

变压器油的性能与检验综述

肖颖

保定天威保变电气股份有限公司 河北 保定 071000

摘要：变压器油作为电力系统设备变压器关键组成部分，其性能直接关系到变压器的安全运行和寿命。变压器油需具备良好的电气绝缘、散热和抗氧化等性能。通过严格的性能检验，如酸值、氧化安定性、水分含量等指标的测定，能够准确评估油的状态，及时发现潜在问题。这不仅能提升变压器的安全运行水平，延长使用寿命，还能降低维修成本，促进电力系统的稳定发展。因此，定期对变压器油进行性能检验，对于确保电力系统的可靠性和经济性具有重要意义。

关键词：变压器油；性能；检验

引言：变压器油作为电力设备中的核心绝缘和冷却介质，其性能的优劣直接影响变压器的运行安全与稳定性。随着电力系统的不断发展，对变压器油的性能要求也越来越高。为了确保变压器油能够满足电力系统的运行需求，对其性能进行准确检验显得尤为重要。本文综述了变压器油的主要性能特点以及常用的检验方法，旨在为变压器油的选择、使用和维护提供科学依据，以确保电力系统的安全、高效运行。

1 变压器油的理论综述

1.1 变压器油的定义及组成

变压器油，也被称为绝缘油或矿物油，是电力变压器、互感器、电抗器等电力设备中不可或缺的重要组成部分。其来源主要是经过深度加工的石油产品，通过精炼、脱色、除臭等一系列工艺流程，得到符合电力系统特定要求的油品。变压器油的化学组成主要包括烷烃、环烷烃和芳香烃等多种烃类化合物。这些烃类化合物由于其分子结构的特殊性，使得变压器油具有优异的电气绝缘性能、热稳定性和氧化安定性。此外，变压器油中还含有少量的添加剂，如抗氧化剂、防锈剂等，以提高其综合性能和使用寿命。变压器油的特性主要表现在以下几个方面：首先，它具有较高的闪点和燃点，这使得变压器油在正常运行条件下具有较低的自然燃风险；其次，变压器油具有良好的电气绝缘性能，能够有效地隔绝高压电场，防止放电和电弧的产生；再次，变压器油具有良好的热传导性能，能够将变压器内部产生的热量迅速传递到外部，维持变压器的稳定运行；最后，变压器油还具有较高的抗氧化安定性和热稳定性，能够在长期使用过程中保持其性能的稳定。

1.2 变压器油的主要作用

变压器油在电力设备中发挥着至关重要的作用，主

要包括以下几个方面：（1）变压器油具有优异的电气绝缘性能。由于变压器内部存在高压电场，若没有足够的绝缘介质，将可能导致放电和电弧的产生，从而损坏设备并危及运行安全。而变压器油作为一种优良的绝缘介质，能够有效地隔绝高压电场，保证变压器的安全运行。（2）变压器油还具有优异的散热性能。在变压器运行过程中，由于其内部存在电阻损耗和铁损等，会产生大量的热量。若这些热量不能及时散发出去，将可能导致设备过热而损坏。而变压器油作为一种良好的热介质，能够有效地将热量传递到设备外部，保持设备的正常运行温度。（3）变压器油还具有灭弧作用。在变压器运行过程中，若发生电弧故障，将可能导致设备的损坏和停运。而变压器油在电弧产生时能够迅速将电弧熄灭，防止设备损坏的进一步扩大。其原理是变压器油在电弧产生时会迅速分解产生大量气体，从而稀释电弧空间中的气体密度和电场强度，使得电弧难以维持而迅速熄灭^[1]。

2 变压器油性能分析

2.1 物理性能

变压器油的物理性能对于其在实际应用中的表现至关重要。（1）粘度：粘度是衡量液体内部阻力或流动难易程度的物理量。对于变压器油来说，粘度直接影响到其流动性和散热性能。在变压器运行过程中，低粘度的变压器油能够更好地流动，从而更快地将变压器内部的热量传递至外部，保证变压器的正常散热。同时，低粘度还有助于减少油的泵送功耗，提高设备的运行效率。（2）密度：密度是单位体积内物质的质量。变压器油的密度决定了其重量和体积。在变压器设计和运行时，需要考虑变压器油的密度，以确保其在变压器内部能够稳定地分布和运动。此外，密度还与变压器的浸油深度、

