

ICS 29.060.20
CCS K13

T/CEPPC

中国电力发展促进会团体标准

T/CEPPC 17—2023

采用电力电缆屏蔽层的双端在线局部放电
监测系统

第1部分：技术规范

Dual terminal online partial discharge detection system using power cable
shielding layer

—Part1:Technical specifications

2023-12-27 发布

2023-12-27 实施

中国电力发展促进会 发布

目 次

| | |
|---|----|
| 前 言..... | 1 |
| 1 范围..... | 2 |
| 2 规范性引用文件..... | 2 |
| 3 术语和定义..... | 3 |
| 4 技术要求..... | 3 |
| 4.1 监测系统..... | 3 |
| 4.2 功能要求..... | 4 |
| 4.3 性能指标..... | 6 |
| 4.4 通用性能..... | 7 |
| 5 试验方法..... | 9 |
| 5.1 试验条件..... | 9 |
| 5.2 功能检验..... | 9 |
| 5.3 性能指标检验..... | 9 |
| 5.4 通用性能检验..... | 10 |
| 6 检验规则..... | 12 |
| 6.1 检验类别..... | 12 |
| 6.2 型式试验..... | 12 |
| 6.3 出厂试验..... | 12 |
| 7 标志、包装、运输与贮存..... | 12 |
| 7.1 标志..... | 12 |
| 7.2 包装..... | 13 |
| 7.3 运输..... | 13 |
| 7.4 贮存..... | 13 |
| 附录 A（资料性）..... | 14 |
| 双端局放监测装置时间同步和局放源定位测试方法与步骤..... | 14 |
| A 基于北斗卫星共视的双端局放监测装置时间传递偏差、偏差精密度和局放源定位测试方法与步骤..... | 14 |
| A.1. 测试依据：参考 GB/T 39411-2020 北斗卫星共视时间传递技术要求..... | 14 |
| A.2. 测试要求：..... | 14 |
| A.3. 测试目标：..... | 14 |
| A.4. 测试步骤：..... | 14 |
| A.5. 共视时间传递偏差的数据处理..... | 15 |
| A.6. 局放信号在不同电缆介质的传播速度..... | 16 |
| A.7. 实验室环境下的局放源定位测试方法..... | 17 |
| A.7.1. 测试基本要求..... | 17 |
| A.7.2. 测试附件及设备要求：..... | 17 |
| A.7.3. 被测监测装置：..... | 17 |
| A.7.4. 测试步骤：..... | 17 |
| 附录 B（资料性）..... | 18 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| 高精度局放传感器指标测试方法 | 18 |
| B 高精度局放传感器传输特性参数及技术指标的测量方法 | 18 |
| B.1. 高频局放传感器的关键传输特性参数及相应的技术指标 | 18 |
| B.2. 测试原理 | 18 |
| B.2.1. 传输特性阻抗测试 | 18 |
| B.2.2. 检测频带测试 | 18 |
| B.2.3. 稳定性测试 | 19 |
| B.3. 测试设备与被测监测装置要求 | 19 |
| B.3.1. 外置信号源 | 19 |
| B.3.2. 测试步骤: | 19 |
| B.3.3. 不同类别的高频局部放电传感器的主要技术指标 | 19 |
| 附录 C (规范性) | 21 |

国家标准

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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由国网新疆电力有限公司提出。

本文件由中国电力发展促进会归口并解释。

本文件起草单位：国网新疆电力有限公司、国网新疆电力有限公司乌鲁木齐供电公司、北京电力有限公司、南瑞集团有限公司、东南大学、南京吉瑞智电科技有限公司、北京国电通网络技术有限公司。

本文件主要起草人：贾涛、居来提·阿不力孜、郝佳恺、汪晓岩、李超、李连鸣、缪刚、郭甜、胡庆生、卞宝银、王琛、汪玮、蒋琪、李文猛、陈疆、赵宇、梅成磊、李秀彩、胡健民、李冰、迟连国、李庆彪、陈立志、王亮、徐善章、王明、马少龙、张家保、张忠伟、刘淄航、李文龙、杜端强、田昀、潘博。

本文件首次发布。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力发展促进会标准化管理办公室（北京西城区白广路二条一号，100761）。

采用电力电缆屏蔽层的双端在线局部放电监测系统

第 1 部分：技术规范

1 范围

本文件规定了采用电力电缆屏蔽层双端在线局部放电监测系统的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输与贮存等。

本文件适用于 10（6）kV 交流电力电缆屏蔽层双端在线局部放电监测系统。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 2423.1 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法试验 A:低温
- GB 2423.2 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法试验 B:高温
- GB 2423.3 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Cab:恒定湿热试验
- GB 2887 计算站场地通用规范
- GB/T 3048.12 电线电缆电性能试验方法 第 12 部分：局部放电试验
- GB 3100 国际单位制及其应用
- GB 3101 有关量、单位和符号的一般原则
- GB/T 4208 外壳防护等级(IP 代码)
- GB 4943 信息技术设备的安全
- GB/T 6587 电子测量仪器通用规范
- GB/T 7354 局部放电测量
- GB/T 9361 计算站场地安全要求
- GB/T 17626.2 电磁兼容试验和测量技术静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
- GB/T 17626.5 电磁兼容试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
- GB/T 17626.6 电磁兼容试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度
- GB/T 17626.8 电磁兼容试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验
- GB/T 17626.9 电磁兼容试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验
- GB/T 17626.10 电磁兼容试验和测量技术 阻尼振荡磁场抗扰度试验
- GB/T 17626.11 电磁兼容试验和测量技术 电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验
- GB/T 19391 全球定位系统（GPS）术语及定义
- GB/T 26866 电力时间同步系统检测规范
- YD/T 3075 高精度时间同步互通技术要求和测试方法
- YD/T 3841 基准主时间(PRTC)设备技术要求

