输出 信号	7	柜门 7 电磁锁	Q0.6	控制柜门 7 电磁锁
输入 信号	8	柜门 8 状态传感器	I0.7	检测柜门 8 开闭状态	输出 信号	8	柜门 8 电磁锁	Q0.7	控制柜门 8 电磁锁
输入 信号	9	柜门 1 物品检测	I1.0	检测格口 1 是否有物品	输出 信号	9	系统运行指示灯	Q1.0	系统运行时点亮
输入 信号	10	柜门 2 物品检测	I1.1	检测格口 2 是否有物品	输出 信号	10	故障报警指示灯	Q1.1	系统故障时闪烁
输入 信号	11	柜门 3 物品检测	I1.2	检测格口 3 是否有物品	输出 信号	11	蜂鸣器	Q1.2	故障鸣叫、开门短鸣
输入 信号	12	柜门 4 物品检测	I1.3	检测格口 4 是否有物品					
输入 信号	13	柜门 5 物品检测	I1.4	检测格口 5 是否有物品					
输入	14	柜门 6 物	I1.5	检测格口 6					

信号		品检测		是否有物品
输入	15	柜门 7 物	I1.6	检测格口 7
信号		品检测		是否有物品
输入	16	柜门 8 物	I1.7	检测格口 8
信号		品检测		是否有物品

主要物料包括：西门子 S7-1214C DC/DC/DC PLC 1 台、西门子 TP1200 Comfort 触摸屏 1 台、电磁锁 8 个、门状态传感器 8 个、物品检测传感器 8 个、开关电源 AC220V/DC24V 5A 1 台、蜂鸣器 1 个、指示灯 2 个、急停按钮 1 个、启动停止按钮各 1 个等。电磁锁选用 DC24V 吸合式电磁锁，保持力不小于 280N，满足柜门安全锁定要求；门状态传感器选用常开型磁性接近开关，检测距离 5 至 10mm；物品检测传感器选用红外对射型，发射端与接收端分别安装在格口两侧，有物品遮挡时接收端无信号、PLC 输入为低，无物品时接收端有信号、PLC 输入为高。

3.5 物料选型与型号说明

本节对系统主要物料进行选型说明，给出具体型号、技术参数及选型依据，并附实物图片供参考。选型时综合考虑可靠性、兼容性、成本及供货情况，所选型号均为工业常用产品，便于采购与维护。

3.5.1 PLC 控制器

本设计选用西门子 S7-1214C DC/DC/DC 型 PLC，订货号 6ES7 214-1AG40-0XB0。该型号具有 14 路数字量输入、10 路数字量输出，工作电压 DC24V，工作存储器 50KB，集成 PROFINET 接口，支持以太网通信。选型依据：I/O 点数满足 8 格口扩展需求，与 TP1200 同属西门子 S7-1200 生态，通信配置简便，TIA Portal 统一编程环境便于开发。



图 3-3 S7-1214C PLC

3.5.2 触摸屏人机界面

本设计选用西门子 TP1200 Comfort 型触摸屏，订货号 6AV2124-0MC01-0AX0。该型号采用 12 英寸宽屏，分辨率 1280×800，支持多点触控，防护等级 IP65，工作电压 DC24V。选型依据：与 S7-1200 系列 PLC 原生兼容，TIA Portal 中可直接引用 PLC 变量，无需额外通信模块，工业级防护适用于快递柜现场环境。



图 3-4 TP1200 Comfort 触摸屏

3.5.3 开关电源

本设计选用明纬 S-50-24 型开关电源,输入 AC85~264V,输出 DC24V/2.1A,额定功率 50W。选型依据:系统总负载约 50W 以内,该型号留有余量;明纬为工业电源常用品牌,可靠性高、纹波小,满足 PLC 及传感器对供电质量的要求。

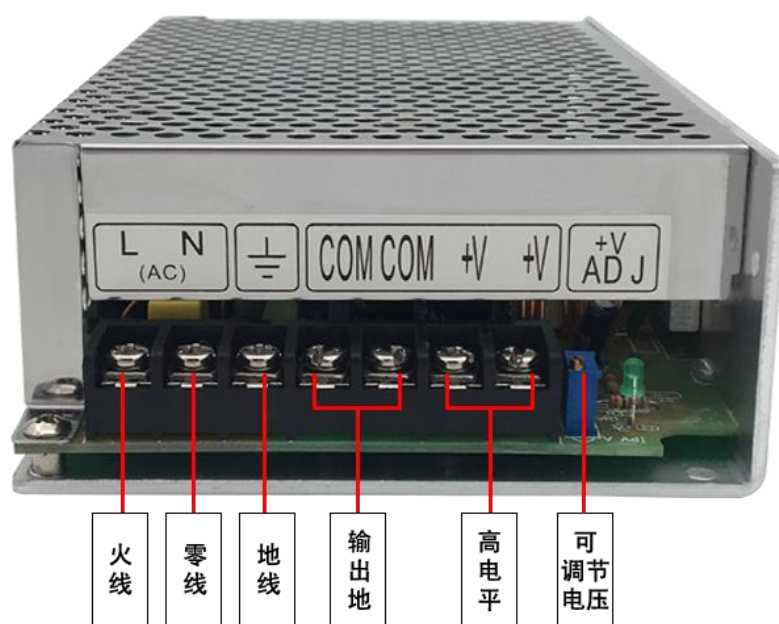


图 3-5 开关电源

3.5.4 电磁锁

本设计选用 DC24V 吸合式电磁锁，型号示例为 DS260-24V，保持力 280N，工作电压 DC24V，工作电流约 0.5A。选型依据：保持力满足柜门安全锁定，DC24V 与系统供电一致，吸合式结构锁舌得电缩回、失电伸出，符合"开门时得电、关门后失电"的控制逻辑。



图 3-6 电磁锁

3.5.5 门状态传感器

本设计选用常开型磁性接近开关，型号示例为 E18-D80NK，检测距离 5~10mm，输出 NPN 型，工作电压 DC6~36V。选型依据：常开型门闭合时触点闭合、PLC 输入为高，符合本设计逻辑；磁性开关无机械磨损，寿命长，适用于频繁开关的柜门检测。



图 3-7 门状态传感器

3.5.6 物品检测传感器

本设计选用红外对射型光电开关, 型号示例为 E3Z-D61, 检测距离 0.1~4m, 对射型发射端与接收端分离安装。选型依据: 对射型检测可靠, 有物品遮挡时接收端无信号; 红外型成本适中, 适用于格口内物品有无检测。



图 3-8 光电传感器

3.5.7 其他辅助器件

蜂鸣器选用 DC24V 有源蜂鸣器，用于故障鸣叫及开门提示音；系统运行指示灯和故障报警指示灯选用 DC24V LED 指示灯，直径 22mm；急停按钮选用带自锁的蘑菇头急停开关；启动、停止按钮选用 22mm 标准按钮。上述器件均为工业常用规格，便于采购与替换。



图 3-9 蜂鸣器与指示灯

3.5.8 选型清单

系统主要物料选型清单如表 3-2 所示，表中列出物料名称、型号规格、数量、主要技术参数及备注，供采购与施工参考。

表 3-2 物品选型清单

序号	物料名称	型号规格	数量	主要技术参数	备注
1	PLC 控制器	西门子 S7-1214C DC/DC/DC	1	14DI/10DO, DC24V, 50KB, PROFINET	订货号 6ES7 214-1AG40
2	触摸屏	西门子 TP1200 Comfort	1	12 英寸, 1280×800, DC24V, IP65	订货号 6AV2124-0MC01
3	开关电源	明纬 S-50-24	1	AC85~264V/DC24V 2.1A, 50W	工业级
4	电磁锁	DS260-24V 吸合式	8	DC24V, 保持力 280N	每格口 1 个
5	门状态传感器	E18-D80NK 磁性 接近开关	8	常开型, 检测距离 5~ 10mm, DC6~36V	每格口 1 个
6	物品检测 传感器	E3Z-D61 红外对射	8	对射型, 检测距离 0.1~4m	每格口 1 组
7	蜂鸣器	DC24V 有源蜂鸣 器	1	DC24V, 声压级≥85dB	故障及开门提示
8	指示灯	DC24V LED, ϕ 22mm	2	绿色 1 个、红色 1 个	运行 / 故障
9	急停按钮	蘑菇头自锁型	1	常闭触点, 红色	紧急停机
10	启动 / 停止按钮	22mm 标准按钮	2	绿色启动、红色停止	系统启停控制

3.6 通信与网络配置

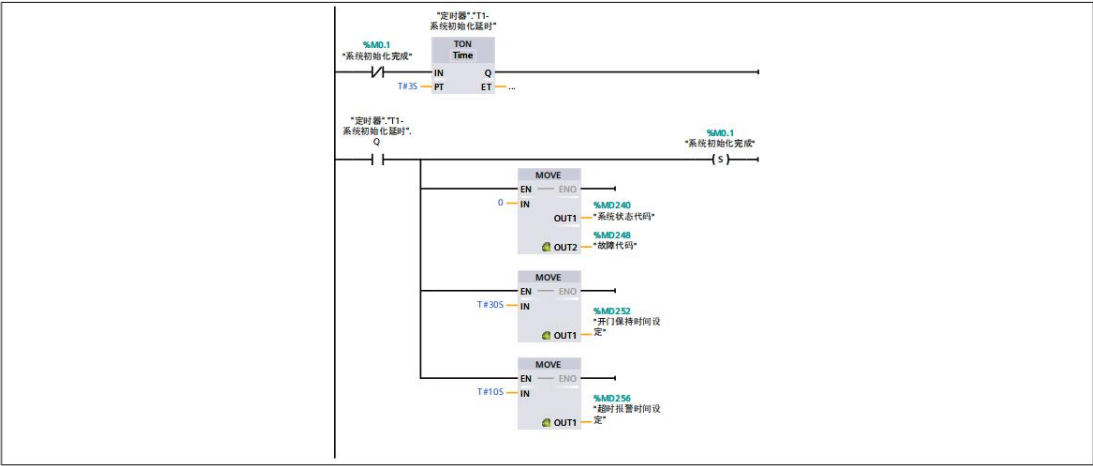
PLC 与 HMI 触摸屏采用以太网通信，协议为 S7 连接。在 TIA Portal 中创建 PLC 与 HMI 的连接时，需指定 PLC 的 IP 地址及机架号、槽号，HMI 通过该连接访问 PLC 的变量。本设计中，PLC 与 HMI 处于同一网段，PLC 默认 IP 为 192.168.1.1，HMI 为 192.168.1.2，子网掩码 255.255.255.0。变量连接方面，HMI 画面中的按钮、I/O 域、图形等控件通过"变量"属性绑定到 PLC 数据块中的位、字节、字、双字等变量，实现数据的读写。例如，存件模式按钮按下时置位 PLC 数据块中的"存件模式"位，PLC 程序检测到该位为真后执行存件逻辑；柜门状态显示控件根据"柜门 1 使用中"至"柜门 8 使用中"等变量的值动态切换颜色。通信周期由 HMI 的更新速率决定，通常为 100ms 至 1s，对于快递柜这类响应要求不极高的应用，默认设置即可满足需求。

第 4 章 快递柜控制系统功能模块

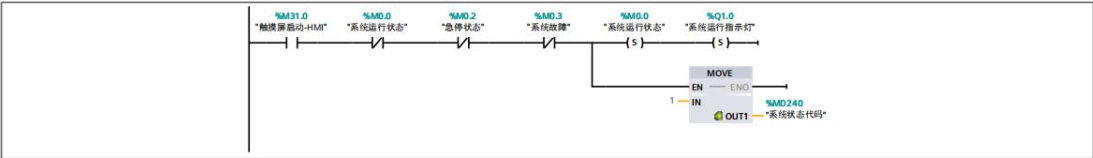
本章介绍快递柜控制系统的软件功能模块设计，包括身份核验、柜门控制、存取件监测、故障检测、状态反馈以及工作模式切换等。各功能模块在 PLC 主程序 OB1 中按一定顺序调用，通过共享数据块传递中间变量，形成完整的控制逻辑。程序采用梯形图语言编写，结构清晰、便于调试与维护。

系统上电后首先执行初始化与系统控制逻辑。网络 1 采用 TON 定时器实现首次扫描延时 3 秒，延时到后置位系统初始化完成标志，并初始化故障代码、开门保持时间、超时报警时间等参数。网络 2 至 4 实现启动、停止、急停控制：启动按钮置位系统运行状态，停止按钮复位系统运行及模式变量，急停按钮复位系统运行并置位急停状态、写入故障代码 999。网络 5 至 6 实现复位功能，清除故障标志、开门请求、超时报警及电磁锁输出。网络 7 根据系统运行状态驱动运行指示灯。该段程序的作用是确保系统安全上电、支持人工启停与急停、提供故障复位通道，为后续功能模块提供正确的初始状态。

