

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。

使用本仪器之前，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.....	3
二、 功能特点及主要技术指标.....	3
2.1 功能特点.....	3
2.2 系统组成.....	4
2.2.1 基本配置.....	4
2.2.2 可选配置.....	4
2.3 系统技术指标.....	4
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 CT5202C+.....	5
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.....	15
3.3 CT5202C+ 大地网接地矢量.....	16
3.3.1 阻抗测量.....	16
3.3.2 分流向量.....	16
四、 测量接线.....	17
4.1 测试回路的布置.....	17
4.1.1 电流极和电位极.....	17
4.1.2 试验电流的注入.....	17
4.1.3 试验的安全.....	18
4.2 接地阻抗的测量.....	18
4.2.1 电位降法.....	18
4.2.2 直线法.....	18
4.2.3 夹角法（推荐）.....	19
4.3 场区地表电位梯度分布测量.....	20
4.3.1 测试范围.....	20
4.3.2 测试方法.....	20
4.3.3 测试结果的判定.....	21
4.4 跨步电位差和接触电位差的测量.....	21
4.5 杆塔分流向量测量.....	22
4.6 杆塔分流有效值测量.....	22
4.7 接地桩电阻的测量.....	23
4.7.1 电流桩电阻的测量.....	23
4.7.2 电压桩电阻的测量.....	23
4.8 土壤电阻率的测量.....	24
五、 操作说明.....	24
5.1 测量接线.....	24
5.2 阻抗测量模式操作说明.....	25
5.3 电压测量模式操作说明.....	25

5.4 电流测量模式操作说明.....	26
5.5 分流向量测量模式操作说明.....	26
六、注意事项.....	27

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U盘存贮等功能。系统配置的CT5202C+大地网接地矢量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，可自动计算出接地阻抗、电阻分量、电抗分量。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。

阻抗测量兼容直接测量、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。**分流向量（分流测试主电流发射单元）：只能使用直接测量方式。**

二、功能特点及主要技术指标

2.1 功能特点

1. 包含阻抗、分流向量相互独立的测量模块，配合CT5210大功率变频信号源可完成大型接地网接地阻抗、接地电阻、接地电抗、接地桩（电流极、电压极）电阻、土壤电阻率等接地参数的测量。
2. 阻抗测量同时显示阻抗、电阻分量、电抗分量的测量值和修正值。
3. 选频万用表所有电流测量均兼容直接测量、钳形电流互感器测量两种方式，测量方式无需人为设置，系统自动识别判断。
4. 抗干扰能力优于1000倍信号幅值。
5. 支持测量数据内部存储和U盘存储。

2.2 系统组成

2.2.1 基本配置

- | | |
|--------------------|----|
| 1. CT5202C+大地网接地矢量 | 1台 |
| 2. CT5210大功率变频信号源 | 1台 |
| 3. CTGL10S隔离变压器 | 1台 |
| 4. CT5202C+专用电源适配器 | 1只 |

2.2.2 可选配置

1. 无线通讯天线	1套
2. 钳形电流互感器	1只
3. CT5202C+大地网接地矢量	1台
4. CT5202B分流	1套

2.3 系统技术指标

- 1、接地阻抗测量范围:0~200Ω,分辨率:1mΩ
- 2、测量准确度:±(读数×1%±1mΩ)
- 3、接线方式:标准四极法
- 4、自动测量
- 5、试验频率:40Hz~70Hz,1Hz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 CT5202C+

2.4.3.1 CT5202C+阻抗部分

1. 电源供电：12V3A电源适配器
2. 频率范围：40~70Hz
3. 频率步进：1Hz
4. 测量范围与准确度：
 - 阻抗：0~200Ω，准确度：±1.0%读数，分辨率 1mΩ
 - 电压：AC 0~800V，准确度：±1.0%读数±0.5mV
 - 电流：AC 1~50A，准确度：±1.0%读数±0.5mA，
 - 角度范围：180.0° ~ -180.0° 准确度：5°，分辨率 1°
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. 工作环境：温度-10~50℃ 相对湿度<90%

2.4.3.2 CT5202C+分流向量(电流采集无线通讯)部分

1. 频率范围：45~65Hz
2. 电流测量范围及准确度:测量范围：0~50A
3. 准确度：±0.5%读数±0.5mA;
4. 抗干扰能力：优于1000倍信号幅值

三、 使用说明

测试系统由大地网接地矢量、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，大地网接地矢量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

