

高压开关柜局部放电检测方法对比分析

石金玉 付刘伟

河南平高通用电气有限公司 河南 平顶山 467000

【摘要】：高压开关柜局部放电是设备绝缘劣化的重要表征，精准选择检测方法是保障设备安全稳定运行的关键。不同检测方法基于不同原理，在检测精度、抗干扰能力、操作便捷性及适用场景上存在显著差异，科学对比各类方法的特性的核心是解决实际检测中的适配性难题。本文梳理主流局部放电检测方法的核心机理，从应用场景、操作要求、检测效能等维度展开对比，明确各类方法的优势与局限，为实际检测工作中方法的合理选用提供可靠支撑。

【关键词】：高压开关柜；局部放电；检测方法；特性对比

DOI:10.12417/2811-0528.26.09.080

引言

高压开关柜作为电力系统输配电环节的核心设备，承担着电力控制、保护和分配的重要职能，其运行状态直接关系到整个电力系统的可靠性。局部放电作为开关柜内部绝缘缺陷的早期表现，如同绝缘材料内部缓慢燃烧的“暗火”，会通过高能粒子轰击、臭氧腐蚀和局部过热加速绝缘老化，长期积累可能导致设备击穿、短路甚至爆炸等严重事故。局部放电检测是及时发现绝缘隐患、防范设备故障的有效手段，而当前各类检测方法各具特点、适用范围不同，合理对比其特性、明确适用场景，能够为检测工作的高效开展提供支撑，衔接后续各类检测方法的详细解析与对比分析，为实际应用提供科学指引。

1 高压开关柜局部放电相关基础认知

1.1 高压开关柜局部放电的核心内涵

高压开关柜局部放电是指设备绝缘系统中部分区域被击穿而产生的局部电气放电现象，这种放电不会立即导致绝缘的贯通性击穿，却会持续造成电介质的局部损坏，降低绝缘电气强度，形成恶性循环。局部放电的产生与开关柜内部绝缘缺陷密切相关，诸如绝缘材料内部的裂纹、气泡、污秽，以及电极尖端的毛刺等，在高压电场作用下均会引发放电。放电过程中会伴随多种物理和化学现象，包括高频电磁脉冲辐射、超声波传播、暂态地电压产生，以及绝缘介质分解产生特征气体等，这些伴随现象正是各类检测方法的核心检测依据，不同类型的局部放电对应不同的绝缘缺陷类型，其放电特性也存在明显差异，准确把握其核心内涵是开展检测方法对比与应用的基础。

1.2 局部放电对开关柜运行的危害

局部放电对高压开关柜的危害具有隐蔽性和累积性，其影响贯穿设备运行全过程。长期存在的局部放电会持续侵蚀绝缘材料，在绝缘体内部形成树枝状的碳化通道，逐步削弱绝缘性能，最终导致绝缘系统彻底失效，引发相间短路或对地击穿等

严重故障。同时，放电过程中产生的臭氧、氮氧化物等腐蚀性气体，会加速开关柜内部金属部件和绝缘件的老化，降低设备使用寿命^[1]。局部放电产生的高频脉冲和超声波还可能干扰设备内部电子元件的正常工作，导致保护装置误动作，影响电力系统的稳定供电，严重时甚至会引发大面积停电，造成巨大的经济损失和社会影响。

1.3 局部放电检测的核心需求

局部放电检测的核心需求是精准识别放电信号、判断绝缘缺陷状况，为设备运维提供科学依据。检测工作需实现对放电信号的有效捕捉，区分真实放电与环境干扰，准确判断放电的位置、类型和严重程度，从而及时发现潜在绝缘隐患。同时，检测方法需适配开关柜的运行状态，尽可能避免对设备正常运行造成影响，兼顾检测的便捷性和经济性，满足不同场景下的检测需求。无论是变电站、发电厂的常规巡检，还是城市电网、新能源领域的在线监测，都需要检测方法具备相应的适配能力，能够在复杂的现场环境中稳定发挥作用，为设备全生命周期运维提供可靠的检测支撑。

