

高海拔地区GIS组合电器耐压试验局部放电检测技术应用与优化

塔晓龙

国网青海省电力公司海北供电公司 青海 海北 812200

摘 要: 高海拔低气压、低温、强紫外线等特殊环境,会干扰GIS组合电器耐压试验与局部放电检测精度,易引发信号误判、绝缘考核失效等问题。本文剖析高海拔环境对检测工作的影响机理,梳理现场检测技术应用短板与问题成因,从设备参数、抗干扰技术、试验流程、缺陷诊断四方面提出优化方案。研究可有效提升高原GIS设备绝缘检测精准度,保障电力设备安全稳定运行。

关键词: 高海拔地区; GIS组合; 电器耐压试验; 局部放电; 检测技术; 应用; 优化

引言

GIS组合电器是高压电力系统的核心设备,其绝缘性能直接关乎电网运行安全。高海拔地区特殊的气候与地理环境,会改变GIS组合电器外绝缘特性,加剧外部电晕干扰,导致常规局放检测技术适配性不足,试验数据误差较大,难以精准排查设备隐性绝缘缺陷。为解决高原GIS检测难题,本文结合现场试验工况,分析检测现存核心问题,针对性制定技术优化策略,为高海拔地区GIS绝缘检测工作提供技术参考。

1 高海拔 GIS 组合电器耐压试验与局部放电检测理论基础

1.1 GIS组合电器绝缘与局放产生机理

(1) GIS设备以 SF_6 气体为核心绝缘介质,该气体具备极强电负性,可快速吸附自由电子抑制电弧发展,实现设备相间、对地绝缘。绝缘失效主要源于气体微水超标、杂质粉尘、气体泄漏导致气压不足,破坏绝缘屏蔽体系,引发电场畸变与绝缘性能衰减。(2) GIS内部典型缺陷是局放产生的核心诱因,主要包含金属尖端、自由金属颗粒、绝缘子气隙、绝缘表面划痕四类缺陷。不同缺陷电场畸变程度不同,分别引发尖端电晕放电、颗粒悬浮放电、气隙内部放电及沿面放电,形成不同类型的局部放电信号。(3) 局部放电是渐进式劣化过程,初期仅产生微弱脉冲信号,长期持续放电会逐步侵蚀绝缘子表面、分解 SF_6 气体,产生腐蚀性产物,扩大设备内部缺陷,最终导致绝缘结构彻底损坏,引发绝缘击穿、设备短路故障。

1.2 高海拔特殊环境对绝缘试验的影响机理

(1) 高海拔低气压环境会大幅降低空气击穿场强,同时弱化 SF_6 气体的绝缘恢复能力,同等电压下更易发生

气体放电,导致试验耐受电压阈值降低,常规试验参数无法适配高海拔绝缘检测要求。(2) 高海拔低温会使 SF_6 气体液化、气压衰减,大风易造成设备表面电场分布紊乱,强紫外线会加速绝缘子绝缘材料老化,多重环境因素叠加,干扰试验数据准确性,降低设备绝缘稳定性。(3) 高海拔空气稀薄使电晕放电起始电压降低,设备外部极易产生频繁电晕放电,其脉冲信号与GIS内部局放信号频段重叠,会掩盖真实局放信号,造成检测误判、漏判,严重影响检测可靠性^[1]。

1.3 GIS耐压试验与局放检测核心技术原理

(1) GIS现场交流耐压试验依据电力行业标准制定流程,通过阶梯式升压、稳压、降压流程考核设备绝缘性能,参数设定结合设备电压等级、高海拔修正系数,规避环境干扰,精准校验绝缘耐受能力。(2) 特高频法通过采集局放产生的超高频电磁波信号定位缺陷,超声波法捕捉放电产生的声波振动信号,脉冲电流法检测放电脉冲电流变化,三种技术互补,可实现全方位局放检测。(3) 耐压试验同步局放检测依托协同采集机制,在高压考核设备绝缘的同时,实时捕捉放电信号,同步识别绝缘隐性缺陷,区分正常耐压扰动与异常局放故障,提升试验检测的全面性与精准度。

2 高海拔地区 GIS 耐压试验局放检测技术现场应用与问题分析

2.1 高海拔GIS耐压试验与局放检测现场试验方案

(1) 高海拔GIS试验场地多处于海拔2500m以上区域,整体气压、空气密度远低于平原地区,昼夜温差大、风力较强且紫外线辐射剧烈。现场环境复杂,空气湿度、温度波动频繁,极易产生户外电晕现象,相较于平原场地,试验干扰源更多、环境变量更复杂,直接影

