

750kV网侧换流变压器绝缘系统设计与性能评估

巩跟盼

保定天威保变电气股份有限公司 河北 保定 071056

摘 要：通过深入探讨了750kV网侧换流变压器绝缘系统的设计与性能评估。设计部分详细阐述了电场分布计算、绝缘结构设计、绝缘材料与制造工艺的选择与优化。性能评估则涵盖了绝缘电阻测试、局部放电测试、介质损耗因数测试、热工性能测试以及长期运行可靠性评估等多个方面。通过理论与实践的结合，本文为750kV网侧换流变压器绝缘系统的设计与性能评估提供了全面而深入的指导，旨在确保其在高压环境下的安全稳定运行，为电力系统的可靠供电提供坚实保障。

关键词：750kV；网侧换流变压器；绝缘系统设计；性能评估

1 750kV 网侧换流变压器绝缘系统设计基础

1.1 换流变压器基本原理

换流变压器是直流输电系统中的关键设备，主要用于将交流输电系统与直流输电系统相连，实现电能的转换和控制。其基本原理在于通过控制晶闸管等开关元件的导通和截止，来实现对直流电压的转换和调节。当晶闸管导通时，直流电压可以正常通过；而当晶闸管截止时，直流电压被隔离，并通过换向装置（如桥式整流器）进行电流反向，从而实现直流电流的正负交替。换流变压器不仅承受交流电压，还需承受直流电压，这是导致其结构设计与普通变压器存在差异的根本原因。在高压直流输电系统中，如哈密-郑州±800kV直流输电工程，换流变压器的作用尤为突出。特别是在网侧电压等级达到750kV时，换流变压器需要采用特殊的设计来确保系统的稳定性和高效性。

1.2 绝缘系统材料选择

绝缘系统材料的选择对于750kV网侧换流变压器的性能和安全性至关重要。常见的绝缘材料包括聚氯乙烯（PVC）、交联聚乙烯（XLPE）等。这些材料具有不同的特性和应用场景：聚氯乙烯（PVC）：以其优异的耐腐蚀性和机械强度而广受欢迎。它能够在多种环境下稳定工作，是电线绝缘材料中的常用选择。然而，在高温或恶劣环境中，PVC的性能可能会受到影响。交联聚乙烯（XLPE）：以其卓越的耐温性和环保性能脱颖而出^[1]。在高温环境中，XLPE能够保持稳定的电气性能，是高压、高温条件下绝缘材料的优选。XLPE的环保性能也使其成为新能源汽车、风电等领域的优选材料。对于750kV网侧换流变压器而言，绝缘系统不仅需要承受高电压等级下的电场强度，还需考虑长期运行中的稳定性和可靠性。在选择绝缘材料时，需要综合考虑材料的电气

性能、机械强度、耐温性以及环保性能等因素。XLPE因其卓越的耐温性和稳定的电气性能，在750kV网侧换流变压器的绝缘系统设计中具有显著优势。

2 750kV 网侧换流变压器绝缘系统设计

2.1 电场分布计算与分析

在750kV网侧换流变压器的绝缘系统设计中，电场分布的计算与分析是首要且关键的一步。由于换流变压器同时承受着交流电压和直流电压的双重作用，其电场分布特性相较于普通变压器更为复杂。采用先进的电磁场仿真软件，如ANSYS Maxwell或Comsol Multiphysics，对变压器内部的电场分布进行精确计算显得尤为重要。电场分布的计算需考虑变压器各部件的几何尺寸、材料属性以及运行工况等因素。通过对线圈、铁芯、绝缘层等关键部件的建模，结合实际的运行电压和电流参数，可以模拟出变压器内部的电场分布情况。进一步地，通过分析电场强度的分布规律，可以识别出潜在的绝缘薄弱点，为后续的绝缘结构设计提供重要依据。在电场分布的分析过程中，还需特别注意直流电压对电场分布的影响。由于直流电压的存在，换流变压器内部的电场分布可能呈现出不均匀性，特别是在线圈边缘和绝缘层界面处，电场强度可能会显著增大。在计算电场分布时，必须充分考虑直流电压的作用，以确保分析结果的准确性和可靠性。

2.2 绝缘结构设计方案

基于电场分布的计算与分析结果，可以制定出合理的绝缘结构设计方案。绝缘结构设计通常包括线圈绝缘、油纸绝缘、固体绝缘以及绝缘屏障等方面的设计。线圈绝缘是变压器绝缘系统的核心部分，其设计需考虑线圈的匝间绝缘和层间绝缘，以确保线圈之间的电气隔离。油纸绝缘则利用变压器油的绝缘性能和纸板的机械

