

高压电气试验危险因素分析及应对措施研究

丁 昊

华电云南发电有限公司以礼河发电厂 云南 曲靖 654200

摘 要：高压电气试验是保障电力系统安全稳定运行的关键环节，然而试验过程中存在多种潜在风险。通过深入剖析设备老化、环境干扰、操作失误及管理漏洞等危险因素，揭示其对试验结果准确性与人员安全的威胁。针对性提出加强设备全周期管理、优化试验环境条件、规范标准化操作流程、完善安全管理体系等应对措施，旨在降低试验风险，提升高压电气试验的安全性与可靠性，为电力系统高效运行提供有力支撑。

关键词：高压电气试验；危险因素；应对措施

引言

随着电力行业的快速发展，高压电气设备的应用日益广泛，高压电气试验作为保障设备性能与电网安全的核心手段，其重要性愈发凸显。然而，试验过程中设备缺陷、复杂环境、人为操作不当及管理缺位等问题频发，不仅影响试验数据准确性，更威胁人员生命安全与电力系统稳定。本文通过系统分析高压电气试验各环节危险因素，针对性提出科学有效的应对策略，对提升试验质量、防范安全事故具有重要的现实意义。

1 高压电气试验概述

高压电气试验是电力系统中一项至关重要的技术工作，旨在通过一系列科学、系统的测试手段，对高压电气设备进行全面、细致的性能评估与状态监测。这一过程不仅涵盖了设备的绝缘性能检测，还涉及了电气参数测量、机械特性分析等多个维度，是确保电力系统安全稳定运行不可或缺的一环。高压电气试验的内容丰富多样，包括但不限于绝缘电阻测试、介质损耗因数测量、局部放电检测以及交流耐压试验等。绝缘电阻测试通过测量设备绝缘层在直流电压作用下的电阻值，来评估其绝缘性能是否良好；介质损耗因数测量则用于分析绝缘材料在交变电场中的能量损耗情况，反映绝缘的老化程度；局部放电检测技术能够精准捕捉设备内部微小的放电现象，为预防绝缘击穿提供早期预警；交流耐压试验则是通过施加高于设备额定电压的交流电压，考验设备在极端条件下的绝缘强度和耐压能力。在进行高压电气试验时，必须严格遵守安全操作规程，采取必要的防护措施，以防止试验过程中发生电击、电弧等安全事故。试验数据的准确性和可靠性对于评估结果的有效性至关重要，因此，试验人员需具备扎实的专业知识和丰富的实践经验，能够正确操作试验设备，准确记录和分析试验数据，为设备的维护检修提供科学依据。高压电气试

验作为电力系统运维管理的重要手段，对于保障设备安全、提升运行效率、延长使用寿命具有重要意义。通过定期开展高压电气试验，可以及时发现并处理设备潜在的安全隐患，为电力系统的持续稳定运行提供坚实的技术支撑。

2 高压电气试验危险因素分析

2.1 设备因素

高压电气试验中，设备自身的性能状态直接关系到试验安全与结果准确性。试验仪器的老化是不容忽视的潜在风险源，随着使用年限的增加，仪器内部电子元件性能逐渐衰退，电容、电阻等关键部件参数发生漂移，可能导致测量数据出现偏差。例如，绝缘电阻测试仪的内部电源在长期使用后输出电压稳定性下降，使得测试过程中实际施加于设备的电压与标称值不符，进而影响绝缘电阻测量的准确性。试验设备的校准周期与维护保养情况也至关重要。若未按照规定对设备进行定期校准，仪器的测量精度将难以保证，长期累积的误差可能导致对设备绝缘性能的误判。设备在运输或存储过程中受到碰撞、潮湿等不良环境影响，内部结构可能出现松动、受潮等问题，如变压器油色谱分析仪的气路系统在运输颠簸后出现漏气，导致检测结果失真，无法准确反映变压器内部故障情况。试验过程中使用的辅助设备，如试验变压器、调压器等，若存在绕组绝缘破损、接触不良等缺陷，在高电压、大电流的工作状态下，极易引发短路、过热等故障，不仅会损坏设备本身，还可能对试验人员的人身安全构成威胁^[1]。

2.2 环境因素

环境条件对高压电气试验的影响广泛而复杂。温度与湿度的变化显著干扰试验结果，低温环境下，绝缘材料的介质损耗角正切值增大，机械性能变脆，导致其绝缘性能评估失准；高湿度环境中，设备表面易形成水

