

750kV变压器局放试验故障分析和处理

马 伟

宁夏送变电工程有限公司 宁夏 银川 750001

摘要:局放试验技术涵盖多方面:检测技术上,脉冲电流法等多技术协同,频谱分析分离信号;故障分类中,绝缘系统、制造工艺、运行环境故障各有诱因;故障诊断融合多维技术,优化定位算法,标准化流程;处理策略包括绝缘修复、工艺改进、环境优化;试验验证有重复性检测等方法,效果评估构建了局放量、绝缘参数、运行可靠性、成本效益等指标体系,全面保障设备稳定运行。

关键词:750kV变压器;局放试验;故障分析与处理

引言:局部放电作为影响电气设备绝缘性能与运行稳定性的关键因素,其检测、诊断、处理及效果评估至关重要。从局放检测技术原理与故障分类,到故障诊断方法与定位策略;从故障处理策略的实施路径,到试验验证与效果评估体系的构建,各个环节紧密相连。深入探究这些内容,有助于精准把握局放故障特征,实现高效诊断与妥善处理,保障电气设备安全稳定运行。

1 局放试验技术基础与故障特征

1.1 局放检测技术原理

脉冲电流法通过检测放电产生的脉冲电流信号实现局放监测,核心是捕捉信号的幅值、极性与持续时间等特征,反映放电的强度与频次。特高频与超声波传感器协同检测时,前者捕捉放电产生的高频电磁信号,后者接收机械振动衍生的声波信号,两者互补提升检测覆盖范围与准确性。频谱分析在特定频段内可解析信号的频率分布规律,精准分离有效信号与干扰成分。试验回路的电压高低直接影响放电强度,频率变化则会改变放电的激发条件,二者共同作用导致检测结果出现相应波动。

1.2 局放故障分类体系

绝缘系统故障中,气隙放电源于绝缘内部空隙的电场畸变,沿面放电发生在绝缘表面,悬浮电位放电由导体与绝缘间的电位差引发,三者的电场分布形态因放电发生位置与介质特性不同呈现明显差异。制造工艺缺陷中,绕制紧密度不足会导致绝缘层受力不均,压装应力集中易造成局部结构损伤,真空处理残留则会留存杂质影响绝缘性能,这些物理特征均为局放产生的重要诱因。运行环境中,温度梯度会加速绝缘材料老化,机械振动可能导致结构松动,氧化老化则会破坏绝缘的化学稳定性,三者通过不同作用机制引发局放故障^[1]。

1.3 故障特征参数提取

起始放电电压与熄灭电压是反映放电临界状态的关

键参数,受绝缘状态、环境条件等因素影响,其数值存在一定波动范围,可直接反映绝缘劣化程度。脉冲序列密度与幅值的统计相关性,能体现放电的活跃程度,密度与幅值的变化趋势可揭示故障发展规律。频谱能量分布的异常偏移,意味着放电信号的频率构成发生改变,是识别故障类型的重要依据。多相系统中,局放脉冲的出现与电压相位存在特定同步关系,通过分析相位同步特征,可进一步明确放电的发生机制与位置特性。

2 故障诊断技术与定位策略

2.1 多维检测技术融合

脉冲电流法与超声波法的时空同步检测策略,核心在于实现两种信号在时间维度的精准对齐与空间维度的互补覆盖。通过同步触发机制确保放电信号采集的时间一致性,结合两种方法的检测优势,既捕捉电信号的瞬时特征,又获取声波信号的传播路径信息,有效减少单一技术的盲区与误判概率。特高频传感器空间定位算法的优化,聚焦于提升信号到达时间差的计算精度与传感器阵列的布局合理性,通过优化算法模型降低环境干扰对定位结果的影响,增强复杂场景下的定位可靠性。红外热成像与局放信号的关联分析模型,通过建立温度场变化与放电强度、频次的对应关系,利用热效应与放电现象的内在联系,实现对故障状态的多维度验证。油色谱中特征气体的生成速率关联性分析,基于不同故障类型下气体产生的机理差异,通过追踪气体浓度随时间的变化规律,与局放检测结果相互佐证,形成更为全面的故障诊断依据。

2.2 故障定位技术实现

时差定位法在三维空间中的精度提升,重点在于优化信号传播速度的校正机制与多传感器数据融合算法。通过对传播介质特性的实时监测与补偿,减少环境因素导致的速度偏差,同时结合多组传感器的时差数据进行

交叉验证, 缩小定位误差范围, 实现对故障点的精准锁定。频谱能量分布的异常区域识别技术, 通过对全频段信号的能量分布进行量化分析, 定位能量集中的异常频段与空间区域, 结合放电信号的频谱特征, 快速筛选出故障相关的有效信息, 排除无干扰信号的影响。相位同步分析在多相系统中的应用边界, 主要取决于系统电压相位的稳定性与放电信号的相位关联性, 需明确不同运行状态下相位分析的适用条件, 避免因系统波动导致的定位偏差, 确保在稳定运行场景下发挥相位同步的定位价值^[2]。人工智能算法在故障模式识别中的初步探索框架, 以海量检测数据为基础, 通过构建特征提取、模型训练与模式匹配的核心流程, 学习不同故障类型的信号特征规律, 逐步形成自动化的故障识别能力, 为诊断效率提升提供技术支撑。

