

电力工程电气设备的故障诊断与预防技术研究

陈跃然

445202*****3032

摘要：电力工程电气设备是电力系统稳定运行的核心支撑，其故障不仅会导致供电中断，还可能引发安全事故与经济损失。当前电气设备故障诊断存在精准度不足、响应滞后等问题，且预防技术缺乏系统性，难以从源头规避故障风险。本文聚焦电力工程电气设备的故障诊断与预防技术，梳理设备故障类型与诊断现状短板，分析主流故障诊断技术的适用场景与技术特性，探索预防技术体系的构建路径及优化方向。研究旨在为提升电气设备故障识别效率、强化故障预防能力提供理论支撑，同时为电力工程电气设备安全管理提供新思路，助力电力系统实现可靠、高效运行。

关键词：电力工程；电气设备；故障诊断技术；预防技术

DOI：10.69979/3060-8767.25.10.095

引言

电力工程电气设备涵盖变压器、断路器、电缆等关键设备，其运行状态直接决定电力系统的供电可靠性与安全性。随着电力系统向规模化、智能化发展，电气设备运行环境愈发复杂，受负荷波动、环境腐蚀、老化损耗等因素影响，故障发生概率显著增加。当前部分电力企业在设备管理中，仍依赖传统人工巡检进行故障诊断，存在故障识别不及时、误判率高的问题；同时，预防技术多集中于事后维护，缺乏事前预警与过程管控，难以有效降低故障发生率。

1 电力工程电气设备故障类型与诊断现状

1.1 常见故障类型与成因

电力工程电气设备的常见故障类型多样，不同设备故障表现存在差异。变压器常见故障包括绕组短路、铁芯过热等，绕组短路多因绝缘材料老化或受潮破损，导致绕组间绝缘性能下降；铁芯过热则可能是铁芯接地不良或铁芯硅钢片损耗过大引发。断路器故障常表现为拒动或误动，拒动多由操作机构卡涩、线圈烧毁导致，误动可能是控制回路故障或信号干扰引起。电缆故障以绝缘击穿、断线为主，绝缘击穿多因长期过载、环境腐蚀使绝缘层老化；断线则可能是外力破坏或电缆接头接触不良导致，这些故障的成因与设备运行环境、维护情况密切相关。

1.2 故障诊断现存短板

当前电气设备故障诊断工作存在多方面短板。部分企业仍采用传统人工巡检方式，依赖工作人员经验判断故障，受主观因素影响大，易出现误判或漏判，且巡检

周期固定，难以及时发现突发故障。部分诊断技术对复杂故障的识别能力不足，如面对多故障耦合情况时，难以精准定位每个故障点，导致故障处理不彻底。诊断数据共享程度低，各设备诊断系统独立运行，数据难以整合分析，无法从整体层面评估设备健康状态，同时诊断结果与维护工作衔接不紧密，难以快速转化为预防措施，影响故障管理效率。

1.3 故障诊断新需求

随着电力系统向高电压、大容量、智能化方向发展，对电气设备故障诊断提出新需求。一方面，新能源大规模并网使系统运行工况更复杂，要求故障诊断技术具备更强的适应性，能准确识别新能源接入带来的新型故障。另一方面，用户对供电可靠性要求提升，需故障诊断技术实现更快响应速度，在故障萌芽阶段及时发现问题，缩短故障处理时间，减少停电损失。此外，电力系统智能化发展要求故障诊断技术与数字化平台深度融合，实现诊断数据实时共享、诊断结果自动分析，为设备全生命周期管理提供数据支持，提升故障诊断的智能化与系统化水平。

2 电力工程电气设备主流故障诊断技术分类与特性

2.1 基于信号检测的诊断技术

基于信号检测的电气设备故障诊断技术，通过采集设备运行过程中的特征信号判断故障情况。常用的检测信号包括振动信号、温度信号、油中溶解气体信号等。对于变压器，通过检测油中溶解气体成分与含量，可判断内部是否存在过热或放电故障；对于电机，通过采集

振动信号,分析信号频率特征,能识别轴承磨损、转子不平衡等故障。该技术操作相对简便,检测设备成熟,适用于大多数电气设备的常规故障诊断。

2.2 基于智能算法的诊断技术

基于智能算法的电气设备故障诊断技术,借助机器学习、深度学习等算法提升诊断精准度。通过对大量故障数据的学习,算法可构建故障识别模型,实现对设备故障的自动分类与定位。例如,利用神经网络算法对变压器故障数据进行训练,能快速识别不同类型的内部故障;采用支持向量机算法,可对电缆绝缘状态进行评估,判断是否存在故障风险。该技术具备较强的自学习能力与泛化能力,能处理复杂的非线性数据,对多故障耦合情况的识别效果优于传统技术。但对数据质量与数量要求较高,需大量标注数据训练模型,且模型解释性较差,难以清晰说明故障诊断的推理过程。

