

变压器绝缘油化验分析及应用

司君磊

内蒙古电力（集团）有限责任公司乌兰察布供电分公司 内蒙古 乌兰察布 012000

摘要：变压器绝缘油化验分析技术作为电力系统维护的关键环节，通过精确检测绝缘油中的水分、酸值、气体含量等关键指标，有效评估变压器运行状态，及时发现并预防潜在故障。本文综述了绝缘油化验分析技术的基本原理、操作流程及其在变压器新油验收、运行维护与故障排查、老化与更换决策等方面的应用，探讨未来发展方向，包括新型检测技术、智能化分析系统及多学科交叉融合的应用前景，旨在为电力系统的安全稳定运行提供有力支持。

关键词：变压器；绝缘油；化验分析技术

引言：变压器作为电力系统的核心设备，其绝缘油的性能直接关系到变压器的运行安全性和稳定性。绝缘油化验分析技术通过科学的方法和技术手段，能够准确评估绝缘油的质量状况，及时发现变压器内部故障，为电力系统的预防性维护和故障排查提供重要依据。本文旨在深入探讨变压器绝缘油化验分析技术及其应用，以期为电力系统的安全稳定运行提供有益参考。

1 变压器绝缘油的基础知识

1.1 绝缘油的来源与分类

变压器绝缘油主要来源于两种途径：天然提炼和化学合成。矿物绝缘油是从石油中提炼而来，主要由碳氢化合物组成，包含烷烃、环烷烃和芳香烃等多种成分。这些成分的比例因原油来源和提炼工艺的不同而有所差异。矿物绝缘油凭借其良好的电气和热工性能，在油浸式变压器中已应用了近百年，至今仍是超高压、特高压电力变压器首选的绝缘油。合成绝缘油则通过化学方法合成，常见的有硅油和酯类合成绝缘油。硅油主要由硅氧烷聚合物组成，具有优异的热稳定性和化学稳定性，以及高闪点和良好的防火性能。酯类合成绝缘油则是由有机酸和醇酯化反应合成，具有良好的生物降解性和对环境友好的特性。还有植物绝缘油，它是从植物种子或果实中提取的，如大豆油、菜籽油等，主要由甘油三酯组成，可再生且可生物降解。

1.2 绝缘油的物理与化学性质

变压器绝缘油具有一系列重要的物理和化学性质，这些性质对其在变压器中的应用至关重要。物理性质：粘度是指绝缘油的流动性和黏稠度，通常以运动粘度来表示。粘度的选择要根据变压器的设计和工作条件来确定，以确保油能够在设备内部有效地流动和传导热量^[1]。密度是指单位体积的油的质量，通常以千克/立方米（kg/m³）来表示。密度的值与油的成分和温度有关，对变压

器的绝缘和散热性能有一定影响。闪点是指在特定条件下，油蒸气与空气混合后能够产生可燃性气体混合物并引燃的最低温度。高闪点的油品更安全。燃点是指在特定条件下，油蒸气与空气混合后能够持续燃烧的最低温度。高燃点的油品同样更安全。

化学性质：绝缘油应具有良好的介电性能，能够有效抵抗电场强度，阻止电击穿的发生。绝缘油应具有高绝缘强度，以保证设备长期稳定运行。绝缘油应具有良好的抗氧化性能，以抵抗油品的老化和污染，并保持油品的稳定性。绝缘油应具有适应不同温度环境的特性，包括低温流动性和高温稳定性。

1.3 绝缘油在变压器中的作用

变压器绝缘油在变压器中起着多重重要作用，绝缘油具有良好的电绝缘性能，可以有效隔离变压器内部的高电压部分和大地之间的电场，防止电流泄漏和绝缘击穿，确保变压器的正常运行。绝缘油还可以作为冷却介质，帮助变压器散热。通过循环流动，绝缘油将变压器内部的热量带走，保持变压器的温度在安全范围内。绝缘油可以在变压器内部的运动部件上形成一层润滑膜，减少摩擦和磨损，延长设备的使用寿命。通过对绝缘油的分析，可以获取变压器内部的运行状态信息，如油中的气体含量、水分含量等，从而判断变压器的健康状况，及时采取维护和保养措施。绝缘油中添加了一些抗氧化剂和防腐剂，可以防止油在长期使用过程中氧化和腐蚀，保持油的性能稳定和寿命。绝缘油还具有灭弧性能，即在发生故障时能够迅速灭弧并阻止故障扩大，保护变压器和其他设备的安全。现代变压器绝缘油通常采用环保型油品，以减少对环境的影响。

