

基于故障分析的高压电气试验技术设计

李慧光 蒋明宏

内蒙古电力(集团)有限责任公司阿拉善供电公司

DOI:10.12238/etd.v6i8.17118

[摘要]高压电气试验是保障电力系统安全稳定运行的关键技术。本文聚焦故障分析,阐述高压电气试验技术基础,剖析绝缘、过热、机械等常见故障。基于安全性、准确性、针对性原则,设计优化绝缘性能测试、温度监测与过热故障诊断、机械特性测试等技术,构建多维度故障检测体系,实现设备状态精准评估与故障早期预警,为电力系统运维决策提供有力支撑。

[关键词]高压电气试验;故障分析;绝缘诊断

中图分类号:TM835 文献标识码:A

Design of High-Voltage Electrical Test Technology Based on Fault Analysis

Huiguang Li Minghong Jiang

Inner Mongolia Electric Power (Group) Co., Ltd., Alxa Power Supply Branch

[Abstract] High-voltage electrical testing is a key technology for ensuring the safe and stable operation of power systems. This paper focuses on fault analysis, elaborates on the fundamentals of high-voltage electrical testing technology, and examines common faults such as insulation failures, overheating, and mechanical issues. Based on the principles of safety, accuracy, and targeted application, technologies including insulation performance testing, temperature monitoring and overheating fault diagnosis, and mechanical characteristic testing are designed and optimized. A multi-dimensional fault detection system is established to achieve precise equipment condition assessment and early fault warning, providing robust support for power system operation and maintenance decisions.

[Key words] High-Voltage Electrical Testing; Fault Analysis; Insulation Diagnosis

引言

在电力系统向智能化、大容量发展的当下,高压电气设备的安全稳定运行至关重要。高压电气试验作为保障其运行的核心手段,能及时发现设备潜在缺陷。然而,设备运行中绝缘、过热、机械等故障频发,影响电力系统安全。因此,基于故障分析开展高压电气试验技术设计研究,构建科学有效的试验技术体系,对提升设备可靠性、保障电力系统稳定运行具有重大现实意义。

1 高压电气试验技术基础

1.1 高压电气试验概述

高压电气试验是保障电力系统安全稳定运行的核心技术手段,通过模拟各类运行工况,对高压电气设备的性能参数进行系统性检测,及时发现设备潜在缺陷并评估运行可靠性。其核心目的是验证设备是否符合设计标准和运行要求,预防设备故障引发的电力中断、设备损坏甚至安全事故。试验涵盖设备投运前的交接试验、运行中的预防性试验以及故障后的诊断性试验等多个环节,形成全生命周期的技术保障体系^[1]。在电力系统向智能化、大容量方向发展的背景下,高压电气试验不仅是简单的性

能检测,更成为设备状态评估、寿命预测的关键支撑。试验过程需严格遵循电力行业相关标准规范,结合设备类型、运行年限和环境条件制定科学方案,确保试验结果能真实反映设备实际状态,为电力系统运维决策提供可靠依据。

1.2 试验设备与仪器

高压电气试验设备与仪器是开展试验工作的物质基础,其性能直接决定试验结果的准确性和可靠性。常见的高压试验设备包括高压发生器、变压器、电抗器等加压设备,能为试验提供稳定的高电压、大电流等试验条件。其中,高压发生器分为直流高压发生器、交流高压发生器和冲击电压发生器,分别适用于不同类型的绝缘性能测试。测量仪器则涵盖电压表、电流表、功率表等常规仪表,以及局部放电检测仪、介损测试仪、色谱分析仪等专用仪器,可实现对设备绝缘性能、电气参数、油质状态等多维度的检测。现代试验设备普遍集成智能化技术,具备数据自动采集、分析和存储功能,能有效降低人为操作误差。设备使用过程中需建立完善的校准和维护制度,定期对设备进行精度校验和性能检测,确保设备始终处于良好工作状态。

2 高压电气常见故障分析

2.1 绝缘故障

绝缘故障是高压电气设备最常见且危害最大的故障类型,主要表现为绝缘电阻下降、局部放电、绝缘击穿等形式,直接威胁设备绝缘性能和运行安全。绝缘故障的产生与多种因素相关,长期运行中的电老化、热老化和环境老化是主要诱因。电老化由高压电场作用下的局部放电、电腐蚀等引起,会逐步破坏绝缘材料的分子结构;热老化则因设备运行时的损耗发热导致绝缘材料氧化、脆化;环境老化受湿度、污秽、温度变化等影响,使绝缘层受潮、附着污秽物,降低绝缘强度。常见的绝缘故障场景包括变压器绝缘油劣化、电缆绝缘层破损、开关设备绝缘拉杆老化等。此类故障初期通常伴随局部放电量增大、介损值上升等特征,若未及时发现,会逐步发展为绝缘击穿,引发设备短路故障。