膜,使表面泄漏电流增加,影响绝缘电阻测量结果。在潮湿环境下进行局部放电试验,空气中的水分会改变局部放电的起始电压和放电强度,干扰对设备内部缺陷的准确判断。电磁干扰同样不容忽视,试验现场附近的高压输电线路、大功率电机等设备运行时,会产生强烈的电磁场,这些干扰信号可能耦合到试验测量回路中,导致局部放电检测仪、介质损耗测试仪等设备出现误触发或测量数据异常波动。例如,在变电站内进行高压电气试验时,相邻间隔设备的操作产生的暂态电磁干扰,可能使局部放电检测系统误判为设备内部存在放电缺陷。自然环境中的雷电、风沙等因素也对试验安全构成威胁。雷电天气下,试验设备和人员暴露在高电压冲击风险中,即使采取接地措施,感应雷也可能通过试验引线引入设备,造成仪器损坏甚至引发人员触电事故;风沙环境中,沙尘颗粒可能进入试验设备内部,磨损仪器部件,影响其正常运行,如沙尘进入断路器操作机构,导致机械部件卡滞,影响试验的顺利进行。

2.3 操作因素

试验人员的操作行为直接影响高压电气试验的安全性与可靠性。操作技能的不足是引发问题的关键因素之一,部分试验人员对新型试验设备的原理、操作流程掌握不熟练,在进行复杂试验项目时,可能出现接线错误、参数设置不当等问题。例如,在进行交流耐压试验时,若试验人员未能正确设置保护电阻的阻值,过高的电压可能直接施加在设备上,导致设备绝缘击穿;在使用局部放电检测仪时,若未正确选择检测频段,可能无法有效捕捉到设备内部的放电信号,错过设备缺陷的诊断时机。对试验规程和安全要求理解不到位,也是导致操作失误的重要原因。在进行绝缘电阻测试时,试验人员若未按照规定对被试设备进行充分放电,残留电荷可能在测试过程中引发反击电压,危及试验人员安全和损坏试验仪器。操作过程中的疏忽大意同样不容忽视,在试验前未对试验设备和被试设备进行全面检查,遗漏设备存在的缺陷;在试验过程中未严格监视试验数据变化,对异常现象未能及时发现和处理,如在进行介质损耗因数测量时,未注意到试验电压的异常波动,导致测量结果无效,甚至可能因电压过高损坏被试设备^[2]。

2.4 管理因素

试验过程中的管理缺失会显著增加高压电气试验的风险。试验计划的制定不合理,对试验项目的安排缺乏系统性和科学性,可能导致试验资源分配不均,关键试验项目得不到充分重视。例如,将多个重要设备的耐压试验集中在短时间内进行,试验人员为赶进度可能简化

操作流程,增加试验风险。对试验现场的管理混乱,试验区域划分不明确,安全警示标识设置不到位,无关人员随意进入试验场地,易引发安全事故。在试验现场,若未对试验设备和试验引线进行有效隔离,其他工作人员误触带电部分,将造成触电危险。试验设备的管理不善,未建立完善的设备台账,对设备的使用、维护、校准情况缺乏详细记录,难以掌握设备的真实状态,无法及时发现设备潜在问题并进行处理。例如,试验变压器长期使用后未进行绝缘油检测,导致绝缘油性能下降,在试验过程中可能引发绝缘击穿事故。对试验人员的调配和监督不足,未根据试验人员的技术水平和经验合理安排工作任务,且缺乏有效的监督机制,无法及时纠正试验人员的违规操作行为,使得试验过程中的安全隐患无法得到有效控制。

3 高压电气试验应对措施

3.1 加强设备管理

(1) 构建设备全生命周期动态监测机制,利用传感器实时采集试验仪器内部元件的温度、电流等参数,通过数据分析模型预判电容、电阻等关键部件的性能衰退趋势。针对老化的绝缘电阻测试仪,可加装电压补偿模块,依据输出电压波动自动调整补偿参数,确保测试电压精准稳定。建立设备健康档案,详细记录每次校准数据、故障维修情况,结合历史数据预测设备潜在故障,提前制定维护计划。(2) 优化试验设备运输与存储环境,采用专业防震包装和恒温恒湿存储柜。运输过程中,对试验变压器、油色谱分析仪等精密设备进行特殊加固,使用减震材料填充空隙,防止内部结构因颠簸松动。存储时,将设备置于湿度控制在40%-60%、温度保持在20±5℃的环境中,定期检查设备防潮密封性能,避免因受潮导致内部电路短路或元件腐蚀。(3) 强化辅助设备质量管控,在试验前对试验变压器、调压器等设备进行绝缘电阻、绕组直流电阻等专项检测。利用红外热成像仪对设备连接部位进行扫描,检测是否存在接触不良导致的异常发热点。对于发现绕组绝缘破损的设备,立即进行绝缘修复或更换,对接触不良的连接点重新压接处理,确保设备在高电压、大电流工况下稳定运行。

