

电气一次设备运行状态监测与故障诊断技术研究

朱敏杰

620422*****6718

摘要: 电气一次设备是电力系统的核心组成部分，其运行状态直接关系电网安全与供电质量。当前智能电网发展背景下，传统定期检修模式已难以满足设备运维需求，状态监测与故障诊断技术成为研究热点。本文围绕电气一次设备运维实际，分析主流监测技术的应用情况，探讨故障诊断方法的原理与适用场景。针对技术应用中数据融合、诊断精度等问题，提出相应优化路径。研究成果可为电气一次设备运维的智能化、精准化发展提供理论与实践支持，助力提升电力系统整体运行可靠性。

关键词: 电气一次设备；状态监测；故障诊断；智能运维；数据融合

DOI: 10.64216/3104-9664.25.02.025

引言

电力系统是国民经济的重要基础设施，电气一次设备作为电能传输与控制的关键载体，其稳定运行至关重要。近年来，电网规模不断扩大，设备运行环境日趋复杂，极端天气、负荷波动等因素易引发设备故障，影响电网安全。传统检修模式存在明显局限，无法及时发现潜在隐患。状态监测与故障诊断技术可实现设备健康状态的动态感知，为运维提供科学依据。因此，深入研究相关技术，解决应用中的关键问题，对提升电力系统运维水平具有重要的现实意义。

1 电气一次设备运行状态监测技术体系

1.1 非侵入式监测技术应用

非侵入式监测技术因无需拆解设备、不影响运行的特点，在电气一次设备监测中应用广泛。该技术通过在设备外部部署传感器，采集振动、声纹、红外热像等特征信号，实现对设备运行状态的间接判断。对于变压器，可通过监测油中溶解气体浓度判断内部绝缘状况；对于断路器，可利用声纹识别技术检测机械机构故障。与侵入式监测相比，非侵入式技术避免了设备停运和内部结构破坏，降低了运维风险。实际应用中，需通过信号降噪和特征提取技术提升监测准确性，确保及时捕捉设备异常信息。

1.2 多物理量融合监测构建

单一物理量监测易受干扰，难以全面反映设备运行状态，多物理量融合监测技术成为发展方向。该技术通过整合电气量、机械量、热工量等多维度数据，构建全面的设备状态评估体系。以隔离开关为例，可同时监测

接触电阻、操作力矩、表面温度等参数，综合判断设备接触性能和机械状况。数据融合过程中，需解决各参数维度差异大、时空不同步等问题。通过建立统一的数据标准和融合模型，实现多源信息的互补与优化，提升对设备潜伏性故障的识别能力，为状态评估提供更可靠的数据支撑。

1.3 监测数据传输与预处理

监测数据的有效传输与预处理是保障后续分析的基础。传输环节需结合电网场景特点，选择无线或有线传输方式，确保数据实时性与安全性。无线传输适用于偏远区域设备，有线传输则在站内设备监测中更具稳定性。数据预处理是消除干扰、提取有效信息的关键步骤。首先对原始数据进行清洗，剔除异常值和缺失数据；然后通过滤波、归一化等处理，降低噪声影响，统一数据格式。预处理后的数据集能更好地满足故障诊断模型的输入要求，提升诊断结果的可靠性，为设备状态评估提供高质量数据。

2 电气一次设备故障诊断核心方法研究

2.1 传统诊断方法优化

基于信号分析的传统诊断方法是故障诊断的基础，经过多年发展已形成成熟体系，包括傅里叶变换、小波分析等技术。傅里叶变换可将时域信号转换为频域信号，实现对周期性故障特征的提取；小波分析则在非平稳信号处理中表现突出，能有效捕捉设备故障的瞬时特征。针对传统方法分辨率不足的问题，通过改进算法结构，结合自适应滤波技术，提升对微弱故障信号的识别能力。在变压器局部放电监测中，优化后的小波分析方法可更精准地定位放电位置，为故障处理提供明确依据，延长

设备使用寿命。

2.2 机器学习应用探索

机器学习技术的发展为故障诊断提供了新途径,通过算法自主学习设备故障特征,提升诊断智能化水平。常用算法包括支持向量机、神经网络、随机森林等。支持向量机在小样本数据处理中优势明显,可快速建立故障分类模型;神经网络具备强大的非线性拟合能力,能处理复杂的多维度监测数据。应用中,先将预处理后的监测数据分为训练集和测试集,通过训练集构建诊断模型,再利用测试集验证模型性能。通过不断调整模型参数,优化算法结构,提高对不同类型故障的识别准确率,适应复杂的设备运行环境。

