

ICS 国际标准分类号
CCS 中国标准文献分类号

ICS



团 体 标 准

T/CES XXX-XXXX

变电站无人机特高频局部放电检测 技术导则

Technical guide for ultra-high frequency partial discharge detection with
unmanned aerial vehicle in substation

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语及定义 1

 3.1 局部放电 1

 3.2 特高频传感器 1

 3.3 特高频传感器灵敏度 2

 3.4 无人机特高频局部放电检测系统 2

 3.5 组合间隙 2

 3.5 有效高度 2

4 符号 2

5 检测原理及特点 2

 5.1 特高频局部放电检测原理 2

 5.2 无人机特高频局部放电检测特点 2

 5.3 系统构成 3

6 通用技术要求 3

 6.1 装置要求 3

 6.2 人员要求 4

 6.3 安全要求 4

 6.4 气象要求 5

7 检测前准备 5

 7.1 人员准备 5

 7.2 作业准备 5

8 现场检测 5

 8.1 检测流程图 5

 8.2 检测流程 6

 8.3 干扰信号排除 7

9 检测数据与记录 7

 9.1 数据处理及分析 7

 9.2 数据保存 7

 9.3 数据处理 7

10 异常情况处置 8

 10.1 应急处置 8

 10.2 特殊工况处置 8

附录 A 检测数据记录表

附录 B 特高频局部放电典型图谱和典型干扰图谱

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会带电作业与只能运检工作组归口。

本标准起草单位：。

本标准主要起草人：。

本标准首次发布。

变电站无人机特高频局部放电检测技术导则

1 范围

本文件规定了采用无人机对变电站设备进行特高频局部放电检测的原理、要求、检测前准备、现场检测、异常情况处置及数据管理等。

本文件适用于对110千伏及以上变电站设备进行无人机搭载特高频局部放电检测。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 7354 高电压试验技术-局部放电测量

GB/T 14286-1993 带电作业术语

GB/T 26860 电力安全工作规程（发电厂和变电站电气部分）

DL/T 417 电力设备局部放电现场测量导则

DL/T 596 电力设备预防性试验规程

DL/T 620 交流电气装置的过电压和绝缘配合

DL/T 969 变电站运行导则

DL/T 1060 750kV特高压交流输电线路带电作业技术导则

DL/T 1482 架空输电线路无人机巡检作业技术导则

DL/T 1630 气体绝缘金属封闭开关设备局部放电特高频检测技术规范

CCAR-91R2 一般运行和飞行规则

AC-61-20R1 民用无人机驾驶员管理规定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 局部放电 partial discharge

导体间绝缘仅被部分桥接的电气放电。这种放电可以在导体附近发生，也可以不在导体附近发生。

【来源：GB/T 7354-2018，3.1】

3.2 特高频传感器 UHF sensor

局部放电特高频信号传感单元，用于接收设备内部局部放电所激发的特高频电磁波信号并转变为可采集的电压信号。

【来源：DL/T 1630-2016，3.2】

3.3 特高频局部放电检测 ultra high frequency detection of partial discharge

局部放电过程中，当电流脉冲陡度较大时，可向周围辐射特高频电磁波信号，通过 UHF 传感器及检测系统测量该信号，可实现局部放电检测。

3.4 无人机特高频局部放电检测系统 UHF PD detection system with unmanned aerial vehicle

由无人机、UHF传感器及检测系统组成的用于特高频局部放电检测的系统。

3.5 组合间隙 complex gap

由两个及以上空气间隙串联组成总间隙。

【来源：GB/T 14286-1993，2.39】

3.6 有效高度 effective height

特高频法局部放电传感器在给定频率点 f 的电压响应与入射电场强度的比值，量纲为mm。

4 符号

下列符合适用于本文件。

dB：分贝，表明局部放电信号的强度的一种形式，采用信号幅值与基准值的比值的对数来表征，即 $20\lg(\text{信号幅值}/\text{基准值})$ ，单位为 dB。

mV：毫伏，将采集到的特高频信号转换成电信号，直接采用电压值来表征信号强度。

dBm：分贝毫瓦，用于表示功率的单位，计算公式为： $10\lg(\text{功率值}/1\text{mw})$ 。

5 检测原理及特点

5.1 特高频局部放电检测原理

局部放电在设备内部很小的范围内发生时击穿过程很快，产生很陡的脉冲电流，其上升时间为 1ns 左右，激发频率数百 MHz 及以上的电磁波，可沿着设备间隙、绝缘件或瓷套传出。通过特高频传感器检测设备内部局部放电的特高频信号，可以发现局部放电缺陷。

