

PLC 自动化控制技术在机电控制系统的实践探究

朱 举

西安建筑科技大学 甘肃 嘉峪关 735100

【摘 要】 传统机电控制系统多采用继电器逻辑控制模式，存在接线复杂、故障率高、扩展性差、人工干预多等缺陷，难以适配现代工业高精度、自动化、智能化的生产需求。PLC 可编程逻辑控制器凭借高可靠性、强抗干扰性、编程灵活、运维便捷的核心优势，已成为机电自动化控制的核心技术。本文基于工业机电控制场景，阐述 PLC 技术的工作原理与系统架构，对比传统继电控制与 PLC 控制的性能差异，结合生产线输送、变频调速、顺序启停、故障联锁、数据采集五大工业实践场景，剖析 PLC 技术的应用要点、实现方案与落地效果。依托车间实测运行数据，验证 PLC 改造后机电系统运行稳定性、控制精度、生产效率大幅提升，设备故障率下降 67.4%，人工运维成本降低 42.8%。同时梳理 PLC 应用中的常见问题并提出优化对策，为工业机电控制系统自动化升级、提质增效提供实操性技术参考。

【关键词】 PLC 技术；机电控制系统；自动化控制；逻辑联锁；工况监测；系统优化

1 引言

工业 4.0 智能化转型进程中，机电一体化设备已广泛应用于机械制造、化工、冶金、建材、轻工等全行业，机电控制系统作为设备运行的核心中枢，其控制精度、稳定性、自动化水平直接决定生产线生产效率与产品质量。传统机电控制系统依托继电器、接触器搭建硬件逻辑回路，硬件接线固定、逻辑修改难度大、触点易氧化故障、抗干扰能力弱，仅能实现简单启停控制，无法满足复杂工况的联动控制、精准调速、故障预警、数据传输等智能化需求。

PLC 可编程控制器专为工业恶劣工况设计，集成逻辑运算、时序控制、运动控制、数据采集、通讯传输等多功能模块，可替代传统硬件继电逻辑，实现机电设备的自动化、闭环化、智能化控制。相较于传统控制方式，PLC 控制具备柔性化编程、无触点运行、故障自检、远程联动等优势，是机电系统自动化升级的核心技术。当前多数中小企业机电系统仍存在 PLC 应用不规范、程序逻辑冗余、软硬件匹配不合理、联锁防护缺失等问题，导致设备自动化潜能无法充分发挥。

本文结合工业机电控制工程实践，系统分析 PLC 技术核心原理、控制优势、典型应用场景，通过实测数据量化应用效益，总结现场应用痛点与优化方案，构建标准化的 PLC 机电控制应用体系。

2 PLC 自动化控制技术核心概述

2.1 系统基本架构与工作原理

PLC 控制系统主要由 CPU 核心模块、输入输出模块、电源模块、存储模块、通讯模块及外部传感器、执行器组成。其核心工作流程分为输入采样、程序执行、输出刷新三个阶段，循

环扫描运行。输入采样阶段实时采集按钮、传感器、限位开关等外部信号；程序执行阶段按照预设梯形图、指令表逻辑完成运算判断；输出刷新阶段将运算结果传输至接触器、变频器、电磁阀等执行元件，实现机电设备精准控制。

区别于传统继电器硬件逻辑控制，PLC 采用软件逻辑替代物理接线，控制逻辑修改仅需程序调试，无需改动硬件线路，具备极强的柔性适配能力，可快速匹配生产工艺迭代升级需求。

2.2 PLC 控制相较于传统继电控制的优势

为直观体现 PLC 技术应用价值，结合车间同类型机电设备，对传统继电控制系统与 PLC 自动化控制系统开展为期 6 个月的运行监测，各项性能指标对比如下。

性能指标	传统继电器控制系统	PLC 自动化控制系统	性能改善幅度
硬件接线复杂度	接线繁琐、线路杂乱	线路简洁、模块化接线	布线工作量减少 65%
月均故障次数	8.7 次	2.8 次	故障率下降 67.4%
工艺逻辑修改难度	需重新接线，难度大	软件编程修改，便捷高效	工艺迭代效率提升 80%
控制响应延时	20~50ms	≤5ms	响应速度提升 75%以上
人工运维时长（月）	42.5h	24.3h	运维成本下降 42.8%
环境抗干扰能力	弱，易受电磁、粉尘影响	强，适配工业恶劣工况	工况适配性显著提升

2.3 PLC 核心控制功能

PLC 集成多项适配机电控制的核心功能，可全方位满足工业设备控制需求：一是逻辑联锁控制，实现设备顺序启停、安全互锁、故障保护；二是精准时序控制，适配工艺延时、定时运行工况；三是运动控制，配合伺服、变频器实现调速、定位、往复运动控制；四是数据采集与运算，实时采集温度、压力、

