

电力系统中高压电气试验要点研究

王俊杰

苏州苏能集团有限公司新吴城工程分公司 江苏苏州 215100

摘要: 本文聚焦电力系统高压电气试验, 阐述其基本原理, 即通过施加高压检测设备绝缘与电气参数。详细介绍变压器、高压开关设备等主要设备试验要点, 涵盖各环节关键控制点, 包括试验前准备、实施及后处理。探讨技术创新与发展趋势, 如智能化试验技术应用、新型试验方法发展及绿色环保试验技术推进, 为保障电力系统安全稳定运行、推动高压电气试验发展提供参考。

关键词: 电力系统; 高压电气试验; 试验要点

引言

在电力系统中, 高压电气设备的可靠运行是保障电力稳定供应的关键。高压电气试验作为检测设备性能、发现潜在缺陷的重要手段, 其重要性不言而喻。随着电力系统规模扩大与复杂度提升, 对高压电气试验的准确性、安全性与高效性提出更高要求。深入探究高压电气试验要点, 掌握技术创新方向, 对于提升电力系统运行水平、推动电力行业可持续发展具有重要意义。

一、电力系统中高压电气试验的基本原理

高压电气试验是保障电力系统安全稳定运行的关键手段。其基本原理是通过对电力设备施加高于正常工作电压的试验电压, 模拟设备在极端运行条件下的工况, 检测设备绝缘性能、电气参数等是否满足设计要求与运行标准。绝缘性能试验旨在发现设备绝缘存在的缺陷、隐患, 如绝缘老化、受潮、局部放电等, 利用直流耐压、交流耐压、局部放电测量等方法, 依据绝缘材料在电压作用下的特性变化判断绝缘状况^[1]。电气参数试验则聚焦于设备的电阻、电感、电容等参数, 以及断路器的分合闸时间、速度等机械特性, 通过精确测量这些参数, 评估设备性能是否良好, 能否在电力系统中可靠运行, 为电力设备的检修、更换提供科学依据, 确保电力系统安全供电。

二、电力系统主要高压电气设备试验要点

(一) 变压器试验要点

变压器作为电力系统的核心设备, 其运行状态直接影响整个电网的稳定性与安全性, 因此试验要点繁多且至关重要。绝缘电阻和吸收比测量是基础且关键的试验项目, 通过测量不同时间下的绝缘电阻值, 能初步判断

变压器绝缘是否受潮以及是否存在局部缺陷, 为后续深入检测提供方向。直流电阻测试可精准检查绕组焊接质量、分接开关接触情况等, 若绕组焊接不良或分接开关接触电阻过大, 会导致变压器运行时发热, 影响其性能与寿命。变比测试用于验证变压器变比是否符合设计值, 这对于保证变压器并联运行的准确性意义重大, 若变比不一致, 会在并联变压器间产生环流, 增加损耗甚至损坏设备。介电损耗因数测量能反映绝缘整体受潮、劣化及局部缺陷情况。交流耐压试验则是鉴定绝缘强度的最严格方法, 能有效发现集中性缺陷。另外, 油化验也不可或缺, 分析油中气体成分、含水量等, 可综合判断变压器内部状况, 确保其安全稳定运行。

(二) 高压开关设备试验要点

高压开关设备在电力系统中承担着控制和保护电路的重要任务, 其试验关键在于保证其可靠分合闸。绝缘试验是首要环节, 包括绝缘电阻测量、交流耐压试验等。绝缘电阻测量可初步判断开关绝缘是否存在受潮、脏污等问题; 交流耐压试验则能在较高电压下检验开关绝缘的耐受能力, 确保其在运行中绝缘良好, 避免发生绝缘击穿事故。机械特性试验重点测量分合闸时间、同期性、速度等参数, 这些参数直接影响开关切断故障电流的能力以及与保护装置的配合效果。若分合闸时间过长或同期性差, 可能导致故障扩大, 影响电力系统安全。回路电阻测试用于检测导电回路接触是否良好, 接触电阻过大会引发发热故障, 甚至烧毁设备。操动机构试验检查储能、脱扣等性能, 确保在系统故障时能迅速准确动作, 可靠切断电路, 保障电力系统的安全稳定运行。

(三) 感器试验要点

互感器在电力系统中起着测量和保护的关键作用,

其试验围绕准确性与绝缘性展开。绝缘试验是保障互感器安全运行的基础，通过绝缘电阻测量、介质损耗因数测试、交流耐压试验等方法，确保互感器在不同电压等级下绝缘可靠，防止因绝缘故障导致设备损坏或电力系统事故。变比测试用于验证互感器变比误差是否在允许范围内，这对于确保计量与保护的准确性至关重要^[2]。若变比误差过大，会使测量数据不准确，影响电力系统的运行分析和保护动作的正确性。极性试验确定互感器一次与二次绕组极性关系，极性接错会导致保护误动或计量错误，给电力系统带来严重后果。二次绕组直流电阻测量可检查绕组是否存在断线、短路等故障，保证互感器正常运行，为电力系统测量、保护提供准确信号，确保电力系统的安全稳定运行和准确计量。

