

变压器套管故障分析与预防对策

李钰明 孟宪久

沈阳和新套管有限公司 辽宁 沈阳 110000

摘要: 变压器套管作为变压器系统的关键组件,其性能直接影响变压器的安全运行。本文深入分析了变压器套管的主要故障类型,包括绕组绝缘故障、引线绝缘故障、铁芯绝缘故障及套管闪络和爆炸等,并探讨了故障产生的根源。在此基础上,提出了加强套管质量检验、改善散热条件、加强防潮措施、加强铁芯绝缘监测及提高分接开关维护质量等预防对策,旨在为变压器套管故障的预防提供科学依据和技术支持,确保电力系统的稳定运行。

关键词: 变压器套管;故障分析;预防对策

引言

变压器套管作为变压器的重要绝缘部件,承担着将高、低压引线安全引至油箱外部的重任。其性能的优劣直接关系到变压器的运行安全。近年来,随着电力系统负荷的不断增加,变压器套管故障频发,给电力系统的稳定运行带来了严重威胁。因此,深入分析变压器套管故障类型及原因,提出有效的预防对策,对于保障电力系统的安全稳定具有重要意义。

1 变压器套管概述

变压器套管作为变压器系统的重要组成部分,扮演着将变压器内部的高、低压引线安全引至油箱外部的绝缘关键角色。该装置结构精密,主要由导电杆、绝缘体以及金属附件三大核心部件构成。导电杆作为电流传输的媒介,其材质与设计需确保电流传输的高效与安全。绝缘部分则采用多种高性能材料,如高强度瓷质、可靠的油纸绝缘或先进的复合绝缘材料,这些材料的选择旨在承受高电压环境,同时保持卓越的绝缘性能,有效隔离不同电位,防止电流泄漏或短路现象的发生。金属附件在变压器套管中同样不可或缺,它们不仅提供必要的机械支撑,确保套管结构的稳固性,还承担着密封套管与变压器油箱连接处的重任,防止外部湿气、杂质等侵入,保障变压器内部环境的清洁与干燥。依据电压等级与结构特征的不同,变压器套管被细分为多种类型,如油纸电容式套管、胶纸电容式套管以及纯瓷套管等。这些不同类型的套管在绝缘性能、机械强度以及适用场景上各具特色。如油纸电容式套管以其出色的绝缘性能和良好的散热能力,在高电压等级变压器中得到广泛应用;而纯瓷套管则以其结构简单、维护方便的特点,在中低压领域占据一席之地。

2 变压器套管故障类型及原因分析

2.1 绕组绝缘故障

绕组绝缘是变压器套管的核心绝缘部分,其故障对变压器运行安全影响巨大。绕组主绝缘和匝间绝缘故障较为常见。长期处于过负荷运行状态下,绕组电流增大,产生过多热量,加速绝缘材料老化。若散热条件不佳,如冷却系统故障、通风不良等,会使绕组温度持续升高,加剧绝缘老化进程,导致绝缘脆裂,抗电强度明显降低。变压器在运行过程中多次遭受短路冲击,强大的电动力会使绕组发生变形。绕组变形后,绝缘结构受到破坏,出现绝缘层位移、破损等情况,形成隐藏的绝缘缺陷。当电压波动时,这些薄弱部位难以承受电压变化带来的电场应力,容易发生绝缘击穿。变压器油作为绕组绝缘的重要组成部分,若油中进水,水分会降低变压器油的绝缘性能,使绝缘强度大幅下降。在额定电压作用下,绝缘被击穿,引发绕组绝缘故障。水分还与变压器油中的某些成分发生化学反应,生成酸性物质,腐蚀绝缘材料,恶化绝缘状况。

2.2 引线绝缘故障

(1) 变压器引线借助套管内腔与外部电路相连接,其绝缘性能极大程度取决于套管状况。若套管上端帽罩的密封存在瑕疵,密封性欠佳,外界的水分就会轻易渗入,使得引线主绝缘受潮。受潮后的绝缘材料内部结构发生变化,电阻急剧下降,在电场的作用下,电流传导特性改变,电击穿的可能性明显增大。(2) 变压器严重缺油是导致引线绝缘故障的另一重要因素。当出现严重缺油的情况时,油箱内的引线会暴露在空气中。空气中的杂质和水分会附着在引线周围,降低其绝缘强度,容易引发内部闪络。闪络瞬间产生的高温和电弧,具有很强的破坏力,会直接损坏引线绝缘。(3) 引线绝缘如果发生故障,会影响变压器局部的正常工作,严重时还可能引发连锁反应,致使整个变压器系统出现故障,威胁电力传输的稳定性和可靠性。因此对引线绝缘故障的预

