

尊敬的顾客

感谢您使用本公司 YTC6450 输电线路参数测试仪。在您初次使用该仪器前，请您详细地阅读本使用说明书，将可帮助您熟练地使用本仪器。



我们的宗旨是不断地改进和完善公司的产品，因此您所使用的仪器可能与使用说明书有少许的差别。如果有改动的话，我们会用附页方式告知，敬请谅解！您有不清楚之处，请与公司售后服务部联络，我们定会满足您的要求。



由于输入输出端子、测试柱等均有可能带电压，您在插拔测试线、电源插座时，会产生电火花，小心电击，避免触电危险，注意人身安全！

◆ 慎重保证

本公司生产的产品，在发货之日起三个月内，如产品出现缺陷，实行包换。三年（包括三年）内如产品出现缺陷，实行免费维修。三年以上如产品出现缺陷，实行有偿终身维修。如有合同约定的除外。

◆ 安全要求

请阅读下列安全注意事项，以免人身伤害，并防止本产品或与其相连接的任何其它产品受到损坏。为了避免可能发生的危险，本产品只可在规定的范围内使用。

只有合格的技术人员才可执行维修。

一防止火灾或人身伤害

使用适当的电源线。只可使用本产品专用、并且符合本产品规格的电源线。

正确地连接和断开。当测试导线与带电端子连接时，请勿随意连接或断开测试导线。

产品接地。本产品除通过电源线接地导线接地外，产品外壳的接地柱必须接地。为了防止电击，接地导体必须与地面相连。在与本产品输入或输出终端连接前，应确保本产品已正确接地。

注意所有终端的额定值。为了防止火灾或电击危险，请注意本产品的所有额定值和标记。在对本产品进行连接之前，请阅读本产品使用说明书，以便进一步了解有关额定值的信息。

• **请勿在无仪器盖板时操作。**如盖板或面板已卸下，请勿操作本产品。

使用适当的保险丝。只可使用符合本产品规定类型和额定值的保险丝。

避免接触裸露电路和带电金属。产品有电时，请勿触摸裸露的接点和部位。

在有可疑的故障时，请勿操作。如怀疑本产品有损坏，请本公司维修人员进行检查，切勿继续操作。

请勿在潮湿环境下操作。

请勿在易爆环境中操作。

保持产品表面清洁和干燥。

—安全术语

警告：警告字句指出可能造成人身伤亡的状况或做法。

小心：小心字句指出可能造成本产品或其它财产损坏的状况或做法。

目 录

1 系统概述.....	5
2 线路工频参数测试依据.....	5
3 测试系统的主要功能及特点.....	6
4 测试装置主要技术参数.....	6
5 线路测试工作的注意事项.....	10
6 线路参数测试工作的步骤.....	12
7 输电线路工频参数测试报告的内容及要求.....	14
8 三相线路工频参数测试接线.....	14
9 测试装置操作面板.....	18
10 测试装置接线面板.....	18
11 测试装置显示界面及测试项目操作菜单.....	19
12 打印纸的更换与打印机的维护.....	27
13 技术支持与售后服务.....	27
14 附录 设备成套附件装箱清单.....	28
15 附录 交流架空输电线路工频参数测量导则.....	29

1 系统概述

YTC6450 输电线路参数测试仪是在我公司原大功率线路工频参数异频测试系统（分体式装置）的基础上全功能的升级换代产品, 依据《DL/T 1119-2010 输电线路工频参数测试仪通用技术条件》和《DL/T1179-2012-1000kV 交流架空输电线路工频参数测量导则》将异频电源及测试主机整合为表源一体化的测试装置。即：异频电源及其输出控制、隔离变压器及其档位切换、测试接线变换、接地分合操作、信号测量及采集、数据分析计算等功能全部集中在同一个机箱内。

本装置的可实现的测试项目(最高配置)涵盖了各类电力输电线路在参数测量前试验项目和工频参数测量项目中所要求全部内容。

- a) 被测线路首末端悬空—线路静电感应电压、接地电流测量；
- b) 被测线路末端短路接地—线路电磁感应电压、电磁干扰电流测量；
- c) 高感应电压下三相线路的相别核对—线路末端为桥架母线或 GIS 组合电器；
- d) 线路各相绝缘电阻测试、核对相别、线路直流电阻测量；
- e) 三相输电线路的正序阻抗、零序阻抗、正序电容、零序电容、等值电容；
- e) 多回同杆或并行线路回路之间的零序互阻抗和零序耦合电容；
- f) 多回同杆或并行线路回路间的不平衡度影响和不对称度影响分析；
- g) 二相输电线路的正序阻抗、零序阻抗、正序电容、零序电容；
- h) 同杆并行二相输电线路回路之间零序互阻抗和零序耦合电容；

现场实测时，根据测试对象及其测试项目，由主机内置的对应程序控制试验接线的变换(含：接地操作等)、隔离变压器的输出(频率、电压)、数据采样、计算分析的自动依次完成。

机箱采用框架式结构，选用扣板式面板安装，将显示屏幕、打印机、键盘、供电指示灯、电源启动按钮、报警灯、USB 数据接口等集中在正面。外部接线端子集中在机箱背面，凹入背板平面以下，在接线板引出了 3 个外部电流输入端子，方便仪器检定时接入标准源校准装置测试准确度。

设备外形尺寸符合人体工程学原理，测试人员可直立操作仪器，机箱两侧面装有搬运把手，机箱底部嵌入在带有万向脚轮的平板小车上，以便运输和现场装卸、移动，整台测试装置重量依据型号规格控制在 60~85kg 以内。

2 线路工频参数测试依据

2.1 中华人民共和国国家标准《GB50150—2006 电气装置安装工程电气设备交接试验标准》第25.0.1.2条：架空电力线路的试验项目应包括：测量35kV以上线路的工频参数。

2.2 中华人民共和国电力行业标准《DL/T 782—2001 110kV及以上送变电工程启动及竣工验收规程》第5条：工程带电启动应具备的条件中第5.3.6要求：送电线路带电前的试验（线路绝缘电阻测定、相位核对、线路参数和高频特性测定）已完成。

2.3 国家电网公司发布的《架空输电线路管理规范》第十五条 工程正式投产前，应做好以下工作：(2)线路电气参数测试合格，相位核对无误，线路……等。

2.4 中华人民共和国电力行业标准《DL/T559—2007 220kV-750kV电网继电保护装置运行整定规程》及《DL/T584—2007 3kV-110kV电网继电保护装置运行整定规程》要求下列参数用于整定计算时必须使用实测值：

- 1) 三相三柱式变压器的零序阻抗；
- 2) 66kV及以上架空线路和电缆线路的阻抗；
- 3) 平行线之间的零序互感阻抗；
- 4) 双回路的同名相间和零序的差电流关系；
- 5) 其他对继电保护影响较大的有关参数；

2.5 中华人民共和国行业标准《DL/T1179-2012-1000kV交流架空输电线路工频参数测量导则》。

3 测试系统的主要功能及特点

3.1 装置除D型号外，其余型号装置全部配有高内阻感应电压测试附件，接入装置测试通道后可快速准确完成三相、二相输电线路在线路末端开路情况下的静电感应电压及相位角度测量。

3.2 可完成三相、二相输电线路在线路末端短路接地情况下的被测线路各相工频电磁感应电压、工频干扰电流、相位角度及零序工频干扰电流的测量。

3.3 对三相、二相输电线路（含直流输电线路及直流接地极线路）的正序阻抗、零序阻抗、正序电容、零序电容等参数的自动测试，线路测试首端的接线倒换全

部在装置内部自动完成，只需要对三相、二相线路首端接一次线，末端改变一次接线（接地或悬空）即可完成所有测试项目，极大地提高了现场测试工作效率。

3.4 在装置内部加装了三相大电流继电器自动控制被测试线路三相、二相首端线路侧的接地操作，配合对正序、零序测试接线的变换和信号采集，测试过程不需要任何人工倒换首端测试接线，避免因改换接线时线路感应电压对试验人员的伤害，保证了仪器设备的安全。

3.5 8路各自独立量程的电压、电流测量通道，保证了对多回同杆或平行线路回路之间的零序互阻抗和零序耦合电容的准确测试，同时测试出因互感引起的单相不平衡度和耦合引起的电压不对称度，方便调度部门调整线路保护整定参数。

3.6 抗干扰能力超强，内置的工频干扰抑制装置最大可抵御被测线路首末两端接地后，被测线路上工频干扰电流在 20A~100A 条件下的线路参数可正常测试，抗干扰的原理是将装置的隔离变压器经过特殊设计辅以感应电压抑制模块将线路上的干扰电压对地形成低阻泄放通道。

3.7 线路阻抗参数测试频率选择 45Hz 和 55Hz 双频自动测试，具有更好的测试等效性。电容测试频率选择 260Hz 单频测试，解决了超短距离线路电容参数的测试准确度的难题。

3.8 装置内部的异频电源具有良好细度的步进升压控制，通过预检程序可自动调整电源输出电压和电流，解决了超短线路和大截面电缆的参数测试难题。

3.9 采用最新数学算法和选用 16 位高精度 AD 芯片，保证了装置异频输出信号的纯净度和高保真度，在测试信号与干扰信号为 1:20 倍的情况下，可以准确将异频测试信号和工频干扰信号彻底分离，从而准确测试线路工频参数。

3.10 测试装置采用单相 220V 供电，方便现场使用单相发电机供电完成所有测试项目，并具有工作电源误接 380V 报警保护功能。

3.11 高可靠性，装置内部异频电源具有过压、过流、短路、过热等多重保护，在操作面板配有手控急停按钮，保证了参数测试现场出现任何意外情况下即时手动关闭试验电源输出，同时装置自动将首端线路三相接地，保证了设备和测试人员的安全。

3.12 装置自带试验接地良好性检测功能，不但可以保证接地不良情况下装置电

源不启动输出,而且同时避免了由于接地不良导致线路零序阻抗参数测试偏差情况的出现。

3.13 装置具有针对所进行的试验线路末端接线状态预检测功能,根据试验项目属性进行接线方式预检,同时提示线路末端接线方式是否与试验要求接线一致,例如各相是否悬空或短路接地,从而保证了线路了线路参数测试的数据可信度。

3.14 仪器内部配备有日历芯片和大容量存储器,能将检测结果按试验编号或时间顺序自动保存,随时可以调阅查看历史记录,并可以打印输出。

3.15 仪器存储数据可以通过装置面板 USB 接口使用 U 盘导出,可在任意一台 PC 机上方便用户对测试数据的管理,编辑线路工频参数测试报告。

4 测试装置主要技术参数

4.1 根据测试系统选型配置表选择适用于不同工频干扰强度及线路长度的规格型号:以满足对 0.2~1500km 架空线路或电缆线路交流工频参数测试需要。

4.2 测试装置抗工频干扰能力:在装置输出信号与工频干扰信号之比为 1:20 的条件下可靠、稳定输出,准确分离工频干扰信号并完成所有测试项目。

4.3 供电电源:单相 AC 220V \pm 10%,(10~40A) 50Hz \pm 2%;

4.4 测试装置保护功能

1) 工作电源保护:仪器输入电源误接入 380V 电源时,过压报警指示灯亮并同时蜂鸣器发出告警提示音。

2) 装置外壳接地与试验接地检测:装置试验接地及外壳接地不良时,装置发出告警提示字符并关闭电源输出。

3) 具备急停按钮,出现意外快速切断电源输出并将被测线路首端接地,保护测试人员和设备安全。

4) 其他保护:装置具备过压、过流、短路、过热四种保护,在面板装有故障指示灯,提示出现故障类型。

4.5 异频电源输出特性:

1) 输出频率:45Hz/55Hz/260Hz 定频输出 频率度优于 \pm 0.1%;

2) 输出波形:标准正弦波,波形失真度优于 \pm 2%;

4.6 装置型号及技术参数选型对应表

技术参数	A 型	B 型	C 型	D 型
适用于线路长度	0.2~1500km	0.5~800km	1~500km	1~200km
异频电源功率	10kVA	5kVA	3kVA	2kVA
输入工作电源	单相	单相	单相	单相
接地检测功能	有	有	有	有
静电电压测量	有	有	有	—
高感应线路核相	有	有	有	—
核相用罗氏线圈	有	有	有	—
电磁电压测量	有	有	有	有
接地电流测量	有	有	有	有
最大输出电流	40A	20A	10A	5A
最大输出电压	600V	400V	200V	200V
抗工频干扰电流	100A	60A	40A	20A
静电感应电压	30kV	20kV	20kV	—
电磁感应电压	600V	600V	600V	600V
纯电缆线路测试	满足	满足	—	—
二相线路测试功能	有	有	有	—
单相等值电容测试	有	有	有	—
互感不平衡测试	有	有	有	—
耦合不对称测试	有	有	有	—

5 线路测试工作的注意事项

输电线路工频参数的测量除一般电气测试必须注意的种种安全问题之外,还有其特殊性。输电线路短则几百米,长则上百公里,不仅常常有同类线路相邻伴行,还屡屡与之上跨下穿,由于电容 C_{H}/C_0 分压和电磁感应 (X_{H} 和负荷电流) 在彼此各自身上产生的响应—感应电压,对测试人员和测试仪器的安全构成威胁,这是必须以万无一失的态度来对待的事,防止感应电压伤及人身安全是线路参数现场测试的第一要义。

5.1 现场测量应根据线路的实际情况和生产运行的实际需要,预先编制测试方案,以确保线路试验的安全、顺利完成。

方案应包括:确定需测取的参数。阻抗和电容等工频参数可用交流法测取,电阻可用直流法测取,感应电压宜用直接法测取。测试方案中,必须:

- 1) 确定现场工作负责人:对测试工作全面负责;
- 2) 确定现场工作安全负责人:对现场安全负责,监督现场安全措施的实施;

5.2 在进行测试接线前,必须一律先将被测线路首端通过外部接地刀闸或接地线接地,然后才可对测试装置进行接线,在对线路试验加电压(或通电流)前,才可拆去测试装置的外部接地线。测试工作结束后拆测试装置测试引线前,须再次将线路首端外部可靠接地,切不可图省事,少作任何一个步骤,以免引起感应电伤人事故。

搭接和拆除临时接地线时,必须使用合格的绝缘操作杆。绝缘杆的长时耐受电压不得低于运行线路的最高额定电压;拉合接地刀闸时,必须穿戴合格的绝缘靴和绝缘手套。

5.3 测试线路参数前,应保证被测线路首末两端通讯畅通、清晰,且应有后备通讯手段。

5.4 测试前,凡需接地的,必须先确认已接地良好,如仪器外壳,试验电源和被试线路的中性点等。凡属工作接地,如测零序阻抗时的中性点接地的阻抗应小到不影响测试精度的要求。

5.5 测取有相邻并行或交叉跨越较多,特别是有更高电压线路相邻或交叉、平行线路的工频参数时,必须先测静电感应电压、电磁感应电压、接地电流后,以评估线路参数测试装置可否满足测试条件。

注意:静电感应电压幅值的大小主要是由于同塔并架或平行的运行线路与被测线路单位长度因线路间耦合电容和对地电容二者分压比决定。

线路工频感应电流主要是由于同塔并架或平行的运行线路产生的零序电流通过电磁场作用与被测线路的互感抗 X_{ii} 感应过来的, 会随运行线路上的零序电流变大而变大的。

5.6 测试时, 必须作到:

- 1) 全线路无其他工作;
- 2) 线路两侧开关及刀闸确保均在断开位置, 且无工作;

5.7 现场测试应在天气良好的情况下进行, 不得在雷雨天进行, 也不宜在风、雪天进行;

5.8 影响线路参数测试准确性的四个因素:

