

# 团体标准

T/SMA 0028-2022

## 电力设备超宽频带局部放电智能检测 第1部分：总则

Intelligent detection of ultra-wide band partial discharge in power equipment  
Part 1: General rules

2022 - 11 - 30 发布

2022 - 12 - 30 实施

上海市计量协会 发布

# 目 次

前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 超宽频带局部放电智能检测技术.....	2
4.1 概述.....	3
4.2 耦合装置.....	4
4.3 数据采集和存储.....	4
4.4 数据通信和传输.....	4
4.5 系统终端.....	4
5 试验应用.....	4
5.1 一般原则.....	5
5.2 诊断型局部放电试验.....	5
5.3 巡检型局部放电试验.....	5
6 检测与分析.....	5
6.1 功能要求.....	5
6.2 结果分析.....	6
7 其它说明.....	6
附 录 A（资料性） 变压器诊断型局部放电交流耐压试验应用.....	7
附 录 B（资料性） 变压器试验回路中耦合装置信号取样位置示例.....	9
附 录 C（资料性） 电力电缆及附件设备利用罗哥夫斯基线圈进行信号取样示例.....	10

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020规则起草。针对电力设备带电工况发生局部放电过程中产生脉冲波形-时间序列的特性以及检测技术（包括传感器、数据采集和信号处理等）的发展，本文件建立了“电力设备超宽频带局部放电智能检测 第1部分：总则”，主要对术语与定义、超宽频带局部放电智能检测技术、试验应用以及检测与分析做出规范性要求。

本文件由上海市计量协会电力专委会提出。

本文件由上海市计量协会归口管理。

本文件起草单位：国网上海市电力公司电力科学研究院、华东电力试验研究院有限公司、国网上海市电力公司、国网宁夏电力有限公司电力科学研究院、国网江西省电力有限公司、山东大学、山东电工电气集团有限公司、西安茂荣电力设备有限公司、国家电网有限公司华东分部、西安交通大学、上海恒能泰企业管理有限公司璞能电力科技工程分公司。

本文件主要起草人：司文荣、傅晨钊、鲍长庚、吴旭涛、陆启宇、沈晓峰、沈东明、杨菁、王逊峰、顾丽鸿、朱峰、杨在葆、倪鹤立、晏年平、周秀、潘晓玮、胡昊路、施春波、胡海敏、朱炯、宋人杰、方祺、何宁辉、李秀广、曾磊磊、江安烽、赵莹莹、田越、陈洁、李清泉。

本文件2022年11月首次发布。

# 电力设备超宽频带局部放电智能检测 第1部分：总则

## 1 范围

本文件描述了电力设备超宽频带局部放电智能检测的总则部分，规范了术语与定义、超宽频带局部放电智能检测技术、试验应用以及检测与分析。

本文件适用于耐压过程中采用脉冲电流法的诊断型局部放电试验，以及基于接地引下线或预埋耦合装置的带电检测或在线监测的巡检型局部放电试验。其它基于脉冲波形-时间的局部放电检测可参照执行。

## 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，仅所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 7354-2018 高电压试验技术 局部放电测量
- GB/T 16927.1 高电压试验技术 第1部分：一般定义及试验要求
- GB/T 20833.1 旋转电机 旋转电机定子绕组绝缘 第1部分：离线PD测量
- GB/T 20833.2 旋转电机 旋转电机定子绕组绝缘 第2部分：在线PD测量
- GB/T 23642 电气绝缘材料和系统 瞬时上升和重复电压冲击条件下的PD
- DL/T 417 电力设备局部放电现场测量导则
- DL/T 1243 换流变压器现场局部放电测试技术
- DL/T 1576 6kV~35kV 电缆振荡波PD测试方法
- DL/T 1999 换流变压器直流局部放电测量现场试验方法
- DL/T 2278 高频法局部放电带电检测仪器技术规范

## 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; PD

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件发生也可以不在导体附件发生。

注：局部放电一般是由于绝缘体内或绝缘表面局部放电电场过于集中而引起的。通常这种放电表现为持续时间小于1 μs的脉冲。

[来源：GB/T 7354-2018，定义 3.1]

