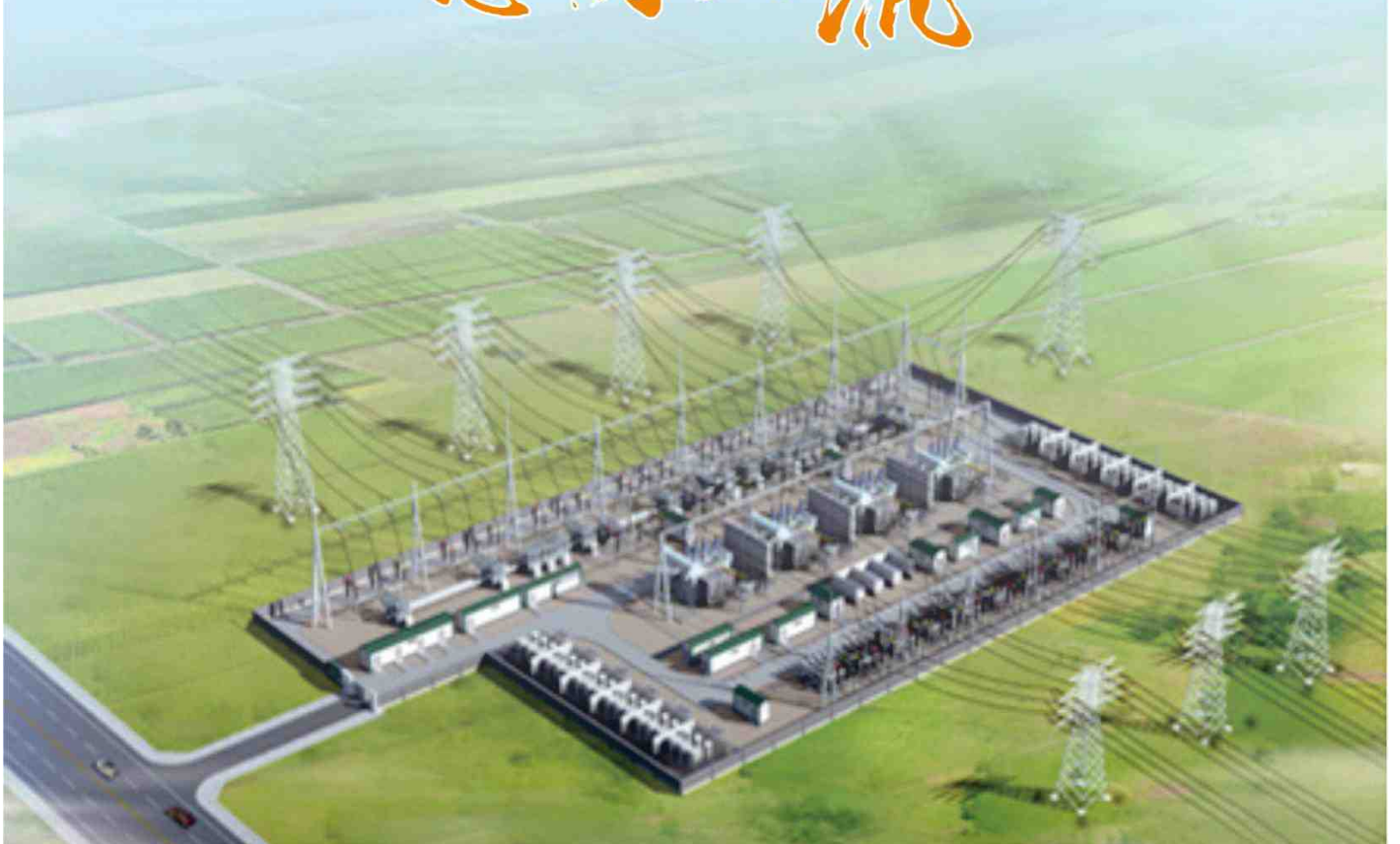




杭州高电科技有限公司  
HANGZHOU HIGH VOLTAGE TECHNOLOGY CO.,LTD

# CT5250 系列 大电流地网接地特性分流测试系统

地网分流



## 前 言

根据新版DL/T 475-2017《接地装置特性参数测量导则》、DL/T 845.2-2020《电阻测量装置通用技术条件第2部分工频接地电阻测试仪电力标准标准》进行设计，B类用途，用于测量接地装置特性参数。

大电流地网接地特性分流测试系统是测量变电站接地装置特性参数的专用仪器。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。系统主要包含阻抗、电压、电流以及分流向量相互独立的测量模块，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。

**专业高试铸典范**

Professional high voltage test

## CT5250大电流地网接地特性分流测试系统

系统主要用于指定频率下的电压、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。

### 功能特点

- 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、跨步电压、接触电势、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。
- 频率范围40~70Hz整数频点步进变频，45/55Hz、47/53Hz、49/51Hz等多频率变频测量，具备手动、自动操作模式，可实现定频连续、恒流自动双变频模式输出并自动保存。
- 兼容直接测量、罗氏线圈和钳形电流表三种测量方式，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。
- 支持GPS+北斗/无线同步精确测量方式，外置大功率发射天线，在封闭、地下室等GPS信号弱的场景下仍能通过无线同步进行可靠测量。
- 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，抗干扰能力强，且具有省级以上第三方出具的抗干扰信号幅值检测报告。
- 手持表搭载4.1寸以上全彩液晶触摸屏，内置锂电池，可进行长时间户外测试，具有U盘和RS232接口，支持内部存储和U盘数据转存，可选配微型打印机。
- 手持式选频电压表，可测跨步电位差、接触电位差和地表电位梯度，数据结果自动折算，历史记录可选择显示不同测试命名多条电位梯度折线图。
- 手持式分流矢量测试仪，可测分流电流及向量，频率自动跟随识别，多台同类表计可同时测量，可实现表间数据通讯进行汇总计算。
- 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。
- 配备户外放线定位系统APP，GPS自动定位，实时计算放线距离和放线夹角。
- 可选配阻抗、电压、电流与分流向量测量功能一体集成的选频电压分流表，配合电流采集无线通讯仪使用，可搭配任意地网测试主机进行分流向量测试。
- 可选配推车式、分体式、大功率柜式等系统组合，以及手持、便携等多样化配置方案，满足不同现场测试需求。

## 系统选型

✓ 标配 + 可选配

名称	配置	便携式	推车式(车载式)	柜体式
	CT5210大功率变频信号源		✓	
CTGL10H隔离变压器		✓	✓	✓
CT5202C+大地网接地矢量测试装置		✓		✓
CT5202C电流采集无线通讯仪		+	+	+
CT5202B分流矢量测试仪		✓	✓	✓
CT5202F选频电压表		✓	✓	✓
CT5202A选频电压分流表		+	+	+
功能特点		分体式设计 组合搬运灵活	车载模块清晰 推车内置集控	源/隔离变一体 可定制大容量

