

主变压器油色谱分析技术在故障诊断中的应用

王子慧 溥 马 辉

国网河南省电力公司浉池县供电公司 河南 三门峡 472000

摘 要: 本文综述了主变压器油色谱分析技术在故障诊断中的应用。首先分析了变压器的常见故障及其原因, 然后详细介绍了油色谱分析技术的原理、方法及在故障诊断中的具体应用。通过实例分析, 验证了油色谱分析技术在主变压器故障诊断中的有效性和可靠性。

关键词: 主变压器; 油色谱分析; 故障诊断; 气相色谱法

1 变压器常见故障及原因

1.1 常见故障

主变压器作为电力系统的“心脏”, 其运行状态至关重要。然而, 在长期的运行过程中, 主变压器可能会遭遇多种故障, 这些故障不仅会影响其性能, 缩短使用寿命, 还可能引发严重事故, 对电力系统的稳定运行构成威胁。主变压器常见故障包括导电回路过热故障。这种故障通常由于引线接触不良、线圈导线接头焊接质量差或过负荷运行等原因导致, 过热会使得导线电阻增加, 损耗加大, 严重时甚至可能烧毁导线, 引发火灾。绝缘水平下降也是主变压器常见的故障之一。绝缘系统的完好是变压器安全运行的关键, 但变压器进水受潮、油质劣化、绝缘材料老化等因素都可能导致绝缘水平下降。绝缘水平下降会使得局部放电增加, 进而可能引发绝缘击穿和短路故障, 对变压器造成严重的损害。产气故障则是变压器内部局部过热或放电的直观表现。当变压器内部存在局部过热或放电时, 会分解变压器油产生气体, 如氢气、甲烷、乙炔等。这些气体的产生和积累不仅会加剧故障, 还可能对变压器的安全运行构成严重威胁, 甚至导致变压器爆炸^[1]。此外, 调压开关故障也是主变压器常见的故障类型。调压开关用于调节变压器的输出电压, 但其主触头没有到位、触头接触不良或开关机构卡涩等问题都可能导致电压调节失灵, 影响电力系统的稳定运行。变压器绕组变形也是不可忽视的故障。绕组变形通常由于短路电流冲击、运输或安装过程中的机械碰撞等原因造成, 会导致变压器内部电场分布不均, 局部场强增大, 进而可能引发绝缘击穿和放电故障, 对变压器的安全运行构成严重威胁。同时, 变压器渗油缺陷也是常见的故障之一。渗油可能是由于密封件老化、油箱焊接质量差或油位过高等原因造成, 不仅会导致变压器油位下降, 影响变压器的散热和绝缘性能, 还可能引发火灾等安全事故, 对人员和设备造成严重的

损害。最后, 电容套管故障也是主变压器可能遭遇的故障类型。电容套管用于引出变压器的高压引线, 但其本身存在缺陷、安装不当或过电压等因素都可能导致套管击穿、放电或爆炸, 对变压器的安全运行构成严重威胁。

1.2 故障原因

主变压器故障的原因确实多种多样, 它们可能源自设计、制造、安装、运行或维护等各个环节, 单独或共同作用导致变压器性能下降、寿命缩短甚至引发严重事故。具体来说: 引线不良是常见原因之一, 引线接触不良、松动或损坏, 会阻碍电流的顺畅传输, 产生过热现象, 进而可能引发火灾等严重后果。线圈导线接头焊接质量差也是一大隐患, 虚焊、脱焊等问题会导致接头处电阻增大, 发热严重, 长期运行下可能烧毁接头, 影响变压器的正常运行。

过负荷运行是变压器故障的另一重要原因。变压器在设计时都有额定的容量和负荷范围, 长时间过负荷运行会使变压器内部温度升高, 加速绝缘老化, 降低绝缘性能, 从而缩短变压器的使用寿命。变压器进水受潮也是导致故障的常见因素。水分进入变压器内部会使绝缘材料性能下降, 绝缘电阻降低, 容易引发局部放电和短路故障, 对变压器的安全运行构成严重威胁。油质差也是变压器故障的一个重要原因。变压器油作为绝缘和冷却介质, 其质量直接影响变压器的运行性能。油质劣化、含有杂质或水分等都会降低油的绝缘性能, 加速变压器内部部件的腐蚀和老化。内部局部过热也是变压器故障的常见原因之一。局部过热可能是由于变压器内部电流分布不均、散热不良或局部放电等因素引起的。长期局部过热会使绝缘材料老化加速, 甚至引发绝缘击穿和短路故障。接点接触不良也是变压器故障的一个不可忽视的原因。接点接触不良会导致电流传输不畅, 产生过热现象, 严重时可能引发火灾或损坏接点部件。调压开关主触头没有到位也是变压器故障的一个常见原因。

