

# 变压器套管故障分析及处理

孟宪久 李钰明

沈阳和新套管有限公司 辽宁 沈阳 110000

**摘要:**在现代电力传输体系里,变压器堪称基石般的存在,其稳定运作直接关联着电能供应的可靠性与持续性。本文聚焦变压器套管故障,先阐述其结构与工作原理。接着深入分析常见故障,包括套管渗漏油、接头发热、瓷套闪络放电及绝缘击穿等故障。针对不同故障,分别提出相应处理方法,如渗漏油故障可通过更换密封材料、改进结构、修复受损部位解决;接头发热从处理接触电阻等方面着手等。旨在为变压器套管故障的诊断与处理提供参考,保障变压器安全稳定运行。

**关键词:**变压器;套管故障;分析及处理

**引言:**变压器作为电力系统的关键设备,其安全稳定运行至关重要。而变压器套管作为变压器与外部电路连接的重要部件,承担着载流和绝缘的双重作用。在长期运行过程中,受电、热、机械等多种因素影响,变压器套管易出现各类故障,如不及时处理,可能引发严重电力事故。因此,深入分析变压器套管故障原因并探寻有效的处理方法,对保障电力系统可靠运行意义重大,本文将对此展开详细探讨。

## 1 变压器套管的结构与工作原理

### 1.1 变压器套管的结构

变压器套管主要由导电杆、绝缘介质、瓷套、密封件等部分组成。导电杆用于连接变压器内部的引线和外部的输电线路,承载着电流的传输。绝缘介质则提供了导电杆与接地的变压器油箱之间的绝缘,确保电流不会泄漏到外部。瓷套作为外绝缘部件,不仅起到保护内部绝缘和导电部件的作用,还能承受一定的机械应力和环境侵蚀。密封件则用于保证套管内部的密封性,防止水分、灰尘等杂质侵入,影响套管的绝缘性能。根据绝缘结构和绝缘介质的不同,变压器套管可分为纯瓷套管、充油套管、充气套管和电容式套管等。其中,电容式套管由于其良好的绝缘性能和较高的电压等级适应性,在高压和超高压变压器中得到了广泛应用<sup>[1]</sup>。

### 1.2 变压器套管的工作原理

变压器套管的工作原理主要基于绝缘和电场分布原理。在正常运行时,套管需要承受变压器内部高、低压引线与油箱之间的高电压,同时还要保证电流能够安全、稳定地通过导电杆传输到外部线路。绝缘介质在其中起到了关键作用,它能够承受高电压而不发生击穿,将导电杆与油箱等接地部分有效地隔离开来。对于电容式套管,其电容芯子中的电容屏按照一定的规律排列,

使得电场在绝缘介质中均匀分布。这样可以避免电场集中在某些局部区域,从而提高套管的绝缘性能和耐受电压能力。当套管两端施加电压时,电容屏之间会形成电容,通过电容的分压作用,使得电场在绝缘介质中均匀分布,减少了绝缘介质局部承受过高电压的风险。

## 2 变压器套管常见故障分析

### 2.1 套管渗漏油故障

套管渗漏油是较为常见的故障之一。其主要表现为在套管外部可见明显的油迹,严重时甚至会出现油滴不断滴落的情况。造成这种故障的原因有多种,密封材料老化是关键因素,随着使用时间增长,密封垫等材料的弹性和密封性下降,导致油液渗出。另外,套管在安装过程中,若密封部位未安装到位,存在间隙,也会引发渗漏油现象。同时,变压器运行时的振动和热胀冷缩,可能使密封结构受到破坏,进一步加剧渗漏油问题,不仅会造成油液损耗,还可能影响套管的绝缘性能。

### 2.2 套管接头发热故障

套管接头发热故障在变压器运行中不容忽视。当接头处出现发热情况时,温度会异常升高,严重时甚至可能使接头处的金属变色、变形。究其原因,首先是接触电阻过大,接头处的连接螺栓若松动,或者接触表面存在氧化层、污垢等,都会导致接触电阻增大,根据焦耳定律,电阻增大将使接头处产生更多热量。其次,负荷过大也是导致接头发热的重要因素,当变压器长时间处于过载运行状态,通过接头的电流超出其额定值,就会引发热问题,长期发热还可能加速接头处金属的老化和损坏。

### 2.3 套管瓷套闪络放电故障

套管瓷套闪络放电故障是威胁变压器安全运行的隐患。其表现为在瓷套表面出现明亮的放电火花,同时可

能伴有“滋滋”的放电声。造成这一故障的原因,一方面是瓷套表面污秽严重,积累了大量的灰尘、盐分等杂质,在潮湿的环境下,这些杂质会形成导电层,降低瓷套的绝缘性能,从而引发闪络放电。另一方面,当电力系统中出现过电压时,过高的电压可能使瓷套的电场分布发生畸变,导致局部电场强度过高,最终引发闪络放电现象,严重时可能直接损坏瓷套<sup>[2]</sup>。