## 配置功能表

✓ 标配 - 无

设备名称	款型	接地 阻抗	电流 通讯	跨步 电压	分流 矢量	特点
CT5210大功率变频信号源	台式	✓	-	-	-	多档位电压电流可选 恒流自动双变频测试
CTGL10H隔离变压器	台式					
CT5202C+接地矢量测试装置	手持 or 内置		✓	-	-	阻抗、电流采集发射一体 推车式内置集成
CT5202C电流采集无线通讯仪	手持	-	✓	-	-	主电流采集发射功能
CT5202B分流矢量测试仪	手持	-	-	-	✓	主测分流，同类表间通讯
CT5202F选频电压表	手持	-	-	✓	-	主测跨步电压、接触电势 电位梯度，折线图展示
CT5202A选频电压分流表	台式	✓	-	✓	✓	阻抗、分流、跨步三合一

## 系统图片

### CT5250 大电流地网接地特性分流测试系统



## 系统技术指标

工作电源	三相交流380V或单相交流220V（接A、C端口），±10%，50Hz
试验频率	40~70Hz，步进1Hz，45/55Hz、55/65Hz、47/53Hz、49/51Hz自动双变频测量
测量模式	手动、自动操作，支持定频连续、恒流变频输出模式
同步方式	支持GPS+北斗/无线同步方式，在地下室等GPS信号弱的场景下仍能可靠测量
传输距离	空间内无遮挡≥3公里
阻抗测量范围	0~200Ω，分辨率1mΩ，准确度±（读数×1%±1mΩ）
最大输出功率	10kVA（支持大容量定制）
电压输出范围	0~800V，0~200V/50A、0~400V/25A或0~800V/12.5A，三档旋钮切换
电流输出范围	0~50A（输出电压及电流可根据功率定制）
连续工作时间	满载电流15Min，50%满载电流60Min
抗干扰能力	优于1000倍信号幅值抗干扰
数据存储	RS232、U盘和内部存储（内部可存储百组以上测量数据）
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
电池供电	手持表计内置锂电池供电，12V3A电源适配器
工作环境	温度-10~50℃，湿度<90%RH

## 系统分项技术指标



### 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) 频率调节范围：40~70Hz
- 6) 频率步进：1Hz
- 7) 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。
- 8) 测量模式：手动、自动操作，支持定频连续、恒流变频输出模式



### CTGL10H 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



### CT5202C+ 大地网接地矢量测试装置



- 1) 电源供电: 12V3A电源适配器
- 2) 频率范围: 40~70Hz, 步进: 1Hz
- 4) 测量范围: 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,
- 5) 分流向量: 分流频率范围: 45~65Hz  
电流幅值: AC 0~50A, 准确度: 钳表: ±2%×读数±2mA;  
罗氏线圈: ±10%×读数±2mA;  
角度范围: 180.0° ~ -180.0° 准确度: 5°, 分辨率1°
- 6) 测量模式: 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。
- 7) 抗干扰能力: 优于1000倍信号幅值
- 8) 电流通讯: 内置电流采集无线通讯装置, 可与分流矢量测试仪同步
- 9) 工作环境: 温度-10~50℃, 相对湿度<90%



(选配)

### CT5202C 电源采集无线通讯仪



- 1) 电源供电: 内置大容量锂电池供电, 连续工作时间≥8h
- 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: ±0.5%读数±0.5mA
- 5) 支持GPS+北斗/无线信号两种同步模式
- 6) 抗干扰能力: 优于1000倍信号幅值

## CT5202F 选频电压表



- 1) 可测量跨步电位差、接触电位差和地表电位梯度。
- 2) 测试结果公式自动换算电压测试结果自动折算，无须任何手工计算。
- 3) 历史记录支持选择显示不同测试命名多条电位梯度折线图。
- 4) 内置不掉电存储器，支持10000条数据存储，长期保存并随时查看。
- 5) 可外接微型打印机，连接即可打印，小巧便捷，不影响单独测试使用。
- 6) 彩色触摸液晶屏显示，全中文汉字菜单提示，操作直观方便。
- 7) 具有不掉电日历、时钟、背光等调节功能。
- 8) 支持U盘导出功能，方便数据转存及PC电脑读取。
- 9) 电压测量范围：AC1mV~800V
- 10) 频率测量范围：40~70Hz
- 11) 测量精度：±0.1%±3字
- 12) 测量功能：跨步电压、接触电势、电位梯度
- 13) 分辨率：0.001mV
- 14) 环境温度：-10℃~40℃
- 15) 相对湿度：当温度为25℃时，不大于90%(无凝露)
- 16) 充电电源：DC16.8V，1A
- 17) 外形尺寸：铝箱187×180×70mm
- 18) 仪器重量：铝箱2.5kg(不包括测试线)

## 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。



## CT5202B 分流矢量测试仪



- 1) 彩色3.5英寸触摸液晶屏显示，全中文汉字菜单提示，操作方便。
- 2) 内置锂电池，支持户外长时间测量。
- 3) 兼容罗氏线圈和钳形电流卡钳连接，测试频率自动跟随识别。
- 4) 可测量试验电流、分流电流、角度、测试频率等数据。
- 5) 具有GPS+北斗/无线信号两种模式同步精确测量。
- 6) 历史数据自由选取有效条目参与分流系数计算，无需人工计算。
- 7) 2台表计可同时分开测试，表间可通讯数据并进行分开或汇总计算。
- 8) 支持U盘导出，多台设备间可进行数据传输，方便合并计算。
- 9) 可外接微型打印机，连接即可打印，小巧便捷，不影响单独测试使用
- 10) 电源供电：内置大容量锂电池供电，连续工作时间 $\geq 8h$
- 11) 测量功能：试验电流、分流向量及分流系数计算
- 12) 频率范围：40~70Hz（分流向量频率范围：45~65Hz）
- 13) 频率步进：1Hz
- 14) 电流范围：AC1~50A/100A，准确度： $\pm 1.0\%$ 读数 $\pm 0.5mA$ ，
- 18) 分流向量电流幅值：AC10mA~20A，准确度：钳表： $\pm 2\% \times$ 读数 $\pm 2mA$ ；
- 16) 罗氏线圈： $\pm 10\% \times$ 读数 $\pm 2mA$ ；
- 17) 角度范围： $180.0^\circ \sim -180.0^\circ$  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。
- 18) 测试模式：兼容罗氏线圈以及钳形电流钳方式自动识别。
- 19) 抗干扰能力：优于1000倍信号幅值
- 20) 数据计算：分流数据可自动计算，也可手动选取有效数据参与计算
- 21) 数据存储：U盘和内部存储（单台内部可存储250组测量数据）
- 22) 通讯接口：标准RS-232接口/USB接口
- 23) 打印机：可外接微型打印机
- 24) 工作环境：温度 $-10 \sim 50^\circ C$ ，相对湿度 $< 90\%$
- 25) 充电电源：DC16.8V，1A
- 26) 外形尺寸：铝箱 $215 \times 175 \times 70mm$
- 27) 仪器重量：铝箱2.5kg（不包括测试线）



