

干式变压器发展趋势分析

田继耕

桂林君泰福电气有限公司 广西 桂林 541004

摘要: 随着全球能源结构的转型和电力技术的飞速发展,干式变压器作为电力系统中的核心设备,其角色日益重要。面对日益增长的电力需求和不断提高的环保标准,干式变压器的发展趋势和未来走向成为行业内关注的焦点。本文旨在对干式变压器的发展趋势进行深入分析,以期对相关研究和实践提供有价值的参考。同时,我们也注意到环保性的提升是未来干式变压器发展的重要方向,采用环保材料和降低噪音等措施将有助于减少对环境的负面影响。

关键词: 干式变压器;发展趋势;分析

引言: 本文分析了干式变压器的发展趋势,重点关注了高效节能、高可靠性、智能化、环保性和多功能化等方面。随着电力系统的规模扩大和复杂性增加,干式变压器作为关键设备,其性能提升和创新对于电力系统的稳定运行至关重要。通过采用新材料、新工艺和新技术,干式变压器将实现更高的能源利用效率和更可靠的运行。同时,智能化和多功能化的发展将使得干式变压器更加适应多样化的应用场景,并提高运行维护的便利性和效率。

1 干式变压器的工作原理

干式变压器的工作原理是电磁感应。它包括一个主要线圈(高压侧)和一个次要线圈(低压侧)。当交流电流通过主要线圈时,会产生一个交变磁场。次要线圈环绕在主要线圈周围,当主要线圈中的电流变化时,次要线圈中也会产生感应电动势,从而在次要线圈中产生电压。干式变压器的变比是主要线圈和次要线圈的匝数之比。当变比大于1时,变压器称为升压变压器,将输入电压增加到输出电压,输出电压大于输入电压。当变比小于1时,变压器称为降压变压器,将输入电压降低到输出电压,输出电压小于输入电压^[1]。干式变压器的磁心通常由铁芯制成,以增加磁通量并减少磁通损失。变压器的效率取决于铁芯的材料和设计,以及变压器的负载和损耗。与油浸变压器不同的是,干式变压器使用空气来冷却绕组和铁心,而不是使用冷却剂(如油)。这种设计可以降低损失和使设备更轻便,适用于一些对环保要求较高的场合。

2 干式变压器的故障诊断

2.1 声音异常

干式变压器声音异常可能是由多种原因引起的。首先,当干式变压器发出沉重的“嗡嗡”声时,可能是由

于过载或内部短路引起的。过载会导致变压器内部温度升高,绝缘材料老化加速,从而产生异常声音。内部短路可能是由于线圈匝间绝缘击穿或外部因素导致的,这会产生较大的电流和磁场变化,引起异常声音。其次,当大动力负荷启动时,干式变压器可能会发出“哇哇”声。这可能是由于负荷突然增加,导致变压器内部磁场瞬间变化,引起铁芯振动和异常声音。最后,如果干式变压器发出“咯咯”间歇声,可能是由于铁芯松动或夹紧不良引起的。铁芯松动会导致铁芯与线圈之间的相对位置发生变化,从而产生间歇性的异常声音。夹紧不良可能是由于夹紧装置松动或老化导致的,这会影响铁芯的固定效果,进而产生异常声音。

2.2 温度异常

干式变压器温度异常的原因有以下几种。首先,过载是导致干式变压器温度升高的主要原因。当干式变压器过载运行时,其内部线圈的电流会增大,导致线圈发热,进而使变压器温度升高。如果长时间过载运行,会导致线圈烧毁或变压器烧坏。其次,干式变压器内部的散热不良也会导致温度异常。如果干式变压器的散热通道被堵塞或散热风扇故障,会导致变压器内部的热量无法及时散发出去,使温度升高。此外,干式变压器内部的故障也会导致温度异常。例如,线圈短路、铁芯损坏、绝缘材料老化等故障都会导致变压器内部温度升高。最后,环境温度过高也会对干式变压器的温度产生影响。如果干式变压器所处的环境温度过高,且没有采取有效的散热措施,会导致变压器温度异常升高。

2.3 气味异常

当干式变压器内部出现故障时,可能会散发出异味,这通常是由于过热或电气故障引起的。首先,过热是引发异味的重要原因。当干式变压器内部出现故障,

如线圈匝间短路或绝缘击穿等,会导致电流异常增大,从而使得线圈和绝缘材料过热。过热会使得绝缘材料分解产生气体,同时也可能使得线圈的漆包线烧焦,从而散发出烧焦的气味。其次,电气故障也可能引发异味。例如,当干式变压器内部发生电弧放电时,会产生臭氧等刺激性气体,同时可能伴随有烧焦的气味。此外,如果干式变压器内部的绝缘油发生劣化或泄漏,也会散发出难闻的气味。

