

电力系统高压电气试验问题

王 刚 续中华 冯维会

北京龙泓电力咨询有限公司 山东 济南 250000

摘 要：电力系统高压电气试验含绝缘与特性试验，用于检测设备绝缘性能、评估电气特性、发现潜在缺陷。试验面临技术问题，如测量受环境干扰、仪器精度不足；人员操作不规范、安全意识淡薄、专业知识欠缺。针对这些问题，可从技术、人员、设备与环境层面采取选用高精度仪器、加强专业培训、定期检查设备等措施加以解决。

关键词：高压电气试验；绝缘试验；特性试验；人员操作；设备管理

引言：在电力系统中，高压电气设备的稳定运行至关重要。高压电气试验作为保障设备可靠性的关键环节，能全面检测设备绝缘与电气特性，提前发现潜在故障隐患。然而，试验过程受多种因素影响，技术难题与人员操作问题频发，对试验结果的准确性和设备的安全运行构成威胁。深入剖析这些问题并提出有效对策，对提升电力系统稳定性意义重大。

1 高压电气试验的类型与目的

1.1 主要试验类型

(1) 绝缘试验。绝缘试验包含绝缘电阻测量、介质损耗因数测量、直流耐压试验、交流耐压试验。绝缘电阻测量通过施加直流电压检测绝缘层电阻，判断是否受潮、老化，操作需确保设备断电放电，避免残留电荷干扰。介质损耗因数测量分析绝缘介质交流电压下的能量损耗，评估介质品质，操作需消除温湿度对精度的影响^[1]。直流耐压试验施加高于额定的直流电压并保持，检验绝缘耐高压能力，试验后需缓慢降压放电，防止绝缘受损。交流耐压试验施加交流高压，模拟正常及过电压工况，考核绝缘耐受性能，操作需控制升压速率，观察是否有击穿、闪络。

(2) 特性试验。特性试验涵盖变压器变比试验、绕组直流电阻测量、断路器动作特性试验。变压器变比试验测量原副绕组电压比值，验证是否符合设计标准，确保电压转换精准，试验需切换绕组接线组别，检测不同档位。绕组直流电阻测量通入直流电流测电阻，判断导线连接可靠性及有无匝间短路，操作需待绕组温度稳定，减少温度影响。断路器动作特性试验检测分合闸时间、速度、行程，评估操作机构性能，试验需模拟不同运行状态操作，确保断路器可靠分合电路。

1.2 试验目的

检测电力设备绝缘性能是高压电气试验的重要目的，通过各类绝缘试验，判断设备绝缘层是否能承受正常运行时的额定电压及突发过电压情况下的电压应力，

避免绝缘击穿导致设备故障。评估电力设备的电气特性同样关键，借助特性试验获取设备的实际参数，与设计要求进行比对，确保设备参数达标，为电力系统的稳定运行提供基础保障，防止因设备参数偏差引发系统电压波动、功率损耗等问题。试验还能发现设备潜在缺陷和故障隐患，例如绝缘层的微小破损、绕组的隐性故障等，通过及时发现这些问题并开展检修维护，可避免缺陷扩大引发严重事故，减少设备停运时间，保障电力系统持续可靠供电。

2 高压电气试验中常见的技术问题

2.1 绝缘电阻测量问题

绝缘电阻测量结果受环境因素影响显著，温度升高会使绝缘介质的电阻值下降，湿度增大则可能导致绝缘层表面形成导电通路，进一步降低测量值，造成对绝缘状态的误判。测量仪器精度不足或校准不及时会直接影响结果准确性，部分老旧仪器的量程覆盖不足，无法精准捕捉高阻值绝缘的细微变化，而未按规定周期校准的仪器，其内部元器件漂移会导致测量偏差，难以反映设备真实绝缘水平。测量过程中还存在多种干扰因素，现场的电磁辐射会通过测量线路引入杂波，设备表面的泄漏电流则会叠加在测量信号中，掩盖真实的绝缘电阻值，影响判断。

2.2 介质损耗因数测量问题

介质损耗因数测量对电压稳定性和频率精度要求较高，试验电压波动会改变绝缘介质的极化状态，导致损耗因数计算偏差，频率偏离标准值则会影响介质损耗的线性关系，进一步扩大测量误差。试验接线方式不正确会引入额外损耗，如接线端子接触不良产生的接触电阻损耗、引线布置不合理形成的寄生电容损耗，这些额外损耗会叠加在被试设备的真实损耗上，导致测量结果偏大。被试设备表面脏污或受潮时，污染物会形成导电层，受潮则会降低表面绝缘电阻，两者均会增加表面泄

