

电气设备状态监测与故障诊断的技术方法

李 显

陕西省神木市银源矿业有限公司 陕西 榆林 719300

摘要: 电气设备状态监测与故障诊断技术对保障电力系统安全稳定运行意义重大。通过电气、机械热学及化学参数监测获取设备运行状态信息,运用基于阈值规则、机器学习、专家系统等方法实现故障诊断。多源数据融合、边缘计算与物联网深化应用推动技术向智能化发展,绿色低碳成本技术的普及则进一步提升其实用性。这些技术的发展,有效降低设备故障风险,提升电力系统运行效率与可靠性。

关键词: 电气设备; 状态监测; 故障诊断; 技术方法

引言

随着电力系统规模不断扩大与复杂化,电气设备的安全稳定运行直接影响电网可靠性与供电质量。传统运维模式难以满足现代化需求,状态监测与故障诊断技术成为保障设备安全的关键。本文系统阐述电气设备状态监测与故障诊断的各类技术方法,涵盖电气、机械热学、化学参数监测手段,以及基于阈值规则、机器学习等诊断方法,并探讨其智能化、绿色化发展趋势,为相关研究与工程应用提供参考。

1 电气设备状态监测与故障诊断概述

1.1 电气设备状态监测

电气设备状态监测是通过先进技术手段对设备运行过程中的关键参数进行实时采集与分析,以获取设备运行状态信息的重要技术,在保障电力系统稳定运行中发挥着不可替代的作用。监测对象涵盖变压器、断路器、电缆等多种核心电气设备,针对不同设备特性,监测参数有所侧重。例如对变压器,油中溶解气体成分、绕组温度、局部放电量等是重要监测指标,油中气体成分可反映内部是否存在过热、放电等潜伏性故障;对于断路器,机械特性参数如分合闸时间、速度,以及回路电阻等参数能有效评估其操作性能与接触状态。在技术手段上,传感器技术是数据采集的基础,各类传感器将设备的物理量、化学量转换为可测量的电信号。在线监测技术借助通信网络实现数据实时传输,结合信号处理技术去除噪声干扰,运用大数据分析方法挖掘数据背后的设备状态特征,从而实现对电气设备运行状态的精准感知与持续追踪。

1.2 电气设备故障诊断

电气设备故障诊断是基于状态监测获取的大量数据,运用多种分析方法判断设备是否存在故障、确定故障类型、程度及位置的技术过程,旨在为设备维修与维

护策略制定提供科学依据。故障诊断原理在于利用设备正常运行与故障状态下参数的差异,通过建立数学模型、模式识别等方式,将实时监测数据与标准或历史数据对比分析。故障诊断方法丰富多样,基于物理模型的方法通过建立设备运行的数学物理方程,模拟故障发生时参数变化;基于数据驱动的方法利用机器学习、深度学习算法,从海量历史数据中学习故障特征模式,实现对未知故障的预测诊断。如神经网络算法可通过训练学习故障样本特征,在新数据输入时快速识别故障类型。专家系统整合领域专家知识与经验,构建知识库与推理机制,通过对监测数据的逻辑推理判断故障情况。故障诊断技术不仅能及时发现设备潜在故障,避免故障扩大引发事故,还能为设备的预知性维护提供支持,减少非计划停机时间,提升电力系统运行的可靠性与经济性。

2 电气设备状态监测技术方法

2.1 电气参数监测

电气参数监测聚焦于设备运行过程中的关键电学指标,通过对电压、电流、局部放电、绝缘电阻等参数的实时采集与分析,实现对电气设备绝缘性能、运行状态及潜在故障的精准评估。电压与电流的监测能够反映设备负载情况及三相平衡度,异常波动往往预示着系统短路、接触不良或负载突变等问题;局部放电监测则是通过高频传感器捕捉设备内部绝缘缺陷引发的微弱放电信号,该信号的幅值、频率及相位特征可有效识别绝缘老化、气隙放电等早期故障隐患;绝缘电阻测量利用高电压源检测设备绝缘介质的电阻值,其阻值变化直观体现绝缘性能的衰减程度。这些参数的协同监测与深度分析,能够构建起电气设备的健康状态图谱,为故障预测与预防性维护提供重要依据^[1]。

