

机电设备电气控制系统常见故障诊断与处理策略探讨

任少杰

杭州杭港地铁五号线有限公司 浙江 杭州 311100

【摘要】：机电设备电气控制系统作为现代工业生产的重要组成部分，其稳定性直接关系到整体设备运行的效率与安全性。本文围绕该系统在运行过程中常见的故障现象进行系统分析，从故障类型入手，总结其产生原因，并探讨高效的诊断方法与处理策略。对典型案例的归纳与对比，提出具有实际指导意义的应对措施，为相关技术人员在实际维护与管理中提供参考。研究表明，科学的诊断方法与合理的处理机制能够显著提升故障应对效率，降低维修成本。

【关键词】：机电设备；电气控制系统；故障诊断；处理策略；系统稳定性

DOI:10.12417/2705-0998.25.20.074

引言

工业自动化水平的不断提高，使得机电设备电气控制系统在各类生产场景中的地位愈发关键。复杂的运行环境与持续高负荷的工作状态，使该系统面临多种潜在故障风险。如何快速、准确地识别故障并及时处理，成为提高设备运行效率和延长使用寿命的重要课题。本文在分析常见故障表现形式的基础上，结合当前主流诊断技术，深入探讨行之有效的处理对策，力求为实际应用提供理论与方法支持。

1 机电设备电气控制系统的构成与运行特性

机电设备电气控制系统作为现代工业自动化中的核心组成部分，其构成和运行特性对整个设备的性能与稳定性有着决定性影响。该系统主要由供电系统、控制单元、执行机构、信号采集装置及保护装置等组成，彼此之间经过信号传输和电能转换实现协同运行。供电系统通常包括变压器、开关柜、配电装置等，确保电能稳定供应。控制单元多采用可编程控制器（PLC）、工业计算机或嵌入式控制器，负责处理输入信号并输出控制命令，是整个系统的大脑。执行机构如电动机、继电器、接触器等，按照指令完成相应的动作。信号采集装置经过传感器对温度、电流、电压、转速等关键运行参数进行实时监测，能全面反映机电设备当前的工作状态，还能对异常波动进行及时反馈。采集到的数据经由模拟或数字信号转换后传输至控制单元，使其能够快速响应并做出调整，从而实现高效、稳定的自动化控制过程。

在运行特性方面，该类系统具有高度自动化、响应速度快和系统集成度高的特点。电气控制系统能够实现对机电设备运行状态的精准控制与实时调整，从而提升生产效率和设备利用率。系统通常具备闭环控制特性，经过反馈机制不断修正控制输出，提高整体控制精度和稳定性^[1]。控制逻辑在 PLC 或其他控制器中经过梯形图、功能块或结构化文本编程实现，具备较强的灵活性与可扩展性。系统普遍配备多重保护功能，如过载保护、短路保护、欠压保护和接地保护等，以确保设备在异常情况下能够迅速切断电源，防止故障扩大，保障人员与设备安

全。

实际应用中，机电设备电气控制系统广泛应用于数控机床、自动化生产线、电梯系统、起重设备等领域。针对不同类型的机电设备，系统配置也具有差异性，高精度机械设备通常要求更高的控制精度与抗干扰能力，而大型动力设备则更注重电力传输的可靠性与过载能力。这些差异性决定了控制系统在设计和调试阶段必须进行个性化配置和多参数优化，才能满足设备运行需求。为保证系统长期稳定运行，还需定期进行状态监测与预防性维护，及时发现和处理潜在隐患，防止因局部故障引发系统性故障，从而提升整体设备的可用性与安全性。

2 常见故障类型及其成因分析

机电设备电气控制系统在长时间运行中易出现多种类型的故障，常见的包括控制回路故障、执行机构故障、传感器信号异常和供电系统故障等。控制回路中常见的问题如接触不良、线路短路、控制器程序紊乱等，往往导致系统无法按预期逻辑动作。执行机构如交流接触器、电磁阀、电动机等发生机械卡滞、线圈烧毁或响应迟缓时，会直接影响到设备的动作效果和运行效率。传感器部分若出现采样误差、线路老化或干扰信号强烈，则会导致反馈信号不准确，进而引发控制误差。供电系统故障多表现为电压不稳、断电、过载或电缆损坏，这些问题在高负荷运行或恶劣环境中尤其常见，极易造成系统瘫痪或元件烧毁。

