

Application of Fault Diagnosis and Remote Maintenance Technology for Electrical Automation Equipment

Yongqiang Pan

Guangdong Hydropower Yunnan Investment Jinping Electric Power Co., Ltd., Xinzhai Power Station, Honghe Prefecture, Yunnan, 661506, China

Abstract

Frequent failures in electrical automation equipment operations impose higher demands on system stability and maintenance efficiency. This study investigates identification methods for typical equipment faults and state parameter acquisition techniques, analyzes the practical implementation path of intelligent diagnostic algorithms for anomaly detection, and establishes a communication architecture with command execution flow for remote maintenance systems. Integration validation was conducted using substation and industrial production line scenarios. The technical integration results demonstrate that the combination of diagnostic and remote maintenance approaches significantly enhances operational efficiency and system response speed, providing support for achieving intelligent and autonomous operation of complex electrical systems.

Keywords

electrical automation; fault diagnosis; status acquisition; remote maintenance; system integration

电气自动化设备故障诊断与远程维护技术应用

潘永强

广东水电云南投资金平电力有限公司新寨电站, 中国·云南红河州 661506

摘要

电气自动化设备运行中故障频发对系统稳定性与维护效率提出更高要求, 文章研究了典型电气设备故障的识别类型与状态参数采集方式, 分析了智能诊断算法在异常识别中的实际路径, 构建了远程维护系统的通信架构与指令执行流程, 并以变电站与工业产线为应用场景进行集成验证。技术集成结果显示, 融合诊断与远程维护手段能显著提升运维效率与系统响应速度, 为复杂电气系统实现智能化、自主化运行提供支撑。

关键词

电气自动化; 故障诊断; 状态采集; 远程维护; 系统集成

1 引言

随着电气自动化设备在工业场景中的复杂化、连续性运行特征增强, 设备运行过程中出现的故障隐蔽性与诊断响应时效性矛盾日益突出, 传统依赖人工巡检与现场修复的方式难以满足高密度、高精度系统的运维需求。为提升设备异常识别精度与远程响应能力, 亟需构建基于关键状态参数采集与智能算法驱动的诊断路径, 并配套具备远程通信能力、安全控制机制与人机交互支持的维护系统架构。文章围绕电气自动化系统的常见故障类型、数据采集策略、诊断方法及远程维护平台展开系统分析, 结合典型场景部署结果对运维成效进行对比评估, 提出融合技术在智能运维体系中的应用价值与演进趋势。

【作者简介】潘永强(1997-), 男, 中国云南曲靖人, 本科, 助理工程师, 从事电气工程研究。

2 电气自动化设备的故障诊断技术

2.1 故障类型分类与特征表现

电气自动化设备在运行过程中存在多种故障类型, 常见的包括电流短路、负载过载、控制信号漂移、绝缘老化及电弧放电等, 故障源类型决定了设备响应特征的差异性。短路故障表现为电流急剧升高、电压快速跌落, 触发系统保护动作; 过载故障呈现电流缓慢上升、设备温升滞后响应, 并可能造成局部模块热崩溃; 信号漂移引起的控制偏差通常无法触发报警, 仅通过持续数据偏移趋势识别; 绝缘击穿伴随电容泄漏电流上升和介质损耗角变化; 电弧放电频繁产生高频尖峰干扰, 反映于电压波形畸变。

故障诊断需结合故障类型提取具有代表性的动态特征量并制定针对性诊断逻辑。短路诊断应重点监测电流上升率与电压突变点, 设定高灵敏度阈值并匹配瞬时功率波动模型; 过载识别依赖持续功率积分值与温升变化趋势的联动分

析；信号漂移检测可采用滑动平均偏差模型；电弧信号需用高频采样数据构建电压失真率曲线。不同故障类型的诊断策略需嵌入至多通道采集系统中，确保在实时性与精度之间实现平衡。

2.2 关键部位状态量采集方法

电气自动化设备的状态监测依赖高频、高精度的参数采集系统，需对电压、电流、温度、振动、功率因数等关键量进行多点布设与异步采样。在高压开关柜、变频模块、电源母线等区域布设电压/电流互感器，并结合霍尔传感器实现宽频带信号检测；温度监测采用热电偶或光纤温度传感器，设置在电缆接头、变压器绕组及散热器表面，采样频率保持在1~5 Hz以捕捉温升突变；振动监测针对电机和断路器机构，布置压电式传感器用于识别机械冲击及不平衡状态，采样频率高于200 Hz以覆盖结构激振频段。

