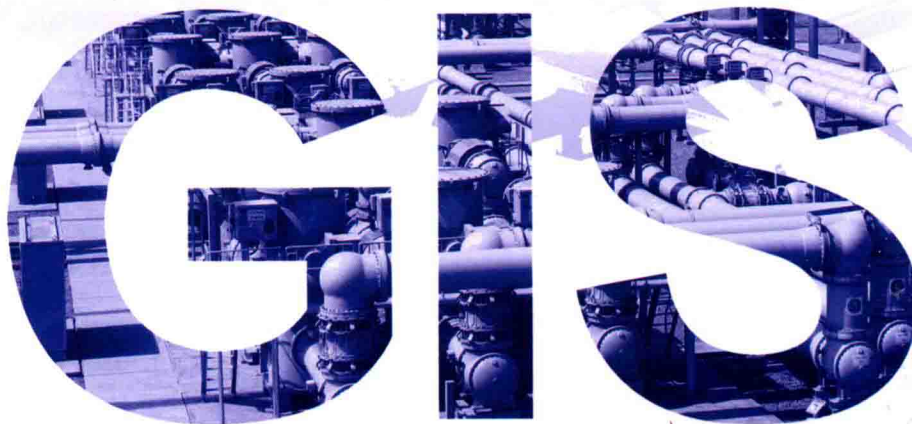


国家电网公司运维检修部 组编

GIS设备带电检测 异常判断手册



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

GIS设备带电检测 异常判断手册

国家电网公司运维检修部 组编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为深化应用气体绝缘金属封闭开关设备（GIS）带电检测技术，提升 GIS 设备状态检测水平，加强带电检测队伍建设，提高一线作业人员技能素质，国家电网公司运维检修部组织开展了 GIS 设备带电检测技能竞赛，并在总结本次竞赛活动的基础上编写了《GIS 设备带电检测》丛书，包括《GIS 设备带电检测异常典型案例与分析》《GIS 设备带电检测标准化作业》（书配盘）《GIS 设备带电检测异常判断手册》《GIS 设备带电检测题库》4 个分册。

本书为《GIS 设备带电检测异常判断手册》分册，分为特高频法、超声波法局部放电带电检测异常判断两部分，各分为概述、异常判断方法、异常判断注意事项、常见异常情况数据或图谱和典型图谱 5 章。

本书可供从事电力系统运行、检修、安装、试验等方面工作的工程技术人员和管理人员学习使用，也可供制造厂、电力用户相关专业技术人员及大专院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目（CIP）数据

GIS 设备带电检测异常判断手册 / 国家电网公司运维检修部组编. —北京：中国电力出版社，2017.5（2017.7 重印）

ISBN 978-7-5198-0471-8

I. ① G… II. ① 国… III. ① 特高频—局部放电—带电测量—手册 IV. ① TM8-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 045977 号

出版发行：中国电力出版社

地 址：北京市东城区北京站西街 19 号（邮政编码 100005）

网 址：<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑：易 攀 马 青（63412355/2784）

