

电力变压器高压试验和故障分析

李松峰 代蒙 丛洋铭 刘斌

特变电工沈阳变压器集团有限公司, 辽宁 沈阳 110000

[摘要] 目前, 我国电力变压器高压试验和故障分析领域正处于快速发展的阶段。随着电力系统的不断扩大和升级, 电力变压器的安全性和可靠性日益受到关注。同时, 国内企业也在积极引进和研发先进的高压试验设备和技术, 提高了测试的精度和效率。然而, 在实际应用中, 仍然存在一些问題, 如设备老化、操作人员技能不足等, 这些问題可能会影响高压试验的准确性和可靠性。在故障分析方面, 我国的电力变压器故障类型多样, 常见的包括绝缘击穿、绕组短路、接地故障等。针对这些故障, 国内已建立起一定的诊断和处理体系, 采用超声波检测、红外热像技术等先进手段进行故障诊断, 提高了故障定位和修复的效率。然而, 由于电力变压器的复杂性和工作环境的多变性, 故障分析仍然存在一定的挑战, 需要不断完善和提升技术水平。

[关键词] 电力变压器; 高压试验; 故障分析

DOI: 10.33142/ucp.v1i1.12926

中图分类号: TM41

文献标识码: A

High-voltage Testing and Fault Analysis of Power Transformers

LI Songfeng, DAI Meng, CONG Yangming, LIU Bin

TBEA Shenyang Transformer Group Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract: At present, the field of high-voltage testing and fault analysis for power transformers in China is in a rapid development stage. With the continuous expansion and upgrading of the power system, the safety and reliability of power transformers are receiving increasing attention. At the same time, domestic enterprises are actively introducing and developing advanced high-voltage testing equipment and technology to improve the accuracy and efficiency of testing. However, in practical applications, there are still some problems, such as equipment aging, insufficient operator skills, etc., which may affect the accuracy and reliability of high-voltage testing. In terms of fault analysis, there are various types of power transformer faults in China, including insulation breakdown, winding short circuit, grounding fault, etc. In response to these faults, a certain diagnostic and processing system has been established in China, using advanced methods such as ultrasonic testing and infrared thermal imaging technology for fault diagnosis, improving the efficiency of fault localization and repair. However, due to the complexity of power transformers and the variability of working environments, fault analysis still faces certain challenges and requires continuous improvement and enhancement of technical level.

Keywords: power transformer; high-voltage testing; fault analysis

引言

电力变压器是电力系统中至关重要的设备之一, 承担着电能传输、分配和变换的任务。然而, 在其长期运行过程中, 由于各种内外部因素的作用, 电力变压器可能会发生各种故障, 给电力系统的稳定运行带来威胁。因此, 对电力变压器进行高压试验和故障分析显得尤为迫切和重要。本文旨在系统地介绍电力变压器高压试验的原理、方法和标准, 并深入探讨常见故障的诊断与分析。首先, 将阐述高压试验的基本概念和意义, 探讨其在保证电力变压器性能和可靠性方面的重要性。其次, 将详细介绍高压试验的具体步骤、常用设备和注意事项, 以帮助读者全面理解高压试验的实施过程。最后, 将对未来电力变压器高压试验和故障分析的发展趋势进行展望, 以期提升电力系统的安全性和可靠性提供有益的参考和指导。通过本文的研究, 有望加深对电力变压器高压试验和故障分析的理解, 提高对电力系统安全稳定运行的保障能力, 为电力行业的

发展贡献力量。

1 电力变压器

1.1 变压器结构与工作原理

电力变压器是电力系统中一种重要的电气设备, 其结构和工作原理相对简单而又功能强大。它主要由铁芯和线圈组成, 其中铁芯通常采用硅钢片叠压而成, 以减小铁损和提高磁导率。变压器的线圈分为初级线圈和次级线圈, 它们分别连接着电源和负载。当交流电通过初级线圈时, 产生的磁场会感应次级线圈中的电压, 从而实现电压的变换。这种通过电磁感应原理实现电压变换的过程, 是变压器工作的基本原理。在变压器工作时, 需要注意到电能的传输过程中可能产生的一些损耗, 主要包括铁损和铜损。铁损是由于铁芯在交变磁场中的磁滞和涡流效应导致的损耗, 而铜损则是由于线圈中的电流通过导线时产生的电阻损耗。为了降低这些损耗, 通常会采用优质的材料制造变压器, 并且对其进行合理设计和绝缘。