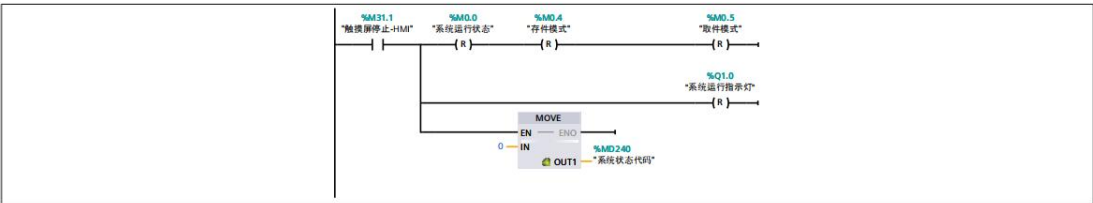
网络 1：系统初始化（首次扫描执行一次）



网络 2：系统启动控制

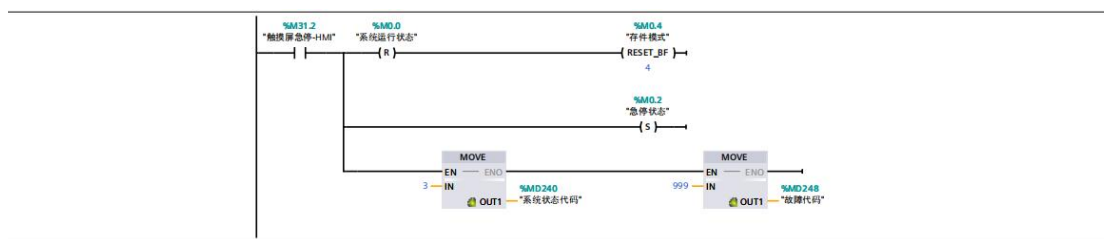


网络 3：系统停止控制

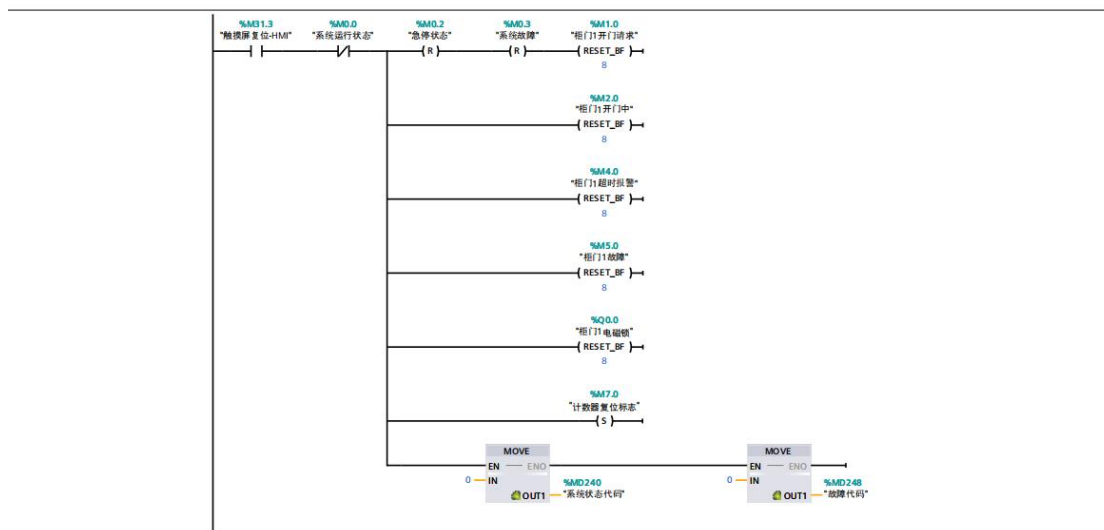


网络 4：急停功能

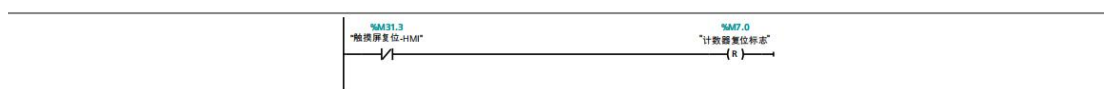
图 4-1 初始化与系统控制程序梯形图



网络 5：系统复位功能



网络 6：计数器复位标志的复位



网络 7：运行指示灯控制

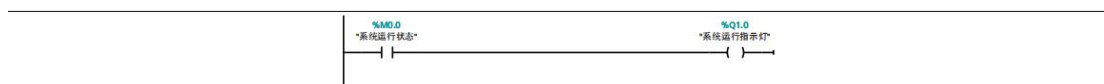


图 4-2 初始化与系统控制程序梯形图

4.1 身份核验系统

身份核验是取件流程的关键环节，其目的是确保只有有权取件的用户才能打开对应柜门，防止误取或盗取。在取件模式下，用户通过触摸屏选择目标柜门编号 1 至 8，系统检查该柜门是否处于使用中状态且门已关闭。若柜门有物品且门已闭合，则表明该格口确有快递存放且柜门处于正常关闭状态，身份验证成功，触发对应柜门的开门请求。HMI 界面通过圆形指示灯显示验证状态，绿色表示验证成功，便于用户确认。

程序实现方面，取件码输入逻辑在用户按下格口 1 至 8 按钮时，将对应柜门编号写入当前选择柜门编号变量，并置位取件码输入完成标志。取件码验证采用比较指令判断当前选择柜门编号与 1 至 8 的匹配关系，例如当当前选择柜门编号等于 1 时，进一步检查柜门 1 使用中为真、柜门 1 门状态传感器为闭合，同时满足则置位身份验证成功和柜

门 1 开门请求。八个柜门采用相同的验证逻辑，通过并行分支实现。验证成功后复位取件码输入完成，避免重复触发；同时启动开门流程，电磁锁得电、柜门打开。管理员模式无需身份验证，可直接通过手动开门按钮打开任意柜门，适用于运维人员取回滞留件、检修等场景。

图 4-3 为身份核验流程图，描述了取件模式下用户选择柜门编号后，系统检查柜门使用中状态和门闭合状态，满足条件则验证成功并触发开门请求的完整流程。

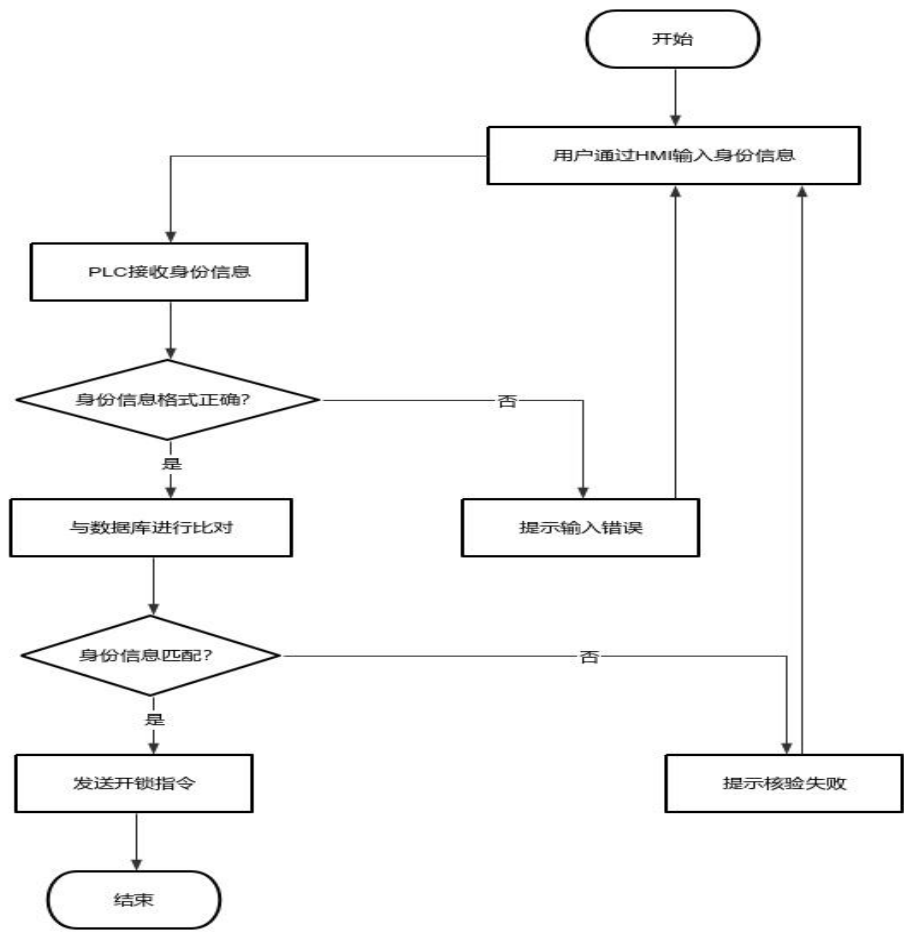
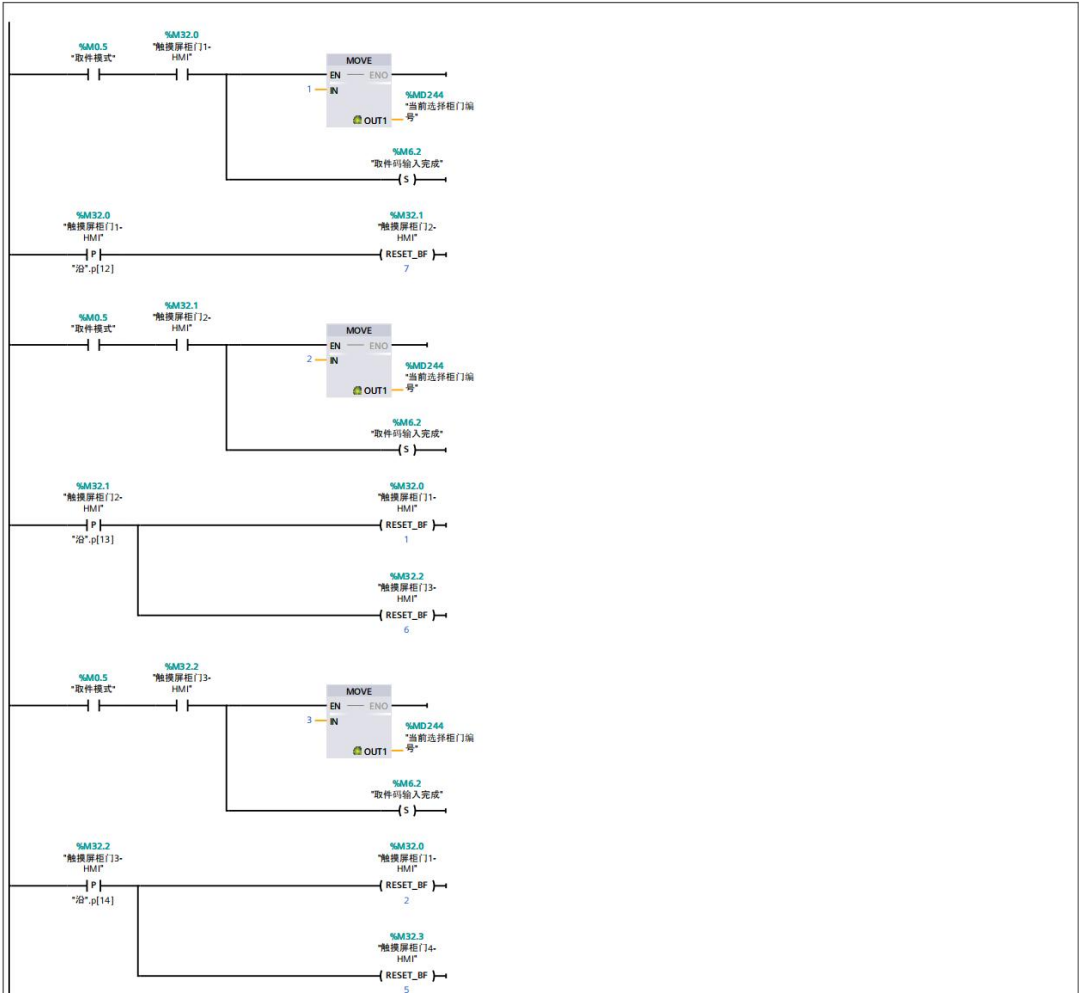


图 4-3 身份核验流程图

身份核验程序逻辑如下。网络 16 实现取件码输入：用户按下柜门 1 至 8 按钮时，将对应柜门编号写入当前选择柜门编号变量，并置位取件码输入完成标志；采用 P_TRIG 上升沿检测避免重复触发。网络 17 实现取件码验证：采用比较指令判断当前选择柜门编号与 1 至 8 的匹配关系，对每个柜门同时检查该柜门使用中为真、门状态传感器为闭合，二者均满足则置位身份验证成功和对应柜门的开门请求。网络 18 在验证成功后复位取件码输入完成，避免重复触发。该段