责任校对：朱丽芳

装帧设计：张俊霞 左 铭

责任印制：邹树群

印 刷：北京瑞禾彩色印刷有限公司

版 次：2017 年 5 月第一版

印 次：2017 年 7 月北京第二次印刷

开 本：710 毫米×980 毫米 16 开本

印 张：19

字 数：344 千字

印 数：2001—4000 册

定 价：95.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

《GIS设备带电检测异常判断手册》

编委会

主 任 王风雷

副主任 高理迎

主 编 冀肖彤

副主编 张贺军 李 鹏 李 智 杨 圆

参 编 田 宇 黎 刚 杨大伟 王兴照 戴缘生

王永宁 钱 平 黄峻峰 毕建刚 尉 宾

王 伟 孙云生 陈 新 周孟戈 李胜川

刘江明 王 辉 刘 晶 吴水锋 洪 鹤

张 海 杨 为 徐 鹏 李松原 张作鹏

毛文奇 陈 敏 牛 铮 鄂士平 陈 晔

张志东 谷永刚

为大力实施国家电网公司“人才强企”战略，培养高素质技能人才队伍，进一步提升带电检测技术水平，加快打造一支素质过硬、业务精湛的带电检测队伍，国家电网公司运维检修部统筹组织一批优秀培训、试验和生产专家，认真总结近年带电检测工作及竞赛经验，提炼公司带电检测技术科研、试验和生产宝贵经验，精心策划，编写了《GIS设备带电检测》丛书，包括《GIS设备带电检测异常典型案例与分析》《GIS设备带电检测标准化作业》（书配盘）《GIS设备带电检测异常判断手册》《GIS设备带电检测题库》4个分册。

本套丛书内容来源于现场一线工作和实际案例，结合了26家省电力公司发现的典型问题和优秀检测分析团队的宝贵经验，体现了国家电网公司最新和最高带电检测水平。全书力求内容精简，深入浅出，旨在指导现场实际。

本书为《GIS设备带电检测异常判断手册》分册，分为特高频法、超声波法局部放电带电检测异常判断两个部分，各分为概述、异常判断方法、异常判断注意事项、常见异常情况数据或图谱和典型图谱5章。

由于GIS设备带电检测技术处于探索和发展阶段，加之编写时间仓促和能力有限，难免存在疏漏之处，恳请各位专家和读者提出宝贵意见。

编者

2017年2月

前言

第1部分 GIS设备特高频法局部放电带电检测异常判断

第1章 概述	3
1.1 特高频局部放电检测原理	3
1.2 信号检测模式	9
1.3 检测依据	12
第2章 异常判断方法	15
2.1 异常信号查找	15
2.2 干扰信号排除	20
2.3 缺陷精确定位	24
2.4 缺陷类型与严重程度判断	35
第3章 异常判断注意事项	42
3.1 现场检测阶段	42
3.2 异常判断阶段	43
第4章 常见异常情况数据或图谱	45
4.1 干扰信号	45
4.2 尖端电极缺陷	46
4.3 悬浮电位缺陷	52
4.4 自由金属颗粒缺陷	54
4.5 绝缘沿面或空穴放电缺陷	56
第5章 典型图谱	62
5.1 实验室信号	62
5.2 现场测试信号	83

第2部分 GIS设备超声波法局部放电带电检测异常判断

第6章 概述	109
6.1 超声波局部放电检测原理	109
6.2 信号检测模式	112
6.3 判断检测	116
第7章 异常判断方法	123
7.1 异常信号查找	123
7.2 干扰信号排除	132
7.3 缺陷精确定位	150
7.4 缺陷类型及严重程度判断	169
第8章 异常判断注意事项	178
8.1 现场检测阶段	178
8.2 异常判断阶段	181
第9章 常见异常情况数据或图谱	185
9.1 背景噪声	185
9.2 尖端电极缺陷	186
9.3 悬浮电位缺陷	194
9.4 自由金属颗粒缺陷	201
9.5 其他异常	208
第10章 典型图谱	216
10.1 实验室信号	216
10.2 现场测试信号	228
附录A GIS设备特高频法局部放电带电检测异常分析报告模板	237
附录B GIS设备特高频法局部放电带电检测异常分析报告案例	242
附录C GIS设备超声波法局部放电带电检测异常分析报告模板	271
附录D GIS设备超声波法局部放电带电检测异常分析报告案例	275

第1部分

GIS设备特高频法局部放电

带电检测异常判断

第 1 章 概 述

1.1 特高频局部放电检测原理

1.1.1 局部放电产生的特高频电磁波

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。局部放电是由于局部电场畸变、局部场强集中,从而导致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,并最后导致绝缘击穿。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,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。

电力设备绝缘体的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。

1.1.2 特高频局部放电检测

局部放电检测特高频法 (ultra-high-frequency, UHF) 于 20 世纪 80 年代初期由英国中央电力局 (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局部放电时产生的特高频电磁 ($300\text{MHz} \leq f \leq 3000\text{MHz}$) 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。

