

ICS 29.120.40

K 43

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 2050 — 2019

高压开关柜暂态地电压局部放电 现场检测方法

Field detecting method for partial discharge of high voltage switchgear
based on transient earth voltage

2019-11-04 发布

2020-05-01 实施

国家能源局 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 检测原理	2
5 仪器要求	2
6 检测条件	4
7 检测周期	4
8 检测方法	5
9 数据分析	6
10 数据管理	7
11 常见干扰源	7
附录 A (资料性附录) 暂态地电压短期在线监测的诊断方法	8
附录 B (资料性附录) 暂态地电压检测判断阈值的确定方法	10
附录 C (资料性附录) 开关柜暂态地电压局部放电现场检测典型案例	14
附录 D (资料性附录) 开关柜局部放电暂态地电压检测记录表	18

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业高压试验技术标准化技术委员会（DL/TC 14）归口。

本标准主要起草单位：广东电网有限责任公司广州供电局、重庆大学、中国电力科学研究院。

本标准参与起草单位：国网北京市电力公司电力科学研究院、深圳供电局有限公司、云南电网电力科学研究院、国网上海市电力公司电力科学研究院、广东电网公司电力科学研究院、广东电网公司佛山供电局。

本标准主要起草人：熊俊、莫文雄、王有元、王勇、陆国俊、杨圆、丁玉剑、廖瑞金、程序、姚森敬、谭向宇、黄雪薇、黄炎光、覃煜、陆启宇、王流火、罗容波、余英、孙瑞学、毛恒、钟少泉、王伟、谢剑翔、王海靖、王剑韬、杨森、吴晓桂。

本标准为首次发布。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

高压开关柜暂态地电压局部放电现场检测方法

1 范围

本标准规定了高压交流金属封闭开关设备（高压开关柜）暂态地电压局部放电现场检测的检测原理、仪器要求、检测条件、检测周期、检测方法、数据分析、数据管理和常见干扰源。

本标准适用于 3.6 kV~40.5 kV 电压等级高压开关柜。外壳非完全屏蔽的开关柜类设备，例如环网柜、电缆分支箱等，可参照本标准执行。

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—2003 局部放电测量

GB 26860 电力安全工作规程 发电厂和变电站电气部分

DL/T 393—2010 输变电设备状态检修试验规程

DL/T 417—2006 电力设备局部放电现场测量导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

带电检测 energized test

在运行状态下对设备状态量进行的现场检测。

[DL/T 393—2010, 定义 3.1.7]

3.2

局部放电 partial discharge

设备绝缘系统中部分被击穿的电气放电，这种放电可以发生在导体（电极）附近，也可发生在其他位置。

注：导体（电极）周围气体中的局部放电有时称为“电晕”，这一名词不适用于其他形式的局部放电。“游离”指原子与分子等形式的电离，通常不应把“游离”这一广义名词用来表示局部放电。

[DL/T 417—2006, 定义 3.1]

3.3

背景噪声水平 background noise level

在局部放电试验中检测到的不是由试品产生的信号。

[GB/T 7354—2003, 定义 3.6]

3.4

暂态地电压 transient earth voltage; TEV

电气设备局部放电发生时产生的电磁波，高频范围 3 MHz~30 MHz、甚高频范围 30 MHz~300 MHz 传播经过金属外壳或接地体入地时，在金属外壳或接地体上感应产生的暂态对地电压信号。

3.5

暂态地电压幅值 transient earth voltage amplitude

表征局部放电暂态地电压信号强度的一种形式，可采用信号幅值与基准值的比值的对数来表征，即 $20 \lg$ （信号幅值/基准值），单位为 dBmV。

3.6

分贝毫伏 dBmV

表征相对于基准值为 1 mV 的局部放电量分贝值表示法。

注：例如某一信号的实际幅值为 10 mV，则其分贝毫伏值为 $20 \lg(10 \text{ mV}/1 \text{ mV}) = 20$ 。

3.7

短期放电严重程度 short term severity of partial discharge; STS

选定时间间隔内的最大暂态地电压幅值与每个工频周期内脉冲个数的乘积。

注：考虑仪器分辨率、采样率等因素，通常选定 2 s 作为时间间隔。

3.8

最大短期放电严重程度 maximum short term severity of partial discharge; MSTs

每个统计周期内所检测到的短期放电严重程度的最大值。

注：根据检测时间的长短，可选择 2 min、5 min 或 15 min 作为统计周期。

3.9

长期放电严重程度 long term severity of partial discharge; LTS

每个统计周期各时间间隔内最大暂态地电压幅值的平均值、每个统计周期选定时间间隔内脉冲个数的平均值、脉冲发生的时间占总的监测时间的百分数三者的乘积。

4 检测原理

暂态地电压检测原理如图 1 a) 所示，当开关柜的金属外壁与传感器构成的等效电容 C_1 远大于传感器硬件回路与同轴传输线构成的等效电容 C_2 ($C_1 \gg C_2$)，且开关柜的金属外壁与传感器构成的等效电容 C_1 远大于耦合电容 C_3 ($C_1 \gg C_3$) 时，等效电路如图 1 b) 所示。运用等效分析法，估算匹配电阻上的信号大小为：

$$\Delta u_d = \Delta u \times \frac{j\omega R C_1 C_3 + C_1}{C_1 + C_2 + C_3 + j\omega R C_3 (C_1 + C_2)}$$

式中：

Δu_d —— 匹配电阻 R 上的信号；

Δu —— 暂态地电压检测传感器获得的信号；

ω —— TEV 信号频率。

图 1 b) 所示电路实质是一个带通滤波电路，通过合理选择 C_2 的值，可获得适当的上限截止频率。合理选择 C_3 的值，可获得适当的下限截止频率。开关柜暂态地电压局部放电检测时无物理接地点，因此系统中还需要构建一个虚拟的接地端。

