

关于综合试验在变压器维修中的应用与效果的几点研究

邹发宁

超视界显示技术有限公司, 广东广州, 510000;

摘要: 电力变压器作为电网系统中的关键设备, 其运行状态直接影响电力系统的安全稳定。本文针对变压器维修过程中的技术需求, 系统分析了综合试验方法在变压器状态评估、故障诊断和维修效果验证中的应用价值。研究详细探讨了绝缘性能试验、电气特性试验、油质分析试验和局部放电检测等主要试验项目的技术特点与实施要点, 并通过实际案例分析验证了综合试验方法在提升变压器维修质量方面的显著效果。结果表明, 科学合理的综合试验方案能够准确识别变压器潜在缺陷, 为维修决策提供可靠依据, 有效延长设备使用寿命。本研究对于规范变压器维修技术流程、提高电力设备管理水平具有一定的实践指导意义。

关键词: 电力变压器; 设备维修; 综合试验; 故障诊断; 状态评估

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 10. 030

引言

电力变压器作为电能转换与传输的核心装置, 在电网系统中承担着至关重要的角色。随着我国电力基础设施建设的快速发展和电压等级的不断提高, 变压器的运行可靠性和维护质量日益受到关注。统计资料显示, 变压器故障在电力系统事故中占有相当比例, 而科学有效的维修策略能够显著降低设备故障率。在变压器维修技术体系中, 综合试验方法因其全面性和准确性而成为不可或缺的重要环节, 它为维修决策提供了客观依据, 也为维修效果提供了验证手段。

当前, 变压器维修工作正从传统的定期检修向状态检修转变, 这种转变对设备检测技术提出了更高要求。综合试验方法通过多参数、多维度的测试分析, 能够全面评估变压器运行状态, 准确识别潜在缺陷, 为制定针对性的维修方案奠定基础。然而, 在实际应用中, 许多电力企业对综合试验的理解仍停留在单一功能测试层面, 未能充分发挥其系统诊断价值。同时, 试验项目的选择、实施流程的规范以及结果分析的深度等方面也存在诸多需要完善之处。本文将从技术原理、实施方法和应用效果三个层面, 深入探讨综合试验在变压器维修中的具体应用, 为电力设备管理实践提供参考。

1 变压器维修中综合试验的技术原理

1.1 综合试验的基本概念

综合试验是指通过多种检测手段和技术方法, 对变压器各项性能指标进行系统化测试与评估的过程。与单一性能测试不同, 综合试验强调测试项目的系统组合和测试结果的关联分析, 其核心价值在于能够从整体上把

握变压器的运行状态。在维修应用场景中, 综合试验主要发挥三方面作用: 维修前的状态诊断、维修中的过程控制和维修后的效果验证。这种全程参与的特点使综合试验成为变压器维修质量的重要保障。从技术构成看, 综合试验通常包含绝缘性能测试、电气特性测试、油务分析和机械状态检测等多个维度, 各维度之间相互补充, 共同构成完整的评估体系。

1.2 绝缘性能试验原理

绝缘性能试验是综合试验体系中最基础也是最重要的组成部分。变压器绝缘系统长期承受电、热、机械等多重应力作用, 其性能退化是导致设备故障的主要原因之一。绝缘电阻测试通过施加直流电压测量绝缘介质的电阻值, 反映绝缘整体受潮或污染程度; 吸收比和极化指数测试则能够进一步区分表面泄漏电流和体积吸收电流, 判断绝缘材料的劣化状况; 介质损耗角正切值测试通过测量绝缘介质在交变电场中的能量损耗, 评估绝缘老化程度。这些测试项目从不同角度揭示绝缘状态, 为判断是否需要维修以及确定维修范围提供直接依据。

1.3 电气特性试验原理

电气特性试验主要检测变压器在电磁能量转换过程中的性能表现。绕组直流电阻测试能够发现绕组断股、接触不良等导电回路缺陷; 变比测试验证各侧电压比是否符合设计要求, 反映绕组可能存在的匝间短路问题; 空载损耗和短路阻抗测试则用于评估铁芯和绕组的电磁性能。这些电气参数的变化往往预示着变压器内部存在潜在故障, 通过定期测试并建立历史数据对比, 可以及时发现性能劣化趋势。在维修前后进行电气特性测试,

