

# 前 言

衷心感谢您选用本公司的产品，您因此将获得本公司全面的技术支持和服务。

本系统是我司根据国家能源局发布的电力行业新版 DL/T 475-2017《接地装置特性参数测量导则》、《DL/T 845.2 - 2020》标准进行设计，B 类用途。适用于测量大型接地装置的接地电阻、接地阻抗、地表电位差等参数。

使用本系统之前，请您详细地阅读使用说明书，为了让您尽快熟练地操作本仪器，我们随机配备了内容详细的使用说明书，这会有助于您更好的使用该产品。从中您可以获取有关产品介绍、使用方法、仪器性能以及安全注意事项等各方面的知识。

在编写本说明书时，我们非常小心和严谨，并认为说明书中所提供的信息是正确可靠的，然而难免会有错误和疏漏之处，请您多加包涵并热切欢迎您的指正。

我们的宗旨是不断地改进和完善公司的产品，同时我们保留对仪器使用功能进行改进和升级的权力，如果您发现仪器在使用过程中其功能与说明书介绍的不完全一致，请以仪器的实际功能为准。在产品的使用过程中发现有什么问题，请与我们联系！我们将尽力提供完善的技术支持！

# 目 录

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 一、系统用途及主要功能 .....                 | 4  |
| 二、功能特点及主要技术指标 .....               | 4  |
| 2.1 功能特点 .....                    | 4  |
| 2.2 系统组成 .....                    | 4  |
| 2.2.1 基本配置 .....                  | 4  |
| 2.2.2 其他配置 .....                  | 5  |
| 2.3 系统主要技术指标 .....                | 5  |
| 2.4 系统各部分技术指标 .....               | 5  |
| 2.4.1 CT5210 大功率变频信号源 .....       | 5  |
| 2.4.2 CTGL10S 隔离变压器 .....         | 5  |
| 2.4.3 CT5202A 选频电压分流表 .....       | 6  |
| 2.4.4 CT5202C 电流采集无线通讯仪 .....     | 6  |
| 2.4.5 GPC 接地测量户外放线 GPS 定位系统 ..... | 6  |
| 三、使用说明 .....                      | 7  |
| 3.1 CT5210 大功率变频信号源 .....         | 7  |
| 3.1.1 面板说明 .....                  | 7  |
| 3.1.2 触摸屏界面说明 .....               | 8  |
| 3.2 CTGL10S 隔离变压器 .....           | 8  |
| 3.3 CT5202A 选频电压分流表 .....         | 10 |
| 3.4 CT5202C 电流采集无线通讯仪 .....       | 11 |
| 3.5 CT5202A 选频电压分流表操作功能说明 .....   | 12 |
| 3.5.1 打开电源开关进入开机界面 .....          | 12 |
| 3.5.2 进入电压测试界面 .....              | 12 |
| 3.5.3 进入电流测试界面 .....              | 13 |
| 3.5.4 进入阻抗测试界面 .....              | 14 |
| 3.5.5 进入分流向量测试界面 .....            | 15 |
| 3.5.6 进入历史数据界面 .....              | 17 |
| 3.5.7 进入设置界面 .....                | 22 |
| 四、测量接线 .....                      | 23 |

|                         |           |
|-------------------------|-----------|
| 4.1 测试回路的布置.....        | 23        |
| 4.2 接地阻抗的测量.....        | 23        |
| 4.3 场区地表电位梯度分布测量.....   | 26        |
| 4.3.1 测试范围.....         | 26        |
| 4.3.2 测试方法.....         | 26        |
| 4.3.3 测试结果的判定.....      | 26        |
| 4.4 跨步电位差和接触电位差的测量..... | 27        |
| 4.5 杆塔分流向量测量.....       | 28        |
| 4.6 杆塔分流有效值测量.....      | 29        |
| 4.7 接地桩电阻的测量.....       | 29        |
| 4.8 土壤电阻率的测量.....       | 30        |
| <b>五、操作说明.....</b>      | <b>31</b> |
| 5.1 测量接线.....           | 31        |
| 5.2 阻抗测量模式操作说明.....     | 31        |
| 5.3 电压测量模式操作说明.....     | 32        |
| 5.4 电流测量模式操作说明.....     | 32        |
| 5.5 分流向量测量模式操作说明.....   | 32        |
| <b>六、注意事项.....</b>      | <b>34</b> |

## 一、系统用途及主要功能

本仪器是测量接地装置特性参数的专用仪器。仪器采用新型变频交流电源，异频抗干扰技术，能在变电站强干扰环境下准确测量。测量结果由大屏幕液晶显示，自带微型打印机及U盘存贮等功能。系统配置的CT5202A选频电压分流表是一款高精度的多功能选频万用表，主要用于测量指定频率下的电压、电流、电压电流相位差以及分流向量，可自动计算出接地阻抗、电阻分量、电抗分量、分流系数、分流向量和以及地网实际散流向量。根据设置的参数可自动计算并显示接地阻抗及电阻分量的修正值，并且实时显示工频干扰的大小和信噪比。所有电流测量（包括分流向量测量）均兼容直接测量、罗氏线圈（柔性电流钳）测量和钳形电流互感器测量方式，测量方式无需人为设置，系统自动识别判断。

## 二、功能特点及主要技术指标

### 2.1 功能特点

1. 包含阻抗、电压、电流以及分流向量相互独立的测量模块，可完成大型接地网接地阻抗、接地电阻、接地电抗、场区地表电位梯度、接触电位差、接触电压、跨步电位差、跨步电压、杆塔分流、杆塔分流向量、接地桩（电流极、电压极）电阻、土壤电阻率等接地参数的测量，并且适用于其他需要测量指定频率下的电压、电流、相位差及分流等参数的场合。

2. 支持40~70Hz整数频点步进变频，45/55Hz、47/53Hz、49/51Hz等多频率双变频测量。

3. 兼容直接测量、罗氏线圈和钳形电流表三种测量方式，无需设置系统自动识别判断。

4. 阻抗测量模式同时显示阻抗、电阻分量、电抗分量、角度等多参数的测量值和修正值。

5. 选频电压分流表采用阻抗、电压、电流与分流向量测量功能为一体的集成设计，具备接地阻抗、跨步电压、分流向量等测试功能，支持GPS+北斗/无线同步方式精确测量，测试频率自动跟踪识别。

6. 选频电压分流表配置热敏打印机，支持内部存储和U盘数据转存。

7. 搭载7寸全彩液晶触摸屏，内置锂电池，支持长时间户外测试。

8. 优于1000倍信号幅值抗干扰能力，实时显示干扰量大小以及相应信噪比。

9. 自动计算分流系数、分流向量和、地网实际散流向量，可自由选取需要的有效数据参与阻抗、分流计算。

10. 可安装户外放线定位系统APP，GPS自动定位，实时计算放线距离和放线夹角。

11. 采用分体便携式设计，接线简单，现场移动方便。

### 2.2 系统组成

#### 2.2.1 基本配置

|                   |    |
|-------------------|----|
| 1. CT5210大功率变频信号源 | 1台 |
| 2. CTGL10S隔离变压器   | 1台 |
| 3. CT5202A选频电压分流表 | 1台 |

## 2.2.2 其他配置

- |                         |     |
|-------------------------|-----|
| 1、CT5202C 电流采集无线通讯仪     | 1 台 |
| 2、罗氏线圈                  | 1 根 |
| 3、钳形电流互感器               | 1 只 |
| 4、GPC 接地测量户外放线 GPS 定位系统 | 1 套 |

## 2.3 系统主要技术指标

- 1、接地阻抗测量范围:0~200 $\Omega$ , 分辨率:1m $\Omega$
- 2、测量准确度:±(读数×1%±1m $\Omega$ )
- 3、接线方式:标准四极法
- 4、自动测量
- 5、试验频率:40Hz~70Hz, 1 Hz 步进.
- 6、电流输出:0~200V/50A、0~400V/25A或0~800V/12.5A, 三档可切换.
- 7、最大输出功率:10kW
- 8、连续工作时间:满载电流15Min, 50%满载电流60Min.
- 9、主要保护:接地保护、声光报警等功能.
- 10、抗干扰能力:1000倍干扰时仍能准确测量.
- 11、工作电源:单相交流220V(要接在A、C的两端)或三相交流380V
- 12、数据存储:U 盘和内部存储(内部可存储 100 组测量数据).
- 13、工作环境:温度-10℃~50℃ 湿度<90%

## 2.4 系统各部分技术指标

### 2.4.1 CT5210 大功率变频信号源

- 1) 电源电压:单相AC220V(单相电源可接在A、B、C的任意两端)或三相AC380V
- 2) 最大输出功率:10kW(单相AC220V供电时为5kW)
- 3) 最大输出电压:三相AC380V供电时:400V  
单相AC220V供电时:200V
- 4) 最大输出电流:25A
- 5) 电压和电流显示为参考值, 电流大于0.3A开始显示。要知道精确电压或电流值, 请外接电压表和电流表。
- 6) 频率调节范围:40~70Hz
- 7) 频率步进:1Hz

### 2.4.2 CTGL10S 隔离变压器

隔离变压器(耦合变压器)主要作用是起阻抗匹配及隔离的作用, 变压器输出绕组共有4个, 均为200V/12.5A, 可根据需要将4个绕组进行串并联得到0~200V/50A、0~400V/25A或0~800V/12.5A三档输出

- 1) 容量:10kVA

- 2) 最大输出电压电流: 0~200V/50A、0~400V/25A或0~800V/12.5A三档
- 3) 频率范围: 40~70Hz

#### 2.4.3 CT5202A 选频电压分流表

- 1) 电源供电: 内置大容量锂电池供电, 连续工作时间 $\geq 8$ h
- 2) 频率范围: 40~70Hz (分流向量频率范围: 45~65Hz)
- 3) 频率步进: 1Hz
- 4) 测量范围与准确度:

