

[控制系统]

智能开关设备防火墙系统在配电网中的应用研究

文/广州供电局有限公司番禺供电局 汤毅 莫芸 赖水生 蔡铭杰
苏州华天国科电力科技有限公司 程乐峰 李正佳 包俊

通过对配电网拓扑结构、对等通信技术、继电保护理论的研究，引入就地故障隔离和配电网重构的概念，以快速故障检测、同步闭锁、故障定位、快速故障隔离、恢复供电、自适应供电方向、自适应配电网拓扑结构为导向，使故障仅影响故障所在区段的线路，而不会影响到其他正常区段的线路供电，从而使电网内部实现建立“防火墙”的目的。介绍了智能开关设备防火墙系统的逻辑研究和数据采集技术研究，设计了系统具体实施方案，包括网络化保护功能开发，系统调试、维护及管理功能开发和主站监控系统开发，通过对智能开关设备防火墙系统的实施研究，缩短了故障隔离和恢复供电时间，适用于各种复杂配电网网络拓扑结构，可用于短路器或者负荷开关，对提高配电网供电可靠性和智能化具有重要意义。

目前城市配电网馈线自动化主要采用集中式故障诊断和处理，即配网主站系统根据断路器保护动作信息，线路上FTU的过电流信息，拓扑信息进行综合诊断，确定故障区域，进行故障的隔离。该模式下，变电站出口断路器会跳闸，造成一些非故障区域也停电一次，虽然时间比较短，但也对正常的供电、生产造成影响。在未来的智能配电网发展中，电网的自愈特征将越来越重要，目前低压、中压的保护已经发展的非常完善和成熟，但在配电网的发展中，由于配电网的持续变化以及复杂性，目前国内外的研究都集中在通过大型主站系统配合一次线路的网络拓扑结构实现对配电网的自愈。

早期的配电网自动化是人工式的，它由安装在变(配)电站馈线出口处的电流速断保护、出口短路器和安装在其他位置的负荷开关和故障指示器组成，馈线任意区段故障后，电流速断保护动作，出口断路器动作跳闸。根据故障指示器所指示的位置人工拉开两端的负荷，隔离故障区段，

然后再重新闭合断路器恢复未故障部分的供电。该模式安装简单，适用于网架结构简单的线路，自动化程度低，人员要到现场，劳动强度大，停电时间长。

能否将继电保护的选择性、可靠性、速动性及灵敏性引入到配网线路上，对配网线路进行模式设定，从而采用保护的特性对配电网线路进行故障诊断、隔离和恢复供电？根据多年对配电网技术的研究，本文将继电保护的选择性、可靠性、速动性及灵敏性引入到配网线路上，对配网线路进行简单设定，从而采用继电保护的特性对配电网线路进行故障诊断、隔离和恢复供电。采用将复杂的问题简单化的处理方法，使配电网线路上的故障也像变电站的保护一样，能够被相互独立地处理，防止故障发生后变电站出口开关跳闸的情况，通过对开关及二次设备的智能化设计，使线路的故障被限制在仅发生故障的区域内，从而以一种全新的方式来处理馈线自动化。采用分布式处理模式，使故障的隔离更加精细和合理，诊断的速度更快、不会导致非故障

区域停电。同时也剥离了配电网馈线自动化必须处理庞大、复杂的拓扑关系的影响,使馈线自动化的故障诊断和隔离更加可靠、稳定。配网自动化的实施也更容易、便捷。

智能开关设备防火墙系统原理阐述

配电网的一次网架结构有如下几种接线方式:架空线的手拉手方式、架空线的T形接线方式、架空线的井字形接线方式,电缆的手拉手方式,电缆的开闭所接线方式,电缆的环网柜接线方式,如图1所示。

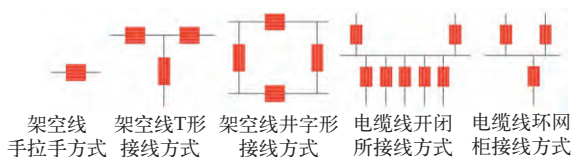


图1 配电网网络接线方式

手拉手线路相对简单,井字形线路、开闭所和环网柜接线方式都可简化为T形或手拉手方式,因此我们选取T形接线图来说明智能防火墙基本的原理。

当配网线路某处短路时,短路点的所有上级开关都通过短路电流,短路点的下级开关不通过短路电流,如图2所示。

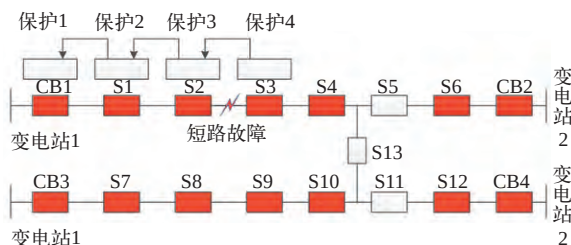


图2 智能开关设备防火墙系统故障隔离、网络重构示意图

发生故障时, CB1、S1、S2 通过短路电流, S3 不通过短路电流。为了能够快速识别故障,开关上安装保护装置。保护装置识别到短路信息后,同时向上一级保护装置发出短路闭锁信号。保护3检测到短路电流,产生短路闭锁信号,闭锁保护2。同理,保护2产生短路闭锁信号,闭锁保护1,保护4检测不到短路电流,也就不产生闭锁信号。这样,保护3检测到短路信号,并且没收到相邻装置的闭锁信号,保护3将瞬时动作跳闸,将故障点隔离。同时,保护3发送请求跳闸信息给它的下一级装置保护4,下一级装置保护4收到跳闸请求后,输出控制命令,控制 S3开关分闸,完成故障隔离。

