

变压器绝缘故障分析

尹建忠

国能亿利电厂 内蒙古 鄂尔多斯 014300

摘要: 变压器绝缘故障对电网安全稳定运行构成严重威胁, 本文深入分析了变压器绝缘故障的类型, 包括热故障、电故障和绝缘受潮, 并探讨了其产生的根源。同时, 介绍了温度检测、高压测试、油质检测和绝缘电阻测量等多种绝缘故障检测方法。在此基础上, 提出了变压器绝缘故障处理与预防措施。通过综合施策, 可有效降低变压器绝缘故障的发生率, 提升电网的安全性和可靠性。

关键词: 变压器; 绝缘; 故障; 分析

引言: 变压器作为电力系统的核心设备, 其绝缘性能的稳定对电网的安全运行至关重要。绝缘故障不仅可能导致变压器损坏, 还可能引发火灾等严重后果, 对电力系统的稳定性和安全性构成严重威胁。因此, 深入分析变压器绝缘故障的类型、原因及检测方法, 并探讨有效的处理与预防措施, 对于提高变压器的运行可靠性和延长使用寿命具有重要意义。本文将从多个方面对变压器绝缘故障进行深入研究, 为电力系统的稳定运行提供有力保障。

1 变压器绝缘故障的类型及原因

1.1 热故障

热故障是变压器绝缘故障中最为常见的一种, 其根源在于电流的异常分布或散热系统的失效, 导致变压器局部或整体温度过高, 进而损害绝缘材料。(1) 涡流与环流: 在变压器绕组中, 由于设计或制造上的缺陷, 如绕组结构不合理、导体间距离不均等, 可能形成涡流或环流。这些额外的电流不仅增加了变压器的损耗, 还会在导体周围产生大量热量, 加速绝缘材料的老化和破坏。(2) 电阻增大: 绕组接头接触不良、导体表面氧化或腐蚀等因素, 都会导致绕组电阻增大。根据焦耳定律, 电阻增大意味着在相同电流下产生的热量增多, 从而加剧变压器的温升。(3) 散热受阻: 变压器的散热系统, 如散热片、风扇、油泵等, 若维护不当或设计不合理, 会导致散热效率降低。特别是在高温、高湿的环境下, 散热受阻更容易引发热故障。热故障的表现形式多样, 从轻微的绝缘老化到严重的匝间短路、层间短路, 甚至引发变压器爆炸。

1.2 电故障

电故障主要包括绝缘击穿和绝缘老化, 两者都是绝缘材料在电气应力作用下的失效形式。(1) 绝缘击穿: 绝缘击穿通常发生在变压器受到异常电压或电流冲击

时, 如雷电过电压、操作过电压或内部短路。此外, 绝缘材料本身的缺陷, 如气泡、裂纹、异物掺入等, 也会降低其抗击穿能力。潮湿环境更是绝缘击穿的催化剂, 因为水分会显著降低绝缘材料的电阻率, 增加击穿的风险。(2) 绝缘老化: 绝缘老化是一个缓慢而持续的过程, 它受到热、电、机械应力以及环境因素的共同作用。随着使用时间的增长, 绝缘材料会发生化学和物理变化, 如氧化、水解、裂解等, 导致其电气性能和机械性能逐渐下降^[1]。老化严重的绝缘材料在正常工作电压下也可能发生击穿。

1.3 绝缘受潮

绝缘受潮是变压器绝缘故障中另一个不容忽视的因素, 水分的存在会显著降低绝缘材料的电阻率和介电常数, 增加绝缘击穿的风险。(1) 绕组浸漆不透: 绕组浸漆是变压器制造过程中的重要环节, 它不仅能增强绕组的机械强度, 还能提高绝缘性能。然而, 如果浸漆不透或漆膜存在缺陷, 水分就容易渗透到绕组内部, 导致绝缘受潮。(2) 绝缘油含水份: 绝缘油作为变压器的冷却介质和绝缘介质, 其质量直接影响变压器的绝缘性能。如果绝缘油中含有过多的水分, 不仅会降低绝缘强度, 还会加速绝缘材料的老化。(3) 呼吸器油封失效: 变压器的呼吸器用于调节油箱内外的气压差, 同时防止外部水分和杂质进入油箱。如果呼吸器的油封失效, 外部的水分和空气就会通过呼吸器进入油箱, 导致绝缘受潮。

2 变压器绝缘故障的检测方法

2.1 温度检测

温度是变压器运行状态的重要指示器, 也是绝缘故障早期预警的关键参数。变压器在正常运行时, 其温度应维持在一个相对稳定的范围内。任何异常的温升都可能预示着绝缘系统存在问题, 如过载、接触不良或内部短路等。红外热像仪是温度检测中的得力助手, 它能

够以非接触的方式快速捕捉变压器表面的温度分布，形成直观的热图。通过对比不同区域的温度差异，运维人员可以迅速定位热点，这些热点往往是绝缘故障的高发区。红外热像仪的高灵敏度使得它能够在故障初期，即温度变化尚不显著时，就能发现潜在的问题，为及时采取措施提供了宝贵的时间窗口。