阻抗: 0~200 $\Omega$ , 准确度:  $\pm 1.0\%$ 读数, 分辨率 1m $\Omega$

电压: AC 0~800V, 准确度:  $\pm 1.0\%$ 读数 $\pm 0.5$ mV

电流: AC 1~50A/100A, 准确度:  $\pm 1.0\%$ 读数 $\pm 0.5$ mA,

分流向量:

电流幅值: AC 10mA~20A, 准确度: 钳表:  $\pm 2\% \times$ 读数 $\pm 2$ mA;

罗氏线圈:  $\pm 10\% \times$ 读数 $\pm 2$ mA;

角度范围: 180.0 $^\circ$  ~ -180.0 $^\circ$  准确度: 5 $^\circ$ , 分辨率 1 $^\circ$

**注意: 罗氏线圈电流幅度的稳定性受多种因素制约。分流电流测试尽量采用直接电流和钳形表模式。罗氏线圈测试和接线请看 4.5.1 节说明**

- 5) 兼容直接测量、罗氏线圈以及钳形电流钳三种方式自动识别。
- 6) 抗干扰能力: 优于 1000 倍信号幅值
- 7) 数据计算: 内置阻抗修正公式, 分流数据可自动计算, 也可手动选取有效数据参与计算
- 8) 数据存储: U 盘和内部存储 (内部可存储 100 组测量数据)
- 9) 通讯接口: 标准 RS-232 接口/USB 接口
- 10) 显示屏: 1024 $\times$ 600 点阵触摸屏
- 11) 打印机: 热敏打印机
- 12) 工作环境: 温度-10~50 $^\circ$ C 相对湿度 $< 90\%$
- 13) 尺寸: 365 $\times$ 269 $\times$ 169 mm

#### 2.4.4 CT5202C 电流采集无线通讯仪

- 1) 电源供电: 内置大容量锂电池供电, 连续工作时间 $\geq 8$ h
- 2) 频率范围: 45~65Hz
- 3) 电流测量范围及准确度: 测量范围: 1~50A/100A
- 4) 准确度:  $\pm 0.5\%$ 读数 $\pm 0.5$ mA
- 5) 抗干扰能力: 优于1000倍信号幅值

#### 2.4.5 GPC 接地测量户外放线 GPS 定位系统

- 1、直接显示电压极电流极直线距离及夹角;
- 2、定位及计算数据存储, 下载;

### 三、使用说明

测试系统由选频万用表、大功率变频信号源、隔离变压器及相应附件组成，变频信号源提供电压和频率可调的信号经隔离变压器输出，在远端的电流桩和接地装置间产生测试电流，大地网接地参数综合测试仪采集注入地网的电流信号和远端电压桩的电压信号经过选频、滤波及相应运算得到所需要的测量参数。

#### 3.1 CT5210 大功率变频信号源



图3-1 大功率变频信号源前面板图

是用于产生不同频率电流信号的变频信号源，变频信号源与隔离变压器一起产生一个可变频的电流信号注入到地网中产生相应的测试电压和电流。

##### 3.1.1 面板说明

- ◆ 电源输入，单相AC220V或三相AC380V输入，单相AC220V供电时最大输出功率5kW(单相电源可接在A、B、C的任意两端)，三相AC380V供电时最大输出功率10kW。
- ◆ 接地端，连接到当前被测地网。
- ◆ 反馈输入，使用时需用专用连接线连接到隔离变压器的“反馈输出”插座。
- ◆ 变频输出，接至隔离变压器的输入端，输出任何一端禁止接地！
- ◆ 工业触摸屏，触摸屏不仅可进行升频、降频、电源开启、降压停机、急停、复位等操作还可以指示变频信号源和隔离变压器输出的电压、电流值。
- ◆ 复位按钮，当电源出现故障时可通过该按钮进行复位操作。
- ◆ 急停按钮，按下该按钮时电源立即关闭输出。
- ◆ 鼠标接口，可连接鼠标通过鼠标进行操作。
- ◆ 总电源开关，接通或断开供电。
- ◆ 输出调压电位器，调节输出电压或电流大小。

### 3.1.2 触摸屏界面说明



图3-2 大功率变频信号源界面

- ◆ 温度显示：显示电源工作温度；
- ◆ 参数校准：出厂参数校准，需密码进入（厂家权限）；
- ◆ 变频信号源输出指示：显示变频信号源输出电压和电流值；
- ◆ 隔离变压器输出指示：显示隔离变压器输出电压和电流值；
- ◆ 升频：点击一次输出频率增加1Hz；
- ◆ 降频：点击一次输出频率减小1Hz；
- ◆ 故障复位：电源出现故障时可将电源复位；
- ◆ 电源开启：开启输出（输出调节旋钮必须在零位方能开启输出）；
- ◆ 急停：立刻关闭电源输出；
- ◆ 降压停机：输出逐步减少至零然后关闭输出。

### 3.2 CTGL10S 隔离变压器

隔离变压器（耦合变压器）与大功率变频信号源配合使用，起阻抗匹配和隔离作用，变压器输出绕组共有4个，均为200V/12.5A，可根据需要将4个绕组进行串并联得到0~200V/50A、0~400V/25A或0~800V/12.5A三档输出。其面板如图3-3所示。

注：使用时需用专用连接线将“反馈输出”连接到大功率变频信号源的“反馈输入”插座，这样隔离变压器的输出电压、电流便会显示在大功率变频信号源的触摸屏上。

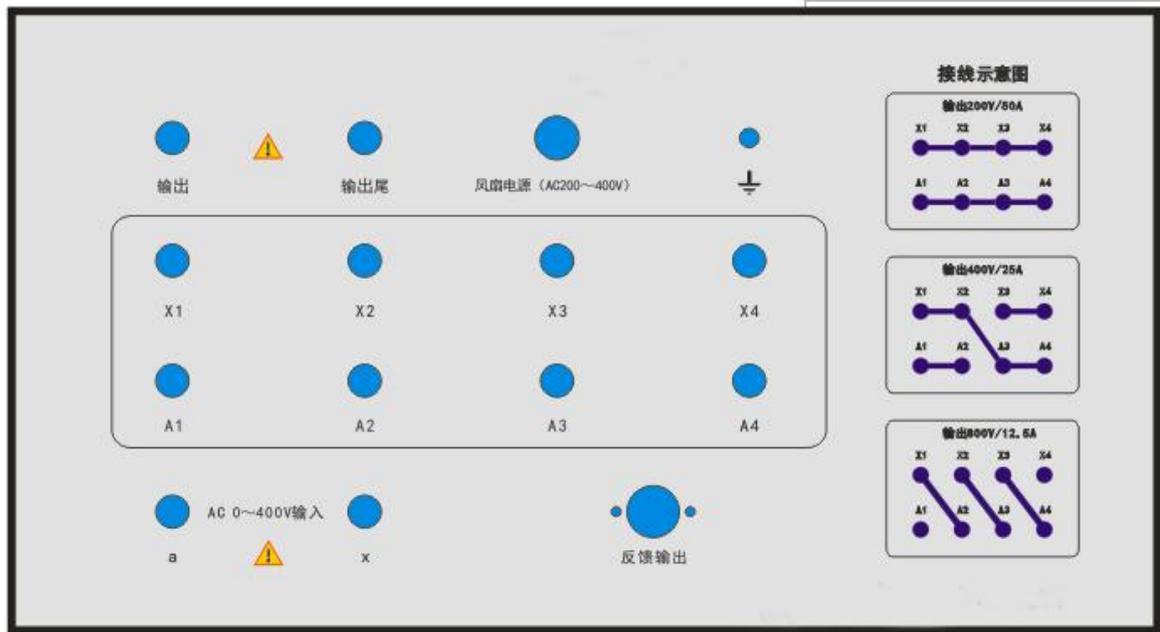


图3-3 隔离变压器面板图

### 3.3 CT5202A 选频电压分流表



图3-4 面板图

1. 电压测量：电压测量输入端，电压测量范围为AC0~800V。
2. 电流测量：电流直接测量输入端(若“外接CT”插座有其它测量方式，直接测量端子将被屏蔽)，电流测量范围为  $1\sim 50A/100A$ 。
3. 接地：测量接地。
4. 分流向量测试：GPS同步或无线同步的选择由电流采集无线通讯仪决定。选频万用表不能自己选择。
5. 天线接口：无线天线接口，正常时相应指示灯闪烁和长亮，无线功能仅用于无线分流向量测量使用，其他测量时可不安装天线，拆装天线须在关机后进行。
  - a) GPS：GPS同步指示灯，成功收到GPS信号后该指示灯有规律闪烁，GPS同步信息仅用于无线分流向量测量使用，无线分流向量测量必须保证无线通信和GPS定位均正常方可进行，若测试在室内进行，室内GPS信号较弱导致无法定位，则必须使用GPS信号转发器增强信号。
  - b) 无线同步：不用GPS同步功能，直接用无线同步功能。
6. 对比度：自动调整。
7. 打印机：热敏打印机。
8. 液晶显示屏：1024×600点阵触摸屏。
9. RS232：上位机RS232通讯接口，波特率为9600。
10. U盘：U盘存储接口，可以将数据导出至U盘，导出数据文件格式为TXT文件。
11. USB：USB通讯接口。
12. 外接CT：罗氏线圈（柔性电流钳）和钳形CT接口，该接口优先级高于直接测量输入端。