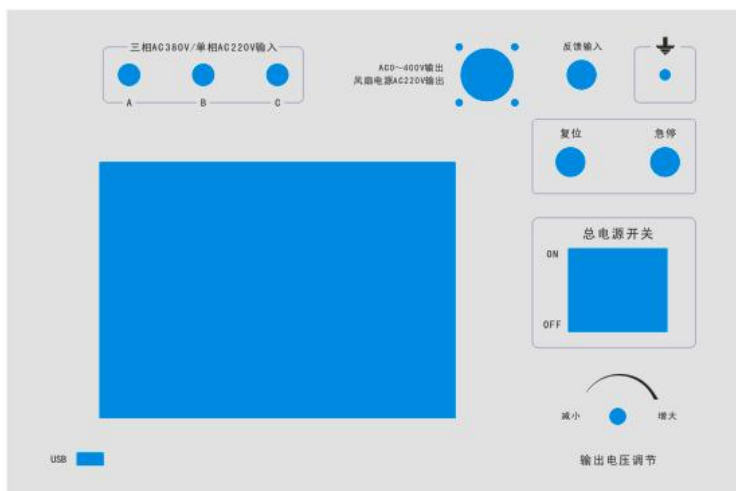


图3-1 大功率变频信号源前面板图

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。

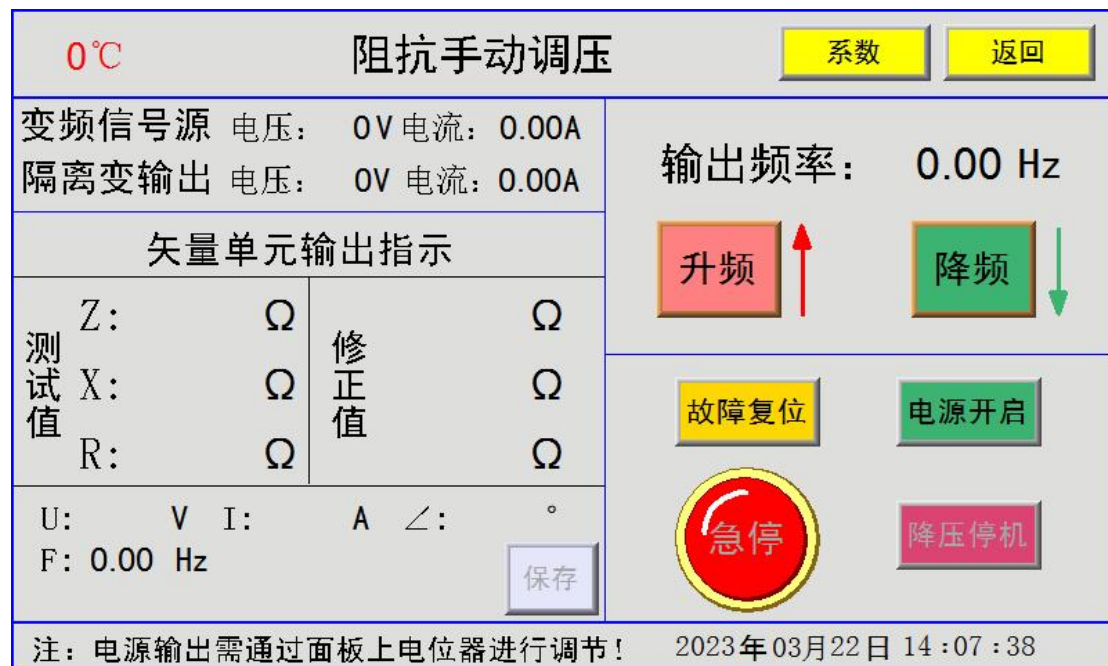
- 总电源开关，接通或断开供电。
- 输出调压电位器，调节输出电压或电流大小。

3.1.2 触摸屏界面说明



- 阻抗手动调压：旋钮调节电压,测量阻抗。
- 阻抗自动恒流：恒流模式测量阻抗。
- 土壤电阻率：恒流模式测量土壤电阻率。
- 分流向量：恒流模式电流采集无线通讯发射单元。
- 历史数据：读取已保存的数据。
- 设置：设备编号，测量人员，测量地址，时间设置。

3.1.2.1 阻抗手动调压界面说明



- 温度显示：显示电源工作温度；
- 变频信号源：显示变频信号源输出电压和电流值；
- 隔离变输出：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。
- 系数：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，PG d 和 CG d 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。

