

Research on troubleshooting techniques of common transformer faults in transformer maintenance

JianGuo Han

Baotou Power Supply Company, Baotou, Inner Mongolia, 014000, China

Abstract

As the core component of power systems, transformers directly determine grid reliability and power supply quality through their safe and stable operation. However, prolonged operational stress, mechanical vibrations, environmental degradation, and improper maintenance have led to recurring issues such as winding deformation, insulation aging, and core grounding faults in transformers, which may result in equipment shutdowns or even major safety incidents. Traditional fault diagnosis methods remain limited by inefficiency and accuracy shortcomings. The application of intelligent diagnostic technologies and online monitoring systems has opened new avenues for transformer condition assessment and predictive maintenance. This paper first provides a comprehensive analysis of common transformer failure types and their causes, then elaborates on diagnostic techniques, followed by practical troubleshooting strategies from multiple perspectives. Finally, it summarizes preventive maintenance approaches to offer valuable references for related research.

Keywords

Substation maintenance; Transformers; Common fault diagnosis; Intelligent technology; Predictive maintenance

变电维修中变压器常见故障处理技术研究

韩建国

包头供电公司, 中国·内蒙古 包头 014000

摘要

变压器作为电力系统的核心设备,其安全稳定运行直接关系到电网的可靠性与供电质量。然而,受电气应力、机械振动、环境侵蚀及运维不当等因素影响,变压器在长期运行中易出现绕组变形、绝缘老化、铁芯接地故障等典型问题,导致设备停运甚至引发重大安全事故。当前,传统故障诊断方法存在效率低、准确性不足等局限,而智能诊断技术与在线监测系统的应用为变压器状态评估与预测性维护提供了新思路。本文先是从多方面详细分析了变压器常见故障类型及成因,随后具体阐述了变压器故障诊断技术,紧接着又从多角度具体提出了变压器常见故障处理技术,最后总结了相关故障预防与维护策略,以期对相关研究提供有益参考与借鉴。

关键词

变电维修; 变压器; 常见故障诊断; 智能技术; 预防性维护

1 引言

变压器是电能传输与分配的核心枢纽,其运行状态直接影响电网的安全性与经济性。随着电力系统规模扩大与电压等级提升,变压器故障的复杂性与危害性日益凸显。据统计,绝缘老化、绕组变形及铁芯故障占变压器事故的70%以上,而传统“定期检修”模式存在过度维修或漏检风险,难以满足现代电网对可靠性的要求。近年来,物联网、人工智能等技术的发展推动了变压器运维向“状态监测+智能决策”转型,通过实时数据采集与故障预测,可实现从“事后抢修”到“事前预防”的转变。本文从故障分类、诊断技术、

处理策略及预防维护四方面展开研究,旨在构建覆盖变压器全生命周期的故障处理技术体系,为提升变电维修智能化水平提供理论依据。

2 变压器常见故障类型及成因分析

2.1 电气类故障

变压器电气类故障主要包括绕组短路/断路、绝缘老化与击穿以及分接开关故障。绕组短路多因绝缘老化(长期过载或高温致绝缘纸脆化)、机械损伤(短路冲击电流使绕组变形破损)或制造缺陷(压紧不牢、导线毛刺)引发;断路则由接头松动(焊接不良或螺栓松动致过热烧断)或绝缘击穿(雷击/过电压击穿对地绝缘)导致。绝缘系统在电、热、化学联合作用下劣化,电老化源于局部放电轰击,热老化因油温升高加速绝缘纸降解,化学老化则是油中水分等催化氧