5.2 无人机特高频局部放电检测特点

使用无人机搭载特高频传感器，开展特高频局部放电检测有以下特点：

- a) 无人机能够自由升降悬停，可靠近变电站内位置较高、较难接近的高电压设备；
- b) 无人机移动灵活，易于靠近带电部位进行不同位置特高频局部放电信号强弱对比，便于局部放电源定位；
- c) 无人机飞行过程中靠近带电设备时，其自身属于悬浮电位，容易满足各高电压等级设备带电检测的安全距离要求。

5.3 系统构成

无人机特高频局部放电检测系统由无人机系统和特高频局部放电检测系统两部分组成，无人机系统由无人机及控制系统组成；特高频局部放电检测系统由特高频传感器、数据采集单元、数据处理单元和数据输出单元组成。特高频传感器可由无人机云台搭载或直接搭载。系统典型结构示意图如图 1 所示。

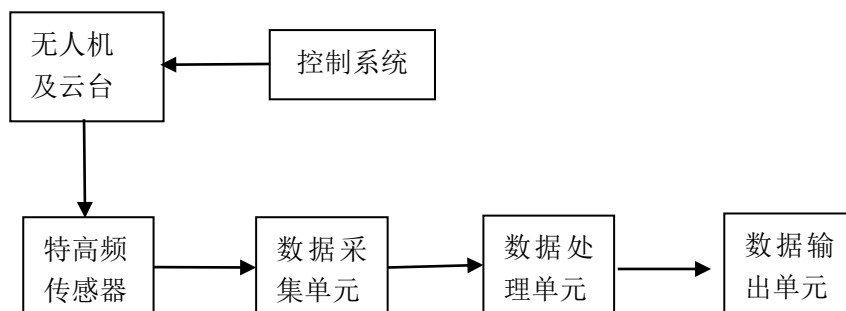


图 1 无人机特高频局部放电检测系统示意图

6 通用技术要求

6.1 装置要求

6.1.1 变电站特高频检测用无人机配置要求如下：

- 应采用电动型多旋翼无人机，不应使用油动型无人机、固定翼无人机和共轴旋翼无人机，机型宜选择小型机；
- 应搭载高精度 RTK 定位及测距模块，具备避障及预警提示功能；
- 应具备 A 级抗电磁干扰能力；
- 宜配置绝缘桨叶；
- 应配置航行灯，应能明确指示机头朝向，应具有机头定向功能；
- 应具备电量自动检测功能；
- 应配置充足的备品备件。

6.1.2 特高频局部放电检测模块配置要求如下：

- 无人机上集成的特高频局部放电检测系统总重量应小于无人机载荷最大值；
- 特高频局部放电检测传感器根据机型不同，可选择云台或直接搭载两种安装方式；
- 特高频局部放电检测传感器与地面接收端的信号传输延时应小于 50ms；
- 局部放电信号地面接收端应具备信号处理、分析、展示和保存功能；
- 特高频局部放电检测传感器防护等级不小于 IP55；
- 检测仪（含传感器）的检测灵敏度不应大于 7.V/m。
- 在 300MHz~1500MHz 频带内平均有效高度不应小于 8mm，且最小有效高度不应小于 2mm。

6.1.3 机载云台配置要求如下：

- 云台载重能力应大于特高频传感器重量；
- 云台应具有控制旋转功能，俯轴角度应达到 -45° ~ 45° ，转轴角度应达到 0° ~ 180° ；
- 云台的自稳功能应满足搭载传感器检测需求。

6.1.4 机载负载接口配置要求如下：

- 负载接口应与特高频传感器接口适配；
- 负载接口输出功率应大于特高频传感器功率。

6.2 人员要求

6.2.1 无人机驾驶员应通过相应机型的操作培训，宜取得民航认可的驾驶员执照，应熟悉无人机巡检作业方法和带电检测技术手段；

6.2.2 作业人员应具有2年以上变电站运维检修工作经验，应掌握变电运维检修专业知识，熟悉航空、气象和地理等必要知识，遵守电力安全工作规程的相关规定及本文件的相关要求；