故障产生的成因往往具有多方面的特征，既可能来自外部环境的影响，也可能源于系统内部元件老化、设计缺陷或维护不当。在高温、高湿或粉尘环境下运行的设备，其电气元件更容易出现绝缘老化、接线端子腐蚀、短路等问题，严重时甚至可能引发电气火灾^[2]。在控制系统层面，程序逻辑设计不严谨、抗干扰能力差、元器件选型与实际负载不匹配，均可能埋下隐患。部分企业在设备使用中忽视定期保养与巡检，导致微小故障得不到及时处理，逐渐演变为系统性故障。人为操作失误如非法操作、接线错误或参数设置不当等也常成为故障诱因，尤其是在设备调试或更换部件期间更为频繁。

在实际生产现场，复杂的工作条件与不确定的负载变化使得故障表现形式更加多样化，也对诊断和处理提出更高要求。电动机过载运行时可能导致绕组过热烧毁，但其前期表现可能仅为转速波动或启动困难，需要技术人员具备较强的识别与判断能力。再如 PLC 控制系统出现 I/O 点异常或通信失败，往往需要结合编程软件、监控系统和信号分析仪器进行多维度排查，不能依赖单一手段。深入了解常见故障类型及其成因，有助于建立完善的预警机制与维护策略，从而提高系统的运行可靠性，降低设备故障率，为机电设备的稳定运行奠定技术基础。

3 典型故障诊断技术的应用现状

在机电设备电气控制系统的运行过程中，故障诊断技术的及时有效应用直接关系到设备的安全性与连续性。目前常用的诊断技术主要包括状态监测法、故障树分析法、专家系统诊断、神经网络算法以及基于信号处理的频域分析等。这些技术在实际应用中各具优势，状态监测法以传感器采集的数据为基础，电压、电流、温度、振动等参数变化趋势判断系统运行状态；故障树分析则将可能的故障路径逻辑化，从顶层故障结果反推出可能的原因，有助于系统性思考问题根源；专家系统诊断融合领域专家经验，知识库与推理机制实现对故障的快速定位，适用于重复性高的设备诊断工作；而神经网络及机器学习方法则更适合处理非线性复杂问题，在面对未知或多源干扰环境中展现出较强的适应能力。

当前在工业现场，这些诊断技术多以组合方式进行集成应用，形成智能化故障诊断平台。以 PLC 控制系统为例，现代 PLC 多数配备自诊断功能，能够实时监测输入输出状态、模块连接情况及运行参数变化，一旦出现异常可在监控系统中即时报警，提示维修人员处理^[3]。在电动机系统中，利用电流信号的时域和频域分析，能够有效识别出绕组故障、轴承磨损或不平衡问题。振动分析仪广泛应用于旋转机械中，用于捕捉微小的机械异常。部分高端系统更引入了红外热成像技术和无线传感网络，实现对关键部件的无接触实时监控，有效提升诊断覆盖率和准确性。诊断系统的可视化设计也在不断优化，技术人员可经过人机界面（HMI）或远程监控平台直观了解系统状态与报警信息。

尽管技术发展迅速，故障诊断在实际应用中仍面临若干挑战，如传感器精度受限、数据处理复杂度高、现场环境干扰大以及模型适应性不强等问题。部分中小型企业因成本限制，尚未全面普及智能诊断系统，仍依赖人工经验进行判断，存在反应滞后和判断偏差的风险。诊断系统的建设离不开长期稳定的数据积累和模型训练，对于运行数据缺失或参数不规范的设备，诊断效果会受到显著影响。因此，在实际应用中应结合设备类型、运行环境与技术能力，因地制宜选择适配的诊断手段，并强化数据管理与技术培训，提升整体诊断效能，为机电设备电气控制系统的稳定运行提供技术保障。

4 高效处理策略与实用维修方法探析

在机电设备电气控制系统的故障处理中，构建一套高效的处理策略是保障设备持续稳定运行的关键。高效处理体现在响应速度上，更强调问题解决的系统性与可持续性。当前的实践中，注重预防性维护与快速响应机制成为主流方向。建立设备运行档案与故障数据库，有助于技术人员快速调取历史记录，进行类比分析，提高故障定位的准确率。制定标准化操作流程和应急处理预案，可以在设备出现故障时，明确分工、快速协作，缩短停机时间。在关键节点配置状态监测系统与报警联动装置，也可在故障发生初期实现精准预警，避免问题扩大化，提升处理效率。

