目　录

摘要 I
ABSTRACT II
1 绪论 1
1.1 研究背景及意义 1
1.1.1 研究背景 1
1.1.2 研究意义 2
1.2 研究现状 2
1.2.1 国内的发展状况 2
1.2.2 国外的发展状况 2
1.3 设计内容及实现方法 2
1.4 本章小结 3
2 系统总体方案设计 4
2.1 总体功能需求分析 4
2.1.1 供水压力与流量控制需求 4
2.1.2 多水泵顺序启停与调度需求 4
2.1.3 水位检测与缺水保护需求 4
2.1.4 安全保护与故障报警需求 4
2.1.5 人机交互与监控需求 5
2.2 系统总体方案的选择 5
2.2.1 控制方案选择 5
2.2.2 硬件方案选择 6
2.2.3 软件方案选择 6
2.3 系统的总体设计 6
2.3.1 系统架构设计 6
2.3.2 系统工作流程设计 7
2.3.3 控制模式与多泵投切策略设计 8
2.4 本章小结 9
3 系统的硬件设计 10
3.1 主控制器 PLC 选型 10
3.1.1 PLC 选型依据 10
3.1.2 西门子 S7-1200PLC 简介 10
3.2 传感器与执行元件选型 10
3.2.1 压力传感器 10
3.2.2 液位传感器 11
3.2.3 流量传感器 12
3.3 水泵与变频器选型 12
3.3.1 多台离心泵配置 12
3.3.2 变频器选型 13
3.4 其他辅助设备选型 14
3.4.1 控制按钮与指示灯 14
3.4.2 报警蜂鸣器与保护电器 14

3.5 3.5 系统设备清单 15
3.6 系统电路设计 16
3.6.1 主电路设计 16
3.6.2 PLC 端口接线设计 17
3.7 PLCI/O 地址分配 18
3.8 本章小结 19
4 系统的软件设计 20
4.1 系统软件总体方案设计 20
4.1.1 软件架构设计 20
4.1.2 编程语言选择 20
4.1.3 程序模块划分 20
4.2 PLC 控制程序设计 20
4.2.1 系统初始化与启停控制程序 20
4.2.2 模式选择与急停/复位程序 21
4.3 自动供水控制程序设计 23
4.3.1 压力闭环控制与 PID 参数整定 23
4.3.2 多泵投切与均衡运行控制 24
4.3.3 缺水与水位保护程序 25
4.4 手动模式控制程序设计 26
4.4.1 手动启停控制程序 26
4.5 故障诊断与报警程序设计 28
4.5.1 报警显示与蜂鸣控制程序 28
4.6 人机交互程序设计 30
4.7 本章小结 30
5 系统仿真与调试 31
5.1 仿真环境与测试平台搭建 31
5.2 系统功能测试 31
5.2.1 自动供水功能测试 31
5.2.2 手动控制功能测试 32
5.2.3 缺水与水位保护功能测试 33
5.2.4 压力异常与过载保护功能测试 34
5.2.5 故障报警与复位功能测试 34
5.3 系统性能测试 35
5.4 测试结果分析 36
5.5 本章小结 36
结论 37
参考文献 38
谢辞 39
附录 40

摘要

本设计以可编程逻辑控制器（PLC）为控制核心，针对高层建筑给水系统运行压力稳定性差、人工干预多、能耗偏高等问题，提出并实现了一套基于 PLC 的高楼供水自动控制系统。系统采用三台离心泵并联系统，结合压力传感器、液位传感器与变频调速技术，通过压力闭环控制和多泵顺序投切策略，在保证管网压力稳定满足用户用水需求的前提下，实现水泵的经济运行和寿命均衡。系统设置自动、手动两种运行模式，自动模式下可根据设定压力和水位实现无人值守运行，手动模式便于设备调试与检修。

在硬件方面，系统以西门子 S7-1200PLC 为核心控制器，配置压力变送器、箱/池液位传感器、流量传感器、多台变频器及相关低压电器，构成完整的高楼供水控制与保护回路；在软件方面，基于 TIA Portal 平台采用梯形图语言进行模块化编程，完成系统初始化、启停控制、模式切换、压力 PID 调节、多泵投切、缺水保护、过载与变频器故障保护、运行时间与流量统计、人机交互显示等功能。通过仿真与现场联调，验证了系统在不同用水工况下均能保持出口压力稳定，水泵投切合理，保护动作可靠。试验结果表明，所设计的基于 PLC 的高楼供水系统运行稳定、控制精度高，具有良好的工程应用价值。

关键词：PLC；高楼供水；变频恒压供水；多泵控制；压力调节

ABSTRACT

Taking the Programmable Logic Controller (PLC) as the core, this design develops an automatic water supply control system for high-rise buildings, aiming at the problems of poor pressure stability, heavy manual intervention and high energy consumption in traditional booster pump stations. The system adopts three centrifugal pumps connected in parallel, cooperated with pressure transmitters, level sensors and variable frequency drives. By means of closed-loop pressure control and multi-pump sequential switching strategy, the pipeline pressure can be kept stable to meet users' demand while ensuring economic operation and lifetime balance of pumps. Two operation modes, automatic and manual, are provided. In automatic mode, the system can run unattended according to the set pressure and water level, while manual mode is convenient for commissioning and maintenance.

In terms of hardware, a Siemens S7-1200 PLC is selected as the main controller, together with pressure transmitters, tank level sensors, flow meters, several frequency converters and low-voltage apparatus to form a complete control and protection circuit for high-rise water supply. In terms of software, modular ladder programs are developed on the TIA Portal platform, realizing system initialization, start/stop control, mode selection, pressure PID regulation, multi-pump switching, low water level protection, overload and VFD fault protection, running time and flow statistics, as well as human–machine interface display. Simulation and field commissioning results show that the system maintains stable outlet pressure under various demand conditions, performs reasonable pump switching and reliable protection actions. Therefore, the PLC-based high-rise building water supply system designed in this paper features stable operation, high control accuracy and good engineering application prospects.

Keywords: PLC; High-rise Water Supply; Variable-frequency Constant-pressure Control; Multi-pump Control; Pressure Regulation

1 绪论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

随着城市化进程的不断推进，大量高层及超高层建筑相继兴建，居民生活和公共建筑对供水压力稳定性、供水安全性以及节能环保提出了更高要求。由于市政管网压力有限，高层建筑通常需要在建筑内部设置增压供水系统，以保证高区用户在早晚用水高峰期仍能获得稳定的水压和水量。传统高楼供水系统多采用工频多泵直接控制或简单的压力开关控制方式，存在启停冲击大、压力波动范围大、能量利用率低和运行管理手段落后等问题，难以满足当前智慧建筑对供水系统安全、可靠、节能、易维护的综合要求。

可编程逻辑控制器（PLC）凭借其结构紧凑、可靠性高、抗干扰能力强、编程灵活、维护方便等优点，已广泛应用于各类工业自动化领域。将 PLC 技术引入高层建筑供水系统，通过与压力、液位、流量等传感器及变频调速装置的有机结合，可以构建出一套集监测、控制、保护与人机交互于一体的智能供水系统。基于 PLC 的高楼供水系统不仅能够实现出水压力的恒定控制，还能根据用水负荷自动调节投运水泵的台数和转速，从而在保证用户用水体验的同时，大幅降低电能消耗和设备机械冲击。

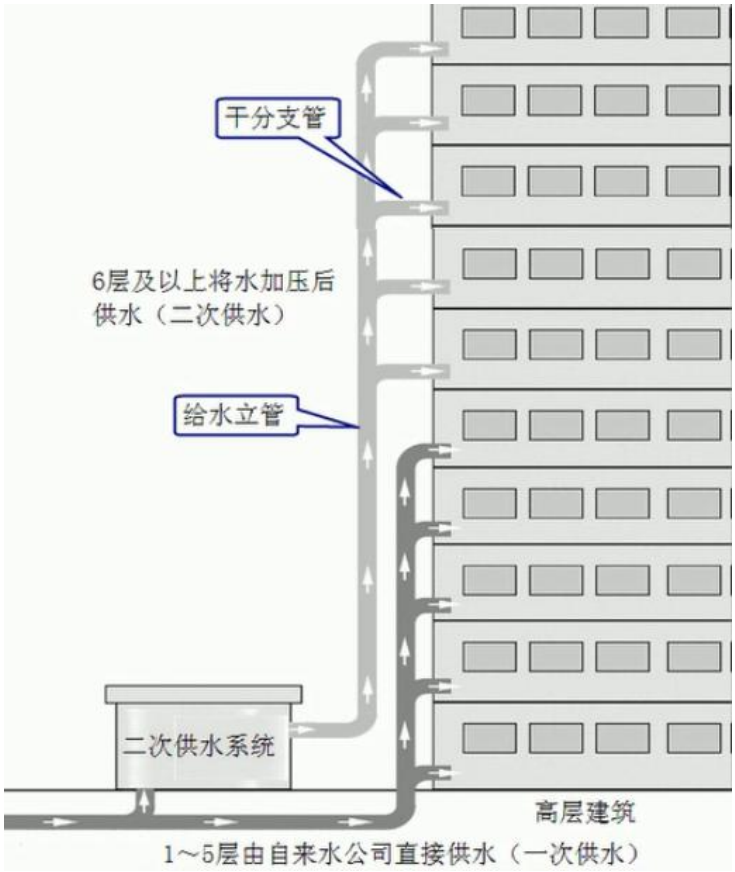


图 1-1 高楼供水

1.1.2 研究意义

基于 PLC 的高楼供水系统设计将控制理论与给排水工程、电机拖动以及变频调速技术相结合，有助于丰富 PLC 在过程控制与连续调节系统中的应用研究内容。通过在实际工程背景下分析高楼供水系统的动态特性，构建压力闭环调节与多泵协同控制的控制策略，可以为类似变流量、变压力的工业控制对象提供可借鉴的设计思路。

采用 PLC 与变频器联合控制的恒压供水系统，能够根据用户用水量的变化自动调整水泵运行状态，避免传统工频泵大马拉小车造成的严重能耗浪费，同时降低水锤和机械冲击，延长设备使用寿命。通过合理设计缺水保护、过载保护、变频器故障保护和声光报警等功能，可以显著提高高层建筑供水系统的运行安全性与可靠性，减少因设备故障导致的停水事故。

1.2 研究现状

1.2.1 国内的发展状况

近年来，随着居民生活品质要求的提高以及相关节能标准的逐步完善，国内对高楼供水系统的自动化与智能化控制进行了大量研究与工程实践。一方面，越来越多的设计方案开始采用 PLC+变频器+压力传感器的恒压供水模式，通过对出口管网压力进行闭环调节，实现按需供水和节能运行；另一方面，不少学者围绕多泵并联系统的投切策略、泵组均衡控制以及缺水保护方案开展了深入探索[1-3]。

部分工程案例中，采用了 PLC 控制的双泵或三泵交替运行模式，通过运行时间统计与启动次数统计实现设备的均衡使用；也有研究提出在高区生活给水与消防给水之间进行联动控制和应急切换，提高系统的综合利用效率。此外，随着智能建筑和物联网技术的发展，部分高层建筑的二次供水系统已经接入楼宇自控系统或云平台，实现远程监控、故障预警和运行数据分析，为后续的运维管理提供了数据支撑[4-6]。

1.2.2 国外的发展状况

在发达国家，高层建筑集中供水和楼宇机电系统的自动化水平较高，PLC、DCS 以及专用水泵控制器在高楼供水系统中早已得到广泛应用。部分国外厂商推出了集成压力传感、PID 控制、多泵投切和通讯功能的成套供水控制柜，可直接与楼宇管理系统（BMS）或上位机监控系统进行数据交互，实现系统的远程监控与优化控制[7-9]。在控制策略方面，除了常规的恒压供水模式外，还引入了多变量控制、模糊控制、专家系统等先进控制方法，对供水压力和流量进行更加精细的调节，以提升舒适性和节能效果[10-11]。

国外研究也十分重视供水系统的可靠性与安全性，通过设置多级冗余保护和完备的故障诊断策略，降低因设备故障导致的停水风险。同时，随着工业互联网与云服务的发展，一些高端供水系统已经实现了运行数据的云端存储与大数据分析，通过对历史工况的分析，为水泵选型、参数整定和能耗评估提供决策支持[12-14]。

1.3 设计内容及实现方法

在充分分析典型高层建筑增压供水系统工艺流程和控制需求的基础上，梳理出系统需要具备的核心功能，例如恒压供水、多泵顺序启停、水箱/水池液位检测与缺水保护、过载与变频器故障保护以及故障报警与历史记录等。其次，以需求分析为出发点完成系统总体方案设计，分别从控制方案、硬件方案和软件方案三个角度进行论证，给出系统的总体结构框图和主要控制流程，并说明各部分之间的协同关系。

在总体方案确定之后，进一步完成硬件设计与主要元器件选型，围绕 PLC、压力传感器、液位传感器、流量传感器、变频器、多台水泵、控制按钮及指示灯、断路器与接触器等关键设备阐明其功能和选型理由，并在此基础上绘制主电路原理图和 PLCI/O 接线图。软件部分依托 TIA Portal 平台，采用梯形图实现系统初始化、启停控制、模式切换、压力 PID 调节、多泵投切、水位保护、故障诊断与报警、运行时间及流量统计等功能模块，并通过统一的数据结构和标志位实现模块之间的配合。

在人机交互方面，设计触摸屏主监控画面，用于集中显示系统运行状态、压力与液位信息、泵组运行时间、故障代码及报警信息等数据，同时提供参数设置和手动控制等操作入口。最后，在仿真环境中对控制程序和 HMI 画面进行联合测试与调试，对系统的功能和性能进行验证与分析。

1.4 本章小结

本章首先介绍了高层建筑供水系统的应用背景和研究意义，分析了传统供水方式存在的不足，阐明了引入 PLC 与变频调速技术进行高楼供水自动控制的必要性。随后对国内外相关研究和工程应用现状进行了简要综述，从中可以看出基于 PLC 的恒压供水系统已经成为当前高层建筑二次供水的主流技术路线。最后给出了本设计的主要研究内容与实现方法，为后续章节的总体方案设计、硬件设计和软件实现奠定了基础。

2　系统总体方案设计

2.1 总体功能需求分析

2.1.1 供水压力与流量控制需求

高楼供水系统的核心任务是在不同用水时段和不同用水负荷下，始终为高区用户提供稳定、可靠的水压和水量。对于典型的高层住宅或公共建筑，出口压力既不能过低以免影响用户用水体验，也不能过高以免导致管网泄漏、噪音增大和设备损坏。因此，系统需要根据设定值对出口压力进行连续检测和闭环调节，使实际压力始终维持在允许偏差范围内。

在用水高峰期，用户用水量增大，系统需要通过提高运行水泵的转速或增加投运水泵台数来满足需求；在用水低谷期，则应适当降低水泵转速或减少投运水泵台数，以避免能源浪费。为此，系统必须具备对供水压力与流量的综合调节能力，能够根据压力检测值和运行时间等信息动态调整变频器输出，实现按需供水和节能运行。

2.1.2 多水泵顺序启停与调度需求

为了提高供水系统的可靠性与灵活性，高楼供水工程中通常采用多台水泵并联的形式，既可以在用水高峰时多台同时运行，也可以在用水低谷时仅开启一台变频泵维持压力。多泵系统在启动和停止时需要遵循一定顺序和逻辑：例如，当一台水泵满频运行仍无法满足压力需求时，应在一定延时后投入第二台泵；当需求减小时，则应按照预定策略退出部分水泵，避免频繁启停和能量浪费。

多泵顺序启停不仅要考虑当前压力偏差和变频器输出频率，还要兼顾各台水泵的运行时间和启动次数，实现轮换运行和均衡使用，防止某台设备长时间连续运行而其他设备长期闲置。系统因此需要设置多泵运行请求、投切延时和运行时间统计等逻辑，实现对多台水泵的合理调度。

2.1.3 水位检测与缺水保护需求

高楼供水系统一般由低位水池抽水至高位水箱或压力罐，再向用户供水。若低位水池或市政来水不足，仍强行运行水泵可能导致空转、汽蚀甚至损坏叶轮和轴承；高位水箱若液位过高则可能溢流浪费。因此，系统必须对水池和水箱的液位进行实时检测，根据液位高度执行缺水保护和超高位保护。

在缺水工况下，系统应在一定延时后发出缺水报警并停机，等待液位恢复正常后由操作人员确认或自动复位后再恢复运行；在高水位状态下，则应禁止继续向水箱送水或降低运行泵的台数，防止水箱溢流。水位检测与缺水保护功能是保证供水系统安全可靠运行的重要保障之一。

2.1.4 安全保护与故障报警需求

高楼供水系统涉及高功率电机、压力容器和复杂管网，一旦发生故障，可能引发设备损坏甚至安全事故。因此，系统必须具备完善的安全保护功能，包括急停保护、水泵过载保护、变频器故障保护、压力异常保护、缺水保护等。当检测到任何严重故障时，控制系统应立即切断相应水泵的输出，置位系统故障标志，并通过声光报警提示操作人

员及时处理。

2.1.5 人机交互与监控需求

为方便操作与维护，系统需要配置友好的人机交互界面，实现对供水系统运行状态的实时监控和参数设置。触摸屏主监控画面应至少具备以下功能：显示系统当前运行模式（自动/手动）、各台水泵运行状态、出口压力与液位实时值、故障报警信息、各台水泵运行时间和启动次数等；提供自动/手动模式切换、系统启动/停止、急停/复位以及各台水泵手动启停等操作按钮；支持对目标压力、上下限报警值、缺水保护延时时间等关键参数的设置。

为便于对上述需求进行归纳，可将高楼供水系统的总体功能需求概括为表 1 所示的几个方面。

表 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	供水压力与流量控制需求	实现出口压力的稳定控制，能够根据用水负荷变化自动调整运行泵台数和转速，在高峰期满足供水压力和流量，在低谷期避免无谓能耗。
2	多水泵顺序启停与调度需求	多台水泵按顺序启停，满足软启动和分级投入要求，具备轮换运行和均衡使用功能，减少频繁启停和单泵长期超负荷运行。
3	水位检测与缺水保护需求	连续监测低位水池和高位水箱液位，对低水位、极低水位和高水位状况及时做出缺水保护和超高限位限制，防止水泵空转和水箱溢流。
4	安全保护与故障报警需求	具备急停、过载、变频器故障、压力异常、缺水等保护功能，出现异常时自动停机并发出声光报警，同时记录故障代码，便于快速排查。
5	人机交互与监控需求	通过触摸屏集中显示运行模式、压力、液位、水泵状态和报警信息，支持参数设置和手动控制，界面直观、操作简单，便于日常运行与维护。

2.2 系统总体方案的选择

2.2.1 控制方案选择

结合功能需求，本系统选择 PLC 作为核心控制器。PLC 负责采集压力、液位、流量等模拟量及各类开关量信号，实现启停逻辑、多泵投切、故障检测与报警、人机交互

等功能；变频器负责驱动水泵电机，实现软启动和转速无级调节；触摸屏作为监控终端，完成运行状态显示、参数设定与手动操作。

2.2.2 硬件方案选择

在硬件设备选型方面，本系统选择西门子 S7-1200 系列 PLC 作为主控制器，该型号集成了一定数量的数字量输入输出点，并支持扩展模拟量模块，能够满足本系统的点位需求。压力传感器选用电流型压力变送器，安装在出水总管上，实现对出口压力的连续检测；液位传感器采用若干点式浮球液位开关或连续型液位变送器，用于检测低位水池与高位水箱的液位状态；必要时配备流量计用于流量统计。

驱动部分采用三台三相异步离心泵加对应的变频器，水泵功率根据高层建筑的用水量和扬程计算确定，变频器选用通用型矢量变频器，支持与 PLC 之间的数字量/模拟量通讯或现场总线通讯。控制回路中还配置有接触器、热继电器、空气开关、熔断器等低压电器，为水泵提供必要的电气保护。

2.2.3 软件方案选择

软件开发采用西门子 TIA Portal 集成开发环境，PLC 程序主要采用梯形图语言实现，部分复杂运算可辅以功能块（FB）或功能（FC）的形式编写。程序结构遵循模块化设计原则，将系统功能划分为若干相对独立的功能模块，例如系统初始化模块、启停控制模块、模式选择模块、压力调节模块、多泵投切模块、水位保护模块、故障诊断与报警模块、运行时间统计模块等。

人机界面采用西门子触摸屏，通过 PROFINET 与 PLC 建立通讯，利用变量映射实现数据的实时读写和显示。整套软件方案充分利用了博途中提供的仿真、在线监控和调试功能，便于在无真实硬件或部分硬件条件下完成程序验证与优化。

结合以上分析，本设计从控制方案、硬件方案和软件方案三个层面对系统总体方案进行了汇总，如表 2 所示。

表 2 系统总体方案选择汇总表

序号	方案类别	主要选择内容
1	控制方案	基于 PLC 的压力闭环控制+多泵顺序启停
2	硬件方案	S7-1200PLC+触摸屏+变频器+传感器
3	软件方案	TIA Portal+梯形图语言+模块化程序结构

2.3 系统的总体设计

2.3.1 系统架构设计

本系统总体架构可分为现场执行层、控制层和监控层三个层次。现场执行层包括三台水泵及其电机、变频器、压力变送器、液位传感器、流量计和阀门等设备，直接与水体和电能接触，完成能量转换和物理量采集；控制层以 PLC 为核心，通过输入/输出模块采集传感器信号并发出控制指令，实现供水系统的自动控制与保护逻辑；监控层由触摸屏或上位机组成，通过工业以太网与 PLC 通讯，实现运行状态的显示、参数设置和历史数据查询等功能。

