

# 火电厂电气设备状态维修技术研析

陈昕 刘通 刘阳 任晓楠

北方联合电力有限责任公司呼和浩特金桥热电厂 内蒙古 呼和浩特 010030

**摘要:** 火电厂是能源供应核心, 电气设备运行稳定性关乎供电可靠与生产安全。传统定期维修模式弊端凸显, 难以满足现代火电厂高负荷运行要求。状态维修技术依据设备实时状态精准维修, 成为运维升级核心方向。本文梳理其技术基础, 结合关键设备应用剖析要点, 分析技术与管理挑战并给出优化策略, 最后展望趋势。研究为火电厂电气设备运维优化提供技术支撑, 对提升运行效益意义重大。

**关键词:** 火电厂; 电气设备; 状态维修; 预测性维护

**引言:** 能源转型中, 火电厂肩负基础供电与调峰保电任务, 电气设备运维水平关乎电厂效益。传统定期维修模式按固定周期进行, 忽视设备实际状态, 造成资源浪费, 还可能因维修不及时引发设备故障停机, 多数停机事故与维修模式不合理有关。状态维修技术可实时监测、精准诊断、科学制定方案, 实现“按需维修”。如今电气设备发展对状态维修技术提出更高要求, 本文将全面研析该技术, 助力电厂运维升级。

## 1 火电厂电气设备状态维修技术基础

### 1.1 状态维修的定义

状态维修即基于状态的维修, 它实时监测设备运行参数、分析状态变化趋势, 精准判断故障隐患与劣化程度, 科学制定并执行维修方案。其核心逻辑是“以设备实际状态为导向”, 与传统定期维修的“固定周期导向”、事后维修的“故障导向”不同。它构建“监测-诊断-决策-执行”闭环体系, 先监测获取基础数据, 再诊断识别隐患, 接着用决策模型制定计划, 最后针对性维修。此模式优势明显, 能避免过度维修, 减少停机时间与成本; 杜绝维修不足, 降低故障风险。火电厂实施时需结合设备情况差异化操作, 目标是保障安全稳定运行, 实现维修效益最大化。

### 1.2 电气设备状态监测技术

电气设备状态监测技术是状态维修的基础, 借助传感器与监测装置实时获取设备运行关键参数, 为故障诊断提供数据支撑。监测方式有在线和离线两种: 在线监测利用相关设备全天候采集发电机、变压器等核心设备的电压、电流等参数, 捕捉动态劣化情况; 离线监测靠便携式设备定期检测辅助设备或局部参数, 如用绝缘电阻表测电缆绝缘电阻。常用监测技术中, 振动监测捕捉旋转设备异常振动, 油液分析监测变压器绝缘油状况, 局部放电监测发现高压设备绝缘内部放电缺陷, 多种技

术协同实现设备状态全覆盖<sup>[1]</sup>。

### 1.3 故障诊断与预测技术

故障诊断与预测技术是状态维修的关键环节, 承担着对监测数据深度剖析、识别故障类型、定位故障位置及预测发展趋势的重任。故障诊断技术有传统和智能之分: 传统诊断基于专家经验与阈值判断, 通过对比监测数据和标准阈值, 找出超出范围的异常参数, 适用于简单故障判断; 智能诊断融合机器学习、神经网络等算法, 能挖掘数据隐性关联, 精准识别复杂故障与早期隐患, 比如用神经网络模型分析变压器油中溶解气体组分, 可提前3-6个月预测绝缘故障。故障预测技术依据设备劣化规律和历史数据构建模型, 推算剩余使用寿命, 常用灰色预测、支持向量机等模型。在火电厂, 该技术能精准预测发电机转子绕组老化等渐进式故障, 为维修决策提供科学依据, 防止故障突发引发停机。

### 1.4 维修决策模型

维修决策模型是连接故障诊断与维修执行的关键, 核心是基于设备状态数据、故障诊断结果及电厂生产计划, 制定最优维修方案。模型构建需综合考量多方面因素: 设备重要程度决定维修优先级, 核心设备如发电机、主变压器故障对生产影响大, 需优先安排维修; 故障严重程度决定维修紧急程度, 致命故障需立即停机维修, 轻微隐患可结合生产间隙处理; 维修成本与效益决定维修方式, 通过对比故障损失与维修成本, 选择更换部件、局部检修或继续监测等方案。常用维修决策模型包括风险评估模型、成本效益分析模型及多目标优化模型。火电厂应用中, 模型需具备动态调整能力, 可根据实时监测数据更新与生产计划变化, 灵活优化维修时间、维修内容及资源配置, 确保维修方案的科学性与可行性, 实现设备安全与经济效益的平衡。

