

探究高压电气试验技术

白杨杨¹ 林昌盛¹ 续中华² 冯维会²

1. 中国电建集团核电工程有限公司 广东 湛江 524000

2. 北京龙泓电力咨询有限公司 山东 济南 250000

摘要: 随着智能电网建设加速推进, 高压电气试验技术作为保障电力系统安全运行的“诊断利器”, 其重要性日益凸显。本文聚焦高压电气试验技术展开探究。首先概述高压电气试验技术, 阐述其基本概念与重要意义。接着详细介绍关键技术, 包括绝缘电阻测试、耐压试验、局部放电检测、变比与极性测试、红外热成像检测等技术。最后探讨该技术的发展趋势, 涵盖数字化与智能化转型、多技术融合诊断、预防性试验策略优化以及便携化与高精度设备研发等方面, 旨在为高压电气试验技术的发展与应用提供全面的参考与指引。

关键词: 高压; 电气; 试验; 技术; 发展趋势

引言: 在电力系统中, 高压电气设备的安全稳定运行至关重要, 直接关系到整个电网的可靠性与稳定性。高压电气试验技术作为保障高压电气设备质量与性能的关键手段, 在电力行业的各个环节发挥着不可替代的作用。通过高压电气试验, 能够及时发现设备存在的潜在缺陷与隐患, 预防设备故障的发生, 降低事故风险, 确保电力系统的安全供电。随着电力技术的不断进步与电力需求的日益增长, 高压电气试验技术也在持续发展与创新。深入研究高压电气试验技术, 对于推动电力行业的高质量发展具有深远的现实意义。

1 高压电气试验技术的概述

高压电气试验技术是电力系统中保障设备安全稳定运行的核心手段。在电力生产、传输和分配的复杂过程中, 高压电气设备如变压器、断路器、互感器等, 承担着关键角色。这些设备长期处于高电压、大电流的工作环境, 其性能和绝缘状态会随时间、环境等因素发生变化。高压电气试验技术通过一系列科学、规范的检测方法, 对设备的电气性能、绝缘特性等进行全面评估, 及时发现设备潜在的缺陷和隐患, 为设备的维护、检修和更新提供可靠依据, 从而确保电力系统能够安全、可靠地运行。高压电气试验技术具有多样性和专业性的特点。它涵盖了多种试验项目和方法, 包括绝缘电阻测试、耐压试验、局部放电检测、变比与极性测试、红外热成像检测等。每种试验方法都有其特定的原理、适用范围和技术要求, 需要专业的技术人员借助先进的试验设备和仪器来实施。这些试验方法相互补充、综合运用, 能够从不同角度、不同层面反映设备的运行状况, 为设备的健康诊断提供全面、准确的信息。高压电气试验技术对于电力行业的发展具有重要意义^[1]。随着电力需

求的不断增长和电网规模的日益扩大, 对高压电气设备的性能和可靠性提出了更高的要求。高压电气试验技术不仅能够保障现有设备的安全运行, 还能为新设备的研发、选型和验收提供技术支持。

2 高压电气试验的关键技术

2.1 绝缘电阻测试技术

(1) 绝缘电阻测试是评估高压电气设备绝缘性能的基础手段, 其核心原理基于欧姆定律 ($R = U/I$), 通过兆欧表施加直流电压, 测量通过绝缘材料的泄漏电流, 进而计算绝缘电阻值。根据IEC60694标准, 测试电压需根据设备类型选择: 2500V兆欧表适用于一般高压设备, 5000V兆欧表用于SF6断路器等特殊设备, 量程覆盖0.01M Ω 至2000G Ω , 精度等级不低于1.5级。(2) 测试环境对结果影响显著。温度每升高10 $^{\circ}\text{C}$, 绝缘电阻值下降约30%-50%, 因此标准要求测试温度控制在20 $^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$; 湿度超过80%时需干燥处理或乘以修正系数(如湿度85%时修正系数为0.8)。对于电容性设备(如电缆), 需延长测试时间至1分钟以上, 通过吸收比(R_{60s}/R_{15s})或极化指数(R_{10min}/R_{1min})进一步判断绝缘状态, 吸收比 ≥ 1.3 或极化指数 ≥ 1.5 视为合格。(3) 测试操作需严格遵循规范。测试前设备需断电并充分放电(电容量 $> 1\mu\text{F}$ 时放电时间 ≥ 2 分钟), 使用屏蔽端子消除表面泄漏电流干扰; 测试后必须对地放电, 避免残余电荷伤人。对于高压电机等设备, 需在绕组与地之间施加500V-1000V电压, 测试值应不低于每千伏1M Ω , 且与历史数据对比偏差不得超过30%。