(选配)

## 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

- 5) 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° ~ -180.0°

准确度：5°，分辨率1°

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。

- 6) 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
- 7) 抗干扰能力：优于1000倍信号幅值
- 8) 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
- 9) 数据存储：U盘和内部存储（内部可存储100组测量数据）
- 10) 通讯接口：标准RS-232接口/USB接口
- 11) 显示屏：1024 $\times$ 600点阵触摸屏
- 12) 打印机：热敏打印机
- 13) 工作环境：温度-10~50 $^{\circ}$ C，相对湿度 $< 90\%$
- 14) 尺寸：365 $\times$ 269 $\times$ 169 mm

## 其他测试附件



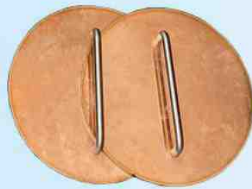
接地极



测试线包



电压电流线(按需选配)



接地铜盘



力锤



大功率天线



钳形电流表



罗氏线圈

**【全国首家推出阻抗+分流推车式设计】**  
集变频源、隔离变、电流无线采集于一体  
可配手持分流、选频表，测试更灵便



**CT5250T**  
地网接地特性分流测试车

## 技术及检测支持



中国电力科学研究院(武高所)  
检测报告



国家高电压计量站校准证书



专利证书

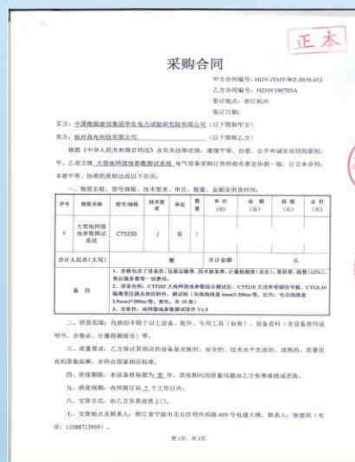


软著证书

## 重点销售业绩展示



杭州意能电力技术



中国能建华东电力研究院



其他省市展示

## 大型地网接地参数测试案例

变电站的接地网是保证电力系统安全运行、保障运行人员安全的重要措施之一，它为变电站内各种电气设备提供公共参考地、系统接地故障时快速泄放故障电流以及改善变电站电位分布。随着电网的进一步建设和改造，接地网的安全问题也越来越突出，开展变电站接地网状态评估的必要性随之而来。

大型电厂以及变电站接地网状态评估工作主要是结合现场测试和理论计算，准确给出接地网的接地阻抗、接触电压、跨步电压、地网金属导体腐蚀情况等现时状态配合测试、校验核算、开挖性等工作，通过以上实测和计算相结合的方法分析接地网的安全性。



### ⚡ 相关参考规程

GB/T 50065-2011	《交流电气装置的接地设计规范》
DL/T 1680-2016	《大型接地网状态评估技术导则》
DL/T 475-2017	《接地装置特性参数测量导则》
DL/T 1532-2016	《接地网腐蚀诊断技术导则》
DL/T 1554-2016	《接地网土壤腐蚀性评价导则》
Q/GDW 278-2009	《1000kV 变电站接地技术规范》
DL/T 741	《架空输电线路运行规程》
DL/T 887-2004	《杆塔工频接地电阻测量》
DL/T 596-2021	《电力设备预防性试验规程》
GB 50150-2016	《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》
GB 50169-2016	《电气装置安装工程接地装置施工及验收规范》
DL/T 253-2012	《直流接地极接地电阻、地电位分布、跨步电压和分流的测量方法》
GB/T 17949.1-2000	《接地系统的土壤电阻率、接地阻抗和地面点位测量导则 第一部分:常量测量》
DL/T 845.2-2020	《电阻测量装置通用技术条件 第2部分工频接地电阻测试仪电力标准标准》

## 工程简介

对某地市一所500kV变电站进行接地网开挖及检测，通过开挖抽查等手段确定接地网的腐蚀情况，并通过开展接地网接地阻抗、接触电势、跨步电压、分流向量测量、接地网引下线导通检测、接地网导体热稳定校核等试验工作，评估接地网状态。



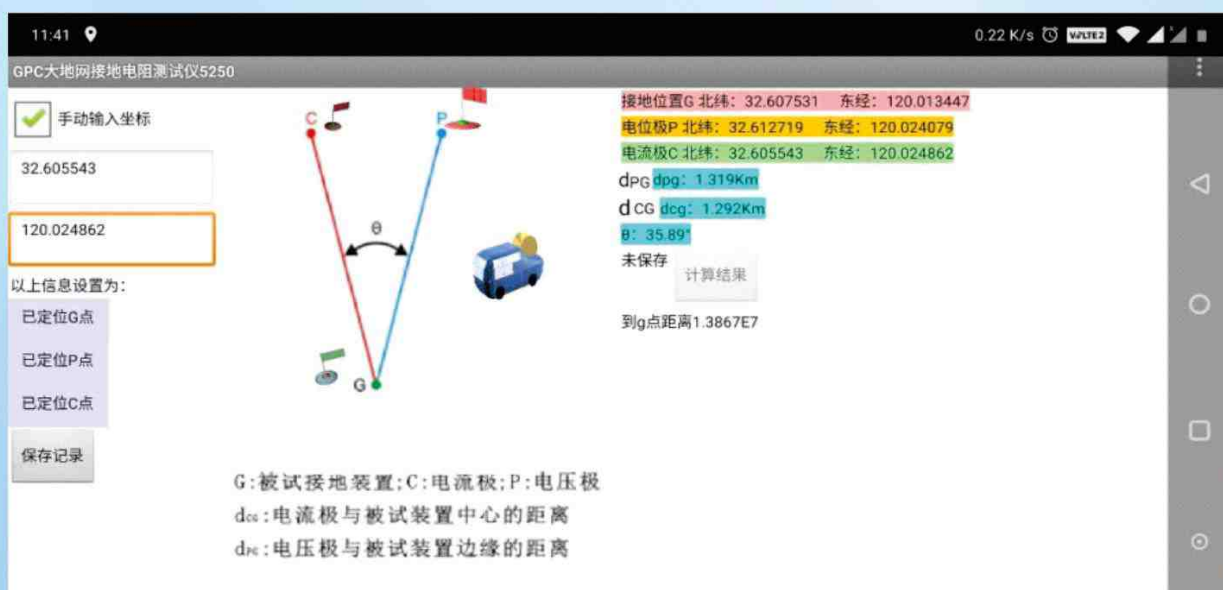
该500kV变电站，地址位于县道边，地处火车站东南方向10公里，周围无大型建筑，主要围绕农田及少量民居住宅。其站点建于2008年7月28日，于2009年5月27日启动投运，于2010年12月开展过主变扩建工作。



变电站长约410m，最大处宽约190m，占地约117亩，主控楼面积仅为1179平方米，其最大对角线长约440m。根据实际勘察，站内现有500kV、220kV、35kV的电压等级场域，主接地网呈现长方形状，据了解，前期未进行过地网接地阻抗、分流等测试，未能得到历史数据。