程序的作用是确保只有有权取件的用户才能打开对应柜门，防止误取或盗取。

网络 16：取件码输入（柜门 1-8 选择按钮）（1.1 / 2.1）



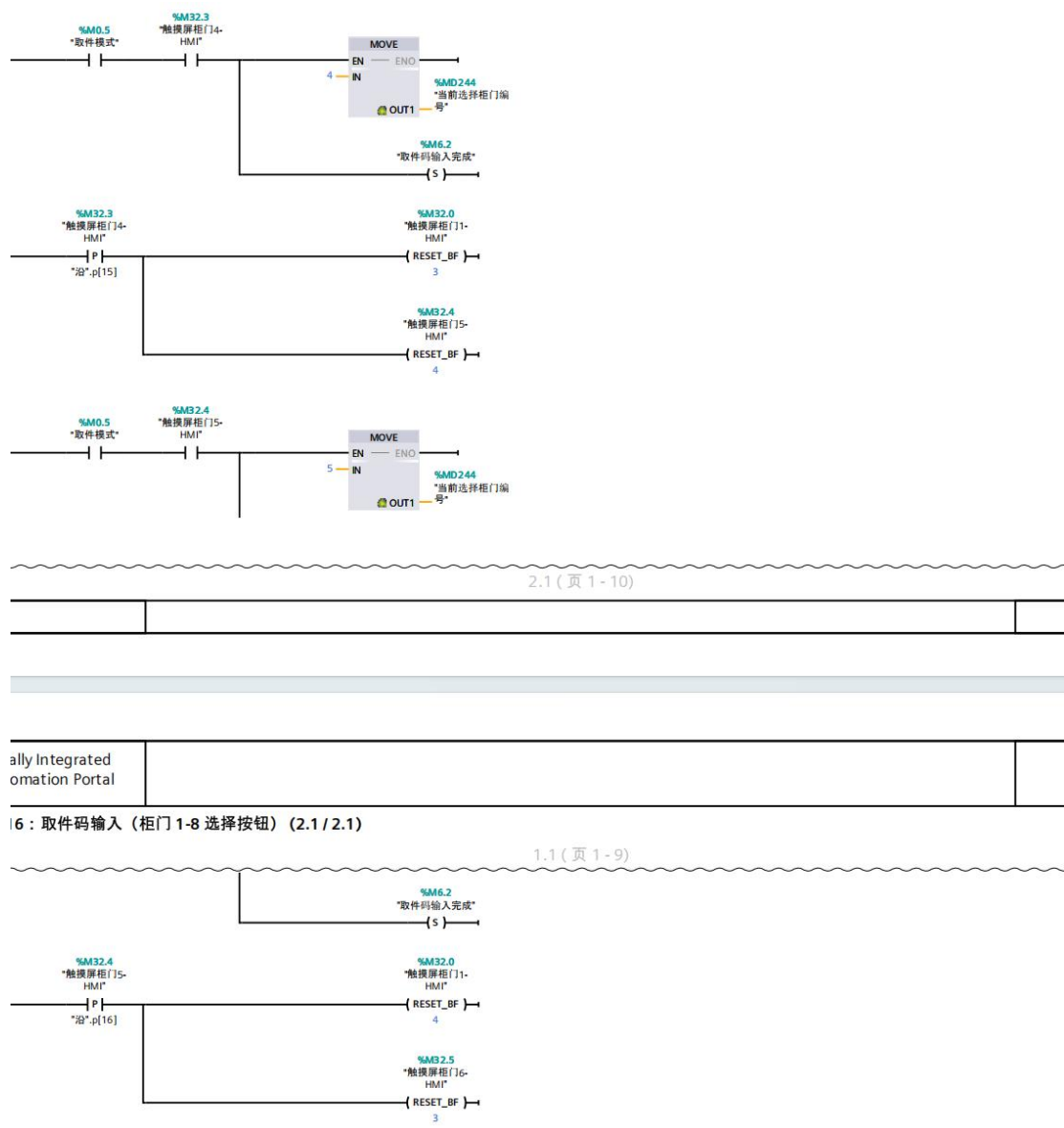


图 4-4 身份核验程序梯形图

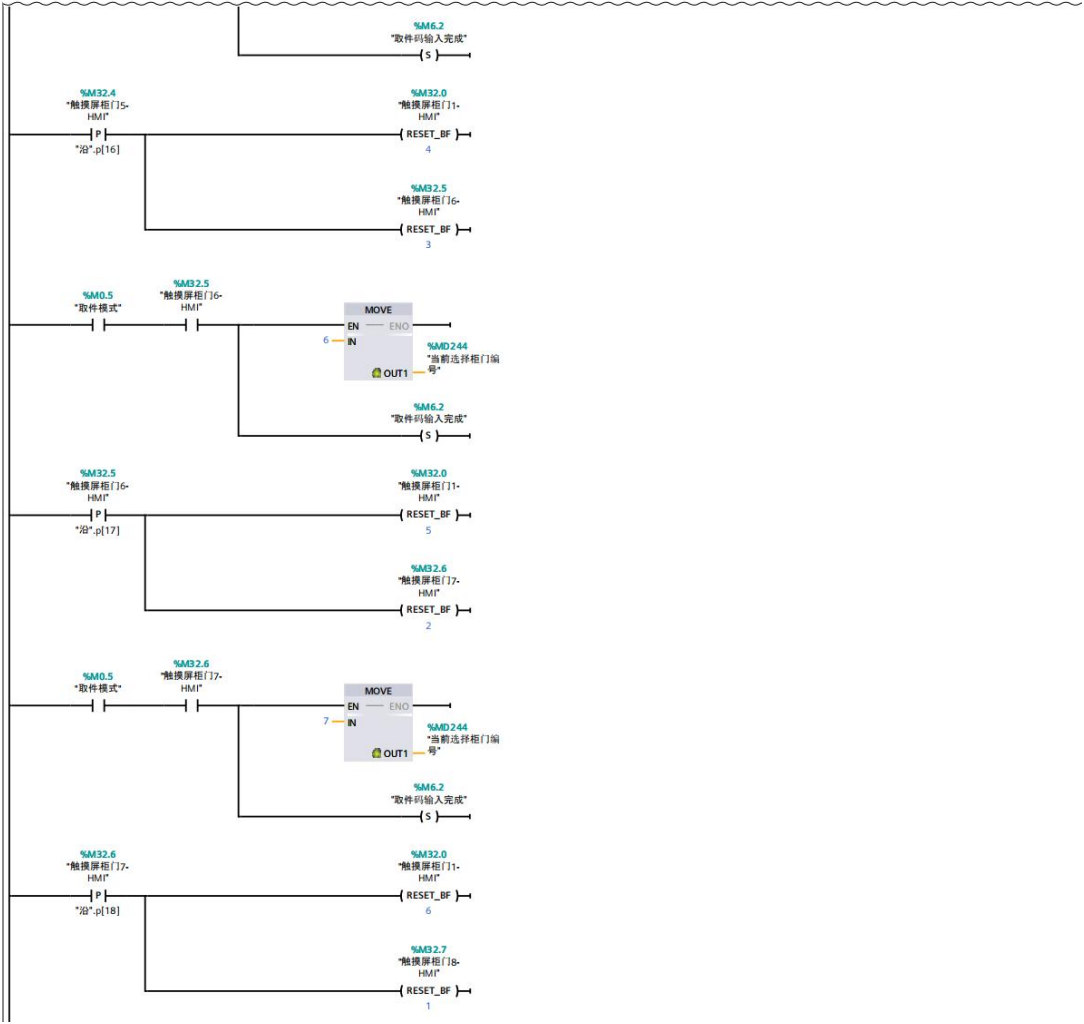
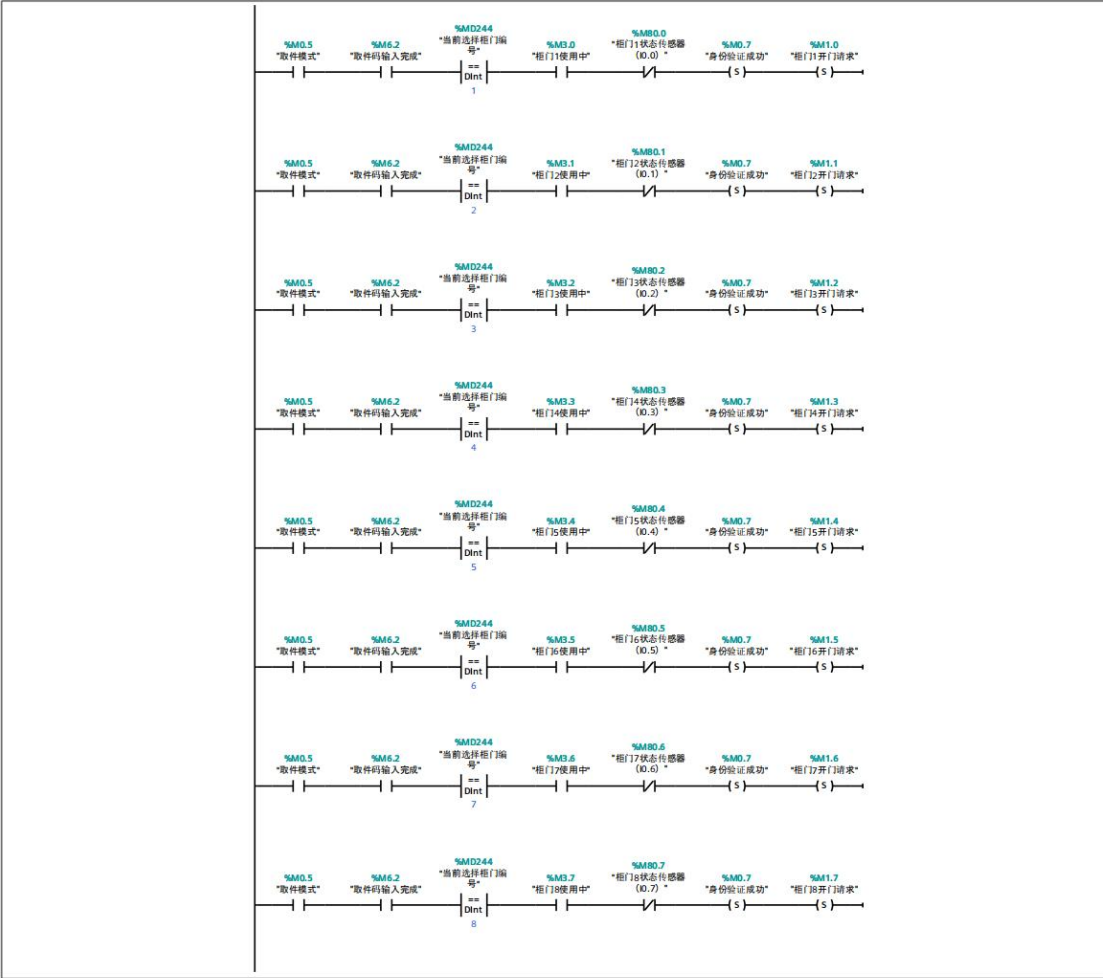


图 4-5 身份核验程序梯形图

网络 17：取件码验证（检查柜门是否有物品且关闭）



网络 18：验证成功处理



图 4-6 身份核验程序梯形图

4.2 柜门精准控制系统

柜门控制采用"开门请求-开门中-电磁锁输出"的逻辑链，确保每个柜门的开闭过程可控、可追溯。当存件模式自动分配或取件模式验证通过或管理员手动操作时，置位对应柜门的"开门请求"；PLC 检测到开门请求后置位"开门中"并输出电磁锁动作，电磁锁得电、锁舌缩回，用户可拉开柜门；用户完成存取操作后，通过门状态传感器和物品检测传感器判断柜门关闭及物品状态变化，经 3 秒延时确认后复位"开门中"和电磁锁，锁舌伸出、柜门重新锁定，完成一次存取流程。3 秒延时用于消除传感器抖动，避免因门未关严或物品未完全放入而产生的误判。8 个柜门独立控制，互不干扰，每个柜门拥有独立的开门请求、开门中、使用中

等状态变量。

以柜门 1 为例，开门控制逻辑为：当柜门 1 开门请求为真时置位柜门 1 开门中，当柜门 1 开门中为真时输出柜门 1 电磁锁；开门请求复位时，开门中和电磁锁随之复位。存件确认逻辑为：柜门 1 开门中、存件模式、柜门 1 门关闭、柜门 1 有物品同时满足时，启动 3 秒定时器，定时到后置位柜门 1 使用中、复位电磁锁，并将柜门 1 使用计数器加 1。取件确认逻辑为：柜门 1 开门中、取件模式、身份验证成功、柜门 1 物品检测由有变无时，启动 3 秒定时器，定时到后复位柜门 1 使用中、复位电磁锁。物品检测由有变无采用下降沿检测实现，即上一扫描周期有物品、本周期无物品时触发，表示用户已取出快递。

图 4-2 为柜门控制流程图，展示了从开门请求置位、开门中置位、电磁锁输出，到存件或取件确认后经 3 秒延时复位开门中和电磁锁的完整控制流程。

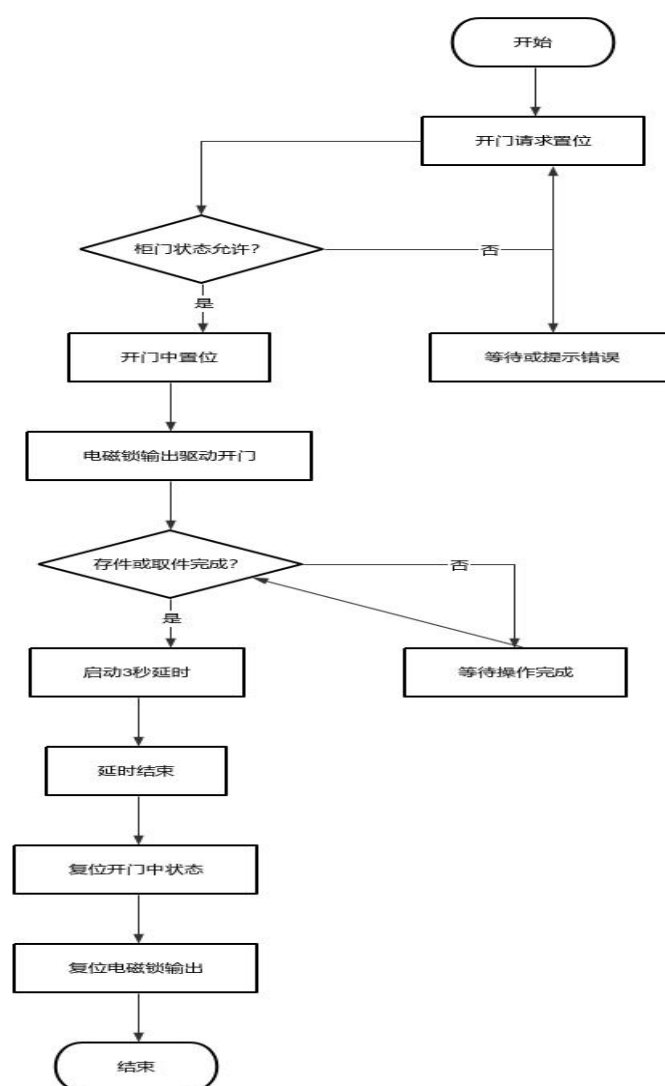


图 4-7 柜门控制流程图

柜门控制程序逻辑如下。网络 10 在存件模式下按优先级 1 至 8 自动分配第一个空闲柜门并置位开门请求。网络 11 实现存件确认：当柜门开门中、存件模式、门关闭、有物品同时满足时，TON 定时器启动 3 秒延时，定时到后置位使用中、复位电磁锁、CTU 计数器加 1。网络 19 实现取件确认：当柜门开门中、取件模式、身份验证成功、物品检测由有变无时，N_TRIG 下降沿检测物品取出，TON 定时器 3 秒延时到后复位使用中、复位电磁锁。网络 21 至 28 实现 8 个柜门独立的开门控制链：开门请求置位时置位开门中，开门中为真时输出电磁锁；开门请求复位时开门中和电磁锁随之复位。该段程序的作用是实现"开门请求→开门中→电磁锁输出"的逻辑链，配合存件取件确认完成完整的存取流程控制。

