

基于带电检测技术的变电检修方法研究

王淳艺 王晓阳 张莹

中国铁路北京局有限公司天津供电段 天津 300402

摘要:随着电力系统向高电压、大容量方向发展,变电站作为电力传输的核心枢纽,其安全稳定运行直接关系到电网可靠性。本文围绕带电检测技术在变电检修中的应用展开研究,首先阐述了带电检测技术的定义及其核心优势,包括提升供电可靠性、及时发现设备潜在故障、降低检修成本及延长设备使用寿命。在此基础上,详细介绍了GIS超声波检测、高频局部放电检测、红外热成像检测等多种基于带电检测技术的具体变电检修方法。同时,分析了该技术应用中存在的检测技术局限性、人员专业水平参差不齐及数据管理不完善等问题,并针对性地提出综合运用多种技术、加强人员培训及完善数据管理系统等对策,为提升变电检修效率与供电稳定性提供参考。

关键词:带电检测;技术;变电检修;方法

引言:变电站是电力系统的关键枢纽,其设备运行状态直接影响电力供应的安全性与可靠性,变电检修工作对保障设备健康、预防事故具有重要意义。传统变电检修模式多依赖停电检测,存在影响供电连续性、难以实时捕捉潜在缺陷等不足。带电检测技术作为一种无需停电即可对设备状态进行监测的先进手段,能够有效弥补传统方法的缺陷,为变电检修提供更高效、精准的技术支持。并通过系统研究带电检测技术的内涵、具体应用方法及实践中存在的问题与解决路径,旨在为优化变电检修流程、提升电力系统运维水平提供理论与实践依据。

1 带电检测技术概述

1.1 带电检测技术的定义

带电检测技术是指在电力设备正常运行、保持带电状态的情况下,借助专业的检测仪器和设备,对设备的电气性能、物理参数及运行状态进行实时监测与诊断的技术手段。它突破了传统停电检修的限制,通过采集设备在实际运行条件下的局部放电、温度变化、气体成分等特征信号,结合数据分析判断设备是否存在潜在缺陷或故障隐患。该技术以非侵入式检测为核心特点,能够在不影响电力系统正常供电的前提下,实现对设备状态的动态评估,为变电检修提供精准的技术依据,是现代电力设备状态检修体系的重要组成部分。

1.2 带电检测技术的优势

1.2.1 提高供电可靠性

带电检测技术无需对电力设备进行停电操作,可在设备正常运行过程中完成状态监测,从根本上避免了因停电检修导致的供电中断问题。这一特点对于保障居民生活用电、工业生产连续供电具有重要意义,尤其在用电高峰期或重要保电时段,能最大限度减少停电带来的

经济损失和社会影响。同时,通过实时监测及时掌握设备状态,可提前安排检修计划,避免因突发故障造成的非计划停电,显著提升了电力系统供电的连续性和稳定性,为电力用户提供更可靠的电力保障。

1.2.2 及时发现潜在故障

带电检测技术能够对电力设备在运行过程中产生的细微异常信号进行捕捉和分析,这些信号往往是设备潜在故障的早期特征。与传统检修方式相比,它不受固定检修周期的限制,可动态跟踪设备状态变化,敏锐发现设备绝缘老化、接触不良、局部过热等不易察觉的隐性缺陷。例如,通过局部放电检测可捕捉设备内部绝缘劣化的早期迹象,红外热成像技术能快速识别接触点过热等问题,从而在故障发生前及时采取措施,有效预防电力事故的发生。

1.2.3 降低检修成本

传统停电检修模式需要安排停电计划、投入大量人力物力进行设备拆解与检测,不仅影响供电收入,还会产生较高的人工和设备损耗成本。带电检测技术无需停电,减少了因停电造成的电量损失和相关协调成本;同时,其通过精准定位故障点,避免了盲目检修和过度维护,降低了不必要的设备更换和维修费用。此外,带电检测可实现对设备状态的连续监测,便于制定更合理的检修计划,提高检修工作的针对性和效率,从整体上降低了变电检修的综合成本。

1.2.4 延长设备使用寿命

传统检修方式中,频繁的停电和设备拆解可能对设备造成不必要的损伤,影响其正常使用寿命。带电检测技术采用非侵入式监测方式,避免了对设备的物理干扰,减少了因检修操作导致的设备损耗。同时,通过及

时发现设备潜在故障并进行针对性处理,可防止小缺陷扩大为严重故障,避免设备因长期带缺陷运行而加速老化或损坏。此外,基于带电检测数据制定的状态检修计划,能够根据设备实际运行状况合理安排维护时间,避免过度检修对设备造成的损害,从而有效延长设备的使用寿命^[1]。