## ⚡ 接地阻抗测量

根据变电站主地网现场地形情况和试验条件，选择夹角法进行本次测量。现场使用GPS定位测量，接地网的最大对角线D约为440m，实测电流极距地网边缘dCG约为1292m $\approx$ 2.936D，电压极距地网边缘dPG约为1319m $\approx$ 2.997D，电压极对地网连线与电流对地网连线角度约为35.89°。测量导线采用6mm<sup>2</sup>的电流和2.5mm<sup>2</sup>的电压单芯多股胶质导线。



接地阻抗测试时，在保证安全的前提下，应尽可能的加大测试电流，以提高信噪比。以异频电流法为例，在测试之前应测试干扰电压大小，同时根据仪器的抗干扰性能，保证产生足够大的异频电流、电压，使之落在仪器能保证测试精度的信噪比范围内。

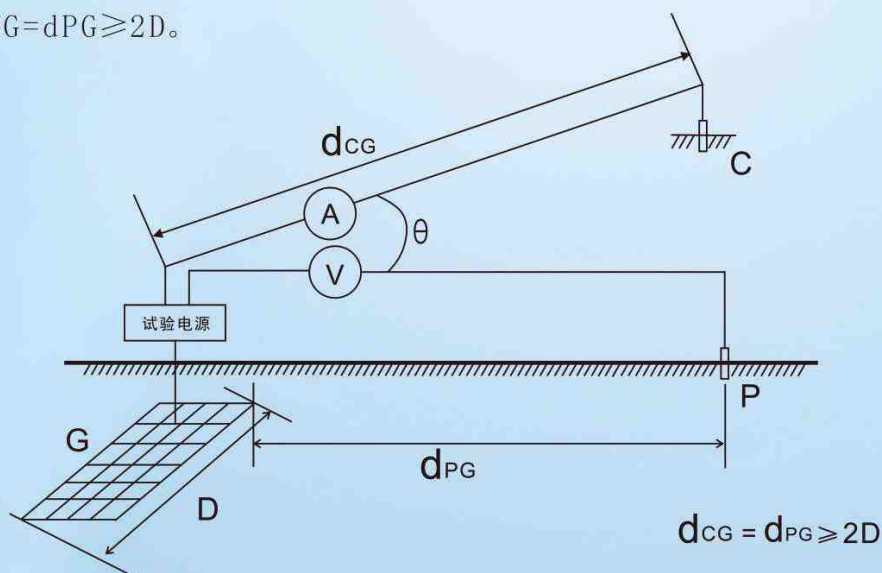
对于干扰较强的场合，应在不同的电流、频率下多次测试，观察结果的重复性、稳定性，可直观判断结果的可信性。数据不重复，结果必然不准确。



为了提高测量的准确性，在用变频法测量时，注入地网电流应尽可能大，但控制最大电流有效值不超过50A。外施临时电流极接地阻抗不大于 $8\ \Omega$ ，外施临时电压极接地阻抗不大于 $100\ \Omega$ 。

30° 夹角法：

如果土壤电阻率均匀，可采用dCG和dPG相等的等腰三角形布线，此时使 $\theta$ 约为 $30^\circ$ ， $d_{CG}=d_{PG}\geq 2D$ 。



C—电流极；

P—电位极；

G—被测接地装置；

D—被试地网最大对角线长度；

$d_{CG}$ —电流极与被试接地装置中心的距离；

$d_{PG}$ —电位极与被试接地装置边缘的距离；

$\theta$ —电流线和电压线的夹角；

## 接地阻抗测试报告

接地网名称		500kV变电站		
地网最大对角线长度 (m)		440		
电流极与接地网直线距离 (m)		1319		
电流极与地网边缘直线距离 (m)		1200		
电压极与接地网直线距离 (m)		1292		
电压极与地网边缘直线距离 (m)		1050		
电流线与电压线夹角 (°)		35.89		
电流注入点	频率 (Hz)	电流(A)	电压 (mV)	接地阻抗值 (mΩ)
1号主变A引下线	45	10.47	284.7	27.19
	55	10.56	300.8	28.99
1号主变B引下线	45	10.50	296.9	28.27
	55	10.49	309.7	29.51
1号主变C引下线	45	10.50	283.6	26.99
	55	10.49	295.5	28.17
换算50Hz均值				<b>28.19</b>
2号主变A引下线	45	10.27	315.1	30.65
	55	10.26	328.8	32.05
2号主变B引下线	45	10.10	309.5	30.62
	55	10.07	322.5	32.00
2号主变C引下线	45	10.71	324.6	30.29
	55	10.69	342.7	32.04
换算50Hz均值				<b>31.28</b>
3号主变A引下线	45	10.81	333.4	30.83
	55	10.76	355.7	33.04
3号主变B引下线	45	10.80	333.3	30.86
	55	10.73	355.3	33.09
3号主变C引下线	45	10.72	327.9	30.58
	55	10.70	352.6	32.94
换算50Hz均值				<b>31.89</b>
天气	晴	温湿度	28.4℃、35%RH	
试验日期	2019.6.22	试验人员	姚正为、蒋君剑	

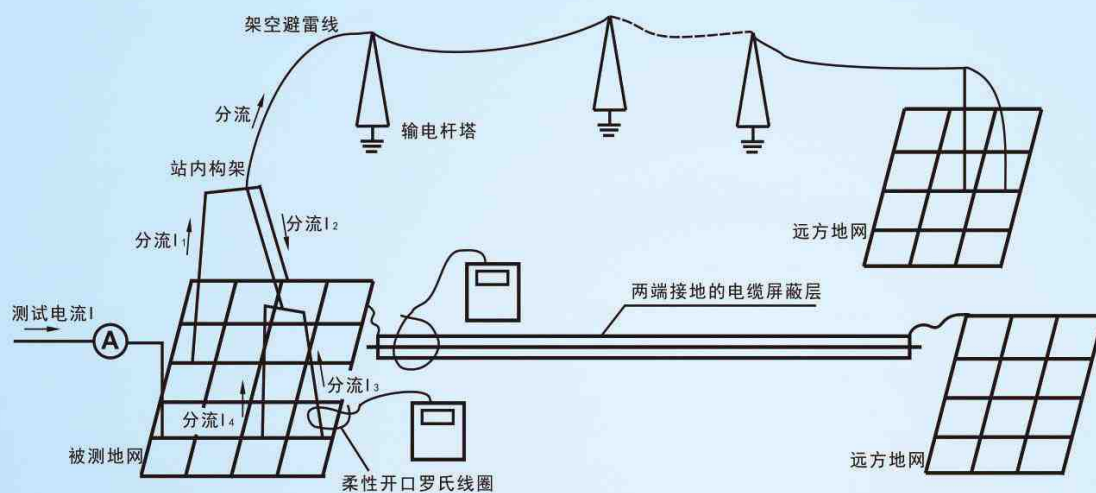
综合以上分析,在出线构架上待着避雷线和OPGW光纤地线的运行状态下,按照DL/T475-2017导则要求,采用夹角法测量的500kV变电站地网接地阻抗值为30.45 mΩ。由于采用夹角法测量,可将电压电流极兑换对测试结果验证。

