

ICS 29.020

F 24

备案号: 54012-2016

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL / T 1576 — 2016

6kV~35kV 电缆振荡波局部放电测试方法

The method for partial discharge testing of
6kV~35kV power cables based on oscillating wave voltage

2016-02-05 发布

2016-07-01 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 振荡波局部放电测量系统及辅助设备	1
5 测试要求	2
6 测试步骤	3
7 测试结果及处理建议	4
附录 A（资料性附录） 时域反射法计算电缆中间接头位置	6
附录 B（资料性附录） 配电电缆中局部放电的传播及检测	7
附录 C（资料性附录） 典型缺陷局部放电时域脉冲图	9
附录 D（资料性附录） 典型缺陷局部放电案例分析	12

前 言

本标准根据 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。

本标准由电力行业电力电缆标准化技术委员会归口。

本标准主要起草单位：深圳供电局有限公司。

本标准参加起草单位：广州供电局有限公司、中国电力科学研究院、西安交通大学、广东电网有限责任公司电力科学研究院。

本标准主要起草人：薛荣、朱正国、刘国伟、何斌斌、余英、罗俊平、柯春俊、李文杰、李洪杰、黄志伟、姚森敬、胡冉、黄超、李思尧、时亨通、皮昊书、毛骏。

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）。

6kV~35kV 电缆振荡波局部放电测试方法

1 范围

本标准规定了 6kV~35kV 电缆振荡波局部放电测试方法。
本标准适用于额定电压为 6kV~35kV 电缆线路振荡波局部放电的测试。

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 3048—2007 （所有部分） 电线电缆电性能试验方法
- GB/T 7354—2003 局部放电测量（IEC 60270：2000，IDT）
- GB/T 16927.1—2011 高电压试验技术 第 1 部分：一般定义及试验要求
- GB/T 16927.2—2013 高电压试验技术 第 2 部分：测量系统
- GB 26861—2011 电力安全工作规程 高压试验室部分
- DL 596—1996 电力设备预防性试验规程
- DL/T 849.5—2004 电力设备专用测试仪器通用技术条件 第 5 部分：振荡波高压发生器

3 术语和定义

GB/T 7354—2003 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

振荡波 oscillating wave
频率在 20Hz~500Hz 范围内，波幅按指数衰减的交流电压波。
注：改写 DL/T 849.5—2004，定义 3.1

4 振荡波局部放电测量系统及辅助设备

4.1 测试系统

振荡波测量系统主要由电感和电缆试品及相关的电源组件构成，可分为直流激励式和交流激励式两种，分别如图 1、图 2 所示。其中，谐振电感为低内阻电感，应满足轻阻尼的振荡条件；最大输出电压下整个测试系统的局部放电量应小于 10pC。

4.2 辅助设备

辅助设备包括：

4.2.1 校准器

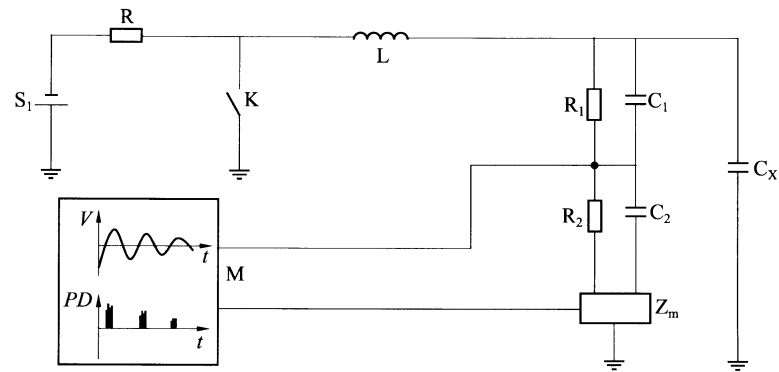
校准器应能够在 20pC~20nC 范围内产生逐级或连续可调的电荷量，以便对不同水平的局部放电进行校准，其具体参数应符合 GB/T 7354—2003 的有关规定。

4.2.2 低压时域反射仪

局部放电测试前，应采用低压时域反射仪（参见附录 A）测量电缆的波速度及长度，确认电缆接头

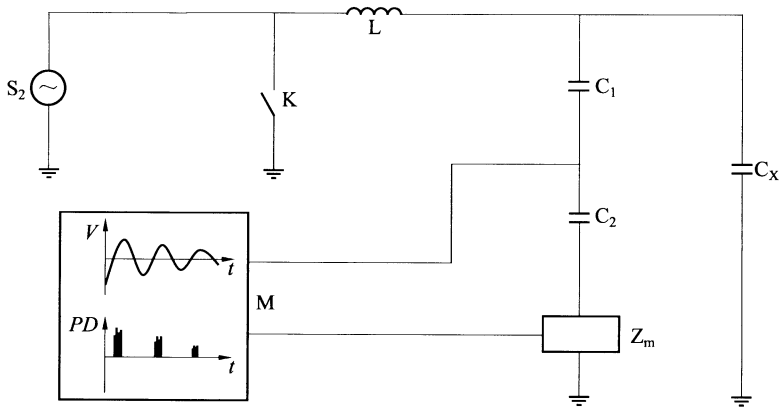
DL/T 1576 — 2016

位置，以提高局部放电定位准确度。定位误差应小于电缆总长度的 0.2%与光标移动步长之和。



S₁—直流电源；R—限流电阻；K—固体开关；L—谐振电感；R₁、C₁—分压器高压臂；R₂、C₂—分压器低压臂；Z_m—检测阻抗；C_x—被试电缆等效电容；M—数据处理与采集单元

图 1 直流激励式电缆振荡波局部放电测量系统组成示意图



S₂—交流电源；K—固体开关；L—谐振电感；C₁—分压器高压臂；C₂—分压器低压臂；Z_m—检测阻抗；C_x—被试电缆等效电容；M—数据处理与采集单元

图 2 交流激励式电缆振荡波局部放电测量系统组成示意图

4.2.3 补偿电容器

对于短电缆试品，应使用补偿电容器，降低振荡频率。补偿电容器的最小电容量 C_b 可按公式（1）估算

$$C_b = \frac{1}{4\pi^2 f_{\max}^2 L} \tag{1}$$

式中：

f_{max}——局部放电测量系统允许的最高振荡频率，为 500Hz；

L——谐振电感的电感值。

5 测试要求

5.1 测试环境

对测试环境的要求包括：

- a) 温度：-10℃～+40℃。

b) 相对湿度：不大于 85% (25℃)，无凝露。

5.2 测试对象

对测试对象的要求包括：

- a) 被测电缆应与其他设备断开，电缆被测相终端应有足够绝缘距离，其他相应可靠接地。
- b) 被测电缆线路绝缘电阻应不小于 30MΩ。

5.3 测试电压

对测试电压的要求包括：

- a) 衰减要求：测试电压的波形连续 8 个周期内的电压峰值衰减应不大于 50%。
- b) 频率范围：测试电压的频率应在 20Hz~500Hz 范围内。
- c) 容许偏差：在整个测试过程中，测试电压值应保持在规定电压值的±3%以内。