2.3 故障模式识别与精度提升

故障模式识别是故障诊断的核心环节,通过建立设备故障与特征参数的对应关系,实现故障类型的精准判断。首先梳理电气一次设备常见故障模式,如变压器绝缘老化、断路器机械卡涩等,提取各故障对应的典型特征。针对不同故障模式的特征差异,构建多特征融合的识别模型。为提升诊断精度,引入交叉验证技术,通过多组数据测试优化模型参数。同时,结合设备运行历史数据,建立故障案例库,实现诊断经验的积累与传承。通过上述措施,减少误诊、漏诊情况,为设备故障处理提供可靠指导。

3 电气一次设备监测与诊断技术应用瓶颈

3.1 多源数据异构性融合难题

多源监测数据的异构性是当前技术应用的主要瓶颈之一。不同监测设备输出的数据格式、维度、精度存在差异,如传感器采集的实时数据与设备台账的静态数据难以直接融合。数据异构性导致信息无法有效互补,影响状态评估的全面性。此外,不同数据源的时间同步性差,如同一时刻的电气量与温度数据采集存在时间差,降低了融合数据的可靠性。现有融合技术多针对特定类型数据,缺乏通用的融合框架,难以适配电网中种类繁多的设备监测需求。在实际应用中,需投入大量人力物力进行数据格式转换和同步处理,增加了运维成本,同时数据处理周期延长,也制约了技术的规模化应用。

3.2 复杂工况下模型适应性不足

电气一次设备运行工况复杂多变,负荷波动、环境温度变化、电磁干扰等因素均会影响监测数据的稳定性。现有故障诊断模型多在特定工况下训练生成,模型参数和特征阈值未充分考虑工况动态变化,当工况发生较大

变化时,模型的诊断精度明显下降。例如,在负荷高峰期,设备参数变化范围扩大,易与故障特征混淆,导致模型误判。此外,极端天气如暴雨、高温等会改变设备运行环境,使故障特征呈现新的规律,而传统模型缺乏对这些新特征的学习能力和自适应调整机制。模型适应性不足限制了诊断技术在复杂电网场景中的应用效果,难以满足实际运维中实时、精准的诊断需求。

3.3 技术落地成本与兼容性问题

技术落地过程中面临的成本与兼容性问题不容忽视。一方面,新型监测设备和诊断系统的购置成本较高,部分老旧变电站受建设年代限制,资金投入和场地空间均有限,难以实现全面升级改造。另一方面,现有电网中设备型号多样,不同厂家的监测设备通信协议不统一,缺乏标准化接口,导致新系统与原有设备难以兼容,形成“信息孤岛”,无法实现数据共享。此外,技术运维需要专业人员,而基层运维人员的技术水平参差不齐,需额外开展系统培训,这进一步增加了系统维护成本。成本过高和兼容性差的问题,使得许多先进技术难以在实际电网中推广应用,制约了设备运维水平的整体提升。

4 电气一次设备监测与诊断技术优化路径

4.1 边缘计算架构升级

基于边缘计算的实时监测系统架构升级,可有效解决数据传输延迟问题。边缘计算将数据处理能力下沉至设备端,实现监测数据的本地分析与处理,减少向云端传输的数据量。在变电站场景中,通过部署边缘计算节点,对变压器、断路器等设备的实时数据进行即时分析,快速识别异常信息并发出预警。这种架构不仅提升了数据处理效率,还降低了网络传输压力和安全风险。同时,边缘计算节点具备一定的存储能力,可缓存关键监测数据,为后续的故障分析和追溯提供支持,优化系统整体响应性能。

4.2 知识图谱智能诊断模型

融合知识图谱的智能诊断模型,可提升诊断的逻辑性和可解释性。知识图谱通过构建设备、故障、特征之间的关联关系,形成结构化的知识网络。在诊断过程中,模型不仅能根据监测数据输出故障结果,还能通过知识图谱展示故障推理过程,帮助运维人员理解故障成因。同时,知识图谱具备动态更新能力,可不断融入新的故障案例和运维经验,丰富模型知识储备。通过将机器学习算法与知识图谱结合,弥补了传统模型“黑箱”缺陷,提高了诊断结果的可信度。