1.2 电力变压器分类

电力变压器根据其用途、结构和工作原理的不同,可以分为多种分类。按用途来说,主要有功率变压器、配电变压器和特殊用途变压器等。功率变压器主要用于电能传输和配电系统中的电压变换,配电变压器则用于将高压电网中的电能降压为适合用户使用的低压电能,而特殊用途变压器则根据具体需求设计,如电焊变压器、起动变压器等。按结构来分类,主要有油浸式变压器和干式变压器。油浸式变压器是最常见的一种,其线圈和铁芯被浸泡在绝缘油中,具有良好的冷却和绝缘性能;而干式变压器则线圈和铁芯直接暴露在空气中,通常用于一些对环境要求严格的场合^[1]。按工作原理来说,主要有普通变压器和自耦变压器。普通变压器是指变压器的初级线圈和次级线圈是相互绝缘的,电压变换通过电磁感应实现;而自耦变压器则是初级线圈和次级线圈有部分共用匝数,电压变换通过匝数比来实现。自耦变压器具有体积小、重量轻等优点,在某些特殊场合得到广泛应用。

2 电力变压器高压试验

2.1 高压试验过程

电力变压器的高压试验是确保其安全可靠运行的重要环节之一。高压试验是在特定的电压条件下对变压器进行检测,以验证其绝缘系统的耐压性能。高压试验通常在制造过程中和安装前进行,以确保变压器在实际运行中能够承受系统额定电压下的工作环境。高压试验的过程通常包括以下几个步骤:首先,将变压器的各项参数和规格确认完毕,包括额定电压、额定容量、绝缘等级等。然后,在测试设备的控制下,将高压电源连接到变压器的绝缘部分,逐渐升高电压直至达到预定的测试电压。在此过程中,监测变压器的电流、绝缘电阻等参数,以确保测试的稳定性和准确性。在达到测试电压后,需要保持一段时间以稳定测试条件,并观察变压器是否出现异常现象,如放电、击穿等。如果测试过程中发现异常,需要立即停止测试并进行相应的检查和处理。如果测试顺利完成且符合标准要求,便可确认变压器的绝缘系统具有足够的耐压性能。

2.2 高压试验的意义

电力变压器的高压试验是确保其安全可靠运行的必要步骤之一。通过高压试验,可以验证变压器的绝缘系统在额定电压及其以上的条件下的耐压性能,确保其在实际运行中不会发生绝缘击穿或放电等故障。高压试验的意义主要体现在以下几个方面:首先,高压试验可以发现潜在的绝缘缺陷。在测试过程中,施加高电压会加剧绝缘系统的电场强度,有助于发现绝缘材料中的气泡、异物、裂纹等缺陷,以及线圈之间或线圈与铁芯之间的绝缘问题。其次,高压试验可以评估绝缘系统的质量。通过高压试验,可以检验变压器绝缘系统的绝缘强度和绝缘电阻等参数,评估其质量是否符合标准要求,以保证变压器在实际运行

中具有好的绝缘性能。此外,高压试验还可以验证变压器的设计和制造质量。通过高压试验,可以验证变压器的设计和制造工艺是否合理、可靠,以及是否符合相关标准和规范的要求,从而提高变压器的生产质量和产品可靠性。

2.3 高压试验标准

电力变压器的高压试验标准是确保变压器绝缘系统安全可靠运行的重要依据。高压试验标准通常由国家或国际标准化组织制定,其目的是规范变压器高压试验的程序、条件和要求,以确保测试的准确性和可靠性。高压试验标准通常包括以下几个方面的内容:首先,标准会规定高压试验的电压等级和持续时间。电压等级是指施加在变压器绝缘系统上的测试电压,通常为额定电压的1.5倍或2倍以上。持续时间则是指高压试验应该持续的时间,通常为几分钟至数十分钟不等。其次,标准会规定高压试验的测试设备和方法^[2]。这包括高压试验设备的选用和校准要求,以及测试过程中的操作规程和监测方法等。标准还会要求测试设备具有足够的精度和稳定性,以确保测试结果的准确性和可靠性。另外,标准还会规定高压试验的测试条件和要求。这包括测试环境的温度、湿度等条件,以及测试前的准备工作、测试时的监测要求和测试后的数据处理等内容。标准还会规定高压试验的合格标准和不合格判据,以确定测试结果是否符合要求。