#### 2.4 套管绝缘击穿故障

套管绝缘击穿故障是最为严重的故障之一。一旦发生绝缘击穿,变压器将无法正常运行,甚至可能引发短路等严重事故。造成绝缘击穿的原因较为复杂,长期的电应力作用会使绝缘材料逐渐老化,其绝缘性能不断下降。当受到雷电过电压、操作过电压等瞬态高电压冲击时,老化的绝缘材料难以承受,就容易发生击穿。此外,绝缘材料在制造过程中若存在缺陷,如内部有气泡、杂质等,也会成为绝缘击穿的薄弱点,在运行过程中,这些缺陷部位的电场强度会集中,加速绝缘材料的损坏,最终导致绝缘击穿。

### 3 变压器套管故障处理方法

#### 3.1 套管渗漏油故障处理

##### 3.1.1 更换密封材料

当套管出现渗漏油故障时,更换密封材料是基础且有效的处理手段。首先,要精准判断密封材料的型号和规格,选用与原密封材料性能相当或更优的产品,如耐油性能好、弹性持久的橡胶材质。在更换过程中,需小心拆除旧密封材料,彻底清理密封槽,确保无残留杂质。然后将新密封材料均匀、紧密地安装在密封槽内,保证其贴合度良好。更换后,能有效恢复密封性能,阻止油液继续渗漏,维持变压器套管的正常运行。

##### 3.1.2 改进密封结构

改进密封结构可从多方面入手。一方面,优化密封槽的设计,调整其尺寸和形状,使其与密封材料更好地适配,增强密封效果。另一方面,采用组合式密封结构,如增加密封垫的层数或搭配不同类型的密封件,形成多重密封防线。还可引入新型密封技术,如密封胶与密封垫结合使用。通过这些改进措施,能显著提升密封结构的可靠性,从根本上解决因密封结构不合理导致的渗漏油问题,提高变压器套管的稳定性和使用寿命。

##### 3.1.3 修复受损部位

若套管因外力撞击、腐蚀等原因出现受损部位,进而引发渗漏油,需及时修复。对于较小的破损点,可采用焊接、补漏剂封堵等方法。焊接时,要选用合适的焊接材料和工艺,确保焊接处牢固且密封良好。使用补漏

剂时,需先对受损部位进行清洁和预处理,再均匀涂抹补漏剂,使其充分填充缝隙。对于较大面积的损坏,则可能需要更换受损部件。修复后,对修复部位进行严格的密封性检测,保证其不再渗漏油,保障变压器的安全运行。

#### 3.2 套管接头发热故障处理

##### 3.2.1 处理接触电阻

处理接触电阻是解决套管接头发热的关键步骤。首先,需拆卸接头,仔细检查连接部位,使用砂纸等工具打磨掉氧化层、污垢,确保金属表面洁净、光亮,以降低接触电阻。对于松动的连接螺栓,要按照规定扭矩值重新紧固,保证接头紧密连接。还可在接触表面涂抹导电膏,增强导电性,进一步减小接触电阻。通过这些操作,能有效减少接头处因接触不良产生的热量,使接头温度恢复正常,保障电力传输稳定。

##### 3.2.2 调整负荷

当发现套管接头发热是由于负荷过大导致时,需对负荷进行合理调整。一方面,可通过调整电力系统的运行方式,如转移部分负荷至其他线路或设备,减轻该变压器的负担。另一方面,根据实际用电需求,优化用电设备的使用时间和功率分配,避免集中用电造成负荷高峰。同时,利用智能监控系统实时监测负荷变化,当负荷接近或超过额定值时,及时发出预警并采取相应调整措施,防止因长期过载引发接头发热故障恶化。

##### 3.2.3 改善散热条件

改善散热条件能有效降低套管接头温度。可以在接头处安装散热片,增大散热面积,加快热量散发。还可在周围增设风扇等强制风冷设备,利用空气流动带走热量。对于有条件的场所,采用液体冷却方式,如循环冷却液管道围绕接头,提高散热效率。另外,定期清理接头周围的杂物,保持良好通风环境,避免热量积聚。通过这些措施,能为接头创造良好的散热环境,保障其在正常温度范围内稳定运行<sup>[3]</sup>。