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

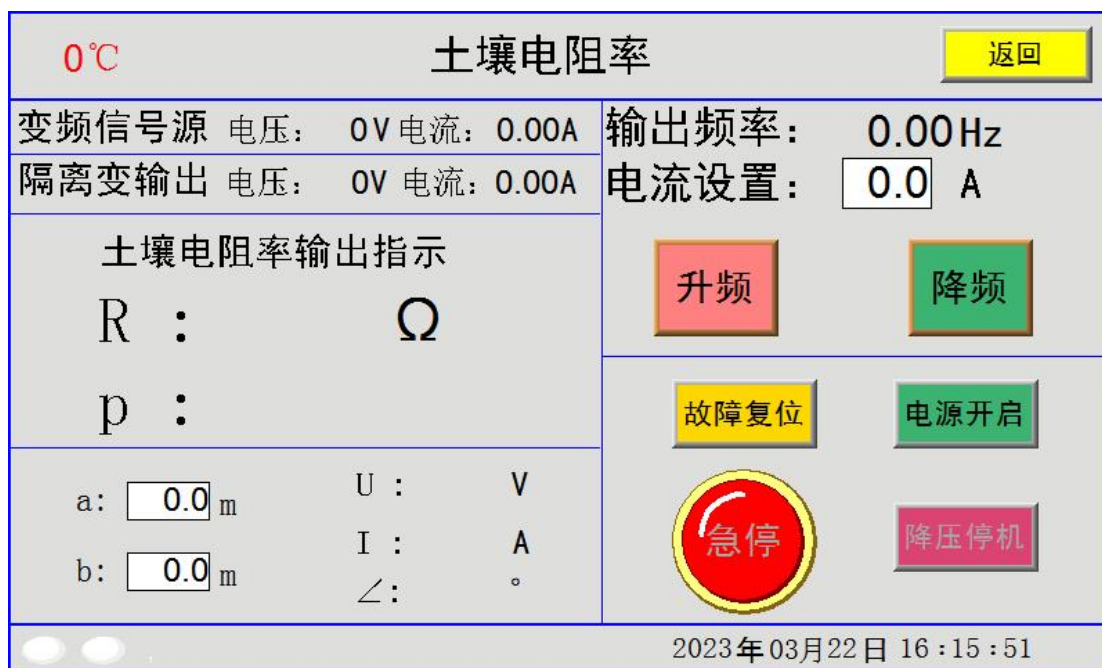
- d PG：电位极与被试接地装置边缘的距离，单位：km，可设置范围：0~60km；
- dCG：电流极与被试接地装置边缘的距离，单位：km，可设置范围：0~60km；
- D：被试接地装置最大对角线长度，单位：km，可设置范围：0~30km；
- θ：电流线和电位线夹角，单位：度，可设置范围：0~359.99°；

3.1.2.2 阻抗自动恒流界面说明

0°C		阻抗单频恒流		系数	返回
变频信号源 电压: 0V 电流: 0.00A		输出频率: 0.00Hz		电流设置: 0.0 A	
隔离变输出 电压: 0V 电流: 0.00A		定频连续		升频	降频
矢量单元输出指示					
测试值	Z: Ω	修正值	Ω		
	X: Ω		Ω		
	R: Ω		Ω		
U: V	I: A	∠: °			
F: 0.00 Hz		保存		故障复位	电源开启
				急停	降压停机
2023年03月22日 15:51:18					

- 温度显示: 显示电源工作温度;
- 变频信号源: 显示变频信号源输出电压和电流值;
- 隔离变输出: 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 (自动调整到电流设置值);
- 电流设置: 自动恒流输出;
- 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。
- 定频连续: 点击按钮可切换双频恒流。

3.1.2.3 土壤电阻率界面说明



- 温度显示：显示电源工作温度；
- 变频信号源：显示变频信号源输出电压和电流值；
- 隔离变输出：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（自动调整到电流设置值）；
- 电流设置：自动恒流输出；
- 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。

