

电气试验在变压器故障分析中的有效应用

杨彬 赵京生

国网保定供电公司

DOI:10.12238/hwr.v9i1.6025

[摘要] 在现代化社会的快速发展中,电力系统作为能源传输与分配的核心网络,其稳定、高效、安全的运行对于促进经济增长、保障民生福祉具有不可估量的价值。变压器,作为电力系统中承上启下的关键设备,不仅承担着电压转换的重任,还直接关系到整个电网的能量传输效率与稳定性。然而,随着电网规模的日益扩大和运行环境的复杂多变,变压器在运行过程中面临着诸多挑战,其故障频发已成为影响电力系统安全稳定运行的重要因素之一。本文旨在深入探讨电气试验在变压器故障分析中的有效应用,通过系统梳理变压器常见的故障类型及其成因,结合电气试验的多种方法与技术,阐述其在识别、定位及评估变压器故障中的具体应用与实践价值。

[关键词] 电气试验; 变压器; 故障分析; 绝缘电阻; 短路阻抗

中图分类号: U467.5+26 **文献标识码:** A

Effective Application of Electrical Testing in Transformer Fault Analysis

Bin Yang Jingsheng Zhao

State Grid Baoding Power Supply Company

[Abstract] In the rapid development of modern society, the power system, as the core network for energy transmission and distribution, has immeasurable value in promoting economic growth and ensuring people's well-being through its stable, efficient, and safe operation. Transformers, as key equipment in the power system, not only bear the responsibility of voltage conversion, but also directly affect the energy transmission efficiency and stability of the entire power grid. However, with the increasing scale of the power grid and the complex and ever-changing operating environment, transformers face many challenges during operation, and their frequent failures have become one of the important factors affecting the safe and stable operation of the power system. This article aims to explore the effective application of electrical testing in transformer fault analysis. By systematically sorting out the common types and causes of transformer faults, and combining various methods and techniques of electrical testing, it elaborates on its specific application and practical value in identifying, locating, and evaluating transformer faults.

[Key words] electrical testing; transformer; Fault analysis; Insulation resistance; Short circuit impedance

引言

变压器故障不仅可能导致局部供电中断,严重时甚至可能引发连锁反应,造成大面积停电事故,对社会经济活动和人民生活造成巨大影响。因此,如何有效预防、及时发现并准确诊断变压器故障,成为电力行业亟待解决的关键问题。电气试验,作为变压器状态监测与故障诊断的重要手段,通过一系列科学、严谨的测试方法,能够深入剖析变压器内部的工作状态,揭示潜在的安全隐患,为变压器的维护、检修和更换提供有力的数据支持。

1 变压器故障类型与原因分析

变压器作为电力系统的核心组件,其稳定运行是电网安全

的重要保障。然而,在实际运行中,变压器可能会遭遇多种故障,这些故障不仅影响变压器的性能,还可能对整个电力系统造成连锁反应:

1.1 变压器常见故障类型

1.1.1 短路故障

短路故障是变压器运行中较为常见的一种故障类型。它通常发生在变压器的绕组之间、绕组与铁芯之间或绕组与外部电路之间。短路故障可能由多种原因引起,如绕组内部的绝缘层破损、外部电路短路导致的电流冲击、以及变压器设计或制造中的缺陷等^[1]。短路故障会导致电流急剧增加,产生大量的热量和电磁力,严重时可能烧毁变压器绕组,甚至引发火灾。

1.1.2 绝缘故障

绝缘故障是变压器故障中最为常见的一种,也是导致变压器损坏的主要原因之一。绝缘故障通常表现为绝缘材料的老化、受潮、开裂或脱落等现象,这些现象会降低绝缘材料的绝缘性能,使得电流容易在绝缘层之间或绝缘层与导体之间形成通路,导致局部放电或短路。绝缘故障的发生往往与变压器的运行环境、维护状况以及绝缘材料的质量密切相关。长期的高温、潮湿、振动等恶劣环境会加速绝缘材料的老化,而缺乏定期的维护和检修则可能导致绝缘故障的及时发现和处理。

1.1.3 过热故障

过热故障也是变压器运行中常见的一种故障类型。它通常由于变压器长时间过载运行、散热系统失效或内部短路等原因导致。过热会使得变压器内部的油温和绕组温度急剧升高,加速绝缘材料的老化和损坏,降低变压器的使用寿命。同时,过热还可能导致变压器油中的气体溶解量增加,形成气泡并影响油的绝缘性能。在严重的情况下,过热甚至可能引发变压器爆炸等严重后果。