6.2.3 作业人员应掌握特高频局部放电检测原理和技术特点，对于容易发生局部放电的设备、检测位置有一定的经验，能够识别局部放电和干扰信号的典型图谱。

6.3 安全要求

6.3.1 检测工作应设置专职监护人，严禁单人作业。

6.3.2 作业用无人机特高频局部放电检测装置应检测合格，不应超期使用。

6.3.3 作业人员应了解变电站所在地空域管制情况，必要时按照有关流程办理空域申请手续，未经相关单位许可不得在禁飞区开展作业。

6.3.4 作业现场应远离烟雾、火焰、密集人群、无线电干扰等可能影响飞行安全的区域，不具备厘米级精度定位和抗强电磁场干扰的无人机不得接近变电设备飞行。

6.3.5 无人机起降点应与变电设备设施保持足够的安全距离，磁场、风向不应影响无人机起降，起降时不应徒手握持、抛接无人机。

6.3.6 作业现场应注意疏散飞行作业中存在安全风险的人群，非作业人员影响飞行安全时，应及时终止检测任务。

6.3.7 作业现场不应使用可能对无人机通讯链路造成干扰的电子设备。

6.3.8 作业时，无人机应始终处于无人机驾驶员视距内，不应超视距飞行。

6.3.9 作业时，作业人员应与无人机始终保持足够的安全距离，不应在无人机正下方停驻。

6.3.10 无人机飞行时，与接地体和带电体两部分所组成的组合间隙应满足表1中的要求。

表1 无人机带电检测中的组合间隙最小值（cm）

电压等级（kV）	组合间隙（cm）
110	90
220	180
330	230
500	350
750	520
1000	750

6.3.11 无人机应缓慢靠近设备，应避免无人机与设备之间产生悬浮放电。

6.3.12 无人机与带负荷设备应保持足够的安全距离以避免设备磁场导致无人机失控，所处位置磁场强度应小于400A/m。

6.3.13 作业过程中，无人机或遥控器发出电池电量告警时，应人工控制降落或返航，避免无人机自动返航。

6.3.14 应定期开展无人机系统信息安全检查，及时更新补丁和杀毒。

6.4 气象要求

6.4.1 作业应在良好天气下进行。在雾、雪、雷电、大雨、大风或冰雹等恶劣天气时不应开展无人机特高频局部放电检测。

6.4.2 风速大于 3m/s 时不宜开展无人机特高频局部放电检测。

7 检测前准备

7.1 人员准备

7.1.1 作业人员应确保身体健康，精神状态良好，作业前 8h 严禁饮用任何酒精类饮品。

7.1.2 作业前应对作业人员进行安全、技术交底，交代工作内容、方法、流程及安全要求，并确认每一名人员均已知晓，履行签字确认手续。

7.2 作业准备

7.2.1 作业前应进行现场勘查，提前确定无人机起降点位置、检测位置、无人机悬停点、无人机飞行线路。

7.2.2 作业前应再次确认现场天气和无人机状态适宜作业。

7.2.3 起飞前，操作人员应逐项开展设备检查、系统自检，确保无人机处于适航状态，特高频传感器和后台接收设备能正常运行，宜使用特高频信号发生器检测传感器工况。

7.2.4 作业前，无人机应预先设置紧急情况下安全避障、失速保护、安全返航路径和应急迫降点等安全策略。安全返航路径上不应存在变电设备及其支撑构件，避免无人机和变电设备损坏。

8 现场检测

8.1 检测流程图

无人机特高频局部放电检测流程图如下所示：

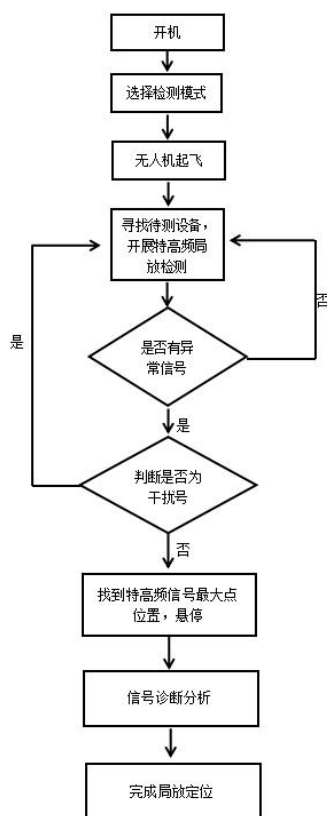


图 2 无人机特高频局部放电检测流程图

8.2 检测流程

8.2.1 检测前正确组装无人机和传感器各配件，启动特高频局部放电分析终端并进行必要的软件设置。

8.2.2 开展无人机特高频局部放电检测系统自检。

8.2.3 无人机起飞，进行背景噪声测试。测试前将仪器调至最小量程，检测周围环境背景信号幅值和相位图像信号并记录。

8.2.4 检测过程中，在保证无人机与带负荷设备满足安全距离的前提下宜尽可能靠近被检测点。

8.2.5 检测、分析特高频信号及特征，并与环境背景信号对比，判断有无异常。

8.2.6 对信号异常的设备应进行诊断性检测，步骤如下：

a) 控制无人机，调整特高频传感器角度对准信号异常设备，沿设备边缘自下而上或自上而下的缓慢飞行，找到特高频信号最大位置，控制无人机悬停，检测、分析特高频信号及特征；

