

变电站主变压器故障检修技术分析

王江江

国网山西省临汾市供电公司

摘要：随着电力系统的不断发展和电网规模的扩大，变电站主变压器的稳定运行显得尤为重要。主变压器作为电力系统的核心设备之一，其性能直接关系到整个电网的安全、可靠和经济运行。一旦发生故障，不仅会导致巨大的经济损失，还可能引发系统级的供电中断，影响社会稳定和人民生活。因此，掌握高效的故障检修技术对于确保主变压器的持续安全运行至关重要。这不仅包括及时准确地诊断故障原因，还包括采用先进的检修方法和技术进行修复和预防，从而最大限度地减少故障发生的概率和影响。同时，随着技术的发展，新的检修技术，如智能监控、远程诊断等，正逐渐成为主变压器故障检修的重要趋势，这些技术能够进一步提高检修工作的效率和准确性。

关键词：变电站；主变压器；故障检修技术

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2023.03.105

变电站主变压器是变电站中的关键设备，主要负责电能的升压和降压，以适应远距离输电和分配的需要，它在电力系统中起着至关重要的作用，连接着发电站和消费端，确保电力传输的高效和稳定。这种变压器通常具有高容量和复杂的构造，能够处理大量的电能，同时也必须承受电网中的各种负荷变化和环境影响。它的性能和可靠性直接影响到整个电网的安全运行和电力供应的质量。因此，对主变压器进行有效的故障检修和技术维护是确保电力系统稳定运行和提高供电可靠性的重要环节，对此进行深入研究和技术创新显得尤为重要。

一、变电站主变压器的故障类型

（一）绝缘损坏故障

绝缘损坏故障是变电站主变压器中常见的一种故障类型，其发生通常与多种因素相关联。变压器的绝缘材料，如纸、油或合成绝缘物，起着至关重要的作用，它们确保电流在设备内部正确流动，防止短路或漏电。然而，长时间的运行、环境因素、电气应力和机械磨损等因素都可能导致绝缘材料逐渐退化。例如，过高的温度会加速绝缘材料的老化，降低其绝缘性能；机械振动和冲击可能导致绝缘材料出现裂缝或破裂；化学腐蚀，尤其是在恶劣的环境条件下，也会逐渐破坏绝缘材料。此外，设备设计缺陷、制造不良或安装错误亦可能从一开始就给绝缘材料带来缺陷或应力，从而降低其绝缘性能。

绝缘损坏故障的后果通常是严重的，甚至可能导致设备完全失效。一旦绝缘性能下降，就可能发生短路，这不仅会导致变压器的即时故障，还可能引发电弧或火灾，对周围的设备和人员安全构成严重威胁。在某些情况下，绝缘损坏可能引起绕组间或绕组与地之间的电气故障，这种故障不易被及时发现，但会逐渐恶化，最终导致严重的设备损坏。除了直接的物理损害外，绝缘故

障还会导致设备效率下降，增加运行成本，甚至造成电力供应的中断。因此，对主变压器绝缘性能的监测和维护是保证变电站安全和可靠运行的关键。

（二）绕组损伤故障

绕组损伤故障在变电站主变压器中属于常见故障类型，主要由过热、短路或机械应力等因素引起。变压器绕组是由导电材料（如铜或铝）制成的线圈，其主要作用是在电磁感应的作用下实现电能的转换和传输。在正常运行条件下，绕组会产生一定的热量，但当负载超过设计标准或散热系统失效时，过热现象会变得严重。过热不仅会损害绕组的绝缘材料，导致短路风险增加，还可能引起金属疲劳，使绕组结构弱化。此外，电力系统中的短路事件也是引起绕组损伤的一个重要因素。短路会在绕组中产生极大的电流，这种突发的高电流可以迅速升高绕组温度，造成严重的机械和热应力，甚至可能熔断或烧毁绕组。

