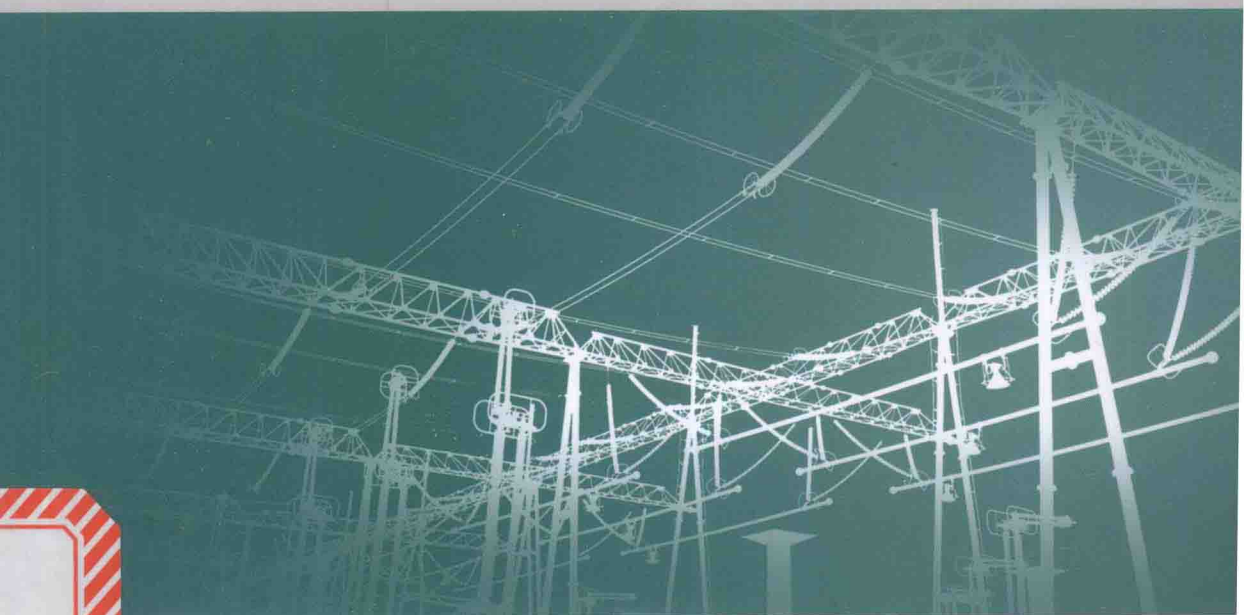


电网设备状态检测技术培训教材



GIS特高频 与超声波局部放电检测

国网技术学院 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电网设备状态检测技术培训教材



GIS特高频 与超声波局部放电检测

国网技术学院 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为切实提高电网设备状态检测人员技术水平，确保状态检测人员技术集中培训工作规范、有序实施，国家电网公司组织编写了《电网设备状态检测技术培训教材》丛书。丛书目前有六个分册，本分册为《GIS 特高频与超声波局部放电检测》。

本分册主要内容包括特高频局部放电检测，超声波局部放电检测，附录包括练习题库、作业指导书、技能操作考核评分表、放电检测报告和变电站（发电厂）第二种工作票。

本书可供电力系统工程技术人员和管理人员学习及培训使用，也可作为电力职业院校教学及新入职员工培训的参考资料。

图书在版编目（CIP）数据

GIS 特高频与超声波局部放电检测 / 国网技术学院编. —北京：中国电力出版社，2015.5

电网设备状态检测技术培训教材

ISBN 978-7-5123-7569-7

I. ①G… II. ①国… III. ①特高频-局部放电-检测-技术培训-教材②超声波-局部放电-检测-技术培训-教材 IV. ①TM8

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 072751 号

中国电力出版社出版、发行

（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）

北京博图彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 5 月第一版 2015 年 5 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 7.25 印张 113 千字