4.3 全生命周期技术集成

全生命周期视角下的技术集成方案，将监测与诊断技术贯穿设备设计、制造、运行、检修、退役的全过程，构建闭环管理体系。在设备设计阶段，结合运维需求预留标准化监测接口，为后续监测设备安装提供便利；制造阶段，详细记录设备材质、工艺等关键参数，建立初始健康档案；运行阶段，通过多维度监测实时掌握设备状态，及时发现潜在异常；检修阶段，结合诊断结果制定精准的针对性检修方案，避免过度维修；退役阶段，系统分析设备故障历史和寿命数据，为新设备设计提供参考。通过各阶段技术与数据的深度集成，实现设备健康状态的全程追溯与管理，优化设备全生命周期成本，提升电力系统资产运营效率。

5 智能电网背景下技术发展趋势展望

5.1 数字孪生监测应用

数字孪生技术在设备监测中的深度应用，将实现物理设备与虚拟模型的实时联动与精准映射。通过三维建模、传感器数据接入等技术构建设备数字孪生体，不仅能精准复现设备物理结构和运行状态，还可在虚拟环境中模拟不同负荷、天气下的设备运行过程，提前预测潜在故障风险。运维人员可通过数字孪生系统远程监测设备内部状态和关键参数，进行虚拟调试和故障模拟演练，大幅减少现场作业次数和安全风险。数字孪生体还能整合设备全生命周期数据，为状态评估和故障诊断提供全面、连续的依据。随着技术成熟，数字孪生将与虚拟现实技术深度结合，实现更直观的设备状态可视化展示和故障模拟，推动监测模式向可视化、智能化转型。

5.2 5G+工业互联网远程诊断

5G+工业互联网将赋能远程诊断新模式，有效解决偏远山区、荒漠等区域设备运维不便的难题。5G技术的高带宽、低延迟、广连接特性，可实现海量监测数据的高速传输和远程控制指令的实时反馈，保障诊断的及时性。工业互联网平台则为多源数据的汇聚、存储和共享提供强大支撑，实现不同区域、不同类型设备监测数据的统一管理和标准化处理。通过该模式，电网专家可远程实时获取偏远地区设备的详细运行数据和诊断信息，为基层运维人员提供精准的实时技术指导，大幅提高故障处理效率。同时，基于工业互联网平台可构建跨区域的诊断服务中心，整合全网专家资源和诊断经验，

实现资源共享和技术协同，显著提升整体运维服务水平。

5.3 绿色低碳监测技术

绿色低碳目标下，节能型监测技术将成为电力行业的发展重点，助力实现“双碳”目标。通过采用低功耗芯片、休眠唤醒机制的传感器和节能型数据传输模块，可大幅降低监测系统自身的能耗水平。优化监测设备部署方案，结合设备重要程度和运行特点合理布点，减少冗余设备，实现资源高效利用。同时，积极利用太阳能、风能等新能源技术为偏远地区监测设备供电，如推广太阳能供电的无线传感器节点，降低对传统电网电能的依赖。在数据处理环节，通过简化算法结构、优化计算流程降低计算能耗，构建轻量化的节能型诊断模型。节能型监测技术的发展，不仅符合绿色低碳的发展理念，还能显著降低运维成本，为电力系统的可持续发展提供有力支撑。

6 结论

本文围绕电气一次设备运行状态监测与故障诊断技术展开系统研究，梳理了当前监测技术体系的构成与应用现状，分析了故障诊断方法的核心原理及发展趋势。研究发现，非侵入式监测、多物理量融合等技术为设备状态感知提供了有效手段，机器学习与知识图谱的结合则提升了故障诊断的精度与可解释性。同时，明确了多源数据融合、复杂工况适应性等技术应用瓶颈，并提出基于边缘计算、全生命周期集成的优化路径。未来，随着数字孪生、5G等技术的深度融合，监测与诊断技术将向更智能、更节能的方向发展，为电力系统安全稳定运行提供更坚实的保障。

参考文献

- [1] 巴宁. 电气一次设备状态监测与故障诊断方法研究[J]. 中国设备工程, 2025, (09): 130-132.
- [2] 邢健. 基于云计算的火电厂电气二次设备状态监测方法[J]. 电气技术与经济, 2024, (06): 147-149.
- [3] 肖冰. 基于数字孪生技术的变电电气一次设备状态监测与优化设计[J]. 光源与照明, 2024, (08): 189-191.
- [4] 杨靓. 电力一次设备的在线监测与状态检修技术[J]. 通信电源技术, 2018, 35(09): 62-64.
- [5] 甘晓雯. 电力一次设备的监测、检修具体做法与实施要点分析[J]. 科技与创新, 2016, (07): 157+160.