

GIS局部放电带电检测技术分析与现场应用

李娟娥 马保祥

国网甘肃省电力公司刘家峡水电厂 甘肃 临夏 731600

摘要：本文对GIS局部放电带电检测技术展开分析。介绍了非电检测法、电检测法及多技术融合检测方法，对比其性能并给出选型策略。阐述了检测技术实施流程，包括检测准备、数据采集分析、缺陷诊断定位与结果验证处置建议。最后探讨了技术发展趋势，强调其正迈向智能化、精确化，为电力系统稳定运行提供支持。

关键词：GIS局部放电；带电检测；超高频法；声电联合定位；多技术融合

引言：GIS设备在电力系统中占据关键地位，其运行状态关乎电网安全。局部放电是GIS设备早期绝缘缺陷的重要表征，及时发现并处理对保障设备正常运行至关重要。带电检测技术能在设备不停电状态下开展检测，具有独特优势。随着技术发展，多种检测方法不断涌现。本文将深入分析GIS局部放电带电检测技术，探讨其分类、原理、选型、实施流程及发展趋势，为实际检测工作提供参考。

1 GIS 局部放电检测技术分类与原理

1.1 非电检测法

局部放电检测技术中的非电检测法主要包括超声波检测法和化学检测法。超声波检测法基于局部放电激发的机械振动通过壳体传播，利用超声波传感器接收这些信号。这种方法具有较强的抗电磁干扰能力，能够有效避免外界电磁环境对检测结果的影响。超声波检测法在定位精度方面表现出色，可以较为准确地确定局部放电源的位置。其灵敏度受限于振动信号在不同介质中传播时发生的衰减，这意味着对于一些距离较远或经过复杂路径传播的局部放电信号，该方法可能无法达到理想的检测效果。化学检测法则主要依赖于分析SF₆气体分解产物来追踪局部放电情况。当局部放电发生时，SF₆气体会分解产生如SO₂、SOF₂等特征产物。这种方法的优势在于不仅能提供高灵敏度的检测结果，还能记录下一段时间内的放电历史，这对于评估设备长期运行状态具有重要意义。

1.2 电检测法

电检测法包括脉冲电流法和超高频法（UHF）。脉冲电流法依据IEC 60270标准执行，通过将局部放电产生的脉冲电流转化为电压信号来进行测量。这种方法的一个显著特点是能够定量地分析放电量，在实验室环境下得到了广泛应用。由于容易受到电晕干扰的影响，在实际应用中可能会遇到一定的挑战。尽管如此，脉冲电流法仍然是研究局部放电特性的有力工具。超高频法

（UHF）利用局部放电产生的300MHz至3GHz范围内的电磁波进行检测。这些电磁波可以通过外置或内置传感器被捕捉到。该方法具有较强的抗干扰能力，并且传感范围广泛，使得它能够在复杂环境中有效地工作。为了精确定位放电源，通常需要结合时差定位技术，这种方法为检测提供了更加精确的结果，有助于及时发现并解决潜在问题。

1.3 多技术融合检测方法

随着技术的进步，多技术融合检测方法逐渐成为局部放电检测的重要手段之一。其中，声电联合定位技术通过结合超声波与特高频信号的时域相关性来精确定位放电源的位置。这种技术不仅提高了检测的准确性，还扩大了检测的应用范围。通过综合分析不同类型的信号，可以更全面地了解局部放电的情况^[1]。缺陷类型识别是另一种多技术融合的应用，通过分析波形特征来区分尖端放电、悬浮电位放电、沿面放电等不同类型。这种方法为维护人员提供了更多关于设备内部状况的信息，有助于制定更有效的维修计划，从而保障电力系统的高效运行。通过不断探索和完善各种检测方法及其组合方式，局部放电检测技术正朝着更加精准、便捷的方向发展，为电力行业带来了巨大的价值。

2 GIS 局部放电检测技术对比与选型策略

2.1 技术性能对比

在GIS局部放电检测技术中，不同方法各有特点。超声波法具有中等的灵敏度和强大的抗干扰能力，尤其适合用于近场缺陷定位，其高定位精度能够准确识别局部放电源的位置。超高频法则以高灵敏度和强抗干扰能力著称，适用于宽范围监测，虽然其定位精度为中等水平，但能有效覆盖较大区域，捕捉更多信号。化学检测法在灵敏度方面表现优异，然而其抗干扰能力较弱，且定位精度较低，更适合用于长期趋势分析，通过定期采样分析SF₆气体分解产物来追踪设备内部状态变化。脉冲