检测到的暂态地电压幅值与放电量和传播途径等因素有关。传播过程中的衰减量主要取决于放电位置、开关柜内部结构以及开关柜缝隙大小。

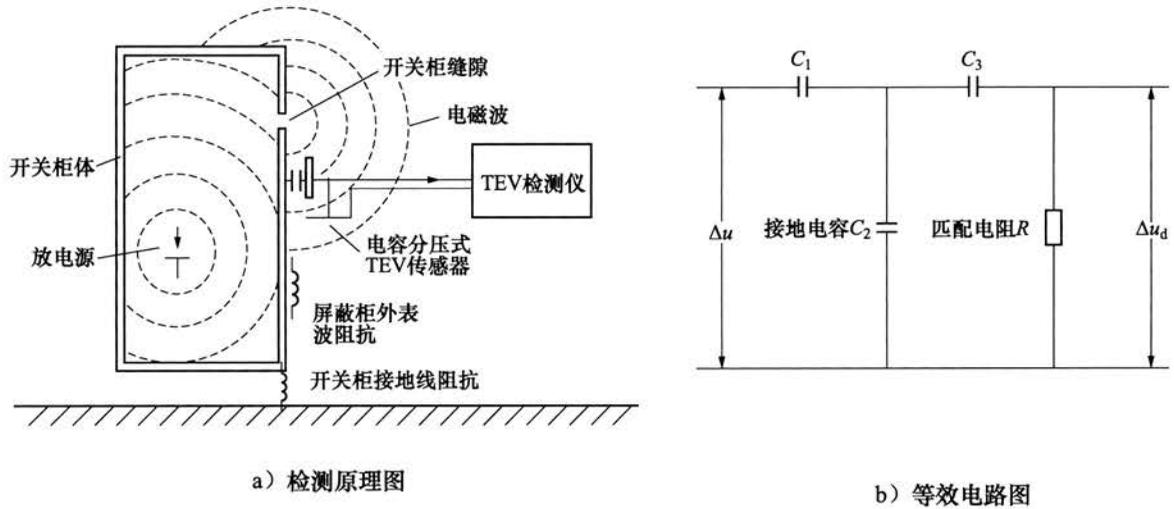
5 仪器要求

5.1 一般要求

5.1.1 使用环境条件

使用环境条件如下：

- a) 环境温度: $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 55\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 b) 大气压力: $80\text{ kPa}\sim 110\text{ kPa}$ 。



说明:

- C_1 ——开关柜的金属外壁与传感器构成的等效电容;
 C_2 ——传感器硬件回路与同轴传输线构成的等效电容;
 C_3 ——耦合电容;
 R ——阻抗匹配电阻(也称检测电阻)。

图 1 暂态地电压检测原理示意及其等效电路图

5.1.2 工作电源

工作电源的要求如下:

- a) 直流电源: $5\text{ V}\sim 24\text{ V}$, 纹波电压不大于 1%;
 b) 交流电源: 220 V ($1\pm 10\%$), 频率 50 Hz ($1\pm 10\%$)。

5.2 功能要求

5.2.1 基本功能要求

基本功能要求如下:

- a) 操作简单、携带方便;
 b) 能显示暂态地电压信号强度;
 c) 具备报警阈值设置及告警功能;
 d) 具备自检功能;
 e) 若使用充电电池供电, 单次连续使用时间不少于 5 h。

5.2.2 高级功能要求

高级功能要求如下:

- a) 具备脉冲计数功能, 可显示指定时间间隔内的脉冲数(通常为 2 s);
 b) 具备连续测量模式、脉冲幅值及个数测量模式;
 c) 宜具有图谱显示功能, 显示脉冲信号在工频 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 相位的分布情况, 具有参考相位测量功能;

d) 可通过仪器超声波检测功能进行局部放电辅助判断。

5.3 性能要求

- 5.3.1 检测频带：一般在 3 MHz~100 MHz 范围内。
- 5.3.2 检测量程：0 dBmV~60 dBmV。
- 5.3.3 幅值线性误差： $\leq \pm 5\%$ 。
- 5.3.4 上下截止频率的最大允许误差不超过 $\pm 10\%$ 。
- 5.3.5 脉冲计数：脉冲计数误差不超过 $\pm 10\%$ 。
- 5.3.6 脉冲重复率最大允许误差不超过 $\pm 5\%$ 。
- 5.3.7 稳定性：连续工作 1 h，施加恒定幅值、频率的方波信号，其响应值的变化不超过 $\pm 20\%$ 。

6 检测条件

6.1 安全要求

- 6.1.1 应严格执行 GB 26860 和发电厂、变（配）电站巡视的要求。
- 6.1.2 现场检测过程中应有专人监护，监护人在检测期间应始终行使监护职责。
- 6.1.3 应确保操作人员及测试仪器与电气设备的高压部分保持足够的安全距离。
- 6.1.4 测试现场出现明显异常时（如异常声响、电压波动、系统接地等），应立即停止工作并撤离现场。

6.2 人员要求

- 6.2.1 具有一定的发电厂、变（配）电站现场工作经验，熟悉并能严格遵守电力生产和工作现场的相关安全管理规定。
- 6.2.2 了解局部放电检测的基本原理、诊断方法。熟悉高压开关柜暂态地电压局部放电检测仪的工作原理、技术参数和性能；掌握高压开关柜暂态地电压局部放电检测仪的操作程序和使用方法；熟悉本标准，接受过暂态地电压局部放电检测技术的培训。
- 6.2.3 了解被检测设备的结构特点、工作原理和运行状况。

6.3 被试品要求

- 6.3.1 被测设备应为带电设备，且被测设备上无其他作业。
- 6.3.2 被测设备的金属封闭外壳必须接地良好。
- 6.3.3 应直接在开关柜外壳上检测，检测过程中禁止打开开关柜。
- 6.3.4 禁止在送电过程中对设备进行检测。

6.4 环境要求

- 6.4.1 检测的环境温度应在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间；空气相对湿度不应超过 90%，无凝露。
- 6.4.2 户外检测应避免天气条件对检测的影响，不应在雷电、暴风雨等极端环境下进行检测。
- 6.4.3 尽量避开干扰源（例如日光灯、驱鼠器等）的影响。