油的重量等因素相关,对于变压器的安全稳定运行具有重要意义^[2]。(3)闪点与燃点:闪点和燃点是评估变压器油安全性能的重要指标。闪点是指油在加热过程中,其蒸气与空气混合物在火焰接触时能够闪燃的最低温度。而燃点则是油在持续加热条件下能够点燃的最低温度。较高的闪点和燃点意味着变压器油具有较高的安全性能,能够在一定程度上防止火灾事故的发生。

2.2 化学性能

除了物理性能外,变压器油的化学性能也是评价其性能优劣的重要指标。(1)酸值:酸值是衡量变压器油中酸性物质含量的指标。酸性物质会降低变压器油的绝缘性能,并加速油的老化。随着变压器油使用时间的增加,其酸值会逐渐升高。因此,通过监测变压器油的酸值,可以及时了解其绝缘性能和老化情况,为设备维护提供重要的参考依据。(2)氧化安定性:氧化安定性是指变压器油在氧化条件下保持稳定性的能力。在变压器的长期运行过程中,由于受到高温、氧气等因素的影响,变压器油中的烃类化合物会逐渐发生氧化反应,生成过氧化物、酸性物质等有害物质。这些有害物质会进一步降低变压器油的性能,并可能导致设备损坏。因此,变压器油的氧化安定性越好,其使用寿命就越长。

(3)水分含量:水分是变压器油中常见的杂质之一。水分不仅会降低变压器油的绝缘性能,还可能加速油的老化过程。此外,当水分与变压器油中的酸性物质结合时,还会生成腐蚀性物质,对设备的金属部件造成腐蚀。因此,控制变压器油中的水分含量对于保证其性能的稳定性和延长设备的使用寿命具有重要意义^[3]。

3 变压器油性能检验方法

3.1 外观检查

变压器油的外观检查是一种简单而直观的初步判断其性能的方法。通过观察油的颜色、透明度以及是否有杂质、沉淀物等,可以初步了解变压器油的状态和可能存在的问题。(1)颜色与透明度:新鲜的变压器油通常呈现出明亮的淡黄色或金黄色,且透明度高。随着使用时间的增长,变压器油的颜色可能会逐渐加深,透明度降低。颜色的加深可能是由于油中的杂质和老化产物的积累所致,而透明度的降低则可能表示油中存在不溶性的杂质或颗粒。(2)杂质与沉淀物:在观察变压器油时,应注意是否有悬浮的杂质或沉淀物。这些杂质可能是油在运输、储存或使用过程中引入的尘埃、水分、气体或其他污染物。它们的存在可能会影响变压器油的性能,甚至对变压器的安全运行构成威胁。

3.2 物理性能检验

物理性能检验是评估变压器油性能的重要手段之一。其中,粘度和密度是两个关键的物理指标。(1)粘度测定:粘度是变压器油流动性能的体现。粘度过高的油在变压器内部流动时阻力较大,影响散热效果;而粘度过低的油则可能导致油的泄漏。粘度的测定通常采用旋转式粘度计或振动式粘度计进行。通过这些仪器,可以准确地测量变压器油的粘度,从而评估其流动性能^[4]。(2)密度测定:密度的测定对于变压器的设计和运行具有重要意义。通过测量变压器油的密度,可以了解其在不同温度下的体积和质量变化,从而预测油在变压器内部的运动情况和散热效果。密度的测定通常采用密度计进行,通过测量一定体积的变压器油的质量来计算其密度。

3.3 化学性能检验

化学性能检验是评估变压器油性能的另一重要手段。其中,酸值、氧化安定性和水分含量是三个关键的化学指标。(1)酸值测定:酸值是衡量变压器油中酸性物质含量的指标。酸性物质会降低变压器油的绝缘性能,加速其老化。酸值的测定通常采用酸碱滴定法或电位滴定法进行。通过这些方法,可以准确地测量变压器油中的酸值,从而评估其绝缘性能和老化情况。(2)氧化安定性试验:氧化安定性是指变压器油在氧化条件下保持稳定性的能力。氧化安定性试验通常采用氧化安定性试验仪进行,通过模拟变压器油在空气中的氧化过程,评估其抗氧化性能。该试验的结果可以反映变压器油的使用寿命和稳定性。(3)水分含量测定:水分是变压器油中常见的杂质之一。水分不仅会降低变压器油的绝缘性能,还可能加速其老化过程。水分含量的测定通常采用卡尔·费休法或露点法进行。通过这些方法,可以准确地测量变压器油中的水分含量,从而评估其绝缘性能和老化情况。

