

电气设备故障检测技术在自动化生产线中的应用

张国将

中冶天工集团有限公司 天津 300308

摘要：自动化生产线的连续稳定运行高度依赖电气系统的可靠状态支撑，故障检测技术是保障运行秩序的关键支撑手段。本文梳理自动化生产线电气设备的组成架构与常见故障类型，拆解不同检测技术的运行逻辑与应用场景，覆盖动力供电、运动控制、信号传输等核心作业环节，梳理技术适配优化、系统融合升级的可行路径，为工业电气运维体系的迭代提供清晰的实践参考。

关键词：电气设备故障检测技术；自动化生产线；状态参数监测；智能传感；无损检测

引言：工业生产场景下，自动化生产线的连续化作业模式对电气系统的运行稳定性提出了极高要求，电气设备的细微异常都可能引发连锁式的运行波动。长期高负荷运行状态下，各类电气部件的性能衰减与隐性损耗难以通过常规人工巡检完全覆盖，传统运维模式的滞后性逐步凸显。故障检测技术的深度嵌入，能够为电气设备的全状态把控提供全新的技术路径，相关技术的落地逻辑与应用方向，也成为工业运维领域持续探索的重要内容。

1 自动化生产线电气设备与故障检测基础体系

1.1 自动化生产线核心电气设备组成

自动化生产线的电气系统依托多类专用电气设备构成完整运行架构，各类设备分工明确且相互配合，支撑生产线连续稳定作业。控制系统设备为生产线核心管控载体，负责接收各类作业信号并输出运行指令，统筹调度全线设备运行状态。动力驱动设备承担电能转换与动力输出工作，为机械传动、物料输送等作业环节提供稳定动力支撑^[1]。信号传感设备实时采集生产线运行过程中的温度、位置、速度、压力等工况数据，将物理运行参数转化为可识别的电信号，为系统调控与状态监测提供数据支撑。线路与保护设备负责电能传输及电路防护，保障电气系统整体运行的稳定性与安全性，规避电气异常引发的设备停运问题。

1.2 自动化生产线电气设备故障主要类型

自动化生产线长期处于连续高强度运行状态，电气设备会出现多类常态化故障问题。电气线路故障多源于线路老化、接触不良或绝缘性能衰减，会造成电能传输不稳、信号传输异常等问题。元器件性能失效故障集中于传感元件、驱动元件、控制元件等核心部件，部件性能衰减或功能失效会直接改变设备运行参数，干扰生产线正常作业。系统程序故障源于控制程序参数偏移、程

序逻辑紊乱，会导致设备动作偏差、启停异常等运行问题。过载与短路故障由负荷超标、电路搭接异常引发，会触发电气保护机制，造成设备停机甚至部件损坏。

1.3 电气设备故障检测技术基本原理与特性

电气设备故障检测技术依托电气运行参数的变化规律开展状态判别，通过捕捉设备运行过程中的电流、电压、电阻等基础参数波动，研判设备内部的异常状态。参数监测技术依托专业检测装置采集实时电气数据，对比正常运行标准参数界定故障隐患，数据采集精度高，状态判别直观清晰。信号分析技术针对设备运行的电信号波形、频率变化进行深度解析，挖掘隐性故障对应的信号特征，精准识别设备运行中轻微的隐性异常。状态监测技术依托常态化数据追踪把控设备动态运行状态，捕捉设备性能渐变趋势，适配长期连续运行设备的故障预判场景。

1.4 自动化生产线对故障检测技术的基本要求

自动化生产线连续化、精密化的运行模式，对故障检测技术设定了严格的性能标准。检测技术需要具备较高的精准度，精准区分参数正常波动与设备真实故障，降低误判与漏判的发生概率。检测流程需要贴合生产线不间断作业特征，嵌入生产流程开展检测工作，不阻碍正常生产工序推进。检测系统需要兼容多种电气设备的硬件结构与运行逻辑，覆盖生产线全部电气单元的故障排查场景。检测数据需要具备快速响应能力，及时捕捉设备异常并反馈运行隐患，缩短故障处置响应时长。检测技术长期运行过程中需保持恒定检测精度，抵御工况波动带来的检测误差。

