

摘 要

本设计以 PLC 为控制核心，针对重介质选煤中悬浮液密度、液位和流量难稳定控制的问题，设计了一套选煤控制系统。密度传感器实时检测分选设备内悬浮液密度，数据传给 PLC。密度低时，PLC 控制加料装置补加磁铁矿粉；密度高时，PLC 控制补水阀开启，加清水稀释。系统还包含液位控制、流量控制、脱介控制、介质回收控制及在线检测。硬件采用西门子 S7-1200 PLC、触摸屏、模拟量模块、密度变送器、液位变送器、流量变送器等。软件用 TIA Portal 博途编写，实现密度调节、液位保护、流量监测及报警。仿真验证表明，系统运行稳定，控制精度满足选煤厂实际应用要求。

关键词：PLC；选煤；重介质；密度控制；自动化

ABSTRACT

Aiming at the technical problem that the density, liquid level and flow of suspension are difficult to stabilize in industrial heavy medium coal preparation process, this design takes Programmable Logic Controller (PLC) as the control core and develops a coal preparation control system based on PLC. The system uses density sensor to detect the suspension density in the separation equipment in real time and transmits the data to PLC. When the density is lower than the set value, PLC controls the magnetite powder feeding device to add high-density magnetite powder into the suspension. When the density is higher than the set value, PLC controls the water replenishment valve to open and add clear water for dilution until the density returns to the set range. PLC output control includes liquid level control, flow control, de-medium control and medium recovery control. The system also includes online detection and feedback design. The hardware consists of Siemens S7-1200 PLC, touchscreen, analog module, density transmitter, level transmitter, flow transmitter and other components. The software is programmed with TIA Portal to realize density regulation, level protection, flow monitoring and alarm functions. Simulation results show that the system runs stably with high control accuracy and meets the practical application requirements of industrial heavy medium coal preparation, providing an effective solution for coal preparation plant automation.

Keywords: PLC; Coal Preparation; Heavy Medium; Density Control; Automation

目录

摘 要	1
ABSTRACT	2
第 1 章 绪论	6
1.1 研究背景及意义	6
1.1.1 研究背景	6
1.1.2 研究意义	6
1.2 研究现状	6
1.2.1 国内的发展状况	6
1.2.2 国外的发展状况	7
1.3 设计内容及实现方法	7
1.4 本章小结	7
第 2 章 系统总体方案设计	9
2.1 总体功能需求分析	9
2.1.1 密度控制需求	9
2.1.2 液位与流量控制需求	9
2.1.3 脱介与介质回收控制需求	9
2.1.4 安全保护功能需求	9
2.1.5 人机交互与监控需求	9
2.2 系统总体方案的选择	10
2.2.1 控制方案选择	11
2.2.2 硬件方案选择	11
2.2.3 软件方案选择	11
2.3 系统的总体设计	12
2.3.1 系统架构设计	12
2.3.2 系统工作流程设计	12
2.3.3 系统控制模式设计	14
2.3.4 安全与复位流程设计	14
2.3.5 系统初始化	17

2.3.6 液位保护控制	17
2.3.7 脱介与介质回收控制	18
2.4 本章小结	18
第 3 章 系统的硬件设计	19
3.1 主控制器 PLC 选型	19
3.1.1 PLC 选型依据	19
3.1.2 西门子 S7-1200 PLC 简介	19
3.2 传感器与变送器选型	20
3.2.1 密度变送器选型	20
3.2.2 液位变送器选型	20
3.2.3 流量变送器选型	21
3.3 系统其他设备选型	21
3.3.1 变频器与驱动装置选型	21
3.3.2 补水阀与执行机构选型	21
3.3.3 触摸屏选型	22
3.3.4 操作元件与指示灯选型	22
3.4 3.4 系统设备清单	23
3.5 系统电路设计	24
3.5.1 主电路设计	24
3.5.2 PLC 端口接线	25
3.5.3 模拟量模块接线	26
3.6 PLC I/O 地址分配	27
3.6.1 地址分配原则	27
3.6.2 地址分配表	27
3.7 本章小结	29
第 4 章 系统的软件设计	30
4.1 系统软件总体方案设计	30
4.1.1 软件架构设计	30
4.1.2 编程语言选择	30

4.1.3 程序模块划分	30
4.2 PLC 控制程序设计	31
4.2.1 系统初始化程序	31
4.2.2 模式选择程序	32
4.2.3 密度调节控制程序	34
4.2.4 液位与流量保护程序	35
4.2.5 脱介与介质回收控制程序	35
4.2.6 变频器多段速控制程序	37
4.2.7 急停与复位程序	38
4.2.8 故障诊断与报警程序	39
4.3 人机交互程序设计	40
4.3.1 触摸屏界面设计	40
4.3.2 参数设置与状态显示	41
4.4 本章小结	42
第 5 章 系统仿真与调试	43
5.1 系统功能仿真与调试	43
5.1.1 博途 TIA Portal 仿真环境搭建	43
5.1.2 程序编译与语法检查	43
5.1.3 功能模块仿真测试	44
5.2 系统功能测试	44
5.2.1 自动模式功能测试	44
5.2.2 手动模式功能测试	45
5.3 系统性能测试	46
5.4 测试结果分析	48
5.5 本章小结	48
第 6 章 结 论	49
参考文献	50
谢 辞	52

第 1 章 绪论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

煤炭洗选加工能提升煤炭利用效率，降低环境污染，增加经济价值。工业重介质选煤利用密度介于煤与矸石之间的悬浮液，通过密度差异实现煤与杂质分离。重介质选煤分选精度高、处理能力大，在大型选煤厂应用广泛。但控制的核心是稳定悬浮液密度、液位和流量，这些参数波动大会直接影响分选效果。

传统选煤多采用继电器或仪表控制，接线复杂、故障率高、参数调整困难。PLC 可靠性高、抗干扰强、编程灵活、维护方便，已成为工业自动化核心设备。用 PLC 构建选煤控制系统，可实现密度、液位、流量的闭环调节。

1.1.2 研究意义

研究 PLC 在选煤控制中的应用，特别是密度、液位、流量的闭环控制方法，可完善工业自动化理论在选煤领域的应用。本设计将在现有基础上探索基于 PLC 的选煤控制系统设计方法。

本系统可为选煤企业提供技术支持，推动选煤厂智能化升级。PLC 加触摸屏的选煤控制系统可提高分选精度和生产效率，降低人工成本和介质消耗。

1.2 研究现状

1.2.1 国内的发展状况

国内学者在 PLC 控制选煤系统方面取得了丰硕成果。张晓鹏设计了基于 PLC 的选煤厂智能集控系统，为选煤厂集中控制提供了技术方案[1]。王正权、孙健康对基于 PLC 技术的浅槽重介选煤系统进行了研究，为重介质选煤的自动化控制提供了参考[2]。方建洲、刘海增研究了选煤厂工艺系统自动控制技术的应用，为工艺过程自动化提供了重要依据[3]。刘银、郎鑫对洗煤厂选煤集中控制系统的设计及应用进行了研究[4]。彭震、王名强设计了基于 PLC 控制技术的智能选煤流水线，实现了选煤过程的自动化[5]。郝全生等研究了基于激光技术的智能化选煤系统，为选煤智能化提供了新思路[6]。

杨欣将 PLC 控制技术应用于跳汰机闸门自动控制改造，取得了良好效果[7]。

田田研究了 PLC 控制系统在煤炭洗选设备中的应用[8]。马亮研究了基于模糊 PID 控制的选煤自动控制技术，为选煤控制算法提供了参考[9]。杨国放对基于 PLC 的选煤厂智能控制系统进行了应用研究[10]。王鹏军设计了基于 PLC 的选煤厂跳汰机智能控制系统[11]。党伟男设计了基于 PLC 的洗煤设备监控系统[12]。田宏彬研究了选煤生产过程标准数据平台的建设，为选煤信息化提供了参考[13]。郝晓君将 PLC 应用于华阳一矿选煤厂集控系统改造，取得了良好效果[14]。蒙长有对基于 PLC 控制系统的重介质洗选煤工艺进行了研究与应用，与本设计的重介质密度控制密切相关[15]。刘永光对基于 PLC 的选煤厂智能控制系统进行了设计与研究[16]。这些研究成果为本设计在密度控制、液位保护、流量监测等方面的设计提供了重要参考。

1.2.2 国外的发展状况

从国际研究动态来看，PLC 在选煤领域的应用已从单一设备控制发展到集成化、智能化系统。Hao C 等将计算机大数据技术应用于选煤厂网络通信视频监控，为选煤厂信息化提供了参考[17]。Huang E J 研究了 PLC 在选煤分拣系统中的应用[18]。Zhang J、Xing R M、Li J W 设计了基于 PLC 的重介质分选密度控制系统，与本设计的密度闭环调节思路高度一致，为密度控制方案提供了重要借鉴[19]。这些研究验证了 PLC 在选煤自动化中的核心地位，也为本设计的研究提供了重要参考。

当前，PLC 控制系统的研究正朝着智能化、网络化和集成化方向发展。从技术发展趋势来看，未来选煤控制系统将更加注重密度闭环控制精度、液位与流量的协调控制、在线检测与反馈的完善以及节能环保要求的提高。这些研究成果为本设计的研究奠定了坚实基础。

1.3 设计内容及实现方法

本设计以 PLC 为核心控制器，结合触摸屏，构建选煤控制系统。重点完成密度闭环调节、液位与流量监测保护、脱介与介质回收控制、安全保护及故障诊断等功能。硬件包括 PLC、触摸屏、模拟量模块、密度变送器、液位变送器、流量变送器等。

1.4 本章小结

本章介绍了选煤控制系统的研究背景和意义，分析了国内外相关技术发展状

况，阐述了本设计的主要内容和实现方法。

第 2 章 系统总体方案设计

2.1 总体功能需求分析

2.1.1 密度控制需求

重介质选煤的核心是稳定悬浮液密度。密度低时，煤与矸石难分离，分选精度下降；密度高时，精煤产率降低，介质消耗增加。系统需实现密度闭环调节：密度传感器实时检测，数据传至 PLC；密度低时 PLC 控制加料装置补加磁铁矿粉，密度高时 PLC 控制补水阀加清水稀释。密度调节精度要求较高。

2.1.2 液位与流量控制需求

系统需实时监测悬浮液液位和流量。液位过高可能溢流，液位过低影响泵运行；流量异常影响介质循环和分选效果。系统需设置液位上下限报警，超出范围时报警并采取保护措施。流量监测用于判断介质回收泵、悬浮液泵等设备的运行状态。

2.1.3 脱介与介质回收控制需求

脱介筛分离物料与悬浮液，介质回收泵将悬浮液回收循环使用。系统需根据工艺要求控制脱介筛电机和介质回收泵的启停，与密度调节协调配合。脱介与介质回收的控制逻辑需与密度、液位、流量等参数综合考虑。

2.1.4 安全保护功能需求

系统需设置急停功能，紧急情况下立即停止所有设备。急停具有最高优先级，按下急停按钮后立即停止所有输出。系统还需设置密度上下限报警、液位上下限报警等保护功能，参数超出安全范围时及时报警并采取保护措施。

2.1.5 人机交互与监控需求

系统提供人机交互界面。操作人员通过触摸屏选择自动或手动模式，启动或停止系统，设置密度、液位等参数，查看运行状态和故障信息。界面实时显示密度、液位、流量及补水阀、加料装置、脱介筛、介质回收泵等设备运行状态。故障时显示故障代码和报警信息。

为便于把握系统总体功能，将密度控制、液位与流量控制、脱介与介质回收控制、安全保护、人机交互与监控等需求按类别汇总，明确各需求的主要内容。系统总体功能需求汇总如表 2-1 所示。

表 2-1 系统总体功能需求汇总表

序号	功能需求类别	主要内容概述
1	密度控制需求	实现悬浮液密度的闭环调节，密度低时加料、密度高时补水，保证分选精度，支持在线检测与反馈
2	液位与流量控制需求	实时监测悬浮液液位和流量，设置上下限报警，超出范围时及时报警并采取保护措施，为密度调节和故障诊断提供依据
3	脱介与介质回收控制需求	控制脱介筛、介质回收泵等设备的启停，与密度调节协调配合，形成完整的工艺控制闭环
4	安全保护功能需求	具备急停、密度上下限报警、液位上下限报警等保护功能，发生异常时系统能及时停机并发出报警，保障设备与人员安全
5	人机交互与监控需求	通过触摸屏完成模式选择、启停控制、参数设定及状态 / 报警信息显示，直观展示密度、液位、流量及设备运行状态

2.2 系统总体方案的选择

为满足前述功能需求，从控制方案、硬件方案和软件方案三方面进行综合选型与比较。控制方案采用基于 PLC 的闭环调节与状态机设计；硬件方案选用 S7-1200 PLC、触摸屏、模拟量模块及各类变送器；软件方案采用 TIA Portal 博途、梯形图语言及模块化编程。各方案的选择理由及主要内容汇总如表 2-2 所示。

表 2-2 系统总体方案选择汇总表

序号	方案类别	主要选择内容	选择理由概述
1	控制	基于 PLC 的闭环调节 + 状态机设计	接线简单、可靠性高，便于实现悬浮液密度闭环调节和多工况状态切换，适配选煤厂工业现场应

序号	方案类别	主要选择内容	选择理由概述
	方案	计	用场景。
2	硬件方案	S7-1200 PLC + 触摸屏 + 模拟量模块 + 变送器	PLC 具备较强的模拟量处理能力，触摸屏人机交互界面友好、操作便捷，变送器检测精度高、响应速度快，满足系统实时监测与控制需求。
3	软件方案	TIA Portal 博途 + 梯形图语言 + 模块化编程	博途是西门子官方集成编程环境，支持硬件组态、程序编写与仿真调试；梯形图逻辑直观、易于理解和现场维护；模块化编程结构清晰，便于后期功能扩展与修改。