6 测试步骤

6.1 现场准备

确认待测电缆已断电，使用放电棒充分放电并保持接地，拆除电缆与其他设备的连接，电缆端部悬空，三相分开，非试验相保持接地，必要时清除终端表面的污秽。
试验应尽可能采用单点接地，高压端采取防电晕连接措施。
测试长电缆时，为提高局部放电测量和定位的准确度，宜从电缆两端分别进行测试。

6.2 绝缘电阻测量

使用绝缘电阻表在 2500V 或 5000V 量程下测量电缆绝缘电阻，阻值小于 30MΩ时，不宜进行局部放电测试。

6.3 电缆长度及接头位置确认

使用低压时域反射仪确认电缆的长度和接头位置，参见附录 A。

6.4 现场校准

在 20pC~20nC 范围内进行逐档校准，校准完成后移除校准器。

6.5 测试电压及次数

根据电缆类型，相应的测试电压及次数如表 1。若测试过程中发现放电量急剧增加，应停止升压测试，尝试定位排查潜在缺陷。

表 1 振荡波局部放电试验中各测试电压及次数

电缆类型	试验电压 U_0 kV										
	0	0.5	1	1.1	1.3	1.5	1.7	1.8	2.0	1.0	0
新投运电缆	1	1	3	1	1	3	3	1	3	1	1
已投运电缆	1	1	3	1	1	3	3	—	—	1	1
注：新投运电缆为敷设时间小于 1 年且未经过大修的电缆；其他情形按已投运电缆考虑。											

DL/T 1576 — 2016

7 测试结果及处理建议

7.1 测试结果

7.1.1 电缆波速与中间接头位置

由低压时域反射仪测量并确认。

7.1.2 局部放电量

参照表 1，多次施加电压下振荡波测试系统统计分析所得局部放电最大值。

7.1.3 局部放电位置

配电电缆中局部放电的传播及检测参见附录 B。图 3 所示为电缆中局部放电脉冲传播及反射示意图。振荡波测试系统按公式（2）计算局部放电发生位置距检测端的距离

$$x = L_c - \frac{v\Delta t}{2} \tag{2}$$

式中：

L_c ——被测电缆全长；

v ——电缆中的波速度；

Δt ——放电点处产生的局部放电信号分成两个相等的脉冲信号并沿相反方向传播，两个脉冲到达测量端的时间差。

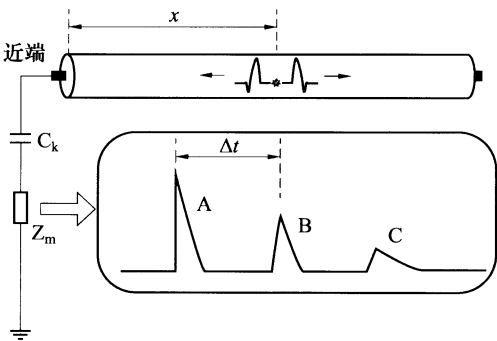


图 3 时域定位中局放脉冲反射示意图

7.2 处理建议

对于存在局部放电的电缆线路，根据电缆类型、部件及局部放电水平，建议参考表 2 中的判据开展电缆维护工作。典型缺陷局部放电时域脉冲图案例分析参见附录 C 和附录 D。

7.2.1 交联聚乙烯电缆（XLPE）

新投运及投运 1 年以内的电缆线路：最高试验电压 $2U_0$ ，接头局部放电超过 300pC、本体超过 100pC 应及时进行更换；终端超过 3000pC 时，应及时进行更换。

已投运 1 年以上的电缆线路：最高试验电压 $1.7U_0$ ，接头局部放电超过 500pC、本体超过 100pC 应及时进行更换；终端超过 5000pC 时，应及时进行更换。

7.2.2 油纸绝缘电缆（PILC）

新投运及投运 1 年以内的电缆线路：最高试验电压 $2U_0$ ，接头局部放电超过 2000pC、本体超过 1000pC 应及时进行更换；终端超过 3000pC 时，应及时进行更换。

已投运 1 年以上的电缆线路：最高试验电压 $1.7U_0$ ，接头局部放电超过 2000pC、本体超过 1000pC 应及时进行更换；终端超过 5000pC 时，应及时进行更换。

表 2 典型的交联聚乙烯（XLPE）和油纸绝缘（PILC）电缆参考临界局部放电量

电缆及其附件类型	投运年限	参考临界值 (pC)
电缆本体（XLPE）	—	100
电缆本体（PILC）	—	1000
接头（XLPE-XLPE）	1 年以内	300
	1 年以上	500
接头（PILC-PILC）	1 年以内	2000
	1 年以上	3000
接头（XLPE-PILC）	1 年以内	300
	1 年以上	500
终端	1 年以内	3000
	1 年以上	5000

附录 A
(资料性附录)

时域反射法计算电缆中间接头位置

电缆线路中的故障、中间接头、开路、被腐蚀的中性线等都会引起电缆阻抗的变化，而这些阻抗变化点都可由低压时域反射仪（TDR）来定位和表征。电缆沿线中任意的阻抗变化都会使得入射脉冲发生部分反射，通过对反射波进行处理即可确定这些阻抗变化点相对于端部的位置，同时 TDR 中的反射脉冲波形可以帮助操作者确定反射点的类型。反射点的波形反射幅值可以使用反射系数（ ρ ）进行计算

$$\rho = \frac{Z_d - Z_o}{Z_d + Z_o} \tag{A.1}$$

式中：

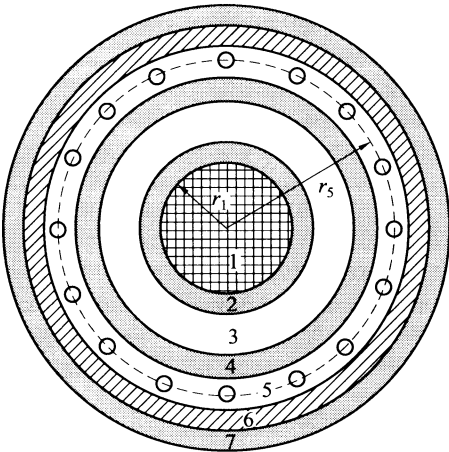
- ρ ——反射系数；
- Z_d ——反射点的阻抗；
- Z_o ——电缆的特性阻抗。