还能客观评价维修工作对设备性能的恢复效果。

2 变压器维修中综合试验的主要方法

2.1 绝缘油试验方法

绝缘油试验是变压器状态评估的重要手段,通过油样分析可以间接判断设备内部状况。常规油试验包括击穿电压测试、介质损耗测试、含水量测定和酸值分析等项目。击穿电压直接反映油的绝缘强度,当油中杂质增多或水分含量过高时,击穿电压会明显下降;介质损耗测试能够发现油质老化产生的极性物质;微水含量是影响油纸绝缘系统寿命的关键因素,需要严格控制;酸值升高则表明油品氧化程度加剧。此外,油中溶解气体分析通过检测氢气、甲烷、乙炔等特征气体含量及比例,能够有效诊断变压器内部过热、放电等潜伏性故障。这些油试验项目应在维修前后系统开展,以全面评估绝缘系统的状态变化。

2.2 局部放电检测方法

局部放电检测是诊断变压器内部绝缘缺陷的灵敏手段。当变压器内部存在电场集中或绝缘薄弱点时,会产生局部放电现象,这种放电虽然能量较小,但长期发展可能导致绝缘击穿。脉冲电流法是常用的局部放电检测方法,通过高频电流传感器捕捉放电脉冲信号;超声波检测法则利用放电产生的声波信号进行定位分析;超高频检测技术能够避开常规干扰,提高检测灵敏度。在变压器维修过程中,局部放电检测既可用于故障定位,指导维修重点部位,也可用于验证维修后的绝缘恢复情况。特别是对大修后的变压器,局部放电检测是确认维修质量的重要环节。

2.3 绕组变形测试方法

绕组变形测试是评估变压器机械状态的关键技术。变压器在运输、安装或短路电流冲击下,绕组可能发生位移或变形,这种机械损伤会改变绕组的电气参数。频率响应分析法是目前最有效的绕组变形检测方法,通过对比历史频谱曲线,可以灵敏地发现绕组几何结构的变化;短路阻抗测试也能反映绕组的机械状态,但灵敏度相对较低。在变压器遭受短路冲击后或大修前,进行绕组变形测试十分必要,它能为是否需要绕组检修提供决策依据。维修后的绕组变形测试则可以验证绕组压紧和定位措施的效果。

3 综合试验在变压器维修各阶段的应用

3.1 维修前的诊断评估

综合试验在维修前阶段的主要任务是准确识别变压器存在的缺陷问题,为制定维修方案提供依据。这一阶段的试验重点在于全面性和针对性相结合,既要通过常规试验项目掌握设备整体状态,又要针对可疑问题开展专项测试。例如,当油色谱分析发现乙炔含量异常时,应重点进行局部放电检测;当电气试验发现短路阻抗变化时,需安排绕组变形测试。维修前诊断评估的质量直接影响后续维修工作的针对性和有效性,因此必须保证试验数据的准确性和分析的深入性。同时,建立与同类设备或历史数据的横向纵向对比,有助于更准确地判断设备状态^[1]。

3.2 维修中的过程控制

在变压器解体维修过程中,综合试验发挥着重要的质量控制作用。对拆卸下来的部件进行单独测试,可以更精确地定位缺陷位置。例如,对分接开关进行接触电阻测试,能够发现触头烧蚀问题;对铁芯进行绝缘测试,可检查铁芯接地是否良好。在组装过程中,阶段性试验可以及时发现问题,避免缺陷累积。特别是对绝缘装配质量的中间检验,能够有效控制维修质量。这一阶段的试验特点是针对性强、即时性高,需要根据维修进度灵活安排测试项目,并与维修工艺紧密结合。通过过程控制试验,可以实现维修质量的全程把控,减少返工风险。

3.3 维修后的效果验证

维修完成后的综合试验是确认维修质量的最终环节。这一阶段的试验项目应尽可能全面,既要包括维修前发现的缺陷项目的复查,也要涵盖变压器整体性能的验证。例如,对于更换绕组的变压器,需要进行全套型式试验;对于局部维修的变压器,至少应完成相关项目的对比测试。维修后试验的特殊价值在于建立新的基准数据,为后续运行监测提供比较基础。同时,通过维修前后试验数据的系统对比,可以客观评价维修工作的实际效果,积累维修经验。效果验证试验的严格程度直接影响变压器投运后的可靠性,必须认真执行,不能流于形式^[2]。