2.3 诊断流程标准化

从信号采集到故障确认的闭环流程设计, 遵循“采集-处理-分析-判断-复核”的逻辑顺序, 明确各环节的操作标准与衔接要求。信号采集阶段确保数据的完整性与准确性, 处理阶段聚焦于噪声抑制与特征提取, 分析阶段结合多维数据进行综合研判, 判断阶段形成初步诊断结论, 复核阶段通过交叉验证确保结果可靠。背景噪声抑制与抗干扰措施的实施要点, 包括检测设备的屏蔽设计、检测环境的干扰排查、信号处理的滤波算法应用等, 通过硬件优化与软件处理相结合的方式, 最大限度降低外部干扰对检测结果的影响。数据记录、存储与复核的规范化要求, 明确记录内容需涵盖检测参数、环境条件、信号特征等关键信息, 存储格式需满足可追溯性与兼容性要求, 复核流程需建立双人核对机制, 确保数据的真实性与诊断结论的严谨性。

3 故障处理策略与实施路径

3.1 绝缘系统修复技术

气隙放电的真空浸渍处理工艺优化, 核心是通过精准调控真空负压强度、浸渍剂加热温度与保温静置时长, 改善浸渍剂的分子流动性与渗透能力, 让浸渍剂充分浸润绝缘材料内部的微小孔隙、裂隙及界面间隙, 彻底填充各类气隙结构, 从根本上消除电场畸变的产生条件, 同时增强绝缘层间的粘结强度, 恢复绝缘介质的均匀性与介电性能, 提升绝缘系统的整体耐压水平与运行稳定性。沿面放电的表面涂覆防护材料选择, 需综合考量材料的绝缘强度、耐污耐腐蚀性能、界面粘附力、环境适应性及长期稳定性, 优先选用能在绝缘表面形成致密、均匀且不易老化的防护层材料, 通过隔绝空气中的水分、尘埃、腐蚀性气体等污染物, 减少表面电荷的积

累与迁移, 抑制放电通道的起始形成与沿面发展, 同时降低表面电导与介质损耗, 提升绝缘表面的耐电晕性能与使用寿命。悬浮电位部件的接地设计与绝缘加固方案, 通过合理规划接地路径、优化接地导体的截面尺寸与布置方式, 确保部件电位稳定一致, 避免电位悬浮引发的电场集中; 同时采用机械强度高、绝缘性能优异且耐老化的材料对部件进行固定、包覆与支撑, 消除运行过程中因振动、温度变化导致的松动、位移隐患, 彻底阻断电位差的产生路径, 从结构设计层面根除悬浮电位放电的诱发因素, 全面恢复绝缘系统的整体稳定性与安全运行能力^[3]。

3.2 制造工艺改进措施

线圈绕制紧密度控制与电场均匀化设计, 通过引入精准的张力控制系统实时调节绕线张力参数, 采用有序排线技术规范绕线轨迹与层间排列方式, 确保线圈绕组结构紧实均匀, 避免因局部松弛、层间间隙不均导致的电场集中现象; 同时结合电场仿真分析结果, 采用梯度绝缘设计思路, 根据线圈不同区域的电场分布特点, 合理匹配绝缘厚度与材料介电常数, 平衡线圈内部的电场分布状态, 降低绝缘局部承受的电场强度, 减少局部放电的发生概率, 提升线圈整体的绝缘裕度与运行可靠性。绝缘件压装工艺的应力分布优化方法, 核心是改进压装模具的结构形态、接触方式与压力传递路径, 采用分段加压、分步保压、均匀施压的方式, 实现压力在绝缘件各部位的均匀传递与分布, 避免局部压力集中造成的绝缘材料微观裂纹、分层或性能劣化; 同时通过大量试验确定最优压装力度范围与保压时间, 在保证绝缘件结构致密性的前提下, 避免过度压装对绝缘材料造成损伤, 确保压装后绝缘件的结构完整性、尺寸稳定性与介电性能一致性。真空处理参数的精细化控制标准, 需根据绝缘材料特性、部件结构复杂度与装配间隙大小, 精准调控真空环境的负压等级、抽真空的持续时间、升温速率与保温阶段, 通过分阶段抽真空工艺, 逐步去除绝缘材料内部、部件装配间隙中残留的水分、空气及其他气体杂质, 减少绝缘内部的气泡与孔隙, 显著提升绝缘系统的致密性、介电强度与耐老化性能, 从制造源头减少局部放故障的潜在诱因, 为设备长期稳定运行奠定基础。