- 1) 当测量较短的线路(如 1km 以内)的阻抗参数 (Z_1 、 Z_0) 时, 测试应采用四端法测量, 即接入线路首端的电压引线和电流引线应分别接入测试装置。
- 2) 测取较长(100km 以上)线路的阻抗(或电容)参数时, 采用单端测量法, 也可

采用双端测量法在线路首末两端同时读取电流(或电压)取首末两端的平均值供计算用。

6 线路参数测试工作的步骤

6.1 准备工作

- 1) 编制参数测试方案, 应历经: 收集相关资料信息, 现场踏勘, 编写, 审核, 审定, 批准等步骤。
- 2) 落实相关人员, 各相关人员应熟悉线路参数的测试方案。
- 3) 备齐备好: 测试设备、测试电源、测试用线、通讯工具、运输工具。
- 4) 安排被测线路停电计划。

6.2 现场试验工作顺序

- 1) 完成被测线路的停电操作和安全措施;
- 2) 办理许可工作的手续;
- 3) 依次应先进行以下试验:
 - a、在线路首端测试静电感应电压, 线路两端均不接地, 本测试装置已配置

高内阻三相静电感应电压测试绝缘棒，可三相同同时测取；

b、线路末端接地时，在线路首端测试线路的电磁感应电压，操作本装置可直接完成三相同同时测取；

c、选择装置测试感应接地电流，操作线路远端接地测取电磁感应（干扰）电流，远端不接地测取电容（干扰）电流。

4) 核对相别（新建、改建线路应作）。

注意：

①当被测线路静电感应电压超过 1000V 及以上时，不可使用普通的绝缘电阻表测试线路绝缘电阻，否则容易烧毁仪器，需采用具有抗感应电压的高压绝缘电阻测试仪完成线路绝缘测试及核对相序，建议选用我公司抗干扰线缆绝缘电阻测试仪。

②当被测线路末端接地后，由首端测量到的电磁感应电压超过 10V 时，也不可
使用直流电桥或直流电阻测试仪测试线路直流电阻，否则容易损毁仪器，需采用抗交流工频干扰的线缆直阻仪测试，建议选用我公司抗干扰的线缆直阻仪。

6.3 测试线路工频参数步骤及工作顺序

测试装置的测试接线和拆线操作请按照下述步骤进行：

- 1) 将被测试线路的引下线可靠接地；
- 2) 将测试装置试验接地和外壳接地可靠接入大地；
- 3) 将测试装置的对应接线端子与被测试线路的引下测试线对应连接；
- 4) 开始测试前先打开线路首端外部接地，再根据试验内容要求，通知线路末端分别接地或悬空进行相应参数测试；
- 5) 所有测试完成后，将线路首端通过接地刀闸或人工接地线可靠接地；
- 6) 拆除装置测试线，后拆除装置试验接地和外壳接地；
- 7) 恢复线路测试前的状态；
- 8) 办理结束试验工作手续并汇报相关上级；
- 9) 完成测试报告。

注意：架空线路双回线路间的零序互感及耦合电容的测试，在同塔并架或平行段长度大于其中任一条线路总长度的 20%以上时，应进行测试。

纯电缆线路的主芯线与内外护套的互感测试，因电缆敷设长度缘故对于外护套未进行完全换位且一端接入过压保护器的电缆线路，建议在装有过压保护器侧进行互感测试，完全换位的不必进行。并且对纯电缆线路的正序、零序阻抗测试时，因集肤效应和趋表效应影响，建议所施加的试验电流不小于 20A 为宜。纯电缆线路的正序电容等同于零序电容。

7 输电线路工频参数测试报告的内容及要求

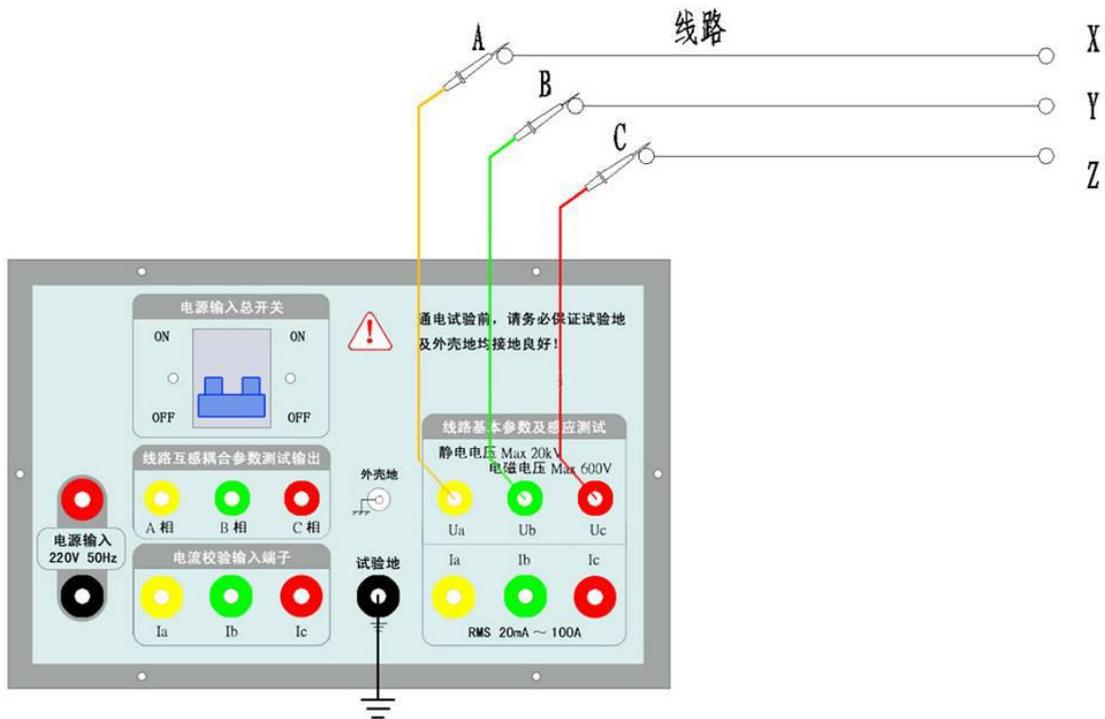
7.1 线路（属性）原始资料：线路产权所属单位、线路名称、线路总长度、导线型号与分裂根数、三相排列方式、相间平均距离、地线及耦合地线排列接地方式；输电线路若为电缆线路则应有外屏蔽及铠装的接地方式，当保护有要求时应对电缆外护层按照线路参数测试方法要求测试相关参数。

7.2 线路测试内容：各相静电感应电压、电磁感应电压、接地电流、绝缘电阻直流电阻、工频阻抗及电容等参数测试结果；

7.3 测试时的气象及温度、测试日期、时间、测试仪器、试验人员、审核人员、批准人员、试验结论。

8 三相线路工频参数测试接线

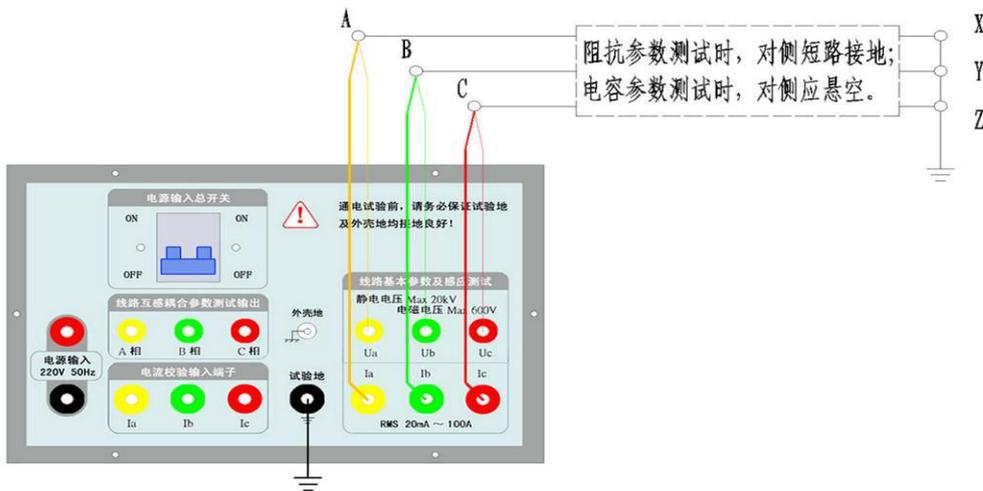
8.1 三相线路静电感应电压测试接线示意，如图（1）



(图 1)

使用测试装置配置的高内阻三相静电感应电压测试绝缘棒，接入装置的电压测试通道，确认被测线路首端、末端悬空后进行线路静电感应电压测试，按照仪器显示屏幕对应提示要求进行相应操作。

8.2 三相线路电磁感应电压、接地电流、工频参数测试接线示意，如图（2）



(图 2)

被测线路末端短路接地，将线路首端测试引线的电压线、电流线分别接入装置对应端子，按照仪器显示屏幕菜单提示要求进行相应操作。

8.3 三相线路正序、零序阻抗，正序、零序电容参数测试接线（同前图 2）

测试线路阻抗参数：要求线路末端三相短路接地，按照仪器显示屏幕菜单提示要求，待预检通过后，按测试键自动进行线路零序、正序阻抗测试。

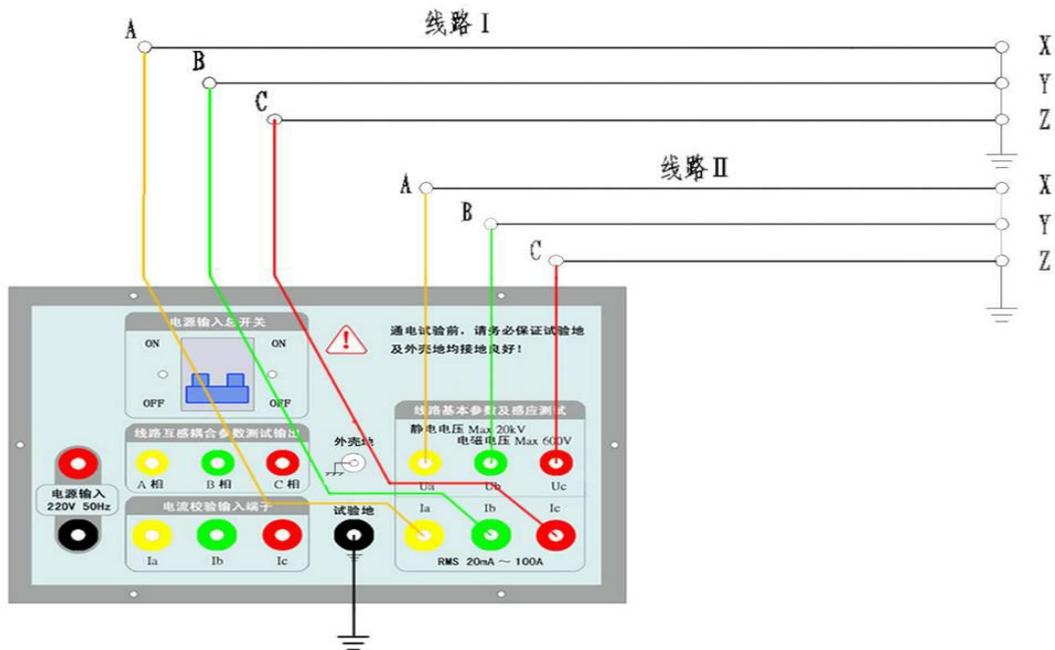
如装置预检不通过时，请按照显示屏幕提示，检查确认试验接线是否与要求一致及各相接地是否良好，以免导致零序参数测试结果出现异常。

提别提示：当遇到同塔并架线路阻抗参数测试时，测试前一定确认另一条非测试线路首末两端只可一端接地，不可两端同时接地，否则会导致被测试线路的零序阻抗值偏小，对正序阻抗参数无影响。

测试线路电容参数：通知被测线路末端三相悬空，按照仪器显示屏幕菜单提示要求，待预检通过后，按测试键自动进行线路零序、正序电容测试。

如装置预检不通过时，请按照显示屏幕提示，检查确认试验接线是否与要求一致及各相线路处于悬空状态，以免导致电容参数无法正常测试。

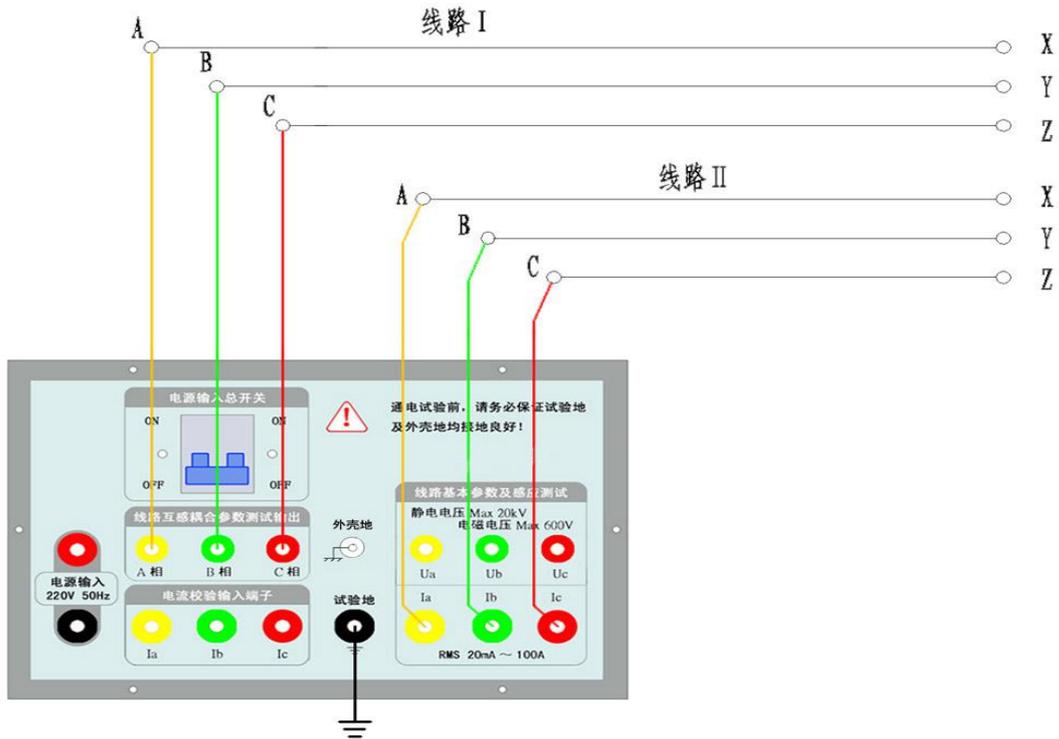
8.4 三相线路两回线路间零序互感测试接线示意，如图（3）



(图 3)

测试两条输电线路间的零序互感时，先将两条线路末端三相短路接地，线路 I 首端三相引线并接在一起分别对应接入装置电流端子，然后再将线路 II 首端三相引线并接在一起分别对应接入装置电压端子，按照仪器显示屏幕菜单提示要求，待预检通过后，按测试键自动进行线路零序互感测试，测试结果为双回线路间零序互感及三相线路的单相零序互感。

8.5 三相两回线路间零序耦合测试接线示意，如图（4）



(图 4)

测试两条输电线路间的零序耦合参数时, 先将线路 I 首端三相引线并接在一起分别对应接入装置零序耦合输出端子, 线路 II 首端三相引线并接在一起分别对应接入装置电流端子, 通知对侧将两条线路末端三相悬空, 按照仪器显示屏幕菜单提示要求, 待预检通过后, 按测试键自动进行线路零序耦合测试。

