

基于PLC的电气控制系统故障排查及改进策略

王旭超

宁夏哈纳斯新能源集团有限公司 宁夏 银川 750000

摘 要: PLC电气控制系统是工业自动化生产的核心装置,现场复杂工况、设备老化及运维不规范易引发硬件、软件和通讯故障,严重影响生产连续性。本文阐述PLC控制系统的结构原理与故障类型,分析故障产生的各类诱因,梳理标准化故障排查原则与流程,结合现场案例验证排查方法的实用性。从软硬件改造、运维预警等方面提出优化策略,通过数据对比验证改进效果,有效提升系统运行稳定性与工业生产运维水平。

关键词: PLC; 电气控制系统; 故障排查; 改进策略

引言: 工业自动化产业高速发展,PLC电气控制系统凭借可靠、灵活、可编程的优势,广泛应用于各类智能制造生产线,是工业设备自动运行的核心保障。但长期连续作业、现场电磁干扰、人工操作失误等问题,致使系统故障频发,造成设备停机、产能下降、运维成本增加等问题。为精准高效处理系统故障、规避运行隐患,本文系统研究故障排查方法,制定全方位优化改进方案,为现场设备稳定运行提供技术参考。

1 PLC 电气控制系统基础理论与常见故障类型

1.1 PLC电气控制系统组成与工作原理

(1) PLC核心硬件结构主要由CPU模块、输入输出模块、电源模块及通讯模块四大部分构成。CPU模块负责执行用户程序、进行数据处理与逻辑运算,是整个控制系统的运算中心;输入模块接收来自传感器、按钮等现场设备的信号,输出模块将处理结果传递给接触器、继电器等执行机构;电源模块为系统提供稳定可靠的工作电压;通讯模块实现PLC与上位机、其它控制器及现场设备之间的数据交互。(2) 系统软件架构包含系统程序与用户程序两个层面。系统程序由PLC制造商固化在内存中,负责解释执行用户指令、管理系统资源;用户程序由开发人员根据控制需求编写,经编程软件编译后下载至PLC。程序运行采用循环扫描机制,CPU按顺序逐条执行指令,完成输入采样、程序执行、输出刷新三个阶段^[1]。(3) PLC电气控制整体工作流程可概括为:首先读取所有输入端子状态并存入输入映像区,随后CPU逐条扫描用户程序、根据既定逻辑进行运算处理,最后将运算结果送至输出映像区并刷新实际输出通道,如此周而复始,实现对被控设备的实时自动控制。

1.2 PLC电气控制系统常见故障分类

(1) 硬件类故障主要包括模块物理损坏(如雷击烧毁、元件老化失效)、线路故障(如接线松动、短路断

线、接触不良)、电源故障(如电压波动、模块烧毁、保险熔断)及传感器故障(如信号漂移、无输出、灵敏度下降)等形式。(2) 软件类故障主要表现为程序逻辑错误(如条件判断失误、计时器设定不当)、参数设置失误(如输入输出地址配置错误、通信参数不匹配)以及程序冲突(如双线圈输出、中断优先级混乱)等情况。(3) 通讯类故障涵盖总线通讯异常(如Profibus、Modbus等协议通信失败)、信号干扰(如电磁辐射导致数据跳变)以及数据传输中断(如连接器松动、网线破损)等问题。

1.3 故障产生的核心诱因分析

(1) 设备长期运行老化、磨损是自然故障的主要来源。继电器触点经频繁动作后出现氧化、烧蚀,电解电容容量衰减导致电源纹波增大,线路绝缘层老化引发漏电或短路,此类故障具有渐进性、规律性特征。(2) 人工操作、调试与维护不当是人为故障的直接原因。常见情形包括:编程时逻辑设计缺陷、维护中插拔模块未断电、接线时误将220V接入24V端子、参数修改后未保存等,此类故障突发性强且危害较大。(3) 生产环境干扰、供电不稳定是外部故障的重要诱因。大功率设备启停造成的电压骤降、雷击引入的浪涌冲击、温湿度超标引发的模块工作异常、强电磁场对信号传输的干扰等,均可能导致控制系统误动作或停机。

2 PLC 电气控制系统故障排查方法与流程

2.1 常规故障排查基本原则

(1) 先外后内:排查应从外围环节入手,优先检查外部线路连接可靠性、执行机构运行状态及环境因素(温湿度、电磁干扰等),确认外部无异常后,再深入控制柜内部检测硬件模块。实践表明,外部故障发生率远高于精密元件,遵循此原则可大幅缩短停机时间。(2) 先软后硬:通过编程软件在线监控用户程序执行情

