

油品电导率对电力变压器绝缘性能影响的研究

侯蒙琦

北京唐浩电力工程技术研究有限公司 内蒙古 赤峰 024000

摘要: 本文详细探讨了变压器油电导率对电力变压器绝缘性能的影响。变压器油作为电力变压器中的关键绝缘和冷却介质,其电导率的变化会显著影响变压器的绝缘性能及运行稳定性。本文将从变压器油电导率的产生机制、影响因素及其对变压器绝缘性能的具体影响等方面展开论述,以期对变压器的设计、运行及维护提供理论参考。

关键词: 变压器油; 电导率; 绝缘性能; 电力变压器

引言

随着电力系统的快速发展,电力变压器的绝缘性能成为确保其安全稳定运行的重要因素。变压器油作为变压器的主要绝缘和冷却介质,其电导率的变化会直接影响变压器的绝缘性能。因此,研究变压器油电导率对电力变压器绝缘性能的影响具有重要意义。

1 变压器油电导率的产生机制

变压器油的电导性,并非其固有属性,而是由油中存在的杂质与水分所诱导产生的。在变压器油的精炼生产过程中,会经过多重严格处理,以确保其高度的纯净度和优异的电绝缘性能。然而,在变压器的实际运行过程中,受多重外界因素的侵扰,变压器油的纯净状态难以长久维持。具体来说,变压器内部绝缘材料随时间老化,可能产生碎屑和氧化产物,这些物质会混入油中。同时,变压器可能存在的微小渗漏问题,也会让外部的水分和污染物有机会侵入。此外,环境温度、湿度的变化,以及变压器运行过程中的温度波动,都可能促使油中水分含量的增加。这些杂质和水分在变压器油中的积累,会显著增强其电导性,导致电导率上升,进而影响变压器的正常运行和绝缘性能。

2 影响变压器油电导率的因素

2.1 杂质和水分

杂质和水分是变压器油电导率增加的首要原因。在变压器油的生产过程中,尽管经过了严格的精炼处理,但仍可能残留微量的生产杂质。同时,变压器在长期运行过程中,内部绝缘材料会因老化而产生碎屑和氧化产物,这些物质会不断混入油中,形成杂质。此外,由于变压器并非完全封闭的系统,外部环境中的尘埃、水分等污染物也有可能通过微小缝隙侵入油中。水分在变压器油中的存在形式多样,包括沉积在油底的水滴、溶解在油中的水分以及与油分子结合的水分子。这些水分的存在会显著降低变压器油的绝缘性能,因为水分具有良好的导

电性,能够形成导电通路,从而增加油的电导率^[1]。随着杂质和水分的不断积累,变压器油的绝缘性能将逐渐下降,甚至可能引发短路等严重故障。

2.2 电场强度

电场强度对变压器油电导率的影响不容忽视。研究表明,在高压直流电场下,变压器油的电导率随电场强度的增加呈现出U型曲线的变化趋势。这是因为在较低的电场强度下,油中的离子和电荷受到电场力的驱动而定向移动,导致电导率增加。然而,当电场强度增加到一定程度时,油中的离子和电荷会受到电场力的束缚,导致定向移动的速度减慢,电导率反而下降。此外,电场强度还会影响变压器油中气泡的产生和分布。在强电场作用下,气泡可能因电离而产生更多的电荷,进一步影响油的绝缘性能。

2.3 温度

温度是影响变压器油电导率的另一重要因素。随着温度的升高,变压器油中的杂质和水分活动性增强,分子运动加剧,导致电导率增加。这是因为高温下,油中的离子和电荷更容易摆脱束缚而自由移动,从而增加了油的导电性。同时,温度还会影响变压器油中气泡的产生和溶解。在高温下,气泡可能因受热膨胀而更容易产生,并且溶解在油中的气体会因温度升高而释放出来,进一步影响油的绝缘性能。因此,在变压器的运行过程中,应严格控制油温,以避免因温度过高而导致的电导率增加和绝缘性能下降。

3 油品电导率对变压器绝缘性能的影响

3.1 降低绝缘强度

变压器油作为变压器内部的关键绝缘介质,其绝缘性能的好坏直接关系到变压器的运行安全和稳定性。而油品电导率作为衡量变压器油绝缘性能的重要指标之一,其变化对绝缘强度产生着显著影响。当油品电导率增加时,意味着油品中的导电离子数量增多,这些离子