正常运行中的气体绝缘金属封闭开关设备 (以下简称 GIS) 内充有高压 SF_6 气体,其绝缘强度和击穿场强都很高。当局部放电在很小范围内发生时,气体击穿过程很快,将产生持续时间为 ns 级的脉冲电流,同时向四周辐射出 $0.3\text{GHz} \sim 3\text{GHz}$ 的电磁波,其在 GIS 中是以 TEM 波、TE 波和 TM 波的形式传播的,GIS 的同轴结构相当于导引电磁波的波导管,TE 波与 TM 波在其中传播

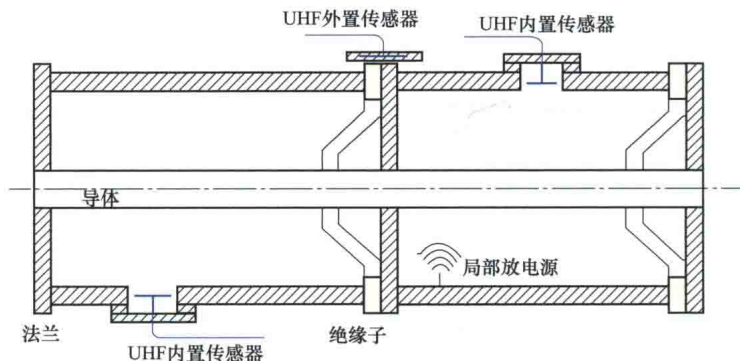


图 1-1 特高频检测法基本原理

的截止频率取决于 GIS 的结构尺寸，同时由于间隔的作用，一个 GIS 系统如同一系列的谐振腔，谐振腔中信号传输衰减较小，信号传播时间长，通常一个纳秒级的局部放电信号可以持续 10ms 以上，使用特高频传感器接收这些电磁波，进而分析 GIS 内部有无放电及其放电强度及缺陷类型等信息。

由于现场的电晕干扰主要集中在 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。

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，且实现 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，计算出局部放电源的具体位置，实现绝缘缺陷定位。为制订 GIS 设备的维修计划、提高检修工作

效率提供了有力的支持。

(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。

1.1.3 检测仪器

特高频局放检测仪一般由下列四部分组成:

- 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):某些局放检测仪会包含信号放大器,对来自前端的局放信号做放大处理;
- 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):运行局放分析软件,对采集的数据进行处理,识别放电类型,判断放电强度。

现场检测时,将传感器贴附在 GIS 设备的盆式绝缘子、接地开关连杆的固定绝缘子或观察孔等电磁波可泄漏出来的部件上。传感器将局部放电辐射出的电磁波信号转换成电信号,通过通信电缆传递到信号调理单元,经过数据采集与处理单元,然后进入模式识别单元,最后通过人机界面显示测量结果。现场检测示意图如图 1-2 所示。

