



团 体 标 准

T/CES XXX-XXXX

配电网单相接地故障智能选段装置 试验要求

Test requirements for intelligent section selection device of single-phase
ground fault in distribution network
(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

前 言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 试验条件 2

 4.1 气候环境条件 2

 4.2 试验装置 2

 4.3 试验种类 3

 4.4 试验项目 3

 4.5 试验顺序 3

5 性能试验方法及要求 3

 5.1 一般技术要求 3

 5.2 外观和结构检查 4

 5.3 防护等级试验 4

 5.4 绝缘耐压试验 4

 5.5 低温试验 4

 5.6 高温试验 4

 5.7 温度变化试验 4

 5.8 交变湿热试验 4

 5.9 盐雾试验 4

 5.10 机械振动试验 5

 5.11 雷电冲击耐受电压试验 5

 5.12 抗干扰试验 5

 5.13 传感器误差试验 5

 5.14 电流传感器复合误差试验 5

6 仿真试验方法及要求 5

 6.1 仿真测试系统组成 5

 6.2 仿真软件输出方式 6

 6.3 故障类型建模 6

 6.4 过渡阻抗 6

6.5 故障起始时间7

6.6 模拟不同相别单相接地故障 7

6.7 模拟线路合闸接地故障7

6.8 模拟断路器三相不同步合闸 7

7 功能试验方法及要求 7

7.1 共同的功能试验要求7

7.2 10kV 配电网真型试验专项试验方法及要求 8

7.3 继保测试仪波形回放试验专项试验方法及要求 9

7.4 整体合格判定原则9

8 试验报告 9

附录 A（资料性）配电网单相接地故障智能选段装置试验流程 11

附录 B（资料性）10 kV 配电网开展仿真建模12

附录 C（资料性）配电网单相接地故障智能选段装置试验方案 15

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

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

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会配电开关设备智能化工作组归口。

本文件起草单位：国网江苏省电力有限公司南京供电分公司、易源士创信息科技（南京）有限公司、福州大学电气工程与自动化学院、福建中电合创电力科技有限公司、山东科汇电力自动化股份有限公司、施耐德电气（中国）有限公司上海分公司、福建鑫博亿电力科技有限公司、国网福建省电力有限公司电力科学研究院、南方电网科学研究院有限责任公司、南京渡易能源技术咨询有限公司。

本文件主要起草人：罗兴、嵇文路、许泰峰、郭谋发、葛夕武、陈建坤、张景晨、林杰、王超、李容、许为松、林潮龙、胡子健、沈璐、潘小辉、王立伟、申超领、张振宇、高健鸿、白浩、张磊、赵连强。

本文件为首次发布。

配电网单相接地故障智能选段装置试验要求

1 范围

本文件规定了配电网单相接地故障智能选段装置（以下简称：故障选段装置）的试验条件、试验项目和试验方法，并明确了试验相关技术指标要求。

本文件适用于 10 kV 架空线路上使用的配电网单相接地故障智能选段装置（以下简称：故障选段装置）的生产、使用、试验和验收。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 2423.1-2008 电工电子产品环境试验第 2 部分：试验方法 试验 A：低温
- GB/T 2423.2-2008 电工电子产品环境试验第 2 部分：试验方法 试验 B：高温
- GB/T 2423.3-2016 环境试验第 2 部分：试验方法 试验 Cab：恒定湿热试验
- GB/T 2423.5-2019 环境试验第 2 部分：试验方法 试验 Ea 和导则：冲击
- GB/T 4208-2017 外壳防护等级（IP 代码）
- GB/T 15153.1-1998 运动设备及系统 第 2 部分：工作条件 第 1 篇：电源和电磁兼容性
- GB/T 16927.1-2011 高电压试验技术第一部分：一般实验要求
- GB/T 17626.2-2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.3-2016 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 17626.4-2018 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
- GB/T 17626.5-2019 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
- GB/T 17626.8-2006 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验
- GB/T 17626.9-2011 电磁兼容 试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验
- GB/T 17626.10-2017 电磁兼容 试验和测量技术 阻尼振荡磁场抗扰度试验
- GB/T 17626.11-2008 电磁兼容 试验和测量技术 电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验
- GB/T 17626.18-2016 电磁兼容 试验和测量技术 阻尼振荡波抗扰度试验
- DL/T 593-2016 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求
- DL/T 872-2016 小电流接地系统单相接地故障选线装置技术条件
- T/CES 018-2025 配电网 10kV 及 20kV 交流传感器技术条件
- T/CSEE 0400-2023 12kV 一二次融合配电开关单相接地故障处理能力实验室真型试验技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

小电流接地系统 neutral point non-effectively grounded system

中性点不接地、经消弧线圈接地或经高电阻接地的电力系统。

[DL/T 872-2016, 定义 3.1]

3.2

单相接地 single phase-to-ground

小电流接地系统中的某一相发生的接地故障。

[DL/T 872-2016, 定义 3.2]

3.3

永久性接地 permanent single phase-to-ground

小电流接地系统中单相接地后需要人工修复的接地状态。

[DL/T 872-2016, 定义 3.3]

3.4

瞬时性接地 instantaneous single phase-to-ground

小电流接地系统中单相接地持续一段时间后自动恢复到正常的接地状态。

[DL/T 872-2016, 定义 3.4]

3.5

金属性接地故障 metallic grounding fault

小电流接地系统中发生直接接地且接地电阻近似为零的单相接地故障。

3.6

电阻接地故障 resistive grounding fault

小电流接地系统中发生经一定阻值的过渡电阻接地的单相接地故障。

3.7

高阻接地故障 high impedance fault

小电流接地系统中发生经水泥、草地、树木等高阻抗介质接地的单相接地故障。

3.8

故障区段 fault section

小电流接地系统中发生单相接地故障的区段，对于故障区段进行定位简称选段。

3.9

配电网单相接地故障智能选段装置 intelligent fault section location device for single-phase ground faults in distribution networks

在小电流接地系统中，可免阈值智能化检测单相接地故障发生、定位故障区段并发出告警信号的装置。

4 试验条件

4.1 气候环境条件

故障选段装置处于正常工作状态，各项试验应在以下大气条件下进行：

- a) 环境温度：-25℃～+65℃，特殊地区不低于-35℃；
- b) 环境湿度：空气相对湿度日平均值应不大于 95% RH，月平均值不大于 90% RH；
- c) 海拔高度：不高于 3000 米；
- d) 大气条件：水蒸气压力日平均不超过 2.2 kPa，月平均值不超过 1.8 kPa；
- e) 环境条件：无明显污秽、无易燃、易爆、化学腐蚀和盐雾场所。