印数 0001—6000 册 定价 30.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

《电网设备状态检测技术培训教材》

编 审 人 员

吕 军 彭 江 冀肖彤 张祥全 周新风
杨本渤 徐玲玲 闫春雨 焦 飞 程 序
杨 柳 杨 健 陈威斋 张 鑫 赵义术
马志广 战 杰 牛 林

《GIS 特高频与超声波 局部放电检测》分册

编写人员

- 主 编 黄金鑫 (国网技术学院)
- 副主编 马梦朝 (国网技术学院)
- 编写人员 段大鹏 (国网北京市电力公司电力科学研究院)
刘弘景 (国网北京市电力公司电力科学研究院)
陶诗洋 (国网北京市电力公司电力科学研究院)
程 序 (国网北京市电力公司电力科学研究院)
张天辰 (国网北京市电力公司电力科学研究院)
贾勇勇 (国网江苏省电力公司)
钱 勇 (上海交通大学)
李 睿 (北京博电新力电气股份有限公司)
刘宗禹 (北京深蓝华盛科技有限公司)
冯新岩 (国网山东电力集团公司)
王 伟 (国网山东电力集团公司)
张 彦 (国网技术学院)
鲁国涛 (国网技术学院)
崔金涛 (国网技术学院)
李艳萍 (国网技术学院)



前 言

近年来，国家电网公司大力推行电网设备状态检测技术，为切实提高电网设备状态检测人员技术水平，确保状态检测工作规范、扎实、有效开展，公司先后于2013年和2014年委托国网技术学院组织开展了状态检测人员技术集中培训并积累了一定经验。为确保后续培训工作规范、有序实施，国家电网公司组织专家编写了《电网设备状态检测技术培训教材》丛书。

本丛书编写坚持系统、精炼、实用、配套的原则，整体规划，统一协调，分步实施。目前已完成《红外热像检测》《电容型设备相对介质损耗因数及电容量比值测量》《开关柜暂态地电压与超声波局部放电检测》《GIS特高频与超声波局部放电检测》《油中溶解气体分析》和《SF₆气体检测》六个分册，每个分册主要由学习任务、练习题库、作业指导书、技能操作考核、检测报告、变电站（发电厂）第二种工作票组成。

本丛书是在国网技术学院两年集中培训试用基础上经过修改完善形成的任务导向型培训教材，也是国家电网公司各单位状态检测技术研究及应用成果的结晶。本丛书可供电力系统工程技术人员和管理人员学习及培训使用，也可作为电力职业院校教学及新入职员工培训的参考资料。

由于时间仓促，书中疏漏之处在所难免，望广大读者批评指正。

编 者

2015年4月



目 录

前言

任务一

特高频局部放电检测	/ 1
一、特高频局部放电检测原理	/ 2
二、特高频局部放电检测方法及注意事项	/ 4
三、特高频局部放电检测图谱的分析与诊断	/ 7
四、特高频局部放电检测典型案例分析	/ 12

任务二

超声波局部放电检测	/ 24
一、超声波局部放电检测原理	/ 24
二、超声波局部放电检测方法及注意事项	/ 27
三、超声波局部放电检测图谱的分析与诊断	/ 38
四、超声波局部放电检测典型案例分析	/ 45

附录 A 特高频与超声波局部放电检测练习题库	/ 51
附录 B 特高频局部放电检测作业指导书	/ 76
附录 C 超声波局部放电检测作业指导书	/ 84
附录 D 特高频与超声波局部放电检测技能操作考核评分表	/ 92
附录 E 特高频局部放电检测报告	/ 98
附录 F 超声波局部放电检测报告	/ 100
附录 G 变电站（发电厂）第二种工作票	/ 102

参考文献	/ 105
------	-------



● **学习情境描述** 本学习情境为气体绝缘金属封闭开关设备（GIS）、高压电缆等电力设备的局部放电基本概念，特高频与超声波局部放电的检测原理与检测方法，并根据特高频、超声波方法检测得到的各种图谱开展电力设备内部绝缘缺陷或隐患的诊断、分析与定位，进而判断电力设备的运行状态。

● **教学目标** 熟悉电力设备的特高频、超声波局部放电检测的基本原理、检测方法、检测流程及注意事项，掌握特高频及超声波局部放电检测的方法，明确检测的操作流程，掌握应用检测图谱、数据进行电力设备状态分析、诊断与定位的技术。