3 干式变压器的故障方法

3.1 观察法

观察法是干式变压器故障诊断中常用的一种方法。首先,观察干式变压器的外观。正常的干式变压器外观应该整洁、无变形、无裂纹、无松动等现象。如果发现变压器外观有明显的变形、裂纹、松动或破损等情况,可能是变压器内部出现故障或外力作用导致的。此时需要进一步检查以确定故障原因。其次,观察干式变压器的气味。正常情况下,干式变压器不应该有异味。如果闻到烧焦的气味,可能是变压器内部线圈短路或绝缘材料烧毁等故障引起的。闻到刺鼻的气味可能是变压器内部的绝缘油劣化或泄漏所致。因此,一旦发现异味,应立即停机检查,以防止故障扩大。再次,观察干式变压器的声音。正常运行时,干式变压器会发出轻微的“嗡嗡”声。如果听到异常的声音,如沉重的“嗡嗡”声、大动力负荷启动时的“哇哇”声或“咯咯”间歇声等,可能是变压器内部出现故障或运行不正常。此时需要进一步检查以确定故障原因,并采取相应的维修措施。

3.2 测量法

测量法在干式变压器故障诊断中的应用至关重要。使用万用表等测量仪器时,首先要确保选择了合适的测量范围和精度。这是因为不同的电气参数需要在特定的测量范围内才能得到准确的结果。例如,电压和电流的测量需要选择适当的量程,而功率因数和阻抗的测量则需要考虑到精度要求。在测量过程中,正确的操作步骤也至关重要。测量前应确保测量仪器已经正确接线,并进行了必要的校准。在测量过程中,需要记录各种电气参数的数据,并对其进行分析。如果发现数据异常,应立即停机检查,防止故障扩大。通过对电气参数的测量和分析,可以揭示干式变压器内部的多种故障。例如,电压或电流的异常波动可能表明变压器内部存在线圈短路或开路的问题。功率因数的降低可能意味着变压器内部铁损或铜损的增加,这可能是由于线圈绝缘损坏或磁路饱和等原因引起的。阻抗值的异常变化可能表明变压器内部绝缘材料的老化或损坏,或者线圈匝间存在短路^[2]。

3.3 经验法

经验法在干式变压器故障诊断中扮演着重要的角色。首先,经验法要求技术人员对干式变压器的正常运行状态有深入的了解。他们需要熟悉变压器的各种参数和特性,以及在不同负载和环境条件下的表现。这样,当变压器出现异常情况时,技术人员能够迅速察觉并作出反应。其次,经验法强调对变压器运行情况的全面观察。技术人员需要密切关注变压器的温度、声音、振动等方面的变化,以及任何可能的异常气味或外观变形。这些观察结果可以与正常情况下的表现进行对比,从而揭示出潜在的问题。此外,经验法还要求技术人员具备丰富的故障诊断经验。他们对于不同类型的故障和相应的解决方法应有深入的了解。当观察到异常情况时,技术人员能够凭借经验迅速判断出可能的故障原因,并采取相应的维修措施。然而,经验法也有其局限性。它可能受到技术人员个人经验和知识水平的限制,以及在复杂或罕见故障情况下的不确定性。因此,在使用经验法进行故障诊断时,通常需要与其他方法(如测量法)结合使用,以确保诊断的准确性和可靠性。

4 干式变压器的发展趋势分析

4.1 高效节能

高效节能是未来干式变压器发展的重要方向。首先,新材料的应用将有助于降低变压器的空载损耗和负载损耗。例如,采用高性能的绝缘材料和导电材料,可以减少变压器的漏磁和涡流损耗,从而提高变压器的效率。其次,新工艺的运用将进一步提高变压器的能效。例如,通过优化变压器的设计结构,减少线圈的匝数和截面积,可以降低变压器的铜损和铁损。此外,采用先进的制造工艺和质量控制手段,确保变压器的精度和稳定性,也可以减少运行过程中的能量损失。最后,新技术的应用将为干式变压器的高效节能提供有力支持。例如,采用智能控制技术,可以实时监测和调整变压器的运行状态,使其始终保持在最佳工作点,从而降低能耗。同时,利用先进的仿真技术和优化设计方法,可以对变压器进行精确的能效分析和优化,进一步提高其能源利用效率。

4.2 高可靠性

高可靠性是未来干式变压器发展中不可忽视的重要方面。随着电力系统的规模不断扩大,以及新能源、智能电网等领域的快速发展,变压器的可靠性对于整个电力系统的稳定运行至关重要。为了实现高可靠性,未来干式变压器将采取多种措施。首先,采用先进的绝缘材料是关键之一。绝缘材料的性能直接影响变压器的电气

