

电力系统中的高压电气试验研究

柯旭诚

浙江华业电力工程股份有限公司

【摘要】 高压电气试验是保障电力系统安全稳定运行的重要手段，主要用于评估电力设备的绝缘性能、耐压能力及运行状态。本文系统阐述了高压电气试验的基本内容、主要类型及关键技术，并分析了试验前的准备工作、试验过程中的关键点及数据处理方法。此外，文章探讨了高压电气试验的安全保障措施，包括提高设备绝缘等级、加强实验区域隔离及优化应急响应机制，以确保试验的安全性和准确性。

【关键词】 高压电气试验；绝缘性能；耐压测试；故障评估

Research on High Voltage Electrical Testing in Power Systems

Ke Xucheng

Zhejiang Huaye Electric Power Engineering Co., Ltd

【Abstract】 High voltage electrical testing is an important means to ensure the safe and stable operation of power systems, mainly used to evaluate the insulation performance, voltage resistance, and operating status of power equipment. This article systematically elaborates on the basic content, main types, and key technologies of high-voltage electrical testing, and analyzes the preparation work before the test, key points during the test process, and data processing methods. In addition, the article explores safety measures for high-voltage electrical testing, including improving equipment insulation levels, strengthening experimental area isolation, and optimizing emergency response mechanisms to ensure the safety and accuracy of the testing.

【Key words】 High voltage electrical testing; Insulation performance; Voltage withstand test; Fault assessment

1 电力系统中高压电气试验概述

1.1 试验基本内容

高压电气试验主要围绕电力设备的电气绝缘、介质损耗、局部放电、泄漏电流及耐压能力等方面展开。试验的核心目标是确保电力设备的安全稳定运行，及时发现潜在缺陷并采取有效措施。试验内容包括工频耐压试验、直流耐压试验、冲击耐压试验、绝缘电阻测试、局部放电检测及接地电阻测量等。针对不同电压等级及设备类型，试验方法和技术要求各不相同，需严格遵循国家标准和行业规范。

1.2 电气试验类型

高压电气试验根据设备类型和测试需求可分为多种类别，主要包括高压电缆试验、高压变压器试验和高压断路器试验。不同类型的试验针对设备的运行特性和故障模式进行评估，确保其长期稳定工作。

1.2.1 高压电缆试验

高压电缆作为电力输送的主要载体，其绝缘性能直接影响电网的安全性。常见的高压电缆试验包括直流耐压试验、交流耐压试验、介质损耗测试及局部放电测试等。直流耐压试验主要用于检测电缆的绝缘强度，而交流耐压试验可用于模拟实际工况，评估电缆在运行状态下的可靠性。此外，局部放电测试可以检测电缆内部的局部缺陷，从而避免潜在的击穿风险。

1.2.2 高压变压器试验

变压器作为电网中的关键设备，其运行状况直接关系到电力系统的稳定性。常见的高压变压器试验包括变比测试、绝缘电阻测试、介质损耗测试、绕组直流电阻测量及冲击耐压试验。变比测试可用于检查绕组匝数比是否符合设计要求，绝缘电阻测试则用于评估绝缘介质的健康状态。介质损耗测试可以反映绝缘材料的老化程度，而冲击耐压试验用于模拟雷击及操作过电压对变压器的影响。

1.2.3 高压断路器试验

高压断路器承担着电网故障切除的重要任务，其性能直接影响系统的安全性。主要的试验项目包括动特性测试、合分闸时间测试、主触头电阻测试、绝缘电阻测试及工频耐压试验。动特性测试可评估断路器的合分闸速度，确保其满足快速切断故障的要求。主触头电阻测试可检测接触电阻是否超标，从而避免因过热导致的设备损坏。此外，工频耐压试验用于验证断路器的绝缘水平，以保证其在额定电压下长期安全运行。