当最靠近短路点的电源侧开关因故障拒动时,会向上一级开关保护装置发送请求动作指令,上一级开关收到指令并且检测到短路故障信息后跳闸,切除短路故障。使供电线路得到很好地保护,减小停电的范围。比如, S2开关拒动,保护3会发送请求动作指令给保护2,保护2收到指令后,跳开S1开关,从而避免CB1误动作。

开关S2、S3动作后,还需要恢复S3下游非故障区域的供电。联络开关S5、S13、S11没有收到相邻开关的故障闭锁信息,则在联络一侧有压,另一侧无压的条件下,经预先整定的时间自动合闸,比如优先采用S5联络开关供电,则将S5合闸时间整定的比S13短一些。S5开关延时到后,自动合闸,恢复S3下游非故障区域的供电。

智能开关设备防火墙系统研究

1. 逻辑研究

每个开关保护装置短路闭锁信号接入上一级开关智能保护装置速断闭锁输入端,闭锁上一级开关的速断保护功能,使之不能速断跳闸;短路点下级开关保护装置的短路电流采集模块检测不到短路电流,不会发出短路信号和闭锁信号,不闭锁上一级开关的速断保护功能。这样,只有短路点上方最靠近短路点的一级开关因下级开关(在短路点下面)不发出短路闭锁信号而不被闭锁,它速断跳闸,切断短路线路。

短路线路切断后,短路电流消失,保护解除闭锁。当最靠近短路点的上面的一级开关因故障拒动时,它的上一级开关保护装置的定时限过流保护延时一小段时间,延时到后,上一级开关跳闸,切除短路电路,作为下级开关的后备保护。从而切除故障线路,减小停电的范围,缩短停电时间。如图3所示。

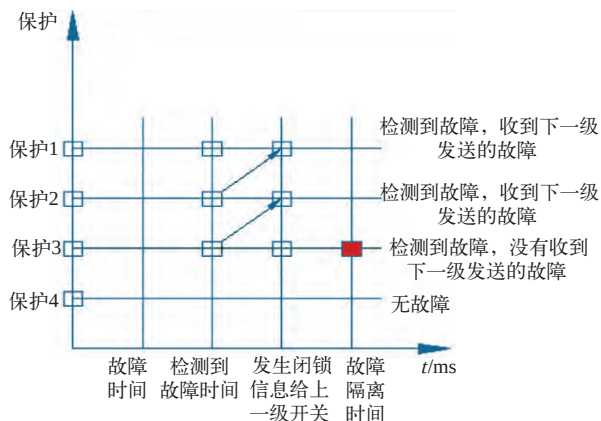


图3 智能开关设备防火墙系统逻辑研究示意图

根据图3, 保护3检测到故障, 但收不到下一级保护发送的故障闭锁信息, 因此故障在该区域, 保护3输出控制命令, 控制该开关分闸, 进行故障的隔离。

2. 数据采集技术研究

该部分研究主要包含如下几个部分。

(1) 遥控技术研究

可以正常地遥控跳闸、合闸。终端接收并执行来自主站或子站的遥控命令, 完成开关的分、合闸操作; 具有远方/本地转换开关; 同时转换2组开关控制权限, 可就地实现开关的分、合闸操作; 每个遥控接点可以单独设置动作保持时间。

(2) 遥测技术研究

遥测量采集: 包括 U_a 、 U_b 、 U_c 、 U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{ca} 、 U_0 、 I_a 、 I_b 、 I_c 、 I_0 、 F 、 P 、 Q 、 S 、 COS 等模拟量。通过积分计算得出有功电度、无功电度, 所有这些量都在当地实时计算, 实时累加。采集蓄电池电压等直流量、电流电压的谐波分量等。

(3) 遥信技术研究

遥信量采集: 采集83路自定义遥信开入, 并有事件顺序记录(SOE)。遥信分辨率小于2 ms。包括采集开关和接地刀开关的合、分状态量信息; 开关变位信号; 采集终端电源状态信息; 采集终端故障、异常信息等虚拟遥信; 遥测越限、过电流、接地等虚拟遥信; 采集各种故障指示器接入状态量; 采集柜门开闭状态信息、电池告警信号等。

智能开关设备防火墙系统具体实施方案

1. 系统开发

(1) 网络化保护功能开发

安装在一条线路上的各个装置可以互联, 形成本地保护网络。只有短路点上方最靠近短路点的一级开关因下级开关(在短路点下面)不发出短路闭锁信号而不被闭锁, 短路点开关速断跳闸, 切断短路线路。