## 2 火电厂关键电气设备状态维修技术应用

### 2.1 发电机状态维修

发电机作为火电厂核心动力设备，其状态维修聚焦转子、定子、冷却系统等关键部件。状态监测重点包括：通过振动传感器监测转子运行振动幅度与频率，识别转子不平衡、轴系不对中等故障；采用红外测温技术监测定子绕组温度，避免过热老化；通过局部放电监测系统检测定子绝缘内部的放电缺陷。故障诊断中，结合振动频谱分析与油液分析结果，可精准判断转子绕组短路、轴承磨损等故障；借助智能预测模型，基于绕组绝缘电阻变化数据预测绝缘剩余寿命。维修执行需根据诊断结果差异化处理：轻微振动异常可通过调整转子平衡进行处理；局部放电超标需及时更换绝缘部件；冷却系统故障需检修换热器或更换冷却介质。定期对发电机碳刷、滑环等易损耗部件进行状态评估，结合磨损趋势制定更换计划，可有效避免突发故障，保障发电机稳定运行。

### 2.2 变压器状态维修

变压器是电能转换与传输的核心设备，状态维修核心围绕绝缘系统与冷却系统展开。状态监测采用“多参数协同监测”模式：通过油液分析技术定期检测绝缘油的介损、击穿电压及溶解气体含量，重点监测甲烷、乙炔等故障特征气体；利用局部放电监测技术检测绕组与套管的绝缘缺陷；通过温度传感器监测油箱、绕组及出线端子温度，确保冷却系统正常运行。故障诊断中，结合油中溶解气体“三比值法”与局部放电图谱，可精准识别绕组过热、绝缘击穿等故障类型；基于绝缘油劣化数据与环境参数，构建预测模型推算绝缘剩余寿命。维修措施包括：绝缘油劣化时及时进行过滤、再生或更换处理；局部放电超标时对绕组进行检修或绝缘加固；冷却系统故障时检修风扇、油泵或更换冷却器。通过状态维修可避免盲目更换绝缘油与过度检修，延长变压器使用寿命<sup>[2]</sup>。

### 2.3 高压断路器状态维修

高压断路器承担电路通断与故障保护功能，状态维修重点关注灭弧室、操动机构及绝缘部件。状态监测内容包括：通过电流传感器监测分合闸线圈电流，判断操动机构动作是否正常；采用超声检测技术与局部放电监测技术，检测灭弧室绝缘状态与漏气情况；通过红外测温技术监测触头与出线端子温度，避免接触电阻过大导致过热。故障诊断中，结合分合闸时间、弹跳次数等参数变化，可识别操动机构卡涩、弹簧疲劳等故障；通过灭弧室气体压力监测数据，判断是否存在漏气隐患。维修执行需针对性处理：操动机构故障需拆解检修、更换磨损部件；灭弧室漏气需及时补充气体或更换密封件；

绝缘部件老化需进行清洁或更换。定期对断路器进行机械特性测试，结合状态监测数据优化维修周期，可大幅提升断路器动作可靠性，避免因拒动、误动导致故障范围扩大。

### 2.4 电缆与母线状态维修

电缆与母线是电能传输的关键载体，状态维修核心聚焦绝缘性能与连接可靠性。电缆状态监测采用在线绝缘监测与离线检测相结合的方式：在线监测通过分布式光纤传感器监测电缆温度分布，识别过载或绝缘老化引发的过热问题；离线检测采用绝缘电阻表、介损测试仪等设备，定期检测电缆绝缘电阻与介损值。故障诊断中，结合温度数据与绝缘参数变化，可精准定位电缆绝缘破损、接头老化等故障位置。母线状态监测重点是连接点温度与绝缘支撑件状态，通过红外热成像仪定期检测母线接头温度，识别松动导致的接触电阻过大问题；采用超声检测技术检测绝缘子是否存在裂纹或污秽积累。维修措施包括：电缆绝缘破损时进行局部修复或整段更换；母线接头松动时重新紧固并进行防腐处理；绝缘子老化或破损时及时更换。通过状态维修可有效降低电缆与母线故障引发的供电中断风险。

## 3 状态维修技术的挑战与优化策略

### 3.1 技术挑战

状态维修技术在火电厂应用中面临多重技术挑战：一是复杂环境下监测数据精准度不足，火电厂高温、高湿度、强电磁干扰环境会干扰传感器信号，导致监测数据出现偏差，影响故障诊断准确性；二是早期故障识别难度大，部分设备故障早期劣化信号微弱，易被背景噪声掩盖，传统诊断技术难以精准捕捉；三是不同设备故障机理差异大，缺乏统一的诊断标准与预测模型，尤其对于老旧设备，因缺乏完整历史数据，模型构建难度高；四是技术融合难度大，现有监测、诊断、决策技术多为独立应用，数据共享与协同分析能力不足，难以形成完整的技术闭环。这些挑战导致状态维修技术的应用效果难以充分发挥，限制了其在部分火电厂的规模化推广<sup>[3]</sup>。