2 高压开关柜局部放电主流检测方法解析

2.1 超声波检测法核心机理与操作要点

超声波检测法基于局部放电过程中伴随的机械振动现象开展检测，局部放电产生的微火花会引发周围介质的机械振动，形成频率在特定范围的超声波信号，通过压电式超声传感器捕捉该信号，即可实现局部放电的检测与定位。该方法的核心是通过传感器将超声波信号转化为电信号，经滤波、放大等处理后，根据信号的强弱、频率等特征判断放电情况。操作过程中，传感器需紧密贴附开关柜箱体表面，或在柜体缝隙、排气孔附近进行扫描，可通过监听声音特征辅助判断放电情况。该方法无需拆柜，操作简便，且不受电磁干扰影响，适合现场巡检和外部定点排查，在定位表面爬电和疏松部件引发的放电时效果突出。

2.2 特高频检测法核心机理与操作要点

特高频检测法以局部放电辐射的超高频电磁波为检测对象，局部放电发生时辐射频率在 300MHz 至 3GHz 范围内的电磁脉冲，通过专用特高频传感器捕捉该脉冲信号，经信号分析实现局部放电的检测与定位^[2]。其核心优势在于能够避开常规电磁噪声的干扰，具备较高的检测灵敏度，可实现在线实时监测。操作过程中，传感器可采用外置式安装，无需拆柜，也可根据设备结构采用内置式安装以提升检测效果。传感器的放置位置对检测精度影响较大，需根据开关柜的结构特点合理布置，通过多传感器阵列可实现放电点的精确定位，适用于 10kV 及以上开关柜的精准检测和在线监测，在 GIS 气室等封闭空间的检测中表现尤为突出。

2.3 暂态地电压检测法核心机理与操作要点

暂态地电压检测法利用局部放电电流通过设备金属外壳传导时产生的暂态电压脉冲开展检测，放电电流会在开关柜金属外壳表面感应出暂态地电压，通过电容耦合传感器测量该电压幅值，即可评估局部放电的强度。该方法的核心是捕捉外壳表面的电压脉冲信号，通过信号分析判断放电情况，其操作过程简便，无需拆柜，检测效率高，适合现场批量巡检。检测时，传感器需贴近开关柜外壳的关键部位，如柜门缝隙、接线端子附近等，重点捕捉电压脉冲的变化特征。该方法适配 10-35kV 开关柜的快速筛查，能够快速锁定存在异常放电的设备，为后续精准检测提供方向，但其检测精度受设备接地状况和环境干扰的影响较大。

3 各类局部放电检测方法特性对比分析

3.1 检测精度与抗干扰能力对比

各类局部放电检测方法的检测精度和抗干扰能力存在明显差异，直接决定其适用场景。特高频检测法由于聚焦超高频波段，能够有效避开电网工频及低频干扰，抗干扰能力极强，检测灵敏度高，能够捕捉到微弱的放电信号，精准识别设备内部的早期绝缘缺陷。超声波检测法不受电磁干扰的影响，抗干扰能力较强，定位精度极高，能够精准定位放电点的具体位置，但检测精度受传感器贴附位置和超声波传播衰减的影响较大，难以精准量化放电强度。暂态地电压检测法的抗干扰能力中等，易受现场电磁环境和设备接地状况的影响，检测精度相对有限，仅能实现放电强度的粗略评估，无法精准判断放电类型和具体位置。