2 自动化生产线常用电气设备故障检测技术分类

2.1 状态参数检测技术

状态参数检测技术围绕电气设备运行过程中的物理与电气参数开展实时监测，依托参数变化规律判定设备

运行工况。技术应用过程中针对电流电压、运行温度、绝缘电阻、运行振动等关键参数开展持续性采集,贴合自动化生产线电气设备的运行工况特征^[2]。设备内部部件出现性能衰减或结构异常时,对应运行参数会出现规律性偏移,参数波动幅度能够直观反映设备异常的严重程度。该类技术适配生产线各类常规电气设备的日常巡检工作,适配长时间连续运行的工业电气工况,对常规电气损耗类异常具备良好的识别能力。该技术操作便捷、运行稳定、成本可控,可实现24小时不间断在线监测,无需人工频繁干预,能够精准捕捉设备渐进式损耗问题,是工业生产线上日常运维、常态化隐患排查的基础性核心技术。

2.2 信号采集与分析检测技术

信号采集与分析检测技术依托专业采集装置抓取电气设备运行过程中的动态信号,通过数字化处理方式完成信号拆解与特征提取。技术重点针对电流波形、电压波动、电磁脉冲等动态信号开展精细化分析,挖掘常规参数监测无法识别的细微异常。电气设备出现隐性故障时,运行信号会产生细微畸变与频率偏移,数字化分析手段可以精准捕捉这类微弱变化。该类技术多用于排查线路接触异常、元器件隐性老化等隐蔽性故障,有效填补常规参数检测的技术短板。

2.3 无损故障检测技术

无损故障检测技术在不拆解、不损伤电气设备结构的前提下完成故障排查与状态研判,适配精密电气设备的故障检测工作。技术依托声学、电磁、红外等多元检测原理,穿透设备外部结构检测内部构件的运行状态,识别内部老化、虚接、局部破损等异常问题。全程检测操作不会改变设备原有结构与运行状态,适配生产线不间断生产的作业需求。工业精密电气组件的内部故障排查大多依托该类技术完成,保障设备完整性的同时完成全面故障筛查。

2.4 智能传感检测技术

智能传感检测技术依托高精度智能传感元件采集电气设备运行的多元工况信息,依托数字化传输与数据处理模式实现动态监测。智能传感元件可以贴合电气设备安装布局,全天候捕捉设备运行的细微工况变化,完成数据的实时传输与存储。采集后的多元数据可对接后台数据系统,实现电气设备运行状态的动态把控。该类技术适配自动化生产线智能化运行场景,适配高精度电气设备的故障预判与动态监测需求,适配现代化工业生产的运维体系。

3 故障检测技术在自动化生产线中的具体应用领域

3.1 动力供电系统电气设备检测应用

动力供电系统为自动化生产线持续输送生产能源,设备运行状态直接影响生产线整体作业节奏。各类故障检测手段可深度融入供电系统运维流程,覆盖全线供电设备的日常状态监测。检测工作聚焦供电线路、稳压装置、变电设备及配电开关等核心单元,持续捕捉设备运行期间的电压波动、电流偏移、温度升高等细微工况变化^[3]。电力设备长期处于带负荷运行状态,绝缘结构会逐步老化,线路接触状态会逐步弱化,各类电气元器件的工作性能也会持续衰减。精细化的检测手段可以精准捕捉这类渐进式异常,提前定位系统内部潜藏的故障隐患。常态化技术应用能够稳定供电输出品质,减少供电波动与突发断电情况,筑牢动力供电体系的运行基础。

3.2 运动控制类电气设备检测应用

自动化生产线的物料输送、机械定位、工件加工等动态作业环节,依靠运动控制电气设备完成高精度动作执行。故障检测技术可贯穿设备全运行流程,实现动态工况的全方位监测覆盖。检测对象主要包含伺服驱动装置、步进控制装置与传动电机等核心运动单元,重点采集设备运行转速、行程位移、输出扭矩及运行平稳性等关键工况数据。运动控制设备长期承受往复作业负荷,容易出现传动配合偏移、动力输出波动、响应速率降低等运行问题。专业检测方式可精准捕捉设备细微动作偏差,锁定内部构件磨损与性能衰减的具体位置。技术落地应用能够稳定设备运行精度,适配生产线精密加工与标准化作业的实际工况需求。

3.3 信号传输与控制系统设备检测应用

信号传输与控制系统承担生产线指令下发、数据交互、工况动态调控的核心工作,设备出现异常会直接引发工序紊乱、加工偏差等各类生产问题。故障检测技术针对控制功能模块、信号传输线路、数据交互端口等关键装置开展动态监测,筛查运行过程中出现的信号延迟、数据缺失、指令错乱、电磁干扰等常见问题。工业生产现场工况环境复杂,各类干扰因素会影响弱电信号传输稳定性,引发信号失真、传输波动等不易察觉的隐性问题。信号分析与智能传感检测技术可精准甄别各类传输缺陷与系统运行异常。持续开展状态监测能够保障控制指令高效精准传递,维系各工序设备协同运转的稳定状态。

