

智能配电网分布式馈线自动化技术

苏梓皓¹ 陈弼栋² 吴鸿彬² 王奕炯²

1. 广东电网汕头龙湖供电局 广东 汕头 515000

2. 广东金晖隆开关有限公司 广东 汕头 515000

摘要: 分布式馈线自动化技术, 是智能配电网的重要技术。由于配电网实际接线的复杂性, 再加上接地短路故障、相间故障频发, 这大大降低了配电网的运行效率和供电可靠性, 严重时破坏电力系统的稳定运行。采取分布式馈线自动化技术的智能配电网, 能有效提高配电网的运行效率和供电可靠性, 保证电力系统的稳定运行。智能配电网通过智能监测和自动装置, 监视配电网的运行, 一旦系统发生故障, 则及时对故障进行切除、定位隔离和恢复非故障区域的供电, 大大提高配电网的自愈能力, 使系统尽快恢复至安全稳定的运行状态。这是未来智能配电网的发展方向。

关键词: 智能配电网; 分布式; 馈线自动化技术

1 智能分布式配电自动化设备的功能

智能分布式配电自动化终端能实现配电线路故障的快速定位切除、快速就地隔离故障、和快速自愈非故障区供电。同时具备对后备电源进行管理和远程电池活化的功能, 还具备电量信号、电池故障、电池充电模块故障等信号采集的功能。

配电自动化终端具备的逻辑功能: 电源、负荷侧得电合闸; 电源、负荷侧失电合闸; 合于故障电流判据; 非遮断电流闭锁元件; 残压闭锁元件; 涌流识别闭锁元件; 相间、接地故障告警; 零序电压故障; PT 断线告警; 常规保护功能; 三相二段式定时限过电流保护; 两段零序过电流保护; 三相二次重合闸; 同期合闸功能; 电压解列功能; 频率解列功能; 跳闸回路监视; 合闸回路监视; 电气防跳功能等。

2 智能分布式运行模式

智能配电网通过配电终端之间的相互通信、馈线自动化(FA)和微机继电保护配合, 不依赖于配电站主站控制, 判断故障区域、隔离故障, 恢复非故障区域供电, 并上报处理过程及结果。网络式交互信息实现了保护快速性和选择性的完美统一。智能分布式FA分为速动型和缓动型两类:

速动型: 应用于配电线路分段开关、联络开关为断路

器的线路上, 配电终端通过光纤对等通信网络, 与同一供电回路内相邻分布式配电终端实现信息交互, 当配电线路上发生故障, 在变电站出口断路器保护动作前, 实现快速故障定位、故障隔离和非故障区域的恢复供电。

缓动型: 应用于配电线路分段开关、联络开关为负荷开关的线路上, 配电终端通过无线远动通信安全网关进行对等通信, 与同一供电回路内相邻分布式配电终端实现信息交互, 当配电线路上发生故障, 在变电站出口断路器保护动作切断故障后, 实现故障定位跳闸、故障隔离跳闸和配合变电站出口断路器的重合闸功能恢复非故障区域的供电^[1]。

3 分析故障隔离逻辑

对等通信的分布式FA单节点模型示意图如图1所示, 开关SW需与两侧的其他开关相连接, 于是定义开关SW两侧的连接区域分别为M侧和N侧, 按每侧最大3个分支的开关节点进行说明, 若实际应用超过3个分支的节点可进行扩展。对于首开关和末开关, M侧和N侧只有1侧节点。当区域内所有节点开关配置均为断路器时, 适用速动型逻辑; 当所有节点开关配置均为负荷开关时, 适用缓动型逻辑。为保障一次系统故障智能分布式功能只动作一次, 故障隔离逻辑设计有充放电状态