3 电力变压器故障分析

3.1 故障类型分类

3.1.1 外部故障

电力变压器的故障可以根据故障的性质和来源进行分类,其中外部故障是一类常见的故障类型。外部故障指的是由外部因素引起的变压器故障,这些因素可能包括环境条件、操作失误以及外部短路等。首先,环境条件是外部故障的重要因素之一。例如,恶劣的环境条件,如高温、潮湿、多尘等,可能导致绝缘材料老化、绝缘子表面污染、绝缘油性能下降等问题,从而削弱了变压器的绝缘性能,增加了绝缘击穿的风险。其次,操作失误也是外部故障的常见原因之一。在变压器的维护、检修或操作过程中,操作人员的错误操作、程序失误或忽略安全规程可能会导致绝缘部件损坏、电气连接松动或绝缘击穿等问题,引发了变压器的故障。此外,外部短路也可能导致变压器的外部故障。外部短路可能由电力系统中其他设备的故障或外部因素引起,例如雷击、动物触碰、树木倒伏等。这些外部短路会给变压器的绝缘系统带来冲击或损坏,从而引发故障。

3.1.2 内部故障

内部故障的类型多种多样,其中包括以下几种:首先,绝缘故障是内部故障的常见类型之一。绝缘故障可能是由于绝缘材料的老化、破损或不良品质导致的,也可能是由于绝缘子、绕组等部件的结构设计不合理或制造过程中的缺陷引起的。绝缘故障可能导致绝缘击穿、局部放电等问

题,严重影响变压器的安全运行。其次,机械故障也是内部故障的常见类型之一。机械故障可能是由于变压器内部机械部件的磨损、松动或故障引起的,例如绕组间的短路、铁芯的变形等。这些机械故障可能导致变压器的电气性能下降、机械结构失稳,甚至引发严重的事故。

此外,温度故障也是内部故障的重要类型之一。变压器在运行过程中会受到温度的影响,过高或过低的温度都可能导致变压器内部部件的热胀冷缩、绝缘材料的老化等问题,从而引发故障。

3.2 故障检测方法

3.2.1 视觉检查

视觉检查是电力变压器故障检测的重要方法之一,通过肉眼观察和检查变压器外部和内部的情况,以发现可能存在的故障迹象或异常现象。在视觉检查过程中,首先需要对变压器外部进行全面的检查。这包括检查变压器的外观是否完整,外壳是否有明显的损坏或变形,有无漏油、渗油现象,以及各种接线、接头和绝缘子等部件是否存在松动、腐蚀或损坏等情况。同时,还需要注意观察变压器周围的环境条件,如是否有潮湿、高温等影响变压器安全运行的因素。其次,视觉检查还需要对变压器内部进行检查^[3]。这包括检查绝缘油的颜色和透明度,检查绝缘子、绕组、铁芯等内部部件是否存在腐蚀、裂纹、烧损等情况。同时,还需要检查各种连接线路和接线端子是否松动或腐蚀,以及变压器内部是否存在异物或污染物等。

3.2.2 检测设备

在电力变压器的故障分析中,使用各种检测设备是一种关键的方法,能够帮助工程师们更准确地检测和诊断变压器的故障情况。这些检测设备包括绝缘电阻测试仪、局部放电检测仪、红外热像仪、高频分析仪等。绝缘电阻测试仪是一种常用的检测设备,用于测量变压器绝缘系统的电阻值。通过测量不同部位的绝缘电阻值,可以评估绝缘系统的健康状况,及时发现绝缘老化、损坏或潮湿等问题。局部放电检测仪是用于检测变压器绝缘系统中可能存在的局部放电现象的设备。局部放电是变压器绝缘系统中常见的故障现象之一,如果不及时检测和处理,可能会导致绝缘击穿等严重后果。红外热像仪是一种用于检测变压器运行中可能存在的过热问题的设备。通过红外热像仪可以检测变压器不同部位的温度分布情况,及时发现变压器绕组、连接器等部件的过热现象,预防可能的故障发生。高频分析仪是用于检测变压器绝缘系统中可能存在的局部放电、闪络等问题的设备。它能够对变压器绝缘系统进行高频谱分析,识别和定位可能存在的故障源,为后续的维修提供重要参考。