2.2.1 控制方案选择

本系统采用 PLC 作为核心控制器。PLC 可靠性高、抗干扰强、编程灵活，相比继电器控制接线简单、维护方便。系统采用闭环调节：密度传感器反馈、PLC 逻辑判断、执行机构动作，实现密度自动调节。系统还采用状态机设计，将运行过程划分为不同状态，通过状态转换实现有序运行。

2.2.2 硬件方案选择

系统硬件包括 PLC、触摸屏、模拟量模块、密度变送器、液位变送器、流量变送器、加料装置、补水阀、悬浮液泵、脱介筛电机、介质回收泵等。PLC 选用具有模拟量处理能力的型号。

2.2.3 软件方案选择

系统软件采用 TIA Portal 博途软件，支持多种编程语言。本系统采用梯形图编程，梯形图直观易懂。程序采用模块化设计，将系统功能划分为多个相对独立的功能模块。

2.3 系统的总体设计

2.3.1 系统架构设计

系统采用分层架构，包括现场设备层、控制层和监控层。现场设备层包括变送器、加料装置、补水阀、悬浮液泵、脱介筛、介质回收泵等，负责参数检测和执行机构动作。控制层以 PLC 为核心，负责逻辑控制、模拟量处理和故障诊断。监控层采用触摸屏，实现人机交互和状态显示。

2.3.2 系统工作流程设计

系统工作流程分为自动模式和手动模式两种。

自动模式下，系统按预设流程运行：上电后初始化，选择自动模式并按下启动，系统按顺序启动悬浮液泵、脱介筛、介质回收泵，进入密度调节和正常运行阶段。密度传感器实时检测悬浮液密度，PLC 根据检测值与设定值比较结果控制加料装置或补水阀动作；同时监测液位、流量等参数，超出安全范围时报警并采取保护措施。自动模式工作流程图如下：

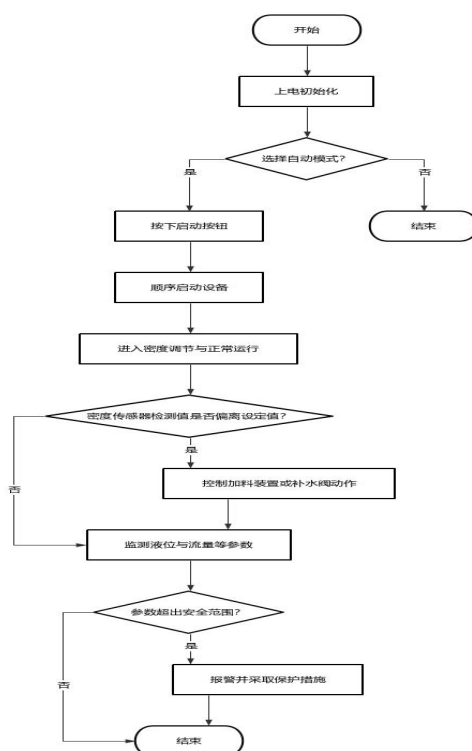


图 2-1 自动模式工作流程图

手动模式下，系统上电并初始化后，操作人员选择手动模式，通过触摸屏按钮单独控制加料装置、补水阀、脱介筛、介质回收泵等设备的启停。各设备可独立操作，互不干扰，便于系统调试和维护。手动模式工作流程图如下：

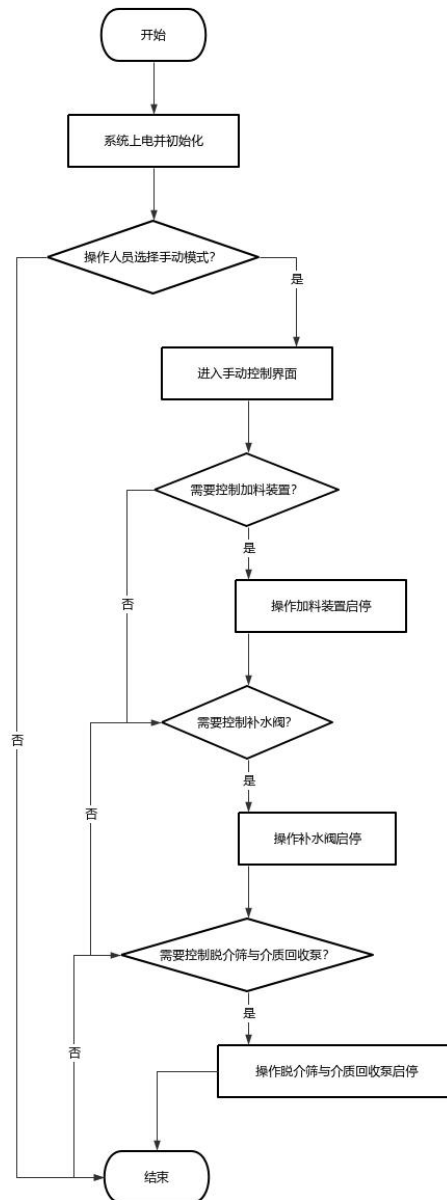


图 2-2 手动模式工作流程图

密度调节是系统核心控制环节。系统运行后，密度传感器实时检测悬浮液密度；密度低于设定值时，PLC 启动加料装置并调节给料速度；密度高于设定值时，PLC 开启补水阀并调节阀门开度；密度进入设定范围时停止加料或补水，保持密度稳定。密度调节控制流程图如下：

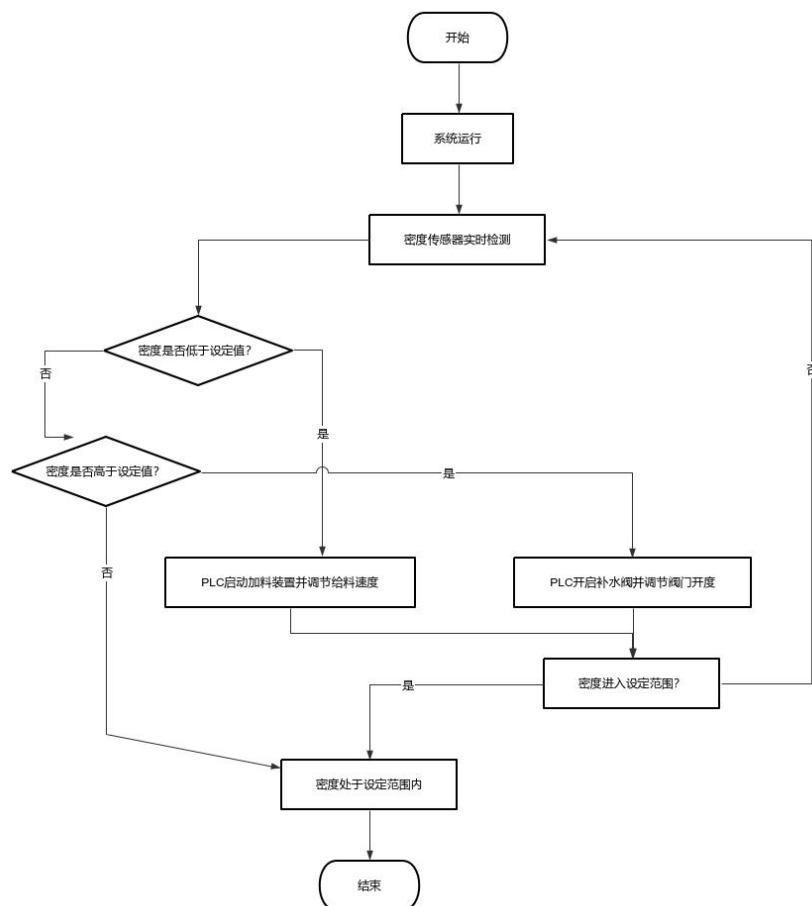


图 2-3 密度调节控制流程图

2.3.3 系统控制模式设计

系统设计了自动和手动两种控制模式，两种模式互斥，不能同时运行。自动模式适用于正常生产运行，系统按照预设流程自动控制密度调节、脱介筛、介质回收泵等设备。手动模式适用于系统调试和维护，操作人员可以单独控制加料装置、补水阀、脱介筛、介质回收泵等设备。

2.3.4 安全与复位流程设计

当系统处于运行状态时，急停按钮一旦触发，PLC 立即检测到急停信号，置位急停标志，切断所有输出，并记录急停故障代码，使系统迅速进入安全停机状态。急停保护流程图如下：

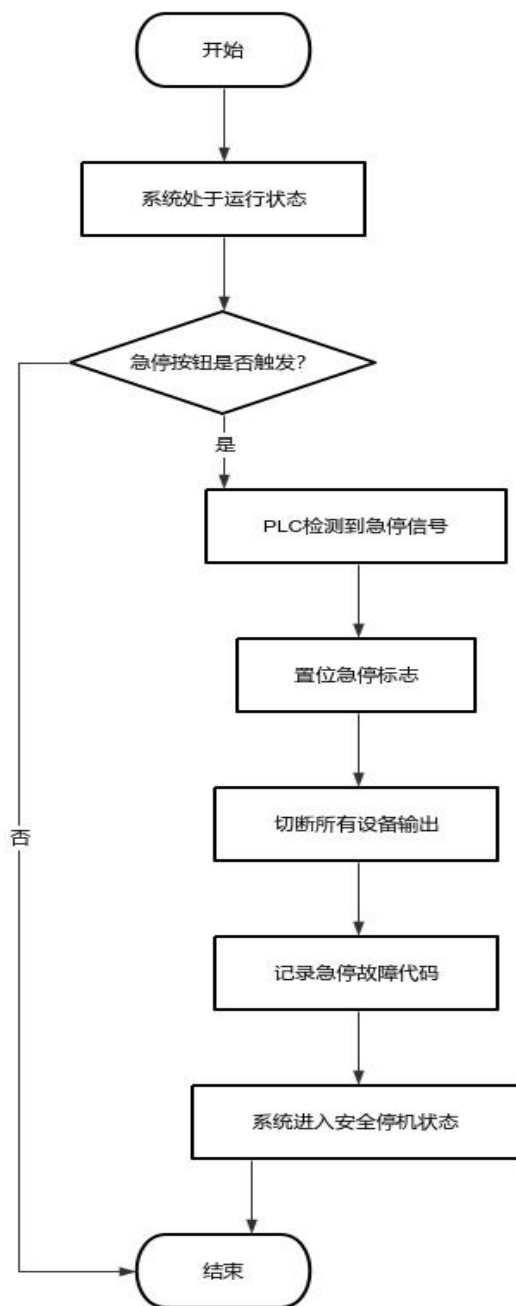


图 2-4 急停保护流程图

系统在运行过程中周期性检查急停、密度上下限、液位上下限等各类保护标志，当任一故障标志有效时，置位系统故障标志并设置相应的故障代码。故障检测流程图如下：

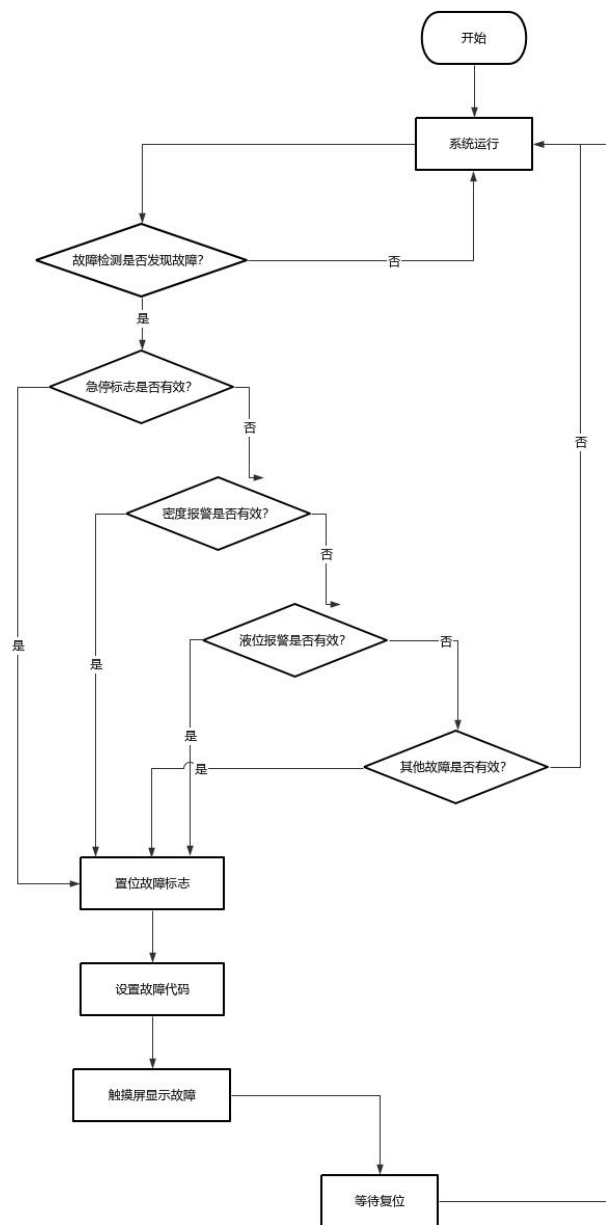


图 2-5 故障检测流程图

当操作人员确认故障已排除后，按下复位按钮，PLC 依次清除故障状态、运行标志和各类保护标志，使系统重新回到安全待机状态，为下一次启动做好准备。系统复位流程图如下：

