

工业水泵 PLC 自动化控制技术应用与运行效能分析

蒙远兴

云锡文山锌铜冶炼有限公司 云南 文山 663000

【摘要】：工业水泵是工业生产、市政供水等领域的核心动力设备，运行效率与稳定性直接关联生产效能与能耗。本文围绕工业水泵 PLC 自动化控制技术，阐述核心工作原理、硬件组成及控制算法设计，分析其在单泵恒压恒流控制、多泵协同控制及远程监控中的典型应用，从能耗优化、控制精度、设备寿命及运维成本四个维度开展效能分析。PLC 自动化控制可替代传统粗放控制模式，实现水泵调控与节能运行，提升系统稳定性、延长设备寿命并降低运维成本，为工业水泵高效、安全、经济运行提供技术支撑，具备广泛工业应用价值。

【关键词】：工业水泵；PLC 控制；变频调速；PID 调节；节能运维

DOI:10.12417/2811-0528.26.14.099

引言

工业生产、市政供水、冶金化工等领域，工业水泵承担介质输送、循环冷却等关键任务，运行状态直接关系到生产连续性与能源消耗。传统工业水泵采用人工操作与阀门节流控制，控制精度低、能耗损耗大、设备故障率高、运维成本高且依赖人工经验，难以适配现代工业精细化、高效化、智能化发展需求。工业自动化技术迭代下，PLC（可编程逻辑控制器）凭借响应速度快、控制精度高、抗干扰能力强等优势，成为工业水泵自动化控制核心技术。本文系统研究其原理、构成、应用及运行效能，为工业水泵系统智能化改造与高效运行提供理论与实践参考。

1 工业水泵 PLC 自动化控制技术原理与系统构成

1.1 PLC 控制核心工作原理

PLC 是工业水泵自动化控制核心，以数字逻辑运算为基础，采集现场压力、流量、电流、温度等实时信号，按预设控制逻辑输出变频调节、泵组启停、故障保护等指令，实现水泵运行状态闭环调控与自主决策^[1]。控制周期可稳定在毫秒级，配合变频驱动单元完成转速连续平滑调节，替代传统人工操作与阀门节流的粗放控制模式。冶金、化工、市政供水等场景中，可根据负荷变化实时匹配水泵输出功率，从源头规避无效能耗与工况偏移问题。

1.2 工业水泵 PLC 控制系统硬件组成

工业水泵 PLC 控制系统硬件以 PLC 主控制器为核心，搭配变频驱动模块、信号采集单元、执行机构与人机交互设备，构成完整控制链路。变频模块采用交-直-交拓扑结构，借助 IGBT 功率器件与 SPWM 调制技术，将工频交流电转换为频率可调的输出电源，实现水泵转速无级调节；信号采集端配备 0.2 级精度压力、流量传感器，实时捕捉管网压力、介质流量等关键参数，经模拟量模块转换为数字信号传入 PLC；执行机构涵盖水泵电机、接触器、过载保护继电器，配合直流母线

与滤波单元稳定供电，集成温度、电流监测模块，实现设备运行状态全维度感知。整体硬件适配工业现场高温、多尘、强电磁干扰环境，可满足长期连续运行需求。

1.3 PLC 控制算法与逻辑设计

PLC 控制核心采用 PID 闭环调节算法，结合水泵流量-转速-功率立方特性曲线完成逻辑编程，整定比例系数、积分时间、微分时间，实现压力、流量等参数无静差调节。针对水泵启停冲击、泵组投切震荡问题，设计延时启动、变频软启、模糊逻辑投切等辅助逻辑，规避水泵频繁启停与管网压力骤变。控制程序内置过载、过流、欠压、缺水等故障联锁保护逻辑，异常状态下可快速切断输出并触发报警，预留通信接口，可与上位机、远程监控平台实现数据交互，完成控制算法在线优化与参数调整，保障不同工况下控制逻辑的适配性与稳定性。

2 工业水泵 PLC 自动化控制技术典型应用

2.1 单泵恒压/恒流自动控制

单泵恒压/恒流控制是 PLC 自动化技术在工业水泵中最基础的应用形式，PLC 与变频器协同构建闭环控制系统，以管网压力或介质流量为控制目标。传感器实时采集现场数据并反馈至 PLC，经 PID 运算调节变频器输出频率，动态改变水泵转速，取代传统阀门节流调节。某化工园区 75kW 循环水泵采用该控制模式，将管网压力稳定控制在 $0.4\text{MPa} \pm 0.02\text{MPa}$ 范围内，压力偏差控制在 0.01MPa 以内，水泵平均运行频率从 50Hz 降至 32Hz，彻底消除阀门节流造成的能量损耗，实现单泵稳定高效运行，满足化工生产连续供水的精度要求。

2.2 多泵并联/串联协同控制

大中型工业场景多采用多泵并联或串联运行模式，PLC 控制系统可实现泵组智能协同与负荷均衡分配。大中型钢厂炼铁高炉冷却水泵组为例，四台 160kW 水泵原采用人工启停与阀门调节，能耗浪费突出^[2]。经 PLC 变频改造后，设定 1 台主泵变频运行、3 台从泵工频备用，流量传感器检测总管流量，

变频泵满频运行仍无法满足需求时, PLC 自动触发工频泵投切逻辑, 结合流量变化率采用模糊控制策略, 规避泵组频繁启停。改造后系统平均运行台数从 3 台降至 1.8 台, 单泵运行效率明显提升, 实现泵组负荷合理分配与高效协同运行。