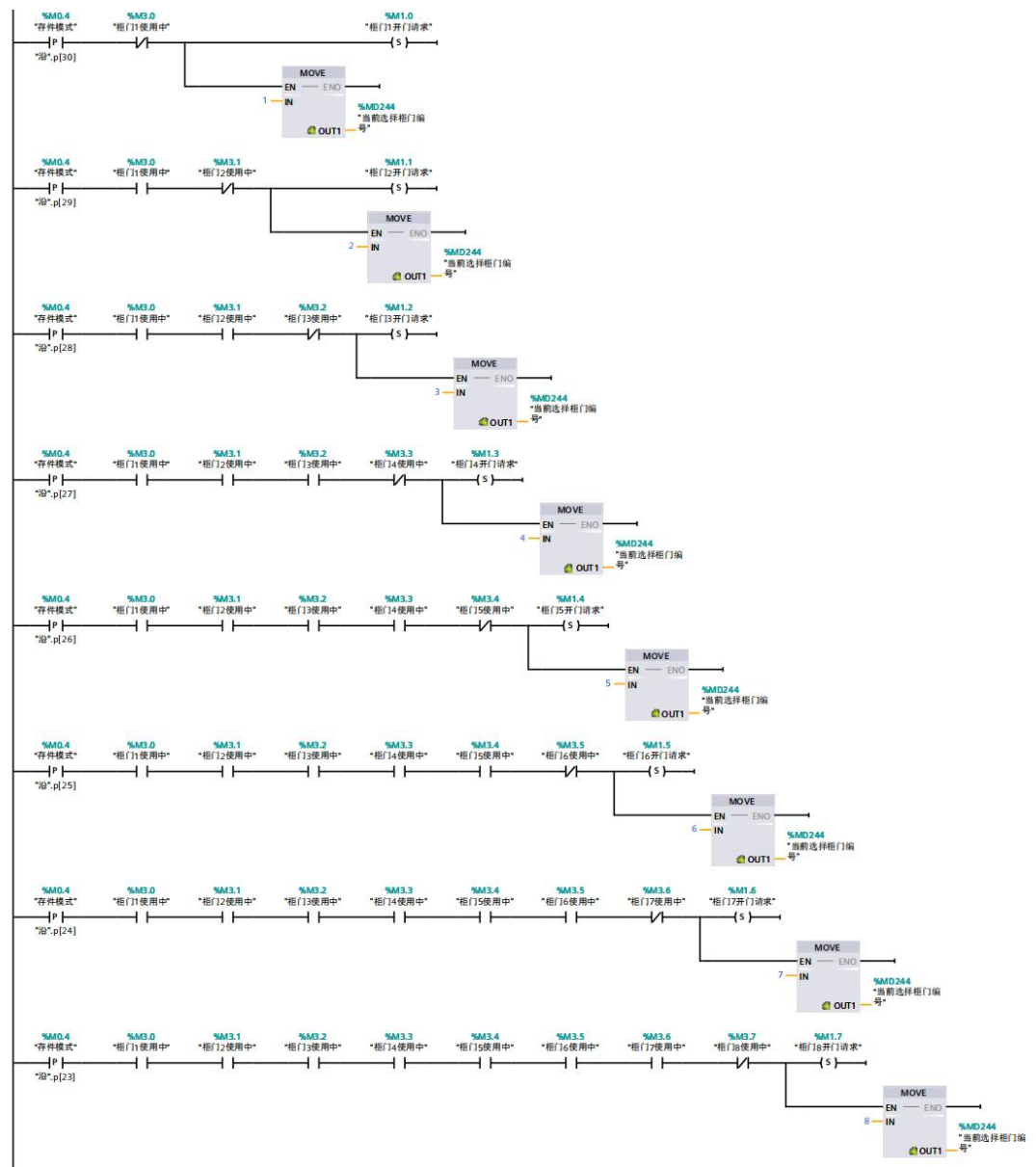


图 4-8 存取流程控制

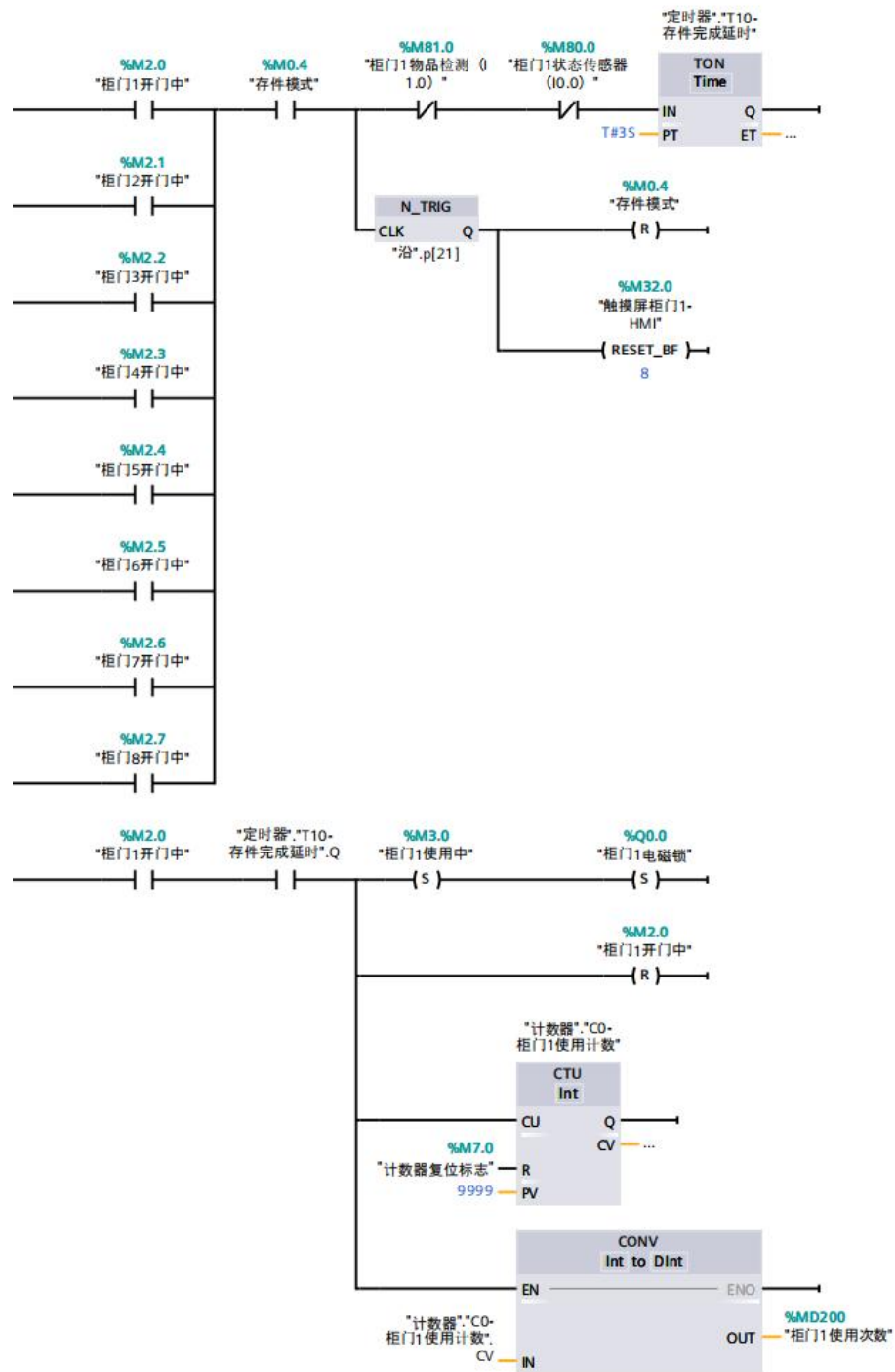


图 4-9 存取流程控制

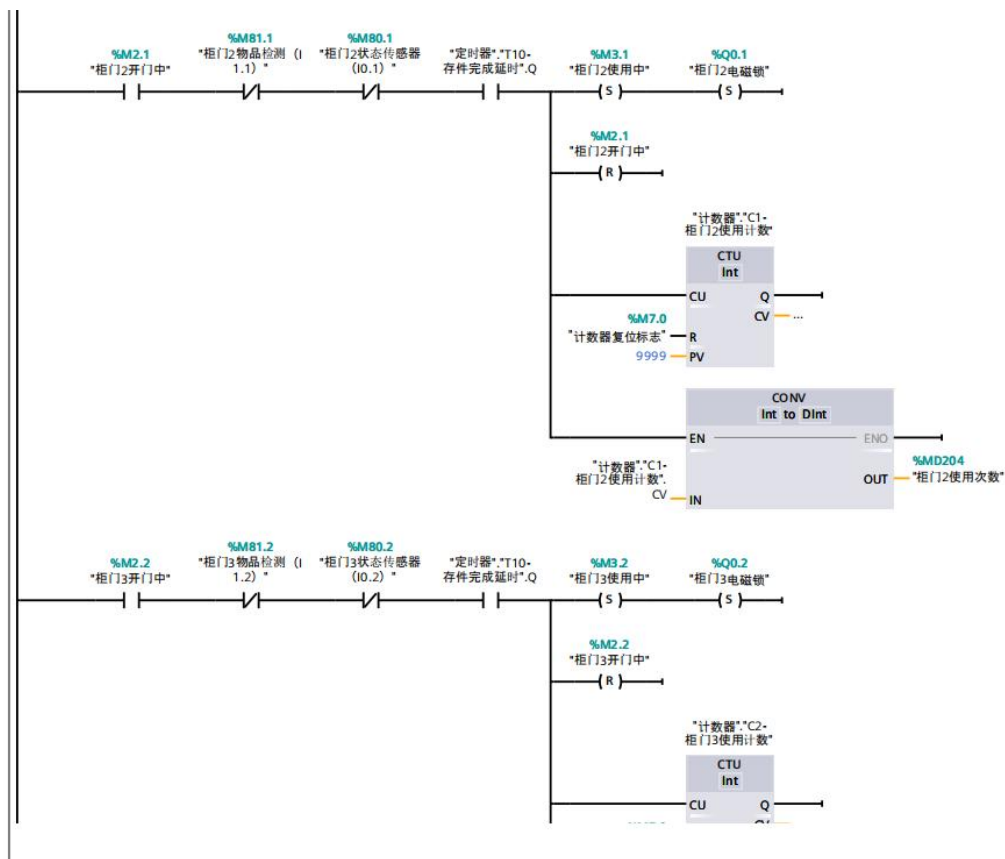
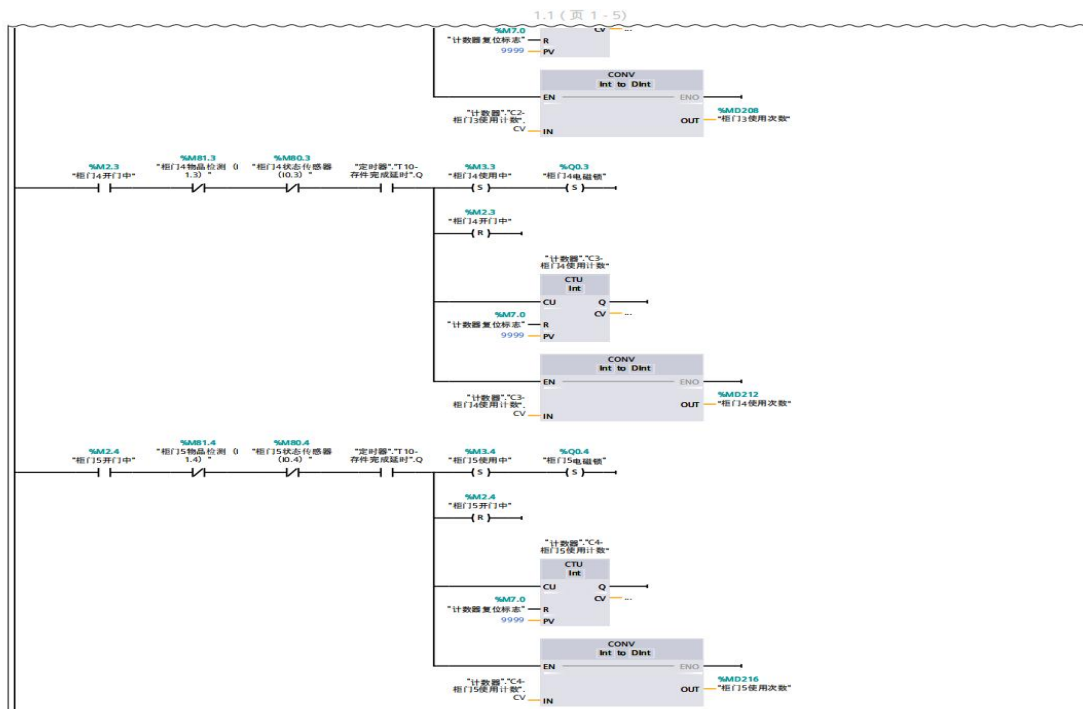
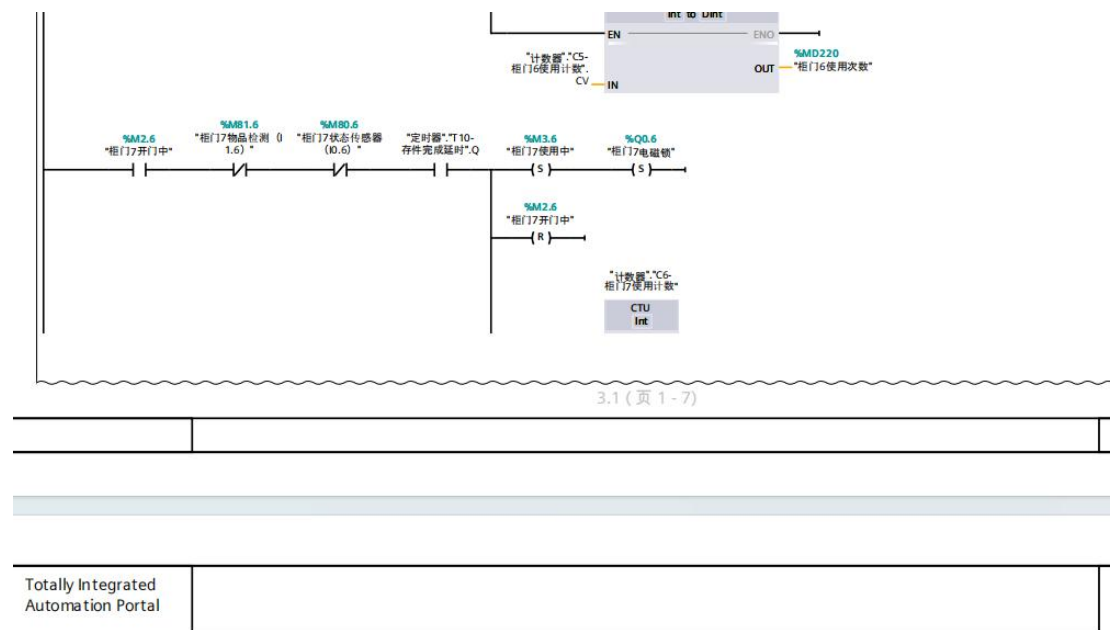


图 4-10 存取流程控制





网络 11 : 存件确认 (检测柜门关闭+物品放入) (3.1 / 3.1)

