

# 电力变压器常见故障及在线检测技术

赵庆祥 隋树彬

临沂市阳光热力有限公司 山东 临沂 276000

**摘要:** 电力变压器是电力系统的核心设备,其常见故障包括跳闸、引线故障、套管故障、铁心故障、绕组故障和有载分接开关故障等。这些故障可能由残留气体、接触不良、密封不严、绝缘损坏等多种原因引起。在线检测技术包括变压器频率响应检测、传感器阵列检测、振动分析、局部放电检测、红外光谱检测和气相色谱仪检测等,可以及时发现故障,确保变压器的安全高效运行。

**关键词:** 电力变压器; 常见故障; 在线检测技术

引言: 电力变压器是电力系统中不可或缺的重要设备,负责电能的传输与分配,在保障电网安全稳定运行方面发挥着至关重要的作用。然而,由于长时间运行及复杂运行环境等因素的影响,电力变压器难免会出现一些常见故障,如绕组变形、绝缘老化、过热等问题,这些故障不仅会影响变压器的性能,还可能对整个电力系统的安全运行构成潜在威胁。因此,研究电力变压器常见故障及其在线检测技术,对于及时发现故障、保障电网安全运行具有重要意义。

## 1 电力变压器常见故障及原因

### 1.1 绕组故障

绕组是电力变压器的关键部件,负责电能的转换和传输。绕组故障主要包括匝间短路、绕组变形与受潮、绕组过热与油管堵塞等。(1) 匝间短路。由于绕组制造过程中的工艺缺陷、运行过程中的振动和电磁力作用,以及绕组绝缘老化等原因,匝间绝缘可能受损,导致匝间短路。匝间短路会引发局部过热,严重时可能引发火灾或爆炸。(2) 绕组变形与受潮。绕组在受到短路电流冲击时,可能因电磁力作用而发生变形,影响变压器的正常运行。此外,绕组受潮会降低绝缘性能,增加短路风险。(3) 绕组过热与油管堵塞。绕组过热可能是由于过载、散热不良或绝缘老化等原因引起的。油管堵塞则会影响油的循环和散热,进一步加剧绕组过热现象。

### 1.2 套管故障

套管是变压器与外部电路连接的桥梁,其故障主要包括老化与裂纹、受潮与油位低、法兰接地问题等。(1) 老化与裂纹。套管在运行过程中,会受到电场、温度、机械应力等多种因素的影响,导致材料老化、裂纹等问题。老化的套管会降低绝缘性能,增加闪络和漏电的风险。(2) 受潮与油位低。套管受潮通常是由于密封不良或呼吸器配置不当导致的。水分进入套管内部后,

会引起绝缘性能下降,甚至引发局部放电或闪络故障。此外,油位过低也会降低套管的绝缘性能,增加故障风险。(3) 法兰接地问题。套管的法兰接地是保证其安全运行的重要环节。如果法兰接地不良或接地电阻过大,就可能产生悬浮电位,引发局部放电或闪络故障<sup>[1]</sup>。

### 1.3 铁芯故障

铁芯作为电力变压器的磁路部分,对变压器的性能起着决定性的作用。铁芯故障虽然不如绕组故障常见,但一旦发生,其影响同样严重。(1) 铁芯绝缘故障。铁芯绝缘故障主要是由于制造工艺不良、绝缘材料老化或运行中受到机械损伤等原因造成的。绝缘故障会导致铁芯间或铁芯与夹件间发生短路,引发过热和局部放电现象,严重时可能损坏变压器。(2) 接地带断裂与叠片短路。铁芯接地带断裂会导致铁芯失去正常的接地电位,形成悬浮电位,容易引发局部放电或闪络故障。而叠片短路则是由于叠片间绝缘不良或叠片松动造成的,会导致铁芯局部过热和损耗增加。(3) 部件松动与温度变化。铁芯部件的松动和温度变化也是常见的故障原因。部件松动可能是由于安装或检修过程中的疏忽造成的,也可能是长期运行中的振动引起的。温度变化则可能引发铁芯的变形和膨胀,影响变压器的正常运行。

### 1.4 分接开关故障

分接开关用于调节变压器的输出电压,其故障主要包括机械性故障与电气故障、过热与油泄漏等。(1) 机械性故障与电气故障。分接开关的机械性故障通常是由于操作机构失灵、传动部件磨损或卡涩等原因造成的。电气故障则可能是由于接触不良、绝缘损坏或分接位置不准确等引起的。这些故障都会导致分接开关无法正常工作,影响变压器的输出电压。(2) 过热与油泄漏。分接开关在切换过程中会产生电弧和热量,如果散热不良

