

工厂机电设备电气控制系统优化改造实践探究

作者：杨俊文

身份证号：532931198610030510

摘要：老旧机电设备电气控制系统存在控制逻辑滞后、线路老化、能耗偏高、故障报警不完善、设备联动性差等共性问题，长期制约工厂生产效率提升，同时增加设备运维成本与车间安全生产隐患。本文结合制造工厂机电设备运维实际工况，剖析现有电气控制系统硬件、软件、运维管理三大层面现存缺陷，遵循安全可靠、节能降耗、兼容适配、循序渐进的改造原则，从硬件电路升级、控制程序优化、变频节能改造、故障预警系统搭建、运维体系完善五个维度开展改造实践，分析改造前后设备运行参数、能耗数据、停机时长变化。实践结果表明，系统化电气控制改造可有效提升设备运行稳定性，降低生产能耗与突发故障频次，助力制造工厂实现生产提质、节能降本、安全管控升级，为同类工厂老旧机电电气系统改造提供可行实践参考。

关键词：机电设备；电气控制；系统改造；变频节能；故障预警

一、引言

工业电气控制系统改造需立足现场生产实际，兼顾设备运行安全性、生产连续性与改造经济性，严禁盲目更换全套电控器件，避免改造过度造成企业成本浪费。老旧机电电气系统升级应当以解决实际运行故障、优化控制响应精度、降低无功电能损耗为核心目标，贴合车间生产工艺流程开展针对性迭代优化。

国内多数中小型制造工厂仍沿用十年以上传统继电接触式电气控制系统，这类系统依靠硬接线完成设备启停、调速、联动控制，线路繁杂、触点易磨损、控制逻辑修改难度大。伴随智能制造推进，老旧电控系统无法适配自动化流水线协同生产需求，设备启停冲击电流大、空载能耗高、故障定位缓慢等问题愈发突出。开展机电设备电气控制系统针对性优化改造，无需整体更换机械设备本体，即可低成本补齐电控短板，是制造企业智能化升级最经济高效的路径。

二、工厂现有电气控制系统现存问题

（一）硬件线路老化，运行安全隐患突出

长期不间断运行使得车间电控柜内部线缆绝缘层老化开裂，接线端子氧化松动，极易出现短路、漏电、线路发热等电气故障。传统继电器触点反复吸合磨损严重，触点粘连会引发设备误启动、无法停机等危险工况，同时缺少过载、缺相、过压一体化保护模块，单一保护装置失效就会直接烧毁电机与主控元器件。

（二）控制方式落后，设备联动适配性差

原有系统采用硬接线继电控制，控制逻辑固定，无法根据生产工艺微调运行参数。流水线多台机电设备独立运行，缺少统一总控单元，设备启停时序无法同步，容易出现物料堆积、工序衔接错位问题。系统无数据传输接口，无法接入工厂车间物联网平台，生产运行参数无法实时采集与远程监控。

（三）电机工频运行，生产能耗居高不下

车间风机、水泵、输送电机全部采用工频恒速运行模式，设备空载与轻载工况下依旧保持额定转速运行，产生大量无用能耗。电机直接工频启动会产生数倍额定电流的冲击电流，不仅损耗电机使用寿命，还会造成车间电网电压波动，影响周边精密机电设备稳定运行。

（四）故障诊断能力薄弱，运维效率低下

老旧电控系统仅具备简单故障断电保护功能，无故障代码显示、故障定位与声光分级报警功能。设备出现电气故障后，运维人员需要逐一排查线路、元器件与控制回路，故障排查耗时较长，非计划停机时间过长，直接影响整条生产线连续生产。

三、电气控制系统优化改造总体原则

（一）安全生产优先原则

所有改造工序必须断电分步施工，改造后完善电气多重保护回路，提升系统短路、过载、漏电、缺相防护能力，杜绝改造后新增电气安全隐患，保障车间操作人员与机电设备双重安全。