强度,共同构成变压器的内部绝缘系统。固体绝缘材料的选择需考虑其电气性能、耐热性能和机械强度等因素。绝缘屏障的设计则用于优化电场分布,减少电场强度在绝缘层界面的集中,从而提高绝缘系统的可靠性。在绝缘结构设计过程中,还需特别注意绝缘材料与变压器油的相容性问题。不同绝缘材料与变压器油的相容性可能存在差异,若选择不当,可能导致绝缘性能下降或变压器油老化加速等问题。因此在选择绝缘材料时,需进行充分的相容性试验,以确保绝缘系统的长期稳定运行。

2.3 绝缘强度与裕度校核

绝缘强度与裕度校核是确保750kV网侧换流变压器绝缘系统安全性的重要环节。在进行绝缘强度与裕度校核时,需结合变压器的实际运行工况和绝缘结构设计方案,对绝缘系统的各项参数进行精确计算。通过对比绝缘系统的实际承受电压与绝缘强度的计算结果,可以评估绝缘系统的安全性^[2]。若实际承受电压接近或超过绝缘强度,则需对绝缘结构进行优化设计或增加绝缘裕度,以确保绝缘系统的安全性。另外,还需考虑绝缘系统在不同运行条件下的性能变化。因此在进行绝缘强度与裕度校核时,需充分考虑这些因素对绝缘系统性能的影响,以确保校核结果的准确性和可靠性。

2.4 制造工艺与质量控制

制造工艺与质量控制是确保750kV网侧换流变压器绝缘系统性能的关键环节。在制造工艺方面,需严格控制原材料的质量,确保绝缘材料、变压器油等关键部件的性能符合设计要求。同时还需优化制造工艺流程,提高生产效率和质量稳定性。在绝缘层铺设过程中,则需确保绝缘材料的均匀性和紧密性,以减少电场强度在绝缘层界面的集中。在质量控制方面,需建立完善的检测体系和质量控制标准。通过对关键工序和成品进行严格检测,可以及时发现并纠正制造过程中的质量问题。还需对检测数据进行统计分析,以便及时发现潜在的质量问题和改进方向。另外,还需加强对制造人员的培训和考核,提高他们的质量意识和操作技能水平,从而确保制造工艺和质量控制得到有效执行。

3 750kV 网侧换流变压器绝缘系统性能评估

3.1 绝缘电阻测试

绝缘电阻测试是评估750kV网侧换流变压器绝缘系统性能的基础方法之一。绝缘电阻是衡量绝缘材料或绝缘系统阻止电流通过能力的物理量,其大小直接反映了绝缘材料的绝缘性能和绝缘系统的完整性。绝缘电阻测试通常使用兆欧表(高阻计)进行,测试过程中需将变压器的高压端与低压端、接地端分别隔离,并施加一定

的直流电压。通过测量流过绝缘材料的电流,可以计算出绝缘电阻的数值。测试过程中,需注意保持测试环境的稳定,避免温度变化、湿度变化等因素对测试结果的影响。绝缘电阻的测试结果不仅与绝缘材料的种类、厚度、湿度等因素有关,还与变压器的设计、制造工艺以及运行环境等密切相关。在评估绝缘电阻测试结果时,需结合变压器的实际情况进行综合判断。若绝缘电阻数值过低,可能表明绝缘材料受潮、老化或存在缺陷,需及时采取措施进行处理。

3.2 局部放电测试

局部放电测试是评估750kV网侧换流变压器绝缘系统性能的重要手段之一。局部放电是指在绝缘系统内部或表面发生的局部放电现象,其产生原因可能包括绝缘材料内部的微小缺陷、电场分布不均匀、制造工艺不良等。局部放电不仅会导致绝缘材料的性能下降,还可能引发变压器故障,甚至引发火灾等严重后果。局部放电测试通常使用局部放电测试仪进行,测试过程中需将变压器的高压端施加一定的交流电压,并监测绝缘系统内部的放电信号。通过分析放电信号的波形、幅值、相位等参数,可以判断局部放电的类型、位置和严重程度^[3]。测试过程中,需注意保持测试环境的稳定,避免外界干扰对测试结果的影响。局部放电测试结果的准确性取决于测试仪器的精度、测试方法的合理性以及测试人员的操作技能。在进行局部放电测试时,需选择高精度、高灵敏度的测试仪器,并严格按照测试方法进行操作。还需对测试结果进行综合分析,结合变压器的实际情况进行判断,以确保评估结果的准确性和可靠性。

3.3 介质损耗因数测试

介质损耗因数测试是评估750kV网侧换流变压器绝缘系统性能的关键方法之一。介质损耗因数测试通常使用介质损耗因数测试仪进行,测试过程中需将变压器的高压端施加一定的交流电压,并测量流过绝缘材料的电流和电压的相位差。通过计算相位差与电压、电流的比值,可以得到介质损耗因数的数值。测试过程中,需注意保持测试环境的稳定,避免温度变化、频率变化等因素对测试结果的影响。介质损耗因数的测试结果对于评估绝缘系统的性能具有重要意义,若介质损耗因数过大,可能表明绝缘材料存在老化、受潮或缺陷等问题,需及时采取措施进行处理。介质损耗因数的大小还直接影响到变压器的运行效率和能耗,因此,在变压器的设计和制造过程中,需严格控制介质损耗因数的大小,以提高变压器的运行效率和节能性能。