7 检测周期

7.1 交接试验

在开关设备交流耐压过程中，当耐压试验通过后，可将电压调节至 1.0~1.1 倍运行电压下进行暂态地电压局部放电检测。

7.2 运行中设备

7.2.1 在设备投运或检修后 3 个月内进行 1 次运行电压下的检测，并记录每一检测点的数据作为参考数据，此后运行中的检测数据可与历史数据进行纵向比对。

7.2.2 运行中设备的带电检测周期，应根据设备的重要性、负荷率及环境条件等因素综合确定。一般情况下，例行检测至少 1 年 1 次。

7.2.3 重要的变电站、重负荷站及老旧变电站可适当缩短检测周期。

8 检测方法

8.1 检测点的选择

8.1.1 对于高压开关柜，应对每合开关柜前面的中、下位置以及后面的上、中、下共 5 个测量点进行检测，参考检测位置如图 2 所示。

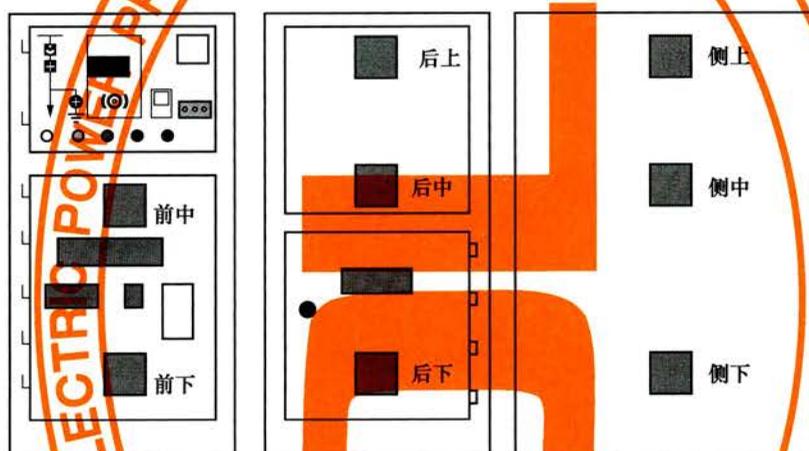


图 2 暂态地电压参考检测位置示意图

8.1.2 应保持每次测试点的位置一致，以便于进行比较分析。

8.1.3 如存在异常信号，则应在该异常区域进行多点检测或根据定位需要补充检测点，以便找出最大值所在位置。

8.2 检测步骤

8.2.1 仪器自检。利用信号发生器对仪器检测准确度进行自检，确保满足检测要求。若自检不符合要求，则需检查仪器及接线是否正确，自检合格后方可开展检测。

8.2.2 背景噪声水平检测。检测前需在其他金属制品（金属门、窗或其他金属面）上连续检测 3 个背景值，取平均值作为背景噪声水平值。

8.2.3 记录被测开关柜名称/编号。

8.2.4 测量开关柜前面的中、下位置以及后面的上、中、下共 5 个测量点。对于两侧的开关柜，还需分别测量侧面的上、中、下 3 个点，如图 2 所示。分别记录每个检测点的暂态地电压幅值，并宜记录每个检测点的每周波脉冲个数。

8.2.5 检测时，要求检测传感器平贴在被测金属表面，并确保接触良好。

8.2.6 进行某些检测时，局部放电幅值可能会发生波动。因此，传感器需要放置在检测点上，待其稳定后再读取数据。

8.2.7 检测数据超出表 1 的参考值时，可采用短期在线监测的方法对高压开关柜局部放电状态进行跟

踪，获取局部放电的发展趋势和严重程度。暂态地电压短期在线监测的诊断方法参见附录 A。

8.2.8 停电处理前，应对放电源进行精准定位，定位原理如图 3 所示，操作步骤如下：

- a) 开关柜横向定位时，移动 A、B 两个传感器直至同时触发，则放电位置可判定在两个传感器的中线 CD 上，如图 3 所示；
- b) 开关柜纵向定位时，移动 C、D 两个传感器直至同时触发，则放电位置可判定为在两个传感器的中线 AB 上，两根中线的交点 O 就是放电源位置；
- c) 当检测位置远离放电源时，可能难以区分信号的到达先后顺序；
- d) 当存在多处放电时，若发现在某个特定检测区域内两个传感器均能检测到信号但很难区分先后，而传感器一旦出了这个区域就能明显地分出信号的先后，则此特定区域通常就是放电点的分布范围。

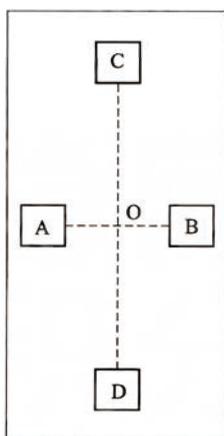


图 3 定位原理示意图

8.2.9 必要时，可采用特高频局部放电检测、超声波局部放电检测、红外热成像检测、紫外成像检测等其他方法辅助诊断。

9 数据分析

9.1 分析方法

可根据以下分析方法初步判断开关柜内部是否存在放电信号：

- a) 横向分析法：对同一个高压室内同类开关柜的暂态地电压测试结果进行比较，判断开关柜运行状况。当某一开关柜测试结果大于其他同类开关柜的测试结果和环境背景值时，推断该设备可能存在缺陷。
- b) 纵向分析法：对同一开关柜不同时间的暂态地电压测试结果进行比较，判断开关柜运行状况。需要工作人员周期性对开关室内开关柜进行检测，并将每次检测结果存档备份，以便于分析。
- c) 综合分析法：基于 a) 和 b) 的分析结果，采用暂态地电压短期在线监测的诊断方法，并结合特高频局部放电检测、超声波局部放电检测、红外热成像检测、紫外成像检测等辅助手段，获取和掌握开关柜放电精确位置、放电趋势和严重程度。

9.2 判断依据

9.2.1 当怀疑开关柜内部存在放电缺陷时，可根据表 1 的阈值做进一步诊断和处理。暂态地电压检测判断阈值的确定方法参见附录 B。

9.2.2 当确定为内部局部放电信号时，指定时间间隔内的脉冲数（如每 2 s）可作为辅助判断依据。

9.2.3 暂态地电压局部放电现场检测典型案例参见附录 C。

表 1 判断阈值与处理原则

背景值 dBmV	暂态地电压检测值 U_{TEV} dBmV	参考处理原则
0~10	$U_{TEV} \leq 20$	保持原有周期
	$20 < U_{TEV} \leq 40$	缩短周期，例如半年 1 次；开展诊断性试验；可结合停电进行检修处理
	$U_{TEV} > 40$	缩短周期，例如每月 1 次；开展诊断性试验；宜尽快进行检修处理
10~20	$U_{TEV} \leq 30$	保持原有周期
	$30 < U_{TEV} \leq 40$	缩短周期，例如半年 1 次；开展诊断性试验；可结合停电进行检修处理
	$U_{TEV} > 40$	缩短周期，例如每月 1 次；开展诊断性试验；宜尽快进行检修处理
>20	$U_{TEV} \leq 45$	保持原有周期
	$45 < U_{TEV} \leq 50$	缩短周期，例如半年 1 次；开展诊断性试验；可结合停电进行检修处理
	$U_{TEV} > 50$	缩短周期，例如每月 1 次；开展诊断性试验；宜尽快进行检修处理

10 数据管理

开关柜局部放电检测的数据应客观、如实地反应开关柜实际运行状况。对检测结果按照高压开关柜局部放电检测数据记录表进行全面、准确的记录。开关柜局部放电暂态地电压检测记录表参见附录 D 的表 D.1，开关柜暂态地电压短期在线监测记录表参见附录 D 的表 D.2。

数据管理应建立详细的设备台账及检测数据与检测对象属性的对应关系。

11 常见干扰源

11.1 无线电干扰

户外架空线的强电晕干扰会对高压室的进线柜及相邻柜的暂态地电压检测值造成影响。

11.2 电子系统干扰

蓄电池屏柜和直流屏柜由于内部的整流电路，其暂态地电压检测值非常高。开关柜背面的带电指示器也会造成暂态地电压检测值偏离。

11.3 照明系统干扰

日光灯镇流器启动会导致暂态地电压检测值升高，影响范围较大，可以覆盖一个主控室或高压开关室。

附录 A (资料性附录)

