

# 电气自动化设备的故障诊断与维修技术研究

李 权

中冶焦耐(大连)工程技术有限公司 辽宁 大连 116026

**摘要:** 电气自动化设备在工业生产中作用关键,故障影响重大。本文深入剖析机械磨损、电气故障、控制系统异常及软件通信问题等故障类型与特征。详细阐述传统、基于信号处理、模型及人工智能的故障诊断技术,以及预防性、纠正性维修策略与维修工具、流程优化等维修技术。还探讨故障诊断与维修协同、远程支持、自修复与主动维护等集成应用,为保障电气自动化设备稳定运行、提升运维效率提供全面参考。

**关键词:** 电气自动化设备;故障诊断;维修技术;集成应用;预防性维修

引言:在工业自动化快速发展的当下,电气自动化设备成为推动各行业生产效率提升的关键力量。其稳定运行直接关系到生产流程的连续性、产品质量稳定性以及企业经济效益。然而,由于设备结构复杂、运行环境多样,故障时有发生。准确诊断故障并高效维修,成为保障设备正常运行的核心任务。深入探究电气自动化设备故障诊断与维修技术,对提升设备可靠性、降低运维成本、增强企业竞争力具有重要意义。

## 1 电气自动化设备故障类型与特征分析

### 1.1 机械故障

机械故障是电气自动化设备常见故障形式,多与设备运行磨损、维护不当相关。传动系统故障主要表现为磨损、断裂与变形,长期高负荷运行会导致传动部件逐渐损耗,出现配合间隙增大、传动精度下降等问题,严重时引发部件断裂或形态变形,影响设备整体运行连贯性<sup>[1]</sup>。轴承失效与润滑故障密切相关,润滑不足或润滑油变质会加剧轴承内部摩擦,导致轴承磨损、卡顿,进而出现转动不畅、温度升高等现象,最终造成轴承失效。机械振动与噪声异常是机械故障的直观表现,部件磨损、装配偏差会破坏设备运行平衡性,产生不规则振动,同时伴随异常噪声,振动频率与噪声强度会随故障程度加重而变化,可作为故障判断的重要依据。

### 1.2 电气故障

电气故障直接影响设备供电与电路正常运转,涵盖多个核心电气部件。电源系统故障主要包括电压波动、短路、断路,电压波动会导致设备运行不稳定,电子元件受损,短路与断路则会直接切断供电回路,造成设备停机,甚至引发安全隐患。电路元件故障集中表现为老化与失效,电阻、电容、电感等基础元件长期工作在高温、高电压环境下,会出现性能衰减、参数漂移,最终失去原有功能,导致电路导通异常、信号传输受阻。电

机故障是电气故障的重点类型,绕组短路会造成电机电流过大、发热严重,绝缘损坏会引发漏电风险,转子不平衡则会导致电机转动偏心、振动加剧,影响电机输出功率与运行稳定性。

### 1.3 控制系统故障

控制系统作为设备运行的核心指挥单元,其故障会导致设备无法正常响应指令。传感器故障主要表现为信号失真、漂移、失效,传感器负责采集设备运行参数,受环境干扰、元件损耗影响,会出现采集信号偏差、数值漂移,严重时完全失效,导致控制器无法获取准确运行数据,无法实现精准控制。执行器故障表现为动作延迟、卡滞、输出异常,执行器接收控制器指令后,因部件磨损、气动或液压系统异常,出现动作滞后、无法正常伸缩或转动,输出参数偏离设定值,影响设备执行精度。控制器故障包括程序错误、通信中断、硬件损坏,程序错误会导致控制逻辑混乱,通信中断会造成控制器与各部件信号失联,硬件损坏则会直接导致控制系统瘫痪,设备无法正常运行。

### 1.4 软件与通信故障

软件与通信故障多与系统设置、网络环境相关,易被忽视却影响设备正常运行。程序逻辑错误与死机主要源于软件设计缺陷或运行过载,程序逻辑不合理会导致指令执行混乱,设备出现误操作,运行负荷过大或程序冲突则会引发设备死机,所有操作无法响应,需重启设备才能恢复。网络通信故障表现为中断与数据丢失,通信线路损耗、网络干扰会导致设备各模块间通信中断,数据传输受阻,部分关键运行数据丢失,影响设备协同运行与参数追溯。人机界面显示异常会阻碍操作人员对设备状态的判断,表现为显示错乱、黑屏、按键无响应,多由界面硬件损坏或软件程序故障导致,无法正常显示设备运行参数与故障信息。

