

电力变压器电气高压试验技术要点探讨

李泮原 侯吉廷 马朝阳

国网吴忠供电公司, 宁夏 吴忠 751100

摘要: 电力变压器作为电力系统核心设备, 其安全稳定运行直接关系到整个电网的可靠性, 而电气高压试验则是评估变压器绝缘性能和电气特性的关键手段。随着电力系统容量不断扩大和电网结构日益复杂, 变压器电气高压试验面临环境温湿度干扰、设备精度波动和测量方法选择等多重挑战。本文系统探讨了电力变压器电气高压试验的关键影响因素, 详细阐述了试验前期准备、绝缘电阻与介质损耗测试、局部放电检测以及耐压与冲击电压试验等技术要点, 并提出了标准规范制定执行、人员安全管理与环境设备保障等系统化防控措施, 为提升电力变压器电气高压试验的准确性、可靠性和安全性提供了全面技术指导。

关键词: 电力变压器; 电气高压试验; 试验技术; 影响因素; 安全措施

1 电力变压器电气高压试验影响因素

1.1 环境温湿度因素

电力变压器电气高压试验过程中环境温湿度作为关键影响因素, 直接牵涉到变压器绝缘性能评估结果的准确性问题, 国际电工委员会标准强调必须在特定环境条件下执行相关试验操作。温度波动导致绝缘材料介电常数变化显著, 测试数据出现明显偏差, 实验证明温度每升高 10℃ 绝缘电阻值便下降约 50%。绝缘油受热膨胀收缩改变气体溶解度, 进而干扰局部放电测试判断。空气湿度过大则在绝缘表面形成水膜, 加速表面泄漏电流, 湿度超 80% 时甚至引发凝露现象, 严重情况下诱发闪络击穿事故, 长期潮湿环境中绝缘材料吸水性增强, 介电损耗上升, 绝缘强度急剧下降^[1]。

1.2 试验设备与参数控制因素

电气高压试验中试验设备精度稳定性问题与参数控制精确度缺失现象往往对整个变压器性能评估结果产生根本性影响, 不仅造成数据失真, 还可能引发设备损伤甚至安全事故。电压电流测量仪器精度直接决定数据可靠程度, 大型变压器测试要求电压互感器精度不低于 0.05 级。电源波形质量异常会扭曲交流耐压试验有效值测量, 电压不稳定性则破坏试验环境一致性。电压升降速率控制偏差容易造成绝缘材料承受过大电应力受损, 标准规定耐压试验升降速率应控制在每秒额定电压 2% 左右。试验持续时间控制错误将改变电应力累积效应, 测试回路阻抗匹配不当导致短路阻抗测试误差增大。

1.3 测量方法与数据处理因素

电力变压器电气高压试验中测量方法选择错误与数据处理技术应用不当问题常常被低估, 实际上这两方面因素对试验结果准确性具备决定性影响力, 甚至超过设备本身质量限制。绝缘电阻测试过程中直接测量法虽简单但环境干扰显著, 比较法则能降低干扰提高精度。测量电路布置连接方式不合理情况下, 大电流测

试易引入感应电压, 高频测量中导线分布电容电感干扰测量精度。测量点位置选择不当导致温升试验结果差异巨大。原始数据预处理操作不当会丢失关键信息或引入新误差, 数据分析方法选择失误导致结果解释偏差, 不同分析方法应用于同一数据集可能得出矛盾结论。测量不确定度评估表达缺失造成数据可靠性判断依据不足^[2]。

2 电力变压器电气高压试验技术要点

2.1 试验前的准备工作

电力变压器电气高压试验前期准备工作作为整个试验过程的基础环节, 涉及试验方案编制、设备状态确认、环境条件控制以及安全措施部署等多个关键方面, 其完善程度直接决定了后续试验的安全性及数据可靠性。科学合理的试验方案需详细阐明变压器类型参数、试验目的内容、操作步骤流程、电压时间控制要求、应急处置预案等内容, 特别针对油浸式、干式、自耦式等不同结构变压器, 方案编制过程中必须考虑其特有的绝缘特性与电气性能。设备检查环节中操作人员需全面评估电源系统稳定性、高压电源输出能力、试验变压器绝缘状况、测量仪器精度量程、保护装置灵敏度等参数, 关键设备必须进行校准与功能测试。试验环境温度必须控制在 5℃ 至 40℃ 区间内, 相对湿度不得超过 80%, 场地布置要求区域划分明确, 高低压区严格分隔, 操作区与试验区物理隔离, 警示标志醒目, 地面保持干燥洁净无杂物。安全措施落实环节尤为重要, 接地系统必须确保可靠连接且电阻符合标准, 操作人员应熟知各项安全规程与应急处置流程, 必备的绝缘手套、绝缘靴、安全帽等防护装备应当配置齐全且状态良好^[3]。