暂态地电压短期在线监测的诊断方法

A.1 基本原理

通过采用多个传感器（由检测传感器和抗干扰天线组成）进行各自独立的信号检测。根据高压开关柜例行检测的结果，按照能够区分局放信号到达时间的最低距离要求布置检测传感器，而抗干扰天线则位于变电站高压室的几个角落。这样，外部干扰信号在到达探测之前就能够被天线接收并判断出来。

本方法通过采用门控电路技术设置脉冲到达各通道后的统计规则。例如，如果脉冲首先到达某个通道的传感器，则检测脉冲的大小并进行该通道的脉冲计数。在此期间如果脉冲首先到达其他通道的传感器，则本通道无法记录脉冲大小，但将被其他通道计数。如果高压室内只有一处发生了局部放电，则最靠近局部放电位置的传感器测得的信号幅度最大，其余位置的信号幅度大大减小。最靠近局部放电位置的传感器所感应到的脉冲数量百分比要远远高于其他传感器。因此，通过设置相应的信号检测及脉冲记录规则，既可实现局部放电位置的定位又能实现局部放电信号的连续监测。

A.2 仪器要求

A.2.1 功能要求

仪器功能要求如下：

- a) 应具备自检功能；
- b) 应具备暂态地电压幅值、脉冲个数、短期放电严重程度、长期放电严重程度等反映放电状态参数的统计分析功能；
- c) 宜具有图谱显示功能，显示脉冲信号在工频 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 相位的分布情况，具有参考相位测量功能；
- d) 应具备局部放电定位和种类识别功能；
- e) 通过数据管理软件，可对开关柜进行绝缘状态分析、数据统计分析等；
- f) 根据检测时间的长短，可自主选择相应的时间作为统计周期；
- g) 应具备数据管理和数据导入导出功能。

A.2.2 性能要求

仪器性能要求如下：

- a) 应满足 5.3 的要求；
- b) 时间分辨率不大于 7 ns；
- c) 通道数量不少于 12 个；
- d) 应具备一定的数据记录能力，至少存储容量大于 16 MB；
- e) 最短统计周期模式下，应连续监测至少 7 d。

A.3 传感器布置

A.3.1 合理制定综合定位与诊断方案。

A.3.2 传感器布置方案应考虑抗干扰天线的覆盖范围。必要时，可通过分批多次定位对开关柜分别进

行排查。

A.3.3 检测传感器的布置应按照能够区分局部放电信号到达时间的最低距离要求依次布置检测传感器。通常每面柜体上固定至少一个传感器。应确保传感器与金属表面接触良好。

A.3.4 抗干扰天线的布置应满足两方面要求：天线阵列应布置于被检测对象的四周；天线与最近一个传感器的距离应满足能够区分局部放电信号到达时间的最低距离要求。

A.3.5 确保检测回路连接可靠。

A.3.6 绘制传感器及天线之间的位置示意图并记录距离。

A.3.7 局部放电定位。定位时，建议进行一段时间的监测，不宜少于 3 d；进行综合评估时，建议进行相对较长时间的监测，不宜少于 7 d。具体时间根据现场实际情况而定。

A.4 判断依据

基于暂态地电压的高压开关柜局部放电诊断依据如下：

- a) 存在局部放电的判断依据：
 - 放电源位于开关装置内部；
 - 短期放电严重程度： >0 ；
 - 每工频周期的脉冲数： >0.05 。
- b) 局部放电严重性的判断依据：
 - 短期放电严重程度： >75 ；
 - 长期放电严重程度： >6 ；
 - 每 5 min 脉冲数： $>10\ 000$ ；
 - 最大暂态地电压幅值： >35 。
- c) 局部放电源个数的判断依据：
 - 对一个局部放电源，测得的脉冲总数量等于某个传感器测得的脉冲数量，且测得的脉冲总数量远小于邻近传感器所接收到的脉冲总数量；
 - 对于两个及以上局部放电源，测得的脉冲总数量等于传感器各通道所测得的脉冲总数量。

附录 B (资料性附录)

暂态地电压检测判断阈值的确定方法

B.1 现行判断阈值的划分依据

国外确定暂态地电压预警值时主要考虑大量的历史数据、高压开关柜的故障率、大量局部放电现场案例以及高压开关柜事故调查结论。当前，工况条件下的设备局部放电发展过程及规律尚无定论，所以通过局部放电参量来预测高压开关柜绝缘剩余寿命仍有较大困难。因此，在进行检测结果分析时需要根据经验，即历史数据的分布特性。

国外以 1983 年~2003 年之间电压等级 3.3 kV~33 kV 开关站的大量现场局部放电数据为基础，形成了经验累计概率分布曲线（如图 B.1 所示）。将局部放电发展水平划分成以下三个级别：

第一级：把 1983 年~2003 年之间数据库中暂态地电压读数超过 35 dBmV（大于 5%）设定为紧急状态，表示开关柜有比较严重的放电且短期内很可能会不断发展成绝缘故障，必须立即安排停电检修。

第二级：把 1983 年~2003 年之间数据库中暂态地电压读数超过 29 dBmV（大于 10%）设定为报警状态，表示开关柜有较强的放电且会不断发展成绝缘故障。这种情况下不一定马上发生事故，但是必须进一步开展局部放电的定位并连续监测一段时间（几天或几周），并建议尽早安排停电检修。

第三级：把 1983 年~2003 年之间数据库中暂态地电压读数超过 19 dBmV（大于 25%）上限设定为预警状态，以提供足够高的开关柜放电水平告警，必须进行更为频繁的检测（如每周进行）。

因此，根据高压开关柜局部放电暂态地电压检测值经验累计分布曲线的 25%、10%及 5%划分依据可知，国外数据库中对应的经验阈值分别为 19 dBmV、29 dBmV、35 dBmV。