或操作频繁,就会导致开关过热。过热会加速开关的磨损和老化,增加故障风险。同时,油泄漏也是分接开关常见的故障之一,它可能是由于密封不良、油压过高或油箱破裂等原因造成的。油泄漏不仅会影响开关的绝缘性能,还可能引发火灾等严重后果。

### 1.5 绝缘故障

绝缘故障是变压器故障中最为严重的一种,它直接关系到变压器的安全运行。绝缘故障主要包括绝缘材料劣化、水分与氧化作用、外部短路引起的机械劣化等。

(1) 绝缘材料劣化。绝缘材料在长期运行过程中会受到电场、温度、机械应力等多种因素的影响,逐渐发生老化、劣化现象。劣化的绝缘材料会降低其绝缘性能,增加放电和短路的风险。(2) 水分与氧化作用。水分和氧气是绝缘材料劣化的主要原因之一。它们会渗透到绝缘材料内部,引发化学反应和物理变化,导致绝缘性能下降。特别是在潮湿环境下,绝缘材料的劣化速度会明显加快。(3) 外部短路引起的机械劣化。外部短路会导致变压器内部产生巨大的机械应力,对绝缘材料造成损伤。这种损伤通常表现为绝缘材料的开裂、剥落或变形等现象,严重影响变压器的绝缘性能和使用寿命。

### 1.6 结构件及其他故障

除了上述故障外,电力变压器还可能存在其他结构件故障和附加设备故障。(1) 焊接与装配质量问题。焊接和装配是变压器制造过程中的重要环节。如果焊接质量不良或装配精度不够,就会导致变压器在运行过程中出现松动、变形或泄漏等问题。(2) 油箱漏油与气体继电器误动作。油箱漏油是变压器常见的故障之一,它可能是由于密封不良、油箱破裂或油位计故障等原因造成的。漏油不仅会导致变压器内部油位下降,还可能引发火灾和环境污染等问题。气体继电器则用于监测变压器内部气体的变化情况,如果其灵敏度不够或误动作,就会对变压器的安全运行造成威胁。(3) 冷却介质故障。冷却介质是变压器散热的重要组成部分。如果冷却介质出现故障,如堵塞、泄漏或循环不良等,就会导致变压器散热不良,引发过热和故障。

## 2 电力变压器在线检测技术

### 2.1 油中溶解性气体分析技术

(1) 气相色谱分析法的原理与应用。气相色谱分析法是一种基于不同气体在固定相与流动相之间分配系数的差异而实现气体分离和检测的方法。在变压器油中溶解性气体分析中,气相色谱仪可以定量检测溶解于油中的多种气体,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( $CO_2$ )。通过分析这些气体的组分和含量,可以判断变压器内部是否存在异常情况,如过热、放电等。气相色谱分析法的应用在于能够实时监测变压器油的分解产物,从而实现了对变压器内部故障的早期诊断<sup>[2]</sup>。例如,当变压器内部存在局部过热或放电故障时,绝缘材料会加速分解,产生特定的气体。通过对比这些气体的含量与正常情况下的标准值,可以判断出故障的类型、位置和严重程度。(2) 特征气体与比值法的判断标准。特征气体法基于不同故障类型产生的特定气体,通过分析这些气体的含量和产气速率,可以判断故障的性质。常见的特征气体包括总烃、 $C_2H_2$ 、 $H_2$ 、 $CO$ 和 $CO_2$ 。特征气体的含量和产气速率与故障的温度、严重程度和类型存在对应关系。比值法则是通过比较不同特征气体的相对含量(如 $CO_2/CO$ 比值),来诊断变压器的固体绝缘老化等故障。比值法能够更准确地反映绝缘材料的老化程度和故障发展趋势。

### 2.2 局部放电在线监测技术

(1) 局部放电的产生与检测原理。局部放电是指在变压器内部某些绝缘薄弱区域,如气隙、油隙等,在高电场强度下发生的放电现象。局部放电虽然一般不会立即导致设备故障,但长期存在会对变压器的绝缘造成损伤,最终导致设备故障。局部放电的检测原理主要包括脉冲电流法、超高频法和超声波法。脉冲电流法通过测量变压器内部局部放电产生的脉冲电流来分析放电强度和位置;超高频法通过测量局部放电产生的超高频电磁波来分析放电特征;超声波法则通过测量局部放电产生的超声波信号来定位放电位置<sup>[3]</sup>。(2) 电气测量法与非电测量法。电气测量法如脉冲电流法,主要通过测量放电电流来实现放电的检测和定位。而非电测量法如超声波法和光测法,则通过测量放电产生的声波或光信号来检测放电现象。非电测量法在抗干扰能力方面可能较弱,但在某些情况下可以提供额外的信息来辅助判断放电位置和性质。