#### 3.3 套管瓷套闪络放电故障处理

##### 3.3.1 清洁瓷套表面

瓷套表面污秽是引发闪络放电的常见原因,因此清洁瓷套表面是首要处理措施。使用柔软的毛刷、干净的湿布或专用的绝缘清洁剂,轻柔地擦拭瓷套表面,去除灰尘、盐分、油污等杂质。对于难以清除的顽固污渍,可采用适当的化学清洁剂,但要确保其不会对瓷套材质造成损害。在清洁过程中,需特别注意瓷套的各个角落和缝隙,保证清洁的全面性。清洁后,瓷套表面的绝缘性能得以恢复,能有效降低闪络放电的风险,维持变压

器的稳定运行。

### 3.3.2 修复破损瓷套

若瓷套出现破损,会导致电场分布不均,进而引发闪络放电。对于轻微破损,可使用绝缘修补材料进行填补修复。先将破损处周围清理干净,然后涂抹修补材料,使其与瓷套表面紧密贴合,并确保修补后的表面平整光滑。对于较为严重的破损,可能需要更换整个瓷套。在更换时,要选择与原瓷套规格、性能一致的产品,严格按照安装工艺进行操作,保证安装牢固、密封良好。修复或更换后的瓷套,能恢复其正常的绝缘和电气性能,避免因破损引发的闪络放电故障。

### 3.3.3 优化电场分布

优化电场分布能有效减少闪络放电现象。一方面,可以在瓷套表面安装均压环,使电场分布更加均匀,降低局部电场强度过高的风险。均压环的设计和安装位置要根据瓷套的结构和实际电场分布情况进行合理选择。另一方面,调整瓷套内部的电极形状和位置,优化内部电场分布。通过仿真分析等手段,确定最佳的电极参数,减少电场畸变。此外,还可采用新型的绝缘材料,其具有更好的电场均匀化性能,进一步优化电场分布,提高瓷套的抗闪络放电能力。

## 3.4 套管绝缘击穿故障处理

### 3.4.1 干燥绝缘

若绝缘受潮是导致套管绝缘击穿的原因,干燥绝缘就成为关键处理步骤。可以采用真空干燥法,将套管放置在真空干燥罐内,抽真空降低罐内气压,使水分在较低温度下就能汽化蒸发,同时配合适当加热,加速水分蒸发过程,温度一般控制在60-80°C,避免温度过高损坏绝缘材料。也可使用热油循环干燥法,让热油在套管绝缘层中循环流动,带走绝缘中的水分,热油温度需严格监控,确保不超过绝缘材料的耐受温度。干燥过程中,要持续监测绝缘电阻,当绝缘电阻达到稳定且符合标准值时,表明干燥成功,可恢复绝缘性能。

### 3.4.2 更换绝缘材料

当绝缘材料老化、损坏严重导致绝缘击穿时,更换绝缘材料是必要手段。首先,小心拆除旧绝缘材料,注

意避免对套管其他部件造成损伤。清理套管内部,确保无残留杂质。根据套管的规格和要求,选择合适的新型绝缘材料,如高性能的云母带、绝缘纸等。在安装新绝缘材料时,要严格按照工艺要求进行缠绕、包扎,保证绝缘层的厚度均匀、紧密贴合,每一层之间不能有气泡或缝隙。完成更换后,对套管进行全面的绝缘测试,确保新绝缘材料能有效发挥作用,保障套管的绝缘性能。

### 3.4.3 加强过电压保护

过电压冲击易引发套管绝缘击穿,加强过电压保护至关重要。安装性能优良的避雷器,将其与套管并联连接,当出现过电压时,避雷器能迅速动作,将过电压限制在安全范围内,引导过电压电流入地,保护套管绝缘。同时,优化变电站的接地系统,降低接地电阻,确保过电压电流能快速、顺畅地流入大地。还可以采用过电压监测装置,实时监测系统电压,当电压超过设定阈值时,及时发出预警信号,以便运维人员采取相应措施,如调整运行方式等,减少过电压对套管绝缘的损害<sup>[4]</sup>。

## 结束语

综上所述,变压器套管故障种类繁多,绝缘、过热、渗漏油等问题均可能对电力系统稳定运行造成严重威胁。通过全面且精准的故障分析,运用各类检测技术及时发现隐患,采取针对性处理手段消除故障,同时强化日常维护、严控安装检修质量、优化运行环境与定期开展预防性试验等预防措施,可有效提升变压器套管运行可靠性,保障电力系统安全稳定供电,为社会经济发展筑牢电力根基。

## 参考文献

- [1]罗舜.电力变压器套管将军帽发热故障的红外诊断分析[J].变压器,2023,55(01):50-53.
- [2]刘岗楼.一起非洲中部国家35kV电力变压器故障分析与处理[J].中国设备工程,2023(01):42-43.
- [3]李青昱,陈翔宇,李文震.FMEA技术在电力变压器套管检修中的应用探讨[J].机电信息,2022(33):117+119.
- [4]李超.基于电力变压器运用过程中的主要问题及解决策略探析[J].科技风,2022(21):140.