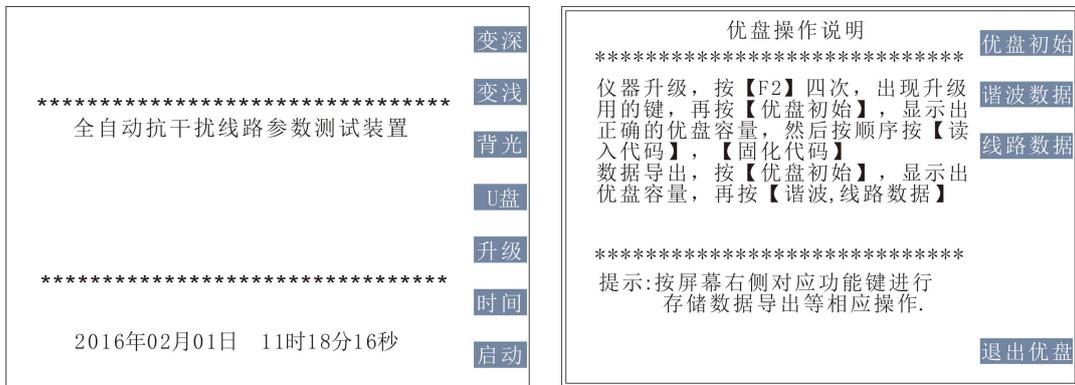
8.6 二相线路工频参数测试接线 (略)

二相线路测试接线与三相线路接线原理基本相同, 本装置定义使用 A 相、C 相对应接入被测线路的二相 (对直流线路分别对应正极导线、负极导线) 即可, 操作按照显示屏幕菜单对应提示进行。

- ③ 双回线路零序耦合测试输出端子；
- ④ 外壳地端子；
- ⑤ 电压测量输入（UA、UB、UC）插孔；
- ⑥ 测试电源输出（A、B、C）插孔；
- ⑦ 装置试验接地端子（Un 电压参考点）；
- ⑧ 外部输入电流接线端子（装置检定时标准电源电流输入）；

11 测试装置显示界面及测试项目操作菜单

11.1 装置通电开机后初始化显示界面及优盘操作界面



通电后装置显示界面图(7)

按[U 盘]热键

后优盘操作图(8)

图(7) 对应操作说明:

- 1) 连续按压[变深]或[变浅]键用于步进调整显示屏幕黑白对比度。
- 2) 按[背光]键开启或关闭屏幕背光灯。
- 3) 按[U 盘]键，即可进入优盘升级或导出传出数据等相关操作菜单。
- 4) 按[升级]键，对仪器程序通过计算机进行调试或作软件升级时使用。
- 5) 按[时间] 键，可对仪器的屏幕上显示的时间进行调整，根据光标所指位置通过相应的数字键进行调整设置。
- 6) 按[启动] 键，即进入“测试系统接地完好性检测”菜单。

图(8) 对应操作说明:

按[U 盘]热键进入显示菜单后，插入优盘后根据光标指示位（反黑）进行对应操作，按照对应功能热键参考提示说明进行相应操作。

- 1) 使用 U 盘升级装置主机程序，连续按[F2]键 4 次，功能热键弹出升级热

键，在按压[优盘初始]读取优盘容量信息，显示U盘容量大小，读出内存容量无误后，根据提示即可使用优盘进行操作。

- 2) 按[线路数据]键可将仪器内存储的线路参数数据导入到优盘中。
- 3) 按[优盘退出]键返回开机界面。

11.2 装置试验接地完好性检测及线路信息设置菜单界面



测试系统接地完好性检测界面图（9）

线路信息参数设置

置菜单界面图（10）

在开机界面按[启动]键首先进入到“测试系统接地完好性检测”菜单，根据光标指示位（反黑）操作，建议在线路参数测试接线前先进行该功能操作，避免由于试验接地不良导致测试误差。

图（9）对应操作说明：

- 1) 装置外壳及试验接地接线完成后，按压[测试]键即可对装置的试验接地及装置内部各相接地继电器接地状况进行预检，并给出对应的接地完好性判定结果，如提示接地不良，请重新检查并处理装置的接地线后再进行测试；
- 2) 如提示“设备试验接地及安全接地可靠良好”，可按[完成]键进入到“线路信息设置”选项菜单。
- 3) 按[退出]键返回开机界面。

图（10）对应操作说明：

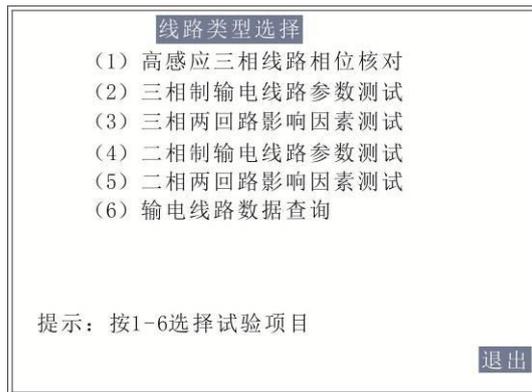
- 1) 根据光标反黑指示位，通过[上移]、[下移]键移动光标对线路信息进行设置，按压[设置]键后，可对选定信息参数通过1~9数字键或[上移]、[下移]和[确定]键设置和选择被测线路基本信息。
- 2) 线路信息设置完成后，按[保存]键自动存储记忆设置信息。

3) 按 [试验]键, 进入到“线路类型选择项目”选项菜单。

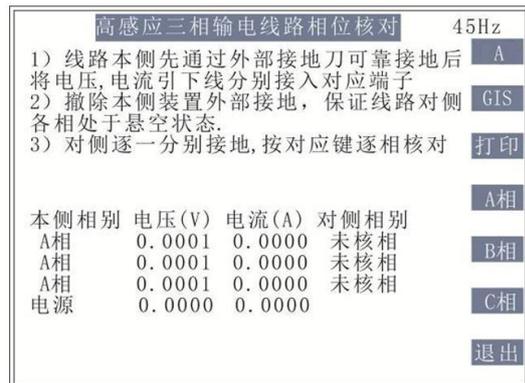
4) 按[退出]键返回“测试系统接地完好性检测”上级菜单。

说明: 本菜单仅供用户打印报告时作为线路基本参考信息, 设置的“线路长度”是为了根据实际测试结果计算线路公里值参数, 便于与理论计算参数对比验证测试结果。

11.3 线路类型选择项目菜单及高感应三相输电线路相位核对菜单界面



线路类型选择项目图 (11)



高感应三相相位

核对图 (12)

图 (11) 对应操作说明:

根据需要测试的线路类型, 按压面板上对应的数字键 1~6 可进入相应测试子项目, 按[退出]键返回上级菜单。

图 (12) 对应操作说明:

当遇到被测线路具有较高静电感应电压时, 无法使用高压绝缘电阻表对线路进行绝缘测试及相位核对时, 可使用带有高感应核相功能的装置对三相线路相位进行, 按照线路类型 (线路末端母线接入, 线路末端接 GIS 组合电器), 分别操作对应菜单进行核相, 操作步骤分述如下:

A: 被测线路末端三相通过母线接入时, 可参考线路绝缘电阻核相测试方式进行:

1) 本侧接线完成后, 通知线路末端的配合人员可先将线路末端的 A 相单独接地, 确认后由线路首端本侧在仪器主界面按“A相”键, 仪器自动对线路三相施加异频电压, 数秒后由显示屏幕上即可查看到“对侧相别”显示结果, 如显示“A相接地”则说明相位对应正确。如显示“B相接地”或“C相接地”及其他信息则说明相位首端与末端相位接线有误。

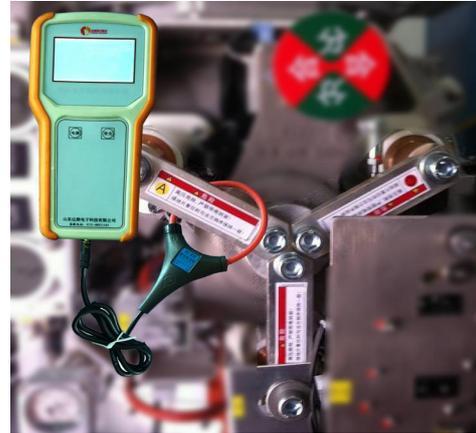
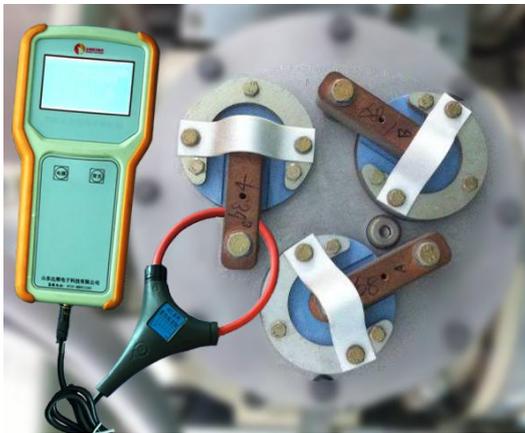
2) 以此类推, 通知线路末端的配合人员依次将 B 相、C 相单独接地, 本侧

对应操作即可完成线路首端与末端的三相相位核对。

3) 三相相位核对完毕后，按[打印]键，可打印线路核相结果，同时该数据被存储到仪器内置数据库，用户可根据需要查看或打印。

4) 按[退出]返回“线路类型选择项目”上级选项菜单。

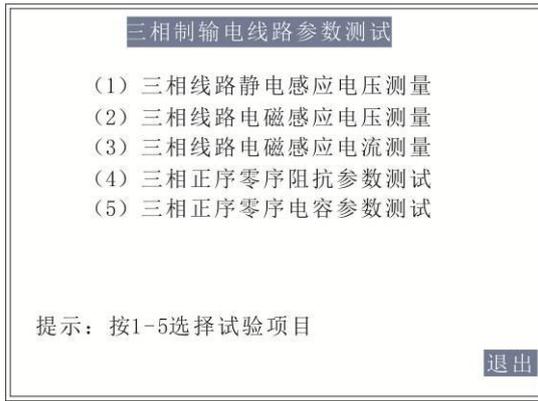
B: 被测线路末端三相接入 GIS 组合电器时，因规程不允许随意打开 GIS 接地开关的接地连片，在此种情况下，可使用装置配置的核相用罗氏线圈夹持在约定核对的线路相别的接地连片上（如遇线路末端三相通过母线接入，不便单独逐相挂地线时也可参考此方法），选择菜单对应的项目与线路末端呼应逐相核对相位。附图示意



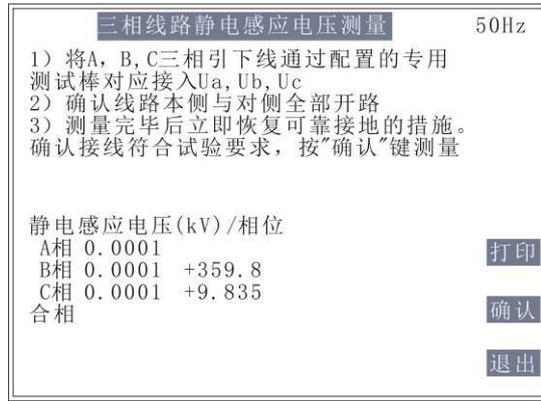
1) 本侧接线完成后，通知线路末端的配合人员先将核相用罗氏线圈夹持在 GIS 接地开关 A 相接地连片上，确认后由线路首端（本侧）在仪器主界面按压右上侧键，进行 A、B、C 相循环选择，显示按“GIS”键反黑，此时装置只对选择相施加异频电压，对侧配合人员根据核相罗氏线圈的电流读数是否发生变化确认首末端相位关系即可，确认相别后，按对应键“GIS”键反白，装置停止输出，该相相位核对完毕，其余核相以此类推。

2) 按[退出]返回“线路类型选择项目”上级选项菜单。

11.4 三相输电线路参数测试及静电感应电压测量菜单



三相制输电线路参数测试图（13）



三相线路静电感应电压测量图（14）

图（13）对应操作说明：

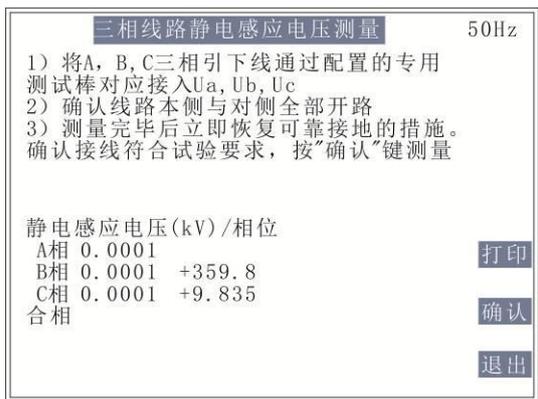
根据需要测试的线路参数，按压面板上对应的数字键 1~5 可进入相应测试子项目，按[退出]键返回上级菜单。

图（14）对应操作说明：

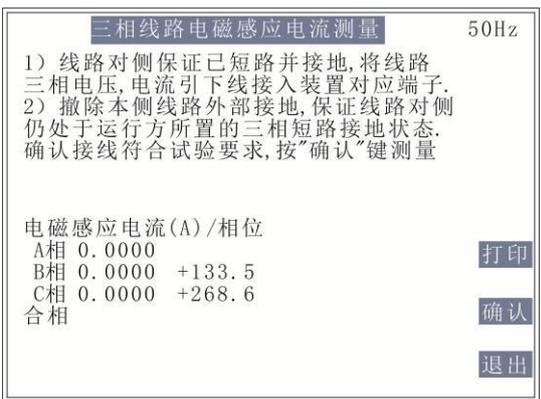
按[确认]键测量三相静电感应电压值及合相电压值（三相电压矢量和），按[打印]键可打印静电感应电压值，按[退出]键返回上级菜单。

说明：进行静电感应电压测量时，严格按照屏幕提示要求操作，务必使用装置配套的高内阻静电感应电压测试绝缘棒在线路首端对三相测试。

11.5 三相线路电磁感应电压及电磁感应电流（接地电流）测量菜单



电磁感应电压测量图（15）



电磁感应电流测量图（16）

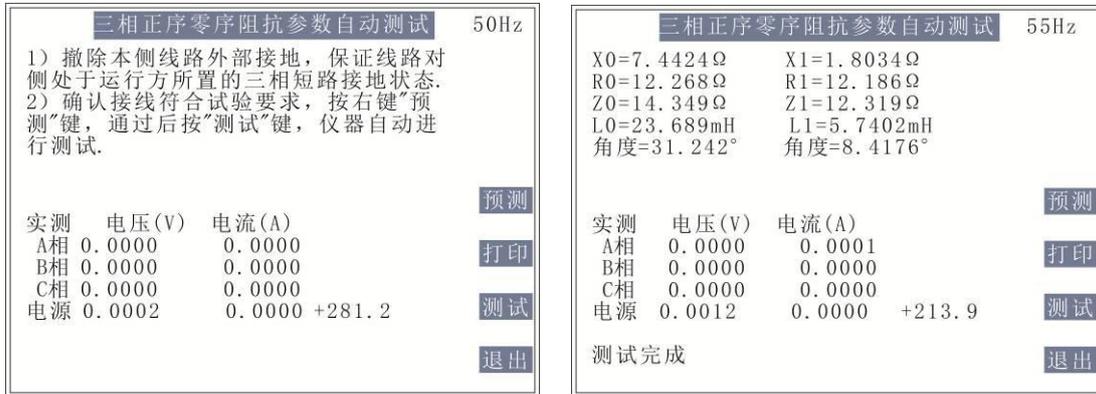
图（15）对应操作说明：

按[确认]键测量三相电磁感应电压值及合相电压值（三相电压矢量和），按[打印]键可打印电磁感应电压值，按[退出]键返回上级菜单。

图（16）对应操作说明：

按[确认]键测量三相电磁感应电流值及合相电流值（三相电流矢量和），按[打印]键可打印电磁感应电流值，按[退出]键返回上级菜单。

11.6 三相线路正序零序阻抗参数自动测试菜单



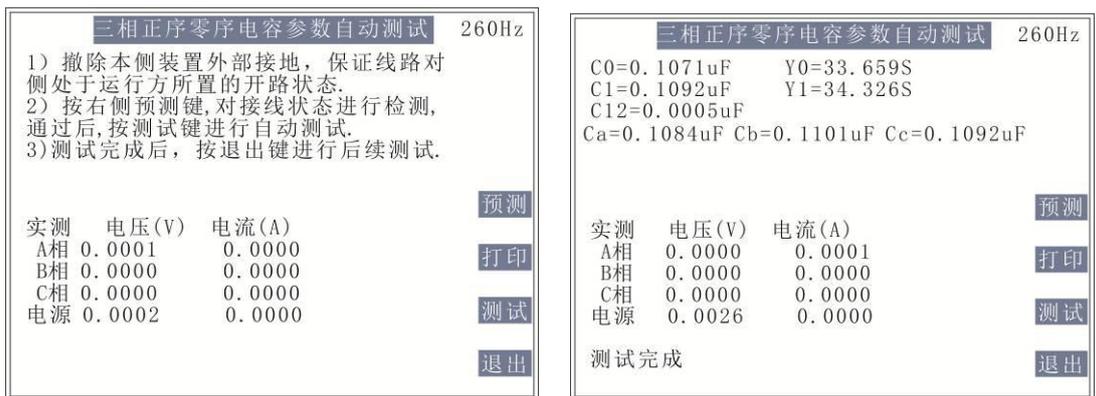
正序零序阻抗参数自动测试图（17）

正序零序阻抗参数结果显示图（18）

图（17）对应操作说明：

进入菜单后，根据屏幕提示确认线路末端三相短路接地，按[预测]键仪器自动检测线路末端短路及接地状态并给出提示，预测通过后按[测试]键仪器可自动测量三相正序阻抗参数和零序阻抗参数，测试完成后屏幕显示测试结果，按[打印]键可打印并存储测试结果，按[退出]键返回上级菜单。