电流测量方式仪器自动判断识别。

13. 电源开关：工作电源开关。
14. 充电接口：充电器接口，必须使用原厂配置的专用锂电池充电器。
15. 飞梭：和触摸键一样也可以对仪器进行操作。

### 3.4 CT5202C 电流采集无线通讯仪

电流采集无线通讯仪与选频万用表配合使用可完成分流向量的测量，其面板布局如图3-5所示。

1. 钳形CT接口：在正前方侧面放置有钳形CT接口，钳形CT电流测量范围：AC0~50A。
2. 电池电量：发光管指示相应电池电量。
3. GPS：GPS定位指示灯，定位成功后该指示灯有规律闪烁，若测试在室内进行，室内GPS信号较弱导致无法定位，则必须使用GPS信号转发器增强信号。
4. 无线：开机后指示灯有规律闪烁，表示无线模块工作正常。
5. 天线接口：无线通讯天线接口，通讯正常时相应指示灯有规律闪烁，该天线功率较大，必须远离罗氏线圈（不小于5米），否则会影响罗氏线圈电磁场，造成测量数据不稳。若天线无法远离罗氏线圈，可将天线拆除（天线拆除后5米内可正常通讯）进行测量，拆装天线必须在关机后进行。
6. 同步控制开关：测试分流向量时，选择系统使用GPS同步或无线同步。  
**注：分流向量测试仪的同步方式，由电流采集无线通讯仪控制。**
7. 充电接口：充电器接口，必须使用原厂配置的专用锂电池充电器。
8. 电源开关：工作电源开关，打开电源开关即进入测量模式。
9. 接地：测量时接地。

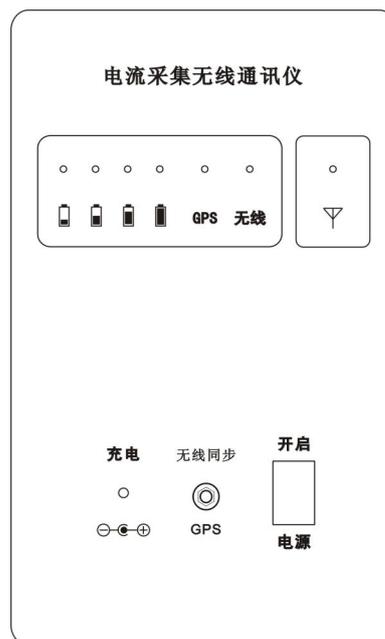


图3-5 面板图

### 3.5 CT5202A 选频电压分流表操作功能说明

#### 3.5.1 打开电源开关进入开机界面



通过触摸按键或飞梭开关选择和操作各个功能菜单。

1. 电压测试、电流测试、阻抗测试和分流向量。4个相互独立的测量模块。
2. 历史数据，保存4个测量模块的数据。每个模块最多保存200条。保存的数据要及时导出到U盘，避免数据丢失或被覆盖。
3. 设置，用户主要对设备编号、测试人员、测试地点和时间日期进行设置。出厂参数由厂方设置。

#### 3.5.2 进入电压测试界面



**Ku** 为外接电压互感器变比值，平时变比值为 1.0 。测试跨步电位差和接触电位差的

测量时， $U_s = U'_s \frac{I_s}{I_m}$  ，  $Ku = I_s/I_m$  。后面在<测量接线>章里有详细说明。

**Rm** 控制人体模拟电阻(一般为1500欧)接入或断开，

注意：一般只有在测跨步电压或接触电压时才需要并入人体模拟电阻，此时所测

电压一般很小（mV级）。请勿在测量高于20V的电压时并入人体模拟电阻，以防止过热烧坏该电阻。

**频率** 要测试电压的频率设置，范围为：45Hz~65Hz

|       |  |
|-------|--|
| 测试/暂停 | 测试和暂停状态间切换。测试状态：实际显示测试电压值。暂停状态：显示按下暂停键时的那个电压值。                 |
| 停止    | 停止测试电压。  |
| 平均/瞬时 | 平均或瞬时显示电压值。瞬时状态下，显示当前测到的电压值。平均状态下，电压显示值是当前测到的电压值和以前测到的电压值的平均值。 |
| 保存    | 保存当前的电压值。保存的数据在历史数据中。  |
| 打印    | 打印当前的测试数据。   |
| 返回    | 返回到开机界面。   |

### 3.5.3 进入电流测试界面



**Kc** 为外接电流互感器变比值，平时变比值为 1.0 。

**模式** 为电流采样接入模式切换。共有3中模式。**直接采样**是：电流从电流接线柱输入。**罗氏线圈**是：电流通过罗氏线圈(柔性电流钳)从外接CT端子输入。**钳形表**是：电流通过钳形电流互感器从外接CT端子输入。**自动判断**是：由仪器自动判断电流以那种模式接入。

**注意：** 电流接线柱和外接CT端子只能接1种电流输入。

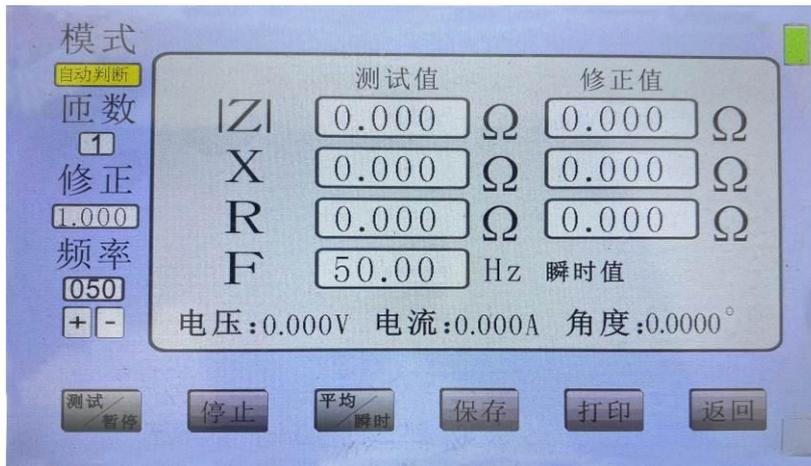
**匝数** 可以设置为 1~9 。主要对罗氏线圈输入模式 。匝数是罗氏线圈环绕在通电导线上的圈数。

**频率** 要测试电流的频率设置，范围为：45Hz~65Hz

|       |  |
|-------|--|
| 测试/暂停 | 测试和暂停状态间切换。测试状态：实际显示测试电流值。暂停状态：显示按下暂停键时的那个电流值。 |
|-------|--|

|       |  |
|-------|--|
| 停 止   | 停止测试电流。  |
| 平均/瞬时 | 平均或瞬时显示电流值。瞬时状态下，显示当前测到的电流值。平均状态下，电流显示值是当前测到的电流值和以前测到的电流值的平均值。 |
| 保 存   | 保存当前的电流值。保存的数据在历史数据中。  |
| 打 印   | 打印当前的测试数据。   |
| 返 回   | 返回到开机界面。   |

### 3.5.4 进入阻抗测试界面



**模式** 为电流采样接入模式切换。共有3中模式。直接采样是：电流从电流接线柱输入。罗氏线圈是：电流通过罗氏线圈（柔性电流钳）从外接CT端子输入。钳形表是：电流通过钳形电流互感器从外接CT端子输入。自动判断是：由仪器自动判断电流以那种模式接入。

**注意：** 电流接线柱和外接CT端子只能接1种电流输入。

**匝数** 可以设置为 1~9 。主要对罗氏线圈输入模式 。匝数是罗氏线圈环绕在通电导线上的圈数。

**修正** 主要设置接地电阻的修正系数，用远离夹角法测量接地阻抗时， $d_{PG}$  和  $d_{CG}$  的长度比较相近。接地阻抗可以用以下公式修正。K 为修正系数。

$Z = K * Z'$  ，当  $K = 1.0$  时，没有修正。

$$K = \frac{1}{1 - \frac{D}{2} \left[ \frac{1}{d_{PG}} + \frac{1}{d_{CG}} - \frac{1}{\sqrt{d_{PG}^2 + d_{CG}^2 - 2d_{PG}d_{CG} \cos \theta}} \right]}$$

$d_{PG}$ ： 电位极与被试接地装置边缘的距离，单位： km， 可设置范围： 0~60km；

$d_{CG}$ ： 电流极与被试接地装置边缘的距离，单位： km， 可设置范围： 0~60km；

$D$  : 被试接地装置最大对角线长度, 单位: km, 可设置范围: 0~30km;

$\theta$  : 电流线和电位线夹角, 单位: 度, 可设置范围: 0~359.99° ;

**频率方式** 选择自动选频或手动选频。自动选频, 测试中电压电流信号的最强信号的频率作为测试频率; 手动选频, 以设置的测试电流的频率作为测试频率。

**频率** 要测试电流的频率设置, 范围为: 45Hz~65Hz

**注意:** 在电压和电流测试界面上, **Ku** 和 **Kc** 的设置, 在阻抗测试界面上有同样的作用。

- |                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| <input type="button" value="测试/暂停"/> | 测试和暂停状态间切换。测试状态: 实际显示测试阻抗值。暂停状态: 显示按下暂停键时的那个阻抗值。                 |
| <input type="button" value="停止"/>    | 停止测试阻抗。  |
| <input type="button" value="平均/瞬时"/> | 平均或瞬时显示阻抗值。瞬时状态下, 显示当前测到的阻抗值。平均状态下, 阻抗显示值是当前测到的阻抗值和以前测到的阻抗值的平均值。 |
| <input type="button" value="保存"/>    | 保存当前的阻抗值。保存的数据在历史数据中。  |
| <input type="button" value="打印"/>    | 打印当前的测试数据。   |
| <input type="button" value="返回"/>    | 返回到开机界面。   |