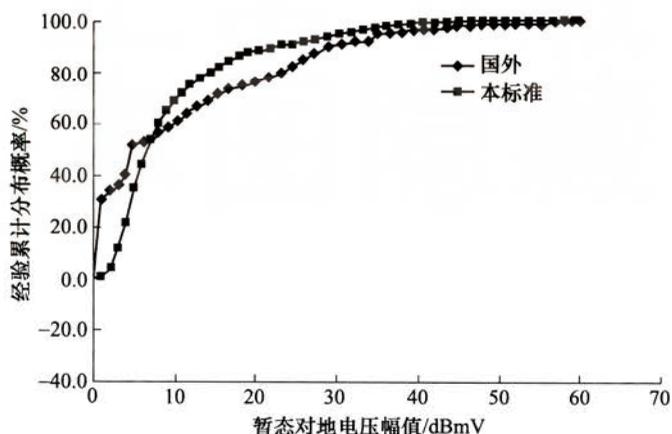


图 B.1 高压开关柜局部放电暂态地电压检测值经验累计分布曲线

B.2 国内现场检测数据分析

本标准在编写过程中累计收集到了广州、昆明、佛山及北京供电局等单位 89 000 多组运行中高压开关柜的局部放电海量现场数据，并建立了基于国内运行情况的高压开关柜局部放电检测值的经验累计分布特性。根据高压开关柜局部放电暂态地电压检测值经验累计分布曲线的 25%、10%及 5%划分依据可知，国内数据库中对应的经验阈值分别为 13 dBmV、23 dBmV、32 dBmV，见图 B.1。

图 B.2 所示为不同检测背景下高压开关柜局部放电暂态地电压检测值样本的经验累计分布曲线。金属背景读数处于 0 dBmV~10 dBmV 范围时的开关柜暂态地电压检测值超 5%、10%、25%暂态地电压

检测样本的门槛值分别为 15 dBmV、12 dBmV、8 dBmV。金属背景读数处于 10 dBmV~20 dBmV 范围时的开关柜暂态地电压检测值超 5%、10%、25%暂态地电压检测样本的门槛值分别为 30 dBmV、25 dBmV、20 dBmV。金属背景读数处于 20 dBmV 以上范围内超 5%、10%、25%暂态地电压检测样本的门槛值分别为 44 dBmV、40 dBmV、35 dBmV。

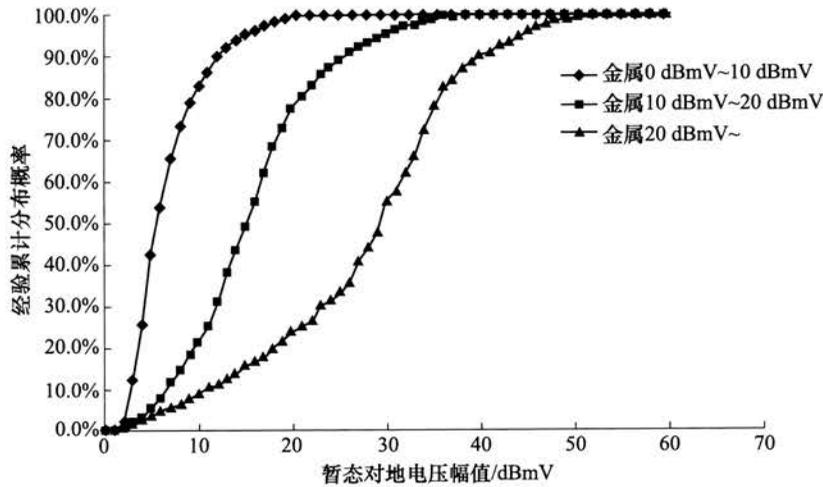
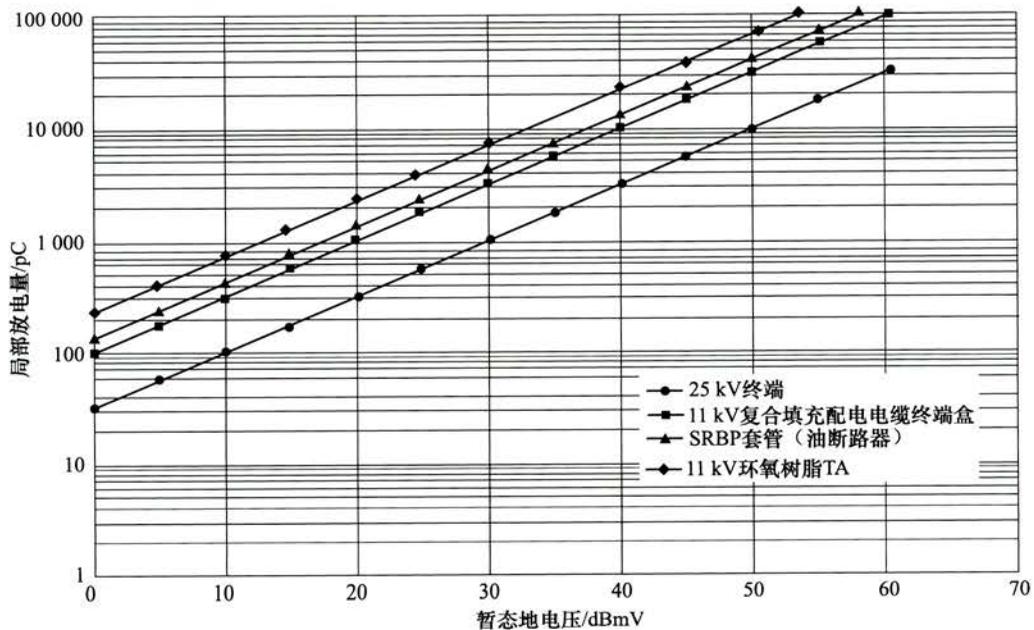


图 B.2 不同检测背景下高压开关柜局部放电暂态地电压经验累计分布曲线

B.3 判断阈值及处理原则的优化

上述分析表明：国内外现场检测的经验阈值存在明显差异，且检测背景对经验累计分布曲线变化趋势影响较大。另一方面，国外所采用高压开关柜局部放电检测仪的局部放电量（pC）与暂态地电压 TEV 检测值（dBmV）之间的换算关系主要基于开关柜结构、运行电压等级，检测值所代表的放电量大小也与国内相比会有一定差异，如图 B.3 所示。