11.7 三相线路正序零序电容参数自动测试菜单



正序零序电容参数自动测试图（19）

正序零序电容参数结果显示图（20）

图（19）对应操作说明：

进入菜单后，根据屏幕提示确认线路末端三相悬空，按[预测]键仪器自动检

测线路末端是否有短路接地及悬空状态并给出提示，预测通过后按[测试]键仪器可自动测试三相正序电容参数和零序电容参数，测试完成后屏幕显示线路正序电容、零序电容、相间平均电容、单相等值电容参数测试结果，按[打印]键可打印并存储测试结果，按[退出]键返回上级菜单。

11.8 三相两回路影响因素测试菜单

三相两回路线路间零序互感测试 45Hz

1) I线路和II线路的对侧均在接地状态.
 2) 由Ia, Ib, Ic输出端子对II线路加电流.
 3) I线路三相接入Ua, Ub, Uc测感应电压.
 4) 测试完成后, 请恢复线路外部接地.
 确认接线符合试验要求, 按“测试”键测量

实测	电压(V)	电流(A)	[预测]
A相	0.0001		[打印]
B相	0.0000		[测试]
C相	0.0000		[退出]
电源	0.0002	0.0000 +99.02	

三相两回路线路间零序互感测试 55Hz

Xm=0.218 Xa=0.656 Xb=0.656 Xc=0.654
 Rm=0.046 Ra=0.142 Rb=0.141 Rc=0.135
 Zm=0.223 Za=0.671 Zb=0.671 Zc=0.668
 Lm=0.695 La=2.089 Lb=2.090 Lc=2.083
 Dm=77.97 Da=77.76 Db=77.87 Dc=78.28

实测	电压(V)	电流(A)	[预测]
A相	0.0002		[打印]
B相	0.0003		[测试]
C相	0.0002		[退出]
电源	0.0349	0.0000 +26.79	

测试完成

三相两回路线路间零序互感测试图 (21)

三相两回路线路间

零序互感结果图 (22)

图 (21) 对应操作说明:

进入“三相两回路影响因素测试”菜单后，根据测试项目需要按数字键1~2进入相应测试项目。

接线完成后进入零序互感子菜单，根据屏幕提示确认两回线路末端三相短路接地，按[预测]键仪器自动检测接线状态并给出提示，预测通过后再按[测试]键仪器可自动进行三相两回路线路间零序互感测试，测试完成后屏幕显示两回路间零序互感及单相零序互感参数测试结果，按[打印]可打印并存储测量结果，按[退出]返回上级菜单。

三相两回路线路间零序耦合测试 260Hz

1) I线路和II线路的对侧均在开路状态.
 2) 由耦合输出端子对II线路加测试电压.
 3) 用Ia, Ib, Ic测取I线路入地电流.
 4) 测试完成后, 请恢复线路外部接地.
 确认接线符合试验要求, 按“测试”键测量

实测	电压(V)	电流(A)	[预测]
A相		0.0001	[打印]
B相		0.0000	[测试]
C相		0.0000	[退出]
电源	0.0002	0.0000	

三相两回路线路间零序耦合测试 260Hz

Cm =0.3156 uF Ym =99.163 uS
 Cma=0.1036 uF Yma=32.563 uS
 Cmb=0.1063 uF Ymb=33.409 uS
 Cmc=0.1056 uF Ymc=33.190 uS

实测	电压(V)	电流(A)	[预测]
A相		0.0001	[打印]
B相		0.0000	[测试]
C相		0.0000	[退出]
电源	0.0001	0.0000	

测试完成

间零序耦合结果图 (24)

图 (23) 对应操作说明:

接线完成后进入零序耦合子菜单, 根据屏幕提示确认两回线路末端三相悬空, 按[预测]键仪器自动检测接线状态并给出提示, 预测通过后再按[测试] 键仪器可自动进行三相两回路线路间零序耦合测试, 测试完成后屏幕显示两回路间零序耦合电容及单相零序耦合电容参数测试结果, 按[打印]可打印并存储测量结果, 按[退出]返回上级菜单。

11.9 二相输电线路参数测试菜单界面与三相输电线路参数测试菜单雷同, 不在进行详细描述, 接线时注意装置 B 相不在接入线路即可, 显示屏幕中 B 相不在显示任何数据。

11.10 输电线路存储数据查询菜单



试验数据查询菜单图 (25)



存储数据内容查询菜单

图 (26)

图 (25) 对应操作说明:

进入试验数据查询子菜单后, 通过显示屏右侧功能热键进行相应操作。

- 1) 按压[上页]或[下页]键翻看、浏览整屏幕的序号及日期数据结果。
- 2) 按压[上条]或[下条]键, 可根据试验序号、设置编号、存储日期信息查看任一条存储条目下的测试数据信息结果。
- 3) 光标指向任一条记录时, 按压[查看]即可翻看本条保存的测试数据记录, 按[打印]键, 即时打印出本编号下所有的线路参数测试数据和计算结果。
- 4) 按[退出]键, 返回开机初始化界面。

12 打印纸的更换与打印机的维护

12.1 热敏打印纸的鉴别：

打印机为热敏打印机，即打印纸有一面为热敏材料层（即碳膜层），如打印纸放反了会导致打印机打印不出字迹。鉴别打印纸的哪一面为热敏层可用拇指和食指的指甲稍微用力掐在热敏打印纸的两面，然后拉一下打印纸，观察打印纸的两面指甲划过的地方，划痕为灰色的一面就是涂有热敏材料的一面；也可采用打火机等热源短时间烤一下打印纸，颜色变深的一面就是有热敏材料的一面。

12.2 打印纸更换：

当按下显示屏菜单中的“打印”后，SEL 绿色指示灯闪烁，表示打印纸已经用完，此时需要刚换打印纸，我们在随机附件中准备了备用打印纸，更换时先按下打印机的 OPEN 键，即可打开出纸仓盖，取出旧的纸轴，将新的打印纸外包装去掉，抽出打印纸留出一小段在出纸口外，将纸卷放入纸仓直接盖上仓盖即可，千万不要将打印纸穿过外盖压辊放入，打印纸没有热敏材料的一面对着压辊，这样有热敏材料的一面就刚好对着打印机的打印头了。

12.3 打印机的维护：

由于长时间的野外使用，灰尘等会进入打印头造成打印字迹模糊，可在打开上盖后，用棉棒蘸酒精将打印头上的灰尘擦拭干净即可；设备现场不使用时最好及时盖上设备上盖。

13 技术支持与售后服务

大功率全自动抗干扰线路工频参数异频测试系统产品，我公司为用户免费提供一次现场测试技术指导与技术服务培训，并提供全天 24 小时的热线电话，指导解决用户现场测试时出现的任何技术性问题。

保证所生产的设备具有一致性，产品经过 48 小时老化、考核、校验后，承诺交付用户的设备性能稳定可靠。

产品自发出之日起，产品正常使用情况下三年内我公司负责免费对产品的升级及维护，不再收取任何费用。保修期满后，如设备出现故障，本公司将为设备提供修理和维护的延续服务，只收取材料的成本费。

14 附录

设备成套附件装箱清单

序号	名称	数量	检验	备注
1	一体化测试装置	1 台	√	
2	4 轮移动平板车	1 台	√	
3	测试装置防雨罩	1 只	√	
4	铝合金附件箱	1 个	√	
5	工作电源输入线 (2*4mm ² *1.5m)	1 条	√	
6	专用测试钳线 (6mm ² +1.2 mm ² *15m)	1 套	√	黄/绿/红各 1 条
7	外壳接地线 (2.5 mm ² *6m)	1 条	√	
8	试验接地线 (10 mm ² *6m)	1 条	√	
9	12kV 绝缘手套	1 付	√	
10	静电感应电压测试棒	1 只	√	20kV
11	热敏打印纸	10 卷	√	
12	产品说明书	1 份	√	
13	出厂检验报告	1 份	√	
14	合格证	1 份	√	
选配附件				
1	专用测试钳线	1 套		
2	高空接线钳 (3*8m)	套		
3	对侧配合接地刀闸	套		
4	三相接地引线 (3*12m)	套		
5	组合接地棒 ((3*8m)	套		

ICS 29.240.09
K 44
备案号: 37382-2012

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1179 — 2012

1000kV 交流架空输电线路 工频参数测量导则

Guide for power frequency parameters measurement
of 1000kV AC overhead transmission lines

2012-08-23 发布

2012-12-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和符号	1
4 测量内容	2
5 基本要求	3
6 现场测量时的抗干扰措施	4
7 工频参数测量前试验项目	4
8 正序参数测量	7
9 零序参数测量	10
10 并行线路零序互阻抗和零序耦合电容测量	14
11 线路单位长度工频参数计算方法	16
12 试验设备与测量仪器	17
附录 A (资料性附录) 交流架空输电线路工频参数理论值	19

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 进行编写。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由特高压交流输电标准化技术工作委员会归口。

本标准起草单位：国家电网公司、河南省电力公司电力科学研究院、湖北省电力公司电力科学研究院、山西省电力公司电力科学研究院、陕西电力科学研究院、华东电力试验研究院。

本标准起草人：刘遵义、袁骏、吕中宾、卢明、王森、张致、吕铎、刘愈倬、张甲雷、张小庆、郭森。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

引 言

本标准是根据《国家能源局关于下达 2010 年第一批能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2010〕320 号）的安排制定的。

本标准主要是在总结 1000kV 交流架空输电线路工频参数实际测量经验的基础上，提出了 1000kV 交流架空输电线路工频参数测量的技术方法，可指导技术人员采取合适的方法以获得准确的工频参数测量结果，有利于保障人身和设备安全。

本标准主要规范了工频测量法。本标准没有包括所有可能的测量手段和测量方法。

1000kV 交流架空输电线路工频参数测量导则

1 范围

本标准规定了 1000kV 交流架空输电线路工频参数的工频测量技术方法。

本标准适用于 1000kV 交流架空输电线路工频参数的测量，750kV 及以下交流架空输电线路工频参数的测量也可参考使用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB/T 1179—2008 圆线同心绞架空导线（IEC 61089：1991，MOD）

GB/T 2900.19 电工术语 高电压试验技术和绝缘配合（GB/T 2900.19—1994，IEC 60071-1：1993，NEQ）

GB/T 16927.1 高电压试验技术 第 1 部分：一般定义及试验要求（GB/T 16927.1—2011，IEC 60060-1：2006，MOD）

GB/T 16927.2 高电压试验技术 第二部分：测量系统（GB/T 16927.2—1997，IEC 60060-2：1994，EQV）

3 术语和符号

3.1 术语和定义

GB/T 2900.19 界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1.1

工频法 power frequency method

对被试线路施加工频电源的输电线路工频参数测量方法。

在测试零序阻抗、零序导纳、零序互阻抗和零序耦合电容过程中采用工频法，通过调整试验电源，使电压和电流的幅值和相角发生变化，利用电压相量变化量和电流相量变化量进行数据处理的方法称为工频变相量法。

3.1.2

异频法 different power frequency method

对被试线路施加非工频电源的输电线路工频参数测量方法。异频电源通常采用频率为 40、45、55Hz 和 60Hz。

3.1.3

首端 head of line

在输电线路参数测量过程中，被试线路拟施加试验电源的一端。

3.1.4

末端 end of line

在输电线路参数测量过程中，与首端相对应的被试线路的另一端。

3.1.5

单端测量 single-terminal measurement

在测量中仅测量首端数据的输电线路工频参数测量方法。

注：该方法适用于正序参数及零序参数的测量。

3.1.6

双端测量 double-terminal measurement

在测量中同时测量首端及末端数据的输电线路工频参数测量方法。

注：该方法适用于正序参数、零序参数及回路之间参数的测量。

3.1.7

单端测量 π 模型算法 calculation method of π -shape model for single-terminal measurement

仅测量首端数据，分别在正序和零序线路 π 模型中，考虑阻抗与导纳之间相互影响的一种数据处理方法。

注：该方法适用于正序参数及零序参数测量数据的处理。

3.1.8

双端同步测量算法 calculation method of wide area double-terminal synchronous measurement

同时测量首端及末端数据，分别在正序和零序线路 π 模型中，考虑阻抗与导纳之间相互影响的一种数据处理方法。

注：该方法适用于正序参数、零序参数及回路之间参数测量数据的处理。

3.1.9

变异系数 coefficient of variation

在测量计算某一参数 X 时，规定参数 X 的测量计算变异系数（百分数）为

$$\eta\% = \frac{1}{\bar{X}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$\eta\%$ ——参数 X 的测量计算变异系数（百分数）；

\bar{X} ——参数的测量计算均值， $\bar{X} = \sum_{i=1}^N X_i / N$ ；

X_i ——不同试验状态的测量计算值， $i=1, 2, \dots, N$ ；

N ——参数 X 的试验状态个数，一般 $N \geq 3$ 。

3.2 符号、代号和缩略语

TA —— 电流互感器；

TV —— 电压互感器；

U_s —— 试验电源。

4 测量内容

4.1 线路工频参数测量前试验项目

线路工频参数测量前试验项目包括：

- a) 感应电压（电磁感应电压和静电感应电压）、接地电流测量。
- b) 核对相别、绝缘电阻及直流电阻测量。

4.2 线路工频参数测量项目

线路工频参数测量项目包括：

- a) 正序阻抗、零序阻抗、正序电容、零序电容。

注：通常情况下，正序电导、零序电导可以忽略不计。

- b) 多回同杆或并行线路测量项目还包括回路之间的零序互阻抗和零序耦合电容。

5 基本要求

5.1 安全措施

- 5.1.1 使用绝缘鞋、绝缘手套、绝缘垫及其他防护手段。
- 5.1.2 测量现场及沿线有雨、雪、雷电活动时停止测量。
- 5.1.3 在试验过程中，不做测量时引下线应可靠接地，保证人员与设备的安全。
- 5.1.4 针对不同性质的干扰和不同的测量项目，宜采取相应的安全保护措施，如测量正序参数时试验电源中性点接地，测量绝缘电阻时首端并接电容器等措施。
- 5.1.5 试验接线工作应在被试线路接地的情况下进行，防止感应电压触电。所有引线应有足够的截面，且连接牢靠。测量用导线应能耐受试验电压或用绝缘带悬挂。
- 5.1.6 1000kV 交流架空输电线路一般情况下距离较长，沿途与多条交流输电线路平行或交叉跨越，可能产生较大感应电压。试验时，被试线路电磁感应电压不应超过 1000V。