多通道采集系统需具备边缘处理能力，避免冗余数据传输对远程平台造成压力^[1]。针对关键状态量设计异步采集机制，根据数据类型与故障敏感性设定差异化更新周期，避免资源浪费。在实时运行中，采集系统应具备抗干扰编码机制与通信自校准功能，确保数据完整性与时序同步性。多参数融合采集结构应与诊断模块耦合，构建状态量的动态演化序列，用于支撑后续诊断算法的特征提取与模型匹配。

2.3 智能诊断算法应用路径

电气自动化设备在运行中涉及多源数据流输入，常规阈值判定难以适应复杂工况下的故障识别需求，需引入具备自学习与模式提取能力的智能算法完成诊断判别^[2]。支持向量机适用于处理高维状态量下的故障二分类问题，在训练阶段将输入状态向量映射到高维特征空间，构建最优分类超平面。以设备状态参数为输入向量，设定故障标签为 $y \in \{-1, +1\}$ ，分类函数形式为：

$$f(x)=\text{sign}(w \cdot x+b)$$

其中 w 表示权重系数向量， b 为偏置项。模型训练目标为最小化分类边界误差并提升识别间隔，适用于设备异常与正常状态之间边界清晰的场景。对于多类故障识别，可构建多个二分类器组合形成一对多分类结构。

模型部署于嵌入式边缘节点或远程平台后，可对新采集状态量实时映射至训练好的分类空间，输出判别结果并生成故障标识码。算法在低采样条件下仍能保持故障识别精度，适合嵌入现场设备执行板卡中，完成信号处理、分类判断与故障上报的联动响应流程。结合动态样本库更新机制，可持续提升模型对新型故障模式的适应能力，保持诊断有效性。

3 远程维护系统的核心技术

3.1 远程通信架构搭建方式

远程通信架构的构建以平台稳定接入与多协议兼容为基础，在物理层采用工业以太网或5G专网作为通信主通道，

辅以Wi-Fi或VPN作为备份链路。工业以太网适用于固定布线环境，具备低延迟与抗干扰特性，常部署于变电站、工业产线等节点集中的场景；5G网络具备动态组网能力与边缘计算协同机制，适配大规模、异地分布设备的接入需求^[3]。VPN架构用于公网穿透场景，结合IPSec加密机制构建安全逻辑通道，实现远程客户端与设备间的数据通信。通信架构需支持多种协议接口，覆盖Modbus-TCP、IEC 104、MQTT等常见数据交互标准，确保系统具备横向兼容与纵向扩展能力。

架构逻辑结构通常分为边缘接入层、协议解析层与远程控制主站三部分，边缘层接收设备端原始数据并完成初步处理；协议层解析数据结构并映射至平台模型，完成命令转发、状态同步与数据缓存；主站平台集中执行指令调度、数据展示与历史归档任务。为提升系统鲁棒性，通信链路需配置心跳监测机制与异常断链检测功能，自动触发链路切换或缓存回传操作，确保远程控制指令的完整传输与状态反馈闭环。系统整体需满足多设备并发、低延时传输与动态拓扑识别要求，支撑远程维护作业的实时响应。

3.2 远程控制指令执行流程

远程控制的全过程需构建稳定的指令链路逻辑，从生成到执行涉及多个关键步骤：

(1) 指令生成阶段由远程平台根据当前设备运行状态与调度计划形成维护指令，系统需从状态库中提取参数模板并结合现场反馈生成完整命令集；

(2) 指令验证阶段在通信控制模块内执行合法性校验、权限认证与参数边界检测，系统需比对控制对象、命令编号与时间戳信息，防止误操作与重复下发；

(3) 指令下发阶段将封装后的命令通过通信链路传输至终端设备，采用MQTT、Modbus或IEC104等标准协议完成跨平台兼容；

(4) 设备执行阶段由本地控制单元接收解析后的命令，触发执行器动作或参数修改，同时生成执行反馈与状态报告返回主平台，闭环形成远程控制日志与维护记录。

3.3 系统安全保障设计方案

远程维护系统需构建多层次的安全防护结构以保障设备在开放通信环境下的运行安全，安全设计以身份认证、数据加密与访问隔离为核心策略。身份认证模块采用基于非对称加密的数字证书机制实现平台、用户与终端三端的双向验证，提升接入操作的身份可信度。数据加密采用TLS传输层加密协议结合AES算法进行内容加密处理，保障通信过程中的数据完整性与防篡改能力。访问控制方面采用基于角色的访问权限系统(RBAC)，对远程操作权限进行细化，限制关键控制指令仅由特定账户在授权时间段内下发。系统应设有异常访问行为识别模块，检测多点登录、频繁重试与非法端口接入行为，触发预警与自动阻断机制。安全策略需融合设备本体防护与平台级审计机制，实现远程维护全过程