2.3 基于状态监测的诊断技术

基于状态监测的电气设备故障诊断技术,通过实时监测设备运行状态实现动态诊断。利用传感器实时采集设备的电压、电流、温度、绝缘电阻等运行参数,构建设备状态监测系统,实时分析参数变化趋势。当参数超出正常范围时,系统及时发出预警,提示工作人员排查故障。该技术能实现对设备的连续监测,避免定期巡检的局限性,可及时发现设备状态的细微变化,为早期故障诊断提供支持。例如,对断路器的操作机构状态进行实时监测,可提前发现机构卡涩隐患。但该技术对监测设备的稳定性与数据传输的可靠性要求较高,且需建立完善的状态评估标准,才能准确判断设备是否存在故障风险。

3 电气工程电气设备故障预防技术体系构建

3.1 全生命周期预防性维护技术

电气设备全生命周期的预防性维护技术,覆盖设备采购、运行、退役全阶段,通过针对性维护降低故障概率。在设备采购阶段,严格筛选质量合格、性能稳定的设备,从源头减少故障隐患。运行阶段采用定期维护与状态维护相结合的方式,定期维护按计划开展设备清洁、绝缘检测等工作;状态维护根据设备监测数据调整维护策略,对状态异常的设备提前维护。退役阶段对设备故障历史数据进行分析,为新设备采购与维护方案优化提供参考。同时,建立设备维护档案,记录维护时间、内容、结果等信息,实现维护过程可追溯,确保维护工作规范、有效,延长设备使用寿命,降低故障发生率。

3.2 基于环境调控的预防技术

基于环境调控的电气设备故障预防技术,通过改善设备运行环境减少环境因素引发的故障。针对潮湿环境,在电气设备机房安装除湿设备,控制环境湿度在合理范围,防止设备绝缘受潮;针对高温环境,采用通风、散热设备降低环境温度,避免设备因过热加速老化。对于户外设备,采取防雨、防尘、防腐蚀措施,如为电缆接头加装防护套,为变压器加装遮阳棚。同时,定期监测设备运行环境参数,及时调整调控措施,确保环境条件始终符合设备运行要求。通过环境调控,减少环境腐蚀、温湿度异常对设备的影响,从外部环境层面降低故障风险。

3.3 故障风险预警与应急准备技术

电气设备故障风险预警与应急准备技术,通过提前预警与应急准备应对故障。建立故障风险预警模型,结合设备运行数据、历史故障数据、环境数据,预测设备故障风险等级,对高风险设备重点关注,提前采取预防措施。同时,制定完善的应急处置预案,明确不同故障类型的应急处理流程、责任人员、所需设备与物资。定期开展应急演练,提升工作人员的应急处置能力,确保故障发生时能快速响应。此外,储备必要的应急备件与工具,缩短故障修复时间,减少故障造成的损失。通过风险预警与应急准备,实现对故障的主动防范与快速应对,提升设备运行的安全性与可靠性。

4 故障诊断与预防技术的协同应用路径

4.1 诊断数据支撑预防技术优化

故障诊断过程中产生的大量数据,可为预防技术优化提供重要支撑。诊断数据包括设备故障类型、故障位置、故障原因、故障发生时的运行参数等,通过分析这些数据,可总结故障发生规律,识别设备故障的高发部位与关键影响因素。例如,通过分析变压器故障诊断数据,发现某一型号变压器的绕组故障发生率较高,可针对性优化该型号变压器的预防性维护方案,增加绕组绝缘检测频率。同时,利用诊断数据验证预防技术的有效性,对效果不佳的预防措施及时调整,不断优化预防技术体系,提升预防工作的针对性与有效性,实现诊断与预防的良性互动。

4.2 预防措施提升诊断效率

科学的预防措施可显著提升故障诊断效率。通过预防性维护减少设备故障发生率,使诊断工作更聚焦于高风险设备,避免资源浪费在健康设备上。例如,对状态

良好的设备适当降低诊断频率,将更多精力投入到故障风险较高的设备上。同时,预防措施中的环境调控、定期维护等工作,可减少设备运行干扰因素,使诊断数据更准确,降低因环境干扰导致的诊断误差。此外,预防工作中建立的设备档案,记录了设备的历史运行数据与维护情况,为故障诊断提供了背景信息,帮助诊断人员更快定位故障原因,提升诊断效率与精准度。