3 术语和定义

GB/T 3048.12 和 GB/T 7354 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

局部放电传感器 partial discharge sensor

将局部放电信号转变为可采集的电信号的电力电缆局部放电物理现象感知元件。

3.2

高精度电流传感器 high precision current sensor

对频率 100kHz~60MHz、灵敏度不大于 5pC 的局部放电信号采集，监测电力电缆本体及附件局部放电信号的电流传感器。

3.3

在线监测 online monitoring

电力电缆线路运行时，对运行状态量连续或周期性的自动监测。

3.4

在线局放监测装置 partial discharge online detection device

由高精度电流传感器、信号采集单元、通信单元、时间同步单元和监测主机等组成，用于在线监测电力电缆本体及附件局部放电信号状况和局放源位置的装置。

3.5

检测主机 detecting unit

实现对局部放电信号处理、分析以及对信号采集单元参数设置、数据召唤、对时等控制功能，并对采集数据综合分析、判断、存储等功能的处理系统。

3.6

标准脉冲发生器 standard discharge pulse generator

输出波形近似为方波电压脉冲，配套校准电容，用于局部放电带电检测校验的信号源。

3.7

在线局部放电检测校验 calibration for online detection of partial discharge

通过标准局放脉冲注入，监测装置实测的局部放电信号等效放电量，间接或近似推算和评估电力电缆中放电源实际放电量的方法。

3.8

表征参量 characterization parameters of partial discharge

在一定条件下，描述电力电缆中发生局部放电物理现象的状态参数量、放电重复率、放电相位、放电检测频率等，平均放电电流等累积参数、等效放电功率等基本参数。

3.9

在线局放检测灵敏度 sensitivity for online detection of partial discharge

经局部放电带电检测校验后，综合运用抗干扰技术手段，检测到的最小局部放电信号等效放电量。

3.10

协调世界时 universal time coordinated

UTC 以世界时作为时间初始基准，以原子时作为时间单元(s)基础的标准时间。[GB/T 19391，定义 5.3]

4 技术要求

4.1 监测系统

4.1.1 监测系统组成

监测系统宜由高精度电流传感器、局放监测装置、局放监测边缘计算装置和监测主机或平台组成。

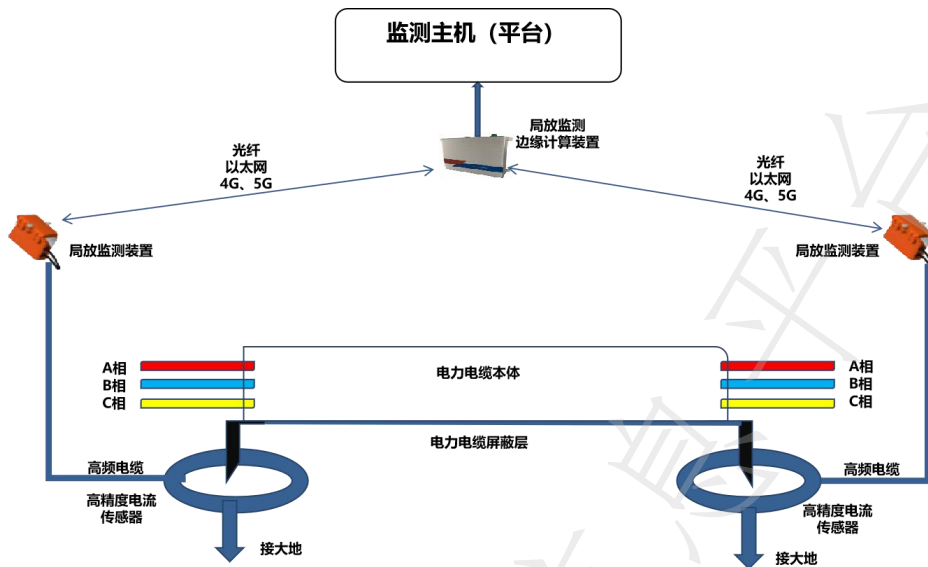


图 1 监测系统组成

4.1.2 监测系统总体要求

监测系统总体要求应符合下列规定：

- a) 系统设计应符合 GB/T 7354、GB/T 3048.12 的规定；
- b) 装置接入不应影响被测设备及现场其它设备安全运行。

4.1.3 环境条件

系统应在下列环境条件下正常工作：

- a) 环境温度：-40℃～+70℃；
- b) 环境相对湿度：5%～100%，无冷凝；
- c) 大气压力：70kPa～110kPa；
- d) 场地安全：符合 GB 9361 中 B 类安全规定；
- e) 设备安全：符合 GB 4943 的规定；
- f) 接地电阻：符合 GB 2887 的规定；
- g) 外部电源条件：
 - 1) 额定电压：AC 220V（1±15%）；
 - 2) 频率：（50±0.5）Hz；
 - 3) 谐波总畸变率：不大于 5%；
- h) 内部电源：DC 8V~24V，停电情况下连续工作时间应大于 48h。

4.2 功能要求

4.2.1 基本功能要求

基本功能要求如下：

- a) 带电检测校验。应具备下列功能：
 - 1) 系统应具备带电检测校验功能；
 - 2) 等效放电量单位应统一为 pC；
 - 3) 在线监测装置中的标准脉冲发生功能应符合 GB/T 7354 的规定。
- b) 同步测量。装置同步方法宜采用北斗+载波同步技术，系统采用在线监测装置采集电缆带电运行中

发生的局部放电信号，实现局部放电信号的带电同步测量。

c) 缺陷查找。发现放电或放电活动趋势异变后，应具辅助查找放电源缺陷位置的功能。

d) 干扰抑制。应具备干扰抑制功能，可抑制连续性窄带干扰、固定相位脉冲干扰、随机性脉冲干扰等设备内外干扰信号。

e) 数据记录与管理。应具备下列功能：

- 1) 应具备局部放电信号等效放电量、相位、重复率等表征参量及检测辅助信息等的监测数据存储能力；
- 2) 数据存储规则和储存格式宜由用户自行规定和灵活设定；
- 3) 数据库应具备自动检索功能、历史数据回放功能和数据导出功能；
- 4) 系统数据导出规范见附录 B。

f) 数据处理与分析，应具备下列功能：

- 1) 应具备数据处理功能，可绘制时域波形图、频域特性图， $Q-\Phi$ 、 $N-\Phi$ 、 $Q-t$ 、 $N-t$ 等二维， $Q-\Phi-n$ 、 $Q-\Phi-t$ 等三维放电图谱及放电发展趋势图；
- 2) 宜具备数据分析工具，辅助实现放电模式识别、缺陷及隐患类型判断功能。

g) 人机交互。应通过监测主机完成参数设置、监测控制、界面显示、数据记录与管理、报表生成、设备校验与调试等人机交互功能。

h) 自诊断。应具备设备自检功能，出现故障时应自动提示故障信息。

i) 高级应用。宜具备可拓展性、可支持二次开发功能，实现带电检测数据分析工具的添加、删除、修改操作。

j) 缺陷判据及缺陷识别诊断方法。当系统监测到局部放电特征信号时，宜具备数据处理与分析 (f) 功能。

4.2.2 高精度电流传感器功能要求

高精度电流传感器功能要求如下：

- a) 响应速度：应达到 ns 级别；
- b) 应无二次开路危险；
- c) 应采用可开合结构，方便安装；
- d) 防水等级应达到 IP68。

4.2.3 局放监测装置功能要求

局放监测装置功能要求如下：

- a) 宜具备在线测量电力电缆长度的功能；
- b) 应具有时间同步功能，应具有北斗时间同步或其他时间同步方式，至少具有一种时间同步方式；
- c) 应具有对电缆本体的局放在线监测与缺陷定位功能；
- d) 应具局部放电信号采集、信号处理功能：应包括局部放电信号的采集与传输、信号特征提取、模式识别、故障诊断、电缆状态评估；
- e) 应提供显示工频周期放电图、二维以及三维放电图谱的数据模型；
- f) 应提供局放信号相位、幅值信息、放电脉冲的发生密度信息，能够诊断放电类型及严重程度；
- g) 应支持光纤、网线、WiFi 自组局域网以及移动、联通、电信运营商的无线通讯等通信方式。

