

工业电气控制系统的常见故障排查与维护策略

常莉萍

中国华电集团有限公司甘肃分公司，甘肃兰州，730000；

摘要：工业电气控制系统是现代工业生产的核心组成部分，承担着设备运行控制、参数调节、安全保护等关键功能，其运行稳定性直接决定工业生产效率、产品质量与生产安全。在工业生产持续自动化、智能化发展的背景下，电气控制系统结构愈发复杂，涵盖电气元件、线路、PLC、变频器、传感器等多类设备，受运行环境、设备老化、操作规范、维护水平等多重因素影响，故障发生率居高不下，易引发生产停机、设备损坏乃至安全事故。本文基于工业电气控制系统运行实际，系统梳理常见故障类型，深入剖析故障诱发核心原因，总结科学高效的故障排查方法，提出针对性、可落地的维护策略，旨在提升系统故障处置效率，降低故障发生率，保障工业电气控制系统长期稳定、安全高效运行，为工业生产的连续性提供坚实技术支持。

关键词：工业电气；控制系统；故障排查；维护策略；运行稳定性

DOI：10.69979/3029-2727.26.02.082

引言

随着工业4.0理念的深入推进，自动化、智能化技术在工业生产领域全面普及，工业电气控制系统已成为机械制造、化工、电力、冶金、轻工等众多行业不可或缺的核心装置。该系统融合电气控制、计算机技术、电子技术、传感技术等多学科技术，实现了工业设备的自动启停、速度调节、流程控制、故障报警等一体化功能，大幅提升了工业生产的精细化、高效化水平。在长期连续运行过程中，工业电气控制系统所处环境复杂，多伴随粉尘、潮湿、高温、电磁干扰、腐蚀性气体等不利因素，加之设备自身老化、操作不规范、日常维护不到位、系统设计缺陷等问题，各类故障频发。轻微故障会导致设备运行异常、生产精度下降，严重故障则会造成全线生产停机、核心设备损毁，甚至引发触电、火灾等安全事故，给企业带来巨大的经济损失，威胁操作人员的生命安全。

1 工业电气控制系统常见故障类型及成因分析

1.1 硬件故障

(1) 控制单元故障

控制单元以PLC、变频器为核心，是故障高发部位。PLC故障主要包括电源模块故障、CPU模块故障、I/O接口故障、通讯模块故障。电源模块故障多表现为供电异常、系统死机，成因主要是电源电压波动、滤波电容老化、散热不良导致模块烧毁。CPU模块故障表现为程序运行中断、系统无响应，多由长期高温运行、电磁干扰、元件老化引发。I/O接口故障表现为信号无法输入或输出，多因接口松动、触点氧化、过载损坏导致。变

频器故障主要包括过流故障、过压故障、过载故障、散热故障，成因多为负载突变、参数设置不合理、散热风扇损坏、电网电压不稳定，长期运行会导致变频器模块烧毁，影响电机调速与运行。

(2) 执行元件故障

执行元件故障主要集中在电机、继电器、接触器、电磁阀等设备。电机故障表现为无法启动、异常噪音、温度过高、转速异常，成因包括绕组短路、轴承磨损、负载过大、缺相运行、绝缘老化，是工业生产中导致停机的主要原因之一。继电器、接触器故障表现为触点粘连、线圈烧毁、吸合不良，多因电流过大、触点氧化、频繁启停、粉尘污染导致，会造成控制指令无法正常执行。电磁阀故障表现为阀芯卡滞、泄漏、无法开关，主要由介质杂质、密封件老化、供电异常引发。

(3) 检测元件故障

传感器、变送器检测元件是系统信号采集的核心，故障表现为信号失真、无信号输出、数据偏差过大。温度、压力、流量传感器易受运行环境影响，出现零点漂移、灵敏度下降，如温度传感器零点漂移0.5%即可导致PID控制器超调量增加30%。接近开关、光电开关易受粉尘、油污遮挡，出现信号误判或丢失，多因安装位置偏移、元件老化、电磁干扰导致，无法精准采集运行参数，进而造成系统控制逻辑混乱。

(4) 辅助设备故障

辅助设备故障主要包括散热装置失效、防雷装置损坏、控制柜变形等。散热风扇、空调等散热设备故障会导致控制柜内温度过高，加速元件老化。防雷装置损坏会使系统在雷雨天气遭受雷击，烧毁核心元件。控制柜密封不严会导致粉尘、湿气进入，加剧设备损坏。

1.2 软件故障

随着系统智能化水平提升,软件故障发生率逐年上升,具有隐蔽性强、排查难度大的特点,主要表现为程序异常、控制逻辑混乱、参数错误、通讯故障。程序故障是最常见的软件故障,包括程序丢失、逻辑错误、死循环、运行卡顿。部分企业因未及时备份程序,在突然断电、电压冲击后易出现程序丢失,导致系统无法运行。