反射系数 ρ 的范围为 1（开路情况） \sim -1（短路情况），反射系数为 0 表明该处未发生反射。若电缆的全长已知，则可以通过入射和反射脉冲的时间差求取电缆中的传播速度。各个接头的位置则通过接头处的反射波与入射波的时间差结合电缆全长进行计算。若电缆全长未知，则可设定波速为一经验值（例如其他同类型尺寸电缆的测试值等），从而由时间差求出电缆全长及各接头的位置。

附 录 B
(资料性附录)
配电电缆中局部放电的传播及检测

B.1 电缆中的局部放电传播过程及影响因素

单芯交联电缆的基本结构如图 B.1 所示，其中线芯为铝或铜导体，接地铜屏蔽一般为铜带或由多股铜导线构成。



1—导体；2—导体屏蔽层；3—XLPE 绝缘；4—绝缘屏蔽层；5—接地铜屏蔽；6—隔离层；7—外护套

图 B.1 单芯 XLPE 电缆结构示意图

基于传输线理论，XLPE 电缆的高频模型可由串联阻抗 $Z(\omega)$ 和并联导纳 $Y(\omega)$ 构成，电缆模型的特征参数可以由 $Z(\omega)$ 和 $Y(\omega)$ 导出，其传播系数 $\gamma(\text{m}^{-1})$ 为

$$\gamma(\omega) = \sqrt{Z(\omega) \cdot Y(\omega)} = \alpha(\omega) + j\beta(\omega) \tag{B.1}$$

其中， γ 的实部 α (dB/m) 为衰减系数，虚部 β (rad/m) 为相位常量，则波传播速度 v (m/s) 可表示为

$$v(\omega) = \frac{\omega}{\beta(\omega)} \tag{B.2}$$

特性阻抗 $Z_c(\omega)$ 为沿电缆的传播波的电压和电流之比，如式 (B.3) 所示

$$Z_c(\omega) = \sqrt{\frac{Z(\omega)}{Y(\omega)}} \tag{B.3}$$

在使用上述频变模型对电缆中的放电脉冲进行分析时，需要准确获取电缆的结构尺寸及各种材料的电气特性。电缆的半导体层复介电常数一般是未知的，且各电缆间的数值差别很大，需要通过专门测量或其他方法进行评估。

局部放电脉冲在电缆中传播过程中会出现衰减和色散现象，这将直接对局部放电检测和定位精度产生影响。相关研究表明电缆中 1MHz 以下的衰减主要是由导体集肤效应损耗引起的，因此衰减系数主要受到电缆结构特性的影响。高频下电缆的衰减主要由通过半导体屏蔽层的径向容性位移电流决定，同时也受到接地屏蔽和绞合导体以及护套之间相互作用的影响。色散对于幅值测量的影响较小，但会使得脉冲波形在传播过程中产生畸变。

B.2 相关检测方法

作为电缆绝缘状态的有效诊断工具，电缆的局部放电检测系统应当能够测量较宽频率范围的局部放电特性，能够实现局部放电定位并对引发局部放电的缺陷类型进行识别。通常来讲，电缆的局部放电检测普遍采用电磁方法，包括电在线和离线检测两大类，典型的测试系统如图 B.2 所示。