如果电磁感应电压超过 1000V，则需要停运对被试线路电磁感应电压影响严重的距离较近且并行距离较长的其他线路，直至满足要求。

- 5.1.7 试验应按照 GB/T 16927.1、GB/T 16927.2 的相关要求进行。

5.2 并行线路的影响

5.2.1 并行线路对零序阻抗测量的影响

并行线路两端的接地方式会对被试线路零序阻抗的测量结果产生影响。在测试线路零序阻抗时，并行线路宜保持开路状态。

5.2.2 并行线路对零序电容测量的影响

并行线路两端的接地方式会对被试线路零序电容的测量结果产生影响，因此零序电容测量结果应扣除相应影响。

- a) 并行线路两端接地，则：

$$C_{10} = C_{0D} - C_{11-1} \quad (2)$$

式中：

- C_{10} ——被试线路的零序电容， μF ；
 C_{0D} ——被试线路在并行线路两端接地时测量到的电容， μF ；
 C_{11-1} ——并行线路间的零序耦合电容， μF 。

- b) 并行线路两端开路，则：

$$C_{10} = C_{0K} - \left(\frac{1}{C_{11-1}} + \frac{1}{C_{10}} \right)^{-1} \quad (3)$$

式中：

- C_{10} ——被试线路的零序电容， μF ；
 C_{0K} ——被试线路在并行线路两端开路时测量到的电容， μF ；
 C_{11-1} ——并行线路间的零序耦合电容， μF ；
 C_{10} ——并行线路的零序电容， μF 。

5.3 温度、湿度的影响

温度、湿度对电阻、电容及绝缘电阻的测量结果会产生影响。

测量时应记录被试线路两端的温、湿度和气候条件，便于对测量结果进行分析。

5.4 关于测量结果可信度的判断

变异系数是测量计算结果可信的必要条件，即变异系数越大，测量计算结果越不可信；正序电阻、

正序电抗、正序电容、零序电阻、零序电抗、零序电容、零序互阻抗电阻、互感抗和零序耦合电容的变异系数不宜大于5%。

6 现场测量时的抗干扰措施

6.1 基波测量

测量线路工频参数时，仪器测量的数据含有非基波分量，采用基波分量进行数据处理，可减少谐波量的影响。

6.2 工频变相量法

测量线路工频参数时，输电线路干扰电压（即零序电磁感应电压）的大小及相位，取决于邻近运行输电线路所产生的电磁感应。当所有邻近运行输电线路在一个同步电网时，可以认为在较短时间内被试线路的干扰电压不变，利用工频变相量法可以消除干扰电压对零序参数测量的影响。

6.3 异频法

一般，异频法是抗工频干扰较为理想的一种方法。

采用异频法的试验测量装置，其输出功率和电压应与被试线路的长度和特性匹配，保证测量精度。数据处理算法应考虑线路阻抗与导纳之间的相互影响，并考虑线路参数的分布特性。

6.4 并联补偿法

测量线路工频参数时，如果输电线路的干扰电压变化不定时，利用并联补偿法可以降低干扰电压对测量结果的影响。

如果变化不定的干扰电压幅值较大，采取并联补偿法后仍无法保证测量精度时，则应考虑采用异频法或停运产生干扰的邻近运行输电线路。

7 工频参数测量前试验项目

7.1 感应电压测量

7.1.1 电磁感应电压

被试线路末端三相接地，用电压表通过分压器分别测量各相对地电磁感应电压。电磁感应电压测量示意图如图1所示。

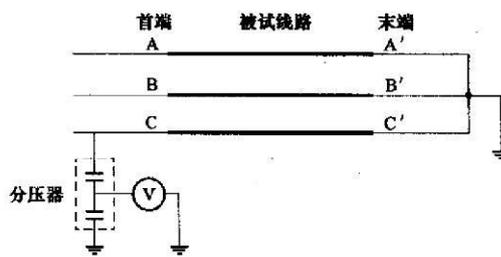


图1 电磁感应电压测量示意图

7.1.2 静电感应电压

试验前，首先将被试线路两端接地充分放电，以释放因线路电容积累的静电荷。

被试线路两端接地解除后，用静电电压表等高阻抗表计分别测量各相对地静电感应电压。静电感应电压测量示意图如图2所示。

7.2 接地电流测量

被试线路末端三相接地，首端测量相通过电流测量装置接地，分别测量各相接地电流。接地电流测量示意图如图3所示。

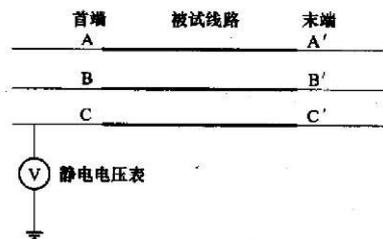


图2 静电感应电压测量示意图

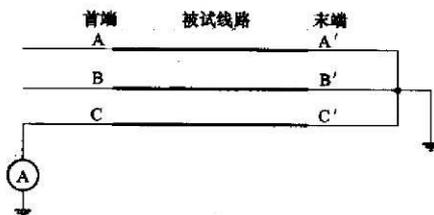


图3 接地电流测量示意图

7.3 核对相别

7.3.1 绝缘电阻表核对相别

用绝缘电阻表核对线路两端相别，测量方法如下：

- A相末端接地，其余悬空。首端分别对三相测绝缘，绝缘为零者为A相（接线方式如图4所示）。
- B相末端接地，其余悬空。首端分别对三相测绝缘，绝缘为零者为B相。
- C相末端接地，其余悬空。首端分别对三相测绝缘，绝缘为零者为C相。

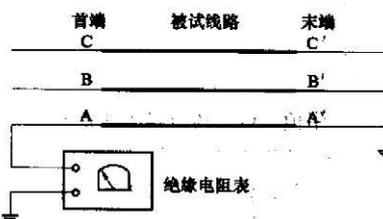


图4 用绝缘电阻表核对相别接线示意图

7.3.2 直流电流核对相别

当电磁感应电压较高无法用绝缘电阻表核对相别时，可采用直流电流核对相别。

- A相末端接地，其余悬空。首端施加直流电源，有直流电流者为A相（接线方式如图5所示）。
- B相末端接地，其余悬空。首端施加直流电源，有直流电流者为B相。
- C相末端接地，其余悬空。首端施加直流电源，有直流电流者为C相。

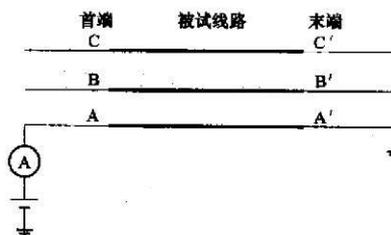


图5 用直流电流核对相别接线示意图

7.4 绝缘电阻测量

试验前线路末端三相均应充分放电并悬空。

打开 A 相接地线，用 5000V 或 10 000V 绝缘电阻表测量 A 相绝缘电阻（接线方式如图 6 所示）及 A 相对 B 相、A 相对 C 相的绝缘电阻，测量后恢复接地线。

其余两相测量方法与 A 相测量方法类似。

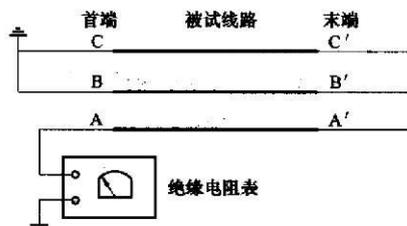


图 6 测量线路各相绝缘电阻接线示意图

7.5 直流电阻测量

线路首端开路，末端三相短路接地，A、B 相加直流电压 U_{AB} （接线方式如图 7 所示），测电流 I_{AB} 。逐次测量 BC 相和 CA 相，则：

$$R_A = (R_{AB} + R_{CA} - R_{BC})/2 \quad (4)$$

$$R_B = (R_{AB} + R_{BC} - R_{CA})/2 \quad (5)$$

$$R_C = (R_{BC} + R_{CA} - R_{AB})/2 \quad (6)$$

式中：

R_A —— A 相的直流电阻值， Ω ；

R_B —— B 相的直流电阻值， Ω ；

R_C —— C 相的直流电阻值， Ω ；

R_{AB} —— A、B 两相串联的直流电阻值， Ω ，其值等于所加直流电压 U_{AB} (V) 与测量电流 I_{AB} (A) 的比值再扣除首末端引线直流电阻后的值；

R_{BC} —— B、C 两相串联的直流电阻值， Ω ，其值等于所加直流电压 U_{BC} (V) 与测量电流 I_{BC} (A) 的比值再扣除首末端引线直流电阻后的值；

R_{CA} —— C、A 两相串联的直流电阻值， Ω ，其值等于所加直流电压 U_{CA} (V) 与测量电流 I_{CA} (A) 的比值再扣除首末端引线直流电阻后的值。

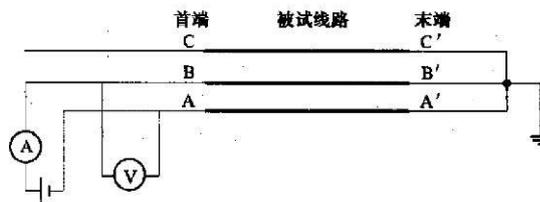


图 7 直流电阻测量示意图

应将测量结果折算至 20℃ 的直流电阻：

$$R_{A20} = \frac{R_A}{1 + (t - 20)\beta} \quad (7)$$

式中：

t —— 首末端平均温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

β ——被试线路的电阻温升系数, $1/^\circ\text{C}$, 对于铝, $\beta=0.0036 (1/^\circ\text{C})$ 。

R_{B20} 、 R_{C20} 测量结果的折算方法同 R_{A20} 。

8 正序参数测量

8.1 正序阻抗测量

8.1.1 单端法

末端三相短路, 在首端施加三相正序电压 (接线方式如图 8 所示), 测量首端电压、首端电流、频率, 计算相应电压、电流基波正序相量。

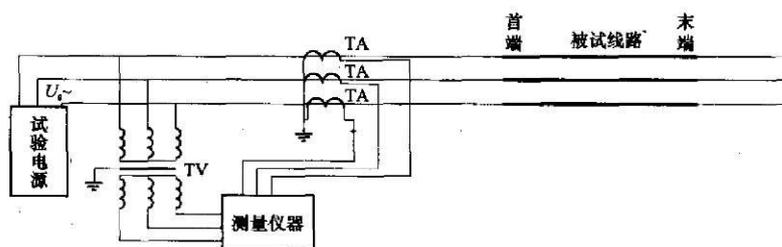


图 8 正序阻抗测量示意图 (单端法)

一般情况下应升至试验系统最大电流, 以最大限度地利用试验系统的容量来提高信噪比, 在降压过程中读取若干组数据用于计算分析。

8.1.2 双端法

末端三相短路, 在首端施加三相正序电压, 首末端同步测量录波 (接线方式如图 9 所示)。测量首端电压、首端电流、频率、末端电流, 计算相应电压、电流基波正序相量。其他参见 8.1.1。

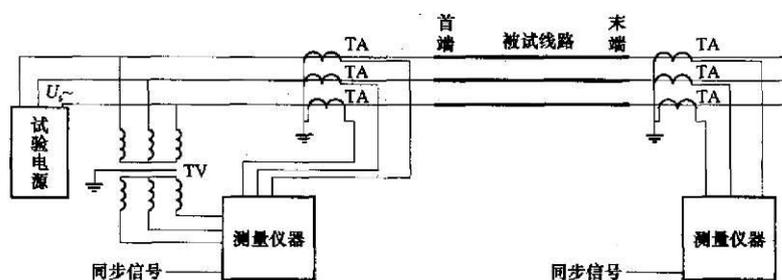


图 9 正序阻抗测量示意图 (双端法)

8.2 正序导纳测量

8.2.1 单端法

末端三相开路, 在首端施加三相正序电压 (接线方式如图 10 所示), 测量首端电压、首端电流、频率。计算相应电压、电流基波正序相量。

一般情况下应升至试验系统最高电压, 以最大限度地利用试验系统的容量来提高信噪比, 在降压过程中读取若干组数据用于计算分析。

8.2.2 双端法

末端三相开路, 在首端施加三相正序电压, 首末端同步测量录波 (接线方式如图 11 所示)。测量首端电压、首端电流、频率、末端电压, 计算相应电压、电流基波正序相量。其他参见 8.2.1。

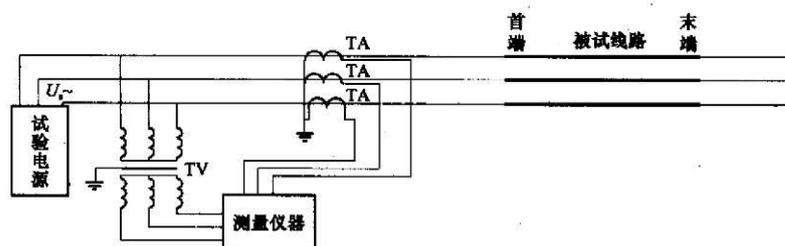


图 10 正序导纳测量示意图（单端法）

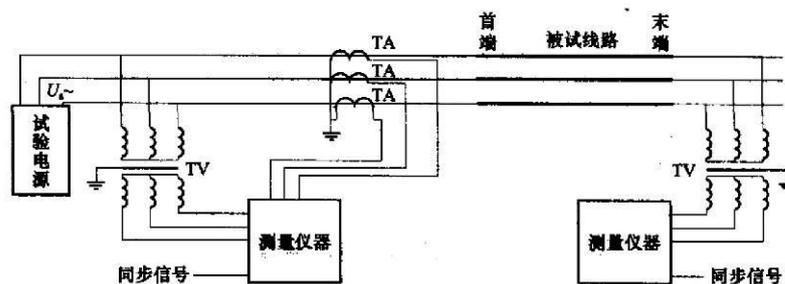


图 11 正序导纳测量示意图（双端法）

8.3 测量数据处理

8.3.1 单端测量 π 模型计算法

正序参数的单端测量等值电路如图 12 所示。图中 \dot{U}_1^+ 和 \dot{I}_1^+ 分别为正序阻抗测量（单端法，见图 8）时，首端测量的正序电压基波相量和正序电流基波相量； \dot{U}_2^+ 和 \dot{I}_2^+ 分别为正序导纳测量（单端法，见图 10）时，首端测量的正序电压基波相量和正序电流基波相量； Z_1 为正序阻抗， Y_1 为正序导纳。图中：

$$R_{sd} = R_{sd20} [1 + (t_{sd} - 20)\beta] \quad (8)$$

$$R_{md} = R_{md20} [1 + (t_{md} - 20)\beta] \quad (9)$$

式中：

R_{sd} ——首端单相引线在首端温度下的交流电阻， Ω ；

R_{md} ——末端至中性点单相引线在末端温度下的交流电阻， Ω ；

R_{sd20} ——首端单相引线 20℃ 时的交流电阻， Ω ；

R_{md20} ——末端至中性点单相引线 20℃ 时的交流电阻， Ω ；

t_{sd} ——首端温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_{md} ——末端温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

β ——试验引线的电阻温升系数， $1/^{\circ}\text{C}$ ，对于铜， $\beta=0.00382 (1/^{\circ}\text{C})$ 。