中的通信安全与操作可溯源性。

4 技术集成在典型场景中的应用表现

4.1 变电站远程诊断系统部署

在变电站运行场景中,远程诊断系统通过部署多点状态监测终端采集关键设备运行参数,包括GIS气室压力、电缆接头温度、开关分合状态、电流波形异常等,数据经边缘计算节点预处理后上传至远程云平台^[4]。云平台具备故障建模与趋势预测功能,基于传感数据与历史样本进行分类识别与状态评估。当监测参数触发设定阈值或发生波动趋势异常时,系统生成诊断报告并推送预警信息至调控中心。系统支持对主变压器、电压互感器与断路器等关键设备的在线状态全景监测,在不干扰正常运行的条件下实现故障前识别。平台端集成故障回溯功能,可对异常前后时段数据进行回看与对比分析,为后续维护策略优化与故障归因提供依据。

4.2 工业产线智能化维护方案

工业自动化产线的远程维护系统主要面向工业机器人控制单元、伺服驱动器、PLC模块与变频器等设备节点,构建远程控制与诊断平台,实现运行状态监控、故障信息捕捉与参数远程修改功能^[5]。设备端采集系统通过高速总线将采集到的位置误差、电流波动、响应延迟等指标上传至平台,由智能模块对比设定工况参数与标准模型,判断控制精度与执行稳定性。当控制误差超限或执行失败率上升时,系统自动生成诊断工单并推送至维修界面,允许授权用户登录后进行远程复位、指令重发或参数微调。典型场景中,机械臂编码器零位漂移问题可在远程端执行同步校准操作,避免现场断线修复;PLC控制逻辑异常可通过远程脚本推送方式重新部署控制指令,提升处理效率与恢复速度。

4.3 运维效率提升对比分析

远程维护系统部署后对运维环节的多项关键指标产生结构性影响,包含响应时间压缩、检修节奏调整与成本结构重构。系统利用实时数据采集与智能识别机制提前触发预警,减少人工巡检滞后性,在现场无操作人员介入条件下完成远程指令闭环响应,显著提升维护流程的响应效率。维护调度频次由以故障驱动转向以状态预测驱动,检修资源配置更具针对性,减少重复作业与冗余作业工时。远程指令替代部分物理操作,降低人力需求与配套耗材支出。为了直观展示

系统部署前后的效果变化,提取典型企业样本中五项运维指标形成如下数据对比表1。

表1 远程维护系统部署前后关键运维指标对比表

运维指标	部署前数值	部署后数值
故障响应时间(分钟)	42	11
平均检修周期(小时)	7.8	3.2
单次检修人力(人次)	3.4	1.2
月度运维成本(元)	21800	8200
误报处理次数(次/月)	9	2

故障响应时间与检修周期均明显缩短,说明远程诊断减少了现场排查的等待环节。单次检修人力与运维成本大幅下降,体现出远程指令替代部分人工操作的效果。误报处理次数减少,表明诊断判断的稳定性有所提升。

5 结语

文章围绕电气自动化设备运行过程中的典型故障类型、关键状态参数采集路径与智能诊断算法构建方法展开分析,结合远程通信架构搭建、控制指令执行流程与系统安全设计,形成从异常识别到远程响应的完整维护技术体系。基于变电站与工业产线的典型场景验证显示,远程诊断系统具备高精度识别能力,配合平台指令下发机制可有效压缩响应时间与人工成本。数据对比结果表明,系统集成应用在故障处理效率、检修周期控制与误报抑制方面表现出明显优势。技术路径具备可移植性与系统拓展性,可在多类自动化场景下复制部署,未来可结合边缘计算节点与自适应控制机制拓展为闭环智能运维网络。

参考文献

- [1] 胡瑞元. 试论冶金电气自动化设备故障诊断及维护技术[J]. 家电维修,2025,(03):101-103.
- [2] 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.
- [3] 陶群. 基于物联网的电气自动化二次设备远程监测系统设计与应用[J]. 自动化应用,2025,66(02):197-199.
- [4] 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.
- [5] 凌瑜. 基于物联网技术的电气自动化设备监测与故障诊断[J]. 电气技术与经济,2024,(06):150-152.