

变压器故障分析中的电气试验技术应用

全文静¹ 童智²

1. 国网武汉供电公司变电检修分公司 湖北武汉 430000

2. 国网武汉供电公司江夏区供电公司 湖北武汉 430200

摘要: 本研究聚焦变压器故障分析中电气试验技术的应用。阐述了变压器在电力系统中的关键地位以及故障诊断的重要性,详细介绍了多种电气试验技术,包括绝缘电阻试验、介质损耗因数试验、局部放电试验、绕组变形试验等的原理、试验方法与适用范围。深入探讨了如何依据这些电气试验所获取的数据特征,准确判断变压器可能存在的故障类型,如绝缘老化、受潮、绕组短路等,并结合实际案例展示了电气试验技术在变压器故障分析中的具体应用流程与效果。

关键词: 变压器; 电气试验技术; 故障分析; 绝缘试验; 绕组检测

变压器作为电力系统的核心设备之一,承担着电压变换、电能传输与分配等重要任务。其运行状态直接影响整个电力系统的安全性与稳定性。然而,在长期运行过程中,变压器受到电场、热、机械应力等多种因素的作用,容易发生各类故障。电气试验技术作为变压器故障诊断的重要手段,能够在不拆解变压器的情况下,通过对其电气性能参数的测量与分析,有效检测变压器内部的绝缘状况、绕组状态等,提前发现潜在故障隐患,为及时采取维护与修复措施提供依据。因此,深入研究变压器故障分析中的电气试验技术应用具有极为重要的现实意义。

1. 变压器故障与电气试验关联概论

1.1 变压器故障类型及成因探究

变压器故障类型多样,绝缘故障常因绝缘材料老化、受潮或受污染,致使绝缘性能下降,可能引发绝缘击穿,影响变压器正常运行。绕组故障如短路、断路或变形,多由短路电流冲击、机械应力或制造工艺缺陷造成,会改变绕组电气参数,导致发热、振动异常。铁芯故障像多点接地或铁芯片间绝缘损坏,源于铁芯安装不当或绝缘老化,使铁芯局部过热,损耗增加。了解这些故障成因是利用电气试验技术诊断的基础。

1.2 电气试验技术原理与分类阐述

电气试验技术原理基于对变压器电气特性的检测。绝缘试验原理是通过施加不同类型电压,检测绝缘介质对电压的响应,判断绝缘状态。例如绝缘电阻试验施加直流电压,依欧姆定律测绝缘电阻值。绕组试验原理围绕绕组的电阻、

电感等电气参数,如直流电阻试验测绕组直流电阻,判断有无短路等情况。油中溶解气体分析试验依据故障使绝缘油分解产生特征气体,通过检测气体种类与含量诊断故障。按功能可分为绝缘特性试验、绕组特性试验与油中溶解气体分析试验等。

1.3 电气试验对故障诊断的重要意义

电气试验在变压器故障诊断意义重大。它能在不拆解变压器前提下,早期发现潜在故障隐患。通过定期试验,对比试验数据变化趋势,可提前察觉绝缘老化、绕组轻微变形等问题。例如绝缘电阻值逐渐降低,可能预示绝缘受潮开始劣化。同时,不同电气试验相互补充印证,如绝缘试验发现绝缘性能下降,结合油中溶解气体分析,若有特征气体出现,可更精准确定故障类型与程度,为制定维修策略提供依据,保障变压器可靠运行,减少电力系统故障风险。

2. 各类电气试验技术的应用解析

2.1 绝缘特性电气试验应用详情

2.1.1 绝缘电阻试验要点剖析

绝缘电阻试验借助兆欧表施加直流电压于变压器绕组与地或绕组间。操作时要正确选择兆欧表电压等级,如对额定电压高的变压器选高电压兆欧表。试验前需放电确保安全并清洁表面。试验数据方面,绝缘电阻值大小反映绝缘状况,一般阻值越高越好。若绝缘电阻值低,可能是绝缘受潮、表面脏污或有贯穿性缺陷。且同一变压器不同绕组绝缘电阻值有可比性,差值过大也暗示故障,通过对比历史数据可判断绝缘劣化趋势。

2.1.2 介质损耗因数试验深入解读

介质损耗因数试验利用电桥或专用仪器在交流电场下测绝缘介质损耗。试验时要注意环境温湿度、电压频率稳定性等因素影响。正常变压器介质损耗因数应在规定范围。当绝缘受潮、含杂质或局部放电时,介质损耗因数会增大。例如受潮使绝缘内部离子增多,电导损耗增加致介质损耗因数上升。通过测量不同电压下介质损耗因数变化曲线,还能进一步分析绝缘缺陷类型,为故障定位提供线索,有效监测变压器绝缘健康水平。