绕组损伤的后果通常是严重的，会显著影响变压器的性能和可靠性。一旦绕组发生损伤，可能导致变压器效率降低，功率输出不稳定，甚至完全失效。长期的绕组损伤会导致电能损耗增加，运行成本升高。在极端情况下，绕组严重损伤甚至可能导致变压器内部发生电弧，引起火灾或爆炸，对周围环境和设备造成严重威胁。因此，对绕组的定期监测和维护是确保变压器长期稳定运行的重要措施。这不仅需要对电流、温度等参数进行实时监控，还需要对可能导致过热或短路的潜在风险因素进行有效管理和控制，以避免绕组损伤发生。

（三）油浸冷却系统故障

变电站主变压器中的油浸冷却系统是确保变压器有效运行的关键部分，其主要作用是通过油浸方式散发变压器产生的热量，保持设备在安全的工作温度范围内。

然而，油浸冷却系统也可能遭遇多种故障，其中最常见的是包括油泄漏和冷却效率下降。油泄漏通常是由于密封系统的磨损、损坏或安装不当导致的，这不仅会造成冷却油的损失，还可能引起环境污染和火灾风险。此外，长时间运行或不当维护可能导致冷却系统中的油变质或油路堵塞，影响冷却效率。变质的冷却油可能失去其良好的热传导性能，导致冷却效果下降；油路堵塞则可能导致冷却油无法顺畅流动，影响整个冷却系统的效率。

冷却系统故障对变压器的运行影响深远。油浸冷却系统的故障，如油泄漏和冷却效率降低，会直接导致变压器过热，增加绝缘材料老化和损坏的风险，最终可能引发更严重的故障甚至设备失效。此外，变压器过热还可能导致能效降低和运行成本增加，对电力系统的整体性能造成负面影响。在某些情况下，油浸冷却系统的故障还可能造成安全隐患，如油泄漏可能导致火灾或环境污染。因此，对油浸冷却系统的定期维护和监控是至关重要的。

（四）磁芯和铁心故障

磁芯和铁心故障是变电站主变压器中一个较为复杂的问题，通常与材料的物理属性和运行条件紧密相关。变压器的磁芯或铁心是其核心组成部分，负责在电磁感应过程中创建和引导磁通。磁芯通常由高磁导率的硅钢片层压而成，而这些材料在长期运行过程中可能出现不同程度的损坏。磁饱和是其中一种常见问题，发生在磁芯由于过高的磁通密度而无法有效地传导更多的磁通。这种现象通常在电流过大或设计不当时出现，导致变压器效率降低，甚至产生额外的损耗。另一个重要问题是局部过热，这可能是由于磁芯损耗的增加，或者由于硅钢片之间的绝缘层损坏导致的。局部过热不仅会导致硅钢片性能下降，还可能引发绝缘材料的降解，增加短路的风险。

磁芯和铁心的损坏会对变压器的整体性能产生显著的负面影响。当磁芯发生故障时，变压器的磁通效率会降低，导致其输出功率下降，影响整个电力系统的稳定运行。在一些情况下，由于磁芯或铁心的损坏，变压器可能会产生异常噪音，这是由于硅钢片在交变磁场作用下发生物理形变而产生的。此外，磁芯和铁心的损坏还可能导致变压器内部发热量增加，加剧设备的热应力，从而加速其他部件的老化，降低变压器的整体寿命。因此，磁芯和铁心的完整性和性能对于保持变压器的高效和可靠运行至关重要。对磁芯和铁心的定期检查和维护，可以帮助及时发现潜在的问题，避免这些故障对变压器及整个电力系统造成更大的损害。