2.2 绝缘电阻与介质损耗试验技术

电力变压器绝缘电阻与介质损耗试验作为评估变压器绝缘性能的基础手段, 对于早期发现绝缘系统劣化状态、判断内部潜在缺陷具有不可替代的作用, 试验结果往往反映了变压器长期运行状态下的绝缘健康程度。绝缘电阻测试实施过程中, 测试电压选

择必须依据变压器额定电压确定,低压绕组通常采用 500V 直流电压,高压绕组则选用 1000V 或 2500V 直流电压,测试持续时间精确控制在 60 秒,期间记录 15 秒与 60 秒时点的读数值,计算得出吸收比或极化指数用于综合评估绝缘状态。测试接线采用三端子法或保护环法测量方式,有效消除表面漏电流对测量结果的干扰影响,提升数据精确度。介质损耗试验则专注于测量绝缘系统在交流电场作用下损耗角正切值,反映绝缘材料劣化程度与水分含量状况,试验电压一般控制在额定电压 10% 左右,避免对绝缘材料施加过大电应力。测量电路根据试验目的选择电流比较法等,测量结果必须进行温度校正,将数据统一换算至 20℃ 标准温度条件下进行历史对比分析。两项试验结果综合判断时需结合变压器运行工况、历史数据、同类设备参考值等多维信息,确定绝缘状态的整体趋势,为设备维护决策提供科学依据。

2.3 局部放电检测技术

电力变压器局部放电检测技术作为变压器绝缘系统健康评估的核心手段,能够在绝缘缺陷发展初期阶段发现潜在问题,避免设备因绝缘故障导致重大事故,该技术通过捕捉绝缘体内部或表面微小局部击穿现象产生的物理信号实现故障早期预警^[4]。局部放电检测原理基于对放电过程中产生的电脉冲、声波、电磁波、化学变化等多种物理量的精确测量与分析,其中电气法遵循 IEC 60270 标准测量电脉冲信号,声学法利用放电产生的声波进行定位,超高频法捕捉放电释放的高频电磁波,化学法分析绝缘油中溶解气体组成变化。实际操作中,检测前必须根据变压器结构特点选择最适合的接线方式,常规变压器多采用单端法,特殊结构则选用平衡法或桥接法提高测量灵敏度。校准过程中使用标准校准器产生已知量级放电信号,建立测量系统校准曲线,确定校准常数。干扰抑制至关重要,实施平衡电路设计、频率选择性滤波、门控技术等措施有效提高信噪比。电压升降过程中必须严格控制速率,每个电压等级下保持足够时间进行测量,记录放电量、相位分布、频率特性等多维特征信息。结果判断需综合分析放电起始电压、熄灭电压、放电模式、幅值分布等参数,结合变压器类型与运行环境给出科学评估结论。

2.4 耐压试验与冲击电压试验技术

电力变压器耐压试验与冲击电压试验技术作为考核变压器绝缘系统抵抗极端电气应力能力的关键手段,直接检验了设备在高电压冲击条件下的绝缘强度与安全裕度,对保障变压器安全稳定运行至关重要^[5]。交流耐压试验过程中,试验电压值严格按照 IEC 60076-3 或 GB 1094.3 等标准规定,通常设定为额定电压的 1.5 至 2 倍,具体数值需考虑变压器电压等级与绝缘水平。电压控制环节尤为关键,升降速率必须严格控制在每秒不超过额定电压 2% 的范围内,避免瞬时过电压对绝缘造成非线性损伤。持续时间精确控制在 60 秒,期间操作人员必须密切观察电流表指示波动、

电压表稳定性以及变压器本体有无异常放电声音。冲击电压试验则模拟变压器遭受雷电冲击或操作过电压工况,标准雷电冲击波形要求波前时间 1.2 微秒、波尾时间 50 微秒,操作冲击波形则为 250/2500 微秒,波形参数调整通过冲击发生器的充电电压、波形调整电阻及电容等组件实现精确控制。冲击顺序按照标准规定先进行 90% 或 100% 全波试验后实施截波试验,每种波形至少重复一次以验证结果一致性。结果判定采用波形比较法,分析同一条件下不同冲击波形的电压波形与电流波形,无明显差异则判定合格。特殊结构变压器如自耦变压器在试验中必须针对非试验端采取有效保护措施,防止感应电压损伤其他绕组。全过程监测记录系统必须完整捕捉电压电流波形、变压器声音反应以及可能出现的放电现象,为后续分析提供全面数据支持。