3.3 运行环境优化方案

温度控制系统的升级与油流循环改善路径, 重点在于优化冷却装置的布局位置、换热面积与运行控制逻辑, 引入精准温度传感与闭环反馈调节机制, 提升温度调节的响应速度、控制精度与空间均匀性, 有效避免设备运行过程中局部高温区域的形成; 同时重新设计油流

循环路径,优化油路阻力分布,增设导流装置与循环泵组,增强绝缘油的循环流动效率与杂质携带能力,通过定期过滤、净化处理与油质监测,维持绝缘油的介电性能、散热性能与化学稳定性,为设备绝缘系统提供稳定、适宜的温度环境保障,延缓绝缘材料的热老化进程^[4]。机械振动隔离装置的设计与应用原则,需先通过专业检测明确设备运行过程中的振动频率、振幅、相位等关键特性,再针对性选择刚度匹配、阻尼性能优异且耐老化的隔离材料与结构形式,采用多级隔离设计增强振动能量的吸收与衰减效果,减少振动对绝缘结构、部件连接部位及密封装置的冲击与长期磨损,防止因结构松动、接触不良引发的局放故障,同时降低振动导致的绝缘材料疲劳老化速度,延长绝缘系统的服役寿命与设备无故障运行时间。绝缘材料抗氧化处理的实施流程与效果评估,通过在绝缘材料表面均匀施加耐老化抗氧化涂层,或在绝缘油中科学添加适配的抗氧化剂,抑制材料氧化反应的发生,延缓氧化老化进程;同时建立常态化的绝缘性能检测机制,定期监测绝缘电阻、介电损耗、局部放电量等关键指标的变化趋势,结合材料老化机理分析,系统评估抗氧化处理的实际效果,根据评估结果及时调整处理方案与周期,确保运行环境对绝缘系统的不良影响持续处于受控状态,维持设备绝缘性能的稳定。

4 试验验证与效果评估体系

4.1 修复后试验验证方法

局放试验参数的重复性检测需严格遵循统一试验条件,明确规定检测频次、操作流程与设备校准要求,通过多次平行试验获取多组数据,采用数据统计方法分析离散程度,精准控制随机误差与系统误差,确保试验结果的一致性、可比性与可信度,为修复效果判断提供可靠数据支撑。背景噪声水平与信噪比的量化评估,需建立标准化的测量流程与计算方法,精准捕捉检测环境中的噪声信号强度与有效放电信号的幅值比值,明确不同场景下的合格阈值范围,以此判断检测环境是否满足试验要求,避免噪声干扰导致的结果误判。长期运行稳定性跟踪方案需结合设备运行特性,规划科学合理的监测周期,全面覆盖设备典型运行工况与负荷变化区间,持

续采集局放信号特征、绝缘性能参数等关键数据,通过动态趋势分析评估修复效果的持久性与稳定性,及时发现潜在问题并采取应对措施^[5]。

4.2 效果评估指标体系

局放量降低幅度的统计分析需系统对比修复前后的局放检测数据,采用定量分析方法计算数值变化比例、波动范围与变化趋势,结合行业通用的合格标准与设备运行要求,综合判断故障抑制效果是否达到预期目标。绝缘电阻与介电损耗因数的改善程度量化,需通过高精度检测设备获取修复后的参数数值,分别与修复前的基础数据及设备额定标准阈值进行多维度比对,直观反映绝缘材料介电性能的恢复水平与提升幅度,为绝缘系统状态评估提供核心依据。运行可靠性提升的统计分析模型,需整合修复后设备的故障发生率、非计划停机时长、维护频次等关键数据,通过趋势分析、概率计算与风险评估等方法,量化评估修复措施对设备运行稳定性的提升作用,为运维策略优化提供数据支持。

结束语:本文围绕局放试验技术,从故障特征、诊断方法、处理策略到试验验证与效果评估,构建了全面体系。深入剖析了局放故障成因、特征及诊断定位技术,提出针对性修复、改进与优化措施,并给出科学验证方法与评估指标。这不仅为局放故障处理提供了系统指导,也为后续研究奠定了基础,有望推动相关领域技术发展,提升设备运行稳定性与安全性,创造更大经济效益与社会效益。

参考文献

- [1]李越.500kV变压器局放试验故障分析和处理[J].工程管理,2025,6(1):138-140.
- [2]王鑫,鲁永,胡润阁,等.一起500kV变压器内部故障分析与处理[J].变压器,2023,60(7):71-75.
- [3]程潜善,姚晶晶.500kV变压器局放试验故障和处理[J].中国电气工程学报,2020,(1):1-2.
- [4]王晶晶.500kV变压器局放试验故障和处理[J].科学与技术,2021,(13):1-2.
- [5]金仕琦.500kV变压器局放试验故障及对策研究[J].当代电力文化,2020,(29):1-2.