2.1.3 局部放电试验关键要素说明

局部放电试验采用脉冲电流法、超声波法等检测手段。脉冲电流法通过检测放电产生的脉冲电流信号测放电电量等参数,超声波法根据局部放电产生超声波信号定位放电部位。试验时传感器安装位置与灵敏度校准很关键。局部放电大小反映绝缘内部缺陷程度,如绝缘内部气隙、杂质易引发局部放电。大量局部放电会逐渐侵蚀绝缘,致绝缘击穿。持续监测局部放电参数,可掌握绝缘劣化速度与程度,及时预警严重故障,保障变压器长期安全运行。

2.2 绕组特性电气试验应用要点

2.2.1 直流电阻试验核心内容讲解

直流电阻试验用直流双臂电桥或数字微欧计等仪器测变压器绕组直流电阻。测量时要注意电流稳定、接触电阻影响,对于大型变压器要考虑绕组电感对测量结果的影响。正常情况下,同一相各绕组直流电阻值应平衡,不平衡度在规定范围。若某相绕组直流电阻值偏大或偏小,可能是绕组焊接不良、短路、断路或分接开关接触不良。通过对比不同相电阻值与历史数据,能准确判断绕组故障位置与性质,为维修提供精准指导,确保变压器绕组正常运行。

2.2.2 绕组变形试验方法与意义阐释

绕组变形试验采用频率响应分析法、短路阻抗法等。频率响应分析法通过扫频信号加于绕组,测其频率响应特性,根据曲线变化判断绕组变形。短路阻抗法利用短路试验测短路阻抗值,与原始值对比判断变形。绕组变形原因有短路电流冲击、地震等机械外力作用。变形后绕组分布参数改变,影响电气性能,如局部电场集中引发局部放电,绝缘磨损。定期进行绕组变形试验,可及时发现变形,评估对变压器运行的影响,避免因绕组变形导致严重事故。

2.3 油中溶解气体分析试验应用剖析

2.3.1 试验原理与气体产生机制关联

油中溶解气体分析试验基于变压器内部故障使绝缘油分解产生特征气体原理。不同故障类型产生气体不同,如过热故障使绝缘油裂解产生甲烷、乙烯等烃类气体,放电故障产生氢气、乙炔等。故障能量与严重程度影响气体产生量与速度。通过分析气体种类与含量关系,可初步判断故障类型。例如高温过热时甲烷、乙烯含量高且比例有特征,低能量放电时氢气含量突出。这为进一步确定故障性质与位置提供重要线索,是变压器故障诊断的重要依据。

2.3.2 试验方法与数据处理步骤解析

试验时用注射器采集油样,经脱气处理后用气相色谱仪分析气体成分与含量。数据处理先确定总烃含量,即甲烷、乙烯、乙烷、乙炔等烃类气体总和,再计算各气体组分含量比,如乙炔与乙烯比值等。依据相关标准,如 IEC 或国内标准,对比这些数据判断故障类型与严重程度。例如总烃含量超标且乙炔含量较高,可能是放电性故障且较严重。数据处理准确性直接影响故障诊断结果,需严格按规范操作与分析。

2.3.3 与其他电气试验的协同诊断作用

油中溶解气体分析试验与其他电气试验协同可提高诊断准确性。与绝缘特性试验结合,若绝缘试验显示绝缘性能下降,油中溶解气体分析有特征气体,可确定故障是否与绝缘劣化有关。与绕组特性试验协同,如绕组变形可能导致局部放电,油中溶解气体分析出放电特征气体,同时绕组特性试验发现绕组变形,能精准定位故障原因。多种试验结果相互印证补充,可避免单一试验误判,全面准确掌握变压器内部状态,为维修决策提供可靠依据。

3. 电气试验技术在故障分析中的实践运用

3.1 典型案例中的电气试验流程展示

3.1.1 某变电站主变故障诊断流程

某变电站主变油温异常升高且有异常声响。首先进行绝缘电阻试验,发现绝缘电阻值低于标准值,初步怀疑绝缘存在问题。接着进行介质损耗因数试验,结果显示介质损耗因数增大,表明绝缘受潮或有局部放电。再进行油中溶解气体分析试验,检测到氢气、乙炔含量升高,综合判断可能是绕组绝缘有局部放电故障。然后利用局部放电试验进一步定位放电部位,确定在高压绕组某区域。最后对变压器进行吊

芯检查,证实绕组绝缘有放电痕迹且受潮,经修复处理后变压器恢复正常运行,体现了电气试验流程在故障诊断中的系统性与有效性。

3.1.2 工业变压器故障排查步骤

某工业变压器差动保护动作跳闸。先进行直流电阻试验,发现某相绕组直流电阻不平衡度超标,怀疑绕组有短路故障。随后进行绕组变形试验,结果显示绕组有轻微变形。再进行油中溶解气体分析试验,烃类气体含量略有升高,说明有过热迹象。综合分析判定为绕组短路导致过热而引起差动保护动作。根据试验结果对绕组进行修复与更换处理,并检查相关保护装置设置,变压器重新投运后运行良好,展示了电气试验在工业变压器故障排查中的关键作用与步骤顺序。