通过测量数据发现,兑换电流电压极后的测试数据与兑换前基本一致,并且在不同测试电流大小下,测试结果一致,可判断测试结果真是可信。

## 分流测量

接地阻抗测试结束后，可以收电位线，其它的分流、场区地表电位梯度分布、跨步电位差、接触电位差等测试继续进行。

对于有架空避雷线和金属屏蔽两端接地的电缆出现的变电站，线路杆塔接地装置和远方地网对试验电流 $I$ 进行了分流，对接地装置接地阻抗的测试造成很大影响，因此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

分流的向量和为：

$$I_{\Sigma} \angle \theta_{\Sigma} = I_1 \angle \theta_1 + I_2 \angle \theta_2 + \dots + I_n \angle \theta_n$$

地网实际散流向量为：

$$I_G \angle \theta_G = I \angle 0^\circ + I_{\Sigma} \angle \theta_{\Sigma}$$

地网分流系数 $K$ 为：

$$K = \frac{I_G}{I} \times 100\%$$

一般采用具有向量测试功能的柔性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。由于变电站内的接地装置、金属构架、避雷线、杆塔接地装置及远方地网构成了一个复杂的电阻电感网络，所以分流在各构架的大小及相角都不一样，如果仅仅测量分流大小求代数和，往往造成严重误差，甚至出现分流之和大于总测试电流的逻辑错误。

影响分流测试准确性的最大因素是金属构架中往往存在较大的工频干扰电流，很多现场可达数十安，而典型的分流大小为 $10\text{mA} \sim 2\text{A}$ ，这导致分流测试时信噪比往往很小。

以异频电流法为例，用分流测试设备选频50Hz可测试出工频干扰电流大小，选择相应的异频频率则可测出异频分流大小。注意观察异频和工频电流的比值是否在仪器能保证测试精度的信噪比范围内，否则应设法加大测试电流提高信噪比，或选用抗干扰性能更强的仪器。

可从以下方面现场判断分流测量数据的有效性：

- a) 某一处的分流大小应与仪器输出的测试电流大小成正比，相位不随电流大小变化；
- b) 测试电流大小不变，在相邻的测试频率下(如47Hz、48Hz)，某一处的分流大小及相角应接近；
- c) 将罗氏线圈正向及反向缠绕构架，观察两次相位是否相差  $180^\circ$ 。

#### 分流向量测试报告

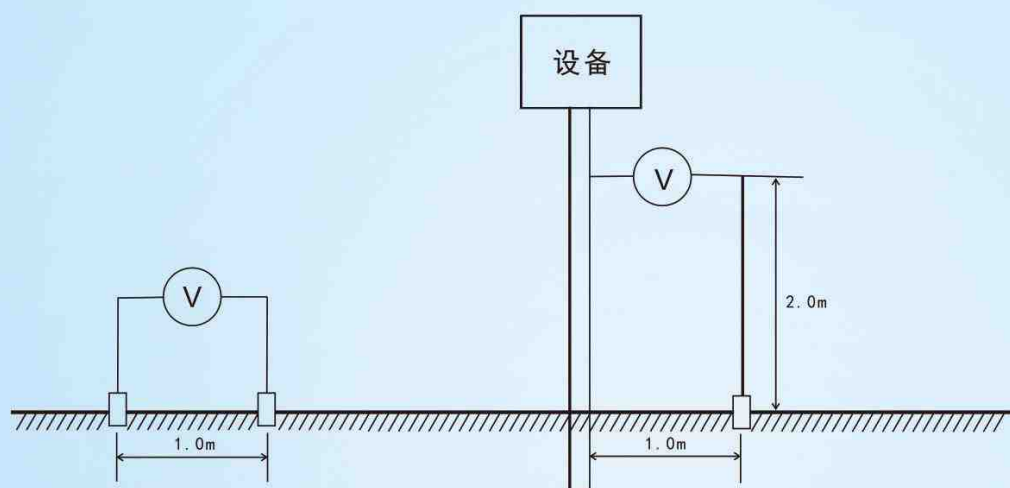
序号	分流大小 (mA)	分流角度 ( $^\circ$ )	测试电流 (A)
1	288.3	-157.73	10.89
2	258.91	-164.06	10.88
3	164.48	-162.23	10.85
.....	.....	.....	.....
78	148.2	-176.38	10.77
79	108.9	-159.28	10.76
80	78.22	-162.96	10.74
81	94.43	-18.72	10.76
82	264.68	-195.49	10.72
83	137.16	-158.46	10.74
84	144.33	-158.78	10.74
85	102.7	-175.39	10.73
$I \Sigma \angle \theta \Sigma = I_1 \angle \theta_1 + I_2 \angle \theta_2 + \dots + I_n \angle \theta_n$			3001mA $\angle$ 15.06 $^\circ$
仪器输出的测试电流 $I \angle 0^\circ$			10.77A $\angle$ 0 $^\circ$
地网实际散流向量 $I_G \angle \theta_G = I \angle 0^\circ + I \Sigma \angle \theta \Sigma$			7910mA $\angle$ 174.32 $^\circ$
地网分流系数 $K = I_G / I \times 100\%$			73.37%

综合以上分析，地网剔除分流后接地阻抗为：

$$30.45\text{m}\Omega / (73.37\%) = 41.5\text{ m}\Omega$$

## 接触电势、跨步电压测量

在变电站中工作人员经常活动的区域测量跨步电压，实验原理图如下。电流注入点取接地短路电流可能流入接地网的地方注入，将两根 $\Phi 20$ 圆钢电压测量极按1.0m间距打入地下0.5m，并保证钢钎紧密插入土壤，高内阻电压表的两端分别接至两根测量极上。加测量电流 $I$ ，读取电压表指示值可测出通过主接地网电流 $I$ 对应的跨步电压 $U_s$ 。



跨步电位差的重点测试部位，在馈电电缆与接地极的连接处上方地面附近、低洼处、沟渠附近和局部土壤电阻率突变的地方。接触电位差的重点测试部位，选择在操作开关手柄和其他人可触及的部位。

最大跨步电位差测试时，选择一个测量点，放置一个不极化电极，以该点为圆心，在半径1.0m的圆弧上用另一个不极化电极探测，选取3个~4个不同方向测试，找出电位差最大的点。

最大接触电位差测试是以被测设备为圆心，在半径1.0m的圆弧上，选取3个~4个不同方向测试点，找出接触电位差最大值。

在进行接地阻抗测量的同时，对接地阻抗测试点附近进行了跨步电压、接触电势测量，测试结果按照设计时最大故障入地电流这算，当系统设计远景不明确时，500kV设备场区的总故障电流可选63kA；500kV站220kV设备场区的可选50kA，220kV枢纽站的220kV设备场区选50kA，一般的220kV站的220kV设备场区选40kA；110kV站可选25kA。