1.3 电气试验技术

随着高压电气试验技术的发展，传统的测试方法正在向智能化、精准化方向演进。目前，试验技术主要分为电气启动技术和静态试验技术两大类，分别适用于不同场景和测试需求。

1.3.1 电气启动技术

电气启动技术主要用于评估设备在通电状态下的运行性能，通过模拟真实工况来检验设备的适应能力。例如，动

态特性测试可用于检测断路器在负载条件下的合分闸性能, 变压器的短路阻抗测试可分析其在不同负载条件下的响应情况。该技术可以有效识别设备运行中的隐患, 提高试验的实用性和准确性。

1.3.2 静态试验技术

静态试验技术主要针对设备在停电状态下的绝缘特性和结构完整性进行检测。常见的静态试验包括绝缘电阻测试、泄漏电流测试、耐压试验及局部放电测试等。通过静态试验, 可以准确评估设备的绝缘状态, 及时发现绝缘老化、受潮或机械损伤等问题, 从而确保设备在重新投入运行前具备良好的安全性。

2 电力系统中高压电气试验的要点

高压电气试验是电力系统中保障设备安全运行的关键环节, 涉及到绝缘性能、耐压能力、局部放电特性及设备整体运行状态的评估。为了确保试验结果的准确性和可靠性, 必须严格遵循试验规程, 并合理控制环境因素及试验参数。在高压电气试验中, 任何环节的失误都可能导致试验结果偏差, 甚至造成设备损坏。因此, 在试验前的准备、试验过程中的关键操作及数据处理方面, 都必须严格按照技术规范执行, 以确保试验的科学性和可重复性。

2.1 相对完备的准备工作

在进行高压电气试验之前, 必须做好充分的准备工作, 确保试验环境、设备状态、试验参数及安全措施均符合标准要求。试验前首先应对设备的运行状况进行评估, 包括检查试验对象的外观、结构完整性及绝缘情况。对于高压电缆, 应重点检查外护套是否有破损, 终端接头是否存在局部放电现象。对于变压器, 应检查油位、油质及绝缘套管的状态, 而对于高压断路器, 则需检查机构是否灵活, 触头是否完好。

此外, 试验设备的状态同样需要仔细检查。例如, 耐压试验设备的电压源应具备足够的输出能力, 测量仪器的精度应满足标准要求。试验线路的接线方式需与试验规程相符, 接地系统应完善, 以避免试验过程中发生反击电压或其他异常情况。在试验环境方面, 需尽可能降低外部干扰, 例如对于局部放电试验, 应选择低噪声环境, 避免外界电磁干扰影响测试结果。

2.2 实验过程中的关键点

在高压电气试验过程中, 需要关注多个关键技术点, 以确保试验的准确性及设备的安全性。首先, 在耐压试验中, 电压的升降速率必须严格控制, 避免过快升压导致设备承受过高的瞬时应力, 从而引发绝缘损坏。例如, 在工频耐压试验中, 一般采用均匀升压方式, 每秒升压幅度应控制在合理范围内, 避免因电场梯度突变而产生局部击穿。

其次, 在局部放电测试中, 需特别关注测量回路的屏蔽与接地情况, 确保测试信号的纯净性。在高压电缆及变压器的局放检测中, 应采用高频或超高频检测手段, 区分正常放电与异常放电的区别, 同时结合相位分布分析, 以确定放电

位置及放电类型。对于 GIS (气体绝缘开关设备) 的局放测试, 还需结合超声波和特高频 (UHF) 检测技术, 以提高局部放电的检测灵敏度。

在绝缘电阻及介质损耗测试过程中, 需要考虑环境温度、湿度及试验电压的影响。绝缘电阻通常随温度升高而降低, 因此在测量时需进行温度换算, 以保证数据的可比性。介质损耗测试主要用于评估绝缘老化程度, 应采用工频或谐振试验电压, 确保数据的稳定性。