ρ --土壤电阻率

电阻率按下式计算： $\rho = \pi aR (a+b) / b$

3.1.2.4 分流向量界面说明

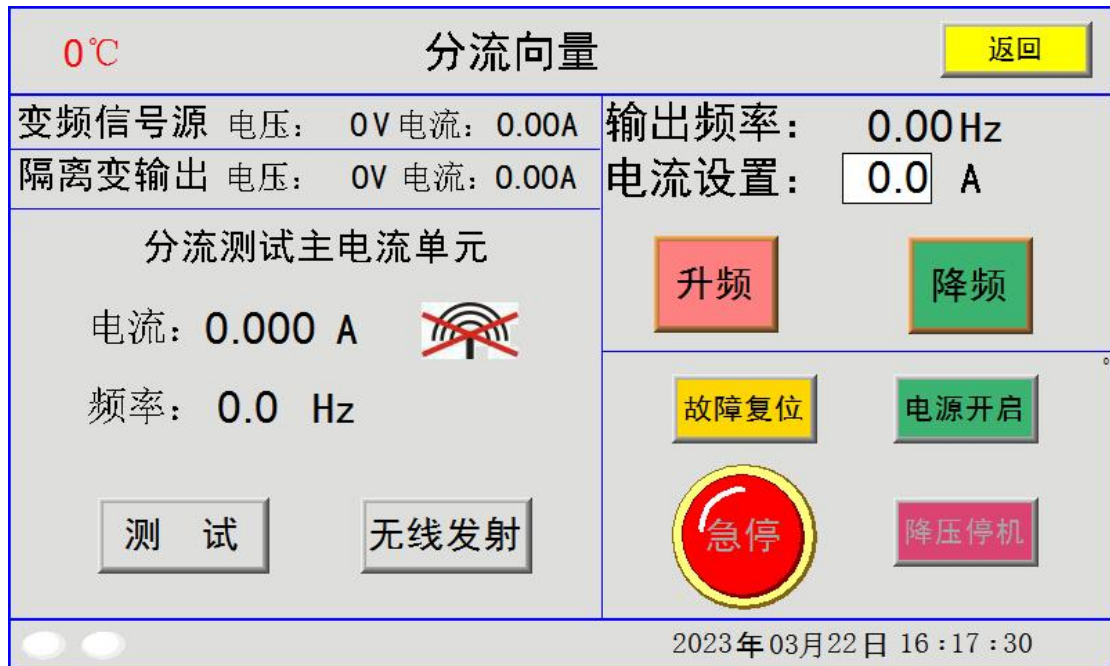




图3-5 面板图

分流向量（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。

- 温度显示：显示电源工作温度；
- 变频信号源：显示变频信号源输出电压和电流值；
- 隔离变输出：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（自动调整到电流设置值）；
- 电流设置：自动恒流输出；
- 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。
- 测试：当电流稳定后，点测试按钮，开始测试，向选频万用表无线发送主电流数据。
- 无线发射：天线接口安装天线，点击按钮，开启天线接口电源功率模式 ；如将天线拆除，请关闭无线发射电源功率模式 。

1. GPS：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。

2. 无线：开机后指示灯有规律闪烁，表示无线模块工作正常。

3. 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，

必须远离大地网接地矢量，否则会影响线圈电磁场，造成测量数据不稳。若天线无法远离，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。

4. 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，由分流向量（电流采集无线通讯仪）控制。

5. 接地：测量时接地

3.1.2.5 历史数据界面说明

序号	时间	阻抗(Ω)	频率(Hz)	选择
1	2000/00/00 00:00	-0.00m	-0.0	<input type="checkbox"/>
2	2000/00/00 00:00	-0.00m	-0.0	<input type="checkbox"/>
3	2000/00/00 00:00	-0.00m	-0.0	<input type="checkbox"/>
4	2000/00/00 00:00	-0.00m	-0.0	<input type="checkbox"/>
5	2000/00/00 00:00	-0.00m	-0.0	<input type="checkbox"/>
6	2000/00/00 00:00	-0.00m	-0.0	<input type="checkbox"/>
7	2000/00/00 00:00	-0.00m	-0.0	<input type="checkbox"/>
8	2000/00/00 00:00	-0.00m	-0.0	<input type="checkbox"/>
9	2000/00/00 00:00	-0.00m	-0.0	<input type="checkbox"/>
10	2000/00/00 00:00	-0.00m	-0.0	<input type="checkbox"/>

返回

上一页

下一页

详细

清空

合并折算

导出

2023年03月22日 16:40:27

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 键返回到上一层界面。

阻抗历史数据 1/0

测试阻抗: -0.00mΩ 修正阻抗: -0.00mΩ 电压: -0.00mV
测试电抗: -0.00mΩ 修正电抗: -0.00mΩ 电流: -0.00mA
测试电阻: -0.00mΩ 修正电阻: -0.00mΩ 角度: -0.000°
时间: 2000/00/00 00:00 频率: -0.0Hz
设备编号: 修正系数: 0.0000
测试人员:
测试地点:

上一条

下一条

删除

返回

阻抗历史数据详细: 上一条 和 下一条 进行数据切换。
删除 删除本条数据。按 返回 键返回到上一层界面。

阻抗折算值

测试阻抗: -0.00mΩ 修正阻抗: -0.00mΩ 电压: -0.00mV
测试电抗: -0.00mΩ 修正电抗: -0.00mΩ 电流: -0.00mA
测试电阻: -0.00mΩ 修正电阻: -0.00mΩ 角度: -0.000°
频率: -0.0Hz
修正系数: 1.0000

