钰鑫电气
YUXIN ELECTRIC
以质量为生命，以创新为动力

配网首次重合自愈技术

保定钰鑫电气科技有限公司

BAODING YUXIN ELECTRIC TECHNOLOGY CO.,LTD

目录

一．技术简介 3
二．技术效果 7
三．与现有技术比较 9
四．实施方案 11
五．试点应用 15
六．检验报告 16
七．装置实物图 19

一．技术简介

1.1 现状及存在的问题

（1）当前配电网线路主要采用主站自愈、就地重合自愈、利用过流或时间元件配合重合闸的继电保护手段，以及这三种方式结合与配合。

（2）主站自愈，对通讯通道以及通讯设备的可靠性、后台软件的决策效率要求高，自愈质量依赖的元件和环节比较多。

（3）就地重合自愈，不依赖于通讯线路，可靠性高，但是对于多级开关自愈时间较长，达不到快速自愈的效果。

（4）继保手段，对定值整定要求高，针对分段或分支层级较多的线路，开关保护失配，容易造成故障越级跳闸。

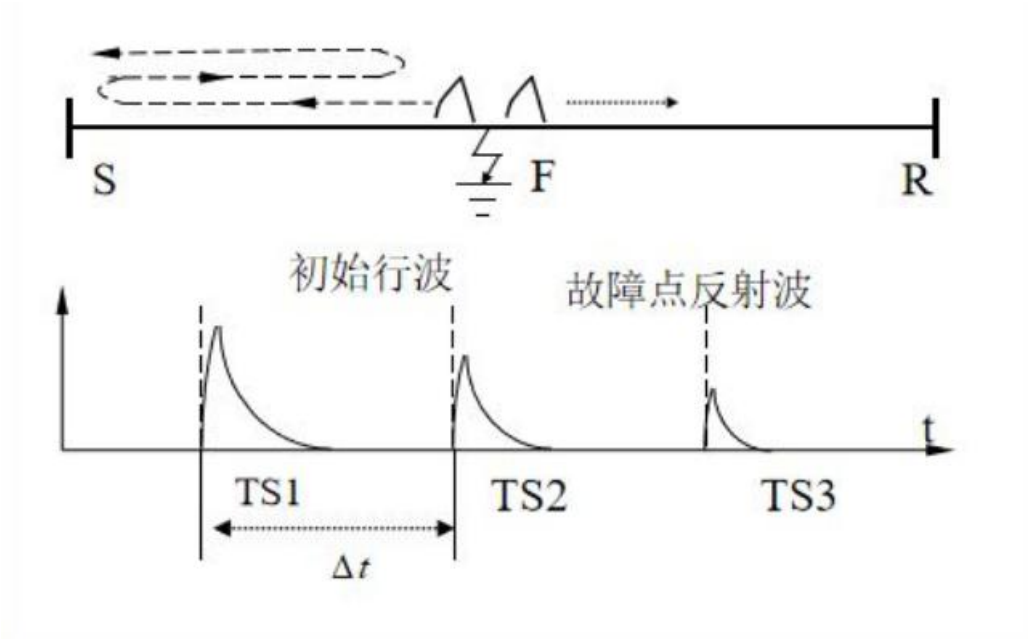
（5）在实际工作中，“保护+区域自愈”模式无法有效改善动作不准确、越级跳闸、停电面积大的现状。

1.2 首次重合自愈技术

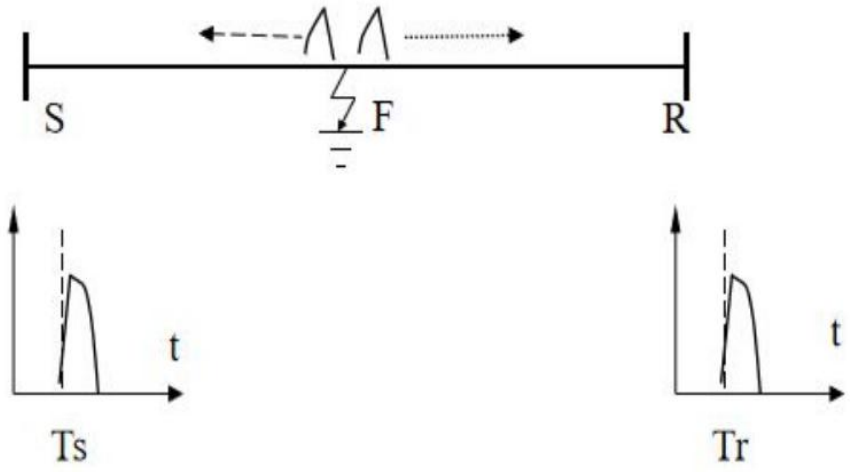
不依赖任何通讯设备，只对现有配电网（含多 DG 接入）进行简单升级，实现首次重合闸动作前的完全自愈技术，即故障线路重合在已经把故障点两侧最近开关跳开的一个完全自愈的电网上。