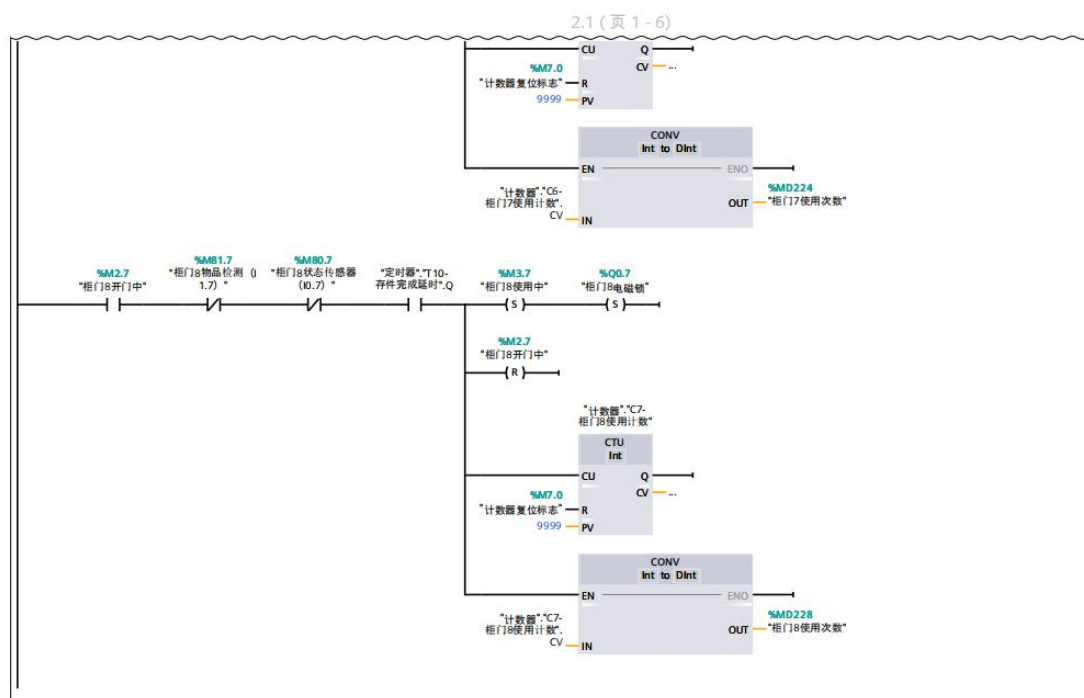
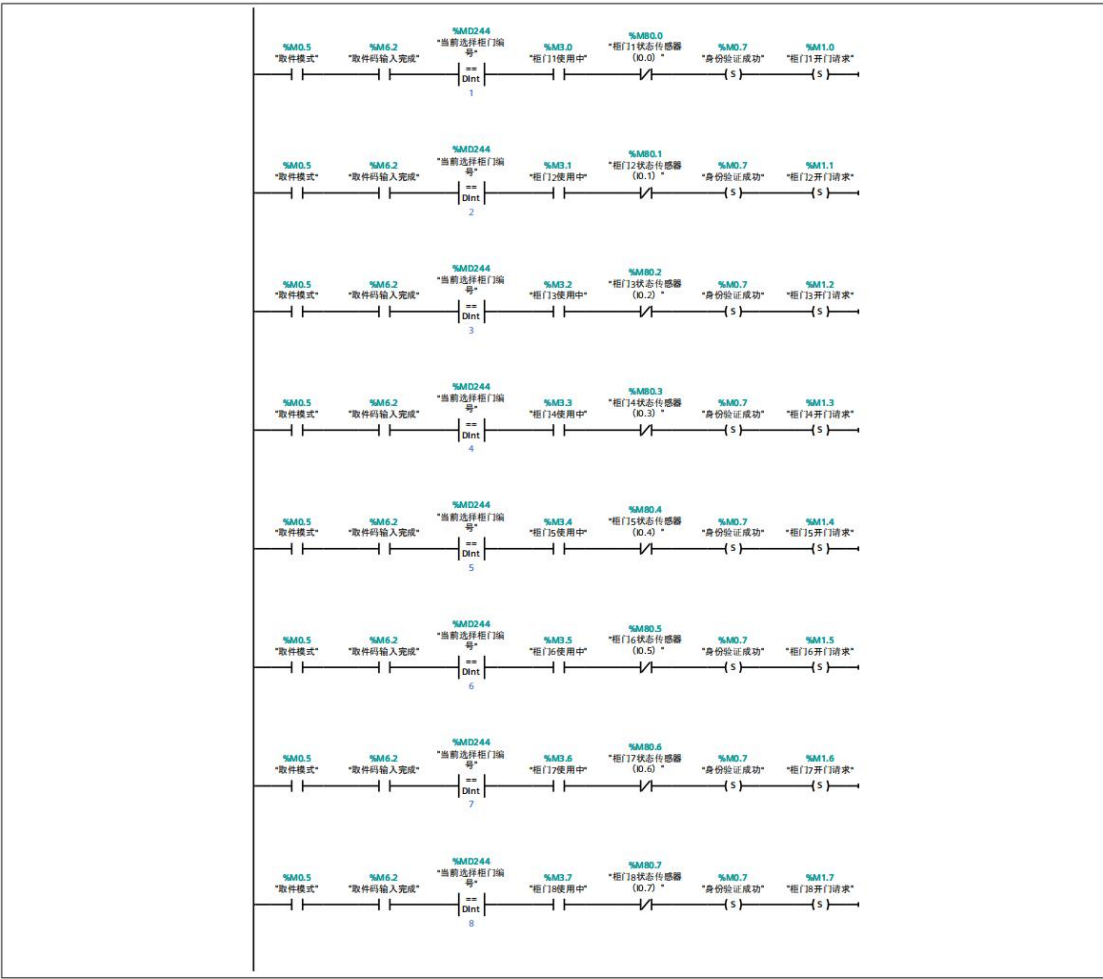


图 4-11 存取流程控制

网络 17：取件码验证（检查柜门是否有物品且关闭）



网络 18：验证成功处理



网络 19：取件确认（检测柜门关闭+物品取出）

图 4-12 存取流程控制

网络 19：取件确认（检测柜门关闭+物品取出）（1.1 / 2.1）

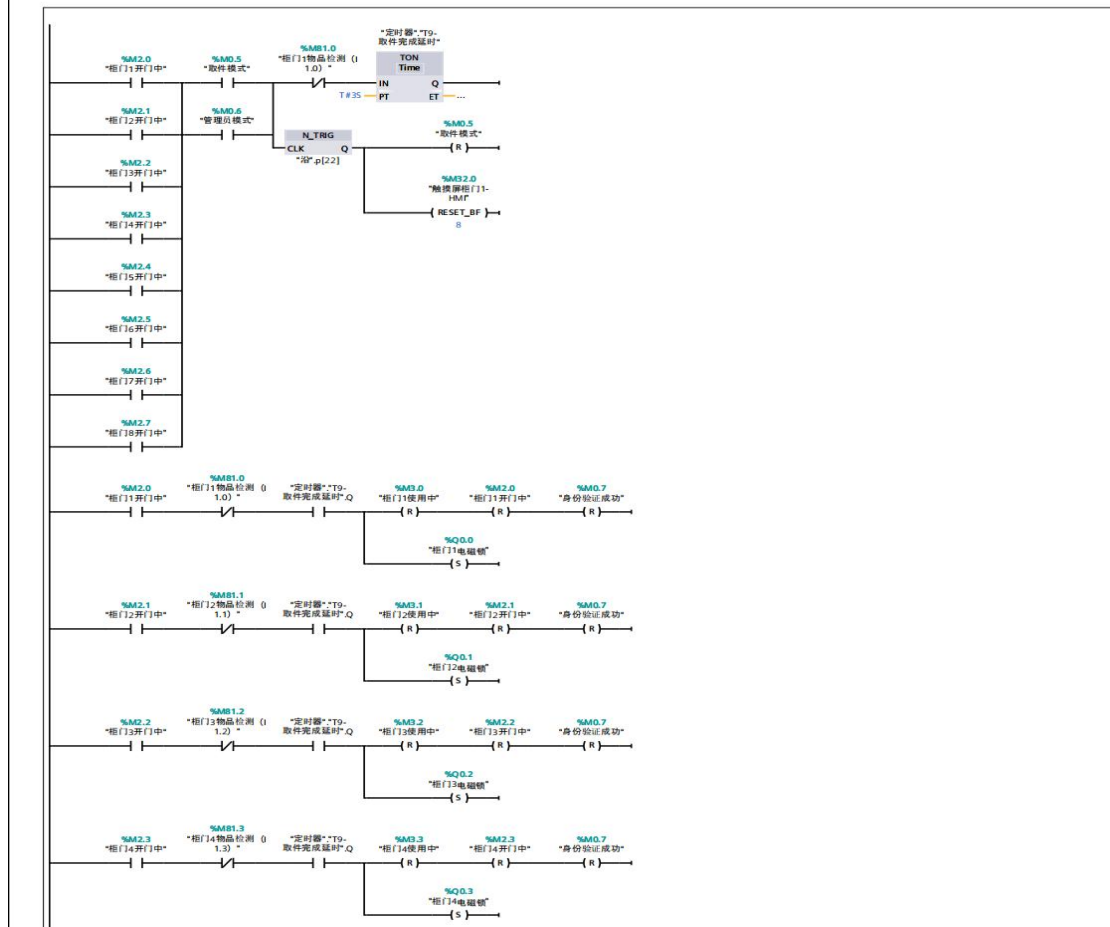


图 4-13 存取流程控制

4.3 存取件状态监测系统

存件模式：快递员选择存件模式后，系统自动扫描柜门 1 至 8，找出门关闭且无物品的可用柜门，按优先级 1 至 8 自动分配第一个可用柜门，置位开门请求并更新当前选择柜门编号。分配成功后，对应柜门电磁锁得电，快递员将包裹放入格口并关闭柜门，系统通过门状态传感器和物品检测传感器确认门已关闭且有物品，经 3 秒延时后置位使用中并复位电磁锁，同时柜门使用计数器加 1，完成存件流程。若所有柜门均已占用，则无法分配，HMI 可提示"柜已满"。

取件模式：用户选择取件模式后，通过触摸屏选择目标柜门编号，系统验证该柜门处于使用中且门已关闭，验证通过后触发开门。用户打开柜门取出快递，物品检测传感器检测到物品消失，经 3 秒延时后复位使用中并复位电磁锁，完成取件流程。

存件自动分配程序逻辑为：采用优先级扫描方式，存件模式且柜门 1 未使用

时分配柜门 1，柜门 1 已用则检查柜门 2，依次类推至柜门 8。分配条件为"门关闭且无物品"，表示该格口空闲可用。分配时置位对应柜门的开门请求，并将柜门编号写入当前选择柜门编号；注意存件时"使用中"应在存件确认后置位，而非分配时置位，否则会导致逻辑错误。存件确认采用 TON 定时器，当柜门开门中、门关闭、有物品三者满足时启动 3 秒定时，定时到后置位使用中、复位电磁锁，计数器加 1。取件确认采用下降沿检测物品取出，即检测物品检测信号由高到低的跳变，表示物品已被取走，逻辑与存件确认类似。

图 4-3 为存件流程图，描述了快递员选择存件模式后，系统按优先级 1 至 8 自动分配可用柜门、电磁锁得电、快递员放入包裹并关门、经 3 秒延时确认后置位使用中并复位电磁锁的完整存件过程。

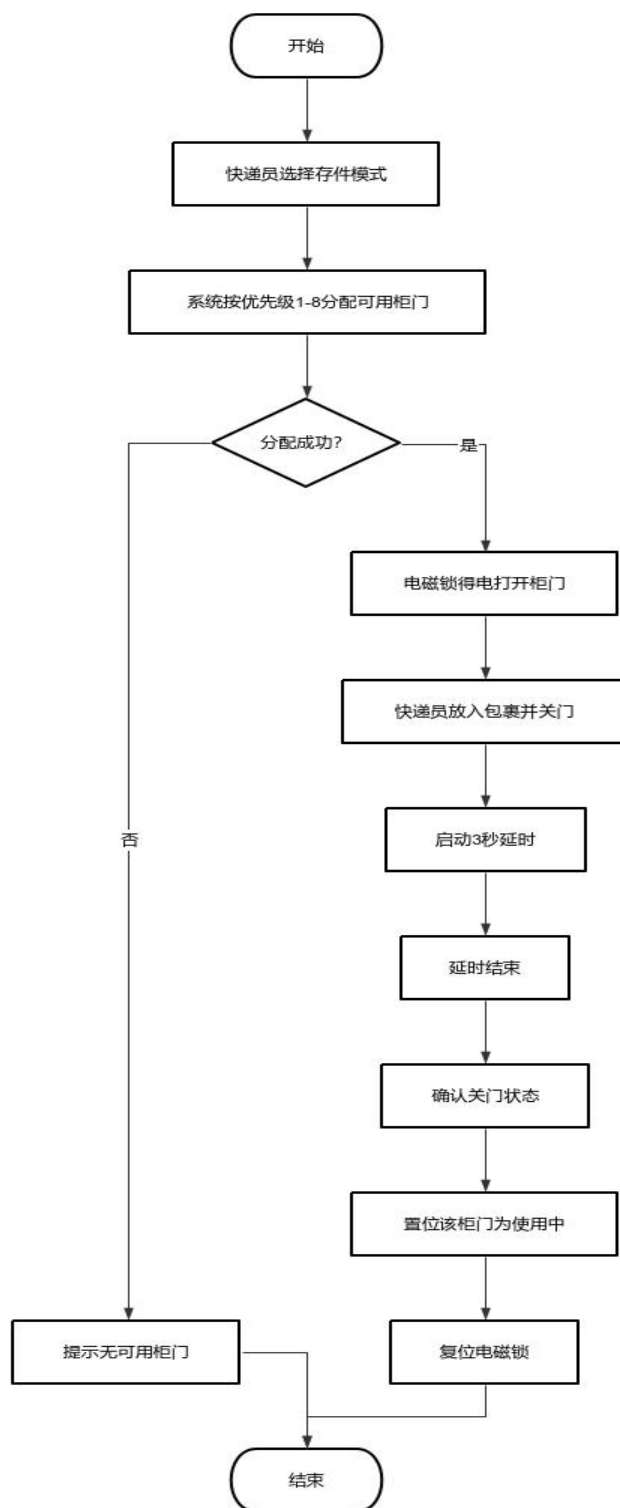


图 4-14 存件流程流程图

图 4-4 为取件流程流程图，描述了用户选择取件模式并选择目标柜门后，系统进行身份验证、验证通过后开门、用户取出快递、经 3 秒延时确认后复位使用中的完整取件过程。

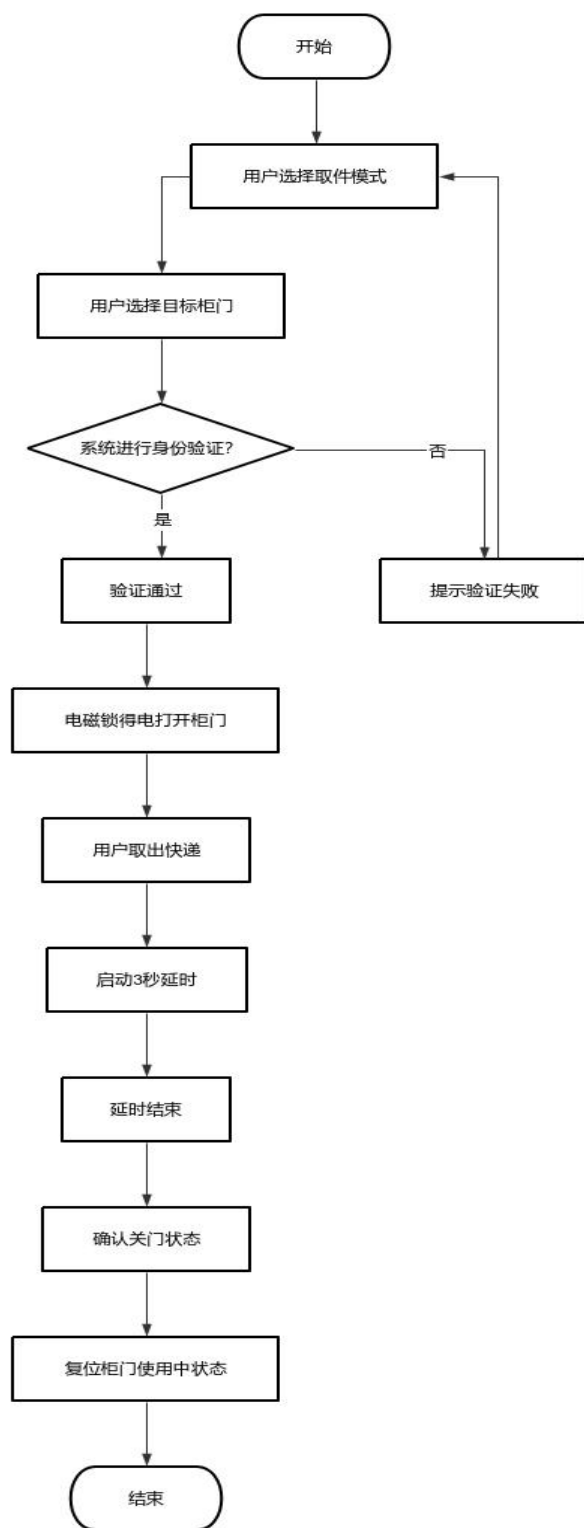


图 4-15 取件流程流程图

存件分配与存取确认程序逻辑如下。网络 8 实现存件模式选择：按下存件按钮时置位存件模式、复位取件模式和管理员模式，并更新系统状态代码。网络 9 实现可用柜门数量扫描：在存件模式下，依次检查柜门 2 至 8 是否未使用，未使

