

电力电缆局部缺陷定位的电气试验装置研发与验证

周梁

浙江省送变电工程有限公司，浙江杭州，310000；

摘要：电力电缆局部缺陷易引发线路故障，精准定位缺陷是保障电缆安全运行的关键，现有电气试验装置在定位精度、适配性、操作便捷性上存在不足，难以满足复杂工况下的缺陷定位需求。本文先明确电力电缆局部缺陷定位电气试验装置的研发核心需求，涵盖精准定位、多场景适配、安全便捷三大层面；再从核心模块设计、功能集成优化两方面，阐述装置研发路径；最后围绕性能验证与实操验证，构建装置验证体系，确保装置可有效实现电缆局部缺陷的精准定位，为电力电缆运维提供技术支撑。

关键词：电力电缆；局部缺陷定位；电气试验装置；装置研发；装置验证

DOI：10.69979/3060-8767.25.12.021

引言

电力电缆是电力传输系统里最核心的部分。它的运行情况，直接关系到电力供应稳不稳定。电缆在长时间使用中，很容易因为一些原因出现局部问题。这些原因主要有三种：一是电缆的绝缘层慢慢老化，二是外面的力量把电缆弄伤，三是接头制作时工艺有问题。这些局部问题刚开始很难发现。如果没及时找到并处理，问题会慢慢变大，最后会让电缆被击穿、线路跳闸，造成停电。电气试验是找到电缆局部问题的主要技术方法，电气试验装置就是做这项工作的核心设备。现在，市面上的装置大多只针对一种问题，或者只适合某一种规格的电缆，有很多不足：一是找准问题，连很小的缺陷都发现不了；二是适用范围窄，不能满足不同电压、不同安装方式电缆的检测需求；三是操作麻烦，而且没有完善的安全保护，既影响找问题的速度，又威胁工作人员的安全。在这种情况下，研发一款能适应多种场景、找问题准、安全又好用的电力电缆局部缺陷定位电气试验装置，还要通过科学测试证明它性能可靠，就成了解决电缆缺陷定位难题、保障电缆安全运行的关键办法，在技术和实际应用上都很有意义。

1 电力电缆局部缺陷定位电气试验装置的研发核心需求

1.1 精准定位需求：聚焦缺陷识别与位置锁定

精准定位是这款电气试验装置最核心的功能需求，主要就是要做到两件事：一是准确认出电缆的缺陷，二是准确找到缺陷的位置。最终能快速捕捉到缺陷发出的

信号，确定缺陷在电缆的哪个地方。要实现这个需求，要做好两方面：一方面，要能准确认出缺陷。装置得有很强的信号采集和分析能力。首先，能捕捉到电缆微小缺陷发出的微弱信号，比如绝缘层有小破口、接头接触不太好时产生的信号，不能因为信号太弱就漏掉这些缺陷。其次，能分清不同缺陷的信号特点，知道这个缺陷是绝缘出了问题，还是导体有问题，或是接头有问题，给后面处理缺陷提供依据。另一方面，要能准确锁定缺陷的位置。装置得有精确计算距离的功能。工作人员先把电缆的参数，比如长度、信号在电缆里传播的速度输入进去。装置采集到缺陷信号后，会结合这些参数，算出缺陷离测试端有多远。而且这个计算误差要控制在合理范围里，不能差太多，不然工作人员找不到缺陷，会耽误处理时间。

1.2 多场景适配需求：覆盖不同电缆与工况条件

电力电缆的情况差别很大，电压等级、安装方式、规格型号都不一样，而且使用环境也复杂，比如有的埋在地下，有的架在空中，有的在潮湿或高温环境里工作。这就要求电气试验装置能适应多种场景，不能只能用在一种情况里。要实现这个需求，要做好三方面：一是能适配不同规格的电缆。不同电缆的电压、粗细不一样，需要的测试参数，比如测试电压、信号频率也不同。装置要能调节这些参数，不用换专门的装置，就能测试不同规格的电缆，节省成本和时间。二是能适配不同安装方式的电缆。电缆常见的安装方式有埋在地下、架在空中、放在管道里等。不同安装方式下，信号容易受不同干扰，比如地下电缆受土壤干扰，架空电缆受天气干扰。

装置要针对这些情况，设计不同的信号接收和传输方式，不管电缆怎么装，都能稳定采集到缺陷信号。三是能适配复杂的使用环境。有的电缆在潮湿、高温，或者电磁干扰强的地方工作，比如变电站旁边、工厂车间里。装置要能抵抗这些干扰，外壳和内部零件要耐潮、耐高温，就算在这些恶劣环境里，也能正常工作，不会出故障。