（四）电力电缆试验要点

电力电缆是电力系统的重要组成部分，其试验注重绝缘性能检测。直流耐压试验是一种传统且有效的检测方法，可发现电缆绝缘中的机械损伤、气泡等缺陷，但该试验易积累空间电荷，对交联聚乙烯电缆有潜在损伤，可能影响电缆的长期运行可靠性。交流耐压试验更接近电缆实际运行工况，能有效检测绝缘缺陷且不损伤电缆，逐渐成为主流试验方法。绝缘电阻测量可初步判断电缆绝缘受潮、脏污情况，为后续深入检测提供参考。局部放电测量是一种先进的检测技术，可精准定位电缆内部局部放电位置，评估绝缘劣化程度，及时发现潜在的绝缘故障隐患。外护套试验检测外护套绝缘状况，外护套破损会导致电缆进水，使绝缘性能下降，影响电缆使用寿命与运行安全。

（五）避雷器试验要点

避雷器是保护电气设备免受雷电过电压和操作过电压损害的重要设备，其试验重点在于评估其过电压保护性能。绝缘电阻测量是基础试验项目，通过测量避雷器的绝缘电阻，可检查其内部是否受潮，若绝缘电阻过低，说明避雷器内部可能受潮，绝缘性能下降，会影响其过电压保护能力。直流1mA电压（ U_{1mA} ）及 $0.75U_{1mA}$ 下泄漏电流测量是关键试验， U_{1mA} 反映避雷器阀片耐压特性，泄漏电流大小可判断阀片是否老化、受潮。运行电压下持续电流测量，包括全电流和阻性电流，阻性电流变化能及时反映避雷器阀片劣化情况，若阻性电流增大，说明阀片性能下降，需及时处理。工频参考电压和持续电流试验综合评估避雷器在工频电压下的性能，确保其在过电压时能可靠动作，限制过电压幅值，保护电气设备安全，保障电力系统的稳定运行。

三、高压电气试验各环节关键控制要点

（一）试验前准备阶段要点

试验前准备是保障整个试验工作顺利推进与安全开展的关键基础。首先，要全面且详细地了解被试设备的相关资料，涵盖其型号、规格、运行历史、过往试验记录以及曾出现过的故障情况等。基于这些信息，制定出具有高度针对性的试验方案，明确试验项目、方法、步骤以及预期达到的目标。对试验所使用的设备和仪器进行全方位的检查与校准至关重要。仔细查看设备的外观是否有损坏，检查仪器的各项功能是否正常，确保其性能处于良好状态，精度符合试验要求，避免因设备问题导致试验结果不准确或出现安全事故。依据试验项目和现场实际环境，精心准备合适的安全防护用具，如绝缘手套、绝缘靴、安全帽、护目镜等，为试验人员提供可靠的安全保障。合理规划试验场地，设置醒目且清晰的安全警示标识，明确划分安全区域，防止无关人员误入。组织试验人员集中学习试验方案和安全规程，进行深入的技术交底。让每位试验人员都清楚了解试验的具体流程、操作要点以及安全注意事项，明确各自的分工与职责，确保在试验过程中能够各司其职、协同配合，为试验的顺利进行奠定坚实基础。

（二）试验实施阶段要点

试验实施阶段必须严格遵循既定的操作规程，容不得半点马虎。试验人员要严格按照试验方案，精准无误地将试验设备与被试设备进行连接，确保每一处接线都牢固、可靠，防止因接触不良而引发短路、打火等安全事故，给设备和人员带来损害。在施加试验电压之前，要再次对试验接线和设备状态进行细致检查。确认接线无误、设备运行正常后，由专人统一指挥，按照规定的升压速度逐步提升电压^[3]。在整个升压过程中，试验人员要密切监视试验设备和被试设备的运行情况，如电压、电流的数值变化，设备是否有异常声响、气味等，并认真记录各项试验数据。试验过程中，要严格禁止无关人员进入试验区域，避免发生意外。试验人员之间要保持足够的安全距离，做好自身的防护措施。一旦发现异常情况，如出现异常声响、气味，或者电压、电流发生突变等，应立即停止试验，迅速查明原因并排除故障后，方可继续进行试验，确保整个试验过程安全、可控。