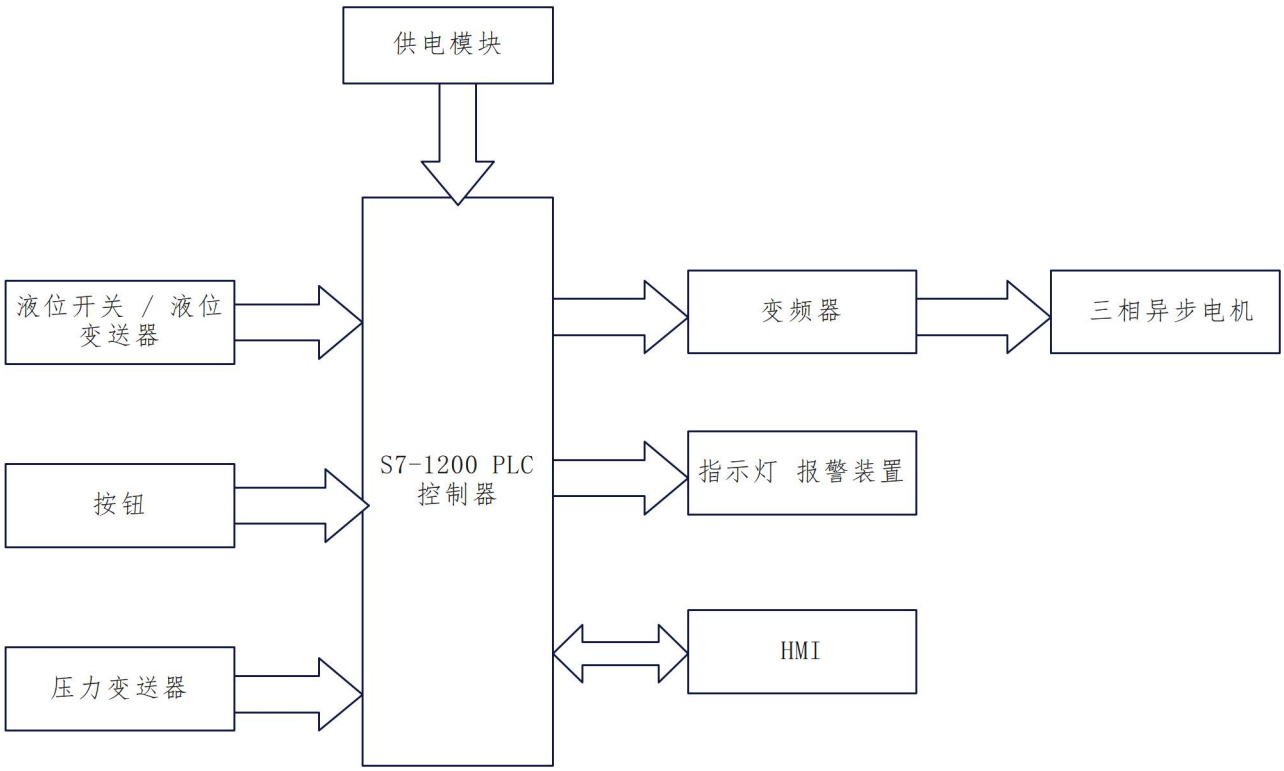


图 2-1 系统总体结构框图

2.3.2 系统工作流程设计

系统工作流程可以看作由自动模式和手动模式两类工况组成。自动模式下，系统按照预设逻辑自动运行。上电后，PLC 首次扫描完成系统初始化，使各标志位、计数器和定时器处于安全初始状态。操作人员在触摸屏上选择自动模式并按下启动按钮后，系统开始进入自动供水流程：首先启动一台变频泵，变频器按设定的加速时间缓慢升频，出口压力逐渐上升；PLC 通过压力变送器采集当前压力，与设定压力比较后经 PID 计算出目标频率，通过模拟量或通讯方式输出给变频器，实现压力闭环控制。当压力低于设定值且变频器输出频率已达到上限并持续一定时间时，系统判定当前单泵运行已接近能力极限，在满足联锁条件的前提下投入第二台水泵；若两台泵运行仍不能满足压力要求，则以类似方式投入第三台泵。用水量减小时，系统根据压力偏差和频率变化按预定顺序退出部分水泵，在保证供水压力的前提下避免不必要的能耗。整个过程中，系统还根据低位水池和高位水箱的液位状态执行缺水与超高位保护：当水池液位低于低水位并持续一定时间时置位缺水故障标志，停止相应水泵并发出报警；当水箱液位达到高水位时，停止继续向水箱送水或减少运行泵的台数，防止溢流。

手动模式主要用于系统调试和设备检修。当在触摸屏上选择手动模式时，系统自动复位自动模式标志，暂停自动投切逻辑，仅保留基本的安全联锁。此时操作人员可以通过界面上的 1#泵启动/停止 2#泵启动/停止 3#泵启动/停止等按钮分别控制各台水泵的启停；对于带有手动给定频率功能的变频器，还可以通过滑块设置目标频率，实现水泵转速的人工调节。在手动模式下，急停、过载、变频器故障、缺水保护等安全功能仍然有效，一旦出现异常，系统立即切断相关水泵输出并发出报警，避免误操作造成设备损坏或安全事故。退出手动模式前，需要先停止所有水泵，再切换回自动模式，以免在模式切换过程中出现逻辑冲突。

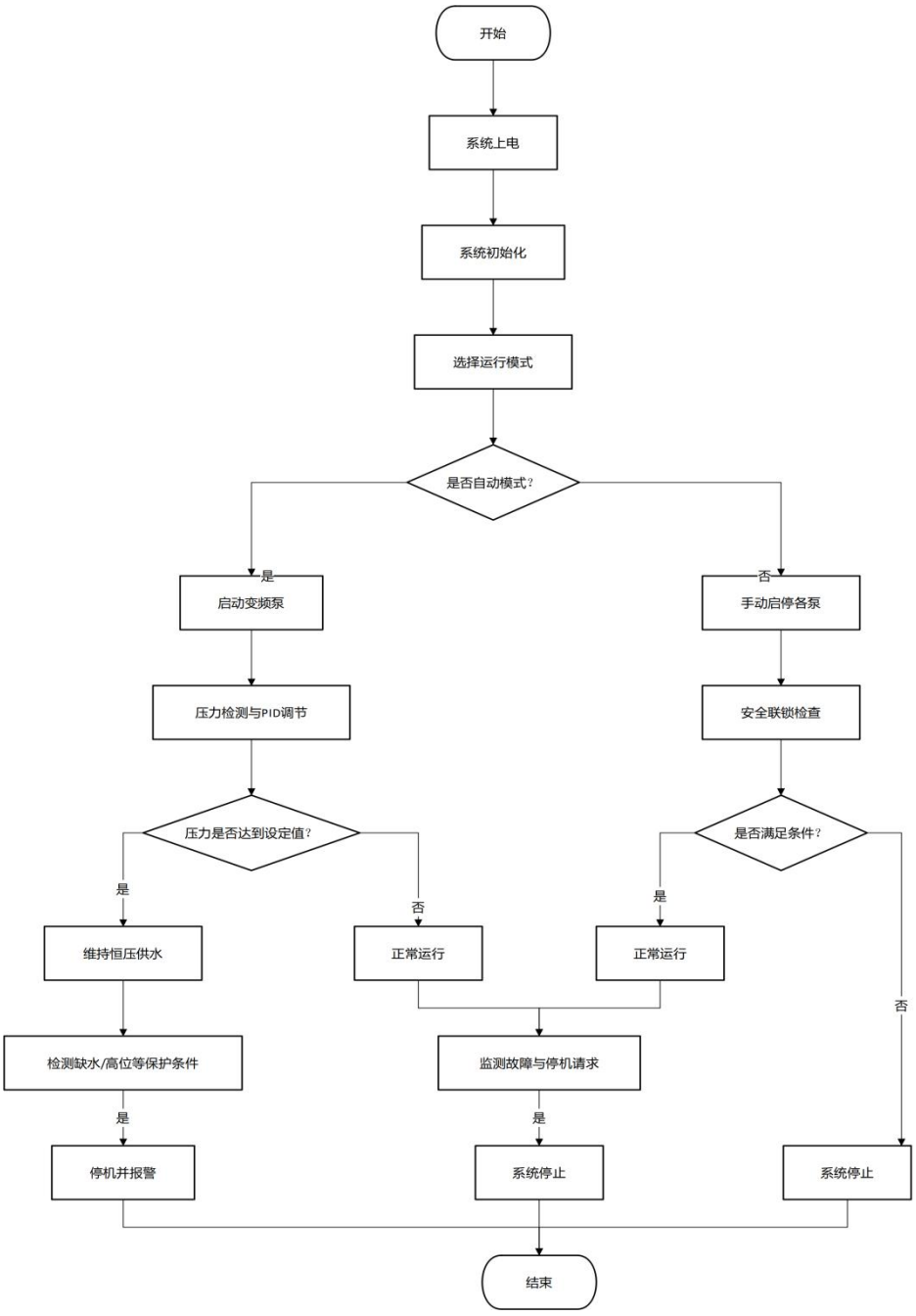


图 2-2 自动供水控制流程图

2.3.3 控制模式与多泵投切策略设计

系统控制模式采用自动/手动互锁方式设计，在任一时刻仅允许一种模式处于有效状态。模式切换须在系统停止且无故障条件下进行，切换操作通过触摸屏完成。PLC 内部设置自动模式标志和手动模式标志，通过互锁逻辑确保两者互斥。

多泵投切策略的设计充分考虑了压力设定值、压力偏差、变频器输出频率和运行时间等多种因素。以三泵系统为例：当仅 1#泵运行且其变频器输出频率达到上限值，同时压力仍低于设定值一定偏差并持续一段时间，则置位 2#泵运行请求，按设定延时投入 2#泵运行；当 2#泵也达到满频仍无法满足压力要求时，再按类似逻辑投入 3#泵。退出

过程则相反：当 3#泵的运行频率降至某一阈值以下且系统压力持续偏高，则按延时逻辑退出 3#泵；在满足条件时再退出 2#泵，最终仅保留 1#泵运行。

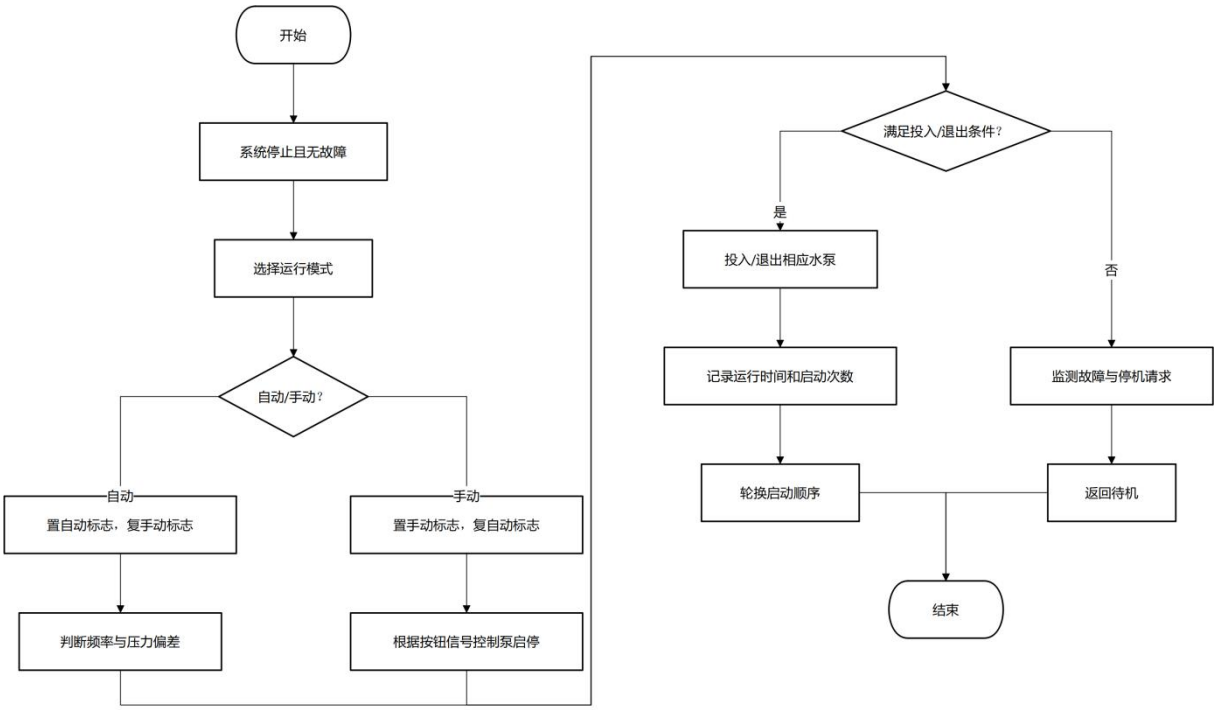


图 2-3 控制模式与多泵投切策略流程图

2.4 本章小结

本章在分析高楼供水系统功能需求的基础上，完成了控制方案、硬件方案和软件方案的总体选择与论证，明确了系统采用 PLC+变频器+传感器+触摸屏的恒压供水控制结构。通过对系统架构、工作流程、控制模式、多泵投切策略以及安全与复位流程的设计，为后续硬件与软件的详细设计提供了总体框架和依据。

3　系统的硬件设计

3.1 主控制器 PLC 选型

3.1.1 PLC 选型依据

在高楼供水系统中，PLC 作为核心控制装置，需要完成多路开关量和模拟量信号的采集与处理，并输出多路控制信号驱动变频器和各类指示灯、报警器等。PLC 选型应综合考虑以下几个方面：一是 I/O 点数是否满足当前系统及一定扩展余量的需要；二是是否支持模拟量输入/输出或易于扩展模拟量模块，以便接入压力变送器、液位变送器等；三是具有良好的抗干扰能力和可靠性，适应机房环境的长期运行；四是编程软件成熟易用，便于开发和调试。

3.1.2 西门子 S7-1200PLC 简介

西门子 S7-1200PLC 是面向中小型自动化控制场合的模块化 PLC，具有结构紧凑、功能丰富、扩展方便等特点。CPU1214CDC/DC/DC 作为其中的典型型号，集成了数字量 I/O、若干高速计数器以及多种通讯接口，支持以太网通信，可与 HMI、变频器或上位机进行数据交换。其用户程序与数据存储空间较大，足以容纳本设计所需的各类逻辑控制和数据统计功能。



图 3-1 S7-1200PLC 实物图

3.2 传感器与执行元件选型

3.2.1 压力传感器

压力传感器用于实时检测供水系统出口压力，是实现恒压控制的关键元件。本设计选用量程覆盖系统最高压力需求的电流型压力变送器，输出标准 4～20mA 电流信号，通过 PLC 的模拟量输入模块采集。传感器安装在出水总管上，距泵出口和弯头一定距离，以减小水流脉动和局部阻力对测量的影响。

压力传感器具有响应速度快、测量精度高和长期稳定性好等特点，同时具备一定的

过载能力和防护等级，适应泵房潮湿、振动等环境。通过对压力信号的实时采集和滤波处理，PLC 可以获得相对平滑的压力反馈数据，作为 PID 算法的输入量。



图 3-2 压力传感器实物图

3.2.2 液位传感器

液位传感器主要用于监测低位水池和高位水箱的液位状态，实现缺水保护和超高位保护功能。对于低位水池，可设置低水位和极低水位两个报警点：当液位低于低水位时，系统发出缺水预警；当继续下降至极低水位并持续一定时间时，则停止相关水泵运行并发出缺水故障报警。高位水箱则可设置高水位和超高水位两个控制点，用于停止或限制上水，防止溢流。

液位检测可以采用浮球液位开关或连续型液位变送器：前者输出开关量信号，结构简单、成本较低，适用于液位控制点不多的场合；后者输出模拟量信号，可实现连续液位监测和更精细的控制。本设计在综合成本、可靠性和控制精度的基础上，可以采用点式液位开关与连续液位变送器结合的方式，实现关键控制点的可靠检测和液位趋势的实时监控。



图 3-3 液位传感器实物图

3.2.3 流量传感器

为了对系统供水量进行统计和分析，设计中可选配一只电磁流量计或涡轮流量计，用于测量出水总管的瞬时流量和累计流量。流量信号通过4～20mA或脉冲方式输入PLC，结合运行时间可以实现对日供水量、泵效率和能耗指标的分析。虽然流量检测对恒压控制不是必须条件，但在节能评估和运行管理方面具有较高的参考价值。



图 3-4 流量传感器实物图

3.3 水泵与变频器选型

3.3.1 多台离心泵配置

本系统采用三台卧式离心泵并联方式向高区输送生活用水。水泵的额定流量和扬程根据建筑物层数、户数、用水定额以及管网水头损失等参数计算确定，并适当留有安全裕度。三台水泵可采用一用二备或两用一备的配置模式：在用水低谷时由一台变频泵独立运行，在用水高峰时根据压力需求依次投入第二台和第三台泵，既保证供水能力，又利于设备轮换使用和检修。



图 3-5 水泵及电机实物图

3.3.2 变频器选型

每台水泵配备一台变频器，用于实现软启动、软停止和转速无级调节。变频器容量按电机额定功率适当放大选取，考虑一定的过载能力。变频器应支持模拟量频率给定以及运行/停止控制端子，必要时可支持以太网或串行通讯，以便与 PLC 进行状态信息交换。

变频器内部具备多种保护功能，如过载、过流、过压、欠压、过热等，当出现异常时会输出故障继电器信号，接入 PLC 的数字量输入作为变频器故障标志，实现外部故障联锁和报警显示。本系统通过结合 PLC 外部保护逻辑与变频器内部保护功能，构建多层次的安全保护体系。



图 3-6 变频器实物图

3.4 其他辅助设备选型

3.4.1 控制按钮与指示灯

控制面板上设置启动停止急停自动模式手动模式等按钮，选用工业级按钮开关，具有足够的机械寿命和电气寿命。急停按钮采用红色蘑菇头自锁结构，便于在紧急情况下快速操作且防止误触；启动、停止按钮颜色区分明显，便于识别。

指示灯部分包括系统运行指示灯、系统故障指示灯、自动模式指示灯、手动模式指示灯、缺水报警指示灯、压力异常指示灯以及各泵故障指示灯等。指示灯多采用 LED 光源，颜色根据 IEC 或工程习惯设置，如绿色表示运行、红色表示故障、黄色表示报警等，与触摸屏画面实现一致的状态指示。



图 3-7 控制按钮与指示灯实物图

3.4.2 报警蜂鸣器与保护电器

为在发生严重故障时提供声音提示，系统配置一只交流或直流报警蜂鸣器，当检测到任一严重故障标志有效时蜂鸣器立即响起，在设定的时间后自动停止或等待人工复位。主回路保护电器包括空气开关、熔断器、接触器和热继电器等，按照水泵电机容量和启动方式选择合适的型号，以实现短路保护、过载保护和隔离功能。









图 3-8 报警蜂鸣器与保护电器实物图

3.5 3.5 系统设备清单

为便于施工安装和维护管理，需要对系统所用主要设备进行统一统计。根据本设计的配置，主要设备清单可包括 PLC、扩展模拟量模块、三台水泵及对应变频器、压力变送器、液位传感器、流量计、各类按钮与指示灯、接触器、热继电器、空气开关、开关电源等。通过设备清单可清晰了解系统构成，为后续采购和预算提供依据。

表 3 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	CPU1214CDC/DC/DC	核心控制器，14 输入 10 输出
2	触摸屏	1	西门子	TP700Comfort	人机界面，7 寸彩色屏
3	卧式离心泵	3	国产	7.5kW 左右	三台水泵并联向高区供水

4	变频器	3	西门子	G120C 系列	驱动三台水泵，变频调速
5	压力变送器	1	国产	0~1.0MPa，4~20mA	检测出口压力
6	液位传感器	4	国产	浮球开关/液位变送器	检测水池和水箱各液位点
7	电磁流量计	1	国产	DN50，4~20mA	测量瞬时流量和累计流量
8	启动按钮	1	施耐德	绿色按钮	系统启动
9	停止按钮	1	施耐德	红色按钮	系统停止
10	急停按钮	1	施耐德	蘑菇头自锁按钮	紧急停机
11	指示灯	8	国产	LED 指示灯	运行、故障、模式、报警等指示
12	交流接触器	3	施耐德	18A 级	水泵主回路接通与断开
13	热继电器	3	施耐德	匹配电机电流等级	水泵过载保护
14	空气开关	1	施耐德	三相，总开关	主回路短路与过载保护
15	开关电源	1	明纬	NES-100-24	提供 DC24V 控制电源

3.6 系统电路设计

3.6.1 主电路设计

主电路部分采用三相 380V 交流电源供电，经总开关和熔断器后分别接入三台水泵电机。每台水泵电机前级串接一台变频器，变频器输出端接电机三相端子，实现调速控制；在必要时可通过接触器实现旁路工频运行或隔离功能。各水泵回路中配置热继电器或变频器内部过载保护，以防电机长期过载运行造成损坏。

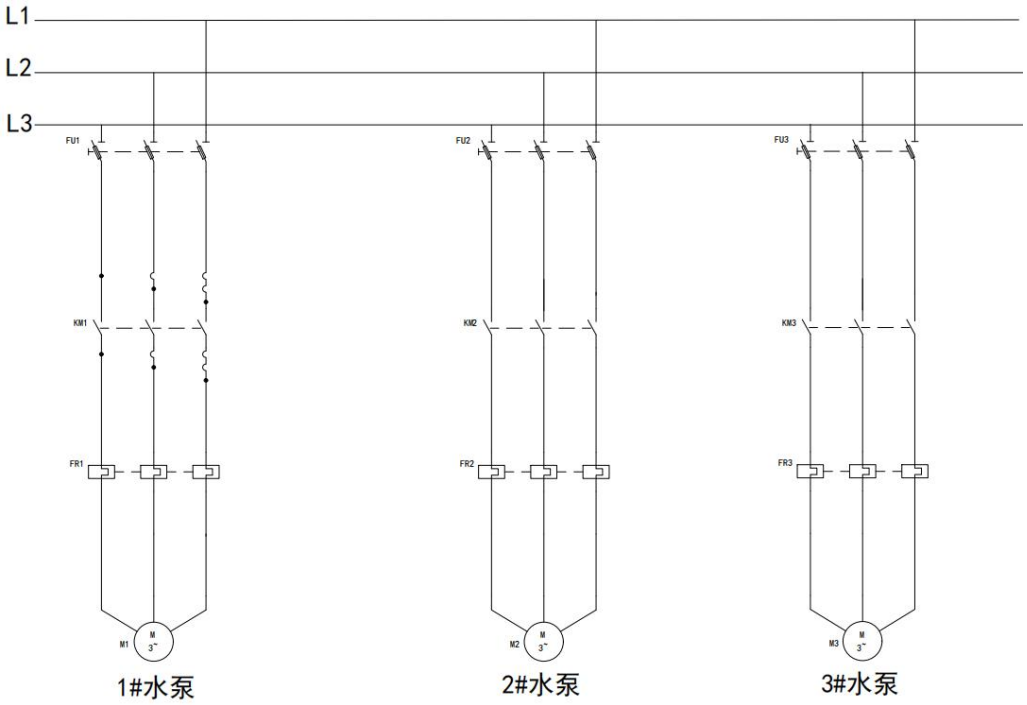


图 3-9 主电路原理图

3.6.2 PLC 端口接线设计

PLC 端口接线图给出了 CPU1214C 各输入输出端子与现场元件之间的对应关系。数字量输入端主要接收启动按钮、停止按钮、急停按钮、低水位/极低水位开关、高水位/超高水位开关、各变频器故障继电器触点等信号；模拟量输入端接收压力变送器、液位变送器和流量计输出的 4～20mA 信号。数字量输出端用于控制各水泵运行请求、系统运行指示灯、故障指示灯、缺水报警灯、压力异常指示灯、蜂鸣器等；模拟量输出端则用于向变频器发送目标频率或压力给定信号。