1.1.4 放电故障

放电故障是指变压器内部或外部出现放电现象,这种放电可能是局部放电、电弧放电或火花放电等形式。放电故障通常由于变压器内部存在绝缘缺陷、金属异物或外部过电压等原因引起。放电会导致绝缘材料的破坏和性能下降,同时产生大量的热量和电磁波,对变压器的稳定运行构成威胁^[2]。在严重的情况下,放电故障可能引发变压器内部的短路或爆炸等严重事故。因此,对放电故障的及时发现和处理是保障变压器安全运行的重要环节。

1.2 故障原因深入分析

为了进一步探究变压器故障的根本原因,需要从设计制造、运行维护以及外部环境等多个维度进行深入剖析。

1.2.1 设计制造缺陷

设计制造缺陷是变压器故障的一个重要源头。在设计阶段,若对变压器的电气性能、热性能、机械强度等方面的考虑不周全,或未严格按照相关标准和规范进行设计,就可能导致变压器在运行中出现各种问题。例如,绕组设计不合理可能导致电流分布不均,局部过热;绝缘结构设计不当则可能降低绝缘性能,增加放电风险。在制造过程中,若材料选择不当、加工工艺粗糙或质量控制不严格,也会留下安全隐患。如使用劣质绝缘材料会导致绝缘老化加速;绕组匝间绝缘处理不当则可能引发匝间短路。

1.2.2 运行维护不当

运行维护不当也是导致变压器故障的一个重要原因。变压器在运行过程中需要定期进行维护和检修,以确保其各项性能指标符合规定。然而,在实际操作中,往往存在维护不及时、检修不彻底或操作不当等问题。例如,未定期对变压器进行油位、油温、绕组温度等参数的监测,就无法及时发现潜在故障;在检修过程中未能彻底清除绕组上的灰尘和污垢,就可能影响散热

效果,导致过热故障;在操作过程中若误操作或违规操作,如过电压、过电流等,也可能对变压器造成损害。

1.2.3 外部环境因素

外部环境因素对变压器的运行安全同样具有重要影响。变压器通常安装在户外或工业环境中,长期受到风雨、雷电、高温、潮湿等自然环境的侵蚀,这些因素可能导致变压器外壳腐蚀、绝缘材料老化、绕组受潮等问题。特别是雷电冲击,若变压器防雷措施不到位,就可能引发雷击事故,导致变压器损坏。此外,工业环境中的污染、腐蚀性气体等也可能对变压器的运行造成不利影响^[3]。例如,空气中的尘埃和污染物可能附着在变压器表面或进入内部,影响散热和绝缘性能;腐蚀性气体则可能腐蚀变压器外壳和内部金属部件,降低其使用寿命。

2 电气试验在变压器故障分析中的应用

2.1 绝缘电阻试验的应用

绝缘电阻试验是评估变压器绝缘性能的基础性试验,其重要性不言而喻。该试验通过施加直流电压于变压器的绕组与地之间或绕组相互之间,测量其绝缘电阻值,以判断绝缘材料是否存在老化、受潮或破损等缺陷。绝缘电阻的大小直接反映了绝缘材料的导电性能,是评估变压器绝缘状态的重要指标。在进行绝缘电阻试验时,需严格控制测试条件,如温度、湿度等,以确保测试结果的准确性。以某型号变压器为例,其在25℃下的绝缘电阻测试值为1500MΩ,而标准值要求不低于1000MΩ。通过对比测试值与标准值,可以判断该变压器的绝缘性能良好,符合运行要求。然而,若绝缘电阻值明显低于标准值,如降至500MΩ以下,则可能意味着绝缘材料存在严重老化或受潮现象,需立即进行进一步检查和处理^[4]。如表1所示,列出了该变压器在不同温度下的绝缘电阻测试值,以及与标准值的对比情况。通过数据分析,可以更加直观地了解绝缘电阻随温度的变化趋势,以及绝缘状态的稳定性。

