

电力变压器高压试验技术分析

高 源 赵书尧

内蒙古电力（集团）有限责任公司阿拉善供电分公司 内蒙古 阿拉善盟 750300

摘 要：电力变压器是电网安全稳定运行的核心设备，高压试验是检测其绝缘性能、电气参数及潜在缺陷的关键手段。本文阐述了变压器高压试验的基础理论、核心分类及标准依据，重点分析绝缘试验、特性试验的关键技术与实施要点，探讨试验中的常见问题、故障诊断方法及优化策略，结合设备选型维护与复杂工况适配技术，为高压试验规范开展提供技术参考，助力提升试验准确性与安全性，保障电网可靠供电。

关键词：电力变压器；高压试验；关键技术

引言：随着电力系统向高电压、大容量方向发展，电力变压器的运行可靠性直接关系到电网安全与电力供应质量。高压试验作为变压器出厂、交接及运行维护中的核心环节，可有效排查绕组、铁芯等部件的绝缘缺陷与参数异常，提前防范设备故障。基于此，本文围绕电力变压器高压试验相关基础理论、关键技术、故障处理及优化策略展开分析，为试验技术的规范应用与升级提供支撑，满足电网安全运行需求。

1 电力变压器高压试验相关基础理论

1.1 电力变压器核心结构与工作原理

（1）核心结构：绕组是电能传递的核心，分为高压绕组和低压绕组，其导线材质、匝数及绕制工艺直接影响试验中绝缘强度和参数测量准确性；铁芯由硅钢片叠制而成，主要作用是导磁，铁芯损耗、叠片间隙会影响试验数据的真实性；套管用于引出绕组引线，其绝缘性能直接关系到高压试验的安全性和有效性；油箱用于保护内部部件并散热，密封性能不佳可能导致受潮，影响试验结果判定。（2）工作原理：电力变压器基于电磁感应原理工作，原边绕组通入交流电后产生交变磁场，副边绕组切割磁感线产生感应电动势，实现电压等级转换。正常运行时，电气参数稳定，铁芯损耗、绕组损耗处于合理范围；异常工况下，如绕组短路、铁芯饱和，会导致电流骤增、电压畸变，电气特性出现明显偏差，为高压试验排查故障提供依据。

1.2 高压试验的核心目的与试验分类

（1）核心目的：核心是通过科学试验手段，检测变压器绝缘性能是否达标，防止绝缘击穿引发故障；验证电气参数稳定性，确保变压器运行时电压、电流、损耗等参数符合设计要求；及时排查绕组、铁芯等部件的潜在故障隐患，提前处理缺陷；最终验证设备符合国家及行业运行标准，保障电网安全稳定供电。（2）试验

分类：按试验性质可分为绝缘试验和特性试验，绝缘试验重点检测绝缘性能，特性试验侧重测量电气参数；按试验时机可分为出厂试验、交接试验和预防性试验，出厂试验用于检验产品出厂质量，交接试验针对安装后设备，预防性试验用于运行中设备的定期检测，防范故障发生^[1]。

1.3 高压试验的基本要求与标准依据

（1）基本要求：试验环境需满足温度、湿度等条件，避免环境因素影响试验结果；试验设备需经校验合格，精度符合要求；操作人员需具备相应资质，熟悉试验流程。试验过程中需严格遵守安全规范，做好高压防护，同时准确记录试验数据，确保数据可追溯。（2）标准依据：主要遵循国家及行业相关标准，如GB/T1094.3《电力变压器第3部分：绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙》，该标准明确了试验参数、合格判定标准及操作规范，同时参考行业规范，确保试验过程合规、结果准确，为试验实施和结果判定提供统一依据。

2 电力变压器高压试验关键技术及实施要点

2.1 绝缘试验核心技术及实施

（1）工频耐压试验：核心原理是模拟变压器正常运行时的工频电压，叠加一定倍数的试验电压，考核绕组、套管等部件的整体绝缘强度。试验设备主要包括工频高压发生器、调压装置、保护电阻及测量仪表。操作流程需先检查设备状态，接线后空载升压校准，再缓慢升至试验电压并保持规定时间，无击穿、闪络现象即为合格。实施要点是升压速度均匀，避免电压冲击，试验后需充分放电，防止残余电压损伤设备。（2）直流耐压试验与泄漏电流测试：两者原理存在差异，直流耐压试验利用直流高压考核绝缘耐电强度，泄漏电流测试则通过测量绝缘介质在直流高压下的泄漏电流，判断绝缘受潮、破损等缺陷。适用场景不同，直流耐压试验适用