4.2 试验装置

试验所需工器具应满足本文件相关条款要求，具备相应的量程、精度和校准状态，并在有效期内使用。常用工器具和设备包括但不限于：

- a) 环境试验设备：高低温湿热试验箱、盐雾试验箱、砂尘试验箱、防水试验装置、振动试验台。
- b) 电气性能试验设备：绝缘耐压测试仪、雷击浪涌发生器、安规综合分析仪、冲击电压发生器。
- c) 电磁兼容试验设备：静电放电发生器、射频电磁场辐射抗扰度测试系统、阻尼振荡波/振荡磁场发生器、组合式抗扰度测试仪。
- d) 故障选段试验设备：接地故障模拟装置、多通道信号输出与录波装置、继电保护测试仪、高精度零序电流/电压传感器及时间同步装置。

4.3 试验种类

故障选段装置试验项目包括型式试验、出厂试验、交接试验。

——型式试验：型式试验用于按照故障选段装置有关技术规范和技术标准检验新产品。

——出厂试验：每台故障选段装置在出厂前须经制造商的质量检验部门进行出厂试验，确认合格后方能出厂。试验合格出厂的产品应具有证明装置合格的产品合格证书。

——交接试验：对新安装或改装的故障选段装置在现场进行的验收试验或相关功能验收。

4.4 试验项目

故障选段装置试验项目见表 1。

表 1 故障选段装置试验项目

序号	试验项目	出厂试验	型式试验	交接试验	标准条文
1	外观和结构检查	√	√	/	
2	防护等级试验	/	√	/	
3	绝缘耐压试验	√	√	√	
4	低温试验	/	√	/	
5	高温试验	/	√	/	
6	温度变化试验	/	√	/	
7	交变湿热试验	/	√	/	
8	盐雾试验	/	√	/	
9	机械振动试验	/	√	/	
10	雷电冲击耐受电压试验	/	√	/	
11	抗干扰试验	/	√	/	
12	传感器误差试验	√	√	/	
13	电流传感器复合误差试验	√	√	/	
14	功能试验（仿真试验+真型试验+波形回放）		√	√	

4.5 试验顺序

试验项目的组合和试验顺序由供方决定，但型式试验前应通过出厂试验，在型式试验项目开始前和结束后应测量传感器的相关误差试验和故障选段装置的主要性能试验，以检查是否发生了损伤。

5 性能试验方法及要求

5.1 一般技术要求

故障选段装置带电试验过程中, 不应出现关机、重启、死机、保护误动等故障, 故障录波、事件顺序记录(SOE)及通信正常; 试验结束后, 应能正常遥控开关设备, 遥信和遥测功能正常。

5.2 外观和结构检查

人工检查故障选段装置外观及结构, 测量接地端子尺寸, 查看运行指示灯、软件版本号和校验码、唯一性编码, 检查专用连接器与通信接口的种类及数量。故障选段装置的外观和外形尺寸、安装尺寸应符合有关的产品技术条件及设计图样的规定。检查产品表面金属部件镀层、漆层是否均匀、牢固, 内部部件是否可靠固定, 一次与接地端子的螺纹直径不小于 6 mm。检查产品的绝缘表面是否有裂纹、起泡、脱落等缺陷。

5.3 防护等级试验

装置防护等级不低于 IP54, 根据 IP 防护等级按 GB/T 4208-2017 进行安全和防尘防水试验。

5.4 绝缘耐压试验

装置应能承受 GB/T15153.1-1998、GB/T 311.1 规定的绝缘耐压测试, 验证装置的耐压能力, 确保长期电气安全性; 测试级别 2 级, 工频耐压 1 kV, 冲击电压 2 kV。

5.5 低温试验

按 GB/T 2423.1 的规定, 温度为 $-25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 周期为 24 h。

注: 对严寒气候的低温值, DL/T 593-2016 的 2.3.4 适用。

5.6 高温试验

按 GB/T 2423.2 的规定, 温度为 $125\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 周期为 24 h。

5.7 温度变化试验

按 GB/T 2423.22 的规定, 同时应符合 GB/T 2424.13 的有关要求, 严酷度为:

- a) 低温 TA: $-25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- b) 高温 TB: $40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- c) 试验循环数: 5 次;
- d) 暴露时间 t_1 : 2 h;
- e) 转换时间 t_2 : 3 min。

5.8 交变湿热试验

试验按 GB/T 2423.4-2008 的规定, 在下列条件下进行:

- 试品在非工作状态;
- 交变方式: GB/T 2423.4-2008 里规定的方法 1, 采用受控速率降温交变湿热循环;
- 上限温度: 装置的上限工作环境温度, 偏差不超过 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 不采取特殊措施排除表面潮气;
- 循环次数: 6 个周期。

此项试验结束后 24 h, 试品应经受下列试验:

- 目测检查, 应无可见的影响功能特性的腐蚀痕迹;
- 进行交流耐压试验, 试验电压为交流耐压的 80%;

5.9 盐雾试验

试验按 GB/T 2423.18-2012 的规定, 在下列条件下进行:

- 试品在非工作状态;
- 盐液浓度: $(5 \pm 1)\%$;
- 试验箱内温度: $40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 试验 Kb, 共进行 144 h。

试验后试品应接受目测检验，外观特别是标志的清晰度应无改变，应无可见的影响功能特性的腐蚀痕迹，并能通过交流耐压试验，试验电压为交流耐压的 80%。

5.10 机械振动试验

将故障选段装置按安装方式固定在振动试验台上，按 GB/T 2423.10 的规定进行轴向振动试验。试验参数为：振动频率 55 Hz，加速度 50 m/s²，振动时间 10 min。

5.11 雷电冲击耐受电压试验

雷电冲击耐受电压试验、截断雷电冲击耐受电压试验电压按照表中所示，试验方法 GB/T 16927.1-2011 中 7.3 适用。额定绝缘水平如表 2 所示。

表 2 故障选段装置额定绝缘水平

额定电压 kV（有效 值）	额定短时工频耐受电压 kV（有效 值）		额定雷电冲击耐受电压 kV（峰值）		截断雷电冲击耐受电 压 kV（峰值）
	通用值	断口	通用值	断口	
12	42（42）	48（48）	75	85	85

注 1：括号中参数为湿式参数。

5.12 抗干扰试验

将故障选段装置按照如下表示所示进行抗干扰试验，评估装置在干扰停止后能自行恢复。

表 3 抗干扰试验

序号	抗干扰试验内容	试验方法参照标准	试验结果
1	静电放电抗干扰度试验	GB/T 17626.2	在干扰发生时，功能或性能暂时丧失或降低，但在干扰停止后能自行恢复
2	射频电磁场骚扰辐射抗扰度	GB/T 17626.3	
3	电快速瞬变脉冲群试验	GB/T 17626.4	
4	浪涌（冲击）抗扰度	GB/T 17626.5	
5	电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度	GB/T 17626.11	
6	工频电磁场抗扰度	GB/T 17626.8	
7	阻尼振荡磁场抗扰度	GB/T 17626.10	
8	阻尼振荡波抗扰度	GB/T 17626.18	