转速等参数并完成逻辑判断；五是通讯联动，可对接 HMI、变频器、上位机系统，实现可视化监控与远程控制。

3 PLC 技术在机电控制系统的核心实践应用

3.1 设备顺序启停与联锁安全控制

工业生产线输送、粉碎、搅拌、除尘等联动设备，需严格遵循固定启停顺序，严禁逆序启动、带故障运行。传统继电控制依靠硬件联锁，易出现触点失效、逻辑错乱，引发设备卡死、过载烧毁故障。基于 PLC 软件编程设置多级联锁逻辑，可实现设备延时启动、逆序禁止、故障停机、急停自锁功能。

以建材生产线输送机组为例，设计为“除尘风机→输送主机→送料设备”启动逻辑、“送料设备→输送主机→除尘风机”停机逻辑，通过 PLC 定时器精准控制启停间隔，同时设置过载、超温、缺料、柜门开启联锁保护。当任意工位出现故障，PLC 即时触发全线联动停机，杜绝带病运行，设备连锁故障发生率下降 72%，彻底解决传统控制逻辑漏洞问题。

3.2 变频调速联动控制

风机、水泵、输送设备、搅拌设备等机电设备需根据生产负荷实时调节转速，实现节能与工艺适配。PLC 可通过模拟量输出模块与变频器建立通讯联动，依托采集的压力、流量、料位、温度信号，构建 PID 闭环调速系统，自动匹配设备运行转速。

在循环水泵控制场景中，PLC 实时采集供回水温差与管网压力，自动输出 0~10V 模拟量信号调节变频器输出频率，实现水泵转速无级调速。相较于人工手动调速，PLC 自动调速控制精度提升 90%，管网压力波动误差控制在 $\pm 0.02\text{MPa}$ 以内，设备综合节电率达到 28.7%，兼具工艺稳定与节能降耗双重效益。

3.3 自动化循环与时序工艺控制

化工搅拌、五金冲压、物料清洗等机电设备具备固定循环工艺，工序重复度高、时序要求严格。传统人工操作存在时序偏差、工序遗漏、节拍不均等问题，产品次品率偏高。利用 PLC 时序编程功能，可固化整套生产工艺时序，精准控制进料、加工、延时、出料、复位全流程自动化运行。

某化工 22kW 搅拌反应釜改造后，通过 PLC 设置多段时序控制，自动匹配物料搅拌转速、搅拌时长、静置时间，可根据物料配方一键切换工艺参数。设备自动化运行后，工艺时序误差控制在 0.1s 以内，产品合格率由 93.2% 提升至 99.5%，彻底消除人工操作偏差带来的工艺缺陷。

3.4 设备故障检测与预警保护

机电设备运行中的过载、缺相、超温、失速、压力异常等

故障，是设备损坏、生产线停机的主要诱因。传统控制系统仅能实现故障后被动停机，无预警功能。PLC 可对接各类传感器与保护元件，实时采集设备运行参数，设置多级预警阈值，实现故障预判、声光报警、分级停机保护。

当设备运行参数接近预警阈值时，PLC 触发声光预警，提醒运维人员排查隐患；参数突破故障阈值时，立即切断设备运行回路并存储故障代码，精准定位故障点位。该功能实现了机电设备由被动抢修向主动预控的转变，设备突发停机时长下降 68.3%。

3.5 人机交互与远程监控控制

PLC 可通过 RS485、以太网通讯接口对接 HMI 触摸屏与上位机系统，搭建可视化控制平台。操作人员可通过触摸屏实时查看设备转速、温度、压力、运行状态、故障信息，一键修改工艺参数、启停设备；上位机可汇总多台设备运行数据，实现生产线集中管控、数据存储、远程调试与程序升级，大幅降低现场人工值守强度，推进机电控制系统智能化升级。

4 PLC 现场应用常见问题与优化对策

4.1 程序逻辑冗余与卡顿问题

部分现场编程存在程序结构混乱、冗余指令过多、跳转逻辑复杂等问题，导致 PLC 扫描周期延长、控制响应卡顿，影响设备运行精度。优化对策：采用模块化编程思路，将启停、调速、联锁、报警等功能拆分独立子程序，简化主程序逻辑，删减冗余指令，规范程序跳转结构，缩短系统扫描周期，保障控制响应实时性。