（三）试验后处理阶段要点

试验结束后，及时、准确地整理试验数据是评估被试设备状况的重要依据。要将试验所获得的数据进行系统梳理，与设备的历史数据以及相关标准值进行细致的

对比分析。通过这种分析，全面评估被试设备的健康状况，判断其是否存在潜在的问题或缺陷。在此基础上，撰写详细的试验报告，报告中不仅要包含试验数据和分析结果，还要提出针对性的处理建议，为设备的后续维护和检修提供参考。对试验设备进行妥善处理也是试验后的重要环节。要先对设备进行断电、放电操作，确保设备完全处于安全状态后，再拆除试验接线，将设备归位并妥善保管，以便下次试验时能够正常使用。清理试验现场同样不容忽视，仔细检查现场有无遗留物品，排查是否存在安全隐患，如未熄灭的火源、裸露的电线等。根据试验结果，对存在缺陷的设备制定详细的检修计划，及时安排检修处理，并跟踪设备的检修情况，确保设备能够恢复健康运行状态，为电力系统的安全稳定运行提供有力保障。

四、高压电气试验技术创新与发展趋势

(一) 智能化试验技术应用

随着人工智能、物联网、大数据等技术发展，智能化试验技术在高压电气试验中广泛应用。智能传感器可实时采集设备运行数据与试验数据，实现数据自动传输与存储；通过大数据分析技术，对海量试验数据进行深度挖掘，建立设备健康状态评估模型，实现设备故障预测与健康管埋；利用人工智能算法，如神经网络、专家系统等，对试验数据进行智能分析诊断，提高故障判断准确性与效率；物联网技术实现试验设备远程监控与操作，试验人员可远程控制试验设备、获取试验数据，提高试验便捷性与安全性，推动高压电气试验向智能化、自动化方向发展。

(二) 新型试验方法发展

为契合电力系统对设备检测日益严苛的要求，新型试验方法如雨后春笋般不断涌现。超低频耐压试验(0.1Hz)便是其中之一，它尤其适用于大型发电机、电缆等设备。相较于传统的直流耐压试验，超低频耐压试验能有效减少空间电荷在设备绝缘层中的积累。空间电荷的过度积累会破坏绝缘结构，而该试验方法降低了这种损伤风险，从而更精准地检测出绝缘缺陷，为设备的安全运行提供可靠保障。振荡波局部放电检测技术也独具优势，它利用振荡波激发设备内部潜在的局部放电现象，通过高精度传感器检测放电信号，不仅能精准定位缺陷位置，还能评估缺陷的严重程度，广泛应用于电力

电缆、开关柜等设备的检测。红外热成像技术则通过检测设备表面的温度分布情况，快速发现设备过热故障。无需停电即可进行检测，具有快速、直观、非接触等显著优点，在高压电气试验中的应用愈发广泛，极大地提高了检测效率和安全性。

(三) 绿色环保试验技术推进

在环保意识与日俱增的大背景下，绿色环保试验技术已然成为高压电气试验领域的重要发展方向。传统的高压电气试验中，部分试验方法会大量使用油类、化学试剂等物质，这些物质在使用和废弃过程中极易对环境造成污染，不符合可持续发展的理念^[4]。如今，研发和推广无油化试验设备成为关键举措。这些设备减少了油类物质的使用与泄漏风险，从源头上降低了对环境的危害。同时，采用环保型绝缘材料替代传统含有害物质的材料，能有效降低试验过程对环境的影响。另外，优化试验流程与方法也至关重要，通过合理安排试验步骤、提高能源利用效率，减少试验过程中的能源消耗和废弃物产生。这不仅有助于实现高压电气试验的绿色、可持续发展，更能助力电力行业达成碳达峰、碳中和的宏伟目标。

结束语

电力系统高压电气试验是保障电网安全稳定运行的基石。通过全面掌握试验要点，严格把控各环节关键控制点，并紧跟技术创新与发展趋势，不断提升试验技术水平。智能化、新型试验方法及绿色环保技术的应用，将为高压电气试验带来新的发展机遇。未来，需持续探索创新，提高试验质量与效率，为电力系统的安全可靠运行提供坚实保障，助力电力行业高质量发展。

参考文献

- [1] 高心怡. 电力系统高压电气试验技术要点探究[J]. 电工技术, 2024, (S1): 137-139.
- [2] 周云. 电力系统中高压电气的试验研究[J]. 中国高新科技, 2021, (21): 70-71.
- [3] 林轩理. 电力系统中的高压电气试验技术分析[J]. 电子技术, 2023, 52(10): 414-415.
- [4] 陈邦炜. 高压电气设备的试验与安全策略分析[J]. 集成电路应用, 2022, 39(11): 242-243.