

Research on the Insulation Performance Test Technology of High-voltage Electrical Equipment

Xiaodong Dong Haibo Yu Dongbo Wang Xin Zhou Weinan Sun

Jiangsu Power Transmission and Transformation Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract

As an indispensable part of the power system, the insulation performance of high voltage electrical equipment is directly related to the safe and stable operation of the power system. This paper expounds the basic concept of insulation performance of high voltage electrical equipment, deeply analyzes the importance of insulation performance of high voltage electrical equipment, and discusses the insulation resistance test technology, dielectric loss factor test technology, local discharge detection technology and ac voltage test technology and so on four main insulation performance test technology. Through the comprehensive evaluation of the principle, application, advantages and disadvantages of these technical methods, this paper aims to provide scientific basis and technical support for the detection and evaluation of the insulation performance of high voltage electrical equipment, and to provide a strong guarantee for the safe and stable operation of the power system.

Keywords

high voltage electrical equipment; insulation performance; insulation resistance test; dielectric loss factor test; partial discharge test

高压电气设备的绝缘性能试验技术研究

董晓崇 于海波 王栋博 周鑫 孙伟楠

江苏省送变电有限公司, 中国·江苏 南京 210000

摘要

高压电气设备作为电力系统中不可或缺的重要组成部分,其绝缘性能直接关系到电力系统的安全稳定运行。论文系统阐述了高压电气设备绝缘性能的基本概念,深入分析了绝缘性能对高压电气设备的重要性,并详细探讨了绝缘电阻测试技术、介质损耗因数测试技术、局部放电检测技术以及交流耐压试验技术等四种主要的绝缘性能试验技术方法。通过对这些技术方法的原理、应用及优缺点进行综合评估,论文旨在为高压电气设备的绝缘性能检测与评估提供科学依据和技术支持,为保障电力系统的安全稳定运行提供有力保障。

关键词

高压电气设备; 绝缘性能; 绝缘电阻测试; 介质损耗因数测试; 局部放电检测

1 引言

随着电力工业的快速发展,高压电气设备在电力系统中的应用越来越广泛,其绝缘性能的好坏直接关系到电力系统的安全稳定运行。因此,对高压电气设备的绝缘性能进行定期检测和评估,及时发现并处理潜在的绝缘缺陷,是确保电力系统安全稳定运行的重要措施。论文将从高压电气设备绝缘性能的基本概念出发,深入探讨其重要性及相关的试验技术方法,以期为电力设备的安全运行提供有力保障

2 高压电气设备绝缘性能概述

2.1 高压电气设备的基本分类与功能

高压电气设备种类繁多,功能各异,但根据其基本结

构和用途,可以大致分为以下几类:电力系统中,变压器用于电压等级的转换,开关设备负责开启或关闭电路,电容器则用于功率因素的校正;在电力系统中,变压器依据电磁感应原理,实现电能由一个电压等级向另一个电压等级的转换,从而适应各种不同的用电需求。电力系统中,用于调控及保障安全的设备,主要包括断路器、隔离开关和负荷开关等,它们通过控制电路的连通与断开,实现了电力系统的灵活管理以及故障的及时切除。互感器在电力系统中扮演着关键角色,主要用于测量电流和电压,其功能在于转换电流或电压的幅值与相位,从而实现了对电力系统参数的精确监测。避雷器在电力系统中扮演着重要角色,其功能在于吸收或释放过电压能量,从而避免电气设备因过电压而遭受损坏。电容器则主要用于电力系统的无功补偿,通过在电力系统中提供或吸收无功功率,从而优化功率因数,进而提升电能品质^[1]。

【作者简介】董晓崇(1988-),男,中国黑龙江哈尔滨人,本科,高级工程师,从事电力工程技术研究。

2.2 绝缘性能对高压电气设备的重要性

绝缘性能是高压电气设备的重要性能指标之一，该性能的优劣直接影响设备的运行稳定性和可靠性。在电力系统运行过程中，良好的绝缘性能有效避免漏电、短路等故障的发生，保障系统的安全稳定。设备的绝缘性能优劣直接影响其使用年限及后续维护的经济开销，设备的绝缘性能若未达到标准，将造成设备频繁出现故障，进而提高维修的经济成本，并可能在某些情况下导致严重的安全事件。

随着电力系统电压等级的不断提升和规模的持续扩大，对高压电气设备绝缘能力的需求也日益增强。在当前电力系统领域，为了满足现代电力系统对绝缘材料和绝缘结构的需求，对新型绝缘材料及结构的研究与开发变得尤为重要，其目的是提升高压电气设备的绝缘性能^[2]。