### 3.5.5 进入分流向量测试界面



分流向量测试界面中间方框内。

试验电流: 大功率变频信号源输出电流, 通过电流采集无线通讯仪用无线信号发出, 选频万用表接收并显示。

分流电流: 选频万用表自己测量的分流电流。

角度: 为试验电流和分流电流的相位差。

分流向量测试: 有GPS同步和无线同步。同步方式由采集无线通讯仪决定。

GPS同步 是选频万用表仪器GPS指示标记。 ~~GPS同步~~ 代表GPS没同步信号, ~~✗~~ 消失后, 显示  GPS有同步信号。

分流向量测试界面右边竖状方框内。表示 电流采集无线通讯仪的状态。

GPS同步 是电流采集无线通讯仪GPS指示标记。代表GPS没同步信号，消失后，显示GPS同步 GPS有同步信号。

无线同步 是选频万用表仪器无线同步指示标记。代表无线没同步信号，消失后，显示无线同步 代表无线有同步信号。

分流向量测试界面右边竖状方框内。表示电流采集无线通讯仪 的状态。

无线同步 是电流采集无线通讯仪无线同步指示标记。代表无线没同步信号，消失后，显示无线同步 无线有同步信号。

 是选频万用表和电流采集无线通讯仪，无线连通标记。

 表示通信断开； 表示通信正常。

分流向量测试界面右边竖状方框内。

45Hz，显示 变频电源发送电流的频率。当 频率方式 选择自动选频时使用。

要进行分流向量测试，选频万用表和电流采集无线通讯仪都要有同步信号。相互间的无线通信正常。

**模式** 分流向量测试一般使用罗氏线圈(柔性电流钳)输入电流。选择罗氏线圈或自动判断。

**匝数** 可以设置为 1~9 。主要对罗氏线圈输入模式 。匝数是罗氏线圈环绕在通电导线上的圈数。

**注意事项：** 罗氏线圈电流幅度的稳定性受多种因素制约，注意如下：

1) 当测试电流小于3A 时，罗氏线圈围绕电流线多绕几匝，一般6匝以上，最多是9匝。测试电流越小，对应所绕的匝数越多。测试界面上匝数设置和实际绕的匝数必须一致。

2) 当测试电流大于3A 时，罗氏线圈用1匝测试。

3) 罗氏线圈测试电流时，电流线要从罗氏线圈中间穿过。

4) 小电流测试，一般要打开平均值键。

**频率方式** 选择自动选频或手动选频。自动选频，分流向量测试中变频电源发送电流的频率作为测试频率；手动选频，以设置的测试电流的频率作为测试频率。

**频率** 要测试电流的频率设置，范围为：45Hz~65Hz

**测试/暂停** 测试和暂停状态间切换。测试状态：实际显示测试分流向量值。暂停状态：显示按下暂停键时的那个分流向量值。

**停止** 停止测试分流向量。

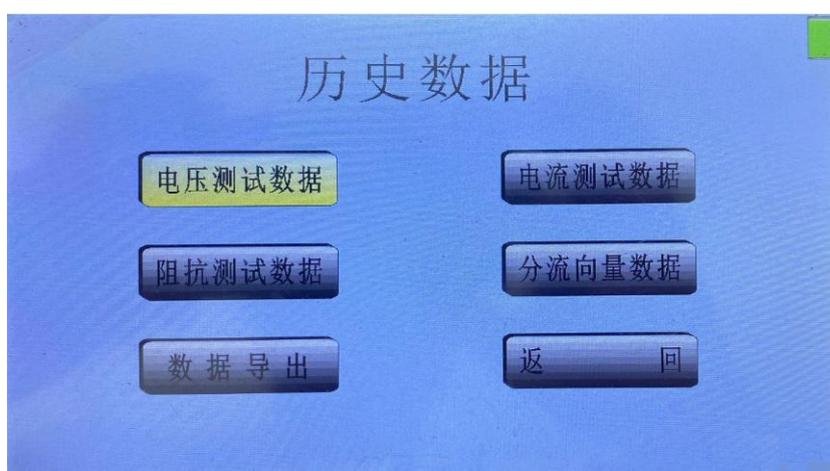
**平均/瞬时** 平均或瞬时显示分流向量值。瞬时状态下，显示当前测到的分流向量值。

平均状态下，分流向量显示值是当前测到的分流向量值和以前测到的分流向量值的平均值。

- 保 存 保存当前的分流向量值。保存的数据在历史数据中。
- 打 印 打印当前的测试数据。
- 返 回 返回到开机界面。

**注意：**本仪器一次最多可以保存分流向量数据200条。每次测试分流向量前，应先导出或打印前一次分流向量测试数据，再清空保存空间。谨慎操作，防止数据丢失！

### 3.5.6 进入历史数据界面



按 电压测试数据、电流测试数据、阻抗测试数据和分流向量数据图标对保存的数据进行操作。先插入U盘，再按 数据导出 可以把仪器所有数据导出到 U盘。按 返回 返回到开机界面。

#### 3.5.6.1. 进入电压历史数据界面

| 序号 | 时 间              | 电 压           | 频率(Hz) |
|----|------------------|---------------|--------|
| 1  | 2019-10-09 09:10 | 651.4 $\mu$ V | 51.0   |
| 2  | 2019-09-11 11:06 | 139.3mV       | 50.0   |
| 3  | 2000-00-00 00:00 | 0.000V        | 50.0   |
| 4  | 2000-00-00 00:00 | 0.000V        | 50.0   |
| 5  | 2000-00-00 00:00 | 0.000V        | 50.0   |
| 6  | 2019-09-11 10:48 | 138.2mV       | 50.0   |
| 7  | 2019-09-11 10:40 | 136.8mV       | 50.0   |
| 8  | 2019-09-11 10:40 | 136.8mV       | 50.0   |
| 9  | 2019-09-10 16:07 | 86.06mV       | 50.0   |
| 10 | 2019-09-10 15:25 | 126.2mV       | 50.0   |

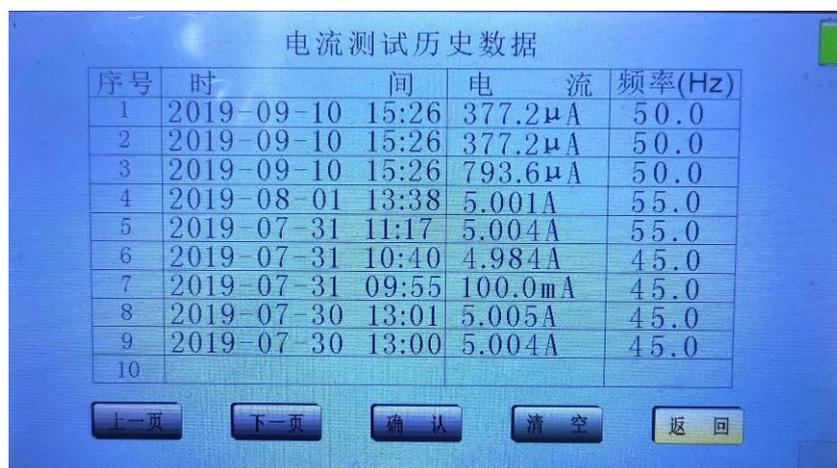
进入电压历史数据目录页。上一页 和 下一页 进行目录翻页。清空

是清除整个电压历史数据，**谨慎使用!** 选择序号按 **确 认** 显示每条数据的具体数值。如下图，按 **返 回** 键返回到回上一层界面。

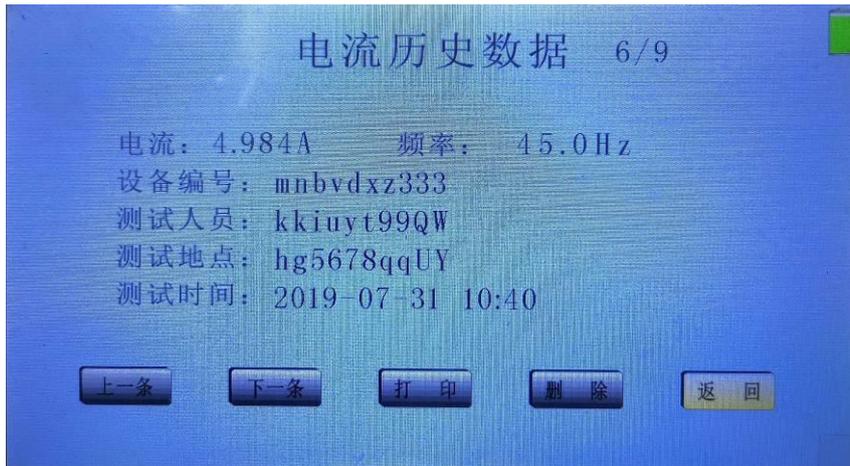


**上一条** 和 **下一条** 进行数据切换。**打 印** 打印本条数据。  
**删 除** 删除本条数据。按 **返 回** 键返回到回上一层界面。

### 3.5.6.2. 进入电流历史数据界面



进入电流历史数据目录页。**上一页** 和 **下一页** 进行目录翻页。**清 空** 是清除整个电流历史数据，**谨慎使用!** 选择序号按 **确 认** 显示每条数据的具体数值。如下图，按 **返 回** 键返回到回上一层界面。



上一条 和 下一条 进行数据切换。打印 打印本条数据。  
删除 删除本条数据。按 返回 键返回到回上一层界面。

### 3.5.6.3. 进入阻抗历史数据界面

| 序号 | 时间               | 阻抗     | 频率(Hz) | 选择                                  |
|----|------------------|--------|--------|-------------------------------------|
| 1  | 2022-01-13 10:18 | 19.86Ω | 53.0   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2  | 2022-01-13 10:17 | 20.07Ω | 55.0   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3  | 2022-01-13 10:17 | 19.88Ω | 45.0   | <input type="checkbox"/>            |
| 4  | 2022-01-13 10:15 | 19.85Ω | 50.0   | <input type="checkbox"/>            |
| 5  | 2022-01-13 10:11 | 19.86Ω | 50.0   | <input type="checkbox"/>            |
| 6  |                  |        |        |                                     |
| 7  |                  |        |        |                                     |
| 8  |                  |        |        |                                     |
| 9  |                  |        |        |                                     |
| 10 |                  |        |        |                                     |