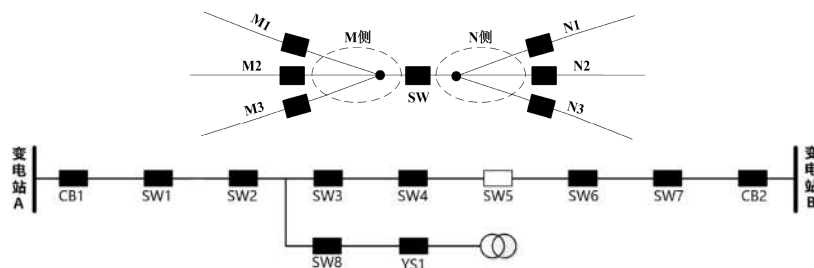


图1 智能分布式自愈单节点模型示意图

3.1 主干线故障动作过程

3.1.1 当SW1和SW2之间发生故障后，SW1感受到故障电流、SW2~SW4、SW8侧无电源感受不到故障电流；

3.1.2 SW1节点为首开关，其一侧无故障经延时后故障切除动作跳闸；SW2节点M侧和N侧一侧无故障、一侧有故障，经延时后故障隔离动作跳闸；SW3~SW4、SW8自身无故障且两侧均无故障，不动作。

3.1.3 SW2开关故障隔离成功后，向两侧发送“故障隔离成功”GOOSE信号，“故障隔离成功”信号经过SW3、SW4转发至开环点SW5，SW5收到信号且单侧失压后启动合闸，经过延时后合闸成功恢复供电。

3.2 主干线故障开关失灵后动作过程

3.2.1 当SW1和SW2之间发生故障，SW2故障隔离跳闸后，开关失灵跳闸失败后向M侧和N侧发送“开关拒跳”GOOSE信号，SW3、SW8收到邻侧发来的“开关拒跳”信号后瞬时动作跳开开关。

3.2.2 SW3开关故障隔离成功后，向两侧发送“故障隔离成功”GOOSE信号，“故障隔离成功”信号经过SW4转发至开环点SW5，SW5收到信号且单侧失压后启动合闸，经过延时后合闸成功恢复供电。

3.3 首开关上级故障后动作过程

3.3.1 当故障发生在变电站出线开关与首开关之间，即CB1和SW1之间发生故障后，由于变电站出线开关不考虑纳入分布式FA，SW1无法收到CB1的故障信息，也未感受到故障电流；

3.3.2 当故障发生后时，变电站出线开关CB1由过流保护动作跳闸，此时首开关SW1两侧失压；

3.3.3 首开关SW1检测到两侧无压无流，启动首开关失压保护逻辑，经延时后首开关跳开成功隔离故障，同时向两侧发送“故障隔离成功”GOOSE信号；

3.3.4 “故障隔离成功”信号经过SW2、SW3、SW4转发至开环点SW5，SW5收到信号且单侧失压后启动合闸，经过延时后合闸成功恢复供电。

3.4 末开关下级故障后动作过程

3.4.1 当故障发生在末开关SW8和YS1之间时，SW1、SW2两侧节点均有故障电流无法动作，SW3本身无故障电流，但N侧接收到SW2、SW8均有故障也无法动作。