3.4 专项检验

除了上述的物理性能和化学性能检验外,还有一些专项检验用于评估变压器油在特定条件下的性能。(1)击穿电压测试:击穿电压测试是评估变压器油在极端条件下耐受电应力的能力。该测试通过在油中施加逐渐增高的电压,直到油被击穿为止,从而测量其击穿电压值。该值越大,表示变压器油在极端条件下的绝缘性能越好。(2)介质损耗因数测试:介质损耗因数测试是评估变压器油老化与污染程度的重要指标。该测试通过测量变压器油在交流电场下的介质损耗因数,可以反映油中的极性杂质和老化产物的含量。介质损耗因数越大,表示变压器油的老化程度和污染程度越严重。(3)界面张力测试:界面张力测试是检查变压器油中可溶性极性

杂质的一种有效方法。该测试通过测量油与水的界面张力，可以评估油中可溶性极性杂质的含量。界面张力越低，表示油中可溶性极性杂质的含量越高，可能对变压器的绝缘性能产生不良影响^[5]。

4 变压器油性能检验的意义与实际应用

4.1 提高变压器的安全运行水平

变压器油性能检验在提升变压器安全运行水平方面扮演着关键角色。变压器油不仅具有绝缘、散热和灭弧的功能，还能够保护变压器内部免受外部环境的侵蚀。通过定期的油性能检验，可以准确掌握变压器油的酸值、水分含量、氧化安定性等关键指标，从而判断油的绝缘性能和散热能力是否满足要求。一旦在检验中发现油中存在杂质、水分过多或氧化严重等问题，就能及时采取措施进行处理，比如更换新油或进行过滤净化。这样不仅能确保变压器油的性能始终处于最佳状态，还能有效避免因油质问题导致的设备故障，从而大幅提高变压器的安全运行水平。

4.2 延长变压器的使用寿命

变压器油在使用过程中会逐渐老化，其性能会逐渐下降。如果不及时进行性能检验和处理，这些老化的油可能会加速变压器的磨损和损坏，缩短其使用寿命。而定期的变压器油性能检验可以及时发现油的老化情况，并采取相应的措施进行维护或更换。例如，当发现油中酸值过高时，可以通过添加中和剂来降低酸值；当发现油中水分含量过高时，可以采用真空脱水技术去除水分。这些维护措施的实施可以延缓变压器油的老化过程，保持其性能稳定，从而有效延长变压器的使用寿命。

4.3 降低维修成本

变压器作为电力系统中的重要设备，一旦发生故障，不仅会造成停电损失，还会带来高昂的维修成本。而通过定期的变压器油性能检验，我们可以提前发现并处理可能存在的性能问题，从而避免故障的发生。这种预防性维护的方式可以显著降低变压器的故障率和维修次数，减少因设备故障导致的维修费用和时间损失。此外，通过定期对变压器油进行性能检验，我们还可以及

时发现并解决油中的潜在问题，避免小问题逐渐演变成大问题。这种早期干预的方式不仅可以减少维修费用，还能提高电力系统的整体运行效率。

4.4 促进电力系统的稳定发展

电力系统的稳定运行对于社会经济的正常运行至关重要。而变压器作为电力系统中的核心设备之一，其运行状态的好坏直接关系到电力系统的稳定性和可靠性。通过定期对变压器油进行性能检验，我们可以确保变压器始终保持在最佳的运行状态，为电力系统的稳定运行提供有力保障。同时，变压器油性能检验还能帮助我们发现并解决潜在的故障隐患，防止因设备故障导致的停电事故。这种预防性维护的方式不仅可以提高电力系统的运行稳定性和可靠性，还能降低因停电带来的经济损失和社会影响。

结束语

通过对变压器油性能与检验的综述，我们深刻认识到变压器油在电力系统中的重要性。其优异的电气绝缘、散热性能和抗氧化稳定性是保障变压器稳定运行的关键。同时，定期的性能检验能够及时发现并解决潜在问题，确保变压器油长期保持最佳状态。展望未来，我们需继续研究变压器油的性能改进与检验技术的创新，为电力系统提供更加安全可靠的支持，共同推动电力工业的持续发展。

参考文献

- [1]张亮,张洪达,迟敬元.变压器油的性能检测的分析[J].中国科技投资,2019(25):191-192.
- [2]张静,柯友胜,马霄,等.现代分析技术在变压器油性能测试中的应用[J].绝缘材料,2020(12):15-16.
- [3]张晓静.变压器油化验技术的分析及影响[J].科技创新与应用,2019,36(33):45-46.
- [4]薛羽.变压器绝缘油化验技术分析及应用[J].四川水利,2019,38(06):38-39.
- [5]李磊.变压器油色谱分析与故障诊断[J].电气制造,2020(5):31-32.