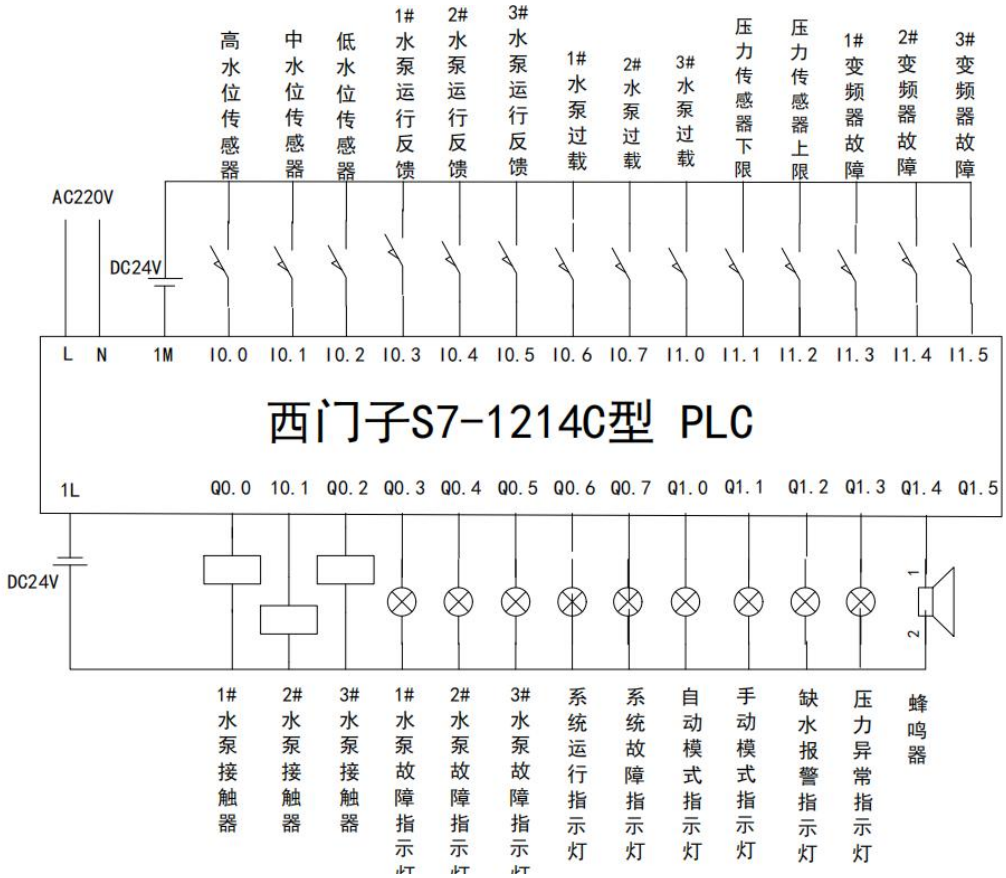


图 3-10 PLC 端口接线图

3.7 PLCI/O 地址分配

根据系统功能需求，对 PLC 的输入/输出地址进行统一规划，形成 I/O 地址分配表。输入地址部分包括：启动按钮、停止按钮、急停按钮、低水位/极低水位信号、高水位/超高水位信号、各变频器故障信号等；输出地址部分包括：1#水泵运行请求、2#水泵运行请求、3#水泵运行请求、系统运行指示灯、自动模式指示灯、手动模式指示灯、缺水报警灯、压力异常报警灯、系统故障指示灯、蜂鸣器等。模拟量地址部分用于接收压力、液位、流量等模拟量信号以及输出频率给定值。

表 4　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
1	启动按钮	I0.0	人工启动系统运行	1#水泵运行请求	Q0.0	控制 1#水泵启停
2	停止按钮	I0.1	人工停止系统运行	2#水泵运行请求	Q0.1	控制 2#水泵启停
3	急停按钮	I0.2	紧急停止所有水泵	3#水泵运行请求	Q0.2	控制 3#水泵启停

4	低水位开关	I0.3	检测水池低水位	系统运行指示灯	Q0.3	指示系统处于运行状态
5	极低水位开关	I0.4	检测水池极低水位	自动模式指示灯	Q0.4	指示当前为自动模式
6	高水位开关	I0.5	检测水箱高水位	手动模式指示灯	Q0.5	指示当前为手动模式
7	超高水位开关	I0.6	检测水箱超高水位	系统故障指示灯	Q0.6	指示系统存在故障
8	1#变频器故障信号	I1.0	检测 1#变频器故障	缺水报警指示灯	Q0.7	指示缺水故障
9	2#变频器故障信号	I1.1	检测 2#变频器故障	压力异常报警指示灯	Q1.0	指示压力异常
10	3#变频器故障信号	I1.2	检测 3#变频器故障	蜂鸣器	Q1.1	故障时发出声音报警

3.8 本章小结

本章在总体方案的基础上完成了系统硬件部分的详细设计，包括 PLC 选型、压力与液位传感器、流量传感器、水泵与变频器、控制按钮与指示灯、报警蜂鸣器及保护电器等主要设备的选型与配置，并对主电路结构、PLC 端口接线以及 I/O 地址分配进行了说明。合理的硬件设计为系统软件实现和整体性能提供了物质基础。

4　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结构设计思想，将 PLC 程序按照功能划分为若干模块，包括系统初始化模块、系统启停控制模块、模式选择模块、急停与复位模块、压力 PID 调节模块、多泵投切模块、水位保护模块、故障诊断与报警模块、运行时间与流量统计模块、状态显示与指示灯控制模块以及手动控制模块等。各模块通过共享的数据寄存器和内部标志位进行信息交互，既保持相对独立，又形成统一整体。

4.1.2 编程语言选择

本设计中 PLC 程序主要采用梯形图（LAD）语言编写。梯形图以继电器接线图为基础，使用触点和线圈形式描述逻辑关系，直观易懂，便于电气专业背景的工程技术人员学习和掌握。对于压力 PID 控制、运行时间累加等运算较多的部分，则借助 TIA Portal 提供的标准功能块和数学运算指令实现。

4.1.3 程序模块划分

为使程序结构清晰、职责明确，主程序中的网络按功能划分为若干模块，各自承担不同的控制任务。系统初始化模块在上电首次扫描时对压力设定值、压力上下限报警值、液位保护延时时间、故障计数器、运行时间计数器等参数进行初始化，使系统进入安全待机状态。系统启停控制模块根据启动/停止按钮和触摸屏启停命令，在无故障且无急停状态下置位或复位系统运行状态标志，并相应地置位或清除各水泵运行请求。模式选择模块完成自动模式与手动模式的互锁切换，更新当前工作模式标志，为后续逻辑判断提供依据；急停与复位模块则负责处理急停按钮和触摸屏急停/复位命令，实现系统紧急停机和故障状态清除。

在过程控制方面，压力 PID 调节与多泵投切模块实现压力误差计算、PID 运算、变频器输出频率给定以及多泵投切控制；水位保护与缺水报警模块根据低水位、极低水位、高水位和超高水位信号完成缺水保护和超高位限制。故障诊断与报警模块综合各类保护标志设置系统故障标志和故障代码，并驱动故障指示灯和蜂鸣器；运行时间与流量统计模块在系统运行过程中按秒累加各泵运行时间和系统总运行时间，并计算累计流量，供运行管理参考。状态显示与指示灯控制模块将 PLC 内部状态映射到各指示灯输出和 HMI 变量，实现统一的状态指示；手动控制模块则在手动模式下根据触摸屏按钮实现对三台水泵的独立启停及频率设置。通过上述模块的合理划分与配合，整个程序结构既便于理解，又便于后期维护和功能扩展。

4.2 PLC 控制程序设计

4.2.1 系统初始化与启停控制程序

系统初始化程序在首次扫描时执行，通过首次启动标志判断是否需要进行初始化。初始化内容包括：将系统运行状态、急停状态、系统故障标志、缺水故障、压力异常故

障等标志位清零；设置压力设定值和上下限报警值、液位保护延时时间等参数的初始值；将各类运行时间和故障次数计数器清零；将多泵投切定时器的预置值写入相应数据块。通过初始化，确保系统上电后不会因历史遗留数据导致误动作。

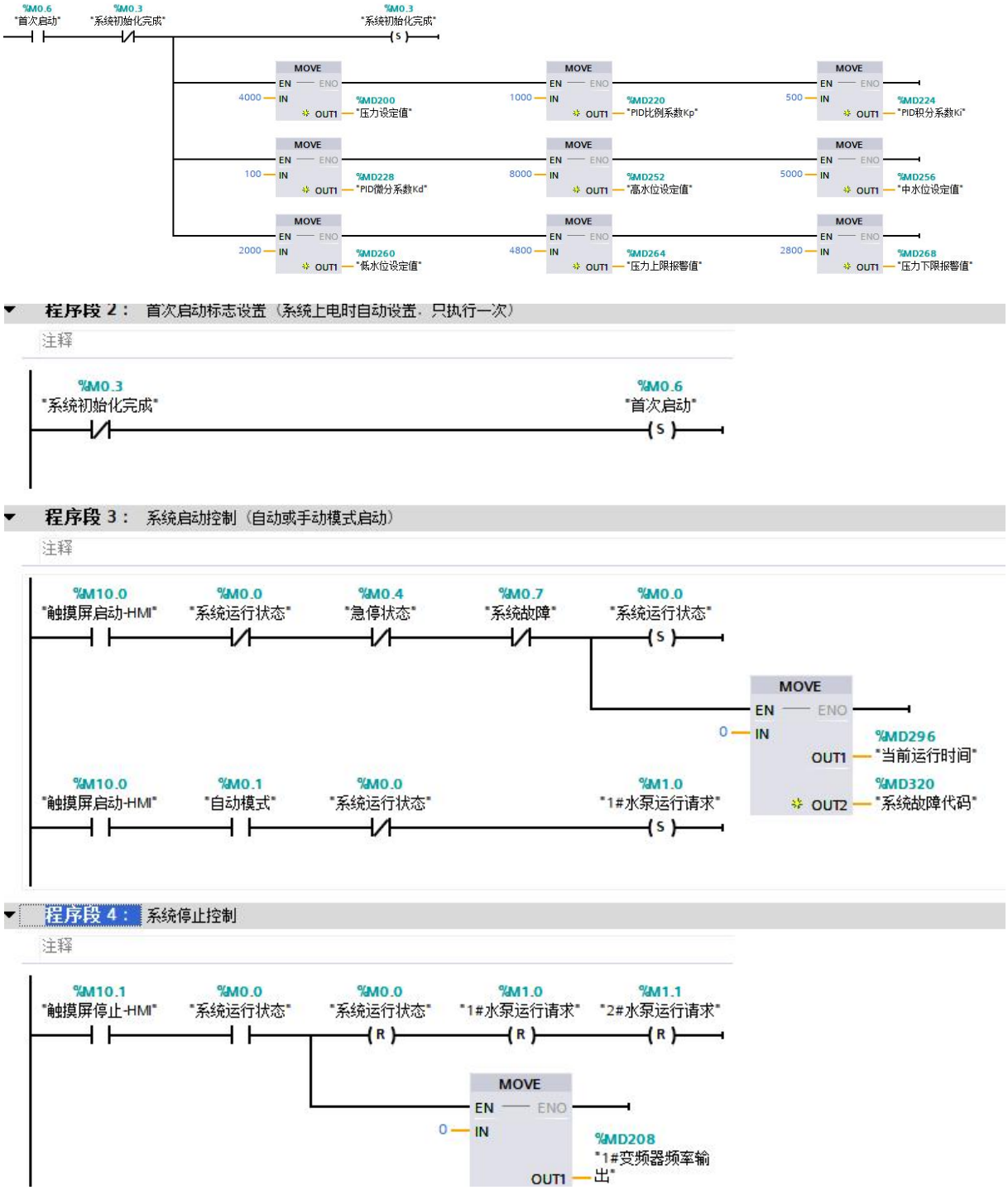


图 4-1 系统初始化与启停控制程序梯形图

4.2.2 模式选择与急停/复位程序

模式选择程序通过自动模式选择和手动模式选择两个信号在自动模式标志和手动模式标志之间实现互锁。只有当前系统处于停止状态且无故障时，才允许切换模式，防

止在运行过程中因模式切换造成控制逻辑混乱。

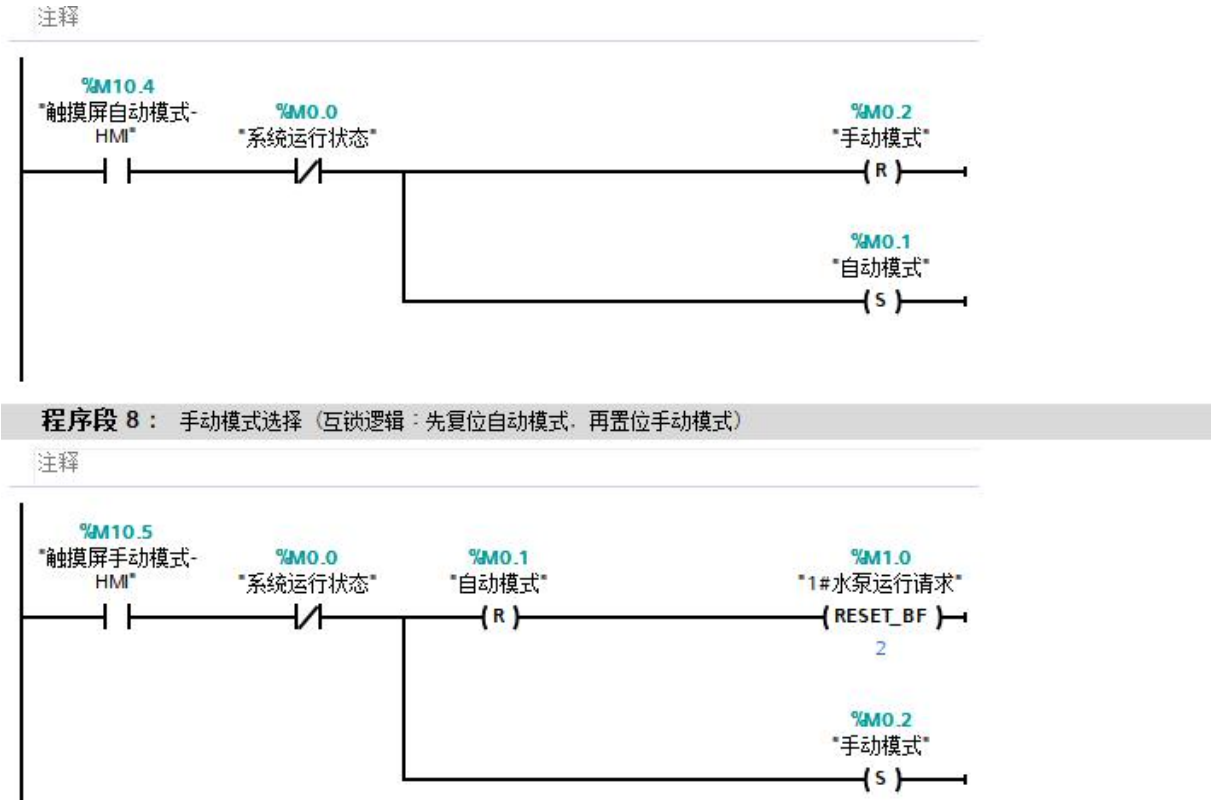


图 4-2 模式选择与急停/复位程序

急停程序对急停按钮和触摸屏急停命令赋予最高优先级，一旦检测到急停触发，立即复位系统运行状态和所有水泵运行请求，停止变频器输出，并置位急停状态标志和相应故障代码。复位程序在确认故障条件解除后，由触摸屏复位按钮触发，依次清除急停状态、系统故障标志和各类保护标志，同时复位故障代码和必要的计时/计数变量，使系统回到安全待机状态。

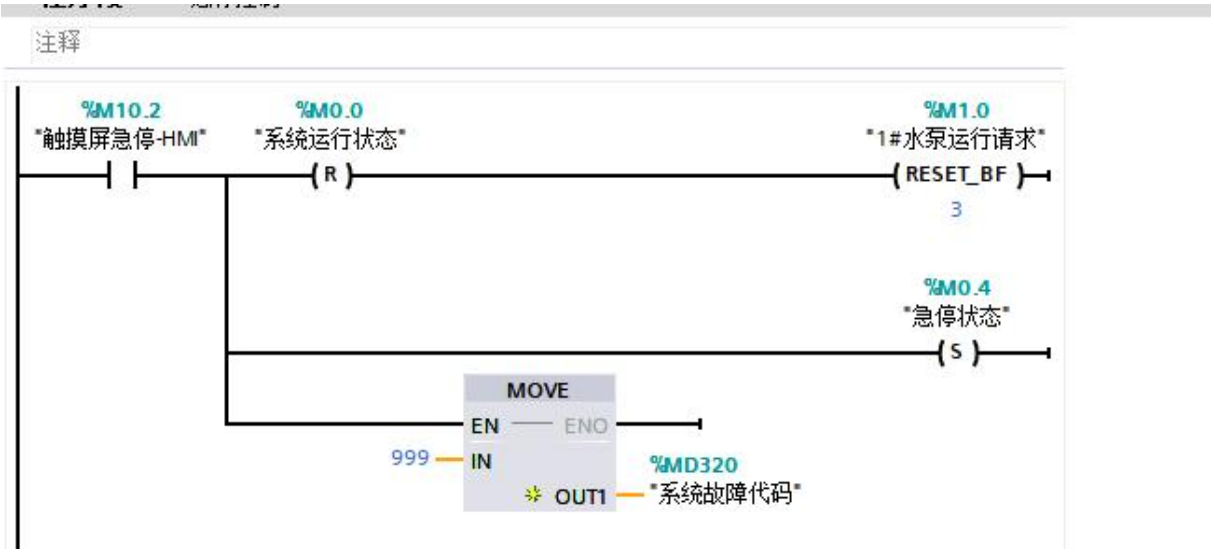


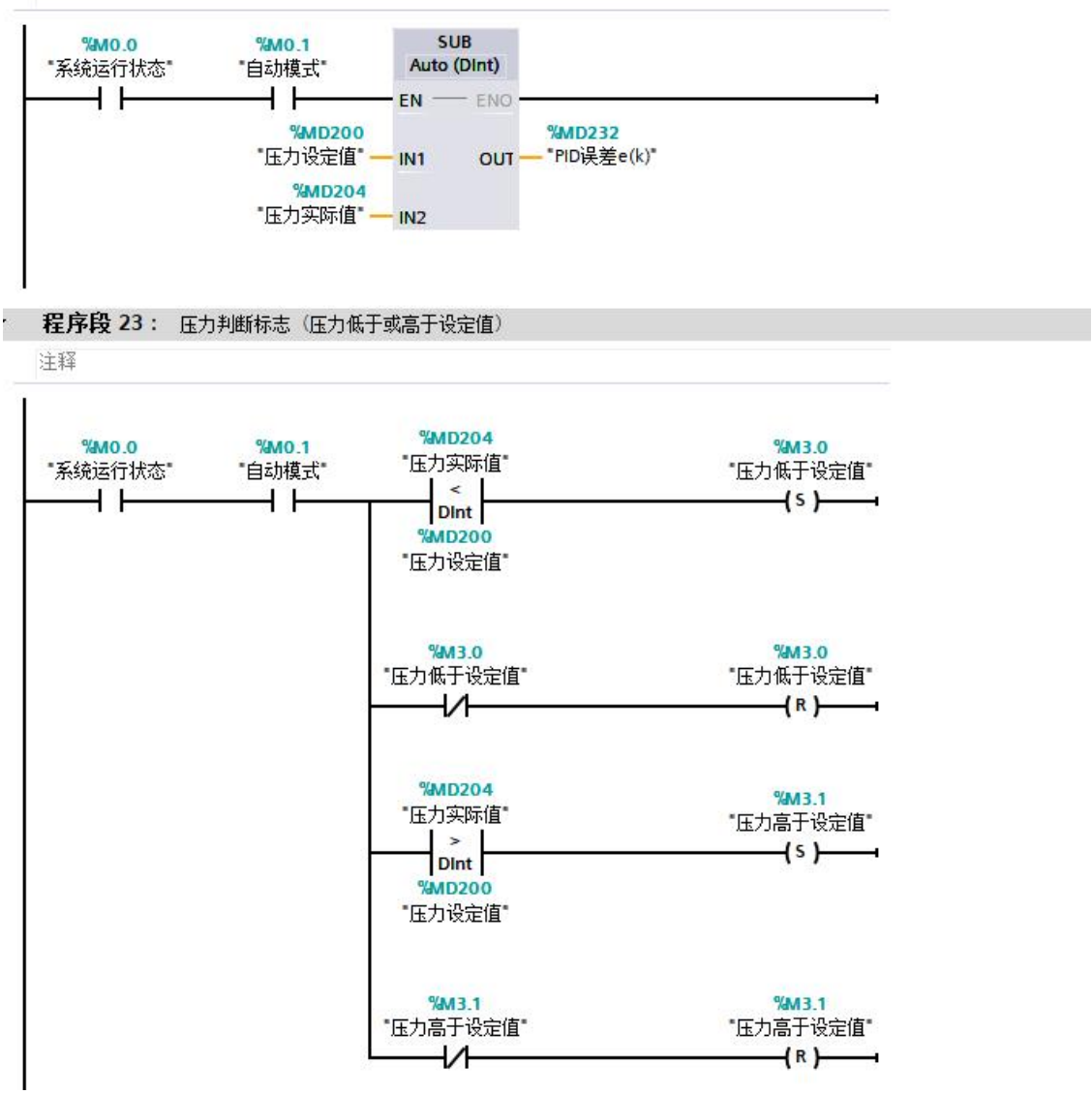
图 4-3 急停程序

4.3 自动供水控制程序设计

4.3.1 压力闭环控制与 PID 参数整定

自动供水模式下，PLC 周期性采集压力变送器输出，将 4～20mA 信号转换为对应的物理量，与压力设定值进行比较，得到当前压力误差 e(k)。利用 TIA Portal 提供的 PID 控制功能块或自编 PID 控制程序，根据比例系数 Kp、积分系数 Ki 和微分系数 Kd 计算出变频器目标频率或频率增量，并将结果限制在允许范围内。通过频率调节，可以使水泵转速随用水负荷变化而自动调节，从而保持出口压力基本恒定。