● **教学环境** 多媒体教室，相关音像资料，GIS 局部放电检测实训平台。

任务一 特高频局部放电检测

教学目标 了解特高频法检测局部放电的原理、方法，熟悉特高频局部放电检测仪器，掌握典型特高频局部放电特征图谱分析诊断方法、常见干扰信号排除方法，掌握特高频局部放电检测报告的编写方法。

任务描述 学习特高频局部放电检测技术及方法，学习特高频局部放电检测技术原理，学习检测方法与流程，学习特高频局部放电检测数据、图谱的分析与诊断方法。

任务准备 了解电力设备状态检修、状态检测知识及相关规范、规程的基本内容，了解特高频电磁波传播的基本知识，了解局部放电试验及基本图谱的识别



与诊断方法。

任务实施 系统学习特高频局部放电检测技术的基本原理，通过理论讲解、案例分析讲授特高频局部放电检测技术的方法、流程及注意事项，通过学习分组实操培训讲授特高频检测技术的现场检测方法及基本仪器的操作方法，学习参照作业指导书独立进行 GIS 等设备的特高频局部放电检测工作。

相关知识 射频电磁波传播、天线及信号处理相关技术。

一、特高频局部放电检测原理

1 局部放电的基本概念

在电力设备的绝缘系统中，只有部分区域发生放电，而没有贯穿施加电压的导体之间，即尚未击穿，这种现象称之为局部放电。它是由于局部电场畸变、局部场强集中，从而引起绝缘介质局部范围内的气体放电或击穿所造成的。它可能发生在导体边缘，也可能发生在绝缘体的表面或内部。在绝缘体中的局部放电甚至会腐蚀绝缘材料，并最终导致绝缘击穿。因此，进行局部放电检测，预防绝缘事故的发生，对维护设备安全和电力系统稳定运行有着十分重要的意义。

局部放电是一种脉冲放电，它会在电力设备内部和周围空间产生一系列的光、声、电气和机械的振动等物理现象和化学变化。这些伴随局部放电而产生的各种物理和化学变化可以为监测电力设备内部绝缘状态提供检测信号。

2 特高频法检测原理

电力设备绝缘体中绝缘强度和击穿场强都很高，当局部放电在很小的范围内发生时，击穿过程很快，将产生很陡的脉冲电流，其上升时间小于 1ns，并激发频率高达数 GHz 的电磁波。局部放电检测特高频（Ultra High Frequency, UHF）法于 20 世纪 80 年代初期由英国中央电力局（Central Electricity Generating Board, CEGB）实验室提出，其基本原理是通过特高频传感器对电力设备中局部放电时产生的特高频电磁波（ $300\text{MHz} \leq f \leq 3\text{GHz}$ ）信号进行检测，从而获得局部放电的相关信息，实现局部放电监测。根据现场设备情况的不同，可以采用内置式特高频传感器和外置式特高频传感器，如图 1-1 所示为特高频检测法基本原理示意图。由于现场的晕干扰主要集中在 300MHz 频段以下，因此特高频法能有效地避开现场的电晕等干扰，具有较高的灵敏度和抗干扰能力，可实现局部放电带电检测、定位以及缺陷类型识别等优点。

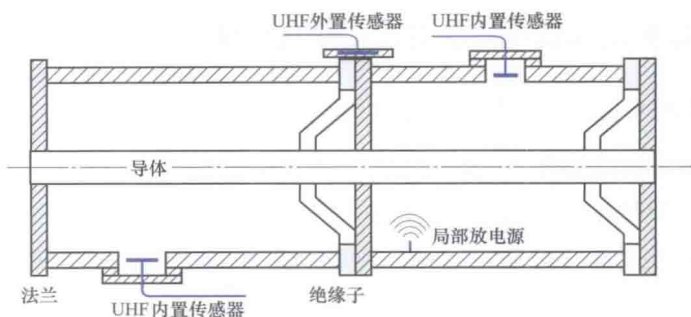


图 1-1 特高频检测法基本原理

特高频检测法和其他局部放电在线检测技术相比，具有以下显著的优点。

(1) 检测灵敏度高。局部放电产生的特高频电磁波信号在 GIS 中传播时衰减较小，如果不计绝缘子等处的影响，1GHz 的特高频电磁波信号衰减仅为 3~5dB/km。而且由于电磁波在 GIS 中绝缘子等不连续处反射，还会在 GIS 腔体中引起谐振，使局部放电信号振荡时间加长，便于检测。因此，特高频法能具有很高的灵敏度。另外，与超声波检测法相比，其检测有效范围大得多，实现 GIS 在线监测需要的传感器数目较少。