该技术不同于传统的集中型和就地型馈线自动化（FA）技术，采用基于拍频原理高频行波信号注入方式，利用一二次高度融合后的标准硬件接口进行拍频信号采集识别研判技术，形成配网首次重合自愈系统，实现配网线路首次重合闸动作前的秒级自愈。

行波测距：线路故障行波测距方法，是利用线路内部故障产生的初始行波波头，到达线路两端测量点的绝对时间之差值，计算故障点到两端测量点之间的距离，故障行波属于故障分量，可以等效为在故障点插入的虚拟电压源产生的，虚拟电压源幅值等于故障点故障前电压，相位相反。



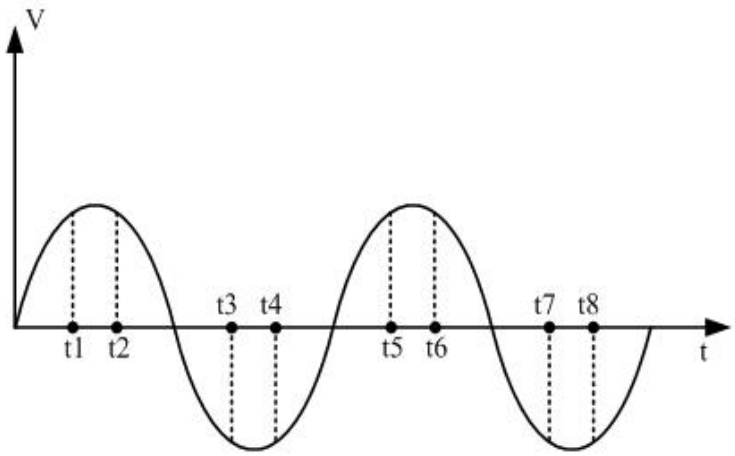
单端测距



双端测距

行波注入:传统的行波测距的应用有一定的局限性,，当故障产生在电压相角过零或接近零时，产生的电压、电流行波比较微弱，会造成保护或测距装置失败。

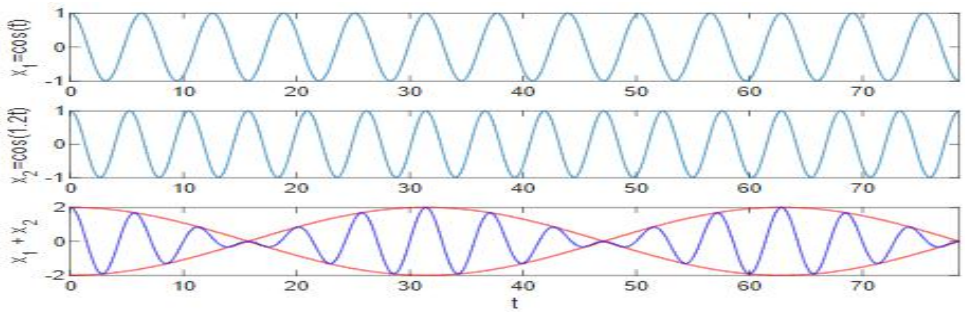
在故障发生后，向故障线路重新注入行波，控制注入波形起始时刻在电压相角 90°附近或在电压相角 270°附近，以确保注入行波信号幅值容易被线路上的设备发现。



行波注入时刻图

为了适应 FTU 检测回路的低频特性，高频注入采用拍频方式。

拍频是指频率相近的两个波叠加后，产生的频率等于原来两个频率之差的新频率。这个新频率的波形包络上能够看到差频的波形。拍频的变化次数就是单位时间内的拍数，也就是一强一弱的变化次数。

