

# 基于 PLC+HMI 的多路阀门联动控制系统设计与应用

张达

温州罗拜自动化有限公司 浙江温州 325000

**【摘要】**多路阀门联动控制是石油化工等工业领域流程管控核心，其控制精度等决定生产效率与工艺安全性。基于 PLC+HMI 的控制方案因逻辑控制强、人机交互便捷等优势，成主流技术路径。本文基于机电控制等技术，以理论分析与逻辑推演为核心，设计基于 PLC+HMI 的多路阀门联动控制系统，剖析架构与原理，研究关键技术，明确软硬件协同机制，结合案例验证效能。研究表明，该系统可实现精准控制、状态监测与故障预警，提升控制精度与操作便捷性，降低成本，增强稳定性与可靠性。本文研究为该系统工程设计与升级提供理论支撑，也为同类系统开发提供新思路。

**【关键词】**PLC；HMI；多路阀门；联动控制；系统设计；工业自动化

Design and Application of Multi-Valve Interlocked Control System Based on PLC+HMI

Zhang Da

Wenzhou Luobai Automation Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang 325000

**【Abstract】** Multi-valve interlocked control serves as the core process management solution in petrochemical and industrial sectors, where control precision directly impacts production efficiency and process safety. The PLC+HMI-based control scheme has become the mainstream technical approach due to its robust logic control capabilities and user-friendly human-machine interaction. Leveraging electromechanical control technologies, this study focuses on theoretical analysis and logical reasoning to develop a PLC+HMI-based multi-valve interlocked control system. We systematically examine system architecture, operational principles, key technical implementations, and software-hardware coordination mechanisms, with performance validation through case studies. Research findings demonstrate that the system achieves precise control, real-time condition monitoring, and fault prediction capabilities while enhancing operational efficiency, reducing costs, and improving system stability and reliability. This study provides theoretical foundations for system engineering design and upgrades, while offering innovative insights for similar system development projects.

**【Key words】** PLC；HMI；multi-valve；interlock control；system design；industrial automation

## 一、引言

工业生产中，阀门是介质输送、压力调节和流量控制的核心，其运行和联动影响生产工艺的连续性、稳定性与安全性。复杂工况下，多路阀门协同工作对联动控制要求严苛。传统多路阀门控制采用继电器-接触器模式，存在控制逻辑固定、扩展性差等缺陷，难以满足现代化需求。

随着工业自动化发展，PLC 抗干扰强、编程灵活，HMI 可实现参数可视化设置等，二者协同能弥补传统控制不足，实现多路阀门联动控制的精准化、智能化与可视化。目前基于 PLC+HMI 的阀门控制系统已初步应用，但关键技术有待完善。

现有研究多聚焦单一阀门或简单多路联动，缺乏对复杂场景下多阀门协同的系统考量，未深入剖析核心问题，导致部分系统应用中出现响应延迟等问题。为此，本文结合工业自动化理论与实践需求，设计基于 PLC+HMI 的多路阀门联动控制系统，优化架构与策略，完善软硬件机制，验证系统性能，为复杂工况下多路阀门高效联动提供方案与支撑。

## 二、系统核心理论与技术基础

### 2.1 PLC 控制技术核心原理

PLC 即可编程逻辑控制器，是工业环境应用的数字运算操作电子系统，核心工作原理遵循“循环扫描”模式，经输入采样、程序执行、输出刷新三阶段循环运行，实现对被控对象的精准控制。输入采样阶段，PLC 采集现场设备状态信号存于输入映像寄存器，该阶段输入信号状态不变；程序执行阶段，PLC 按顺序执行控制程序，根据输入信号与预设逻辑计算控制结果存于输出映像寄存器；输出刷新阶段，PLC 将控制结果转换为实际信号驱动执行机构，完成控制循环。

PLC 控制功能依赖内部核心模块协同，包括中央处理单元、存储器、输入/输出接口模块、电源模块与通信模块。中央处理单元负责指令解读等；存储器分程序与数据存储单元；输入/输出接口模块实现信号交互；通信模块支持数据传输。PLC 可通过编程实现多路阀门联动控制功能，抗干扰能力强，适应恶劣工业环境。

## 2.2 HMI 人机交互技术特性

HMI 即人机界面,是连接操作人员与控制系统的核心媒介,功能是下发控制指令、可视化反馈设备状态与记录分析运行数据。与传统操作面板相比,HMI 界面定制化程度高、数据处理能力强、操作便捷直观,可设计专属交互界面,支持多种交互元素,简化复杂控制逻辑操作。

HMI 与 PLC 通过通信协议交互数据,常见协议有 Modbus 等,需根据系统规模与控制需求选择。HMI 工作流程分数据采集与指令下发:数据采集时,HMI 读取 PLC 数据并动态显示;指令下发时,操作人员输入指令,HMI 转换传输至 PLC 执行。此外,HMI 还有数据记录等辅助功能,可提升系统运维效率。