二、变电站主变压器故障检修具体技术

（一）绝缘恢复和增强技术

绝缘恢复和增强技术在变电站主变压器的故障检修中扮演着关键角色，尤其是面对绝缘材料损坏的情况。绝缘损坏是由多种因素导致的，如长期的电气应力、热应力、机械磨损或环境因素。检修过程中，重新绕制是一种常用的恢复技术，特别是当绕组的绝缘材料受到严重损坏时。这个过程涉及拆卸旧绕组，检查并清理绕组的核心部分，然后使用新的绝缘材料和导电线材料重新绕制。在某些情况下，如果绝缘损坏不是特别严重，可以选择更换或修复受损的绝缘部分。这包括去除受损的绝缘材料，清洁和处理绕组表面，然后应用新的绝缘层。此外，使用先进的绝缘材料，如高热稳定性和电气性能的合成材料，可以有效提升绝缘的质量和耐久性。

预防措施在避免绝缘故障的发生中同样重要。定期的维护和检查是预防绝缘故障的关键，这包括对变压器绝缘性能的定期测试，如电阻测试和介电强度测试。这些测试有助于早期发现绝缘材料的退化或损坏迹象，从而及时采取修复措施。同时，监控变压器运行中的温度和电流也非常重要，因为异常的温度升高或电流波动往往预示着绝缘性能的下降。在变压器设计和制造过程中采用高质量的绝缘材料和严格的质量控制措施，可以有效减少绝缘故障的初始风险。此外，提高操作和维护人员的专业技能和意识，确保他们能够正确处理变压器绝缘问题，也是预防绝缘故障的重要环节。通过这些措施，可以大大降低绝缘故障的发生概率，延长变压器的使用寿命，确保电力系统的稳定和安全运行。

（二）绕组修复和替换技术

绕组修复和替换技术是处理变电站主变压器故障的核心环节，尤其当绕组因过热、短路或机械应力而受损时。修复工作通常开始于对绕组的彻底检查，以评估损坏的程度和性质。在损伤较轻的情况下，绕组可以通过重新定位和加固来恢复其功能。重新定位涉及调整绕组的位置，确保其与其他组件之间的适当间隙，从而避免未来可能的短路或接触问题。加固则可能包括使用额外的支撑或固定材料来增强绕组结构的稳定性。在更严重的情况下，可能需要完全替换受损的绕组。这一过程包括移除旧绕组，安装新的绕组，并确保其与变压器的其他部分正确接合。无论是修复还是替换，重要的是使用高质量的材料和精确的工艺，以确保绕组的长期稳定性和效率。

预防措施在避免绕组损伤中同样重要。定期维护和监控是关键，包括对绕组的温度和电流进行实时监测，以及定期进行物理检查和测试。这些措施有助于及早发现潜在问题，如过热、异常振动或绝缘退化，从而在问题恶化之前进行干预。此外，确保变压器在设计负载范围内运行也至关重要，因为过载是导致绕组过热和损

伤的常见原因。在变压器的设计和制造过程中,采用适当的绕组设计和高质量的制造材料可以显著降低故障风险。同时,对操作和维护人员进行适当的培训,以确保他们了解绕组的关键性能和潜在风险,是预防绕组损伤的重要一环。通过这些综合措施,可以有效提升变压器的可靠性和安全性,减少因绕组故障导致的停机时间和维修成本。

(三) 冷却系统维护和改进

冷却系统的维护和改进是保证变电站主变压器正常运行的关键环节,尤其是针对油浸冷却系统。该系统的主要职能是通过循环的冷却油散发变压器产生的热量。在检修油浸冷却系统时,首先需要对冷却油的质量和量进行检查,以确定是否存在污染或油位低的问题。污染的油可能会降低其热传导效率,而油位过低可能会导致部分变压器过热。如果发现油质问题,需进行更换或过滤处理。同时,检查冷却系统的密封性能是至关重要的,以防止油泄漏和空气进入系统,后者可能导致油的氧化或湿度增加。另外,对冷却系统的管道和散热器进行清洁和检查,可以确保油流畅无阻,进而提高冷却效率。