【作者简介】韩建国(1993-),男,中国内蒙古包头人,本科,工程师,从事土木工程研究。

化生成酸性物质腐蚀绝缘^[1]。分接开关故障影响供电质量,触头烧蚀因频繁切换氧化,绝缘失效因密封不良潮气侵入,机械卡涩则由润滑不足或部件变形引起。

2.2 机械类故障

变压器机械类故障涵盖铁芯松动或接地不良、渗漏油及部件变形断裂等问题。铁芯作为磁路核心,其松动多因安装缺陷(夹件未紧固、硅钢片叠装不致电磁振动松脱)或短路冲击(外部故障电流致结构件变形);接地不良则由接地线断裂引发,多点接地形成环流过热,单点失效导致悬浮放电。渗漏油作为常见故障,成因包括密封失效(橡胶圈老化龟裂或安装不当)、焊接缺陷(油箱焊缝气孔未处理致油压开裂)及外力破坏(基础沉降或撞击使油箱变形密封错位)。此外,短路电流电动力易致绕组变形损伤绝缘,导线支架松动或振动疲劳引发引线断裂,而机械应力或内部气体积聚则可能造成套管爆裂绝缘失效。

2.3 热故障

变压器热故障主要源于过热、局部放电及冷却系统失效。长期过热多因负载过重,变压器超额定容量运行使铜损、铁损增加,油温攀升;或冷却不足,如散热器堵塞、风扇故障导致散热效率下降,形成局部热点。局部放电则包括气隙放电,即绝缘油中气泡或固体绝缘气隙在高压下电离产生脉冲电流;以及悬浮放电,由铁芯接地不良或金属部件悬浮引发电场集中放电。此外,冷却系统失效也是重要诱因,油泵轴承磨损、叶轮卡滞会中断油循环,致绕组温度骤升;散热器积灰或油垢堵塞影响散热;风扇电机损坏或控制回路故障则使空气对流停滞,油箱表面温度超标,威胁设备安全。

2.4 外部因素引发的故障

变压器外部因素引发的故障主要包括雷击与过电压、环境腐蚀污染以及动物或异物侵入。雷击方面,直击雷若击中变压器套管或避雷器失效,过电压会侵入绕组绝缘导致击穿;操作过电压则因断路器分合闸或负荷突变引发谐振,产生数倍额定电压的冲击^[2]。环境因素中,沿海盐雾或工业废气中的硫化物会腐蚀金属部件,降低其机械强度;套管表面积灰或盐分在潮湿条件下形成导电通道,易引发污秽闪络。此外,小动物如蛇、鼠进入变压器室触碰带电部件会造成短路,而金属碎片或树枝等导电异物跌落至高压侧,则可能引发电弧放电或接地故障,严重威胁设备安全运行。

3 变压器故障诊断技术

3.1 传统诊断方法

传统变压器故障诊断以离线检测为核心,通过定期试验或故障后分析获取设备状态。其中,油中溶解气体分析(DGA)应用最为广泛,通过检测变压器油中氢气、甲烷、乙烷等特征气体的浓度及比例关系,可精准识别过热、电弧放电等故障类型,尤其擅长发现早期潜伏性缺陷。电气试验则涵盖绝缘电阻、直流电阻、介质损耗因数等项目,通过对

比历史数据或标准值,评估绝缘性能及绕组状态。此外,红外热成像检测利用红外辐射原理,非接触式测量设备表面温度分布,能快速定位过热缺陷,其夜间巡检优势显著,尤其适用于户外设备的故障排查。

3.2 智能诊断技术

随着人工智能技术的蓬勃发展,智能诊断技术已成为变压器故障研究领域的热点。基于机器学习的故障预测模型,借助支持向量机(SVM)、神经网络等先进算法,对DGA数据、电气试验结果等多源信息进行深度融合分析,不仅能精准识别故障类型,还能预测设备剩余寿命。例如,深度卷积神经网络可自动从振动信号中提取故障特征,摆脱了对人工经验的依赖。同时,振动信号分析与模式识别技术通过油箱表面的加速度传感器采集绕组振动信号,结合时频分析精准定位故障特征频率,有效诊断绕组变形、铁芯松动等机械故障。而超声波局部放电检测技术则利用超声波传感器捕捉局部放电声波,实现带电检测,对绝缘子裂纹、悬浮放电等缺陷尤为敏感。