系数

返回

合并折算 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, 按合并折算。系数 设置接地电阻的修正系数。

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。

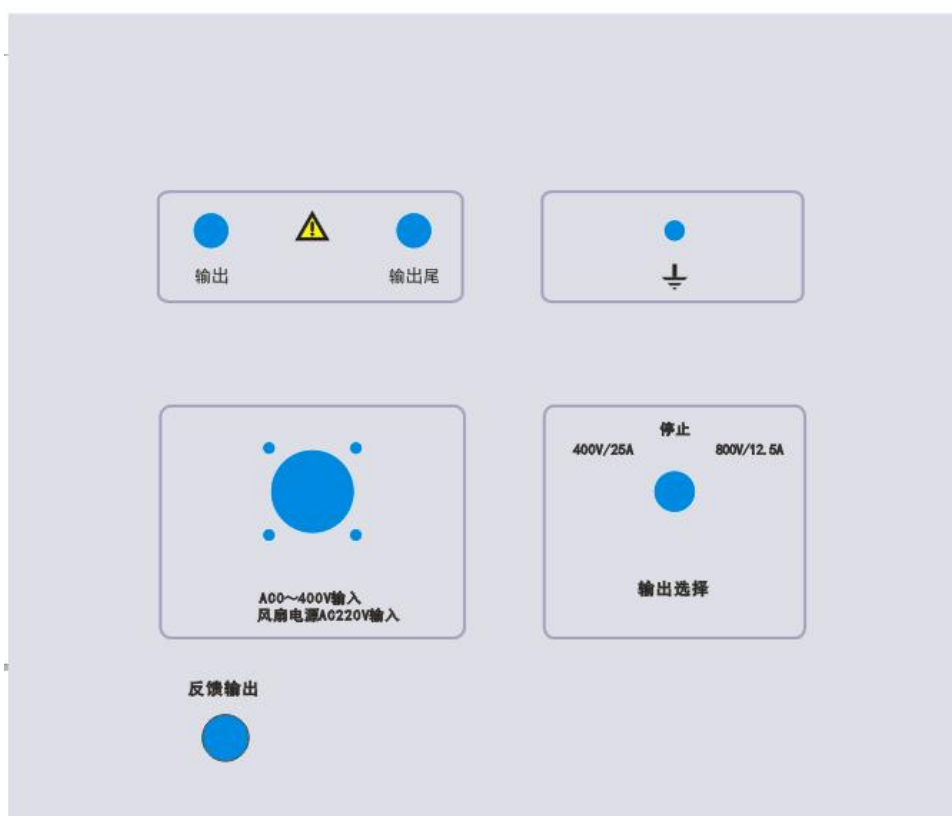
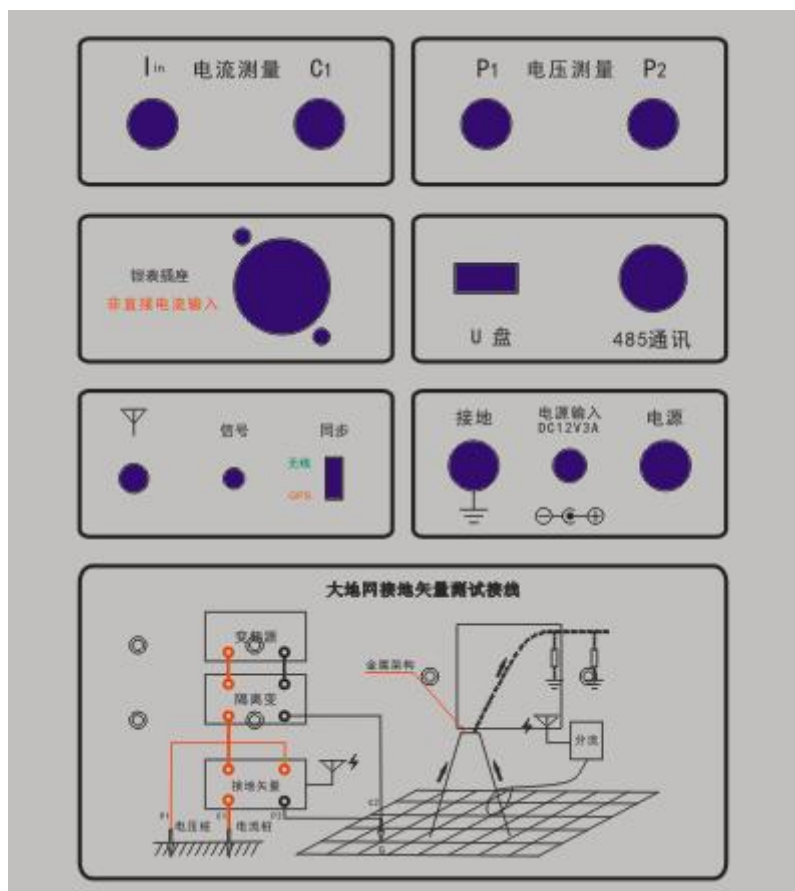