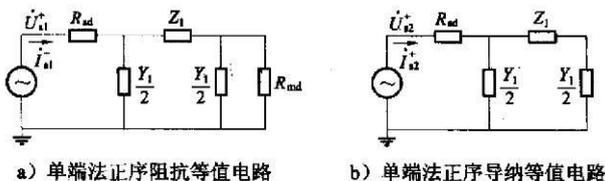


图 12 正序参数的单端测量等值电路

由图 12 可得：

$$\left. \begin{aligned} x + y &= b_2 \\ [R_{\text{md}} - b_1(1 + R_{\text{md}}b_2)]y^2 + 2y - b_2 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

式中：

b_1 ——中间变量， $b_1 = \dot{U}_{s1}^+ / \dot{I}_{s1}^+ - R_{\text{sd}}$ ；

b_2 ——中间变量， $b_2 = (\dot{U}_{s2}^+ / \dot{I}_{s2}^+ - R_{\text{sd}})^{-1}$ ；

x ——中间变量， $x = (Z_1 + 2/Y_1)^{-1}$ ；

y ——中间变量， $y = Y_1/2$ 。

求解方程组 (10)，可求出 x ， y ，进而可求出 Z_1 和 Y_1 。

8.3.2 双端同步测量算法

8.3.2.1 正序导纳

与图 11 对应的正序导纳双端同步测量等值电路如图 13 所示。

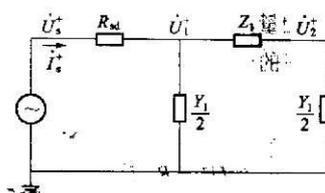


图 13 正序导纳双端同步测量等值电路

由图 13 可得正序导纳：

$$Y_1 = \frac{2\dot{I}_s^+}{\dot{U}_1^+ + \dot{U}_2^+} \quad (11)$$

式中：

Y_1 ——正序导纳，S；

\dot{I}_s^+ ——首端测量的正序电流基波相量，A；

\dot{U}_2^+ ——末端测量的正序电压基波相量，V；

\dot{U}_1^+ ——首端引线与被试线路接点处正序电压基波相量，V。

$$\dot{U}_1^+ = \dot{U}_s^+ - R_{\text{sd}}\dot{I}_s^+ \quad (12)$$

式中：

\dot{U}_s^+ ——首端测量的正序电压基波相量，V；

R_{sd} ——首端单相引线在首端温度下的交流电阻， Ω 。

8.3.2.2 正序阻抗

与图 9 对应的正序阻抗双端同步测量等值电路如图 14 所示。

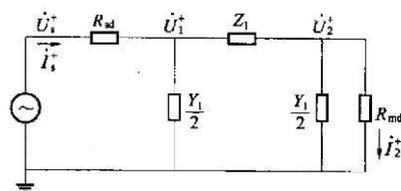


图 14 正序阻抗双端同步测量等值电路

由图 14 可得正序阻抗:

$$Z_1 = \frac{\dot{U}_1^+ - \dot{U}_2^+}{\dot{I}_s^+ - 0.5Y_1\dot{U}_1^+} \quad (13)$$

式中:

Z_1 ——正序阻抗, Ω ;

\dot{U}_1^+ ——首端引线与被试线路接点处正序电压基波相量, V;

\dot{U}_2^+ ——末端引线与被试线路接点处正序电压基波相量, V;

\dot{I}_s^+ ——首端测量的正序电流基波相量, A;

Y_1 ——正序导纳, S, 由式 (11) 计算得出。

\dot{U}_1^+ 可由式 (14) 确定。

$$\dot{U}_1^+ = \dot{U}_s^+ - R_{sd}\dot{I}_s^+ \quad (14)$$

式中:

\dot{U}_s^+ ——首端测量的正序电压基波相量, V;

R_{sd} ——首端单相引线在首端温度下的交流电阻, Ω 。

\dot{U}_2^+ 可由式 (15) 确定。

$$\dot{U}_2^+ = R_{md}\dot{I}_2^+ \quad (15)$$

式中:

R_{md} ——末端至中性点单相引线在末端温度下的交流电阻, Ω ;

\dot{I}_2^+ ——末端测量的正序电流基波相量, A。

8.4 正序电容

正序电容计算公式为

$$C_1 = \frac{\text{Im}(Y_1)}{2\pi f} \times 10^6 \quad (16)$$

式中:

C_1 ——正序电容, μF ;

$\text{Im}(Y_1)$ ——正序导纳 Y_1 的虚部, S;

f ——试验电源频率, Hz。

9 零序参数测量

9.1 零序阻抗测量

9.1.1 单端法

末端三相短路接地, 将被试线路首端三相短接一起, 始终以固定的 220V 电源电压为参考电压信号引入测录装置, 轮流施加单相工频电源 (接线方式如图 15 所示)。测量首端电压、首端电流、频率, 计算出相应电压、电流基波相量。

调压器接通 A 相电源, 一般情况下应升至试验系统最大电流, 以最大限度利用试验系统的容量来提高信噪比, 在降压过程中读取若干组数据用于计算分析。调压器依次接通 B、C 相电源, 重复上述试验。

9.1.2 双端法

末端三相短路接地, 将被试线路首端三相短接一起, 始终以固定的 220V 电源电压为参考电压信号引入测录装置, 轮流施加单相工频电源, 首末端同步测量录波 (接线方式如图 16 所示)。测量首端电压、首端电流、频率、末端电流, 计算出相应电压、电流的基波相量。其他参见 9.1.1。

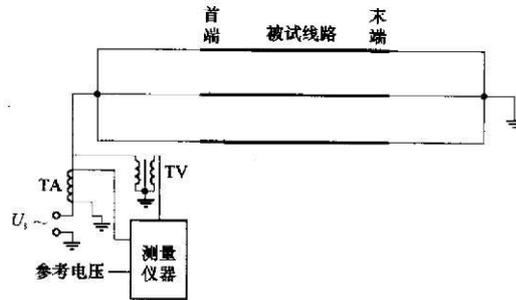


图 15 零序阻抗测量示意图（单端法）

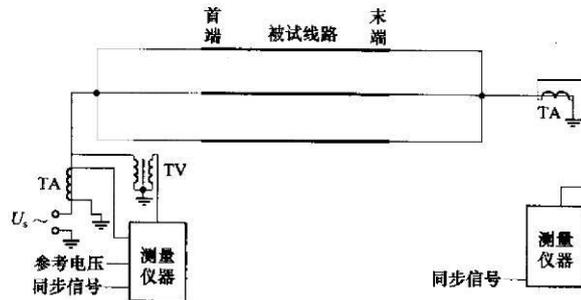


图 16 零序阻抗测量示意图（双端法）

9.2 零序导纳测量

9.2.1 单端法

末端三相开路，始终以固定的 220V 电源电压为参考电压信号引入测录装置，轮流施加单相工频电源（接线方式如图 17 所示）。测量首端电压、首端电流、频率，计算出相应电压、电流基波相量。

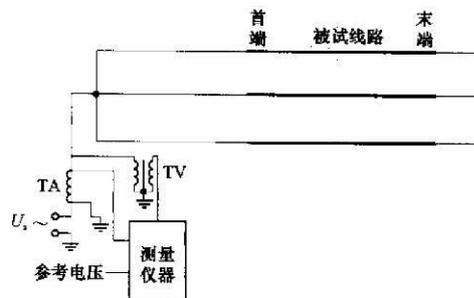


图 17 零序导纳测量示意图（单端法）

调压器接通 A 相电源，一般情况下应升至试验系统最高电压，以最大限度利用试验系统的容量来提高信噪比，在降压过程中读取若干组数据用于计算分析。调压器依次接通 B、C 相电源，重复上述试验。

9.2.2 双端法

末端三相开路，始终以固定的 220V 电源电压为参考电压信号引入测录装置，轮流施加单相工频电源，首末端同步测量录波（接线方式如图 18 所示）。测量首端电压、首端电流、频率、末端电压，计算出相应电压、电流基波相量。其他参见 9.2.1。

9.3 测量数据处理

9.3.1 单端测量 π 模型计算法

零序参数的单端测量等值电路如图 19 所示。图中 ΔU_{s1} 、 ΔU_{s2} 、 ΔI_{s1} 和 ΔI_{s2} 分别为首端三相短接后，

轮相施加单相电源且末端三相短接接地（单端法，见图 15）或末端三相断开（单端法，见图 17）时，在首端测量计算出的电压基波相量变化量和总电流基波相量变化量的 1/3； Z_0 为零序阻抗， Y_0 为零序导纳。

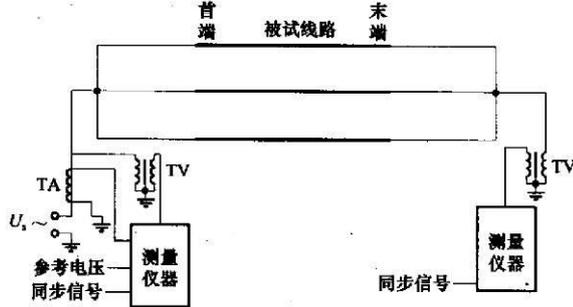


图 18 零序导纳测量示意图（双端法）

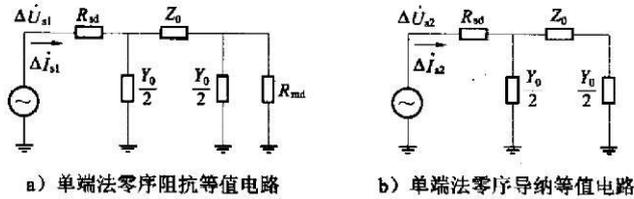


图 19 零序参数的单端测量等值电路

由图 19 可得：

$$\left. \begin{aligned} x + y &= b_2 \\ [R_{sd} - b_1(1 + R_{sd}b_2)]y^2 + 2y - b_2 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

式中：

b_1 ——中间变量， $b_1 = \Delta U_{s1} / \Delta I_{s1} - R_{sd}$ ；

b_2 ——中间变量， $b_2 = (\Delta U_{s2} / \Delta I_{s2} - R_{sd})^{-1}$ ；

x ——中间变量， $x = (Z_0 + 2/Y_0)^{-1}$ ；

y ——中间变量， $y = Y_0/2$ ；

R_{sd} ——首端单相引线在首端温度下的交流电阻， Ω ；

R_{md} ——末端至中性点单相引线在末端温度下的交流电阻， Ω 。

求解方程组 (17)，可求出 x 、 y ，进而可求出 Z_0 和 Y_0 。

9.3.2 双端同步测量算法

9.3.2.1 零序导纳

与图 18 对应的零序导纳双端同步测量等值电路如图 20 所示。

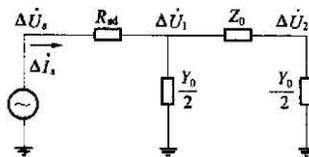


图 20 零序导纳双端同步测量等值电路

则零序导纳为

$$Y_0 = \frac{2\Delta I_s}{\Delta U_1 + \Delta U_2} \quad (18)$$

式中:

- Y_0 ——零序导纳, S;
- ΔI_s ——首端测量总电流基波相量变化量的 1/3, A;
- ΔU_2 ——末端电压基波相量变化量, V;
- ΔU_1 ——首端引线与与被试线路接点处电压基波相量变化量, V。

$$\Delta U_1 = \Delta U_s - R_{sd} \Delta I_s \quad (19)$$

式中:

- ΔU_s ——首端测量计算出的电压基波相量变化量, V;
- R_{sd} ——首端单相引线在首端温度下的交流电阻, Ω 。

9.3.2.2 零序阻抗

与图 16 对应的零序阻抗双端同步测量等值电路如图 21 所示。

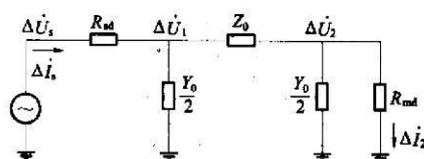


图 21 零序阻抗双端同步测量等值电路

则零序阻抗为

$$Z_0 = \frac{\Delta U_1 - \Delta U_2}{\Delta I_s - 0.5Y_0 \Delta U_1} \quad (20)$$

式中:

- Z_0 ——零序阻抗, Ω ;
- ΔU_1 ——首端引线与与被试线路接点处电压基波相量变化量, V;
- ΔU_2 ——末端引线与与被试线路接点处电压基波相量变化量, V;
- ΔI_s ——首端测量计算出的总电流基波相量变化量的 1/3, A;
- Y_0 ——零序导纳, S, 由式 (18) 计算得出。

ΔU_1 可由式 (21) 确定。

$$\Delta U_1 = \Delta U_s - R_{sd} \Delta I_s \quad (21)$$

式中:

- ΔU_s ——首端测量计算出的电压基波相量变化量, V;
- R_{sd} ——首端单相引线在首端温度下的交流电阻, Ω 。

ΔU_2 可由式 (22) 确定。

$$\Delta U_2 = R_{md} \Delta I_2 \quad (22)$$

式中:

- R_{md} ——末端至中性点单相引线在末端温度下的交流电阻, Ω ;
- ΔI_2 ——末端测量计算出的电流基波相量变化量, 是末端测量总电流基波相量变化量的 1/3, A。

9.4 零序电容

零序电容计算公式为

$$C_0 = \frac{\text{Im}(Y_0)}{2\pi f} \times 10^6 \quad (23)$$

式中：

C_0 ——零序电容， μF ；

$\text{Im}(Y_0)$ ——零序导纳 Y_0 的虚部，S；

f ——试验电源频率，Hz。

10 并行线路零序互阻抗和零序耦合电容测量

10.1 零序互阻抗测量

10.1.1 测量方法

始终以固定的 220V 电源电压为参考电压信号引入测录装置，线路 I 回轮相加试验电源，首末端同步测量录波（接线方式如图 22 所示）。测量 I 回首端电流、II 回首端电压、频率和 I 回末端电流，并计算出相应基波相量。

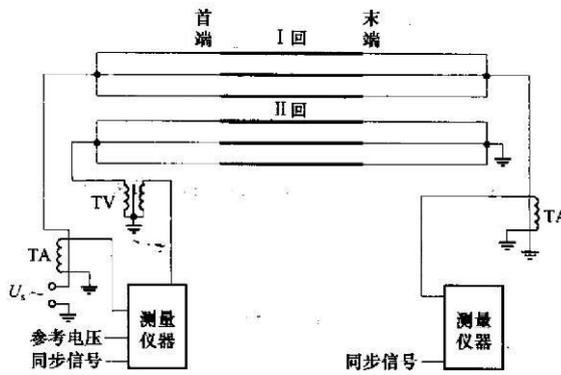


图 22 零序互阻抗测量示意图

10.1.2 双端同步测量计算法

与图 22 对应的零序互阻抗双端同步测量等值电路如图 23 所示。

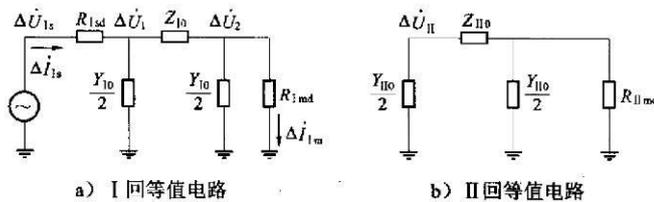


图 23 零序互阻抗双端同步测量等值电路

图中 $\Delta\dot{U}_{I_s}$ 和 $\Delta\dot{I}_{I_s}$ 分别为在 I 回首端轮相施加电源且末端三相短接接地时，在首端测量计算出的加压回路电压基波相量变化量和总电流基波相量变化量的 1/3。定义零序互阻抗为

$$Z_{II-I} = \frac{\Delta\dot{U}_{II}}{\Delta\dot{I}_I} \quad (24)$$

式中：

Z_{II-I} —— I、II 回线路之间零序互阻抗， Ω ；

$\Delta\dot{U}_{II}$ —— II 回首端试验引线与试线路接点处感应电压基波相量变化量，V；

$\Delta\dot{I}_I$ —— I 回线路首末端相电流基波相量变化量平均值，A。

$$\Delta i_1 = \frac{\Delta i_{1s} + \Delta i_{1m}}{2} \quad (25)$$

式中：

Δi_{1s} —— I 回首端测量计算出的总电流基波相量变化量的 1/3, A;