2 基于带电检测技术的变电检修方法

2.1 GIS 超声波带电检测技术

GIS 超声波带电检测技术是通过捕捉气体绝缘开关设备(GIS)内部故障产生的超声波信号,实现对设备状态监测的技术手段。其核心原理在于,当GIS内部出现局部放电、机械振动或部件松动等异常情况时,会产生特定频率的超声波,这些声波可通过设备外壳传递至外部。检测时,技术人员使用超声波传感器紧贴GIS设备外壳的关键部位,如法兰连接处、绝缘盆附近等,接收并采集超声波信号。由于超声波在固体介质中传播衰减较快,传感器需与设备表面保持良好耦合,通常通过涂抹耦合剂来减少信号损失。该技术适用于GIS设备的日常巡检和状态评估,尤其对局部放电、机械故障等隐蔽性问题的检测具有优势。

2.2 高频局部放电检测技术

高频局部放电检测技术主要用于捕捉电力设备内部局部放电产生的高频电信号,从而判断设备绝缘状态。局部放电是设备绝缘劣化的重要标志,当绝缘材料存在缺陷时,缺陷处会发生局部击穿,产生高频脉冲电流,这些电流通过设备外壳或线路向外辐射高频电磁波。检测过程中,检测仪器通过安装在设备套管、电缆终端等部位的高频电流传感器,感应局部放电产生的高频信号。传感器需具备较高的灵敏度和抗干扰能力,以区分设备正常运行的背景噪声与局部放电信号。此技术广泛应用于变压器、电缆、开关柜等设备的绝缘状态检测。通过对采集到的高频信号进行分析,可判断局部放电的类型。

2.3 红外热成像检测技术

红外热成像检测技术利用红外热像仪接收物体发出的红外辐射,将其转化为可见的热图像,以反映设备表面温度分布情况,从而判断设备运行状态。物体的温度越高,辐射的红外能量越强,热像仪通过捕捉这种能量差异,生成不同颜色的热图,红色通常代表高温区域,蓝色则代表低温区域。检测时,技术人员使用红外热像仪对变电站内的各类设备进行扫描,包括变压器、断路器、母线接头、隔离开关等。检测过程需注意保持合适的距离和角度,避免遮挡物影响信号接收,同时要考虑

环境温度、光照等因素对检测结果的干扰,必要时进行多次检测以确保准确性。

2.4 开关柜超声波检测技术

开关柜超声波检测技术是针对开关柜内部异常情况进行监测的技术,其原理与GIS超声波检测类似,即通过检测开关柜内部故障产生的超声波信号来判断设备状态。开关柜内部空间封闭,当出现局部放电、电弧放电或部件松动等问题时,会产生超声波,这些声波可通过柜体结构传递出来。检测时,技术人员将超声波传感器放置在开关柜的观察窗、柜门缝隙等位置,接收超声波信号。由于开关柜内部设备布局复杂,不同部位产生的超声波信号特征存在差异,需对开关柜的各个间隔和关键部件逐一检测。该技术适用于开关柜的日常维护和状态检修,能有效发现开关柜内部的局部放电、接触不良等故障。特别是对于封闭式开关柜,传统的目视检查难以发现内部问题,而超声波检测可在不打开柜门的情况下,实现对设备内部状态的监测,减少了因开门检查带来的安全风险和对设备运行的干扰,有助于保障开关柜的安全稳定运行。

2.5 特高频局部放电检测技术

特高频局部放电检测技术通过捕捉设备内部局部放电产生的特高频电磁波信号,实现对设备状态的监测。局部放电过程中会释放出宽频带的电磁波,其中特高频段的电磁波穿透力较强,受外界干扰相对较小,能够更清晰地反映局部放电的特征。检测时,可采用内置传感器或外置传感器。内置传感器通常安装在设备内部的预留接口处,能直接接收特高频信号;外置传感器则放置在设备外部,通过设备的缝隙、观察窗等部位接收辐射出来的电磁波。检测仪器对接收的信号进行放大、滤波和分析,提取局部放电的特征参数。该技术适用于变压器、GIS、电缆等多种电力设备的局部放电检测,尤其在大型设备和复杂环境中表现出较强的优势。通过分析特高频信号的幅值、相位、脉冲次数等特征,可准确判断局部放电的位置和严重程度,为评估设备绝缘状态、制定检修策略提供重要依据,有助于提前发现设备潜在的绝缘故障,避免绝缘击穿等严重事故的发生。

