

变电设备绝缘性能检测与寿命预测方法研究

蒋永军 李 毅

国网河南省电力公司浉池县供电公司 河南 三门峡 472000

摘 要：变电设备作为电力系统的关键组成部分，其绝缘性能直接关系到电网的安全稳定运行。绝缘性能检测与寿命预测是变电设备维护与管理的重要环节，对于预防故障、保障供电可靠性具有重要意义。本文综述了变电设备绝缘性能检测的方法与技术，并探讨了变电设备寿命预测的方法与应用，旨在为变电设备的安全运行提供理论支持和实践指导。

关键词：变电设备；寿命预测；绝缘性能检测

引 言

随着电力系统的不断发展，变电设备在电网中的作用日益凸显。绝缘性能作为变电设备的重要性能指标，其好坏直接影响到设备的运行稳定性和安全性。因此，开展变电设备绝缘性能检测与寿命预测方法研究，对于提高设备运行效率、降低故障率具有重要意义。

1 变电设备绝缘性能检测方法

1.1 绝缘电阻测量法

绝缘电阻测量法作为最基本且广泛应用的绝缘监测方法，其核心原理是通过施加直流电压于设备或线路的绝缘部分，测量其电阻值来评估绝缘性能的优劣。这一方法简单有效，能够直观反映绝缘材料阻止电流泄漏的能力。在实际操作中，常用的测量工具是兆欧表（也称高阻计），它能够提供足够的电压范围以确保测量的准确性。进行测量时，务必确保电源已断开，以避免电流对测量结果的干扰，并且被测对象应处于干燥、清洁的状态，以消除外界因素对测量结果的影响。通过绝缘电阻测量法，我们可以及时发现设备绝缘存在的潜在问题，如裂纹、受潮或老化等，从而采取相应的维护措施，确保变电设备的安全稳定运行。

1.2 泄漏电流监测法

泄漏电流是指在正常工作电压下，设备绝缘部分存在的微小电流，这部分电流会通过绝缘材料流向大地。泄漏电流的大小直接反映了设备绝缘的完整性和性能状态，因此，通过监测泄漏电流的大小，我们可以间接评估设备的绝缘状况。泄漏电流监测法作为一种非破坏性的检测方法，被广泛应用于高压设备和线路的绝缘监测中。这是因为高压设备在运行过程中，其绝缘部分承受着巨大的电场强度，一旦绝缘出现缺陷或老化，就可能导致泄漏电流的增加。通过定期监测泄漏电流的变化，可以及时发现绝缘性能的下降，从而采取必要的维护措

施，防止设备发生故障或事故。在进行泄漏电流监测时，需要使用专门的泄漏电流测试仪，该仪器能够准确测量设备绝缘部分的泄漏电流值，并提供实时的数据记录和分析功能。同时，为了确保测量的准确性，测量时应在设备正常运行状态下进行，并避免外界因素对测量结果的干扰^[1]。

1.3 介质损耗角正切监测法

介质损耗角正切（ $\tan\delta$ ）是一个用来衡量介质在交流电场中损耗能量的物理量，它直接反映了介质材料的绝缘性能。在电容型设备中，如电容式电压互感器、电容式套管等，绝缘材料作为电介质，其介质损耗角正切值的大小对于设备的正常运行至关重要。介质损耗角正切监测法通过测量设备在特定电压和频率下的介质损耗角正切值，来评估其绝缘性能的优劣。当设备的绝缘性能良好时，介质损耗角正切值较小，表示电介质在交流电场中的损耗能量较少；而当绝缘性能下降，如存在受潮、老化或裂纹等缺陷时，介质损耗角正切值会增大，表明电介质在交流电场中的损耗能量增加。该方法具有测量准确、操作简便、非破坏性等优点，因此被广泛应用于电容型设备的绝缘监测中。通过定期测量设备的介质损耗角正切值，并与其历史数据进行比较，可以及时发现绝缘性能的下降趋势，为设备的维护和检修提供有力的依据。此外，介质损耗角正切监测法还可以与其他绝缘监测方法相结合，如绝缘电阻测量法、泄漏电流监测法等，以更全面地评估设备的绝缘状况。介质损耗角正切监测法是一种有效、可靠的绝缘监测方法，对于保障电容型设备的安全稳定运行具有重要意义。