5.13 传感器误差试验

电压传感器误差试验 T/CES 018-2025 的 7.4.4.4 适用，电流传感器误差试验 T/CES 018—2025 的 7.4.4.2 适用，并做如下补充：

——应在施加额定电压、电压传感器额定负荷下测试，误差满足技术规范要求；

5.14 电流传感器复合误差试验

T/CES 018-2025 的 7.4.4.3 适用，并做如下补充：

应在施加额定电压、电压传感器额定负荷下测试，误差满足技术规范要求。

6 仿真试验方法及要求

本章规定配电网小电流接地选线装置仿真测试的总体要求、系统组成、测试方式及软件选型原则，用于 10 kV 配电网小电流接地故障选段装置的实验室仿真验证与性能评估。

6.1 仿真测试系统组成

仿真测试系统由仿真软件、继电保护测试仪、待测选段装置三部分组成。仿真软件可通过计算机脚本驱动，实现仿真参数批量修改及参数更新后的自动重新仿真，宜选用 EMTP/ATP、PSCAD、RTDS、Simulink、RelaySimTest 等仿真电力系统故障电磁暂态过程的仿真软件。仿真软件的执行步长应设置为足够小的数值（如 $1\mu\text{s}$ ），确保生成的故障波形包含充足的暂态细节，满足基于暂态判据的选段算法验证需求。

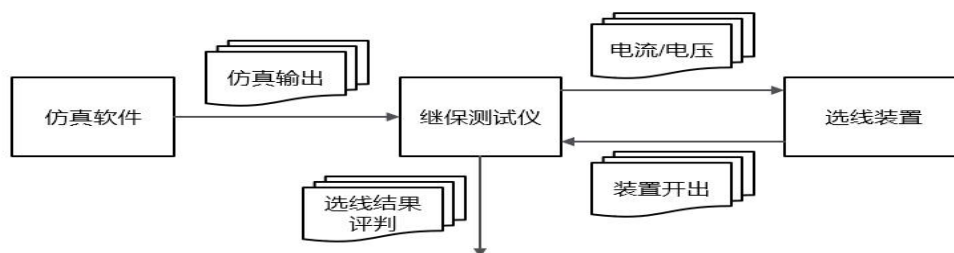


图 1 仿真测试系统架构

6.2 仿真软件输出方式

仿真软件对继电保护测试仪的波形输出方式分为离线方式和在线方式两种。

a) 选线装置研制早期，以离线仿真为主，采用离线方式仿真时，仿真软件生成并存储故障录波文件（如 COMTRADE、pl4 等格式），再通过继电保护测试仪回放至待测选线装置，故障录波文件的采样率应不低于保护算法所用采样率的 2 倍（不含 2 倍）。

b) 选线装置研制后期，以在线仿真为主，采用在线方式仿真时，仿真软件直接驱动继电保护测试仪，将仿真生成的故障波形实时输出至待测选线装置。

6.3 故障类型建模

6.3.1 仿真建模应包含稳定低阻接地故障、弧光间歇性接地故障、高阻接地故障三类：

a) 稳定低阻接地故障采用持续型接地故障模型，故障接入后保持接地状态，直至人工切除故障，模拟金属性接地、经固定电阻接地等稳定接地故障工况。

b) 弧光间歇性接地故障可采用 EMTP/ATP 中基于电压控制通断的开关元件，模拟电弧的燃弧与熄弧过程；电弧参数应按以下要求设定，还原现场弧光接地故障的暂态特性：

- (1) 开通电压（燃弧阈值）：0.9 pu（相对于额定相电压）；
- (2) 关断电压（熄弧阈值）：0.2 pu（相对于额定相电压）；
- (3) 故障电流单次最小持续时长：约 3 ms。

c) 高阻接地故障可采用非线性阻抗模型进行仿真，模拟导线碰触树枝、砂石、水泥地面等典型高阻接地场景。

6.3.2 故障阶段

故障全过程应划分为故障前、故障中、故障后三个阶段，各阶段电气量变化应连续、无畸变，具体要求：

- a) 故障前阶段：系统稳态运行阶段，持续时长不低于 0.2 s，保证系统电气量达到稳定状态；
- b) 故障中阶段：故障发生至切除的暂态阶段，精准模拟故障电流、电压的突变与暂态振荡过程；
- c) 故障后阶段：故障切除后的系统恢复阶段，模拟电气量回归稳态的过程。

6.4 过渡阻抗

模拟单相接地故障的过渡阻抗（故障电阻），取值可覆盖 $1\ \Omega\sim 20\ \text{k}\Omega$ 全范围典型值，至少包含 $1\ \Omega$ 、 $30\ \Omega$ 、 $100\ \Omega$ 、 $500\ \Omega$ 、 $1000\ \Omega$ 、 $3\ \text{k}\Omega$ 、 $10\ \text{k}\Omega$ 、 $20\ \text{k}\Omega$ 等节点值，满足金属性接地、低阻接地、高阻接地等不同故障严重程度的模拟需求。

6.5 故障起始时间

故障起始时间以系统稳态运行 0.2s 后为基准，按 1ms 步长在 $0.200\text{s}\sim 0.219\text{s}$ 范围内调整故障触发时刻，模拟故障发生于工频周期内不同相位角的工况。

6.6 模拟不同相别单相接地故障

模拟单相接地故障的不同相别，应完整包含 A 相接地、B 相接地、C 相接地三类工况，验证故障选段装置对不同相别接地故障的检测能力。

6.7 模拟线路合闸接地故障

仿真模型应模拟线路合闸于接地故障的工况，通过合闸开关与故障点的联动控制实现；该类故障应纳入故障选段装置故障检测与过滤逻辑的验证范围，验证装置对合闸故障的识别能力。

6.8 模拟断路器三相不同步合闸

仿真模型应模拟断路器三相合闸时间不一致的工况，三相合闸时间差应控制在 $0.2\text{ms}\sim 0.5\text{ms}$ 的实际工程范围内；该工况用于验证故障检测机制对非故障暂态信号的过滤能力，避免装置因合闸暂态产生误判。

7 功能试验方法及要求

本章规定了配电网单相接地故障智能选段装置功能试验的通用试验要求和专项试验要求。试验分为 10kV 配电网真型试验和继保测试仪波形回放试验两类。装置应满足通用功能要求，并分别符合对应专项试验的全部规定。