2 变压器绝缘油化验分析技术

2.1 绝缘油化验分析的基本流程

变压器绝缘油的化验分析是确保电力设备安全稳定

运行的关键环节,其基本流程涵盖了从样品采集到结果报告的全过程。绝缘油样品的采集是化验分析的第一步,需遵循严格的操作规程。采样人员需穿戴适当的防护装备,确保采样工具和容器的清洁无污染。采样点通常选择变压器底部的放油阀或专用采样阀,避免从上部或中部取样,以减少油中悬浮物的影响。采样时应避免油与空气长时间接触,以减少氧化和污染的可能性。采集到的绝缘油样品需经过预处理,包括静置、过滤和脱气等操作。静置可以去除油中的气泡和悬浮物;过滤则用于去除油中的机械杂质和颗粒;脱气则是为了去除溶解在油中的气体,如氢气、甲烷、乙烷等,这些气体可能与变压器的内部故障有关。在化验分析前,需准备好所需的仪器设备和试剂,如气相色谱仪、水分测定仪、酸值测定仪等。还需对仪器进行校准和调试,确保分析结果的准确性和可靠性。根据预定的分析项目和技术指标,对绝缘油样品进行化验分析。这包括水分含量、酸值、击穿电压、介质损耗因数、气体含量等多个方面的检测。每个项目都需遵循特定的分析方法和标准,以确保结果的准确性和可比性。对化验分析得到的数据进行处理和分析,计算各项指标的数值,并与标准值或历史数据进行比较。通过数据分析,可以判断绝缘油的质量状况,发现潜在的问题或故障,为设备的维护和保养提供依据。最后,将化验分析的结果以报告的形式呈现给相关人员。报告应包含样品的基本信息、分析方法、各项指标的数值、与标准值的比较以及可能的解释和建议。报告应清晰、准确、完整,以便相关人员理解和使用^[2]。

2.2 绝缘油化验分析的主要技术指标

绝缘油化验分析的主要技术指标包括水分含量、酸值、击穿电压、介质损耗因数、气体含量等。水分是影响绝缘油性能的重要因素之一,过多的水分会导致绝缘性能下降,加速油的氧化和老化。酸值是衡量绝缘油中酸性物质含量的指标,酸性物质的增加表明油的氧化程度加深,可能影响油的绝缘性能和稳定性。击穿电压是绝缘油在电场作用下发生击穿的最小电压值,是评估绝缘油电气性能的重要指标。介质损耗因数是衡量绝缘油在电场作用下能量损耗的指标,与油的绝缘性能和老化程度密切相关。绝缘油中的气体含量,特别是溶解的烃类气体,如氢气、甲烷、乙烷等,可能与变压器的内部故障有关,是判断设备运行状态的重要依据。

2.3 绝缘油化验分析的技术方法

绝缘油化验分析的技术方法主要包括气相色谱法、水分测定法、酸值测定法、击穿电压测定法和介质损耗因数测定法等。气相色谱法是一种常用的分析绝缘油

中气体含量的方法。通过将绝缘油样品中的气体组分分离并检测其浓度,可以判断变压器内部是否存在过热、放电等故障。水分测定法包括卡尔·费休滴定法、库仑滴定法等,用于准确测量绝缘油中的水分含量。这些方法具有灵敏度高、准确性好的优点。酸值测定法通常采用电位滴定法或颜色指示法,用于测量绝缘油中酸性物质的含量。通过比较测定值与标准值,可以评估油的氧化程度和稳定性。击穿电压测定法是通过施加逐渐增大的电压,测量绝缘油在电场作用下发生击穿的最小电压值。该方法可用于评估绝缘油的电气性能和绝缘强度。介质损耗因数测定法是通过测量绝缘油在交流电场下的能量损耗,评估其绝缘性能和老化程度。该方法具有灵敏度高、重复性好的特点。

3 变压器绝缘油化验分析技术的应用

3.1 新油验收与质量控制

变压器绝缘油化验分析技术在新油验收阶段发挥着至关重要的作用。新油在投入变压器使用前,必须经过严格的化验分析,以确保其质量符合相关标准和要求。这一过程中,主要关注绝缘油的各项性能指标,如水分含量、酸值、击穿电压、介质损耗因数以及气体含量等。通过化验分析,可以及时发现新油中可能存在的杂质、水分超标、酸值过高等问题,从而避免将不合格的油品投入使用,对变压器造成潜在的损害。新油验收阶段的化验分析还可以为后续的油质管理和维护提供基准数据,有助于建立科学的油质管理体系,确保变压器绝缘油的质量稳定可靠。