b) 保持无人机在相同水平位置，控制无人机环绕设备异常点飞行一周，同时保证飞行时无人机与检测设备距离保持一致、特高频传感器的接收信号面始终对准待测设备，找到特高频信号最大位置，控制无人机悬停，检测、分析特高频信号及特征；

c) 结合特高频异常信号最大点位置，分析异常原因，判断设备内部是否存在局部放电缺陷、放电类型及严重程度。必要时应多次进行诊断性检测及分析。

d) 必要时可让无人机悬停进行长时间检测，时间不少于2分钟，进一步分析峰值图形、局放PRPD、PRPS图形，综合判断放电类型。

8.3 干扰信号排除

8.3.1 现场检测应进行局部放电信号干扰排除工作，可从干扰源识别、干扰传播途径、信号接收后处理三方面开展。

8.3.2 变电站常见的干扰信号主要有雷达信号、手机信号和荧光信号，此类信号的谱图特征与放电信号特征有明显差异，可通过分析谱图特征进行识别排除。

8.3.3 对于高压导体上的金属尖端电晕或悬浮放电，可通过干扰传播途径、信号接收后处理进行排除。

8.3.4 为提升信噪比，宜选用频率范围较窄或具备方向性的特高频传感器，并控制无人机贴近设备表面。

8.3.5 在发现异常信号时，可通过拉开无人机与设备之间的距离，如采用具备方向性的传感器则可使悬停无人机传感器背对被试设备，观察无人机动作过程中异常信号变化情况，若信号幅值增大或不变，可初步判断异常信号为外界干扰信号。