a) 国外的试验结果

图 B.3 局部放电量与暂态地电压检测值之间的试验关系

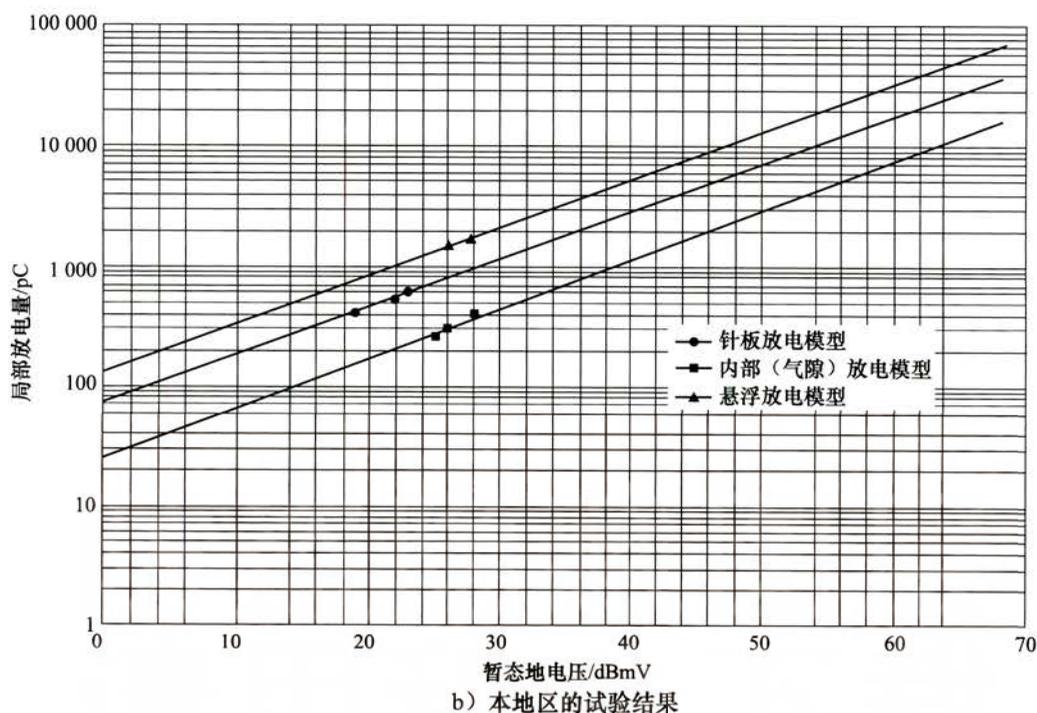


图 B.3 局部放电量与暂态地电压检测值之间的试验关系 (续)

因此，有必要从国内实际情况出发，结合考虑检测背景、风险概率及人力物力成本等因素，制定更为合适、灵活的高压开关柜局部放电状态巡检及判断原则。

根据收集到的国内电网企业实际运行数据可知：2001年~2010年10kV高压开关柜年均事故率约为0.0474%（台·次/年），即每10000台高压开关柜的平均事故次数为4.74台。并且，在这些实际故障案例中，绝缘、机械、过热等因素引起的故障比例分别为30.7%、46.2%及23%。随着开关柜设备质量与运维水平的提升，电力系统高压开关柜运行中发生故障的比例在逐年减小，所以，采用长期运行经验作为判断本地区高压开关柜局部放电状态的门槛值是一种较为稳妥的做法。

采用长期运行经验作为判断本地区高压开关柜局部放电状态的门槛值的具体方法简述如下：

定义：本地区样本总数为 N ，处于某背景范围条件下的检测值样本数量为 N_1 ，处于某背景范围条件下的检测值样本数量占样本总数的概率 P ，处于某背景范围条件下且小于某概率的检测值样本数量为 N_2 。同时，处于某背景范围条件下，小于某概率的检测值样本数量占该背景范围条件下的检测值样本的概率为 P_1 ，处于某背景范围条件下且小于某概率的检测值样本数量占本地区样本总数的概率为 P_2 ，则有

$$P = \frac{N_1}{N}, \quad P_2 = \frac{N_2}{N}$$

可以得出：

$$P_1 = \frac{N_2}{N_1} = P_2 \frac{N}{N_1} = \frac{P_2}{P}$$

根据各种背景读数条件下的检测值经验累计分布函数，可以得到累计概率 P_1 对应的检测门槛值，见表B.1。

表 B.1 高压开关柜缺陷、故障概率及对应的门限值

条件	比例 (P_2)	背景干扰水平: 0 dBmV~10 dBmV	背景干扰水平: 10 dBmV~20 dBmV	背景干扰水平: >20 dBmV
		$P_1=74.1\%$	$P_1=16.5\%$	$P_1=9.8\%$
小概率事件	5.000%	15 dBmV	20 dBmV	30 dBmV
总体缺陷率	0.520%	20 dBmV	30 dBmV	45 dBmV
绝缘缺陷率	0.048%	20 dBmV	40 dBmV	50 dBmV
总体故障率	0.047%	20 dBmV	40 dBmV	50 dBmV
绝缘故障率	0.015%	40 dBmV	40 dBmV	50 dBmV

若以小概率风险事件作为高压开关柜局部放电暂态地电压检测值的预警阈值，则对应的经验阈值分别为 13 dBmV、23 dBmV、32 dBmV，也即每 10 000 台开关中就有 500 台开关需要采取进一步的运维措施，如缩短周期。按照本地区高压开关柜例行局部放电检测的周期为每年 1 次计算。所以，当巡检周期在 6 个月 1 次~1 个月 1 次之间调整时，每 10 000 台开关每年的巡检量需要额外增加 5%~55%。这对于本地区来说，需要投入的人力成本太大且缺陷检出率较低，综合经济效益不高。

为此，本标准根据表 B.1 将暂态地电压局部放电状态划分成三个层级。首先，以总体缺陷率为基准概率（国外以 5%为基准概率），其对应的暂态地电压幅值为正常与异常状态的阈值。其次，以绝缘缺陷率及总体故障率对应的暂态地电压幅值作为异常与严重状态的阈值。考虑到背景干扰水平的影响，本标准分别制定了不同背景干扰水平下局部放电状态正常、异常及严重条件下的阈值。形成的暂态地电压现场检测判断阈值及处理原则见表 1。

附录 C
(资料性附录)

开关柜暂态地电压局部放电现场检测典型案例

C.1 巡检数据

某变电站高压开关柜暂态地电压局部放电测试数据分别见表 C.1 和表 C.2。比较分析表明该开关柜内部可能存在局部放电。按照表 1 的判断阈值与处理原则，需对异常开关柜做进一步诊断和分析。

表 C.1 某变电站高压开关柜暂态地电压局部放电测试数据 单位：dBmV

变电站	×××		开关室	2号高压室		检测日期	2016-07-10				
检测人	王××、杨××		检测环境	天气：晴		温度：29℃	湿度：69%				
型号	XGN12-2		生产厂家	×××		出厂日期	2010-11-12				
检测仪器	便携式暂态地电压检测仪		背景读数	5		仪器自检	正常				
开关柜名称/ 编号	前部				后部						备注
	中		下		上		中		下		
	幅值	脉冲	幅值	脉冲	幅值	脉冲	幅值	脉冲	幅值	脉冲	
F20	14	—	15	—	27	—	28	—	26	—	
F21	23	—	25	—	31	—	31	—	32	—	
F19 (备用)	17	—	18	—	17	—	17	—	18	—	
F22 (备用)	17	—	16	—	16	—	15	—	16	—	
F23 (备用)	14	—	15	—	14	—	15	—	14	—	
F24	14	—	15	—	12	—	14	—	14	—	