7.1 共同的功能试验要求

本节为 10kV 配电网真型试验和继保测试仪波形回放试验的共同遵循准则。装置在两类试验中均应满足以下要求。

7.1.1 快速启动功能

a) 依据 T/CSEE 0400—2023 附录 C 及附录 D 试验项目开展试验，其中常规、特殊试验项目均需进行，中性点接地方式、故障场景应按 T/CSEE 0400—2023 中 6.1～6.5 的要求设置，接地故障类型应按 T/CSEE 0400—2023 中 7.2.3～7.2.8 的要求设置；

b) 试验时故障选段装置应能避免扰动影响不误动，无需人为干预设定阈值，快速智能检测故障、确定故障发生时刻并及时启动选段算法；

c) 试验后各项试验结果应保证接地信号输出正确，分别检查故障录波及接地记忆功能，应逐一查询此前各故障时刻前后波形及接地信息不丢失。

7.1.2 单相接地故障选线功能

a) 依据 T/CSEE 0400—2023 附录 C 及附录 D 试验项目开展试验，其中常规、特殊试验项目均需进行，中性点接地方式、故障场景应按 T/CSEE 0400—2023 中 6.1～6.5 的要求设置，接地故障类型应按 T/CSEE 0400—2023 中 7.2.3～7.2.8 的要求设置；

b) 试验时故障选段装置应可免设阈值，精准智能选出故障线路，并将结果以开关量等形式传输至 FTU，进一步上送至主站；

c) 试验后各项试验结果应保证接地信号输出正确，分别检查故障录波及接地记忆功能，应逐一查询此前各故障时刻前后波形及接地信息不丢失。

7.1.3 免阈值故障选段功能

a) 依据 T/CSEE 0400—2023 附录 C 及附录 D 试验项目开展试验，其中常规、特殊试验项目均需进行，中性点接地方式、故障场景应按 T/CSEE 0400—2023 中 6.1～6.5 的要求设置，接地故障类型应按 T/CSEE 0400—2023 中 7.2.3～7.2.8 的要求设置；

b) 试验时故障选段装置应可免设阈值，精准智能选出故障区段，并将结果以开关量等形式传输至 FTU，进一步上送至主站；

c) 试验后各项试验结果应保证接地信号输出正确，分别检查故障录波及接地记忆功能，应逐一查询此前各故障时刻前后波形及接地信息不丢失。

7.1.4 就地研判功能

a) 依据 T/CSEE 0400—2023 附录 C 及附录 D 试验项目开展试验，其中常规、特殊试验项目均需进行，中性点接地方式、故障场景应按 T/CSEE 0400—2023 中 6.1～6.5 的要求设置，接地故障类型应按 T/CSEE 0400—2023 中 7.2.3～7.2.8 的要求设置；

b) 试验时故障选段装置应进行就地运算，精准智能给出故障结论，并在就地研判结果以开关量等形式传输至 FTU，进一步上送至主站；

c) 试验后各项试验结果应保证接地信号输出正确，分别检查故障录波及接地记忆功能，应逐一查询此前各故障时刻前后波形及接地信息不丢失。

7.1.5 故障识别功能

a) 依据 T/CSEE 0400—2023 附录 C 及附录 D 试验项目开展试验，其中常规、特殊试验项目均需进行，中性点接地方式、故障场景应按 T/CSEE 0400—2023 中 6.1～6.5 的要求设置，接地故障类型应按 T/CSEE 0400—2023 中 7.2.3～7.2.8 的要求设置；

b) 试验时故障选段装置应能区分瞬时性或永久性接地故障，无需人为干预设定阈值，智能识别接地故障类型；

c) 试验后各项试验结果应保证接地信号输出正确，分别检查故障录波及接地记忆功能，应逐一查询此前各故障时刻前后波形及接地信息不丢失。

7.1.6 记忆功能

依据 T/CSEE 0400—2023 中第 7 节的试验场景及方法，进行 T/CSEE 0400—2023 中第 6 节的试验项目，故障选段装置研判故障发生后，应检查历史数据是否包含历史录波文件、接地信息及故障信息，并断电重启后检查所设参数是否丢失。

7.1.7 报警功能

依据 T/CSEE 0400—2023 中第 7 节的试验场景及方法，进行 T/CSEE 0400—2023 中第 6 节的试验项目，故障选段装置研判故障发生后，具备报警指示灯提示故障，并将报警结果以开关量等形式传输至 FTU，进一步上送至主站。

7.1.8 与馈线终端单元（FTU）的信息交互功能

依据 T/CSEE 0400—2023 中第 7 节的试验场景及方法，进行 T/CSEE 0400—2023 中第 6 节的试验项目，将故障选段装置通过航空插头与 FTU 连接并列运行，故障选段装置应能够将选段结果以开关量形式传输至 FTU。

7.1.9 选段算法升级功能

a) 就地维护功能：利用网线通过以太网通信，将电脑与故障选段装置相连接，就地登录故障选段装置，升级选段算法，并检验主程序是否可准确调用升级的智能选段算法；

b) 远程维护功能：具备远程维护装置参数功能，有修改记录。装置应能够设置是否启动远程维护功能，同时能够对每次远程维护操作进行记录。

7.2 10kV 配电网真型试验专项试验方法及要求

7.2.1 试验系统应符合 T/CSEE 0400-2023 的要求，采用 10kV 架空线路或架空-电缆混合线路网架，支持中性点不接地、经消弧线圈接地、经小电阻接地等接地方式模拟。

7.2.2 试验应在不少于 2 条馈线的小电流接地系统中开展，相继切换故障线路注入故障。故障模拟需覆盖砂石、树枝等自然接地介质，以及弧光接地、不同过渡电阻接地等典型故障类型。装置应具备对过渡电阻不低于 2000Ω 的故障点的检测与识别能力。

7.2.3 基于不少于 100 次有效试验（剔除试验设备故障、接线异常导致的无效数据）进行统计，装置的接地故障检测准确率、故障区段定位准确率均应不低于 97%。

7.2.4 试验过程中应同步采集故障点上下游、相邻线路的零序电压、零序电流、三相电流、三相电压波形。录波文件采用 COMTRADE 格式，采样率应不低于 10kHz。

7.2.5 本试验合格判定：7.1 共同功能试验要求全部满足，且本条款专项要求全部达标。

7.3 继保测试仪波形回放试验专项试验方法及要求

7.3.1 试验应采用现场实际接地故障录波数据，数据应覆盖区内外故障、不同过渡电阻、不同中性点接地方式等场景。回放前应对录波数据进行幅值、相位校准，回放采样率与原录波数据一致。

7.3.2 单相接地故障区段识别准确率应分别满足表 4 的要求，且具备区间外非单相接地故障（干扰）波形屏蔽功能。

表 4 故障区段识别准确率要求（波形回放试验）

故障类型	故障过渡电阻范围	故障区段识别准确率要
单相接地故障	0 ~ 1 kΩ（含 1kΩ）	100%
单相接地故障	1 kΩ ~ 2 kΩ（含 1kΩ）	≥ 90%
单相接地故障	2 kΩ ~ 3 kΩ（含 1kΩ）	≥ 70%
单相接地故障	3 kΩ ~ 4 kΩ（含 1kΩ）	≥ 60%
单相接地故障	4 kΩ ~ 5 kΩ（含 1kΩ）	≥ 50%

