

电力变压器结构特征和检验方法

肖颖

保定天威保变电气股份有限公司 河北 保定 071000

摘要: 电力变压器作为电力系统中的关键设备,其结构复杂且精密。结构上,主要由油箱、铁心、绕组及附件等组成,铁心由硅钢片叠成,绕组通常由铜线绕制,内外绝缘严密。检验方法多样,包括绕组电阻检测以评估导电性能,绝缘电阻和绝缘强度检测确保电气安全,空载与负载试验评估运行效率,以及油色谱分析等特殊检测手段发现潜在故障。这些检验方法共同保障变压器的稳定运行。

关键词: 电力变压器;结构特征;检验方法

引言:电力变压器在电力系统中是不可或缺的组件,其结构与检验方法直接关系到电网的安全、稳定运行。深入探究电力变压器的结构特征,不仅有助于理解其工作原理,还能为优化设计提供依据。同时,掌握有效的检验方法,能够及时发现并排除潜在故障,确保变压器长期、安全运行,对保障电力供应具有重要意义。

1 电力变压器在电力系统中的重要性

电力变压器作为电力系统中电压变换的关键设备,能够将发电厂发出的电压电能转换为适合长距离传输的电压等级,从而减少线路上损耗,提高输电效率。随着现代社会的发展,用电设备种类繁多,对电压等级和电能质量的要求也日益多样化。电力变压器通过提供不同电压等级的电能输出,满足了各种用电设备的用电需求,确保了电力供应的可靠性和稳定性。无论是工业生产中使用的各类电动设备设施,还是家庭生活中的小型电器设备,都离不开电力变压器的支持。在电力系统中,电网的稳定与安全运行至关重要。电力变压器通过调节电压和电流等参数,可以稳定电网的运行状态,限制电流和电压的波动和不平衡^[1]。当电网中出现故障或负载变化时,电力变压器能够迅速响应并调整输出参数,确保电网的稳定运行不受影响。最后,电力变压器在电力系统中的广泛应用,不仅提高了电能的传输效率和供应质量,还促进了经济与社会的发展。通过减少电能损耗和提高供电可靠性,电力变压器为各行各业的生产活动提供了有力的支持。

2 电力变压器的结构特征

2.1 铁芯结构

电力变压器的铁芯主要由高导磁率的硅钢片叠装而成,这些硅钢片通常具有极薄的厚度(如0.18到0.3毫米),以减少涡流损耗和磁滞损耗。硅钢片表面涂覆有一层绝缘漆,以确保片间电气绝缘,避免形成涡流回

路。铁芯柱是铁芯的主体部分,其上缠绕着变压器的绕组。绕组通过电磁感应原理在铁芯柱中产生交变磁通,实现电能的转换。铁芯柱的设计需考虑磁通分布的均匀性,以确保绕组能够高效、稳定地工作。铁轭位于铁芯柱之间,起连接和闭合磁路的作用。它使得磁通能够从一个铁芯柱传递到另一个铁芯柱,形成完整的磁回路。铁轭的设计需考虑其机械强度和导磁性能,以确保在变压器运行过程中能够稳定地支撑铁芯柱并传导磁通。在铁芯的叠装过程中,硅钢片通常采用交叠或卷绕的方式排列,以减少接缝处的空气隙,降低磁阻和损耗。同时,为了提高铁芯的导磁性能和减少损耗,现代电力变压器多采用冷轧晶粒取向硅钢片制作铁芯。这种硅钢片在轧制过程中使晶粒沿轧制方向排列,为了提高排列效率,采用激光刻痕,具有更高的导磁率和更低的单位损耗。

2.2 绕组结构

电力变压器的绕组通常由电磁线绕制而成,根据输入输出电压的关系,绕组被分为一次绕组和二次绕组(或称为初级绕组和次级绕组)。绕组结构的设计需考虑多种因素,包括电压等级、电流大小、绝缘要求、散热性能以及制造工艺等。层式绕组是指绕组的线匝沿其轴向依次排列连续绕制而成。这种结构在S8、S9系列低损耗电力变压器中较为常见。层式绕组具有工艺性好、便于绕制等优点,但层间油道散热效率可能受到一定限制。饼式绕组是指绕组的线匝沿其辐向连续绕制而成一饼(段),再由许多饼沿轴向排列组成。这种结构在110kV及以上高电压大型、特大型变压器中广泛应用。饼式绕组具有机械强度高、散热性能好等优点,但绕制技术要求较高。我国生产的电力变压器,基本上绕组都采用同心式结构。所谓同心绕组,就是在铁芯柱的任一横断面上,绕组都是以同一圆筒形线套在铁芯柱的外面。