3.3 在线监测与预警系统

在线监测技术凭借持续采集设备运行数据,达成了对故障的实时感知与及时预警。其系统基础在于传感器技术与物联网(IoT)的融合应用,通过在设备上部署温度、压力、气体浓度、局部放电等多类型传感器,并借助无线通信技术,将数据实时上传至云平台^[3]。实时数据采集与状态评估模块运用大数据分析技术,对海量监测数据进行清洗、挖掘与建模,依据设定阈值或动态基准值评估设备健康状态。以基于DGA数据的在线监测系统为例,它能实时计算三比值法、产气速率等指标,超注意值即自动预警。此外,系统还可结合历史数据与环境因素构建数字孪生模型,精准预测故障趋势,优化维修决策。

4 变压器常见故障处理技术

4.1 绕组故障处理

变压器绕组故障处理需针对不同问题精准施策。对于短路故障,多因绝缘老化、机械应力或过电压冲击所致,处理时先借助短路阻抗测试等电气试验定位故障点,拆除受损绕组后重新绕制,并用Nomex纸等耐热性更优的绝缘材料包裹;匝间短路可采用局部浸漆强化绝缘,修复后通过感应耐压测试验证性能,还可加装应力屏蔽环降低绝缘击穿风险。若因短路电流导致绕组轴向或辐向变形,轻度变形可用液压千斤顶缓慢施压校正并监测尺寸恢复情况;严重变形或绝缘损伤超50%时,需整体更换绕组,更换前要核对匝数、导线规格等参数,装配后进行真空浸渍处理以消除气隙、提升绝缘强度。

4.2 绝缘系统修复

绝缘系统修复涵盖绝缘材料更换与干燥处理以及局部放电抑制技术两方面。绝缘老化作为变压器故障主因之一,

处理时,要先拆除受损绝缘件,像撑条、垫块等,换上与原材料性能匹配的环氧玻璃布板或层压木。更换完毕,要对变压器整体进行干燥处理,采用真空干燥工艺,温度控制在 80 - 90℃,真空度 $\leq 133\text{Pa}$,持续 48 - 72 小时以彻底除水,干燥时监测绝缘电阻值,连续 6 小时变化率 $\leq 1\%$ 才算合格。局部放电多因绝缘内部气隙或金属悬浮物引发,修复时先用 X 射线探伤或超声波局部放电检测定位缺陷,对气隙区域局部注胶(如环氧树脂灌封)消除电场集中点,清理金属悬浮物并加装绝缘屏蔽层,修复后进行局部放电测量($\leq 10\text{pC}$),确保达标。

4.3 铁芯与分接开关维护

铁芯与分接开关维护方面,需做好铁芯接地优化与紧固。铁芯多点接地会引发环流过热,单点接地失效则会造成悬浮放电。处理时,先用红外热成像检测定位过热点,再拆除铁芯夹件检查接地片,多点接地可用电容器隔直法或激光焊接消除多余接地点,单点接地失效则重新焊接接地片并确保接触电阻 $\leq 50\mu\Omega$ 。紧固后要进行铁芯绝缘电阻测试($\geq 100\text{M}\Omega$)和空载电流测量以验证效果^[4]。同时,要做好分接开关清洁与动作试验,接触不良会导致电压波动或过热,处理时先断电拆触头,用无水酒精清洁氧化层并检查弹簧压力($\geq 20\text{N}$),再进行动作试验,监测触头温升($\leq 35\text{K}$)和过渡电阻值(偏差 $\leq 10\%$),电动机故障则更换部件并调整动作时间($\leq 5\text{s}$)至符合标准。