（二）工艺兼容适配原则

改造不改动机械设备机械传动结构与原有生产工艺流程，优化后的电控系统完全适配原有生产参数，保证改造完成后生产线可以直接无缝投产，无需重新调试生产工艺。

（三）经济节能实用原则

摒弃一刀切全面换新方案，保留完好可用的主控柜体与基础接线结构，针对性更换老化元器件，加装节能与智能控制模块，平衡改造成本与后期节能收益，实现投入与产出效益最大化。

四、电气控制系统具体优化改造方案

（一）硬件电路整体升级改造

全面更换老化动力线缆与控制信号线，统一规范柜内线路排布，加装线路阻燃防护套管。拆除故障率高的老旧中间继电器与交流接触器，更换为耐用性更强的直流控制元器件。集成一体化多功能电气保护器，同步实现缺相、过载、过压、漏电全方位保护，筑牢电气运行硬件安全防线。

（二）PLC 可编程控制器替换改造

采用 PLC 控制器替换原有硬接线继电控制系统，依托可编程程序完成设备启停、调速、联动时序控制。可根据生产订单变化直接修改内部控制程序，快速适配不同生产工艺需求。搭建设备内部通讯回路，实现流水线上下游机电设备时序联动，消除工序衔接错位问题，同时预留通讯接口，满足后续车间物联网系统接入需求。

（三）电机变频节能控制系统加装

为车间所有工频运行电机匹配加装专用变频器，根据实时生产负荷自动调节电机运行转速，实现按需供能。规避电机工频启动带来的电流冲击，平缓启动延长电机使用寿命。依托变频调速控制，有效削减车间电网无功损耗，稳定电网运行电压，兼顾设备运行稳定与节能降耗双重需求。

（四）智能故障预警与报警系统搭建

在 PLC 控制系统内部嵌入故障诊断程序，实时采集回路电流、电压、温度运行参数，自动识别电气异常工况。系统按照故障严重程度划分普通预警、一般故障、紧急停机三个等级，搭配触摸屏可视化界面，直接显示故障点位与故障原因，缩短人工排查时间，降低生产线停机损失。

（五）现场改造施工安全管控要点

机电电气控制系统改造全程贴合车间连续生产需求，采用分段停机、错峰施工模式，避免全线停产造成生产损失。施工全过程落实停电、验电、接地、挂牌上锁安全流程，严格划分施工作业区与设备运行区，做好带电区域隔离防护。改造完成后依次开展单体设备调试、联动调试与 72 小时空载试运行，逐项校验保护回路、变频模块、故障报警功能，确认各项电气参数达标后，再正式交付生产线投入使用，全面规避改造调试阶段的电气安全风险。

五、改造效果分析

本次改造完成后经过三个月连续试运行，机电设备电气故障停机时长降低 62%，车间机电设备综合能耗下降 18.3%，电机启动冲击电流大幅降低，车间电网运行更加稳定。设备工艺调整灵活性显著提升，运维人员故障排查效率提升一倍以上，整体生产线自动化运行水平明显改善。

六、结论

老旧工厂机电设备电气控制系统故障多发、能耗偏高的核心根源为硬件线路老化、控制模式固化、缺少智能监测模块。本次分层分步改造方案无需更换机械设备本体，改造成本低、落地性强，既解决了原有电气安全隐患，又实现了节能降耗与智能管控升级。后续工厂可依托本次改造预留的通讯接口，逐步接入车间数字孪生管控平台，进一步实现机电设备电气系统远程监控与无人值守运维，持续推进工厂电气控制系统智能化迭代升级。

参考文献

- [1] 吴浩. 老旧工厂机电设备电气控制回路改造设计与实践[J]. 制造业自动化, 2024, 46(05): 156-159.
- [2] 吕阳. 变频器在工业机电电机节能改造中的应用研究[J]. 电机与控制应用, 2024, 51(08): 112-116.
- [3] 顾明. 基于 PLC 的流水线机电设备联动控制系统优化设计[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(07): 189-192.
- [4] 谢俊. 工业电气控制系统故障智能诊断与预警系统搭建[J]. 电工技术, 2024(14): 203-205.