

# Research on the Application of Partial Discharge Detection Technology for GIS Equipment in Substation Operation and Maintenance

Xiaoyan Ma Zhonghua Xia Bingli Zhang Wenjing Xing

Changji Power Supply Company, State Grid Xinjiang Electric Power Co., Ltd., Changji, Xinjiang, China, 831100

## Abstract

This study investigates the application of partial discharge detection technology in GIS equipment for substation operation and maintenance. It analyzes the principles and adaptability of ultra-high frequency (UHF) and acoustic emission (AE) methods, and verifies their effectiveness through field tests in a 220 kV substation. The results show that both methods can accurately identify internal discharge defects with high sensitivity and strong anti-interference capability, providing reliable data support for equipment condition assessment and risk warning. The study demonstrates that partial discharge detection can improve the precision and efficiency of substation operation and maintenance, and has important value for intelligent O&M and lifecycle management of power equipment.

## Keywords

GIS equipment; partial discharge; detection technology; intelligent operation and maintenance; condition assessment

## 变电运维中 GIS 设备局部放电检测技术应用研究

马小燕 夏中华 张冰丽 邢文静

国网新疆电力有限公司昌吉供电公司, 中国·新疆 昌吉 831100

## 摘要

为提升变电运维效率与GIS设备运行可靠性,研究聚焦局部放电检测技术在GIS设备中的应用,分析超高频法与声发射法的检测原理、信号特征及工程适应性,并结合典型220千伏变电站实例开展现场检测与结果验证。结果表明,该技术可准确识别GIS设备内部多类局部放电缺陷,具备较高灵敏度、定位精度与抗干扰能力。基于检测数据,能够为设备状态评估与风险预警提供技术支持,并辅助制定科学合理的检修计划,提升运维工作的针对性和有效性。研究成果对推动智能运维体系建设和设备全生命周期管理具有工程价值,也为电网安全运行与智能化发展提供了可复制的技术路径与实践经验。

## 关键词

GIS设备; 局部放电; 检测技术; 智能运维; 状态评估

## 1 引言

在电力系统中,气体绝缘开关设备因其体积小、绝缘性能强、运行稳定,被广泛应用于各类变电站中,随着运行年限的增长,设备内部局部放电问题日益突出,成为引发故障的关键隐患。局部放电检测作为评估GIS绝缘状态的重要手段,已成为保障电网安全运行的核心环节。针对检测技术复杂性与现场应用需求,开展高效、精准的检测方法研究具有重要的工程价值和现实意义。

## 2 检测技术综述

### 2.1 检测原理

GIS设备在高压运行条件下,内部绝缘系统存在因制造缺陷、安装应力或运行老化等因素引发的电场不均,导致局部放电现象产生,局部放电作为绝缘系统局部区域内非贯穿性击穿形式,其发展过程可持续数月甚至数年,对绝缘结构形成累积性损伤,局部放电在气体、固体或复合介质中发生时,会伴随高频电磁波、机械振动、瞬态电流以及化学副产物的释放。电磁波在金属壳体内壁发生反射形成谐振信号,振动信号沿设备结构向外传递,电流信号可根据接地系统引出检测,化学产物则可被气体分析装置识别。这些信号特征构成了局部放电检测的物理基础。检测系统根据对信号的幅值、频率、相位、时间及空间分布特性的分析识别放电模式和发生部位<sup>[1]</sup>。

【作者简介】马小燕(1990-),女,回族,中国甘肃天水人,本科,工程师,从事供配电系统研究。

## 2.2 主流方法

当前 GIS 局部放电检测主要采用非侵入式手段，基于放电伴随信号的特性构建多种检测路径，其中以超高频法与声发射法为主流技术，超高频检测技术利用局部放电产生的电磁波信号在 300 MHz 至 1.5 GHz 频段内具有高能量密度的特征，根据在设备金属外壳预留的感应窗口或安装内置天线捕获信号，借助信号调理与放大设备还原其幅频信息，该方法对外界工频电磁干扰具有较强屏蔽能力，在噪声背景下依然能够有效分辨局放信号，适用于现场在线检测与长期状态监测，声发射法基于放电产生的机械冲击波沿壳体传播的特性，根据压电传感器采集设备表面振动信号，再根据时频域分析提取有代表性的特征参数。声发射信号在固体材料中传播速度与能量衰减特性较为稳定，有利于实现缺陷空间定位。两种方法在工程应用中均表现出良好的响应灵敏度与放电模式识别能力<sup>[2]</sup>。

## 2.3 技术比较

各类局部放电检测技术在信号源类型、响应特性、系统架构与应用条件方面存在明显差异，需要根据系统性的对比分析明确其优势与适应性，超高频法以其频率高、传播路径短与抗干扰强的特点，在多气室 GIS 系统中具备较高定位精度与故障识别能力，适用于高压等级、结构复杂与对持续监测要求较高的场景，声发射法虽在信号能量方面弱于电磁信号，但在多源耦合情况下能更敏感地捕捉非典型放电形式如爬电或局部接触放电，并能根据三角定位算法准确反演缺陷位置，在实际工程应用中，超高频检测多承担信号主诊断任务，而声发射检测则作为辅助信号源加强空域辨识能力。与这两类方法相比，暂态地电压法对信号提取路径依赖程度高，适合短距离传输结构中的局部缺陷监测，但在大气室设备中衰减严重。气体分析法具备对绝缘气体老化趋势进行监控的能力，可作为长期运行状态的间接评估手段，但无法提供明确的放电位置与放电类型识别结果，从设备安装复杂度与运维可行性来看，UHF 传感器可内置于设备结构中减少人工干预，AE 传感器需外部安装但便于灵活调整<sup>[3]</sup>。