### 3.2 局部放电脉冲 partial discharge pulse; PD pulse

当电工设备中发生局部放电时，用接在试验回路中适当的检测回路测得的电压或电流脉冲。“电流”或“电压”术语中可以 and “局部放电”放在一起用，表示检测量的类型。

注：试品中的一次局部放电产生一个电流脉冲，符合本文件规定的检测仪在其输出端将产生一个与其输入端电流脉冲电荷成正比的电流或电压信号。

[来源：GB/T 7354-2018，定义 3.2]

### 3.3 局部放电脉冲的发生瞬时 occurrence time of a PD pulse

整个试验过程中每一个局部放电脉冲被记录的相对时刻 $t_i$ ，也可以是绝对时间。交流电压下局部放电脉冲的相角 $\varphi_i$ 和发生瞬时 $t_i$ 的关系见GB/T 7354-2018中3.3.4。

### 3.4 局部放电脉冲波形 partial discharge pulse waveshape; PD pulse waveshape

试验回路中耦合装置测得局部放电源（简称为“局放源”）产生的电流或电压脉冲时域波形。

### 3.5 脉冲波形-时间序列 time series of pulse waveshapes

带时标 $t_i$ 信息的脉冲波形序列组成的脉冲群。通常未经处理的局部放电脉冲波形-时间序列即局部放电脉冲群中可能含有噪声源形成的脉冲波形序列。

注：通常局放源或噪声源产生的脉冲波形-时间序列需要根据试验回路加压前后、是否带试品加压等工况或者利用放电类型识别技术进行组合判断。

### 3.6 背景噪声水平 background noise

在局部放电试验中检测到的不是由试品产生的信号。

[来源：GB/T 7354-2018，定义 3.6]

### 3.7 局部放电试验电压 partial discharge test voltage

按规定的局部放电试验程序施加的规定电压，在此电压施加期间测量试品的局部放电脉冲参量。

[来源：GB/T 7354-2018，定义 3.7.3]

### 3.8 局部放电测量系统 partial discharge measuring system

局部放电测量系统包括耦合装置、传输系统和测量仪器。

[来源：GB/T 7354-2018，定义3.8]

### 3.9 超宽频带局部放电检测 partial discharge detection with ultra-wide band

根据电工设备中发生局部放电时，在试验或者检测回路中传播局部放电脉冲的时域或频域特性，配置频率响应适宜的耦合装置，实现局部放电脉冲“畸变”最小工况下的检测。

注1：参照GB/T 7354-2018中5.5“超宽频带局部放电测量仪”修改。

注2：目前在巡检型局部放电带电检测中，DL/T 2278定义的高频法（3 MHz - 30 MHz）已在电网设备状态检修中应用。

### 3.10 脉冲波形特征参数提取 characteristic parameters extraction of pulse waveform

将脉冲波形转换为一组（两个或三个）具有明显物理意义或者统计意义的特征参数，并在二维（2D）平面或者三维（3D）空间特征参数谱图上显示，用于直观反映当前脉冲波形-时间序列中包含局放源和/或噪声源的数量。

### 3.11 脉冲群聚类分析 cluster analysis of pulse sequence

是指在脉冲波形-时间序列对应的特征参数谱图上，将脉冲群分组为由“自相似的”即具有“类聚”特性的若干子脉冲群的分析过程。目标就是在相似的基础上收集数据来分离局放源和/或噪声源形成的脉冲波形-时间序列。