况,校验逻辑关系与参数设定是否正确。软件排查操作便捷且无需拆机,确认无误后再转向硬件检测,可有效避免盲目拆卸造成的二次损伤,提高排查效率。(3)先整体后局部:从系统全局视角出发,判断故障影响范围——是全线停机还是单站异常,再逐步缩小区域,最终锁定故障点。该原则有助于明确排查方向,防止在局部问题上过度消耗而忽视整体关联因素。

2.2 不同类型故障的针对性排查方法

(1)硬件故障排查:仪器检测法使用万用表测量电压、电阻与通断状态,用示波器观察信号波形质量;替换法将疑似故障模块与备用模块对调,观察故障是否转移,判断最为直观;状态指示灯判别法通过观察面板RUN、ERR、I/O等LED灯状态,初步判断模块工作正常与否。(2)软件故障排查:程序分段调试将用户程序拆分为若干子模块逐一监控,定位异常程序段;参数比对法将当前设置与系统原始配置文件逐项对照,发现被修改的参数;日志分析排查查阅系统事件记录,追溯首次故障时间点及对应操作行为。(3)通讯故障排查:通讯协议校验检查各站点波特率、数据位、校验方式等参数一致性;线路阻抗检测使用万用表测量终端电阻值及线缆通断;设备匹配排查核对主从站型号兼容性、地址唯一性,并结合通讯模块指示灯辅助判断^[2]。

2.3 系统化故障排查流程搭建

(1)故障现象记录与故障等级判定:第一时间记录设备编号、发生时间、运行阶段、异常表现(报警代码、指示灯状态等),并根据对生产的影响程度划分为紧急、一般、轻微三级,合理调配资源确定处理优先级。(2)故障范围锁定与精准定位:依据现象记录,综合运用排查原则与方法,采用“系统→子系统→单元→元件”逐级缩减法。此过程需多种方法交叉验证,避免单一判断造成误判,最终精准确定故障根源。(3)故障修复验证与试运行检测:修复后先进行绝缘测试与接线复核,确认安全后空载试运行,观察原故障是否消除;逐步加载至正常工况,持续监测电压、电流等关键参数,确认系统稳定后方可交付生产。

2.4 故障排查典型案例剖析

(1)PLC输入模块信号异常故障排查实例:某自动化产线中,接近开关信号无法被输入模块读取。遵循先外后内原则,用万用表测量开关供电端,发现电压仅14V(额定24V),而电源模块输出正常,判断线路存在压降;沿信号线排查至电缆桥架,发现线缆绝缘层磨损导致漏电。更换线缆后信号恢复正常。(2)程序逻辑漏洞导致设备停机故障排查实例:某搬运设备频繁不定时停

机且无报警。遵循先软后硬原则,在线监控发现计时器预设值(5s)与工艺节拍不匹配,设备停留稍长即触发超时复位导致安全联锁停机。将计时器修正为15s后故障彻底排除,根源为编程参数设定失误。

3 PLC电气控制系统优化改进策略

3.1 系统硬件优化改进策略

(1)老旧硬件模块更换与冗余配置优化:针对长期运行超过设计寿命的CPU模块、电源模块及I/O模块,制定周期性更换计划,优先替换故障率高、技术落后的型号。在关键控制环节(如核心CPU、通信总线)引入冗余配置——采用双CPU热备冗余或电源模块N+1冗余架构,确保主模块故障时备用模块无扰切换,大幅降低单点故障导致的非计划停机风险。(2)线路布线规范优化与抗干扰防护改造:全面梳理控制柜内及现场线缆布局,严格按照强弱电分离原则重新规划走线路径——强电动力线缆与弱电信号线保持不小于20cm的间距,无法避免时采用垂直交叉方式。对模拟量信号线、通讯线缆统一更换为双绞屏蔽线缆,屏蔽层实施单端可靠接地;在继电器、接触器线圈两端并联阻容吸收电路或续流二极管,有效抑制开关动作产生的瞬态浪涌干扰^[3]。(3)传感器、执行器配套设备升级优化:将老旧接近开关、光电传感器升级为检测精度更高、温漂更小、响应速度更快的新型产品,并根据现场工况选用合适防护等级(如IP67)。对频繁动作的执行器(如电磁阀、接触器)选用电气寿命更长的型号,同时优化驱动电路设计,确保输出模块与执行设备之间阻抗匹配合理,减少因负载不匹配引发的过流损坏。