1.3 安全便捷需求：兼顾人员安全与操作效率

研发电气试验装置，既要保证工作人员的安全，又要让操作简单，提高找缺陷的速度，这两点都要兼顾。在安全方面，装置要做好三层保护：一是电气安全保护。测试时如果电压太高、电流太大，或者线路短路，容易损坏装置，还可能电到工作人员。所以装置要装过压、过流、短路保护，一旦出现这些情况，能自动断电或调整参数，避免危险。二是操作安全保护。装置外观不能有尖锐的地方，防止划伤工作人员。操作界面要简单清楚，关键步骤，比如启动高压测试，要先提醒，还要确认两次才能操作，防止按错键出问题。三是现场搬运和运行安全。装置不能太沉、太大，要方便工作人员搬运，外壳要装防滑把手，避免搬的时候摔了。长时间工作时，装置会发热，要做好散热，防止温度太高损坏零件，甚至引发火灾。在便捷方面，装置要优化操作和数据处理：一是简化操作步骤。操作界面要直观，常用功能比如开始测试、输入参数，按一个键就能完成。还要预设好不同场景的测试模式，比如“10kV 地下电缆测试”“35kV 架空电缆测试”，工作人员选好模式，装置会自动调好参数，不用一个个手动设置，新手也能很快学会。二是加快数据处理速度。测试时，装置要自动采集、分析数据，不用工作人员手动记、手动算。测试结束后，能自动生成报告，写清楚缺陷是什么类型、在哪个位置、误差有多大，工作人员直接用就行，不用再整理数据，节省时间，提高效率。

2 电力电缆局部缺陷定位电气试验装置的研发路径

2.1 核心模块设计：构建装置功能基础

核心模块是装置能找到电缆缺陷的关键。要围绕信号采集、信号分析、位置测算、安全防护这四个核心功能，分别设计对应模块，保证每个模块的性能都能满足研发需求。第一，设计信号采集模块。这个模块要装高精度的信号传感器和信号调理电路，能准确捕捉电缆缺

陷发出的微弱信号。它还要能接收不同频率的信号，不管哪种缺陷的信号，都能收得到，不会漏采。另外，模块要能把弱信号放大，放大到能分析的程度，同时过滤掉环境里的干扰信号，保证采集到的信号准、干净，给后面分析用。第二，设计信号分析模块。这个模块要装专用的数据处理芯片，还要有专门的信号分析算法。它能自动从采集到的信号里，找出缺陷的特征信号，分清是绝缘有问题，还是接头有问题。同时，模块要能存信号和分析结果，测试时实时保存，后面想查、想核对都能调出来，不会丢数据，避免影响判断。第三，设计位置测算模块。这个模块要先存好不同规格电缆的波速参数，工作人员也能手动改参数，保证参数和测试的电缆匹配。测试时，模块能根据缺陷信号的传播时间，结合波速参数，自动算出缺陷在哪。它还能校准误差，对比标准数据，修正算出来的结果，让位置更准，结果可靠。第四，设计安全防护模块。这个模块要包含过压、过流、短路、过热四种保护功能，每种功能都有自己的监测和触发方式。测试电压、电流超了安全范围，过压、过流保护就会立刻切断测试回路；出现短路，短路保护会快速反应，不让装置坏；装置温度太高，过热保护会启动散热，实在不行就停机，防止危险。而且，保护触发时，操作界面会显示提醒，告诉工作人员赶紧处理。

2.2 功能集成优化：提升装置整体性能

核心模块设计好后，要把它们整合起来，再优化功能，让装置整体性能更好，能适应多场景，操作也更简单。一方面，整合各个模块。用模块化的方式，把信号采集、分析、位置测算、安全防护四个模块装成一个整体。同时，留一些扩展接口，以后有新需求，比如一次测多条电缆，就能直接加新模块，不用重新做装置。整合时，要优化模块间的信号传输路径，减少信号损耗，让数据传得顺，不让装置性能变差。另一方面，优化装置功能。在多场景适配方面，装置要加“场景模式选择”，提前设好地下、架空、不同电压电缆的测试参数，工作人员选对应模式就能测，不用手动设参数。还要优化电源，既能接市电，也能用蓄电池，没有市电的现场也能测试。在操作便捷方面，做触控界面，清楚显示参数、进度和结果，关键操作比如开始测试、生成报告，按一个键就行。装置还要能无线传数据，把结果传到手机、平板上，工作人员不用一直守着装置，在现场随便哪个位置都能看数据，更灵活方便。