注：通常为了提高聚类分析的准确性，一般采用人工判别确定分类数量的前提下，使用模糊C均值（FCM）等无监督聚类分析或人工手动聚类方法。

### 3.12 子脉冲群重组与表征 recombination of pulse sub-sequence and characterization

脉冲群聚类分析后，具有“类聚”特性的脉冲波形-时间序列重组为子脉冲群，子脉冲群通常以峰值-时间序列等谱图进行显示用于后续信号的判别等诊断分析。

## 4 超宽频带局部放电智能检测技术

## 4.1 概述

电工设备内部存在的局放是未知的，即局部放电脉冲经过局放源与检测点之间的传输路径所构成的系统是未知的；但在局放源稳定的工况下该未知系统是确定的。在短时间内，绝缘老化等其它因素不影响局部放电脉冲信号，局放源产生的局部放电脉冲信号是“稳定的”。如图1所示，如果使用超宽频带检测，耦合装置获取由同一局放源（或是同一干扰源）产生的脉冲群在时域或频域等波形上具有强“自相似性”或“高相似度”。对检测的脉冲波形-时间序列即记录的单个脉冲波形及其发生时，利用由脉冲波形特征参数提取、脉冲群聚类分析和子脉冲群重组与表征组成的脉冲群快速分类技术，将获取的脉冲群进行序列重组为具有“类聚”特性的若干子脉冲群，从而可达到分离局放源和噪声源的目的。

注1：超宽频带检测带宽可以覆盖或涉及GB/T 7354-2018、GB/T 20833.1、GB/T 20833.2和GB/T 23642所规定的常规电气检测（30 kHz - 1 MHz）、高频（3 MHz - 30 MHz）以及甚高频（30 MHz - 300 MHz）定义的频段；