3.2 操作便捷性与设备要求对比

操作便捷性和设备要求的差异，决定了各类检测方法的现场适用性和推广难度。超声波检测法和暂态地电压检测法操作最为简便，无需复杂的设备调试，仅需手持相应检测仪和传感

器即可开展检测，设备体积小、携带方便，适合现场巡检和批量筛查，对操作人员的专业要求相对较低^[3]。特高频检测法操作难度中等，需要根据开关柜结构合理布置传感器，对操作人员的专业能力有一定要求，检测设备包括特高频传感器和信号分析仪，设备成本相对较高。超声波检测法和暂态地电压检测法均无需拆柜，可在设备正常运行状态下开展检测，而特高频检测法部分场景下需内置传感器，可能需要对设备进行简单改造，影响检测便捷性。

3.3 适用场景与应用范围对比

各类检测方法的适用场景由其特性决定，需结合实际检测需求合理选用。超声波检测法适合现场巡检、外部定点排查，尤其适用于定位表面爬电和疏松部件引发的放电，在矿山、化工等恶劣环境下的检测中具有明显优势，可实现防爆检测。特高频检测法适用于在线监测、现场精准检测，适合 10kV 及以上开关柜的放电检测与定位，在 GIS 气室、高压开关柜内部等封闭空间的检测中应用广泛，能够实现早期绝缘缺陷的精准识别。暂态地电压检测法适合现场批量巡检、10-35kV 开关柜的快速筛查，能够快速锁定存在异常放电的设备，适用于变电站、配电房等场景的大规模巡检，为后续精准检测提供方向。

4 局部放电检测方法选用中的关键问题解决

4.1 检测场景适配性不足的解决路径

检测场景适配性不足是实际检测工作中常见的问题，不同场景下的开关柜运行环境、电压等级、设备结构存在差异，单一检测方法难以满足所有场景的检测需求。解决这一问题需立足场景特点，结合各类方法的适用范围合理选择检测方法，避免盲目选用。对于变电站、配电房的批量巡检，可优先选用暂态地电压检测法实现快速筛查，再结合超声波检测法对异常设备进行精准定位；对于 10kV 及以上高压开关柜的在线监测，可选用特高频检测法，实现早期绝缘缺陷的精准识别；对于恶劣环境下的现场巡检，可选用超声波检测法，利用其抗干扰能力强、可防爆的优势开展检测。同时，需结合设备运行年限、绝缘状况等因素，灵活调整检测方法，提升适配性。

4.2 干扰信号影响检测准确性的应对措施

现场检测环境复杂，电磁干扰、环境噪声等易影响检测信号的准确性，导致误判或漏判。针对这一问题，需结合各类检测方法的抗干扰特性，采取针对性的应对措施。对于特高频检测法，可通过优化传感器安装位置、采用信号滤波技术，进一步提升抗干扰能力，过滤环境中的低频干扰信号；对于暂态地电压检测法，可加强设备接地处理，减少接地不良带来的干扰，同时避开变频器、电机等干扰源开展检测；对于超声波检测法，可通过优化传感器贴附方式，减少环境噪声的影响，结合放电

声音特征,区分真实放电信号与环境干扰信号^[4]。可采用多方法协同检测的方式,通过不同方法的检测结果相互验证,提升检测准确性。

4.3 检测操作规范性不足的改进方案

检测操作规范性不足会直接影响检测结果的准确性和可靠性,部分操作人员由于专业能力不足,在传感器布置、设备调试、信号分析等环节存在不规范操作,导致检测结果出现偏差。解决这一问题需强化操作人员的专业培训,使其熟练掌握各类检测方法的核心机理、操作要点和注意事项,提升操作规范性。同时,制定统一的检测操作流程,明确传感器布置位置、检测参数设置、信号分析标准等,规范检测全过程。建立检测质量管控机制,对检测操作进行全程监督,及时纠正不规范操作,定期对检测设备进行校准和维护,确保设备处于良好运行状态,保障检测结果的准确性和可靠性。