防和监测工作极为关键,须给予足够的重视^[1]。

2.3 铁芯绝缘故障

变压器套管故障中,铁芯绝缘故障是一个重要的类型。变压器铁芯由多层硅钢片叠装构成,硅钢片间通过绝缘漆膜进行隔离,旨在降低涡流损耗。然而,在制造、安装或长期的运行过程中,绝缘漆膜会遭受损伤。这些损伤可能源于机械应力、过热导致的老化等多种因素,它们共同作用下使得硅钢片间的绝缘性能显著下降。如果绝缘漆膜受损,硅钢片间出现短路,涡流随之增大,导致局部过热现象的产生。夹紧铁芯的部件,如穿芯螺丝和压铁,如果这些部件的绝缘性能受损,同样引发铁芯的局部短路,形成较大的环流,加剧过热问题。更为严重的是,变压器内部可能残留铁屑、焊渣等金属杂质。这些杂质在电磁力的作用下,导致铁芯出现多点接地的情况。多点接地会严重干扰铁芯正常的磁路结构,使得局部涡流损耗剧增,铁芯局部过热,若长时间得不到处理,甚至可能引发铁芯的烧毁事故。因此对变压器铁芯绝缘状态的监测与维护显得尤为重要^[2]。

2.4 套管闪络和爆炸

(1)套管的材质与制造缺陷是引发故障的重要因素。电容套管在高压侧应用广泛,若其瓷质材料质量不过关,存在沙眼、裂纹等瑕疵,会使套管绝缘性能大打折扣。在高电压持续作用下,这些缺陷部位电场容易发生畸变,引发局部放电现象。随着局部放电的不断发展,最终可能演变为闪络,对设备造成损害。(2)电容芯子的制造质量同样不容忽视。若电容芯子在制造过程中存在电容分布不均匀、内部存在气泡等问题,会打破电场原本的均匀分布,导致电场集中在某些区域。在高电压环境下,电场集中处极易发生游离放电,这种剧烈的放电现象能量巨大,很容易引发闪络甚至爆炸事故,严重威胁变压器的安全运行。(3)套管的运行环境与维护情况也会影响其性能。套管密封不良时,水分和杂质会侵入内部,使绝缘性能下降。而且长期运行后,套管表面会积聚污垢,在潮湿环境下,污垢会形成导电通路,大幅降低套管的沿面闪络电压,增加闪络风险。如果闪络发生,若未能及时控制,就会引发爆炸,造成严重的电力事故。

3 变压器套管故障预防对策

3.1 加强套管质量检验

(1)在变压器套管的采购环节,应高度重视生产厂家的信誉与质量保证。选择那些经过长期市场验证,具有良好口碑的供应商,是确保套管质量的第一步。采购过程中,应对套管进行详尽而严格的质量检验。(2)

质量检验应涵盖多个方面。外观上,需仔细检查套管瓷质表面,确保其光滑无瑕疵,无沙眼、裂纹等影响绝缘性能的缺陷。电气性能方面,应进行全面的电气性能测试,包括测量套管的电阻、电容等参数,以评估其电气特性是否符合设计要求。此外需对电容芯子进行局部放电测试,确保无内部游离放电现象,这是判断套管绝缘性能是否良好的关键指标。(3)密封性能的检测同样不可忽视。应采用密封试验对套管进行检测,确保其具有良好的密封性,能防止油渗漏,保障变压器内部环境的稳定。只有当套管在各项性能指标上均满足使用要求时,才能被允许投入安装使用。这一环节的把关,对于预防变压器套管故障,确保变压器长期稳定运行具有重要意义^[3]。

3.2 改善散热条件

优化通风系统是改善散热的基础。设计通风系统时,应充分考虑变压器的结构与运行环境,扩大通风口面积,让更多冷空气能够进入,带走热量。科学规划通风管道布局,确保空气能够在变压器内部均匀流动,避免出现通风死角,实现全方位、高效的通风散热,为变压器营造良好的散热环境。选用高效冷却设备能显著提升散热效率。强迫油循环风冷和强迫油循环水冷是常见的高效冷却方式。强迫油循环风冷通过油泵使变压器油循环流动,将热量带出,再利用风扇冷却热油;强迫油循环水冷则是利用水作为冷却介质,冷却效果更优。根据变压器的容量、负荷等实际情况,合理选择冷却设备,严格将变压器油温控制在安全范围内,可有效延缓绕组绝缘老化。定期清灰也是必不可少的散热维护工作。灰尘在散热器表面和风扇叶片大量积聚,会形成隔热层,阻碍热量传递,降低冷却效率。应定期采用压缩空气吹扫,利用高速气流吹走灰尘,或者使用吸尘器进行深度清理,保持散热部件洁净,让热量能够顺利散发出去,确保变压器始终处于良好的散热状态。