3.4.2 末开关SW8检测到故障，且收到SW2“节点故障”信号后，经过故障切除延时后故障切除动作跳闸。

3.5 GOOSE通信异常开关下级故障动作过程

3.5.1 SW1与SW2开关之间发生GOOSE通信异常时，SW1、SW2自动投入GOOSE通信异常过流保护及GOOSE通信异常失压保护。当故障发生在SW2和SW3之间时，SW1、SW2检测到故障电流流过；

3.5.2 SW1、SW2经过故障切除时限后，通信异常过流保护动作跳开SW1、SW2开关；SW3、SW8节点未检测到故障且收到M侧或N侧有且仅有一个节点SW2的“节点故障”GOOSE信号，经延时后故障隔离动作跳闸；

3.5.3 SW3开关故障隔离成功后，向两侧发送“故障隔离成功”GOOSE信号，“故障隔离成功”信号经过SW4转发至开环点SW5，SW5收到信号且单侧失压后启动合闸，经过延时后合闸成功恢复供电。

3.6 GOOSE通信异常开关上级故障动作过程

3.6.1 SW2与SW3开关之间发生GOOSE通信异常时，SW2、SW3自动投入GOOSE通信异常过流保护及GOOSE通信异常失压保护。当故障发生在SW1和SW2之间时，SW1检测到故障电流流过，SW2~SW8开关未检测到故障；

3.6.2 SW1节点为首开关，其一侧无故障经延时后故障切除动作跳闸；SW2节点M侧和N侧一侧无故障、一侧有故障，经延时后故障隔离动作跳闸。

3.6.3 SW1节点跳闸后，SW3开关两侧失压且无流，GOOSE通信异常失压保护动作跳闸跳开SW3开关。

3.6.4 SW3开关跳闸成功后向两侧发送“故障隔离成功”GOOSE信号，“故障隔离成功”信号经过SW4转发至开环点SW5，SW5收到信号且单侧失压后

启动合闸，经过延时后合闸恢复供电。

4 智能分布式组网方式

智能分布式FA网络主要是分布式配电自动化终端之间通过XPON无源光网络、以太网组成自愈环网结构，采用IEC61850-GOOSE协议进行对等通讯。

4.1 对等网络通讯

对等网络通讯是一种在对等者（Peer）之间分配任务和工作负载的分布式应用架构，是对等计算模型在应用层形成的一种组网或网络形式（如图2所示）。对等网络通讯实现了在对等网络中各个参与者共享他们所拥有的一部分资源，这些共享资源通过网络提供服务和内容，能被其它对等节点（Peer）直接访问而无需经过中间实体^[2]。

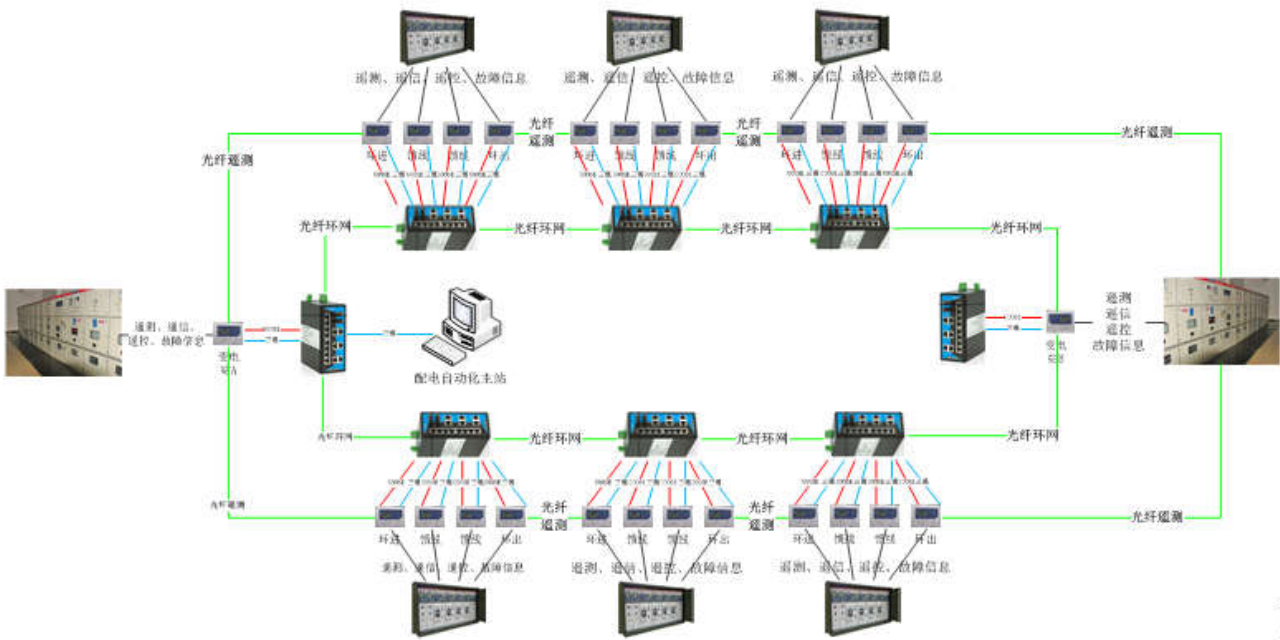


图2 智能分布式终端光纤对等通讯网络结构图

4.2 IEC61850 GOOSE信息交互格式

智能分布式配电终端之间通讯基于IEC61850标准体系里的GOOSE服务模型（面向通用对象的变电站事件（

GOOSE---Generic Object Oriented Substation Event) 是IEC 61850标准中用于满足变电站自动化系统快速报文需求的机制。)进行信息交互。