预防措施在维护冷却系统中扮演着重要角色。定期对油浸冷却系统进行全面检查,可以及时发现并解决潜在问题,如油泄漏、油污染或散热器堵塞。这包括对冷却油进行定期的质量测试,如检测其介电强度和化学稳定性,以及监测冷却油的温度和流量,确保其在有效的运行范围内。对冷却系统的定期清洁和保养,如清理散热器上的尘埃和污垢,可以提高散热效率,避免过热问题。同时,改进冷却系统设计,如使用更高效的散热器或更优质的冷却油,也是提高整体冷却效率和系统可靠性的有效方法。此外,确保变压器运行负荷在设计范围内,可以减少过度的热负荷,从而降低冷却系统的维护压力。通过这些预防和维护措施,可以有效提升油浸冷却系统的性能,延长变压器的使用寿命,保障电网的稳定运行。

(四) 磁芯和铁心的检修技术

磁芯和铁心的检修技术在变电站主变压器的维护中占据着关键地位,特别是针对磁饱和和局部过热等问题。磁芯和铁心故障的检修首先涉及对其进行彻底的检查,以确定损坏的性质和程度。在检修磁芯时,校正可能是必需的,尤其是当磁芯因长期的电磁应力或机械应力而发生形变时。校正过程包括调整磁芯片的排列和压紧,以恢复其原有的形状和磁通路。对于局部过热问题,重点在于找出热点并进行处理。这可能涉及更换或修复受损的硅钢片,或在特定区域增加额外的冷却措施。在一些复杂的情况下,可能需要部分或全部更换磁

芯或铁心,这是一项精细且技术要求高的工作,需要专业的技术和工具来完成。

预防措施在减少磁芯和铁心故障的风险方面同样至关重要。定期的检查和维护是预防故障的关键,这包括对磁芯的物理检查和电磁性能测试。这些检查有助于早期发现形变或损坏的迹象,从而在问题恶化之前采取修复措施。同时,监测变压器的运行参数,如电流和温度,也是重要的预防措施,因为它们可以提供关于磁芯状态的早期警示。在变压器设计和制造阶段,采用高质量的材料和精确的制造工艺可以显著降低磁芯和铁心的初始故障风险。此外,确保变压器在其设计的操作范围内运行,避免过载和过电流,这些都是减少磁芯和铁心长期应力的有效措施。通过这些综合的检修技术和预防措施,可以显著提高变压器的可靠性和效率,延长其使用寿命,保障电力系统的稳定运行。

结束语

展望未来,变电站主变压器的故障检修技术将持续进步,不仅在提高效率和减少停机时间方面取得显著成就,而且在确保电力系统可靠性和安全性方面发挥着越来越重要的作用。随着新材料、先进传感技术和智能化诊断系统的发展,预计将出现更多创新方法,这些方法不仅能够更精准地识别和修复故障,还能在故障发生前进行有效的预测和预防。此外,随着可再生能源和智能电网技术的快速发展,变电站主变压器的角色和要求也将发生变化,促使检修技术不断适应新的挑战。因此,持续的研究和技术创新将是推动这一领域未来发展的关键。

参考文献

- [1] 丁寿江, 赵雪松. 干式接地变压器短路事故分析[J]. 变压器, 2019, 56(8): 83-86.
- [2] 黄小华, 孔宪国, 姚艺新, 张春龙. 一起接地变压器雷电冲击试验故障分析[J]. 变压器, 2020, 57(1): 79-83.
- [3] 邢琳, 陈明, 吴景梅, 王璐, 李军. 高土壤电阻率地区某220 kV变电站接地方案研究[J]. 电瓷避雷器, 2020(4): 167-172.
- [4]. 变电站关键装备状态多维智能检修技术研究[J]. 云南科技管理, 2022, (05): 92.
- [5] 蒋钰, 祁婕, 钱晓彤, 徐峥嵘. 变电站集中检修施工的风险分析[J]. 集成电路应用, 2022, (10): 180-181.
- [6] 左成飞. 110k V变电站变压器安装与检修方法探讨[J]. 电器工业, 2022, (09): 61-62+65.