用则 ADD 指令将可用柜门数量加 1，采用 P_TRIG 上升沿保证每扫描周期只加一次。网络 10 实现自动分配：按优先级 1 至 8 扫描，当存件模式且柜门 1 未使用时置位柜门 1 开门请求并写入柜门编号 1，柜门 1 已用则检查柜门 2，依次类推至柜门 8，采用 P_TRIG 保证仅分配一次。网络 11 实现存件确认：当柜门开门中、门关闭、有物品三者满足时，TON 定时器 3 秒延时到后置位使用中、复位电磁锁、CTU 计数器加 1。该段程序的作用是实现存件模式下自动分配空闲柜门及存件完成的确认逻辑，确保快递员无需手动选择格口即可完成存件。

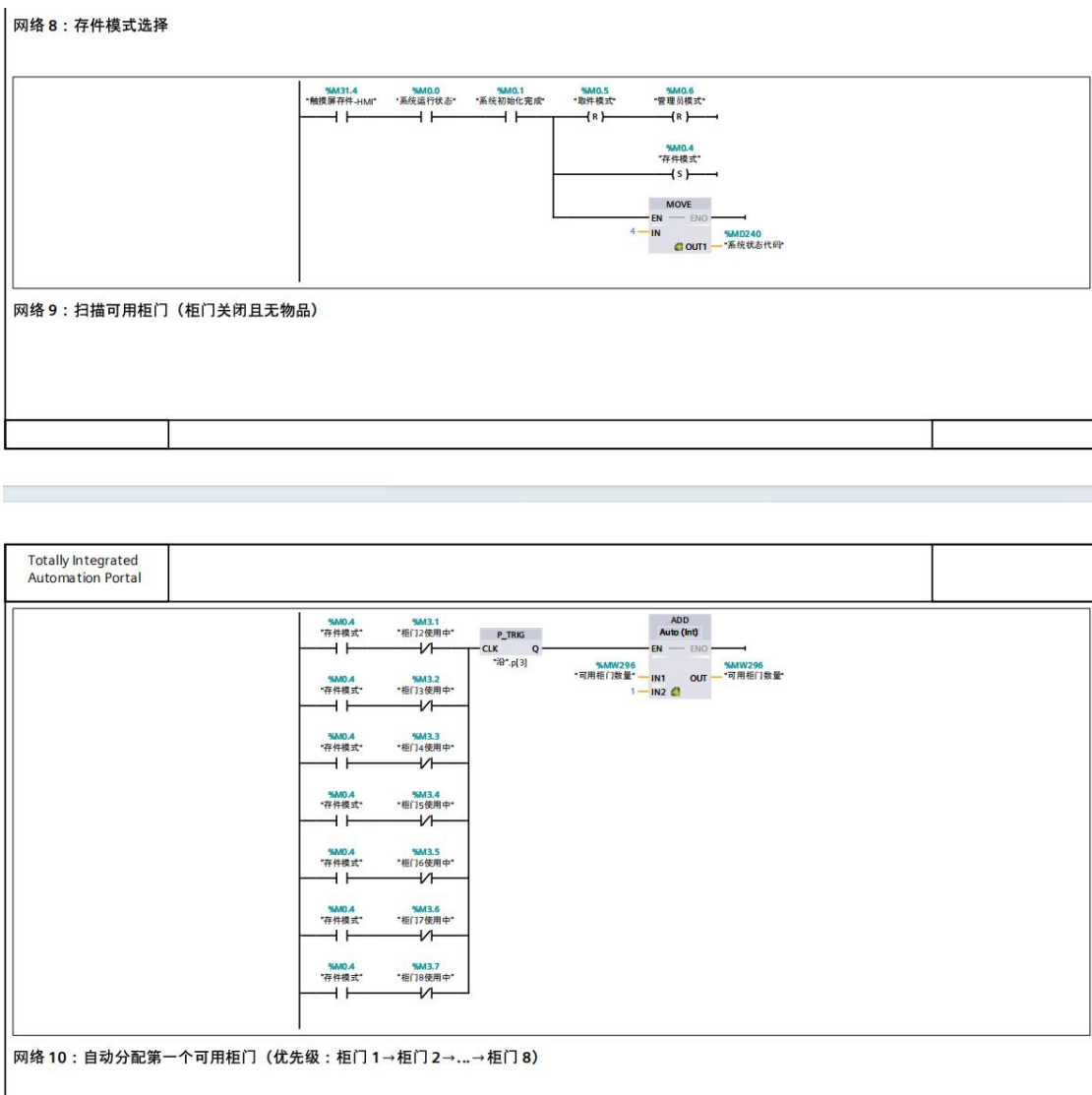


图 4-16 存件分配与存取确认程序梯形图

4.4 故障检测与报警系统

系统设置开门超时检测，防止用户开门后长时间不关闭导致的安全隐患和资源占用。每个柜门开门超过 40 秒触发超时报警，故障代码 101 至 108 分别对应

柜门 1 至 8，便于运维人员快速定位问题格口。超时后置位"系统故障"、对应"柜门超时报警"，故障报警指示灯点亮，蜂鸣器鸣叫，提醒用户或运维人员处理。故障灯采用 1 秒周期闪烁，增强视觉警示效果。急停时故障代码设为 999，系统状态代码设为 4，表示系统处于急停状态。复位功能可清除所有故障标志和开门请求，使系统恢复正常。HMI 界面显示故障代码和报警状态，支持运维人员远程或现场查看。

各柜门超时检测采用 TON 定时器，当柜门开门中为真时启动 40 秒定时，定时到则置位柜门超时报警、系统故障、写入故障代码，故障代码 101 至 108 分别对应柜门 1 至 8。40 秒的设定值综合考虑了用户取件或存件的正常操作时间，过短可能导致正常操作被误报，过长则失去警示意义。综合故障检测逻辑为：任一柜门超时报警即置位系统故障，系统状态代码设为 2，并触发故障次数计数器加 1，用于统计系统运行期间的故障频次。故障灯采用 1 秒周期闪烁，通过定时器产生 1 秒周期方波驱动；蜂鸣器在故障时持续鸣叫，直至复位；开门时蜂鸣器短鸣 1 秒作为提示音，提醒用户柜门已打开、请及时操作。

图 4-5 为故障检测与报警流程图，展示了当柜门开门超过 40 秒时，TON 定时器到时置位柜门超时报警和系统故障，故障代码 101 至 108 对应柜门 1 至 8，并触发故障灯闪烁和蜂鸣器鸣叫的报警逻辑。

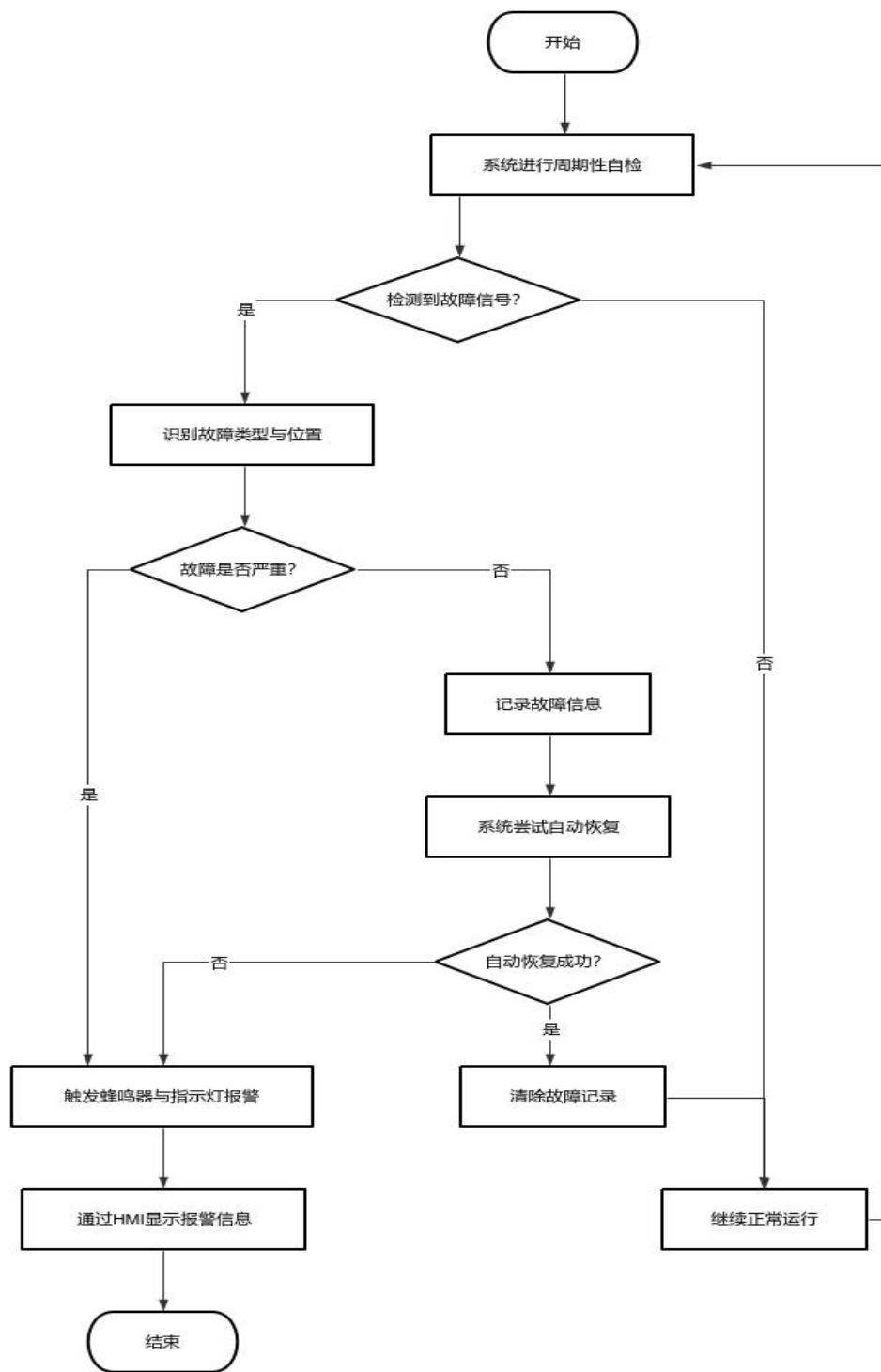
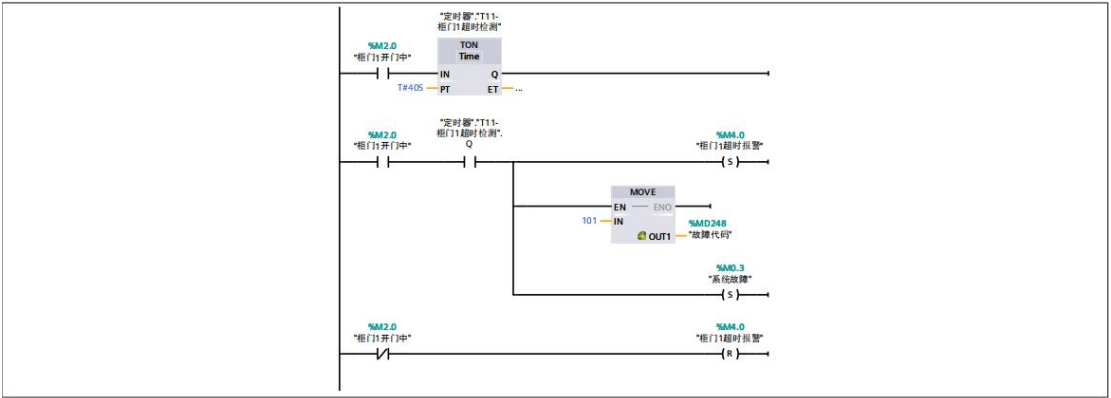


图 4-17 故障检测与报警流程图

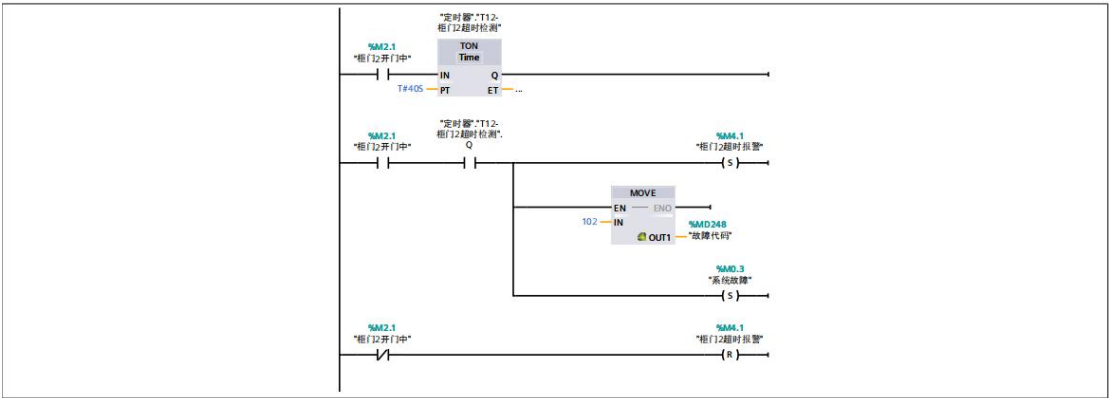
故障检测与报警程序逻辑如下。网络 29 至 36 分别实现柜门 1 至 8 的超时检测：当柜门开门中为真时，TON 定时器启动 40 秒计时，定时到则置位对应柜门超时报警、置位系统故障，MOVE 指令写入故障代码 101 至 108 分别对应柜门 1 至 8；开门请求复位时 RESET_BF 清除定时器。网络 37 实现综合故障检测：任

一柜门超时报警即置位系统故障，系统状态代码设为 2,P_TRIG 上升沿触发 CTU 故障次数计数器加 1，故障总次数写入数据块供 HMI 显示。该段程序的作用是防止用户开门后长时间不关闭导致的安全隐患和资源占用，通过故障代码便于运维人员快速定位问题格口，故障次数统计为运维分析提供数据支撑。