3 高压电气设备绝缘性能试验技术方法

3.1 绝缘电阻测试技术

在高压电气设备的绝缘性能评估过程中，绝缘电阻测试技术是不可或缺的关键环节。借助欧姆定律，此技术通过电阻值的测量，对设备绝缘部分的性能优劣进行评估。绝缘电阻值，既表征了绝缘材料的特性，又直接映射出设备绝缘部分的耐压能力，因此，它是评估设备绝缘状况的关键指标。

在实践操作过程中，常以兆欧表作为测量绝缘电阻的专用仪器。在进行测试过程中，兆欧表的两端分别与被测设备的绝缘部位及接地设施相接，以此构建一个闭合的测试回路。使用兆欧表进行测量后，设备会自动计算得出绝缘电阻的数值，在实施测试时，保持环境的稳定是关键，因为诸多外部条件，诸如温度和湿度等，能够对测试结果产生影响，在进行绝缘电阻表测定过程中，需保持环境的稳定性，排除各种外部干扰影响。

此外，测试时间的控制也是确保测量结果准确性的关键因素。测试时长对绝缘电阻的测量结果有显著作用，因为绝缘材料在持续受到电压作用时，可能出现极化效应，进而引起电阻值的变动。在进行绝缘电阻测试过程中，需依据所测试设备的类型及具体测试要求，合理调控测试的时长，保障测量结果的精确度。

尽管绝缘电阻测试技术具有操作简单、易于实现的优点，但其局限性也不容忽视。若设备出现分布性缺陷或潮湿等问题，其绝缘电阻值的测量准确性可能遭受显著影响，绝缘电阻测试所能呈现的，仅仅是设备绝缘组件在静止状态下的性能表现，它并不能对设备的动态性能给出一个全面的评价。为了对设备绝缘状况进行精确评估，在现实运用时，必须将多种试验技术手段（如介质损耗因素测量、局部放电监测等）予以整合，进而施行全面评述。

3.2 介质损耗因数测试技术

高压电气设备的绝缘性能评估领域，介质损耗因数测试技术起到了至关重要的作用，利用此技术可以精确测定交

流电压下设备绝缘部分的介质损耗因数，为工作人员评估其绝缘性能的好坏提供了关键数据。介质损耗因数是衡量绝缘材料性能及其在交流电压下能量损耗状态的关键指数，它直接影响设备绝缘部分的性能表现。

在具体实施过程中，对介质损耗因数的测定往往依赖于专门的测试设备，即介质损耗因数测试仪。在实施检测时，检测设备的两端分别接入被测物的绝缘构件和供电线路，由此形成闭合的检测回路，在启动测试装置之后，该装置将独立执行测量工作，并自行得出介质损耗因素的具体数值。在电压波动被严格控制的前提下，对测试环境的净化处理，是防止灰尘和湿度等杂质影响测量准确性的关键措施。在实验过程中，对测试频率进行精确操控，是确保实验结果可靠性的关键环节，为了确保测量数据的准确性及可靠性，需依据设备种类与测试规范，恰当地选择与控制频率变量^[3]。

例如，采用正接法开展介质损耗因数测试如图1所示。

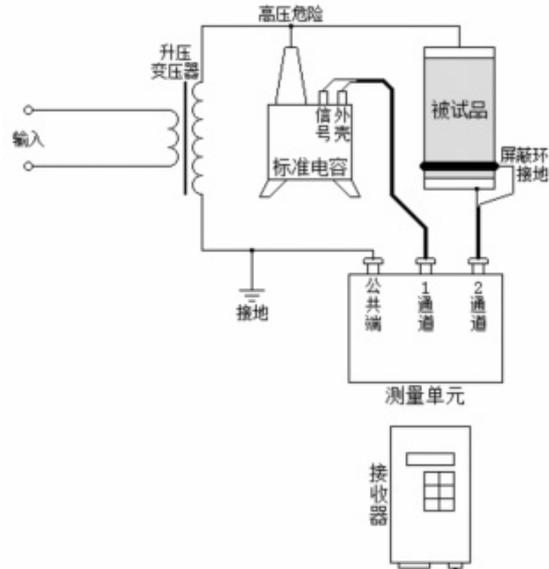


图1 正接法开展介质损耗因数测试图

测试技术涉及对介质损耗因数的评估，该技术能够评价设备绝缘组件在动态条件下的性能，涵盖能量损耗和电容变化等关键指标。这项技术能够揭示设备绝缘组件在交流电压影响下的非线性行为，从而为深入探究设备绝缘性能提供了重要依据。然而，该方法也存在一定的局限性。若设备出现如局部放电等瑕疵，其介质损耗因数将受到明显变动，进而可能引起测量数据的准确性下降。在进行介质损耗因数测试时，必须对测试环境和设备提出高标准要求，以便精确控制测试条件，从而确保测量结果的精确可靠。