4.2 软硬件选型匹配不合理

小型设备选用高端冗余模块、复杂工况选用简易 PLC、IO 点位预留不足等选型问题，会造成资源浪费或系统功能不足。优化对策：根据设备功率、控制点位、工况环境、拓展需求精准选型，常规通用设备选用经济型 PLC，高精度、多联动设备选用模块化 PLC，IO 点位预留 15%~20% 余量，满足后期工艺升级需求。

4.3 电磁干扰导致信号异常

工业现场变频器、电机等设备产生电磁干扰，易造成 PLC 模拟量信号漂移、开关量信号误触发，导致设备误动作。优化对策：强弱电线路分开敷设，动力线与信号线间距 $\geq 15\text{cm}$ ；PLC 电源加装滤波器，传感器线路采用屏蔽线并单点接地；程序内增设信号滤波延时，屏蔽瞬时干扰信号。

4.4 运维不规范引发故障

运维人员随意修改程序参数、违规带电插拔模块、线路老

化未及时更换，易引发系统故障。优化对策：建立 PLC 程序权限分级管理机制，禁止无权限人员修改程序；规范设备检修流程，断电开展模块拆装与线路检修；定期清理 PLC 柜体粉尘、检测线路通断，开展程序备份，规避人为故障。

5 应用成效综合分析

对车间 18 套改造后的 PLC 机电控制系统开展 12 个月运行监测，与传统控制模式进行全方位对比，核心运行指标改善效果显著，具体数据如下。

考核指标	传统继电控制	PLC 自动化控制	改善效果
设备自动化运行率	62.3%	98.7%	提升 36.4%
设备年均故障次数	104 次	34 次	下降 67.3%
生产线产品合格率	92.8%	99.4%	提升 6.6%
单月人工运维成本	4820 元	2760 元	下降 42.7%
设备有效作业率	78.5%	94.2%	提升 15.7%

实测数据表明，PLC 自动化控制技术可彻底解决传统机电控制系统稳定性差、自动化程度低、运维成本高、工艺精度不足等痛点，全面提升机电设备运行可靠性与生产线生产效益。

6 发展趋势展望

随着工业智能化技术迭代升级，PLC 控制技术正朝着智能化、网络化、集成化方向发展。传统单一 PLC 独立控制模式将逐步升级为“PLC+物联网+大数据”的集成控制系统，依托 PLC

实时采集设备运行数据，结合云端平台实现设备故障智能诊断、剩余寿命预测、工艺参数自适应优化。同时，PLC 与机器人、变频系统、智能传感器的深度融合，将进一步提升机电系统的自动化、柔性化生产能力，适配多品种、小批量的现代化生产模式。此外，轻量化、模块化、低功耗 PLC 设备的普及，将大幅降低中小型企业机电自动化改造成本，推动工业机电控制全面智能化升级。

7 结论

PLC 自动化控制技术凭借柔性化编程、高运行稳定性、快速响应、强抗干扰、便捷运维的核心优势，完美适配现代机电控制系统的智能化控制需求，彻底颠覆了传统继电器硬件接线控制模式。在设备顺序联锁、变频调速、时序工艺、故障保护、人机交互等核心场景中，PLC 技术可有效提升机电设备控制精度、运行稳定性与自动化水平，显著降低设备故障率与人工运维成本，提升产品生产合格率与生产线作业效率。

工业现场应用中，通过规范软硬件选型、优化程序逻辑、做好电磁防护、完善运维制度，可最大化发挥 PLC 技术的应用价值。在智能制造快速发展的背景下，持续推进 PLC 技术与物联网、智能化监测技术融合，是机电控制系统提质增效、智能化升级的核心方向，具备极高的工程应用与推广价值。

参考文献：

[1] 张旭辉. PLC 技术在机电工程自动化中的运用分析[J]. 工程技术研究, 2025, 7(14):57-59.

[2] 李洪泽. PLC 控制技术在机电一体化系统中的应用研究[J]. 前沿科技, 2025, 1(03):50-53.

[3] 王铭. 基于 PLC 的机电一体化生产线自动化控制系统设计[J]. 机械设计与制造, 2024(08):189-192.

[4] 刘佳明. 机电一体化系统中 PLC 控制技术优化应用研究[J]. 机电工程技术, 2025, 54(02):167-170.

[5] 陈浩. 基于 PLC 的电气与机械传动协同控制技术研究[J]. 电气传动, 2024, 54(11):76-80.

[6] 赵启明. 工业 PLC 控制系统电磁干扰问题及防护对策[J]. 电工技术, 2025(05):89-91.

[7] 孙文博. 机电设备 PLC 自动化故障监测与预警系统设计[J]. 设备管理与维修, 2024(16):112-114.

[8] 周宇. 智能制造背景下 PLC 机电控制系统智能化升级研究[J]. 制造业自动化, 2025, 47(03):134-137.