7.3.3 装置应能准确识别区间内、区间外的单相、两相、三相断线故障。当单相断线后 40ms 内发生 0~2kΩ 单相接地故障时，区间内设备应至少识别出断线或单相接地故障，区间外设备不应误告警，整体正确率应不低于 70%。

7.3.4 同一录波数据应至少回放 3 次，装置的故障研判结果应保持一致，无随机性误判、漏判现象。

7.3.5 本试验合格判定：7.1 共同功能试验要求全部满足，且本条款专项要求全部达标。

7.4 整体合格判定原则

7.4.1 装置 10kV 配电网真型试验、继保测试仪波形回放试验均判定为合格时，本装置功能试验整体合格。

7.4.2 若其中一类试验判定为不合格，整体功能试验为不合格，装置需经整改后重新开展全项功能试验。

8 试验报告

试验结束后，应形成完整的试验报告。试验报告至少应包含以下内容：

- 试样信息：包括产品型号、编号、生产厂家等。
- 试验依据标准：包括本文件及引用的相关标准条款。
- 试验数据：各项试验的原始记录与实测数据。
- 判定结论：依据标准要求进行符合性判定，并由试验单位签字、盖章确认。

- e) 附加资料：必要时附相关试验曲线、波形、照片等资料。

附录 A

(资料性)

配电网单相接地故障智能选段装置试验流程

A.1 流程步骤

A.1.1 准备阶段

检查试样型号、编号，确认外观及结构完好；

核对试验工器具校准状态，确认有效。

A.1.2 出厂试验

外观检查、绝缘耐压试验；

功能性检查（通信接口、告警功能、基本保护动作）。

A.1.3 型式试验

环境试验：高温、低温、温度变化、交变湿热、盐雾；

机械试验：振动、冲击；

电气试验：雷电冲击、耐压、抗干扰；

传感器误差及复合误差试验。

A.1.4 功能试验

在 10kV 配电网真型试验平台进行：接地故障检测、快速启动、免阈值选段、就地研判、故障识别、报警等功能；

在继保测试仪波形回放环境下进行：录波回放验证、算法升级验证。

A.1.5 试验数据记录与结果分析

原始数据记录：包括电压、电流、温度、误差、动作时间等；

与标准要求进行对比，形成结论。

A.1.6 报告输出

形成正式试验报告，包含试样信息、试验依据标准、试验数据原始记录、判定结论（盖章确认）；

必要时附录试验波形、曲线、照片。

附录 B

(资料性)

10 kV 配电网开展仿真建模

本附录针对 10 kV 配电网开展仿真建模，建模参数应覆盖系统接地、线路、负荷、谐波等核心要素，参数选取与模型搭建需贴合工程实际运行工况。

B.1 建模要求

为简化建模，主变 10kV 侧中性点应采用经消弧线圈接地或不接地方式，采用经消弧线圈接地时，变压器绕组在配网侧宜采用星型连接，直接提供中性点供消弧线圈接地，消弧线圈补偿方式设置为 10%欠补偿和 10%过补偿两种形式，消弧线圈投切逻辑应根据现场实际运行方式，在选线故障窗口实现投切控制。配变采用中性点不接地方式；可采用三角型或星型的三相负荷阻抗近似等效配变，若采用星型联结，其中性点应设置为不接地。

配电网线路应包含电缆线路与架空线路两类，分别设定正序、零序参数，并支持按电缆占比加权计算架空-电缆混合线路的综合参数；线路长度应覆盖工程经济型长度（不超过 20 km），模型中应包含故障线路、健康线路、相邻线路，各线路段长度可按需调整，同时应考量短线对故障电气量的影响，模拟不同线路长度组合下的系统电气特性。

电缆线路和架空线路的基础参数宜采用表 B.1 规定数值。

表 B.1 配电线路基础参数

线路类型	正序电阻(Ω/km)	零序电阻(Ω/km)	正序电容($\mu\text{F}/\text{km}$)	零序电容($\mu\text{F}/\text{km}$)	正序电感(mH/km)	零序电感(mH/km)
电缆线路	0.075	0.106	0.123	0.24	0.29	1.223
架空线路	0.17	0.23	0.00896	0.0052	1.21	2.175

架空-电缆混合线路的电缆线路长度占比宜采用表 B.2 规定数值，覆盖不同线路结构类型。

表 B.2 电缆线路长度占比设定

电缆线路长度占比	说明
10%	架空线路为主的混合线路
50%	架空线路与地下电缆各占 50%的混合线路
90%	地下电缆为主的混合线路

测试用例集中应包含 2 个短健全线路专用测试场景，验证待测装置对故障线路与短健全线路的可靠区分能力。

仿真建模采用 6 条线路的 10 kV 配电网拓扑结构，分别搭建中性点不接地系统和消弧线圈接地系统仿真模型；线路分段长度与故障点设置应符合表 B.3 规定，故障点应覆盖长线路、中等长度线路、短线路的末端、中间、近端等不同位置。

表 B.3 仿真 10kV 配电线路长度与故障点说明

线路号	1 段 (km)	2 段 (km)	故障点说明
1	15	15	长线路末端
2	5	5	中等长度线路中间
3	15	15	长线路中间
4	15	15	长线路近端