### 2.3 振动分析法

(1) 振动信号监测与分析。振动分析法是通过监测变压器运行过程中的振动信号,来分析变压器内部状态的一种方法。变压器在运行过程中,其绕组、铁芯等部件会受到电磁力、机械力等多种力的作用,从而产生振动。通过安装在变压器表面的振动传感器,可以实时采集这些振动信号。振动信号的分析主要包括时域分析、频域分析和时频分析等方法。时域分析主要关注振动信号的波形、峰值等参数;频域分析则通过傅里叶变换等方法,将振动信号从时域转换到频域,分析各频率成

分的幅值和相位信息；时频分析则结合时域和频域的信息，更全面地反映振动信号的变化规律。（2）振动分析法在变压器故障检测中的应用。振动分析法在变压器故障检测中的应用主要集中在对绕组变形、铁芯松动等机械故障的监测和诊断上。当变压器内部发生绕组变形或铁芯松动时，会导致振动信号的变化。通过对比正常状态和故障状态下的振动信号，可以判断故障的类型和位置。此外，振动分析法还可以用于监测变压器的运行状态，及时发现潜在故障，为变压器的维护和管理提供依据。

#### 2.4 红外测温技术

（1）红外热像技术的原理与设备。红外测温技术是利用物体发出的红外辐射来测量其表面温度的一种方法。在变压器运行过程中，其表面会产生一定的热量。通过红外热像仪可以捕捉这些热量并转换成可见的图像，从而直观地展示变压器表面的温度分布。红外热像仪主要由红外镜头、探测器、信号处理电路和显示装置等组成。红外镜头用于收集物体发出的红外辐射；探测器则将红外辐射转换成电信号；信号处理电路对电信号进行放大、滤波等处理；最终，显示装置将处理后的信号转换成可见的图像<sup>[4]</sup>。（2）变压器过热现象的监测与诊断。红外测温技术可以用于监测变压器运行过程中的过热现象。当变压器内部存在过热故障时，其表面温度分布会出现异常。通过红外热像仪可以直观地观察这些异常现象，并对其进行定位和定量分析。结合变压器的结构和工作原理，可以进一步判断过热故障的原因和位置。此外，红外测温技术还可以用于监测变压器的负荷情况。当变压器负荷过大时，其表面温度会升高。通过监测变压器表面的温度变化，可以判断其负荷是否过大，从而为变压器的调度和运行提供依据。

#### 2.5 频率响应分析法

（1）绕组或引线结构偏移的判断。频率响应分析法是通过测量变压器绕组或引线在不同频率下的阻抗或导

纳特性，来分析其结构是否发生变化的一种方法。当变压器内部存在绕组变形、引线松动等故障时，会导致其阻抗或导纳特性的变化。通过对比正常状态和故障状态下的阻抗或导纳特性曲线，可以判断故障的类型和位置。（2）频率响应法的测量与数据处理。频率响应法的测量通常需要使用专用的测量仪器和设备。在测量过程中，需要向变压器注入一系列不同频率的信号，并测量其响应。通过记录和分析这些响应信号，可以得到变压器绕组或引线的阻抗或导纳特性曲线。数据处理方面，需要对测量得到的阻抗或导纳特性曲线进行平滑处理、滤波处理等预处理工作，以提高数据的准确性和可靠性。然后，通过对比正常状态和故障状态下的曲线差异，可以判断故障的类型和位置。此外，还可以利用神经网络、支持向量机等机器学习算法对测量数据进行进一步的分析和诊断。

#### 结束语

综上所述，电力变压器常见故障及其在线检测技术是确保电力系统安全稳定运行的关键。了解常见故障类型及成因，结合先进的在线检测技术，可以实现故障的早期预警与精准定位，显著提升变压器的运行可靠性和维护效率。随着技术的不断发展，我们有信心克服更多挑战，不断优化检测技术，为电力行业的持续健康发展提供有力支撑，确保电网的安全稳定与高效运行。

#### 参考文献

- [1]唐亮.电力系统变压器常见故障检测与诊断技术研究[J].湖北农机化,2020(06):85-86.
- [2]王飞,张念春.论变压器在电力系统中的常见故障和诊断技术[J].水电水利,2023,(04):40-42.
- [3]袁奂毅.火电厂电力变压器常见故障分析及处理策略[J].现代工业经济和信息化,2020,(06):33-34.
- [4]刘海江.电力变压器常见故障分析及处理[J].设备管理与维修,2020,(08):68-70.