8.3.6 在确定外界干扰信号较强以至于影响特高频诊断时，可通过切换特高频信号接收频段、加装高通滤波器或窄带阻波器、增加背景噪声传感器等方法排除干扰：

a) 特高频检测默认采用全通频段进行检测，在干扰信号较强时切换至高通或低通频段进行检测；

b) 对于较强的电晕信号，可采用高通滤波器进行抑制；

c) 对于移动通信信号等具备窄带周期信号特征的干扰信号，可采用窄带阻波器进行抑制；

d) 邻近被检测设备放置一背景噪声传感器来接收空气中的干扰信号，通过软件自动分析噪声信号与特高频传感器信号，并在谱图上将噪声信号滤除。

9 检测数据与记录

9.1 数据处理及分析

9.1.1 工作完成后，应在所在单位规定工作日内完成检测记录整理并录入 PMS 系统，报告格式见附录 A。

9.1.2 数据存在疑问时现场应核查，必要时进行重新检测和记录。

9.1.3 发现缺陷时现场应进行核实、保存数据及图谱。

9.1.4 在条件具备时，应结合紫外成像、红外成像和设备油气中特征气体含量检测等其他手段进行综合分析。

9.2 数据保存

9.2.1 检测数据应及时保存，数据文件命名应至少包括设备名称、运行编号、相序和检测时间。

9.2.2 数据图片宜采用 JPEG 或 PNG 格式，视频数据宜采用 MP4 或 AVI 格式。

9.3 结果处理

9.3.1 检测完成后应及时提交检测结果分析报告。

9.3.2 结果分析报告应包括缺陷内容、缺陷类别、缺陷位置和处理建议。

10 异常情况处置

10.1 应急处置

10.1.1 无人机坠机

检测作业时，若无人机发生坠机事故，应立即上报并妥善处理无人机残骸以防止发生次生灾害。

10.1.2 无人机异常

a) 检测作业时，若无人机遥控信号丢失，应立即调整遥控器天线角度，使天线朝向垂直于飞机所在位置的平面以恢复遥控器信号；

b) 检测作业时，若无人机显示磁场受扰无法起飞，校准指南针后重新尝试起飞；

c) 检测作业时，若无人机突然失去动力，应立即示警并疏散周围人员，防止造成人员伤亡；

d) 检测作业时，若出现无人机避障系统失灵，应立即停止操作，使无人机悬停，重启避障系统，如避障系统无法恢复，应立即控制无人机在安全区域降落，查明原因；

e) 检测作业时，若无人机发生其它失控情况，严重影响人身及设备安全，应立即尝试迫使其主动坠落到无安全风险区域。

10.1.3 RTK 定位信号丢失

检测作业时，若无人机 RTK 定位信号丢失，应立即控制无人机在安全区域降落，重新连接 RTK 定位信号后方可继续飞行。

10.1.4 特高频信号传输丢失

检测作业时，若局部放电分析终端无法接收特高频局部放电信号，应控制无人机返航，重启特高频传感器和局部放电分析终端，重新连接后方可继续作业。

10.2 特殊工况处置

10.2.1 检测作业时，突发大雨、大风、冰雹、浓雾等恶劣天气，应立即控制无人机就近降落或返航。

10.2.2 检测作业时，若作业区域及附近出现鸟类或其他飞行物，应立即评估作业的安全性，在确保安全后方可继续执行任务，否则应采取避让措施。

10.2.3 检测作业时，若作业人员出现身体不适等情况，应及时控制无人机就近降落或返航。

附录 A
(资料性)

检测数据记录表

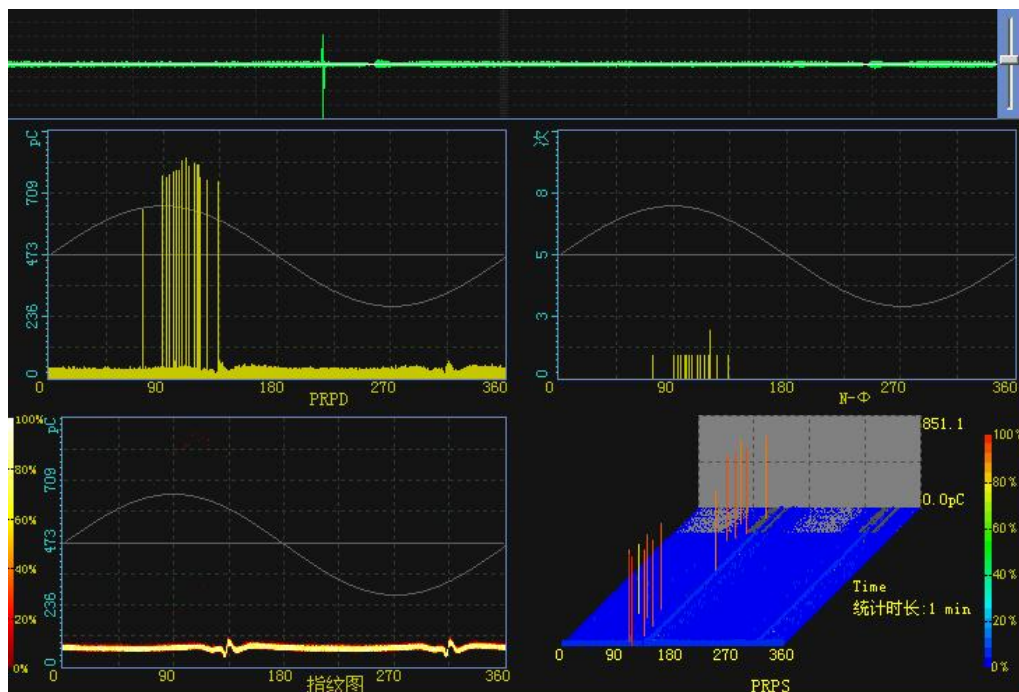
变电站名称		设备名称		运行编号及相别	
环境温度		环境湿度		检测日期	
检测设备型号		检测设备编号		检测人员	
异常位置描述					
异常设备可见光图					
无人机到异常点的检测距离					
背景信号图谱		背景信号幅值			
异常信号图谱		异常信号幅值			
分析结论及建议					
备注					