PID 参数的整定可以采用工程经验法或阶跃响应法，在仿真环境中通过多次试验逐步调整，先确定合适的比例系数，使系统具备足够的响应速度，再适当加入积分环节消除静差，最后根据需要添加微分项改善动态性能。整定好的 PID 参数应兼顾响应速度、超调量与稳态误差，使系统在不同工况下都能获得较好的控制效果。



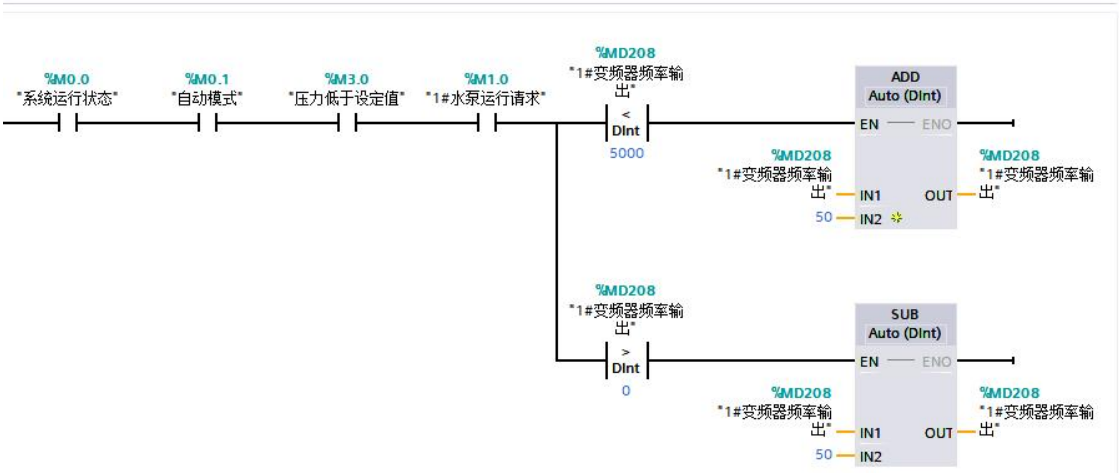
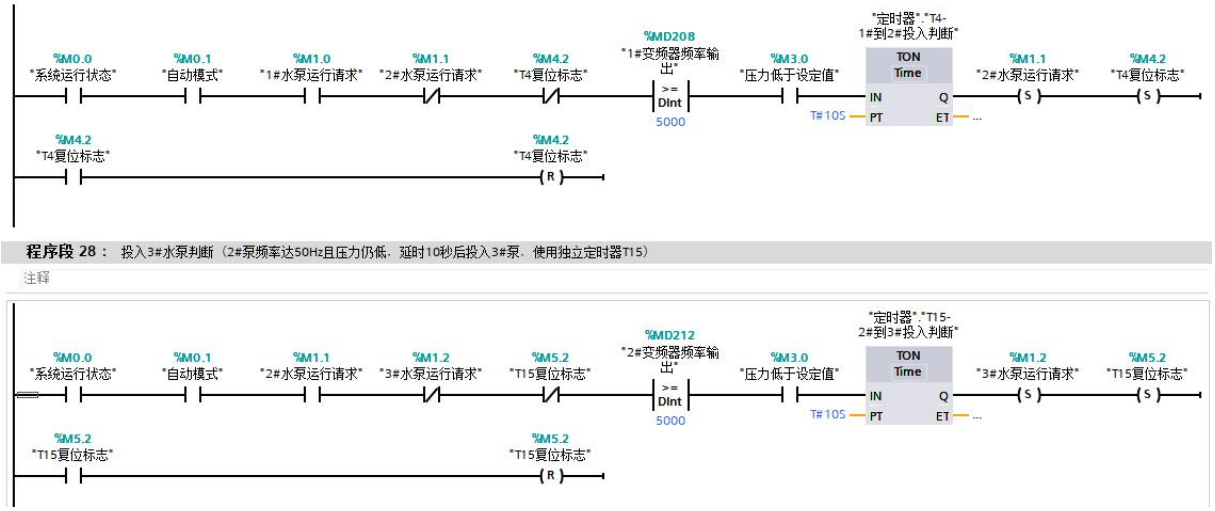


图 4-4 压力闭环控制程序

4.3.2 多泵投切与均衡运行控制

多泵投切程序在压力 PID 控制的基础上，根据变频器输出频率和压力偏差决定是否投入或退出其他水泵。当 1#泵运行且其变频器输出频率接近上限值，同时压力长期低于设定值一定偏差时，系统启动相应定时器，若在预设时间内条件始终成立，则置位 2#泵运行请求，投入第二台水泵运行；当两台泵共同运行仍无法满足压力需求时，以类似方式投入 3#泵。

在退出逻辑中，当 3#泵的变频器输出频率降至设定下限且压力连续高于设定值一定偏差并超过预设时间时，系统启动退出定时器，定时到后复位 3#泵运行请求，退出 3#泵；在满足条件时再退出 2#泵，最终仅保留 1#泵运行。为实现均衡运行，程序同时记录各台泵的运行时间和启动次数，在满足工况条件时，可优先投入运行时间较短或启动次数较少的水泵，实现轮换控制。



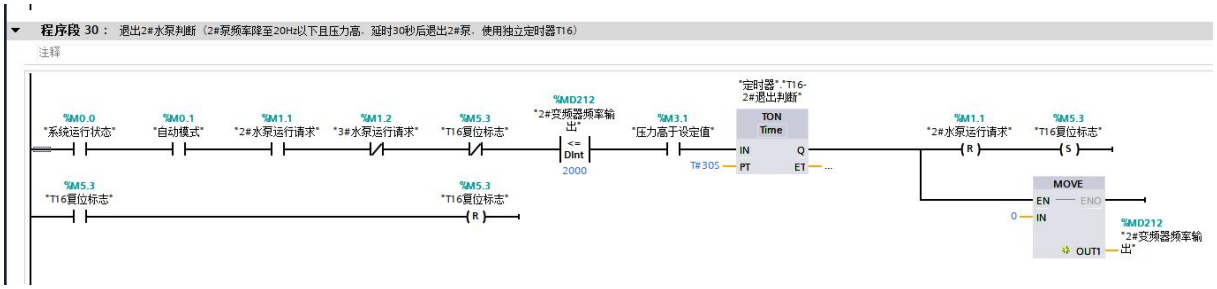
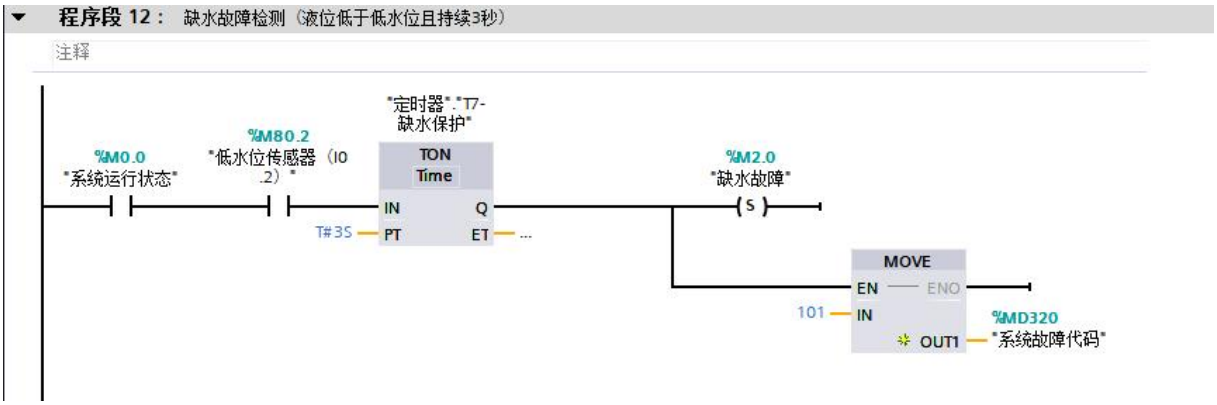


图 4-5 多泵投切与均衡运行控制程序

4.3.3 缺水与水位保护程序

缺水与水位保护程序根据低位水池和高位水箱的液位信号，决定系统是否允许继续运行或需要停机保护。例如，当低位水池低水位信号有效且持续超过设定延时时间时，系统置位缺水保护标志，停止相关水泵运行并发出缺水报警；当液位恢复至正常以上且保持一定时间后，由操作人员通过复位操作解除缺水故障。对于高位水箱，当高水位或超高水位信号有效时，系统停止继续上水或限制部分水泵运行，防止水箱溢流。

缺水与水位保护程序一般采用定时器配合液位开关信号实现，以避免液位在临界点附近微小波动造成频繁保护动作。该程序与系统启停控制、多泵投切及故障报警模块紧密配合，共同构成系统安全控制的重要组成部分。



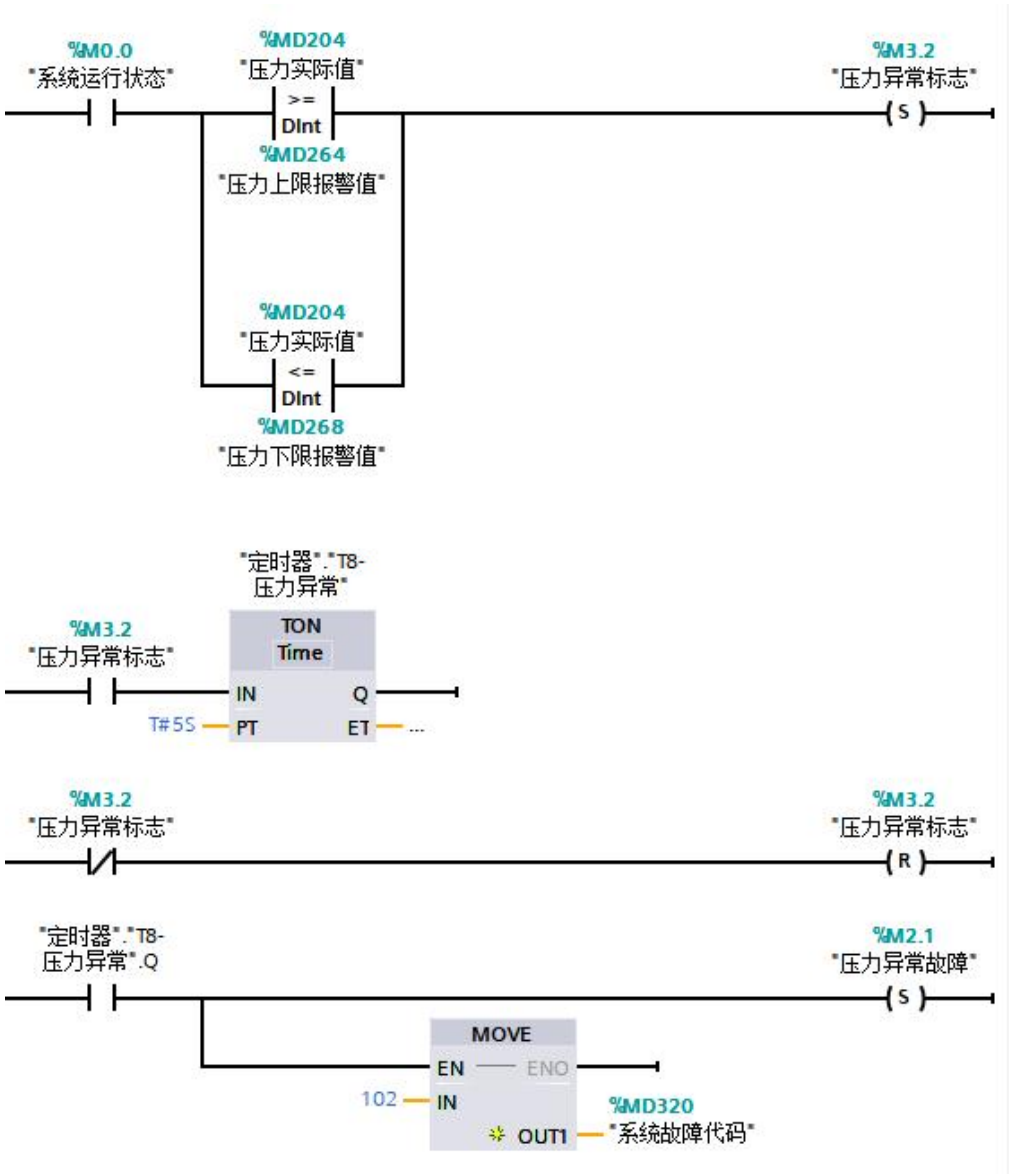


图 4-6 缺水与水位保护程序

4.4 手动模式控制程序设计

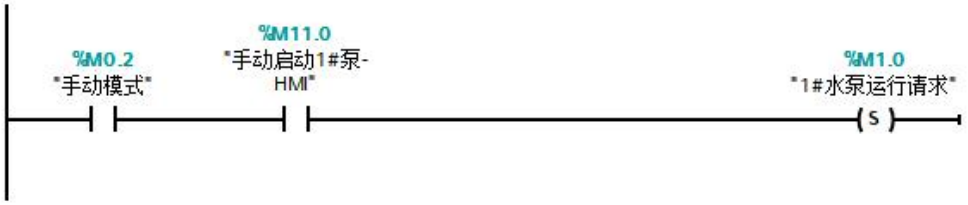
4.4.1 手动启停控制程序

在手动模式下，系统不再执行自动投切逻辑，而是根据触摸屏上的手动启动/停止按钮直接控制各台水泵的运行请求。手动启停程序首先判断当前是否处于手动模式且系统不在急停和故障状态，然后根据手动启动 1#泵手动停止 1#泵等信号置位或复位对应的运行请求标志，并在必要时将变频器频率输出设置为手动给定值或零。

手动控制程序中仍然保持各类保护逻辑有效，例如当某台泵存在过载或变频器故障标志时，即使收到手动启动命令也不允许投入运行，并在触摸屏上给出相应提示，防止人为误操作。

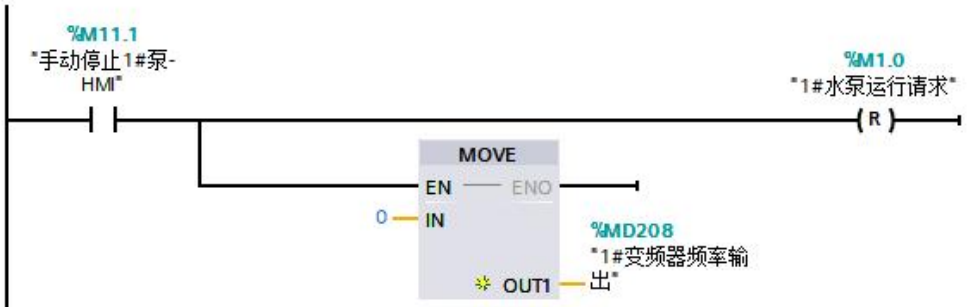
程序段 31： 手动启动1#水泵

注释



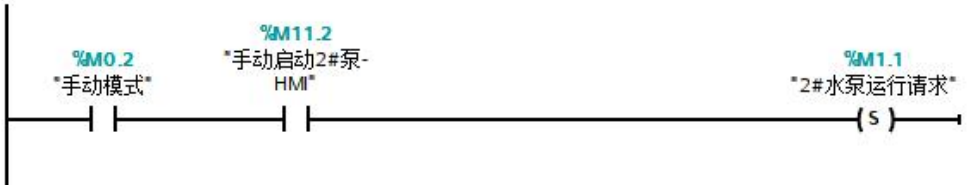
程序段 32： 手动停止1#水泵

注释



程序段 33： 手动启动2#水泵

注释



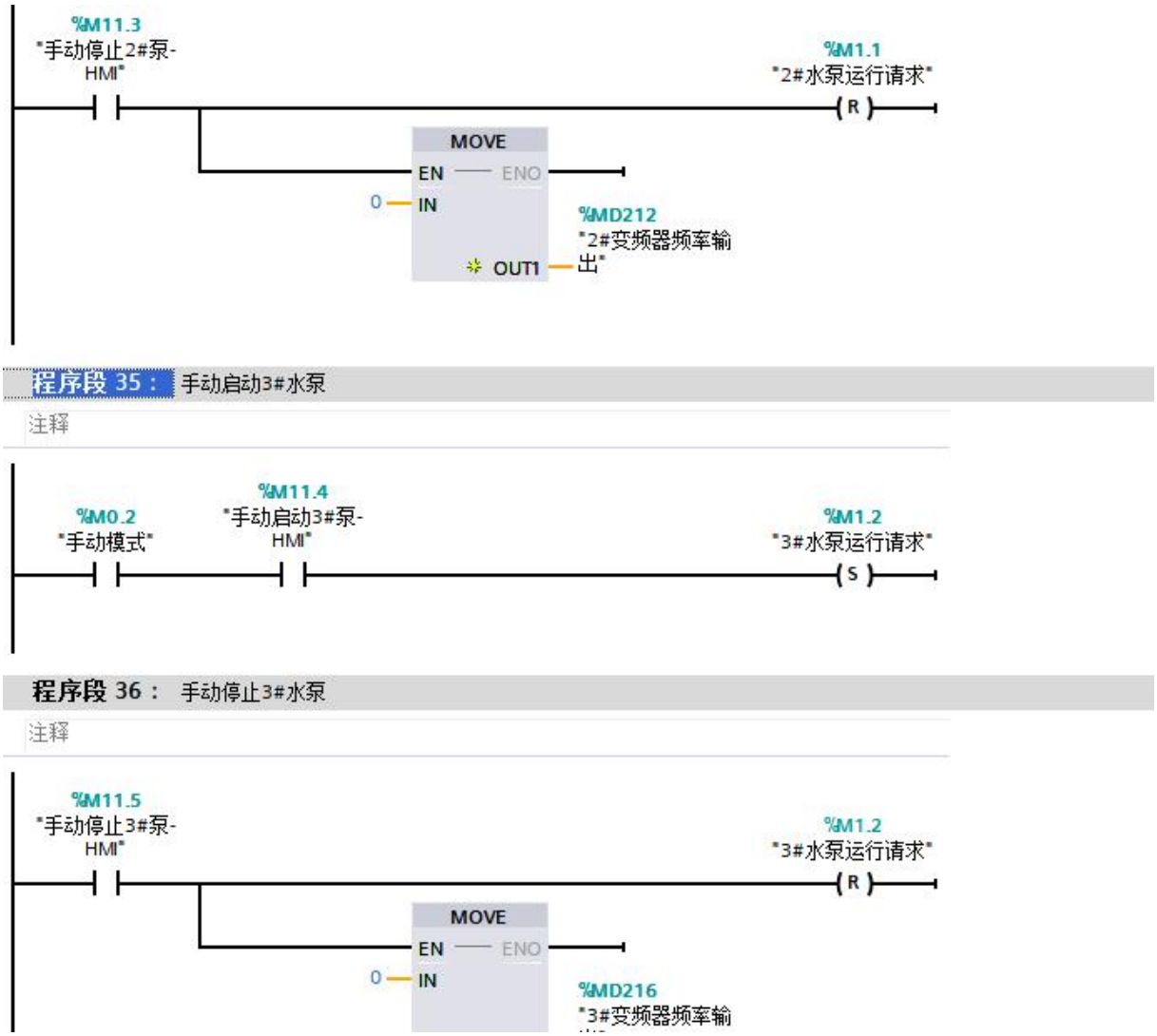


图 4-7 手动启停控制程序

4.5 故障诊断与报警程序设计

4.5.1 报警显示与蜂鸣控制程序

报警显示程序将故障代码和故障标志映射到触摸屏上的报警代码文本框和报警信息列表，当系统处于故障状态时，故障指示灯闪烁，蜂鸣器按设定节奏鸣叫，提示操作人员注意。蜂鸣控制程序通常采用定时器实现响—停循环，或在故障发生时持续响动，在复位操作后停止。通过清晰的报警显示与声光提示，可以大幅提高故障发现和处理的及时性。