1.4 局部放电监测法

局部放电是指在设备绝缘内部或表面发生的微小放电现象，这种放电往往由于绝缘材料中的局部电场强度过高、材料不均匀或存在缺陷（如气泡、裂纹、杂质

等)而引发。尽管局部放电的规模较小,但其长期存在和逐渐发展会加速绝缘材料的老化和劣化,最终可能导致设备绝缘性能的严重下降,甚至引发设备故障。为了及时发现并处理这些潜在缺陷,局部放电监测法应运而生。该方法通过高灵敏度的传感器和监测设备,捕捉并分析设备绝缘中产生的局部放电信号。这些信号包含了放电的幅值、频率、相位等信息,通过对这些信息的分析,可以判断绝缘材料中存在缺陷的位置、类型和严重程度。局部放电监测法通常被广泛应用于高压电机、变压器、电缆等高压设备的绝缘监测中。这些设备在电力系统中扮演着至关重要的角色,其绝缘性能的可靠性直接关系到电网的安全稳定运行。通过定期或实时的局部放电监测,可以及时发现并处理设备绝缘中的潜在缺陷,从而有效预防设备故障的发生,保障电力系统的安全稳定运行。

1.5 在线绝缘监测仪法

在线绝缘监测仪是一种高度智能化的设备,能够实时、准确地监测设备的绝缘状况。它通过内置的传感器,实时采集设备的绝缘电阻、泄漏电流等关键参数,并运用先进的数据处理技术对这些参数进行分析和处理。这种监测方式不仅提高了监测的准确性和可靠性,还大大缩短了故障发现的时间。在线绝缘监测仪具备实时监测功能,能够随时反映设备的绝缘状态,为运行人员提供即时的数据支持。同时,它还具备预警和报警功能,当监测到设备的绝缘参数出现异常或达到预设的阈值时,会及时发出预警或报警信号,提醒运行人员采取相应的措施,防止故障的发生或扩大。在线绝缘监测仪的广泛应用,使得设备的绝缘故障能够得到及时发现和处理,大大提高了设备的安全性和可靠性。同时,它也为设备的维护和检修提供了有力的数据支持,有助于制定更加科学合理的维护计划,延长设备的使用寿命。

1.6 红外热成像监测法

红外热成像技术是一种先进且非接触式的无损检测技术,它利用物体表面温度分布来深入反映其内部的热状态。这项技术通过高灵敏度的红外热成像仪对被测对象进行全面扫描,能够迅速且准确地获取其表面的温度分布图像。这些图像以直观的色彩或灰度级别展示,使得检测人员能够一目了然地观察到设备各部位的温度差异。在变电设备的监测中,红外热成像技术发挥着举足轻重的作用^[2]。根据获取的温度分布图像,检测人员可以细致地分析设备表面的温度状况,从而判断设备是否存在局部过热现象。局部过热往往是设备内部故障或异常的前兆,如接触不良、电流过大或散热不良等问题,这

些都可能导致设备损坏或引发安全事故。因此,及时发现并处理局部过热问题对于保障设备的正常运行至关重要。此外,红外热成像监测法还能有效检测设备的绝缘损坏情况。绝缘材料在长时间运行或受到外界因素影响下,可能会逐渐老化、受潮或破损,导致其绝缘性能下降。这种绝缘损坏往往会导致设备表面温度分布异常,如局部温度升高或温度梯度增大等。通过红外热成像仪的监测,检测人员可以及时发现这些温度异常,进而对设备的绝缘状态进行评估和维修,防止因绝缘损坏而引发的严重故障。

1.7 超声波监测法

超声波监测法是一种非侵入式、高效且准确的设备绝缘监测技术。它利用超声波传感器,能够敏感地捕捉到设备内部因放电或机械振动而产生的超声波信号。这些信号往往蕴含着设备绝缘状态的重要信息,是评估设备绝缘性能的关键指标。在超声波监测过程中,传感器将接收到的超声波信号转换为电信号,并传递给数据分析系统。系统通过对这些信号进行频谱分析、时域分析以及特征提取等处理,可以准确地识别出信号中的异常成分,从而判断设备绝缘是否存在缺陷。例如,当设备内部存在局部放电现象时,会产生特定频率的超声波信号,通过分析这些信号的特征,可以定位放电点的位置,并评估放电的严重程度。超声波监测法特别适用于高压开关柜、变压器等设备的绝缘监测。这些设备在运行过程中,由于电压高、电流大,绝缘系统承受着巨大的压力。一旦绝缘出现缺陷,如裂纹、气泡或老化等,都可能引发局部放电或机械振动,进而产生超声波信号。通过超声波监测法,可以及时发现这些潜在问题,为设备的维护和检修提供有力支持。此外,超声波监测法还具有操作简便、监测范围广、对设备无损伤等优点。它可以在设备正常运行的情况下进行监测,无需停电或拆卸设备,大大提高了监测的效率和准确性。因此,超声波监测法在电力设备绝缘监测领域具有广泛的应用前景。

2 变电设备寿命预测方法

2.1 基于数据统计的寿命预测方法

基于数据统计的寿命预测方法是一种依赖于历史运行数据,通过深入统计分析来揭示设备寿命与各种影响因素之间内在联系的预测技术。这种方法的核心在于充分利用已有的数据资源,通过科学的数据处理和分析手段,挖掘出设备寿命变化的规律和趋势。在具体实施过程中,首先需要收集大量变电设备的运行数据,这些数据应涵盖设备的全生命周期,包括投运初期、稳定运行

