

电力系统中 6kV 变压器短路故障维修技术研究

唐亚斌

(中海油能源发展装备技术有限公司)

摘要：本研究分析 6kV 变压器短路故障的类型和成因，明确了短路故障的主要表现形式及其危害，系统阐述变压器短路故障的检测和诊断技术，重点介绍 6kV 变压器短路故障的维修技术，涵盖线圈修复与更换、绝缘处理与恢复、油浸式变压器油处理、冷却系统的检修及机械部件修复等关键技术环节。综合应用这些关键技术可以迅速恢复变压器的正常运行状态，提高变压器的运行可靠性和使用寿命。本研究对变压器短路故障的检测、诊断与维修技术进行全面系统的分析，为电力系统的维护和优化提供了重要参考。

关键词：6kV 变压器；短路故障维修；线圈修复；变压器处理

0 引言

随着现代电力系统的不断发展和负荷的逐渐增加，变压器作为电力传输和转换的重要设备，其运行的可靠性和稳定性至关重要。在 6kV 电压等级的配电网络中，变压器的短路故障不仅会对电力系统的安全运行带来严重影响，还可能导致大范围的停电事故。研究 6kV 变压器短路故障的成因、故障特征及其维修技术，对于提高电力系统的安全性和可靠性具有重要意义。短路故障往往伴随着大电流和高温，容易引起变压器绕组的损坏、绝缘介质的劣化和设备的烧毁。如何快速、有效地检测和维修短路故障，恢复变压器的正常运行状态，是当前电力科学与技术领域的重要研究课题。本文通过对短路故障的机理分析，结合先进的故障诊断技术和维修工艺，提出一套针对 6kV 变压器短路故障的综合维修策略，以期为电力系统的安全

全运行提供理论支持和技术保障。

1 6kV 变压器短路故障的原因分析

1.1 故障类型

如图 1 所示，短路故障主要包括绕组短路、铁心短路和外部短路。绕组短路主要包括匝间短路和层间短路。匝间短路是指同一绕组内的相邻匝之间发生短路，层间短路则是指绕组的不同层之间发生短路。绕组短路的特征表现为绕组电流剧增、温升迅速升高，变压器铁心局部出现过热现象。铁心短路是由于铁心片间绝缘损坏引起的故障，表现为局部铁心过热，铁心的损耗增加，进而导致铁心温度异常升高。长期的铁心过热会加速绝缘材料的老化，导致变压器的整体绝缘性能下降，进而引发更加严重的故障。外部短路故障是由于外部线路或设备的故障导致短路电流通过

变压器，特征主要表现为变压器内部电流和电压的异常波动，可能引起内部绕组的电磁力剧烈变化，导致绕组的机械应力增加。外部短路容易引起变压器的过电流保护动作，造成变压器停运，影响电力供应的可靠性。外部短路还可能对变压器的绝缘系统造成冲击，缩短变压器的使用寿命^[1]。