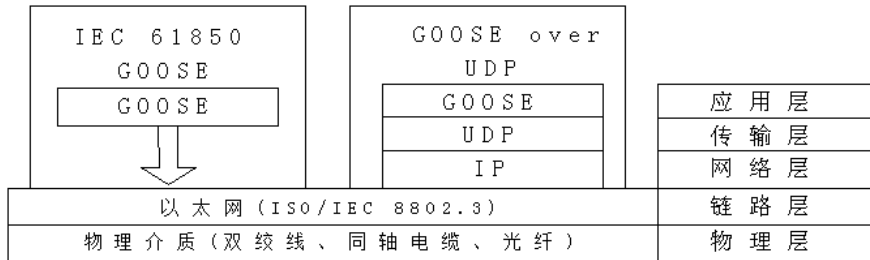


图3 IEC61850的GOOSE服务模型图

GOOSE机制采用类似IEC61850-90-5中基于IP网络的GOOSE机制，使用组播，0x88B特征类型，提高网络数据处理效率。GOOSE自身具备合理的重发机制（使用

stnum和sqnum丢舍判断），效率高。故满足终端之间的订阅的信息（包含FA信息、故障信息、电压信息、电流信息、转供电信息）高速交互。

订阅的信息	说明
FA信息	FA的状态：包含闭锁、启动、FA处理完成等状态
故障信息	过流、过压等故障状态
电压信息	根据开关有无电压和分合状态，来判断联络开关位置
电流信息	线路正常运行时的电流值，便于联络开关恢复供电时使用
转供电信息	是否需要联络开关转供，联络开关接到此信息号后，进行合闸转供

图4 智能分布式配电自动化终端信息交互类型

5 在汕头某片区的应用

5.1 组网方式的介绍及其要实现策略

广东电网汕头供电局在疏港变电站疏岸线、疏海线单环线路开展智能分布式馈线自动化功能（以下简称智

能分布式FA)探索应用,环网方式的电气主接线如下图5所示。

疏岸线开关、疏海线511开关为变电站出线侧断路器,环网线路上有七个自动化环网柜。该型环网柜具有进出线两个PT,进出线开关全部为断路器。疏岸线#4环网柜作为环网的联络柜,该环网柜的605开关作为开环点。

主干线环网开关配置断路器成套自动化开关,具有的策略包括缓动型智能分布式保护、电压电流型馈线自动化和常规保护三种保护。日常运行时采用基于对等通信的缓动型智能分布式自动化策略,实现故障的快速定位和隔离及非故障段恢复送电。

即当主干线发生故障时,断路器开关虽检测到故障

电流,但不按常规电流保护动作切除故障,先由变电站馈线断路器开关保护动作切除故障,主干线的分段开关通过自动化策略定位故障点,并自动隔离故障段,变电站馈线开关一次重合闸对故障前段恢复供电,联络开关检测到故障隔离信号后自动合闸,实现故障后段转供电恢复供电。

分支线开关配置断路器成套自动化开关,为保证主干线开关故障判断的快速性,分支开关不参与智能分布式自动化策略,按照常规电流保护,与变电站馈线开关保护实现级差配合,快速动作切除故障,不影响主干线及其他分支正常供电。

