

电力变压器局部放电带电检测及定位技术的思考

叶俊卿

国网三明供电公司

摘要：电力变压器是电力系统中起着重要作用的设备，而局部放电是变压器运行过程中常见的故障形式之一。局部放电的存在可能会导致绝缘材料的损坏和老化，甚至引发严重的故障和事故。本文围绕电力变压器局部放电带电检测及定位技术进行了浅谈。电力变压器局部放电带电检测及定位技术是保障变压器安全运行的重要手段。通过采用合适的检测方法和定位技术，可以及时准确地判断变压器是否存在局部放电，并确定故障点的位置，为变压器的维护和修复提供科学依据，确保电力系统的安全稳定运行。

关键词：电力变压器；局部放电；带电检测；定位技术

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2022.06.227

电力变压器是电力系统中重要的电能转换设备，其正常运行对电力系统的稳定性和可靠性至关重要。局部放电是指在绝缘系统中存在的局部电弧放电或放电活动，它常常会导致绝缘的破坏和设备的故障，进而危及电力系统的稳定运行。随着科技的不断进步，近年来出现了基于阵列传感器的局部放电定位技术。相比传统的带电检测方法，阵列传感器定位技术具有更高的定位准确性和可靠性，可以及时发现小型放电源，提供更精确的放电源位置信息，有助于避免潜在的设备故障。

一、电力变压器局部放电原因

绝缘材料问题：变压器内部使用的绝缘材料可能存在质量问题或老化，比如绝缘油、纸、胶木等，在长期使用中会逐渐分解、氧化或老化，导致绝缘性能下降，引发局部放电。

设计或制造缺陷：变压器的设计过程中可能存在一些漏洞或制造工艺上的失误。例如，绝缘材料的选择、电场分布不均匀、绕组结构紧凑等，都可能导致局部放电的发生。

外界因素：外界环境因素也会对变压器的局部放电产生影响。例如，湿度过高、污秽物堆积、严重的振动等都会增加变压器局部放电的风险。

过载运行：变压器在长期过载运行或超过额定容量工作时，可能会引起局部放电。过载导致变压器内部温度升高，使绝缘材料受到热应力，进而影响绝缘性能，并引发局部放电。

运行过程中的故障：例如漏油、异物进入绕组、绕组间隙变窄等故障，都可能导致局部放电的发生。

二、电力变压器局部放电的种类及特点

针对固体绝缘材料的放电：表面放电：在纸介质或漆布等固体绝缘材料的表面发生的放电现象。特点是放电源浅，电晕出现在绝缘材料的表面。

针对液体绝缘材料的放电：液体间放电：在油浸变

压器的液体绝缘材料中发生的放电现象。特点是放电源常位于油膜或空气与油膜之间。**气泡放电：**当液体绝缘材料中存在气泡时，在气泡内部发生的放电现象。特点是气泡内部电晕的形成及移动轨迹。**懒汉放电：**由于液体绝缘材料的流动或悬浮颗粒，导致表面和接触处产生放电现象。特点是放电源常位于流动液体的表面或接触处。

针对气体绝缘材料的放电：**高压放电：**在变压器的绝缘气体中，由于电场强度超过了绝缘能力而发生的放电现象。特点是放电源常位于气体间隙内。**电晕放电：**在气体绝缘材料的表面发生的放电现象。特点是放电源浅，电晕出现在气体表面。

三、电力变压器局部放电带电检测技术

（一）高频电流检测法

该方法通过在变压器上设置电流互感器，测量变压器内部产生的高频电流信号，以判断是否存在局部放电现象。具体操作步骤：在变压器的合适位置安装高频电流互感器。通常选择在高压绕组附近或变压器油箱上安装。

连接互感器与高频电流检测仪。高频电流检测仪可采用小型便携式设备，或者与监控系统集成在一起。

启动高频电流检测仪，并进行信号采集和分析。高频电流检测仪可以实时监测并记录变压器内部产生的高频电流信号，并通过信号分析算法判断是否存在局部放电现象。

根据检测结果，采取相应的措施。如果检测到局部放电现象，则需要及时修复或更换相应的绝缘材料，以防止进一步损坏和事故的发生。

（二）超声波检测法

电力变压器是电力系统中的重要设备，其正常运行对电网的稳定运行至关重要。而电力变压器的局部放电问题是影响其安全可靠运行的一个重要因素。为了及时

发现变压器中的局部放电问题，以便采取相应的维修措施，超声波检测法被广泛应用于电力变压器的局部放电带电检测。

超声波检测法是通过将超声波信号传输到变压器中，利用变压器内的缺陷或局部放电产生的声波信号传播特性来判定变压器是否存在局部放电。具体的检测步骤包括：

设备准备：选用合适的超声波探头，根据变压器的型号和尺寸进行选择，并进行适当的校验和标定；探头布置：将超声波探头固定在变压器外壳上，通常选择变压器的正常运行工况下局部放电易发生的位置，如油箱、绕组等；信号采集：通过超声波仪器采集变压器中的声波信号，并将其转化为电信号；信号处理：对采集到的超声波信号进行滤波、放大、波形处理等操作；信号分析：根据信号的特征参数，如幅值、频率等，对变压器是否存在局部放电进行判断。

