

变电站高压电气设备试验

牟立阳 韩鹏翔

北京丰供电变电工程有限责任公司 北京 100070

摘要：本文阐述了高压电气设备试验的基本概念、方法及在变电站的具体应用。通过工频交流、直流耐压、超低频和振荡电压等试验系统，对电力变压器、GIS设备、互感器等高压电气设备进行了全面测试，评估其绝缘性能、电气特性和机械强度。试验结果为设备的投运提供了科学依据，为电网的安全稳定运行提供了有力保障，展现了高压电气设备试验在电力系统中的重要作用。

关键词：变电站；高压电气；设备试验

引言

高压电气设备试验是确保电力系统稳定运行的关键环节。随着电力技术的不断发展，高压电气设备的性能和可靠性要求也越来越高。因此，对高压电气设备进行定期试验和检测，及时发现并处理潜在缺陷，对于保障电网的安全稳定运行具有重要意义。本文将介绍高压电气设备试验的基本概念、方法及其在变电站的具体应用。

1 高压电气设备试验的基本概念

高压电气设备试验是确保电力系统稳定运行和安全生产的重要环节。它指的是针对变电站、输电线路等高压电气设备进行的一系列定期检查和测试工作；这些试验旨在验证设备在正常及异常工作条件下的绝缘性能、机械性能及电气特性，从而确保设备的安全性和可靠性。高压电气设备试验的基本概念涵盖了多个方面。首先，它强调对设备绝缘性能的评估，包括绝缘电阻测试、介损测试等，这些测试有助于及时发现绝缘老化、受潮或受损等问题，防止因绝缘失效导致的短路或接地故障。其次，试验还关注设备的机械强度和电气特性，如断路器的分合闸时间、电流电压互感器的变比误差等，这些参数直接影响到设备的运行效率和安全性。高压电气设备试验通常分为预防性试验和交接试验两大类，预防性试验是在设备运行期间，按照一定的周期进行的，目的是发现并及时处理设备潜在的缺陷；而交接试验则是在新设备投入运行前或大修后进行，用于验证设备的质量及安装质量是否符合要求。此外，高压电气设备试验还涉及到试验计划的制定、设备的准备与检查、试验过程中的安全措施以及试验数据的记录与分析等多个环节；这些环节共同构成了高压电气设备试验的完整流程，为电力系统的安全稳定运行提供了有力保障^[1]。

2 高压电气设备试验的方法

2.1 工频交流试验系统

工频交流试验系统是用于检测电气设备在工频交流电压下的绝缘性能、电气参数和机械性能的一种重要试验系统。该系统主要由电源控制器、调压器、升压变压器、保护球隙等组成，其核心在于模拟电气设备在正常运行条件下的电压环境，以检验其耐受能力和绝缘状况。（1）电源控制器是整个系统的核心部件，负责控制试验电压的输入和输出。它能够稳定提供试验所需的工频交流电压，并可根据试验需求进行调节；电源控制器通常具有高精度的电压和电流控制能力，确保试验过程的准确性和安全性。（2）调压器是调节试验电压大小和升降速度的关键设备。在工频交流试验过程中，调压器能够根据试验要求，精确调整输出电压的大小和变化速率；这有助于模拟电气设备在不同电压下的工作状态，从而全面评估其性能。（3）升压变压器用于将电源控制器输出的电压升高到被试品所需的高电压水平。由于高压电气设备通常工作在较高的电压等级，因此升压变压器必须具备足够的容量和电压调节范围，以满足试验需求；同时，升压变压器还需要具备较高的绝缘性能和稳定性，以确保试验过程的安全进行。（4）保护球隙则用于测量高电压或保护被试品免受过高电压。在试验过程中，当被试品上的电压超过预设值时，保护球隙会放电并产生电弧，从而限制电压的进一步升高；这有助于防止被试品因过电压而受损，同时确保试验过程的安全进行。（5）工频交流试验系统具有操作简便、结果准确等优点，在电力设备的绝缘性能检测和预防性维护中得到了广泛应用。但该系统也存在一些局限性，如对于某些被试品大容量、高电压的要求，调压器、升压变压器的容量也要相应增大，导致设备体积庞大、运输不便。此外，在试验过程中还需要采取严格的安全措施，如接地保护、绝缘隔离等，以确保试验人员和设备的安全^[2]。