3 电力变压器电气高压试验安全风险防控措施

3.1 试验标准规范的制定与执行

电力变压器电气高压试验标准规范制定过程需充分考虑设备特性、试验风险与操作安全等多维因素,融合国际电工委员会标准与国家行业规范,结合企业实际运行经验形成系统化安全保障体系^[6]。规范编制组应召集技术专家团队深入分析各类高压试验环节潜在风险点,编写涵盖电压控制、电流监测、绝缘协调等关键技术参数的详细操作指南,明确规定不同试验类型的具体电压等级、持续时间、升降速率、安全间距等核心参数。执行阶段管理人员必须组织技术人员进行专题培训,采用案例教学、视频演示与实操考核相结合的方式,提升试验团队对规范内容的理解与应用能力。技术负责人定期组织安全检查与标准执行评估,发现标准执行偏差立即纠正并分析根源,持续完善标准体系。企业技术部门建立标准动态更新机制,密切跟踪国内外最新技术发展趋势与事故案例,及时修订完善操作规程。

3.2 操作人员安全管理措施

电力变压器高压试验人员安全管理体系构建需从资质认证、团队分工、操作规范与防护措施四个维度全面展开,形成多层次防护屏障确保试验安全。人力资源部门严格筛选具备中级以上电工资质、熟悉变压器理论与试验方法的专业人才,安排其参加专项技能培训与定期考核,建立技术人员资质档案与能力评估记录。试验团队组建时必须明确试验负责人、现场操作员、安全监护人等岗位职责,试验负责人掌控全局指挥,操作员精准执行参数调整,安全监护人全程监督安全措施落实情况。技术部门制定高压试验关键环节操作细则,包括高压设备通电前确认程序、电压升降控制标准、异常情况处理流程等,操作人员必须严格遵循操作步骤卡执行各项操作。安全管理人员定期检查绝缘手套、绝缘靴、安全帽等防护装备状态,操作人员掌握触电急救、火灾扑救等应急处置技能,团队定期开展应急演练,提高突发事件应对能力。

3.3 试验环境与设备安全保障措施

电力变压器高压试验环境与设备安全保障工作应围绕场地布局优化、设备状态管控、接地系统完善与电磁干扰抑制等核心环节展开,形成立体化安全防护网络。基础设施部门按照电气安全间距标准规划试验场地,高低压区域物理隔离,操作区与试验区明确分界,地面采用防滑绝缘材料,安装足够亮度的照明系统与应急电源。设备管理部门执行严格的试验设备预防性维护计划,每次试验前全面检查高压电源绝缘状况、测量仪器精度、保护装置动作特性,发现异常立即修复或更换。电气工程师设计完善的接地网络,所有金属设备外壳、操作台、保护屏等接地点连接牢固,接地电阻定期测量确保不超过4欧姆标准限值。工程技术人员针对敏感测量区域安装电磁屏蔽设施,选用高质量屏蔽电缆传输信号,关键设备采用独立供电系统避免电网波动干扰。环保专员准备绝缘油泄漏应急处理套件,安全管理人员制定环境突发事件应急预案,确保各类安全风险得到有效控制。

4 结束语

电力变压器电气高压试验技术随着智能电网建设与电力系统数字化转型不断演进发展,未来试验技术将向智能化、在线化、非侵入式方向深入推进。人工智能算法将逐步应用于试验数据分析与故障诊断,数字孪生技术将实现变压器绝缘状态的实时监测与预测性维护,物联网平台将构建覆盖全网变压器的状态评估体

系。电力企业应加强对新技术的研究应用,完善试验标准规范体系,强化专业人才培养,持续提升电气高压试验的安全性、准确性与效率,为电力系统的安全稳定运行提供坚实技术保障。

参考文献:

- [1] 陶涛. 电力变压器电气高压试验的技术要点分析[J]. 电器工业,2025,(06):49-53.
 - [2] 黄俊鑫,黄俊杰. 电力变压器的电气高压试验探析[J]. 电力设备管理,2025,(10):39-41.
 - [3] 盛彦博. 变电站一次设备电气高压试验分析[J]. 科学技术创新,2024,(24):201-204.
 - [4] 郭耀焜. 电力变压器电气高压试验技术和关键点分析[C]// 中国电力设备管理协会. 全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集(四). 大唐海口清洁能源发电有限责任公司,2024:24-26.
 - [5] 杨春飞. 电力设备高压试验的关键点及安全保障措施[J]. 大众用电,2021,36(09):63-64.
 - [6] 胡伟. 电力变压器电气高压试验技术和关键点分析[J]. 电力设备管理,2021,(08):42-43.
- 作者简介:李沅原(2001—),男,汉族,宁夏吴忠人,本科,班员,研究方向为变电检修。