(2) 现场抗干扰能力强。由于 GIS 运行现场存在着大量的电气干扰，给局部放电检测带来了一定的难度。高压线路与设备在空气中的电晕放电干扰是现场最为常见的干扰，其放电能量主要在 200MHz 以下频率。特高频法的检测频段通常为 300MHz~3GHz，有效地避开了现场电晕等干扰，因此具有较强的抗干扰能力。

(3) 可实现局部放电在线定位。局部放电产生的电磁波信号在 GIS 腔体中传播近似为光速，其到达各特高频传感器的时间与其传播距离直接相关，因此，可根据特高频电磁波信号到达其附近两侧特高频传感器的时间差，计算出局部放电电源的具体位置，实现绝缘缺陷定位，为 GIS 设备的维修计划制订、检修工作效率提高提供了有力的支持。

(4) 利于绝缘缺陷类型识别。不同类型绝缘缺陷的局部放电所产生的特高频信号具有不同的频谱特征。因此，除了可利用常规方法的信号时域分布特征以外，还可以结合特高频信号频域分布特征进行局部放电类型识别，实现绝缘缺陷类型诊断。



二、特高频局部放电检测方法及注意事项

1 特高频局部放电检测仪的组成

特高频局部放电检测仪一般由下列几部分组成：

- (1) 特高频传感器：耦合器，感应 300MHz~1.5GHz 的特高频无线电信号。
- (2) 信号放大器（可选）：某些局部放电检测仪会包含信号放大器，对来自前端的局部放电信号做放大处理。
- (3) 检测仪器主机：接收、处理耦合器采集到的特高频局部放电信号。
- (4) 分析主机（笔记本电脑）：运行局部放电分析软件，对采集的数据进行处理，识别放电类型，判断放电强度。

特高频局部放电测试仪组成示意图如图 1-2 所示。

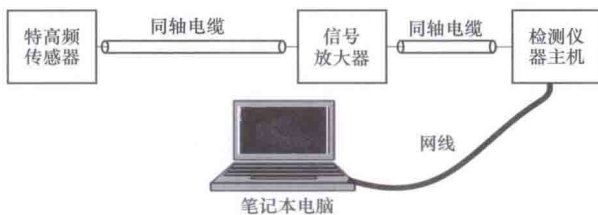


图 1-2 特高频局部放电测试仪组成示意图

2 特高频局部放电检测法检测流程

- (1) 准备工作。开始局部放电特高频检测前，应准备好下列的仪器、工具：
 - 1) 检测仪器主机：用于局部放电信号的采集、分析处理、诊断与显示。
 - 2) 特高频传感器：用于耦合特高频局部放电信号。
 - 3) 信号放大器：当测得的信号较微弱时，为便于观察和判断，需接入信号放大器。
 - 4) 特高频信号线：连接传感器和信号放大器或检测仪器主机。
 - 5) 工作电源：220V 工作电源，为检测仪器主机、信号放大器和笔记本电脑供电。
 - 6) 接地线：用于仪器外壳的接地，保护检测人员及设备的安全。
 - 7) 绑带：需要长时间监测时，用于将传感器固定在待测设备外部。
 - 8) 网线：用于检测仪器主机和笔记本电脑通信。

9) 记录纸、笔：用于记录检测数据。

(2) 检测接线。在采用特高频法检测局部放电的过程中，应按照所使用的特高频局部放电检测仪操作说明，连接好传感器、信号放大器、检测仪器主机等各部件，通过绑带（或人工）将传感器固定在盆式绝缘子上，必要的情况下，可以接入信号放大器。具体连接示意图如图 1-3 所示。

