

浅析电力变压器高压试验和故障处理

傅 祎

泉州亿兴电力工程建设有限公司 福建泉州 362000

摘要: 电力变压器作为电力系统中至关重要的设备,其运行状态的稳定性和可靠性直接关系到整个电网的安全与效率。本文旨在探讨电力变压器的高压试验方法及故障处理策略,以确保其正常运行并延长使用寿命。通过深入分析高压试验的流程、关键参数及结果分析,结合常见故障类型与诊断方法,本文提出了一系列针对性的故障处理措施。实践表明,这些措施能够有效提高电力变压器的运行效率和安全性,为电力系统的稳定运行提供有力保障。

关键词: 电力变压器; 高压试验; 故障处理; 绝缘性能; 绕组故障

引言

随着电力工业的快速发展,电力变压器作为能量转换和传输的核心设备,其重要性日益凸显。然而,在运行过程中,电力变压器可能受到各种因素的影响,导致性能下降甚至发生故障。因此,定期开展高压试验,及时发现并处理潜在故障,对于保障电力系统的安全稳定运行具有重要意义。本文将从高压试验和故障处理两个方面,对电力变压器的相关问题进行深入探讨。

1. 电力变压器基础理论

1.1 电力变压器的基本结构和工作原理

电力变压器是电力系统中至关重要的设备,其基本结构包括铁芯、绕组、油箱、绝缘件、冷却装置和保护装置等。铁芯由硅钢片叠装而成,构成变压器的磁路部分,主要起导磁作用。绕组则是变压器的电路部分,分为一次绕组和二次绕组,通过电磁感应实现电压和电流的变换。当交流电通过一次绕组时,会在铁芯中产生交变磁通,这个磁通会切割二次绕组,从而在二次绕组中产生感应电动势。通过调整一次绕组和二次绕组的匝数比,可以实现电压的升高或降低。

1.2 电力变压器的分类与额定电压等级

电力变压器根据用途、结构、冷却方式等多种因素可以分为多种类型。按冷却方式,可分为干式变压器和油浸式变压器;按相数,可分为单相变压器和三相变压器;按绕组形式,可分为双绕组变压器、三绕组变压器和自耦变压器等。此外,根据额定电压等级的不同,电力变压器还可以分

为低压变压器(额定电压不超过 1000V)、中压变压器(额定电压在 1000V~35kV 之间)、高压变压器(额定电压在 35kV~220kV 之间)和超高压变压器(额定电压在 220kV 以上)。这些不同等级的变压器广泛应用于电力系统中的发电、输电、配电和用电各个环节。

以某 220kV 变电站为例,该站使用的变压器为超高压变压器,其额定电压为 220kV,额定容量为 300MVA。该变压器在电力系统中起到了将高压电能转换为低压电能,并分配给周边用户的重要作用。

1.3 电力变压器的性能参数与标准要求

电力变压器的性能参数主要包括额定容量、额定电流、额定电压、额定频率、额定功率、效率、短路电压、短路损耗、空载损耗和空载电流等。这些参数在变压器的设计、制造和使用过程中起着至关重要的作用。例如,额定容量是指变压器在额定电压、额定电流下连续运行所能传送的容量(即变压器的视在功率),通常以 kVA 或 MVA 表示。额定电压则是变压器长时间运行,设计规定的电压值,需根据电力系统的电压等级进行选择。此外,变压器的效率也是衡量其性能的重要指标,其表示在额定功率时,变压器的输出功率与输入功率的比值。为确保变压器的安全可靠运行,国家及行业标准对电力变压器的性能参数和结构设计提出了严格的要求,包括电气性能、热性能、材料选择、工艺要求等方面的具体规定。

电力变压器部分性能参数示例如表 1 所示:

表 1 电力变压器部分性能参数示例

性能参数	描述与单位	示例数据
额定容量	视在功率, kVA 或 MVA	1000kVA
额定电流	一次、二次绕组电流, A	一次: 57.7A, 二次: 500A
额定电压	一次、二次绕组电压, kV	一次: 10kV, 二次: 0.4kV
额定频率	50Hz 或 60Hz	50Hz
额定功率	输出功率, kW 或 MW	800kW
效率	输出功率 / 输入功率	98%
短路电压	一次绕组施加电压, kV	6% 额定电压
短路损耗	一次绕组电流额定值时损耗, kW	8kW
空载损耗	二次绕组开路时损耗, kW	0.6kW
空载电流	二次绕组开路时一次绕组电流, A	2.5A

这些参数和数据为电力变压器的设计、制造、试验和运行提供了重要的参考依据。

2. 电力变压器高压试验

2.1 高压试验准备

进行电力变压器高压试验前,需精心准备,确保试验的顺利进行与人员设备的安全。首先,试验设备的选择至关重要,需选用高精度、高稳定性的试验仪器,如工频耐压试验装置、局部放电检测仪等,并确保其经过专业校准,误差在允许范围内,例如,工频耐压试验装置的电压测量误差应不超过 $\pm 1\%$ 。同时,试验安全措施与防护措施不可或缺,试验现场应设置安全隔离区,配备绝缘手套、绝缘靴、护目镜等个人防护装备,并确保试验设备接地良好。试验前还需对变压器进行仔细检查与预处理,包括外观检查、绝缘电阻测量、绕组直流电阻测试等,以排除潜在故障,确保试验的准确性。