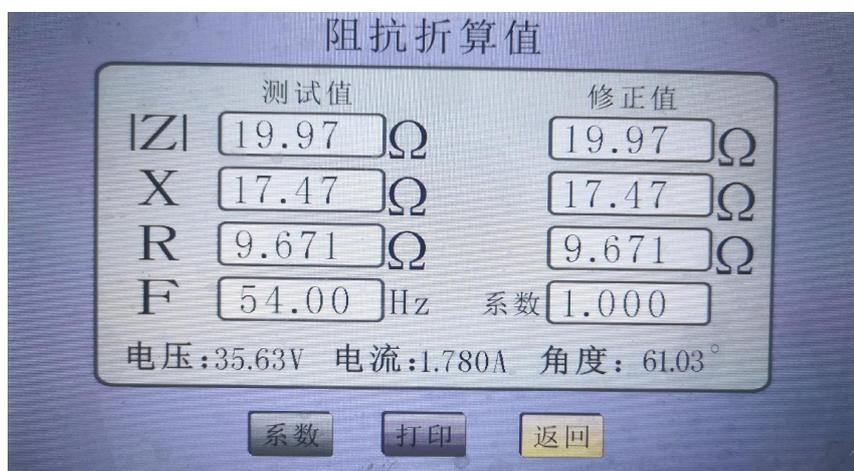
进入阻抗历史数据目录页。上一页 和 下一页 进行目录翻页。清空 是清除整个阻抗历史数据，**谨慎使用!** 选择序号按 确认 显示每条数据的具体数值。如下图，按 返回 键返回到回上一层界面。



和  进行数据切换。 打印本条数据。  
 删除本条数据。按  键返回到上一层界面。

主要几次测试数据进行平均处理。在阻抗历史数据目录页选择要和并的数据。按,

### 进入阻抗折算值界面



设置接地电阻的修正系数， 打印阻抗折算值。

### 3.5.6.4. 进入分流向量数据界面

分流系数 K = 99.90 % , 分流向量和 5.3742 / 151.5° mA

| 序号 | 时 间         | 分流电流(mA)        | 参与计算                                |
|----|-------------|-----------------|-------------------------------------|
| 1  | 11-12 13:50 | 0.5238 / 117.9° | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2  | 11-12 13:48 | 0.4266 / 143.2° | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3  | 11-12 13:47 | 0.5267 / 133.6° | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4  | 11-12 13:45 | 0.3549 / 31.98° | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5  | 11-12 13:44 | 1.2938 / 57.23° | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 6  | 11-12 13:43 | 2.0234 / 91.26° | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 7  | 11-12 13:41 | 0.6208 / 111.2° | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 8  | 11-12 13:40 | 0.4754 / 164.4° | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 9  | 11-12 13:39 | 0.5646 / 48.60° | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 10 | 11-12 13:39 | 0.5451 / 171.1° | <input checked="" type="checkbox"/> |

上一页 下一页 确认 +180° 打印 清空 返回

进入分流向量数据目录页。[上一页] 和 [下一页] 进行目录翻页。[清空] 是清除整个分流向量历史数据，**谨慎使用!** [打印] 打印整个目录的数据，包括分流系数，分流向量和、地网实际散流向量等。[清空] 是清除整个阻抗历史数据，谨慎使用! 按 [返回] 键返回到上一层界面。

$$\text{分流向量和: } \sum \dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dots + \dot{I}_n \quad \dot{I}_n \text{ 为第 } n \text{ 条分流向量数据} \quad \text{公式 (1)}$$

$$\text{地网实际散流向量: } \dot{I}_G = \dot{I}_m + \sum \dot{I} \quad \dot{I}_m = I_m \angle 0^\circ \quad \text{公式 (2)}$$

$$\text{分流系数: } K = \frac{I_G}{I_m} \times 100\% \quad \text{公式 (3)}$$

$I_m$  为地网试验电流，K为最终分流系数，

分流向量和、地网实际散流向量和分流系数都是自动计算，每次参与计算的数据最多200条，右边勾选的是确定参与计算的数据，[+180°] 罗氏线圈相位反向计算。要观察单条数据的详细数值，选择序号按 [确认] 键。如下图

分流向量历史数据 7/13

试验电流: 4.922A    分流电流: 620.7μA  
 角度: 111.2°    频率: 45.0Hz  
 设备编号: 1908110  
 测试人员: gaodian001  
 测试地点: hangzhou  
 测试时间: 2019-11-12 13:41

上一条 下一条 打印 删除 返回

**上一条** 和 **下一条** 进行数据切换。**打印** 打印本条数据。  
**删除** 删除本条数据。按 **返回** 键返回到上一层界面。

### 3.5.6.5. 把数据导出到U盘

先插入U盘，再按 **数据导出** 键。等待！出现“数据导出完成！”。  
仪器一次性把全部数据以 \*.txt 格式保存到U盘。

## 3.5.7 进入设置界面



### 3.5.7.1

**设备编号**、**测试人员**和**测试地点**。根据用户需要设置，用数字和大小写字母进行编写。最多10位。

### 3.5.7.2 时间和日期设置

按 **时间日期** 键进入时间和日期设置界面。



按 20年-月-日 时:分:秒；对应的 20??-??-?? ??:??:?? 输入。确认无误按 **OK**。不按**保存**键，直接按**返回**键，退出时间日期设置。

### 3.5.7.3 出厂参数

**出厂参数**由厂方设置。

## 四、测量接线

使用选频万用表测量接地参数需要使用变频信号源（如大功率变频信号源）和相匹配的隔离变压器（如隔离变压器）配合测量。

### 4.1 测试回路的布置

测试接地装置工频特性参数的电流极应布置得尽量远，参见图 4-1，通常电流极与被试接地装置边缘的距离  $d_{CG}$  应为被试接地装置最大对角线长度  $D$  的 4~5 倍；对超大型的接地装置的布线应尽量远，可利用架空线路做电流线和电位线；当远距离放线有困难时，在土壤电阻率均匀地区  $d_{CG}$  可取  $2D$ ，在土壤电阻率不均匀地区可取  $3D$ 。

测试回路应尽量避免开河流、湖泊、道路口；尽量远离地下金属管路和运行中的输电线路，避免与之长段并行，当与之交叉时垂直跨越；

无论哪种测试方法，都要求电流线和电位线之间保持最远距离，以尽量减小电流线与电位线之间互感的影响。

#### 4.1.1 电流极和电位极

◆ 电流极的接地电阻值应尽量小，以保证整个电流回路阻抗足够小，设备输出的试验电流足够大。

◆ 可采用人工接地极或利用高压输电线路的铁塔作为电流极。

◆ 如电流极电阻偏高，可采用多个电流极并联或向其周围泼水的方式降阻。

◆ 电位极应紧密而不松动地插入土壤中 20cm 以上。

◆ 试验过程中电流线和电位线均应保持良好绝缘，接头连接可靠，尽量避免裸露、浸水。

#### 4.1.2 试验电流的注入

试验电流是作为模拟的系统接地短路故障电流而注入接地装置的，以测试其分流、接地阻抗、场区地表电位梯度分布、接触电位差、跨步电位差等各项工频特性参数。试验电流的注入点宜选择单相接地短路电流大的场区里，电气导通测试中结果良好的设备接地引下线处，一般选择在变压器中性点附近或场区边缘。小型接地装置的测试可根据具体情况参照进行。

#### 4.1.3 试验的安全

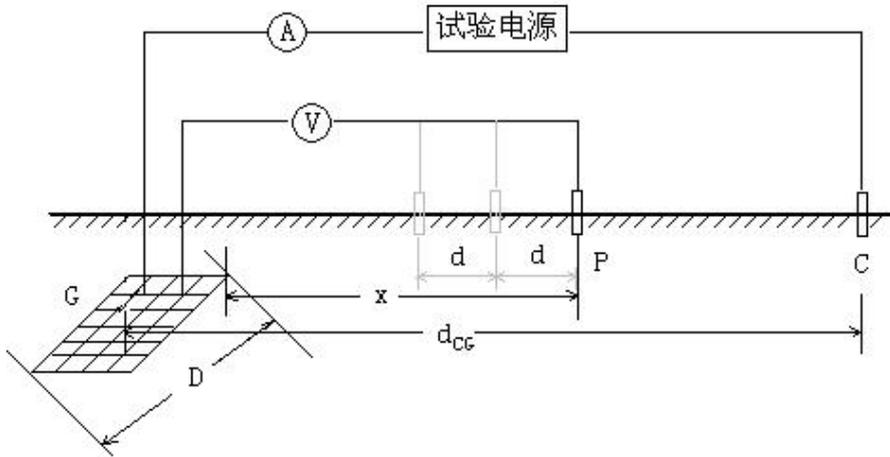
试验期间电流线严禁断开，电流线全程和电流极处要有专人看护。

### 4.2 接地阻抗的测量

接地阻抗的测试方法根据 DL/T 475-2006《接地装置特性参数测量导则》的规定，主要有电位降法、直线法和夹角法三种。

#### 4.2.1 电位降法

电位降法测试接地阻抗，即是按图 4-1 布置测试回路。



G: 被试接地装置; C: 电流极; P: 电位极; D: 被试接地装置最大对角线长度;  
 $d_{cc}$ : 电流极与被试接地装置中心的距离; x: 电位极与被试接地装置边缘的距离;  
d: 测试距离间隔。

图 4-1 电位降法测试接地阻抗示意图

流过被试接地装置 G 和电流极 C 的电流 I 使地面电位变化, 电位极 P 从 G 的边缘开始向外移动, 电位线沿与电流线夹角通常在  $45^\circ$  左右, 可以更大, 但一般不宜小于  $30^\circ$ , 每间隔 d (50m 或 100m 或 200m) 测试一次 P 与 G 之间的电位差 U, 绘出 U 与 x 的变化曲线。曲线平坦处即电位零点, 与曲线起点间的电位差即为在试验电流下被试接地装置的电位升高  $U_m$ , 接地装置的接地阻抗 Z 为:  $Z=U_m/I$ 。