4.4 渗漏油治理

渗漏油治理包含多方面举措。渗漏油多因密封件老化或焊接缺陷造成,处理时先排净变压器油,拆除渗漏处的密封件,像橡胶圈、密封垫等,换上耐油性更优的氟橡胶或丙烯酸酯橡胶件。若油箱焊缝渗漏,要用氩弧焊补焊,焊接前打磨焊缝至金属光泽显露,焊后做煤油渗透试验,确保 24 小时无渗漏。修复后还得进行压力试验,在 0.03MPa 压力下持续 12 小时,以此验证密封性能。此外,针对传统密封方式的不足,可应用新型防渗漏技术。比如在密封面涂抹纳米密封胶,如硅酮密封胶,填充微观孔隙形成弹性密封层;高压套管根部渗漏可用激光焊接技术替代传统密封结构。同时,加装油位在线监测装置,实时监测油位变化,提前预警渗漏风险。

4.5 冷却系统优化

冷却系统优化分两方面。散热器堵塞会使油温升高 10 - 15℃,处理时先关闭冷却系统,拆下散热器片,用 $\leq 0.5\text{MPa}$ 的高压水枪冲洗散热管内壁,去除油垢杂物,顽固污渍用三氯乙烯等化学清洗剂循环清洗,再清水冲洗烘干。风扇维护要检查叶片径向跳动是否 $\leq 2\text{mm}$,轴承润滑脂填充量是否在

轴承腔 1/3 - 1/2,更换绝缘电阻 $\geq 0.5\text{M}\Omega$ 的老化电机。强迫油循环系统故障会使油流速度下降超 30%,需检查油泵叶轮间隙是否 $\leq 0.5\text{mm}$ 、电机绝缘耐压是否 $\geq 2\text{kV}$ 并换损坏部件,调整油流继电器触点压力和动作延迟时间,还可加装油流可视化监测装置优化冷却效率。

5 变压器故障预防与维护策略

变压器作为电力系统核心设备,其安全稳定运行关乎电网可靠性,需构建涵盖定期检修、全生命周期管理及智能化运维的综合性策略体系预防故障、延长寿命。定期检修与状态评估方面,基于 DGA 制定分级检测周期,结合诊断模型动态分析气体数据;红外与超声波联合巡检,每月开展红外巡检、每季度进行超声波巡检,综合研判异常点。全生命周期管理中,设计阶段优化可靠性,考虑运行环境等因素提升设备可靠性;运行阶段监控调整负荷,安装在线监测系统,触发限负荷策略,优化并列运行方案。智能化运维技术上,数字孪生实现设备状态实时映射与预测,提升故障预警准确率,支持检修方案预演;专家系统提供智能化决策支持,推荐检测方法与处理措施,支持远程协作。总之,变压器故障预防与维护需构建全链条管理体系,未来将向智能化方向演进,为电网安全运行提供更强保障。

6 结论与展望

综上所述,本文聚焦变电维修中变压器常见故障处理技术,深入分析了电气、机械等故障类型与成因,对比传统和智能诊断技术,阐述在线监测与预警系统作用,针对绕组等故障提出处理技术,构建了涵盖定期检修等的预防维护策略。实践证明,相关技术和策略能精准定位故障、提升维修效率、预防故障并延长设备寿命。展望未来,随着物联网等技术的深度融合,变压器运维将加速向智能化、自主化演进,智能诊断技术将更精准高效,在线监测系统功能更强大,预防维护策略更科学,新型材料与技术也将为故障处理提供新思路,保障电网安全稳定运行。

参考文献

- [1] 张勇飞.电力变压器故障诊断及电力技术监督系统研究[J].电力设备管理,2025,(14):176-178.
- [2] 李聪,王德才.电力变压器常见故障及诊断技术研究[J].灯与照明,2025,49(03):189-191.
- [3] 王政翱,康佳,崔文广.电力变压器运维及常见故障检修技术研究[J].电力设备管理,2025,(09):284-286.
- [4] 巩春阳.变压器故障诊断的方法分析[J].电力设备管理,2024,(15):293-295.