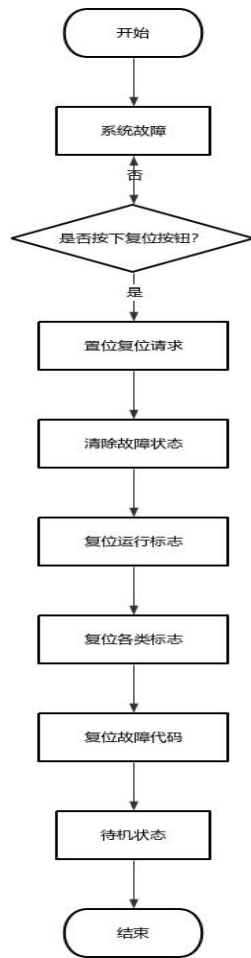


图 2-6 系统复位流程图

2.3.5 系统初始化

系统上电后，PLC 在首次扫描时执行初始化程序，将工作模式设置为待机状态，将密度设定值、液位上下限、流量上下限等工艺参数设置为初始值，将故障代码清零，将各类运行标志和保护标志复位。若非首次扫描，则跳过初始化直接进入正常扫描。初始化完成后系统处于安全待机状态，为后续启动做好准备。

2.3.6 液位保护控制

液位保护程序通过液位变送器实时检测悬浮液储槽或循环槽的液位。当液位低于下限设定值时，置位液位下限报警标志，停止加料并提示补水，避免泵空转；当液位高于上限设定值时，置位液位上限报警标志，停止补水并提示排液，避免溢流。液位在正常范围内时，系统继续监测，不触发报警。

2.3.7 脱介与介质回收控制

脱介筛和介质回收泵的启停控制根据运行模式不同而有所区别。自动模式下，系统启动后按顺序启动悬浮液泵、脱介筛、介质回收泵，与密度调节协调配合；手动模式下，操作人员通过触摸屏按钮单独控制脱介筛和介质回收泵的启停，便于设备调试和检修。两种模式下，脱介与介质回收控制均需与密度调节逻辑协调配合。脱介与介质回收控制流程图如下：

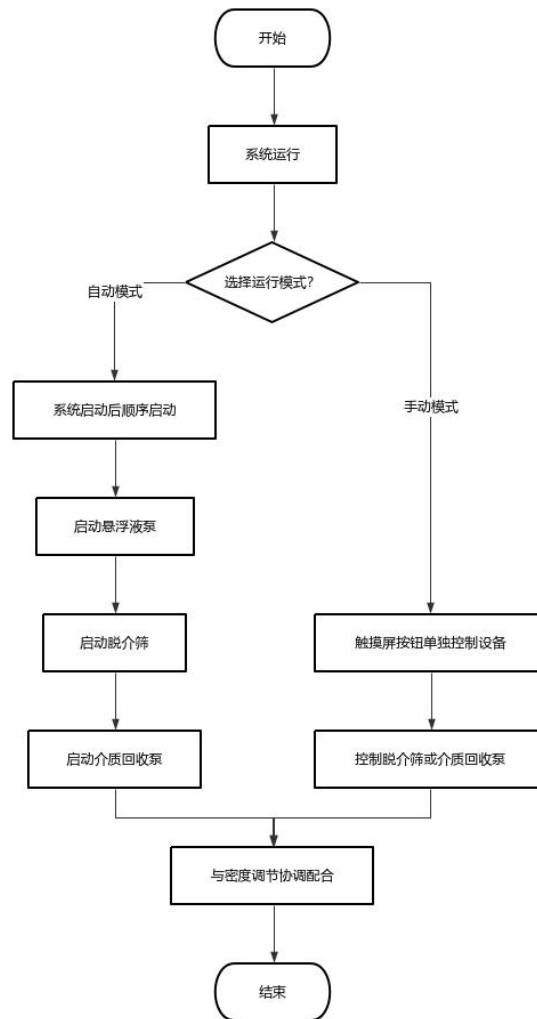


图 2-7 脱介与介质回收控制流程图

2.4 本章小结

本章分析了系统总体功能需求，选择了控制方案、硬件方案和软件方案，设计了系统架构、工作流程、控制模式及安全与复位流程，给出了各控制环节的流程图，为后续硬件和软件设计奠定基础。

第 3 章 系统的硬件设计

3.1 主控制器 PLC 选型

3.1.1 PLC 选型依据

PLC 是系统核心控制器，选型直接影响控制性能和可靠性。本系统需采集密度、液位、流量等模拟量信号，控制加料装置、补水阀、脱介筛、介质回收泵等设备，故选用具有模拟量输入输出能力的 PLC。系统实现密度闭环调节、液位保护、故障诊断等功能，需具备数据处理能力。考虑扩展性和维护性，选用技术成熟、应用广泛的 PLC 产品。

3.1.2 西门子 S7-1200 PLC 简介

本系统选用西门子 S7-1200 系列 PLC 作为主控制器，具体型号为 CPU 1214C DC/DC/DC。该型号 PLC 具有 14 个数字量输入点和 10 个数字量输出点，板载 2 路模拟量输入，能够满足本系统的基本输入输出需求。为扩展模拟量通道，系统配置 SM1234 模拟量输入输出混合模块，提供额外的模拟量输入和输出通道，用于连接密度变送器、液位变送器、流量变送器以及补水阀开度调节、加料装置給料速度调节等模拟量输出。CPU 集成了高速计数器、脉冲输出、通信接口等功能，支持 PROFINET 通信，可以与触摸屏进行数据交换。



图 3-1 S7-1200 PLC 实物

3.2 传感器与变送器选型

3.2.1 密度变送器选型

密度变送器安装在分选设备内或悬浮液循环管路中，实时检测悬浮液密度，输出 0~10V 或 4~20mA 标准模拟量信号至 PLC。密度变送器选用工业级产品，精度高、响应快、抗干扰强，适应选煤厂恶劣环境。



图 3-2 密度变送器实物

3.2.2 液位变送器选型

液位变送器检测悬浮液储槽或循环槽液位，输出模拟量信号至 PLC。液位低于下限或高于上限时，PLC 触发液位保护报警，采取停止加料、提示补水或停止补水、提示排液等保护措施。液位变送器选用工业级产品。



图 3-3 液位变送器实物图

3.2.3 流量变送器选型

流量变送器用于检测悬浮液流量和介质回收流量，输出模拟量信号至 PLC。流量数据为工艺过程监控和故障诊断提供依据，当流量异常时可触发相应报警。系统配置两台流量变送器，分别检测悬浮液循环流量和介质回收流量。



图 3-4 流量传感器实物图

3.3 系统其他设备选型

3.3.1 变频器与驱动装置选型

磁铁矿粉加料装置电机通过变频器控制，实现给料速度的无级调节，PLC 通过模拟量输出控制变频器频率。悬浮液泵电机采用变频器控制，通过多段速选择开关实现低速、中速、高速、全速四档切换。脱介筛电机和介质回收泵电机由接触器控制启停，PLC 根据工艺逻辑输出控制信号。系统配置两台变频器，分别用于悬浮液泵和加料装置的速度控制。

3.3.2 补水阀与执行机构选型

补水阀采用电动调节阀或电动球阀，PLC 通过模拟量输出控制阀门开度，实现补水流量的调节。当密度高于设定值时，PLC 输出控制信号打开补水阀，加入清水稀释悬浮液；当密度低于设定值时，PLC 控制加料装置增加磁铁矿粉。补水阀与加料装置协调配合，实现密度闭环调节。

3.3.3 触摸屏选型

触摸屏选用西门子 TP1200 Comfort 作为人机界面,具有 12 英寸彩色显示屏,分辨率高,显示清晰。触摸屏支持 PROFINET 通信,可以与 PLC 建立通信连接,实现数据交换和控制功能,用于工艺参数显示、设备状态监控、参数设置及报警信息显示等。



图 3-5 TP1200 Comfort 触摸屏

3.3.4 操作元件与指示灯选型

操作元件包括启动按钮、停止按钮、急停按钮、复位按钮、自动/手动选择开关等。急停按钮采用红色蘑菇头按钮,具有自锁功能。指示元件包括运行指示灯、故障指示灯、密度调节中指示灯、自动模式指示灯、手动模式指示灯、补水阀开启指示灯等,采用不同颜色区分不同功能,便于操作人员快速识别系统状态。



图 3-6 控制按钮与指示灯

3.4 3.4 系统设备清单

根据前述硬件选型，对系统所采用的 PLC、触摸屏、变送器、电机、变频器、接触器、热继电器、开关电源及操作元件等进行统一配置和统计。清单涵盖控制层、检测层、执行层及人机交互等各类元器件，便于后续电路设计、接线和采购。系统主要设备清单如表 3-1 所示。

表 3-1 主要元器件清单

序号	元件名称	数量	品牌	元件规格	备注
1	可编程控制器	1	西门子	CPU 1214C DC/DC/DC	核心控制器，14 输入 10 输出，板载 2 路模拟量输入
2	模拟量混合模块	1	西门子	SM1234	扩展模拟量输入输出
3	触摸屏	1	西门子	TP1200 Comfort	人机界面，12 英寸

序号	元件名称	数量	品牌	元件规格	备注
4	密度变送器	1	-	0~10V 输出	检测悬浮液密度
5	液位变送器	1	-	0~10V 输出	检测悬浮液液位
6	流量变送器	2	-	0~10V 输出	检测悬浮液及介质回收流量
7	三相异步电机	4	-	-	悬浮液泵、加料装置、脱介筛、介质回收泵
8	变频器	2	-	-	悬浮液泵、加料装置速度控制
9	接触器	4	-	-	电机主回路控制
10	热继电器	4	-	-	电机过载保护
11	空气开关	1	-	-	主回路电源控制
12	开关电源	1	-	DC 24V	PLC 及传感器供电
13	启动 / 停止 / 急停 / 复位按钮	4	-	-	系统操作
14	LED 指示灯	若干	-	-	状态指示

3.5 系统电路设计

3.5.1 主电路设计

系统主回路采用三相 380V 交流电源供电。主回路包括四台电机：悬浮液泵电机 M1、磁铁矿粉加料装置电机 M2、脱介筛电机 M3、介质回收泵电机 M4。每台电机分别通过熔断器 FU1~FU4、接触器 KM1~KM4 接入三相电源，热继电器 FR1~FR4 串接在电机回路中用于过载保护。悬浮液泵电机和加料装置电机经变频器驱动，实现无级调速；脱介筛电机和介质回收泵电机由接触器直接控制启停。当对应接触器线圈得电时，主触点闭合，电机运行；当接触器线圈失电或热继电器动作时，主触点断开，电机停止。主回路电路图如图 3-7 所示。

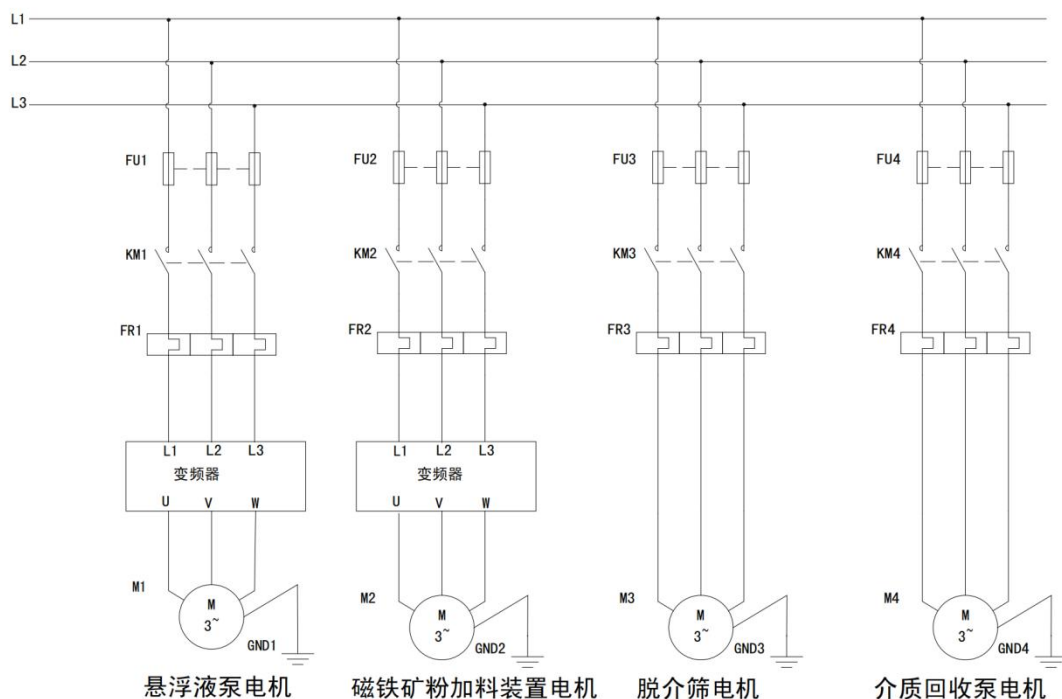


图 3-7 主回路电路图

3.5.2 PLC 端口接线

PLC 端口接线图详细给出了 S7-1214C CPU 及 SM1234 混合扩展模块各输入输出端子与现场元件的对应关系。数字量输入端 I0.0、I0.1 分别接启动按钮和停止按钮；I1.0 接急停按钮；I0.2~I0.7、I1.0~I1.5 等接复位按钮、自动/手动选择开关、密度上下限报警、液位上下限报警、加料装置反馈、补水阀开到位反馈、介质回收泵运行反馈、手动补水按钮、手动加料按钮等。数字量输出端 Q0.0~Q0.7、Q1.0~Q1.1、Q2.0~Q2.7 等分别接磁铁矿粉加料装置启动、补水阀控制输出、脱介筛电机启动、介质回收泵启动、故障总报警、蜂鸣器、运行指示灯、故障指示灯、密度调节中指示灯、自动模式指示灯、手动模式指示灯、变频器运行命令、变频器多段速选择、悬浮液收集泵、手动脱介筛、手动介质回收泵、加料装置运行指示灯、补水阀开启指示灯、速度档位指示灯等。PLC 端口接线图如图 3-7 所示。