在高压断路器的动特性测试中, 合分闸时间、速度及同期性是关键指标。测试时需采用高精度传感器, 确保测量数据准确。在主触头电阻测试中, 应采用高精度微欧计, 确保测量误差控制在允许范围内, 以判断接触电阻是否超标。此外, 在雷击冲击试验及操作过电压测试中, 应使用标准冲击波形发生器, 确保波形参数符合 IEC 及国家标准。

2.3 实验数据

高压电气试验的最终目的是获取准确的实验数据, 以评估设备的健康状态, 并为后续维护提供依据。因此, 在试验过程中, 数据的准确性、完整性及可追溯性至关重要。所有试验数据应采用标准格式记录, 包括试验电压、泄漏电流、局部放电量、绝缘电阻值等核心参数, 并与历史数据进行对比分析。

在耐压试验中, 需记录升压过程中的泄漏电流变化情况, 以判断绝缘的稳定性。对于局部放电试验, 需记录放电幅值、放电起始电压及放电相位特征, 以确定放电类型及潜在缺陷位置。在介质损耗测试中, 应记录介损角正切值, 并结合温度补偿数据, 以评估绝缘老化情况。在变压器测试中, 还需记录直流电阻测量值及绕组电流变化情况, 以判断绕组是否存在短路或断路风险。

在数据分析过程中, 可采用趋势分析、回归分析及统计分析等方法, 对比不同测试时间的数据, 评估设备的劣化趋势。例如, 通过历史局部放电数据, 可判断放电水平的变化趋势, 并结合绝缘结构的特性, 预测可能发生的故障类型。此外, 在断路器的动特性测试中, 可通过合分闸时间的微小变化, 判断操作机构的机械磨损情况, 以便提前进行维护。

数据的存储与管理同样是重要环节, 应采用数字化管理手段, 确保数据的长期可追溯性。现代电力系统通常采用在线监测系统, 实时采集高压设备的运行数据, 并结合人工试验数据进行综合评估。

3 电力系统中高压电气试验的保障措

高压电气试验涉及高电压、高电场等复杂物理现象, 其安全性和准确性直接关系到电力系统的可靠运行。因此, 在开展高压电气试验时, 必须采取一系列保障措施, 以降低实验风险, 提高测试结果的可靠性。主要的保障措施包括提高设备的绝缘等级、加强试验区域的隔离管理以及优化应急响应机制。通过这些措施, 可以有效减少试验过程中因设备缺陷或操作不当引发的安全事故, 确保试验数据的精准性, 同

时保障试验人员的人身安全。

3.1 提高设备绝缘等级

提高设备的绝缘等级是保障高压电气试验安全性的关键措施之一。绝缘材料的选择、结构设计以及长期运行稳定性直接影响电力设备在高压环境下的性能。通常，高压电气设备的绝缘系统包括气体绝缘、固体绝缘和液体绝缘三大类别，不同类型的设备对绝缘等级的要求也各不相同。

在高压电缆试验中，绝缘层的厚度和介电强度至关重要。现代高压电缆普遍采用交联聚乙烯（XLPE）或油纸绝缘系统，以提高耐压性能并减少局部放电的可能性。在试验过程中，必须对绝缘电阻和介质损耗进行严格测试，以确保绝缘系统在长期运行中不会因老化或机械损伤而失效。

对于高压变压器，绝缘油的介电性能直接影响其耐压能力。在试验过程中，应定期检测绝缘油的击穿电压、介质损耗因数以及微水含量，以确保其具备足够的绝缘强度。高压变压器的绕组间、绕组与铁心之间的绝缘水平也需要严格控制，尤其是在短路冲击试验或雷击耐压试验中，应确保变压器不会因局部电场畸变而发生绝缘击穿。

在高压断路器的试验中，气体绝缘（如SF₆气体）的纯度和密度必须保持在额定范围内，以防止电弧拉长或绝缘失效。对于GIS设备，需定期监测气体绝缘系统的微量泄漏，并结合局部放电检测技术，提前发现绝缘缺陷，从而避免运行过程中出现突发故障。