漏电流,使测量得到的介质损耗因数增大,无法准确反映内部绝缘品质。

2.3 耐压试验问题

耐压试验中电压控制不准确存在双重风险,电压过高会超出绝缘介质的耐受极限,导致绝缘层局部击穿或老化加速,即使试验后设备暂时正常,也会留下潜在损伤;电压过低则无法有效暴露绝缘薄弱点,如微小的绝缘裂纹、气泡等缺陷,使存在隐患的设备被判定为合格,埋下运行故障隐患^[2]。试验过程中出现局部放电时,由于放电信号微弱且现场干扰多,难以通过常规检测手段准确定位放电位置,也无法快速判断是绝缘内部缺陷、表面污染还是接线问题引发的放电,增加故障排查难度。耐压试验对设备存在累积损伤,多次重复的高压施加会加剧绝缘介质的老化,缩短设备后续使用寿命,尤其对老旧设备影响更为明显。

2.4 特性试验问题

变压器变比测量时,测量方法选择不当会导致误差超标,如对有载调压变压器未选择对应档位的测量方法,或未考虑绕组极性对测量的影响,均会使计算出的变比偏离设计值。仪器精度不够则无法精准测量绕组的微小电压差异,难以满足高准确度变比的测量要求。绕组直流电阻测量中,接触不良会导致测量回路电阻增大,使测量值偏高,而测量时间不足则会导致绕组电容未充分放电,电流未达到稳定状态,造成电阻计算不准确。断路器动作特性试验时,操作机构故障如弹簧弹力不足、液压系统泄漏会导致动作迟缓,控制回路的接线松动、触点氧化则会延长信号传输时间,两者均会影响分合闸时间和速度的测量结果,无法真实反映断路器的操作性能。

3 高压电气试验中的人员操作问题

3.1 操作不规范

试验人员未严格按照试验规程和操作步骤进行试验,漏接试验线会导致测量回路断路或接触不良,不仅无法获取有效试验数据,还可能因回路异常引发仪器过载报警,甚至损坏试验设备。错误设置试验参数的影响更为直接,如将直流耐压试验的电压值误设为远超设备耐受上限的数值,会瞬间击穿设备绝缘层,造成设备永久性损坏;若将试验时长设置过短,则无法充分检验设备在高压下的稳定性,导致不合格设备被误判为合格。试验前未对设备进行充分检查和准备,设备表面残留的灰尘、油污会形成导电通道,增加表面泄漏电流,使绝缘电阻测量值偏低,误导对设备绝缘状态的判断;未检查接地情况则会导致试验过程中产生的感应电荷无法通

过接地系统释放,积累的电荷可能在接触时引发触电,还会干扰试验仪器的正常工作,导致测量数据波动。试验过程中擅自离开岗位或进行与试验无关的操作,会错过设备出现异常的关键时机,如耐压试验中设备发出异响、局部出现火花等现象,若未能及时中断试验,可能引发绝缘击穿、设备起火等严重事故;无关操作如随意触碰试验线路、调整仪器旋钮,会破坏试验的稳定状态,导致试验数据失真,需重新开展试验,浪费时间与资源。

3.2 安全意识淡薄

试验人员未佩戴必要的安全防护用品,绝缘手套缺失时,手部直接接触试验设备或线路,一旦设备绝缘失效发生漏电,电流会通过人体形成回路,引发触电伤害,严重时可能危及生命;安全帽未佩戴则无法抵御试验现场可能出现的风险,如设备部件松动脱落、工具意外掉落等,易造成头部受伤。对试验现场的危险因素认识不足,在带电区域随意走动,可能误入未明确标识的高压试验区域,受到高压电场产生的跨步电压影响,即使未直接接触设备也会发生触电;触摸带电设备则直接与高压电源接触,瞬间强大的电流会对人体造成电击伤害,还可能因电弧产生高温灼伤皮肤。未遵守安全距离规定,在高压试验区域未保持足够的安全距离,当试验电压升高到一定程度时,空气会被击穿形成电弧,电弧可能击中近距离人员,造成电击或灼伤;同时,近距离接触高压设备还会受到电场辐射影响,对人体健康产生潜在危害。

3.3 专业知识不足

试验人员对电力设备的原理和结构了解不深入,在试验中遇到设备异常情况时,如变压器变比试验中电压比值偏差过大、断路器动作特性试验中动作时间异常,无法准确判断是设备内部绕组短路、操作机构卡涩等故障,还是试验线路连接错误、仪器参数设置不当等外部问题,导致故障排查方向偏离,延误设备维修时机,甚至可能因误判故障原因采取错误处理措施,加重设备损坏程度。对试验仪器的使用和维护知识掌握不够,不能正确操作仪器的核心功能,如在介质损耗因数测量中不会校准仪器零点、不会选择合适的测量档位,会导致测量结果出现显著误差;日常维护不到位,如未定期清洁仪器的测量探头、未检查仪器线路的绝缘情况,会使仪器内部元件加速老化,不仅缩短仪器使用寿命,还可能