4.2.4 局放监测边缘计算装置功能要求

局放监测边缘计算装置功能要求如下：

- a) 应具有超强计算性能、二次开发、易于维护和支持云边协同等功能；
- b) 宜在边缘环境下广泛部署，满足在分布式局放检测等复杂环境区域的边缘计算应用需求；

- c) 应支持区域的电力电缆的局放故障模型存储、模式识别、电缆状态评估;
- d) 应支持多种通信方式和通信协议。

4.2.5 平台功能要求

平台功能要求如下:

- a) 平台主界面动态提示重要监测信息, 单击相应提示可直接获取详细情况;
- b) 平台操作界面方便使用, 提高信息获取的效率;
- c) 有较强的故障库的检索功能, 可进行故障表单查询、趋势图和预警分析、谱图分析等;
- d) 在线数据采集功能, 可以按用户设定的时间间隔扫描区域内各条电缆的故障数据;
- e) 应具有电力电缆故障预警功能, 当在线监测项测量值超过报警限时, 平台发出报警信息, 提醒现场工作人员对设备进行相应处理;
- f) 平台具有完善的运行维护功能, 可以对系统数据、系统参数、运行日志等信息进行维护;
- g) 平台具有可扩展性, 可以实现各设备状态监测项的添加, 适应业务量、业务流程的扩展;
- h) 日志管理功能, 详细记录用户操作日志、系统通讯管理日志等, 可方便地实现查询或者自维护。

4.3 性能指标

4.3.1 高精度电流传感器性能指标要求

高精度电流传感器性能指标要求如下:

- a) 工作频率范围: 100kHz~60MHz;
- b) 传输阻抗: 10mV/mA, 频带范围内不低于 5mV/mA;
- c) 灵敏度: $\leq 5\text{pC}$;
- d) 匹配阻抗: 50 Ω ;
- e) 防护等级: IP68;
- f) 孔径: $\Phi 63\text{mm}$ 。

4.3.2 局放监测装置主要技术性能和接口指标

4.3.2.1. 性能指标要求

局放监测装置性能指标要求如下:

- a) 电力电缆的长度测量精度应小于电力总长度的 5%;
- b) 双端局放采集器相对时间同步精度小于 20ns;
- c) 工作带宽: 100kHz~60MHz;
- d) 局放信号采样率不低于 100Mbps/s; .
- e) 测量放电量: $\leq 5\text{pC}$;
- f) 放电脉冲分辨率: 1 μs ;
- g) 相位分辨率: 0.18° ;
- h) 局放信号存储容量不小于 8GB;
- i) 局放监测与缺陷定位精度宜小于电缆总长度 5%。

4.3.2.2. 接口指标要求

局放监测装置接口指标要求如下:

- a) 电源接口: DC24V, 输入 17V~28V;
- b) USB 接口: 支持 USB3.0, USB 转串口;
- c) 指示灯: 电源指示灯, 运行指示灯;

- d) 光通信接口：使用 PHY 芯片实现 2 路 SGMII 千兆光通信以太网接口；
- e) 载波通信接口：支持载波信号输入和输出，频率范围 20kHz~30MHz；
- f) 局放传感器接口：支持局放传感器输入：频率范围 100kHz~60MHz；
- g) 网络接口：2 路千兆以太网电接口，使用 PHY 芯片实现 2 路 SGMII 千兆光通信以太网接口或者通信协议：支持 MQTT 协议与物联管理平台对接。

4.3.2.3. 北斗时间同步单元要求

局放监测装置北斗时间同步单元要求如下：

- a) 电源电压：0.8V~5V，典型值 3.3V；
- b) 射频输入：
 - 1) 频率：BDS B1I/ B2I，GPS L1C/A/L2C，GLONASS G1OF/G2OF；
 - 2) 驻波比：≤1.5；
 - 3) 输入阻抗：50Ω；
 - 4) 天线增益：5dB~40dB；
 - 5) 尺寸：72×46×10（单位：mm）。
- c) UART：2 个 UART，LVTTTL 电平波特率 9600bps~230400bps 可调，默认为 115200bps；
- d) GNSS 性能：
 - 1) 首次定位时间：冷启动：≤35s；热启动：≤1s；重捕获：≤1s；
 - 2) 定位精度：单点定位 1.0m；RTK 0.02 m +1ppm；
 - 3) PPS：10ns（RMS）；
 - 4) 数据更新率：1/2/5/10Hz；
 - 5) 初始化时间：≤15s；
 - 6) 导航数据格式：NMEA 0183。

4.3.3 局放监测边缘计算装置技术性能和接口要求

局放监测边缘计算装置技术性能和接口要求如下：

- a) 主 CPU 芯片主频大于 1.9GHz，支持 1T AI 算力；
- b) 内存大于 4GB，闪存大于 64GB；
- c) 接口指标包含：
 - 1) 网口 1：GE*2，独立 MAC；
 - 2) 网口 2：GE*8，内部交换，共享一个 MAC；
 - 3) 网口 3：SFP *2，可以插千兆光模块或电模块；
 - 4) USB：USB3.0*1，USB2.0*2，TYPE-C*1。
- d) 多媒体：HDMI*1；Audio*1。
- e) 扩展模块：
 - 1) 4 通道 RS232/485 接口板*2；
 - 2) 16 通道模拟/数字采集板*4；
 - 3) 8 通道继电器输出板；
 - 4) 内部扩展口，M.2、PCIE 等。

4.4 通用性能

4.4.1 外观

外观要求如下：

- a) 外壳应无锐口、尖角等明显缺陷，电镀、氧化层、漆层等涂层良好，不应有起层、剥落现象。
- b) 面板上各种量值与单位的文字符号应符合 GB 3100 及 GB 3101 的相关要求，印刷或刻字应清晰，且不易被擦掉。

c) 按钮操作应灵活可靠，无卡死或接触不良现象。

4.4.2 绝缘性能

绝缘性能要求如下：

a) 绝缘电阻

装置独立电路与外露可导电部分之间，以及独立电路之间，绝缘电阻应符合表 1 的规定。

表 1 绝缘电阻

| 额定工作电压 U_r | 绝缘电阻要求 |
|---|----------------------------------|
| $U_r \leq 60V$ | $\geq 100M\Omega$ (用 250V 兆欧表测量) |
| $250V > U_r > 60V$ | $\geq 100M\Omega$ (用 500V 兆欧表测量) |
| 注：与二次设备及外部回路直接连接的接口回路绝缘电阻采用 $250V > U_r > 60V$ 的要求。 | |

b) 介质强度

介质强度应符合下列规定：

- 1) 装置独立电路与外露的可导电部分之间，以及独立电路之间，应承受频率为 50Hz，历时 1min 的工频耐压试验而无击穿闪络及元件损坏现象；
- 2) 工频耐压试验电压值宜按表 2 选择，也可采用直流试验电压，应为规定的交流试验电压值的 1.4 倍。