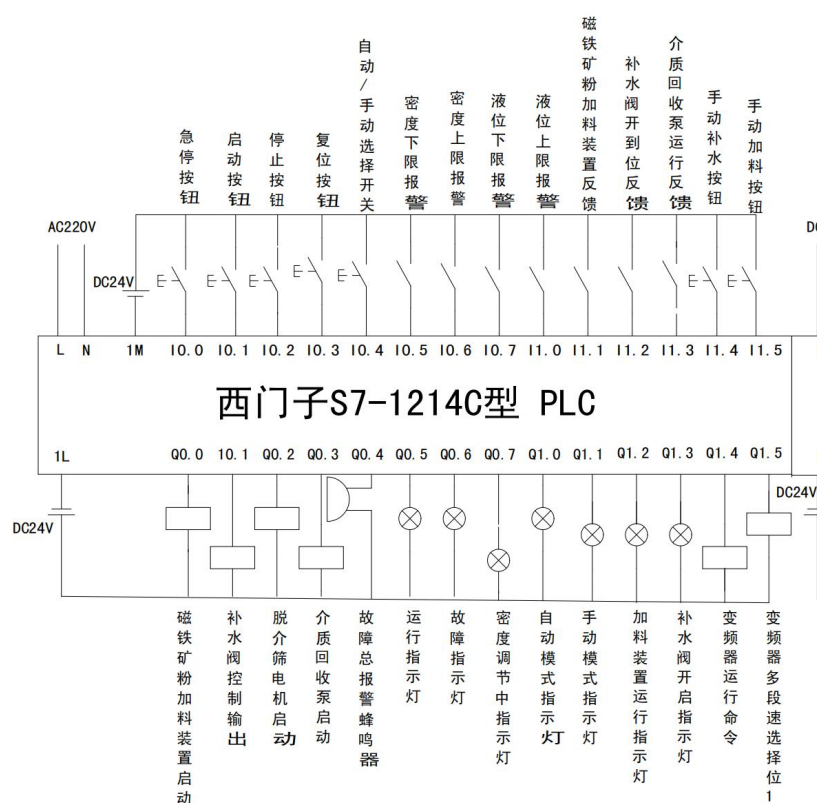


图 3-8 PLC 端口接线图

3.5.3 模拟量模块接线

SM1223 模拟量混合模块提供多路模拟量输入和输出通道。密度变送器、液位变送器、流量变送器的输出信号接入模拟量输入通道；补水阀开度调节、加料装置給料速度调节通过模拟量输出通道控制。接线时需注意信号类型、量程范围及屏蔽接地。模拟量输入 AI0、AI1、AI2、AI3 分别接密度变送器、液位变送器、流量变送器、介质回收流量变送器；模拟量输出 AQ2、AQ3 分别接补水阀开度调节输出、加料装置給料速度调节输出。模拟量模块接线图如图 3-8 所示。

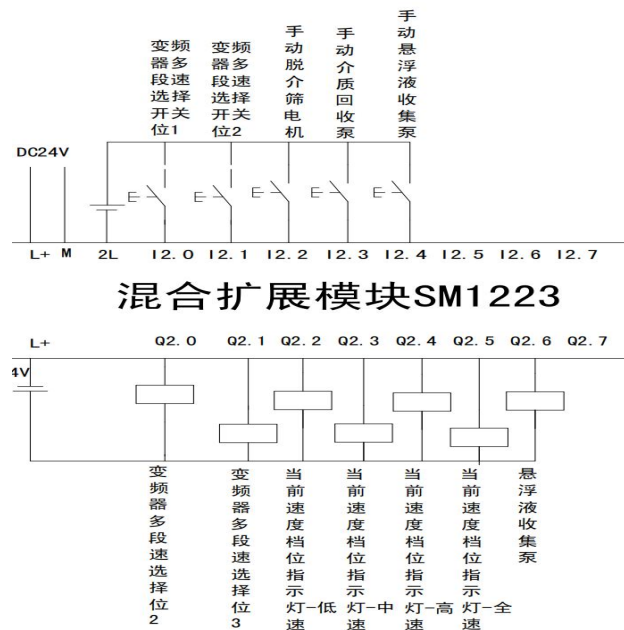


图 3-9 模拟量模块接线图

3.6 PLC I/O 地址分配

3.6.1 地址分配原则

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各类按钮信号、开关信号和传感器检测信号；输出地址用于控制磁铁矿粉加料装置、补水阀、脱介筛、介质回收泵等执行机构以及各类状态指示灯。模拟量输入输出通过 SM1234 模块实现，密度、液位、流量等工艺参数通过模拟量输入采集，补水阀开度、加料装置給料速度通过模拟量输出调节。

3.6.2 地址分配表

根据第 2 章功能需求及第 3 章硬件接线，将 PLC 数字量输入输出与模拟量输入输出地址逐一分配给各信号。输入侧包括启动、停止、急停、复位等按钮信号，自动/手动选择开关，密度、液位上下限报警信号，加料装置反馈、补水阀反馈、介质回收泵反馈及变频器多段速选择反馈等；输出侧包括加料装置、补水阀、脱介筛、介质回收泵等执行机构控制信号，以及故障报警、蜂鸣器、各类指示灯等。系统 I/O 地址分配如表 3-2 所示。

表 3-2 系统 I/O 地址分配表

序 号	输入信号名 称	PLC 地址	功能说明	输出信号名 称	PLC 地址	功能说明
--------	------------	-----------	------	------------	-----------	------

序号	输入信号名称	PLC地址	功能说明	输出信号名称	PLC地址	功能说明
1	启动按钮	I0.0	启动系统运行	磁铁矿粉加料装置启动	Q0.0	控制加料装置运行
2	停止按钮	I0.1	停止系统运行	补水阀控制输出	Q0.1	控制补水阀开闭
3	复位按钮	I0.2	系统复位	脱介筛电机启动	Q0.2	控制脱介筛运行
4	自动 / 手动选择开关	I0.3	模式选择	介质回收泵启动	Q0.3	控制介质回收泵运行
5	密度下限报警	I0.4	密度低于设定下限	故障总报警	Q0.4	故障报警输出
6	密度上限报警	I0.5	密度高于设定上限	蜂鸣器	Q0.5	声音报警
7	液位下限报警	I0.6	液位低于设定下限	运行指示灯	Q0.6	系统运行状态指示
8	液位上限报警	I0.7	液位高于设定上限	故障指示灯	Q0.7	系统故障报警指示
9	急停按钮	I1.0	紧急停止所有设备	密度调节中指示灯	Q1.0	密度调节状态指示
10	加料装置反馈	I1.1	加料装置运行反馈	自动模式指示灯	Q1.1	自动模式状态指示
11	补水阀开到位置反馈	I1.2	补水阀全开反馈	手动模式指示灯	Q1.2	手动模式状态指示
12	介质回收泵	I1.3	介质回收泵	变频器运行	Q1.3	控制变频器启

序号	输入信号名称	PLC地址	功能说明	输出信号名称	PLC地址	功能说明
	运行反馈		运行状态	命令		停
13	手动补水按钮	I1.4	手动模式下补水操作	变频器多段速选择位 1	Q1.4	速度档位控制
14	手动加料按钮	I1.5	手动模式下加料操作	变频器多段速选择位 2	Q1.5	速度档位控制
15	变频器多段速位 1	I2.0	速度档位选择反馈	变频器多段速选择位 3	Q2.5	速度档位控制
16	变频器多段速位 2	I2.1	速度档位选择反馈	悬浮液收集泵	Q2.0	控制悬浮液收集泵运行
17	变频器多段速位 3	I2.2	速度档位选择反馈	手动脱介筛	Q2.1	手动模式脱介筛控制
18	—	—	—	手动介质回收泵	Q2.2	手动模式介质回收泵控制
19	—	—	—	加料装置运行指示灯	Q2.3	加料装置状态指示
20	—	—	—	补水阀开启指示灯	Q2.4	补水阀开启状态指示

3.7 本章小结

本章完成了系统硬件设计，包括 PLC 选型、传感器与变送器选型、其他设备选型、设备清单、电路设计、I/O 地址分配等，为系统提供了硬件基础。

第 4 章 系统的软件设计

4.1 系统软件总体方案设计

4.1.1 软件架构设计

系统软件采用模块化设计，将功能划分为多个相对独立的模块。每个模块实现特定控制功能，模块之间通过标志位和数据寄存器交换数据。模块化设计便于程序阅读、维护和功能扩展。

4.1.2 编程语言选择

系统软件采用 TIA Portal 博途软件，编程语言选用梯形图。梯形图直观易懂，适合逻辑控制，便于调试和维护。梯形图支持定时器、计数器、数据传送、数据比较、模拟量处理等指令，可满足密度调节、液位保护等控制需求。

4.1.3 程序模块划分

系统程序在主程序中划分为若干个按功能组织的程序段，每个程序段实现特定控制功能。为便于说明和维护，将程序段按功能归类为系统初始化、模式选择、密度调节、液位与流量保护、脱介与介质回收、变频器多段速控制、急停与复位、故障诊断与报警、人机交互数据交换等模块。各功能模块及其主要作用如表 4-1 所示。

表 4-1 程序功能模块划分表

序 号	功能模块名称	主要功能说明
1	系统初始化模块	上电首次扫描，完成模式、参数、标志位等的初始化，确保系统处于安全待机状态
2	模式选择模块	在自动模式与手动模式之间进行互锁切换，并更新当前工作模式代码
3	密度调节控制模块	读取密度检测值，与设定值比较，控制加料装置或补水阀动作，实现密度闭环调节
4	液位与流量保	监测液位、流量，超出范围时置位报警标志并采取保护措施

序号	功能模块名称	主要功能说明
	护模块	施
5	脱介与介质回收控制模块	根据工艺逻辑控制脱介筛、介质回收泵启停
6	变频器多段速控制模块	根据多段速选择开关输出 Q1.4、Q1.5、Q2.5 组合，控制悬浮液泵变频器运行于不同速度档位
7	急停与复位模块	处理急停按钮与复位按钮，立即停止所有输出或清除故障状态，使系统回到待机
8	故障诊断与报警模块	根据各类保护标志设置故障代码，驱动故障报警灯和蜂鸣器，并在触摸屏显示报警信息
9	人机交互数据交换模块	将运行状态、工艺参数、故障代码等通过 PROFINET 传送至触摸屏显示

4.2 PLC 控制程序设计

4.2.1 系统初始化程序

系统初始化程序在首次扫描时执行。程序将工作模式设为待机，将密度设定值、液位上下限、流量上下限等参数设初始值，将故障代码清零，将各种标志位复位。系统上电后处于安全状态，避免运行异常。系统初始化流程图见第 2 章图 2-7。