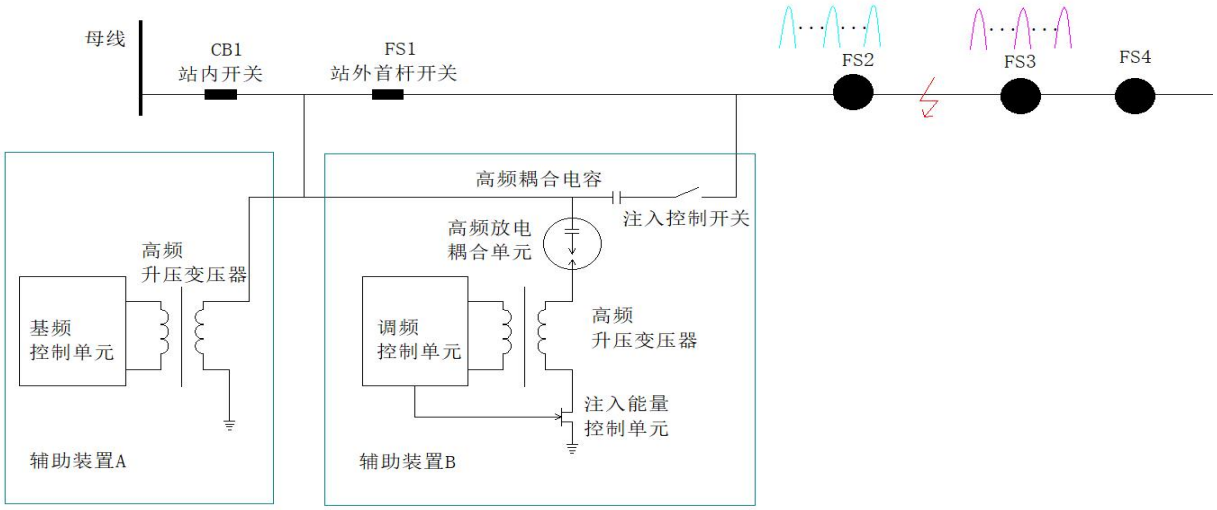


$$x_1 = A_1\cos(\omega_1 t + \phi_{01})$$

$$x_2 = A_2\cos(\omega_2 t + \phi_{02})$$

$$x = 2A\cos\left(\frac{\omega_2 - \omega_1}{2}t\right)\cos\left(\frac{\omega_2 + \omega_1}{2}t + \phi_0\right)$$

$$f_b = \frac{\Delta T}{T_i}f_i = \frac{\Delta f}{f_i}f_i = \Delta f$$



高频行波工作原理：

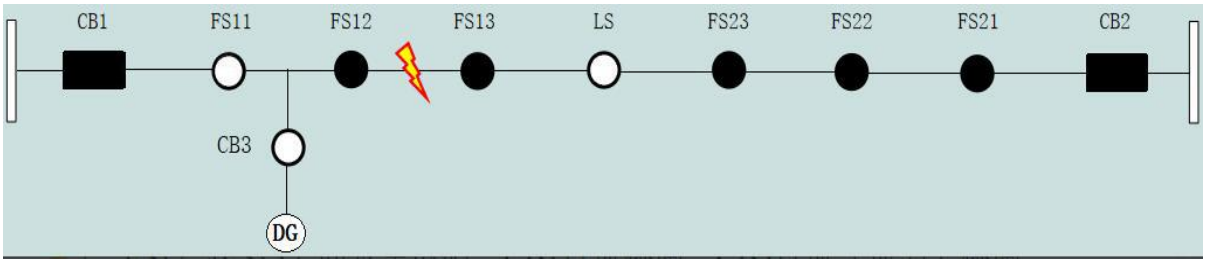
（1）装置 A 为高频行波信号发生器，装置 B 为拍频高频感应器，当线路发生故障时，站外首杆过流跳闸后，装置 A 向故障线路注入行波，装置 B 依照出线参数发出行波，两者产生拍频。

（2）故障点前后的各 FTU 高频解算单元，根据反射波、透射波和入射波的波头时间信息、形状、幅值、频率等形成的综合信息熵进行解算，各 FTU 通过和预置信息熵对比，分析故障点是否在自己保护区域，自主决定跳闸。

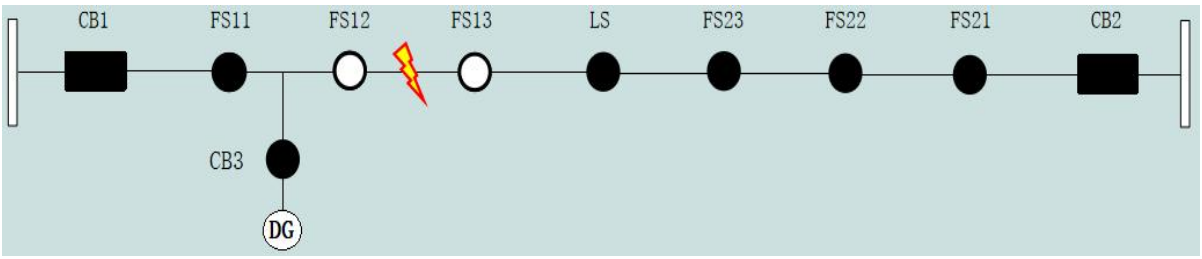
预置信息熵是通过我们自己专业的仿真软件结合线路参数（拓扑，开关序列号，各序列开关之间的线缆长度）以及在 A、B 柜中预置形成的特殊拍频信号源信息，提前对线路任意点故障形成的信息熵进行全线路仿真，提前仿真出被保护线路各点发生各种故障的情形时，各 FTU 收到的反射波或透射波的信息熵，然后提前存储到各 FTU 的解算单元中，作为各 FTU 跳闸的定值。