5	1	1	短线路中间
6	1	1	短线路末端

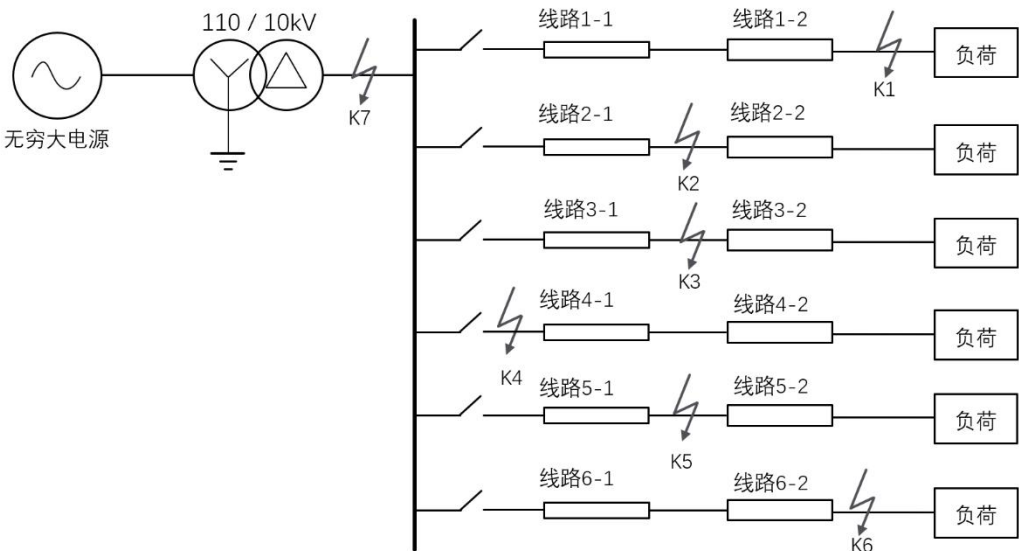


图 B. 1 小电流接地选段仿真测试不接地系统示意图

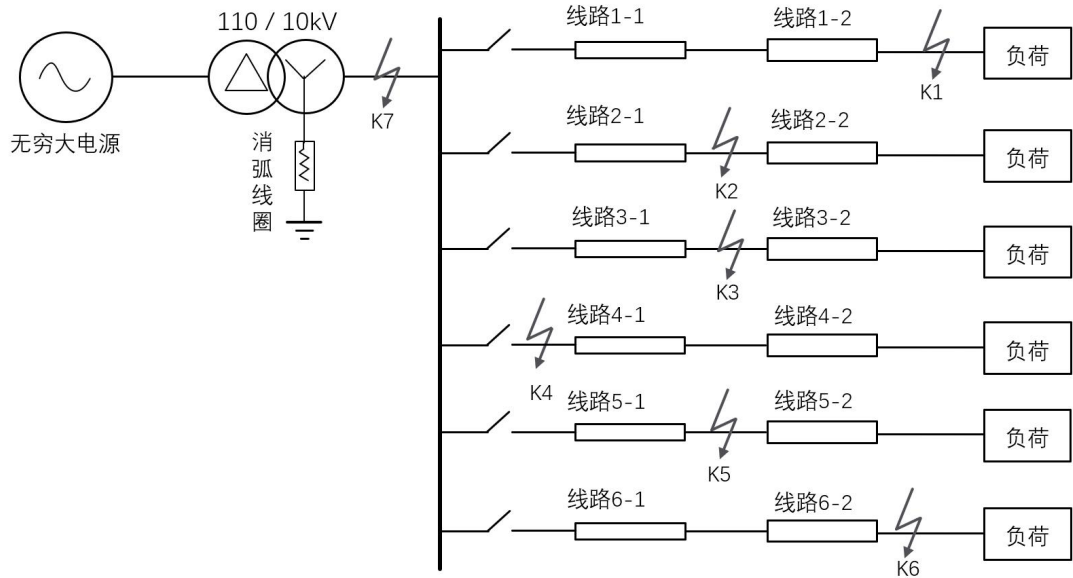


图 B. 2 小电流接地选段仿真测试消弧线圈接地示意图

B.2 负荷电流模拟

每条配电线路的负荷电流应模拟工程实际中的不同负载状态，包含以下三种情况：

- a) 空载状态：负荷电流为 0 A；
- b) 轻载状态：负荷电流取值为 10 A~60 A（对应线路负载率 $\leq 20\%$ ，或配变容量 ≤ 1 MVA）；
- c) 重载状态：负荷电流取值为 200 A~300 A（对应线路负载率 70%~80%，或配变容量 ≥ 5 MVA）。

B.3 谐波电流含量模拟

三相负荷电流的谐波含量水平应按配电线路和工业用户线路分别设定；为避免谐波对零序电压、零序电流产生干扰，仿真中引入谐波源时，应采用三相平衡的电压或电流源注入方式。

配电线路主要承载居民、商业等常规负荷，谐波水平较低，其谐波总畸变率（THD）应控制在 6% 及以下；仿真中各谐波次数及含量可参考电能质量相关标准，采用谐波电压源或谐波电流源注入方式进行模拟

工业用户线路因可能接入电弧炉、变频器等非线性负荷，谐波电流含量显著升高，其谐波总畸变率（THD）宜设定为 20% 及以下；仿真建模应满足以下要求：

- a) 谐波分量以 3 次、5 次整次谐波为主要成分；
- b) 同时考虑 3.5 次、5.5 次等非整数次间谐波电流，模拟工业负荷的非理想谐波特性；
- c) 谐波注入方式宜采用非线性阻抗模型模拟负荷的非线性特征，或者在基波仿真波形的基础上，在线路电流中按比例叠加谐波分量。避免在线性负荷模型中产生畸变母线电压。
- d) 简化处理原则：若选线算法设计对电压中的谐波含量不敏感，为简化建模流程，可采用注入谐波电压源或电流源的方式进行近似模拟。

B.4 建模测试要求

待测选线装置的模拟量测点应设置于各条线路的首端，测点位置与配电网拓扑中开关位置保持一致。

仿真测试应在模型中设置 K1~K7 共 7 个故障点，每次仿真仅投入一个故障点开展测试，故障点与测试用例生成规则如下：

- a) 投入 K1~K6 任一故障点时，线路 1 首端的检测装置应判定为区内故障，其余线路检测装置均判定为区外故障，每次仿真生成 1 个区内测试用例与 5 个区外测试用例；
- b) 投入 K7 故障点时，所有线路检测装置均应判定为区外故障，本次仿真生成 6 个区外测试用例。

b.5 测试判据与要求

待测检测装置应能可靠检测区内故障；对于区外故障，宜实现可靠检测，未检测到区外故障的，亦判定为满足测试要求。

附录 C

(资料性)

配电网单相接地故障智能选段装置试验方案

C.1 实验室线路网架

系统配置两条电缆双环网络（4 条电缆馈线）、两条架空线回路，并在线路末端设置联络切换站，可通过联络开关的切换改变不同回路的联络方式，实现多种混合网架结构的变换。同时通过联络切换站可切换模拟负荷接入出线的位置。10kV 配电网真型实境反演与验证平台的具体网架结构如图 c.1 所示：