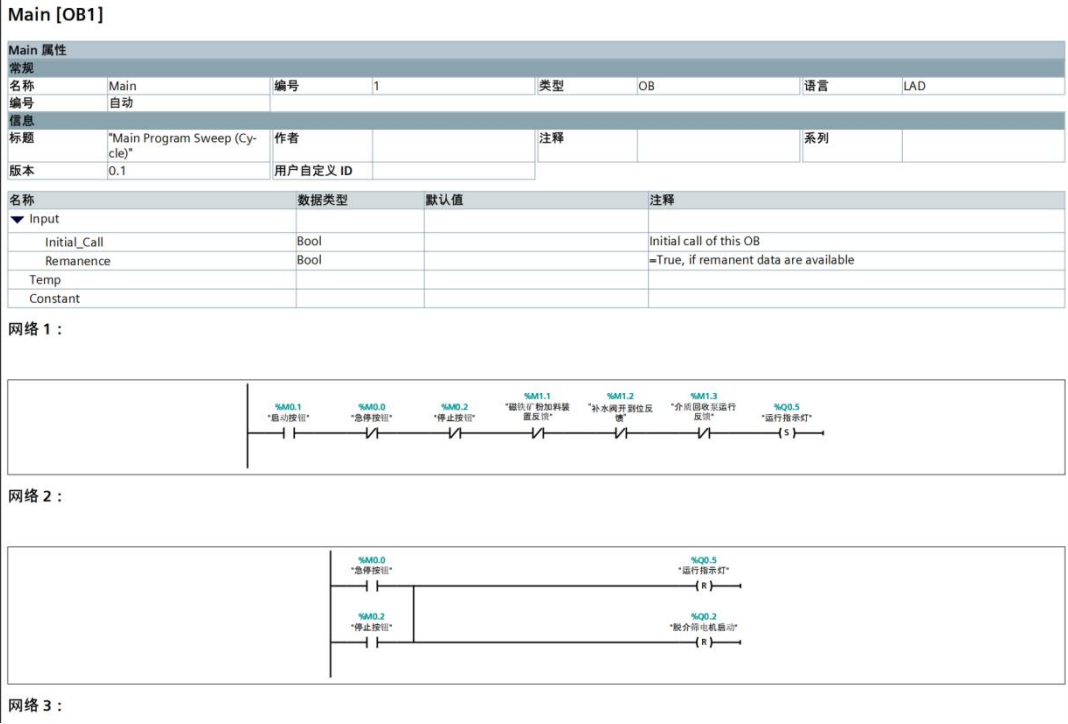


图 4-1 系统初始化程序

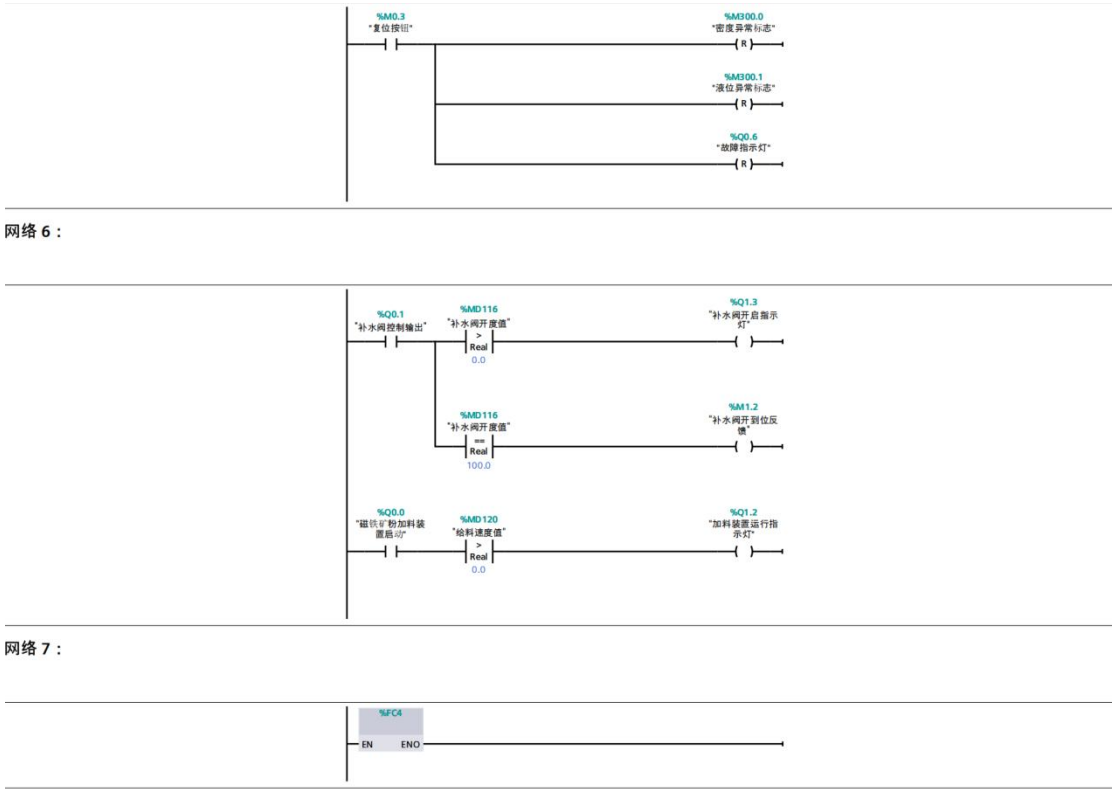


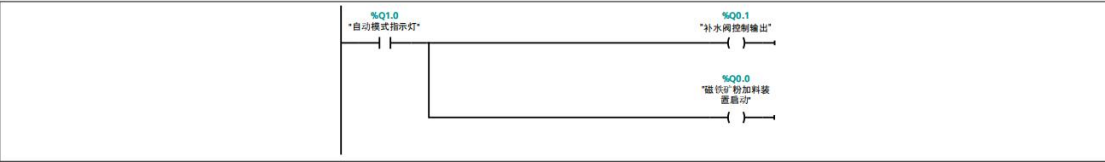
图 4-2 系统初始化程序

4.2.2 模式选择程序

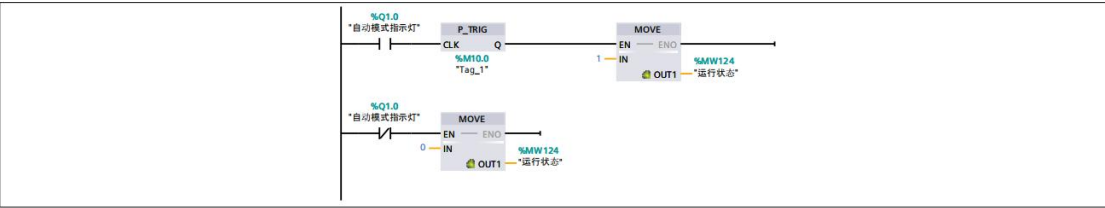
模式选择程序实现自动与手动模式的互锁切换。程序检测 I0.3 状态：选择自动模式时，置位自动模式标志、复位手动模式标志，点亮 Q1.1、熄灭 Q1.2；选

择手动模式时相反。两种模式互斥，同一时刻仅有一种有效。模式可在运行前或运行中切换。

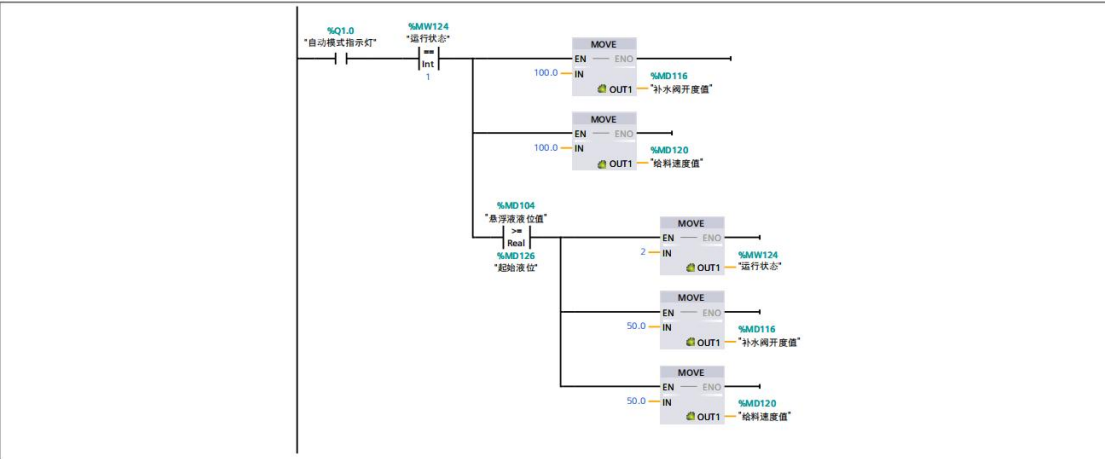
网络 1：



网络 2：



网络 3：



网络 4：

图 4-3 自动模式

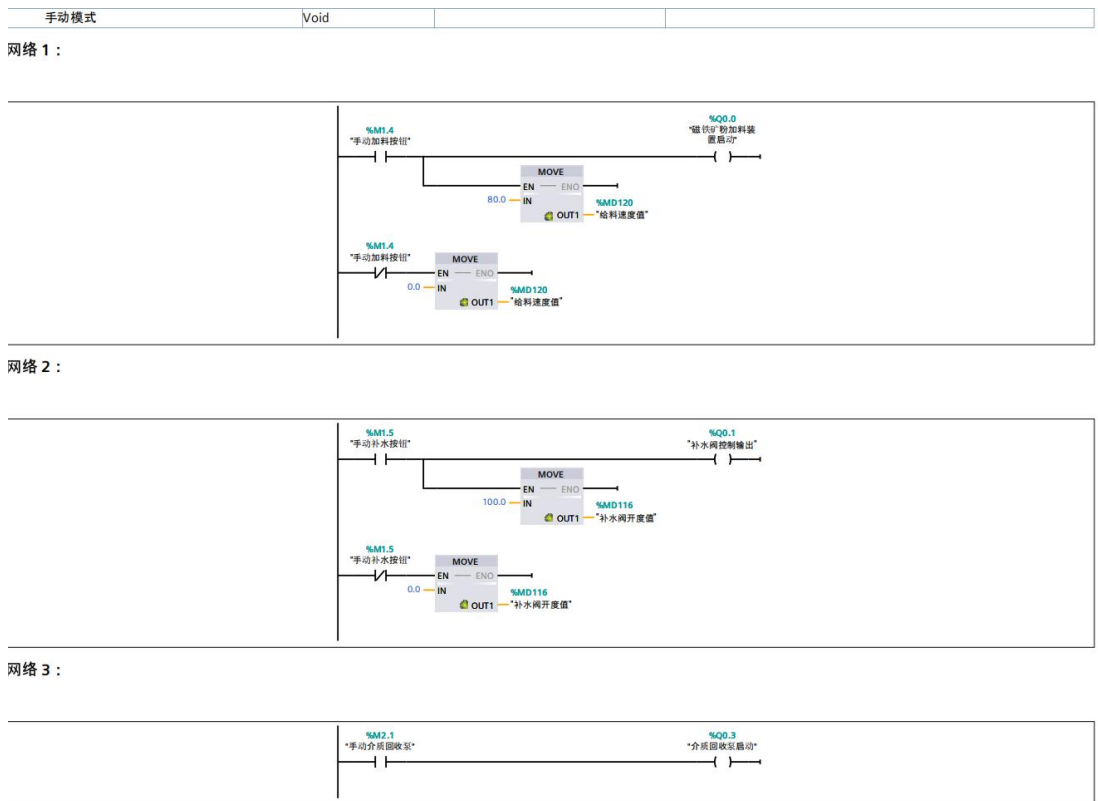


图 4-4 手动模式

4.2.3 密度调节控制程序

密度调节是本系统核心功能。程序通过模拟量输入读取密度变送器采集值，与设定值比较。检测值低于设定值且偏差超过死区时，PLC 启动加料装置，通过模拟量输出调节给料速度；检测值高于设定值且偏差超过死区时，PLC 打开补水阀，调节阀门开度加清水稀释。密度进入设定范围时停止加料或补水。程序设置密度调节中指示灯，调节过程中点亮。

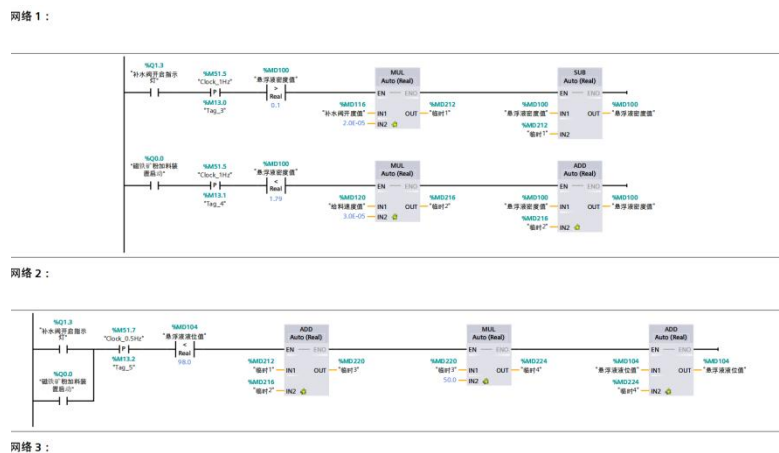


图 4-5 密度调节控制程序

4.2.4 液位与流量保护程序

液位保护程序监测液位变送器采集的液位值，当液位低于下限设定值时，置位液位下限报警标志，触发报警并采取保护措施（如停止加料、提示补水）；当液位高于上限设定值时，置位液位上限报警标志，触发报警并采取保护措施（如停止补水、提示排液）。流量监测程序读取流量变送器和介质回收流量变送器的数据，用于工艺过程监控和故障诊断，当流量异常时触发相应报警。液位保护控制流程图见第 2 章图 2-8。

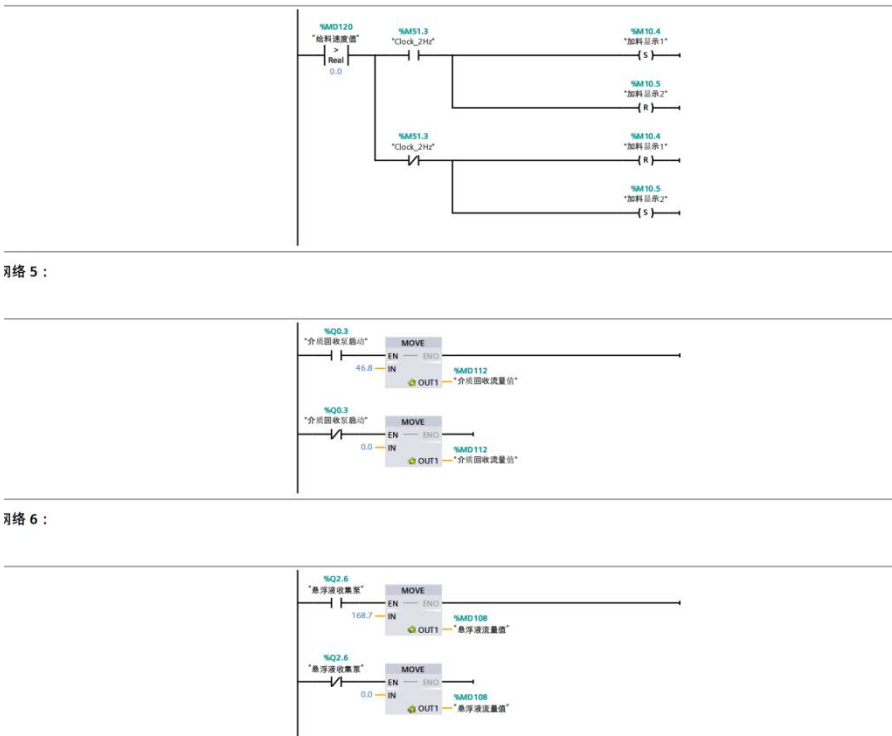


图 4-6 液位保护程序

4.2.5 脱介与介质回收控制程序

脱介筛电机和介质回收泵的启停控制根据工艺逻辑和系统运行状态决定。在自动模式下，系统启动后按顺序启动悬浮液泵、脱介筛、介质回收泵等设备，与密度调节协调配合。在手动模式下，操作人员可通过触摸屏按钮单独控制脱介筛和介质回收泵的启停。程序还接收加料装置反馈、补水阀开到位反馈、介质回收泵运行反馈等信号，用于状态显示和联锁控制。脱介与介质回收控制流程图见第 2 章图 2-9。