5 基于检测方法对比的实践应用优化策略

5.1 构建多方法协同检测体系

单一检测方法存在各自的优势与局限,构建多方法协同检测体系是提升检测效能的有效路径。结合各类方法的特性,实现优势互补,形成“快速筛查-精准检测-准确定位”的闭环检测模式。可采用暂态地电压检测法开展批量巡检,快速锁定存在异常放电的设备;采用特高频检测法对异常设备进行精准检测,判断放电强度和缺陷类型;采用超声波检测法对放电点进行准确定位,为设备检修提供精准指引。通过多方法协同,能够兼顾检测效率和检测精度,全面掌握开关柜局部放电状况,避免单一方法检测带来的局限性,提升检测工作的科学性和有效性,为设备运维提供全面、可靠的检测数据支撑。

5.2 优化检测流程与操作规范

基于各类检测方法的对比结果,结合实际检测需求,优化检测流程与操作规范,提升检测工作的标准化水平。明确检测前的准备工作,包括对检测仪器进行全面校准调试、检查传感器灵敏度及连接稳定性,排查现场电磁干扰、温湿度等环境因素,根据检测方法和设备参数合理设置信号阈值、采集频率等

关键参数,确保检测设备正常运行、环境符合检测要求,为检测工作顺利开展筑牢基础。规范检测过程中的操作步骤,结合不同检测方法的特性,明确传感器的具体布置位置、固定方式,合理规划检测顺序,明确信号采集的时长和重复采集次数,避免因操作不规范、流程混乱带来的检测偏差^[5]。完善检测后的信号分析、结果记录和报告编制流程,采用标准化的信号分析方法剔除干扰信号,详细记录检测数据、设备状态及环境条件,按照统一规范编制检测报告,确保检测结果能够准确反映设备绝缘状况。同时,结合不同场景的检测需求,制定差异化的检测流程,针对高压开关柜的不同电压等级、运行年限,调整检测频率和检测方法,提升检测流程的适配性和针对性。

5.3 强化检测技术推广与应用落地

结合各类检测方法的特性对比,针对不同领域、不同场景的高压开关柜,强化检测技术的推广与应用落地,提升电力系统设备运维水平。对于变电站、发电厂等核心场景,重点推广特高频检测法和超声波检测法的协同应用,实现早期绝缘缺陷的精准识别和及时处理;对于城市电网、轨道交通等场景,推广暂态地电压检测法与超声波检测法结合的模式,兼顾检测效率和定位精度;对于新能源领域的光伏、风电场,结合设备运行特点,推广适配的检测方法,防范绝缘疲劳引发的放电隐患。同时,加强检测技术的宣传培训,提升运维人员对各类检测方法的认知和应用能力,推动检测技术在实际工作中落地见效,保障高压开关柜安全稳定运行。

6 结语

本文围绕高压开关柜局部放电检测方法对比分析展开研究,梳理了局部放电的核心内涵、危害及检测需求,解析了超声波、特高频、暂态地电压三种主流检测方法的机理与操作要点,从检测精度、操作便捷性、适用场景等维度进行全面对比,针对检测过程中存在的适配性、准确性、规范性问题提出解决路径,并给出实践应用优化策略。各类检测方法无绝对优劣之分,需结合实际场景合理选用并协同应用。通过科学对比与优化应用,能够提升局部放电检测的精准度和效率,及时发现设备绝缘隐患,为高压开关柜安全稳定运行提供保障,推动电力系统运维水平的提升。

参考文献:

- [1] 宁俊宏.高压开关柜局部放电检测在预防性维护中的应用实践[J].家电维修,2026,(02):229-231.
- [2] 张智平.基于多模态检测的高压开关柜局部放电故障诊断与机理分析[J].电气时代,2026,(01):158-162.
- [3] 胡伟峰.基于可变量的高压开关柜局部放电脉冲波形提取方法[J].电器工业,2025,(11):65-69.
- [4] 孙肖洁.储能电站高压开关柜局部放电带电检测技术[J].电器工业,2025,(11):70-73+79.
- [5] 张鑫,鄢希锋,宋露玉,等.高压开关柜局放分析及常见缺陷原因探讨[J].中国设备工程,2025,(20):212-215.