二、技术效果

2.1 效果说明



FS12 与 FS13 之间发生故障，站内开关 CB1 不跳闸，站外首开关 FS11 过流跳闸，CB3 过流（孤岛）跳闸。

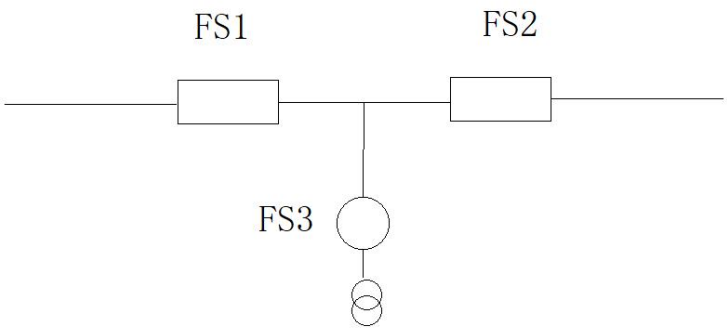


重合闸时间内，重合自愈辅助装置启动，FS12、FS13 准确跳闸；重合闸时间截止时刻（一般 2S），重合自愈保护模块控制 FS11 合闸，CB3 检有压、检同期合闸，LS 检无压、延时合闸，线路自愈成功。

2.2 技术深化

FS1、FS2 为负荷开关，FS3 为用户开关，用户开关之后的故障，FS3 跳闸，FS1、FS2、FS3 之间的故障，FS1、FS2 跳闸，其他区域，重合自愈。

最终实现，每一次因为永久性故障停电，只涉及一个用户停电。可以使得永久性故障停电户数达到配电系统一次设计的停电户数最小的理论值，也就是说依赖电网一次设计的停电损失不能再小了，除非增加开关数量，或架设线路。



“中华人民共和国国家发展和改革委员会令 50 号 电力可靠性管理办法”规定：

第三十一条 供电企业应当强化设备的监测和分析，加强巡视和维护，及时消除设备缺陷和隐患。

第三十二条 供电企业应当开展综合停电和配电网故障快速抢修复电管理，推广不停电作业和配电自动化等技术，减少停电时间、次数和影响范围。

第三十三条 地方政府能源管理部门应当将供电可靠性指标纳入电力系统规划，并与城乡建设总体规划衔接。

第三十四条 地方政府发展改革部门可依据本地区供电可靠性水平，按照合理成本和优质优价原则，完善可靠性电价机制。

第六十四条 本办法自2022年6月1日起施行

“配电网运营评价导则”，5.4.2 供电可靠性评价“配电网运营评价

5.4.2.1 平均供电可靠率

指标释义：在统计期间内，对用户有效供电时间小时数与统计期间小时数的比值。

计算方法：

$$\text{平均供电可靠率}=\left(1-\frac{\text{系统平均停电时间}}{\text{统计期间时间}}\right)\times 100\%$$