电流法同样具备高灵敏度，但其抗干扰能力和定位精度都相对较低，主要用于实验室环境下的定量分析，有助于深入研究局部放电特性。每种方法根据自身的特点，

在特定的应用场景下发挥着重要作用。通过合理选择适合具体需求的方法，可以更有效地进行GIS局部放电检测与维护，如表1所示。

表1

检测方法	灵敏度	抗干扰能力	定位精度	适用场景
超声波法	中等	强	高	近场缺陷定位
超高频法	高	强	中	宽范围监测
化学检测法	高	弱	低	长期趋势分析
脉冲电流法	高	弱	低	实验室定量分析

2.2 技术选型原则

2.2.1 复杂电磁环境

在选择GIS局部放电检测技术时，考虑到不同的应用场景和需求，需要遵循一定的原则来确保检测的有效性和准确性。对于复杂电磁环境的情况，优先选择超高频法或声电联合技术显得尤为重要。复杂电磁环境下，传统的检测方法可能会受到严重干扰，导致检测结果失真。超高频法通过捕捉局部放电产生的300MHz至3GHz范围内的电磁波，具有很强的抗干扰能力，能够在复杂的电磁环境中稳定工作。而声电联合定位技术则结合了超声波与特高频信号的时域相关性，不仅提高了定位精度，还增强了对抗电磁干扰的能力，适用于对检测精度和稳定性要求较高的场合。

2.2.2 精确缺陷定位

当需要进行精确缺陷定位时，采用超声波法结合时差定位算法是一种有效的方式。超声波检测法以其高定位精度著称，能够较为准确地确定局部放电源的位置。为了进一步提高定位精度，可以将超声波检测法与时差定位算法相结合。这种方法通过分析不同传感器接收信号的时间差，计算出放电源的具体位置，从而实现更加精确的定位。这种组合方式特别适合于需要精确定位故障源的应用场景，有助于快速定位问题所在并采取相应的维修措施。

2.2.3 长期监测需求

针对长期监测需求，化学检测法与超高频法的协同使用是一个不错的选择。化学检测法通过对SF₆气体分解产物的分析，不仅可以提供高灵敏度的检测结果，还能记录一段时间内的放电历史，这对于评估设备的长期运行状态非常有帮助。超高频法则由于其广泛的传感范围和较强的抗干扰能力，非常适合用于持续监控。两者结合使用，既能够保证检测的灵敏度和覆盖范围，又能够提供长时间的监测数据支持，有助于及时发现潜在问题，预防重大事故的发生。这样的组合方式为GIS设备的长期健康监测提供了有力保障。

3 GIS 局部放电检测技术实施流程

3.1 检测准备

在进行GIS局部放电检测之前，首先需要对设备状态进行全面评估。这包括确认GIS运行电压、负荷水平以及查阅历史缺陷记录。通过这些信息可以了解设备当前的运行状况和潜在问题区域，为后续的检测工作提供重要参考。接下来是制定传感器布置方案，根据GIS的具体结构特点确定UHF传感器的最佳安装位置^[2]。常见的安装点包括观察窗、盆式绝缘子等部位，这些位置有利于捕捉到局部放电信号，同时避免外界电磁干扰的影响。

3.2 数据采集与分析

在数据采集阶段，采用多通道同步采集方法，同时记录超声波、特高频以及SF₆分解产物的数据。这种综合采集方式能够提供更加全面的信息，有助于更准确地识别和分析局部放电现象。信号处理是数据分析的关键环节，其中滤波去噪技术尤为重要。常用的方法有小波变换和经验模态分解（EMD），它们能够有效去除噪声干扰，提高信号质量。模式识别则是另一重要步骤，支持向量机（SVM）和深度学习分类模型被广泛应用于此领域。这些算法能够自动识别不同类型的放电信号，辅助技术人员做出准确判断。

3.3 缺陷诊断与定位

为了精确定位局部放电源的位置，时差定位法是一种有效的手段。基于UHF信号到达不同传感器的时间延迟，计算出放电源的具体位置。这种方法不仅提高了定位精度，还能快速锁定故障点。另外，幅值衰减模型也是常用的辅助定位方法之一。它结合了超声波信号强度随传播距离增加而衰减的规律，进一步优化了定位结果。这两种方法相辅相成，共同提升了局部放电检测的准确性和可靠性。