如果电位降曲线的平坦点难以确定, 则可能是受被试接地装置或电流极 C 的影响, 考虑延长电流回路; 或者是地下情况复杂, 考虑以其它方法来测试和校验。

#### 4.2.2 直线法

电流线和电位线同方向 (同路径) 放设称为直线法, 如图 4-2 所示。

一般在放线路径狭窄困难和土壤电阻率均匀的情况下, 接地阻抗测试才采用直线法, 应尤其注意使电流线和电位线保持尽量远的距离, 以减小互感耦合对测试结果的影响。

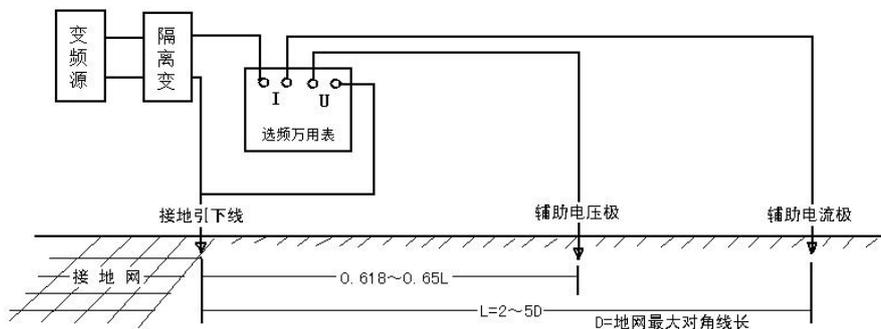


图 4-2 直线法接线示意图

说明:

- ◆ 辅助电流极和辅助电压极的布线应拉开1米以上的距离, 以减小等效电容。
- ◆ 辅助电流极的敷设应尽量使接地阻抗小些, 否则会使测试电流升不上去, 必要时浇些水

会有明显的效果。

- ◆ 辅助电压极的敷设应尽量避免与输电线路平行，以防感应过高的工频电压。
- ◆ 所有布线都应避免多圈盘绕，以防附加电感影响测量结果。

#### 4.2.3 夹角法（推荐）

只要条件允许，大型接地装置接地阻抗的测试都采用电流—电位线夹角布置的方式。通常  $d_{CG}$  取  $4\sim 5D$ ， $d_{PG}$  略小于  $d_{CG}$ ， $\theta$  通常为  $30^\circ \sim 45^\circ$ 。接地阻抗可用公式（6）修正。

如果土壤电阻率均匀，可采用  $d_{CG}$  和  $d_{PG}$  相等的等腰三角形布线，此时使  $\theta$  约为  $30^\circ$ ， $d_{CG}=d_{PG}=2D$ ，接地阻抗的修正计算公式仍为公式（6）。

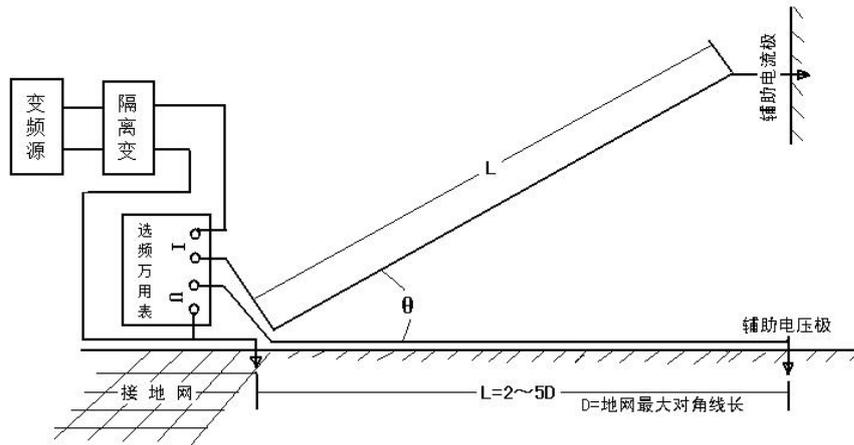


图 4-3 夹角法接线示意图

$$Z' = \frac{Z}{1 - \frac{D}{2} \left[ \frac{1}{d_{PG}} + \frac{1}{d_{CG}} - \frac{1}{\sqrt{d_{PG}^2 + d_{CG}^2 - 2d_{PG}d_{CG}\cos\theta}} \right]} \quad \text{公式 (6)}$$

式中：

$d_{PG}$ ：电位极与被试接地装置边缘的距离；

$d_{CG}$ ：电流极与被试接地装置边缘的距离；

$D$ ：被试接地装置最大对角线长度；

$\theta$ ：电流线和电位线夹角；

$Z$ ：接地阻抗的测试值。

仪器已将阻抗修正公式置入仪器内部，采用夹角法测试时只需将测量参数（ $d_{PG}$ 、 $d_{CG}$ 、 $D$ 、 $\theta$ ）设置好，仪器会自动求出修正系数，在测量结果中同时给出测量值和修正值。若不需要进行阻抗修正，可将参数全部设置为 0，此时修正系数  $K=1$ 。

说明：

- 辅助电流极和辅助电压极到接地引下线的距离相近，长度可取接地网最大对角线的  $2\sim 5$  倍。

- 辅助电流极的敷设应尽量使接地阻抗小些，否则会使测试电流升不上去，必要时浇些

水会有明显的效果。

- 辅助电压极的敷设应尽量避免与输电线路平行，以防感应过高的工频电压。
- 所有布线都应避免多圈盘绕，以防附加电感影响测量结果。

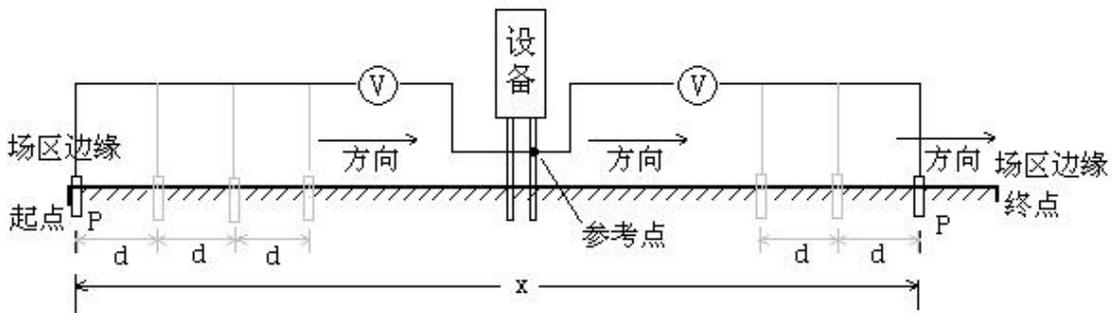
### 4.3 场区地表电位梯度分布测量

#### 4.3.1 测试范围

场区地表电位梯度分布是一个重要的表征接地装置状况的参数，大型接地装置的验收试验和状况评估应测试接地装置所在场区地表电位梯度分布曲线，中小型接地装置则应视具体情况尽量测试，某些重点关注的部分也可测试。

#### 4.3.2 测试方法

接地装置如图 4-1 施加试验电流后，将被试场区合理划分，场区地表电位梯度分布用若干条测试线来表述。测试线根据设备数量、重要性等因素布置，线的间距通常在 30m 左右。在测试线路径上中部选择一条与主网连接良好的设备接地引下线为参考点，从测试线的起点，等间距（间距  $d$  通常为 1m 或 2m）测试地表与参考点之间的电位梯度  $U$ ，直至终点，测试示意图见图 4-4。绘制各条  $U-x$  曲线，即场区地表电位梯度分布曲线。



P: 电位极; d: 测试间距

图 4-4 场区地表电位梯度分布测试示意图

当间距  $d$  为 1m 时，场区地表电位梯度分布曲线上相邻两点之间的电位差  $U'_T$  按公式 (7) 折算得到实际系统故障时的单位场区地表电位梯度  $U_T$ 。

$$U_T = U'_T \frac{I_s}{I_m} \quad \text{公式 (7)}$$

式中:  $I_m$ : 注入地网中的测试电流;

$I_s$ : 被测接地装置内系统单相接地故障电流;

$Z$ : 阻抗测量值。

电位极 P 可采用铁钎，如果场区是水泥路面，可采用包裹湿抹布的直径 20cm 的金属圆盘，并压上重物。测试线较长时应注意电磁感应的干扰。

#### 4.3.3 测试结果的判定

状况良好的接地装置的场区地表电位梯度分布曲线表现比较平坦，通常曲线两端有些抬高；

有剧烈起伏或突变通常说明接地装置状况不良；当该接地装置所在的变电站的有效接地系统的最大单相接地短路电流不超过 35kA 时，折算后得到的单位场区地表电位梯度通常在 20V/m 以下，一般不超过 60V/m，如果接近或超过 80V/m 则应尽快查明原因予以处理解决。当该接地装置所在的变电站的有效接地系统的最大单相接地短路电流超过 35kA 时，折算后参照以上原则判断测试结果。

#### 4.4 跨步电位差和接触电位差的测量

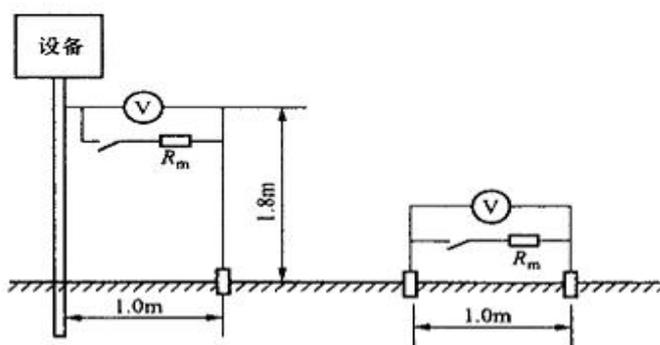


图 4-5 跨步电位差、跨步电压、接触电位、接触电压测试示意图

接地装置如图 4-1 施加试验电流后，根据图 4-5 在所关心的区域，如场区边缘、重要通道处测试跨步电位差。可选择一测量点，并以该点为圆心，在半径 1.0m 的圆弧上，选取 3-4 个不同方向测试，找出跨步电位差最大值，并折算成最大入地电流下的实际值，与规程规定的安全界定值进行比较判断。

根据图 4-5 还可测试设备的接触电位差，重点是场区边缘的和运行人员常接触的设备，如刀闸、构架等。可以待测设备为圆心，在半径 1.0m 的圆弧上，选取 3~4 个不同方向测试点，找出接触电位差最大值，再折算成最大入地电流下的实际值，与规程规定的安全界定值进行比较判断。