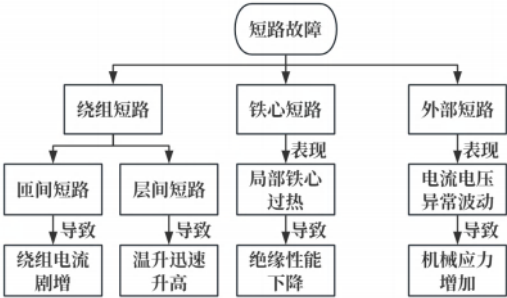


图1 故障类型

1.2 故障原因

6kV 变压器短路故障的成因主要可归结为内部因素和外部因素两大类。如图 2 所示，内部因素包括绕组绝缘老化和机械应力导致的绕组变形。绕组绝缘材料在长期运行过程中，会由于电场、热效应和化学作用等综合因素逐渐老化，导致绝缘强度下降，增加匝间或层间短路的风险；变压器在运输、安装和运行过程中，绕组可能受到机械冲击和振动，产生机械应力，引起绕组变形或位移，进而破坏绝缘结构，引发短路故障；铁心内部的绝缘劣化会引发局部过热和涡流损耗增加，最终导致铁心短路^[2]。外部因素方面，主要包括过电压和外部短路的冲击。雷击或电力系统中的操作过电压会使变压器承受过大的电压应力，超过其绝缘耐压水平，导致绝缘击穿，发生短路故障；电力系统中其他设备或线路的短路故障，会通过电磁耦合或直接连接对变压器施加短路电流冲击，造成变压器内部电磁力剧烈变化，破坏绕组和铁心的机械结构，诱发短路故障；环境因素

如高温、高湿和污染等恶劣环境条件会加速变压器内部绝缘材料的老化，降低其电气和机械性能，增加短路故障的发生概率。

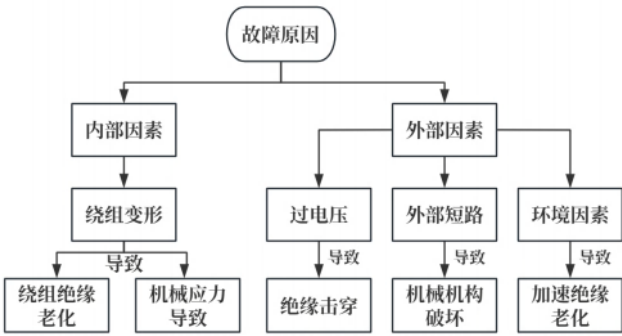


图2 故障成因及结果

2 6kV 变压器短路故障的检测诊断

2.1 检测方法

变压器油色谱分析主要是分析变压器油中溶解气体的成分和含量，判断变压器内部是否存在电弧放电、局部过热等故障迹象。局部放电检测技术利用超声波或特高频信号检测局部放电现象，可以识别绕组绝缘劣化或破坏的位置和程度。红外热成像技术可以检测变压器表面的温度分布，识别异常发热点，从而定位潜在的短路故障区域。振动分析法需要监测变压器的振动信号，识别由于机械松动或绕组变形引起的短路故障。电气测试方法包括绕组电阻测试和绝缘电阻测试，绕组电阻测试可以发现绕组的匝间短路或连接松动，绝缘电阻测试则能够评估绕组和铁心的绝缘状态。在线监测技术需要在变压器运行过程中持续监测关键参数，实现对短路故障的实时预警和动态分析。建立基于大数据和人工智能的故障预测模型，分析大量历史数据和运行状态，提高故障检测的准确性和可靠性。

2.2 诊断技术

油中溶解气体分析（DGA）可以定量分析变压

器油中溶解的各种气体，识别电弧放电、局部过热和绝缘分解等故障现象^[3]。局部放电检测技术通过超声波、超高频（UHF）和电容耦合等方式捕捉局部放电信号，分析放电强度和位置。局部放电红外热成像技术可以检测变压器表面的温度分布，识别异常发热点，提高维修效率。振动分析技术需要监测变压器运行时的振动信号，进行频谱分析，识别机械故障和绕组变形。频响分析法（FRA）可以测量变压器绕组在不同频率下的响应特性，分析其频率特性曲线的变化，识别绕组变形、匝间短路和铁心位移等问题，具有高灵敏度和高分辨率的特点，可以准确定位故障位置。对变压器运行数据进行大数据分析，利用机器学习算法建立故障预测模型，实现故障的早期诊断和预测，提高故障诊断的准确性和可靠性。