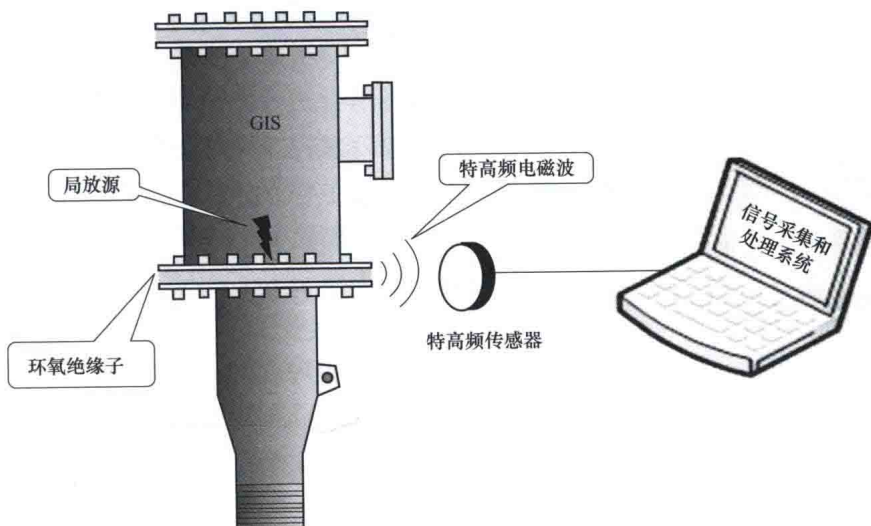


图 1-2 GIS 设备特高频局放现场检测示意图

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 1-3 所示。当电磁波传播到局部放电传感器(接收天线)处,通过耦合从传感器中将输出一个电压信号,并被存储和分析(如 FFT 和相关分析)。外置式传感器贴附在盆式绝缘子上进行检测,常用于带电检测。内置式传感器预埋在 GIS 内部,常用于在线监测。



(a)



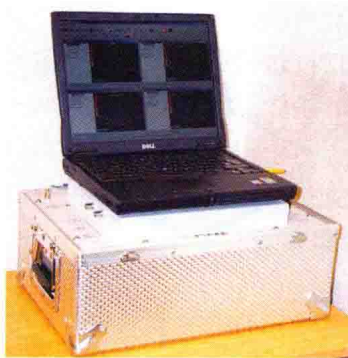
(b)

图 1-3 常用特高频局放检测传感器

(a) 外置; (b) 内置

国内外主流特高频局部放电检测仪的特点如下所述。

(1) DMS 特高频局部放电测试仪。DMS 特高频局部放电测试仪(DMS portable UHF monitor)常被用作变电站 GIS 设备的检修仪器,它能够检测、记录、分析 GIS 内部发生的局部放电事件,分析其原因,跟踪其发展趋势,以便早作处理,避免彻底停机事故。如图 1-4 所示。

图 1-4 DMS 特高频局部
放电测试仪

DMS 特高频局部放电测试仪由两部分组成:运行局部放电人工智能分析软件 PortSUB 的笔记本电脑和 UHF 特高频信号采集处理单元 DAQ(the portable data acquisition unit)。计算机通过网线连接 DAQ,接收 DAQ 通过耦合器(最多 3 个)采集的特高频局部放电信号。用 DMS 特高频局部放电测试仪检测到局部放电事件后,配合使用适当的示波器,通过计算检测到信号的时间差,可以对局部放电源进行准确定位。

(2) G100 系列局放仪。PDS-G100B 型便携式 GIS 局部放电测试仪运用声电联合检测技术,

支持四个检测通道，可以根据不同的需求选择接入超声或特高频传感器单元，检测信号经过调理放大、检波、采集及信号预处理处理后传输至便携主机。安装在便携主机上的软件自动对数据进行数字滤波及特征指纹提取，通过智能诊断算法排除干扰、识别缺陷类型，给出高置信度的诊断结论，为 GIS 设备的状态检修决策提供强有力的依据。

系统的主要功能及特点：

- 1) 采用声电联合定位分析技术，对局部放电源进行精确定位；
- 2) 特高频传感技术，避开低频噪声干扰，有效提高信噪比；
- 3) 四通道同时采集与分析信号，可根据现场情况设置噪声通道；
- 4) 多种检测模式，显示各种图谱；
- 5) 数据统计和智能分析，自动识别缺陷类型；
- 6) 支持连续监测模式，可对历史信号进行分析处理，给出可信的诊断建议。

(3) PD209 型局放仪。主要由信号传感器、信号调理单元、检测主机等组成。如图 1-5 所示。信号传感器——支持特高频 (UHF)、接触式超声波 (AE)、非接触式超声波 (ultrasound)、高频 (HFCT)、暂态地电波 (TEV) 传感器；信号调理单元——负责对传感器信号进行模数转换、放大、包络、检波等一系列信号调理工作，并根据上位机的指令将调理后的数据传输给上位机；检测主机 (笔记本电脑) ——通过安装在电脑上的上位机软件，实现参数设定、对信号调理单元的指令发布、信号解析和显示等功能。