3.2 加强实验区域隔离

高压电气试验过程中，强电场和高电压环境对周围设施和人员构成极大威胁，因此，必须采取严格的试验区域隔离措施，以防止误入高压区域或人员接触带电设备。试验区域的隔离主要包括物理隔离、警示标识和监控管理三方面。

物理隔离方面，应在试验区域周围设置足够高度的围栏，并在高压设备附近安装绝缘屏障，以防止人员误入危险区域。在户外试验场地，需合理布置接地网，并确保所有试验设备的接地系统处于良好状态，防止工频电场或感应电压对试验人员造成危害。对于GIS设备或高压试验舱，必须确保舱门闭锁系统完好，并在试验期间禁止无关人员进入。

警示标识方面，所有高压试验区域应悬挂醒目的高压警告标志，并在试验前进行安全提示，确保所有人员了解试验期间的风险。在进行耐压试验、局部放电试验或冲击电压试验时，必须在明显位置设立“试验中，禁止入内”标识，并安排专人进行巡视，防止人员误入危险区域。

监控管理方面，可采用智能视频监控系统对试验区域进

行实时监测，并结合远程控制技术，在试验人员处于安全区域后再远程施加高压。对于GIS试验、变压器试验等涉及高电场区域的实验，可使用在线监测系统对温度、电场强度及绝缘状态的实时监测，以防止异常放电或绝缘失效导致的事故。

3.3 优化应急响应机制

高压电气试验过程中，可能会发生绝缘击穿、试验设备故障或突发电气事故，因此必须建立完善的应急响应机制，以快速处理突发状况，最大程度减少损失。应急响应机制的优化主要涉及人员培训、事故预警及应急处置流程三方面。

人员培训方面，试验人员必须具备高压电气试验的专业知识，并经过严格的安全培训。所有试验人员应掌握紧急停电操作、事故状态下的避险措施及触电急救知识。对于高风险试验，如冲击耐压试验或直流耐压试验，必须由经验丰富的专业技术人员负责操作，并确保至少两名人员同时在场，以便发生异常时能够迅速处置。

事故预警方面，可采用智能化监测系统，对试验电流、电压、绝缘状态及环境参数进行实时监测。例如，在高压电缆耐压试验过程中，可使用局部放电在线监测设备，当检测到异常放电信号时，立即发出警报并暂停试验。在GIS设备试验中，可采用气体泄漏监测系统，确保SF₆气体的浓度处于安全范围内，并在出现泄漏时及时采取通风排放措施。

应急处置流程方面，所有试验单位应制定完善的事故应急预案，并定期进行应急演练。在发生绝缘击穿或短路故障时，首先应迅速切断电源，并评估故障影响范围。如果发生人员触电，应立即实施心肺复苏（CPR），并在必要时使用自动体外除颤器（AED）进行抢救。对于因设备故障导致的火灾，应使用干粉灭火器或二氧化碳灭火器进行扑灭，严禁使用水基灭火器，以防止电弧扩大。

4 结语

高压电气试验作为电力系统安全评估的重要技术手段，在保障设备可靠运行方面发挥着至关重要的作用。通过合理选择试验方法，严格控制试验参数，并结合现代化监测技术，可以有效提高试验数据的精准性和可靠性。同时，针对试验过程中的潜在安全风险，需加强设备绝缘水平，严格实施试验区域隔离措施，并建立健全的应急响应机制，以确保试验的顺利进行。

参考文献

- [1]王俐.电力系统中的高压电气试验分析[J].集成电路应用, 2024, 41(06): 99-101.
- [2]崔育诚.电力系统中高压电气试验的分析[J].城市建设理论研究(电子版), 2024, (07): 4-6.
- [3]李宏伟.电力系统中的高压电气试验分析[J].集成电路应用, 2023, 40(12): 318-319.