2.2 过热故障

过热故障是高压电气设备运行过程中的典型故障,主要因设备导电回路接触不良、绝缘损耗过大或散热系统失效导致局部温度异常升高。导电回路中接头松动、接触面氧化或镀层脱落会增大接触电阻,电流通过时产生焦耳热,使局部温度超过设计允许值;铁芯叠片间绝缘损坏引发的涡流损耗过大,会导致变压器、电抗器等设备铁芯过热;散热系统故障如散热器堵塞、风扇损坏等,会使设备产生的热量无法及时散发,引发整体或局部过热。过热故障会加速绝缘材料老化,降低设备绝缘性能,严重时会导致金属部件熔化、绝缘层燃烧,引发设备损坏或火灾事故。不同部位的过热故障具有特定特征,如母线接头过热会导致接头处金属变色、氧化层增厚,变压器绕组过热会使绝缘油中甲烷、乙烯等特征气体含量升高。

2.3 机械故障

机械故障主要发生在高压开关设备、变压器、电抗器等具有机械传动或运动部件的设备中,表现为部件变形、卡涩、松动、磨损等形式,影响设备机械性能和操作可靠性。高压开关设备的机械故障较为典型,如断路器操动机构卡涩、分合闸速度异常,隔离开关触头接触不良、操作失灵等,这些故障会导致设备无法正常分合闸,严重时引发电网事故^[2]。变压器的机械故障包括铁芯松动、绕组变形等,多由运输过程中的振动、短路故障产生的电动力或长期运行中的机械应力导致。机械故障的产生与设备制造工艺缺陷、安装质量不佳、运行中的机械磨损以及操作不当等因素相关。初期故障可能仅表现为操作阻力增大、运行噪音异常,若未及时处理,会逐步加剧部件损坏,引发更严重的故障。

3 基于故障分析的试验技术设计原则

3.1 安全性原则

安全性原则是高压电气试验技术设计的首要原则,贯穿试验方案制定、设备选型、操作实施及后期处置的全过程,旨在保障试验人员人身安全和设备、电网安全。高压电气试验涉及高电压、大电流等危险工况,试验设计时需首先明确安全防护标准,

划定安全作业区域,设置明显警示标识,严禁无关人员进入。试验设备选型需符合安全规范,具备完善的过流、过压保护装置和可靠的绝缘性能,避免因设备故障引发安全事故。试验方案中需明确接地、屏蔽等安全措施,如对被试设备进行可靠接地,防止感应电压或残余电压对人员造成伤害。操作流程设计需规范有序,明确操作步骤和岗位职责,操作人员需经专业培训考核合格后方可上岗,作业过程中需严格遵守安全操作规程。此外,还需考虑突发情况的应急处理措施,制定应急预案并定期开展演练,确保在故障或意外发生时能及时有效处置,最大限度降低安全风险。

3.2 准确性原则

准确性原则是高压电气试验技术设计的核心要求,直接决定试验结果的可靠性和对设备状态评估的精准度。为保障试验准确性,需从试验设备、环境控制、操作规范、数据处理等多方面进行严格设计。试验设备需选用精度符合要求的合格产品,定期进行校准和检定,确保设备测量误差在允许范围内。试验环境控制至关重要,温度、湿度、气压等环境因素会对试验结果产生影响,设计时需明确适宜的试验环境条件,必要时采取恒温、恒湿、屏蔽等措施,减少环境干扰。试验操作流程需标准化,明确试验前的设备准备、接线方式、试验参数设定等要求,避免因操作不当导致试验误差^[3]。数据采集与处理环节需规范,采用高精度数据采集设备,确保数据采集的完整性和真实性,同时运用科学的数据处理方法,对原始数据进行滤波、修正等处理,剔除异常数据,提高数据准确性。另外,还需进行多次平行试验,通过数据对比验证试验结果的重复性和一致性,确保试验数据能真实反映被试设备的实际状态,为故障诊断和设备评估提供可靠依据。

3.3 针对性原则

针对性原则要求高压电气试验技术设计需结合被试设备的类型、结构、运行状况及常见故障特征,制定个性化试验方案,提高试验的有效性和针对性。不同类型的高压电气设备其工作原理、结构特点和故障模式存在差异,试验设计需据此选择适宜的试验项目和方法。例如,针对变压器的绝缘故障,需重点设计绝缘电阻测试、介损测试、局部放电测试等项目;针对高压开关设备的机械故障,需侧重机械特性测试、操作机构性能测试等。同时,需结合设备的运行年限和运行状况调整试验方案,对于运行年限较长、存在故障隐患的设备,可增加试验项目、提高试验频次或采用更精准的诊断性试验方法;对于新投运设备,需重点开展交接试验,验证设备安装质量和性能是否符合要求。还需结合设备的运行环境特点进行设计,如在污秽严重的环境中运行的设备,需加强绝缘污秽度测试和防污闪相关试验。通过针对性设计,可避免盲目试验,精准捕捉设备潜在缺陷,提高故障诊断的效率和准确性,降低试验成本。