在电场作用下会定向移动,形成电流。由于电场在油品中的分布本身就存在一定的不均匀性,导电离子的增加会进一步加剧这种不均匀性。在电场强度较高的区域,导电离子会密集分布,形成导电通路,从而降低了油品的绝缘强度。绝缘强度的降低意味着变压器油在承受相同电压时,更容易发生击穿现象^[2]。击穿是绝缘材料在电场作用下失去绝缘性能的一种表现,它会导致变压器内部出现短路,产生大量的热量和电弧,严重时甚至可能引发火灾或爆炸等严重事故。此外,油品电导率的增加还会加速变压器内部绝缘材料的老化过程。导电离子的存在会促进绝缘材料中的化学反应,加速其分子链的断裂和氧化,从而降低绝缘材料的机械强度和耐热性能。这不仅会进一步降低油品的绝缘强度,还会缩短变压器的使用寿命,增加维护成本和安全隐患。因此,在变压器的运行过程中,应密切关注油品电导率的变化,及时采取措施降低电导率,以提高油品的绝缘强度,确保变压器的安全稳定运行。

3.2 增加功率损耗

变压器油电导率的增加,不仅会降低其绝缘强度,还会对变压器的效率产生负面影响,具体表现为功率损耗的增加。这一影响机制主要与油品中导电离子的存在及其导致的电流流动特性变化有关。在变压器正常运行过程中,电流通过油品时会产生一定的能量损耗,这是由油品本身的电阻特性决定的。然而,当油品电导率增加时,意味着其中的导电离子数量增多,这些离子在电流的作用下会更容易形成导电通路,导致电流在油品中的流动更加顺畅,但同时也增加了额外的能量损耗。这种损耗主要表现为焦耳热,即电流通过导体时因电阻而产生的热量。功率损耗的增加会直接影响变压器的效率。变压器作为电力系统中的关键设备,其效率的高低直接关系到整个系统的能耗和经济效益。功率损耗的增加意味着变压器在将电能转换为磁能或热能的过程中,有更多的能量被浪费在了油品的电阻上,而不是有效地传递给了负载。这不仅会降低变压器的能效比,还会增加电力系统的运行成本。此外,功率损耗的增加还会加速油品的热老化过程。焦耳热的产生会使油品温度升高,而高温是油品老化的重要因素之一。在高温作用下,油品中的分子链会更容易发生断裂和氧化反应,导致油品的性能逐渐下降。这种老化过程不仅会降低油品的绝缘性能,还会增加其电导率,形成恶性循环。因此,控制油品电导率,减少功率损耗,对于提高变压器的效率和延长油品使用寿命具有重要意义。

3.3 加速绝缘材料老化

变压器油电导率的增加,不仅会增加功率损耗,还会对变压器内部绝缘材料的老化过程产生显著影响,进而缩短变压器的使用寿命。这一影响主要源于电导率升高导致的电场分布不均匀以及绝缘材料在电场作用下的物理化学变化。当油品电导率增加时,电场在油品中的分布会变得更加不均匀。这是因为导电离子的存在会改变电场线的走向,使得电场强度在某些区域显著增强。绝缘材料作为变压器内部的重要组成部分,其耐受电场强度的能力是有限的。当电场强度超过绝缘材料的耐受极限时,就会发生击穿现象,导致绝缘材料失去绝缘性能。此外,电导率的增加还会加速绝缘材料的物理化学老化过程。在电场作用下,绝缘材料中的分子链会受到电场力的拉伸和挤压,导致分子链的断裂和交联反应的发生。同时,电场还会促进绝缘材料中的氧化反应,加速其老化过程。这些物理化学变化会使得绝缘材料的性能逐渐下降,如绝缘强度降低、机械强度减弱等,进而缩短变压器的使用寿命^[3]。因此,控制油品电导率对于延缓绝缘材料的老化过程、延长变压器的使用寿命具有重要意义。通过定期检测油品电导率、加强油品的过滤和净化处理、控制油品中的杂质和水分含量等措施,可以有效降低电导率,保持电场的均匀分布,减缓绝缘材料的老化速度,从而提高变压器的可靠性和稳定性。