图 3-3 隔离变压器面板图

3.3 CT5202C+ 大地网接地矢量



3.3.1 阻抗测量

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 1~50A。
3. 接地：测量接地。
4. 电源:12V3A 电源适配器。

3.3.2 分流向量

1. 电流测量：电流直接测量输入端(无其它测量方式)，电流测量范围为 1~50A。
2. 接地：测量接地。
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，必须远离大地网接地矢量（不小于 5 米），线圈电磁场，造成测量数据不稳。若天线无

法远离，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，由大地网接地矢量（电流采集无线通讯仪）控制。

7. 接地：测量接地。

8. 电源：12V3A 电源适配器。

四、测量接线

使用大地网接地矢量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。

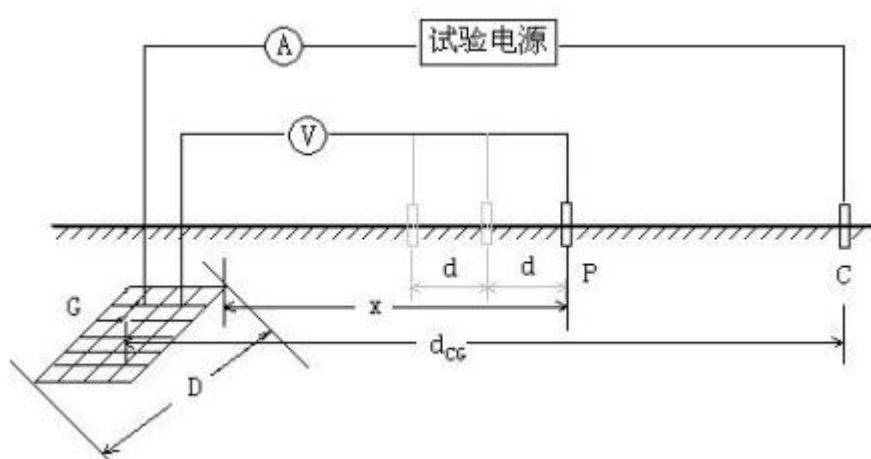


图 4-1 电位降法测试接地阻抗示意图

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；
dCG: 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。

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° 左右，可以更大，但一般不宜小于 30° ，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。

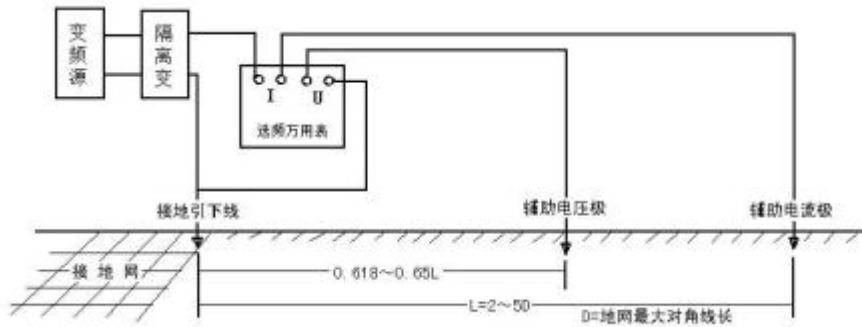


图 4-2 直线法接线示意图

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} ， θ 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 θ 约为 30° ， $d_{CG}=d_{PG}=2D$ ，接地阻抗的修正计算公式仍为公式（6）。

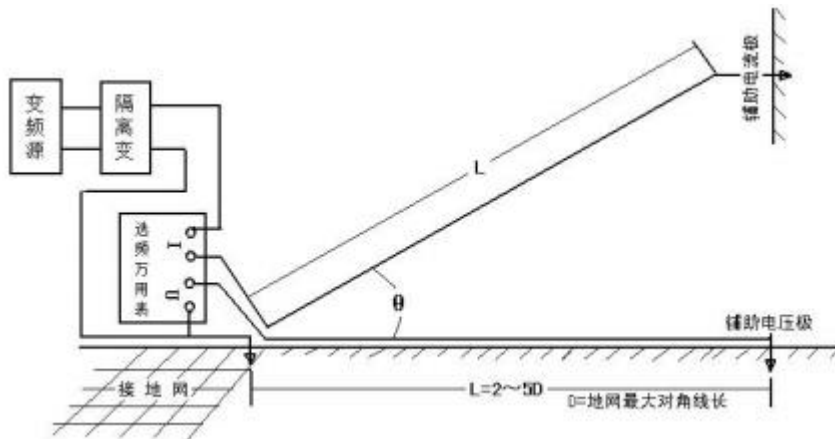


图 4-3 夹角法接线示意图

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

式中：

- PG d : 电位极与被试接地装置边缘的距离；
- CG d : 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；

