

# 变电设备局部放电检测技术对比分析

陆超 常排善

内蒙古电力(集团)有限责任公司阿拉善供电分公司 内蒙古 阿拉善盟 750300

**摘要:**局部放电是变电设备绝缘劣化的关键信号,检测精度关乎设备故障诊断准确性与运维效率,对保障电力系统安全稳定意义重大。本文聚焦变电设备局部放电检测技术,梳理其物理机制与分类,着重对比特高频电磁波法等多种主流技术的原理、流程及适用场景,构建包含检测灵敏度等维度的对比指标体系。结合GIS设备、变压器、电缆终端三类典型设备的工程案例,验证不同技术效果,总结优劣并提出选用建议,为电力运维人员选技术、提诊断水平提供参考,助力电力系统状态检修与降本。

**关键词:**变电设备;局部放电检测;对比分析

引言:变电设备是电力系统核心,其绝缘性能影响电力传输安全可靠。长期运行中,受电压冲击等因素影响,设备内部易出现绝缘缺陷,引发局部放电。局部放电持续发展会加速绝缘劣化,导致设备故障、大面积停电与巨大经济损失。精准检测局部放电信号、及时诊断绝缘缺陷是运维重点。目前局部放电检测技术多样,原理、性能和适用场景差异大,运维人员选型困难。本文系统对比主流技术,结合案例验证实用性,为技术选型与应用提供支撑,推动运维精细化、智能化。

## 1 局部放电检测技术原理与分类

### 1.1 局部放电的物理机制

局部放电是指变电设备绝缘内部或表面存在缺陷时,缺陷区域电场强度超过绝缘介质击穿场强,导致该区域发生局部、短时的气体放电或击穿现象,其本质是绝缘介质局部电场畸变引发的能量释放过程,不形成贯穿性放电通道。从物理机制来看,局部放电的产生需满足两个核心条件:一是绝缘介质存在缺陷(如气泡、杂质、裂缝等),导致局部电场畸变;二是设备施加的工作电压达到局部放电起始电压,使缺陷区域介质发生电离。放电过程中,会伴随产生电磁波、超声波、脉冲电流、特征气体等多种物理化学信号,这些信号是局部放电检测技术的核心检测对象。不同类型绝缘缺陷(如固体绝缘裂缝、油浸绝缘气泡、金属表面电晕)引发的局部放电信号特征存在差异,其放电强度、频次与设备绝缘劣化程度呈正相关,可通过分析放电信号实现缺陷诊断与状态评估。

### 1.2 检测技术分类

基于局部放电产生的各类物理化学信号,目前变电设备局部放电检测技术可分为四大类,分类逻辑清晰、覆盖主流检测方法。第一类是电信号检测法,以局部放

电产生的脉冲电流、电磁波为检测对象,核心包括脉冲电流法、特高频电磁波法、射频检测法等,这类方法检测灵敏度高,可精准捕捉放电信号参数,是目前工程中应用最广泛的类别。第二类是声信号检测法,聚焦局部放电过程中释放的超声波信号,核心为超声波检测法,其优势是抗电磁干扰能力强,可实现放电位置的精准定位<sup>[1]</sup>。第三类是化学信号检测法,针对油浸式变电设备,检测放电过程中产生的特征溶解气体,核心为油中溶解气体分析法,适用于设备内部绝缘劣化的长期监测。第四类是其他辅助检测法,包括光学检测法、红外检测法等,这类方法多作为补充手段,适用于特定场景下的局部放电辅助诊断,结合主流方法提升检测准确性。

## 2 主流检测技术对比分析

### 2.1 特高频(UHF)电磁波法

特高频(UHF)电磁波法是基于局部放电过程中产生的特高频电磁波信号实现检测的技术,其检测频率范围通常为300MHz-3GHz,契合局部放电产生的电磁波频段特征。该技术的核心原理是:局部放电发生时,缺陷区域电荷快速转移,会辐射出特高频电磁波,通过安装特高频传感器捕捉电磁波信号,经信号放大、滤波、解调等处理,提取放电信号的幅值、频次、相位等特征参数,进而判断局部放电的存在与否、强度及大致位置。其核心优势是抗电磁干扰能力强,可有效避开电力系统中工频电磁干扰,检测灵敏度高,能够捕捉微弱放电信号;同时可实现非接触式检测,无需拆解设备,不影响设备正常运行。局限性在于检测范围受传感器安装位置影响较大,对检测环境要求较高,且难以区分不同类型的绝缘缺陷,需结合其他技术辅助诊断。