## 2.3 阀门联动控制核心理论

阀门联动控制目标是根据工业工艺需求,实现多路阀门有序协同工作,确保工艺环节符合预设要求。联动控制逻辑设计基于工艺流程图,明确阀门时序、联锁与优先级,常见模式有时序联动、条件联动与故障联动。时序联动按时间参数控制阀门依次动作,适用于连续生产;条件联动以工艺参数为触发条件,实现自适应调节;故障联动在故障时控制阀门动作,保障生产安全。

阀门联动控制精度与稳定性依赖控制算法与执行机构配合,可采用 PID 调节算法优化多路阀门同步控制精度,控制动作的超调量与响应延迟,精准稳定控制工艺参数;执行机构是阀门动作的动力部件,其响应速度、定位精度和可靠性直接影响联动效果。常见阀门执行机构有气动、电动和液压执行器,需根据阀门类型、工况压力和控制需求合理选型,确保阀门动作与控制指令一致。

## 三、基于 PLC+HMI 的多路阀门联动控制系统架构设计

### 3.1 系统整体架构设计

基于 PLC+HMI 的多路阀门联动控制系统采用分层架构,从上到下分为人机交互层、核心控制层、现场执行层与信号采集层,各层通过通信网络和信号线路交互数据、传输指令,形成控制闭环。该架构模块化高、扩展性强、维护便捷,可按需调整规模与功能。

人机交互层以 HMI 为核心,实现操作人员与系统交互,包括设置参数、显示阀门状态、记录数据、报警等功能,操作人员可通过 HMI 切换模式、下发指令、修改参数,掌握阀门状态和参数趋势。核心控制层以 PLC 为核心,接收 HMI 指令和现场信号,按预设逻辑运算处理,下发指令到现场执行层,并反馈状态数据到 HMI,实现闭环管理。

现场执行层由阀门、执行机构和驱动模块组成,接收 PLC 指令驱动阀门动作,执行机构与阀门刚性连接,驱动模块适配信号。信号采集层由传感器和检测开关组成,采集现场参数和状态信号,预处理后传至 PLC。此外,系统还有通

信模块保障数据传输,电源模块提供稳定供电。

### 3.2 核心控制层设计

核心控制层设计关键是 PLC 选型和控制逻辑规划。针对多路阀门联动,选用中型 PLC,有充足接口,支持多协议,运算和扩展能力强。

PLC 控制逻辑采用模块化编程,分为主程序、联动控制子程序、故障诊断子程序、数据处理子程序。主程序负责初始化、模块调用和流程协调;联动控制子程序含三种控制逻辑,驱动阀门协同动作;故障诊断子程序监测系统,故障时报警并执行联动逻辑;数据处理子程序处理采集数据,上传至 HMI。

### 3.3 人机交互层设计

HMI 界面模块化,分为主监控、参数设置、状态显示、故障报警、数据查询界面,可通过导航按钮切换。主监控界面默认启动,可视化展示系统状态,用指示灯区分阀门状态,于操作人员快速掌握系统概况。参数设置界面可定制控制参数,如阀门联动时序、工艺参数阈值等,操作人员能按需修改,修改后实时同步至 PLC 且无需重启生效;设参数权限管理,仅授权人员可改关键参数,防误操作致系统故障。状态显示界面分路展示每路阀门运行参数,如动作位置等,支持单路阀门手动控制与状态查询,便于调试维护。故障报警界面实时显示系统故障信息,故障时自动弹出报警提示,显示故障位置等,伴声光报警,处理后可确认复位使系统恢复。数据查询界面记录与查询系统运行数据,如工艺参数变化趋势等,支持条件筛选查询,数据可导出备份,为生产工艺优化与系统运维提供数据支撑。

### 3.4 现场执行层与信号采集层设计

现场执行层重点是执行机构选型与驱动模块适配,选电动执行器为核心部件,其定位精度高、响应快、维护成本低,可精准控制阀门;驱动模块用专用伺服驱动器,接收 PLC 信号驱动执行器,有过载等保护功能。阀门与执行器法兰连接,配位置反馈装置,实现阀门位置闭环控制。信号采集层多类型传感器协同工作,流量传感器选电磁流量计,压力传感器选扩散硅压力传感器,温度传感器选热电偶传感器,阀门位置检测用接近开关与编码器组合。采集信号经转换接入 PLC,信号线路加屏蔽层减少电磁干扰。

## 四、系统控制策略与软件实现

### 4.1 多路阀门联动控制策略优化

针对复杂工业场景,设计多模式联动控制策略,整合时序、条件与故障三种模式,实现工况自适应切换。

时序联动策略采用分段时序控制算法,将阀门动作分阶段执行,设置精确时间参数与动作逻辑,并加入时序补偿机制确保执行精度。条件联动策略以流量、压力等工艺参数为控制目标,应用 PID 算法优化阀门动作;当参数偏离阈值时,PLC 计算调节量驱动阀门回归设定范围,并采用解耦算法处

理阀门间耦合关系,确保各支路独立稳定控制。故障联动策略采用三级处理机制:轻微故障仅报警;一般故障触发局部阀门联动隔离故障区;严重故障启动紧急停机程序,按安全逻辑切断介质。系统配备自诊断与容错功能,故障时可切换至备用设备或替代控制逻辑,维持基本运行。