4.3 协同的设备健康管理模式

构建故障诊断与预防协同的设备健康管理模式,实现对设备的全方位管理。该模式以设备健康状态评估为核心,通过故障诊断技术实时监测设备健康状况,结合预防技术制定维护计划。建立统一的设备健康管理平台,整合诊断数据与预防数据,实现数据共享与协同分析。平台实时评估设备健康等级,根据健康等级自动调整诊断频率与预防措施,对健康等级低的设备加强诊断与维护。同时,工作人员通过平台实时掌握设备健康状态,及时处理诊断发现的问题,落实预防措施。通过这种协同模式,实现诊断与预防的深度融合,提升设备健康管理水平,保障设备稳定运行。

5 电力工程电气设备故障诊断与预防技术发展趋势

5.1 数字化孪生技术的应用拓展

数字化孪生技术在电气设备故障诊断与预防中的应用将不断拓展。通过构建与物理设备完全一致的虚拟模型,实现对设备运行状态的实时映射。在故障诊断方面,可在虚拟模型中模拟设备故障发生过程,对比虚拟与物理设备的运行差异,精准定位故障点;同时,利用虚拟模型测试不同诊断方案的效果,优化诊断策略。在预防方面,通过虚拟模型模拟不同维护方案对设备寿命的影响,选择最优预防维护方案;还可模拟设备在不同环境条件下的运行状态,提前识别环境因素引发的故障风险。数字化孪生技术的应用,将推动故障诊断与预防向更精准、更高效的方向发展。

5.2 边缘计算技术的赋能

边缘计算技术将为电气设备故障实时诊断与预防提供有力赋能。边缘计算在靠近设备数据采集端的位置构建计算节点,实现数据的本地化处理,减少数据传输延迟。在故障诊断方面,边缘计算节点可实时分析设备采集的运行数据,快速识别故障特征,实现故障实时诊

断,避免数据传输至远程平台导致的诊断滞后。在预防方面,边缘计算节点根据实时诊断数据与设备历史数据,实时评估设备故障风险,及时调整预防措施,如当发现设备温度异常上升时,立即启动散热调控措施。同时,边缘计算可减轻远程平台的数据处理压力,提升整个诊断与预防系统的运行效率,适应电力系统对实时性的高要求。

5.3 绿色低碳理念下的创新方向

绿色低碳理念将推动电气设备故障诊断与预防技术的创新发展。在诊断技术方面,研发低功耗的诊断设备与传感器,减少诊断过程中的能源消耗;优化诊断算法,降低数据处理过程中的计算能耗。在预防技术方面,采用绿色环保的维护材料,如可降解的绝缘材料,减少维护过程对环境的污染;优化预防性维护策略,避免过度维护导致的资源浪费,延长设备使用寿命,减少设备更换带来的碳排放。同时,通过故障诊断与预防技术提升设备运行效率,减少设备因故障低效运行产生的额外能耗,实现设备全生命周期的低碳运行,助力电力行业实现“双碳”目标。

6 结论

本文围绕电力工程电气设备的故障诊断与预防技术展开研究,梳理了设备故障类型与诊断现状,分析了主流故障诊断技术特性、预防技术体系构建路径、诊断与预防的协同应用及未来发展趋势。研究表明,传统故障诊断技术存在精准度低、响应慢等问题,预防技术缺乏系统性,难以满足电力系统发展需求;基于信号检测、智能算法、状态监测的诊断技术各有优势,需结合实际场景选择应用;构建全生命周期维护、环境调控、风险预警的预防体系,可有效降低故障风险。

参考文献

- [1] 钟义广. 基于物联网技术的电气设备远程监控与故障诊断系统研究[J]. 中国设备工程, 2025, (19): 209-210.
- [2] 付宝友. 电力系统电气设备故障自动化智能监测技术探析[J]. 电力设备管理, 2025, (18): 102-104.
- [3] 赵宇桐. 化工电气设备的故障诊断与维护策略[J]. 石化技术, 2025, 32(10): 385-387.
- [4] 王伟斌. 基于智能传感的海上电气设备故障维修策略研究[J]. 电气技术与经济, 2025, (09): 302-304.