在试验过程中突然出现故障,中断试验进程^[3]。缺乏对试验结果的分析 and 判断能力,无法从测量数据的细微变化中识别设备潜在隐患,如绝缘电阻值在多次试验中缓

慢下降,实际预示着设备绝缘层正在逐渐老化,但因未能察觉这一趋势而忽视,导致设备带着隐患投入运行,在后续使用中可能突然发生绝缘击穿,引发电力系统故障,造成大面积停电。

4 解决高压电气试验问题的对策与建议

4.1 技术层面

选用高精度、性能稳定的试验仪器时,需结合试验类型与设备参数选择适配仪器,如绝缘电阻测量优先选用量程覆盖广、抗干扰能力强的设备,确保测量结果精准;针对耐压试验则选择电压调节精度高、过载保护灵敏的仪器,避免设备过压损坏。定期进行仪器校准和维护,按规定周期送专业机构校准,校准报告需存档备查,日常维护需清洁仪器探头、检查线路连接,及时更换老化元器件,对长期闲置仪器每月通电预热一次,避免因受潮或元件老化影响试验结果。优化试验方法和接线方式,针对电磁干扰问题采用屏蔽线缆、合理布置接线走向,远离变压器、变频器等大功率用电设备减少干扰源,同时在测量回路中增设滤波装置;对介质损耗因数测量等易受接线影响的试验,明确接线规范并严格执行,接线完成后需反复核查,避免额外损耗引入误差。采用先进的检测技术和数据分析方法,引入在线监测技术实现设备不停机检测,实时采集绝缘状态与运行参数;借助数据处理软件对试验数据进行趋势分析、关联比对,如通过绝缘电阻历年数据变化预判老化趋势,提升对设备潜在故障和缺陷的识别能力,减少人工判断偏差。

4.2 人员层面

加强试验人员的专业培训需设计分层分类培训内容,基础培训聚焦试验规程、设备原理与操作步骤,结合常见试验场景演示操作细节,确保人员掌握基本技能;进阶培训围绕新型试验技术、仪器操作与故障分析展开,选取实际试验中出现的典型故障案例讲解排查思路,提升应对复杂试验场景的能力,培训后通过实操考核检验效果,未达标者需重新培训。强化安全教育需结合高压试验典型安全事故案例,详细拆解事故诱因与后果,讲解触电、电弧伤害等风险的预防措施,每季度组织安全演练,模拟设备漏电、电弧灼伤等应急场景,让人员熟悉应急处置流程,掌握触电急救、灭火器材使用方法,增强安全意识和自我保护能力。建立完善的考核机制,从试验操作规范性、数据记录完整性、安全措施

落实情况等维度设置考核指标,每月进行日常考核、每季度开展综合评估,考核结果与绩效奖金、岗位晋升挂钩,对连续考核优秀者给予表彰,推动人员规范操作、重视安全。

4.3 设备与环境层面

定期对试验设备进行检查和更新,制定设备巡检计划,每周进行外观与功能检查,每月开展一次绝缘性能测试,重点检查设备绝缘层有无破损、接线端子是否松动、控制按钮是否灵敏,发现老化、损坏设备及时维修或更换,对使用年限超8年的老旧设备强制更新,确保设备始终处于良好运行状态。合理规划试验场地,将高压试验区域与带电区域用金属围栏明确分隔,设置清晰警示标识,标识内容需包含试验电压等级、安全距离要求、禁止靠近提示;改善试验环境条件,配备温湿度调节设备控制环境参数,高温高湿天气每两小时记录一次温湿度值,增加除湿、降温设备运行频次,对易受粉尘影响的试验如绝缘电阻测量,安装防尘设施并每周清理,大风、雷雨等恶劣天气时暂停户外试验,减少环境因素对试验结果的干扰。建立试验设备管理档案,详细记录设备的购置时间、型号参数、校准记录、维护情况及故障处理过程,档案需电子化备份便于查询,通过档案追溯设备使用历程,为设备维护周期制定、更新计划制定提供依据,同时分析设备故障规律,如某类仪器易出现的故障类型与使用时长的关联性,优化管理策略。

结束语

电力系统高压电气试验对保障设备安全稳定运行作用关键。面对试验中的技术与人员操作问题,需从技术优化、人员培训与管理、设备环境维护等多方面综合施策。通过选用先进仪器、强化人员素质、完善设备管理,可提升试验质量与效率,及时发现设备隐患,为电力系统可靠运行筑牢根基,推动电力行业持续健康发展。

参考文献

- [1]李洪洋,耿杰利.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(08):79-80.
- [2]梁雅楠.高压电气设备检修试验中的问题及措施分析[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(18):20-21.
- [3]邓立群,李守成,王成琼.电力系统中高压电气设备试验与安全设计[J].电子测试,2022,36(11):112-114.