Δi_{1m} —— I 回末端测量计算出的总电流基波相量变化量的 1/3, A。

10.2 零序耦合电容测量

10.2.1 测量方法

始终以固定的 220V 电源电压为参考电压信号引入测录装置，线路 I 回轮相加试验电源，首末端同步测量录波（接线方式如图 24 所示）。测量 I 回首端电压、II 回首端电流、频率和 I 回末端电压，并计算出相应基波相量变化量。

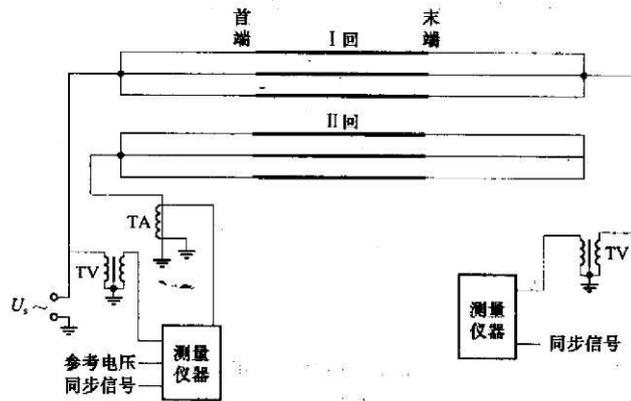


图 24 零序耦合电容测量示意图

10.2.2 双端同步测量计算法

与图 24 对应的零序耦合电容双端同步测量等值电路如图 25 所示。

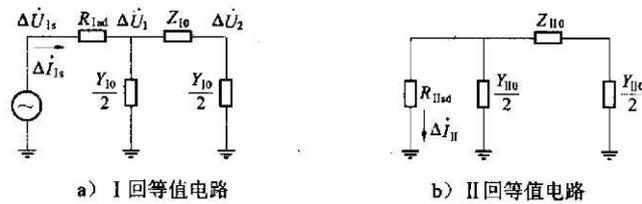


图 25 零序耦合电容双端同步测量等值电路

图中 ΔU_{1s} 和 Δi_{1s} 分别为在 I 回首端轮相施加电源且末端三相开路时，在首端测量计算出的加压回路电压基波相量变化量和总电流基波相量变化量的 1/3。定义互导纳为

$$Y_{n-1} = \frac{\Delta i_{1s}}{\Delta U_1} \quad (26)$$

式中：

Y_{n-1} —— I、II 回线路之间的互导纳, S;

Δi_{1s} —— II 回首端测量计算出的总电流基波相量变化量的 1/3, A;

ΔU_1 —— I 回首末端引线与被试线路接点处电压基波相量变化量的平均值, V。

$$\Delta\dot{U}_1 = \frac{\Delta\dot{U}_1 + \Delta\dot{U}_2}{2} \quad (27)$$

式中:

$\Delta\dot{U}_2$ —— I 回末端测量计算出的电压基波相量变化量, V。

$\Delta\dot{U}_1$ —— I 回首端引线与被试线路接点处电压基波相量变化量, V, $\Delta\dot{U}_1$ 可由式 (28) 确定。

$$\Delta\dot{U}_1 = \Delta\dot{U}_{1s} - R_{1sd}\Delta\dot{I}_{1s} \quad (28)$$

式中:

$\Delta\dot{U}_{1s}$ —— I 回首端测量计算出的电压基波相量变化量, V;

$\Delta\dot{I}_{1s}$ —— I 回首端测量计算出的总电流基波相量变化量的 1/3, A;

R_{1sd} —— I 回首端单相引线在首端温度下的交流电阻, Ω 。

定义 I、II 回路之间的零序耦合电容为

$$C_{0-1} = \frac{\text{Im}(Y_{0-1})}{2\pi f} \times 10^6 \quad (29)$$

C_{0-1} —— I、II 回路之间零序耦合电容, μF ;

$\text{Im}(Y_{0-1})$ —— Y_{0-1} 的虚部, S;

f —— 试验电源频率, Hz。

11 线路单位长度工频参数计算方法

11.1 一般规定

单端测量 π 模型方法 (或双端同步测量法) 及计算出的正序阻抗、正序导纳是整条线路的正序等值 π 模型线路参数, 零序阻抗、零序导纳是整条线路的零序等值 π 模型线路参数。

不计分布参数特性的单位长度线路参数仅适用于较短的输电线路, 参见附录 A。为了准确获得交流输电线路单位长度工频参数, 需要考虑线路的分布参数特性。计及分布参数特性的单位长度线路参数只能用于分布参数等值电路模型。

11.2 单位长度正序参数

被试线路的正序等值 π 模型如图 26 所示, 计及分布参数特性的被试线路正序等值 π 模型的阻抗和导纳为

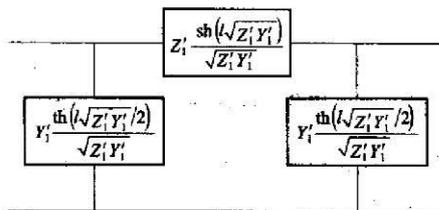


图 26 被试线路的正序等值 π 模型

$$Z_1 = Z_1' \frac{\text{sh}(l\sqrt{Z_1'Y_1})}{\sqrt{Z_1'Y_1}} \quad (30)$$

$$Y_1 = 2Y_1' \frac{\text{th}(l\sqrt{Z_1'Y_1}/2)}{\sqrt{Z_1'Y_1}} \quad (31)$$

式中：

- Z_1 ——实测正序阻抗， Ω ；
 Y_1 ——实测正序导纳，S；
 Z_1' ——单位长度正序阻抗， Ω/km ；
 Y_1' ——单位长度正序导纳，S/km；
 l ——线路长度，km。

求解式(30)和式(31)，即可求出计及分布参数特性的线路单位长度正序阻抗和正序导纳。需要将所得参数折算成频率为50Hz且温度为20℃的标准参数。

11.3 单位长度零序参数

被试线路的零序等值 π 模型如图27所示，计及分布参数特性的被试线路零序等值 π 模型的阻抗和导纳为

$$Z_0 = Z_0' \frac{\text{sh}(l\sqrt{Z_0'Y_0'})}{\sqrt{Z_0'Y_0'}} \quad (32)$$

$$Y_0 = 2Y_0' \frac{\text{th}(l\sqrt{Z_0'Y_0'}/2)}{\sqrt{Z_0'Y_0'}} \quad (33)$$

式中：

- Z_0 ——实测零序阻抗， Ω ；
 Y_0 ——实测零序导纳，S；
 Z_0' ——单位长度零序阻抗， Ω/km ；
 Y_0' ——单位长度零序导纳，S/km；
 l ——线路长度，km。

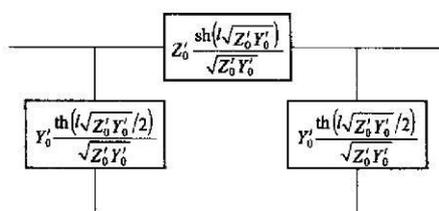


图27 被试线路的零序等值 π 模型

求解式(32)和式(33)，即可求出计及分布参数特性的线路单位长度零序阻抗和零序导纳。需要将所得参数折算成频率为50Hz的参数。

12 试验设备与测量仪器

12.1 试验设备的选择原则

为了保证测量精度，在试验前，需要根据对线路工频参数的估算、感应电压及接地电流的大小，计算并选择测量所需的合适设备。

12.2 同步测量信号

在双端法测量时，为了实现同步测量，应以同步时钟信号作为测量的时间基准，分立式同步测量系统总体结构如图28所示。同步时钟精度不宜劣于1 μs 。

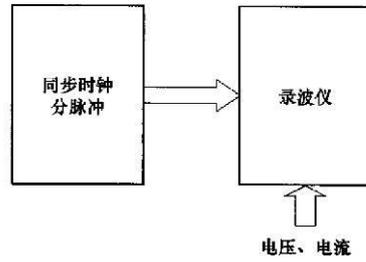


图 28 分立式同步测量系统总体结构

12.3 录波仪

在线路工频参数测量中，利用录波仪对线路首端或末端电压、电流、同步触发脉冲及参考相量进行测量录波，录波仪具有 8 个及以上的测量通道；采样频率应不低于 200kHz；A/D 转换器的量化精度应不低于 16 位（二进制位）；通道之间的采样误差应不大于 0.1°。

12.4 电压互感器

电压互感器精度应不低于 0.1 级。电压互感器的变比宜与试验电压和录波仪相适应。

12.5 电流互感器

电流互感器精度应不低于 0.1 级。电流互感器的额定电压应与试验电压相适应，电流互感器的变比宜与试验电流和录波仪相适应。

附录 A
(资料性附录)
交流架空输电线路工频参数理论值

表 A.1 双分裂钢芯铝绞线导线的直流电阻及正序电抗 单位: Ω/km

导线型号	直流电阻	不同几何均距下的正序电抗							
		7.5m	8.0m	8.5m	9.0m	9.5m	10.0m	10.5m	11.0m
2×LGJ-300/15	0.048 62	0.299	0.303	0.307	0.311	0.314	0.317	0.320	0.323
2×LGJ-300/20	0.047 60	0.299	0.303	0.307	0.310	0.314	0.317	0.320	0.323
2×LGJ-300/25	0.047 17	0.298	0.302	0.306	0.310	0.313	0.316	0.319	0.322
2×LGJ-300/40	0.048 07	0.298	0.302	0.306	0.309	0.313	0.316	0.319	0.322
2×LGJ-300/50	0.048 18	0.298	0.302	0.305	0.309	0.312	0.316	0.319	0.322
2×LGJ-300/70	0.047 32	0.296	0.300	0.304	0.308	0.311	0.315	0.318	0.321
2×LGJ-400/20	0.035 52	0.294	0.298	0.302	0.306	0.309	0.312	0.316	0.318
2×LGJ-400/25	0.036 85	0.295	0.299	0.303	0.306	0.310	0.313	0.316	0.319
2×LGJ-400/35	0.036 95	0.294	0.298	0.302	0.306	0.309	0.313	0.316	0.319
2×LGJ-400/50	0.036 16	0.293	0.298	0.301	0.305	0.308	0.311	0.315	0.318
2×LGJ-400/65	0.036 18	0.293	0.297	0.301	0.305	0.308	0.311	0.314	0.317
2×LGJ-400/95	0.035 44	0.292	0.296	0.300	0.303	0.307	0.310	0.313	0.316
2×LGJ-500/35	0.029 06	0.291	0.295	0.299	0.302	0.306	0.309	0.312	0.315
2×LGJ-500/45	0.029 56	0.291	0.295	0.299	0.302	0.306	0.309	0.312	0.315
2×LGJ-500/65	0.028 80	0.290	0.294	0.298	0.301	0.305	0.308	0.311	0.314
2×LGJ-630/45	0.023 17	0.287	0.291	0.295	0.299	0.302	0.305	0.309	0.311
2×LGJ-630/55	0.022 57	0.287	0.291	0.295	0.298	0.302	0.305	0.308	0.311
2×LGJ-630/80	0.022 76	0.286	0.290	0.294	0.298	0.301	0.304	0.307	0.310
2×LGJ-800/55	0.017 74	0.283	0.287	0.291	0.295	0.298	0.301	0.304	0.307
2×LGJ-800/70	0.017 87	0.283	0.287	0.291	0.294	0.298	0.301	0.304	0.307
2×LGJ-800/100	0.018 18	0.283	0.287	0.291	0.294	0.298	0.301	0.304	0.307

表 A.2 四分裂钢芯铝绞线导线的直流电阻及正序电抗 单位: Ω/km

导线型号	直流电阻	不同几何均距下的正序电抗										
		10.0m	10.5m	11.0m	11.5m	12.0m	12.5m	13.0m	13.5m	14.0m	14.5m	15.0m
4×LGJ-300/15	0.024 31	0.251	0.254	0.257	0.260	0.262	0.265	0.267	0.270	0.272	0.274	0.276
4×LGJ-300/20	0.023 80	0.251	0.254	0.257	0.259	0.262	0.265	0.267	0.269	0.272	0.274	0.276
4×LGJ-300/25	0.023 58	0.250	0.253	0.256	0.259	0.262	0.264	0.267	0.269	0.272	0.274	0.276
4×LGJ-300/40	0.024 04	0.250	0.253	0.256	0.259	0.262	0.264	0.267	0.269	0.271	0.274	0.276
4×LGJ-300/50	0.024 09	0.250	0.253	0.256	0.259	0.262	0.264	0.267	0.269	0.271	0.273	0.276
4×LGJ-300/70	0.023 66	0.249	0.253	0.255	0.258	0.261	0.263	0.266	0.268	0.271	0.273	0.275
4×LGJ-400/20	0.017 76	0.248	0.251	0.254	0.257	0.260	0.262	0.265	0.267	0.270	0.272	0.274

表 A.2 (续)

导线型号	直流电阻	不同几何均距下的正序电抗										
		10.0m	10.5m	11.0m	11.5m	12.0m	12.5m	13.0m	13.5m	14.0m	14.5m	15.0m
4×LGJ-400/25	0.018 43	0.249	0.252	0.255	0.257	0.260	0.263	0.265	0.267	0.270	0.272	0.274
4×LGJ-400/35	0.018 47	0.248	0.252	0.254	0.257	0.260	0.263	0.265	0.267	0.270	0.272	0.274
4×LGJ-400/50	0.018 08	0.248	0.251	0.254	0.257	0.259	0.262	0.265	0.267	0.269	0.271	0.274
4×LGJ-400/65	0.018 09	0.248	0.251	0.254	0.257	0.259	0.262	0.264	0.267	0.269	0.271	0.273
4×LGJ-400/95	0.017 72	0.247	0.250	0.253	0.256	0.259	0.261	0.264	0.266	0.268	0.271	0.273
4×LGJ-500/35	0.014 53	0.247	0.250	0.253	0.255	0.258	0.261	0.263	0.266	0.268	0.270	0.272
4×LGJ-500/45	0.014 78	0.247	0.250	0.253	0.255	0.258	0.261	0.263	0.266	0.268	0.270	0.272
4×LGJ-500/65	0.014 40	0.246	0.249	0.252	0.255	0.258	0.260	0.263	0.265	0.267	0.270	0.272
4×LGJ-630/45	0.011 58	0.245	0.248	0.251	0.254	0.256	0.259	0.261	0.264	0.266	0.268	0.270
4×LGJ-630/55	0.011 29	0.245	0.248	0.251	0.253	0.256	0.259	0.261	0.263	0.266	0.268	0.270
4×LGJ-630/80	0.011 38	0.244	0.247	0.250	0.253	0.256	0.258	0.261	0.263	0.266	0.268	0.270
4×LGJ-800/55	0.008 87	0.243	0.246	0.249	0.252	0.254	0.257	0.259	0.262	0.264	0.266	0.268
4×LGJ-800/70	0.008 94	0.243	0.246	0.249	0.252	0.254	0.257	0.259	0.262	0.264	0.266	0.268
4×LGJ-800/100	0.009 09	0.243	0.246	0.249	0.251	0.254	0.257	0.259	0.261	0.264	0.266	0.268

表 A.3 六分裂钢芯铝绞线导线的直流电阻及正序电抗 (几何均距 16.0m~21.0m)

