

变电设备状态监测与故障诊断技术研究

常排善 陆超

内蒙古电力(集团)有限责任公司阿拉善供电分公司 内蒙古 阿拉善盟 750300

摘要: 文章聚焦变电设备状态监测与故障诊断技术。先阐述状态监测技术基础,包括传感器、数据处理等环节。分析了故障诊断技术体系,涵盖传统、智能诊断及故障定位与预警应用。随后提出状态监测技术优化方案与系统构建思路,以及故障诊断算法优化方法。旨在解决现有技术问题,构建适配智能电网的监测与诊断体系,提升设备运行可靠性,降低运维成本。

关键词: 变电设备; 状态监测; 故障诊断; 多源数据融合; 深度学习

引言: 变电设备是电力系统的关键组成部分,其安全稳定运行关乎整个电网的可靠性。状态监测与故障诊断技术作为保障设备健康的重要手段,能实时掌握设备状态、提前发现故障隐患。随着电力系统智能化发展,传统技术已难以满足需求,智能监测与诊断技术成为研究热点。本文将深入探讨变电设备状态监测与故障诊断技术,分析现状、提出优化方案,为电力运维提供参考。

1 变电设备状态监测技术基础

变电设备状态监测技术是保障电力系统安全稳定运行的关键手段,其核心在于实时、精准地获取设备运行状态信息。该技术依托多种传感器,如温度传感器、振动传感器、局部放电传感器等,这些传感器如同设备的“神经末梢”,能敏锐感知设备的温度变化、机械振动以及绝缘状况等关键参数。通过数据采集系统,将传感器收集到的模拟信号转化为数字信号,为后续分析提供准确数据。信号处理与分析环节至关重要,运用先进的算法和模型,对采集到的海量数据进行筛选、分析和诊断,剔除干扰信息,挖掘潜在故障特征^[1]。状态评估与预测基于分析结果,结合设备历史运行数据和专家经验,对设备当前健康状态进行评估,并预测其未来发展趋势,提前制定维护策略,实现从传统的定期检修向状态检修的转变,有效提高设备运行的可靠性和经济性,降低运维成本。

2 变电设备故障诊断技术体系及应用现状

2.1 传统故障诊断技术及应用

传统故障诊断技术以人工经验搭配基础检测手段,构建了变电设备故障诊断基础体系,在电力系统发展初期及中小型变电站应用广泛。它涵盖直观巡检法、参数对比法、故障树分析法与专家判断法。直观巡检法靠运维人员现场观察设备外观、声音、气味等判断明显故障;参数对比法将监测数据与标准、历史数据对比,识别异常

判断故障;故障树分析法构建故障逻辑模型定位根源;专家判断法依赖资深人员经验综合判断复杂现象。该技术操作简便、成本低、适配简单设备,但存在诊断精度低、主观性强、对复杂故障识别弱、效率低等局限,难以满足大型变电站及高精度设备需求,如今多作为辅助手段,配合现代诊断技术使用。

2.2 智能故障诊断技术及应用

电力系统智能化、规模化发展,智能故障诊断技术渐成故障诊断体系核心,在大型及特高压变电站广泛应用。它以大数据、人工智能、物联网为支撑,整合在线监测、设备台账、运维等多源数据,借助算法模型自动识别、精准分类及定位故障^[2]。常用技术有机器学习、深度学习、大数据融合诊断技术等。机器学习通过训练样本匹配故障特征与类型,适用于单一设备常见故障;深度学习依托神经网络自动提取复杂特征,适配多设备、多故障场景;大数据融合整合多维度数据,实现跨设备、场景综合诊断,提升可靠性。目前,智能诊断技术能精准诊断变压器、断路器等核心设备主要故障,诊断效率提升超50%,大幅降低人工运维成本。

2.3 故障定位与预警技术应用

故障定位与预警技术是故障诊断体系延伸,贯穿设备运行全周期,能及时定位故障、预判趋势,为运维提供精准指导,降低损失,是电力运维智能化重要部分。故障定位技术分电气量、非电气量及融合定位法。电气量定位法分析故障时电压、电流变化定位故障区段与设备;非电气量定位法结合温度、局部放电等非电气参数定位设备内部故障点;融合定位法结合两者数据提升精度。故障预警技术依托监测数据趋势分析,设定预警阈值、构建模型预判设备异常趋势,提前预警,实现“早发现、早排查、早处置”,避免故障扩大。目前,预警技术能精准预警绝缘老化、过热等渐进式故障,预警准确