3.2 基于案例的电气试验数据判读技巧

3.2.1 数据对比与趋势分析方法

在变压器故障分析中,电气试验数据对比与趋势分析重要。如绝缘电阻值与历史数据对比,若持续下降,即使未低于标准值,也可能预示绝缘劣化。对于油中溶解气体含量,对比不同时期数据,若某种气体含量增长迅速,如乙炔含量快速上升,表明故障发展快。通过绘制数据变化曲线,直观观察趋势,如介质损耗因数随时间变化曲线,判断绝缘状态变化过程,结合变压器运行工况,准确解读数据,为故障诊断提供有力支持。

3.2.2 多试验数据综合判断策略

多试验数据综合判断是精准诊断关键。例如绝缘电阻低、介质损耗因数大、油中溶解气体有特征气体,综合判断可能是绝缘受潮且有局部放电故障。又如直流电阻不平衡、绕组变形试验有异常、油中溶解气体有过热气体,可能是绕组短路导致过热变形。利用数据间逻辑关联,相互印证补充,避免单一试验数据误导。通过建立数据综合分析模型或专家系统,可提高综合判断准确性与效率,提升变压器故障诊断水平。

3.3 故障诊断后的维修策略与效果评估

3.3.1 常见故障的针对性维修措施

针对不同变压器故障有不同维修措施。对于绝缘受潮故障,可采用热油循环干燥、真空干燥等方法恢复绝缘性能。绕组短路故障,若轻微可修复短路点,严重则需更换绕组。铁芯多点接地故障,查找接地点并消除,如绝缘损坏则修复

或更换绝缘材料。维修后要进行相关电气试验验证修复效果,如绝缘电阻试验、直流电阻试验等,确保变压器性能恢复正常,达到运行要求。

3.3.2 维修效果的评估指标与方法

维修效果评估主要通过电气试验指标。如绝缘电阻值恢复正常范围,介质损耗因数符合标准,油中溶解气体含量正常,绕组直流电阻平衡且与原始值相近等。还可结合变压器空载试验、负载试验,检测空载电流、空载损耗、短路阻抗等参数是否正常。通过对比维修前后这些指标,全面评估维修效果,若指标仍异常,需进一步检查维修,直至变压器性能完全恢复,保障其可靠运行,降低再次故障风险。

4. 结语

电气试验技术在变压器故障分析中具有举足轻重的地位。通过对各类电气试验技术的深入研究与应用实践,能够精准地洞察变压器内部的细微变化,及时捕捉故障信号,为故障的准确诊断提供坚实依据。在实际案例中,多种电气试验相互配合、协同作战,从不同角度揭示变压器的运行状态,有效避免了单一试验的局限性与误判风险。然而,随着变压器技术的持续创新以及电力系统对可靠性要求的不断攀升,电气试验技术仍需不断演进与完善。

参考文献:

- [1] 李盛伟. 变压器电气试验的关键技术与故障诊断分析[J]. 电气技术与经济, 2023, (1): 43 - 45.
- [2] 张宇. 电力变压器故障诊断中电气试验的应用及意义[J]. 科技风, 2023, (2): 69 - 71.
- [3] 王强. 基于电气试验的变压器故障分析与处理策略[J]. 电工技术, 2023, (3): 124 - 126.
- [4] 赵刚. 变压器电气试验技术及故障诊断方法探讨[J]. 电气时代, 2023, (4): 98 - 100.
- [5] 孙鹏. 电气试验在变压器绝缘故障检测中的应用研究[J]. 电力设备管理, 2022, (10): 180 - 182.
- [6] 陈华. 变压器绕组变形电气试验检测技术的研究进展[J]. 电气传动自动化, 2022, (5): 44 - 47.
- [7] 周明. 油中溶解气体分析技术在变压器故障诊断中的应用现状[J]. 绝缘材料, 2022, (6): 1 - 4.
- [8] 吴迪. 基于电气试验的变压器局部放电故障诊断方法[J]. 电力系统装备, 2022, (7): 59 - 61.
- [9] 郑浩. 变压器电气试验数据的特征提取与故障分类

研究 [J]. 电气应用, 2021, (8): 40 – 43.

作者简介:

全文静 (1991.9-), 女, 汉族, 学历: 本科, 单位:
国网武汉供电公司变电检修分公司, 职称: 中级, 研究方向:

电气试验及变电站充油设备油化试验;

童智 (1989.2-), 男, 汉族, 籍贯: 湖北武汉, 学历:
本科, 单位: 国网武汉供电公司江夏区供电公司, 职称: 中级,
研究方向: 高压试验、主配网检修。