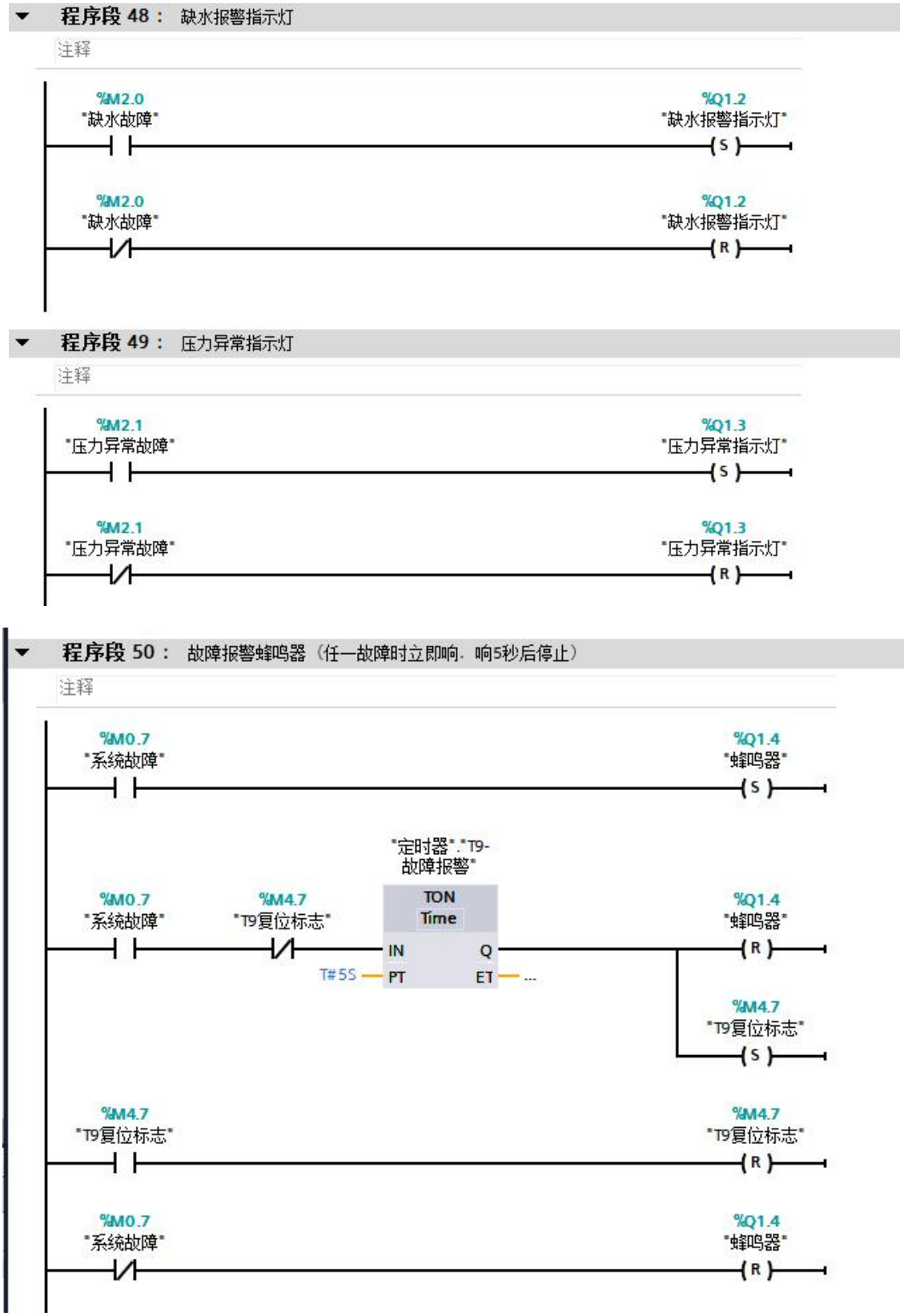


图 4-8 故障诊断与报警程序

4.6 人机交互程序设计

高楼供水系统的人机界面采用单页主监控画面设计，各功能区域按实际工艺布局进行分区显示。如图所示，左侧上方为模式控制区，布置自动模式、手动模式、急停以及系统启动、停止、复位等按钮，下面紧接着是手动控制区，分别给出 1#、2#、3#水泵的启动和停止按键，便于在调试和检修时单独控制任意一台水泵。画面中上部靠中间位置为压力显示与控制区，包括压力设定值、压力实际值、压力偏差等数值显示，并配有压力模拟滑块，既可以查看当前压力，又可以在仿真状态下模拟不同压力工况。右侧上方为水泵运行状态区，对三台水泵分别显示运行频率、运行时间，并设置故障指示灯，直观看出各泵的工作状况。画面中部偏下为水箱液位与流量区，显示当前液位、高/中/低三点液位百分比以及瞬时流量、累计流量等信息，同时设置三路频率滑块，用于在仿真时模拟不同频率下的流量变化。左下角为系统运行状态区，集中显示系统运行、系统故障、自动模式、手动模式、缺水报警、压力异常等状态指示灯，并给出系统总运行时间和当前运行时间以及报警信息文本框；右下角为传感器模拟区，提供高水位、中水位、低水位以及各泵过载等模拟按键，用于在调试过程中触发相应保护逻辑。

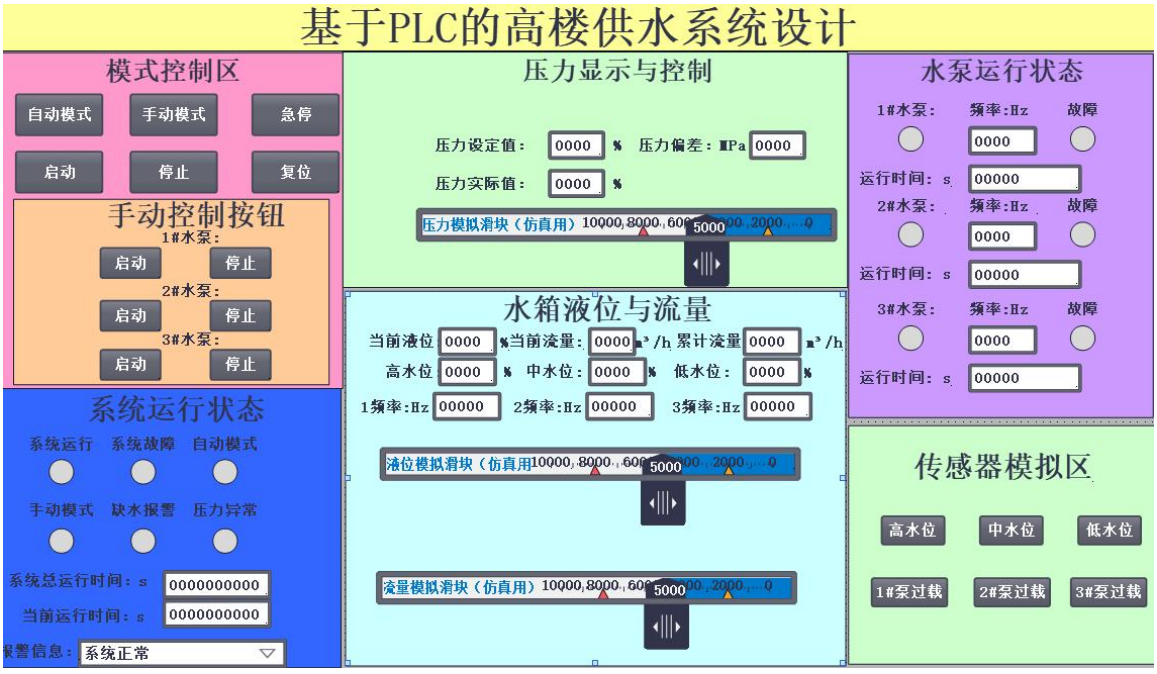


图 4-9 触摸屏主监控画面

4.7 本章小结

本章详细介绍了基于 PLC 的高楼供水系统的软件设计内容，包括软件架构、编程语言选择、程序模块划分、自动供水控制、手动控制、故障诊断与报警以及人机交互程序设计等。通过模块化和结构化的编程方法，构建了一套逻辑清晰、功能完备且便于维护的 PLC 控制程序，为系统的稳定运行提供了可靠的软件保障。

5　系统仿真与调试

5.1 仿真环境与测试平台搭建

在系统实际投运前，先利用 TIA Portal 提供的 PLC 仿真功能对控制程序进行调试。仿真环境搭建包括新建项目、添加 S7-1200PLC 设备、配置 CPU 参数、创建主程序和数据块、导入或手工绘制 HMI 画面并完成变量映射等步骤。通过配置系统存储器和时钟存储器，可以为定时器、闪烁控制和运行时间统计提供统一的时基。

在仿真过程中，通过在线监控观察各网络中触点与线圈的状态变化以及关键变量的实时数值，模拟压力、液位和变频器反馈等输入信号，检查启停逻辑、模式切换逻辑、多泵投切逻辑和保护逻辑是否按照预期工作。对于压力和流量等模拟量信号，可以利用 HMI 画面上的滑块控件模拟其变化趋势，验证 PID 控制效果和保护动作阈值设置是否合理。

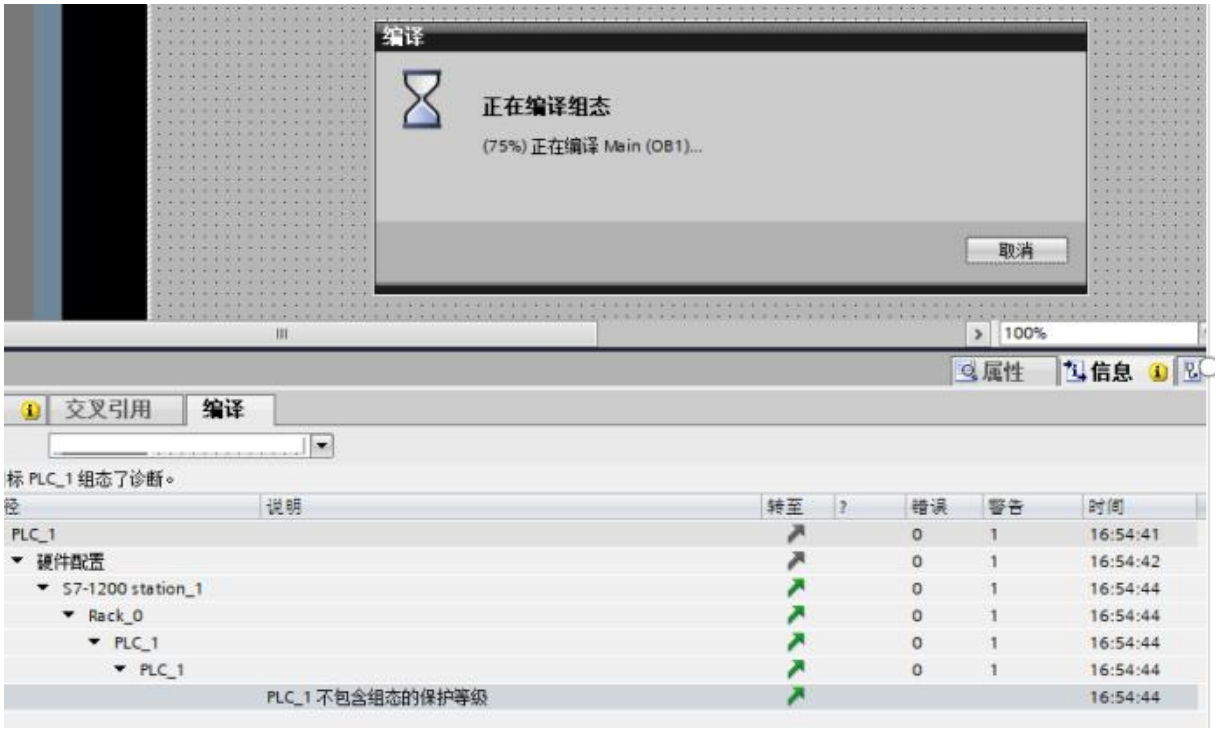


图 5-1 博途项目配置与程序编译界面

5.2 系统功能测试

5.2.1 自动供水功能测试

自动供水功能测试主要验证在自动模式下，系统是否能够根据压力设定值实现出口压力的恒定控制。测试时在 HMI 上设置不同的压力设定值，并通过滑块模拟用水负荷变化，观察 PID 控制输出频率及水泵投切情况。结果表明，当用水量增加导致压力下降时，变频器频率按一定斜率上升，压力逐渐恢复到设定值附近；当用水量减小时，变频器频率相应降低，压力波动在允许范围内。

同时，在压力长期低于设定值且变频器频率达到上限的条件下，系统能够按照设计逻辑投入第二台或第三台水泵，显著提高供水能力；当负荷降低时，则按逆顺序退出部分水泵，最终仅保留一台变频泵运行，实现按需供水与节能控制。

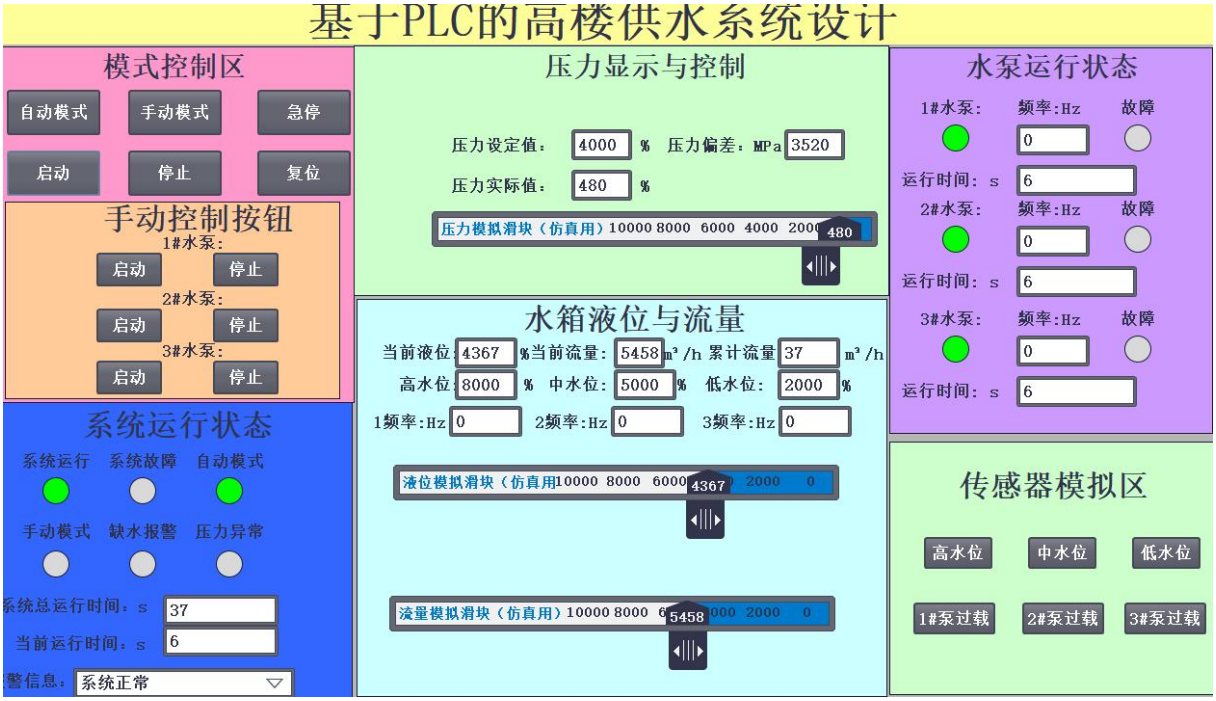


图 5-2 自动供水功能测试界面

5.2.2 手动控制功能测试

手动控制功能测试在手动模式下进行，主要验证各台水泵的独立启停控制是否有效以及各类保护逻辑是否仍然生效。测试过程中，通过触摸屏上的手动启停按钮依次启动和停止 1#、2#、3#泵，观察对应运行指示灯、故障指示灯和变频器频率显示的变化。试验结果表明，手动模式下各水泵的启停互不干扰，仍能受到缺水、过载和变频器故障等保护逻辑的约束，符合系统安全运行的要求。

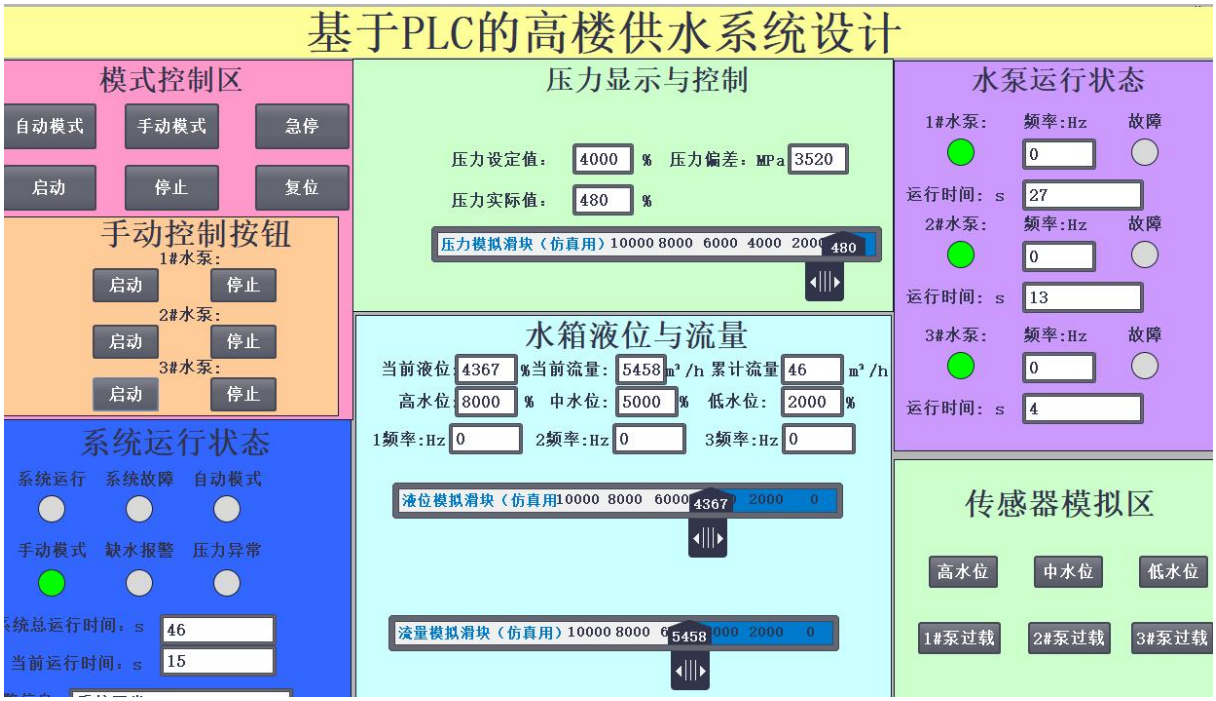


图 5-3 手动控制功能测试界面

5.2.3 缺水与水位保护功能测试

通过模拟低位水池液位下降的过程，验证缺水预警和缺水故障保护功能。当液位信号低于低水位点并持续一定时间时，系统在触摸屏上发出缺水预警提示；当液位进一步下降至极低水位并持续超过设定延时时间时，系统停止相关水泵运行，置位缺水故障标志，并点亮缺水报警指示灯和蜂鸣器。液位恢复后，在执行复位操作前系统不允许再次启动，防止因液位传感器抖动造成误动。

对高位水箱水位保护进行类似测试，通过模拟高水位和超高水位信号，检查系统能否及时停止上水或限制部分水泵运行，确保水箱不会溢流。

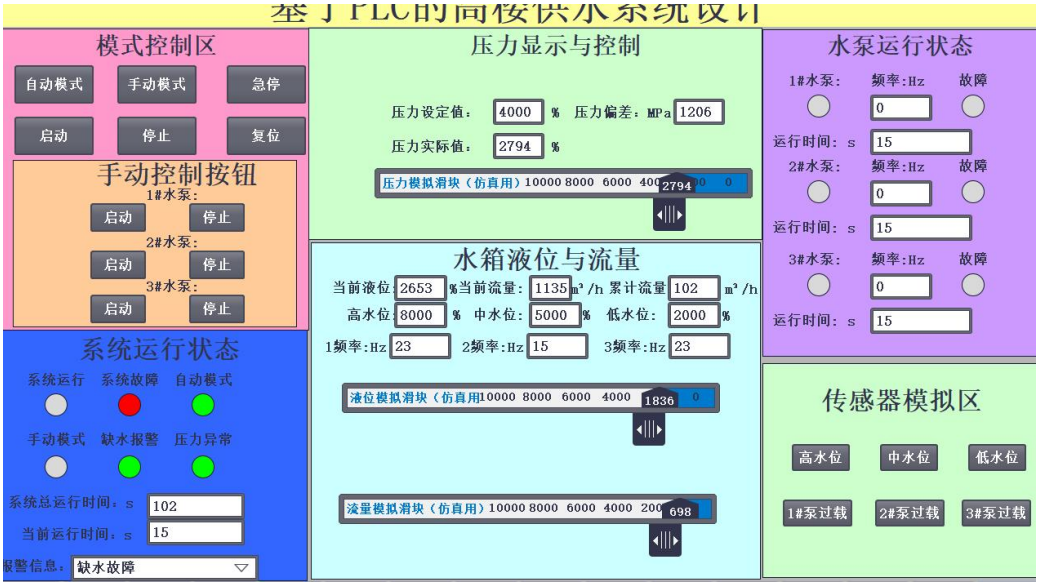


图 5-4 缺水与水位保护功能测试界面

5.2.4 压力异常与过载保护功能测试

压力异常保护测试中，通过人为设置压力设定值与实际压力之间的较大偏差，并在仿真中保持一定时间，观察系统是否按预期触发压力异常故障，停止相关水泵运行并发出报警。过载保护测试则通过模拟变频器内部过载报警或热继电器动作信号，检查 PLC 是否立即切断对应水泵运行请求并记录故障代码。试验结果表明，压力异常与过载保护逻辑能够在设定时间内快速响应，配合声光报警和故障代码显示，为故障排查提供了清晰依据。

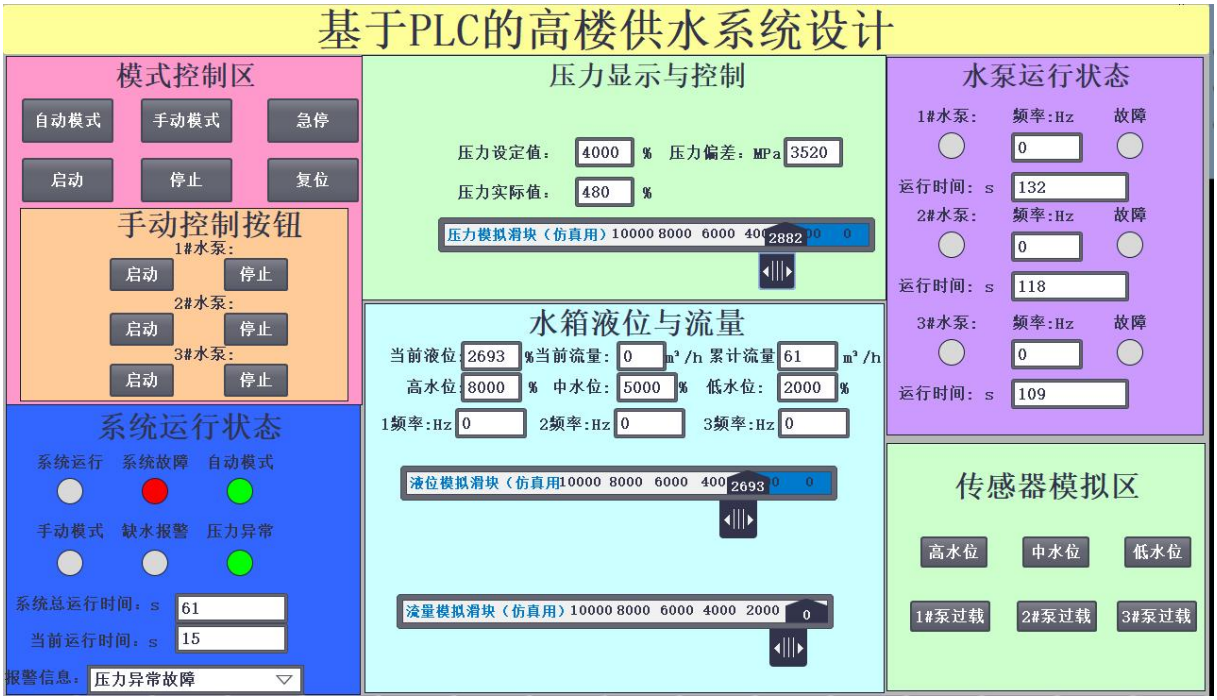


图 5-5 压力异常与过载保护功能测试界面

5.2.5 故障报警与复位功能测试

在完成上述各类故障工况模拟后，对故障报警与复位功能进行综合测试。测试发现，当系统出现任一故障时，故障指示灯闪烁，蜂鸣器启动，触摸屏状态区显示相应故障代码和中文故障描述；在处置完故障后，按下复位按钮，故障指示灯熄灭，故障代码恢复为 000，系统恢复到可启动状态。整个报警与复位过程符合设计预期，操作简便、提示清晰。