2.2 变压器比率与接线组别试验的应用

变压器比率与接线组别试验是确保变压器正常运行和电力系统稳定性的关键试验。比率试验通过测量变压器的变比,即输入电压与输出电压之间的比例关系,来验证其是否符合设计要求。接线组别试验则通过检查变压器的接线方式,确保其符合规定的接线组别,以避免因接线错误导致的电气故障。以某变压器为例,其设计变比为10/0.4kV,接线组别为Y/Y0-12。在进行比率试验时,测试值显示变比为10.02/0.402kV,与设计值基本一致,误差在允许范围内。接线组别试验也确认该变压器的接线方式正确无误。然而,若测试值与设计值存在较大偏差,或接线组别不符合要求,则可能意味着变压器存在设计或制造缺陷,需进行进一步检查和修复。如表1所示,列出了该变压器的变比测试数据和接线组别信息,以及与设计值的对比情况。通过数据分析,可以更加准确地判断变压器的电气性能和接线方式的正确性。

2.3 介质损耗与电容测试的应用

介质损耗与电容测试是评估变压器绝缘材料性能和绕组结

构完整性的重要手段。介质损耗测试通过测量绝缘材料在交流电压下的功率损耗,来反映其绝缘性能的好坏。电容测试则通过测量变压器绕组的电容值,来检测是否存在绕组变形、短路或断路等故障。以某变压器为例,在50Hz的交流电压下,其介质损耗角为0.2%,远低于标准值0.5%,表明绝缘材料性能良好。同时,电容测试显示绕组电容值为1200pF,与理论值相符,说明绕组结构完整无损坏。然而,若介质损耗过大或电容值异常,则可能意味着绝缘材料存在老化、受潮或绕组结构存在问题,需进行进一步检查和修复。如表1所示,列出了该变压器在不同频率下的介质损耗角和电容测试值,以及与标准值和理论值的对比情况。

表1 变压器电气试验数据表

试验项目	测试条件	测试值	标准值/范围	理论值/设计值	备注
绝缘电阻(MΩ)	25℃	1500	≥1000	-	合格
	40℃	1000	≥700	-	合格
变比(高压/低压)	额定电压下	10.02/0.402	10/0.4±0.5%	10/0.4	合格
接线组别	-	Y/Y0-12	Y/Y0-12	Y/Y0-12	正确
介质损耗角(%)	50Hz	0.2	≤0.5	-	合格
	100Hz	0.3	≤0.7	-	合格
电容(pF)	1kHz	1200	1100-1300	1200	合格
短路阻抗(%)	额定电流下	4.5	4.0-5.0	-	合格
负载损耗(W)	额定负载下	1200	≤1300	-	合格

2.4 短路阻抗与负载损耗试验的应用

短路阻抗与负载损耗试验是评估变压器电气性能和能效的

重要指标。短路阻抗试验通过测量变压器在短路状态下的阻抗值,来评估其电气性能和机械强度。负载损耗试验则通过测量变压器在额定负载下的功率损耗,来判断其能效和散热性能。以某变压器为例,其短路阻抗测试值为4.5%,符合标准范围4.0%-5.0%,表明变压器具有良好的电气性能和机械强度。负载损耗测试显示,在额定负载下,该变压器的功率损耗为1200W,低于标准值1300W,说明其能效较高,散热性能良好。然而,若短路阻抗值偏离标准范围或负载损耗过大,则可能意味着变压器存在电气性能问题或能效低下,需进行进一步优化或更换。

3 结束语

电气试验在变压器故障分析中发挥着重要作用。通过定期进行绝缘电阻试验、变压器比率与接线组别试验、介质损耗与电容测试以及短路阻抗与负载损耗试验,可以及时发现并定位变压器的故障,为维修和更换提供科学依据。因此,应加强对电气试验的重视和应用,确保变压器的稳定运行和电力系统的安全可靠性。

[参考文献]

- [1]李娟娟.简析电气试验在变压器故障分析中的应用[J].中国科技期刊数据库工业A,2023(4):4.
- [2]黄柯予.变压器绕组介损试验数据分析系统的设计与实现[D].电子科技大学,2021.
- [3]邢春琛,薛文杰.电气试验技术在变压器故障分析中的应用[J].集成电路应用,2023,40(9):206-207.
- [4]陈韵竹.电气试验在变压器故障检测中的应用研究[J].2024(6):31-33.

作者简介:

杨彬(1984-),男,汉族,河北廊坊人,硕士研究生,高级工程师,研究方向:高压电气设备试验,带电测试。