实用的维修方法需紧贴系统结构与运行特性，讲究可操作性与技术匹配性。电气控制系统的维修一般包括控制电路检查、接线状态确认、模块功能测试及电气元件更换等。在控制器故障中，PLC 编程软件进行在线诊断，查看程序逻辑和 I/O 点状态，是排查系统逻辑错误与硬件故障的有效手段^[4]。对于继电器、电容、电机等元件的物理性损坏，应采用绝缘测试、电阻检测等手段评估元件状况，确保更换后的部件参数匹配系统要求。在执行机构层面，应关注驱动装置与机械联动部分的配合状态，避免因电气故障引发的机械卡滞问题。利用热成像仪、示波器等检测工具辅助维修工作，可提高判断的精确性和作业的安全性，避免拆装过程中对系统造成二次伤害。

为了实现处理效率与维修质量的同步提升，还需构建完善的技术培训与评估机制。操作人员需具备一定的电气识图能力与控制系统分析能力，能够独立完成基础性排障工作。在大型或高复杂度设备中，应推行“点检-诊断-维修”三位一体的维保体系，结合周期性检修与数据分析，对故障高发环节实施重点巡查。采用模块化设计理念对系统进行合理优化，在故障发生后能够快速定位并更换模块，降低整体维修难度。高效处理策略与实用维修方法的有机结合，能提升系统稳定性和安全性，还能有效延长机电设备电气控制系统的使用寿命，为生产运行提供坚实支撑。

5 提升系统稳定性的综合对策研究

机电设备电气控制系统的稳定性直接关系到整个设备运行的连续性与安全性，因此，提升系统稳定性已成为设备管理和技术改造中的重点目标。稳定性的建立依赖于系统结构的合理性、控制逻辑的严谨性以及元器件性能的可靠性。应在系统设计阶段就充分考虑抗干扰能力、电磁兼容性和信号完整性等技术要求，合理布线、隔离电路、屏蔽处理等手段降低外部干扰的影响。控制系统中关键模块应采用工业级高可靠性器件，并设置冗余控制路径，以增强系统在突发情况下的恢复能力。在复杂工况下运行的设备，应优先采用具备强环境适应能力的模块化控制系统，实现对故障影响的局部隔离，防止连锁反应

导致系统性瘫痪。

提升系统稳定性还必须建立一套完善的运行监控与数据分析机制。安装多维度传感器采集设备关键运行参数，如电流、电压、温升、振动频率等，配合 PLC 或 DCS 系统进行实时数据记录与趋势分析，可以实现对异常波动的精准捕捉^[5]。在此基础上引入预测性维护模型，基于神经网络或模糊逻辑算法的智能诊断平台，可在潜在故障发生前发出预警信号，指导现场人员提前调整运行参数或执行预处理操作。对于控制逻辑而言，应定期进行程序审核与优化，确保逻辑链条闭合、无死循环，并能够根据工艺要求适时调整响应策略，提高系统适应变化工况的能力。加强软件与硬件之间的容错设计，设定软限位、超时保护与故障自恢复机制，降低瞬态故障对整体系统造成的影响。

保障稳定性的长效机制还需依靠制度建设与人员能力的持续提升。构建科学的维保计划和定期巡检制度，制定涵盖硬件检测、控制程序校验、系统响应测试的技术规范，可以确保

系统长期处于良好状态。操作与维护人员应接受系统性培训，掌握最新的控制技术与故障应对手段，具备独立分析与处理复杂问题的能力。在系统运行过程中，需强化对关键部位的记录与跟踪管理，接地系统、电缆连接点、模块接口等，以便在发生隐性故障时能快速定位并处理。技术、管理与人才的多维联动，形成稳定性建设的闭环体系，将显著提升机电设备电气控制系统在复杂环境下的运行可靠性与故障抵抗能力。

6 结语

本文围绕机电设备电气控制系统的常见故障、诊断技术与处理策略展开深入探讨，全面分析了系统构成、故障成因、诊断方法及稳定性提升路径。在现代工业生产日益复杂化的背景下，提升电气控制系统的运行可靠性和维护效率显得尤为重要。科学的技术应用与规范化的管理措施，能够有效降低设备故障率，延长使用寿命。未来应持续推进智能化、预测性维护手段的应用，不断优化系统性能，确保机电设备安全、稳定、高效运行。

参考文献：

- [1] 刘宇轩,郭蔡果荟,于翀,等.基于数字孪生的机械设备运行状态监测技术研究综述[J].计测技术,2025,45(05):48-67.
- [2] 高宇.基于红外图像的输电线路设备缺陷检测研究[D].扬州大学,2025.
- [3] 刘凯.基于分布式功能架构的硬件驱动与健康管理器的设计与实现[D].大连交通大学,2025.
- [4] 姜锋.基于数据驱动的车载高压断路器寿命预测[D].大连交通大学,2025.
- [5] 翟海波.多工况下移相变压器运行特性仿真研究[D].石家庄铁道大学,2025.