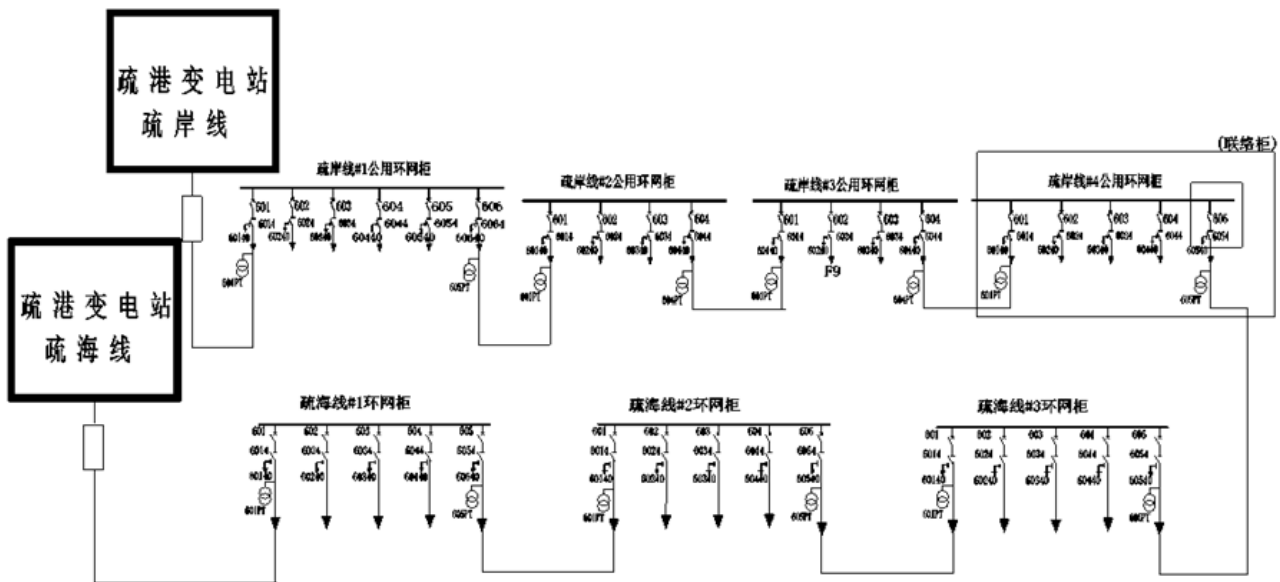


图5 环网方式的电气主接线

疏海线-疏岸线环网线路的缓动型智能分布式需要实现的策略:

5.1.1 全部开关正常,全部通信正常的情况下:

- 1) 分支出线故障由该分支开关的常规保护跳开,变电站不跳闸,线路不转供;
- 2) 变电站出线故障,在变电站开关跳闸后,临近首开关不跳闸,也不启动转供电;
- 3) 环网联络线故障,在变电站开关跳闸后,临近的一个分段开关跳闸,不启动转供电;
- 4) 其他主线故障和环网柜母线故障时,在变电站开关跳闸后,故障点两侧的两个分段开关跳闸。

5.1.2 当有开关发生拒动,全部通信正常的情况下:

- 1) 分支开关拒动,由变电站开关跳闸后,该分支所属环网柜的两个分段开关跳闸切除故障,线路转供(等效于母线故障);

- 2) 分段开关拒动,在变电站开关跳闸后,如果是故障点电源侧开关则上一级开关跳闸,如果是电源点负荷侧开关则下一级开关跳闸。

5.1.3 当有开关存在通信异常,全部开关正常的情况下:

- 1) 线路故障时,并且检测到故障电流的分段开关通信异常,在变电站跳闸后,该分段开关跳闸。但通信异常且未检测到故障电流的分段开关不动作。
- 2) 线路发生故障,变电站开关跳闸后,通过对等通信判断故障点后,故障点电源侧开关跳开后向联络开关发出故障切除信号,故障点负荷侧开关跳开后向联络开关发出故障隔离信号。两个开关动作顺序不分先后。联络开关应收到故障隔离成功信号后启动相关转供电逻辑判断(无需故障切除信号)。