3.4 结果验证与处置建议

在完成检测后，根据获得的信号特征对缺陷进行分级。按照信号幅值、频谱特征等因素将缺陷划分为“注意”、“异常”、“严重”等级别。对于处于“注意”

级别的缺陷，短期内应加强带电检测频次，密切监控其变化趋势；而对于“异常”或“严重”级别的缺陷，则需结合停电检修计划开展进一步的解体检查或部件更换工作。这样的处置措施既保证了电力系统的安全稳定运行，又避免了不必要的停机维护，实现了经济效益和技术效果的平衡。

4 GIS 局部放电检测技术发展趋势

4.1 传感器技术革新

随着GIS设备朝着更加紧凑、高效的方向发展，对传感器的要求也在不断提高。微型化UHF传感器的出现适应了这一趋势，能够更好地适配紧凑型GIS结构，最大限度地减少对设备内部电场分布的影响。这种传感器不仅体积小巧，而且在保持高灵敏度的同时降低了安装难度，为现场应用提供了更多便利。另一方面，光纤超声波传感器凭借其抗电磁干扰能力强、灵敏度高的特点，在复杂环境中表现尤为出色。这类传感器能够在强电磁干扰环境下稳定工作，提供可靠的数据支持，对于提升局部放电检测的准确性和稳定性具有重要意义。

4.2 诊断系统开发

基于数字孪生的GIS绝缘状态评估成为未来的一个重要发展方向。通过融合来自多个来源的数据，如传感器采集的实时数据、历史运行记录等，构建一个虚拟模型来模拟GIS的实际运行状况^[3]。这种方法不仅可以更全面地反映设备当前的健康状态，还能预测未来的性能变化趋势，有助于提前采取预防措施。边缘计算与5G通信技术的应用进一步推动了局部放电检测的发展。利用边缘计算可以实现检测数据的实时处理和分析，而5G通信则确保这些数据能够迅速上传至云端进行深度分析。这不仅提高了故障诊断的速度和准确性，还为远程监控和维护提供了可能。

4.3 标准化与规范化建设

为了促进局部放电检测技术的健康发展，标准化与规范化建设显得尤为重要。首先是对检测流程的标准化，包括制定详细的传感器校准指南、信号处理方法以及缺陷判据等操作规范。这样做不仅有助于提高检测结

果的一致性和可靠性，也为不同单位之间的交流与合作提供了统一的标准。其次，建立行业协同平台，共享典型缺陷图谱库，是推动AI诊断模型优化的有效途径之一。通过整合各方面的资源，可以不断丰富和完善AI算法的基础数据库，从而提高自动识别和分类的准确性。这样的平台还有助于加强行业内各单位之间的联系，共同解决遇到的技术难题，加速技术创新的步伐。

4.4 迈向智能化与精确化

在整个发展过程中，传感器技术的进步为局部放电检测提供了更为精准和可靠的工具；先进的诊断系统开发则使得从海量数据中快速提取有价值信息成为可能；而标准化与规范化建设则是保障上述技术和系统能够有效实施的重要基础。通过不断地探索和实践，GIS局部放电检测技术正向着更加智能化、精确化的方向迈进，为电力系统的安全稳定运行提供了强有力的支持。这些努力不仅提升了局部放电检测的整体水平，也为未来电网的安全管理和维护奠定了坚实的基础。在这个过程中，各种新技术和新方法相互配合，共同促进了GIS局部放电检测技术的全面发展。

结束语

GIS局部放电带电检测技术作为评估设备绝缘状态的重要手段，正朝着智能化、精确化方向发展。通过多技术融合应用，结合传感器革新与诊断系统开发，显著提升了检测的灵敏度、抗干扰能力及定位精度。标准化与规范化建设为技术推广提供了坚实基础。未来，随着技术不断进步，GIS局部放电检测将在保障电网安全稳定运行中发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1]胡超群.GIS柜局放带电检测技术应用探讨[J].电力设备管理,2024(12):177-179.
- [2]侯小琳.GIS带电检测中超声波技术的研究与应用[J].文渊(中学版),2023(11):263-265.
- [3]刘学,李鹏.基于声电综合的GIS设备带电检修技术研究[J].科技创新与应用,2023,13(32):169-172.