3.2 系统软件与程序优化改进策略

(1)控制程序逻辑精简、漏洞修复与标准化编写:对现有用户程序进行全面审查,删除冗余及无效代码,简化复杂嵌套逻辑,优化扫描周期。针对已知程序漏洞(如临界条件未覆盖、计时器预值与实际不匹配等)逐一修复。同时建立标准化编程规范——统一变量命名规则、添加关键逻辑注释、规范子程序接口设计,提升程序可读性与后续维护便捷性。(2)系统参数自适应优化与容错机制设置:对PID调节参数、定时器预设值等关键控制参数进行整定优化,使其匹配实际工况变化。在程序中增设容错处理机制——如输入信号有效性判别(超量程或突变过大时启用安全默认值)、异常状态下的软着陆停机逻辑、设备启动失败后的自动重试策略等,提升系统对异常工况的应对能力^[4]。(3)程序备份与快速恢复功能优化:在编程软件中搭建程序版本管理平台,每次修改前强制保存当前版本并生成差异对比报告。利

用PLC的SD存储卡或EEPROM模块,在每次下载完成后自动同步备份最新程序。编写一键恢复功能块——更换CPU或存储卡后,通过拨码开关或触摸屏操作即可在2分钟内完成全部程序与参数的全自动恢复,并校验恢复完整性,确保系统快速重新投入运行。

3.3 故障预警与运维体系优化

(1) 搭建PLC系统实时故障监测与预警机制:基于组态软件搭建集中监控平台,对CPU运行温度、扫描周期波动、锂电池剩余电量、I/O总线通信误码率、24V电源电压偏差等20余项健康指标进行毫秒级采集与趋势显示。设定三级预警策略——黄色预警对应参数轻微偏离,推送提示但不影响运行;橙色预警表示参数持续恶化,触发声光报警并建议安排检修窗口;红色预警为即将停机状态,自动记录故障现场快照并通知值班人员立即处置,从而实现故障的预知性维护。(2) 建立系统化设备定期巡检与维护制度:编制覆盖全流程的巡检标准作业指导书,明确日检(柜面指示灯、散热风扇运行、环境温度)、周检(电源电压测量、关键端子红外测温)、月检(柜内深度除尘、全部端子紧固扭矩校验、备用模块上电测试)三类周期任务。每项任务量化合格标准,配备专用检测工具。巡检结果电子化录入管理系统,超期未检自动提醒,确保制度刚性执行。(3) 完善故障台账与溯源分析体系:建立数字化故障管理数据库,每条记录涵盖故障设备ID、发生起止时刻、现象描述、排查步骤、根本原因分类(硬件/软件/外部)、更换备件信息及修复用时等核心字段。每月自动生成统计分析报告,利用帕累托图识别高频故障类型,针对TOP3问题制定专项改善方案,形成"故障记录→统计分析→根源治理→效果验证"的完整闭环^[5]。

3.4 改进效果验证与效益分析

(1) 改进后系统稳定性、故障率数据对比验证:选取优化措施实施前后各6个月的运行数据进行系统化对比——统计月度平均故障停机次数、单次故障平均修复

时间(MTTR)、平均无故障运行间隔(MTBF)、设备综合效率(OEE)四项核心指标。对每项指标采用同比与环比双重对比法,并辅以控制图分析故障率波动是否显著收窄,以客观数据量化改进成效,验证各项策略的实际价值。(2) 生产效率、运维成本优化效益分析:在生产端,统计因设备停机减少所避免的产量损失,折合为产能提升收益;同时计算因设备稳定性提高而减少的试产废品率,折算材料节约。在运维端,核算维修人工工时费下降总额、备件消耗成本缩减幅度及巡检效率提升带来的间接收益。汇总后计算优化改造总投入的静态投资回收期,为后续同类系统改造的经济性评估提供可靠参考依据。

结束语

本文系统归纳了PLC电气控制系统的常见故障与形成原因,搭建了规范化的故障排查流程与处置体系,针对性提出硬件升级、软件优化、智能预警及运维制度完善等改进方案。实测数据表明,优化策略可有效降低设备故障率,缩短故障修复时间。后续可结合智能化监测技术升级运维模式,持续完善控制系统保障体系,助力工业自动化生产高效、安全、稳定运行。

参考文献

- [1] 邓国泉.基于深度学习的工业电气自动化系统故障诊断与智能优化控制[J].电气技术与经济,2024,23(08):60-62.
- [2] 罗宪昌.基于PLC的工业生产线自动化控制系统优化与故障诊断研究[J].现代工程科技,2025,4(09):137-140.
- [3] 梁大林.电气自动化PLC控制系统故障排查与系统优化改进[J].自动化技术与应用,2023,42(11):156-159.
- [4] 张宏.PLC化工电气控制系统故障分析与运行优化对策[J].化工自动化及仪表,2022,49(07):921-925.
- [5] 窦苑倩.基于PLC控制的电气系统故障诊断技术及改进措施[J].家电维修,2025,19(01):140-142.