注2：超宽频带局部放电智能检测技术对交流、直流和冲击等试验均适用，图1仅给出了交流和直流耐压试验的局部放电幅值时间序列谱图显示示例。

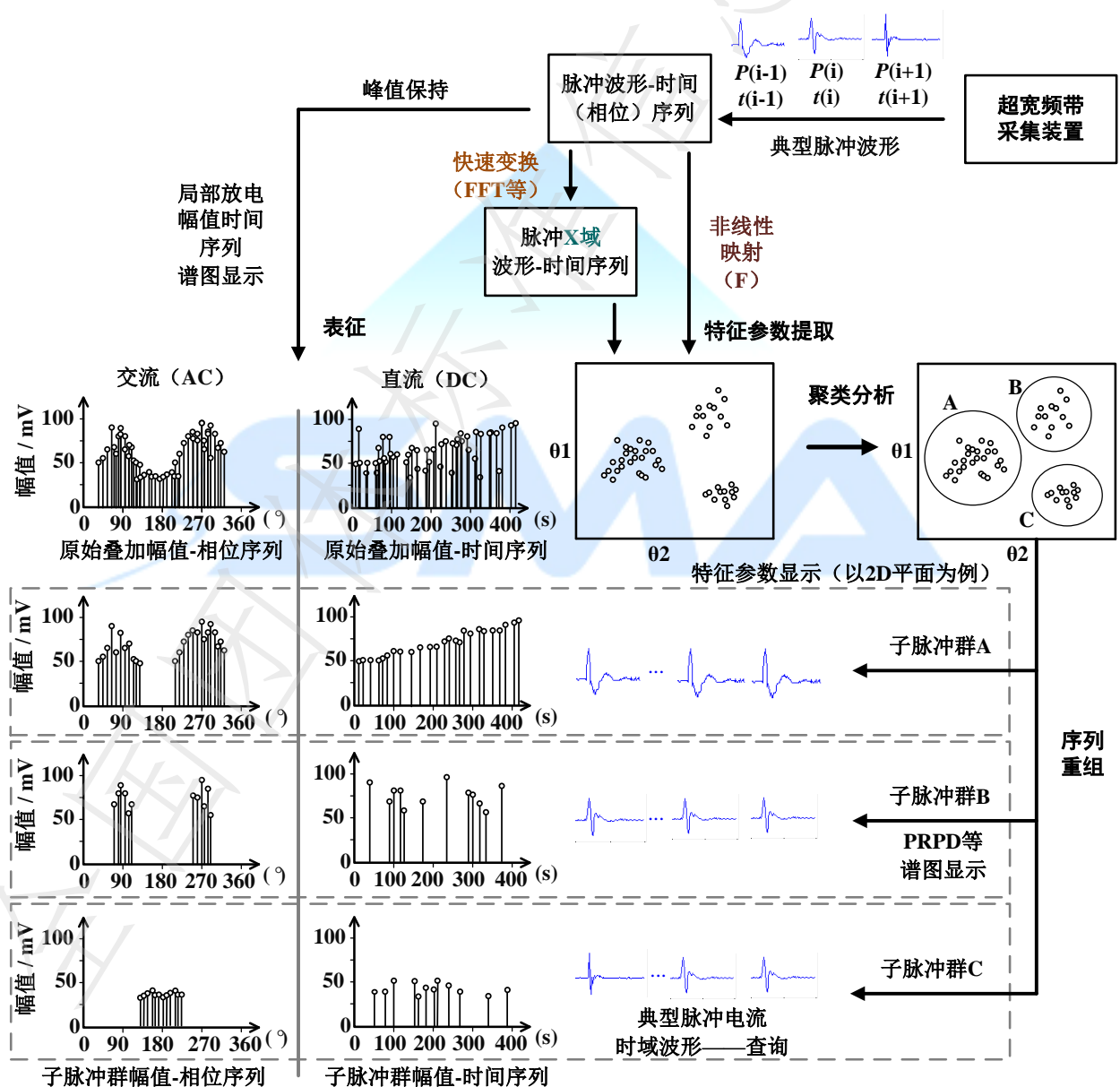


图1 超宽频带局部放电智能检测技术

上述对应的局部放电测量系统组成由下图2所示。

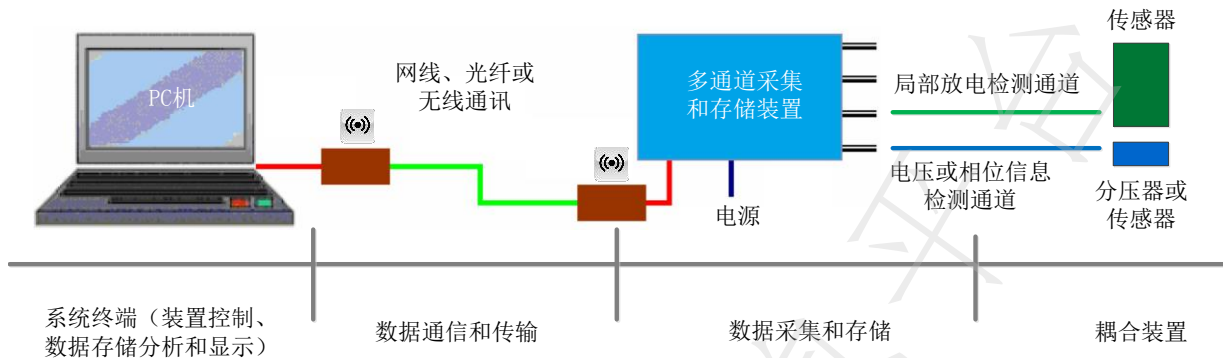


图2 局部放电测量系统组成

#### 4.2 耦合装置

可以作为局放源耦合装置的传感器示例如下，不限于：

- 电阻耦合器；
- 罗哥夫斯基（Rogowski）线圈；
- 电容器；
- 薄膜电极。

#### 4.3 数据采集和存储

宜采用多通道采集和存储装置进行脉冲波形-时间序列和局部放电试验电压波形的采集：

——局部放电检测通道的滤波器和带宽设置应与耦合装置匹配；

——电压检测通道应满足记录交流、直流和冲击电压波形等的相关要求，具体根据局部放电测量系统的功能技术规范设计；

——装置功能可以按满足诊断型和（或）巡检型局部放电试验进行设计，也可按用户需求进行特殊设计。

#### 4.4 数据通信和传输

可采用网线、光缆或无线通讯等方式实现多通道采集和存储装置与系统终端的连接，实现数据通信和传输。

#### 4.5 系统终端

系统终端上装有多通道采集和存储装置控制、数据存储分析和显示软件：

——与多通道采集和存储装置进行数据通信和传输；

——对多通道采集和存储装置能够进行实时控制（主要为参数设置，包括采样率、触发阈值、单个脉冲波形记录时间长度、触发记录位置、脉冲记录个数等），以及当前实时采样数据的访问、存储、分析和显示；