3.2.3 特殊检测技术

在电力变压器的故障检测中,特殊检测技术扮演着至关重要的角色。这些特殊检测技术包括超声波检测、气体

分析、振动分析等,它们能够帮助工程师们更全面、准确地了解变压器的健康状况,及时发现潜在的故障问题。超声波检测是一种常用的特殊检测技术,通过检测变压器内部的超声波信号,可以识别和定位可能存在的绝缘缺陷、电弧放电等问题。超声波检测具有灵敏度高、定位精准等优点,能够帮助工程师们发现一些常规检测方法无法发现的故障现象。气体分析是另一种重要的特殊检测技术,通过对变压器绝缘油中溶解气体的成分和浓度进行分析,可以评估变压器的绝缘状态和油质情况,发现潜在的故障迹象。气体分析常用于检测变压器内部局部放电、绝缘击穿等问题。振动分析是一种通过检测变压器振动信号来评估其机械状态和运行稳定性的技术。通过对变压器不同部位的振动特征进行分析,可以发现机械部件的松动、磨损、不平衡等问题,预测可能的故障发生。

4 电力变压器故障预防与维护

4.1 预防措施

电力变压器的预防措施是确保其安全可靠运行的重要环节,有效的预防措施可以降低故障发生的可能性,延长变压器的使用寿命,提高电力系统的稳定性和可靠性。在实践中,有一些关键的预防措施可以被采取:首先,正确的设备选型与安装是预防措施的基础。在选择电力变压器时,应根据电力系统的实际需求和环境条件进行综合考虑,选择符合要求的变压器型号和规格。此外,在安装过程中,应严格按照厂家提供的安装指南进行操作,确保变压器的安装位置、接地、通风等方面符合要求,避免因安装不当而导致的故障。其次,运行监测与管理是预防措施的重要组成部分。通过实施定期的运行监测和维护管理,可以及时发现并排除潜在的故障隐患,保障变压器的安全稳定运行^[4]。监测内容包括变压器的温度、振动、油质等参数,以及绝缘电阻、局部放电等测试结果,通过分析这些数据可以评估变压器的运行状态,预测可能出现的故障,采取相应的措施加以防范。

4.2 定期维护建议

首先,定期进行绝缘油的检测与更换。绝缘油是变压器绝缘系统的重要组成部分,其性能直接影响着变压器的绝缘状态。定期对绝缘油进行检测分析,包括测量油质的电学指标、含水量、溶解气体浓度等,可以及时发现油质的变化和异常情况,确定是否需要更换绝缘油,保持变压器的良好绝缘状态。其次,定期进行绝缘电阻测试。绝缘电阻是评估变压器绝缘状态的重要指标,定期测试绝缘电阻值可以发现绝缘系统的老化、潮湿等问题,预防绝缘击穿故障的发生。建议定期进行绝缘电阻测试,保持绝缘电阻在正常范围内。此外,定期清洁变压器表面和周围环境。变压器表面的积尘、杂物等可能会影响散热效果,导致变压器过热,加速绝缘老化,甚至引发故障。定期清洁变压器表面和周围环境,保持通风良好,有助于延长变

器的使用寿命。

5 结语

电力变压器作为电力系统中不可或缺的核心设备,其安全可靠运行对于电力系统的稳定性至关重要。高压试验和故障分析作为保障电力变压器正常运行的关键手段,已经在我国取得了一定的进展。通过本文的讨论,我们深入了解了高压试验的原理和方法,以及故障分析的技术手段和应对策略。然而,我们也意识到在实践中仍然存在一些挑战,如设备老化、操作技能不足等问题,这些都需要我们进一步努力和改进。因此,我们需要加强标准化建设,推动技术创新,提升人才培养水平,以应对未来电力系统的发展和变革。在未来的工作中,我们将继续致力于提高电力变压器高压试验和故障分析的技术水平,不断完善相关标准和规范,加强与国际接轨,为我国电力系统的安全稳定运行做出更大的贡献。相信在各方的共同努力下,我国电力变压器高压试验和

故障分析领域将迎来更加光明的未来。

【参考文献】

- [1] 罗恒, 李晓梅, 孔继蕾, 等. 电力变压器高压试验技术及故障处理方法研究 [J]. 云南电力技术, 2023, 51(5): 43-45.
- [2] 柯锦新. 电力变压器高压试验及其结果缺陷故障分析 [J]. 电气开关, 2023, 61(4): 79-82.
- [3] 全宏莲. 电力变压器高压试验和故障处理分析 [J]. 光源与照明, 2023(5): 162-164.
- [4] 刘革. 电力变压器高压试验的故障处理分析 [J]. 电子元器件与信息技术, 2022, 6(9): 226-229.

作者简介: 李松峰 (1988. 4—), 男, 毕业院校: 浙江大学; 所学专业: 机械工程及自动化, 当前就职单位: 特变电工沈阳变压器集团有限公司, 职务: 设计部部长助理, 职称级别: 中级。