该局放仪具备单周期、峰值、PRPD 等多种监测方式，可提取峰值、有效值、相位、放电次数等参量。具备周期图谱、统计图谱、PRPD 图谱等多种图谱表达方式。全面支持特高频 (UHF)、接触式超声波 (AE)、非接触式超声波 (ultrasound)、高频 (HFCT)、暂态地电波 (TEV) 传感器。采用 DSP 超高速信号处理及多通道技术，小波去噪等多重抗干扰技术。

(4) PSD 便携式 GIS 局部放电诊断装置。该局放仪检测波段为适合传感器的特定检测包括



图 1-5 PD209 型特高频局放仪

500~1500MHz 波段的 UHF (300~3000MHz) 波段的信号。检测方式：将发生在 500~1500MHz 波段的信号在没有 sweep time 的条件下同时检测的广波段 (wide bandwidth) 检测方式。最小检测信号：局部放电诊断装置检测的最小信号是 -55dBm ($=0.003\mu\text{W}$) 以下。



图 1-6 便携式 GIS 局部放电诊断装置

使用电源内部的同步电源。局部放电检测装置可连接 3 个外置型 UHF PD 传感器和 1 个杂波传感器，连接的传感器信号可同时检测。储存局部放电发生内容及放电的大小、次数等分析、诊断需要的资料，操作人员可过后从新确认。通信方式使用 TCP/IP 协议传输数据方式。如图 1-6 所示。

(5) PDS-T90 型局部放电测试仪。PDS-T90 型局部放电测试仪定位于局部放电检测方法集成化、智能化和巡检快速化，将多种局部

放电检测技术集成在一台手持式仪器中，其集成有暂态地电波局放检测法、特高频局放检测法、接触式超声波局放检测法、非接触式超声波局放检测法四种检测技术，适用于组合电器、开关柜等多种电气设备快速化巡检工作。如图 1-7 所示。



图 1-7 PDS-T90 型局部放电测试仪

(6) PDS-G1500 型局放检测与定位系统。PDS-G1500 型 GIS 局部放电检测与定位系统，用于带电检测变电站开关设备的内部绝缘缺陷。该系统基于声电联

合检测方法,利用高速数字存储示波器记录和分析设备的局部放电信号,系统可以比较分析特高频、超声波和高频电流信号不同频段的信息,从而有效分辨真实的局放信号和外部干扰信号。系统以特高频检测为主,支持变电站设备的各种内置和外置的特高频传感器,可在运行状态下对待测设备进行局部放电测试及诊断分析,并根据信号的传播时延和强度,精确定位和判定缺陷类型,评价缺陷的危害程度,以便了解和掌握设备的运行状况,避免重大绝缘事故的发生。

1.2 信号检测模式

局部放电是很复杂的物理现象,用单一表征参数很难全面描述,在判断中应尽量对各种放电图谱进行全面分析,以减少误判。常用于特高频局部放电检测的检测模式有 PRPS 检测图谱模式、PRPD 检测图谱模式和峰值检测图谱模式等。

1.2.1 PRPS 检测图谱模式

PRPS 图谱即脉冲序列相位分布谱图,是一种实时三维图,一般情况下 x 轴表示相位, y 轴表示信号周期数量, z 轴表示信号强度或幅值。PRPS 谱图是 UHF 法局部放电类型识别最主要的分析谱图。该表征方式包括三个维度,可展示多个工频周期放电脉冲的变化特性,由于更为直观,所以巡检中主要应用该模式。PRPS 图谱见图 1-8。

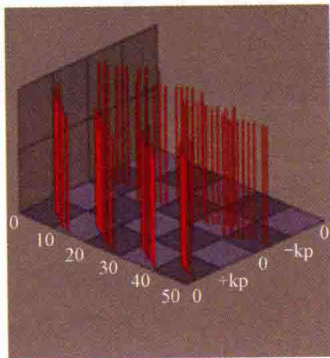


图 1-8 PRPS 谱图

1.2.2 PRPD 图谱

PRPD 图谱即局部放电相位分布谱图,是一种平面点分布图,点的横坐标为相位,纵坐标为幅值,点的累积颜色深度表示此处放电脉冲的密度,根据点的分布情况可判断信号主要集中的相位、幅值及放电次数情况,并根据点的分布特征来对放电类型进行判断。PRPD 谱图也是 UHF 法局部放电类型识别常用的分析谱图。