这种结构有利于减小绕组间的漏感和互感,提高变压器的效率和稳定性。另外,绕组通常由绝缘纸包裹的铜线绕制而成,以确保绕组间的电气绝缘和防止电流泄漏。绝缘纸的选用需考虑其绝缘性能、耐热性能和机械强度等因素^[2]。最后,绕组的布局 and 连接方式对其电气特性和效率具有重要影响。合理的布局 and 连接设计可以降低电阻、电感和互感等损耗,并提高绕组的效能和稳定性。常见的绕组布局包括圈式布局、螺旋布局等。绕组之间的连接通常采用焊接、螺栓连接或冷压连接等方式,以确保连接的可靠性和稳定性。

2.3 油箱与冷却系统

油箱是电力变压器的外壳,通常由优质钢板焊接而成,具有足够的强度和密封性。油箱内部充满了变压器油,这种油不仅具有优异的绝缘性能,还能有效地冷却变压器,防止其过热。油箱的设计需考虑散热面积、油位监测、漏油防护等因素,以确保变压器的安全稳定运行。油箱上通常还装有各种附件,如储油柜(油枕)、呼吸器、温度计、瓦斯继电器等。储油柜用于调节和补偿变压器油因温度变化而产生的体积变化,防止油面过高或过低。呼吸器则用于过滤进入油箱的空气,保持油的清洁和干燥。温度计用于监测油箱内油的温度,以便及时发现异常情况。瓦斯继电器则是一种保护装置,用于在变压器内部发生严重故障时及时报警或切断电源。冷却系统是电力变压器中用于散发其运行过程中产生热量的重要装置。根据变压器容量、运行环境和使用要求的不同,冷却系统可采用不同的冷却方式,如自然油循环冷却、强迫油循环风冷、强迫油循环水冷等。自然油循环冷却方式适用于容量较小的变压器,通过油的自然对流和辐射散热来降低变压器温度。强迫油循环风冷方式则通过油泵和风扇的强制作用,加速油的循环和散热,提高冷却效率。强迫油循环水冷方式则更进一步,利用冷却水与油的热交换来实现更高效的散热。

2.4 保护与监测装置

电力变压器的保护与监测装置是集保护、监视、控制、通信等多种功能于一体的电力自动化产品。通过检测变压器两侧电流差,及时发现并切除变压器内部故障,如绕组匝间短路等,有效防止故障扩大。监测变压器两侧电流,当电流超过设定值时,自动断开断路器,保护变压器免受大电流冲击。这一功能分为多段定时限保护,可根据电流大小设置不同的保护动作时间。通过监测变压器中性点电流和零序电流,判断变压器是否存在接地故障,并及时采取保护措施,确保变压器及电网的安全运行。通过测温装置实时监测变压器油温或绕组

温度,当温度超过设定值时,自动断开断路器,防止变压器因过热而损坏。包括瓦斯保护、压力释放保护等,通过监测变压器内部气体变化、油位变化等非电量参数,及时发现并处理变压器内部故障,如绝缘击穿、绕组短路等。另外,保护与监测装置还具备强大的通信功能,能够与上位机系统、调度中心等实现数据交换,实现远程监控和故障诊断,提高变压器的运维效率^[3]。保护与监测装置通常采用模块化设计,便于安装、调试和维护。

3 电力变压器的检验方法

3.1 绕组电阻检测

绕组电阻检测的主要目的是检查变压器绕组的焊接质量、导线规格是否符合设计要求、分接开关及套管等载流部分的接触是否良好,以及是否存在匝间短路或多股导线断股等问题。选择伏安表或者电桥法电阻测试仪,其精确度应不低于0.1-0.2级。根据产品技术参数中绕组电阻的计算值,合理选择测试电流。确保变压器处于停电状态,且各绕组都应有明显断开点。按照测量仪器的说明书正确接线。对于带有分接的绕组,应在所有分接下测量其绕组电阻。对有载调压变压器,在测量过程中无需切断测量电路与被测产品的连接,只需重新启动仪器;对于无载调压变压器,在变换分接位置时必须切断电源,才能进行分解转换。对于干式变压器,由于运行状态下上端和下端温度差别较大,测量前需要静止3小时,取绕组(最好是内部)不少于三点温度的平均值;对于油浸式变压器,应在变压器静放后,油温度已经稳定后,可将油顶层温度作为绕组温度,对于大型变压器应取油平均温度作为绕组温度。合上仪器电源开关,选择合适的测量电流进行测量。等待绕组自感效应影响降至最小程度后,再读取数据,并记录绕组电阻值。对于测量结果,应进行必要的换算,以消除温度等因素的影响。根据测量结果,计算三相电阻的不平衡率,并与相关标准进行比较。不平衡率应符合GB/T6451(油变)、GB/T16274(油变)或GB/T10228(干变)等标准的规定。如果发现测量结果异常,应及时查找原因并处理。在测量过程中,应确保变压器周围无接地物,无作业人员,以保证测量安全。测量前应使变压器绕组和铁芯对地放电,测量后也应进行放电操作。对于有载调压变压器,应在电压比试验后进行绕组电阻测量。测量时应遵循仪器使用说明书中的安全操作规程,避免发生触电等事故。