——脉冲群快速分类技术对应核心软件模块的应用；

——当前数据文件的分析报告自动生成；

——历史数据文件的调用，分析和显示。

### 5 试验应用

### 5.1 一般原则

超宽频带局部放电智能检测技术主要用于电力设备的诊断型和巡检型局部放电试验。

在诊断型局部放电试验中的应用，其耦合装置在试验回路中的信号取样位置参照GB/T 7354-2018，试验电压定义见GB/T 16927.1。

在巡检型局部放电试验中的应用，耦合装置除预埋于设备本体或附件中外，通常可采用罗哥夫斯基线圈耦合脉冲波形-时间序列。

### 5.2 诊断型局部放电试验

诊断型局部放电试验一般分为出厂、现场交接和停电离线耐压试验：

——局部放电量校准可不作要求，但应记录标定时脉冲幅值mV与pC的比例关系，即开展检测系统的灵敏度核查。

——现阶段，超宽频带局部放电智能检测技术不宜替代各电力设备基于脉冲电流常规电气检测法即GB/T 7354-2018的局部放电试验，但可配合开展用于抗干扰以及多局放源的判别分析；变压器诊断型局部放电交流耐压试验应用见附录A。

——不影响常规电气检测法试验回路的前提下，接入耦合装置。耦合装置在变压器试验回路中的信号取样位置示例，见附录B。其它设备或结构参照执行。

### 5.3 巡检型局部放电试验

巡检型局部放电试验一般分为运行设备的带电检测和在线监测（含重症监护）：

——对于设备本体或附件中无预埋式耦合装置的，一般利用其接地引下线或其他地电位连接线，采用卡装式罗哥夫斯基线圈耦合脉冲波形-时间序列。

——利用罗哥夫斯基线圈对电力电缆及附件设备进行信号取样示例，见附录C。其它设备或结构参照执行。

注1：耦合装置的布置或安装方式不应改变电气设备原有的连接方式；

注2：重症监护与带电检测或在线监测相比，主要为满足发电厂和变电站等厂站内安装和使用要求的可移动、长期工作的局部放电实时测量系统。

## 6 检测与分析

### 6.1 功能要求

超宽频带局部放电智能检测技术对应局部放电测量系统包含的主要功能如下：

- a) 以脉冲幅值触发方式，记录脉冲波形-时间序列；
- b) 具备脉冲波形特征参数提取、脉冲群聚类分析和子脉冲群重组与表征组成的脉冲群快速分类技术功能模块；
- c) 具备对脉冲群序列重组得到的各子脉冲群，进行脉冲幅值、频次、时间（或相位）等基本特征参量进行统计分析和显示的功能，并可提供信号幅值及频次变化的趋势图等；
- d) 谱图显示：
  - 交流试验，提供局部放电相位分布图谱或脉冲序列相位分布图谱等用于描述放电特征的图谱信息；
  - 直流试验，提供局部放电幅值时间序列谱图和脉冲数与放电最大幅值范围内的柱状图等用于描述放电特征的图谱信息；
  - 冲击试验，提供电压波形叠加局部放电幅值时间序列谱图等用于描述放电特征的图谱信息。

e) 具备模拟信号输出端口，以便通过示波器对经放大，滤波后的脉冲波形进行时域及频域分析。

f) 试验前、试验过程以及试验后的脉冲波形-时间序列均能以相同数据文件格式存储，以便于作为历史数据文件调用、回放和深度分析。

注：用于交流试验的测量系统应具备放电类型识别功能，可判断电力设备中的典型局部放电类型，或给出局部放电由那类缺陷发生的可能性，诊断结果应当简单明确；直流试验和冲击试验的测量系统暂不作要求。

## 6.2 结果分析

超宽频带局部放电智能检测技术用于电力设备的诊断型和巡检型局部放电试验，其结果分析应在使用脉冲群快速分类技术后，对脉冲群序列重组得到的各子脉冲群开展，相应的判据应符合DL/T 417、DL/T 1243、DL/T 1576和DL/T 1999等以及各设备的局部放电试验要求。