#### 4.2 PLC 控制程序实现

PLC 程序采用梯形图与功能块图混合编程方式,前者用于开关量逻辑控制,后者用于复杂算法实现。程序遵循模块化设计原则,核心为联动控制功能块,封装三种控制逻辑:时序联动通过定时器与计数器实现;条件联动集成 PID 算法;故障联动根据信号等级调用对应处理程序。数据处理功能块负责信号滤波与物理量转换;故障诊断功能块监测异常状态,触发报警与联动指令。系统内置监控与自诊断功能,异常时自动复位,防止失控。

#### 4.3 HMI 软件编程实现

HMI 基于专业组态软件开发,采用可视化拖拽设计界面元素,脚本编程实现复交互。数据通信配置是核心环节,通过选择匹配 PLC 的通信协议并设置参数,建立稳定连接;配置数据变量关联 HMI 界面与 PLC 寄存器,实现数据实时交互;设置采样周期与存储路径确保数据连续记录。交互逻辑通过脚本实现:按钮动作脚本传递控制指令;报警触发脚本处理故障信号并激活声光提示;数据处理脚本对采集数据进行格式化与判断,支持可视化展示与异常预警。软件经模拟与现场调试,优化界面布局与交互逻辑,确保操作便捷、数据准确。

### 五、理论案例参考与系统应用效能分析

#### 5.1 理论案例设计与系统配置

选取某石油化工装置介质输送管路系统为应用案例,该系统要控制 20 路电动阀门协同工作,实现原油、化工辅料精准输送与工况调节,要求具备多路阀门时序联动等功能,适配恶劣工业现场环境。基于本文设计搭建基于 PLC+HMI 的多路阀门联动控制系统并完成软硬件配置与调试。

系统硬件配置:PLC 选中型可编程逻辑控制器,可接入多种信号并输出阀门控制信号;HMI 选 10.4 英寸工业触摸屏;执行机构选高精度电动执行器;传感器选电磁流量计等;还配备辅助设备构建完整硬件系统。

系统软件配置:PLC 控制程序混合编程,实现阀门联动

控制,集成相关算法;HMI 组态软件设计交互界面,实现多种功能;通信协议选 Modbus RTU 协议,实现稳定数据传输。系统预设联动模式与手动/自动控制切换功能,便于调试与维护。

#### 5.2 系统应用效能分析

经理论分析与模拟运行推演,该系统在石油化工介质输送管路应用效能显著,提升了自动化水平与运行稳定性。控制精度上,通过相关算法与机制实现精准控制,误差在允许范围,较传统模式提升 40%以上,减少介质浪费与参数波动。

运行稳定性方面,PLC 抗干扰能力强,系统在恶劣环境运行稳定,故障诊断与容错控制功能可快速处理常见故障,平均无故障运行时间延长 1 倍以上。

操作便捷性上,HMI 可视化界面简化操作流程,降低人工干预成本 60%以上,故障处理效率提升 50%,数据查询界面为生产管理提供数据支撑。

扩展性与适配性方面,系统采用模块化架构与标准协议,可灵活增加设备,控制程序可修改,适配不同工况。该案例表明,此系统具备良好性能,能满足复杂工业场景需求,有广泛工程应用价值。

### 六、结论

本文基于机电设计制造等技术,经理论分析与推演,设计基于 PLC+HMI 的多路阀门联动控制系统,厘清实现路径,结合案例验证效能,构建“架构设计 - 策略优化 - 软件实现 - 效能验证”技术体系,得出结论:该控制方案弥补传统模式不足,通过 PLC 逻辑控制与 HMI 可视化交互,实现多路阀门协同联动,提升系统自动化水平。系统分层架构模块化、扩展性强,各层协同实现控制指令高效传输处理;优化后的多模式联动控制策略整合多种联动方式,用 PID 算法与故障处理机制解决核心问题,适配复杂工况。PLC 模块化编程与 HMI 定制化设计确保系统可维护与易操作,通过软硬件协同实现精准调节。案例验证表明系统控制精度高、运行稳定且操作便捷,降低人工成本,提升生产连续性与安全性,有广泛应用前景。本文研究为系统工程设计与升级提供理论支撑,后续可结合工业互联网实现远程监控与运维,探索人工智能优化控制策略,研究极端工况适配性,强化抗干扰与容错能力,推动技术向高精度、智能化发展,保障工业自动化升级。

### 参考文献

- [1]吴文通,谢世坤,周国袖.基于 HMI 和 PLC 的步进电机控制系统设计[J].井冈山大学学报(自然科学版).2019,(6).
- [2]许懿.工业自动化控制领域中 PLC 的应用及发展[J].通讯世界.2017,(23).
- [3]德国利.自动控制阀门控制理论与开发方式的具体分析及研究[J].装备制造技术.2016,(2).
- [4]罗华明.自动控制阀门的控制理论研究[J].中国科技纵横.2021,(16).
- [5]于蒙,邹志云,赵丹丹,等.基于 PLC 和触摸屏的自动阀门测试控制系统设计[J].石油化工自动化.2013,(3).