PRPD 谱图就是把每个带有相位标识的局部放电脉冲按照相位显示出来,放电信息没有时间信息,属于一段时间内的 PRPS 信息的叠加,例如 1s 之内。该表征方式包括两个维度,其中横轴为相位,纵轴为放电幅值,可展示多个工频周期放电脉冲的聚集效应,主要用于细致分析放电脉冲的工频相关性。PRPD 图谱见图 1-9。

1.2.3 峰值检测图谱

将 1 个 50Hz 周期分成若干个检测时间段,在每一个检测时间段,局部放电

检测仪的超高频信号峰值俘获电路，都将本时间段内振幅最强的局放信号峰值（信号值/振幅峰值）保存起来，并对俘获的信号峰值进行数字化处理；在该 50Hz 周期结束的时候，从本 50Hz 周期各个检测时间段俘获的局放信号峰值中选取最大者保存，并将此局放信号峰值与前面的 50Hz 周期已记录的局放信号峰值进行比较，保留其中的最大值。峰值检测图谱见图 1-10。

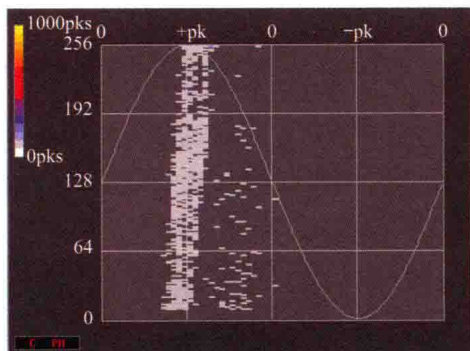


图 1-9 PRPD 谱图

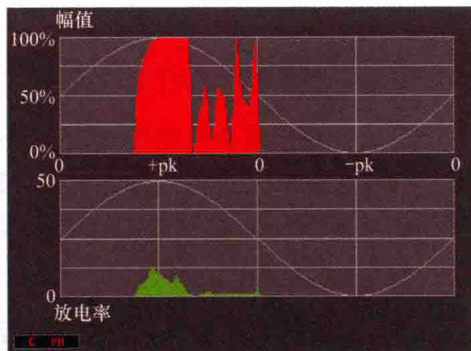


图 1-10 峰值检测图谱

下面以 DMS 特高频局部放电检测仪为例，详细介绍以上三种检测图谱。

(1) 局部放电检测软件。

1) DAQ 与 PortSUB。DMS 超高频局部放电检测仪的系统软件由两部分组成，一部分内置在便携式数据获取单元 DAQ 检测仪里面，另一部分是安装在一台笔记本电脑里的 PD 人工智能分析软件 PortSUB。

DAQ 软件运行在一个 300MHz 的奔腾处理器上，运行环境为 Windows CE.NET。奔腾处理器的能力很强，使 DAQ 能够通过耦合器 (Coupler) 实时检测、记录局部放电信号的活动情况。

2) 峰值检测 (peak hold) 与检测时间段。DAQ 将 1 个 50Hz 周期分成 64 个检测时间段 (time bucket)，每个时间段的长度约为 $312\mu\text{s}$ 。在每一个检测时间段，局部放电检测仪的超高频信号峰值俘获电路，都将本时间段内振幅最强的 PD 信号峰值（信号值/振幅峰值：peak amplitude）保存起来，并对俘获的信号峰值进行数字化处理；在该 50Hz 周期结束的时候，DAQ 软件从本 50Hz 周期各个检测时间段俘获的 PD 信号峰值中选取最大者保存，并将此 PD 信号峰值与前面的 50Hz 周期已记录的 PD 信号峰值进行比较，保留其中的最大值。

3) 局部放电速率。局部放电速率是指每秒钟发生局部放电事件的次数。如