附录 B

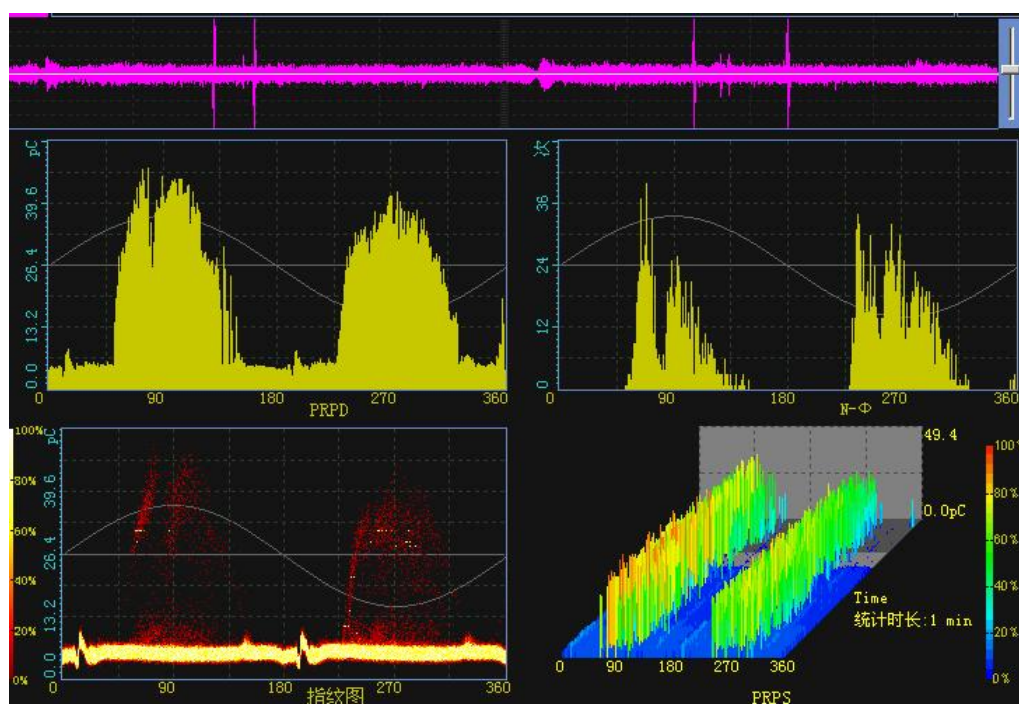
(资料性)

特高频局部放电典型图谱和典型干扰图谱

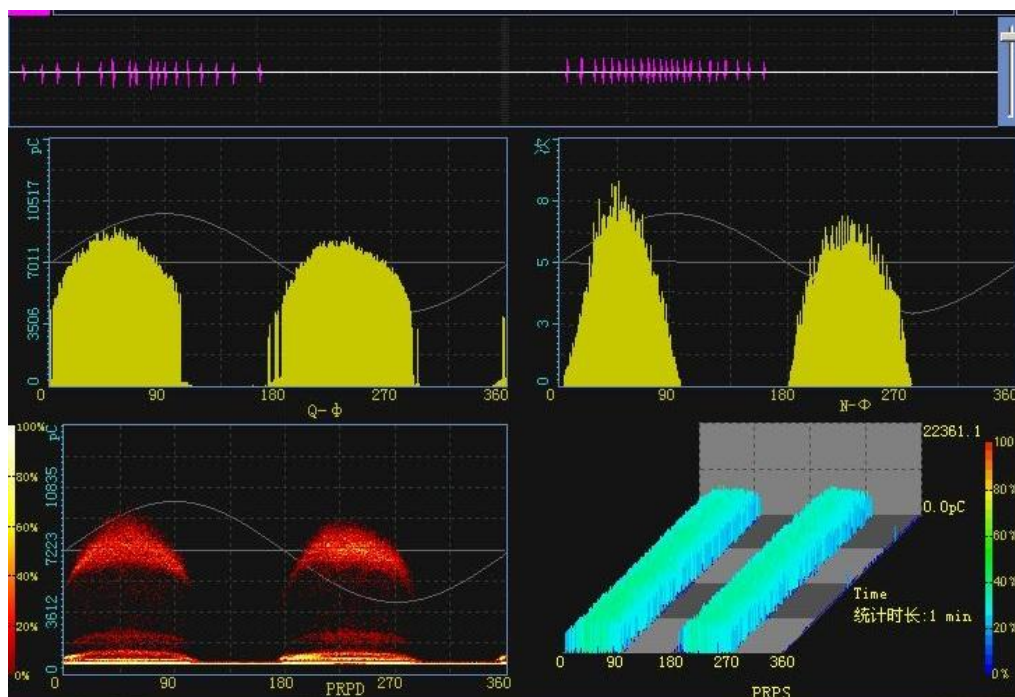
B.1 典型放电类型图谱:



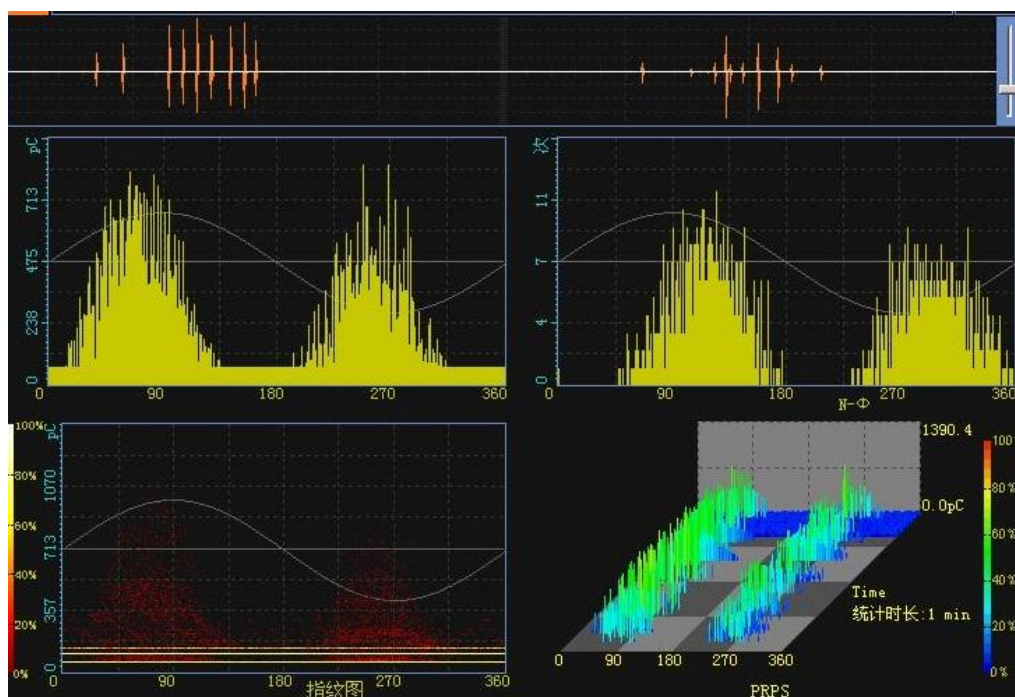
电晕放电



悬浮放电

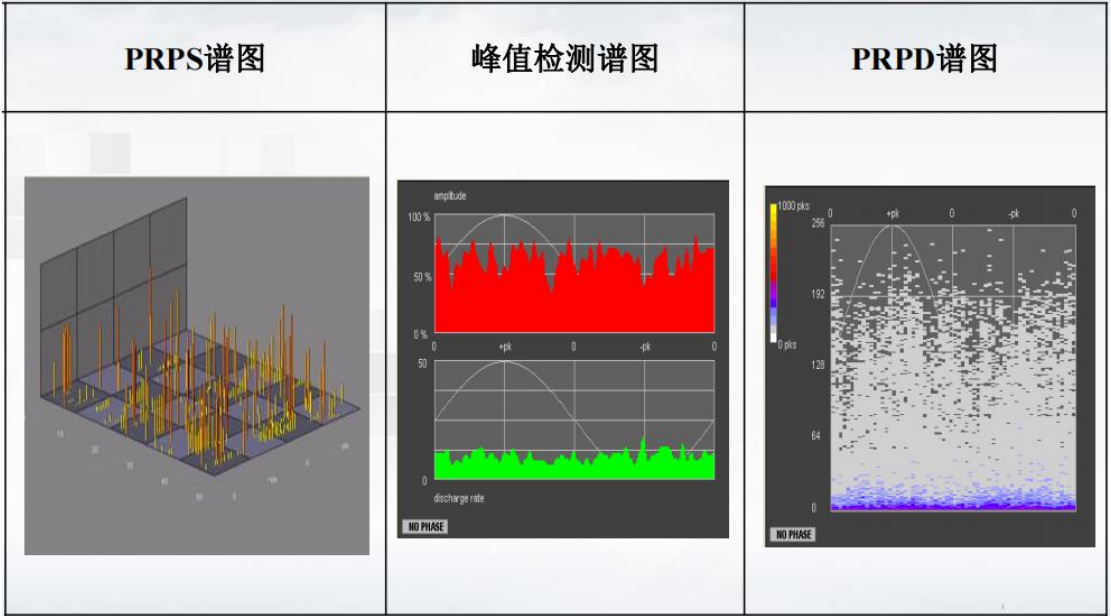


气隙放电