率超85%。

3 变电设备状态监测技术优化与系统构建

3.1 监测技术优化的总体目标

变电设备状态监测技术优化的总体目标,是解决当前监测技术存在的实时性不足、精度不高、智能化程度低、数据利用率低等问题,构建适配智能电网发展需求的监测体系,实现设备状态的全面感知、精准监测、智能分析及高效管控。具体目标包括四个方面:一是提升监测精度与可靠性,优化监测手段,降低监测误差,确保监测数据能够真实反映设备运行状态,减少误报、漏报现象;二是增强监测实时性与连续性,完善在线监测网络,实现核心设备关键参数的全天候、无死角监测,及时捕捉瞬时异常;三是提升监测智能化水平,融合人工智能、大数据技术,实现监测数据的自动分析、异常识别及故障预判,降低人工干预;四是实现监测系统的一体化、协同化,整合不同设备、不同类型的监测数据,打破数据壁垒,实现监测数据与运维管理、故障诊断系统的无缝对接,提升电力系统运维效率,保障设备安全稳定运行,为智能电网的安全可靠运行提供坚实支撑。

3.2 核心监测技术优化方案

3.2.1 离线监测技术优化

针对传统离线监测技术实时性差、效率低、主观性强的局限,结合当前运维需求,对离线监测技术进行针对性优化,提升其适配性和诊断辅助能力。优化重点主要包括优化检测流程,简化操作步骤,引入便携式、高精度检测设备,如便携式油色谱分析仪、手持红外测温仪等,缩短检测时间,提升检测效率,降低运维人员工作量;完善检测标准,结合设备运行年限、运行环境、负荷情况等,制定差异化检测阈值和检测周期,避免盲目检测,提升检测针对性,对于老旧设备、重载设备适当缩短检测周期,对于新型智能设备优化检测指标;推动离线监测数据数字化,将离线检测数据录入智能化管理平台,实现与在线监测数据、历史数据的对比分析,依托数据建模提升异常识别能力,同时建立离线检测数据追溯体系,便于故障复盘和经验积累,使离线监测技术从“单一检测”向“辅助诊断”转型,更好地配合在线监测技术,形成互补的监测体系。

3.2.2 在线监测技术优化

在线监测技术作为当前监测体系的核心,其优化重点是解决监测精度不足、数据冗余、设备可靠性低、运维成本高的问题,提升监测系统的稳定性和实用性。首先,优化传感器选型与布置,根据不同设备的故障特征,选用高精度、抗干扰、长寿命的传感器,合理布置传感

器位置,减少监测盲区,提升数据采集的准确性,如在变压器绕组关键部位增设温度传感器,在断路器灭弧室增设气体传感器;其次,优化数据传输技术,采用5G、光纤等高速传输方式,解决数据传输延迟、丢包问题,同时引入数据压缩技术,减少冗余数据,降低存储压力和传输成本;最后,优化数据预处理技术,建立异常数据过滤、修正模型,剔除监测过程中的干扰数据、错误数据,提升数据质量,为后续故障诊断和趋势分析提供可靠的数据支撑,目前在线监测技术优化后,数据准确率已提升至98%以上,有效减少了无效数据对诊断结果的影响^[1]。

3.2.3 智能化监测技术创新应用

智能化监测技术的创新应用,是监测技术优化的核心方向,旨在突破传统监测技术的局限,实现监测从“被动采集”向“主动预判”转型,目前已在多个重点变电站试点应用并逐步推广。创新应用主要集中在三个方面:一是物联网与监测技术的深度融合,通过部署物联网终端,实现设备运行状态的全面感知,打破设备之间的数据壁垒,实现多设备协同监测,如通过物联网平台整合变压器、互感器的监测数据,实现综合状态评估;二是人工智能技术的创新应用,引入深度学习、强化学习等算法,构建智能监测分析模型,实现故障特征的自动提取、异常的智能识别及故障趋势的精准预判,无需人工干预即可完成监测数据分析;三是可视化监测技术的应用,依托三维建模、虚拟现实技术,构建设备虚拟监测模型,将监测数据实时映射至虚拟模型,实现设备状态的可视化展示,便于运维人员直观掌握设备运行状态,快速定位异常位置。

3.3 智能化状态监测系统构建

智能化状态监测系统构建以“数据驱动、智能管控、协同高效”为核心,整合优化后的监测技术、多源数据资源及智能分析模型,构建覆盖设备运行全周期、多维度的一体化监测系统,支撑智能电网运维管控需求。系统整体分为四层架构:感知层、传输层、平台层及应用层。感知层作为数据采集核心,部署各类高精度传感器、物联网终端、智能化巡检设备,实现设备运行参数、环境参数的全面采集;传输层采用光纤、5G、无线专网等多种传输方式,构建高速、可靠的数据传输通道,实现感知层数据向平台层的实时传输;平台层是系统核心,整合数据存储、数据处理、智能分析等功能,建立多源数据融合数据库,部署智能分析算法模型,实现数据的过滤、分析、建模及异常识别;应用层面向运维人员、管理人员,提供状态展示、异常预警、数据查询、报表生