期以及接近寿命终末期的各个阶段。数据收集完成后,需要进行预处理工作,以去除异常值、填补缺失值,并确保数据的准确性和一致性。接下来,从预处理后的数据中提取关键特征,这些特征应能够反映设备寿命的主要影响因素。例如,对于变压器而言,关键特征可能包括运行时间、负载率、环境温度、油质状况等。这些特征的选择应基于设备的物理特性和运行机理,以确保预测模型的准确性和可靠性。在特征提取完成后,利用统计模型进行寿命预测。常用的统计模型包括线性回归、时间序列分析、生存分析等。线性回归模型可以揭示设备寿命与各个特征之间的线性关系;时间序列分析模型则可以考虑时间因素对设备寿命的影响,捕捉寿命变化的动态趋势;而生存分析模型则适用于处理设备寿命数据中的截尾和删失问题,提供更加准确的寿命估计。

2.2 基于机器学习的寿命预测方法

随着大数据和人工智能技术的迅猛崛起,基于机器学习的寿命预测方法已逐渐成为研究领域的热点和前沿。这种方法摒弃了传统统计模型的局限性,通过训练先进的机器学习模型,如神经网络、支持向量机、随机森林等,来自动学习和捕捉数据中的复杂、非线性模式,从而实现对设备寿命更加精确和可靠的预测。在变电设备寿命预测中,以变压器剩余寿命预测为例,基于机器学习的预测方法展现出了强大的优势。首先,通过收集变压器的大量历史运行数据,包括运行时间、负载率、环境温度、油质状况以及故障记录等,构建了一个全面的数据集。然后,利用深度学习模型,如卷积神经网络(CNN)和Transformer网络,对这些数据进行深层次的特征提取和模式识别。卷积神经网络(CNN)以其强大的局部特征提取能力著称,能够自动学习数据中的空间结构和时间序列特征,对于变压器运行数据中的微小变化和异常波动具有极高的敏感性。而Transformer网络则通过自注意力机制,能够捕捉数据中的长距离依赖关系,对于变压器寿命预测中的复杂非线性关系具有出色的建模能力。通过训练这些深度学习模型,我们可以得到一个能够准确预测变压器剩余寿命的预测模型。该模型不仅能够考虑多种影响因素的综合作用,还能够自动调整模型参数以适应不同设备和运行环境的差异,从而实现更加个性化和精确的寿命预测。此外,基于机器学习的寿命预测方法还具有高度的可扩展性和适应性。

随着新数据的不断涌入和模型的不断训练,预测模型的准确性和可靠性将不断提升。同时,这种方法还可以应用于其他变电设备的寿命预测,如开关设备、互感器等,为电力系统的设备管理和维护提供更加全面和科学的支持^[3]。

2.3 特定设备寿命预测实例

电力变压器是电力系统的核心设备,其绝缘寿命的准确预测对系统稳定运行至关重要。绝缘寿命主要受绝缘材料老化和运行环境影响。绝缘材料老化是绝缘寿命衰减的主要原因,随运行时间增长,在电、热、机械应力作用下逐渐发生化学和物理变化,性能下降。可通过测量绝缘油中糠醛含量和绝缘纸聚合度来评估老化程度,糠醛含量与绝缘纸老化程度正相关,聚合度随老化降低。在评估绝缘状态基础上,结合运行历史、维护记录等信息,利用数据挖掘和机器学习技术建立寿命预测模型。收集运行数据如负载率、环境温度、油质状况等,以及维护记录如检修次数、更换部件等。通过数据挖掘预处理和特征提取,利用机器学习算法如支持向量机、随机森林或深度学习模型等建立预测模型。训练模型学习绝缘寿命与影响因素的复杂关系,实现准确预测,为变压器维护和管理提供科学依据,延长使用寿命,确保电力系统稳定运行。

结束语

变电设备绝缘性能检测与寿命预测是保障电网安全稳定运行的重要手段。通过综合运用多种绝缘性能检测方法,可以全面评估设备的绝缘状况。同时,结合数据统计和机器学习技术,可以实现对变电设备寿命的精确预测。未来,随着技术的不断进步,变电设备绝缘性能检测与寿命预测方法将更加智能化、自动化,为电力系统的安全运行提供更加有力的支持。

参考文献

- [1]杜林.变电一次设备故障预测及检修方法研究[J].电子世界,2020(24):53-54.
- [2]张丹.浅谈变电站接地装置常见问题及其运行的技术维护[J].中国新技术新产品,2014(24):42.
- [3]臧其贤,热孜万古丽·托呼提.电力变压器局部放电带电检测及定位技术研究[J].科技经济导刊,2017(20):41+38.