保持异频测试电流恒定，现场所能测得的场区跨步电压、触电势一般都为mV级的弱电压，由于现场往往存在着较强的干扰，导致准确测试较为困难。当干扰较强或对测试结果有怀疑时，应在不同的测试电流下多次测试，观察数据是否与测试电流大小成良好的线性关系。

如在水泥地面上测量，需在测量点放置两块包裹湿抹布、半径约为10cm的圆盘电极，并在每块圆盘上加不小于40kg的重量。跨步电压与通过地网流入土壤中的电流值成正比。实测的跨步电压尚需经按接地网流入地中的最大短路电流 $I_{max}$ 换算。

换算公式为：
$$U_{max} = \frac{U_s \times I_{max}}{I}$$

式中： $U_{max}$ —跨步电压换算最大值； $U_s$ —跨步电压测量值；  
 $I_{max}$ —最大入地短路电流； $I$ —实测入地电流值；



### 接触电势测试报告

接触电势测试数据（仪器输出测试电流为45Hz、10.77A）

序号	测试点 水平距离(m)	测试点 垂直距离(m)	测量值(mV)	换算值(V)
1	0.5	1.8	2.012	11.65
2	0.5	1.8	1.569	9.09
3	0.5	1.8	1.457	8.44
4	0.5	1.8	2.021	11.70
5	0.5	1.5	5.009	29.00
6	1	1.5	1.988	11.51
.....	.....	.....	.....	.....
39	0.5	1.5	3.361	19.46
40	0.5	1.8	1.291	7.48
41	1	1.5	1.175	6.80
42	1	1.5	3.32	19.22
43	0.5	1.8	2.147	12.43
44	0.5	1.8	4.11	23.80
平均值			/	12.58 V
最大值			5.636 mV	32.63 V



## 跨步电压测试报告

## 跨步电压测试数据 (仪器输出测试电流为45Hz、10.77A)

序号	测试点	测量值(mV)	换算值(V)
1	水泥地面	1.132	6.55
2	水泥地面	1.077	6.24
3	水泥地面	2.096	12.14
4	水泥地面	1.225	7.09
5	水泥地面	1.127	6.53
6	水泥地面	0.913	5.29
.....	.....	.....	.....
50	水泥地面	0.891	5.16
51	水泥地面	3.742	21.67
52	水泥地面	1.634	9.46
53	水泥地面	2.733	15.83
54	水泥地面	2.564	14.85
55	水泥地面	1.75	10.13
56	水泥地面	1.562	9.04
平均值		/	12.12 V
最大值		7.126 mV	41.26 V

一般情况下，各电压等级场域的设计最大入地电流KA值进行的折算，所得数据根据标准规定，应还需根据变电站提供真实的设计值进行折算后对比，判断是否符合标准。根据DL/T475《接地装置特性参数测量导则》中的要求，跨步电位差一般不宜大于80V；一个设备的接触电位差不宜明显大于其他设备，一般不宜超过85V。

从以上数据分析，500kV变电站各部分典型实测的跨步电压换算值最大为41.26 V，接触电压换算值最大为：32.63 V。均小于允许的安全限值。

## ⚡ 接地网电气完整性测试

首先选定一个很可能与主地网连接良好的设备的接地引下线为参考点，再测试周围电气设备接地部分与参考点之间的直流电阻。如果开始即有很多设备测试结果不良，宜考虑更换参考点。

电气完整性测试的范围如下：各个电压等级的场区之间；各高压和低压设备，包括构架、分线箱、汇控箱、电源箱等之间；主控及内部各接地干线，场区内和附近的通讯及内部各接地干线之间；独立避雷针及微波塔与主地网之间；以及其它必要部分与主地网之间。

电厂的接地装置：除变电站内容同上，还应测试其他局部地网与主地网之间、厂房与主地网之间、各发电机单元与主地网之间、每个单元内部各重要设备及部分、避雷针、油库、水电厂的大坝，以及其他必要的部分与主地网之间。

换流站和直流接地极、风电升压站、光伏电站、储能电站、电气化铁路牵引站等，测试范围参照变电站。

测试中应注意减小接触电阻的影响。当发现测试值在 $50\text{m}\Omega$ 以上时，应反复测试验证。测试应选用专门仪器，仪器的分辨率不大于 $1\text{m}\Omega$ ，准确度不低于1.0级。



按下列要求对测试结果进行判断和处理：

- 1) 状况良好的设备测试值应在 $50\text{m}\Omega$ 以下；
- 2)  $50\text{m}\Omega \sim 200\text{m}\Omega$ 的设备状况尚可，宜在以后例行测试中重点关注，重要的设备宜在适当时候检查处理；
- 3)  $200\text{m}\Omega \sim 1\Omega$ 的设备状况不佳，对重要的设备应尽快检查处理，其它设备宜在适当时候检查处理；
- 4)  $1\Omega$ 以上的设备与主地网未连接，应尽快检查处理；
- 5) 独立避雷针的测试值应在 $500\text{m}\Omega$ 以上，否则视为没有独立；
- 6) 测试中相对值明显高于其它设备，而绝对值又不大的，按状况尚可对待。

## 接地网电气完整性测试报告(接地导通)

测试区域:		东侧 500kV 场域		测试值		状态
参考点:		500k 泰城线/4 号主变 5012 开关 B 相				
1	1 号主变 500kV 侧	压变 A/B/C	5.635	mΩ	良好	
		压变端子箱	10.67	mΩ	良好	
		避雷器 A/B/C	8.21	mΩ	良好	
2	2 号主变 500kV 侧	压变 A/B/C	4.362	mΩ	良好	
		压变端子箱	12.6	mΩ	良好	
		避雷器 A/B/C	5.224	mΩ	良好	
		5051617 接地闸刀 A/B/C	6.345	mΩ	良好	
		视频端子箱 (二)	15.2	mΩ	良好	
3	3 号主变 500kV 侧	压变 A/B/C	10.52	mΩ	良好	
		压变端子箱	2.14	Ω	不良	
		避雷器 A/B/C	8.567	mΩ	良好	
4	4 号主变 500kV 侧	压变 A/B/C	8.523	mΩ	良好	
		压变端子箱	16.45	mΩ	良好	
		避雷器 A/B/C	9.365	mΩ	良好	
5	5679 线	24 芯 OPGW 光缆接头盒	5.362	mΩ	良好	
		线路压变 A/B/C	5.93	mΩ	良好	
		线路压变端子箱	9.36	mΩ	良好	
		线路避雷器 A/B/C	7.281	mΩ	良好	
		流变端子箱	11.63	mΩ	良好	
...	...	...	...	...	...	
80	5011 线	5011 开关 A/B/C	4.239	mΩ	良好	
		5011 开关端子箱	11.64	mΩ	良好	
		5011 开关中控箱	5.285	mΩ	良好	
		5011 流变 A/B/C	4.121	mΩ	良好	
		50111 闸刀 A/B/C	11.30	mΩ	良好	
		50112 闸刀 A/B/C	5.872	mΩ	良好	
		501117 接地闸刀 A/B/C	3.229	mΩ	良好	
		501127 接地闸刀 A/B/C	3.449	mΩ	良好	
		501167 接地闸刀 A/B/C	4.785	mΩ	良好	
		500kV 设备区低压配电箱 (一)	2.391	mΩ	良好	