### 3.2 管理挑战

管理层面的不足同样制约状态维修技术的落地应用：一是运维人员专业能力不足，状态维修涉及监测技术、智能算法、设备原理等多领域知识，现有运维人员多擅长传统维修，缺乏对新型技术的掌握，难以精准分析监测数据与操作智能设备；二是管理制度不完善，部分火电厂仍沿用传统定期维修的管理制度，未针对状态维修制定配套的流程规范、考核标准与数据管理制度，导致维修工作缺乏有序指引；三是资金投入不足，状态

维修前期需投入大量资金购置在线监测设备、搭建数据平台,部分火电厂因短期效益考量,资金投入不到位,影响技术升级;四是数据管理混乱,监测数据分散存储、缺乏统一标准,难以实现数据的有效利用与共享,制约了诊断模型与决策模型的优化。

### 3.3 优化策略

针对上述挑战,需从技术与管理两方面制定优化策略。技术层面:一是优化监测设备性能,采用抗干扰能力强、适应恶劣环境的传感器,同时引入数据校准技术,提升监测数据精准度;二是强化智能诊断技术研发,融合多源数据构建跨设备通用诊断模型,结合深度学习算法提升早期故障识别能力;三是搭建一体化技术平台,实现监测、诊断、决策数据的共享与协同分析,形成技术闭环。管理层面:一是加强运维人员培训,构建“理论+实操”的培训体系,提升人员对新型技术的掌握能力;二是完善管理制度,制定状态维修流程规范、数据管理标准与考核机制,明确各环节责任;三是加大资金投入,合理规划资金用途,优先保障核心设备监测系统升级;四是建立统一数据管理中心,规范数据采集、存储与分析流程,为技术优化提供数据支撑。

## 4 状态维修技术发展趋势与展望

### 4.1 技术融合趋势

未来,火电厂电气设备状态维修技术将呈现多技术深度融合的发展趋势。一是状态监测技术与物联网、大数据技术融合,通过部署大量智能传感器构建物联网监测网络,实现设备状态数据的全面采集与实时传输,借助大数据技术挖掘数据深层价值;二是故障诊断技术与人工智能、数字孪生技术融合,基于数字孪生模型构建设备虚拟映射,结合人工智能算法模拟故障演化过程,提升诊断与预测的精准度;三是维修决策技术与云计算、边缘计算技术融合,利用云计算平台实现大规模数据处理与模型训练,通过边缘计算实现本地数据快速分析与实时决策,满足高实时性维修需求。多技术融合将打破现有技术壁垒,实现状态维修的全流程智能化升级。

### 4.2 应用场景拓展

状态维修技术的应用场景将从核心设备逐步拓展至全范围电气设备,覆盖从发电、输电到配电的全链条。一方面,从传统高电压、大容量设备拓展至中低压辅助设备,如水泵、风机的电动机、低压开关柜等,实现电

厂电气设备的全面状态管控;另一方面,从单一设备维修拓展至设备集群协同维修,通过分析多设备间的关联关系,制定集群级维修方案,避免因单设备维修引发的连锁故障<sup>[4]</sup>。同时,状态维修技术将与火电厂数字化转型深度融合,融入智慧电厂建设体系,实现维修流程的自动化、可视化与远程化,大幅提升运维效率。此外,该技术还将拓展至设备全生命周期管理,为设备采购、安装、运维、报废全流程提供数据支撑。

### 4.3 标准化与规范化建设

标准化与规范化建设将成为状态维修技术推广应用的核心支撑。行业层面将逐步完善状态维修相关标准体系,包括监测设备技术标准、数据采集标准、诊断与预测技术规范、维修流程标准等,实现不同电厂、不同设备间技术应用的统一性与兼容性。企业层面将结合自身实际情况,制定个性化的状态维修实施细则,明确各岗位职责、操作流程与考核标准,确保技术落地的规范性。同时,将加强状态维修技术的行业交流与成果共享,推动优秀技术方案与管理经验的推广应用。标准化与规范化建设将降低状态维修技术的应用门槛,促进其在火电厂行业的规模化普及,提升全行业运维水平。

### 结束语

火电厂电气设备状态维修技术是提升设备运维水平、保障电厂安全稳定运行的核心技术,其发展与应用对火电厂高质量发展具有重要意义。未来,随着智能化技术的持续发展与行业标准的不断完善,状态维修技术将逐步实现全流程智能化、全设备覆盖与全行业规范应用。火电厂需主动顺应技术发展趋势,加大技术研发与资金投入,完善人才培养与管理制度,充分发挥状态维修技术的核心价值,为能源供应安全提供坚实保障。

### 参考文献

- [1]丁翕星,陈龙宇.火电厂电气设备状态维修技术研析[J].电力设备管理,2025(16): 82-84.
- [2]汪涛.电力电气设备的状态检修技术研究[J].设备管理与维修,2021(24): 31-33.
- [3]李曼.新时期火电厂电气设备的状态检修技术分析[J].光源与照明,2021(12): 100-102.
- [4]高建民.火电厂电气设备状态检修技术应用研究[J].能源与节能,2021(08): 175-176.