3.2 变压器运行维护与故障排查

变压器在运行过程中,绝缘油的质量状况直接关系到其运行的安全性和稳定性。变压器绝缘油化验分析技术成为变压器运行维护与故障排查的重要手段。定期对变压器绝缘油进行化验分析,可以及时发现油中水分、酸值、气体含量等指标的异常变化,从而判断变压器内部是否存在过热、放电、绝缘老化等潜在故障。通过化验分析,可以准确判断故障的类型和位置,为故障排查和修复提供有力支持。定期的化验分析还可以为变压器的预防性维护提供依据,有助于提前发现并解决潜在问题,确保变压器的安全稳定运行。

3.3 变压器绝缘油老化与更换决策

变压器绝缘油在长期使用过程中,会受到温度、氧气、水分等多种因素的影响,逐渐发生老化。绝缘油的老化不仅会降低其绝缘性能,还可能引发一系列故障,对变压器的安全运行构成威胁^[3]。变压器绝缘油老化与更换决策成为变压器维护管理的重要环节。通过化验分

析,可以准确评估绝缘油的老化程度,包括酸值的增加、击穿电压的下降、介质损耗因数的增大等。当这些指标达到或超过预定的阈值时,表明绝缘油已经严重老化,需要更换。化验分析还可以揭示绝缘油老化的原因和机制,为制定合理的更换计划和预防措施提供依据。通过科学的化验分析和决策,可以确保变压器绝缘油在最佳状态下运行,延长变压器的使用寿命,降低维护成本,提高电力系统的可靠性和安全性。

4 绝缘油化验分析技术的未来发展方向

4.1 新型检测技术与仪器的研发与应用

绝缘油化验分析技术的未来发展方向之一在于新型检测技术与仪器的研发与应用。随着科技的进步,传统的化验分析方法已逐渐难以满足日益增长的精确度和效率要求。研发更加高效、准确、灵敏的新型检测技术成为必然。这些技术可能包括基于光谱分析、质谱分析、电化学分析以及生物传感等原理的先进检测方法。同时与之配套的新型检测仪器也将不断涌现,如高精度质谱仪、多功能电化学分析仪等。这些新型检测技术与仪器的应用,将极大提升绝缘油化验分析的精度和效率,为电力系统的安全稳定运行提供更加可靠的保障。

4.2 智能化、自动化化验分析系统的构建

未来绝缘油化验分析技术的发展还将聚焦于智能化、自动化化验分析系统的构建。通过集成先进的传感器技术、数据分析算法以及人工智能技术,可以构建出能够自动完成样品采集、预处理、分析检测以及结果报告等全过程的智能化化验分析系统。这样的系统不仅能够显著提高化验分析的效率和准确性,还能降低人为操作带来的误差和风险。智能化系统还能够根据历史数据和实时分析结果,提供预测性维护和故障预警功能,为电力系统的预防性维护提供更加科学的依据。

4.3 多学科交叉与融合在绝缘油化验分析中的应用

绝缘油化验分析技术的未来发展还将呈现多学科交

叉与融合的趋势。随着科学技术的不断进步,化学、物理学、材料科学、计算机科学以及数据科学等多个学科的知识和技术将更多地被引入到绝缘油化验分析领域。例如,利用材料科学的研究成果,可以开发出更加高性能的绝缘油材料;借助计算机科学和数据科学的技术,可以实现更加精确的数据分析和模式识别;而物理学的原理和方法则可以为绝缘油化验分析提供更加深入的理论支持^[4]。多学科交叉与融合的应用,将推动绝缘油化验分析技术不断创新和发展,为电力系统的安全稳定运行提供更加全面和有力的支持。

结束语

变压器绝缘油化验分析技术及应用的研究不仅提升电力系统的运维效率,更为设备的安全稳定运行提供坚实的技术支撑。随着科技的进步,该技术正朝着更高精度、智能化和跨学科融合的方向发展。未来,期待绝缘油化验分析技术能在更多领域发挥重要作用,为电力系统的优化升级和可持续发展贡献力量。同时也应持续关注新技术、新方法的研究与应用,推动变压器绝缘油化验分析技术不断迈上新台阶。

参考文献

- [1]王靖凯.变压器绝缘油化验分析技术及应用[J].设备管理与维修,2022(4):79-80.DOI:10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2022.02D.39.
- [2]姚俊尧,王宝友.变压器油化验技术分析及其影响分析[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(23).DOI:10.3969/j.issn.1673-4076.2022.23.017.
- [3]张晶.提高变压器绝缘油色谱在线监测系统试验可靠性措施[J].科技资讯,2024,22(14).DOI:10.16661/j.cnki.1672-3791.2403-5042-6070.
- [4]高倩.变压器绝缘油化验技术分析及应用[J].魅力中国,2020(5):347-348.