5.2 结合电气主接线系统故障模拟图?(图6),探

讨技术应用后的验证情况

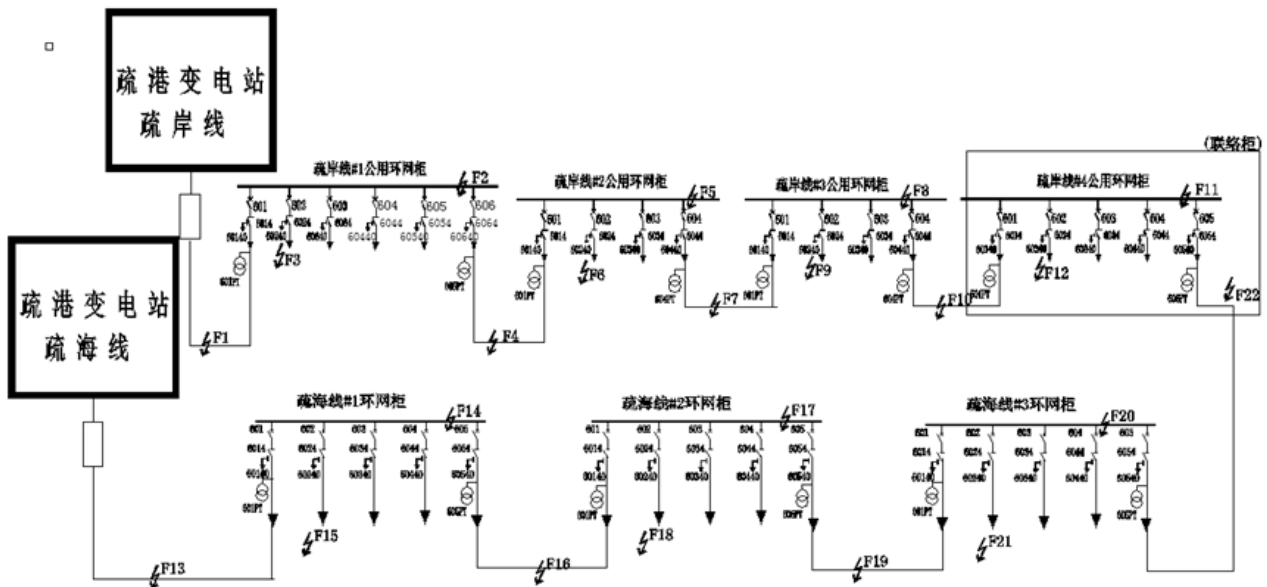


图6 电气主接线系统故障模拟图

常规运行时，首开关，分段开关和分支开关都在合位，联络开关处于断开位置。所有的故障测试都是在常规运行模式下进行。通过在不同位置施加故障电流，验证其发生故障时，智能分布式FA功能逻辑动作实时性、正确性、可靠性。在验证智能分布式FA功能时，我们默认为线路不存在分布式电源或者分布式电源容量很小可忽略不计。

对故障模拟图中F1、F2、F3、F4、F11和F22共6种故障类型进行测试并记录各开关的动作情况。测试结果证实每种故障状态下各分段开关均能按照智能分布式FA功能逻辑动作，满足智能分布式需要实现的策略要求，大大提高网络的运行效率和供电可靠性^[3]。

6 技术带来的有益效果

对于20kV及以下配电网线路采用智能分布式FA功能，通过验证，为我们的配电网带来如下收益：

6.1 故障隔离时间大幅缩短，比较电压型FA，采用速动型智能分布式FA可实现由秒级隔离变为毫秒级隔离，采用缓动型智能分布式FA也能将故障隔离时间大幅缩短至5秒以内。

6.2 故障自愈时间将大幅缩短，在无人为干预情况下，速动型智能分布式FA可将恢复用户供电时间缩短至

300ms以内。缓动型智能分布式FA可将恢复用户供电时间缩短至5s以内。

6.3 可将运维人员发生故障时的平均运维时间缩减至5分钟；

结束语

智能分布式终端通过自身多功能配电自动化逻辑融合、数字化通讯技术应用普及、高效的布局安装方式，已经成为实现配电网双碳经济的有力支撑。也必然是未来终端的领军人物。但是我们也清醒认识到智能分布式终端在通信领域应用，对于运维人员需要具备较高通讯技术常识，在运维过程中，除了需要应用电气知识，还需要我们具备一定的网络技术知识，才能更好的为配电网智能化服务。

参考文献：

- [1]郝红霞 分布式馈线自动化原理与方案设计[D]山东大学，2015
- [2]韩国政. 基于IEC 61850的配网自动化开放式通信体系[D]. 山东大学，2011.
- [3]沈震. 地区配电网配电自动化的应用研究[D]. 广东工业大学，2007.