结论: (以500kV场域内设备为例)

以500kV/220kV /35V各等级区域内,根据测试结果显示,所有电气设备接地引下线的导通情况基本良好,但很多引下线扁铁地面裸露部分有少许绝缘漆脱落现象,其中发现问题的点位有:

3号主变500kV侧压变端子箱 测量值2.14Ω 呈现不导通状态  
建议及时连接整改,以保障设备与人身安全。

## 导体热稳定性校核

根据热稳定条件，接地引下线的最小截面应符合以下公式要求：

$$S_g \geq \frac{I_g}{c} \geq \sqrt{t_e}$$

式中：

$S_g$ —接地线的最小截面（ $\text{mm}^2$ ）；

$I_g$ —流过接地线的短路电流稳定值（A），根据系统5~10年发展规划，按系统最大运行方式确定；

$t_e$ —短路的等效持续时间（s），为严格起见，一般取一级后备保护（主保护失灵）动作的时限，500kV部分取0.35s，220kV和110kV部分取0.6s~0.7s；

$c$ —接地线材料的热稳定系数，根据材料的种类、性能及最高允许温度和短路前接地线的初始温度确定。

钢质材料取70，铜质材料取210。

序号	位置	宽度（mm）	厚度（mm）	截面积（ $\text{mm}^2$ ）
1	500kV5679线线路压变A	80	10	800
2	500kV3号主变5033流变B	80	10	800
3	500kV5K29线50231闸刀	78	10	780
4	220kV场地视频中继箱（一）	70	5.5	385
5	220kV2H46开关端子箱	79	10	790
6	220kV2H61开关A	79	10	790
7	2号所用变3021闸刀	80	10	800
8	4号主变4号电容器3441闸刀	80	10	800
9	2号主变3号低抗322开关	80	9.5	760
10	维护爬梯	80	10	800

结论：

500kV变电站的短路电流稳定值  $I_g = 63000 \times 73.37\% = 46223.1\text{A}$ ， $t_e = 0.35\text{s}$ ， $c = 70$ ，带入公式后计算可得： $S_g \geq 390.66\text{mm}^2$ 。

根据模拟最大入地故障电流的数值带入计算后的结果，与实际测量后不同扁铜尺寸的对比，发现测量大部分截面积实际大于计算值，设计值满足热稳定的要求。

## ⚡ 接地点开挖检查

点位:	3号主变 500kV 侧压变端子箱	编号	1
开挖前点位照		开挖后观测照	
			
状态分析	<p>接地电阻测试值 <math>2.14\Omega</math>，呈现不导通状态，存在问题。</p> <p>扁铁地面裸露部分有少许绝缘漆脱落现象，开挖部分未见明显的腐蚀，但根据测试值显示，地排与主地网连接存在问题，建议及时连接整改，以保障设备与人身安全。</p>		
点位:	3号主变 503227 接地闸刀 A	编号	2
开挖前点位照		开挖后观测照	
			
状态分析	<p>根据测试值显示，此处接地位置接地状态良好。</p> <p>扁铁地面裸露部分有少许绝缘漆脱落现象，开挖部分未见明显的腐蚀。建议可对该处及其他有绝缘漆脱落现象的地排一同进行定期维护。</p>		

## 经典案例集锦

### 浙北±800kV直流换流站地网阻抗及分流矢量测试

22年10月3日-4日，技术人员前往浙北±800kV特高压直流换流站，配合浙江省电科院杭州意能公司试进行整站接地装置特性测试。



白鹤滩—浙江±800kV特高压直流输电工程浙北换流站（简称“浙北换流站”）双极额定输送功率8000MW，额定电压±800kV。全站共24台换流变压器，另有4台备用换流变压器。



试验设备：大电流地网接地参数分流矢量测试系统（便携式）

试验项目：接地装置的电气完整性测试、接地阻抗测试、分流测试、场区地表电位梯度分布测试跨步电位差、接触电位差测试、接地装置的电气完整性测试。





## 浙江长龙山水电站大地网接地参数分流向量测试

20年12月1日，试验人员前往浙江长龙山500kV水电站，作为设备厂家协助电科院、意能电力专家、电站施工方等联合实施变电站进行接地装置特性参数测量试验。国内首例采用“100A大电流异频法”进行大地网接地装置特性参数测量。

【以500kV架空线路作为电流测量线】

【100A异频大电流测试】

【全新选频万用表】通过国内标准计量单位检测

该变电站主地网最长对角线长约4000m，且现场位于大山深处，环境复杂不利于放线作业。经实地勘察后确定利用500kV升压站架空线路来作为本次接地装置试验的电流测量线，电压线沿实际山路铺设总长近18公里，直线距离约16公里。电流测量线、电压测量线采用等腰夹角法 $\theta=30^\circ$  对外布置。此次试验，为了提高信噪比，保证产生足够大的异频电流、电压，使之落在仪器能保证测试精度的信噪比范围内，特采用100A大电流异频法测试，并使用我司全新升级款选频电压表进行测量。



接地装置的电气完整性测试、接地阻抗测试、分流测试、场区地表电位梯度分布测试跨步电位差、接触电位差测试、接地装置的电气完整性测试:对电站的重要部分:主变洞、升压站、业主营地、独立避雷针、等地网的接触电阻测量,使用我司接地引下线导通测试仪注入电流10A,测试值应小于 $50\text{m}\Omega$ 。独立避雷针的测试值应大于 $500\text{m}\Omega$ 以上,否则视为没有独立。本次试验采用异频电流法进行测试,测试电流100A,电流测量线、电压测量线采用等腰夹角法 $\theta=30^\circ$  对外布置。搭配选频表,参照《接地装置特性参数测量导则》(DL/T 475-2017)内规定接地阻抗、跨步电位差、接触电位差及馈电电缆分流等各项参数的测试值。



## 湖北（六站）接地装置特效参数测量现场培训及试验指导

19年6月中旬，我司技术人员前往某电力公司针对该区域的六处水电站进行了站内接地网接地阻抗测试以及接地装置接地参数特性的相关试验培训！

我方技术人员便组织相关人员进行接地装置参数特性试验的理论培训其中包括试验的方法以及对仪器的使用。本次任务，需对六处变电站进行地网接地参数测试。在我司技术人员指导下配合当地驻站运维人员最终顺利完成试验。水电站所处位置特殊，四处环山因此我司技术人员对当地复杂的地形特制定了相对合理的试验方案进行测试。