调压开关用于调节变压器的输出电压,如果主触头没有到位,就会导致电压调节失灵,影响电力系统的稳定运行。绕组变形也是变压器故障的一个重要原因。绕组变形可能是由于短路电流冲击、运输或安装过程中的机械碰撞等因素引起的。绕组变形会导致变压器内部电场分布不均,局部场强增大,进而可能引发绝缘击穿和放电故障。最后,制造质量差也是导致变压器故障的一个原因。如果变压器在制造过程中存在质量问题,如材料选用不当、加工工艺粗糙等,就会导致变压器在运行过程中容易出现故障,影响电力系统的稳定运行。

2 油色谱分析技术原理

油色谱分析技术,作为一种精准且高效的变压器故障诊断方法,其核心建立在气相色谱法的基础之上。该技术通过从正在运行的变压器中精心采集油样,并利用先进的气相色谱技术对油样中所溶解的气体进行细致的分离和深入分析。在变压器油中,溶解着多种气体,它们主要包括氢气(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。这些气体在油中的含量和比例,如同变压器的“健康指纹”,与变压器的运行状态和潜在的故障类型紧密相关。油色谱分析技术的工作原理是,首先通过专业的取样方法从变压器中获取具有代表性的油样。接着,利用气相色谱仪的强大分离能力,将油样中的各种气体成分逐一分离出来。这一过程中,色谱柱扮演着至关重要的角色,它根据不同气体在固定相和流动相之间的分配差异,实现气体的有效分离。分离出的气体随后进入检测器,检测器利用气体的物理化学特性,如电导率、热导率或光学性质等,将气体成分转化为可测量的电信号。通过精确测量这些电信号的强度,我们可以定量地确定每种气体的浓度。最后,结合变压器的运行历史、故障特征以及油中气体的含量和比例,可以对变压器的运行状态进行全面评估,并准确判断其是否存在故障以及故障的类型。例如,氢气含量的异常增加可能预示着变压器内部存在局部放电或电弧放电;乙炔的出现则往往与过热性故障或电弧放电紧密相关;而一氧化碳和二氧化碳的含量变化则可能反映了变压器绝缘材料的老化或受热情况^[2]。

3 油色谱分析技术在故障诊断中的应用

3.1 特征气体含量与注意值比较

油色谱分析技术在变压器故障诊断中发挥着至关重要的作用,其中特征气体含量与注意值的比较是诊断过程中的关键步骤。根据气相色谱的检测结果,可以获得油中溶解的特征气体含量,这些特征气体主要包括总烃

(C_1+C_2 ,即甲烷和乙烷的总和)、氢气(H_2)等。这些气体在变压器油中的存在和含量变化,直接反映了变压器内部的运行状态和潜在的故障情况。不同故障类型会产生不同的特征气体组合。例如,局部放电故障通常会导致氢气(H_2)和甲烷(CH_4)的含量增加;过热性故障则可能使乙烷(C_2H_6)和乙烯(C_2H_4)的含量显著上升;而电弧放电故障则往往伴随着乙炔(C_2H_2)的大量生成。在故障诊断过程中,将油中实测的特征气体含量与预设的注意值进行比较。这些注意值通常是基于大量实验数据和运行经验得出的,它们代表了变压器在正常运行状态下特征气体的最大允许含量。若油中这类气体含量大增,且超过注意值,则很可能是相应故障类型的表现。具体来说,如果总烃(C_1+C_2)含量超过注意值,可能意味着变压器内部存在过热或放电故障;如果氢气(H_2)含量异常增高,则可能预示着局部放电或受潮等问题的存在。通过比较特征气体含量与注意值,可以快速缩小故障范围,为进一步的故障定位和原因分析提供依据。因此,特征气体含量与注意值的比较是油色谱分析技术在故障诊断中的重要环节,它为我们提供了直观、准确的故障判断依据,有助于及时发现并处理变压器潜在的故障问题,确保电力系统的安全稳定运行。