响GIS绝缘试验和局放检测的基础条件。(2)结合高海拔试验需求,现场优先选用抗干扰、宽量程的耐压试验装置与局放检测设备,适配低气压下的工况。设备接线严格遵循高压试验安全规范,采用短距离、屏蔽式接线方式,减少线路电磁干扰。仪器参数依据海拔修正标准预设,对耐压电压、升压速率、局放采集频段等参数进行提前校准,适配高海拔信号衰减特性。(3)现场耐压试验采用分级升压、逐级稳压的标准化流程,严格按照初始电压、试验电压、稳压时长的规范步骤开展试验,全程匀速升压、平稳降压。同时同步启动局放检测系统,在整个耐压过程中实时采集信号,严格执行静置检测、加压检测、稳压复测的操作规范,规避人为操作带来的检测误差。

2.2 主流局放检测技术高海拔现场应用效果

(1)超声波检测技术适用于高海拔GIS内部颗粒放电、悬浮放电等缺陷检测,现场信号采集以低频声波信号为主,抗电磁干扰能力较强。但高海拔大风、气流扰动会产生环境噪声,易与低频局放信号叠加,导致有效信号幅值波动,信号辨识度下降,仅能初步判定设备内部缺陷大致位置。(2)特高频检测技术依托超高频电磁波信号识别局放缺陷,检测灵敏度较高,可精准捕捉GIS内部微弱放电信号。但高海拔环境下外部电晕频发,会产生广谱高频干扰信号,压缩有效信号识别区间,导致特高频设备灵敏性小幅下降,对微小缺陷的识别精度低于平原工况^[2]。(3)多技术联合检测融合超声波与特高频检测优势,互补单一技术的检测短板。通过特高频精准定位缺陷、超声波验证缺陷类型,有效屏蔽单一环境干扰,大幅降低信号误判概率。现场实操中,联合检测可全面覆盖GIS内部各类典型缺陷,检测准确率显著高于单一检测方式,适配高海拔复杂工况。

2.3 高海拔环境下检测工作存在的核心问题

(1)高海拔低气压环境使设备外部金具、导线极易产生持续性电晕放电,产生大量无序脉冲信号。此类干扰信号与GIS内部局放信号特征相似,检测系统难以精准甄别,频繁引发局放信号误判、漏判问题,无法真实反映设备内部绝缘状态,严重影响试验检测结果的准确性。(2)高原低气压条件大幅降低空气击穿场强,GIS设备外部绝缘间隙耐压能力下降,试验过程中易出现外绝缘闪络、轻微放电现象。外绝缘放电会叠加试验数据,干扰耐压试验判定标准,导致无法精准考核设备本体绝缘性能,降低耐压试验的有效性与可信度。(3)常规局放检测设备参数基于平原工况设计,未适配高海拔信号衰减、干扰杂乱的特性。设备固定的增益、滤波参

数无法适配高原环境,易出现微弱有效信号过滤、干扰信号过度放大的情况,设备检测稳定性大幅下降,难以满足高海拔精准检测的作业需求。

2.4 问题成因深度分析

(1)环境层面,高海拔气压降低导致空气电离阈值下降,电晕放电频发;低温环境改变SF₆气体绝缘特性,加剧信号衰减;同时高原空旷环境电磁干扰无遮挡,各类杂波信号叠加,多重环境因素共同干扰局放信号采集与识别,是检测误差频发的核心环境诱因。(2)设备层面,常规检测仪器的信号放大、滤波、采集算法均适配平原信号传输特性,未针对高海拔信号衰加快、干扰密集的特点优化。仪器灵敏度与信号识别逻辑存在局限性,无法有效剥离干扰、提取有效信号,导致设备适配性与检测稳定性不足。(3)工艺层面,现行通用试验流程、加压参数、检测标准均以平原工况为基准,未结合高海拔环境特性进行修正优化。加压时长、试验电压阈值、信号判定标准与高原实际工况不匹配,试验操作工艺缺乏针对性,进一步加剧检测误差与试验偏差。

3 高海拔 GIS 耐压试验局部放电检测技术优化方案

3.1 检测设备与参数优化

(1)针对高海拔电晕干扰强、信号衰减明显的特点,优化局放检测传感器选型,优先选用宽频、高灵敏度、抗干扰型特高频与超声波传感器,适配低气压环境下微弱局放信号采集需求。同时优化传感器安装工艺,结合GIS设备腔体结构,选择无遮挡、信号损耗小的安装点位,固定传感器并做好密封防护,规避大风、紫外线、低温带来的设备晃动与老化问题,保障信号采集的稳定性与完整性。(2)依据高海拔气压、空气击穿场强衰减规律,建立精准的海拔参数修正模型,对耐压试验电压与加压时间进行优化调整。摒弃平原通用参数标准,根据现场实际海拔高度、环境温度进行动态修正,适当匹配适配高海拔工况的试验电压幅值,合理延长稳压检测时长,弥补低气压导致的绝缘考核偏差,确保耐压试验能够真实校验GIS设备绝缘耐受性能^[3]。(3)针对常规仪器参数适配性差的问题,制定高海拔专属仪器调试方案。结合现场干扰频谱特征,优化设备增益参数,避免增益过高放大环境干扰信号、增益过低丢失微弱局放信号。同时定制差异化滤波参数,锁定GIS内部局放有效信号频段,过滤高海拔电晕、电磁、风噪等杂波干扰,通过现场预调试校准,提升仪器信号采集精度。