网络 29：柜门 1 超时检测（开门超过 40 秒触发报警）

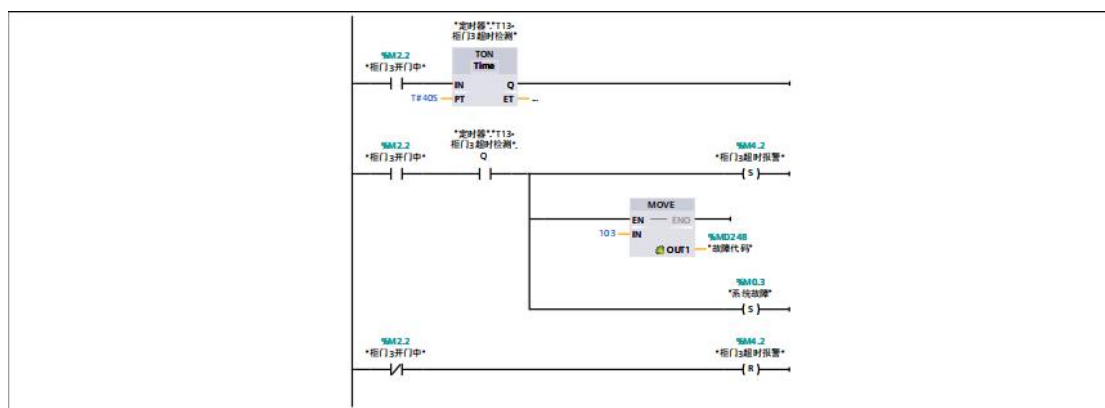


网络 30：柜门 2 超时检测

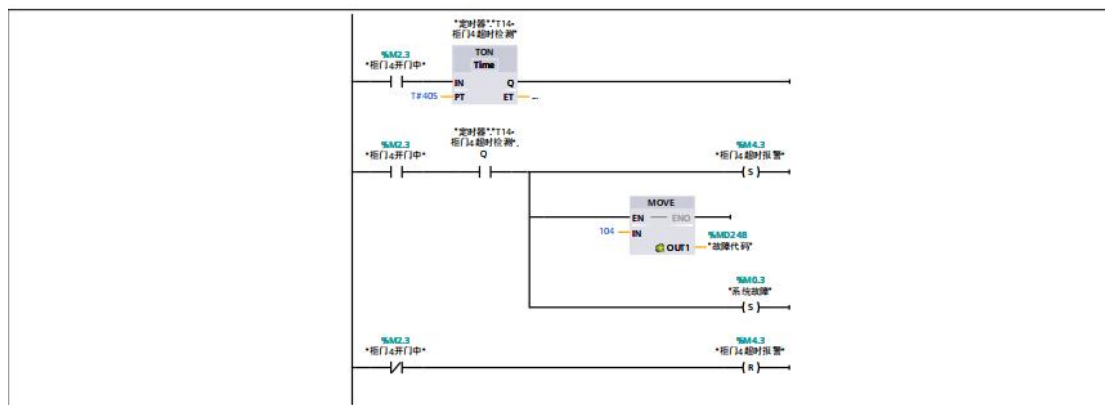


网络 31：柜门 3 超时检测

图 4-18 故障检测与报警程序梯形图



网络 32：柜门 4 超时检测



网络 33：柜门 5 超时检测

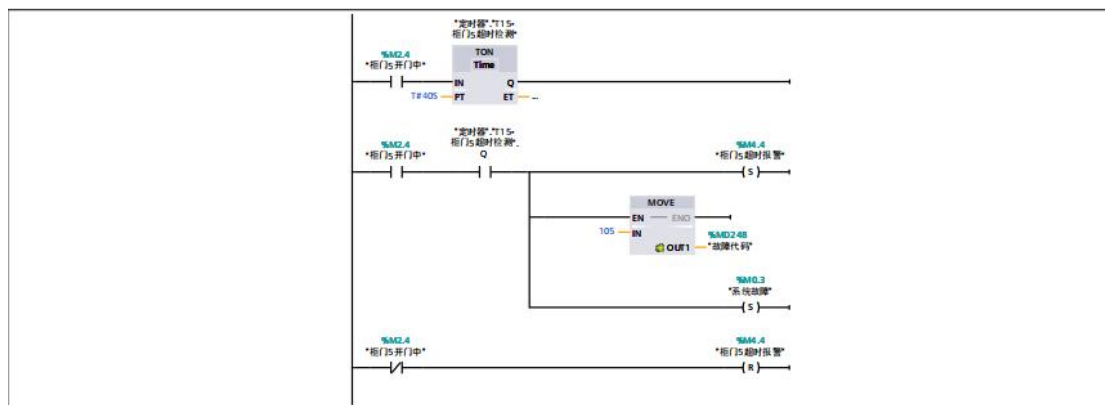
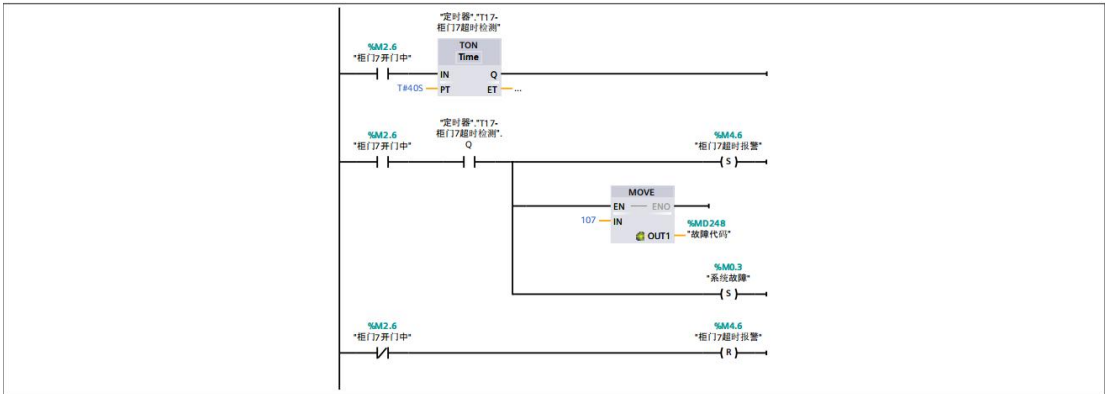
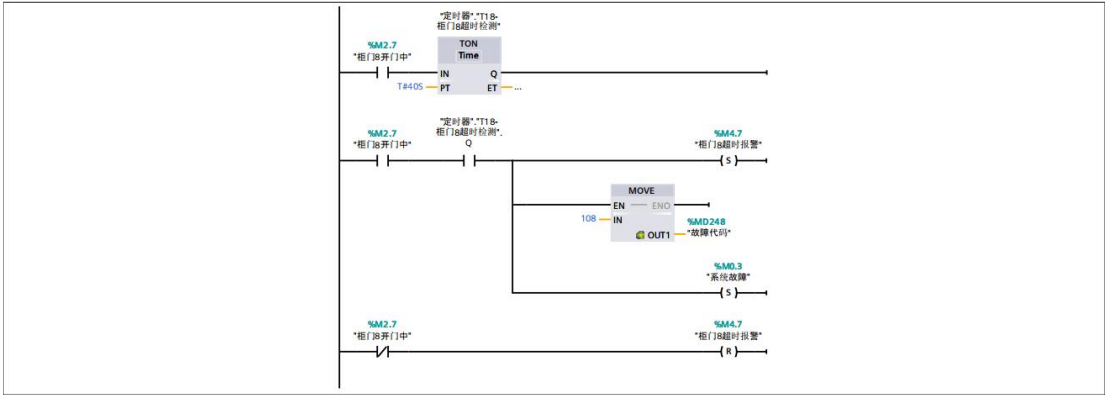


图 4-19 故障检测与报警程序梯形图

网络 35 : 柜门 7 超时检测



网络 36 : 柜门 8 超时检测



网络 37 : 综合故障检测 (汇总所有柜门故障)

图 4-20 故障检测与报警程序梯形图

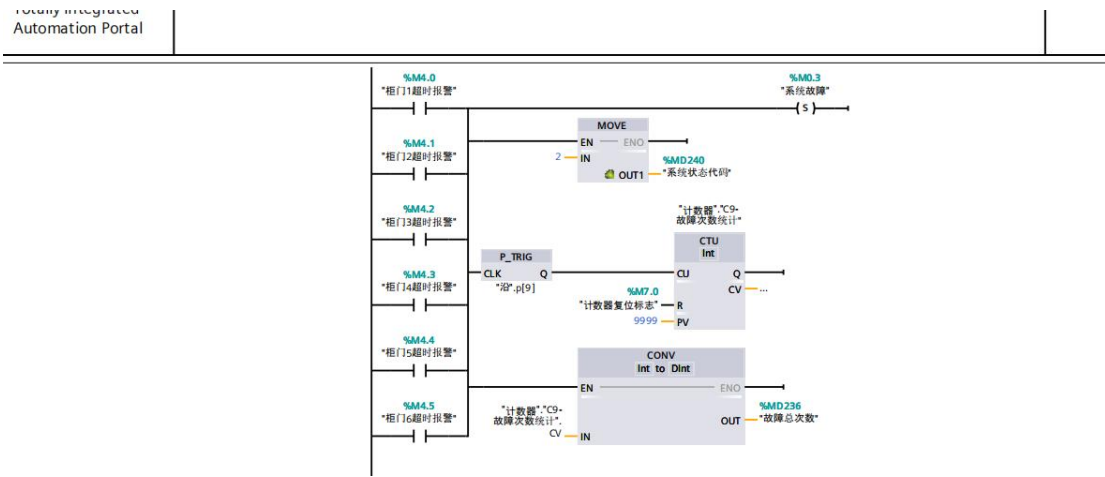


图 4-21 故障检测与报警程序梯形图

4.5 状态反馈与记录系统

系统通过计数器记录各柜门使用次数和总操作次数，以及故障总次数。各柜门使用次数采用 CTU 加计数器实现，每次存件确认或取件确认时对对应柜门计

计数器加 1；总操作次数为各柜门使用次数之和，可在 PLC 中通过加法指令累加，或在 HMI 中显示时求和。故障总次数在每次置位系统故障时加 1。开门时剩余时间显示为设定时间 40 秒减去已开门时间，已开门时间通过 TON 定时器的当前值获取，便于用户了解剩余操作时间。系统状态代码根据运行状态、存件取件管理员模式、故障、急停等动态更新，例如 0 表示停止，1 表示运行，2 表示故障，3 表示存件/取件/管理员模式，4 表示急停。HMI 管理员界面显示总操作次数和各格口使用次数，支持数据统计与运维分析，为设备维护、使用率分析提供依据。

4.6 系统工作模式切换逻辑

系统支持存件、取件、管理员三种工作模式，通过 HMI 上的模式按钮切换。三种模式互斥，同一时刻仅有一种模式有效。模式切换逻辑为：用户按下存件按钮时置位存件模式、复位取件模式和管理员模式；按下取件按钮时置位取件模式、复位存件模式和管理员模式；按下管理员按钮时置位管理员模式、复位存件模式和取件模式。模式变量存储在 PLC 数据块中，供身份核验、柜门控制、存取件监测等模块使用。

存件模式下，系统执行自动分配柜门逻辑，快递员无需选择格口；取件模式下，用户需选择目标柜门并通过身份验证才能开门；管理员模式下，无需身份验证，可直接通过格口 1 至 8 的开门按钮打开任意柜门，适用于运维、检修、取回滞留件等场景。模式切换可在系统运行过程中进行，但若某柜门正处于开门中状态，建议待其完成存取确认后再切换模式，以避免状态混乱。程序中对模式变量的使用需注意互斥性，例如存件确认逻辑仅在存件模式下有效，取件确认逻辑仅在取件模式下有效。

第 5 章 第五章 HMI 触摸屏仿真

5.1 触摸屏产生背景及定义

工业触摸屏（HMI）是人机交互界面的重要组成部分，起源于对传统按钮、指示灯操作方式的替代需求。早期的工业控制设备采用大量的物理按钮、旋钮、指示灯进行操作与状态显示，接线复杂、占用空间大、功能扩展困难。随着计算机技术和显示技术的发展，工业触摸屏应运而生，通过图形化界面显示设备运行状态、工艺参数和报警信息，操作人员通过触摸即可完成参数设置、模式切换和设备控制，大大提升了操作便捷性和系统可视化程度。一台触摸屏可替代数十个甚至上百个物理按钮和指示灯，且界面可根据不同应用场景灵活组态，降低了硬件成本与维护难度。在 PLC 控制系统中，HMI 与 PLC 通过通信协议交换数据，实现"所见即所得"的监控与控制，操作员在触摸屏上的操作实时传递至 PLC，PLC 的运行状态实时反馈至触摸屏，形成闭环的人机交互。

5.2 西门子 TP1200 触摸屏

本设计采用西门子 TP1200 Comfort 型工业触摸屏，该型号具有 12 英寸宽屏显示、1280×800 像素分辨率、多点触控、工业级防护等特点，支持与 S7-1200/1500 系列 PLC 的以太网通信。TP1200 采用 TIA Portal 统一开发环境，与 PLC 项目集成在同一工程中，新建 HMI 设备时可直接选择"添加新设备"并关联已有 PLC，变量可直接引用 PLC 数据块中的标签，无需重复定义，简化了组态工作。触摸屏支持多种控件类型，如按钮、I/O 域、文本域、图形、趋势图、符号库等，可灵活构建监控界面。本设计主要使用按钮实现模式切换、格口选择、启动停止等操作，使用 I/O 域显示柜门编号、故障代码、使用次数等数值，使用图形和圆形实现柜门状态、验证状态、运行状态的可视化。

TP1200 与 PLC 的通信采用 S7 连接协议，在 TIA Portal 中通过"连接"配置 HMI 与 PLC 的以太网连接，需指定 PLC 的 IP 地址及机架号、槽号。变量通过"PLC 变量"或"HMI 变量"与 PLC 数据块、M 区、I 区、Q 区建立绑定，支持位、字节、字、双字、实数等数据类型。按钮控件可配置"按下"和"释放"事件，分别执行置位、复位、设置变量值等函数；本设计采用"按下置位、释放复位"

的方式实现模式按钮，即按下时置位对应模式变量，释放时复位，保证同一时刻仅有一种模式有效。I/O 域可配置为输入模式、输出模式或输入/输出模式，用于显示和修改数值型变量，如故障代码、使用次数等。图形控件可配置"外观"动态化，根据变量值切换填充颜色、边框颜色、可见性等属性，实现柜门空闲时绿色、使用中红色、开门中闪烁等效果。