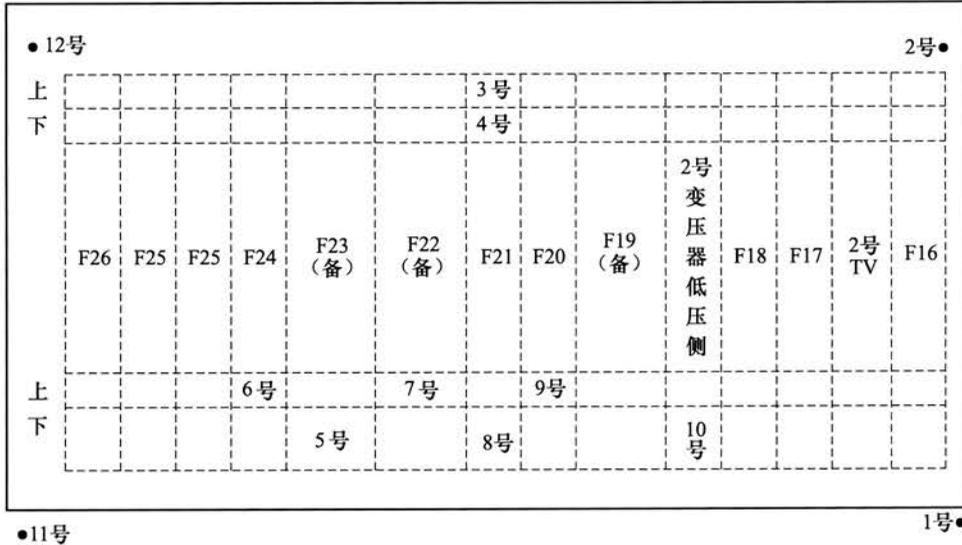
表 C.2 某变电站高压开关柜暂态地电压局部放电测试数据 单位：dBmV

变电站	×××		开关室	2号高压室		检测日期	2017-06-06				
检测人	李××、钟××		检测环境	天气：晴		温度：×××	湿度：×××				
型号	XGN12-2		生产厂家	×××		出厂日期	2010-11-12				
检测仪器	便携式暂态地电压检测仪		背景读数	3		仪器自检	正常				
开关柜名称/ 编号	前部				后部						备注
	中		下		上		中		下		
	幅值	脉冲	幅值	脉冲	幅值	脉冲	幅值	脉冲	幅值	脉冲	
F20	23	—	23	—	23	—	23	—	26	—	
F21	33	—	37	—	33	—	34	—	39	—	
F19 (备用)	21	—	23	—	20	—	20	—	20	—	
F22 (备用)	19	—	18	—	26	—	20	—	20	—	
F23 (备用)	16	—	18	—	22	—	19	—	19	—	
F24	15	—	18	—	17	—	16	—	18	—	

C.2 暂态地电压短期在线监测

现场采用暂态地电压短期在线监测进行跟踪。布置方案、检测结果及综合评估情况如下：

- a) 布置方案。编号 1 号、2 号、11 号及 12 号为检测外部干扰的天线传感器，编号 3 号~10 号为检测内部信号的传感器。传感器及天线的布置方案如图 C.1 所示。



说明：1.图中共有一排开关柜。

2. “上” “下” 所在行表示开关柜某一面的上、下位置。中间的一行代表开关柜，每一列代表一个开关柜。

3. “上” “下” 所在行内填写的数字代表放置的传感器编号及位置。

图 C.1 开关柜传感器布置示意图

- b) 检测结果。监测时段为 2017 年 3 月 17 日至 3 月 29 日，监测结果见表 C.3。

表 C.3 暂态地电压短期在线监测结果一览

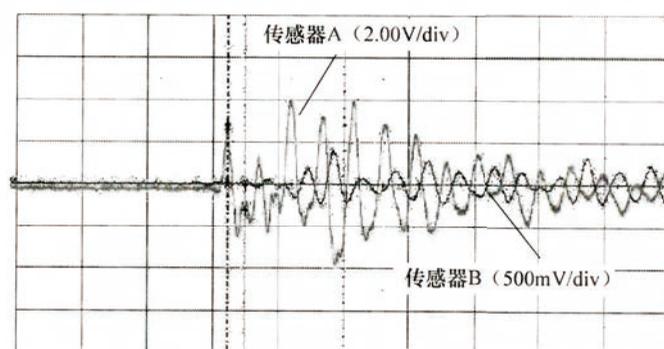
通道编号	每工频周期脉冲数 个	TEV 平均幅值 dBmV	最大 TEV 幅值 dBmV	短期放电严重程度	长期放电严重程度	各通道脉冲数	占总脉冲数的百分比 %	每周波脉冲数最大值 个	对应水平值 dBmV	占时间比 %	最大短期严重程度
1	0.075	0	31	3	0	23 616	0	0.561	25	6	10
2	0.056	1	28	1	0	46 203	0	0.146	19	8	1
3	0.063	10	16	0	0	171 358	0	0.063	16	100	0
4	0.000	0	0	0	0	27	0	0.000	0	0	0
5	0.003	4	31	0	0	59 999	0	0.187	19	18	2
6	0.004	25	31	0	4	914 638	6	0.125	25	100	20
7	0.145	35	37	92	37	386 273	5	0.145	37	100	9
8	1.635	36	40	163	71	46 535 541	75	1.635	40	100	163
9	0.151	34	43	16	39	306 630	8	0.151	43	100	21
10	0.166	15	25	3	0	388 047	1	3.411	19	100	30
11	0.052	0	16	0	0	6855	0	0.052	19	15	0
12	0.003	0	22	0	0	185 817	0	4.879	19	15	43

c) 综合评估。综合评估如下:

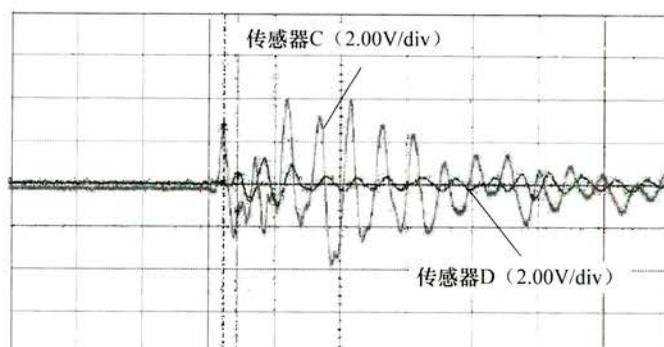
- 7号、8号及9号传感器通道的短期放电严重程度大于0，且每工频周期的脉冲数大于0.05，说明上述开关柜内部存在局部放电信号。根据A.4，上述开关柜存在局部放电。天线传感器1号、2号、11号及12号测得的脉冲数较少，同样表明信号源来自开关柜内部。
- 7号、8号及9号传感器检测到了大量脉冲信号且8号数量最多，说明信号源靠近F21可能性较大。由于7号、8号通道满足：短期放电严重程度大于75、长期放电严重程度大于6、每5min脉冲数大于10000以及最大暂态地电压幅值大于35dBmV。根据A.4，上述开关柜内部放电活动处于较为严重的状态。
- 8号传感器测得的脉冲数量等于所有传感器测得的脉冲总数量，且测得的脉冲总数量远小于邻近传感器所接收到的脉冲总数量。根据A.4，上述开关柜内部存在一个放电源并且位于F21柜。