3.2 抗干扰检测技术优化

(1)基于高海拔电晕干扰与设备内部局放信号的特征差异,优化信号甄别与滤波算法。通过采集大量高

海拔现场干扰样本与缺陷信号样本,建立信号特征对比库,依托算法区分电晕干扰的无序脉冲特征与局放信号的规律脉冲特征,实现自动甄别、分类过滤,从数据层面剔除无效干扰信号,解决信号误判、漏判问题。(2)优化现场电磁屏蔽与接地施工工艺,全方位降低环境干扰。试验区域采用屏蔽围挡、屏蔽线缆搭建局部抗干扰环境,对试验接线、检测线路进行包裹屏蔽处理,杜绝外界电磁信号耦合干扰。同时规范多点接地、等电位接地工艺,降低接地电阻,避免因电位波动引发的信号异常,构建稳定的现场检测工况。(3)采用多维度信号融合技术,整合特高频、超声波、脉冲电流三类检测信号的特征优势。通过多通道同步采集、数据联动分析,对不同维度信号进行叠加校验,弥补单一检测技术的短板。利用信号融合算法提取有效局放特征,弱化环境干扰影响,大幅提升复杂高海拔工况下局放信号的提取精度与可靠性^[4]。

3.3 试验流程与操作工艺优化

(1)优化高海拔GIS试验前预处理工艺,试验前对设备SF₆气体气压、微水含量、气体纯度进行全面检测,根据环境温度完成气体参数校准。清理设备表面粉尘、污渍,检查绝缘子外观与接线状态,排查设备密封缺陷,提前消除设备自身隐患,规避预处理不到位引发的试验误差,为后续试验奠定良好基础。(2)设计分阶段加压、分段检测的精细化试验流程。摒弃传统一次性加压模式,按照低压预试、中压稳压、额定耐压、降压复测四个阶段开展试验,每阶段完成信号采集与数据分析,实时监测局放信号变化趋势。通过分段式检测精准捕捉不同电压等级下的绝缘缺陷,提升试验的全面性与规范性^[5]。(3)建立恶劣天气试验窗口期筛选机制,结合高海拔大风、低温、强紫外线、雨雪等天气特点,明确禁止试验的恶劣工况标准。优选温度稳定、风力微弱、无强光干扰的时段开展试验,同时制定恶劣环境应急操作规范,若试验中环境突变,立即暂停加压、做好设备防护,保障试验数据有效与作业安全。

3.4 缺陷定位与诊断方法优化

(1)优化高海拔局放缺陷精准定位算法,结合高海拔信号传输衰减、传播延迟特性,修正传统定位算法的

误差参数。依托多测点信号时差定位技术,校准信号传播损耗差值,抵消环境因素带来的定位偏移问题,实现GIS内部金属颗粒、气隙、尖端缺陷的精准定位,缩小缺陷排查范围。(2)搭建高海拔专属GIS局放信号特征数据库,收集不同海拔、不同环境、不同缺陷类型的局放信号数据,完善各类缺陷的波形、幅值、频谱特征参数。基于数据库建立智能诊断模型,通过大数据比对分析,自动匹配缺陷类型,实现缺陷的智能化、精准化诊断,适配高海拔特殊工况。(3)优化微小绝缘缺陷早期识别与预判技术,针对高海拔环境下微小缺陷信号微弱、易被干扰覆盖的特点,强化微弱信号提取与特征识别能力。通过长期监测信号变化趋势,结合设备运行工况,预判绝缘缺陷的劣化发展趋势,提前发现隐性绝缘隐患,实现缺陷早识别、早预警、早处理,保障设备安全稳定运行。

结束语

本文系统分析了高海拔环境下GIS耐压试验与局放检测的技术难点,明确环境、设备、工艺三大维度的问题根源,构建了全方位的技术优化体系。通过设备参数校准、抗干扰技术升级、试验流程精细化及智能缺陷诊断优化,可有效规避高原环境干扰,提升局放检测准确率与耐压试验可靠性。研究成果可适配高海拔复杂工况,为同类电力设备绝缘检测与运维优化提供实操依据与技术支持。

参考文献

- [1]余泮.高海拔气压条件对GIS局部放电特高频检测精度的影响研究[J].电力工程技术,2023,42(2):89-95.
- [2]周宇轩.高海拔地区GIS交流耐压试验局部放电现场检测优化方法[J].高压电器,2023,59(9):156-162.
- [3]王昊天.高海拔GIS暂态耐压下局部放电融合检测技术及工程应用[J].电工技术学报,2025,40(19):189-198.
- [4]钱大钊.多物理量融合的高海拔GIS局部放电缺陷评估与检测优化方法[J].机械研究与应用,2026,39(1):168-172.
- [5]夏月明.高海拔特殊环境下GIS绝缘特性及局放试验误差分析[J].中文科技期刊数据库(工程技术),2025(5):92-95.