表 2 试验电压

| 额定工作电压 U_r | 交流试验电压有效值 |
|---|-----------|
| $U_r \leq 60V$ | 0, 5kV |
| $250V > U_r > 60V$ | 2. 0kV |
| 注：与二次设备及外部回路直接连接的接口回路绝缘电阻采用 $250V > U_r > 60V$ 的要求。 | |

c) 冲击电压

装置独立电路与外露的可导电部分之间，以及各独立电路之间，应承受 1.2/50 μ s 的标准雷电波的短时冲击电压试验而无击穿闪络及元件损坏现象。当额定工作电压大于 60V 时，开路试验电压为 5kV；当额定工作电压不大于 60V 时，开路试验电压为 1kV。

4.4.3 电磁兼容性能

电磁兼容性能要求如下：

a) 抗扰度

在线监测装置抗扰度应符合表 3 的规定。

表 3 在线监测装置抗扰度

| 位置 | 试验项目 | 基础标准 | 试验等级 | 标准要求 |
|----|---------|---------------------|------|------|
| | 静电放电 | 符合 GB/T 17626.2 的规定 | 4 级 | B |
| | 射频电磁场辐射 | 符合 GB/T 17626.3 的规定 | 3 级 | A |
| | 工频磁场 | 符合 GB/T 17626.8 的规定 | 5 级 | A |

| | | | | |
|------------------------|------------|----------------------|-----|-------|
| 外壳 | 脉冲磁场 | 符合 GB/T 17626.9 的规定 | 5 级 | A |
| | 阳尼振荡磁场 | 符合 GB/T 17626.10 的规定 | 5 级 | A |
| 交流电源 | 电压暂降 | 符合 GB/T 17626.11 的规定 | 3 级 | B |
| | 脉冲群 | 符合 GB/T 17626.4 的规定 | 4 级 | B |
| | 浪涌 | 符合 GB/T 17626.5 的规定 | 4 级 | B |
| | 射频场感应的传导骚扰 | 符合 GB/T 17626.6 的规定 | 3 级 | A |
| 直流电源 | 脉冲群 | 符合 GB/T 17626.4 的规定 | 4 级 | B |
| | 浪涌 | 符合 GB/T 17626.5 的规定 | 4 级 | B |
| | 射频场感应的传导骚扰 | 符合 GB/T 17626.6 的规定 | 3 级 | A |
| IO 信号 / 控制 (包括接地端口的连接) | 脉冲群 | 符合 GB/T 17626.4 的规定 | 4 级 | A 或 B |
| | 射频场感应的传导骚扰 | 符合 GB/T 17626.6 的规定 | 3 级 | A |

b) 抗扰度性能判据性能判据如下:

- 1) 试验过程中, 在技术要求限值内功能或性能正常, 可判定为 A 级;
- 2) 试验过程中, 功能或性能暂时降低或丧失, 但能自行恢复, 可判定为 B 级;
- 3) 试验过程中, 功能或性能暂时降低或丧失, 但需要人工干预或系统复位才能恢复, 可判定为 C 级;
- 4) 试验过程中, 出现设备 (元件) 或软件损坏 (存储数据丢失)、功能丧失, 性能下降, 即使人工干预或系统复位也不能恢复, 可判定为 D 级。

4.4.4 机械性能

机械性能要求如下:

- a) 振动试验。应能够承受 GB/T 6587 中 5.9.3.3 规定的组别为 III 组的振动试验。
- b) 冲击试验。应能承受 GB/T 6587 中 5.9.4.3 规定的组别为 III 组的冲击试验和倾斜跌落试验。
- c) 碰撞试验。应能承受 GB/T 6587 中 5.10.1.3 规定的流通条件等级为 3 级的运输试验。

4.4.5 外壳防护等级

外壳防护等级应符合 GB 4208 中 IP68 的规定。

5 试验方法

5.1 试验条件

正常试验条件不应超出下列范围:

- a) 环境温度: +15℃~+35℃ (户外试验不做要求);
- b) 环境相对湿度: 5%~95%;
- c) 大气压力: 70kPa~110kPa。

5.2 功能检验

按照现场配置方案组成在线监测装置的试验环境, 给装置通电, 施加相应信号, 分项检验在线监测装置是否具有 4.2 所描述的各项功能。

5.3 性能指标检验

5.3.1 高精度电流传感器主要技术指标检验

按照 GB/T 3048.12 和 GB/T 7354 的相关规定检验。

5.3.2 局放监测装置主要技术和接口指标检验

检测方法如下：

- a) 局放相关指标应按照 GB_T 3048.12 和 GB/T 7354 的相关规定检验；
- b) 双端局放采集器相对时间同步精度、局放监测与缺陷定位精度和北斗时间同步单元指标宜按照附件 A 相关规定检验；
- c) 接口指标应按照 GB_T 3048.12 和 GB/T 7354 的相关规定检验。

5.3.3 局放边缘计算装置主要技术和接口指标

宜按照附件 C 相关规定检验。

5.4 通用性能检验

5.4.1 外观和结构检查

根据 4.4.1 的要求逐项进行检查。

5.4.2 绝缘性能试验

5.4.2.1. 绝缘电阻试验

在正常试验天气条件下，按表 1 要求对各被试回路进行绝缘电阻试验。测试前应断开被试回路与外部的电气连接。测试结果应满足 4.4.2 的要求。

5.4.2.2. 介质强度试验

在正常试验天气条件下，按表 2 要求对各被试回路进行介质强度试验。试验前，除被试回路外，其余回路应等电位互联并接地。试验过程中及试验后，装置不应发生击穿、闪络及元器件损坏现象。

5.4.2.3. 冲击电压试验

在正常试验天气条件下，按 4.4.2 的要求对各被试回路进行冲击电压试验。试验前，除被试回路外，其余回路应等电位互联并接地。试验过程中及试验后，监测装置不应发生击穿、闪络及元器件损坏现象。