单位: Ω/km

导线型号	直流电阻	不同几何均距下的正序电抗										
		16.0m	16.5m	17.0m	17.5m	18.0m	18.5m	19.0m	19.5m	20.0m	20.5m	21.0m
6×LGJ-400/20	0.011 84	0.250	0.252	0.254	0.255	0.257	0.259	0.260	0.262	0.263	0.265	0.266
6×LGJ-400/25	0.012 28	0.250	0.252	0.254	0.255	0.257	0.259	0.260	0.262	0.263	0.265	0.266
6×LGJ-400/35	0.012 32	0.250	0.252	0.254	0.255	0.257	0.259	0.260	0.262	0.263	0.265	0.266
6×LGJ-400/50	0.012 05	0.250	0.252	0.254	0.255	0.257	0.259	0.260	0.262	0.263	0.265	0.266
6×LGJ-400/65	0.012 06	0.250	0.252	0.254	0.255	0.257	0.259	0.260	0.262	0.263	0.265	0.266
6×LGJ-400/95	0.011 81	0.250	0.252	0.254	0.255	0.257	0.259	0.260	0.262	0.263	0.265	0.266
6×LGJ-500/35	0.009 69	0.249	0.251	0.253	0.254	0.256	0.258	0.259	0.261	0.262	0.264	0.265
6×LGJ-500/45	0.009 85	0.249	0.251	0.253	0.254	0.256	0.258	0.259	0.261	0.262	0.264	0.265
6×LGJ-500/65	0.009 60	0.249	0.251	0.253	0.254	0.256	0.258	0.259	0.261	0.262	0.264	0.265
6×LGJ-630/45	0.007 72	0.247	0.249	0.251	0.252	0.254	0.256	0.257	0.259	0.260	0.262	0.263
6×LGJ-630/55	0.007 52	0.247	0.249	0.251	0.252	0.254	0.256	0.257	0.259	0.260	0.262	0.263
6×LGJ-630/80	0.007 59	0.247	0.249	0.251	0.252	0.254	0.256	0.257	0.259	0.260	0.262	0.263
6×LGJ-800/55	0.005 91	0.246	0.248	0.250	0.251	0.253	0.255	0.256	0.258	0.259	0.261	0.262
6×LGJ-800/70	0.005 96	0.246	0.248	0.250	0.251	0.253	0.255	0.256	0.258	0.259	0.261	0.262
6×LGJ-800/100	0.006 06	0.246	0.248	0.250	0.251	0.253	0.255	0.256	0.258	0.259	0.261	0.262

表 A.4 六分裂钢芯铝绞线导线的直流电阻及正序电抗（几何均距 21.5m~26.5m）

单位：Ω/km

导线型号	直流电阻	不同几何均距下的正序电抗										
		21.5m	22.0m	22.5m	23.0m	23.5m	24.0m	24.5m	25.0m	25.5m	26.0m	26.5m
6×LGJ-400/20	0.011 84	0.268	0.269	0.270	0.272	0.273	0.274	0.275	0.276	0.278	0.279	0.280
6×LGJ-400/25	0.012 28	0.268	0.269	0.270	0.272	0.273	0.274	0.275	0.276	0.278	0.279	0.280
6×LGJ-400/35	0.012 32	0.268	0.269	0.270	0.272	0.273	0.274	0.275	0.276	0.278	0.279	0.280
6×LGJ-400/50	0.012 05	0.268	0.269	0.270	0.272	0.273	0.274	0.275	0.276	0.278	0.279	0.280
6×LGJ-400/65	0.012 06	0.268	0.269	0.270	0.272	0.273	0.274	0.275	0.276	0.278	0.279	0.280
6×LGJ-400/95	0.011 81	0.268	0.269	0.270	0.272	0.273	0.274	0.275	0.276	0.278	0.279	0.280
6×LGJ-500/35	0.009 69	0.267	0.268	0.269	0.271	0.272	0.273	0.274	0.275	0.277	0.278	0.279
6×LGJ-500/45	0.009 85	0.267	0.268	0.269	0.271	0.272	0.273	0.274	0.275	0.277	0.278	0.279
6×LGJ-500/65	0.009 60	0.267	0.268	0.269	0.271	0.272	0.273	0.274	0.275	0.277	0.278	0.279
6×LGJ-630/45	0.007 72	0.265	0.266	0.267	0.269	0.270	0.271	0.272	0.273	0.275	0.276	0.277
6×LGJ-630/55	0.007 52	0.265	0.266	0.267	0.269	0.270	0.271	0.272	0.273	0.275	0.276	0.277
6×LGJ-630/80	0.007 59	0.265	0.266	0.267	0.269	0.270	0.271	0.272	0.273	0.275	0.276	0.277
6×LGJ-800/55	0.005 91	0.264	0.265	0.266	0.268	0.269	0.270	0.271	0.272	0.274	0.275	0.276
6×LGJ-800/70	0.005 96	0.264	0.265	0.266	0.268	0.269	0.270	0.271	0.272	0.274	0.275	0.276
6×LGJ-800/100	0.006 06	0.264	0.265	0.266	0.268	0.269	0.270	0.271	0.272	0.274	0.275	0.276

表 A.5 八分裂钢芯铝绞线导线的直流电阻及正序电抗（几何均距 16.0m~21.0m）

单位：Ω/km

导线型号	直流电阻	不同几何均距下的正序电抗										
		16.0m	16.5m	17.0m	17.5m	18.0m	18.5m	19.0m	19.5m	20.0m	20.5m	21.0m
8×LGJ-500/35	0.007 27	0.228	0.230	0.232	0.233	0.235	0.237	0.238	0.240	0.242	0.243	0.245
8×LGJ-500/45	0.007 39	0.228	0.230	0.232	0.233	0.235	0.237	0.238	0.240	0.242	0.243	0.245
8×LGJ-500/65	0.007 20	0.228	0.230	0.232	0.233	0.235	0.237	0.238	0.240	0.242	0.243	0.245
8×LGJ-630/45	0.005 79	0.227	0.229	0.231	0.232	0.234	0.236	0.237	0.239	0.241	0.242	0.244
8×LGJ-630/55	0.005 65	0.227	0.229	0.231	0.232	0.234	0.236	0.237	0.239	0.241	0.242	0.244
8×LGJ-630/80	0.005 69	0.227	0.229	0.231	0.232	0.234	0.236	0.237	0.239	0.241	0.242	0.244
8×LGJ-800/55	0.004 44	0.226	0.228	0.230	0.231	0.233	0.235	0.236	0.238	0.240	0.241	0.243
8×LGJ-800/70	0.004 47	0.226	0.228	0.230	0.231	0.233	0.235	0.236	0.238	0.240	0.241	0.243
8×LGJ-800/100	0.004 55	0.226	0.228	0.230	0.231	0.233	0.235	0.236	0.238	0.240	0.241	0.243

表 A.6 八分裂钢芯铝绞线导线的直流电阻及正序电抗（几何均距 21.5m~26.5m）

单位：Ω/km

导线型号	直流电阻	不同几何均距下的正序电抗										
		21.5m	22.0m	22.5m	23.0m	23.5m	24.0m	24.5m	25.0m	25.5m	26.0m	26.5m
8×LGJ-500/35	0.007 27	0.246	0.247	0.249	0.250	0.251	0.253	0.254	0.255	0.256	0.258	0.259
8×LGJ-500/45	0.007 39	0.246	0.247	0.249	0.250	0.251	0.253	0.254	0.255	0.256	0.258	0.259
8×LGJ-500/65	0.007 20	0.246	0.247	0.249	0.250	0.251	0.253	0.254	0.255	0.256	0.258	0.259

表 A.6 (续)

导线型号	直流电阻	不同几何均距下的正序电抗										
		21.5m	22.0m	22.5m	23.0m	23.5m	24.0m	24.5m	25.0m	25.5m	26.0m	26.5m
8×LGJ-630/45	0.005 79	0.245	0.246	0.248	0.249	0.250	0.252	0.253	0.254	0.255	0.257	0.258
8×LGJ-630/55	0.005 65	0.245	0.246	0.248	0.249	0.250	0.252	0.253	0.254	0.255	0.257	0.258
8×LGJ-630/80	0.005 69	0.245	0.246	0.248	0.249	0.250	0.252	0.253	0.254	0.255	0.257	0.258
8×LGJ-800/55	0.004 44	0.244	0.245	0.247	0.248	0.249	0.251	0.252	0.253	0.254	0.256	0.257
8×LGJ-800/70	0.004 47	0.244	0.245	0.247	0.248	0.249	0.251	0.252	0.253	0.254	0.256	0.257
8×LGJ-800/100	0.004 55	0.244	0.245	0.247	0.248	0.249	0.251	0.252	0.253	0.254	0.256	0.257

表 A.7 八分裂钢芯铝绞线导线的直流电阻及正序电抗 (几何均距 27.0m~30.0m)

单位: Ω/km

导线型号	直流电阻	不同几何均距下的正序电抗						
		27.0m	27.5m	28.0m	28.5m	29.0m	29.5m	30.0m
8×LGJ-500/35	0.007 27	0.260	0.261	0.262	0.263	0.264	0.265	0.266
8×LGJ-500/45	0.007 39	0.260	0.261	0.262	0.263	0.264	0.265	0.266
8×LGJ-500/65	0.007 20	0.260	0.261	0.262	0.263	0.264	0.265	0.266
8×LGJ-630/45	0.005 79	0.259	0.260	0.261	0.262	0.263	0.264	0.265
8×LGJ-630/55	0.005 65	0.259	0.260	0.261	0.262	0.263	0.264	0.265
8×LGJ-630/80	0.005 69	0.259	0.260	0.261	0.262	0.263	0.264	0.265
8×LGJ-800/55	0.004 44	0.258	0.259	0.260	0.261	0.262	0.263	0.264
8×LGJ-800/70	0.004 47	0.258	0.259	0.260	0.261	0.262	0.263	0.264
8×LGJ-800/100	0.004 55	0.258	0.259	0.260	0.261	0.262	0.263	0.264

表 A.8 一般线路零序电抗与正序电抗的平均比值

线路类别	X_0/X_1
无地线的单回路线路	3.5
具有钢线地线的单回路线路	3.0
具有良导体地线的单回路线路	2.0
无地线的双回路线路	5.5
具有钢线地线的双回路线路	4.7
具有良导体地线的双回路线路	3.0

表 A.9 双分裂线路正序电纳

单位: $\mu\text{S}/\text{km}$

导线型号	不同几何均距下的正序电纳							
	7.5m	8.0m	8.5m	9.0m	9.5m	10.0m	10.5m	11.0m
2×LGJ-300/40	3.77	3.72	3.67	3.63	3.59	3.55	3.52	3.48
2×LGJ-400/50	3.83	3.78	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.53
2×LGJ-500/45	3.87	3.81	3.76	3.72	3.67	3.63	3.60	3.56
2×LGJ-630/45	3.92	3.86	3.81	3.76	3.72	3.68	3.64	3.61
2×LGJ-800/55	3.98	3.92	3.87	3.82	3.77	3.73	3.69	3.66

表 A.10 四分裂线路正序电纳

单位: $\mu\text{S}/\text{km}$

导线型号	不同几何均距下的正序电纳										
	10.0m	10.5m	11.0m	11.5m	12.0m	12.5m	13.0m	13.5m	14.0m	14.5m	15.0m
4×LGJ-300/40	4.45	4.40	4.35	4.30	4.25	4.21	4.17	4.13	4.10	4.07	4.03
4×LGJ-400/50	4.49	4.44	4.38	4.34	4.29	4.25	4.21	4.17	4.13	4.10	4.07
4×LGJ-500/45	4.52	4.46	4.41	4.36	4.31	4.27	4.23	4.19	4.15	4.12	4.09
4×LGJ-630/45	4.55	4.49	4.44	4.39	4.34	4.30	4.26	4.22	4.18	4.15	4.11
4×LGJ-800/55	4.59	4.53	4.48	4.43	4.38	4.34	4.29	4.25	4.22	4.18	4.15

表 A.11 六分裂线路正序电纳 (几何均距 16.0m~21.0m)

单位: $\mu\text{S}/\text{km}$

导线型号	不同几何均距下的正序电纳										
	16.0m	16.5m	17.0m	17.5m	18.0m	18.5m	19.0m	19.5m	20.0m	20.5m	21.0m
6×LGJ-400/20	4.53	4.49	4.46	4.43	4.40	4.37	4.35	4.32	4.30	4.27	4.25
6×LGJ-500/35	4.55	4.51	4.48	4.45	4.42	4.39	4.37	4.34	4.32	4.29	4.27
6×LGJ-630/45	4.57	4.53	4.50	4.47	4.44	4.41	4.39	4.36	4.34	4.31	4.29
6×LGJ-800/55	4.59	4.55	4.52	4.49	4.46	4.43	4.41	4.38	4.36	4.33	4.31

表 A.12 六分裂线路正序电纳 (几何均距 21.5m~26.5m)

单位: $\mu\text{S}/\text{km}$

导线型号	不同几何均距下的正序电纳										
	21.5m	22.0m	22.5m	23.0m	23.5m	24.0m	24.5m	25.0m	25.5m	26.0m	26.5m
6×LGJ-400/20	4.23	4.21	4.19	4.17	4.15	4.13	4.11	4.10	4.08	4.07	4.05
6×LGJ-500/35	4.25	4.23	4.21	4.19	4.17	4.15	4.13	4.12	4.10	4.09	4.07
6×LGJ-630/45	4.27	4.25	4.23	4.21	4.19	4.17	4.15	4.14	4.12	4.11	4.09
6×LGJ-800/55	4.29	4.27	4.25	4.23	4.21	4.19	4.17	4.16	4.14	4.13	4.11

表 A.13 八分裂线路正序电纳 (几何均距 16.0m~21.0m)

单位: $\mu\text{S}/\text{km}$

导线型号	不同几何均距下的正序电纳										
	16.0m	16.5m	17.0m	17.5m	18.0m	18.5m	19.0m	19.5m	20.0m	20.5m	21.0m
8×LGJ-500/35	4.98	4.94	4.90	4.86	4.83	4.79	4.76	4.73	4.70	4.67	4.64
8×LGJ-630/45	5.00	4.96	4.92	4.88	4.85	4.81	4.78	4.75	4.72	4.69	4.66
8×LGJ-800/55	5.02	4.98	4.94	4.90	4.87	4.83	4.80	4.77	4.74	4.71	4.68

表 A.14 八分裂线路正序电纳 (几何均距 21.5m~26.5m)

单位: $\mu\text{S}/\text{km}$

导线型号	不同几何均距下的正序电纳										
	21.5m	22.0m	22.5m	23.0m	23.5m	24.0m	24.5m	25.0m	25.5m	26.0m	26.5m
8×LGJ-500/35	4.62	4.59	4.57	4.54	4.52	4.50	4.48	4.46	4.44	4.42	4.40
8×LGJ-630/45	4.64	4.61	4.59	4.56	4.54	4.52	4.50	4.48	4.46	4.44	4.42
8×LGJ-800/55	4.66	4.63	4.61	4.58	4.56	4.54	4.52	4.50	4.48	4.46	4.44

表 A.15 八分裂线路正序电纳（几何均距 27.0m~30.0m） 单位：μS/km

导线型号	不同几何均距下的正序电纳						
	27.0m	27.5m	28.0m	28.5m	29.0m	29.5m	30.0m
8×LGJ-500/35	4.38	4.37	4.35	4.33	4.32	4.30	4.29
8×LGJ-630/45	4.40	4.39	4.37	4.35	4.34	4.32	4.31
8×LGJ-800/55	4.42	4.41	4.39	4.37	4.36	4.34	4.33

注：表 A.3~表 A.7 和表 A.11~表 A.15 数据由 ATP 软件计算得出。计算时导线参数均按 GB/T 1179—2008 进行选择；六分裂导线杆塔导线悬挂点高度按 65m、弧垂按 18m 进行计算；八分裂导线杆塔导线悬挂点高度按 60m、弧垂按 16m 进行计算。