4 综合试验应用效果分析

4.1 故障诊断准确性提升

综合试验方法的应用显著提高了变压器故障诊断的准确性。传统单一测试方法往往只能反映设备的某个

侧面状态,容易造成误判或漏判。而综合试验通过多参数关联分析,能够更全面地把握设备状况。实践表明,采用油色谱分析与局部放电检测相结合的方法,可使内部放电故障的诊断准确率提高到 90%以上;绕组变形测试与短路阻抗测试相结合,能够更可靠地判断绕组机械状态。这种多维度交叉验证的诊断模式,大大降低了维修决策的盲目性,使维修工作更加有的放矢。特别是在处理复杂缺陷时,综合试验的优势更为明显。

4.2 维修成本有效控制

科学合理的综合试验策略有助于优化维修资源配置,控制维修成本。通过精准诊断,可以避免不必要的解体维修,减少人力物力消耗;通过状态评估,能够采取最适当的维修策略,既不过度维修造成浪费,也不维修不足留下隐患。同时,早期发现潜在缺陷并进行及时处理,可以防止小问题发展成故障,避免昂贵的紧急抢修费用。从全生命周期看,综合试验带来的成本优化效果更为显著,它延长了设备使用寿命,推迟了资本性更新投资。

4.3 设备可靠性显著提高

综合试验对变压器运行可靠性的提升效果已经得到广泛验证。维修前的全面评估确保了缺陷的彻底处理;维修中的过程控制保证了工艺质量;维修后的严格验收建立了新的可靠状态。可靠性提升的直接效益是供电连续性的改善,减少了因变压器故障导致的停电损失。同时,设备健康状况的改善也降低了运行维护的日常工作量,使运维资源能够更合理地配置到其他需要关注的设备上^[3]。

5 案例分析

5.1 主变局部放电缺陷处理案例

某变电站 220 千伏主变在油色谱分析中发现乙炔含量超标,初步判断存在内部放电现象。通过综合试验进一步诊断,局部放电检测确认高压绕组端部存在悬浮放电,超声波定位将放电点缩小到具体区域。解体检查发现该位置绝缘垫块移位造成电场畸变。维修过程中,更换了受损绝缘件,重新调整了绕组压紧力,并对整个绝缘系统进行了全面检查。维修后重复全套试验,局部放电量降至背景水平,油色谱数据恢复正常。该案例展示了综合试验在精准定位和彻底消除缺陷方面的价值,避免了盲目更换绕组带来的巨大成本。

5.2 老旧变压器延寿评估案例

某发电厂一台运行 25 年的 150 兆瓦主变面临更新决策。通过综合试验评估,绝缘试验显示油纸绝缘状态尚可,但绕组直流电阻不平衡率超标;电气试验表明短路阻抗变化在允许范围内;油质分析发现抗氧化剂含量不足但未严重老化。基于试验结果,决定采取更换分接开关、油处理及添加剂补充等有限维修措施,而非整体更换。维修后变压器继续可靠运行 5 年以上,节省直接费用数百万元。该案例体现了综合试验在设备剩余寿命评估和维修策略优化中的重要作用,为类似老旧设备的处置提供了参考。

6 结论与建议

综合试验作为变压器维修技术体系的重要组成部分,其应用效果已经得到充分验证。研究表明,系统化的综合试验方案能够显著提升变压器维修的针对性和有效性,实现维修质量与经济效益的双重优化。通过绝缘性能、电气特性、油务分析和机械状态等多维度测试,可以全面把握设备健康状况,为维修决策提供科学依据。维修各阶段的试验安排形成闭环管理,确保缺陷的彻底消除和性能的可靠恢复。实践案例证明,综合试验指导下的变压器维修,能够有效延长设备使用寿命,提高运行可靠性,降低全生命周期成本。

为进一步提升综合试验在变压器维修中的应用效果,建议从以下几个方面加强工作:完善试验标准体系,规范各类变压器的试验项目和要求;加强试验人员培训,提高测试技能和数据分析能力;建立设备状态数据库,实现历史数据的有效利用;研发新型检测技术,提升潜伏性缺陷的早期诊断能力;优化试验策略,根据设备重要性和状态评估结果实施差异化试验方案。通过这些措施的综合推进,变压器维修工作将更加科学高效,为电力系统的安全稳定运行提供坚实保障。

参考文献

- [1]王旭军,徐春苗.论电气试验在变压器故障分析中的应用[J].科学与信息化,2018(5):96,99.
- [2]张瑜,东鑫渊,朱永灿,等.基于可靠性分析的大型变压器健康管理平台研究与设计[J].工业加热,2022,51(3):57-63.
- [3]王剑波.变压器检修技术在电力电气维修中的运用分析[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2022(5):262-265.