3.4 辅助配套电气设备检测应用

辅助配套电气设备囊括照明、散热、除尘、安全防护等多项配套装置,设备稳定运行能够为生产线有序作业提供基础保障。故障检测技术可对各类辅助电气装置

开展常态化工况筛查,实时把控设备启停状态、运行负荷及工作效能等核心参数。辅助电气设备大多保持长时间不间断运行,元器件会出现老化损耗,整体工作效能逐步下降,局部电路也会产生各类异常问题。传统人工巡检难以持续捕捉轻微的隐性故障,无法实现全方位风险管控。标准化故障检测技术可完成辅助电气设备的全域监测,及时处置各类潜在故障隐患,规避设备失效带来的作业环境恶化、安全防护缺失等问题,稳固生产线整体运行秩序。

4 电气设备故障检测技术的优化与发展方向

4.1 故障检测技术的适配性优化方式

工业自动化生产线设备类型繁杂,不同电气单元的运行工况、作业负荷与损耗规律存在明显差异,通用检测模式难以适配差异化运维需求。适配性优化围绕设备运行特性调整检测逻辑与参数阈值,贴合不同电气设备的工况损耗规律调整检测标准^[4]。针对长期高负荷运行的动力类设备,优化重点偏向温升波动、负荷偏移等长效损耗指标的监测精度。针对精密控制类设备,优化工作聚焦微弱信号畸变与微量参数偏移的识别能力提升。通过细化检测指标、分级设定监测精度、动态调整检测频次的方式,让检测模式贴合各类设备的实际运行状态,弱化通用检测模式的局限性,提升故障筛查的贴合程度与精准程度。

4.2 检测技术与自动化系统的融合升级

故障检测技术的迭代升级依托自动化控制系统平台实现深度融合,打破传统检测模式独立运行的孤立状态。检测模块深度嵌入生产线自动化控制框架,实现运行数据与控制数据的互通共享,打通设备监测与生产调控的数据壁垒。自动化系统可直接调取检测数据调整设备运行参数,根据设备实时状态优化生产工序运行逻辑。检测流程不再依托独立设备完成操作,可跟随自动化系统的运行节奏同步开展全域监测,实现故障筛查与生产调控的深度联动。双向的数据互通能够缩减故障响应时长,让设备运维与生产运行形成联动机制。

4.3 智能化故障检测技术发展趋势

现代工业生产朝着高精度、高密度、无人化方向推

进,传统被动式故障检测模式难以适配现代化生产运维需求。智能化检测技术依托大数据分析、算法模型与智能感知技术,转变传统人工判别、事后排查的运维模式。智能算法可以自主学习设备正常运行的参数特征,自主甄别常规工况波动与真实故障隐患。技术发展逐步趋向故障预判,依托长期运行数据推演设备性能衰减规律,提前识别潜在故障风险。智能检测体系可以自主完成数据采集、故障判别、风险分级等系列流程,降低人工干预占比,提升电气设备运维的自动化水平。

4.4 一体化故障检测体系的构建思路

一体化故障检测体系打破单一设备、单一工序的碎片化检测模式,搭建覆盖整条生产线电气单元的全域运维框架。体系构建整合各类检测技术的应用优势,统筹动力设备、控制设备、传输设备及辅助设备的监测流程,统一数据采集标准与故障判别规范。搭建集中化数据管理平台,汇总全线电气设备的运行监测数据,实现运维数据的集中管控与统一分析。整合后的检测体系可以梳理不同设备故障的关联规律,解决碎片化检测带来的监测盲区与数据割裂问题,形成覆盖设备全工况、全周期的标准化故障运维模式。

结束语

各类故障检测技术的落地应用,为自动化生产线电气设备的全维度状态把控搭建了完整的技术框架。从基础的参数采集到全域的体系构建,技术的迭代始终围绕生产线的实际运行需求延伸,逐步打通设备监测与生产调控的联动通道。这套不断完善的检测运维模式,也将持续为工业生产场景下电气系统的稳定运行提供坚实支撑。

参考文献

- [1]李冬.电气设备故障检测与诊断技术研究[J].船舶物资与市场,2025,33(10):89-91.
- [2]车羿震.安全导向下的矿山电气设备故障检测系统分析[J].中国金属通报,2025(6):103-105.
- [3]贾飞,胡敏,朱章平.LNG工厂中电气设备的维护与故障诊断技术研究[J].电气技术与经济,2024(3):302-304.
- [4]曹鹏,孙伟,李怀珠.基于人工智能的矿山电气设备故障诊断与预测研究[J].电气技术与经济,2024(7):183-185.