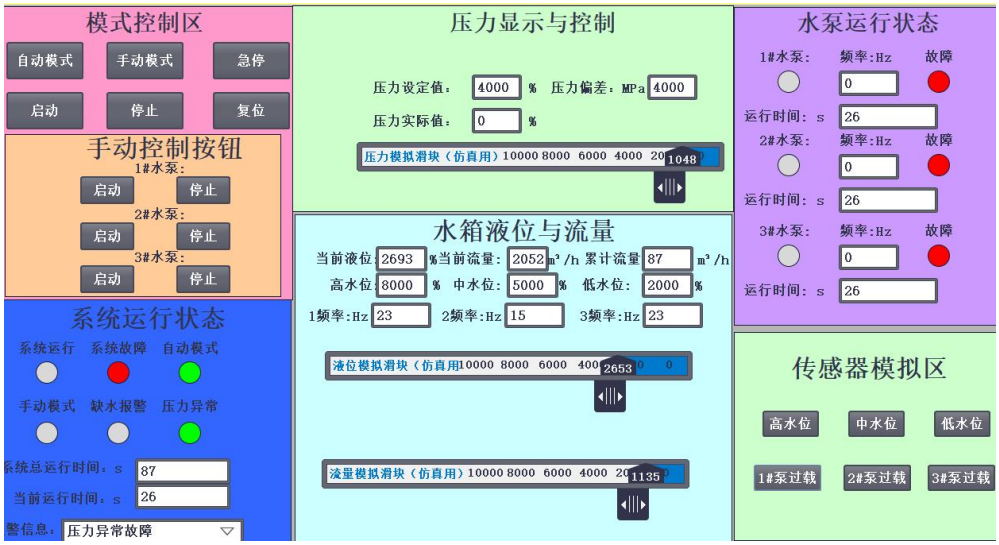


图 5-6 故障报警与复位功能测试界面

5.3 系统性能测试

系统性能测试从响应速度、稳定性和可靠性三个方面对高楼供水系统的控制性能进行量化评估。响应速度方面，分别测量从按下启动按钮到出口压力达到设定值一定比例的时间，以及在负荷突变时压力恢复至设定范围内所需的时间；测试结果显示，系统响应时间在数秒到十余秒之间，能够满足生活供水对舒适度的要求。

稳定性方面，通过在仿真环境和实训装置上分别进行长时间运行测试，在典型负荷条件下连续运行数小时，记录压力波动范围、泵频繁启停次数和故障误动作次数等指标。结果表明，压力波动被控制在设定值上下较小范围内，未出现频繁启停和误报警现象。可靠性方面，统计整个测试期间 PLC、变频器和传感器的故障次数，系统未出现通信中断、程序跑飞或无故停机等严重问题，说明控制系统具有较高的可靠性。

主要性能测试结果可按表 5 进行汇总。

表 5 系统性能测试结果汇总表

序号	测试项目	测试条件	指标要求	测试结果
1	启动响应时间	按下启动按钮→出口压力进入稳定区	≤15s	约 10s，满足要求
2	压力恢复时间	模拟用水负荷突变	≤10s	约 6s，满足要求
3	连续运行可靠性	自动模式连续运行 8h	无死机、无程序错误	0 次故障，运行稳定
4	频繁启停可靠性	启动/停止循环 50 次	无状态混乱、可正常复位	0 次异常，启停正常
5	压力波动范围	典型负荷下稳定运行	压力波动≤±0.05MPa	波动约±0.03MPa，达标

5.4 测试结果分析

综合仿真与现场调试结果可以看出，基于 PLC 的高楼供水系统在自动模式下能够实现对出口压力的恒定控制，并根据用水负荷的变化自动调整水泵运行台数和转速，既保证了供水压力的稳定，又兼顾了节能需求。多泵投切策略设计合理，在不同工况下都能实现平滑投切，避免了大电流冲击和水锤效应；缺水和水位保护功能有效，能够在异常工况下及时停机并报警，保护设备安全。

故障诊断与报警程序结构清晰，故障代码与文字说明一一对应，为运维人员快速定位问题提供了便利；运行时间与流量统计功能则为后续的能耗分析和维护计划制定提供了数据依据。总体来看，测试结果验证了系统方案的正确性和可行性，为在实际高层建筑中的推广应用提供了良好基础。

5.5 本章小结

本章围绕系统的仿真与调试工作，介绍了仿真环境和测试平台的搭建过程，进行了自动供水、手动控制、缺水与水位保护、压力异常与过载保护、故障报警与复位以及性能指标等方面的测试，并对测试结果进行了综合分析。结果表明，本设计的基于 PLC 的高楼供水系统运行稳定、控制可靠、保护完善，能够满足高层建筑生活供水的实际需求。

结论

本次毕业设计以高层建筑二次供水工程为背景，完成了一套基于 PLC 的高楼供水自动控制系统的设计与实现工作。围绕恒压供水、多泵顺序启停、水位保护与故障报警等关键技术问题，设计从需求分析、总体方案设计、硬件选型与电气设计、软件设计以及仿真与调试等方面进行了系统研究。通过对压力闭环控制、多泵投切控制方式和安全保护逻辑的综合运用，所设计的系统能够在不同用水工况下保持出口压力稳定，并实现水泵设备的节能运行和寿命均衡。

在硬件方面，本设计选用了西门子 S7-1200PLC 作为控制核心，配合压力变送器、液位传感器、流量传感器、三台离心泵及对应变频器以及必要的低压电器和人机界面设备，构建了功能较为完善的高楼供水控制系统；在软件方面，基于 TIA Portal 平台采用梯形图语言实现了系统初始化、启停控制、模式切换、压力 PID 调节、多泵投切、水位保护、故障诊断与报警、运行时间统计和人机交互等功能。仿真与现场调试结果表明，系统逻辑清晰、运行稳定、报警准确，基本达到了预期的设计目标。

需要指出的是，本设计仍有进一步完善的空间。例如，在压力控制方面主要采用经典 PID 控制，对复杂工况下的自适应参数调整研究不够深入；在数据管理方面仅实现了基本的运行时间和累计流量统计，尚未开发完整的历史数据记录与趋势分析功能；系统目前主要面向单建筑的本地控制，尚未与上位机或云平台进行数据互联。后续可以在现有基础上引入更为先进的控制方法和通信技术，实现对高楼供水系统的智能优化调度和远程运维管理。

参考文献

[1] 张铠绎, 于晶京. 基于 PLC 的变频恒压供水系统设计[J]. 电动工具, 2025, (06): 36-39+44.
[2] 赵杰, 徐沛卿. 二次供水设备故障维修及改进[J]. 设备管理与维修, 2025, (21): 82-85.
[3] 康家林. 基于 PLC 控制的变频恒压供水系统设计与研究[J]. 长沙航空职业技术学院学报, 2025, 25(03): 24-29.
[4] 蒋炳南. 基于 PLC 的无负压恒压供水系统设计[J]. 工业控制计算机, 2025, 38(09): 158-159+161.
[5] 刘凯, 赵刚, 任一健. 一种再造烟叶线供水设备监控系统设计[J]. 中国科技信息, 2025, (18): 116-118.
[6] 胥越阳, 周浩, 张清综. 基于西门子 PLC 的恒压供水系统的设计与实现[J]. 中国设备工程, 2025, (17): 150-152.
[7] 杜明兵. 基于 PLC 的变频调速恒压供水系统研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2025, (11): 34-36.
[8] 范子荣. 基于 PLC 的变频恒压供水系统设计[J]. 工业控制计算机, 2025, 38(05): 132-133+104.
[9] 何荧. 基于 PLC 和伺服驱动的水泵机组联动控制系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2025, 44(05): 69-74.
[10] 凌云杰. 基于 PLC 技术的自来水厂变频供水自动控制研究[J]. 国外电子测量技术, 2025, 44(03): 75-79.
[11] 张伟, 赵迪, 王志辉, 等. 基于 PLC 的工厂冷却水恒压供水系统设计[J]. 机电工程技术, 2024, 53(12): 313-317.
[12] 孙伟博, 赵微雪. 基于 PLC 的水厂供水控制系统设计[J]. 科技与创新, 2024, (23): 99-101.
[13] Cong L, Xu Z, Xuhui G, et al. Design of Pipeline Flowmeter Calibration System Based on PLC Control[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2022, 2181(1).
[14] Yu H. Automatic Testing Design for Thermal Performance of Domestic Solar Water Heating Systems Based on PLC[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 791(1).

谢辞

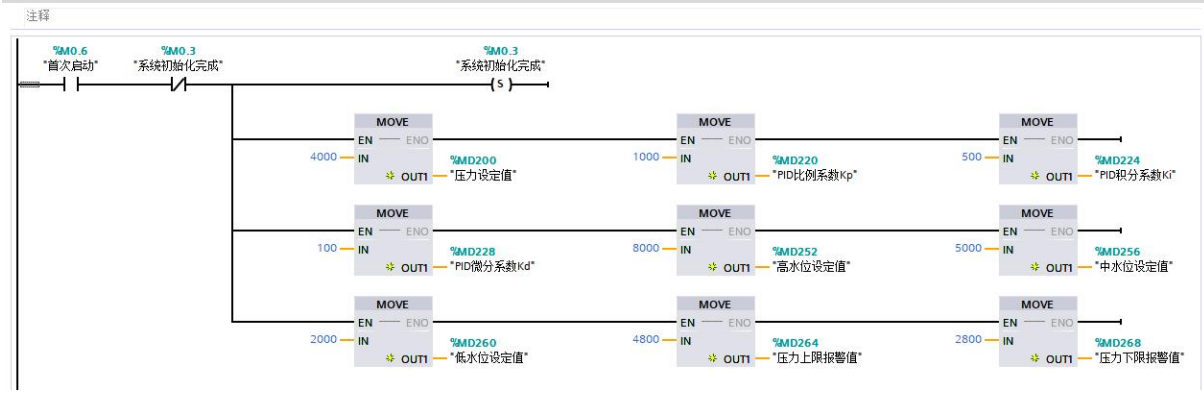
时光荏苒，大学本科学习生活即将画上句号。本科阶段的四年时光中，我不仅系统学习了专业知识，也在老师和同学们的帮助下不断成长。本次毕业设计和论文的顺利完成，凝聚了许多老师与同学的心血与支持，在此谨致以诚挚的感谢。

首先，衷心感谢指导老师在毕业设计选题、方案论证、硬件搭建、程序设计以及论文撰写等各个环节中给予的耐心指导和细致帮助。老师严谨治学的态度、扎实深厚的专业知识和认真负责的工作作风，使我在整个设计过程中受益匪浅，也让我更加坚定了今后在工程实践中不断探索和进步的信心。

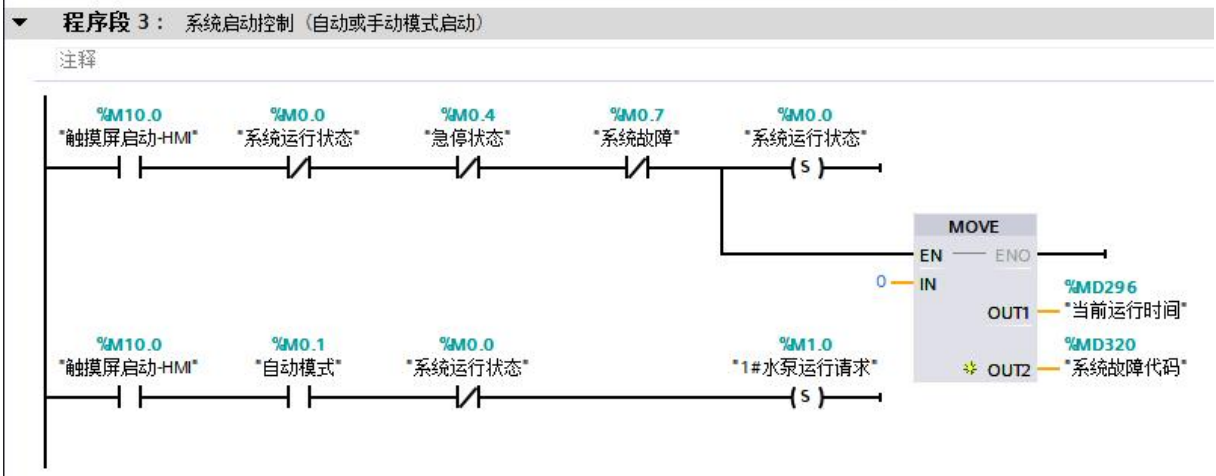
其次，感谢学院和学校为我们提供良好的学习环境和实验条件，使我有机会接触到先进的 PLC 控制技术和相关实验平台；感谢各位任课老师在课堂上倾囊相授，使我打下较为坚实的理论基础，这些知识在本次毕业设计中得到了充分应用和巩固。

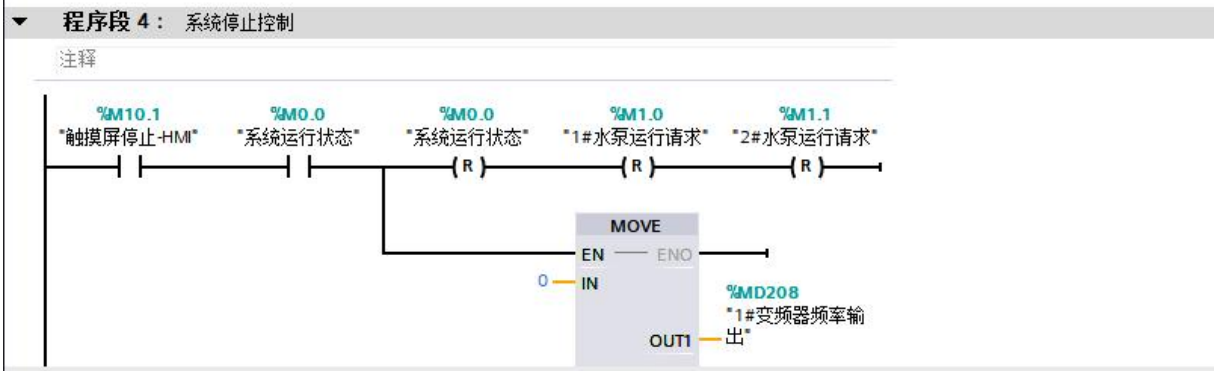
最后，感谢家人一直以来的理解和支持，是他们无私的关爱和鼓励，为我安心完成学业提供了坚强后盾。由于本人水平和时间所限，论文中难免存在不足之处，敬请各位老师批评指正。

附录

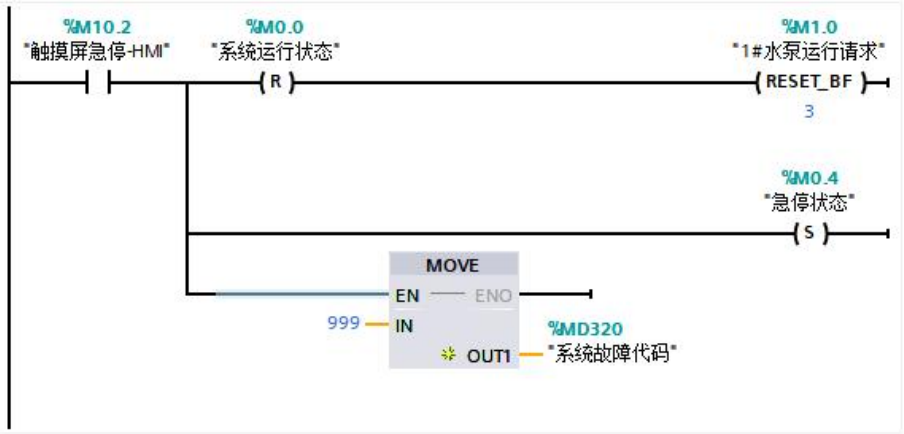

注释
%M0.6
"首次启动"
%M0.3
"系统初始化完成"
%M0.3
"系统初始化完成"
MOVE
EN
ENO
4000
IN
OUT1
%MD200
"压力设定值"
1000
%MD220
"PID比例系数Kp"
500
%MD224
"PID积分系数Ki"
100
%MD228
"PID微分系数Kd"
8000
%MD252
"高水位设定值"
5000
%MD256
"中水位设定值"
2000
%MD260
"低水位设定值"
4800
%MD264
"压力上限报警值"
2800
%MD268
"压力下限报警值"


%M0.3
"系统初始化完成"
%M0.6
"首次启动"
S


程序段 3： 系统启动控制（自动或手动模式启动）
注释
%M10.0
"触摸屏启动-HMI"
%M0.0
"系统运行状态"
%M0.4
"急停状态"
%M0.7
"系统故障"
%M0.0
"系统运行状态"
S
MOVE
EN
ENO
0
IN
%MD296
"当前运行时间"
OUT1
%MD320
"系统故障代码"
OUT2
%M10.0
"触摸屏启动-HMI"
%M0.1
"自动模式"
%M0.0
"系统运行状态"
%M1.0
"1#水泵运行请求"

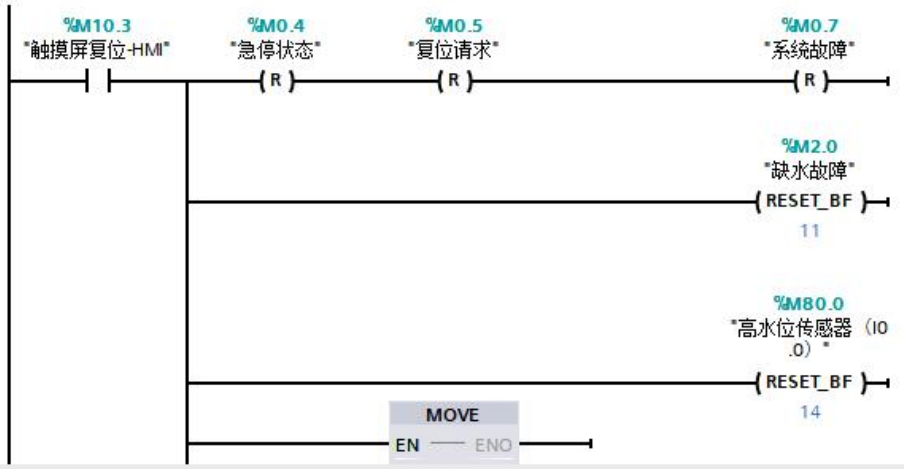

程序段 4： 系统停止控制
注释
%M10.1
"触摸屏停止-HMI"
%M0.0
"系统运行状态"
%M0.0
"系统运行状态"
%M1.0
"1#水泵运行请求"
%M1.1
"2#水泵运行请求"
R
MOVE
EN
ENO
0
IN
%MD208
"1#变频器频率输出"
OUT1

注释

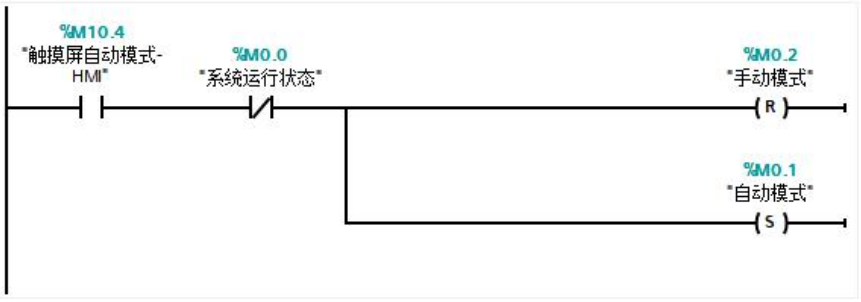


程序段 6： 复位控制

注释

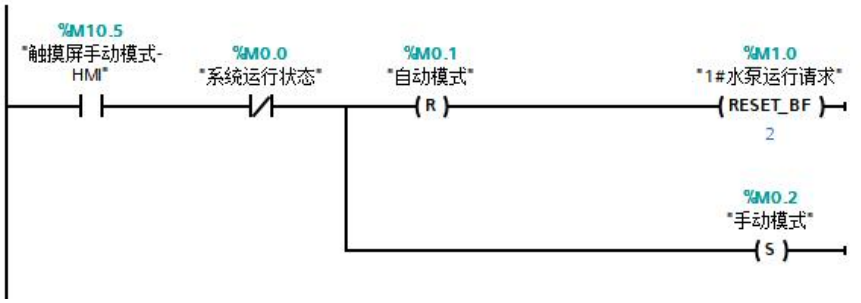


注释



程序段 8： 手动模式选择（互锁逻辑：先复位自动模式，再置位手动模式）

注释





程序段 10： 液位传感器信号处理（触摸屏滑块MW364 → MD248当前液位）

注释



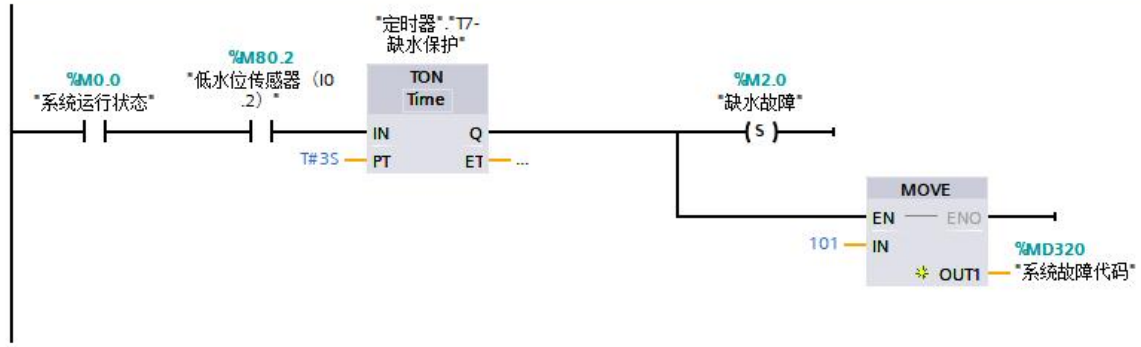
程序段 11： 流量传感器信号处理（触摸屏滑块MW368 → MD240当前流量）