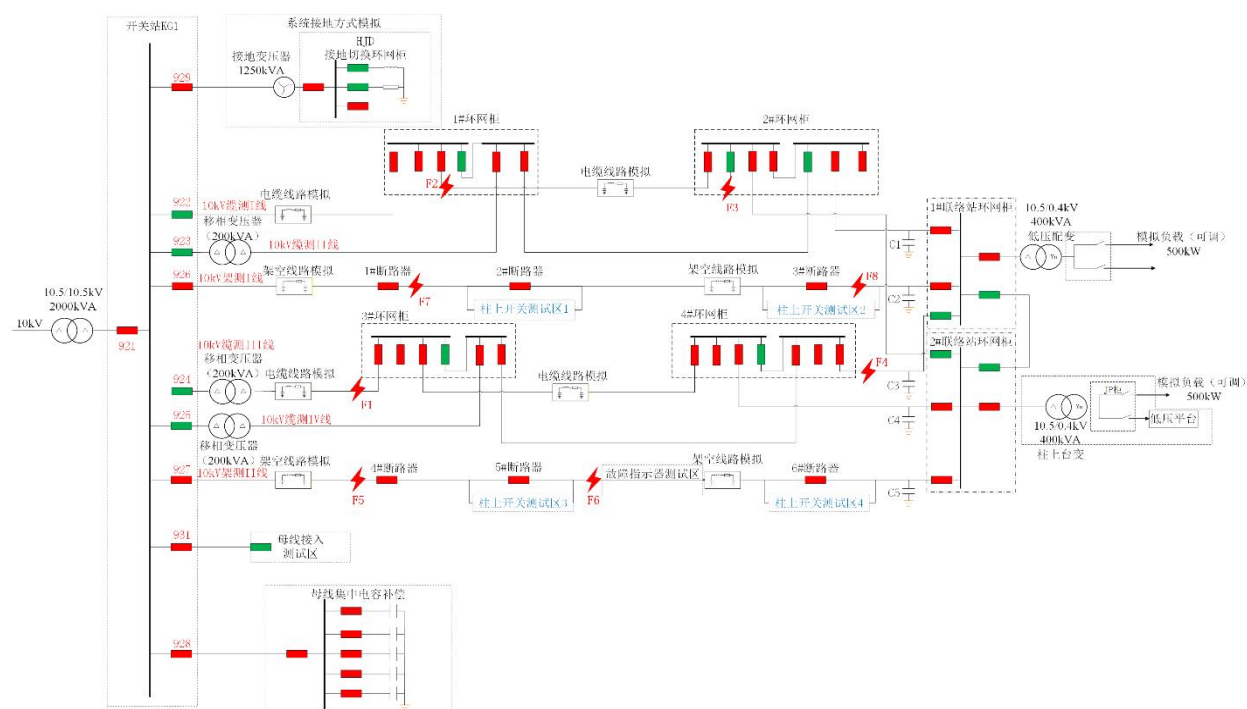


图 c.1 真型试验测试网架

系统电容电流规模灵活可调（200A 以内），并支持不接地、消弧线圈接地、小电阻接地等多种接地方式模拟，现场电压互感器和电流互感器情况如下：

1) 变电站内母线已安装电压互感器，可提供相电压和零序电压，PT 容量为 50VA，6 条 10kV 馈线线路均已安装 A 相、B 相、C 相电流互感器和零序电流互感器，其中相 CT 变比 600/5，零序 CT 变比 20/1 容量为 5VA。

2) 10kV 各条馈线上的环网柜、柱上开关已安装电压、电流采集接口，支持接入一次开关进行试验数据的监测。

c.2 试验线路与试验点选取

如图 c.2 所示，选取 10kV 架测 II 线与 10kV 缆测 III 线模拟一条带载运行的 13kM 架空-电缆混合试验线路（图 c.2 标蓝线路），并将 10kV 架测 II 线的 5#柱上断路器与 6#柱上断路器处的测试工位作为待测柱上开关接入点。其他所有线路均处于空载运行状态。

本阶段单相接地故障测试选择 A 相作为接地相，选取位于线路中段（F6）、线路末端（F1）或相邻线路（F7）的预设故障点接入单相接地试验装置。随着故障接入点的变化，进一步验证被测设备在故障点区内/区外或上下游环境下的研判能力，试验项目设置覆盖面广且具有一定的随机性及不确定性，更加贴近实际现场各类典型单相接地故障场景，也提高了本阶段测试难度。另一方面，在 F6 处的故障测试也前瞻性地考核了供应商设备的选段能力，为后续做精现有接地研判体系，逐步由“站内选线+人工试拉”升级为“精准选段+快速隔离”提供了重要的参考依据。

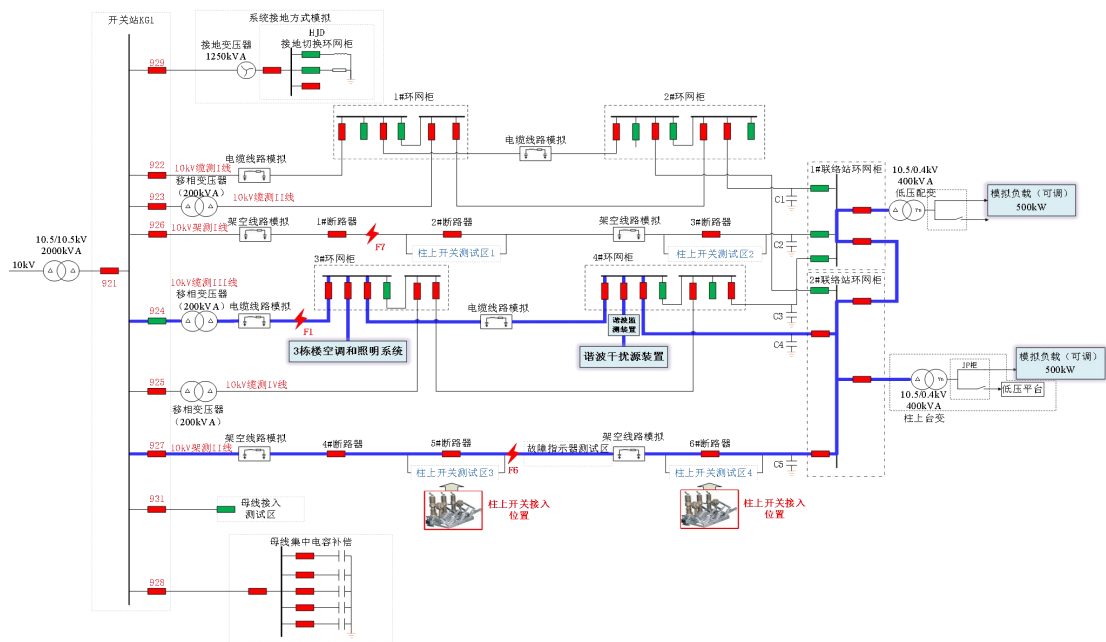


图 c. 2 试验线路

c.3 录波点选取

根据 10kV 配电网真型试验场现场情况，10kV 各条馈线上的环网柜、柱上开关已安装电压、电流采集接口，支持接入一次开关进行试验数据的监测与记录。在进行单相接地故障测试的过程中，可实现对故障点上游处、接地故障试验点处、故障点下游处以及相邻线路上的电气波形进行录波。

c.4 试验条件要求

c.4.1 被测系统电容电流要求

- 1.系统若为中性点经消弧线圈接地系统，接地点残余电流应不宜大于 10A。

c.4.2 试验系统接地电阻要求

- 1.试验场地应有可靠接地点，如试验地点无可靠接地，须设置临时接地体。
- 2.故障模拟发生装置工作时应设置独立的工作接地和安全保护接地，接地体的接地电阻应不大于 4 欧姆（现场实测为 1 欧姆），两个接地点距离不少于 5 米。

c.4.3 被测系统谐波要求

- 1.设定表 c.1 中的典型谐波场景，以还原现场可能存在的谐波干扰现象。

表 c. 1 典型谐波场景

序号	场景	总谐波含有率	典型频谱
1	钢铁冶炼厂	9.83%	2 次（5.81%）、3 次（3.72%）、4 次（1.46%）、5 次（3.85%）、7 次（0.99%）
2	分布式光伏	9.12%	5 次（6.74%）、7 次（5.80%）、11 次（4.55%）、13 次（4.18%）、2 次（1.98%）
3	纺织厂	10.86%	5 次（9.35%）、7 次（5.68%）、11 次（3.81%）、13 次（2.96%）、17 次（2.17%）
4	日常生活	4.24%	5 次（3.23%）、7 次（1.08%）、11 次（0.92%）、13 次（0.72%）、3 次（0.68%）