3.3 加强防潮措施

(1)防潮工作是预防变压器套管引线绝缘故障和闪络爆炸的重中之重。在套管安装及大修作业中,必须严格遵守安装工艺规范,确保套管顶部与穿缆引线处的密封处理得当,无一丝疏漏。选用密封材料时,应优先考虑那些质量上乘、耐老化性能强、耐油性优良的胶垫和密封环,以构建稳固可靠的防潮屏障。安装过程中,紧固螺栓的施加力度需均匀适中,防止因紧固不均而导致密封处产生微小缝隙,为水分渗入变压器内部提供可乘之机。(2)定期清扫套管表面,是保持其清洁度、降低沿面闪络电压的有效手段。特别是在污秽积累较为严重

的区域,应适当增加清扫频次,采用带电水冲洗、绝缘清洗剂擦拭等专业方法,彻底清除套管表面的污垢与灰尘,确保其表面光洁如新,有效抵御潮湿环境下可能引发的闪络风险。(3)上述防潮措施的综合运用,可以提升变压器套管的防潮性能,降低因水分侵入而引发的故障概率,为变压器的长期稳定运行提供有力保障。定期对套管进行清扫,清除表面的污垢和灰尘。特别是在污秽严重的地区,增加清扫次数,可采用带电水冲洗、绝缘清洗剂擦拭等方法,保持套管表面清洁,降低沿面闪络电压。

3.4 加强铁芯绝缘监测

建立科学合理的定期监测制度是首要任务。运用专业的检测设备,对变压器铁芯开展全面绝缘测试。精确测量铁芯接地电流,接地电流异常增大往往暗示着绝缘存在问题;细致检测绝缘电阻,其数值变化能直观反映绝缘性能的优劣。凭借这些关键参数的测量,能够敏锐察觉绝缘漆膜是否破损以及是否存在多点接地等隐患。如果检测到异常数据,须迅速启动分析与处理流程。针对绝缘漆膜破损,可采用先进的修复工艺,恢复其绝缘性能;对于多点接地故障,精准排查确定接地点,运用专业手段予以消除,确保铁芯处于正常的绝缘状态;不能忽视对夹紧铁芯部件的绝缘维护。在安装穿芯螺丝、压铁等部件时,务必仔细检查绝缘套、绝缘垫的完整性,保证其绝缘性能良好。日常运行中,定期对这些部件的绝缘性能进行复查,及时发现潜在问题。还可选用优质绝缘涂料,对相关部件进行涂刷,增强其绝缘能力,有效防范因绝缘破损而引发的铁芯过热现象,全方位保障变压器铁芯的安全稳定运行^[4]。

3.5 提高分接开关维护质量

(1)我们必须加强对分接开关的维护管理,这包括制定一套详尽且切实可行的维护计划以及操作规程。这些规程应明确维护的周期、内容以及所需采取的措施,以确保分接开关能够得到及时且有效的维护。(2)针对

无载分接开关,我们应定期检查其触头的接触情况。通过专业的测量工具,我们可以准确地获取触头的接触电阻值,从而判断其接触状态。如果发现弹簧压力不足或滚轮压力分布不均的情况,我们应迅速进行调整,以确保触头能够保持良好的接触。为了降低接触电阻,我们还需要对触头表面进行定期的清洁和打磨,以去除可能存在的氧化层和污垢。(3)对于有载分接开关,我们同样需要给予足够的重视。定期检查油箱的油位是确保其正常运行的关键,油位的过低可能会导致切换过程中的电弧无法及时熄灭,引发短路故障。因此我们应确保油箱内的油位始终保持在正常范围内,并及时补充变压器油以防止缺油情况的发生;我们还要对切换装置进行定期的检修和维护,检查其机械部件的磨损情况以及电气控制部分的可靠性,并对易损件进行及时的更换,以确保切换装置能够始终保持良好的运行状态。

结束语

综上所述,变压器套管故障的预防是一项复杂而艰巨的任务。通过加强套管质量检验、改善散热条件、加强防潮措施、加强铁芯绝缘监测及提高分接开关维护质量等多方面的努力,我们可以有效降低变压器套管故障的发生率,提高电力系统的稳定性和可靠性。未来,随着技术的不断进步,我们还将继续探索更加高效的故障预防方法,为电力系统的安全运行保驾护航。

参考文献

- [1]王伟平.基于绝对法检测变压器套管在线监测技术研究与应用[J].电工电气,2021(10):144-145.
- [2]刘蕾,傅生麟,安泽峰.变压器套管故障分析与预防对策[J].数码设计(上),2021,10(4):105.
- [3]王韧,彭兆裕,邹德旭,等.变压器套管绝缘在线监测系统故障分析及预控[J].电工技术,2020(01):198-199.
- [4]周海洋,李辉,严璋.改进中性点测量法的变压器套管在线监测[J].高电压技术,2020(05):283-284.