

电力变压器电气高压试验技术分析

裴子瑞 王旭东 李思聪 杨生睿 马 乾
 华能平凉发电有限责任公司 甘肃 平凉 744000

摘 要：电力变压器作为电力系统核心设备，其性能直接影响电网稳定运行。电气高压试验是保障变压器安全可靠运行的重要手段，涵盖绝缘电阻、介质损耗、直流电阻及局部放电等多项测量技术。通过对这些技术要点剖析，深入探讨试验中环境因素干扰、设备误差及局部放电试验干扰等常见问题，并针对性提出控制环境、规范操作与综合抗干扰等解决策略，为提升电力变压器电气高压试验准确性与可靠性提供技术支撑。

关键词：电力变压器；电气高压；试验技术

引言

在现代电力系统中，电力变压器承担着电能传输与分配的关键任务，其运行状态关乎整个电网的安全稳定。电气高压试验作为评估变压器绝缘性能、电气参数的核心手段，对保障设备安全运行意义重大。本文围绕电力变压器电气高压试验技术展开分析，详细阐述绝缘电阻、介质损耗等测量技术要点，深入探讨试验中常见问题，旨在为电力行业从业者提供优化试验流程、提升试验精度的理论与实践参考。

1 电力变压器电气高压试验概述

电力变压器作为电力系统的核心设备，其运行状态直接影响电网的安全稳定。电气高压试验通过模拟变压器在实际运行中可能面临的各种高电压工况，对变压器绝缘性能、电气参数及机械结构进行全面检测，是保障其安全可靠运行的关键技术手段。试验过程需综合运用多种测试方法，通过精确测量和分析试验数据，及时发现变压器潜在缺陷，避免因设备故障导致电力供应中断。绝缘试验是电气高压试验的重要组成部分，包括工频耐压试验、感应耐压试验、局部放电试验等。工频耐压试验采用接近变压器实际运行电压频率的交流电源，对变压器绕组及绝缘部件施加一定时间的高电压，检验其承受长期工作电压和操作过电压的能力；感应耐压试验则通过提高试验电压频率，在不增加试验容量的情况下，对变压器主、纵绝缘进行考核；局部放电试验利用高频传感器捕捉变压器内部因绝缘缺陷产生的局部放电信号，通过分析放电量、放电相位等参数，判断绝缘缺陷的性质和严重程度。电气特性试验侧重于变压器电气参数的测量，如直流电阻测试、变比测试、短路阻抗测试等。直流电阻测试通过测量绕组直流电阻值，可判断绕组是否存在焊接不良、匝间短路等问题；变比测试用于验证变压器各绕组间的电压比是否符合设计要求；短

路阻抗测试则反映变压器绕组的结构参数和磁路特性，为变压器运行和继电保护整定提供重要依据。这些试验项目相互补充，从不同角度对变压器性能进行评估，为电力变压器的安装验收、运行维护及状态检修提供科学准确的数据支撑，确保其在电力系统中安全、高效运行。

2 电力变压器电气高压试验技术要点

2.1 绝缘电阻测量技术

（1）绝缘电阻测量是评估电力变压器绝缘性能的基础手段。运用兆欧表进行测量时，需依据变压器电压等级精准选择适配的兆欧表。以常见的三相变压器为例，将兆欧表“线路”接线柱（L）与被测绕组相连，“接地”接线柱（E）与变压器外壳或铁芯可靠接地。在测量过程中，匀速摇动兆欧表，维持转速在约120转/分，待指针稳定后读取数值，此数值即为该绕组的绝缘电阻值。

（2）测量前，务必将变压器的所有电源连线断开，并对绕组充分放电，以规避残余电荷干扰测量结果。需擦拭干净变压器绝缘表面，防止表面脏污和湿度影响测量准确性。例如在湿度较大的环境中，绝缘物表面吸附水分形成水膜，会显著降低表面电阻，导致测量的绝缘电阻值偏低。（3）不同温度下绝缘电阻差异较大，一般温度升高，绝缘电阻降低。测量时应详细记录环境温度及变压器本体温度，以便后续对不同时期的测量结果进行对比分析时，可通过温度换算尽量消除温度因素造成的影响，从而准确判断变压器绝缘性能的真实状况^[1]。

2.2 介质损耗测量技术

（1）介质损耗测量主要是测定介质损耗角正切值（ $\tan\delta$ ），以此评判变压器绝缘材料在交变电场下的能量损耗情况。采用西林电桥法测量时，将被测变压器绕组与标准电容器接入电桥电路，通过调节电桥电阻和电容，使电桥达到平衡状态。依据平衡条件计算得出的 $\tan\delta$ 值，能直观反映绝缘材料内部的介质损耗程度。（2）测