2.6 SF₆ 气体泄漏检测技术

SF₆ 气体泄漏检测技术是用于监测以SF₆为绝缘和灭弧介质的电力设备(如GIS、断路器等)中气体泄漏情况的技术。SF₆ 气体具有优良的绝缘和灭弧性能,但它是一种温室气体,且泄漏会导致设备绝缘和灭弧能力下降,影响设备正常运行。检测方法主要有定性检测和定量检测两种。定性检测通常采用检漏仪,通过探头在设

备的法兰连接、阀门、密封圈等易泄漏部位移动,当检测到 SF₆ 气体时,仪器会发出声光报警,从而确定泄漏点的大致位置。定量检测则是通过测量设备内部 SF₆ 气体的压力变化、浓度变化等参数,计算泄漏率,评估设备的泄漏程度。该技术在变电检修中不可或缺,定期对 SF₆ 设备进行泄漏检测,可及时发现泄漏点并采取密封措施,防止气体进一步泄漏,保障设备的绝缘和灭弧性能,同时减少 SF₆ 气体对环境的影响,确保设备安全、环保运行^[2]。

3 带电检测技术在变电检修应用中存在的问题及对策

3.1 存在的问题

3.1.1 检测技术的局限性

不同带电检测技术适用场景有限,如超声波检测易受环境噪声干扰,特高频检测对设备内部遮挡敏感。部分技术难以精准定位缺陷,对早期微小故障信号捕捉能力不足,且受设备运行负荷、外界温湿度等因素影响大,易出现误判或漏判,难以全面反映设备真实状态。

3.1.2 检测人员专业水平参差不齐

部分检测人员对各类带电检测技术原理掌握不扎实,操作仪器不规范,导致数据采集偏差。面对复杂检测结果,缺乏综合分析能力,难以准确识别故障类型及严重程度。人员培训体系不完善,新老员工技能断层,影响检测工作质量与效率。

3.1.3 检测数据管理与分析不完善

检测数据多分散存储,缺乏统一管理平台,数据共享困难。数据记录不规范,关键信息缺失,影响后续追溯与对比分析。缺乏有效的数据挖掘手段,难以通过历史数据趋势预测设备状态变化,数据价值未充分发挥,对检修决策支撑不足。

3.2 对策建议

3.2.1 综合运用多种检测技术

针对单一检测技术的局限性,应构建多技术协同的检测体系。根据设备类型与运行环境,合理搭配 GIS 超声波检测、红外热成像、局部放电检测等技术,通过不同技术的优势互补提升检测准确性。例如,用红外热成像快速定位过热缺陷,结合超声波检测判断故障性质;对疑似局部放电信号,同时采用高频与特高频检测交叉验证。建立技术适配模型,明确不同场景下的最优技术

组合,通过多维度数据融合分析,降低环境干扰与误判风险,全面反映设备真实状态,为检修决策提供可靠依据。

3.2.2 加强检测人员培训

建立系统化的人员培训机制,提升检测队伍专业素养。围绕技术原理、仪器操作、数据分析等核心内容,设计分层培训课程:基础培训针对新员工,强化理论与实操技能;进阶培训面向骨干人员,侧重复杂故障诊断与多技术协同应用。定期开展实战演练与技能竞赛,通过模拟真实检修场景提升解决问题的能力。完善考核与认证体系,将培训效果与岗位资格挂钩。同时,建立导师带徒制度,缓解新老员工技能断层问题,打造一支理论扎实、操作规范、经验丰富的检测团队。

3.2.3 完善检测数据管理与分析系统

搭建统一的检测数据管理平台,实现数据集中存储与共享。制定标准化的数据采集规范,明确设备参数、检测环境、信号特征等必填项,确保数据完整性与一致性。引入大数据与人工智能技术,开发智能分析模块:通过历史数据比对识别状态变化趋势,利用算法模型预测潜在故障;设置数据预警机制,自动标记异常信号并推送检修建议。建立数据闭环管理流程,将检测数据、检修记录、设备状态更新实时关联,形成全生命周期数据库,充分发挥数据价值,为状态检修提供精准的数据支撑^[3]。

结束语

带电检测技术为变电检修提供了高效、精准的技术支撑,其多种具体方法在不同设备和场景中发挥着重要作用,有效弥补了传统检修模式的不足。尽管当前应用中存在技术局限、人员水平差异及数据管理问题,但通过综合运用技术、加强人员培训和完善数据系统等对策,可不断提升其应用效能。

参考文献

- [1]邓万婷.带电检测技术在湖北智能电网状态检修模式中的应用[J].湖北电力,2022,34(增1):129-131.
- [2]张国灿,苏东青,叶玉云.红外成像技术在电力设备状态检测中的应用[J].电工技术,2021(12):148-149.
- [3]贺素群,董俊贤,汪滔.红外检测在设备状态检修中的应用[J].云南电力技术,2021,39(5):169-170.