注释



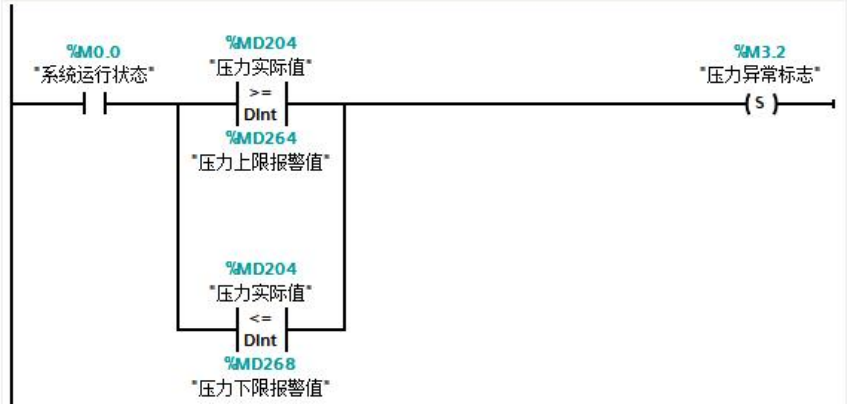
程序段 12： 缺水故障检测（液位低于低水位且持续3秒）

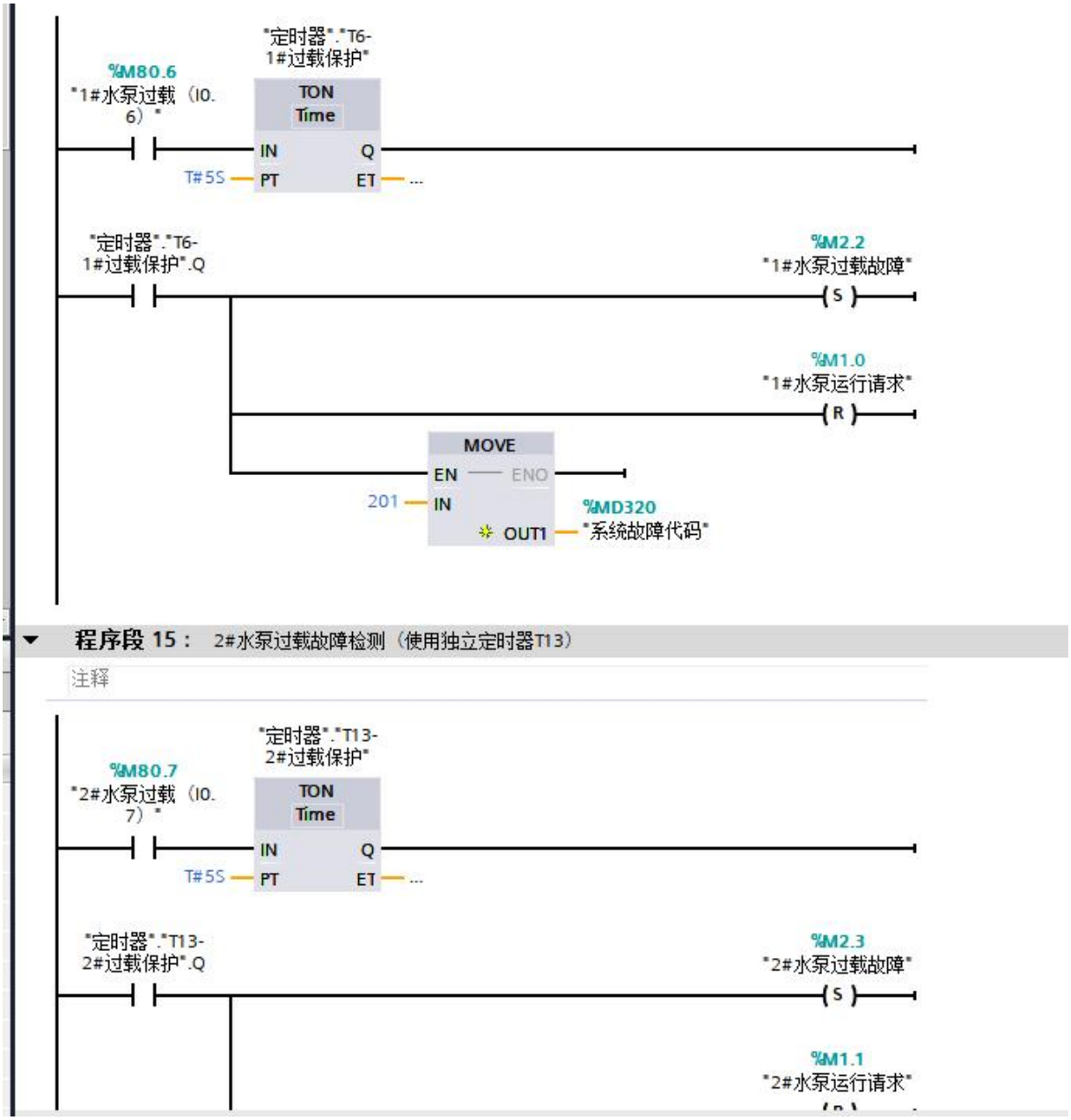
注释

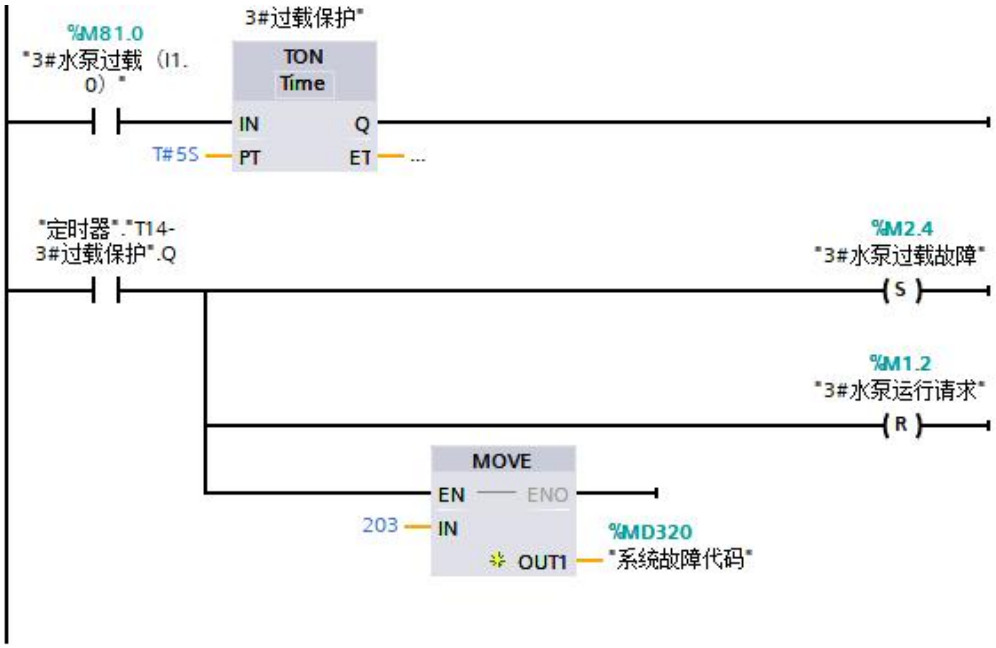


程序段 13： 压力异常检测（压力超出上下限且持续5秒，使用OR逻辑）

注释

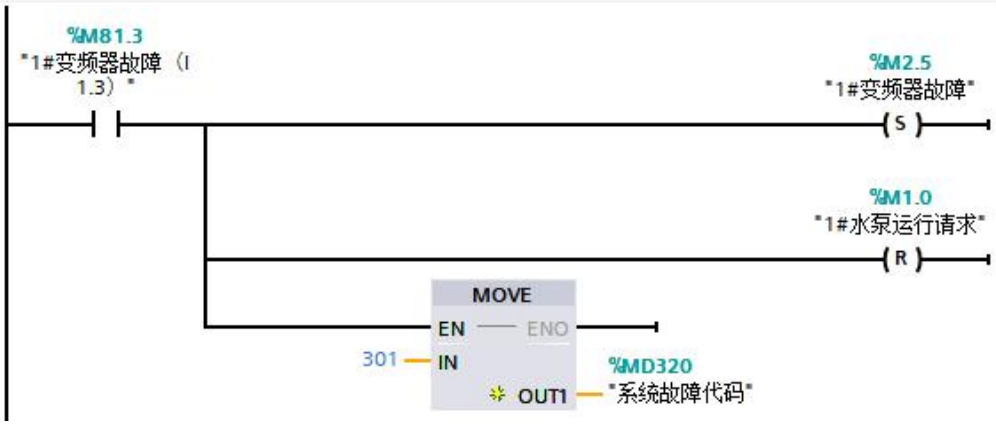



"定时器"."T6-1#过载保护"
%M80.6
"1#水泵过载（I0.6）"
TON
Time
IN
Q
T#5S
PT
ET
...
"定时器"."T6-1#过载保护".Q
%M2.2
"1#水泵过载故障"
S
%M1.0
"1#水泵运行请求"
R
MOVE
EN
ENO
201
IN
%MD320
OUT1
"系统故障代码"
程序段 15： 2#水泵过载故障检测（使用独立定时器T13）
注释
"定时器"."T13-2#过载保护"
%M80.7
"2#水泵过载（I0.7）"
TON
Time
IN
Q
T#5S
PT
ET
...
"定时器"."T13-2#过载保护".Q
%M2.3
"2#水泵过载故障"
S
%M1.1
"2#水泵运行请求"