2.2 直流耐压试验系统

直流耐压试验系统是一种通过施加直流高压来检验电气设备绝缘强度的试验系统。该系统主要由直流高压发生器、被试品、保护电阻和测量仪器等组成；直流耐压试验具有损伤小、易发现绝缘缺陷等优点，在电力设备的预防性维护中得到了广泛应用。（1）直流高压发生器是直流耐压试验系统的核心部件，负责产生稳定的高直流电压。早期的直流高压发生器一般采用工频高压经高压硅堆整流而获得直流高压，但这种方式存在设备体积大、稳定度差、纹波系数高等缺点。随着技术的发展，现代直流高压发生器普遍采用倍压整流技术，具有电路简单、过载能力强、故障率低等优点。然而，由于倍压整流技术通常不具备闭环反馈，因此高压稳定度可能受到一定影响。（2）在直流耐压试验过程中，被试品被置于直流高压下，通过测量其泄漏电流和绝缘电阻等参数来评估其绝缘性能。泄漏电流的大小和变化可以反映被试品绝缘状况的好坏，而绝缘电阻则直接反映了被试品的绝缘强度。（3）保护电阻在直流耐压试验中也起着重要作用。当被试品击穿或发生短路时，保护电阻能够限制电流的大小，防止对被试品和试验设备造成损坏；同时，保护电阻还能吸收试验过程中产生的过电压和过电流，确保试验过程的安全进行。（4）直流耐压试验系统具有操作简便、结果准确等优点，特别适用于对大容量、高电压电气设备的绝缘性能进行检测。然而，由于直流耐压试验会对被试品的绝缘产生一定的损伤，因此不宜频繁进行。此外，在试验过程中还需要采取严格的安全措施，如接地保护、绝缘隔离等，以确保试验人员和设备的安全。

2.3 超低频试验系统

超低频试验系统是一种通过施加超低频率的交流电压来检验电气设备绝缘性能的试验系统。该系统主要由超低频高压发生器、被试品、保护电阻和测量仪器等组成。与工频交流试验系统相比，超低频试验系统具有设备体积小、运输方便、对被试品损伤小等优点，在电力设备的绝缘性能检测和预防性维护中得到了越来越广泛的应用。（1）超低频高压发生器是超低频试验系统的核心部件，负责产生稳定的超低频交流电压。超低频高压发生器通常采用先进的电子技术和控制算法，能够精确输出所需的电压和频率；由于超低频信号的频率极低，因此所需的试验电源容量也大大减小，使得设备体积更加紧凑、运输更加方便。（2）在超低频试验过程中，被试品被置于超低频率的交流电压下，通过测量其泄漏电流和绝缘电阻等参数来评估其绝缘性能。由于超低频信号的频率极低，因此能够在较低的电压下激发被试品

绝缘中的缺陷，从而更容易发现绝缘问题。此外，超低频试验系统还能够在不破坏被试品绝缘结构的情况下进行长时间连续测试，进一步提高了检测的准确性和可靠性。（3）保护电阻在超低频试验系统中同样起着重要作用。当被试品击穿或发生短路时，保护电阻能够限制电流的大小，防止对被试品和试验设备造成损坏。同时，保护电阻还能吸收试验过程中产生的过电压和过电流，确保试验过程的安全进行。（4）超低频试验系统具有操作简便、结果准确、对被试品损伤小等优点，特别适用于对大容量、高电压电气设备的绝缘性能进行检测。但由于超低频信号的频率极低，因此试验过程可能相对较长。此外，在试验过程中还需要采取严格的安全措施，如接地保护、绝缘隔离等，以确保试验人员和设备的安全^[3]。

2.4 振荡电压试验系统

振荡电压试验系统是一种通过施加振荡电压来检验电气设备绝缘性能的试验系统。该系统主要由振荡电压发生器、被试品、保护电阻和测量仪器等组成；振荡电压试验系统能够模拟电气设备在雷电冲击或操作过电压等暂态过程下的工作状态，从而全面评估其绝缘性能。（1）振荡电压发生器是振荡电压试验系统的核心部件，负责产生稳定的振荡电压。振荡电压发生器通常采用先进的电子技术和控制算法，能够精确输出所需的电压和频率。由于振荡电压具有高频、高幅值等特点，因此所需的试验电源容量也相对较大。然而，通过采用先进的电子技术和控制算法，振荡电压发生器能够在保证输出电压稳定的同时，实现设备的小型化和轻量化。（2）在振荡电压试验过程中，被试品被置于振荡电压下，通过测量其泄漏电流、绝缘电阻和局部放电等参数来评估其绝缘性能。泄漏电流和绝缘电阻的变化可以反映被试品绝缘状况的好坏，而局部放电则是绝缘缺陷的重要表现形式之一；通过测量局部放电的强度和频率等参数，可以进一步确定绝缘缺陷的位置和性质。（3）保护电阻在振荡电压试验系统中同样起着重要作用。当被试品击穿或发生短路时，保护电阻能够限制电流的大小，防止对被试品和试验设备造成损坏；保护电阻还能吸收试验过程中产生的过电压和过电流，确保试验过程的安全进行。（4）振荡电压试验系统具有操作简便、结果准确等优点，特别适用于对高压电气设备在雷电冲击或操作过电压等暂态过程下的绝缘性能进行检测。但由于振荡电压具有高频、高幅值等特点，因此试验过程可能相对复杂且具有一定的风险。在试验过程中需要采取严格的安全措施，如接地保护、绝缘隔离等，以确保试验人员和设备的安全；还需要对试验数据进行精确分析和处理，