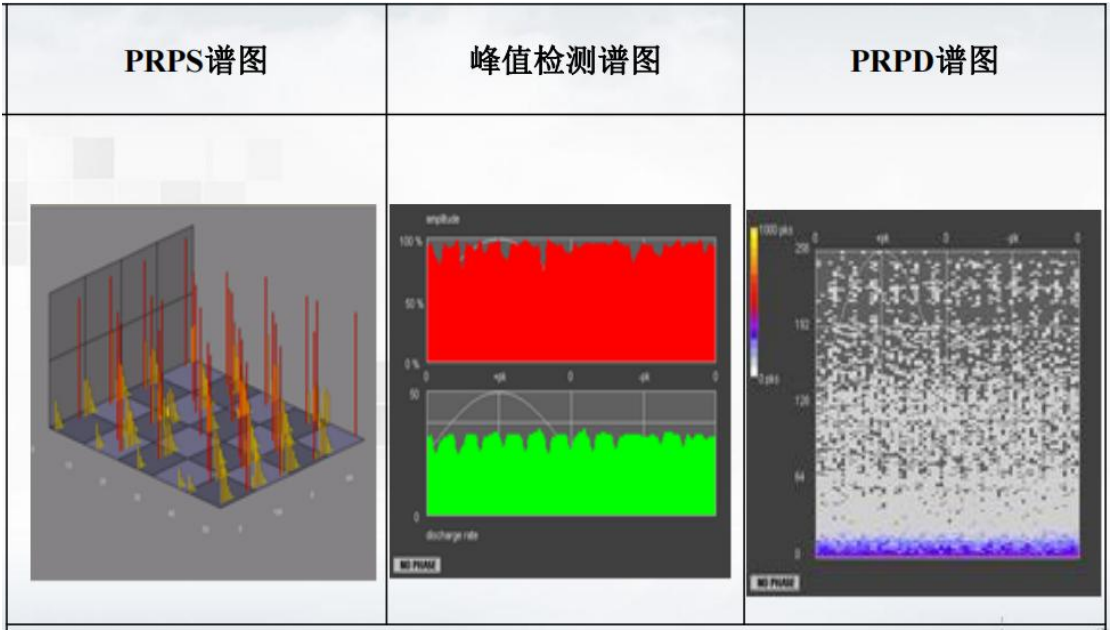


沿面放电

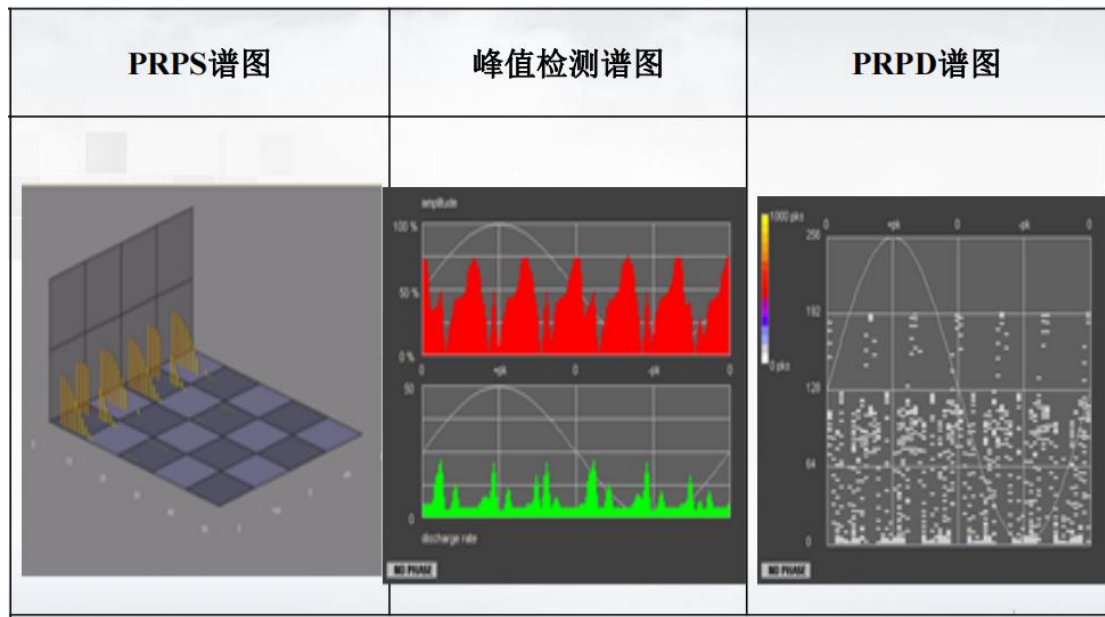
B.2 常见干扰信号图谱:



荧光信号



手机信号



雷达信号