2.2 耐压试验技术

(1) 耐压试验技术是高压电气试验中检验设备绝缘强度至关重要的手段。在高压电气设备的运行过程中,

其绝缘系统需承受长期的工作电压以及可能出现的各种过电压,如雷电过电压、操作过电压等。耐压试验通过模拟这些过电压情况,对设备绝缘施加高于正常工作电压的试验电压,以此考察绝缘在规定时间内能否承受而不发生击穿或损坏,从而确定设备绝缘的可靠性和安全性,保障设备在实际运行中能稳定应对各类电压冲击。

(2) 耐压试验包含多种类型,常见的有工频耐压试验、直流耐压试验和冲击耐压试验等。工频耐压试验能较好地模拟设备实际运行时的交流电压状况;直流耐压试验对于检查绝缘中的局部缺陷具有一定优势,且所需试验设备相对简单;冲击耐压试验则着重考验绝缘承受瞬态过电压的能力。不同类型的耐压试验适用于不同的设备和试验场景,需根据具体情况合理选择。(3) 耐压试验技术对试验条件和操作要求极为严格。试验电压的准确施加、试验时间的精确控制以及试验环境的合理把控等,都会直接影响试验结果的准确性和有效性。同时,由于耐压试验电压较高,存在一定的危险性,试验人员必须具备专业的知识和技能,严格遵守安全操作规程,确保试验过程的安全可靠。

2.3 局部放电检测技术

(1) 局部放电检测技术是洞察高压电气设备绝缘健康的核心手段。相关研究表明,在高压设备绝缘劣化初期,局部放电活动就已悄然发生。据统计,约70%以上的绝缘故障在早期都有局部放电现象。通过精准检测局部放电,能在绝缘问题尚未恶化到危及设备安全运行时,提前发出预警,为设备维护争取宝贵时间,将设备故障率降低30%-50%,大幅提高电力系统的运行可靠性。

(2) 该技术检测方式多样且各有优势。脉冲电流法作为传统且经典的方法,其检测灵敏度可达1pC甚至更低,能准确测量局部放电的电量信息;超声波检测法可定位局部放电位置,定位误差通常在 $\pm 5\text{cm}$ 以内,还能有效避开电磁干扰;特高频检测法的检测频率范围在300MHz-3GHz,可检测到微弱的局部放电信号,其信噪比相比其他方法能提高10-20dB,在复杂电磁环境下优势明显。

(3) 局部放电检测对设备和人员要求严苛。检测设备的测量误差需控制在 $\pm 5\%$ 以内,以确保数据的准确性。检测人员要经过至少200学时的专业培训,掌握多种检测方法的原理和操作技巧,能依据检测数据中的视在放电量、放电重复率等关键参数,准确判断设备绝缘状况,为设备的安全运行保驾护航。

2.4 变比与极性测试技术

(1) 变比测试是验证变压器电压变换比例的核心手段。通过测量高压侧与低压侧电压比值,可判断绕组匝

数比是否符合设计要求。标准要求变比误差需控制在 $\pm 0.5\%$ 以内,对于额定电压220kV及以上的变压器,变比测试的电压施加值应不低于10%额定电压,以确保测量准确性。测试设备需具备0.05级精度,以捕捉微小偏差。

(2) 极性测试用于确定绕组间的相位关系,防止因极性错误导致并联运行故障。采用直流法时,毫安表指针摆动幅度需达到满量程的50%以上,方可准确判断极性;若使用交流法,相位差测量误差应小于 1° 。对于三相变压器,需分别测试AB/ab、BC/bc、CA/ca相位的对应关系,确保接线组别符合设计标准。(3) 测试过程需严格遵循安全规范。变比测试时,高压侧电压施加时间不得超过1分钟,避免绕组过热;极性测试中,直流电源电压应控制在24V以下,防止电弧灼伤。同时,测试设备需定期校准,确保变比测量重复性误差 $\leq 0.1\%$,极性判断准确率达100%,为变压器安全运行提供可靠依据。

2.5 红外热成像检测技术

(1) 红外热成像检测技术是评估高压电气设备热状态的高效手段。它基于红外辐射原理,通过接收设备表面发出的红外辐射能量,将其转化为可见的热图像,能直观呈现设备各部位的温度分布。研究表明,约80%的高压电气设备故障会伴随温度异常升高,该技术可在故障早期,当温度升高5-10 $^\circ\text{C}$ 时就能察觉,为及时发现潜在问题提供可能,有效降低设备故障率,保障电力系统稳定运行。(2) 该技术具有诸多优势。其检测距离范围广,可在数米到数十米外对设备进行检测,保障检测人员安全;温度分辨率高,能达到0.01-0.1 $^\circ\text{C}$,可精准测量设备微小温度变化;检测速度快,能在短时间内完成大面积设备的扫描,提高检测效率。而且,它不受电磁干扰影响,可在复杂电磁环境下稳定工作,适用于各种类型的高压电气设备检测。(3) 红外热成像检测对设备和操作有严格要求。检测设备的测温精度需在 $\pm 2^\circ\text{C}$ 以内,以保证测量数据的准确性。检测人员要经过专业培训,掌握正确的操作方法,选择合适的检测时间(一般选择设备带负荷运行且环境温度稳定时),合理设置检测参数,如发射率、距离等,确保检测结果真实反映设备热状态,为设备维护和故障诊断提供可靠依据^[2]。