2.2 高压测试

高压测试，也称为绝缘耐压试验，是判断变压器绝缘性能是否满足设计要求的最直接方法。该测试通过施加高于额定电压的试验电压，模拟极端工况下的电气应力，以检验绝缘材料是否能承受而不发生击穿或损坏。高压测试通常在变压器停电状态下进行，以确保测试人员的安全，并避免对电网造成干扰。测试过程中，会逐步增加电压直至达到预定的测试值，同时密切监测绝缘系统的响应。如果绝缘材料能够承受住测试电压而不发生异常，则说明其绝缘性能良好；反之，则表明存在绝缘缺陷，需要进一步的检查和修复。

2.3 油质检测

变压器油不仅作为冷却介质，还承担着绝缘的重要任务。因此，油质的优劣直接关系到变压器的绝缘性能。通过对变压器油进行定期检测，可以及时发现油中的异常变化，从而间接评估绝缘系统的健康状况。油质检测的内容包括油位、油色、油温以及油中溶解气体的成分等。油位的异常波动可能意味着存在渗漏或内部故障；油色的变化（如变暗、浑浊）可能表明油质劣化或混入杂质；油温的异常升高则可能反映内部过热或散热不良。更重要的是，通过分析油中溶解的气体（如氢气、甲烷、乙炔等），可以判断变压器内部是否存在放电、过热等绝缘故障，因为这些气体往往是绝缘材料分解的产物。

2.4 绝缘电阻测量

绝缘电阻是衡量变压器绝缘性能的基本指标，它反映了绝缘材料对电流的阻碍能力，即绝缘材料的导电性能越差，绝缘电阻就越大，绝缘性能也就越好。绝缘电阻测量通常使用绝缘电阻测量仪进行，该仪器能够施加一定的直流电压，并测量由此产生的电流，从而计算出绝缘电阻的值。通过比较不同时间点的绝缘电阻值，可以评估绝缘材料的老化速度；而绝缘电阻的显著降低则可能意味着存在绝缘短路或损坏。绝缘电阻测量虽然简单，但其重要性不容忽视^[2]。它是变压器预防性维护计划中的常规项目，也是发现绝缘故障的重要手段之一。通过定期的绝缘电阻测量，可以及时发现绝缘系统的薄弱环节，为后续的维护和修复工作提供有力的数据支持。

3 变压器绝缘故障的处理与预防措施

3.1 清洗绝缘材料

绝缘材料表面的脏污是引发绝缘故障的重要因素，尘埃、油污、盐雾等污染物在绝缘材料表面的积聚，不仅会降低材料的绝缘性能，还可能形成导电通道，导致局部放电甚至短路。因此，定期对绝缘材料进行清洗是预防绝缘故障的有效手段。在清洗过程中，应首先根据绝缘材料的类型和污染程度选择合适的清洗剂。清洗剂应具备良好的去污能力，同时不能对绝缘材料造成腐蚀或损伤。对于油污较重的绝缘表面，可采用碱性清洗剂；对于盐雾污染，则可选择酸性清洗剂进行中和处理。此外，清洗工具的选择也至关重要，应避免使用金属刷等硬质工具，以免划伤绝缘表面，而应选用柔软的布料或海绵进行轻轻擦拭。清洗时，应遵循先易后难、先上后下的原则，确保每个部位都能得到彻底清洗^[3]。清洗后，还应用清水将残留的清洗剂冲洗干净，并用干净的布擦干或自然风干，以避免清洗剂残留对绝缘性能造成不良影响。

3.2 更换绝缘件

绝缘件的破损或老化是绝缘故障的另一个常见原因，在变压器运行过程中，由于长期受到电场、热场和机械应力的作用，绝缘件可能会发生开裂、变形或老化，从而失去原有的绝缘性能。因此，一旦发现绝缘件存在破损或损坏，应及时进行更换。在更换绝缘件时，应首先确保所选材料的质量和性能符合相关规定和标准。绝缘材料应具备良好的绝缘性能、机械强度和耐热性能，以确保在恶劣的工作环境下仍能保持稳定。还应注意绝缘件的密封性能，防止水分和空气进入变压器内部，引起绝缘损坏。更换绝缘件前，应对变压器进行彻底的检查和清洗，以清除内部的污垢和杂物。更换过程中，应严格按照操作规程进行，确保绝缘件的安装位置和紧固程度符合要求。更换后，还应进行必要的测试和检查，以确保绝缘件能够正常工作。

3.3 故障定位与修复

对于绝缘故障较为严重的情况，如绕组匝间短路、接地故障等，需要进行精确的故障定位并采取相应的修复措施。故障定位是修复工作的关键，它直接关系到修复效率和修复质量。（1）红外热像仪检测是一种有效的故障定位方法。通过红外热像仪对变压器进行扫描，可以直观地观察到变压器表面的温度分布，从而发现局部过热或异常温升的区域，这些区域往往是绝缘故障的高发区。此外，声波诊断技术也是一种常用的故障定位方法。通过检测变压器内部发出的声波信号，可以分析出