2.2 机械与热学参数监测

机械与热学参数监测是评估电气设备运行可靠性的

重要维度,通过振动分析、温度检测等技术手段,捕捉设备内部机械结构与热状态的异常变化。振动监测利用加速度传感器采集设备运行时的振动信号,通过频域与时域分析,将轴承磨损、齿轮故障、转子不平衡等机械缺陷转化为特征频率的振动响应,精确判断故障类型与程度;温度监测则借助红外热成像、光纤测温等技术,对设备关键部位如触头、绕组、电缆接头等进行非接触式或分布式温度测量,设备局部过热往往是接触电阻增大、涡流损耗加剧或散热不良的直接表现,通过温度场分布及温升速率的分析,可及时发现设备热隐患,避免因过热引发绝缘劣化、火灾等严重事故。机械与热学参数的动态监测,为设备运行工况的实时评估和故障预警提供了关键数据支撑。

2.3 化学参数监测

化学参数监测以设备内部绝缘介质的化学变化为研究对象,通过气体分析、油液检测等技术手段,揭示设备潜在故障的化学本质。在油浸式电气设备中,绝缘油与固体绝缘材料在热、电应力作用下会分解产生氢气、乙炔、一氧化碳等特征气体,气相色谱分析技术可对这些气体的成分与含量进行精确测定,根据气体组分比例及产气速率,结合设备运行历史数据,能够判断内部是否存在局部过热、电弧放电等故障;对于气体绝缘设备,六氟化硫气体分解产物检测可反映设备内部的局部放电或高温过热缺陷;绝缘油的微水含量、酸值、闪点等理化指标的检测,能够评估绝缘油的劣化程度与设备受潮情况。化学参数监测凭借其对设备内部故障的早期敏感性与精准诊断能力,成为电气设备状态评估不可或缺的重要手段。

3 电气设备故障诊断技术方法

3.1 基于阈值与规则的诊断

基于阈值与规则的诊断方法以设备运行参数的正常范围设定为基础,通过将实时监测数据与预先设定的阈值进行比对实现故障判断。该方法将电气设备的电压、电流、温度等关键参数的正常波动区间作为阈值基准,当监测到的参数值超出这一范围时,系统会依据预设的逻辑规则触发相应诊断结论。例如,若变压器油温持续高于85℃,且在排除环境因素干扰后仍未恢复正常,结合负荷变化等辅助数据,系统可判定变压器存在过热故障。该诊断模式具有逻辑清晰、响应迅速的特点,能直观反映设备运行状态偏离正常水平的程度,且易于实现和维护。其局限性在于阈值设定需依赖历史经验和大量实验数据,面对复杂多变的运行工况,可能出现阈值适应性不足的情况,难以诊断由多因素耦合引发的隐性故障。

3.2 基于机器学习的智能诊断

基于机器学习的智能诊断方法借助算法模型挖掘电气设备运行数据中的特征规律,实现对故障的智能化识别。该方法通过采集设备运行过程中的振动、声音、电气信号等多源数据,构建数据集后运用主成分分析(PCA)、小波变换等技术进行特征提取,将原始数据转化为能有效表征设备运行状态的特征向量。利用支持向量机(SVM)、随机森林、卷积神经网络(CNN)等机器学习算法对特征向量进行训练,使模型学习正常状态与故障状态之间的数据差异。例如,通过训练好的CNN模型对高压开关柜局部放电的特高频信号进行分析,能够准确识别不同类型的局部放电故障。该方法具有强大的数据处理能力和自学习能力,可适应复杂的故障模式,对未知故障也有一定的诊断潜力,但模型训练需要大量标注准确的样本数据,且模型的可解释性较差,在实际应用中难以直观理解诊断依据^[2]。

3.3 基于专家系统与物联网的诊断

基于专家系统与物联网的诊断方法整合了专家知识体系和物联网实时数据采集优势。专家系统将电气领域专家的经验、理论知识和故障处理策略以规则库、知识库的形式进行存储,通过推理机对物联网设备采集到的实时数据进行分析处理。物联网技术利用传感器网络实现对电气设备多维度运行参数的实时、远程、连续采集,如通过分布式光纤传感器监测电缆温度场分布,通过电流互感器采集线路电流数据等。当数据传输至专家系统后,推理机依据知识库中的规则和知识,结合数据特征进行逻辑推理,从而判断设备是否存在故障及故障类型。例如,当系统检测到电机振动幅值异常增大且温度升高时,专家系统通过检索知识库,结合振动频谱特征,可推断出电机可能存在轴承磨损或转子不平衡等故障。该方法能够充分利用专家知识解决复杂故障诊断问题,同时借助物联网实现设备的远程在线监测和故障预警,但系统的构建和维护对专家知识的依赖性强,知识库更新不及时可能影响诊断准确性。