超声波检测法在电力变压器的局部放电带电检测中具有优点：非接触式检测：不需要拆卸变压器外壳，对变压器的损伤很小；高灵敏度：能够检测到微弱的局部放电信号；实时性强：能够实时监测变压器的运行状态，发现潜在的故障问题；检测范围广：适用于各种类型和规格的变压器。

（三）光学检测法

光学检测法是利用光学原理和光电转换技术来实现对局部放电的带电检测。其基本原理是将光学传感器安装在变压器内部，在光纤或光导纤维的引导下，将光信号传输至光电转换器进行信号处理和分析。

具体步骤：安装光学传感器：将光学传感器安装在变压器内部，通常选择变压器绕组或绝缘材料附近进行安装，以便接收到局部放电过程中产生的光信号。光纤引导：采用光纤或光导纤维将光信号从光学传感器传输至光电转换器，保证信号的传输质量和稳定性。光电转换：光电转换器将接收到的光信号转换为电信号，经过放大和滤波等处理后，得到局部放电带电检测的结果。结果分析：对得到的电信号进行分析和处理，通过比较参考值或采用算法判断是否存在局部放电，并进行故障程度评估。

光学检测法具有优点：非接触式检测：光学传感器可在变压器内部进行安装，无须接触被测对象，减少了对变压器正常运行的干扰。高灵敏度：光传感器对微弱的光信号能够进行高灵敏度的检测，能够及时发现变压器内部的局部放电情况。实时监测：光学检测法可以实现对变压器的实时监测，及时提供故障预警，避免发生严重故障。

（四）油色谱分析法

油色谱分析法是局部放电带电检测技术中常用的一种方法之一。它通过分析变压器绝缘油中的化学成分和气体组成来评估变压器的局部放电情况。具体步骤：取样：从变压器中取得油样，通常是从油箱或绝缘油管路中采集。提取：提取油样中的气体和溶解在油中的挥发性物质。常用的提取方法有热解、抽提等。气体分析：对油样中提取出的气体进行分析。常见的分析方法有气相色谱法、质谱法等。通过分析气体的种类和含量，可以判断变压器中是否存在局部放电异常。油分析：对提取后的油样进行分析，主要通过油色谱仪来分析油中的化学成分。油中的某些成分或其相对含量的变化可以提供关于变压器健康状态的信息，如溶解气体和挥发物的浓度变化等。

（五）红外线检测法

电力变压器局部放电带电检测技术中的红外线检测法是一种常用的无损检测方法。该方法通过检测变压器表面或周围的红外辐射来判断变压器是否存在局部放电现象。

具体步骤：红外热像仪拍摄：使用红外热像仪对变压器表面或周围进行拍摄，获取红外图像。红外热像仪可以将被测物体辐射出的红外辐射转换为可见光图像，显示出不同温度区域的颜色差异。图像分析：对获取的红外图像进行分析，观察图像中的温度分布情况。局部放电会伴随着温度升高，导致局部区域产生异常的红外辐射，通过分析异常区域的温度变化，可以判断是否存在局部放电现象。异常判定：根据已有的经验和参考值，评估异常区域的程度，判断是否需要进一步的检修或排除故障。

红外线检测法的优点包括：非接触式检测：红外热像仪可以在一定的距离范围内进行检测，无须接触被测物体，减少了对变压器正常运行的干扰。实时监测：通过红外热像仪可以实现对变压器的实时监测，及时发现和预警局部放电故障，避免出现严重故障^[1]。

四、电力变压器局部放电定位技术

（一）电气定位法

电力变压器局部放电定位技术中的电气定位法是一种常用的方法，通过测量变压器不同位置的电压和电流信号，结合数学模型和算法分析，实现对局部放电源的定位。

具体步骤：传感器布置：将多个电压传感器和电流传感器布置在变压器不同位置，以获取相应位置的电压和电流信号。传感器应保持良好的接触，并避免干扰信号。数据采集：通过数据采集设备对各个传感器的电压