5.4.2.2 系统平均停电频率

指标释义：供电系统用户在统计期间内的平均停电次数。

计算方法：

$$\text{系统平均停电频率}=\frac{\sum \text{每次停电户数}}{\text{总用户数}}$$

DL / T 836.1-2016 供电系统供电可靠性评价规程 第 1 部分通用要求

2.7.2

停电状态 interruption

用户不能从供电系统获得所需电能的状态，包括与供电系统失去电的联系和未失去电的联系。

注：对用户的不拉闸限电，视为等效停电状态。自动重合闸重合成功或备用电源自动投入成功，不应视为对用户停电。

2.7.2.1

持续停电状态 sustained interruption

停电持续时间大于 3min 的停电。

2.7.2.2

短时停电状态 temporary interruption

停电持续时间小于等于 3min 的停电。

4.2 可靠性主要指标及计算公式

4.2.1 系统平均停电时间：供电系统用户在统计期间内的平均停电小时数，记作 *SAIDI*-1（h/户）。

$$SAIDI\text{-}1=\frac{\sum \text{每次停电时间}\times\text{每次停电用户数}}{\text{总用户数}}$$

三、与现有技术比较

参照国网文件“配电自动化实用化提升工作方案”和“馈线自动化模式选型与配置技术”，进行模式对比。

对比项 模式	集中型	电压时间型	电压电流时间型	自适应综合型	首次重合自愈技术	智能分布式
供电区域	A+、A、B、C类区域	B、C、D类区域	B、C、D类区域	B、C、D类区域	B、C、D类区域	A+、A类区域
网架结构	架空、电缆	架空	架空	架空	架空、电缆	电缆
通信方式选择	EPON、工业光纤以太网、无线	无线	无线	无线	无线	EPON、工业光纤以太网、无线
变电站出线开关重合闸及保护要求	配合变电站出线开关保护配置	需配置1次或2次重合闸	需配置3次重合闸	需配置1次或2次重合闸	保护级差配合（只配合一级，或者不配）	速动型智能分布式FA要求:需实现保护级差配合
定值适应性	定值统一设置，方式调整不需重设	定值与接线方式相关，方式调整需重设	接地隔离时间定值与线路相关	定值自适应，方式调整不需重设	定值与线路拓扑相关，切改需调整	定值统一设置，方式调整不需重设
特点：	1.灵活性高，适应性强，适用于各种配电网络结构及运行方式。2.开关操作次数少。3.要求高可靠和高实时性的通信网络。4.可对故障处理过程进行人工干预及管控。5. 可实现故障定位、隔离、非故障区域恢复等全部配电网故障处理功能。	1.可自行就地完成故障定位和隔离。2.线路运行方式改变后，需调整终端定值。	1.可自行实现故障就地定位和就地隔离。2. 快速处理瞬时故障和永久故障。3.需要变电站出线断路器配置3次重合闸。4.线路运行方式改变后，需调整终端定值。	1.可自行就地完成故障定位和隔离。2.具备接地故障处理能力。3.运行方式改变无需修改定值。4. 非故障区域需要一定时间恢复供电。	1.可自行实现故障就地定位和就地隔离。2.重合闸时间内快速处理瞬时故障和永久故障。3.线路运行方式改变后，需调整终端定值。	1.快速故障处理，毫秒级定位及隔离，秒级供电恢复。2.停电区域小。3.定值整定简单。4.速动型智能分布式FA要求主干线间隔为断路器，变电站出线开关保护动作时限至少需0.3s及以上的延时。5.需要较高的通信可靠性、实时性。

比较类型	集中型	就地重合器型	智能分布型	首次重合自愈技术
通讯	需要与主站通讯	不需要	配电终端之间相互通讯，与主站通讯	不需要
适用开关类型	出口：断路器 其它：负荷开关	断路器	断路器	级差分区：断路器 其它：负荷开关
开关配PT、CT个数	3相+1零CT 2线+1零PT	3相+1零CT 2线+1零PT	3相+1零CT 2线+1零PT	3相+1零CT 3线+1零PT
重合次数	瞬时故障：一次 永久故障：二次	瞬时故障：一次 永久故障：三次	瞬时故障：一次 永久故障：一次	瞬时故障：一次 永久故障：一次
重合闸时间内停电范围	整条故障线路	保护跳闸断路器之后线路	保护跳闸断路器与故障点之间线路	保护跳闸断路器之后线路

比较类型	集中型	就地重合器型	智能分布型	首次重合自愈技术
级差配合级数	无	3级	无	不受限
自愈时间	依赖于通讯时间与逻辑处理时间	故障点到保护跳闸断路器之间的开关数*7S	依赖于通讯时间与逻辑处理时间	重合闸时间
一次辅助设备	无	无	无	需加装重合自愈辅助装置
切改配合	需要	不需要	不需要	定值需调整
电缆和混联线路适应性	适应	不适应	适应	适应