- θ : 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（ PGd 、 CGd 、 D 、 θ ）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 2~5 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。

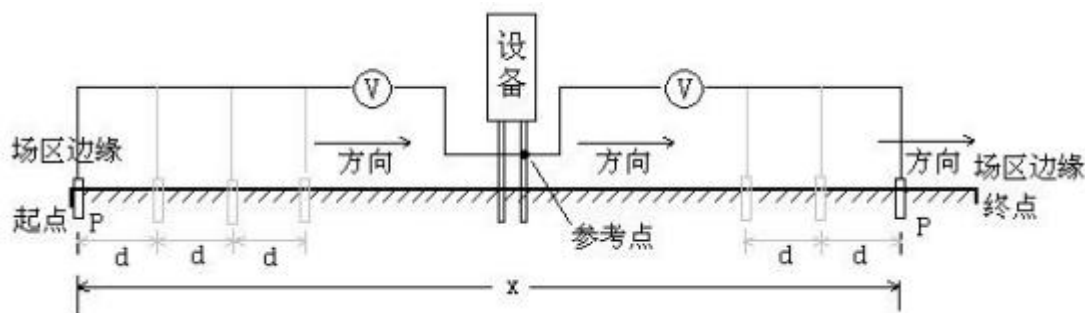
4.3 场区地表电位梯度分布测量

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

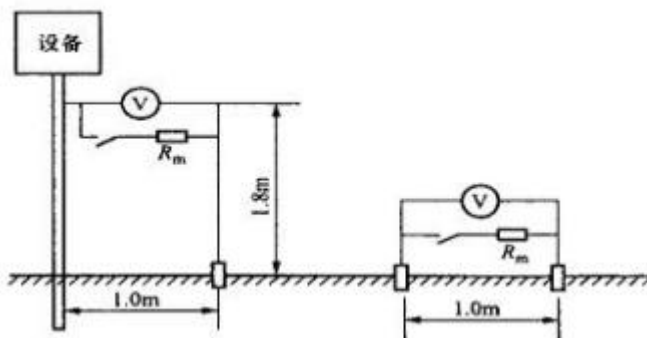


图 4-5 跨步电位差、跨步电压、接触电位、接触电压测试示意图

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

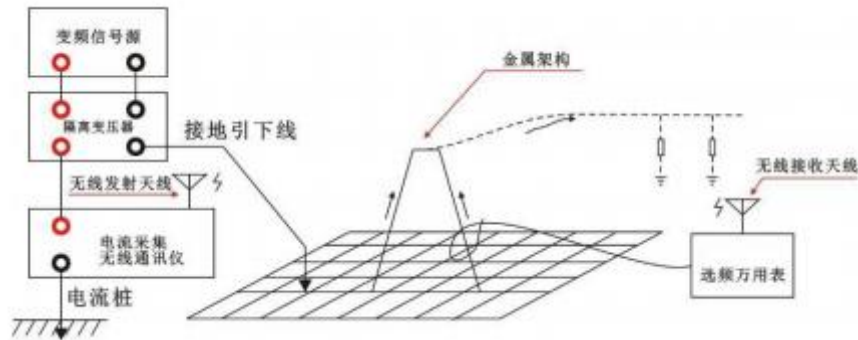


图 4-6 分流向量测试接线示意图

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 $I \sum \angle \theta \Sigma = I_1 \angle \theta_1 + I_2 \angle \theta_2 + \dots + I_n \angle \theta_n$ ，地网实际散流向量 $I_G \angle \theta_G = I \angle 0^\circ + I \sum \angle \theta \Sigma$ ，地网分流系数