于电缆、套管等部件,泄漏电流测试更适用于整体绝缘状态排查。试验要点是严格控制升压梯度,分段记录泄漏电流数据,观察电流是否随电压平稳变化,同时做好环境湿度修正,避免数据偏差^[2]。(3)局部放电试验:基于局部放电产生的电信号、超声信号进行采集,核心原理是绝缘缺陷处电场集中,发生局部击穿产生特征信号。常用传感器包括电测传感器、超声传感器,分别采集电信号和机械振动信号。缺陷识别需对比标准信号图谱,区分内部放电、表面放电等类型;干扰排除技巧包括屏蔽试验环境、滤波处理信号、避免试验设备自身干扰,确保检测结果准确。

2.2 特性试验关键技术及实施

(1)直流电阻测试:试验目的是检查绕组接头松动、匝间短路、导线断裂等缺陷,验证绕组电阻值是否符合设计要求。测试方法常用直流双臂电桥法,适用于小电阻测量,操作时需先对绕组放电,消除残余电荷。判断依据是对比三相绕组电阻值偏差,偏差超出标准范围则存在故障;数据修正需考虑环境温度对电阻的影响,将测量值换算至标准温度下的电阻值。(2)变压比与接线组别试验:测量原理是根据电磁感应定律,通过测量原、副边绕组电压值,计算变压比。常用方法包括电桥法和双电压表法,电桥法精度高,适用于精密测量;双电压表法操作简便,适用于现场快速检测。试验误差控制要点是保证试验电压稳定,减少测量仪表误差,接线时严格区分原、副边绕组,避免接线错误导致测量失败。(3)感应耐压试验:核心是考核绕组纵绝缘(匝间、层间、相间绝缘),试验原理是通过施加高于额定频率的感应电压,使绕组产生额定磁通,模拟正常运行时的电场分布。实施要点是控制试验频率(一般为额定频率的2-10倍),避免磁通密度过高损伤铁芯;同时做好安全防护,隔离试验区域,防止高压感应电伤人,试验后需检测绕组绝缘状态,确认无损伤^[3]。

2.3 试验设备的选型与维护技术

(1)试验设备选型:遵循“适配性、精度性、安全性、经济性”四大原则,高压发生器需根据试验电压等级、容量及试验类型选型,确保输出电压稳定、过载能力强,满足不同试验的电压、电流要求;互感器需匹配试验精度等级,电压互感器、电流互感器的测量误差需控制在规定的范围内,确保电压、电流测量准确;传感器需结合具体试验类型选型,局部放电试验优先选择抗干扰能力强、灵敏度高的传感器,直流电阻测试需选用精度符合要求的电桥。同时需结合变压器规格、试验现场条件,确保设备参数与试验要求精准匹配,避免设备能

力不足导致试验无法正常开展,或设备冗余过大造成资源浪费。(2)设备维护与校准:定期维护内容包括清洁设备表面灰尘、检查接线端子紧固情况、测试设备自身绝缘性能、检查冷却系统及电源系统,及时更换老化部件,避免设备故障影响试验进度;维护周期根据设备使用频率确定,常用试验设备每6个月维护一次,不常用设备每年维护一次。设备校准需委托具备法定资质的机构,按照国家及行业相关标准进行,校准项目包括电压精度、电流精度、信号采集精度、设备稳定性等,校准周期不超过1年,校准合格后方可投入使用,确保试验设备精度达标、运行稳定,避免因设备误差导致试验结果误判。

2.4 复杂工况下高压试验的技术调整

(1)恶劣环境(高温、高湿)下的试验调整:环境参数控制需搭建临时防护棚,配备温湿度调节设备,将试验环境温度控制在10-35℃、相对湿度不超过80%,避免高温导致设备绝缘性能下降、高湿导致表面漏电。试验方法优化包括延长绝缘预处理时间(高湿环境下预处理不少于2小时),降低升压速度,增加数据采集次数,每级电压停留时间延长至2-3分钟。同时需对试验数据进行环境修正,根据温湿度系数调整测量值,消除恶劣环境对试验数据的影响,确保试验结果可靠^[4]。(2)老旧变压器试验的技术适配:结合老旧变压器绝缘老化、部件损耗增大的特点,试验参数需合理调整,降低试验电压梯度,缩短耐压试验持续时间(通常缩短至规定时间的50%-70%),避免高压冲击进一步损伤老化绝缘。试验方法优先选择非破坏性试验(如泄漏电流测试、局部放电试验、绝缘电阻测试),减少破坏性试验对设备的损伤;对老化严重的绕组、套管,可提前进行绝缘烘干、加固处理,再开展试验。同时需加强试验过程中的状态监测,实时观察设备运行声音、温度变化,及时发现异常并停止试验,避免设备损坏,确保试验过程安全,同时准确排查设备缺陷,避免误判、漏判。