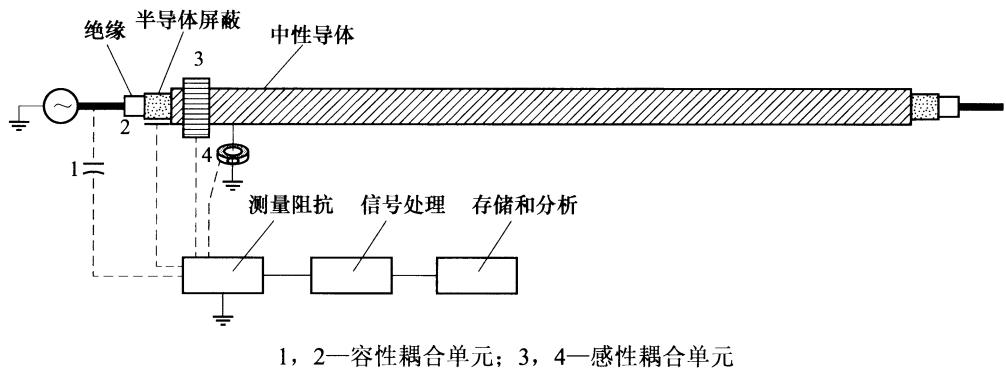


图 B.2 典型的局部放电测试系统

离线测试时电缆两端要与电网分离并进行适当绝缘，电缆的近端与电压源相连，通过容性耦合单元获取局部放电信号；在线检测时通常通过感性耦合单元获取局部放电信号。

附录 C
(资料性附录)
典型缺陷局部放电时域脉冲图¹⁾

C.1 内部气隙放电

内部气隙缺陷局部放电相位图谱和时域脉冲如图 C.1 所示。

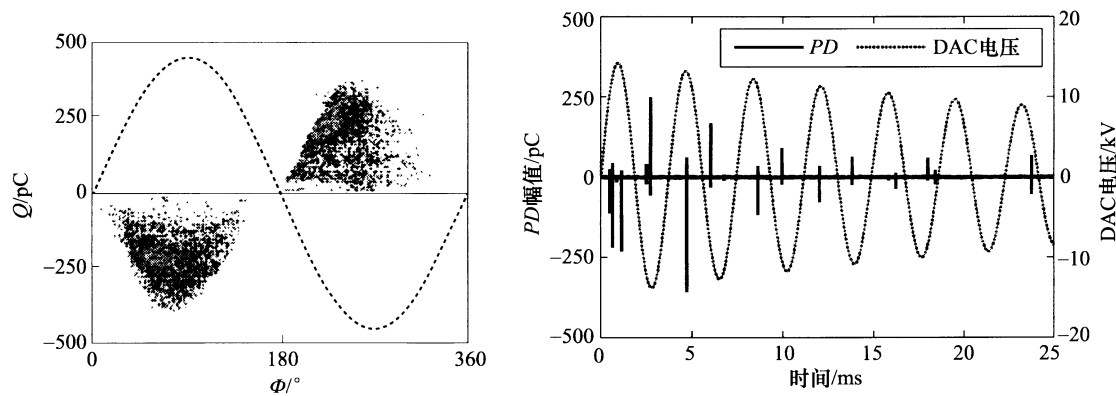


图 C.1 内部气隙缺陷局部放电相位图谱和时域脉冲图

C.2 尖端放电

尖端放电缺陷局部放电相位图谱和时域脉冲如图 C.2 所示。

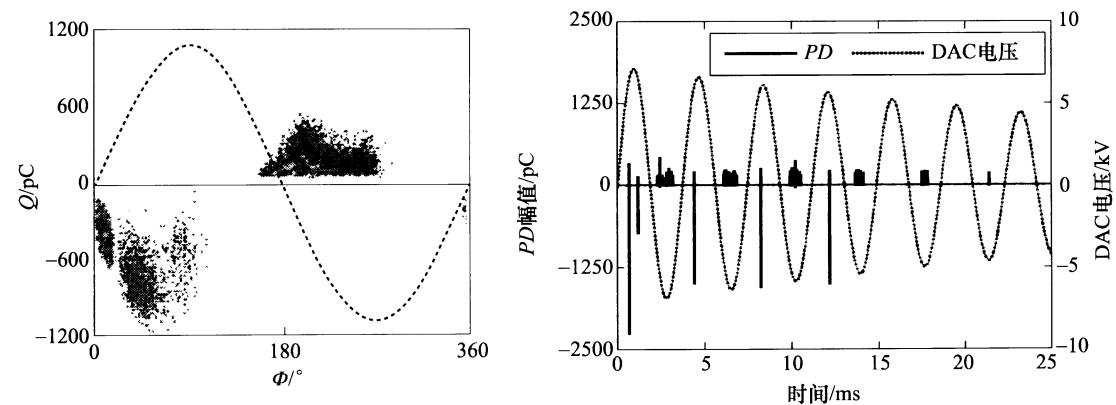


图 C.2 尖端放电缺陷局部放电相位图谱和时域脉冲图

C.3 沿面放电