3.2 产气速率判断

在油色谱分析技术的故障诊断应用中,除了特征气体含量外,产气速率同样是一个至关重要的判断依据。产气速率提供了更全面、更动态的信息,有助于更准确地评估变压器的运行状态和故障情况。有些情况下,设备中的气体含量可能会暂时超过注意值,但这并不一定是由故障引起的。油温波动、负载变化等暂时性因素也可能导致气体含量的暂时升高。在这种情况下,如果产气速率保持稳定或较低,可以初步判断设备并未出现严重的故障问题。相反,即使设备中的气体含量未超标,但如果产气速率增长迅速,这也应引起高度注意。产气速率的快速增长往往意味着设备内部存在某种潜在的故障或异常,这种故障可能正在逐渐恶化。如果不及时处理,很可能会导致更严重的后果。产气速率包括绝对产气速率和相对产气速率两种。绝对产气速率是指单位时间内气体含量的绝对增加量,它直接反映了故障的产生和发展速度。相对产气速率则考虑了气体含量基数的影响,通过计算气体含量相对于初始值的增长率来评估故障的发展趋势。综合分析特征气体含量和产气速率,可以更全面地了解变压器的运行状态。如果特征气体含量超标且产气速率较高,这通常意味着设备存在严重的故障问题,需要立即采取措施进行处理。如果特征气体含

量未超标但产气速率增长迅速,也需要密切关注设备的运行状态,及时进行进一步的检查和诊断,以防止故障的发生和发展。

3.3 三比值法

在变压器故障诊断过程中,当依据各组分含量的注意值或产气速率初步判断可能存在故障时,可采用三比值法来进一步精确确定故障类型。三比值法是一种基于变压器油中溶解气体含量比值的故障诊断方法,它通过分析甲烷(CH_4)与氢气(H_2)、乙烯(C_2H_4)与乙烷(C_2H_6)、乙炔(C_2H_2)与乙烯(C_2H_4)这三组特征气体的比值,将得到的比值与预设的比值编码表进行对照,从而准确判断故障的性质和类别。具体而言, CH_4/H_2 的比值能够反映故障的能量特性。当这个比值较高时,通常意味着故障涉及的能量较低,可能是局部放电或轻微的过热现象;而当这个比值较低时,则可能表示存在高能量放电故障,如电弧放电等。 $\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$ 的比值则与故障的温度范围密切相关。较高的比值可能暗示着变压器内部存在中等温度的过热故障,这可能是由于油纸绝缘系统的局部过热或导体接触不良引起的。 $\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$ 的比值是判断故障严重程度的关键指标。当这个比值较高时,往往意味着存在严重的过热或放电故障,这可能会对变压器的安全运行构成严重威胁。根据这三组比值的编码,可以快速确定故障的类型。例如,当编码为102时,可能表示变压器内部存在高能量放电故障,这类故障通常伴随着强烈的电弧或火花放电,需要立即采取措施进行处理。而当编码为020时,则可能存在低温范围的过热性故障,这类故障可能由于变压器内部局部散热不良或油纸绝缘系统老化引起,同样需要引起高度重视并及时进行检修。

3.4 实例分析

以某台主变压器为例,在进行定期油色谱分析检测时,发现其油中氢气(H_2)、甲烷(CH_4)、乙烯

(C_2H_4)以及总烃的含量较之前有明显增加。这一异常变化立即引起了维护人员的注意,因为油中溶解气体的含量变化往往是变压器内部故障的前兆。为了准确判断故障类型,维护人员进一步采用了三比值法进行分析。通过计算 CH_4/H_2 、 $\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$ (虽然此例中未直接提及 C_2H_6 含量,但通常会在全面分析中考虑)、 $\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$ 的比值,并与标准比值编码表进行对照,结果指向了高温过热故障。结合变压器的运行历史和现场检查情况,维护人员进一步分析了可能导致高温过热的具体原因。经过仔细排查,发现该故障主要是由于变压器内部的一些连接问题引起的,包括接头未焊接牢固、夹具螺钉松动、开关接触不良以及局部短路等。这些问题导致电流在流过这些部位时产生过大的电阻热,进而引发高温过热故障。针对这一判断,维护人员迅速制定了针对性的检查和修复计划。他们首先对变压器进行了全面的外观检查,寻找可能的连接松动或损坏迹象^[3]。然后,使用专业工具对接头、夹具螺钉等关键部位进行了紧固和修复,确保电流能够顺畅通过。

结束语

油色谱分析技术在主变压器故障诊断中具有重要的应用价值。通过科学合理的样品采集、预处理和色谱分析过程,可以准确判断变压器的运行状态和故障类型,为变压器的维护和检修提供重要依据。同时,油色谱分析技术还具有非侵入性、样品需求量少、易于操作与自动化等优点,值得在电力行业中广泛应用和推广。

参考文献

- [1]李雅璇.变压器油色谱分析与故障判断[J].电子技术, 2020, 49(10): 170-171.
- [2]黄国.变压器油色谱分析诊断技术的应用[J].电子技术, 2020, 49(09): 100-101.
- [3]张歆炀.基于油色谱分析的变压器内部故障诊断探讨[J].电工技术, 2020(05): 123-125.