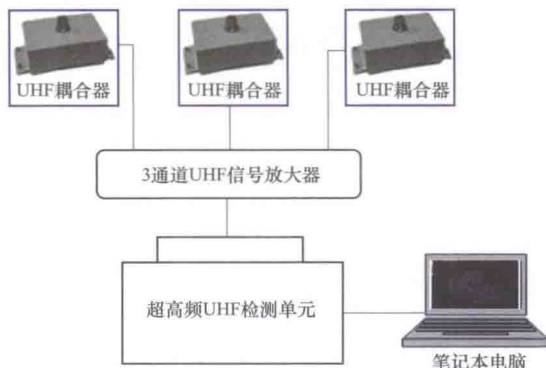


图 1-3 特高频局部放电检测仪连接示意图

某些厂家的 GIS 盆式绝缘子是屏蔽的，此类 GIS 不适合用外置式传感器进行检测，因而在检测前需要确认待测的 GIS 盆式绝缘子是否处于屏蔽状态。检测过程中，应注意传感器与盆式绝缘子紧密接触，且应放置于两根禁锢盆式绝缘子螺栓的中间，以减少螺栓对内部电磁波的屏蔽以及传感器与螺栓产生的外部静电干扰；在测量时应尽可能保证传感器与盆式绝缘子的接触，不要因为传感器移动引起的信号而干扰正确判断。

(3) 检测流程。在采用特高频法检测局部放电时，典型的检测流程如下：

1) 设备连接：按照设备接线图连接测试仪各部件，将传感器固定在盆式绝缘子上，将检测仪主机及传感器正确接地，电脑、检测仪主机连接电源，开机。

2) 工况检查：开机后，运行检测软件，检查主机与电脑通信状况、同步状态、相位偏移等参数；进行系统自检，确认各检测通道工作正常。

3) 设置检测参数：设置变电站名称、检测位置并做好标注。根据现场噪声水平设定各通道信号检测阈值。

4) 信号检测：打开连接传感器的检测通道，观察检测到的信号。如果发现



信号无异常，保存少量数据，退出并改变检测位置继续下一点检测；如果发现信号异常，则延长检测时间并记录多组数据，进入异常诊断流程。必要的情况下，可以接入信号放大器。

现场检测流程图如图 1-4 所示。

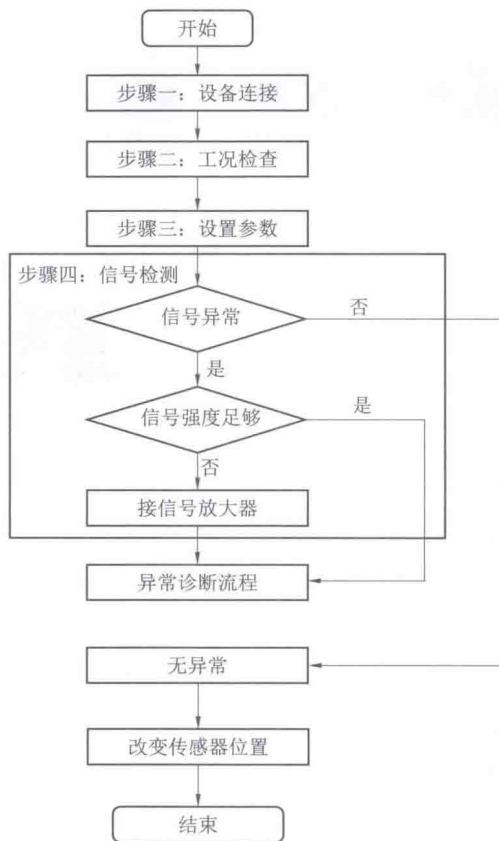


图 1-4 现场检测流程图

3 特高频局部放电检测的注意事项

(1) 安全注意事项。为确保安全生产，特别是确保人身安全，除严格执行电力相关安全标准和安全规定之外，还应注意以下几点：

- 1) 检测时应勿碰勿动其他带电设备。
- 2) 防止传感器坠落到 GIS 管道上，避免发生事故。
- 3) 保证待测设备绝缘良好，以防止低压触电。

- 4) 在狭小空间中使用传感器时,应尽量避免身体触碰 GIS 管道。
- 5) 行走中注意脚下,避免踩踏设备管道。
- 6) 在进行检测时,要防止误碰误动 GIS 其他部件。
- 7) 在使用传感器进行检测时,应戴绝缘手套,避免手部直接接触传感器金属部件。