5.4.3 环境适应性能

- a) 环境适应性能试验环境温度、类别与严酷等级
环境适应性能试验环境温度、类别与严酷等级见表 4。

表 4 考核适用温度

| 环境温度 | 严酷等级 | |
|-----------|------|------|
| | 低温温度 | 高温温度 |
| -25℃~+60℃ | -25℃ | +70℃ |
| -40℃~+60℃ | -40℃ | +70℃ |

- b) 低温

装置应能承受 GB/T 2423.1 规定的低温试验，试验温度为表 4 规定的低温温度，试验时间为 2h。

- c) 高温

装置应能承受 GB/T 2423.2 规定的高温试验，试验温度为表 4 规定的高温温度，试验时间为 2h。

d) 恒定湿热

装置应能承受 GB/T 2423.3 规定的额定湿热试验。试验温度 $+40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $(93 \pm 3)\%$ ，试验时间为 48h。

e) 交变湿热

装置应能承受 GB/T 2423.4 规定的交变湿热试验。高温温度 55°C ，循环次数 2 次。

5.4.4 电磁兼容性能试验

5.4.4.1. 静电放电抗扰度试验

按照 GB/T 17626.2 的规定进行，要求在施加干扰的情况下，装置应满足 4.4.3 中的性能判据要求。

5.4.4.2. 射频电磁场辐射抗扰度试验

按照 GB/T 17626.3 的规定进行，要求在施加干扰的情况下，装置应满足 4.4.3 中的性能判据要求。

5.4.4.3. 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

按照 GB/T 17626.4 的规定进行，要求在施加干扰的情况下，装置应满足 4.4.3 中的性能判据要求。

5.4.4.4. 浪涌（冲击）抗扰度试验

按照 GB/T 17626.5 的规定进行，要求在施加干扰的情况下，装置应满足 4.4.3 中的性能判据要求。

5.4.4.5. 射频场感应的传导骚扰抗扰度试验

按照 GB/T 17626.6 的规定进行，要求在施加干扰的情况下，装置应满足 4.4.3 中的性能判据要求。

5.4.4.6. 工频磁场抗扰度试验

按照 GB/T 17626.8 的规定进行，要求在施加干扰的情况下，装置应满足 4.4.3 中的性能判据要求。

5.4.4.7. 脉冲磁场抗扰度试验

按照 GB/T 17626.9 的规定进行，要求在施加干扰的情况下，装置应满足 4.4.3 中的性能判据要求。

5.4.4.8. 阻尼振荡磁场抗扰度试验

按照 GB/T 17626.10 的规定进行，要求在施加干扰的情况下，装置应满足 4.4.3 中的性能判据要求。

5.4.4.9. 电压暂降抗扰度试验

按照 GB/T 17626.11 的规定进行，要求在施加干扰的情况下，装置应满足 4.4.3 中的性能判据要求。

5.4.5 机械性能试验

5.4.5.1. 振动试验

按 GB/T 11287 中规定的试验要求和试验方法，对装置进行严酷等级为 1 级的振动耐久试验，要求试验后，装置不应发生紧固件松动、机械损坏等现象。

5.4.5.2. 冲击试验

按 GB/T 14537 中规定的试验要求和试验方法，对装置进行严酷等级为 1 级的冲击耐久试验，要求试

验后，装管不应发生紧固件松动、机械损坏等现象。

5.4.5.3. 碰撞试验

按 GB/T 14537 中规定的试验要求和试验方法，对装置进行严酷等级为 1 级的碰撞试验，要求试验后，装置不应发生紧固件松动、机械损坏等现象。

5.4.6 外壳防护性能试验

5.4.6.1. 防尘

按照 GB/T 4208 中规定的试验要求和试验方法进行，应符合外壳防护等级 IP68 的要求。

5.4.6.2. 防水

按照 GB/T 4208 中规定的试验要求和试验方法进行，应符合外壳防护等级 IP68 的要求。

6 检验规则

6.1 检验类别

装置检验分为型式检验、出厂检验。型式试验、出厂试验试验项目按附录 C 表 C.1 试验项目的规定进行。

6.2 型式试验

型式试验应由制造厂商将设备提交具有国家级或者省级监测资质的监测单位，由监测单位依据本标准规定进行检验，检验项目按表 2 中规定的检验项目逐项进行，并出具型式检验报告。有以下情况之一时，应进行型式试验：

- a) 新产品定型；
- b) 正式投产后，如设计、工艺材料、元器件有较大改变，可能影响产品性能时；
- c) 产品停产一年以上又重新恢复生产时；
- d) 出厂试验结果与型式试验有较大差异时；
- e) 国家技术监督机构或受其委托的技术检验部门提出型式试验要求时；
- f) 合同规定进行型式试验时；
- g) 必要时，装置使用单位可提出要求。

6.3 出厂试验

每套装置出厂前在正常试验条件下逐个按规定进行例行检验，检验合格后，附有合格证，方可允许出厂。

7 标志、包装、运输与贮存

7.1 标志

7.1.1 产品在显著位置应有下列标志

- a) 规格型号；
- b) 产品名称；
- c) 制造商名称；
- d) 额定参数；

- e) 出厂日期及编号;
- f) 安全注意事项及设备使用要点。

7.1.2 包装箱适当位置, 应标有显著、牢固的包装标志

应包括下列内容:

- a) 制造商名称;
- b) 产品名称、型号;
- c) 产品数量;
- d) 到站(港)及收货单位;
- e) 发站(港)及发货单位;
- f) 包装箱外形尺寸及毛重; 包装箱外标识“防潮”、“小心轻放”、“不可倒置”等字样;
- g) 产品名称。

7.2 包装

产品包装前检查包括如下内容:

- a) 产品的合格证书和使用说明书、附件、备品、备件齐全;
- b) 产品外观无损伤;
- c) 产品表面无灰尘。
- d) 产品应有内包装和外包装, 包装应有防尘、防雨、防水、防潮、防振等措施。

7.3 运输

产品应适用于陆运、空运、水(海)运, 运输装卸应按包装箱上的标准操作。运输环境温度宜为 $-40^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$, 相对湿度不宜大于 85%。

7.4 贮存

包装好的产品宜存贮在环境温度为 $-25^{\circ}\text{C} \sim +55^{\circ}\text{C}$, 湿度不大于 85% 的库房内, 室内无酸、碱、盐及腐蚀性、爆炸性气体, 不受灰尘雨雪的侵蚀。

附录 A
(资料性)