C.3 局部放电定位

采用8.2.8的方法对F21柜内的放电源进行定位。暂态地电压传感器A和暂态地电压传感器B分别位于F21柜后下方和中部，检测到的时域波形如图C.2 a)所示，说明放电源距离传感器A更近。暂态地电压传感器C和暂态地电压传感器D分别位于F21柜后的下部和F22柜后的下部，检测到的时域波形如图C.2 b)所示，说明放电源距离传感器C更近。通过不断调整两组传感器对的相对位置，直至满足信号同时到达传感器A和传感器B以及信号同时到达传感器C和传感器D。传感器A(C)和B(D)中线的交点O就是放电源位置。通过与开关柜内部结构结合分析，O点对应的部位是A相支撑绝缘子或者A相电缆终端头位置。



a) 传感器A和传感器B (时基: 20.00ns/div; 时差: 5.45ns)



b) 传感器C和传感器D (时基: 20.00ns/div; 时差: 4.40ns)

图 C.2 局部放电定位暂态地电压时域波形图

C.4 放电类型

采用特高频方法对F21柜内的局部放电进行类型识别，结果显示为绝缘空穴放电缺陷。采用红外

及紫外带电检测手段辅助判断，未发现明显热点和集中光子，说明放电位于 A 相支撑绝缘子或者电缆终端头内部。F21 开关柜电缆室特高频局部放电相位特征图谱如图 C.3 所示。

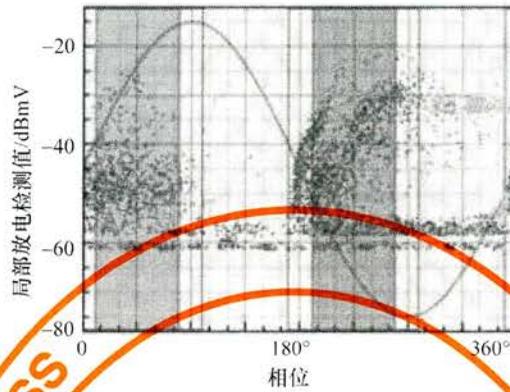


图 C.3 F21 开关柜电缆室特高频局部放电相位特征图谱

C.5 检修处理

将 F21 柜及其出线电缆转检修。复测 2 号高压室开关柜局部放电，检测到的暂态地电压幅值普遍降至 7 dBmV 左右。对于 F21 出线电缆采用振荡波局部放电检测，未发现集中性放电现象。对 F21 柜内三相分别施加交流耐压同时测量特高频局部放电，仅发现 A 相试验电压在 U_0 时产生明显局部放电现象且图谱与运行中测得的一致（如图 C.4 所示），说明缺陷位于 F21 柜内 A 相支撑绝缘子。更换缺陷组件后，复测 2 号高压室开关柜局部放电，未发现异常。

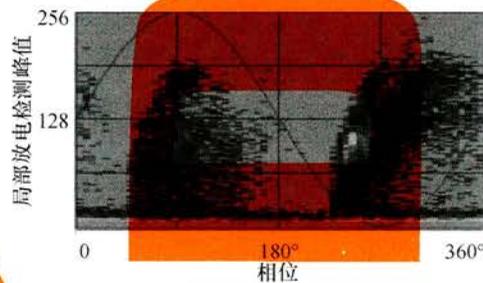
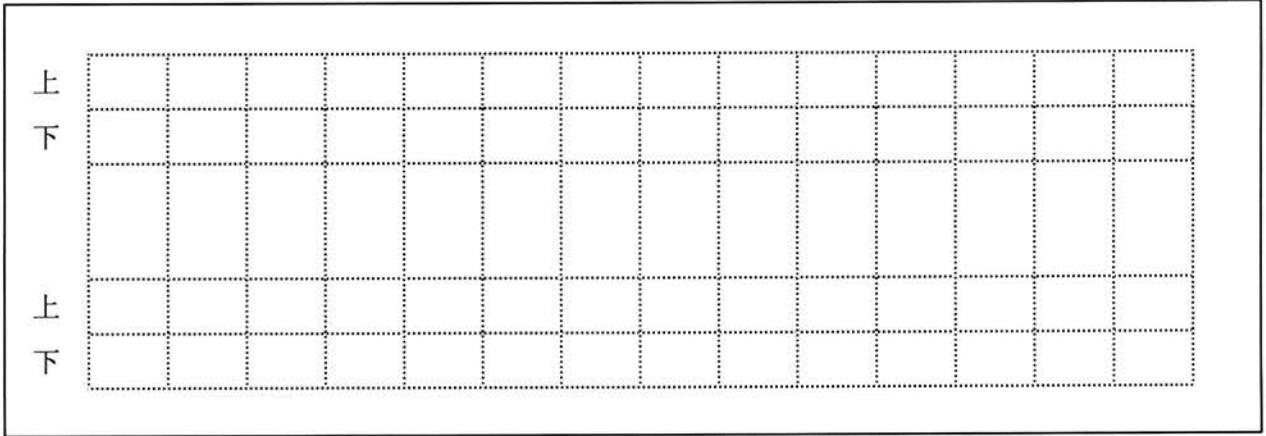


图 C.4 缺陷支撑绝缘子的交流耐压试验时特高频放电特征图谱

表 D.2 开关柜暂态地电压短期在线监测记录表

传感器布置图:



说明: 1. 图中共有一排开关柜。

2. “上”“下”所在行表示开关柜某一面的上、下位置。中间的一行代表开关柜, 每一列代表一个开关柜。

3. “上”“下”所在行内填写的数字代表放置的传感器编号及位置。

数据记录表:

通道编号	每工频周期脉冲数 个	TEV 平均幅值 dBmV	最大 TEV 幅值 dBmV	短期放电严重程度	长期放电严重程度	各通道脉冲数	占总脉冲数的百分比 %	每周波脉冲数最大值 个	对应水平值 dBmV	占时间比 %	最大短期严重程度
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											