4 基于故障分析的高压电气试验技术设计

4.1 绝缘性能测试技术优化

基于绝缘故障的特征分析,绝缘性能测试技术优化需从提

高检测灵敏度、扩大检测范围、实现状态评估等方面入手,构建多维度测试体系。传统绝缘测试项目如绝缘电阻测试、直流耐压测试虽能初步判断绝缘状况,但对早期绝缘缺陷的检出能力有限,优化后的技术需整合多种测试方法。例如,将局部放电测试与介损测试相结合,局部放电测试可精准检测绝缘内部的微小缺陷,介损测试能反映绝缘整体老化程度,两者结合可实现对绝缘状态的全面评估。采用变频串联谐振耐压试验技术替代传统直流耐压试验,该技术能模拟设备实际运行电压波形,避免直流电压对油纸绝缘造成的累积损伤,同时适用于大容量设备的耐压测试。引入智能化检测技术,利用红外热成像技术检测绝缘件表面温度分布,结合超声波检测技术排查绝缘内部空洞、裂纹等缺陷,实现非破坏性检测。数据处理方面,运用大数据分析和人工智能算法,对历史测试数据和故障数据进行建模,实现对绝缘缺陷发展趋势的预测,为设备运维提供前瞻性决策支持,提高绝缘故障预防能力。

4.2 温度监测与过热故障诊断技术

针对过热故障的产生机制和特征,温度监测与过热故障诊断技术设计需实现实时监测、精准定位和早期预警。传统的接触式温度监测如热电偶测温存在安装不便、易受电磁干扰等问题,优化后的技术采用接触式与非接触式相结合的方式。对于设备接头、绕组等关键部位,安装无线测温传感器,实现温度数据的实时采集和无线传输,避免传统布线带来的安全隐患;利用红外热成像仪对设备整体进行定期巡检,快速发现局部过热区域,精准定位故障点。数据处理与诊断环节,建立过热故障温度阈值模型,结合设备运行电流、环境温度等参数,对监测数据进行综合分析,判断过热原因是接触电阻过大、损耗异常还是散热不良。引入趋势分析技术,通过对历史温度数据的分析,预测温度变化趋势,实现过热故障的早期预警。开发智能化诊断系统,整合监测数据、设备参数和故障案例,通过机器学习算法自动识别过热故障类型和严重程度,为运维人员提供精准的故障处理建议。

4.3 机械特性测试技术改进

基于机械故障的分析,机械特性测试技术改进需聚焦于提高测试精度、实现动态监测和自动化分析,全面评估设备机械性

能。针对高压开关设备的机械故障,传统的机械特性测试多采用人工操作方式,测试精度和效率较低,改进后的技术采用自动化测试系统。该系统通过高精度传感器采集开关分合闸速度、时间、行程等关键参数,结合高速摄像技术记录开关动作过程,实现对机械特性的精准测量。对于变压器、电抗器等设备的铁芯松动、绕组变形等机械故障,引入振动监测技术,通过在设备壳体安装振动传感器,采集运行过程中的振动信号,利用频谱分析技术提取特征频率,判断设备内部机械结构是否存在异常^[4]。测试数据处理方面,建立机械特性参数数据库,整合不同设备类型的标准参数和历史测试数据,通过对比分析判断设备机械性能变化趋势。开发自动化诊断模块,运用模式识别算法对振动信号、机械特性参数等数据进行分析,自动识别机械故障类型,如操动机构卡涩、铁芯松动、绕组变形等,并评估故障严重程度。实现测试数据的远程传输和共享,运维人员可通过终端实时查看测试结果和诊断报告,及时制定故障处理方案,提高设备运维效率。

5 结束语

本文围绕基于故障分析的高压电气试验技术设计展开研究,从技术基础、常见故障分析入手,依据安全性、准确性、针对性原则,对绝缘性能测试、温度监测与过热故障诊断、机械特性测试等技术进行优化改进。通过多维度技术融合与创新,提高了故障检测的精准度与及时性。未来,需持续探索新技术,完善试验技术体系,以更好地适应电力系统发展需求,保障其安全稳定运行。

参考文献

- [1] 韩雪刚.基于故障分析的高压电气试验技术设计[J].电气技术与经济,2025(7):116-118.
- [2] 王伟荣.高压电气设备测试技术及试验装置设计研究[J].仪器仪表用户,2024,31(4):54-56.
- [3] 马显映,张兴勇,何泽优.高压电气试验及技术改进研究[J].电气技术与经济,2024(6):330-333.
- [4] 王镇,高宇.基于物联网的电力系统高压电气试验检测系统[J].电气技术与经济,2025(5):184-186.