双端局放监测装置时间同步和局放源定位测试方法与步骤

A 基于北斗卫星共视的双端局放监测装置时间传递偏差、偏差精密度和局放源定位测试方法与步骤

A. 1. 测试依据：参考GB/T 39411-2020 北斗卫星共视时间传递技术要求

A. 2. 测试要求：

- 1) 电力电缆本体长度 300m~3000m;
- 2) 被测监测装置：
 - (1)两套局放监测装置，分别安装在电力电缆 A、B 两端的屏蔽层地线上；
 - (2)局放边缘计算装置；
 - (3)局放监测软件平台；
- 3) 局放监测装置：
 - (1)卡接式局放高精度电流传感器；
 - (2)局放信号发生器，要求局放放电信号量或者功率可调；可配置单脉冲信号发射和固定时间周期发射；
- 4) 标准时间设备：观测采用的标准时间设备的时间频率源的准确度和稳定度均优于 10^{-12} ；
- 5) 被测监测装置在锁定、跟踪北斗卫星信号及进行相关技术时，均应以 UTC 为参考时间，采用 UTC 的时、分、秒、纳秒标记；
- 6) 测量时间周期要求：每个共视跟踪周期为 16 分钟，其中前 2 分钟为准备时间，此后 13 分钟为观测时间，最后 1 分钟为计算时间，明天包含 89 个 16 分钟的共视跟踪段。

A. 3. 测试目标：

- 1) A、B 两端时间偏差±20ns 以内；
- 2) 局放定位距离偏差不大于电缆总长度的 5%。

A. 4. 测试步骤：

- 1) 在 A、B 两地，按图 A.1 所示连接被测监测装置（设备 A）和监测装置（设备 B）；
- 2) 按被测监测装置产品规范，对两地被测监测装置输入正常工作所需的技术参数（天线坐标、装置内部时延、天线电缆时延和参考电缆时延等）；A 和 B 两地被测装置同时观测至少 48h，每组观测周期 16 分钟，2 分钟准备，13 分钟处理，1 分钟处理测量数据，对 A\B 端接收装置至少观测获得 60 组或 120 组，每组 780s（13 分钟）的跟踪局放数据。局放监测平台将带时间标识（ns 精度）局放数据进行数据分析与处理。并且存储到 excel 表中。
- 3) 配置本地（A/B 端）被测装置的北斗共视的时间同步单元 1PPS 与本地（A/B 端）标准时间设备，共进行 60 组或者 120 组测试，每组进行 13 次观测（每一次 1 分钟），进行 A/B 地被测监测装置第 i 次观测所测得的本地时间与北斗卫星 K 组播发的 BDT 的时差测量值。
- 4) 配置本地（A/B 端）局放监测装置每一分钟发送一次局放脉冲信号，共进行 60 组或者 120 组测试，每组进行 13 次观测（每一次 1 分钟），局放监测平台记录（A/B 端）被测局放监测装置采集到进行 A/B 地被测装置 K 组第 i 次观测所测得的带 UTC 时间标识的局放测量值，计算（A/B

端)的两地采集时间第*i*次观测时的实际偏差,单位为纳秒(ns)。

5) 共视时间传递偏差的数据处理,根据采集的数据,计算共视标准偏差。

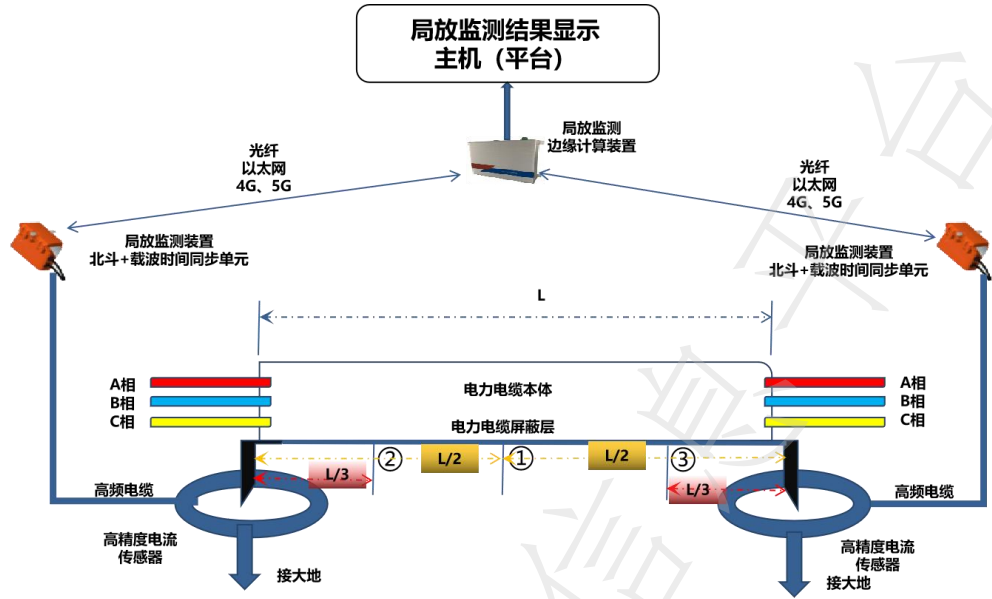


图 A.1 基于北斗卫星共视的双端局放监测装置时间传递偏差及偏差精密度测试

A.5. 共视时间传递偏差的数据处理

共视时间传递偏差的数据处理如下:

1) 按公式(A.1)计算第*i*次观测的共视时间传递偏差:

$$d\Delta_i = \frac{10}{n} \sum_{k=1}^n (REFBDS_A^{k,i} - REFBDS_B^{k,i}) - \Delta_{AB}^i \quad (A.1)$$

式中:

n: 被测监测装置与参照设备第*i*次观测的所观测到的相同卫星的个数,对单通道接收机 *n*=1;

k: 被观测卫星的标识, *k*=1, 2, ..., *n*;

$d\Delta_i$, 两地局放采集设备第*i*次观测的采集局放的时间偏差,单位为纳秒(ns);

$REFBDS_A^{k,i}$ 为 A 地被测监测装置第*i*次观测所测得的本地时间与北斗卫星 K 组播发的 BDT 的时差测量值,单位为 0.1 纳秒(0.1 ns);

$REFBDS_B^{k,i}$ 为 B 地被测监测装置第*i*次观测所测得的本地时间与北斗卫星 K 组播发的 BDT 的时差测量值,单位为 0.1 纳秒(0.1 ns);

Δ_{AB}^i 为 A、B 两地局放采集时间的第*i*次观测时的实际时间偏差,单位为纳秒(ns)。

2) 按公式(A.2)计算共视时间传递偏差平均值 Δ_{cv} , 按公式(A.3)计算 A/B 两地局放采集时间的

第*i*次观测时的实际时间偏差 Δt_{AB}^i 和局放源定位距离 x^i :

$$\Delta_{cv} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m d\Delta_i \quad (A.2)$$

$$\Delta t_{AB}^i = |UTC_A^i - UTC_B^i| \quad (A.3)$$

$$x^i = \begin{cases} L + V * \Delta t_{AB}^i \dots \dots (UTC_A^i \geq UTC_B^i) \\ L - V * \Delta t_{AB}^i \dots \dots (UTC_A^i < UTC_B^i) \end{cases} \quad (A.4)$$

$$x_{cv} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (x_i - x)^2} \quad (A.5)$$

$$s_{cv} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (d\Delta_i - \Delta_{cv})^2} \quad (A.6)$$