以准确评估被试品的绝缘性能^[4]。

3 变电站高压电气设备试验的具体应用

3.1 电力变压器的高压试验

电力变压器作为变电站的心脏，其高压试验是确保电网稳定运行的关键环节。试验前，需对变压器进行全面检查，包括外观、铭牌数据、油位、冷却系统等，确保设备处于良好状态。试验步骤严谨而细致，首先进行绝缘电阻测试，利用兆欧表测量变压器各绕组及套管对地的绝缘电阻，以评估其绝缘性能。随后进行直流电阻测试，通过比较各相绕组电阻的差值，判断绕组是否存在短路或断路故障。变比测试则用于验证变压器各绕组电压比是否符合设计要求，确保电压变换的准确性。此外，空载损耗及负载损耗测试用于评估变压器的能效，为其经济运行提供依据。交流耐压试验作为最后一项关键测试，通过施加额定电压并持续一段时间，检验变压器的绝缘强度及承受过电压的能力，确保其在长期运行中保持安全可靠。

3.2 GIS及互感器的高压试验

GIS（气体绝缘金属封闭开关设备）以其紧凑的结构、优良的性能和较高的可靠性，在现代变电站中得到广泛应用。GIS设备的高压试验需特别关注其气体绝缘性能和密封性。试验过程中，首先进行外观检查，确认设备无损坏、变形或漏气现象。接着进行气体压力测试，确保GIS内部气体压力保持在规定范围内，以维持良好的绝缘效果。绝缘电阻测试是评估GIS设备绝缘性能的重要手段，通过测量各相导体对地及相间的绝缘电阻值，判断是否存在绝缘缺陷。交流耐压试验则是对GIS设备整体绝缘性能的最终考验，通过施加额定电压并持续一段时间，检验其能否承受过电压而不发生绝缘击穿。同时，互感器的试验也不容忽视，包括变比测试、极性测试及绝缘性能测试，确保其测量准确、运行可靠^[5]。

3.3 其他高压电气设备的试验

除了电力变压器和GIS设备外，变电站还包含众多其他高压电气设备，如发电机、电缆、避雷器、电容器等，它们的试验同样重要。发电机的试验主要包括绝缘电阻测试、直流电阻测试、空载及负载特性测试等，以评估其电气性能和机械性能。电缆的试验则侧重于绝缘电阻测试、直流耐压试验及交流耐压试验，确保其传输电能的安全性和可靠性。避雷器的试验主要关注其泄漏电流和工频放电电压，以验证其保护性能。电容器的试验则包括电容值测试、损耗角正切值测试及交流耐压试验，以评估其电容性能和绝缘性能。这些试验的开展，不仅为设备的投运提供了科学依据，也为电网的安全稳定运行提供了有力保障。

结语

综上所述，高压电气设备试验在电力系统中发挥着至关重要的作用。通过科学的试验方法和严谨的操作流程，我们可以有效评估设备的性能和可靠性，为设备的投运和维护提供有力支持。未来，随着电力技术的不断进步和试验方法的不断创新，高压电气设备试验将更加精准、高效，为电力系统的安全稳定运行贡献更大力量。

参考文献

- [1] 陈志勇. 柴油发电机工作原理及电气典型故障分析[J]. 农村电工, 2021, 29(03): 45-46.
- [2] 滕兆丰, 夏俊峰, 施楠楠. 高压电力电缆外护套电气绝缘特性检验的研究与分析[J]. 电线电缆, 2021(01): 27-30+38.
- [3] 王云龙, 黄穗雯. 电力变电站一次设备检修试验风险[J]. 电力设备管理, 2021(02): 48-49.
- [4] 姚钢, 黄济. 基于改进小波变换的自动化电气设备故障点检测[J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版), 2021, 37(02): 5-9.
- [5] 李帆. 电力系统高压电气试验技术及其重要性分析[J]. 电子测试, 2021(04): 113-114.