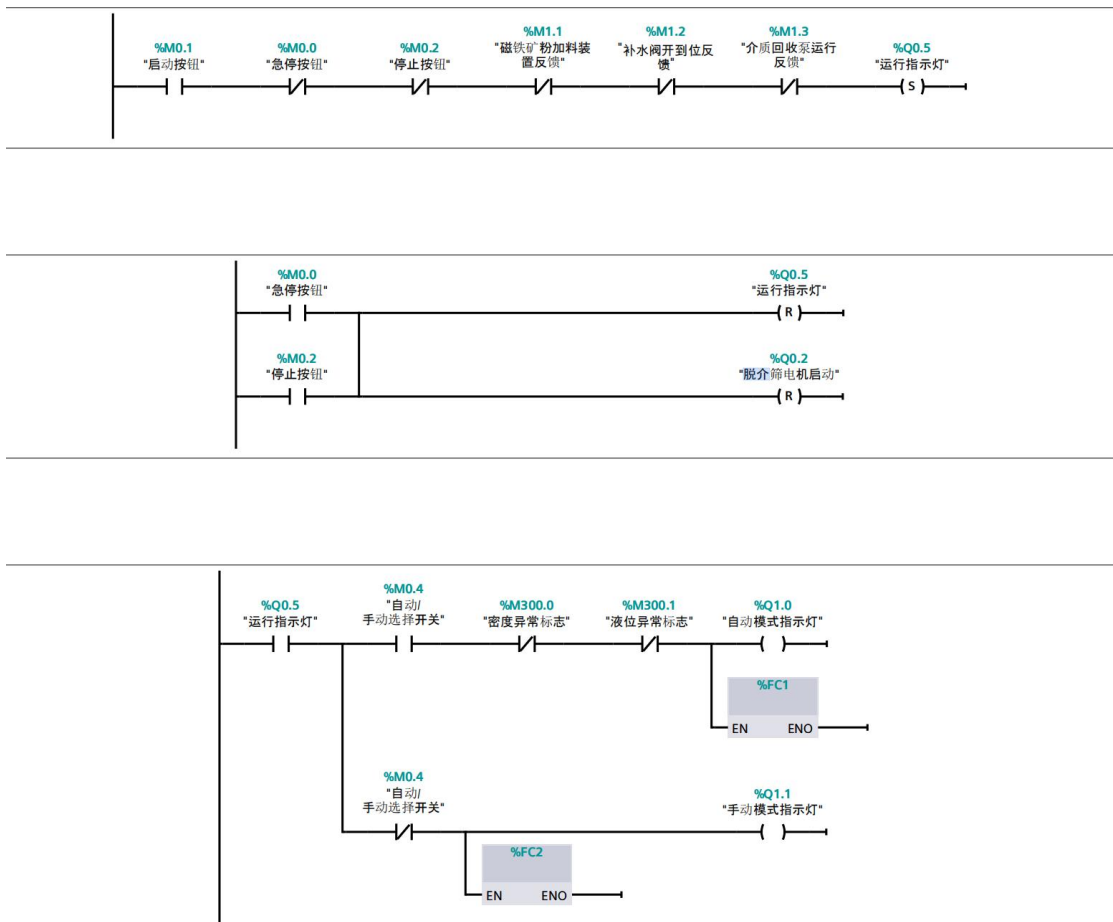


图 4-7 脱介与介质回收控制程序

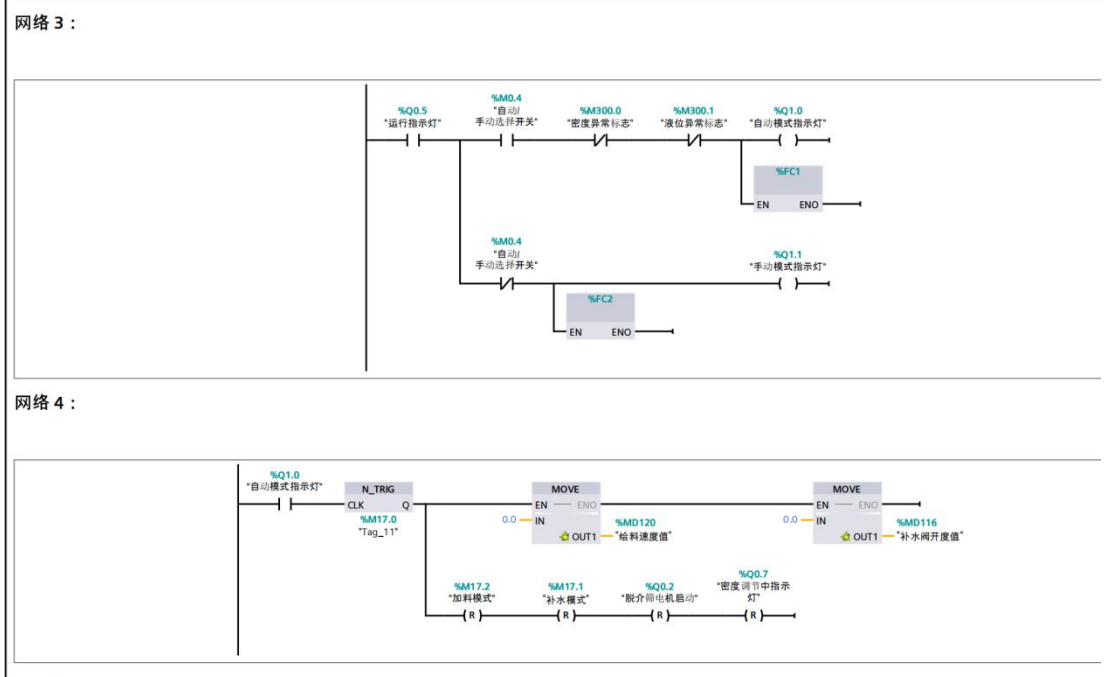


图 4-8 脱介与介质回收控制程序

4.2.6 变频器多段速控制程序

变频器多段速控制程序是悬浮液泵速度控制的核心,用于根据工艺需求切换悬浮液泵的运行速度档位。系统采用三路数字量输出(Q1.4、Q1.5、Q2.5)组合实现变频器多段速选择,对应低速、中速、高速、全速四个档位。多段速档位与PLC输出组合的对应关系如表4-2所示。

表 4-2 变频器多段速档位与 PLC 输出对应关系

序号	速度档位	Q1.4	Q1.5	Q2.5	对应变频器频率 / Hz
1	低速	0	0	0	15
2	中速	1	0	0	30
3	高速	0	1	0	45
4	全速	1	1	1	50

程序通过读取变频器多段速选择开关的反馈信号(I2.0、I2.1、I2.2)或触摸屏设定的目标档位,将对应的Q1.4、Q1.5、Q2.5输出组合送至变频器。当系统处于运行状态且悬浮液泵启动条件满足时,PLC输出变频器运行命令(Q1.3)的同时,根据当前选定的速度档位输出多段速选择位。程序还驱动速度档位指示灯,在触摸屏上显示当前运行档位,便于操作人员监控。多段速切换在运行过程中可实时进行,变频器根据新的组合平滑切换至对应频率,满足选煤工艺对不同悬浮液流量和扬程的需求。

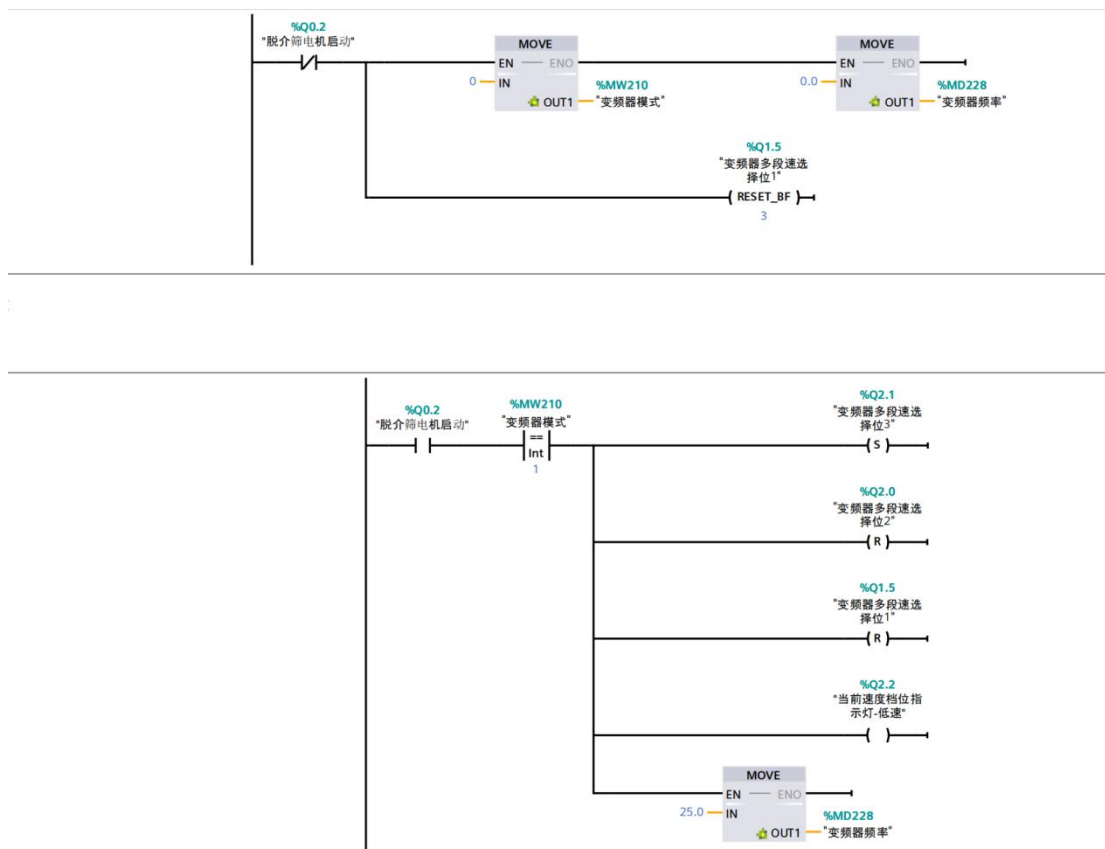


图 4-9 变频器多段速控制程序

4.2.7 急停与复位程序

急停保护程序具有最高优先级，无论系统处于什么状态，按下急停按钮后都应立即停止所有输出，包括加料装置、补水阀、脱介筛、介质回收泵等，置位急停故障标志。当操作人员确认故障已排除后，按下复位按钮，PLC 清除故障状态、运行标志和各类保护标志，使系统重新回到安全待机状态，为下一次启动做好准备。急停与复位程序控制流程图见第 2 章图 2-10。



图 4-10 急停与复位程序

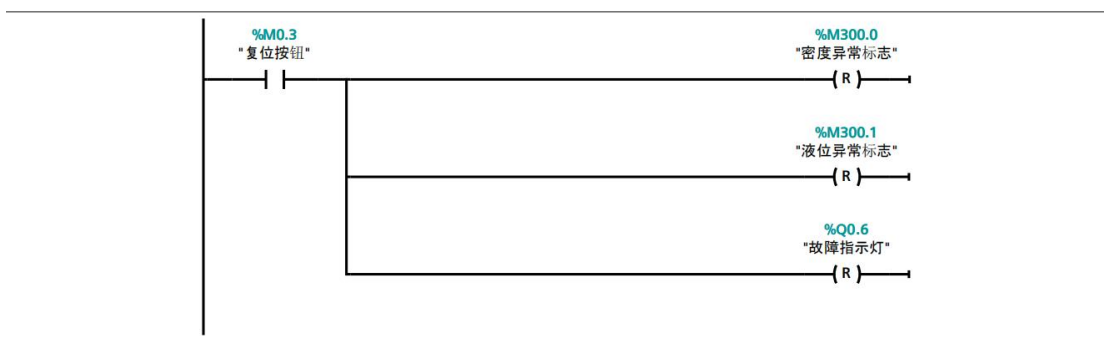


图 4-11 急停与复位程序

4.2.8 故障诊断与报警程序

故障诊断程序实时检测系统运行状态，判断是否出现故障。程序检查急停、密度上下限报警、液位上下限报警等标志，当任何标志有效时，置位系统故障标志并设置相应的故障代码。报警指示程序实现故障报警灯和蜂鸣器的控制，当系统出现故障时，故障指示灯闪烁，蜂鸣器鸣响，提醒操作人员注意。故障代码和报警信息通过数据寄存器传送至触摸屏显示。故障诊断与报警控制流程图见第 2 章图 2-11。