式中：

m：为观测组数，m 等于 60 组或 120 组；

Δ_{cv} ：为共视时间传递偏差的评定结果，单位为纳秒(ns)。

Δt_{AB}^i ：为 A/B 两地局放采集时间的第 i 次观测时的实际时间偏差

x^i ：为 A/B 两地第 i 次局放采集计算出的局放源定位距离；

X：图 A.1 中局放源实际安装位置，例如①、②和③位置；

x_{cv} ：为和 A/B 两地局放源定位距离的标准偏差；

s_{cv} ：共视时间的标准偏差，

3) 计算共视标准偏差 s_{cv} 和 A/B 两地局放源定位距离的标准偏差：

(1)按公式(A.5)计算 A/B 两地局放源定位距离的标准偏差，单位为米（m）， x_{cv} 值应不大于 5 米。

(2)按公式(A.6)共视标准偏差，即为被测监测装置的共视时间传递的精密度评定结果，单位为纳秒（ns）。 s_{cv} 值应不大于 20 ns。

A.6. 局放信号在不同电缆介质的传播速度

局放信号在不同电缆介质的传播速度见表 A.1

表 A.1 局放信号在不同电缆介质的传播速度

| 序号 | 电缆绝缘介质 | 脉冲传播速度 (m /us) |
|----|--------|----------------|
| 1 | 聚乙烯 | 201 |
| 2 | 空气绝缘 | 294 |
| 3 | 填充聚乙烯 | 192 |
| 4 | 油浸纸 | 160 |
| 5 | 交联聚乙烯 | 156-174 |
| 6 | 填充聚乙烯 | 192 |
| 7 | 泡沫聚乙烯 | 246 |
| 8 | 聚四氟乙烯 | 213 |
| 9 | 高分子聚合物 | 168-186 |
| 10 | 纸，充油 | 150-168 |

A. 7. 实验室环境下的局放源定位测试方法

A. 7. 1. 测试基本要求

在实验室环境下，可用单芯电缆代替三相电力电缆（长度 10 米~300 米），按照图 A. 2 所示布置实验现场，局放信号发生器安装在电缆中间位置，采用局放高精度电流传感器将局放信号感应到电力电缆屏蔽层上，发送单脉冲和多脉冲局放信号，在软件平台上能够观测到采集到的首末端的局放信号波形、采集时间（UTC 时间格式）和计算出局放源位置。

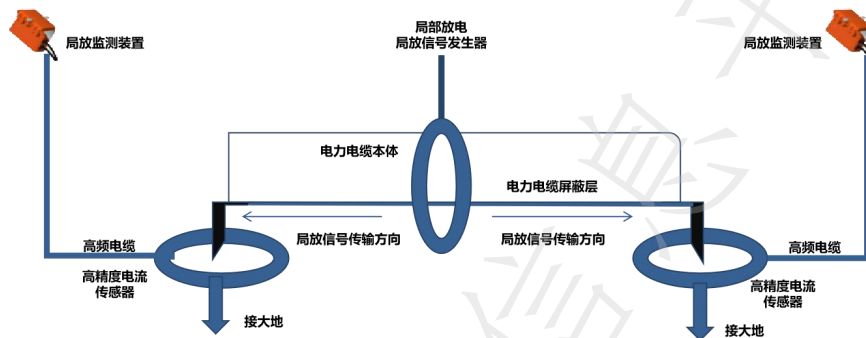


图 A. 2 实验室环境下的局放源定位测试现场部署图

A. 7. 2. 测试附件及设备要求：

- 1) 局部放电信号发生器：发送功率大于 30W，能够设置单脉冲、双脉冲和多脉冲局放信号，能够设置连续测试功能；
- 2) 卡接式局放高精度电流传感器：工作带宽：100kHz~60MHz；
- 3) 单芯或者三芯电缆：长度 10 米~300 米。

A. 7. 3. 被测监测装置：

- 1) 局放高精度电流传感器：工作带宽 100kHz~60MHz；
- 2) 局放监测装置 2 台。具有有线（光纤或以太网）和无线通信（4G、5G）功能，时间同步采用北斗或 GPS。

A. 7. 4. 测试步骤：

- 1) 按照图 A. 1 在 A、B 两地，按图 A. 1 和图 A. 2 所示连接被测局放监测装置（设备 A）和局放监测装置（设备 B）；在电缆中间安装局放信号发生器；
- 2) 如下步骤与 A. 1 测试步骤相同。

附录 B (资料性)

高精度局放传感器指标测试方法

B 高精度局放传感器传输特性参数及技术指标的测量方法

B.1. 高频局放传感器的关键传输特性参数及相应的技术指标

高频局放传感器的关键传输特性参数及相应的技术指标如下：

- 1) 传输特性阻抗: 传输特性阻抗指的是在某固定频率正弦电流信号下, 传感器耦合输出的电压信号幅值与输入电流信号幅值的比值, 该指标反映在工作频带内某固定频率输入信号下传感器的信号耦合能力。一般要求输入频率为 10 MHz 的正弦电流信号时, 传感器的传输阻抗值大于 5 mV/mA。
- 2) 检测频带: 检测频带指的是对高频局部放电传感器进行幅频特性测试, 通常内幅值比峰值下降 6 dB 对应的上下截止频率之差。一般要求整个系统的检测频带在 3MHz~60 MHz 范围内。
- 3) 稳定性: 注入恒定幅值和频率的正弦波信号, 高频局放传感器连续工作 1h 后, 输出的相应幅值的变化不应大于 110%。

B.2. 测试原理

B.2.1. 传输特性阻抗测试

传输特性的测试原理如图 B.1 所示: 采用信号发生器作为信号源, 通过同轴电缆串接阻值为 50 Ω 的匹配电阻 (图中固定无感电阻)。同时将同轴电缆穿心接入待测高频局放传感器, 用示波器测量传感器输出的电压信号 (图中输出 1) 及同轴电缆中流过的电流信号, 其中, 电流信号通过测量匹配电阻两端的电压获得 (图中输出 2)。设置信号发生器输出 10 MHz 的正弦信号, 计算示波器测量的电压信号幅值与换算得到的电流信号幅值的比值, 即得到被测传感器的传输特性阻抗。