技术优势

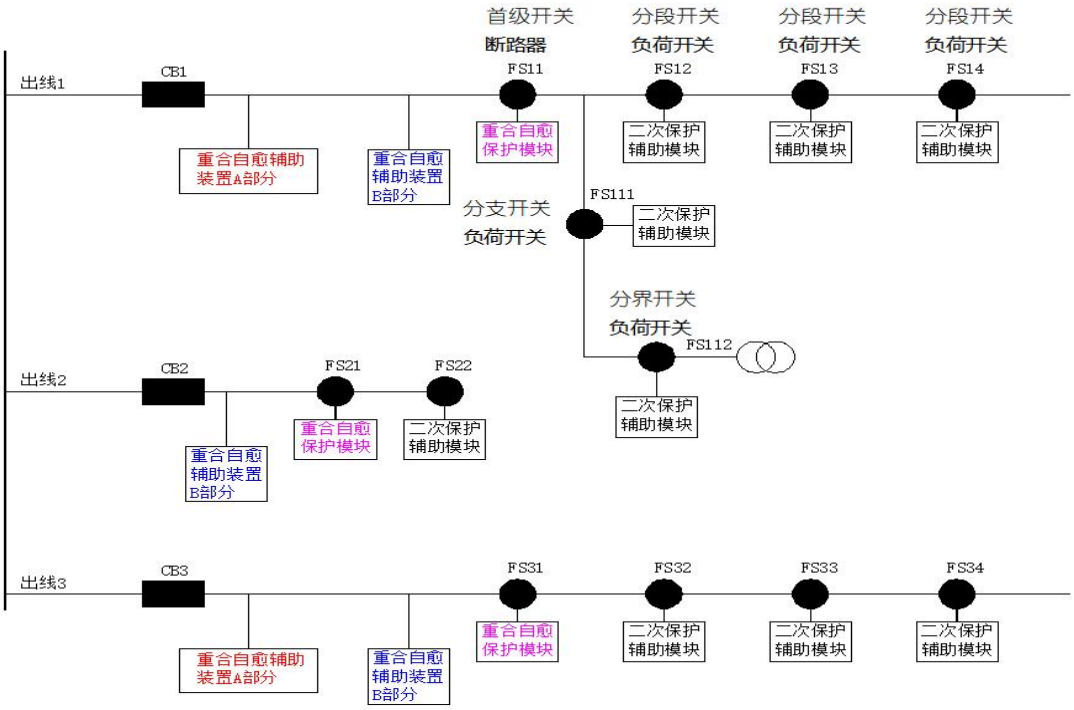
（1）就地、秒级、首次重合自愈，无需通讯，不依赖于主站，不需人工干预。

（2）精准定位永久故障，就近隔离，缩小停电面积，减少对电网冲击。

（3）适用于架空、电缆、架空电缆混联线路。

四、实施方案

4.1 改造说明



（1）一段 10kV 母线，三条出线，CB1、CB2、CB3 为站内出线开关，FS 为站外开关。

（2）在站外首级开关之前安装辅助装置 A，每段母线配 1 个。

（3）在站外首级开关前安装辅助装置 B，每条出线配 1 个，并在首

级开关配套安装重合自愈保护模块。

（4）在分段开关和分支开关配套安装二次保护辅助模块。

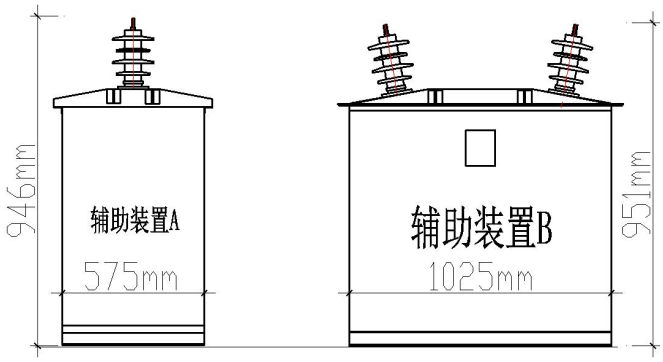
（5）辅助装置为一次设备，考虑检修，可选配两个 A 互为备用。

4.2 设备参数

(1)一次设备

辅助装置 A：575mm*855mm*946mm，86kg

辅助装置 B：1025mm*935mm*951mm，180kg



（2）二次设备

不锈钢箱体，尺寸 500*220*620mm

有两种安装方案可供选择

方案 1：新型箱式重合自愈 FTU，替换现有 FTU，与一二次　融合开关航插连接，满足国网接入要求；

方案 2：　转接箱模式，适用于箱式或罩式 FTU，一组航插连接一二次融合开关，一组航插连接现有 FTU；电压信号并联，电流信号串联，开关遥信和控制信号并联；

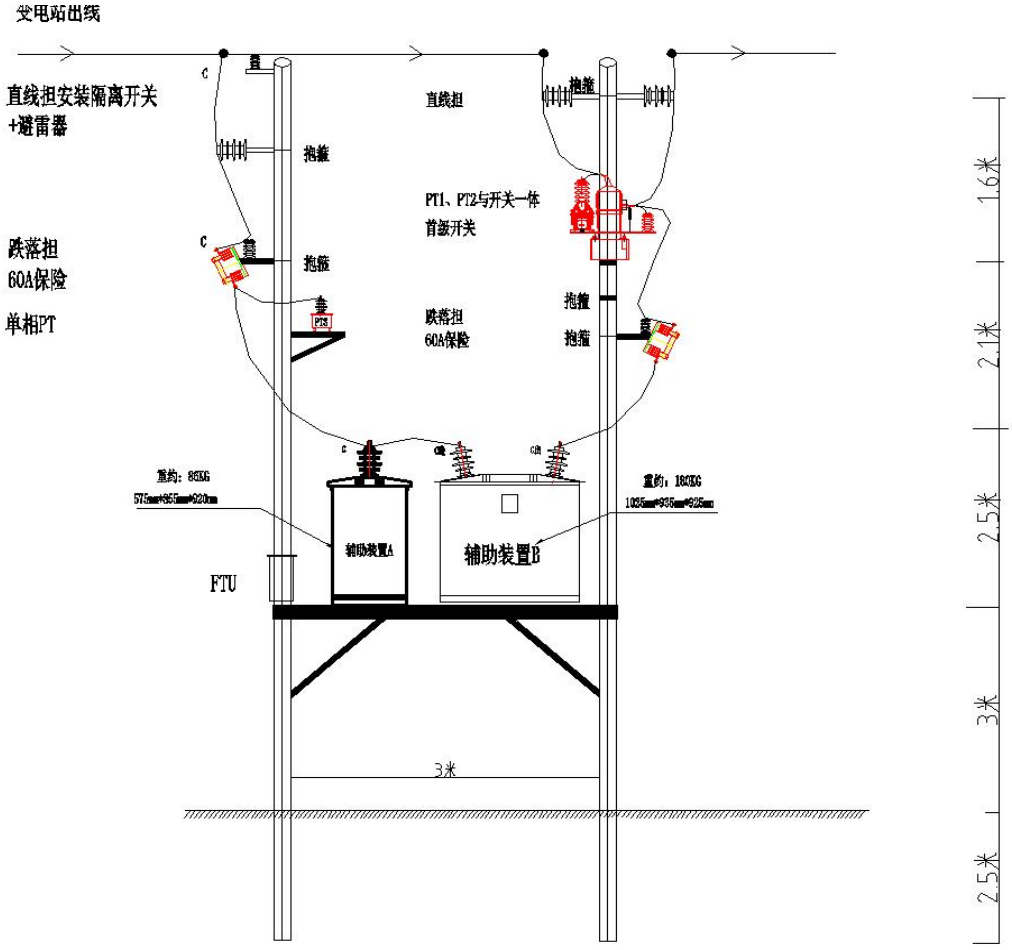
首杆位置，新型箱式重合自愈 FTU 或转接箱内，安装重合自愈保护模块；其它分段或分支位置，新型箱式重合自愈 FTU 或转接箱