对于诊断型局部放电试验，缺陷判据及诊断方法如下：

——记录试验回路不加压、加压过程和切断电压后的脉冲波形-时间序列。

——配合常规电气检测法的局部放电试验，用于排查噪声源从而消除干扰脉冲对现行标准判据的影响。

——脉冲波形-时间序列数据文件的保存，用于后期深度分析和试品绝缘状态的跟踪分析。

对于巡检型局部放电试验，缺陷判据及诊断方法如下：

——谱图比对，各子脉冲群的谱图与典型局部放电图谱相类比，判断放电类型和严重程度等。

——横向比对，相同安装部位同一类设备局部放电信号的横向对比。相似设备在相似环境下检测得到的各子脉冲群，其幅值和谱图应比较相似，例如对同一变压器 A、B、C 三相套管的各子脉冲群对比，可以为确定是否有放电，同一变电站内的同类设备也可以作类似横向比较。

——纵向比对，同一设备历史数据的纵向对比。通过在较长的时间内多次测量同一设备的脉冲波形-时间序列，可以跟踪设备的绝缘状态劣化趋势，如果脉冲群序列重组得到的各子脉冲群有明显幅值增大，或出现典型局部放电谱图，可判断此测试点内存在异常。

若检测到有局部放电特征的信号，当放电幅值较小时，判定为异常信号；当放电特征明显，且幅值较大时，判定为缺陷信号。

对于检测到的异常及缺陷信号，要结合测试经验和其它试验项目测试结果对设备进行危险性评估。

## 7 其它说明

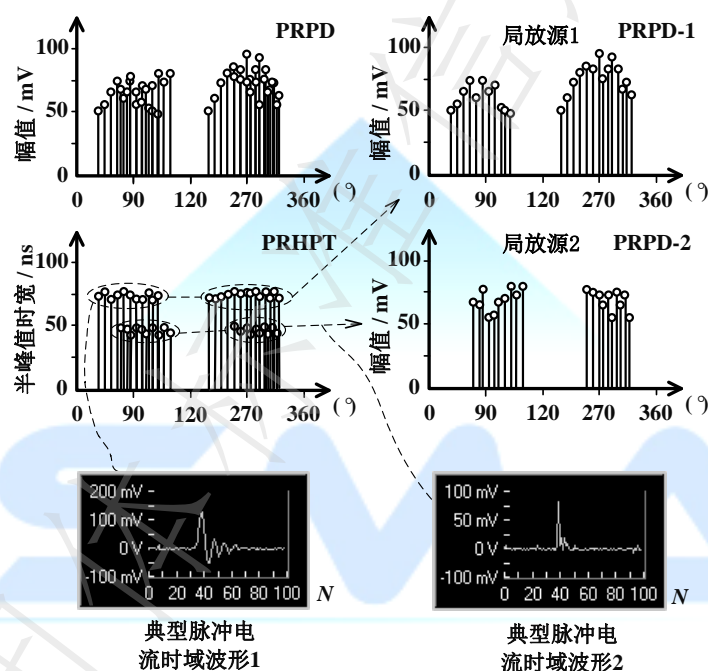
局部放电会产生电磁和声波信号，辐射光及造成绝缘材料的化学分解；这些物理的和化学的效应可以通过各类诊断性方法及相应的耦合装置进行检测。本文件描述的超宽频带局部放电智能检测技术涉及GB/T 7354-2018描述所谓的常规电气检测方法（30 kHz - 1 MHz）以及非常规方法描述的高频（3 MHz至30 MHz）和甚高频（30 MHz至300 MHz）电磁测量方法，其它非常规方法同样可参考应用。