测试电极可用铁钎紧密插入土壤中，如果场区是水泥路面，可采用包裹湿抹布的直径 20cm 的金属圆盘，并压上重物。

实际的跨步电位差值按公式 (8) 折算，式中  $U'_s$  为跨步电位差测试值。实际的接触电位差值也可参照公式 (8) 折算。

$$U_s = U'_s \frac{I_s}{I_m} \quad \text{公式 (8)}$$

式中： $I_m$ ：注入地网中的测试电流；

$I_s$ ：被测接地装置内系统单相接地故障电流；

$Z$ ：阻抗测量值。

跨步电位差和接触电位差的安全界定值可参见 GB/T 50065-2011 中 4.2 节的有关要求。

**注：**测量时当电压表两端并上等效人体的电阻  $R_m$  时，所得的值即为跨步电压和接触电压。

## 4.5 杆塔分流向量测量

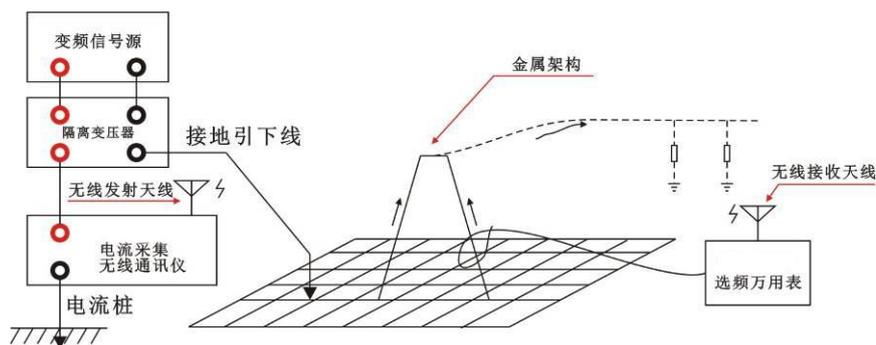


图 4-6 分流向量测试接线示意图

对于有架空避雷线和金属屏蔽两端接地的电缆出线的变电站，应进行架空避雷线和电缆金属屏蔽的分流测试。分流测试应是向量测试，即测试分流的幅值和其相对于试验电流  $I$  的相角，并将所有的分流进行向量运算，得到地网分流系数  $K$ ，以修正接地阻抗。即分流向量和  $I_{\Sigma} \angle \theta_{\Sigma} = I_1 \angle \theta_1 + I_2 \angle \theta_2 + \dots + I_n \angle \theta_n$ ，地网实际散流向量  $I_G \angle \theta_G = I \angle 0^\circ + I_{\Sigma} \angle \theta_{\Sigma}$ ，地网分流系数  $K$  为：

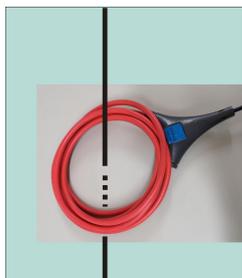
$$K = \frac{I_G}{I} \times 100\% \quad \text{公式 (9)}$$

一般采用具有向量测试功能的罗氏线圈对与避雷线相连的金属构架基脚以及出线电缆沟的电缆簇进行分流向量测试。

注：仪器已将分流向量和、地网实际散流向量和分流系数计算公式置入仪器内部，可直接读出相关测量数据。

### 4.5.1 罗氏线圈的接线和测试注意事项

1. 当测试电流小于 3A 时，罗氏线圈围绕电流线多绕几匝，一般 6 匝以上，最多是 9 匝。测试电流越小，对应所绕的匝数越多。测试界面上匝数设置和实际绕的匝数必须一致。
2. 当测试电流大于 3A 时，罗氏线圈用 1 匝测试。
3. 罗氏线圈测试电流时，如右图：电流线要从罗氏线圈中间穿过。
4. 小电流测试，一般要打开平均值键。



## 4.6 杆塔分流有效值测量

在一些实际应用场合为了检查地网测量布线的合理性，只考虑查看杆塔分流有效值大小以便修正布线，不需要使用分流系数来修正阻抗，此时为了快速高效测量可按照图 4-7 接线，测量项目选择“电流”即可，该测量结果只包含电流有效值和频率参数无相位信息。

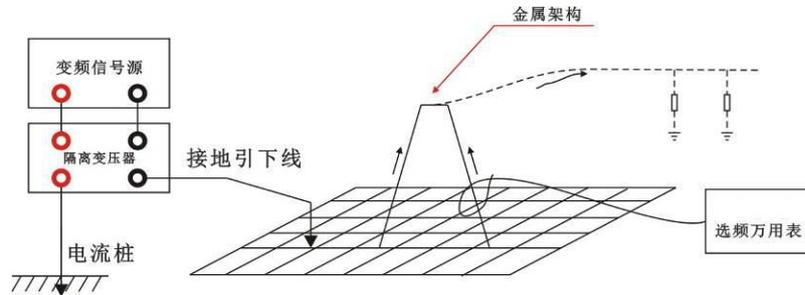


图 4-7 分流有效值测试接线示意图

## 4.7 接地桩电阻的测量

### 4.7.1 电流桩电阻的测量

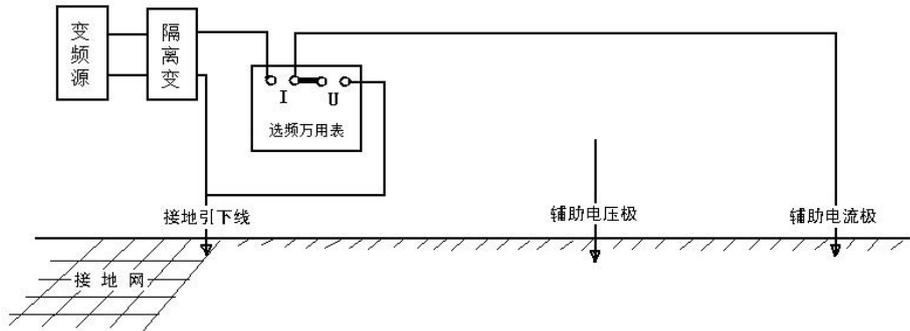


图 4-8 电流桩电阻测试示意图

测量电流桩电阻接线如图 4-8 所示，将电流注入电流桩，电压测量端接至电流桩即可。

### 4.7.2 电压桩电阻的测量

测量电压桩电阻接线如图 4-9 所示，将电流注入电压桩，电压测量端接至电压桩即可。

只需要将电压测量的一端接至电流桩即可。

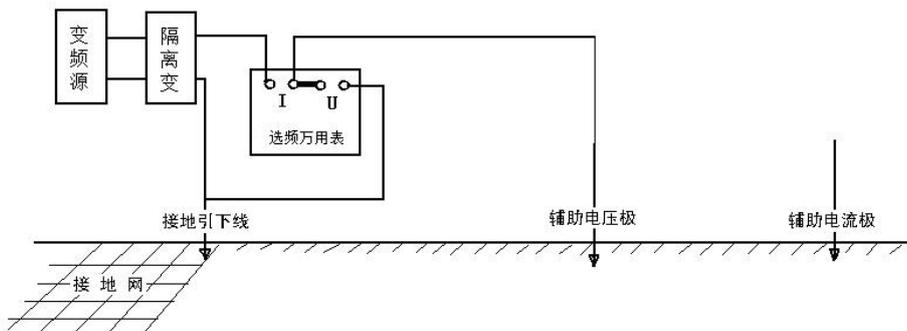


图 4-9 电压桩电阻测试示意图

## 4.8 土壤电阻率的测量

参照 DL/T 475-2006《接地装置特性参数测量导则》，土壤电阻率的测量一般采用四极等距法（温纳法），接线参考图 4-10。

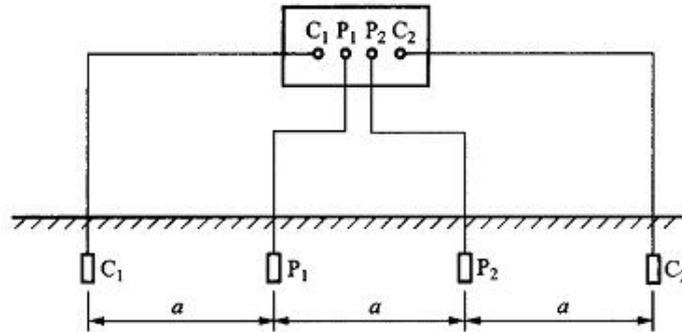


图 4-10 四极等距法测土壤电阻率参考接线图

两电极之间的距离  $a$  应不小于电极埋设深度  $h$  的 20 倍，即  $a > 20h$ 。试验电流流入外侧两个电极，接地阻抗测试仪通过测得试验电流和内侧两个电极间的电位差，得到  $R$ ，通过公式 (10) 得到被测场地的视在土壤电阻率  $\rho$ ：

$$\rho = 2\pi a R \quad \text{公式 (10)}$$

说明：

◆ 土壤电阻率测试应避免在雨后或雪后立即进行，一般宜在连续天晴 3 天后或在干燥季节进行。在冻土区，测试电极须打入冰冻线以下。

◆ 尽量减小地下金属管道的影响。在靠近居民区或工矿区，地下可能有水管等具有一定金属部件的管道，应把电极布置在与管道垂直的方向上，并且要求最近的测试电极（电流极）与地下管道之间的距离不小于极间距离。

◆ 为尽量减小土壤结构不均匀性的影响，测试电极不应在有明显的岩石、裂缝和边坡等不均匀土壤上布置；为了得到较可信的结果，可以把被测场地分片，进行多处测试。

## 五、操作说明

### 5.1 测量接线

根据实际需要确定隔离变压器的输出电压、电流规格（◆0~200V/50A、0~400V/25A或0~800V/12.5A，三档可切换。）。根据测量需要按照“4.1 测试回路的布置”布线。阻抗测量参照图4-2（直线法）或图4-3（夹角法）接线；电压测量参照图4-4（场区电位梯度分布）或图4-5（跨步电位差、跨步电压、接触电位、接触电压）接线；电流测量参照图4-7（分流有效值）接线；分流向量测量参照图4-6（分流向量）接线。