试电压的选择至关重要,需严格按照变压器额定电压选取合适等级,电压过高可能引发绝缘击穿,电压过低则无法准确激发绝缘材料的介质损耗特性。温度对 $\tan\delta$ 影响显著,在测量过程中应记录并统一测试温度,对于某些对温度敏感的绝缘材料,还需进行温度校正,确保测量结果的准确性。(3)测量前需使用高精度标准电容器对测量仪器进行校准,以消除仪器误差。在高压测试环境下,务必严格做好接地措施,采用屏蔽线连接,防止杂散电容、电感等干扰因素影响测量结果。若测量中发现 $\tan\delta$ 值异常增大,可能预示着绝缘材料老化、受潮或受到污染,需结合其他检测手段进一步综合评估绝缘状态。

2.3 直流电阻测量技术

(1)直流电阻测量用于鉴定变压器绕组导线连接质量。运用电压降法测量时,在被测绕组中通入直流电流,测量绕组两端的电压降,依据欧姆定律 $R = U/I$ 计算直流电阻值。该方法因绕组存在电感,充电时间较长,可能需十几分钟甚至几十分钟才能得出稳定测试值。

(2)电桥法分为单臂电桥和双臂电桥。单臂电桥适用于测量 1Ω 以上电阻,但被测电阻越小,引线电阻造成的误差越大;双臂电桥则能有效消除引线和接触电阻带来的误差,适用于对小电阻进行高准确度测量。例如在测量变压器低压绕组直流电阻时,若对精度要求较高,可选用双臂电桥。(3)在测量过程中,要确保测试线夹子与绕组连接牢固,尤其是大型变压器测试时施加电流较大,若接线不牢易产生电弧,危及人员和设备安全。部分仪器在更换测试相别或档位时,需等待放电结束后操作,防止自感电动势损坏仪器。测量结束时,应先断开检流计按钮再断开电源,避免自感电动势对检流计造成损害^[2]。

2.4 局部放电测量技术

(1)局部放电测量用于检测变压器绝缘系统中局部区域的非贯穿性放电现象。基于脉冲电流法测量时,依据IEC 270标准搭建直测法或平衡法测量回路,利用检测阻抗将局部放电产生的脉冲电流信号转换为电压信号,经传输系统送至测量仪器进行分析,通过测量视在电荷量等参数评估局部放电程度。(2)超高频技术利用微带天线检测300MHz-3GHz频段的局部放电电磁辐射信号,具有较强的抗干扰能力,但设备成本相对较高。声测法通过捕捉20-300kHz频段的超声波来定位局部放电源,然而难以对放电量进行精确量化分析。在实际应用中,可根据现场情况和需求灵活选择合适的测量方法。(3)测量系统需使用已知幅值的模拟脉冲发生器进行校准,以保证测量数据的准确性。在强干扰环境下,可通过平

衡测量电路、选择合适的测量频率和带宽等手段抑制干扰。若测量中发现局部放电异常,如放电量超过规定阈值,需进一步分析放电类型,判断是绕组端部放电、层压绝缘材料内部放电还是其他类型放电,以便针对性地采取维修或更换等措施,保障变压器的安全稳定运行。

3 电力变压器电气高压试验技术常见问题及解决策略

3.1 常见问题

3.1.1 试验结果受环境因素影响大

电力变压器电气高压试验对环境条件极为敏感,环境温度湿度、大气压强、电磁干扰等因素均会显著影响试验结果的准确性。在温度较高的环境下,变压器绝缘介质的分子热运动加剧,导致绝缘电阻降低,泄漏电流增大,使得测量的绝缘性能参数偏离真实值;湿度增加时,水分易吸附在变压器绝缘表面,形成导电通道,进一步降低绝缘电阻,影响试验判断。大气压强的变化同样不可忽视,低气压环境会改变气体介质的放电特性,使局部放电起始电压降低,导致试验结果出现误差。周边复杂的电磁环境产生的电磁干扰,会叠加在试验信号上,干扰测量仪器对微弱电信号的捕捉,使试验数据失真,无法准确反映变压器的真实电气性能,给设备状态评估带来极大困难。

3.1.2 试验设备及接线引入误差

试验设备的精度和稳定性以及接线方式的合理性,直接关系到高压试验数据的准确性。部分试验设备因长期使用,内部元器件老化、性能下降,如分压器的分压比发生偏移,会导致测量的电压值出现偏差;电流互感器的变比误差增大,影响对电流参数的准确测量。试验接线过程中,若接线不牢固、接触不良,会产生接触电阻,改变电路中的电流分布,使测量结果偏离实际值。不同类型的试验设备在组合使用时,若阻抗匹配不当,会造成信号反射和损耗,影响试验信号的传输质量。接线过程中若未遵循正确的布线原则,强电和弱电线路相互干扰,会引入额外的噪声信号,干扰试验数据的采集,使试验结果失去可靠性,无法为变压器的运行维护提供准确依据^[3]。