3.2 绝缘电阻和绝缘强度检测

绝缘电阻检测主要通过绝缘电阻测试仪进行,该测试仪产生直流电压并测量绝缘材料中的泄漏电流,从而

计算出绝缘电阻值。在检测时,需根据变压器的电压等级选择合适的测试仪,并遵循严格的测试步骤,包括切断电源、放电、接线、测量及记录等,以确保测试结果的准确性。绝缘强度检测则通常通过耐压试验进行,包括工频耐压试验和冲击电压试验。这些试验能够模拟变压器在运行过程中可能遇到的过电压情况,以考核其绝缘结构的耐受能力。对于不同电压等级的变压器,耐压试验的标准和要求也有所不同。例如,对于220kV及以下的变压器,需进行1min工频耐压试验;而对于更高电压等级的变压器,还需进行冲击电压试验。在检测过程中,还需注意环境温度、湿度等因素对测试结果的影响,并采取相应措施进行修正。同时,对于新投入或大修后的变压器,应在充分静置并消除气泡后进行试验,以确保测试结果的准确性。

3.3 空载与负载试验

空载试验主要在变压器的一侧施加额定电压,而其余绕组开路,以此测量空载损耗和空载电流。这一试验主要验证变压器铁心的设计计算和工艺制造是否满足技术条件和标准要求,同时检查铁心是否存在局部过热、绝缘不良等缺陷。空载损耗主要由铁损构成,其大小在额定电压下与负载大小无关,但在电压偏离额定值时,由于铁芯磁感应的饱和特性,空载损耗和空载电流将发生显著变化。因此,空载试验应在额定电压下进行,以确保测量结果的准确性。负载试验则通过在变压器的一侧施加额定负载电流,测量负载损耗和短路阻抗。这一试验旨在确定变压器的负载损耗和短路阻抗是否满足标准和技术协议要求,并检查绕组内部是否存在缺陷。负载损耗包括绕组电阻损耗和漏磁场引起的附加损耗,而短路阻抗则反映了变压器在短路状态下的电流和电压特性^[4]。负载试验的结果对于评估变压器的运行效率和稳定性具有重要意义。在进行空载与负载试验时,需要遵循严格的试验要求和注意事项,如使用额定频率、正弦波形的试验电压,确保试验设备准确可靠,以及采取必要的安全措施等。通过这些试验,可以全面评估变压器的性能和

质量,为电力系统的安全稳定运行提供有力保障。

3.4 油色谱分析与其他特殊检测

油色谱分析主要通过检测变压器油中溶解气体的组分和含量,来评估变压器内部是否存在故障或异常情况。该方法基于不同故障类型会产生不同特征气体的原理,通过高精度的色谱仪对油样中的气体成分进行分析,如氢气(H_2)、甲烷(CH_4)、乙烷(C_2H_6)、乙烯(C_2H_4)、乙炔(C_2H_2)、一氧化碳(CO)和二氧化碳(CO_2)等。分析结果可以揭示变压器内部的过热、放电、受潮等故障信息,为故障定位和维修提供重要依据。除了油色谱分析外,电力变压器还可能需要进行其他特殊检测,如局部放电检测、红外热成像检测、绕组变形检测等。局部放电检测能够发现变压器内部的局部绝缘缺陷,绕组变形检测则通过测量绕组的频率响应特性来判断其是否发生变形,红外热成像检测则能够直观显示变压器表面的温度分布,帮助发现潜在的过热点。

结语

总之,电力变压器的结构特征与检验方法是确保其高效、安全运行的关键。通过深入理解其结构特征,能更好地掌握其工作原理与性能特点;而严格的检验方法则为我们提供了及时发现并处理潜在问题的有效手段。未来,随着技术的不断进步,电力变压器的设计与检验方法也将持续优化,为电力变压器质量可靠、电力行业的快速发展贡献力量。

参考文献

- [1]覃春燕.电力变压器结构特征和检验方法[J].工程技术:全文版,2019(1):235-235.
- [2]杨雷.浅谈电力变压器故障与故障诊断分析[J].江西建材,2020(17):185-186.
- [3]吴旭涛,李秀广,艾绍贵.油浸式变压器现场振荡型冲击耐压试验方法[J].宁夏电力,2020(2):1-6.
- [4]刘毅.电力变压器局部放电检测方法探讨[J].现代制造,2020(30):45-46.