(2) 测试注意事项。

1) 特高频局部放电检测仪适用于检测盆式绝缘子为非屏蔽状态的 GIS 设备,若 GIS 的盆式绝缘子为屏蔽状态则无法检测。

2) 检测中应将同轴电缆完全展开,避免同轴电缆外皮受到刚蹭损伤。

3) 传感器应与盆式绝缘子紧密接触,且应放置于两根禁锢盆式绝缘子螺栓的中间,以减少螺栓对内部电磁波的屏蔽及传感器与螺栓产生的外部静电干扰。

4) 在测量时应尽可能保证传感器与盆式绝缘子的接触,不要因为传感器移动引起的信号而干扰正确判断。

5) 在检测时应最大限度保持测试周围信号的干净,尽量减少人为制造出的干扰信号,例如手机信号、照相机闪光灯信号、照明灯信号等。

6) 在检测过程中,必须要保证外接电源的频率为 50Hz。

7) 对每个 GIS 间隔进行检测时,在无异常局部放电信号的情况下只需存储断路器仓盆式绝缘子的三维信号,其他盆式绝缘子必须检测但可不用存储数据。在检测到异常信号时,必须对该间隔每个绝缘盆子进行检测并存储相应的数据。

8) 在开始检测时,不需要加装放大器进行测量。若发现有微弱的异常信号时,可接入放大器将信号放大以方便判断。

三、特高频局部放电检测图谱的分析与诊断

1 典型缺陷图谱分析与诊断

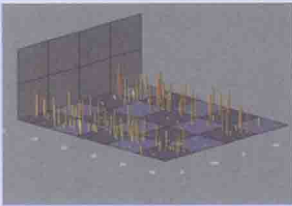
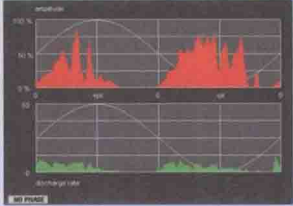
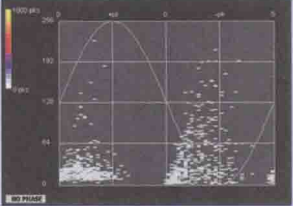
通常在进行 GIS 特高频局部放电测量时,可能存在如下几种典型的局部放电信号:电晕放电、悬浮电位放电、自由金属颗粒放电和空穴放电。表 1-1 简明列举了其典型图谱,包括各类信号的 PRPS (Phase Resolved Pulse Sequence) 图谱、峰值检测图谱和 PRPD (Phase Resolved Partial Discharge) 图谱。



表 1-1 典型缺陷局部放电图谱分析与诊断

类型	PRPS 图谱	峰值检测图谱	PRPD 图谱
电晕放电			
	<p>放电信号的极性效应非常明显，通常在工频相位的负半周或正半周出现，放电信号强度较弱且相位分布较宽，放电次数较多。但较高电压等级下另一个半周也可能出现放电信号，幅值更高且相位分布较窄，放电次数较少</p>		
悬浮电位放电			
	<p>放电信号通常在工频相位的正、负半周均会出现，且具有一定对称性，放电信号幅值很大且相邻放电信号时间间隔基本一致，放电次数少，放电重复率较低。PRPS 图谱具有“内八字”或“外八字”分布特征</p>		
自由金属颗粒放电			
	<p>放电信号极性效应不明显，任意相位上均有分布，放电次数少，放电信号幅值无明显规律，放电信号时间间隔不稳定。提高电压等级放电信号幅值增大但放电间隔降低</p>		

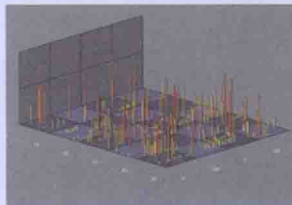

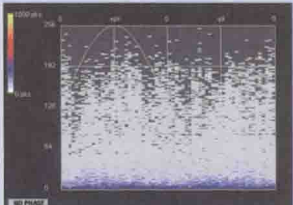
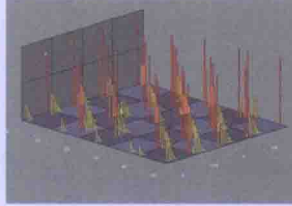
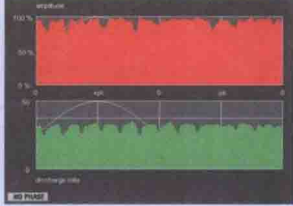
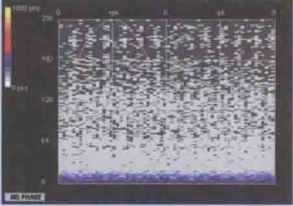
续表