针对每个电站，我们采用了角度法和直线法测试方式对每一个电站进行多次试验，对测试数据进行对比分析。完成电压桩和电流桩打桩后，确认线路导通。用对讲机通知站内负责仪器接线的人员。此时站内的人员早已接好测试接线，测试过程相比较前期的准备就要快的多。本次试验，采用我司异频大电流地网接地参数测试系统。本系统是我司根据新版DL/T1475-2017《接地装置特效参数测量导则》研发。主要用于测量接地特性参数，仪器采用新型大功率变频电源，异频抗干扰技术，在各种等级变电站强干扰场合均能准确测试。输出功率10kW，最大输出电流50A，频率调节范围40~70Hz。完全满足各电压等级变电站试验需求。



针对发电厂地网面积大，集发电、输电为一体的特点，站外放线距离远，进行接地阻抗、电阻测量和分流测试时，选用变频法并增大测试电流。

## 针对江苏某500kV变电站接地装置特性试验顺利完成

19年5月23日，我司高压试验队前往江苏省某处500kV变电站，依据DLT475-2017接地装置特性参数测量导则对其全站进行接地网检测、分流向量、跨步电压等多项大地网综合参数测试。试验完成后并提交相关数据报告交付合作方！

试验设备：大地网接地参数综合测试车、大地网接地参数测试系统

试验详情：为确保国网江苏500kV变电站正常安全运行，经国网授权我司对该处500kV变电站进行了全站分流向量、接地导通、跨步电压、接触电势等接地装置特性试验！

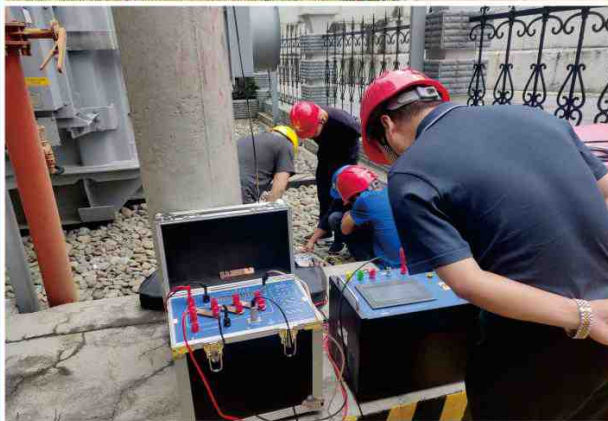


本次试验以我司新上市的大地网接地参数综合测试车为主。该款试验车结合采用新型大功率变频电源。异频抗干扰技术，能在变电站强干扰环境下准确测量。包含阻抗、电压、电流以及分流向量相互独立的测量模块，可完成大型接地网接地阻抗、接地电阻、接地电抗、场区地表电位梯度、接触电位差、接触电压、跨步电位差、跨步电压、杆塔分流、杆塔分流向量、接地桩（电流极、电压极）电阻、土壤电阻率等接地参数的测量。



500kV变电站，场地大、接地装置多。因此我司高压试验队分组进行试验，对该变电站500kV、220kV、35kV区域进行了接地导通性能、分流向量、跨步电压、接触电势等试验项目。根据试验导则，需对该变电站测试结果出现故障的接地装置扁铁进行开挖确认其腐蚀情况。本次试验对其变电站12处接地装置进行开挖勘察，结果确认接地扁铁状态良好，接地性能合格。

## 现场案例图集



## 企业简介



杭州高电科技有限公司，在原浙江电子仪器厂改制后成立，注册资金叁仟零陆万元，荣获“国家高新技术企业”，取得ISO9001质量管理体系认证、ISO45001:2018职业健康安全管理体系认证，ISO14001:2015环境管理体系认证，3A级企业信用等级证书，拥有试验工程资质。产品列入浙江省新产品科技开发项目，取得二十六项国家专利及三十余项软件著作权认证。产品通过国家电网、南方电网、国家高电压计量站等国内各检测机构考核认证，是国内专业高压电气试验设备、电子仪器制造、试验工程服务、国际品牌代理综合供应商之一。



公司研制高压开关动特性、回路仪，变压器直阻、有载分接、变比、损耗参数、绕组变形测试仪，互感器、避雷器、发电机、局放、介损测试、变频谐振耐压试验、大地网接地参数及分流向量、二次及继电保护测试等各类高压电气试验仪器设备，及失真度仪检定装置在内的计量检测设备。长期服务于国家电网输变电运行、轨道交通、能源化工、实验室、电厂、大型用电单位、高压电器设备制造厂、承装（修、试）企业。

公司具备承（装、修）试资质，自建4000平米电气试验大楼，配置多部专用电力试验车，组建有高压试验中心，下属电试队长期服务于各电压等级试验项目及专项试验工程。同时开设有高压试验承试实操培训班，为电力试验从业人员提供专业的理论辅导和实操教学。



公司具备承（装、修）试资质，自建4000平米电气试验大楼，配置多部专用电力试验车，组建有高压试验中心，下属电试队长期服务于各电压等级试验项目及专项试验工程。同时开设有高压试验承试实操培训班，为电力试验从业人员提供专业的理论辅导和实操教学。

欢迎各位现场电气试验工程师、专家、领导莅临参观指导！

## 综合产品推介



CT2009高压开关动特测试仪



CT2130三通道回路电阻测试仪



CT3310Z三通道助磁直阻仪



CT3110变压器直阻消磁仪



CT3103全自动变比组别测试仪



CT3000变压器有载分接开关测试仪



CT3500C变压器特性参数测试仪



CT3600B变压器短路阻抗测试仪



CT3900C发电机转子交流阻抗测试仪



CT5103C氧化锌避雷器综合测试仪



CT5800互感器综合参数测试仪



CT6000抗干扰精密介质损耗测量仪

更多款型资讯，欢迎访问公司官网! <http://www.hzhv.com>

垂询电话  
0571 - 89935606



CT5020接地引下线导通测试仪



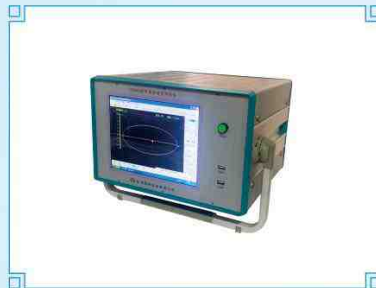
CT5200大地网接地电阻测试仪



CT5150接地成阻测试仪



CTPD90S多功能局部放电测试仪



CT6800数字局部放电测试仪



CT6610六相继电保护测试仪



CTPZ-10kV配网综合试验台



CT8300SD2高低压开关通电模拟台



CT高压试验仪器设备智能集控平台



CT电力工程试验车



CTSR变频串联谐振试验装置



CT8302P高压开关机械寿命试验装置

高压测量仪器设备智造  
电力试验工程技术服务

杭州高电科技有限公司  
HANGZHOU HIGH VOLTAGE TECHNOLOGY CO.,LTD

电话：0571-89935606 / 13656643236  
网址：www.hzhv.com  
邮箱：hzhv@hzhv.com  
地址：杭州市余杭区钱江经济开发区永泰路2号15#



微信公众号  
HZHV89935600



公司官网