4 电气设备状态监测与故障诊断技术方法的发展趋势

4.1 多源数据融合与智能化

(1)在电气设备状态监测与故障诊断中,多源数据融合正成为关键发展方向。各类传感器如温度、振动、电流传感器等,能采集设备多维度运行数据,但单一数据往往无法全面反映设备真实状态。将这些不同类型数据融合,可发挥数据互补优势。比如把温度数据与振动数据相结合,能更精准判断设备是否存在过热引发的机械故障,显著提升监测准确性。(2)智能化技术在该

领域的应用也日益深入。基于机器学习、深度学习等人工智能算法,可对融合后的大量数据进行深度分析。通过对设备历史运行数据和故障案例学习,构建故障诊断模型,使其能自动识别设备故障类型、预测故障发生概率。例如,深度学习模型可对复杂电气设备的海量数据特征进行提取和分类,快速准确诊断出潜在故障,实现智能化决策与预警,极大提高设备维护效率与可靠性。

(3)多源数据融合与智能化的协同发展,还能促使监测系统具备自我优化能力。随着新数据不断涌入,系统可自动调整诊断模型参数,适应设备运行工况变化,进一步提升故障诊断精度与稳定性,更好地满足电气设备复杂运行环境下的监测需求^[3]。

4.2 边缘计算与物联网深化应用

(1)边缘计算在电气设备状态监测中作用愈发重要。传统监测模式下,大量数据需传输至云端处理,易导致网络延迟、带宽压力大等问题。边缘计算可在数据采集现场,即靠近电气设备的边缘节点进行数据初步处理与分析。例如,在变电站设备监测中,边缘计算节点能实时分析传感器采集的电流、电压等数据,快速判断设备是否存在异常,及时发出预警,减少数据传输量与延迟,提升监测实时性。(2)物联网技术的深化应用为电气设备状态监测带来新变革。借助物联网,可将分布广泛的电气设备连接成庞大网络,实现设备间数据共享与交互。每个设备都成为网络中的一个节点,其运行数据可实时上传至物联网平台。通过对全网设备数据综合分析,能从宏观层面掌握设备运行状态,优化设备运行策略。如在智能电网中,利用物联网可实时监测各节点电力设备运行情况,实现电力资源智能调配。(3)边缘计算与物联网的融合,进一步增强了电气设备状态监测系统的性能。边缘计算为物联网设备提供本地数据处理支持,减轻物联网平台数据处理负担;物联网则为边缘计算设备提供数据传输通道与更广阔应用场景。二者结合,可构建更高效、智能的电气设备状态监测与故障诊断体系,有力推动电气设备智能化管理进程。

4.3 绿色化与低成本技术普及

(1)随着环保意识提升与可持续发展理念深入人心,电气设备状态监测与故障诊断技术的绿色化成为必然趋势。在监测设备研发与应用中,注重采用低功耗、环保型材料与技术。例如,开发低功耗传感器,减少设备运行能耗,降低对环境的影响;使用可降解材料制作设备外壳等部件,实现资源循环利用,符合绿色环保要求。(2)低成本技术的普及对推广电气设备状态监测与故障诊断应用至关重要。通过优化传感器设计、采用更经济的数据处理算法等方式,降低监测系统建设与运行成本。例如,利用开源硬件与软件资源,开发低成本、高性能的数据采集与分析模块,使更多企业和用户能够负担得起状态监测系统,促进该技术在更广泛领域应用,提高电气设备整体运行可靠性。(3)绿色化与低成本技术的协同发展,不仅有助于降低企业运营成本,还能减少对环境的负面影响,实现经济效益与环境效益双赢。这将吸引更多行业与企业积极采用电气设备状态监测与故障诊断技术,推动该技术在各领域广泛应用与深入发展,为保障电气设备安全稳定运行提供有力支撑^[4]。

结语

综上所述,电气设备状态监测与故障诊断技术通过多参数监测与多元化诊断方法,实现了设备运行状态的有效评估与故障预警。当前技术正朝着多源数据融合、智能化、物联网深度应用及绿色低碳成本方向快速发展。未来,需进一步深化技术创新,加强跨学科融合,提升技术的适应性与普适性,为电力系统的安全、高效、可持续运行提供更坚实的技术支撑。

参考文献

- [1]荆帅.电气设备状态监测与故障诊断的技术方法[J].电力设备管理,2021(12):104-105,201.
- [2]官永良.电气设备状态监测与故障诊断技术的研究[J].电脑爱好者(电子刊),2020(12):715-716.
- [3]高灵利.电气设备状态监测与故障诊断技术运用[J].建筑工程技术与设计,2020(36):4007.
- [4]黄仁望.电气设备状态监测与故障诊断技术应用研究[J].中华建设,2024(32):181-183.