### 2.2 超声波检测法

超声波检测法是通过捕捉局部放电过程中产生的超

声波信号,实现变电设备局部放电检测与定位的技术,其检测频率范围通常为20kHz-1MHz,属于声信号检测类的核心方法。该技术的检测原理是:局部放电发生时,放电能量会引发周围介质的机械振动,产生超声波信号,超声波在设备绝缘介质、金属外壳中传播,通过安装在设备表面的超声波传感器捕捉信号,经信号处理后,根据信号的幅值、传播时间等参数,判断局部放电强度与精准位置。其突出优势是定位精度高,可通过多传感器阵列实现放电点的三维定位,适用于GIS设备、变压器等大型变电设备的放电定位;同时非接触式检测,操作便捷,设备兼容性强,不受设备类型限制。局限性在于检测灵敏度低于电信号检测法,易受环境噪声(如设备振动、外界声波)干扰,且超声波在介质中传播会出现衰减,不适用于大型设备内部深处缺陷的检测<sup>[2]</sup>。

### 2.3 脉冲电流法(IEC60270标准)

脉冲电流法是符合IEC60270标准的经典局部放电检测技术,属于电信号检测类,也是目前变电设备局部放电检测的基准方法,广泛应用于设备出厂检测与现场定期检测。该技术的核心原理是:局部放电发生时,会产生瞬时脉冲电流,通过在设备接地回路或高压引线中串联检测阻抗,捕捉脉冲电流信号,经信号放大、滤波后,提取放电脉冲的幅值、电荷量、频次等参数,依据IEC60270标准对参数进行分析,判断局部放电强度与绝缘状态。其核心优势是检测标准统一,数据可比性强,可精准测量放电电荷量,量化局部放电强度;检测设备结构简单、成本较低,操作便捷,适用于各类变电设备的局部放电检测。局限性在于抗电磁干扰能力较弱,易受电力系统中工频干扰、谐波干扰影响,现场检测时需采取严格的抗干扰措施。

### 2.4 油中溶解气体分析(DGA)

油中溶解气体分析(DGA)是针对油浸式变电设备(如变压器、电抗器)的局部放电检测技术,属于化学信号检测类,适用于设备内部绝缘劣化的长期监测与故障诊断。该技术的检测原理是:油浸式设备内部发生局部放电时,放电能量会使绝缘油发生热裂解,产生氢气、甲烷、乙烷、乙烯、乙炔等特征溶解气体,这些气体溶解在绝缘油中,通过取样检测油中各类特征气体的含量、组分比例,结合特征气体诊断标准(如三比值法),判断设备内部是否存在局部放电及绝缘劣化程度。其核心优势是可实现长期在线监测,无需中断设备运行,能早期发现设备内部绝缘缺陷,预警设备故障;检测结果稳定,不受电磁干扰影响。局限性在于检测响应速度较慢,无法实现局部放电的实时检测与定位,仅适用于油浸式设

备,对干式设备、气体绝缘设备不适用。

### 2.5 其他方法简述

除主流检测技术,变电设备局部放电检测还有多种辅助方法,特定场景能起补充作用。光学检测法借助捕捉局部放电产生的微弱光信号来检测。因局部放电伴随光辐射,用高灵敏度光学传感器捕捉光信号,可判断放电位置与强度。其优势是定位精度高、抗干扰强,但设备成本高,且受设备外壳、绝缘介质遮挡,检测范围受限,仅适用于设备内部可观测区域;红外检测法基于局部放电产生的微弱热量,用红外热像仪检测设备表面温度分布,有放电时缺陷区域会异常升温,从而判断放电位置。它操作便捷、能大范围检测,但检测灵敏度低,仅适用于放电强度大的缺陷,还易与设备正常发热混淆;射频检测法介于特高频与工频间,捕捉局部放电产生的射频信号,兼顾灵敏度与抗干扰能力,适用于部分特殊变电设备的补充检测。

## 3 技术性能综合对比

### 3.1 对比指标体系

为实现各类局部放电检测技术的全面、客观对比,结合工程应用实际需求,构建涵盖6项核心指标的对比指标体系,各项指标均贴合运维实践,具有较强的实用性与针对性。一是检测灵敏度,指技术捕捉微弱局部放电信号的能力,是判断检测技术能否早期发现绝缘缺陷的核心指标,用可检测的最小放电电荷量衡量。二是抗干扰能力,指技术在电力系统工频干扰、谐波干扰、环境噪声等复杂场景下,准确识别局部放电信号的能力。三是定位精度,指技术对局部放电点的定位准确性,分为粗略定位与精准定位,核心衡量定位误差范围。四是工程适用性,指技术适用于的变电设备类型、检测场景(在线/离线)及操作便捷性。五是检测成本,包括检测设备购置成本、运维成本、人员培训成本等,分为高、中、低三个等级。六是响应速度,指技术从捕捉放电信号到输出检测结果的时间,分为实时、快速、缓慢三个等级,贴合现场运维的时效需求<sup>[3]</sup>。

### 3.2 对比结果分析

基于构建的对比指标体系,对上述主流局部放电检测技术进行综合对比,明确各类技术的优势与局限,为工程选型提供依据。特高频电磁波法综合表现较优,检测灵敏度高、抗干扰能力强,可实现非接触式在线检测,适用于各类变电设备,但定位精度中等、检测成本较高、响应速度较快。超声波检测法的核心优势是定位精度高,抗电磁干扰能力强,操作便捷,检测成本中等,但检测灵敏度较低、响应速度较快,受环境噪声与信号衰减影响