2.谐波干扰源装置作为负载，从 4#环网柜备用间隔接入，并在接入点前装设谐波检测装置，用以监测测试当天谐波是否正常注入系统以及注入的谐波含量。

c.5 试验项目及方法

本试验通过单相接地试验设备在 10kV 配电网真型场的馈线上产生真实的单相接地故障，测试一二次融合设备（配电终端）的单相接地故障研判能力。单相接地故障模拟装置可模拟线路 A/B/C 中任意单相发生接地故障，故障点与大地之间的过渡电阻在一定范围内可调（0-7750Ω），且通过合闸角控制器可对故障相、故障触发角度、故障触发时间、故障持续时间等进行自动设置与控制。平台线路中选

择多个故障点，在故障点对应的柱上开关或环网柜处预留快速连接桩头，当需要在某处模拟单相接地故障时，将故障模拟装置的 ABC 三相进线使用高压线夹连接在预留桩头处，装置 G 相在设备安装时与专用故障模拟接地排固定可靠连接。

单相接地故障模拟装置原理图如图 C.3 所示：

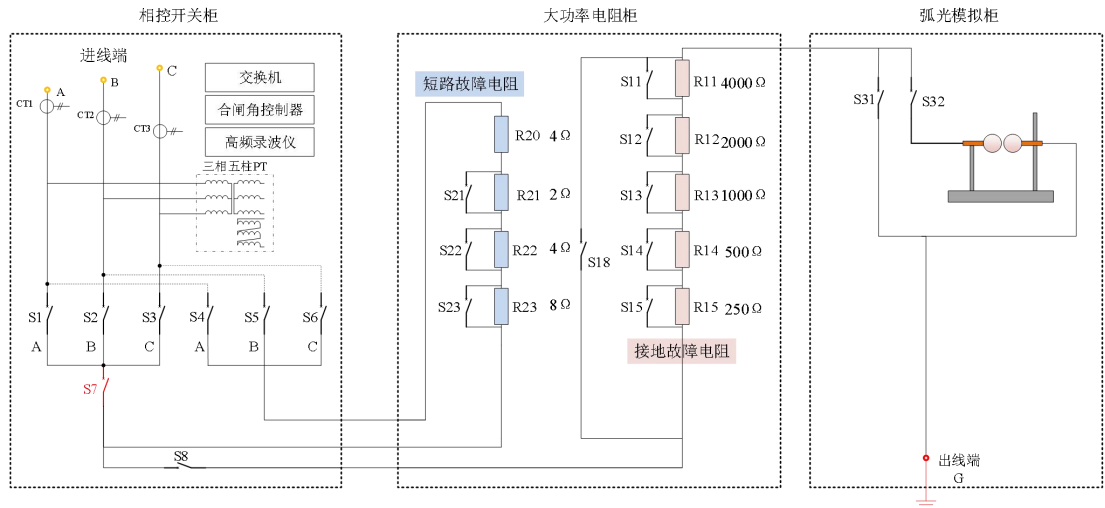


图 c. 3 单相接地试验装置原理示意图

为避免接地故障模拟时对其他设备产生影响，或引起安全事故，需要为接地故障模拟装置单独敷设一路故障接地排，该地排专用于单相接地故障模拟时装置接地使用，不与其他任何设备连接，且接地极单独埋设，附近应有安全防范措施。

单相接地故障模拟成套装置由多个不同的阻值电阻与 12kV 真空接触器组成，接地电阻（R15-R11）共 5 组电阻串联连接，每组的总阻值分别为 250、500、1000、2000、4000 Ω，可方便地实现接地电阻的灵活调节，过渡电阻可在 0-7750 Ω 的灵活调节，最小分辨率 250 Ω。

本阶段单相接地故障试验项目如表 c.2 所示。为避免偶然性，每个试验项目测试 2 次。

表 c. 2 试验项目

中性点接地方式	接地介质或类型	试验项目	故障点位置
不接地（10A 容流）	砂石介质	经砂石介质接地（串接 250 欧姆电阻）	F6、F1、F7
	树枝介质	经树枝介质接地（串接 250 欧姆电阻）	F6、F1、F7
	过渡电阻	非金属性接地(过渡电阻 750 欧姆)	F6
		非金属性接地(过渡电阻 1000 欧姆)	F6、F1、F7
		非金属性接地(过渡电阻 1500 欧姆)	F6、F1、F7
		非金属性接地(过渡电阻 2000 欧姆)	F6、F1、F7
		非金属性接地(过渡电阻 2500 欧姆)	F6
		非金属性接地(过渡电阻 3000 欧姆)	F6、F1、F7
		非金属性接地(过渡电阻 3500 欧姆)	F6
		非金属性接地(过渡电阻 4000 欧姆)	F6
	弧光接地	间歇性、短时弧光（故障初相角随机）	F6、F1、F7
经消弧线圈接地（100A 容	砂石介质	经砂石介质接地（串接 250 欧姆电阻）	F6、F1、F7
	树枝介质	经树枝介质接地（串接 250 欧姆电阻）	F6、F1、F7

流, 补偿度 15%)	过渡电阻	非金属性接地(过渡电阻 750 欧姆)	F6
		非金属性接地(过渡电阻 1000 欧姆)	F6、F1、F7
		非金属性接地(过渡电阻 1500 欧姆)	F6、F1、F7
		非金属性接地(过渡电阻 2000 欧姆)	F6、F1、F7
		非金属性接地(过渡电阻 2500 欧姆)	F6
		非金属性接地(过渡电阻 3000 欧姆)	F6、F1、F7
		非金属性接地(过渡电阻 3500 欧姆)	F6
		非金属性接地(过渡电阻 4000 欧姆)	F6
	弧光接地	间歇性、短时弧光 (故障初相角随机)	F6、F1、F7

C.6 试验结果评定原则

1.每次测试通过实验室 DMS 主站接收到设备的小电流告警信号判定供应商测试设备单相接地故障研判情况, 其中, 针对故障点 F1 与 F7, 旨在评估供应商设备的选线能力, 1 台设备研判正确得 0.5 分, 2 台设备均研判正确得 1 分。进一步, 针对故障点 F6, 重点考核供应商设备的选段能力, 只有当 2 台设备的研判情况均正确 (都不出现误报、漏报现象), 本次测试方可得 1 分。

2.记录并核对各供应商测试设备在不同试验项目中的得分情况, 以触发 DMS 弹窗为准, 将触发 DMS 接地告警弹窗的所有试验项目纳入统分项目中, 统计各供应商得分。