3 6kV 变压器短路故障的维修技术

3.1 线圈修复更换

进行绕组电阻测量和绝缘电阻测试（见图3），准确评估绕组的损坏程度。对于轻微的绕组匝间短路，可以采用局部修复方法，包括重新绝缘和重新紧固绕组。对于严重的绕组短路，尤其是层间短路或多点短路，需要进行整体更换，先要拆卸故障绕组，并对变压器内部进行彻底清理，确保没有残留的金属碎片或其他污染物。新绕组采用高精度的绕组工艺，确保绕组的机械强度和电气性能满足要求。绕组制造完成后，进行浸漆处理，提高绕组的绝缘性能和机械强度。浸漆过程中，要控制好浸漆的温度和时间，确保漆料充分渗透绕组的各个部分。安装新绕组时，确保绕组与铁心的紧密配合，并避免绕组在安装过程中受到机械损伤^[4]。绕组安装完成后，进行真空干燥处理，去除绕组内部的水分，提高其绝缘性能。干燥处理后，进行绕组的直流电阻测试、绝缘电阻测试和工频耐压试验，确保绕组的电气性能符合要求。

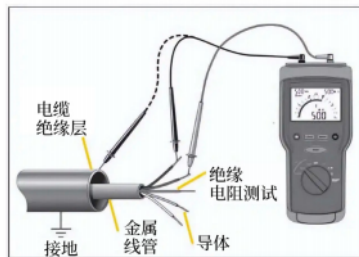


图3 绝缘电阻测试

3.2 绝缘处理与恢复

对受损绝缘材料进行彻底清理，使用专业的清洁剂和设备，去除绝缘表面的污垢、油污和碳化物。对于严重受损的绝缘材料，应进行更换，确保新的绝缘材料具有良好的电气性能和机械强度。之后采用先进的绝缘处理技术对变压器内部绝缘系统进行全面恢复。常用的绝缘处理技术包括真空浸漆、热固化和冷压成型等。真空浸漆技术是使用真空浸漆设备（见图4），在真空环境下将绝缘漆渗透到绕组和铁心的各个部分，形成均匀的绝缘层，提高绝缘系统的整体性能。热固化技术需要经过高温加热，使绝缘漆在绕组和铁心表面固化，增强绝缘材料的机械强度和耐热性能。冷压成型技术是在低温环境下对绝缘材料进行高压成型，确保绝缘层的致密性和均匀性^[5]。在绝缘处理过程中，进行定期采样和测试，包括介质损耗因数测试、绝缘电阻测试和局部放电测试。介质损耗因数测试可以评估绝缘材料的介电损耗情况，绝缘电阻测试可以检测绝缘系统的整体电气性能，局部放电测试可以识别绝缘系统中的局部缺陷和薄弱环节。



图4 真空浸漆设备

3.3 油浸式变压器油处理

变压器油在运行过程中可能会因热分解、电弧放电及环境污染等因素劣化，导致其绝缘强度和热传导性能下降。如图 5 所示，对于油质劣化较轻的情况，采用过滤和脱水处理。过滤处理通过高效过滤器去除油中的固体颗粒物和胶质，脱水处理使用真空脱水设备或离心分离器去除油中的水分。对于油质劣化较为严重的情况，需要进行再生处理。再生处理包括脱酸、脱色和脱气。脱酸处理需要添加中和剂中和油中的酸性物质，脱色处理使用吸附剂去除油中的色素和氧化物，脱气处理使用真空脱气设备去除油中的溶解气体。再生处理能够全面恢复变压器油的绝缘性能和物理化学特性。完成油处理后，还需进行油的补充和更换。补充和更换油时，应严格控制油的纯度和温度，确保新油与变压器内部的油充分混合，避免产生气泡和局部过热。定期对油质进行检测和维护，及时发现和处理油质劣化问题，确保变压器长期安全稳定运行。