较大。脉冲电流法检测标准统一、数据可比性强,检测成本低、工程适用性广,但抗干扰能力弱、定位精度低、响应速度快。油中溶解气体分析法抗干扰能力极强,可实现长期在线监测,检测成本中等,但仅适用于油浸式设备、定位精度极低、响应速度缓慢。其他辅助方法中,光学检测法定位精度高但成本高、适用性差,红外检测法操作便捷但灵敏度低,均仅适用于补充检测。

#### 4 工程应用案例分析

##### 4.1 案例1: GIS设备局部放电检测

一座220kV变电站GIS设备在长期运行中,运维人员发现设备运行声音异常,怀疑存在局部放电现象,采用特高频电磁波法与超声波检测法联合检测。检测过程中,将特高频传感器安装在GIS设备盆式绝缘子处,捕捉特高频电磁波信号,经处理后发现存在明显的局部放电脉冲信号,初步判断设备内部存在绝缘缺陷;随后采用超声波传感器阵列,沿GIS设备外壳布置多个传感器,通过分析超声波信号的传播时间差,实现放电点精准定位,确定缺陷位于母线舱盆式绝缘子处。停电检修后发现,该绝缘子表面存在积污与微小裂缝,引发局部放电,清理积污、更换绝缘子后,再次检测无局部放电信号,设备恢复正常运行。该案例表明,特高频电磁波法与超声波检测法联合应用,可兼顾检测灵敏度与定位精度,是GIS设备局部放电检测的最优组合,适用于GIS设备的现场故障诊断。

##### 4.2 案例2: 变压器局部放电诊断

一座110kV变电站主变压器为油浸式结构,运行年限超过15年,为评估设备绝缘状态,采用油中溶解气体分析(DGA)与脉冲电流法联合检测。首先通过DGA检测,取样分析变压器绝缘油中特征气体含量,发现乙炔含量超标、三比值法结果异常,判断设备内部存在严重局部放电;随后采用脉冲电流法进行离线检测,在变压器接地回路串联检测阻抗,捕捉脉冲电流信号,精准测量放电电荷量,确定局部放电强度达到危险等级。停电检修后发现,变压器内部绕组绝缘老化、出现破损,引发局部放电,对绕组进行绝缘修复后,再次检测,DGA特征气体含量达标、脉冲电流信号消失,设备恢复正常运行。该

案例说明,油浸式变压器局部放电检测中,DGA可实现长期预警,脉冲电流法可精准量化放电强度,两者联合应用可实现设备绝缘状态的全面评估<sup>[4]</sup>。

##### 4.3 案例3: 电缆终端放电检测

一条35kV电缆线路终端处频繁出现发热现象,运维人员怀疑存在局部放电,采用超声波检测法与特高频电磁波法进行现场检测。由于电缆终端空间狭小、电磁干扰较强,超声波检测法可有效避开电磁干扰,将超声波传感器贴附在电缆终端外壳,捕捉到明显的超声波放电信号;同时采用小型特高频传感器,靠近电缆终端接头处,捕捉特高频电磁波信号,进一步确认局部放电存在,结合两种信号的特征参数,判断放电原因是电缆终端接头密封不良,受潮后引发绝缘劣化。对电缆终端进行重新密封、干燥处理后,再次检测无放电信号,发热现象消失,设备运行正常。该案例表明,电缆终端等狭小空间、强干扰场景下,超声波检测法与特高频电磁波法联合应用,可有效提升检测准确性,适用于电缆终端、接头等部位的局部放电检测。

#### 结束语

本文聚焦变电设备局部放电检测技术,梳理了局部放电物理机制与检测技术分类,全面对比特高频电磁波法等主流技术,构建对比指标体系。结合GIS设备等典型工程案例,验证了不同技术效果与适用场景。当下,局部放电检测技术朝着智能化、在线化迈进,未来要进一步优化性能,提升抗干扰和定位精度,降低成本,推动其与智能化运维技术深度融合,为变电设备绝缘状态评估提供有力支撑,保障电力系统安全稳定高效运行。

#### 参考文献

- [1]高新宇,朱森茂,朱媛媛.变电设备局部放电检测系统的设计与实现[J].百科论坛电子杂志,2024(4):19-21.
- [2]岳增伟,李飞,高旭.变电设备局部放电带电检测技术分析[J].电力设备管理,2024(10):246-248.
- [3]梁军,陈赫.变电设备局部放电带电检测技术分析[J].光源与照明,2024(6):81-83.
- [4]向英瀚,侯士波,吴荣峰,等.局部放电检测技术在电力变电设备中的应用研究[J].中国设备工程,2025(20):200-202.