内，安装二次保护辅助模块；

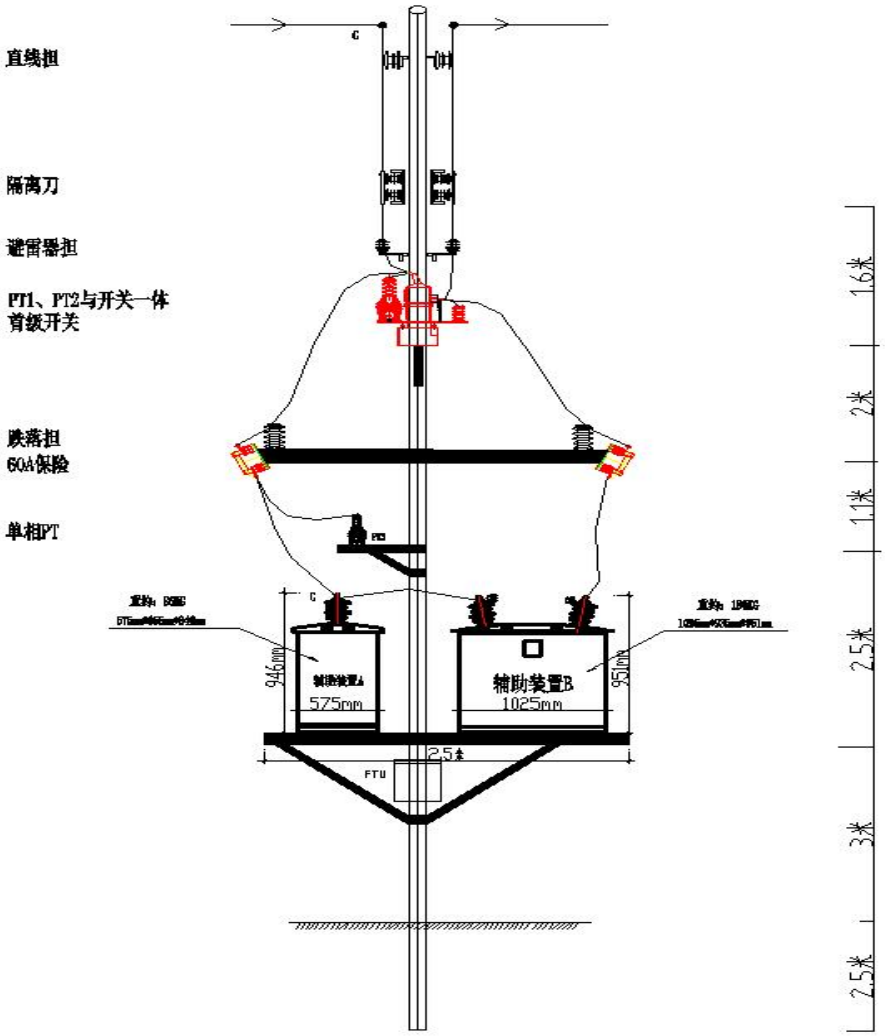


（4）安装示意图

双杆安装



单杆安装


直线担
隔离刀
避雷器担
PT1、PT2与开关一体
首级开关
跌落担
60A保险
单相PT
辅助装置B
1025mm
575mm
946mm
951mm
2.5米
FTU
1.6米
2米
1.1米
2.5米
3米
2.5米