1.3 线路故障

线路故障贯穿整个电气控制系统,具有突发性、隐蔽性特点,易引发短路、断路、漏电等安全隐患,主要包括线路短路、断路、接触不良、绝缘老化。线路短路多因导线绝缘层破损、线路搭接、接线错误导致,短路瞬间会产生大电流,烧毁熔断器、断路器,甚至引发火灾。

2 工业电气控制系统故障排查原则与常用方法

2.1 故障排查基本原则

先易后难: 优先排查直观、简单的故障,如电源通断、指示灯状态、线路松动、元件明显损坏,再排查复杂、隐蔽的故障。先外后内: 先检查控制柜外部设备、线路、操作装置,再排查控制柜内部元件、控制单元,减少不必要的拆机操作。先硬件后软件: 先排除电源、元件、线路等硬件故障,再检查程序、参数、通讯等软件故障,避免盲目调试软件。先主后次: 优先排查核心控制设备、关键执行元件,快速恢复核心生产功能,再处理次要故障。安全优先: 排查前切断电源,做好安全防护,避免触电、短路等安全事故,严禁带电违规操作。

2.2 常用故障排查方法

(1) 直观检查法

直观检查法是最基础、最便捷的排查方法,依靠运维人员的视觉、听觉、触觉、嗅觉直接判断故障。视觉观察设备指示灯状态、元件外观、线路完整性,查看是否有元件烧毁、鼓包、脱落、线路断裂、冒烟等现象。听觉聆听设备运行声音,判断是否有异常噪音、异响,如电机异响、接触器吸合异常。触觉触摸元件外壳,检测温度是否过高,判断散热、过载情况。嗅觉辨别是否有烧焦、异味,快速定位烧毁元件。该方法适用于故障表现明显的初步排查,无需专业工具,但依赖运维人员经验。

(2) 仪器检测法

仪器检测法是精准排查故障的核心方法,借助专业电气检测工具,测量系统运行参数,对比标准值判断故障。常用仪器包括万用表、钳形电流表、示波器、绝缘电阻测试仪、故障诊断仪等。用万用表测量电压、电流、

电阻,判断电源、元件、线路通断与参数是否正常。用钳形电流表检测电机、线路电流,排查过载、短路故障。用示波器检测信号波形,判断信号传输是否失真。用绝缘电阻测试仪检测线路、元件绝缘性能,排查绝缘老化、漏电故障。用 PLC、变频器专用诊断仪,读取故障代码、运行数据,快速定位控制单元故障。该方法检测精度高,适用于隐蔽性、复杂性故障排查。

(3) 替换排除法

替换排除法适用于元件故障的精准定位,针对疑似故障元件,用同型号、同规格的完好元件替换,观察系统运行状态是否恢复正常。如 PLC 电源模块故障、传感器故障、继电器故障,均可采用该方法。若替换后系统运行正常,说明原元件损坏,反之则排除该元件故障。该方法操作简单、判断精准,可快速锁定故障元件,但需储备充足的备用元件,适用于现场应急故障处置。

(4) 分段排查法

分段排查法将复杂的电气控制系统划分为供电回路、控制回路、信号回路、执行回路等多个独立区段,逐段排查故障。先判断故障所在区段,再逐步缩小排查范围,定位具体故障点。如供电系统故障,先查主回路通断与保护装置,再测控制回路电压,最后排查元件故障。通讯故障分段检查物理线路、通讯模块、协议参数,快速定位故障环节。该方法逻辑清晰,适用于复杂性故障排查,有效提升排查效率。

3 工业电气控制系统针对性故障排查策略

3.1 硬件故障排查策略

(1) 控制单元故障排查

PLC 故障排查: 首先检查电源模块,测量输入输出电压,排查电源波动、模块损坏问题。若电源正常,查看 CPU 模块指示灯,判断程序运行状态,通过编程软件读取故障信息,修复或重新下载程序。I/O 接口故障,检查接线、触点状态,通过替换模块、强制信号测试,定位接口故障并修复。变频器故障排查: 根据故障代码判断故障类型,过流故障排查电机负载、线路短路。过压故障排查电网电压、制动单元,过载故障排查负载大小、参数设置,同时检查散热系统,清理散热风扇灰尘,确保散热正常。

(2) 执行元件故障排查

电机故障: 先检查电源、线路通断,测量绕组电阻、绝缘电阻,排查缺相、短路、绝缘老化问题;检查轴承、负载,判断是否存在卡滞、过载,及时更换损坏部件。继电器、接触器故障: 检查触点状态、线圈电阻,清理触点氧化层,更换烧毁线圈、粘连触点。电磁阀故障: 检查供电、阀芯状态,清理杂质、更换密封件,解决卡