2.3 闭环 PID 调节与远程监控应用

PLC 闭环 PID 调节结合远程监控技术, 可实现工业水泵系统精细化管控与远程运维。市政供水、化工循环水等系统中, PLC 通过 PID 算法调节水泵运行参数, 将压力波动控制在极小范围, 借助工业以太网、4G/5G 通信模块, 把现场运行数据上传至远程监控平台, 实现参数远程设定、状态实时监测、故障远程诊断与历史数据追溯。某市政水厂 3 台 90kW 供水泵经 PLC 改造后, 压力波动由 $\pm 0.08\text{MPa}$ 优化至 $\pm 0.01\text{MPa}$, 运维人员可通过远程终端实时监测泵组运行状态, 及时调整控制参数, 大幅提升系统管控效率与响应速度 (见图 1)。

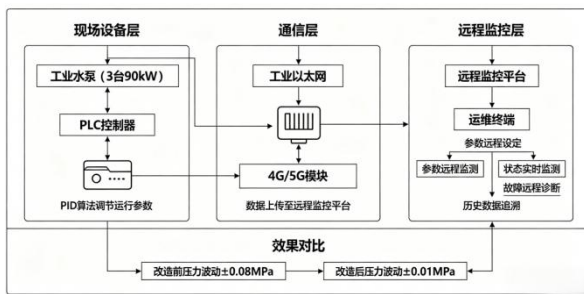


图 1 闭环 PID 调节与远程监控应用

3 工业水泵 PLC 控制运行效能分析

3.1 能耗优化与节能效果分析

PLC 结合变频调速技术从根本上优化工业水泵能耗结构, 依据水泵流量-转速-功率立方定律, 流量降低时转速同步下调, 功率呈立方级下降, 彻底消除阀门节流损失。某电厂 110kW 凝结水泵经 PLC 变频改造后, 转速降至额定转速的 65%, 系统总效率从 54% 提升至 68%, 年运行 7200 小时, 节电量达 48.7 万 kWh; 某化工厂 4 台 55kW 循环水泵采用 PLC 控制 “1 变频+3 工频” 模式, 年耗电量从 176 万 kWh 降至 52.8 万 kWh, 节能率达 70%。工业水泵系统应用 PLC 控制后, 节能效果随流量波动幅度提升, 流量波动 30%-60% 的场景节能率可达

35%-50%, 流量波动较小时节能率也能维持在 10%-15%, 能耗优化效益显著。

3.2 控制精度与运行稳定性分析

PLC 自动化控制大幅提升工业水泵运行精度与稳定性, PID 闭环调节结合高速信号采集与快速响应机制, 实现压力、流量等参数调控, 满足高端工业生产严苛要求。制药行业纯净水净化设备中, PLC 变频调节将压力波动控制在 $\pm 0.003\text{MPa}$, 符合 GMP 生产标准; 钢铁连铸冷却系统中, PLC 控制实现 1ms 级快速响应, 压力波动局限在 $\pm 0.008\text{MPa}$ 以内, 产品合格率提升 2.3%。其软启动功能将电机启动电流由 5-7 倍额定电流降至 1.2 倍, 减小电网冲击与管网压力震荡, 规避水泵因频繁启停、工况偏移引发的故障, 提升系统运行稳定性与可靠性, 保障工业生产连续稳定。

3.3 设备寿命与运维成本效益分析

PLC 自动化控制通过优化运行工况、减少冲击负荷, 有效延长工业水泵及配套电机使用寿命^[3]。变频软启动降低电机绝缘与轴承机械应力, 使电机绝缘寿命延长 3 倍, 轴承寿命延长 2 倍, 水泵始终运行在高效工况区, 规避阀门调节引发的气蚀、磨损等问题, 设备故障率显著下降。配套运维成本同步降低, 某市政水厂供水泵经 PLC 改造后, 年均维护费用从 2.8 万元降至 1.5 万元, 降幅达 46.4%, 工业场景中 PLC 控制水泵系统年均维护费用整体降低 40%-60%。节能收益可快速覆盖改造投资, 某化工厂循环水泵系统 PLC 变频改造投资 28 万元, 投资回收期仅 0.8 年, 长期运行可带来持续的设备寿命与运维成本双重效益, 兼具经济价值与工业应用价值。

4 结语

本文对工业水泵 PLC 自动化控制技术全面研究, 明确其以 PLC 为主控制器, 结合变频驱动、信号采集与 PID 调节算法的核心架构, 总结该技术在单泵控制、多泵协同及远程监控中的典型应用场景, 通过实际案例验证其在能耗优化、精度提升、设备延寿及成本降低方面的显著效能。PLC 自动化控制技术彻底改变传统工业水泵粗放控制模式, 实现从人工操作到智能调控的升级, 既满足工业生产对水泵运行稳定性与精准度的严苛要求, 又契合节能降耗的工业发展趋势。

参考文献:

- [1] 权文浩. PLC 技术在电气工程自动化控制中的应用[J]. 智慧中国, 2025, (S1): 27-28.
- [2] 梁增峻. 机电自动化控制技术在煤矿生产中的应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2025, (16): 145-147.
- [3] 万熙宸, 帅金凤. 电气自动化控制技术在混合动力汽车中的应用[J]. 汽车测试报告, 2025, (16): 22-24.