五、试点应用

配网首次重合自愈技术				
序号	试点区域	试点线路	试点时间	试点进展
1	宁夏吴忠	窑山变 522 窑新线	2021 年 11 月	10kV 故障模拟，系统功能验证
2	宁夏吴忠	预旺变 521 张家源线	2022 年 07 月	安装投运
3	宁夏吴忠	科技项目:基于一二次融合的新型配电网重合自愈技术的研究与应用	2023 年 04 月	“国电南瑞南京控制系统有限公司”中标，我方实施
4	河北石家庄	栾北站 636 北赵村线	2022 年 11 月	安装投运
5	冀北承德	汤河变洪汤寺 511 线	2023 年 08 月	安装投运
6	冀北承德	外沟门变青石砬 513 线	2023 年 08 月	安装投运
7	冀北承德	大滩变骆驼沟 512 线	2023 年 08 月	安装投运
8	冀北承德	平安堡变山嘴 512 线	2023 年 08 月	安装投运
9	冀北承德	草原变和顺店 514 线	2023 年 08 月	安装投运
10	山西电科院		2023 年 11 月	真型试验
11	山西电科院	科技项目:基于拍频原理的配电网新型快速自愈技术研究与应用	2024 年 04 月	“太原鼎向科技有限公司”中标，我方实施
12	山西晋城		2024 年 02 月	项目已申报，下半年实施
13	山西运城	马崖变 8701 和村线	2024 年 05 月	已发货，6 月安装
14	山西太原	化客头站 854 北头线	2024 年 05 月	实施方案已出，下半年实施
15	山西忻州		2024 年 05 月	试点线路选取中
16	山西长治		2024 年 05 月	试点线路选取中
17	山西阳泉		2024 年 05 月	试点线路选取中
18	重庆璧山	蒲元站蒲锅线	2024 年 05 月	实施方案已出
19	重庆铜梁		2024 年 05 月	试点线路选取中

六、检验报告

国家电网 STATE GRID

试 验 验 证 报 告

报告名称： 配网重合自愈系统真型试验验证报告

批准：

审核：

编写：

国网山西电科院设备状态评价中心

2023 年 11 月

地址：山西省晋中市榆次区农谷大道电科院实验基地 联系电话：（0351）4263423
邮编：030001 传 真：（0351）4263423

委 托 试 验 验 证 说 明

客户名称	保定钰鑫电气科技有限公司			
试验类别	新产品验证性试验			
样品接受日期	2023 年 10 月 20 日	试验日期	2023 年 10 月 23 日	
试验地点	山西省晋中市榆次区农谷大道电科院实验基地			
试验环境条件	☒无要求 温度： 25 ℃ 相对湿度： 40 %			
样品情况	名称	配网重合自愈系统	型号	YX-CHZY-01
	终端 ID 号	YXCHZYBH23001、YXECBHFZ23005、YXECBHFZ23006		
	状态	正常	数量	1 套
	生产厂家	保定钰鑫电气科技有限公司		
	生产日期	2023 年 3 月		
	样品类型及主要参数	1. 系统含重合自愈辅助装置 A 部分 1 台； 2. 重合自愈辅助装置 B 部分 1 台； 3. 三相电压互感器 1 台； 4. 重合自愈保护模块 1 台； 5. 二次保护辅助模块 2 台。		
试验项目	1. 中性点不接地系统单相接地故障真型试验； 2. 中性点经消弧线圈接地系统单相接地故障真型试验； 3. 中性点经低电阻接地系统单相接地故障真型试验； 4. 中性点不接地系统相间短路故障真型试验； 5. 中性点经消弧线圈接地系统相间短路故障真型试验； 6. 中性点经低电阻接地系统相间短路故障真型试验。			
试验依据	《国家电网有限公司一二次融合标准化柱上断路器及环网箱入网专业试验大纲》及《配网重合自愈系统试验方案》			

试验用主要仪器设备	名称	型号	编号	检定（校准）证书
	10kV 配电网真型试验场	—	—	—
试验人员	张振华、裴锦辉			
试验结论	配网重合自愈系统通过 6 个项目试验验证。			

试验项目及试验结论

序号	试验项目	页码	试验结论
1	中性点不接地系统 单相接地故障真型试验	3	符合 4 项，不符合 0 项
2	中性点经消弧线圈接地系统 单相接地故障真型试验	4	符合 4 项，不符合 0 项
3	中性点经低电阻接地系统 单相接地故障真型试验	5	符合 4 项，不符合 0 项
4	中性点不接地系统 相间短路故障真型试验	6	符合 2 项，不符合 0 项
5	中性点经消弧线圈接地系统 相间短路故障真型试验	7	符合 2 项，不符合 0 项
6	中性点经低电阻接地系统 相间短路故障真型试验	8	符合 2 项，不符合 0 项

七、装置实物图



辅助装置 A



辅助装置 **B**





新型 **FTU/转接箱**