沿面放电缺陷局部放电相位图谱和时域脉冲如图 C.3 所示。

1) 本附录每项图谱中左侧为局部放电相位 (PRPD) 图谱, 右侧为典型的时域图谱。

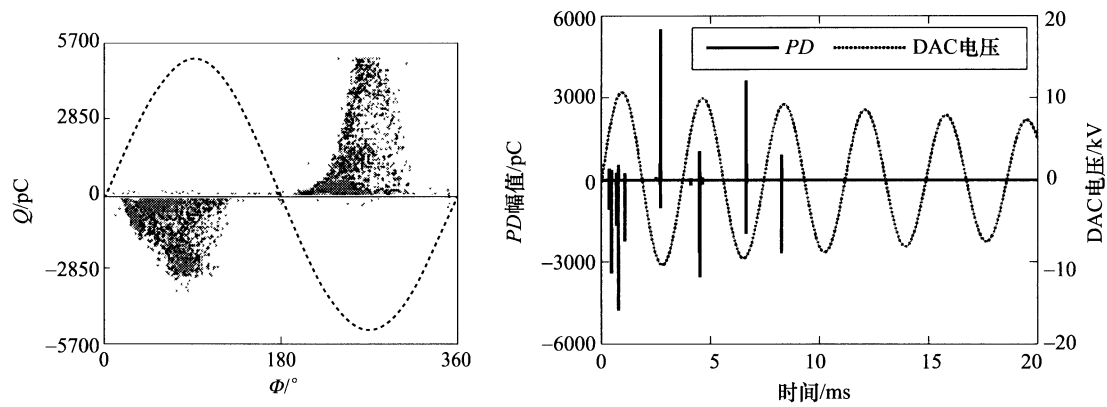


图 C.3 沿面放电缺陷局部放电相位图谱和时域脉冲图

C.4 悬浮放电

悬浮放电缺陷局部放电相位图谱和时域脉冲如图 C.4 所示。

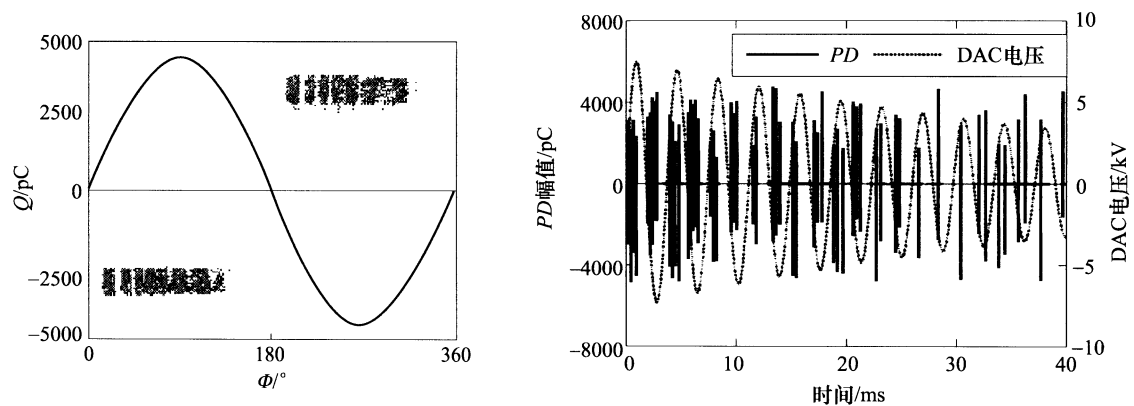


图 C.4 悬浮放电缺陷局部放电相位图谱和时域脉冲图

C.5 电缆终端中未安装应力管

电缆终端中未安装应力管放电缺陷局部放电相位图谱和时域脉冲如图 C.5 所示。

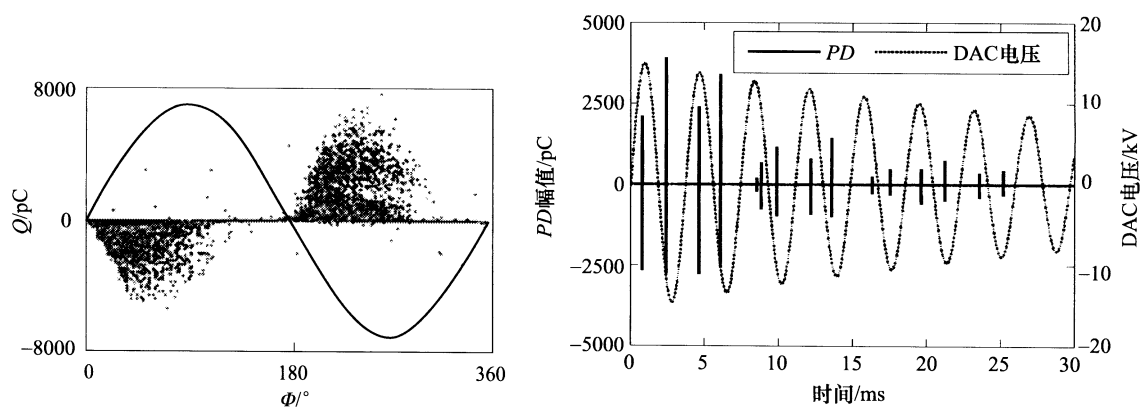


图 C.5 电缆终端中未安装应力管放电缺陷局部放电相位图谱和时域脉冲图

C.6 接头错用绝缘胶带