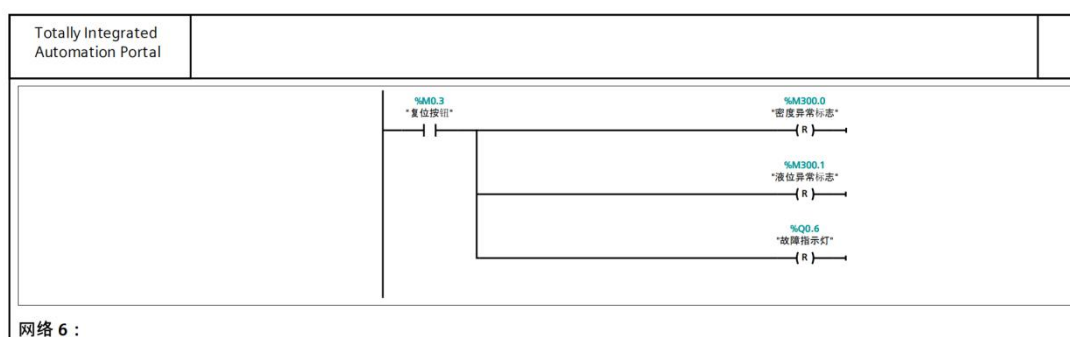


图 4-12 故障诊断与报警程序

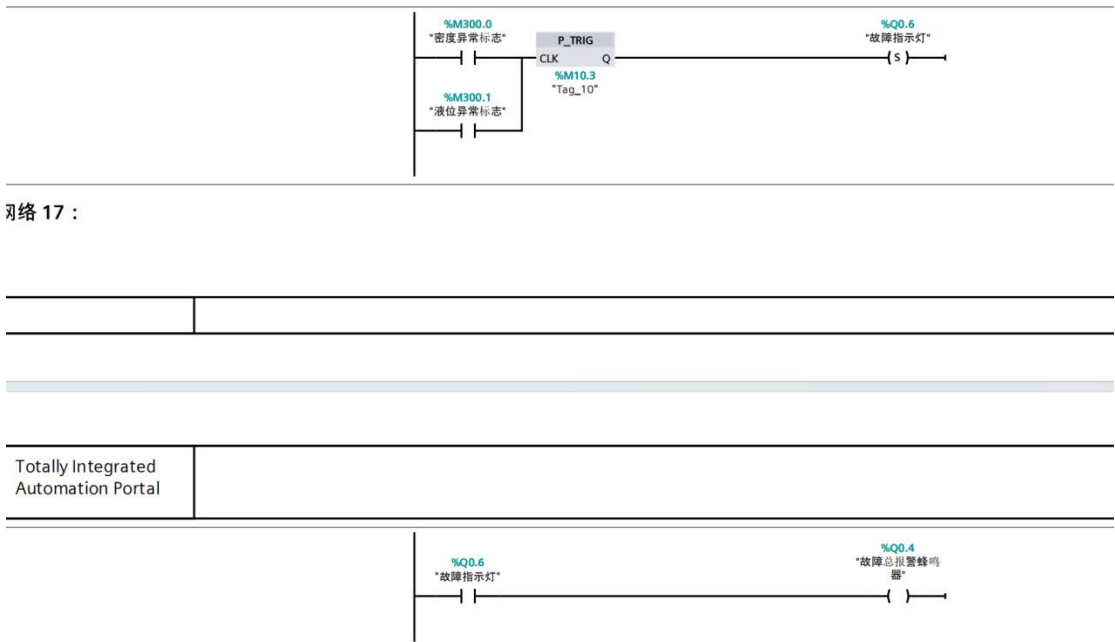


图 4-13 故障诊断与报警程序

4.3 人机交互程序设计

4.3.1 触摸屏界面设计

触摸屏界面是操作人员与控制系统交互的窗口，采用图形化设计，界面布局清晰、操作简便。主监控画面集成了系统控制、状态监控、工艺参数显示等功能。画面包含模式控制区（自动/手动选择、启动、停止、急停、复位等按钮）、工艺参数显示区（密度、液位、流量实时显示及设定值）、设备状态显示区（补水阀、加料装置、脱介筛、介质回收泵等设备的运行状态指示灯）、报警信息显示区（故障代码、报警信息）等。界面采用不同颜色区分按钮与指示灯，便于操作人员快速识别。演示模拟区以图形化方式动态显示悬浮液流程、加料显示等，直观展示系统运行情况。

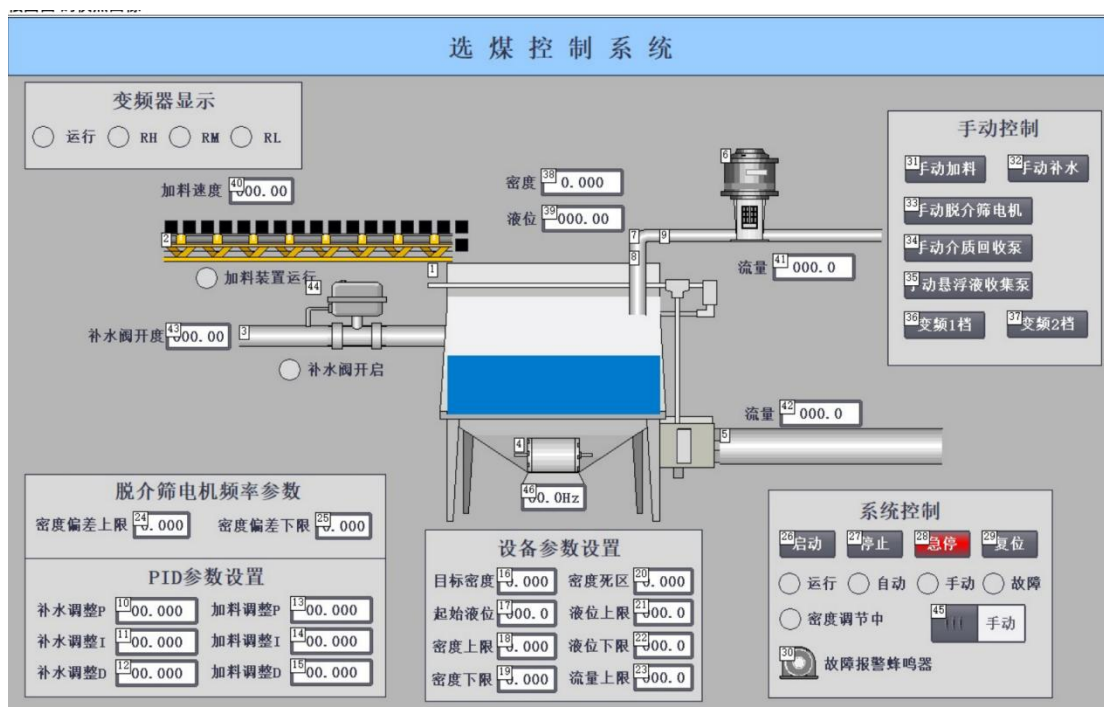


图 4-14 触摸屏主监控画面

4.3.2 参数设置与状态显示

参数设置程序实现运行参数设置。操作人员在触摸屏上输入密度设定值、液位上下限、流量上下限等参数，参数通过通信写入 PLC 数据寄存器。参数设置程序对输入值进行有效性检查。状态显示程序将 PLC 运行状态数据通过 PROFINET 传至触摸屏，实时刷新密度、液位、流量及补水阀、脱介筛、介质回收泵等设备状态。

常规					
名称	根画面	背景色	182, 182, 182	网格颜色	0, 0, 0
编号	1	模板	模板_1	工具提示	
层					
活动层	0				
层_0			已启用		
层_1			已启用		
层_2			已启用		
层_3			已启用		
层_4			已启用		
层_5			已启用		
层_6			已启用		
层_7			已启用		
层_8			已启用		
层_9			已启用		
层_10			已启用		
层_11			已启用		
层_12			已启用		
层_13			已启用		
层_14			已启用		
层_15			已启用		
层_16			已启用		
层_17			已启用		
层_18			已启用		
层_19			已启用		
层_20			已启用		
层_21			已启用		
层_22			已启用		
层_23			已启用		
层_24			已启用		
层_25			已启用		
层_26			已启用		
层_27			已启用		
层_28			已启用		
层_29			已启用		
层_30			已启用		
层_31			已启用		

图 4-15 参数设置与状态显示

4.4 本章小结

本章完成了系统软件设计，包括软件架构、PLC 控制程序、人机交互程序。PLC 控制程序涵盖系统初始化、模式选择、密度调节、液位与流量保护、脱介与介质回收、变频器多段速控制、急停与复位、故障诊断与报警等模块。变频器多段速控制通过三路数字量输出组合实现悬浮液泵四档速度切换。程序结构清晰，便于调试和维护。

第 5 章 系统仿真与调试

5.1 系统功能仿真与调试

5.1.1 博途 TIA Portal 仿真环境搭建

系统仿真使用西门子 TIA Portal 博途软件。博途提供完整仿真环境，可在无实际硬件情况下进行程序测试。搭建步骤包括：创建项目、添加 PLC 设备、配置模拟量模块、编写控制程序、添加触摸屏并建立连接。用 TIA Portal 创建新项目，添加 S7-1200 CPU 1214C 及 SM1234 模拟量模块，配置 PLC 参数；添加 TP1200 Comfort 触摸屏，建立 PROFINET 连接。

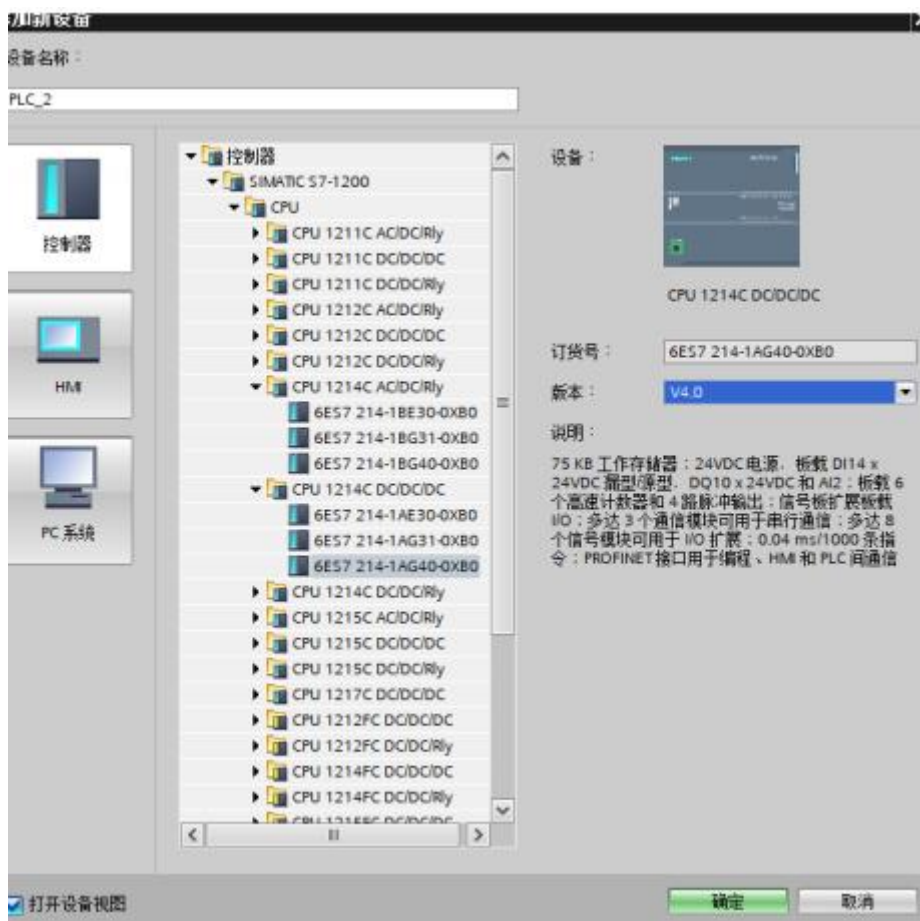


图 5-1 博途项目配置界面

5.1.2 程序编译与语法检查

程序编写完成后，在 TIA Portal 中进行编译。编译会检查语法错误和逻辑错误。编译通过后，程序可下载到 PLC 或进行仿真测试。发现错误时根据提示修改，

直到编译通过。

5.1.3 功能模块仿真测试

通过在线监控实时观察程序运行状态，显示各变量当前值。修改变量值模拟密度、液位、流量等工艺参数变化，验证密度调节、液位保护、故障报警等功能。测试包括系统初始化、模式选择、密度调节控制等，发现问题后修改程序、重新编译测试，直到所有功能模块正常工作。

	名称	数据类型	地址	保持	从 H...	从 H...	在 H...	监视值
1	急停按钮	Bool	%M0.0	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
2	启动按钮	Bool	%M0.1	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
3	停止按钮	Bool	%M0.2	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
4	复位按钮	Bool	%M0.3	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
5	自动手动选择开关	Bool	%M0.4	☐	☒	☒	☒	☒ TRUE
6	密度下限报警	Bool	%M0.5	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
7	密度上限报警	Bool	%M0.6	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
8	液位下限报警	Bool	%M0.7	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
9	液位上限报警	Bool	%M1.0	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
10	磁铁矿粉加料装置反馈	Bool	%M1.1	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
11	补水阀开到位反馈	Bool	%M1.2	☐	☒	☒	☒	☒ TRUE
12	介质回收泵运行反馈	Bool	%M1.3	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
13	手动加料按钮	Bool	%M1.4	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
14	手动补水按钮	Bool	%M1.5	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
15	变频器多段速选择开关位1	Bool	%M1.6	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
16	变频器多段速选择开关位2	Bool	%M1.7	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
17	磁铁矿粉加料装置启动	Bool	%Q0.0	☐	☒	☒	☒	☒ TRUE
18	补水阀控制输出	Bool	%Q0.1	☐	☒	☒	☒	☒ TRUE
19	脱介筛电机启动	Bool	%Q0.2	☐	☒	☒	☒	☒ TRUE
20	介质回收泵启动	Bool	%Q0.3	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
21	故障总报警蜂鸣器	Bool	%Q0.4	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
22	运行指示灯	Bool	%Q0.5	☐	☒	☒	☒	☒ TRUE
23	故障指示灯	Bool	%Q0.6	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
24	密度调节中指示灯	Bool	%Q0.7	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
25	自动模式指示灯	Bool	%Q1.0	☐	☒	☒	☒	☒ TRUE
26	手动模式指示灯	Bool	%Q1.1	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
27	加料装置运行指示灯	Bool	%Q1.2	☐	☒	☒	☒	☒ TRUE
28	补水阀开启指示灯	Bool	%Q1.3	☐	☒	☒	☒	☒ TRUE
29	变频器运行命令	Bool	%Q1.4	☐	☒	☒	☒	☒ TRUE
30	变频器多段速选择位1	Bool	%Q1.5	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
31	变频器多段速选择位2	Bool	%Q2.0	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
32	变频器多段速选择位3	Bool	%Q2.1	☐	☒	☒	☒	☒ TRUE
33	当前速度档位指示灯-低速	Bool	%Q2.2	☐	☒	☒	☒	☒ TRUE
34	当前速度档位指示灯-中速	Bool	%Q2.3	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
35	当前速度档位指示灯-高速	Bool	%Q2.4	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE
36	当前速度档位指示灯-全速	Bool	%Q2.5	☐	☒	☒	☒	☐ FALSE

图 5-2 功能模块仿真测试界面

5.2 系统功能测试

5.2.1 自动模式功能测试

操作者在触摸屏选择自动模式，按下启动按钮，系统按顺序启动悬浮液泵、脱介筛、介质回收泵。模拟密度低于设定值，加料装置自动启动，密度调节中指示灯点亮；模拟密度高于设定值，补水阀自动开启，补水阀开启指示灯点亮。密度调节功能根据检测值与设定值比较结果正确控制加料装置或补水阀，测试通过。