3.2 优化环境条件

(1) 搭建智能环境调控系统,在试验场地安装温湿度传感器,实时监测环境参数。当温度低于设备正常工作范围时,启动电加热装置进行升温;湿度超标时,开启除湿机降低环境湿度。针对局部放电试验等对环境要求较高的项目,可建立独立的屏蔽试验间,采用双层屏蔽结构,有效隔离外界电磁干扰,同时配备精密温湿度

调节设备,将环境参数控制在试验要求的精度范围内。

(2)采用抗干扰技术提升试验设备性能,在局部放电检测仪、介质损耗测试仪等测量回路中加装滤波装置,滤除高频干扰;以光纤传输替代传统电缆,避免电磁耦合;现场布置电磁屏蔽网,对设备及引线屏蔽。例如,变电站内试验时设金属屏蔽围栏隔离。(3)制定极端天气应对预案,在雷电天气来临前,停止高压电气试验,将试验设备接地并断开所有引线,避免感应雷侵入。风沙天气时,对试验设备采取防尘保护措施,使用防尘罩覆盖设备,在设备进气口安装空气过滤器,防止沙尘进入设备内部。若沙尘已进入断路器操作机构等设备,及时进行拆解清理,涂抹润滑脂,确保机械部件灵活运转^[3]。

3.3 规范操作流程

(1)建立标准化操作手册,针对不同类型试验设备和项目,详细绘制接线示意图、操作步骤流程图,明确各参数设置范围和操作要点。对于交流耐压试验,在手册中规定保护电阻的计算方法和选择原则,对不同电压等级设备的试验电压值、持续时间等参数进行列表说明。制作操作演示视频,通过动画模拟展示复杂操作过程,帮助试验人员加深理解。(2)强化试验前检查与准备工作,制定详细的设备检查清单,涵盖试验设备外观、连接线路、接地装置、被试设备状态等内容。在进行绝缘电阻测试前,使用万用表检查被试设备是否存在残留电荷,若有则进行充分放电处理。对试验场地进行安全检查,确保试验区域无杂物,安全距离符合要求,试验引线布置合理,避免交叉和缠绕。(3)加强试验过程中的实时监控,在试验设备上安装数据采集模块,实时采集试验电压、电流、局放信号等数据,并传输至监控终端。试验人员通过监控屏幕密切关注数据变化趋势,设置异常数据报警阈值,当试验电压波动超过 $\pm 5\%$ 、局部放电量突然增大等情况发生时,系统自动发出声光报警,试验人员立即停止试验,分析原因并采取相应措施,确保试验安全和数据有效。

3.4 完善管理体系

(1)科学制定试验计划,运用项目管理软件对试验

任务进行统筹规划,根据设备重要程度、试验复杂程度合理分配时间和资源。避免将多个高风险试验项目集中安排,为每个试验项目预留充足的准备和实施时间。采用甘特图直观展示试验进度,对关键节点进行重点把控,确保试验计划有序推进。(2)强化试验现场管理,清晰划分试验区域、安全隔离区和人员通道,设置醒目的安全警示标识和围栏。在试验区域周围拉设警戒线,悬挂“高压危险”“禁止入内”等警示牌,安排专人负责现场安全监护。对试验设备和引线进行有序摆放和固定,确保试验现场整洁有序,消除安全隐患。(3)建立设备精细化管理模式,采用信息化手段构建设备管理数据库,详细记录每台试验设备的基本信息、使用记录、维护保养情况和校准证书。通过数据分析功能,对设备的使用频率、故障率等进行统计分析,预测设备维护周期和更换需求。建立设备备件库,储备常用的易损件和关键部件,确保设备出现故障时能够及时更换,减少停机时间,保障试验工作进行顺利^[4]。

结语

综上所述,高压电气试验的安全性与可靠性直接关系到电力系统的稳定运行。本文系统梳理了设备、环境、操作及管理层面的危险因素,并提出了全面的应对措施。通过落实这些措施,可有效降低试验风险,提高试验效率与准确性。未来,随着电力技术的不断革新,需持续关注高压电气试验中的新问题、新挑战,进一步完善风险防控体系,为电力行业的高质量发展筑牢安全防线。

参考文献

- [1]程明明.高压电气试验危险因素分析及应对措施研究[J].电气技术与经济,2024(9):75-77,80.
- [2]杨天.高压电气试验的危险点及控制措施探究[J].数字化用户,2023(46):221-222.
- [3]魏巍.变电设备高压电气试验危险性探讨[J].电气技术与经济,2024(4):377-379.
- [4]韩昊.220kV及以下变电设备高压电气试验危险性分析[J].大众用电,2023,38(8):47-48.