3.3 交流耐压试验技术

交流耐压试验技术是在高压电气设备的绝缘性能评估中，一项关键而直接的技术手段。采用此技术手段，对电子产品施加超出标准电压的交变电压，模拟真实运行条件下电子产品所承受的电压状况，以此来判定其绝缘能力的强弱。

绝缘性能的检测,通过高电压环境下的交流耐压试验进行,这对评估设备在高电压下稳定工作的能力至关重要^[4]。

交流耐压测试通常采用专门的测试设备来进行,该设备是测试过程中的关键工具,实施加压测试时,需将测试仪的输出接口与设备输入接口相连,确保预设的电压和时间条件下进行。在实施检测时,必须持续跟踪设备的工作状况及测试结果的演变,以便及时发现并处理潜在的绝缘缺陷。在进行测试时,必须关注安全措施的制作与执行,同时,应急处理预案的拟定与落实也是关键环节。

交流耐压试验技术显著优势是直观展现设备绝缘在高电压影响下的稳定性和承压能力,确保设备运行安全。通过该技术手段,能够促进绝缘组件的退化过程,进而加快潜在缺陷的揭示与应对,然而,该方法也存在一定的局限性。若设备存在严重缺陷或者已经严重老化,进行交流耐压试验可能会引发设备损坏或者加剧故障。在交流耐压试验开展之前,必须对设备绝缘能力进行预先审查,以保障试验的安全性和结果的有效性,在实施过程中,应严格监管实验环境及操作步骤,防止操作失误引发的安全事件。

3.4 局部放电检测技术

局部放电检测技术是高压电气设备绝缘性能检测中一

种重要且有效的方法。运用此种技术手段,对承受高压电场时,设备绝缘体所产生的局部放电现象进行侦测,以此判定绝缘体性能的优劣。局部放电现象,是在高压电场影响下,由于电场分布不均匀或绝缘材料内部缺陷,在设备的绝缘部分产生的。

局部放电检测技术所需要使用的附件如图2所示。

局部放电的探测过程中,超声波检测仪和电磁辐射检测仪等设备非常重要。在设备邻近或内置检测设备,通过捕获与分析由局部放电产生的超声波或电磁波信号,实现对局部放电位置及强度的鉴定,此外,能够配合诸如红外热成像等其他检测方法,进行全方位的评判。

利用局部放电检测技术,可以有效地监测并精确识别设备绝缘体的缺陷部位,从而为维修保养工作提供重要的技术支撑。通过该技术手段,可以揭示设备绝缘在强大电场影响下的实时动态特性和稳定性水平,然而,所采取的策略并非毫无缺陷,其制约因素是显而易见的。在设备含有繁复构造与独特材质的情况下,对其进行的局部放电现象的侦测及解析,或许会遭遇诸多挑战,局部放电检测作为一种技术手段,对设备和操作人员的技能水平提出了高标准,测试环境的控制与操作步骤的精准执行至关重要。



图2 局部放电检测技术所需要使用的产品附件

4 结语

高压电气设备的绝缘性能是电力系统安全稳定运行的重要保障。论文深入探讨了高压电气设备的绝缘性能试验技术,包括绝缘电阻测试技术、介质损耗因数测试技术、局部放电检测技术以及交流耐压试验技术四种主要方法。每种方法都有其独特的原理和应用场景,能够全面评估设备绝缘性能的优劣。然而,各种方法也存在一定的局限性和挑战,需要在实际应用中结合具体情况进行选择和优化。

参考文献

- [1] 刘建超.高压电气设备检修试验中的问题与对策探讨[J].内蒙古煤炭经济,2023(17):175-177.
- [2] 林灏凡.关于高压电气设备的绝缘预防性试验研究[J].电子测试,2022(19):132-134.
- [3] 吴应宁.高压电气设备绝缘性能检测及注意事项[J].农村电气化,2021(7):75-76.
- [4] 谢勇.关于高压电气设备的绝缘预防性试验研究[J].现代工业经济和信化,2020,10(9):126-127+137.