## 2 电气自动化设备故障诊断技术

### 2.1 传统故障诊断方法

传统故障诊断方法操作简便、适用性强,是电气自动化设备故障排查的基础手段。直观检查法通过观察、听诊、触摸三种方式排查故障,观察聚焦设备外观状态,查看部件是否存在破损、松动、锈蚀等异常;听诊关注设备运行时的声音,分辨是否存在不规则声响;触摸则检查设备关键部件温度与振动情况,判断是否存在过热、异常振动等问题<sup>[2]</sup>。参数测量法通过专业仪器检测设备运行时的电压、电流、电阻、温度等核心参数,对比标准参数范围,排查参数偏离引发的故障,精准定位参数异常对应的部件问题。替换法核心是通过更换疑似故障元件,判断故障是否消除,选取规格匹配的正常元件替换可疑部件,根据设备运行状态变化,确定故障点具体位置,操作便捷且定位精准。

### 2.2 基于信号处理的故障诊断技术

基于信号处理的故障诊断技术依托设备运行信号分析排查故障,核心是提取信号中的故障特征。时域分析法通过分析信号波形、提取特征参数排查故障,捕捉信号幅值、频率、相位等变化规律,通过波形畸变、幅值波动等异常,判断设备故障类型与严重程度。频域分析法借助傅里叶变换、频谱分析等手段,将时域信号转换为频域信号,分析信号频率分布特征,识别隐藏在时域信号中的故障信息,适用于排查周期性故障。时频分析法结合时域与频域分析优势,通过小波变换、短时傅里叶变换等方法,处理非平稳信号,精准捕捉信号在不同时间与频率范围内的变化,可有效排查瞬时性、突发性故障。

### 2.3 基于模型的故障诊断技术

基于模型的故障诊断技术以设备数学模型为基础,通过对比模型输出与实际运行状态排查故障。状态估计法通过卡尔曼滤波、观测器设计等方式,基于设备模型估计运行状态,对比估计值与实际测量值,根据偏差判断故障是否存在及故障位置。参数估计法采用最小二乘法、极大似然估计等手段,估算设备模型参数,通过参数变化趋势识别故障,当参数偏离标准范围时,可判定对应部件存在故障隐患。等价空间法通过残差生成与评价实现故障诊断,利用设备输入输出信号构建等价空间,生成残差信号,通过评价残差变化特征,判断设备是否存在故障,兼具精准性与可靠性。

### 2.4 基于人工智能的故障诊断技术

基于人工智能的故障诊断技术依托智能算法实现故障自主排查,适配复杂设备故障诊断需求。专家系统通

过构建知识库、完善推理机制,整合故障诊断经验与知识,模拟专家诊断思路,实现故障识别与定位。神经网络涵盖BP网络、RBF网络及深度学习等类型,通过模拟信号传递过程,自主学习设备故障特征,无需复杂模型即可实现故障精准诊断,适配多类型、复杂故障排查。模糊逻辑通过模糊推理与决策,处理故障诊断中的模糊信息,解决参数模糊、边界不清的故障判断难题。支持向量机用于故障分类与回归应用,可有效处理小样本故障数据,精准区分不同类型故障。进化算法包括遗传算法、粒子群优化等,优化故障诊断过程中的参数设置,提升诊断效率与准确性。

## 3 电气自动化设备维修技术

### 3.1 预防性维修策略

预防性维修策略核心是提前防范故障发生,降低设备故障发生率,保障设备长期稳定运行。定期维护聚焦设备日常养护,通过润滑、清洁、紧固等基础操作,减少部件磨损,避免杂质堆积影响设备运行,缓解部件松动引发的故障隐患,延长设备使用寿命<sup>[3]</sup>。状态监测维修依托振动、温度、油液分析等手段,实时掌握设备运行状态,捕捉部件运行异常信号,根据监测数据变化提前排查潜在故障,实现故障早发现、早处理。预测性维修以数据驱动为核心,通过分析设备运行数据,预测部件剩余使用寿命,结合寿命预测结果制定针对性维修计划,避免过度维修与维修不足,提升维修合理性与经济性。

### 3.2 纠正性维修技术

纠正性维修技术用于故障发生后快速处置,恢复设备正常运行,核心是精准高效解决故障问题。故障定位与隔离通过逻辑分析、信号追踪等方式,梳理设备运行逻辑,追踪异常信号传递路径,明确故障具体位置并与正常部件隔离,避免故障扩散影响其他模块。元件更换与修复涵盖焊接、机械加工、表面处理等操作,针对损坏元件,可通过焊接修复接触不良问题,借助机械加工校正变形部件,通过表面处理缓解部件锈蚀,无法修复的元件则更换规格匹配的新品。系统调试与校准通过合理设置参数、验证设备功能,确保维修后设备参数符合运行要求,功能恢复正常,避免维修后出现运行偏差。

### 3.3 维修工具与设备

维修工具与设备是保障维修工作高效开展的基础,根据用途分为不同类型。通用维修工具包括万用表、示波器、逻辑分析仪等,操作简便、适用性广,可用于检测电压、电流等参数,分析信号波形与逻辑关系,排查基础电气故障。专用维修设备涵盖电机测试仪、PLC编程器、网络诊断仪等,针对性适配特定设备或部件维修,