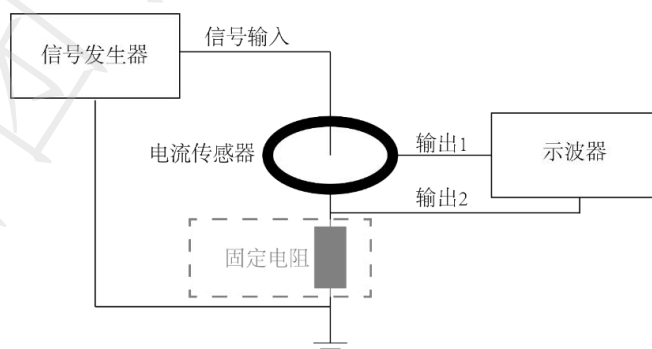


图 B.1 局部放电电流传感器测试原理图

B.2.2. 检测频带测试

检测频带测试仍然采用如图 B.1 所示的接线方式, 但可不必测量匹配电阻两端的电压。保持信号发生器输出正弦信号的幅值不变, 缓慢改变信号频率, 记录各频率下传感器输出的电压幅值。找出传感器输出

电压幅值从最大值下降到 0.501 倍 (-6 dB) 时的上下截止频率, 即可得到传感器的检测频带。

B. 2. 3. 稳定性测试

稳定性测试的接线方式如图 B. 1 所示。设置信号发生器输出恒定幅值与频率的正弦信号, 将传感器连续工作 1h, 记录传感器初始及连续工作 1h 后的输出值。

B. 3. 测试设备与被测监测装置要求

B. 3. 1. 外置信号源

本标准采用任意波形发生器作为测试系统的外置信号源, 为满足测试对信号源的要求, 选取的任意波形发生器基本参数如下:

- (1) 信号输出幅值在 0~10V 可调;
- (2) 信号频率范围在 0 } 120 M Hz 可调;
- (3) 具备任意波形信号导入、输出的功能。

1) 示波器

测试系统采用的示波器基本参数如下:

- (1) 模拟带宽为 2.5 GHz ;
- (2) 采样率为 10 GS/s

2) 高频校验箱

为满足测试需求, 使用高频校验箱中内置的无感电阻, 箱体表面预留信号输入孔及匹配电阻电压输出孔。

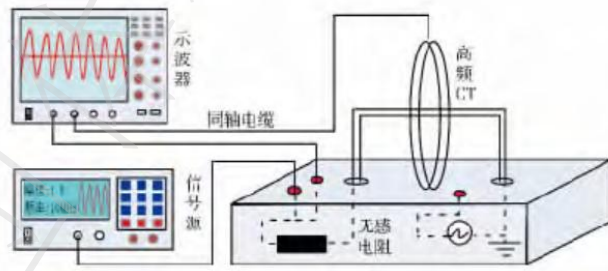


图 B. 2 实际测试实验图

B. 3. 2. 测试步骤:

- 1) 按照图 B. 2 实际测试实验图布置试验电路;
- 2) 根据高频局放传感器的传输特性主要参数要求, 按照 2、测试原理, 分别进行传输特性阻抗测试、检测频带测试、稳定性测试。

B. 3. 3. 不同类别的高频局部放电传感器的主要技术指标

局部放电高精度传感器的主要技术指标见表 B. 1。

表 B.1 局部放电高精度传感器的主要技术指标

| 设备组成 | | 技术参数名称 | 技术指标要求 |
|--------|-------------------|----------------------------------|--|
| 传感器 | - | 检测部位 | 电缆终端、接头、本体、交叉互联箱、接地箱 |
| | 高精度电流传感器 (小内径) | 结构 | 钳型开口式 |
| | | 有效工作频带宽度 ($\pm 3\text{dB}$) | 下限:不高于 100MHz; 上限:不低于 100kHz |
| | | 内径 | $\geq 38\text{mm}$ |
| | | 传输阻抗 | 15mV/mA (输入信号为 10MHz 正弦波电流时) |
| | 高精度电流传感器 (大内径) | 结构 | 钳型开口式 |
| | | 有效工作频带宽度 ($\pm 3\text{dB}$) | 下限:不高于 100MHz; 上限:不低于 100kHz |
| | | 内径 | $\geq 138\text{ mm}$ |
| | 传感器 | 电容耦合传感器 | 结构 |
| | | 带宽 | 下限:小高于 1MHz; 上限:不低于 300MHz |
| 信号采集单元 | 局放信号采集模块 | 检测通道 | ≥ 4 通道 |
| | | 被测电缆电压频率 | 20Hz -300Hz |
| | | 采样速率 | $\geq 100\text{MS/s}$ |
| | | 采样位数 | $\geq 8\text{bit}$ |
| | | 检测灵敏度 | $\leq 5\text{pC}$ (实验室环境下) |
| | 同步信号采集模块 | 参考同步精度 | $\leq 20\text{ ns}$ |
| 检测主机 | 专用软件 | 显示 | 等效放电量、放电重复率、放电相位、放电检测频率等表征参量, 时域波形图、频域特性图、二维($Q-\theta$, $Q-n$, $Q-t$)等, 三维($Q-\theta-n$, $Q-\theta-t$)等) 放电图谱及放电发展趋势图。 |
| | | 抗干扰 | 可抑制设备内部及外界的干扰信号 |
| | | 分析 | 各种相关数据分析工具 |
| | | 诊断 | 辅助实现放电模式识别、缺陷及隐患类型判断 |
| | 便携式计算机 | 现场持续工作时间 | $\geq 4\text{h}$; |

附录 C
(规范性)

C.1 试验项目与要求

表 C.1 试验项目

| 序号 | 检验项目 | 技术要求 | 型式试验 | 出厂试验 |
|----|----------|-------|------|------|
| 1 | 基本功能检验 | 4.2 | ● | ● |
| 2 | 技术指标检验 | 4.3 | ● | ● |
| 3 | 结构和外观检查 | 4.4.1 | ● | ● |
| 4 | 绝缘电阻试验 | 4.4.2 | ● | ● |
| 5 | 介质强度试验 | 4.4.2 | ● | ● |
| 6 | 冲击电压试验 | 4.4.2 | ● | ● |
| 7 | 电磁兼容性能试验 | 4.4.3 | ● | ○ |
| 8 | 低温试验 | 4.4.4 | ● | ○ |
| 9 | 高温试验 | 4.4.4 | ● | ○ |
| 10 | 恒定湿热试验 | 4.4.4 | ● | ○ |
| 11 | 交变湿热试验 | 4.4.4 | ● | ○ |
| 12 | 振动试验 | 4.4.5 | ● | ○ |
| 13 | 冲击试验 | 4.4.5 | ● | ○ |
| 14 | 碰撞试验 | 4.4.5 | ● | ○ |
| 15 | 防尘试验 | 4.4.6 | ● | ○ |
| 16 | 防水试验 | 4.4.6 | ● | ○ |