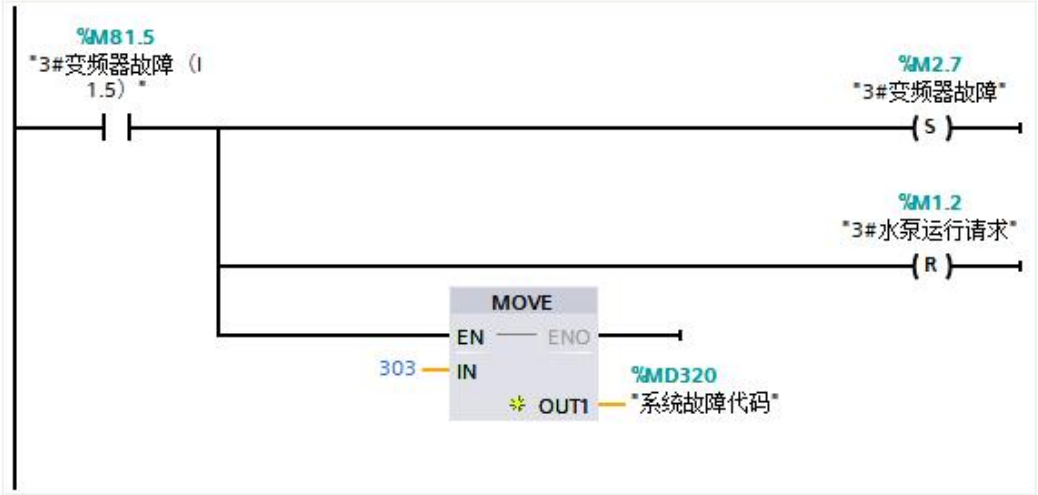


程序段 17： 1#变频器故障检测

注释

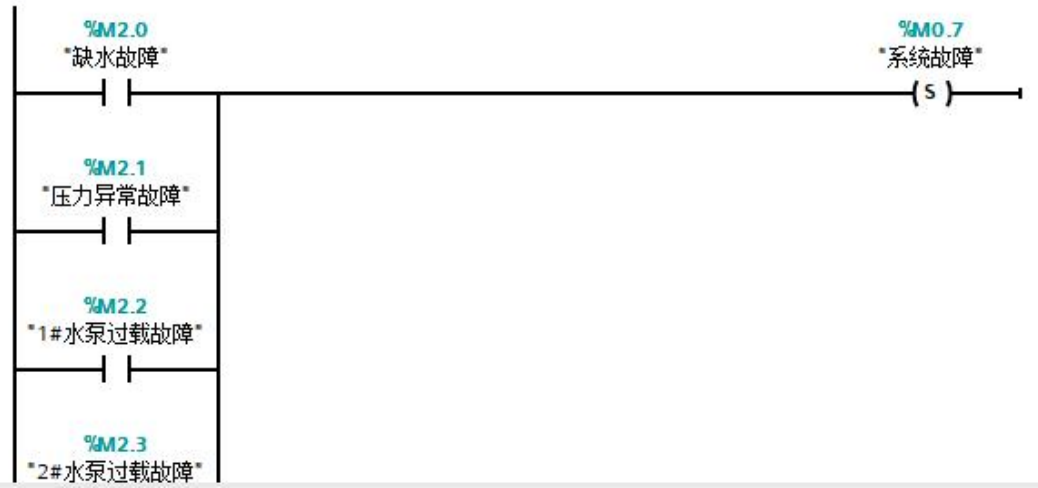


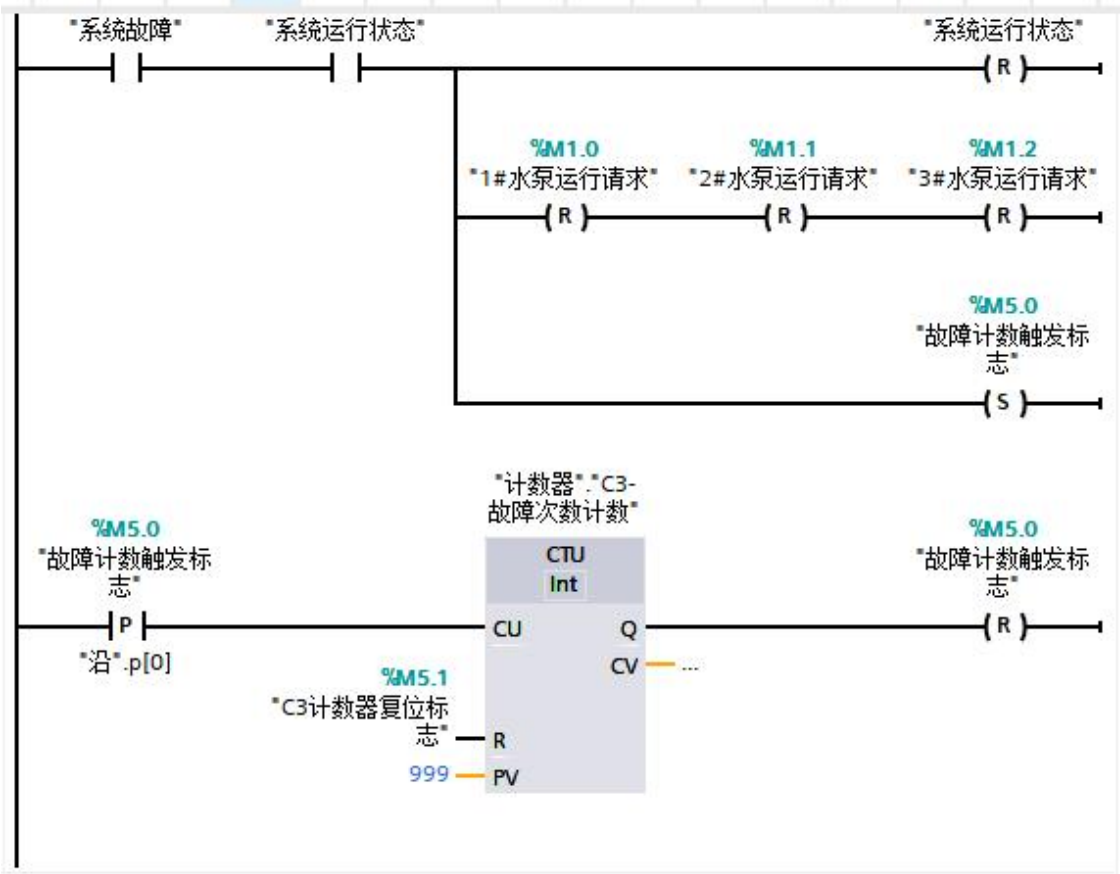
注释



程序段 20： 系统总故障标志（任一故障发生时置位）

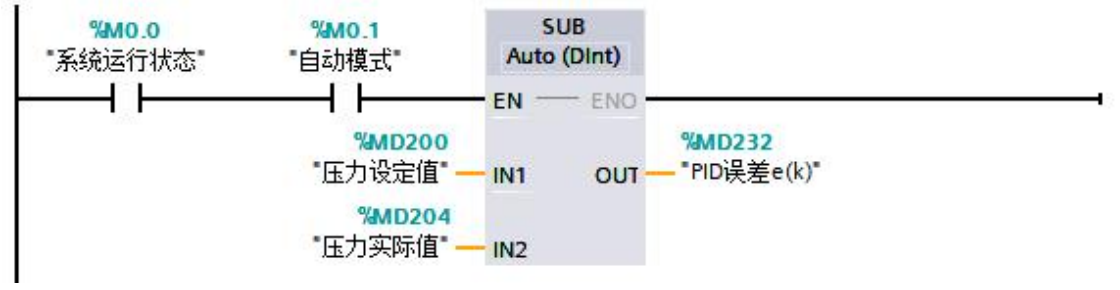
注释

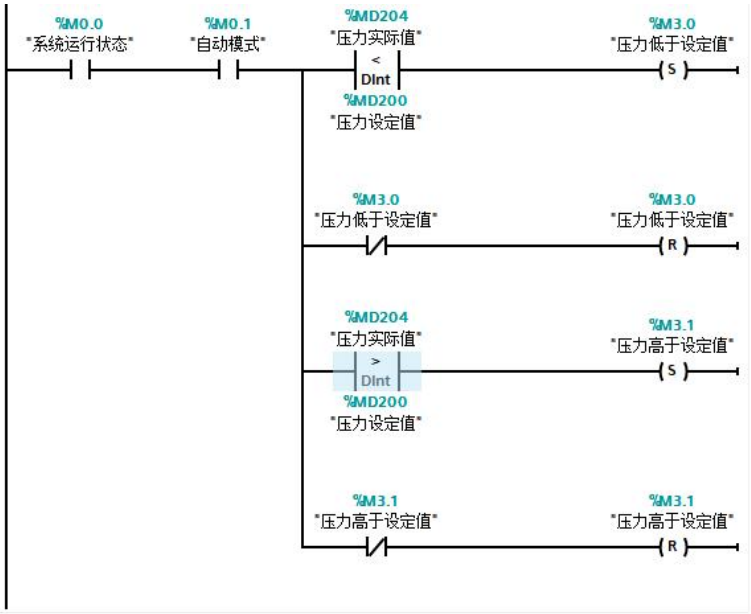




程序段 22： 压力偏差计算（e = P设定 - P实际）

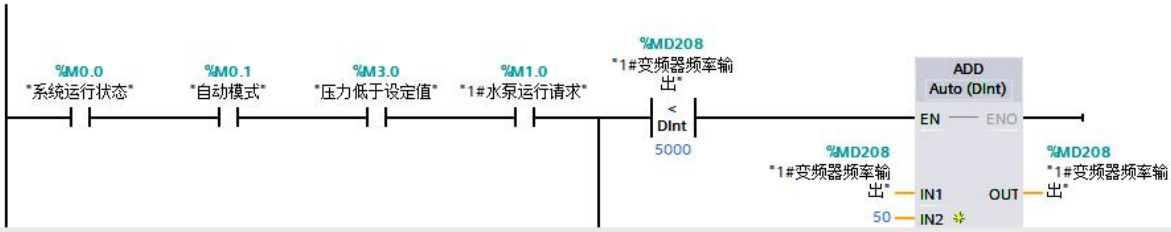
注释

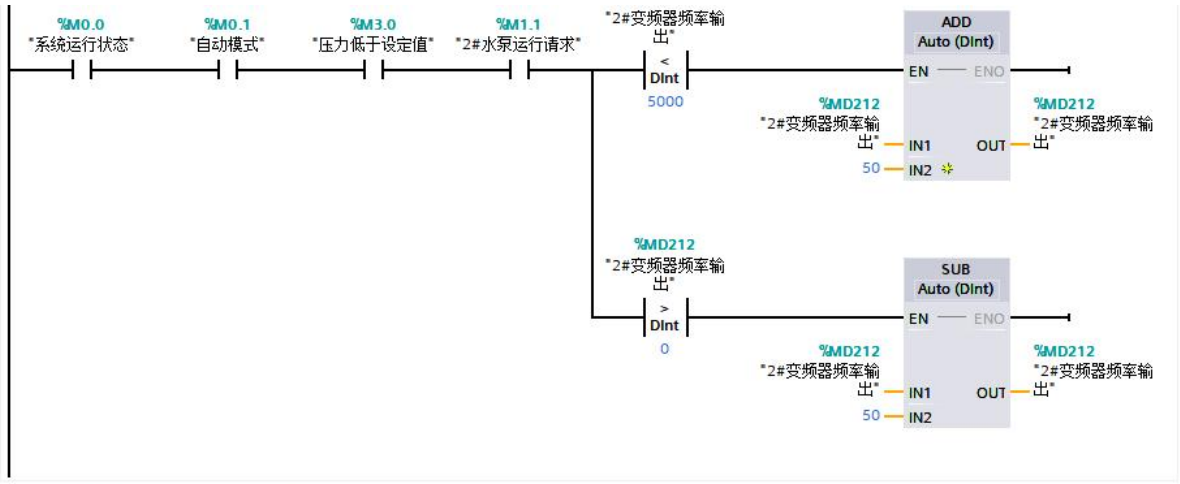




程序段 24： PID控制-简化版（压力低时增加频率，压力高时减少频率）

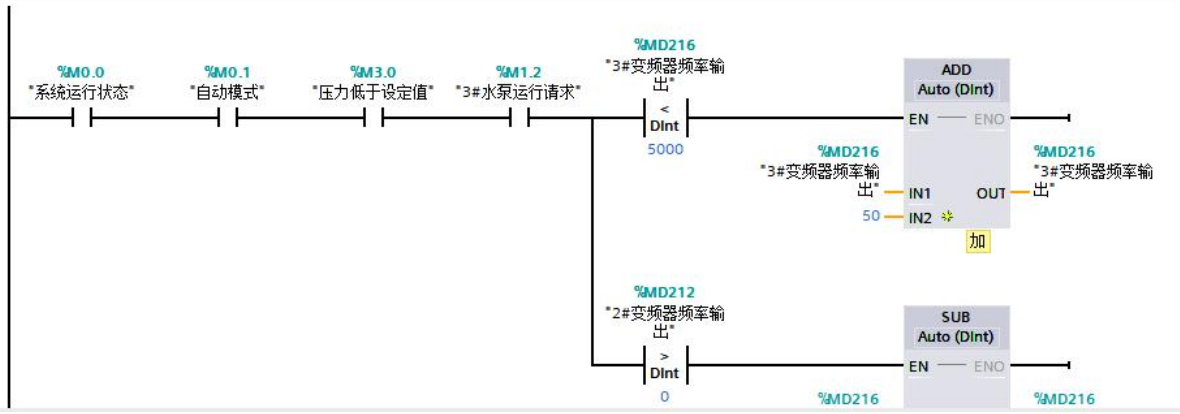
注释



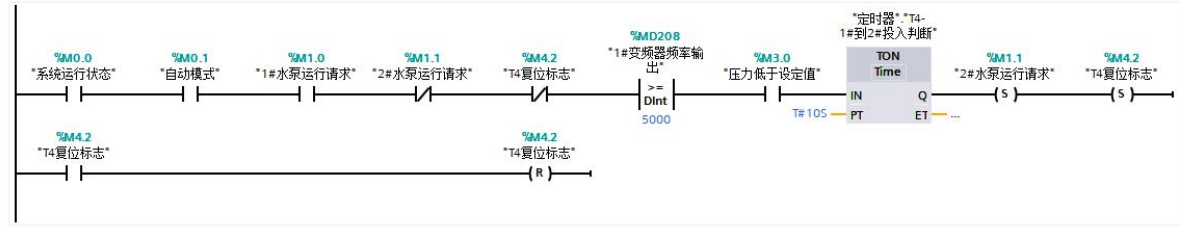


程序段 26： 3#水泵PID频率调节（同1#水泵逻辑）

注释

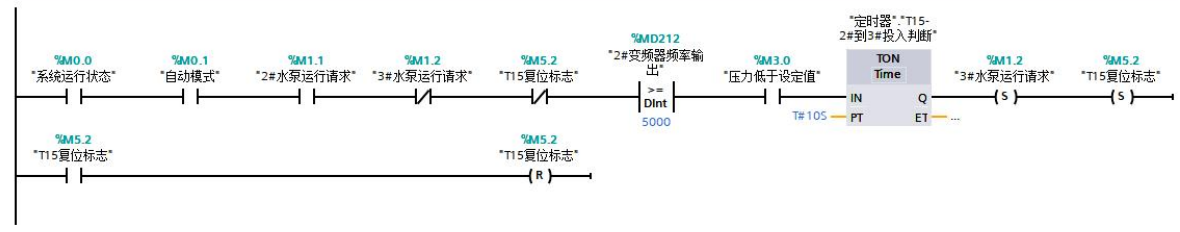


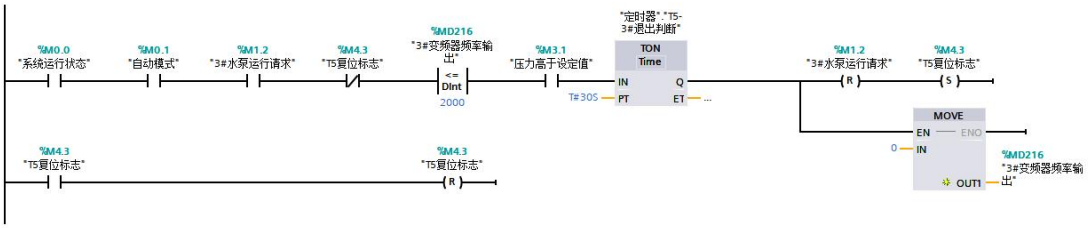
注释



程序段 28： 投入3#水泵判断（2#泵频率达50Hz且压力仍低，延时10秒后投入3#泵，使用独立定时器T15）

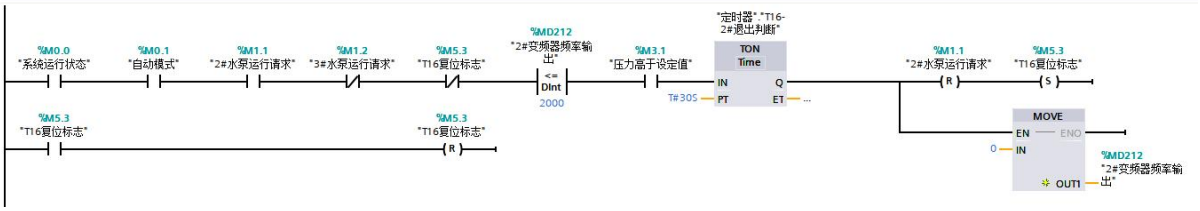
注释





程序段 30： 退出2#水泵判断（2#泵频率降至20Hz以下且压力高，延时30秒后退出2#泵，使用独立定时器T16）

注释

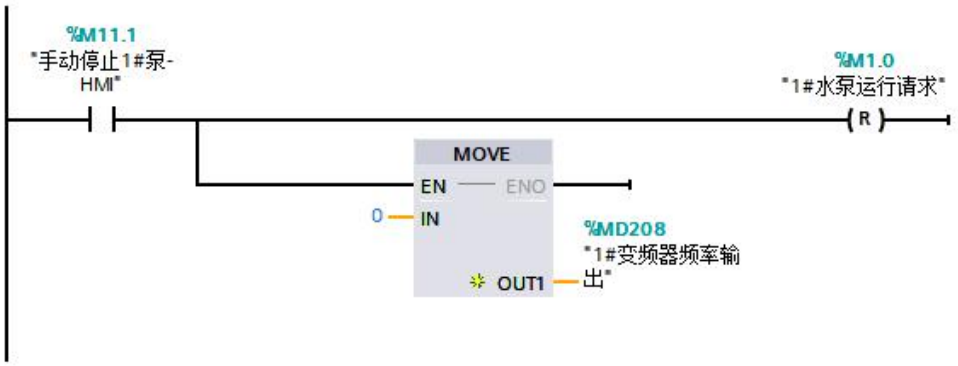


注释



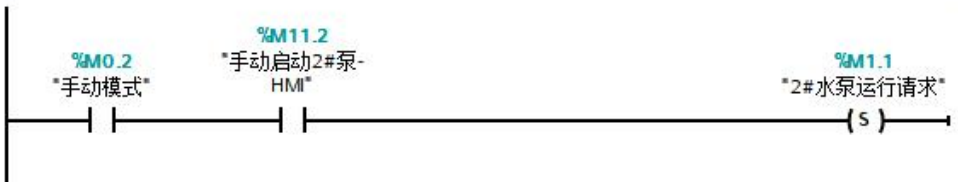
程序段 32： 手动停止1#水泵

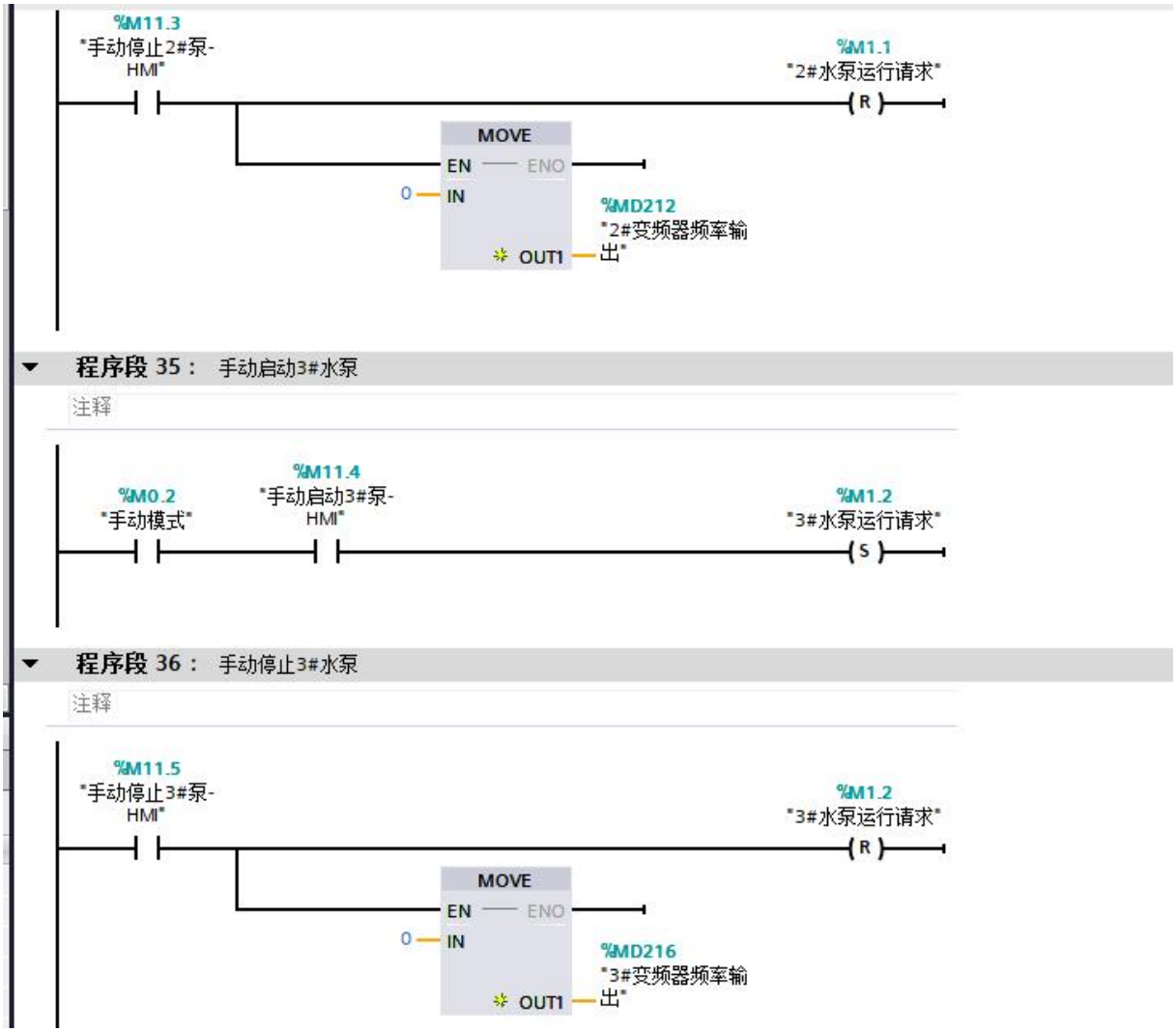
注释

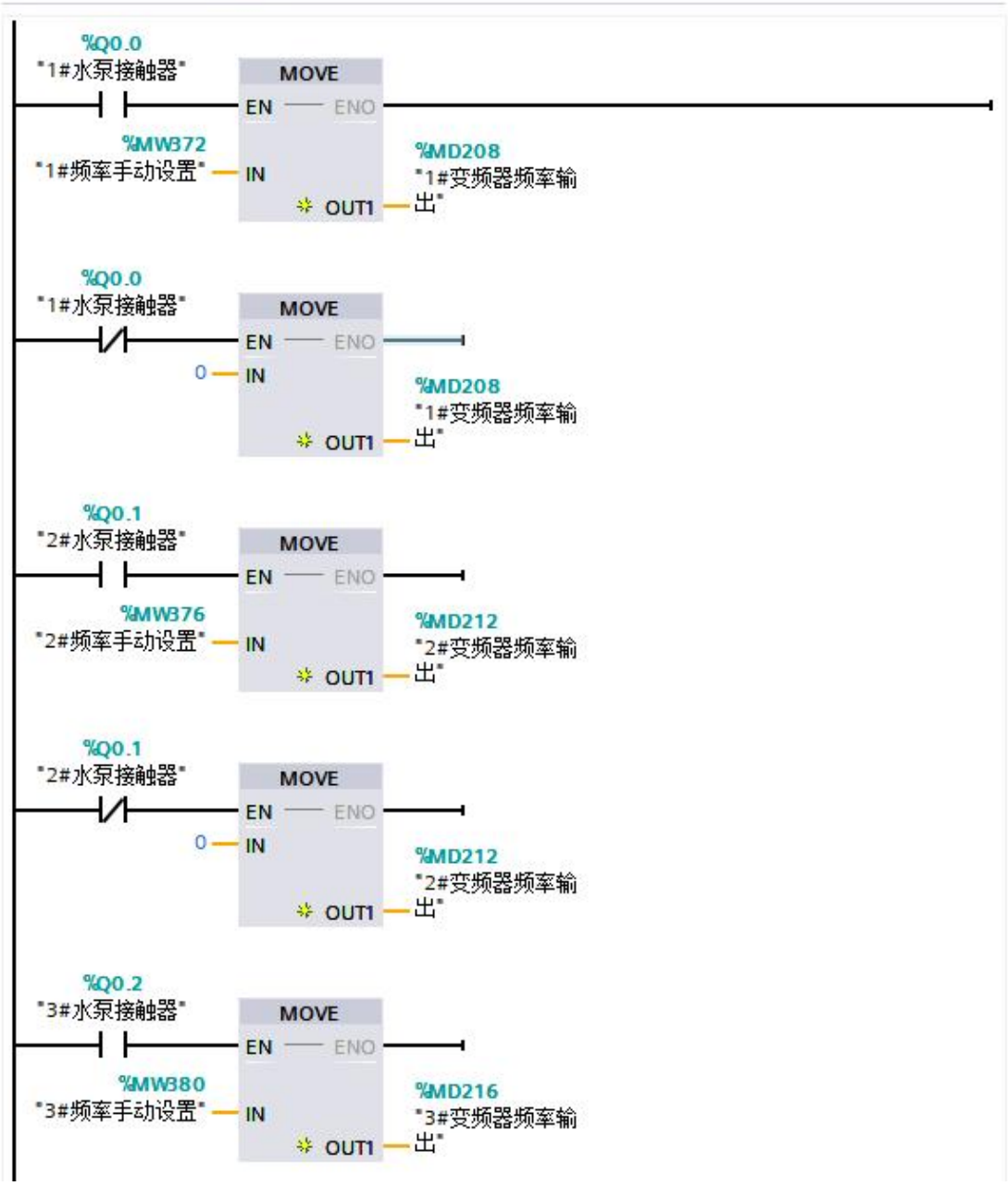


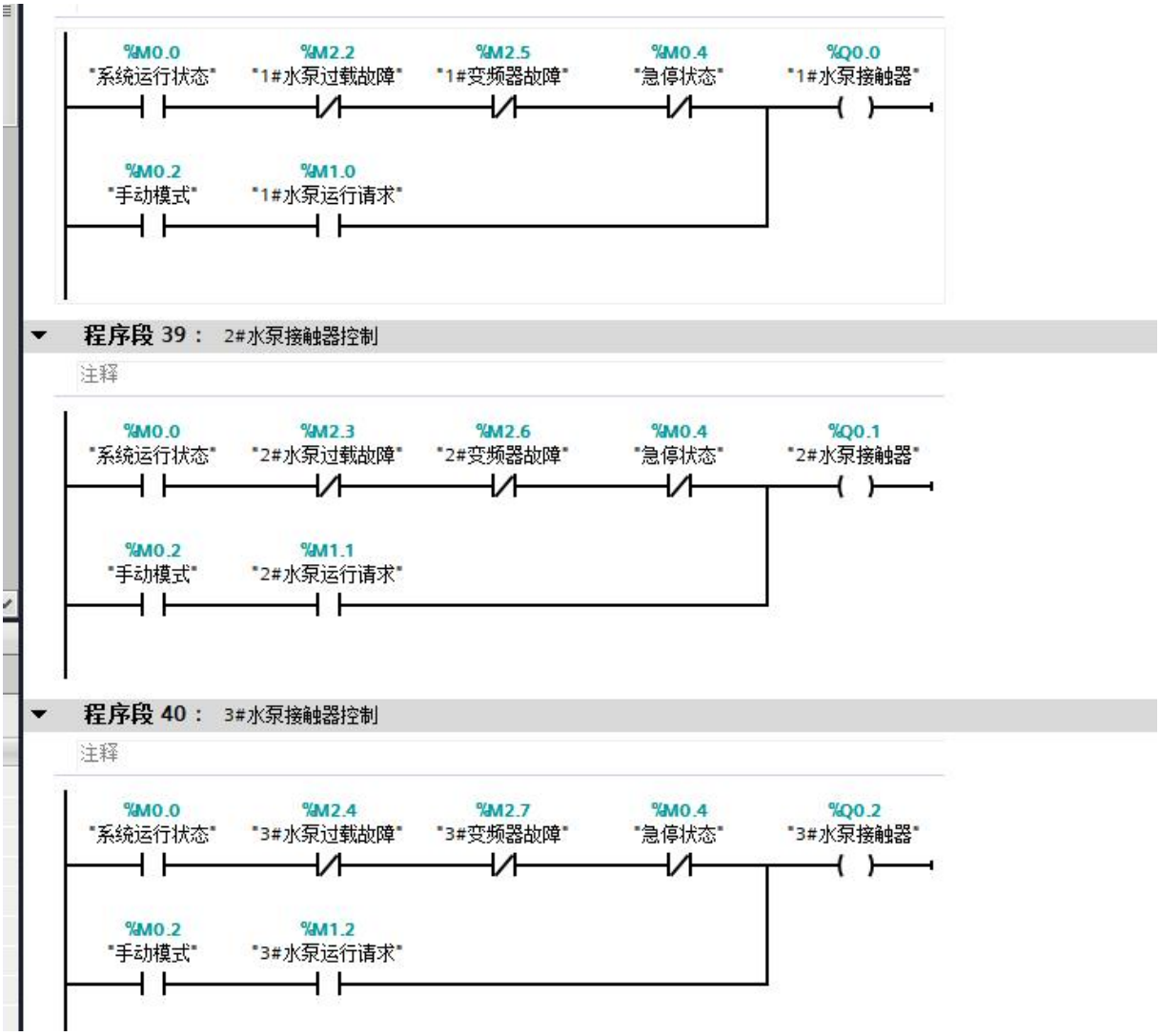
程序段 33： 手动启动2#水泵

注释



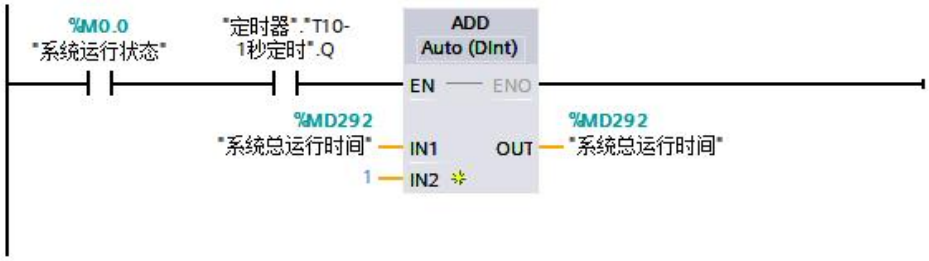

%M11.3
"手动停止2#泵-HMI"
%M1.1
"2#水泵运行请求"
R
MOVE
EN
ENO
0
IN
%MD212
"2#变频器频率输出"
OUT1
程序段 35： 手动启动3#水泵
注释
%M0.2
"手动模式"
%M11.4
"手动启动3#泵-HMI"
%M1.2
"3#水泵运行请求"
S
程序段 36： 手动停止3#水泵
注释
%M11.5
"手动停止3#泵-HMI"
%M1.2
"3#水泵运行请求"
R
MOVE
EN
ENO
0
IN
%MD216
"3#变频器频率输出"
OUT1


%Q0.0
"1#水泵接触器"
MOVE
EN
ENO
%MW372
"1#频率手动设置"
IN
%MD208
"1#变频器频率输出"
OUT1
%Q0.0
"1#水泵接触器"
MOVE
EN
ENO
0
IN
%MD208
"1#变频器频率输出"
OUT1
%Q0.1
"2#水泵接触器"
MOVE
EN
ENO
%MW376
"2#频率手动设置"
IN
%MD212
"2#变频器频率输出"
OUT1
%Q0.1
"2#水泵接触器"
MOVE
EN
ENO
0
IN
%MD212
"2#变频器频率输出"
OUT1
%Q0.2
"3#水泵接触器"
MOVE
EN
ENO
%MW380
"3#频率手动设置"
IN
%MD216
"3#变频器频率输出"
OUT1


%M0.0
"系统运行状态"
%M2.2
"1#水泵过载故障"
%M2.5
"1#变频器故障"
%M0.4
"急停状态"
%Q0.0
"1#水泵接触器"
%M0.2
"手动模式"
%M1.0
"1#水泵运行请求"
程序段 39： 2#水泵接触器控制
注释
%M0.0
"系统运行状态"
%M2.3
"2#水泵过载故障"
%M2.6
"2#变频器故障"
%M0.4
"急停状态"
%Q0.1
"2#水泵接触器"
%M0.2
"手动模式"
%M1.1
"2#水泵运行请求"
程序段 40： 3#水泵接触器控制
注释
%M0.0
"系统运行状态"
%M2.4
"3#水泵过载故障"
%M2.7
"3#变频器故障"
%M0.4
"急停状态"
%Q0.2
"3#水泵接触器"
%M0.2
"手动模式"
%M1.2
"3#水泵运行请求"

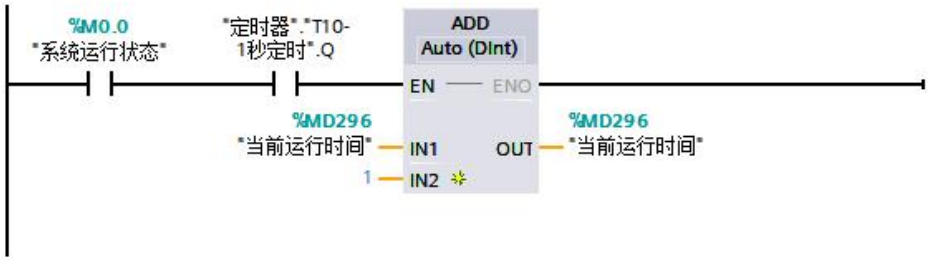
程序段 55： 系统总运行时间累计

注释



程序段 56： 当前运行时间累计

注释



程序段 57： 累计流量计算（流量×时间）

注释