3 电力电缆局部缺陷定位电气试验装置的验证体系

3.1 性能验证：确保装置核心功能达标

性能验证要围绕装置的核心功能和关键指标来做。通过模拟测试和标准对比，检查装置性能是否符合研发需求，不让性能不达标影响实际使用。第一，做定位精度验证。先搭一个模拟电缆的试验平台，在平台里提前做好不同类型、不同位置的缺陷，比如绝缘有小破口、接头有问题。用要验证的装置去测这些缺陷，记下装置算出的缺陷位置。同时，人工实际测量缺陷的真实位置，把算出的位置和真实位置比一比，看偏差有多大，判断精度是否符合要求。如果偏差太大，就回头改位置测算模块和算法，直到精度达标。第二，做信号识别能力验证。在模拟平台里，生成不同强度的缺陷信号，既有很弱的，也有较强的。同时，加入电磁干扰信号，模拟现场的真实环境。用装置采集并分析这些信号，记下装置识别缺陷的准确率和漏判率。重点看在有干扰的情况下，装置能不能准确识别出缺陷信号，尤其是很弱的信号，不能漏判、误判。如果准确率不够，就优化信号采集模块的抗干扰能力和信号分析算法。第三，做安全性能验证。模拟各种异常情况，比如测试电压太高、电流短路、装置长时间运行变热。观察安全防护模块的反应速度和保护效果：过压、过流时，能不能及时切断测试回路；短路时，能不能快速保护装置不损坏；温度太高时，能不能启动散热或停机。同时，看操作界面能不能准确显示警示信息，提醒工作人员处理，确保没有安全隐患。

3.2 实操验证：保障装置适配现场应用

实操验证要把装置放到实际的电力电缆现场去用，检查它在真实工况下能不能适应，操作是不是方便，确保满足现场运维的需求。第一，做多场景适配性实操验证。选不同类型的电缆现场，包括不同电压、不同安装方式的，比如10kV埋在地下的、35kV架在空中的；还有不同运行环境的，比如潮湿的、高温的、电磁干扰强的。在每个现场，用装置测有缺陷的电缆，记下三件事：装置运行稳不稳定，有没有死机、卡顿；信号采集好不好，有没有中断或失真；定位准不准，算出的位置和真实位置偏差大不大。如果某个场景下装置不好用，比如

地下电缆信号弱、高温下死机，就针对性改对应的模块，改完再去现场验证，直到好用为止。第二，做操作便捷性和效率实操验证。找3-5个有常规运维经验的工作人员，不用专门培训，模拟现场实际操作。让他们按正常流程，用装置完成一次完整的缺陷定位，专人记下总时间，包括搬装置、连设备、设参数、启动测试、拿报告的全部时间。同时，问工作人员的感受，比如操作界面好不好懂、步骤繁不繁琐、装置搬着沉不沉。如果时间太长，或者工作人员觉得不好用，就优化设计，比如简化界面、少设参数、减轻重量，改完再验证，直到能提高现场效率，方便工作人员使用。只有性能与实操验证都通过，才能确认装置合格，可投入实际运维工作，助力快速解决电缆缺陷定位问题。

4 结语

电力电缆局部缺陷定位电气试验装置的研发与验证，核心是解决现有装置精准度不足、适配性差、安全便捷性欠缺的问题，为电缆缺陷定位提供可靠技术载体。研发过程中，以精准定位、多场景适配、安全便捷为核心需求，通过核心模块设计构建功能基础，借助功能集成优化提升整体性能，确保装置具备“能精准定位、可适配多场景、易安全操作”的特点；验证过程中，通过性能验证保障装置核心功能达标，依托实操验证确保装置适配现场应用，形成“研发—验证—优化”的完整流程，确保装置性能可靠。该装置不仅能快速、精准定位电力电缆局部缺陷，缩短故障处置时间，保障电力电缆安全运行，还能为电力电缆运维技术升级提供支撑，推动电力传输系统运维效率与安全性提升。

参考文献

- [1] 刘志恒, 杨森, 陈前, 郝雷, 刘志宾, 孟晓凯. 基于偏振控制算法的电缆局部放电光纤传感定位[J]. 河北大学学报(自然科学版), 1-14.
- [2] 刘志恒, 杨森, 陈前, 郝雷, 刘志宾, 孟晓凯. 基于偏振控制算法的电缆局部放电光纤传感定位[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2024, 44(05): 521-534.
- [3] 雷帅帅. 超声波技术在电力系统故障诊断中的应用探究[J]. 电子制作, 2024, 32(13): 111-115.