强度和绝缘寿命。通过使用高性能、耐高温、耐老化的绝缘材料，可以显著提高变压器的绝缘性能，减少因绝缘失效引发的故障。其次，优化设计也是提高干式变压器可靠性的重要手段。通过对变压器结构、线圈布局、散热系统等进行优化，可以降低变压器的热应力和机械应力，提高其抵御外部环境因素和内部故障的能力。同时，采用先进的仿真技术和优化设计方法，可以在设计阶段就预测和消除潜在的故障风险。此外，制造工艺的改进对于提高干式变压器的可靠性也至关重要。采用先进的制造工艺和质量控制手段，可以确保变压器的制造精度和一致性，减少因制造缺陷导致的故障。

4.3 智能化

智能化是未来干式变压器发展的重要趋势。首先，通过集成先进的传感器，干式变压器能够实现全面的状态监测。这些传感器可以实时监测变压器的温度、电流、电压、功率因数等关键参数，以及油位、气体含量等其他与运行状态相关的信息。这种实时的状态监测不仅可以帮助运维人员及时发现潜在故障，还可以为变压器的性能分析和优化提供数据支持。其次，结合计算机技术和人工智能技术，干式变压器将具备强大的故障诊断能力。通过对监测数据的分析和处理，利用专家系统、神经网络等算法，可以对变压器的运行状态进行评估，并准确识别出故障的类型和位置。这将大大提高故障诊断的准确性和效率，减少因误判或漏判而造成的损失。此外，智能化还将使干式变压器实现远程控制和维护。通过与上位机系统或云平台的连接，运维人员可以远程对变压器进行监控和控制，实现远程开关机、参数调整等操作。

4.4 环保性

环保性在未来干式变压器的发展中占据重要地位。首先，采用环保材料是关键所在。在变压器的制造过程中，应优先选择可降解、无毒无害的环保材料，减少对环境的污染。同时，对于已经使用过的变压器，应建立完善的回收再利用机制，确保废旧变压器得到妥善处理，降低废弃物的排放。其次，减少噪音污染也是提升干式变压器环保性的重要环节。噪音不仅影响人们的生活质量，还可能对生态环境造成潜在危害。因此，在变压器的设计和制造过程中，应注重降低噪音水平。通过优化结构设计、采用低噪音材料等手段，可以有效降低

变压器的运行噪音，减少对环境和人类的干扰^[3]。此外，未来干式变压器还应关注能源消耗问题。采用先进的节能技术和设备，提高变压器的能源利用效率，不仅可以降低企业的运营成本，也是对环保的有力支持。同时，推广绿色电力、鼓励使用可再生能源等措施，也有助于从源头上减少变压器的能源消耗和碳排放。

4.5 多功能化

多功能化是未来干式变压器发展的主要趋势。首先，无功补偿是干式变压器多功能化的重要方向。在电力系统中，无功功率的平衡对于维持电压稳定和减少线路损耗至关重要。通过集成无功补偿装置，干式变压器可以实现对无功功率的动态补偿，提高电力系统的稳定性和效率。其次，谐波治理也是干式变压器多功能化的重要内容。随着非线性负载的广泛应用，电力系统中的谐波问题日益严重。谐波不仅影响电力设备的正常运行，还可能对电网造成污染。通过集成谐波治理装置，干式变压器可以对电力系统中的谐波进行有效滤除，保障电力设备的正常运行和电网的清洁。此外，随着新能源、智能电网等领域的快速发展，干式变压器的多功能化还将涉及到能量储存、能量转换、数据传输等方面。通过不断集成新技术和新功能，干式变压器将能够适应更多复杂的应用场景，为电力系统的多样化需求提供有力支持。

结语：综上所述，干式变压器的发展趋势受到多方面因素的影响，包括技术进步、市场需求、环保要求等。未来，高效能、高可靠性、智能化、环保及多功能融合将成为干式变压器发展的重要方向。随着新材料、新工艺和新技术的不断涌现，我们有理由相信，未来的干式变压器将更加高效、智能和环保，为电力系统的安全稳定运行提供更加可靠的保障。同时，我们也应关注到，在追求技术进步的同时，需要平衡经济效益和环境保护的关系，确保干式变压器的可持续发展。

参考文献

- [1]年泓昌,苏鹏飞,董志国.干式变压器常见故障分析与处理[J].电工电气,2019,05:43-46+56.
- [2]郭振岩,刘景江.干式变压器发展新动向[J].变压器,2018,05:6-9.
- [3]王京,马洪波.干式变压器技术的发展及其在电力系统中的应用综述[J].电力科学与工程,2018,05:10-13.