4 降低油品电导率对电力变压器绝缘性能影响的措施

4.1 提高油品纯净度

为了降低变压器油的电导率,提高油品的纯净度是至关重要的一环。这主要涉及到对油品进行精细的过滤和净化处理,以去除其中的杂质和水分,从而确保油品的电绝缘性能。首先,过滤处理是去除油品中固体杂质的有效手段。通过采用高精度的过滤器,可以拦截并去除油品中的微小颗粒、金属碎屑以及其它固体污染物。这些杂质的存在不仅会增加油品的电导率,还可能对变压器的绝缘材料造成磨损和腐蚀,因此必须予以严格清除。其次,净化处理则是去除油品中水分和溶解性杂质的关键步骤。水分是油品电导率增加的主要因素之一,因此需要通过真空脱水、加热蒸发或化学吸附等方法,将油品中的水分彻底去除。同时,对于溶解在油品中的氧化产物、酸性物质等杂质,也需要通过化学处理或吸附剂进行清除,以确保油品的纯净度。在提高油品纯净度的过程中,还需要注意对处理设备和方法的合理选择。例如,选择具有高效过滤和净化能力的设备,以及根据油品的具体性质和污染情况,制定针对性的处理方案。此外,对处理过程中的参数进行严格控制,如温度、压力、时间等,也是确保处理效果的重要因素。

4.2 加强运行维护

在变压器油的管理中,加强运行维护是确保油品绝缘性能始终处于良好状态的重要措施。这包括对变压器油进行定期的取样分析,以及及时发现并处理油品中出现的杂质和水分问题。定期的取样分析是监测油品状态的有效手段。通过定期对变压器油进行取样,并对其进行全面的理化性能分析,可以及时了解油品中的杂质含量、水分含量、酸值、氧化安定性等关键指标的变化情况。这些指标能够直接反映油品的绝缘性能和老化程度,从而为制定针对性的维护措施提供科学依据。在取样分析的基础上,一旦发现油品中出现杂质和水分问题,就需要立即采取措施进行处理。对于杂质问题,可以通过过滤、沉淀或离心等方法将杂质从油品中分离出来;对于水分问题,则可以采用真空脱水、加热蒸发或注入干燥剂等方法进行去除。在处理过程中,需要严格控制处理条件和时间,以确保处理效果并避免对油品造成二次污染^[4]。加强运行维护还需要建立完善的管理制度和流程。这包括制定详细的维护计划、明确维护人员的职责和任务、建立维护记录档案等。通过制度化的管理,可以确保维护工作的有序进行,及时发现并处理油品中的问题,从而保障变压器的安全稳定运行。

4.3 优化设计

在变压器的设计阶段,充分考虑油品电导率对绝缘性能的影响,是提升变压器绝缘强度和运行可靠性的关键。这要求设计师在构思和规划时,将油品的电导率特性纳入考量,通过优化绝缘结构和材料选择,来构建更加稳固和高效的绝缘系统。首先,在绝缘结构的设计上,应追求合理的电场分布。通过精确计算和分析,确定变压器内部电场强度的分布规律,进而设计出能够均匀承受电场作用的绝缘结构。这包括绝缘层的厚度、层数以及排列方式等,都需根据电场分布的特点进行精细调整,以避免电场在某一区域过度集中,导致绝缘材料

过早老化或击穿。其次,在材料选择上,应优先考虑具有低电导率和高绝缘强度的材料。这些材料能够有效抵抗油品中导电离子的影响,保持绝缘性能的长期稳定。同时,材料的耐热性、抗氧化性和机械强度也是重要的考量因素,它们共同决定了绝缘材料在变压器运行过程中的可靠性和耐久性。此外,设计过程中还应考虑变压器的散热性能。良好的散热能够降低油品和绝缘材料的温度,减缓其老化速度,从而延长变压器的使用寿命。因此,在优化设计时,可以通过增加散热面积、改善散热通道等方式,提高变压器的散热效率。通过优化设计,从源头提升变压器的绝缘性能,是降低油品电导率对绝缘性能影响的有效途径。这不仅要求设计师具备深厚的专业知识和丰富的实践经验,还需要不断探索和创新,以适应电力系统不断发展和变化的需求。

结语

变压器油电导率对电力变压器绝缘性能具有显著影响。杂质和水分、电场强度、温度等因素都会导致变压器油电导率的增加,进而降低变压器的绝缘性能、影响电场分布并增加维护成本。因此,在变压器的设计、运行及维护过程中,应密切关注变压器油的电导率变化,采取有效的措施降低其电导率,以保障变压器的安全稳定运行。

参考文献

- [1]徐俊田,胡国星,拓锐,等.影响油品电导率测量结果的因素[J].山东化工,2020,49(13):113-114.
- [2]朱海峰.天然气压缩机油品质量与电容、电导率的关系研究[J].设备管理与维修,2024,(16):185-187.
- [3]刘昊,王军,郑衍,等.烃化油品电导率测试设备的研制[J].实验科学与技术,2024,22(03):125-129.
- [4]金海庆.油品电导率仪校准方法[J].工业计量,2018,28(06):24-25.