成等功能,实现监测数据的可视化呈现和高效利用。

3.4 监测系统的性能测试与优化

监测系统构建完成后,需通过全面的性能测试,排查系统存在的问题,进一步优化系统性能,确保系统能够稳定、可靠运行,满足实际监测需求。性能测试主要围绕四个核心指标开展:一是数据采集精度测试,对比系统采集数据与标准数据、离线检测数据,验证采集精度是否符合设计要求,针对精度不足的部位,优化传感器布置或调整数据预处理算法;二是系统稳定性测试,通过长时间连续运行,监测系统的运行状态,排查系统卡顿、崩溃、数据丢失等问题,优化系统硬件配置和软件架构,提升系统稳定性;三是实时性测试,模拟设备异常场景,测试系统数据传输、分析、预警的响应时间,确保响应时间满足运维处置需求,针对延迟过高的问题,优化数据传输通道和算法效率;四是兼容性测试,测试系统与现有电力运维系统、设备台账系统、故障诊断系统的对接兼容性,解决数据交互不畅、接口不匹配等问题。测试完成后,针对发现的问题制定针对性优化方案,迭代完善系统,同时建立系统定期测试、定期优化机制,根据设备更新、运维需求变化,持续提升系统性能,确保系统长期适配变电设备监测需求。

4 变电设备故障诊断算法优化与诊断系统完善

4.1 故障特征提取方法优化

故障特征提取是故障诊断核心环节,其效果直接影响诊断的精度与可靠性。当前,该环节存在特征冗余、有效特征不突出、复杂故障特征提取难等问题,需针对性优化。优化重点有三:一是优化特征提取算法,针对不同设备及故障类型选用适配算法,如变压器局部放电故障优化小波分析算法,断路器机械故障优化时域、频域分析算法;二是引入特征融合技术,整合多维度、多类型故障特征,剔除冗余,保留核心有效特征,如融合电气量与非电气量特征;三是优化特征标准化处理,建立统一模型,消除不同设备、监测条件下的特征差异,提升通用性。通过优化,故障特征提取准确率提升至95%以上,解决了复杂故障特征提取难题,为后续故障诊断算法优化打下坚实基础。

4.2 核心故障诊断算法优化

核心故障诊断算法是智能故障诊断技术的核心,针对当前算法存在的诊断精度不足、泛化能力弱、复杂故障适配性差、响应速度慢等问题,结合变电设备故障特征及监测数据特点,开展算法优化工作,提升诊断算法的实用性和可靠性。优化重点围绕常用核心算法展开:优化机器学习算法,如支持向量机、随机森林等,通过调整算法参数、增加训练样本多样性,提升算法对单一设备常见故障的诊断精度和泛化能力,解决小样本数据下诊断精度低的问题;优化深度学习算法,如卷积神经网络、循环神经网络等,简化网络结构,减少模型训练时间,提升算法响应速度,同时引入注意力机制,增强算法对复杂故障特征的识别能力,适配多故障叠加场景;构建融合诊断算法,整合不同算法的优势,如结合机器学习的高效性与深度学习的复杂性,实现不同故障场景的全覆盖,提升诊断可靠性^[4]。另外,通过引入迁移学习技术,将已训练好的模型迁移至不同变电站、不同设备,降低模型训练成本,加快算法落地应用,优化后算法的故障诊断准确率可达90%以上,响应速度较之前提升40%。

结束语

变电设备状态监测与故障诊断技术对电力系统安全意义重大。通过对状态监测技术的优化,构建智能化监测系统,以及对故障诊断算法的改进,可有效提升设备状态感知与故障诊断能力。未来,随着技术不断发展,应持续完善监测与诊断体系,加强技术创新与应用,进一步提高电力系统的智能化运维水平,保障电力供应的稳定与可靠。

参考文献

- [1]周凤婷,赵慧明.变电站一次设备状态监测与故障诊断技术研究[J].电子元器件与信息技术,2024,8(7):181-183.
- [2]曹阳,陈博浩.变电站设备状态监测与故障诊断技术研究[J].中国设备工程,2025(16):192-194.
- [3]赵俊石,卢波,齐光豪,等.基于人工智能的变电站设备状态监测与故障诊断技术研究[J].中国高科技,2024(22):15-17.
- [4]元莉莉,刘彬.智能变电站设备状态监测与故障诊断方法研究[J].消费电子,2024(12):189-191.