3.1.3 局部放电试验干扰难以排除

电力变压器局部放电试验是检测设备绝缘状态的重要手段,但试验过程中面临着多种干扰源,严重影响试验结果的有效性。外部干扰方面,高压试验现场周边的高压设备、无线电发射装置等会产生高频电磁干扰,这些干扰信号通过空间辐射或电磁耦合的方式进入局部放电检测系统,其幅值和频率可能与局部放电信号相似,导致检测系统误判。内部干扰主要来自试验回路自身,

如试验电源中的谐波成分、试验设备的局部放电等，这些干扰信号会与变压器内部的局部放电信号混杂在一起，难以区分。局部放电信号本身非常微弱，极易被强大的干扰信号淹没，使得检测系统难以准确捕捉到真实的局部放电信号，无法对变压器的绝缘缺陷进行精准定位和评估，增加了设备绝缘故障诊断的难度。

3.2 解决策略

3.2.1 严格控制试验环境条件

为确保电力变压器高压试验结果的准确性，需对试验环境条件进行严格把控。在试验场地选择上，应优先选择远离强电磁干扰源、通风良好且温湿度相对稳定的区域。试验前，使用高精度的温湿度测量仪器对试验环境进行实时监测，当环境温度超出规定范围时，可通过安装空调设备进行调节，将温度控制在适宜的区间内；对于湿度较高的环境，采用除湿设备降低空气湿度，使湿度满足试验要求。在大气压强方面，可根据试验标准，对试验数据进行大气压强修正，消除因气压变化带来的影响。在试验场地周围设置电磁屏蔽装置，如屏蔽网、屏蔽室等，有效阻隔外部电磁干扰，为试验创造一个稳定、纯净的环境，从而减少环境因素对试验结果的干扰，保证试验数据的真实性和可靠性。

3.2.2 规范试验设备管理与接线操作

规范试验设备管理和接线操作是减少误差、提高试验准确性的关键。对于试验设备，建立完善的设备管理制度，定期对设备进行校准和维护，按照设备使用说明书的要求，对分压器、电流互感器等关键设备进行精度检测，及时更换老化、损坏的元器件，确保设备性能稳定可靠。在试验接线前，仔细检查接线端子和导线，确保连接牢固、接触良好，采用合适的接线工具和工艺，避免因接线松动产生接触电阻。在设备组合使用时，根据试验要求和设备参数，合理选择匹配的试验设备，确保阻抗匹配合理，减少信号传输过程中的反射和损耗。在布线过程中，遵循强弱电分离、高低压分开的原则，对不同类型的线路进行合理布局，采用屏蔽线和滤波装

置，降低线路间的相互干扰，保证试验信号的纯净度和完整性，提高试验数据的准确性。

3.2.3 采用综合抗干扰技术

针对局部放电试验中难以排除的干扰问题，采用综合抗干扰技术是有效解决途径。在硬件方面，优化试验回路设计，选用低噪声、高抗干扰能力的试验设备和检测仪器，提高检测系统对微弱信号的捕捉能力和抗干扰性能。在试验回路中安装滤波装置，如低通滤波器、带通滤波器等，滤除高频干扰信号，保留局部放电信号的有效频段。在软件方面，运用先进的信号处理算法，对采集到的试验信号进行分析和处理，通过数字滤波、小波变换等技术，去除噪声信号，提取局部放电信号的特征参数。采用多传感器联合检测技术，同时采集多个不同位置、不同类型的信号，通过信息融合的方法，综合判断局部放电信号的真实性，有效排除干扰信号的影响，提高局部放电试验的准确性和可靠性，为变压器绝缘状态评估提供有力支持^[4]。

结语

综上所述，电力变压器电气高压试验技术是保障变压器安全稳定运行的重要技术手段。通过对各项测量技术要点的深入分析，以及对常见问题的针对性解决，能够有效提升试验结果的准确性与可靠性。随着电力技术不断发展，电气高压试验技术也需持续创新，未来应进一步探索智能化、高精度的试验技术，为电力系统安全稳定运行筑牢技术防线。

参考文献

- [1]左曦.电力变压器电气高压试验的技术要点分析[J].百科论坛电子杂志,2020(12):1720-1721.
- [2]李燕婷.电力变压器电气高压试验技术分析[J].环球市场,2021(2):212,214.
- [3]温伟,杜莹莹.电力变压器电气高压试验技术分析[J].建筑工程技术与设计,2020(23):3740.
- [4]苻志强.电力变压器电气高压试验技术与要点分析[J].模型世界,2023(27):19-21.