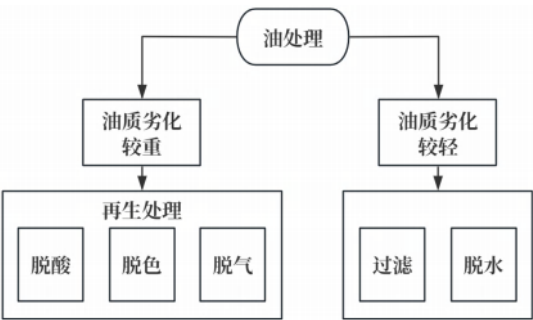


图 5 油处理过程

3.4 冷却系统的检修

变压器的冷却系统包括油冷却器、风冷却器和水冷却器等，针对不同类型的冷却系统，需采取相应的检修措施。油冷却器的检修需确保其内部油流通畅且无泄漏现象。检查油冷却器的管道连接处和焊缝，发现并修复潜在的泄漏点；定期更换冷却油，对冷却油进行过滤和脱水处理；清理冷却器表面和内部的污垢

和沉积物，防止因堵塞导致的冷却效率下降。风冷却器需检查风机叶片的磨损情况，清理叶片上的积尘，确保风机的平衡和润滑良好。散热片的检修包括清理表面灰尘和污垢，检查散热片的固定情况，确保散热片与空气的接触良好。水冷却器需检查水泵、冷却水管道和热交换器的运行状态。检查水泵的运转情况和水流量。冷却水管道需重点检查管道的密封性和通畅性，发现修复漏水点，清理管道内的水垢和沉积物。热交换器需检查换热管的磨损和腐蚀情况，定期进行换热管的清洗和更换。

3.5 机械部件修复

变压器的机械部件包括铁心、绕组支架、夹件、外壳，铁心在短路故障中可能会因过热和电动力作用而发生变形、移位或绝缘损坏。修复需对铁心进行解体检查，确保铁心片无明显变形和绝缘破损。重新叠装受损的铁心片，使用绝缘漆进行浸渍处理。绕组支架在短路故障中可能会因电动力作用而变形或松动，需进行校正和紧固。使用高强度螺栓和抗振动材料，确保绕组支架的稳固性。夹件需确保夹件与绕组的紧密接触，避免因松动导致的绕组位移和电磁噪声。外壳的检查和修复则包括检查其密封性和结构强度。变压器外壳在短路故障中可能会受到热膨胀和机械冲击的影响，导致密封失效和结构损伤。修复需对外壳的焊缝、法兰连接处进行详细检查，确保无裂纹和漏油现象。

4 结束语

在电力系统中，6kV 变压器作为关键设备，其可靠性和稳定性直接关系到整个系统的运行效率 and 安全性。深入分析 6kV 变压器短路故障的原因，结合先进的检测诊断技术，可以有效识别和定位故障，为及时维修提供准确依据。6kV 变压器短路故障的维修技术研究为电力系统的安全稳定运行提供了理论依据和

(下转第 83 页)

(上接第 79 页)

技术支持，也为实际应用中的故障诊断和维修提供了指导性意见。随着电力科学与技术的不断进步，更多新材料、新技术和新工艺将被应用于变压器维修中，进一步提高其运行可靠性和维护效率。也需要加强对变压器运行状态的实时监测和大数据分析，建立智能化的故障预警和诊断系统，也将是提高电力系统整体运行水平的重要方向。经过不断的技术创新和优化，电力系统的安全性和可靠性必将得到更大的提升，为社会经济的稳定发展提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1] 汪琳. 电力系统中 6kV 变压器短路故障诊断与维修 [J]. 设备管理与维修, 2022 (20): 149-150.
- [2] 田宏光. 电力变压器故障预防与状态维修 [J]. 电子技术与软件工程, 2017 (21): 245.
- [3] 李应武. 电力变压器状态维修技术的运用 [J]. 低碳世界, 2016 (24): 76-77.
- [4] 阳志超. 35kV 电力变压器运行维护的方法探究 [J]. 硅谷, 2014, 7 (20): 90, 50.
- [5] 赵贺亮. 浅析电力变压器运行维护的方法 [J]. 科技创新与应用, 2014 (10): 119.

(收稿日期: 2024-07-16)