5.3 HMI 身份核验系统仿真

根画面中包含取件状态提示区域，显示当前选择柜门编号、验证状态及圆形指示灯，绿色表示验证成功，同时显示剩余开门时间。用户选择格口 1 至 8 按钮后，系统更新当前选择柜门编号，PLC 执行验证逻辑，验证成功后指示灯变绿，并进入开门倒计时显示。取件状态提示区域采用文本域显示"当前选择：X 号柜门"，X 为 1 至 8 的数值；圆形指示灯验证成功时填充绿色，否则为灰色；剩余开门时间从 40 秒倒计时至 0 秒。

仿真测试中，用户选择格口 3 后，当前选择柜门编号显示 3，身份验证成功时指示灯由灰色变为绿色，剩余开门时间从 40 秒开始倒计时，取件完成关门后 3 秒内归零。选择格口 5 且该格口有快递且门已关闭时，验证通过后剩余开门时间显示 40 秒；选择未使用格口时验证失败，指示灯保持灰色。

图 5-1 为 HMI 根画面及身份核验区域截图，展示了当前选择柜门编号、验证状态圆形指示灯、剩余开门时间等显示元素，以及格口 1 至 8 选择按钮的布局，用户通过触摸选择目标柜门后，验证成功时指示灯显示绿色。

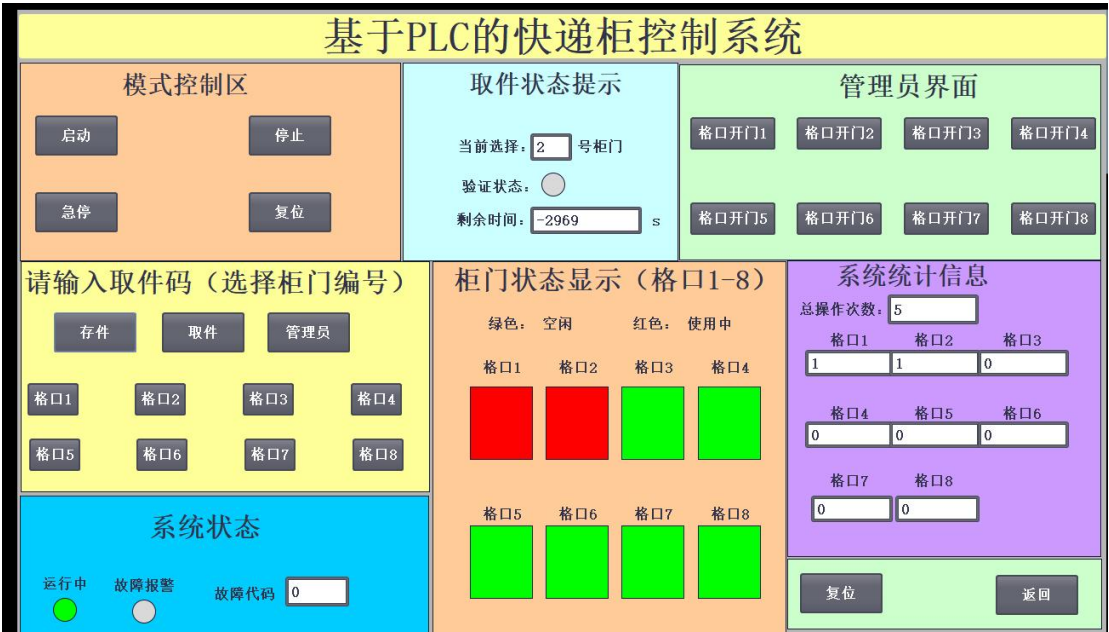


图 5-1 HMI 根画面及身份核验区域

5.4 HMI 柜门状态显示系统仿真

柜门状态显示区域包含格口 1 至 8 的矩形指示块，空闲时显示绿色，使用中显示红色，开门中时闪烁。模式控制区提供存件、取件、管理员三个模式按钮，根画面还包含启动、停止、急停、复位按钮。

仿真测试中，存件模式下格口 1 自动分配后，格口 1 由绿色变为红色表示使用中；取件完成后格口由红变绿。启动后运行中指示灯为绿色，停止后熄灭。故障时故障报警指示灯为红色并闪烁。典型场景：存件 3 件后格口 1、2、3 显示红色，格口 4~8 显示绿色；取件完成后对应格口恢复绿色；开门超时 40 秒后故障代码显示 101~108，故障灯变红。

图 5-2 为 HMI 柜门状态显示界面截图，展示了格口 1 至 8 的矩形指示块，空闲时显示绿色、使用中显示红色、开门中时闪烁，以及存件、取件、管理员模式按钮和启动、停止、急停、复位按钮的布局。



图 5-2 柜门状态显示界面

5.5 HMI 故障报警系统仿真

故障报警区域显示运行中和故障报警两个状态，运行中为绿色，故障时为红色。故障代码通过 I/O 域显示，格式为十进制 4 位。

仿真测试中，正常运行时段运行中指示灯为绿色，故障代码显示 0。柜门 1 开门超时 40 秒后，故障代码显示 101，故障报警指示灯变红；柜门 3 超时后显示 103。急停后故障代码显示 999。复位后故障代码归零，故障灯熄灭。典型数据：无故障时故障代码 0；柜门 1~8 超时分别对应 101~108；急停后故障代码 999。

图 5-3 为 HMI 故障报警区域截图，展示了系统运行中指示灯和故障报警指示灯，运行中为绿色、故障时为红色，以及故障代码的 I/O 域显示，便于运维人员根据故障代码快速定位问题格口。



图 5-3 故障报警区域

5.6 HMI 操作记录显示系统仿真

管理员界面包含系统统计信息区域，显示总操作次数以及格口 1 至 8 各自的使用次数。管理员可通过格口开门 1 至 8 按钮手动打开对应柜门，界面还提供复位和返回按钮。

仿真测试中，完成 5 次存件、3 次取件后，总操作次数显示 8；格口 1 使用次数 3、格口 2 使用次数 2、格口 3 使用次数 3，其余格口为 0。故障超时报警 2 次后，故障总次数显示 2。复位后使用次数和故障总次数清零。典型数据：存件 10 件、取件 8 件后，总操作次数 18；格口 1~4 使用次数分别为 8、5、3、2，格口 5~8 为 0；故障总次数随超时次数递增。

5.7 仿真测试与验证

在 TIA Portal 中启动 PLC 仿真和 HMI 仿真，进行联合仿真测试。测试内容

主要包括：一是存件流程测试，选择存件模式后系统自动分配柜门，模拟门关闭和物品放入，验证存件确认逻辑及使用次数计数是否正确；二是取件流程测试，选择取件模式后选择目标柜门，验证身份核验逻辑，模拟物品取出和门关闭，验证取件确认逻辑；三是管理员流程测试，选择管理员模式后通过格口开门按钮打开任意柜门，验证手动开门功能；四是故障报警测试，模拟某柜门开门超过 40 秒，验证超时报警、故障代码显示、蜂鸣器鸣叫、故障灯闪烁等功能；五是模式切换测试，在不同模式间切换，验证互斥性及状态正确性；六是复位功能测试，故障发生后按下复位按钮，验证故障清除及系统恢复。通过上述测试，验证了系统功能的正确性和稳定性，满足工程应用需求。

图 5-4 为 HMI 管理员界面截图，展示了总操作次数及各格口 1 至 8 使用次数的统计信息区域，以及格口开门 1 至 8 按钮、复位按钮和返回按钮，管理员可手动打开任意柜门并查看使用数据。

HMI 仿真测试数据汇总如表 5-1 所示，表中列出典型仿真场景、测试操作及界面显示数据，供仿真验证参考。

表 5-1 HMI 仿真测试数据汇总

序号	仿真场景	测试操作	界面显示数据
1	身份核验 - 取件成功	选择格口 3，格口有件且 门关闭	当前选择：3、验证指示灯绿色、剩余时间 40→0 秒
2	身份核验 - 取件失败	选择格口 5，格口未使用	验证指示灯灰色、不触发开门
3	柜门状态 - 存件后	存件 3 件至格口 1、2、3	格口 1~3 红色、格口 4~8 绿色
4	柜门状态 - 取件后	从格口 2 取件完成	格口 2 由红变绿
5	故障报警 - 无故障	正常运行	故障代码 0、运行中绿色、故障灯灰色

序号	仿真场景	测试操作	界面显示数据
6	故障报警 - 柜门 1 超时	柜门 1 开门超 40 秒	故障代码 101、故障灯红色闪烁
7	故障报警 - 急停	按下急停按钮	故障代码 999、故障灯红色
8	操作记录 - 存件 取件后	存件 5 件、取件 3 件	总操作次数 8、格口 1~3 使用次数分别为 3、2、3
9	操作记录 - 故障 统计	超时报警 2 次	故障总次数 2
10	复位后	按下复位按钮	故障代码 0、使用次数清零、故障总次数清零

第 6 章 总结与展望

6.1 总结

本设计完成了从需求分析到仿真验证的完整开发流程,达到了毕业设计的要求。系统以西门子 S7-1214C PLC 为控制核心,配合 TP1200 触摸屏人机界面,实现了智能快递柜的身份核验、柜门精准控制、存取件状态监测、故障检测与报警、状态反馈与记录等功能。硬件设计方面,完成了主回路、控制回路及 I/O 地址分配,选型了电磁锁、门状态传感器、物品检测传感器等关键器件;软件设计方面,采用梯形图语言编写了身份核验、柜门控制、存取件监测、故障检测、模式切换等逻辑模块,合理运用定时器、计数器实现超时报警和使用统计;HMI 设计方面,在 TIA Portal 中组态了根画面、柜门状态显示、身份核验反馈、故障报警、管理员界面等画面,建立了与 PLC 的变量连接。通过 PLC 与 HMI 联合仿真,逐项验证了存件、取件、管理员三种模式下的功能正确性,以及故障报警、复位等异常处理逻辑,验证了设计的正确性和可行性。

设计过程中仍存在一些不足。例如,当前身份核验采用柜门选择方式,用户通过触摸屏选择目标格口即可开门,安全性相对较弱,可进一步增加取件码或二维码扫描以提升安全性;系统尚未接入云平台,远程监控、远程开门、数据分析等能力有待扩展;格口数量固定为 8 个,模块化扩展能力可加强,实际工程中可根据场地需求灵活配置格口数量;此外,针对生鲜、药品等特殊快递的温湿度监测、冷藏、消毒等功能尚未涉及。

通过本次毕业设计,加深了对 PLC 控制系统工作原理、编程方法、硬件接线等方面的理解,掌握了 TIA Portal 博途软件的使用方法,熟悉了 PLC 与 HMI 的联合开发与仿真流程,提高了分析问题和解决问题的能力。本设计为智能快递柜的工程应用提供了一种可参考的实现方案,对今后的工作具有一定的借鉴意义。

6.2 展望

未来可在以下方面进一步优化:一是身份核验方式,增加取件码输入、二维码扫描、人脸识别等多元核验方式,提升安全性与用户体验;二是云平台接入,通过物联网网关或 4G/5G 模块将快递柜接入云平台,实现远程监控、远程开门、

使用数据统计分析、故障预警等功能；三是模块化设计，采用可扩展的硬件架构和程序结构，支持不同规格格口数量、不同尺寸格口的灵活配置；四是特殊快递支持，增加温湿度监测、冷藏、消毒等功能，满足生鲜、药品等特殊快递的存储需求；五是故障诊断优化，实现故障类型的细粒度识别，如传感器故障、电磁锁故障、通信故障等，并探索自恢复策略，减少人工干预。

致谢

本设计的完成离不开诸多师长、同学和家人的支持与帮助，在此谨致以诚挚的谢意。

首先感谢指导教师在选题、方案设计、程序调试及论文撰写全过程中的悉心指导。老师严谨的治学态度和丰富的工程经验使我在 PLC 控制系统的设计与实现方面获益良多，从硬件选型到软件逻辑、从 HMI 组态到仿真验证，老师都给予了耐心细致的指正与建议。

感谢在毕业设计期间给予帮助的各位任课教师和实验室老师，在专业知识学习和实践环节中提供的指导与支持。感谢同窗好友在资料查阅、方案讨论和调试过程中给予的协助与鼓励。

最后感谢家人多年来的理解与支持，让我能够安心完成学业。由于本人水平有限，设计中难免存在不足之处，恳请各位老师批评指正。

参考文献

- [1] 汤云峰,潘佳煜,邓洪亮,等.双面型快递柜的结构设计与应用研究[J].物流科技,2025,48(17):58-59+105.
- [2] 冯叶陶,唐琪,张瑞中,等.基于 PLC 的自动化立体仓储控制系统设计[J].机电工程技术,2025,54(17):59-64.
- [3] 刘淼.基于 PLC 控制系统的智能柔性生产线设计分析[J].中国设备工程,2025,(15):33-35.
- [4] 程浩,全兴科.智能化电商仓储系统的设计与实现[J].物流技术与应用,2025,30(08):104-108.
- [5] 李红,张斌兴.智能仓储系统教学设计在职业教育中的应用研究[J].中国机械,2025,(22):173-176.
- [6] Guo H.Construction and Empirical Research on Dynamic Optimization Mechanism of Express Cabinet Advertising Based on Terminal User Portraits[J].Management,2025,8(6).
- [7] 陈文科,张涛,蒋崇军,等.基于 S7-1200 PLC 的智能柔性生产性实训系统设计[J].电子制作,2025,33(15):72-75.
- [8] 曾丹丹,刘承子.绿色物流背景下智能快递柜设计与应用研究[J].物流研究,2025,(03):59-65.
- [9] 李文科,罗泽龙,廖虹,等.可移动快递柜和车载机器人协同配送绿色路径优化[J].包装工程,2025,46(09):241-249.
- [10] 吴萌,黄玲.社区丰巢快递柜的发展现状及优化策略[J].北方经贸,2025,(04):72-77.
- [11] Gu X,Qu J,Yuan Y,et al.An Efficient Off-grid Express Cabinet Based on Wind-solar Hybrid Power Generation System[J].Journal of Physics: Conference Series,2024,2717(1).
- [12] 马耀家,陈骏,刘敏,等.智能车库存取设备系统及关键技术研究[J].微型电脑应用,2024,40(01):205-208.
- [13] 杨千伟.基于 PLC 和条形码识别的快递分拣控制系统研究与设计[J].信息记录材料,2024,25(01):166-168.
- [14] 李芹芹,陈苏,张继红.基于 PLC 系统的平面移动式立体车库设计与实现[J].机电工程技术,2023,52(11):147-151.
- [15] 李睿智,秦香果,郭晓娥,等.基于 S7-1200 PLC 和触摸屏的自动化立体仓库控制系

统设计[J].自动化应用,2023,64(19):55-57+79.

[16]Lu H.Research on the Application of Contactless Intelligent Express Cabinet[J].E3S Web of Conferences,2021,25703064-.

[17]杨雪峰.基于立体仓库式的新型智能快递柜存取控制技术的研究[D].东北大学,2020.