类型	PRPS 图谱	峰值检测图谱	PRPD 图谱
空穴放电			
<p>放电信号通常在工频相位的正、负半周均会出现，且具有一定对称性，放电信号幅值较分散，且放电次数较少</p>			

2 常见噪声干扰图谱

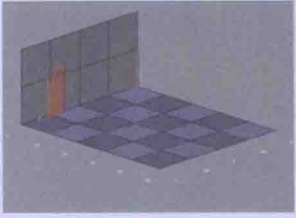

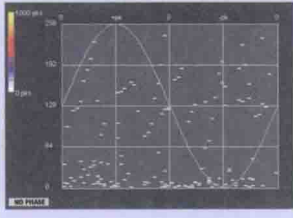
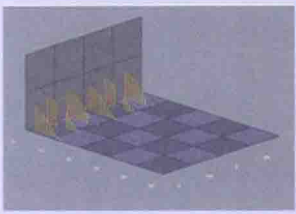
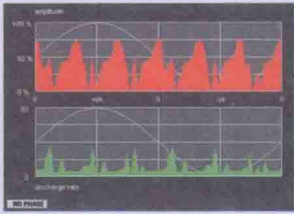
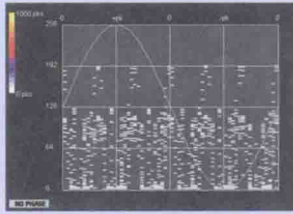
通常在进行 GIS 特高频局部放电测量时，可能存在如下几种常见的干扰信号：荧光噪声、移动电话噪声、马达噪声和雷达噪声。表 1-2 简明列举了上述几种干扰信号的典型图谱，包括各类信号的 PRPS 图谱、峰值检测图谱和 PRPD 图谱。

表 1-2 典型干扰信号图谱分析与诊断

类型	PRPS 图谱	峰值检测图谱	PRPD 图谱
荧光干扰			
<p>荧光干扰信号幅值较分散，一般情况下工频相关性弱</p>			
移动电话干扰			
<p>移动电话干扰信号工频相关性弱，有特定的重复频率，幅值有规律变化</p>			



续表

类型	PRPS 图谱	峰值检测图谱	PRPD 图谱
马达干扰			
马达干扰信号无工频相关性，幅值分布较为分散，重复率低			
雷达干扰			
雷达干扰信号有规律重复产生但无工频相关性，幅值有规律变化			

3 异常局部放电信号诊断流程

(1) 排除干扰：测试中的干扰可能来自各个方位，干扰源可能存在于电气设备内部或外部空间。在开始测试前，尽可能排除干扰源的存在，比如关闭荧光灯和手机。尽管如此，现场环境中还是有部分干扰信号存在。

(2) 记录数据并给出初步结论：采取降噪措施后，如果异常信号仍然存在，需要记录当前测点的数据，给出一个初步结论，然后检测相邻的位置。

(3) 尝试定位：假如临近位置没有发现该异常信号，就可以确定该信号来自 GIS 内部，可以直接对该信号进行判定。假如附近都能发现该信号，需要对该信号尽可能地定位。放电定位是重要的抗干扰环节，可以通过强度定位法或者借助其他仪器，大概定出信号的来源。如果在 GIS 外部，可以确定是来自其他电气部分的干扰，如果是 GIS 内部，就可以做出异常诊断了。

(4) 对比图谱给出判定：一般的特高频局部放电检测仪都包含专家分析系统，可以对采集到的信号自动给出判定结果。测试人员可以参考系统的自动判定结果，同时把所测图谱与典型放电图谱进行比较，确定其局部放电的类型。

(5) 保存数据：局部放电类型识别的准确程度取决于经验和数据的不断积