### A.3 脉冲群聚类分析和重组

对检测获取的脉冲波形-时间序列按上升描述方法处理后，如附图 A3 所示，PRPD 谱图的幅值分布上无法区分是否存在 2 个局放源，但 PRHPT 谱图分布上明显存在 2 种脉冲源，一种脉冲源的半峰值时宽分布区间为 $[60, 80]$  ns，其典型脉冲波形如图所示的时域波形 1（图中  $N$  为点数），而另一种脉冲源的半峰值时宽分布区间为 $[40, 60]$  ns，其典型脉冲波形如图所示的时域波形 2。依据 PRHPT 谱图利用脉冲群聚类分析后，脉冲群序列重组得到了 2 个传统的 PRPD\_1 和 PRPD\_2 谱图，分别代表两个局放源。这里 PRHPT 谱图即为脉冲波形-时间序列对应的特征参数谱图，脉冲波形的半峰值时宽  $t_w$  和相角  $\varphi_i$  为两个特征参数。

注：由脉冲波形特征参数提取、脉冲群聚类分析和子脉冲群重组与表征组成的脉冲群快速分类技术的详细定义和描述见“电力设备超宽频带局部放电智能检测 第 2 部分：脉冲群快速分类技术”。

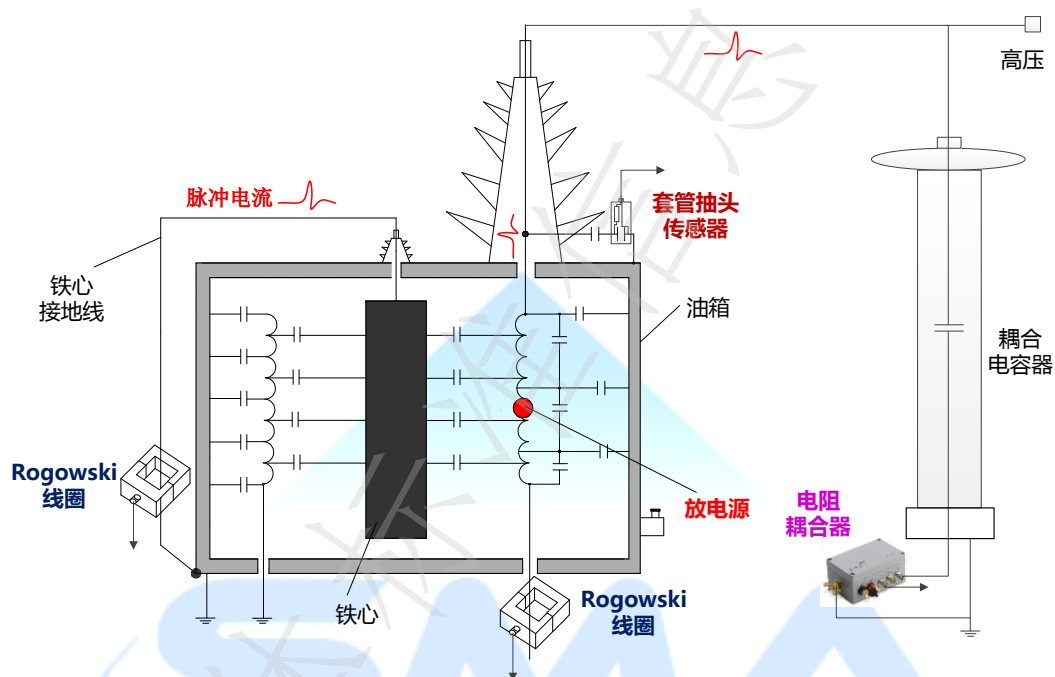


附图 A3 基于时域特征的脉冲群聚类分析和重组示例

附录 B  
(资料性)

变压器试验回路中耦合装置信号取样位置示例

根据 GB/T 7354-2018、DL/T 1243 和 DL/T 1999 所示基于脉冲电流的常规法用于变压器/换流变交直流耐压 PD 试验回路接线，附图 B1 所示铁心接地线卡装罗哥夫斯基 (Rogowski) 线圈、中性点接地线卡装 Rogowski 线圈、电阻耦合器与耦合电容串联、套管末屏安装套管抽头传感器 3 种方式耦合由于局放源所产生的脉冲波形-时间序列。