2.2 高压试验方法

2.2.1 工频耐压试验

工频耐压试验是电力变压器高压试验中的关键项目,用于检验变压器在额定电压下的绝缘强度。试验原理基于电磁感应,通过施加高于额定电压一定倍数的工频交流电压,观察变压器绝缘是否发生击穿或闪络。接线方式需遵循试验标准,确保高压端与低压端、地之间正确连接。试验步骤包括:1)连接试验设备,设置试验电压与持续时间;2)逐步升压至预定值,保持一段时间;3)观察并记录试验过程中的电压、电流及绝缘状况。注意事项包括:升压速度应均匀,避免冲击电压;试验过程中应密切监视变压器状态,发现异常立即停止试验。

以某次 110kV 变压器工频耐压试验为例,试验人员首先连接了试验设备,设置了试验电压为 154kV(即额定电压的 1.4 倍),持续时间为 1 分钟。然后逐步升压至预定值,

并保持一段时间。在试验过程中,试验人员密切监视了变压器的状态,发现电压和电流均稳定,绝缘状况良好,未出现击穿或闪络现象。

2.2.2 局部放电试验

局部放电试验用于检测变压器内部绝缘结构的局部缺陷,如气泡、裂纹等。试验原理基于脉冲电流法,通过检测变压器在特定电压下产生的局部放电脉冲信号,分析其幅值、相位等特征,判断绝缘状况。检测方法包括在线监测与离线试验,前者在变压器运行状态下进行,后者需在停电状态下进行。判定标准依据国家及行业标准,通常将局部放电量作为判定依据,例如,对于 110kV 及以上电压等级的变压器,局部放电量应不超过 100pC。影响因素包括试验电压、试验时间、环境条件等,需严格控制以确保试验结果的准确性。试验过程中,应记录并分析局部放电信号,结合变压器历史数据与运行状况,综合评估其绝缘状态。

2.3 高压试验结果分析

2.3.1 绝缘电阻与泄漏电流分析

绝缘电阻与泄漏电流是衡量电力变压器绝缘性能的重要指标。绝缘电阻的计算基于欧姆定律,公式为:

$$R=V/I \quad (1)$$

其中, R 代表绝缘电阻, V 为施加的直流电压, I 为通过绝缘材料的泄漏电流。这一参数反映了变压器绝缘系统在直流电压作用下的电阻特性。在高压试验中,绝缘电阻与泄漏电流的测量通常遵循以下步骤:首先,使用兆欧表对变压器各绕组对地及绕组间的绝缘电阻进行测量,记录数据;随后,通过升高电压至规定值,测量并记录泄漏电流的大小。如表 2 所示展示了某次高压试验中绝缘电阻与泄漏电流的测量值:

表 2 某次高压试验中绝缘电阻与泄漏电流的测量值

测量项目	施加电压 V (kV)	泄漏电流 I (μ A)	绝缘电阻 R (M Ω)
绕组 A-地	10	5	2000
绕组 B-地	10	4.8	2083.33
绕组 C-地	10	5.2	1923.08
绕组 A-B 间	5	0.3	16666.67
绕组 B-C 间	5	0.28	17857.14
绕组 C-A 间	5	0.32	15625

从数据中可以看出,各绕组对地及绕组间的绝缘电阻

均较高,表明变压器绝缘性能良好。泄漏电流值较小,也进一步证实了绝缘系统的可靠性。若绝缘电阻显著降低或泄漏电流异常增大,可能意味着绝缘材料受潮、老化或存在缺陷,需及时采取措施进行检修或更换。

2.3.2 介质损耗因数与极化指数分析

介质损耗因数 ($\tan \delta$) 是反映电力变压器绝缘介质损耗特性的重要参数。其计算公式为

$$\tan \delta = P/U^2 \omega C \quad (2)$$

其中, P 为介质损耗功率, U 为施加电压的有效值, ω 为角频率 (等于 2π 乘以电源频率 f), C 为电容。介质损耗因数的大小与绝缘材料的性质、结构以及运行环境密切相关。

在高压试验中,介质损耗因数的测量通常通过专用的介质损耗测量仪进行。测量时,需将变压器绕组与测量仪的相应端口连接,施加规定频率的交流电压,并记录介质损耗功率和电容值,进而计算得出介质损耗因数。极化指数是评估绝缘材料极化特性的另一重要指标,该指标通常通过比较不同时间点的绝缘电阻值来计算,反映了绝缘材料在施加电压后,电荷重新分布和极化过程的快慢。极化指数的计算公式因具体测量方法而异,但一般基于绝缘电阻随时间变化的特性进行推导。实际操作中,介质损耗因数与极化指数的分析应结合变压器的运行历史、环境条件以及试验结果进行综合判断。若介质损耗因数异常增大或极化指数显著降低,可能表明绝缘介质存在老化、受潮或污染等问题,需进一步检查和维修。