## 3 工程应用实践

### 3.1 检测流程

GIS 局部放电检测工作需依据设备运行状态、环境条件与运维要求科学制定技术方案，保障检测数据的代表性与准确性，检测流程通常包括前期准备、传感器布置、信号采集、数据分析与结果判定五个核心环节，在前期准备阶段，需充分了解被测 GIS 设备的型号、投运年限、运行负荷以及历史故障信息，明确检测目的与重点区域，传感器布置阶段依据设备结构特点与接地方式选择安装位置，UHF 传感器多采用窗口式或内置式结构，声发射传感器则需固定于设备壳体外部的振动响应区域，并综合考虑信号传播路径与干扰源影响。信号采集阶段，采用高频信号接收系统与多通道同步采集装置进行连续或定时扫描，同时结合时间门限与相

位特征对工频周期内的放电活动进行有效捕捉。数据分析环节依据频谱特性、信号幅值、局放图谱形态与位置反演算法对局放源进行归类识别，必要时结合 GIS 局部结构模型进行模拟对比。结果判定则依据现行行业标准与以往工程经验进行综合研判，对检测到的异常信号作出评估并建议相应处置措施，完整的检测流程需要设备运行、检修、监测、工程技术等多部门协同配合，根据标准化流程建设形成可复制、可推广的技术路径<sup>[4]</sup>。

### 3.2 案例分析

在某 220 千伏变电站进行的 GIS 局部放电检测项目中，设备已运行超过 15 年，运维单位在例行巡检过程中发现主气室区域存在间歇性异常声响，基于该异常特征，运维人员决定开展专项局部放电检测，并采用 UHF 超高频法与 AE 声发射法联合布点进行信号采集分析。传感器布置选取出线侧、母线侧与断路器室三处关键节点，安装 3 路 UHF 传感器与 2 路 AE 传感器，采集持续时间设定为 24 小时覆盖完整负荷周期。数据分析阶段，UHF 检测通道出现多个稳定脉冲信号，其幅值峰值达到 58 dBm，持续时间超过 18 小时，信号频带集中在 350 MHz 至 700 MHz 之间，具有典型的内部放电特征。声发射信号在断路器侧响应最为明显，单次信号幅值超过 1.8 mV，信号时域波形表现为短周期高幅反复震荡，初步判断为放电附带机械振动引发的耦合效应。结合设备运行记录与历史局部放电发展规律，判定该异常为典型的浮电位导体放电，具备长期累积绝缘击穿风险。检测结束后运维部门采取局部绝缘更换与密封强化措施，经一月后复检，未再发现相同频带内的高强度脉冲信号，表明诊断判断准确且处置有效。

### 3.3 结果评估

为进一步验证局部放电检测技术的应用效果，在该变电站检测项目完成后对关键监测参数进行统计与分析，检测数据根据 UHF 与 AE 双通道同步采集系统获得，采用数字滤波技术消除背景噪声，并运用小波包分解提取特征频带信号，经数据整理后，提取出信号幅值、脉冲计数、频带分布、放电相位与持续时间五项关键指标，形成对比数据表并与设备运行状态进行关联分析。

表格数据显示，UHF-1 通道检测到的信号幅值达到 58 dBm，脉冲计数稳定在每小时 125 次以上，放电信号集中分布于 30° 至 90° 相位区间，且持续时间达到 18 小时，表明设备存在连续性局部放电活动，UHF-2 通道数据相对较弱，主频带偏低，反映出空间位置上放电源靠近 UHF-1 测点。AE 通道中，AE-1 传感器最大幅值为 1.8 mV，出现次数与 UHF 数据高度一致，验证了信号源的物理一致性。根据 UHF 与 AE 数据融合分析可判断放电源为内部局部悬浮导体或电场集中区局部击穿。这些数据表明，在多通道协同检测模式下，GIS 设备内部局部放电活动可被准确捕获，异常定位结果具备良好一致性，诊断判断具有较高可信度，为设备维护提供了可靠技术依据。

表 1: GIS 局部放电检测关键数据统计表

检测通道	信号幅值峰值 (dBm)	脉冲计数 (次/小时)	主频带范围 (MHz)	放电相位集中区间 (°)	异常持续时长 (小时)
UHF-1	58	125	350-700	30-90	18
UHF-2	45	72	310-610	270-330	5
AE-1	1.8	97	—	—	16
AE-2	1.2	54	—	—	4