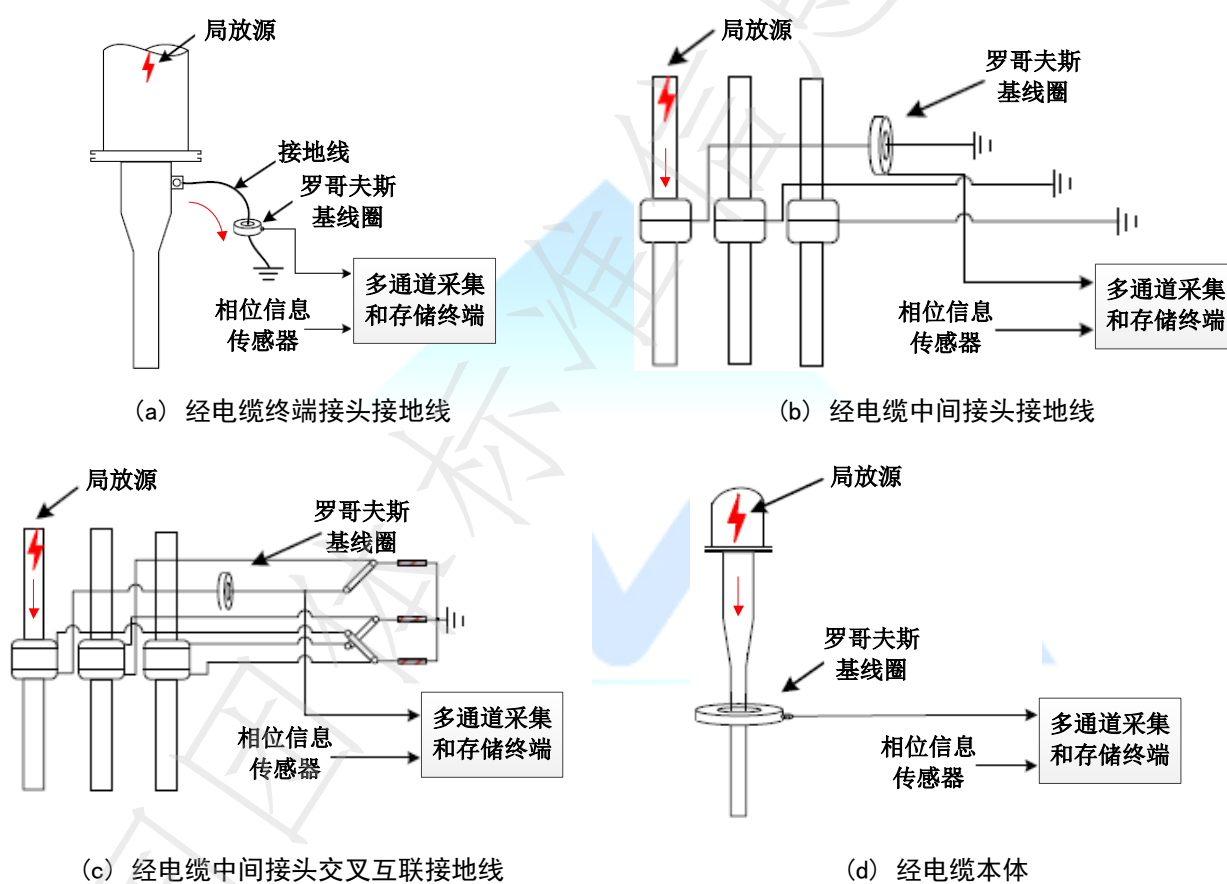
附图 B1 耦合装置在变压器试验回路中的信号取样位置示意图

## 附录 C

(资料性)

## 电力电缆及附件设备利用罗哥夫斯基线圈进行信号取样示例

对于电力电缆及附件，如附图 C1 所示，可以在电缆终端接头接地线、电缆中间接头接地线、电缆中间接头交叉互联接地线、电缆本体上安装罗哥夫斯基线圈，在电缆单相本体上安装相位信息传感器。如果存在无外接地线的电缆终端接头，罗哥夫斯基线圈也可以安装在该段电缆本体上，使用时应注意放置方向，应保证电流流入地方向与传感器标记方向一致。



附图 C1 电力电缆及附件设备进行信号取样示例