总之,通过对绝缘电阻、泄漏电流、介质损耗因数以及极化指数等参数的分析,可以全面评估电力变压器的绝缘性能,及时发现潜在故障,为变压器的安全运行提供重要保障。

3. 电力变压器故障处理

3.1 常见故障类型与原因分析

在电力变压器故障处理中,绕组故障是一个常见的难题。以某变电站 110kV 变压器为例,该设备在运行过程中突然发生绕组故障,导致变压器无法正常工作。经过详细检查发现,故障的直接原因是过载运行导致绕组过热,进而引发绕组短路。具体来说,该变压器在持续高负荷运行下,绕组温度不断升高,超过了设计的安全范围,导致绕组材料性能下降,绝缘层受损,最终引发短路。

绕组故障的原因多种多样,除过载运行外,还可能与制

造工艺不良、短路冲击或绝缘损坏等因素有关。制造工艺不良可能导致绕组结构不稳定,易在运行时发生形变或松动;短路冲击则可能因瞬间电流过大,直接损坏绕组结构;绝缘损坏则通常由老化、受潮或外部机械损伤引起,降低了绕组的电气强度。在此案例中,过载运行是导致绕组故障的主要原因,但其他潜在因素也不容忽视,需进行全面排查和预防。

3.2 故障诊断方法

针对上述 110kV 变压器绕组故障,试验人员迅速展开了故障诊断工作。首先,通过外观检查发现变压器绕组部分有烧焦痕迹,这是绕组过热和短路故障的直接表现。为了进一步确认故障区域和程度,试验人员利用红外热成像仪对变压器各部位进行了温度分布检测。结果显示,过热区域与烧焦部分完全吻合,进一步证实了绕组故障的存在。随后,试验人员进行了油色谱分析。通过提取变压器油样并检测其中溶解的气体成分,发现乙炔等特征气体的含量异常增高。乙炔是绕组过热分解绝缘材料产生的气体之一,其含量的异常升高进一步证实了绕组故障的存在。最后,试验人员通过电气试验对故障类型和位置进行了验证。包括绕组直流电阻测试、绝缘电阻测试及耐压试验等,这些试验数据不仅验证了绕组故障的存在,还精确确定了故障点的位置和类型。通过这一系列科学、系统的故障诊断方法,试验人员为后续的故障处理和修复工作提供了有力的技术支撑。

3.3 故障处理措施

针对上述绕组故障,试验人员采取了以下处理措施:首先对受损的绕组进行了修复和重绕,确保绕组电气性能和机械强度的恢复。然后对变压器进行了全面的检查和测试,确保其他部件未受损并正常运行。最后对变压器进行了预防性试验和维护保养工作,以延长其使用寿命并提高运行可靠性。

在故障处理过程中,试验人员严格遵守了安全操作规程,确保了人员和设备的安全。同时深入分析了故障原因并采取了针对性的预防措施,以防止类似故障再次发生。通过加强日常维护和监测工作,及时发现并处理潜在故障,确保了电力变压器的安全稳定运行。

结束语:

综上,电力变压器的高压试验和故障处理是确保其安全稳定运行的关键环节。通过严格的高压试验流程,可以全面评估变压器的绝缘性能、绕组状态及整体运行状况,为故

障预警和诊断提供有力支持。同时，针对不同类型的故障，采取针对性的处理措施，如绝缘恢复、绕组修复、铁芯调整及分接开关维修等，能够有效恢复变压器的正常运行状态，延长其使用寿命。未来，随着技术的不断进步和智能化水平的提高，电力变压器的高压试验和故障处理将更加高效、精准，为电力系统的安全稳定运行提供更加坚实的保障。

参考文献：

[1] 刘革. 电力变压器高压试验的故障处理分析 [J]. 电子元件与信息技术, 2022, 6 (09): 226-229.

[2] 李洪洋. 电力变压器电气高压试验技术要点分析 [J]. 中国设备工程, 2022, (08): 79-80.

[3] 唐新宇, 朱玉, 李诣烽. 电力变压器高压试验及故障处理分析 [J]. 科技创新与应用, 2022, 12 (08): 114-116.

[4] 韩西坪. 探究电力变压器高压试验技术及故障处理 [J]. 电气开关, 2022, 60 (01): 99-101+105.

[5] 关启元. 高压试验中变压器试验问题及故障处理 [J]. 电子世界, 2021, (22): 206-207.

[6] 罗威, 闫超超. 电力变压器的高压试验与故障处置 [J]. 集成电路应用, 2021, 38 (09): 254-255.

[7] 刘思杰, 张冠男. 电力变压器高压试验及其故障处理分析 [J]. 现代工业经济和信息化, 2021, 11 (08): 209-211.