和电流信号进行采集，并记录下来。数据处理：对采集到的电压和电流信号进行处理和分析。可以利用数学模型和算法，比如频谱分析、小波变换等方法，对信号进行频域分析、时域分析等。定位计算：根据分析得到的数据，采用相关算法进行定位计算。根据电压和电流信号的差异，计算出局部放电源相对于传感器位置的距离和方向。结果输出：将定位结果进行输出，通常以图形化方式展示，例如在变压器图纸上标记出局部放电源的位置。

电气定位法的优点包括：非接触式检测：不需要对变压器进行拆卸或改造，只需要布置传感器即可进行定位。高定位精度：凭借工程师的专业知识和算法处理技术，可以实现较高的定位精度。实时监测：可以实时监测变压器内部的局部放电情况，并进行定位分析，提供故障预警^[2]。

（二）超声波定位法

电力变压器局部放电定位技术中的超声波定位法，是一种常用且有效的方法。该方法基于超声波技术，通过检测和分析局部放电所产生的声波信号，确定放电源的位置。

超声波定位法主要包括：超声波传感器安装：在电力变压器内部或外部合适位置安装超声波传感器，用于接收局部放电所产生的声波信号。声波信号采集：通过超声波传感器对变压器进行连续或间断式的声波信号采集，一般以高频率的超声波作为探测信号。信号处理与分析：对采集到的声波信号进行预处理，如滤波、放大等，然后使用信号分析技术对其进行后续处理。常用的分析方法包括时域分析、频域分析和小波变换等。定位计算与显示：根据声波信号的时间延迟和传播速度，结合变压器的结构信息，利用三角定位原理计算出局部放电源的位置坐标。定位结果可以以图形或数字方式进行显示。

（三）超高频定位法

电力变压器局部放电定位技术中的超高频定位法是一种常用的方法。它利用了变压器内部局部放电所产生的电磁波信号，通过接收并分析这些信号的到达时间和强度，实现对局部放电源位置的定位。

超高频定位法的原理是基于电磁波在空间传播过程中的特性。当局部放电在变压器内发生时，会产生脉冲状的电磁波信号，其中包含了丰富的频谱信息。通过在变压器内部安装多个电磁波接收器，可以同时接收到来自不同方向的信号，并记录下信号到达各个接收器的时间。

根据信号到达时间的差异，可以计算出信号源相对于各个接收器的距离差，进而通过三角定位或者多点定位算法来确定局部放电源的具体位置。当有足够多的接

收器和精确的信号测量数据时，可以实现精准的定位。

（四）阵列传感器定位法

电力变压器局部放电定位技术中的阵列传感器定位法是一种基于多个传感器的定位方法。该方法的原理是利用分布在变压器表面的多个传感器来接收局部放电产生的信号，并通过对信号进行时差分析，从而确定放电源的位置。

具体步骤：部署传感器阵列：在变压器表面布置多个传感器，这些传感器可以是电磁波传感器、红外热像传感器或超声波传感器等。传感器应尽量均匀地布置在变压器表面，以获取更全面的放电信号。信号采集：传感器阵列同时接收到局部放电产生的信号，并将信号传输给数据采集系统。时差分析：通过对不同传感器之间接收到的信号进行时差分析，可以确定信号到达各个传感器的时间差。这可以使用精确的时钟同步方法来实现。

定位计算：根据时差分析得到的时间差，可以通过多普勒方程或其他相关数学模型计算出放电源的位置。该计算通常使用三角定位原理，根据不同传感器之间的时差和传感器位置信息进行计算。结果显示：将计算得到的放电源位置以图像或坐标形式展示出来，便于操作人员进行分析和判断。可以使用图像处理技术将结果以三维或二维的形式显示，更直观地了解放电源的位置^[3]。

结语

电力变压器局部放电带电检测及定位技术的应用对于电力系统的安全稳定运行具有重要意义。通过及时、准确地检测和定位局部放电源，可以提前发现问题，并采取相应的维修和更换措施，防止故障的进一步扩大，保障设备的寿命和电力系统的可靠性。电力变压器局部放电带电检测及定位技术仍然需要不断进一步完善和深化研究。在实际应用中，还需要考虑到检测设备的可靠性、操作的简便性以及成本的可接受性等因素。同时，也需要对设备绝缘系统进行有效的维护和管理，包括定期检测和维修，以延长其使用寿命并提高设备的可靠性。

参考文献

- [1] 谢玉. 电力变压器局部放电带电检测及定位技术的思考[J]. 中国设备工程, 2021(23): 204-205.
- [2] 马洪杰, 边庆华, 陈文通. 电力变压器局部放电带电检测及定位技术[J]. 电气技术与经济, 2021(05): 45-48.
- [3] 包玉树, 黄亚龙, 许简等. 一起220kV变压器局部放电故障的诊断及分析[J]. 变压器, 2021, 58(07): 75-78+82.