3.4 热工性能测试

热工性能测试是评估750kV网侧换流变压器绝缘系统性能的重要方面之一。在高压、大电流的运行环境下，变压器会产生大量的热量，若绝缘系统的散热性能不佳，可能导致绝缘材料温度升高，进而引发绝缘性能下降、材料老化等问题。因此对绝缘系统的热工性能进行测试和评估具有重要意义。热工性能测试通常包括温升测试、热分布测试等。温升测试是指测量变压器在运行过程中绝缘材料的温度升高情况，以评估其散热性能。热分布测试则是通过测量变压器内部各部位的温度分布情况，以评估其热设计的合理性。测试过程中，需使用高精度的温度传感器和测试仪器，并严格按照测试方法进行操作。热工性能测试的结果对于评估绝缘系统的热工性能具有重要意义，若温升过高或热分布不均匀，可能表明绝缘系统的散热性能不佳或热设计不合理，需及时采取措施进行改进。热工性能测试的结果还可以为变压器的运行和维护提供重要参考，以确保其安全稳定运行。

3.5 长期运行可靠性评估

长期运行可靠性评估是评估750kV网侧换流变压器绝缘系统性能的综合方法。在变压器的长期运行过程中，绝缘系统会受到各种因素的影响，如温度、湿度、电场强度、机械应力等。长期运行可靠性评估通常包括绝缘材料的老化评估、绝缘系统的故障率分析、运行维护记录的分析等。老化评估是通过分析绝缘材料的物理、化学性能变化，以评估其剩余寿命和性能稳定性。故障率分析则是通过统计变压器的故障数据和运行时间，以评估绝缘系统的故障概率和可靠性水平。运行维护记录的分析则是通过分析变压器的运行和维护记录，以评估其运行状况和维护效果^[4]。长期运行可靠性评估的结果对于指导变压器的运行和维护具有重要意义，通过评估结果，可以及时发现绝缘系统存在的问题和潜在风险，并采取相应的措施进行处理。评估结果还可以为变压器的设计和制造提供重要参考，以提高其可靠性和使用寿命。在750kV高压环境下，对绝缘系统的长期运行可靠性进行评估尤为重要，以确保变压器的安全稳定运行和电网的可靠供电。

4 750kV 网侧换流变压器绝缘系统优化与改进

750kV网侧换流变压器作为电力系统中至关重要的设备，其绝缘系统的性能直接关系到整个电网的安全稳定运行。针对当前绝缘系统可能存在的不足，进行了一系列优化与改进。首先，在绝缘材料的选择上，引入了更高性能、更耐老化的新型绝缘材料，以提升绝缘系统的整体绝缘强度和耐热性能。其次，在绝缘结构设计上，采用了更先进的电场分布优化技术，通过精确计算和分析，减少电场强度在绝缘层界面的集中，从而降低局部放电的风险。同时，还对制造工艺进行了升级，加强对原材料质量的控制和制造工艺的精细度，确保绝缘系统在制造过程中的质量稳定性和一致性。另外，还增加对绝缘系统的热工性能测试和长期运行可靠性评估，以便及时发现潜在问题并采取措施进行改进。通过这些优化与改进措施，显著提升了750kV网侧换流变压器绝缘系统的性能，确保其在高压、大电流环境下的安全稳定运行，为电网的可靠供电提供有力保障。

结束语

综上所述，750kV网侧换流变压器绝缘系统的设计与性能评估是确保其安全稳定运行的关键。通过精确的设计计算和全面的性能评估，可以有效识别并解决绝缘系统存在的问题，提升其整体性能。未来，随着技术的不断进步和电网需求的日益增长，将继续深化对绝缘系统的研究，推动其向更高效、更可靠的方向发展，为电力系统的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]程锦,钟义,兰孝富.一起750KV变压器内部故障分析与处理[J].高压电器, 2016(2):200-204.
- [2]王毛,李雨轩,郑城市,等.电力变压器的在线状态监测技术分析[J].集成电路应用, 2023, 40(5):206-207.
- [3]刘旭东,郑文良,李辉,等.电力变压器局部放电UHF监测技术研究[J].沈阳理工大学学报, 2021, 40(6):5-7.
- [4]冯利君,王克胜,原帅,高晋文,姚兆民,赵彦平.换流变压器有载调压开关控制策略分析及优化[J].变压器,2021, 58(10):7-12.