接头错用绝缘胶带放电缺陷局部放电相位图谱和时域脉冲如图 C.6 所示。

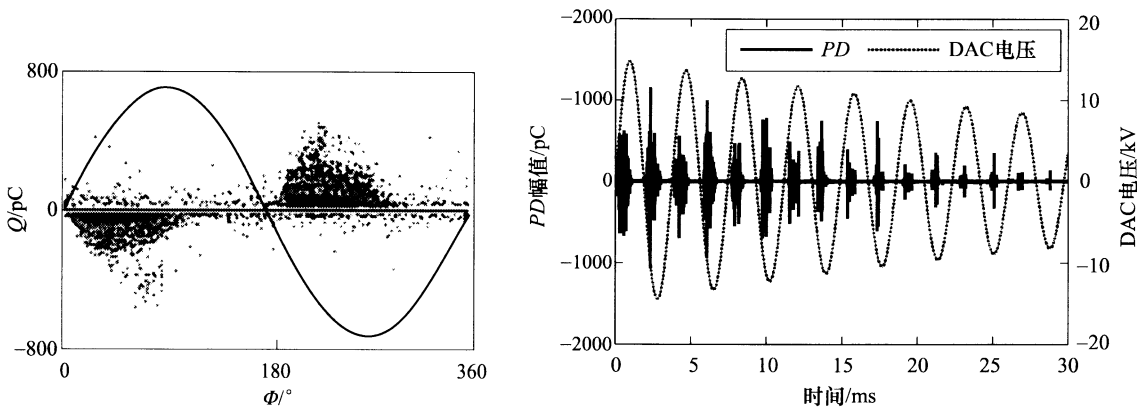


图 C.6 接头错用绝缘胶带放电缺陷局部放电相位图谱和时域脉冲图

附录 D
(资料性附录)
典型缺陷局部放电案例分析

D.1 测试电缆信息

电缆长度：3770m。
型号：YJV22—8.7/10 3×300mm²。
中间头数量：9 个。

D.2 测试数据

200pC 校准波形如图 D.1 所示。

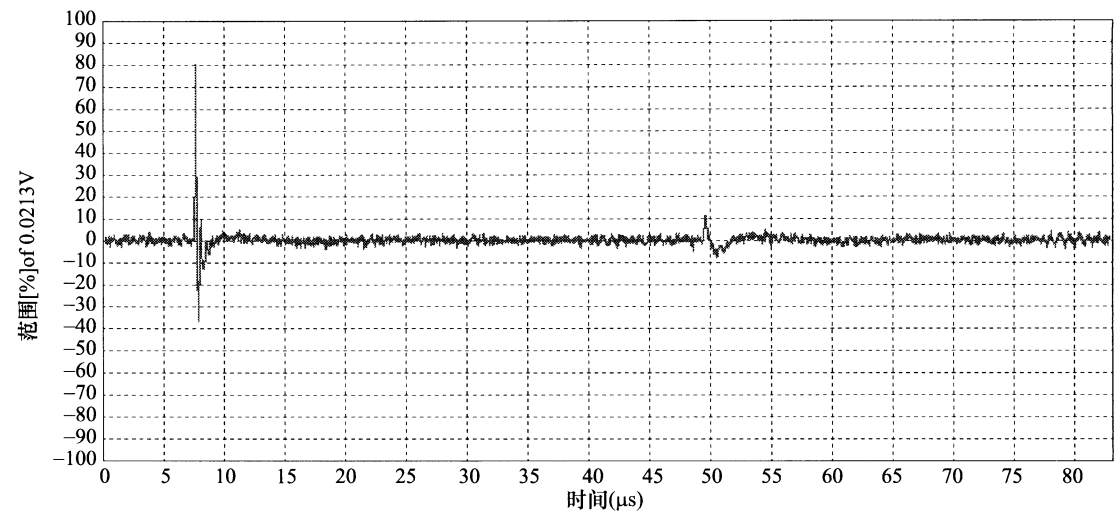


图 D.1 200pC 校准波形

2nC 校准波形如图 D.2 所示。

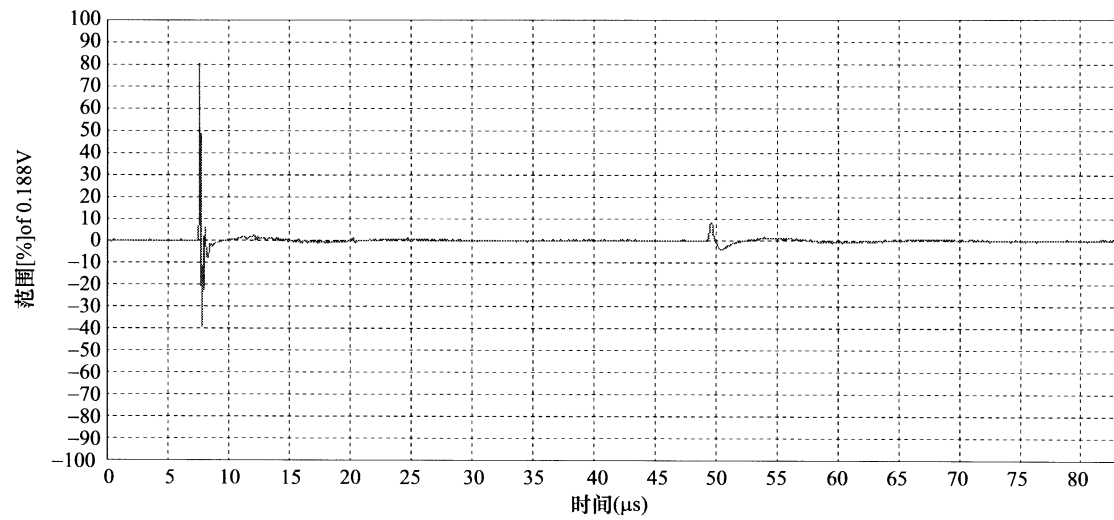


图 D.2 2nC 校准波形

0kV 下测试环境干扰水平如图 D.3 所示。