3 高压试验过程中的常见问题、故障诊断及优化策略

3.1 高压试验中的常见问题及成因分析

(1)试验数据偏差问题:核心成因包括三类,环境干扰方面,高温、高湿会降低绝缘性能,电磁辐射会干扰信号采集;设备误差方面,试验设备未定期校准、部件老化,会导致电压、电流测量精度下降;操作不规范方面,升压速度过快、接线接触不良、数据记录不及时,会直接影响数据真实性。此类问题会导致试验结果偏离标准范围,无法准确判断设备状态,甚至造成缺陷漏判、设备误判,影响电网安全运行。(2)试验过程中

的故障现象：常见故障为绝缘击穿和电晕放电，绝缘击穿表现为试验中出现剧烈异响、电压骤降、电流突增，严重时伴随设备损坏，核心成因是绝缘受潮、老化、破损或试验电压过高；电晕放电表现为高压引线处出现微弱蓝光、滋滋声，成因是引线间距不足、表面脏污，导致局部电场强度过高，虽不直接损坏设备，但会干扰试验数据。（3）设备与操作相关问题：试验设备故障常见于高压发生器输出不稳定、测量仪表失灵、传感器损坏，多由设备长期未维护、部件磨损导致；接线错误主要表现为原副边绕组接线颠倒、接地不良，多由操作人员疏忽、不熟悉试验流程造成。此类问题会引发试验中断、设备损坏等风险，还会导致试验数据失真，造成设备状态误判，埋下安全隐患。

3.2 基于试验数据的故障诊断技术

（1）故障诊断的基本思路：遵循“数据采集—异常识别—成因分析—定位排查”的完整流程，先通过专用设备精准采集试验电压、电流、泄漏电流等数据，再将采集数据与标准数据、历史数据对比，识别数据异常；结合试验环境、设备状态，分析异常数据的核心成因，最后通过分段测试、局部排查，准确定位故障部位，为故障处理提供依据。（2）典型故障诊断案例：某变压器直流电阻测试中，三相绕组电阻偏差超出标准，结合历史数据对比，判断为绕组匝间短路；通过局部放电试验采集信号图谱，定位短路部位，拆解后发现绕组导线绝缘破损，经修复、复测，数据恢复正常。另一案例中，工频耐压试验出现泄漏电流异常，结合环境湿度数据，判断为绝缘受潮，经烘干处理后，试验合格。（3）干扰信号的识别与排除：电磁干扰表现为数据波动剧烈、无规律，可通过信号图谱特征识别；接地干扰表现为数据偏移、测量不准确，多由接地电阻过大导致。排除技术方面，电磁干扰可采用屏蔽罩隔离试验区域、选用抗干扰传感器、对信号进行滤波处理；接地干扰可优化接地方式、降低接地电阻，确保试验回路接地良好^[5]。

3.3 高压试验技术的优化策略

（1）试验流程优化：梳理现有试验流程，简化冗余

的校准、接线步骤，明确各环节操作标准和时间节点；规范操作流程，制定标准化操作手册，要求操作人员严格按照流程执行，减少人为疏忽，同时优化数据记录方式，实现数据实时采集、自动记录，提升试验效率和数据准确性。（2）试验技术改进：结合智能化技术，引入智能试验设备，实现数据采集、分析、存储自动化，减少人为干预；采用大数据分析技术，对比试验数据与设备运行数据，提升故障诊断的精准度和效率；优化试验方法，针对不同设备、工况，定制个性化试验方案，提高试验针对性。（3）试验安全优化：完善安全防护措施，在试验区域设置警示标识、隔离围栏，配备绝缘防护用品和应急设备；规范安全操作，对操作人员进行专业培训和资质考核，明确高压操作禁忌；定期开展安全隐患排查，及时整改设备、操作中的安全问题，降低试验过程中的安全风险，保障人员和设备安全。

结束语

电力变压器高压试验技术的规范实施的是保障设备安全运行、防范电网故障的重要支撑。本文系统梳理了试验基础理论与关键技术，明确了常见问题的诊断方法与优化路径，兼顾设备选型维护与复杂工况适配。未来需结合智能化技术优化试验流程、提升诊断精度，强化试验人员专业能力与安全管理，推动高压试验技术提质增效，为电网持续稳定运行提供更坚实的技术保障。

参考文献

- [1]李燕婷.电力变压器电气高压试验技术分析[J].环球市场,2021,(2):212-214.
- [2]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,(6):49-53.
- [3]秦腾.电力变压器高压试验技术要点分析[J].科技资讯,2025,23(11):66-68.
- [4]徐明磊.电力变压器电气高压试验技术要点探讨[J].中国设备工程,2024,(24):212-214.
- [5]李洪洋.电力变压器电气高压试验技术要点分析[J].中国设备工程,2022,(8):79-80.