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

K 为：

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。

4.6 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。

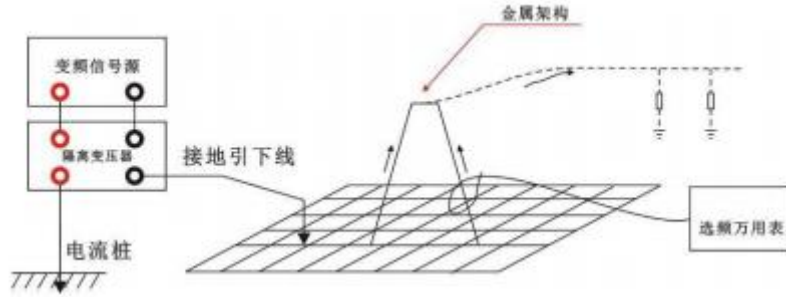


图 4-7 分流有效值测试接线示意图

4.7 接地桩电阻的测量

4.7.1 电流桩电阻的测量

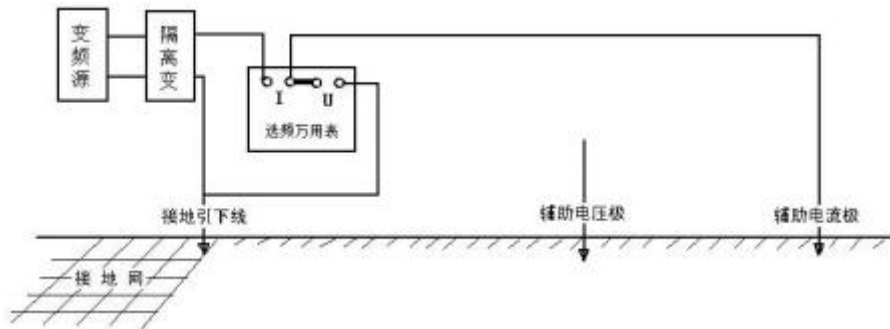


图 4-8 电流桩电阻测试示意图

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。

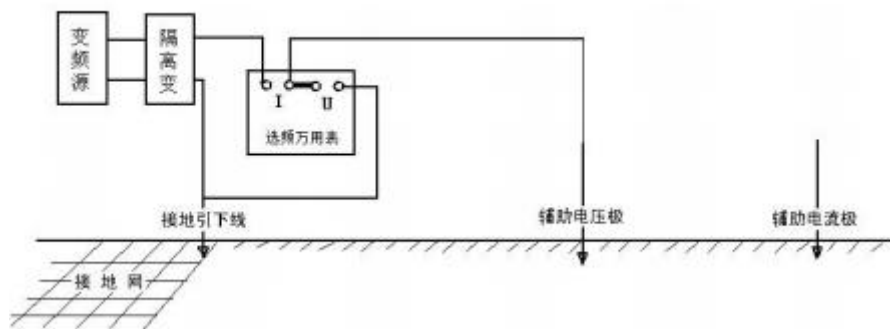


图 4-9 电压桩电阻测试示意图

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。

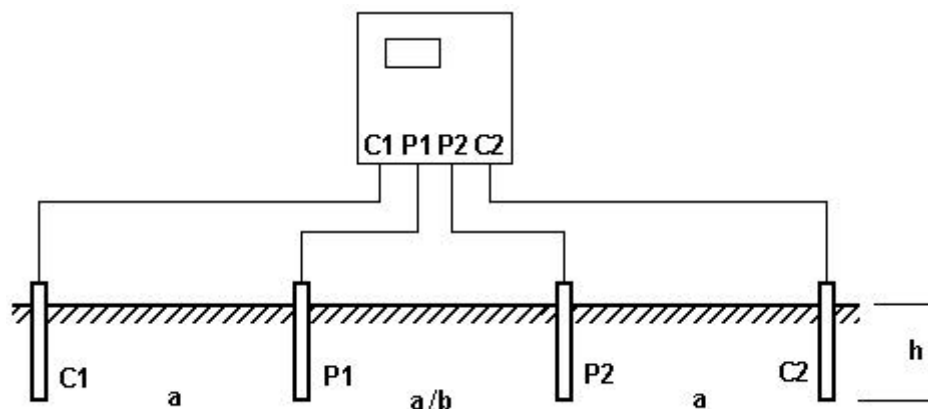


图 4-10 四极等距法测土壤电阻率参考接线图

1) 四极等距法(Wenner 法)

两电极之间的距离 a 应不小于电极埋设深度 h 的 20 倍，即 $a > 20h$ 。 a 可取 5, 10, 20, 30, 40m 等等，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 ρ ：

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

2) 四极非等距法 (Schlumberger-Palmer 法)

当电极距离很大时，P1、P2 的电压很低。此时可以增大电压桩距离 b ，当打桩深度可以忽略时，电阻率按下式计算： $\rho = \pi aR (a+b) / b$

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 PG d、CG d、D、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 PG d、CG d、D、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 $50\text{Hz} \pm N$ 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 45Hz/55Hz、48Hz/52Hz, 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 Rm 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（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，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： $\sum \dot{i}$ ， I_m 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。