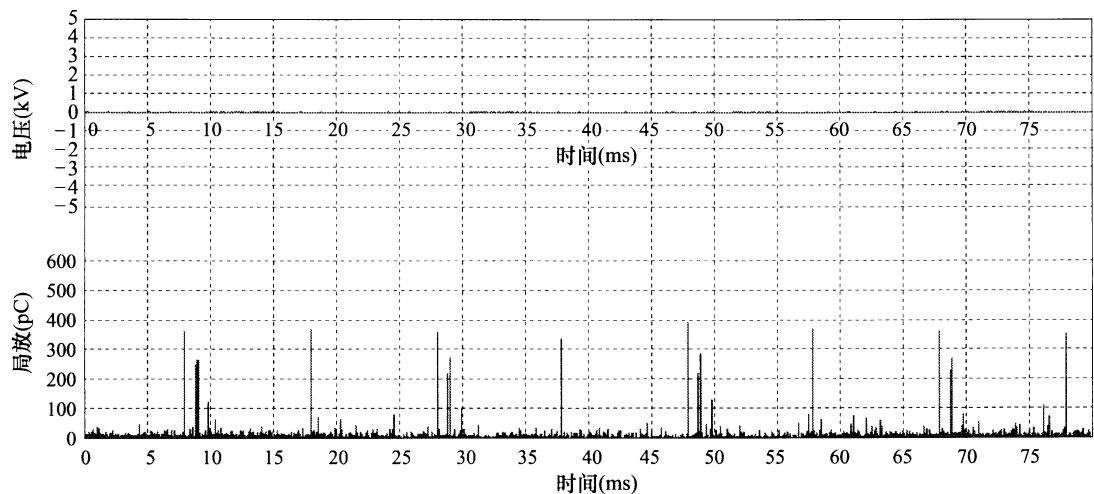


图 D.3 0kV 下环境干扰测试

L1 相 $1U_0$ 下加压测试波形如图 D.4 所示。

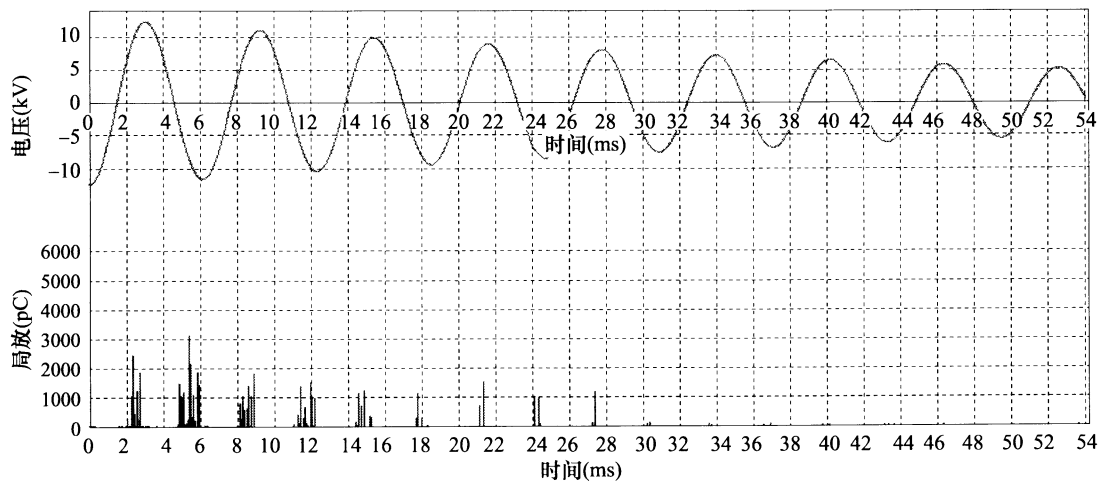


图 D.4 $1U_0$ 下加压测试波形

L1 相 $1.7U_0$ 下加压测试波形如图 D.5 所示。

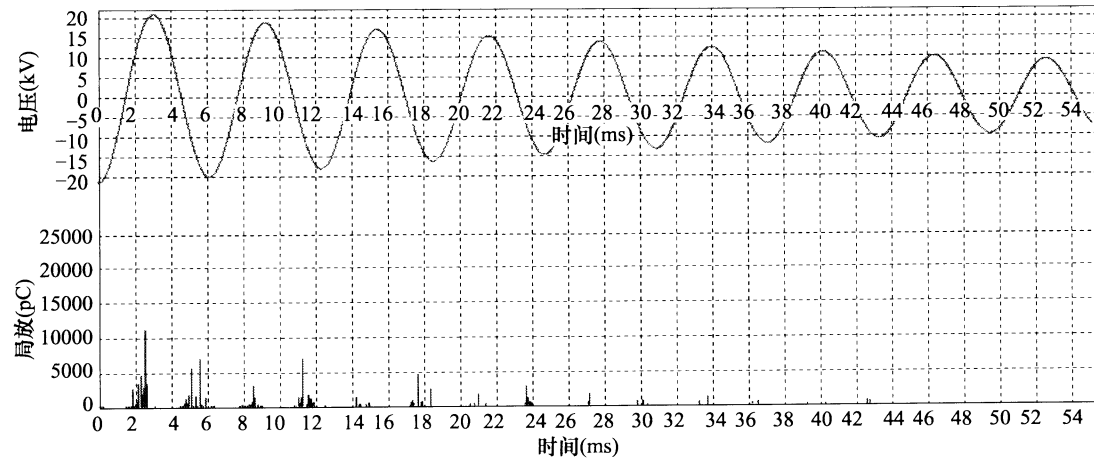


图 D.5 $1.7U_0$ 下加压测试波形

D.3 局部放电脉冲反射分析波形

408.4m 局部放电脉冲波形如图 D.6 所示。

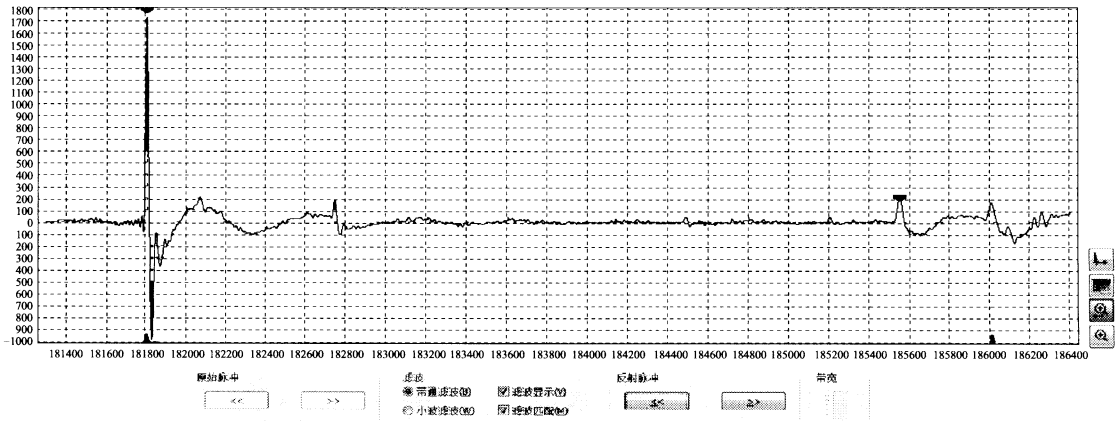


图 D.6 408.4m 局部放电脉冲波形

1145m 局部放电脉冲波形如图 D.7 所示。

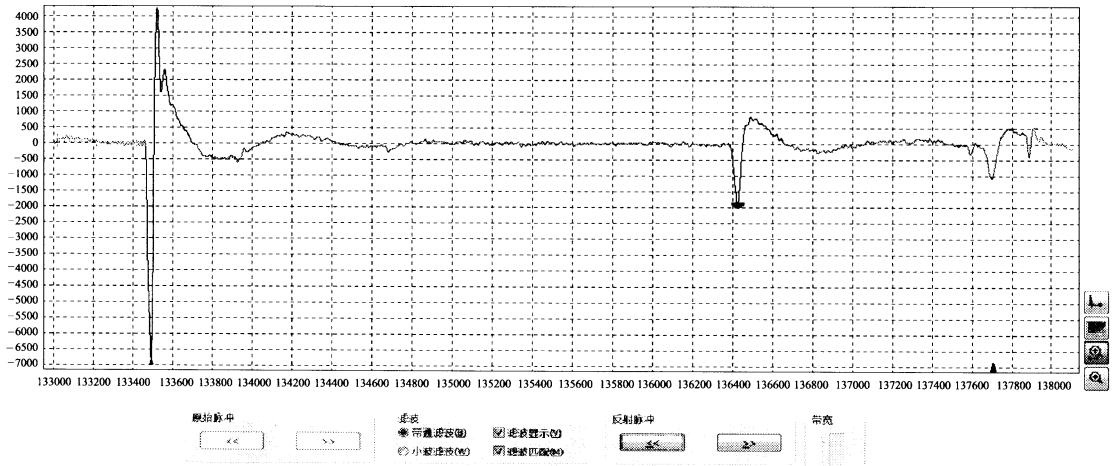