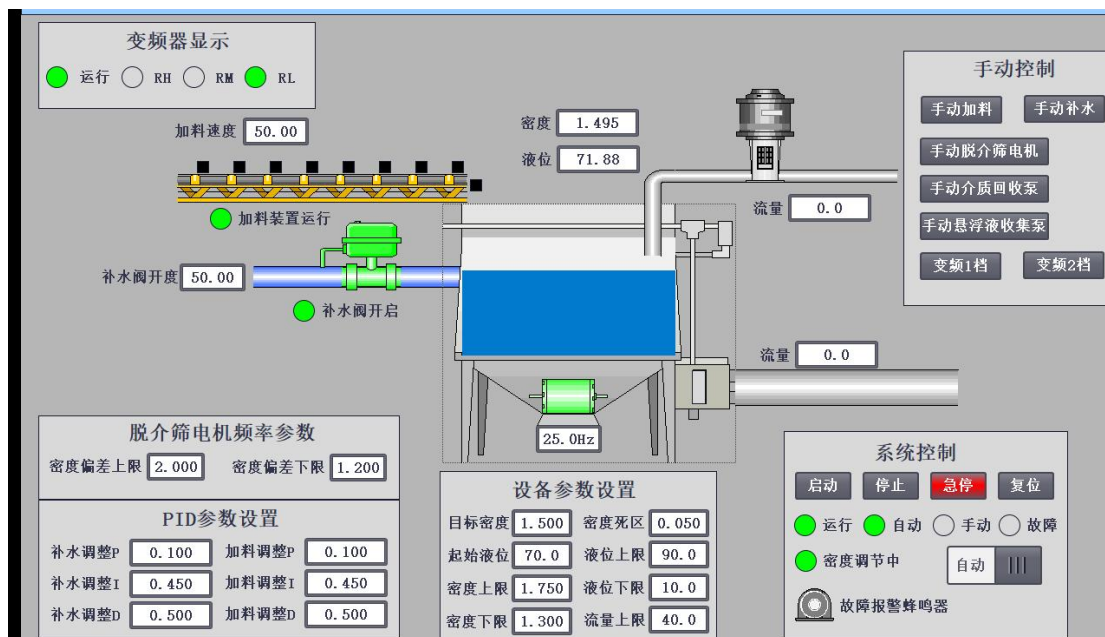


图 5-3 自动模式功能测试界面

5.2.2 手动模式功能测试

操作者选择手动模式后，通过触摸屏按钮分别控制加料装置、补水阀、脱介筛、介质回收泵的启停。各设备启停互不干扰，按操作独立响应，满足调试和维护需要。测试通过。

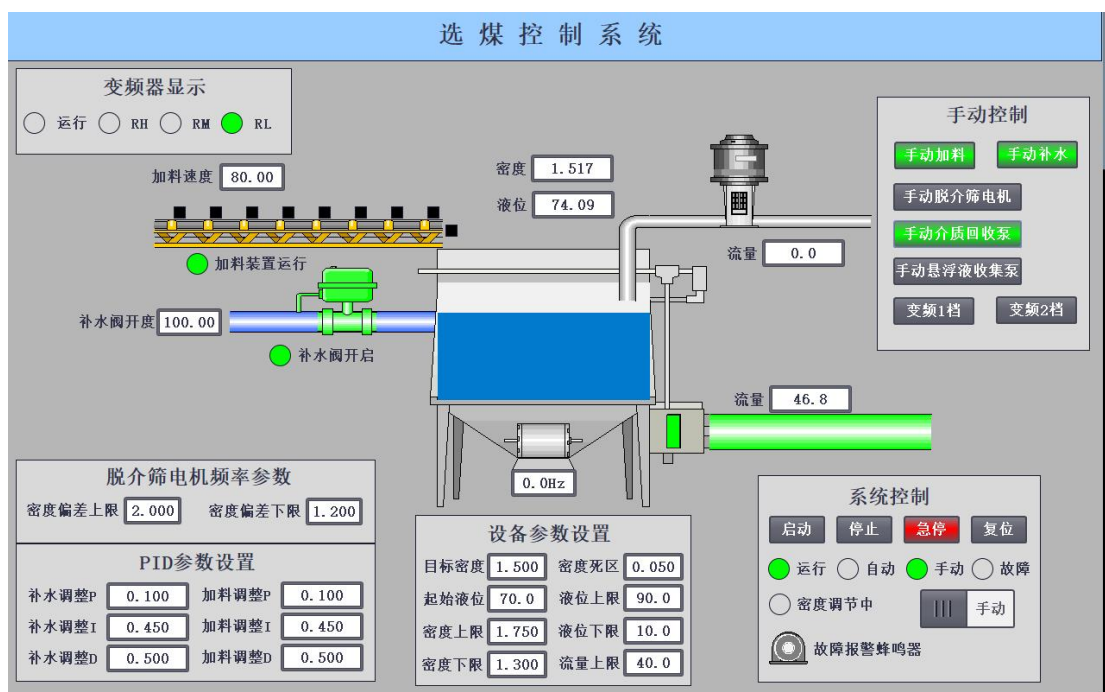


图 5-4 手动模式功能测试界面

5.3 系统性能测试

系统性能测试从响应速度、可靠性、运行稳定性三方面对选煤控制系统进行量化评估。测试在仿真环境和实训装置上分别进行，均在自动模式下完成。

响应时间测试主要测量系统对操作指令和工艺参数变化的响应速度。启动响应时间测试共进行 10 次，取平均值；密度调节响应时间在密度设定值 1.45 g/cm^3 、偏差死区 $\pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ 条件下，分别模拟密度偏低和偏高各 5 次，记录从参数变化到加料或补水动作触发的时间。响应时间测试数据如表 5-1 所示。

表 5-1 响应时间测试数据

序号	测试项目	测试次数	最小值 /s	最大值 /s	平均值 /s	指标要求	测试结论
1	启动响应时间	10	2.1	2.8	2.45	≤ 5.0	合格
2	密度偏低→加料动作	5	1.2	1.6	1.38	≤ 3.0	合格
3	密度偏高→补水动作	5	1.3	1.8	1.52	≤ 3.0	合格

可靠性测试主要验证系统在典型负载下的连续运行能力及频繁启停时的稳定性。系统在自动模式下连续运行 4 h，期间保持密度循环调节，记录故障次数和程序异常；另进行 50 次启动—停止循环试验，观察系统状态是否混乱、是否出现无法恢复的故障。可靠性测试数据如表 5-2 所示。

表 5-2 可靠性测试数据

序号	测试项目	测试条件	测试时长	测试次数	故障 / 异常次数	测试结果
1	连续运行可靠性	自动模式	4 h	1	0	合格
2	频繁启停可靠性	启停循环	-	50	0	合格

序号	测试项目	测试条件	测试时长	测试次数	故障 / 异常次数	测试结果
3	密度调节循环次数	调节周期	4 h	约 180	0	合格

稳定性测试主要验证系统在不同工况下的调节效果和抗干扰能力。分别模拟密度偏低、密度偏高、液位偏低、液位偏高等工况，通过调整设定值和检测值，观察密度调节能否使检测值回归设定范围、误报警次数以及设备启停是否平稳。运行稳定性测试数据如表 5-3 所示。

表 5-3 运行稳定性测试数据

序号	工况类型	设定值 /(g·cm ⁻³)	初始检测值	调节后检测值	调节时间 /s	误报警次数
1	密度偏低	1.45	1.38	1.44~1.46	45	0
2	密度偏高	1.45	1.52	1.44~1.46	52	0
3	液位偏低后恢复	-	低于下限	恢复正常	约 120	0
4	液位偏高后恢复	-	高于上限	恢复正常	约 95	0

将上述响应时间、可靠性、稳定性等测试的量化结果进行汇总，便于整体把握系统性能。汇总表列出各测试项目的测试条件、测试数据或结果及结论，便于与指标要求对照。系统性能测试结果汇总如表 5-4 所示。

表 5-4 系统性能测试结果汇总表

序号	测试项目	测试条件	测试数据 / 结果	结论
1	启动响应时间	按下“启动”按钮→设备进入运行	平均 2.45 s	满足实时性要求
2	密度调节响应	密度偏离设定	平均 1.38~	调节有效，响

	时间	值→加料 / 补水动作	1.52 s	应及时
3	连续运行可靠性	自动模式连续 运行 4 h	0 次故障	运行稳定
4	频繁启停可靠性	启动 / 停止 循环 50 次	0 次异常	启停正常，可 复位
5	密度调节稳定性	多种工况下密 度调节	调节时间 45~52 s	检测值回归设 定范围

5.4 测试结果分析

功能测试和性能测试验证了系统设计的正确性和可行性。密度调节、液位与流量保护、安全保护功能均正常；系统运行稳定，控制精度满足实际应用需求。

5.5 本章小结

本章进行了系统仿真与调试，包括功能仿真测试、功能测试、性能测试。测试验证了系统设计正确性，系统满足实际应用需求。

第 6 章 结 论

本设计完成了从需求分析、总体方案、硬件设计到软件实现与仿真测试的完整流程，构建了一套基于 PLC 的选煤控制系统。系统实现密度闭环调节、液位与流量监测保护、脱介与介质回收控制及基本安全保护，满足毕业设计对自动化程度、可靠性和可操作性的要求。

本设计在若干方面仍存在改进空间。密度调节控制主要针对典型工况，对复杂工况覆盖还不够全面；液位与流量的协调控制可进一步优化；系统目前以单机控制为主，尚未与上位机或生产管理系统进行数据交互。后续可引入更精细的 PID 调节算法，完善故障诊断体系，增加数据记录与趋势分析功能，探索与选煤厂 DCS 或 MES 系统的接口设计。

通过本次毕业设计，作者对 PLC 控制系统的整体开发流程有了系统性认识，熟悉了博途软件的基本使用方法，掌握了从需求分析、硬件选型、电气设计到程序编写、触摸屏组态和仿真调试的具体步骤。在设计与调试过程中，分析问题和解决问题的能力得到锻炼。

参考文献

- [1] 张晓鹏. 基于 PLC 的选煤厂智能集控系统的设计[J]. 矿山机械, 2025, 53(07): 67-70.
- [2] 王正权, 孙健康. 基于 PLC 技术的浅槽重介选煤系统研究[J]. 装备维修技术, 2025, (03): 70-73.
- [3] 方建洲, 刘海增. 选煤厂工艺系统自动控制技术的应用研究[J]. 自动化与仪表, 2025, 40(05): 28-31.
- [4] 刘银, 郎鑫. 洗煤厂选煤集中控制系统的设计及应用研究[J]. 能源与节能, 2025, (05): 269-271.
- [5] 彭震, 王名强. 基于 PLC 控制技术的智能选煤流水线设计与实现[J]. 自动化应用, 2025, 66(03): 31-33.
- [6] 郝全生, 张树森, 赵欣, 等. 基于激光技术的智能化选煤系统研究与应用[J]. 中国煤炭, 2024, 50(09): 68-72.
- [7] 杨欣. PLC 控制技术在跳汰机闸门自动控制改造中的应用[J]. 矿业装备, 2024, (07): 162-164.
- [8] 田田. PLC 控制系统在煤炭洗选设备中的应用[J]. 能源与节能, 2024, (04): 58-61.
- [9] 马亮. 基于模糊 PID 控制的选煤自动控制技术研究[J]. 自动化与仪表, 2023, 38(11): 25-29.
- [10] 杨国放. 基于 PLC 选煤厂智能控制系统的应用研究[J]. 自动化应用, 2023, 64(19): 46-48.
- [11] 王鹏军. 基于 PLC 的选煤厂跳汰机智能控制系统设计应用[J]. 机械研究与应用, 2023, 36(04): 179-181.
- [12] 党伟男. 基于 PLC 的洗煤设备监控系统的设计[J]. 自动化应用, 2023, 64(14): 90-91+94.
- [13] 田宏彬. 选煤生产过程标准数据平台的建设[J]. 煤炭加工与综合利用, 2023, (04): 1-4.
- [14] 郝晓君. PLC 在华阳一矿选煤厂集控系统改造的应用[J]. 西部探矿工程, 2023, 35(03): 111-112.

- [15] 蒙长有. 基于 PLC 控制系统重介质洗选煤工艺的研究与应用[J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(08): 174-176.
- [16] 刘永光. 基于 PLC 的选煤厂智能控制系统设计与研究[J]. 机械工程与自动化, 2022, (02): 165-167.
- [17] Hao C, XinLi Z, Qing Z, et al. Computer Big Data Technology in Internet Network Communication Video Monitoring of Coal Preparation Plant[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 2083(4).
- [18] Huang E J. Study on the Application of PLC in Coal Sorting System[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 3629(686-686): 164-168.
- [19] Zhang J, Xing R M, Li J W. Design of Heavy Medium Separation Density Control System Based on PLC[J]. Advanced Materials Research, 2014, 3294(986-987): 790-793.

谢 辞

时光荏苒，大学学习生活即将结束。在这段难忘的学习时光里，我收获了知识，收获了友谊，也收获了成长。

本次毕业设计的完成，离不开老师的悉心指导。从选题、开题到设计实施，再到论文撰写，老师都给予了耐心的指导和帮助。老师严谨的治学态度、渊博的专业知识和认真负责的工作作风，让我受益匪浅，也将激励我在今后的工作中不断进步。

感谢学校为我们提供了良好的学习环境和实验条件，感谢各位任课老师在专业学习上的悉心教导。几年来，老师们的言传身教让我在专业知识和实践能力上都有了很大的提高。

感谢我的同学们，在学习和生活中给予我的帮助和支持。我们一起学习、一起讨论、一起进步，这段美好的时光将成为我人生中宝贵的回忆。

感谢我的家人，在我求学期间给予我无私的关爱和支持，让我能够安心完成学业。

最后，衷心感谢在百忙之中评阅论文和参加答辩的各位老师！

由于本人水平有限，论文中难免存在不足之处，恳请各位老师批评指正。