滞、泄漏问题。

(3) 检测元件故障排查

传感器故障：清洁探头、检查安装位置，测量输出信号，对比标准参数，排查零点漂移、灵敏度下降问题。通过替换完好传感器，判断元件是否损坏，及时校准或更换故障传感器，保障信号采集精准。

3.2 软件故障排查策略

程序故障：首先备份现有程序，检查程序代码，修复逻辑错误、删除冗余代码，重新下载正版程序。针对程序丢失问题，调用备份程序恢复运行。参数故障：对照工艺标准，核对控制参数、校准参数、通讯参数，修正偏差值，重新调试校准。

通讯故障：检查通讯线路、接口、终端电阻，确认通讯协议、设备地址、波特率设置匹配，解决数据丢包、传输中断问题，保障数据交互稳定。

3.3 线路故障排查策略

线路故障排查遵循“先主干后分支、先电源后信号”原则。短路故障：断开负载，用万用表逐段测量，找到短路点，修复绝缘层、规范接线。断路故障：测量线路通断，紧固松动端子、修复断裂导线。接触不良故障：清洁氧化插头、紧固接线端子，确保连接牢固。绝缘老化故障：更换老化线路，做好绝缘防护，提升线路安全性。

4 工业电气控制系统维护策略

4.1 完善日常预防性维护，消除潜在故障隐患

日常维护是保障系统稳定运行的基础，需落实每日、每周常态化维护工作。每日检查设备运行状态、指示灯、报警装置，监控运行参数，清理设备表面粉尘、油污，确保散热通畅。检查控制柜密封状态，防止湿气、粉尘进入，规范设备操作，严禁违规启停、强行操作。每周全面检查线路连接、元件触点，紧固松动端子，清洁传感器探头。检查散热装置、防雷装置运行状态，及时清理散热风扇堵塞。查看电源电压、电流，确保供电稳定。

4.2 落实定期专业维护，延长设备使用寿命

定期维护由专业运维人员执行，制定月度、季度、年度维护计划，按计划开展全面检修与保养。月度维护：全面检测核心元件性能，校准传感器、变送器参数，测试继电器、接触器触点性能，检查电机绝缘、运行状态；清理控制柜内部灰尘，检查线路绝缘性能。季度维护：深度检测 PLC、变频器等控制单元，升级软件、修复程序漏洞，测试通讯系统稳定性。检查线路老化情况，更换老化严重的线路与元件。对电机、执行元件进行润滑

保养，减少机械磨损。年度维护：开展系统全面检修，评估设备运行寿命，更换达到使用年限的元件与线路。全面优化控制程序、校准系统参数，对系统进行整体调试，做好维护记录，建立设备运行档案，评估维护效果。

4.3 强化设备全生命周期管理，优化设备运行状态

建立电气控制系统设备全生命周期管理体系，从设备采购、安装、运行、维护到报废全程管控。采购环节优选质量可靠、性能稳定、兼容性强的设备与元件，严把质量关。安装环节规范施工，合理布线、做好绝缘与防护，避开高温、潮湿、强干扰区域，确保安装质量。运行环节实时监控设备运行参数，建立设备运行台账，记录运行时间、故障次数、维护情况；根据设备运行状态，合理调整运行负荷，避免过载运行。备件管理环节，储备常用易损元件、核心备件，标注型号、规格，做好防潮、防尘保管，确保故障发生后可快速更换，缩短停机时间。

4.4 提升运维人员专业素养，规范运维操作

运维人员专业能力直接决定维护质量与故障排查效率。企业定期开展专业培训，内容涵盖系统原理、元件性能、故障排查方法、维护操作规范、软件调试技术、安全操作流程等，提升运维人员理论水平与实操能力。组织技术交流、案例分析会议，分享故障排查与维护经验，提升复杂故障处置能力。严格落实持证上岗制度，要求运维人员熟练掌握系统运维技能与安全操作规范。建立考核机制，将维护质量、故障处置效率纳入绩效考核，激发运维人员工作积极性。

5 结语

工业电气控制系统作为现代工业生产的核心支撑，其运行稳定性直接关乎企业生产效率、经济效益与生产安全。系统故障类型复杂多样，硬件故障、软件故障、线路故障、环境与人为故障相互交织，给故障排查与维护工作带来诸多挑战。在实际运维过程中，需精准把握各类故障的表现形式与诱发原因，遵循科学的排查原则，灵活运用直观检查、仪器检测、替换排除、分段排查等多种方法，快速定位并处置故障。

参考文献

- [1] 丁健. 电气自动化控制系统的故障诊断与维护研究[J]. 当代电力文化, 2026(01): 112-113.
- [2] 胡坚哲. 智能传感器技术在电气自动化控制系统中的应用与发展[J]. 产品可靠性报告, 2026(02): 37-38.
- [3] 刘侠. 电气自动化控制系统的可靠性分析与提升策略研究[J]. 中国井矿盐, 2025, 56(04): 28-29.