图 D.7 1145m 局部放电脉冲波形

1545m 局部放电脉冲波形如图 D.8 所示。

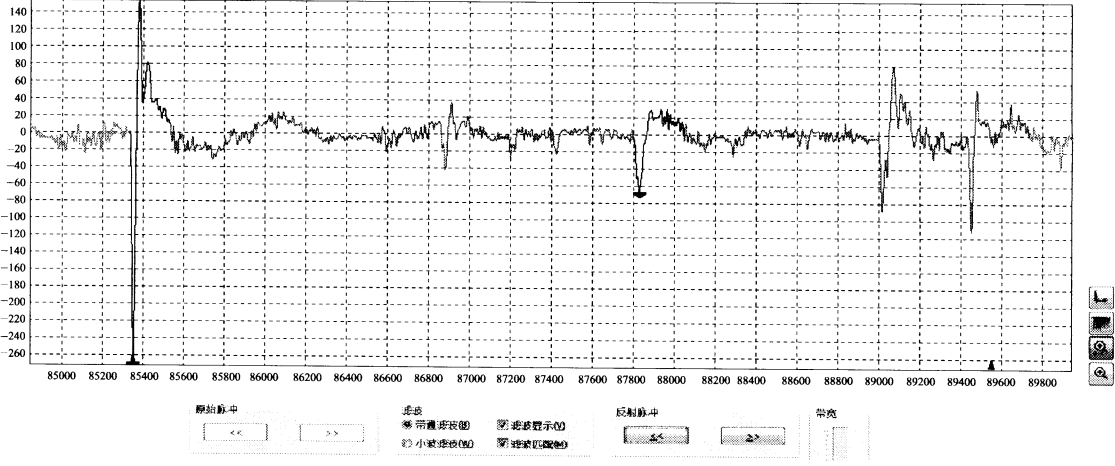


图 D.8 1545m 局部放电脉冲波形

3014m 局部放电脉冲波形如图 D.9 所示。

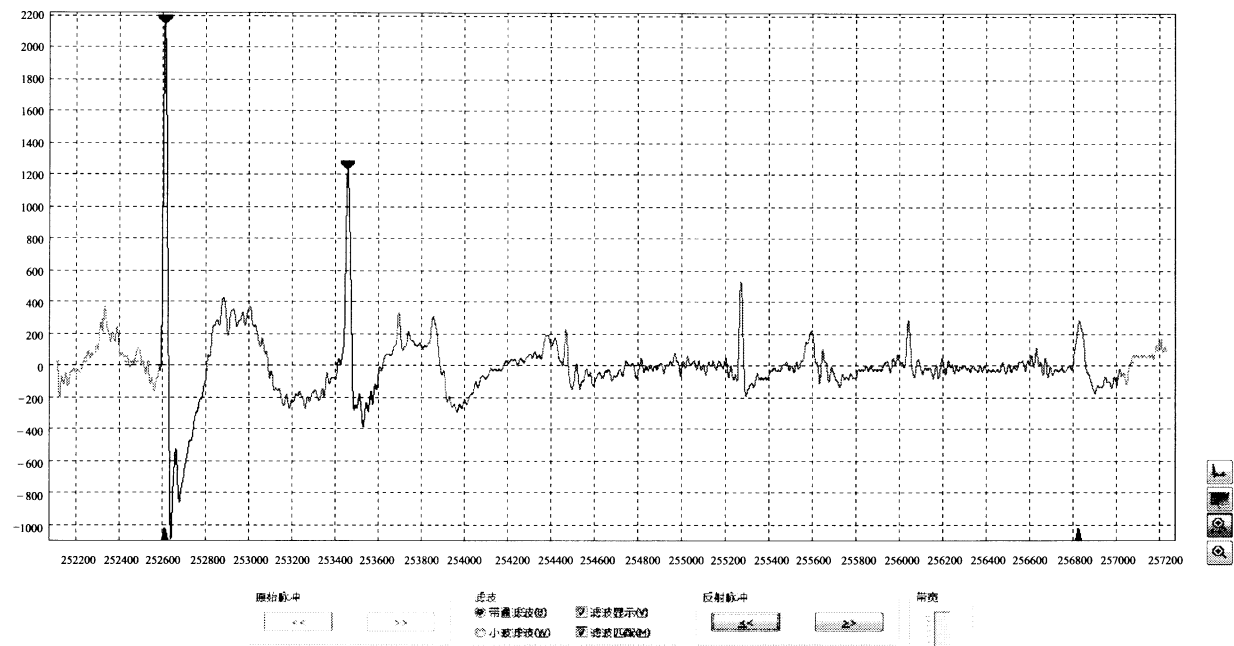


图 D.9 3014m 局部放电脉冲波形

D.4 分析结果

1.0 U_0 局部放电点分布如图 D.10 所示。

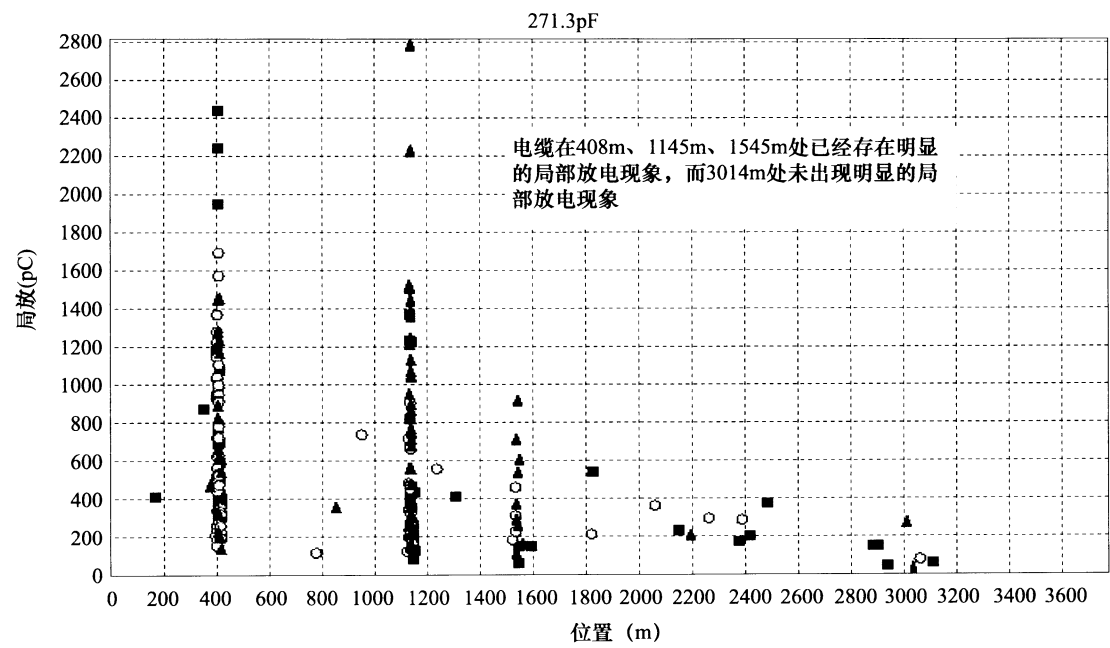


图 D.10 1.0 U_0 局部放电点分布

1.7 U_0 局部放电点分布如图 D.11 所示。

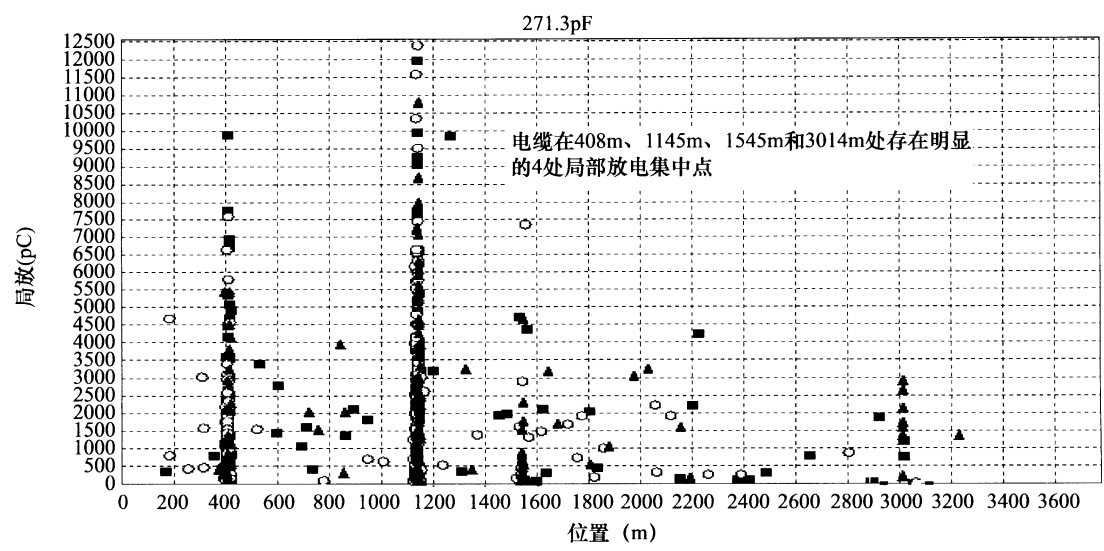


图 D.11 $1.7U_0$ 局部放电点分布