故障的位置和类型。(2)修复措施则应根据故障类型和程度进行选择。对于绕组匝间短路,可能需要更换损坏的绕组或进行局部修复;对于接地故障,则需要检查并修复接地系统,确保接地良好。修复过程中,应严格遵循相关的操作规程和安全操作要求,确保修复工作的顺利进行和人员的安全。

3.4 加强日常维护与巡检

加强变压器的日常维护与巡检工作是确保其稳定运行、预防故障发生的关键措施。定期对变压器进行全面细致的检查,能够及时发现诸如渗油、积水、连接松动等潜在问题。渗油现象不容忽视,它不仅会导致变压器油位异常下降,还可能加速绝缘材料的老化进程,进而威胁设备的安全运行。变压器本体若积水,将严重影响绝缘材料的性能,降低其绝缘强度。此外,连接部位的紧固情况也至关重要,任何松动都可能引发局部放电乃至短路事故。巡检工作需根据变压器的实际运行状况及周围环境条件,合理安排频率,确保检查的全面性和及时性。在巡检过程中,工作人员应细致观察变压器的外观,留意是否有异常声响、异味或温升等不正常现象。对变压器的油位、油温和油色等关键指标进行严格监测,一旦发现异常,应立即采取措施进行处理^[4]。变压器的冷却系统、保护装置和测量仪表等附属设备也应纳入巡检范围,确保其处于良好工作状态,为变压器的安全稳定运行提供有力保障。通过加强日常维护与巡检,能够有效预防变压器故障,延长其使用寿命,确保电力系统的安全稳定运行。

3.5 定期检查变压器油质

变压器油作为变压器的冷却介质和绝缘介质,其质量直接关系到变压器的运行安全和绝缘性能。因此,定期对变压器油进行取样分析是预防绝缘故障的重要措施。通过油质分析,可以检测油中的含水量、含气量、溶解气体和沉淀物等指标。这些指标能够反映变压器内部的运行状况和潜在故障隐患。例如,含水量的增加可能意味着变压器内部存在渗水或受潮现象;含气量的增加则可能表明变压器内部存在局部放电或过热现象;溶解气体的类型和含量则可以用来判断故障的类型和严重程度。根据油质分析的结果,可以及时制定相应的维护计划和处理措施。例如,对于含水量超标的变压器油,可以进行干燥处理或更换新油;对于含气量或溶解气体异常的变压器,则应进行进一步的检查和分析,以确定

故障的具体位置和原因,并采取相应的修复措施。

3.6 提高设备质量与管理水平

提升设备质量与管理标准是预防绝缘故障的关键策略:(1)在设备采购初期,应严格筛选,倾向于选择那些质量过硬、绝缘性能优越且机械强度高的变压器产品。这不仅为设备长期稳定运行奠定基础,也从根本上降低了绝缘故障的风险。出厂前的严格检验与入厂时的细致验收,双管齐下,确保每台设备在投运之初即处于最佳状态,有效避免潜在缺陷带入运行环节。(2)建立并实施一套完善的维护管理体系。这包括制定详尽的维护计划和巡检安排,确保每一项维护任务都能按时、按质完成。构建一个健全的故障记录与分析机制,对每一次故障进行详尽记录,深入分析故障原因,提炼经验教训。这样的机制不仅有助于及时发现问题、解决问题,更为未来的设备管理与维护提供了宝贵的数据支持和经验借鉴。(3)强化运行人员的专业培训与安全教育。通过系统培训,使运行人员深入了解变压器的构造原理,熟练掌握故障处理技巧及安全操作规范。定期组织考核,确保每位运行人员都能达到岗位要求,具备处理突发状况的能力。这样一支高素质的运行团队,是保障变压器安全、高效运行的重要支撑。

结语

通过对变压器绝缘故障的全面分析,我们深刻认识到绝缘故障对电网安全稳定运行的严重影响。为了有效应对这一挑战,必须从多个角度出发,综合运用多种检测方法和处理措施。同时,加强变压器的日常维护与巡检,定期检查变压器油质,以及提高设备质量与管理水平,都是预防绝缘故障的重要手段。只有这样,我们才能确保变压器的长期稳定运行,为电网的安全可靠运行提供有力保障。

参考文献

- [1]陈一明,陈玲玲,牟童,等.变压器绝缘故障分析及改进[J].东北电力技术,2024,45(8):44-47,53.
- [2]丁凤波.变压器绝缘油中氢气含量异常升高的原因分析和处理[J].设备管理与维修,2024(11):69-71.
- [3]王佳鸿.电力变压器常见故障分析及预防处理措施[J].光源与照明,2021(3):80-81.
- [4]沈志钦.变压器绝缘故障的影响因素探究[J].百科论坛电子杂志,2020(8):1860-1861.