可精准检测电机性能、调试PLC程序、排查网络通信故障，提升维修精准度。智能化维修工具包括基于AR的远程协助、智能诊断终端等，依托先进技术优化维修流程，远程协助可实现异地技术支持，智能诊断终端可快速分析故障信息，提升维修效率与智能化水平。

### 3.4 维修流程优化

维修流程优化旨在提升维修效率，规范维修行为，积累维修经验。建立完善的故障报告与响应机制，明确故障报告流程与内容，确保故障发生后能够快速响应，及时启动维修工作，减少故障停机时间。合理开展维修任务分配与调度，结合维修人员专业能力、故障紧急程度，分配对应维修任务，优化调度方案，避免人力浪费，确保维修工作有序推进<sup>[4]</sup>。重视维修记录与知识管理，详细记录每次维修的故障情况、处理过程与结果，整理维修经验形成知识体系，为后续同类故障维修提供参考，提升维修工作的规范性与连续性。

## 4 故障诊断与维修技术的集成应用

### 4.1 故障诊断与维修的协同机制

故障诊断与维修的协同机制是提升设备运维效率的核心，核心是实现诊断与维修的双向联动、高效适配。诊断结果驱动维修决策，通过精准的故障诊断明确故障类型、位置及严重程度，为维修工作提供科学依据，针对性制定维修方案，选择合适的维修技术与工具，避免维修工作盲目开展，提升维修精准度与效率。维修过程反馈诊断优化，在维修实施过程中，梳理诊断结果与实际故障的契合度，记录诊断过程中出现的偏差，将维修过程中获取的故障信息反哺诊断技术优化，完善诊断模型与参数设置，提升后续故障诊断的准确性，形成诊断与维修相互促进、循环优化的良性机制。

### 4.2 远程故障诊断与维修支持

远程故障诊断与维修支持依托先进技术打破空间限制，提升设备运维的及时性与便捷性。物联网技术应用设备于设备监控，通过在设备关键部位部署传感设备，实时采集运行参数与状态信息，实现设备运行状态的远程实时监控，及时捕捉故障隐患与异常信号，为远程诊断提供数据支撑。云平台与大数据分析提供强力支持，将采集的设备运行数据与诊断信息上传至云平台，借助大数据分析技术挖掘数据背后的故障规律，精准识别潜在故

障，辅助远程诊断决策。远程专家系统与移动终端协同，专家系统整合海量运维经验与诊断知识，通过移动终端实现异地技术指导，维修人员可通过移动终端上传故障信息、接收专家指导，快速解决复杂故障，降低运维成本。

### 4.3 自修复技术与主动维护

自修复技术与主动维护聚焦设备故障的提前防控与自主处置，进一步提升设备运行稳定性。自诊断与自调整功能设计融入设备控制系统，设备可自主监测自身运行状态，实时排查潜在故障，当检测到参数偏离或轻微异常时，自主调整运行参数，修复轻微故障，避免故障进一步恶化<sup>[5]</sup>。容错控制与冗余设计提升设备抗故障能力，通过设置冗余部件与容错逻辑，当设备某一部件出现故障时，冗余部件可及时替代，容错逻辑可保障设备正常运行不受影响，减少故障停机损失。主动维护策略与实施以设备运行数据为基础，结合故障规律与部件损耗特点，提前制定维护计划，主动开展养护与部件更新工作，从源头减少故障发生，实现设备运维从被动处置向主动防控转变。

### 结束语

电气自动化设备故障诊断与维修技术是一个综合性、系统性的研究领域。通过对故障类型与特征的精准把握，运用多样化的故障诊断技术，结合科学合理的维修策略与工具，能够实现设备故障的快速定位与高效处理。故障诊断与维修技术的集成应用，进一步提升了设备运维的智能化与自动化水平。持续完善与优化这些技术，有助于更好地保障电气自动化设备的稳定运行，为工业生产的持续发展提供坚实支撑。

### 参考文献

- [1]李杨.冶金企业电气自动化设备故障检测及诊断[J].中国金属通报,2024(8):22-24.
- [2]李昊.船舶电气自动化发展及其设备故障排除[J].船舶物资与市场,2021,29(10):17-18.
- [3]田洪庆,刘群.电气自动化设备故障诊断与维修策略研究[J].时代汽车,2025,(18):19-21.
- [4]毕爽,叶天迟.基于电气控制的自动化设备故障诊断和预防策略[J].大众标准化,2025,(03):70-72.
- [5]陈刚.电气自动化设备故障诊断与预测维护技术进展探究[J].仪器仪表用户,2024,31(11):93-95.