### 5.2 阻抗测量模式操作说明

1. 阻抗测量模式下可完成接地阻抗、接地电阻、接地电抗、接地桩（电流极、电压极）电阻、土壤电阻率等参数的测量，阻抗测量参照图4-2（直线法）或图4-3（夹角法）接线；接地桩（电流极、电压极）电阻测量参照图4-8（电流桩电阻）和图4-9（电压桩电阻）接线；土壤电阻率测量参照图4-10接线。

2. 确认接线无误后，打开选频万用表电源开关，开机后进入测量界面，选择好合适的频率（与变频信号源一致），测试项目选择“阻抗”模式，然后进入参数设置菜单，将光标移动到“阻抗修正”项按确定键进入阻抗修正参数设置，若采用夹角法测量接地阻抗，需将实际的 $d_{PG}$ 、 $d_{CG}$ 、 $D$ 、 $\theta$ 参数输入相应的数据栏，设置好参数后将光标移动到“确定”并按下确定键，此时数据栏的K值即为当前设置参数的阻抗修正系数，该值将参与测量结果的阻抗修正值（ $Z'$ 、 $R'$ ）计算。若采用直线法测量接地阻抗，则需将 $d_{PG}$ 、 $d_{CG}$ 、 $D$ 、 $\theta$ 参数设置为0即可，此时阻抗修正系数 $K=1$ 。若电流测量使用罗氏线圈或开口钳形电流互感器，则须进入“钳形CT”参数设置项，设置好开口钳形CT电流比（ $K_c$ ，如电流钳参数为1A/1mA，则电流比设置为1000）或罗氏线圈（柔性电流钳）匝数（ $K_r$ ），使用罗氏线圈测量电流时，罗氏线圈圈数为1时为满量程50A，增加圈数电流量程会相应减小，如为5圈时电流量程减小为10A(50A/5)，测量小电流时建议增加圈数（若线圈足够长的情况下）以保证测量准确度，**被测试对象应尽量放置在线圈的中心位置，否则会增大误差**。参数设置好后返回测量界面，将光标移动到“开始测试”项按下确认键进入测试状态，此时“开始测试”将变为“暂停测试”；

3. 系统进入测试模式后，待数据基本稳定后按下“→”键取平均值，等待数据完全稳定后将光标移动到“暂停测试”项按下确认键，根据需要保存或打印当前测量数据；

4. 调整变频信号源的频率，选频万用表频率也调整至相同值，按照第一次测量过程进行操作，然后进行数据的保存或打印，可根据需要进行多频率多次测量，测量数据一般按50Hz±N的原则对称保存或打印；

5. 测试完成后将光标移动到“停止”出，按下确定键结束本次测试；

6. 将光标移动到“历史数据”项按下确定键进入历史数据菜单，“折算值”选择“阻抗”，此

时可在数据栏下方看到折算到中间频率的等效数据（数据一般按 $50\text{Hz}\pm N$ 的原则对称保留，如保留 $45\text{Hz}/55\text{Hz}$ 、 $48\text{Hz}/52\text{Hz}$ ，相同项目下无关数据请删除或导出U盘后删除），在该界面下可打印该折算值，也可进入数据索引查看单条历史数据并进行单条数据打印或删除操作。

### 5.3 电压测量模式操作说明

1. 电压测量模式下可完成场区电位梯度分布、跨步电位差、跨步电压、接触电位差、接触电压等参数以及需要测量特定频率下电压的测量。场区电位梯度分布参照图4-4接线；跨步电位差、跨步电压、接触电位、接触电压参照图4-5接线。特定频率下电压的测量接线同普通电压表接线；

2. 确认接线无误后，打开选频万用表电源开关，开机后进入测量界面，选择好合适的频率（与变频信号源一致），测试项目选择“电压”模式，若测量跨步电压或接触电压则需要将 $R_m$ 设置为“接入”，然后进入参数设置菜单，将光标移动到“跨步电压”项按确定键进入电压参数设置，根据实际情况设置好测试电流和故障电流，仪器电压模式下的显示值= $K_u \times$ 测量值，若需要显示实际测量值，可将测试电流和故障电流均设置为1即可，此时 $K_u=1$ ；

3. 测试操作以及数据存储与打印等操作参照阻抗测量进行。

### 5.4 电流测量模式操作说明

1. 电流测量模式下可完成分流有效值以及需要测量特定频率下电流的测量，分流有效值测量参照图4-7接线，特定频率下电流的测量接线同普通电流表接线；

2. 确认接线无误后，打开选频万用表电源开关，开机后进入测量界面，选择好合适的频率（与变频信号源一致），测试项目选择“电流”模式，若电流测量使用罗氏线圈或开口钳形电流互感器，则须进入“钳形CT”参数设置项，设置好开口钳形CT电流比（ $K_c$ ，如电流钳参数为 $1\text{A}/1\text{mA}$ ，则电流比设置为1000）或罗氏线圈（柔性电流钳）匝数（ $K_r$ ），使用罗氏线圈测量电流时，罗氏线圈圈数为1时为满量程 $50\text{A}$ ，增加圈数电流量程会相应减小，如为5圈时电流量程减小为 $10\text{A}(50\text{A}/5)$ ，测量小电流时建议增加圈数（若线圈足够长的情况下）以保证测量准确度，**被测试对象应尽量放置在线圈的中心位置，否则会增大误差**。参数设置好后返回测量界面，将光标移动到“开始测试”项按下确认键进入测试状态，此时“开始测试”将变为“暂停测试”；

3. 测试操作以及数据存储与打印等操作参照阻抗测量进行。

### 5.5 分流向量测量模式操作说明

1. 分流测量模式下可完成分流向量的测量，参照图4-6接线；

2. 安装好电流采集无线通讯仪天线，打开其电源开关，面板上信号指示灯开始有规律闪烁，5分钟内GPS定位指示灯也开始有规律闪烁，若指示灯不闪烁则表示无线通讯或GPS定位有问题，应尽快查找原因并排除故障（可关机重启试试看）。**若测试在室内进行，室内GPS信号较弱导致无法定位，则必须使用GPS信号转发器增强信号**，待GPS定位成功后方可进行后续测试。

**特别注意：**电流采集无线通讯仪天线由于功率较大，必须远离罗氏线圈（至少大于5米），否则会影响罗氏线圈电磁场，造成数据不稳。若天线无法远离罗氏线圈，可将电流采集无线通讯仪

**天线拆除（天线拆除后5米内可正常通讯）进行测试。**

3. 确认接线无误后，安装好无线通讯天线，打开选频万用表电源开关，开机后进入测量界面，选择好合适的频率（与变频信号源一致），测试项目选择“分流”模式，若电流测量使用罗氏线圈或开口钳形电流互感器，则须进入参数设置菜单的“钳形CT”参数设置项，设置好开口钳形CT电流比（Kc，如电流钳参数为1A/1mA，则电流比设置为1000）或罗氏线圈（柔性电流钳）匝数（Kr），使用罗氏线圈测量电流时，罗氏线圈圈数为1时为满量程50A，增加圈数电流量程会相应减小，如为5圈时电流量程减小为10A(50A/5)，测量小电流时建议增加圈数（若线圈足够长的情况下）以保证测量准确度，**被测试对象应尽量放置在线圈的中心位置，否则会增大误差。**参数设置好后返回测量界面。

4. 检查面板上的信号指示灯和GPS定位指示灯，正常情况下应有规律闪烁（GPS应在功能项选择“分流”后5分钟内正常定位），否则应尽快查找原因并排除故障（可关机重启试试看）。数据栏上方的（无线信号）、（本地GPS定位信息）、（无线通讯仪GPS定位信息）状态应为（有效），待所有信号正常后将光标移动到“开始测试”按下确认键进入测试状态；

5. 测试操作以及数据存储与打印等操作参照阻抗测量进行。

6. 在历史数据的折算值里面，分流(分流向量)选项还计算出了所有分流向量数据的分流向量和和地网实际散流向量，分流向量和表示为： $\sum \dot{I}_g$ ，地网实际散流向量表示为： $\sum \dot{I}$ ，Im为地网试验电流，K为最终分流系数。

## 六、注意事项

1. 仪器使用前请确保充满电，充电必须使用专用的锂电池充电器。
2. 测量超过20V电压请勿接入人体模拟电阻 $R_m$ ，以免过载损坏电阻。
3. 若分流向量测试在室内进行，室内GPS信号较弱导致无法定位，则必须使用GPS信号转发器增强信号，待GPS定位成功后方可进行测试。
4. 测试分流向量前，选频万用表和电流采集无线通讯仪的GPS都要有同步信号。相互间的无线通信正常。
5. 电流采集无线通讯仪天线由于功率较大，必须尽量远离罗氏线圈（至少大于5米），否则会影响罗氏线圈电磁场，造成数据不稳。若天线无法远离罗氏线圈，可将电流采集无线通讯仪天线拆除（天线拆除后5米内可正常通讯）进行测试。
6. 配合大功率变频信号源和隔离变压器使用时请确保变频信号源、隔离变压器的接地端子可靠接地，通电之前请确保所有人员远离电流极及电流线，并在试验全程注意电流线沿线及电流极看护，勿让人畜靠近！
7. 一般变频信号源的变频输出线严禁接地，否则将造成永久性损坏。
8. 罗氏线圈电流幅度的稳定性受多种因素制约，注意如下：
  - 1) 当测试电流小于3A 时，罗氏线圈围绕电流线多绕几匝，一般6匝以上，最多是9匝。测试电流越小，对应所绕的匝数越多。测试界面上匝数设置和实际绕的匝数必须一致。
  - 2) 当测试电流大于3A 时，罗氏线圈用1匝测试。
  - 3) 罗氏线圈测试电流时，电流线要从罗氏线圈中间穿过。
  - 4) 小电流测试，一般要打开平均值键。