## 4 发展趋势与挑战

### 4.1 智能运维

随着电力系统数字化转型不断推进,基于数据驱动的智能运维理念逐步取代传统依赖经验和人工巡检的方式,成为保障设备可靠运行的核心手段之一,GIS 设备局部放电检测技术在智能运维体系中的融合表现为感知终端集成化、数据分析自动化与运维策略智能化的综合演进方向,感知层面根据嵌入式 UHF 传感器和集成型 AE 传感器可实现对局部放电信号的连续性捕捉,检测设备由单一测试仪向具有通信与自检能力的智能单元转变。数据采集终端根据与站端监控系统互联,打通变电站自动化平台与局放检测系统之间的信息壁垒,形成完整的数据链路。分析层面结合人工智能算法实现放电模式识别与趋势预测,提高故障预判的及时性和准确性,运维决策层构建基于历史故障模型和设备运行状态的智能推荐机制,使诊断结果可以转化为维修计划与资源调度建议,从而提高电网故障处理效率与设备全生命周期管理水平。智能运维背景下局部放电检测是状态感知的重要入口,也正成为智能诊断与智慧运维平台中不可或缺的关键技术模块<sup>[5]</sup>。



图 2 智能变电站 GIS 局部放电检测系统现场布设图

### 4.2 在线监测

在线监测技术作为实现设备状态实时掌握与预警响应的关键手段,在 GIS 局部放电领域的应用呈现出多维感知、多通道融合与远程管理的发展态势,受限于 GIS 设备的密封结构与电磁屏蔽特性,传统离线检测存在时效性差与数据间断等问题,难以满足现代电网对设备状态连续监控的要求,在此背景下构建具备高可靠性与环境适应性的在线监测系统成为技术发展的必然趋势,系统架构通常包含前端传感器单元、信号调理与采集装置、数据传输模块与后端分析平

台四个部分,前端硬件需具备宽频带、高动态范围与抗干扰能力,能够在不同运行工况下稳定获取微弱局放信号。数据根据工业以太网或 5G 通信网络回传至远程数据中心,结合数据库管理系统进行长期运行数据积累与趋势建模。状态评估模型基于放电幅值、相位、脉冲密度等多特征指标构建动态评估矩阵,在发现异常趋势时自动触发预警机制。监测系统的部署与运维需考虑信号同步、时延控制、数据一致性等工程问题,同时要求平台具备自诊断与远程配置能力以支持大规模设备并网运行,在线监测技术的推广可有效降低人工巡检强度,提升早期故障识别能力,为建设主动防御型变电站提供坚实的技术支撑。

### 4.3 数据融合

在多源感知与多点布设的基础上,如何实现不同类型、不同维度的局部放电检测数据融合处理,已成为制约诊断精度与系统智能化水平提升的关键因素,数据融合是对信号采集数量的堆叠,更涉及特征提取标准统一、异常识别模型优化与故障定位算法协同等多维度技术耦合问题,当前 UHF 与 AE 两类信号在频域、时域、能量分布与空间衰减特性上存在显著差异,若单独分析可能导致判断偏差或误识别,在融合过程中需建立统一的数据预处理流程,根据信号滤波、归一化与多维特征向量构建实现同源比较。人工智能模型如支持向量机、卷积神经网络与迁移学习技术可用于提取局放模式中的隐藏关联,提高混合放电源识别与演变路径分析能力,在空间定位层面,结合时差定位算法与声波传播模型构建三维定位框架,可实现复杂结构中的放电源精确建模,多通道数据还需在诊断平台中进行图谱匹配与实时交叉验证,增强异常识别的稳健性与容错性。为保证系统实时性与工程适应性,边缘计算技术可被引入现场端进行预处理与局部决策,减少数据回传压力并提升响应速度。数据融合能力的提升将显著拓展局部放电检测的覆盖范围与应用深度,使其在设备全景状态感知与复杂故障协同分析中发挥更大价值。

## 5 结论

GIS 设备局部放电检测技术在变电运维中的应用不断深入,技术手段逐步向智能化、在线化与融合化方向发展,检测方法的优化与工程实践的积累有效提升了故障识别的准确性与设备运行的可靠性,结合典型案例开展系统分析,有助于推动检测成果向运维策略转化。构建以数据驱动的监测体系,将为智能电网建设提供坚实技术支撑与广阔发展空间。

## 参考文献

- [1] 余敏,吴佩颖,张磊. 基于多传感器融合技术的GIS局部放电红外监测方法[J].自动化与仪表,2025,40(07):74-79.
- [2] 李军浩,韩旭涛,王昊天,等. 电气设备局部放电检测技术述评:2015—2025[J].高电压技术,2025,51(07):3132-3158.
- [3] 赵敏,丁炆,衡茜. 1000 kV GIS局部放电异常实例及精准定位技术应用[J].电力与能源,2025,46(03):288-293.
- [4] 彭哲,欧阳蕾. 基于多特征融合的开关设备局部放电检测方法[J].机电工程技术,2025,54(12):184-188.
- [5] 郭璟,谢邦鹏,陈东,等. 基于XGBoost机器学习的数字化GIS故障监测与诊断[J].微型电脑应用,2025,41(06):74-78+83.