3 高压电气试验技术的发展趋势

3.1 数字化与智能化转型

高压电气试验正深度融入数字化与智能化浪潮。数字化层面,借助先进的传感器技术,能全方位、高精度地采集试验中的各类数据,如电压、电流、温度、局部放电信号等,数据采集频率大幅提升,可达到每秒数千次甚至更高,确保数据的完整性和实时性。同时,利用高速稳定的

通信网络,将采集到的数据实时传输至云端或本地数据中心,实现数据的集中管理和共享。智能化方面,人工智能算法发挥着关键作用。机器学习算法可对海量试验数据进行深度分析,自动识别设备的正常运行模式和故障特征模式,从而实现对设备状态的精准评估和故障的早期预警。深度学习中的神经网络能够处理复杂的非线性关系,进一步提高故障诊断的准确性和可靠性。此外,智能控制系统可根据试验进程和设备状态自动调整试验参数,如耐压试验中根据设备的实时响应动态调节电压和持续时间,确保试验的安全性和有效性。

3.2 多技术融合诊断

单一的高压电气试验技术往往存在局限性,难以全面准确地评估设备的绝缘状况。多技术融合诊断成为必然趋势,将绝缘电阻测试、介质损耗因数测试、局部放电检测、红外热成像等多种技术有机结合。绝缘电阻测试可初步判断绝缘的整体性能;介质损耗因数测试能反映绝缘的损耗特性;局部放电检测可精准定位绝缘内部的缺陷;红外热成像则能直观呈现设备表面的温度分布,发现过热隐患。通过数据融合算法,将不同技术获取的数据进行综合分析,挖掘数据之间的内在关联,能够更全面、准确地评估设备的健康状态。多技术融合诊断还能减少误判和漏判,提高故障诊断的可靠性和准确性,为设备的维护和检修提供更科学的依据。

3.3 预防性试验策略优化

传统的定期预防性试验模式存在一定弊端,如过度试验造成设备损耗、试验不足导致故障隐患未及时发现等。未来将朝着基于状态的预防性试验策略优化方向发展。通过实时监测设备的运行参数,如电流、电压、振动、温度等,结合设备的历史试验数据和运行环境信息,利用大数据分析和风险评估模型,对设备的绝缘状况进行动态评估和预测。根据评估结果,制定个性化的试验计划,对于状态良好的设备,适当延长试验周期;对于存在潜在故障的设备,增加试验项目或缩短试验间隔。这种优化策略能够提高试验的针对性和有效性,降

低运维成本,同时确保设备的安全可靠运行,延长设备的使用寿命。

3.4 便携化与高精度设备研发

随着高压电气试验需求的不断增加,对试验设备的便携性和精度提出了更高要求。便携化方面,采用集成化设计理念,将多种功能模块集成在一个小巧的机身内,减轻设备重量,缩小体积,方便携带至不同的试验现场。同时,优化电源系统,采用高性能电池或高效电源适配器,提高设备的续航能力,满足户外长时间试验的需求。高精度方面,不断改进传感器技术和信号处理算法。新型传感器具有更高的灵敏度和分辨率,能够检测到更微弱的信号变化。先进的信号处理算法可以有效抑制噪声干扰,提高数据的准确性和稳定性。便携化与高精度设备的研发将大大提高高压电气试验的效率和准确性,推动试验技术的发展^[3]。

结束语

高压电气试验技术作为保障电力系统安全稳定运行的关键环节,历经多年发展,在数字化、智能化转型,多技术融合诊断,预防性试验策略优化以及便携化与高精度设备研发等方面取得了显著进展。这些发展趋势不仅提升了试验的准确性、效率与安全性,还降低了运维成本,延长了设备使用寿命。然而,技术发展永无止境,未来仍需持续创新,攻克技术难题,加强人才培养。相信在各方共同努力下,高压电气试验技术将不断完善,为电力行业的高质量发展筑牢坚实根基,为社会经济的稳定增长提供强劲电力支撑。

参考文献

- [1]王精卫,刘博.高压电气交接试验的探究[J].电力系统及自动化,2021.134-135
- [2]李博,王君阳.高压电气交接试验[J].电力系统及自动化,2022.176-177
- [3]孟繁钊.高压电气交接试验[J].电力系统及自动化,2025.190-191