在配电网中, 有些工业负荷含有大量感应电动机, 故障时会供给故障点电流, 因此装置必须判断故障时的功率流向, 本侧过电流, 且负荷侧无电流或有电流但功率方向与本侧相反时, 跳本侧开关。如果现场未装设电压互感器, 装置可基于故障发生时刻为起始点, 实时计算故障电流相位, 并发送给邻域开关(开关为分位, 或无流时不计算电流相位), 开关根据各邻域电流相位矢量差, 如果在 0° 附近为非故障区段, 180° 附近为故障区段。装置根

据上述判据, 综合判断出故障点所在, 准确隔离故障。

网络化保护功能需支持逻辑可编程, 现场维护人员可以通过简单的配套工具进行逻辑的修改维护。

(2) 系统调试、维护及管理功能开发

装置具有2个以太网口、2个光电隔离RS485口及2个可配置的光电隔离通信口(RS485或者RS232)。实现与子站的数据转发、信息上送, 接收并执行主战或子站下达的遥控命令, 进行故障处理。

装置具有参数远方设置功能和当地设置功能。包括接收主站或子站的参数设置及定值修改, 子站或主站可随时召唤装置的当前整定值; 可在装置面板上直接进行参数设置及定值修改。具有自诊断功能。实时对装置内部ARM、DSP、FALSH、AD等重要的芯片进行检测, 异常时向主站(子站)告警并反映实时工况; 当装置检测到本身硬件故障, 发出装置闭锁信号, 同时闭锁装置(BSJ继电器返回)。硬件故障包括装置参数出错、RAM故障、ROM故障、电源故障和CPLD故障。

顺序事件记录及上报, 装置最多达256条SOE记录, 256条操作报告, 64条保护动作记录。记录系统真实遥信信息及故障发生、系统运行状态信息。

(3) 主站监控系统的开发

主站实现数据采集、计算、处理、事故报警、分析统计功能, 能完成数据存储、图形显示、图形编辑、实时数据库管理、历史数据库管理、远行控制及操作、打印管理、前置通信处理、报表、趋势曲线和棒图、时钟与对时、安全管理等功能。

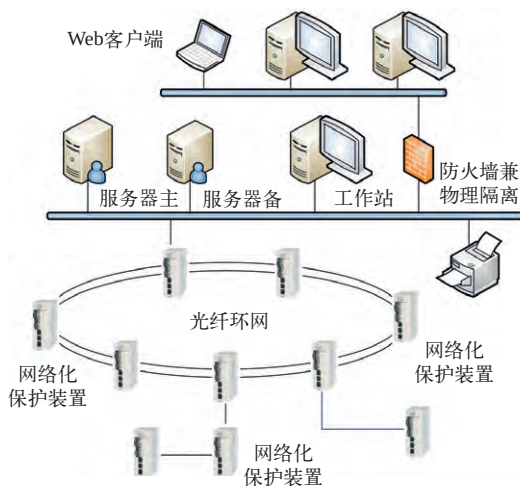


图4 主站监控系统开发示意图

系统组成部分如图4所示。

2. 具体实施方案

(1) 具体方案

终端装置之间具有高速通信信道（光纤、GPRS、无线等），可通过终端之间相互通信和信息交换，从而更有效地对故障进行隔离和实现非故障段的转移供电（不需要试合闸，没有多余的开关动作），该过程可以不需要主站参与。具体方案如下。

终端装置配置上游区域节点信息和下游区域节点信息，即不越过断路器互联的线路作为同一个供电区域。通过引入供电区域节点的概念，简化了故障定位的逻辑，不管对于多复杂的配电网络拓扑结构，一个开关只有一个上游供电区域和下游供电区域，如果下游供电区域内，任何一台保护装置发来闭锁信息，都会闭锁本开关动作。因此，装置只要设定上游区域节点和下游区域节点的编号，就可以方便地进行故障隔离、恢复供电，逻辑简单，不需要分析配电网络拓扑结构，也不需复杂的逻辑运算。

在配电网正常运行时，终端装置可以根据功率方向建立终端间连接关系。一旦供电网络拓扑结构发生变化，装置会实时跟踪功率方向的变化，从而确定上游区域节点信息和下游区域节点信息，可靠地完成故障的隔离。

对于瞬时性故障，终端装置具备一次重合闸功能。如果重合成功，则故障消除，供电恢复正常。对于永久性故障，装置合于故障后，加速跳闸，完成故障的隔离，因此不论发生瞬时故障还是永久故障，都不会造成非故障区域的停电。

配电网开关设备，可能配置为断路器或者负荷开关。该方案既可和断路器配合，也可和负荷开关配合。配电终端与断路器配合使用时，可以让离故障点最近的电源侧开关速断跳闸，不需上级开关和变电站出口跳闸，保证了保护的快速性和选择性，使得故障点前的负荷不受故障影响。配电终端与负荷开关配合使用时，在变电站出口断路器因故障跳闸后，可让离故障点最近的电源侧负荷开关快速跳闸，隔离故障，保证变电站出口开关可重合成功，故障点前的负荷基本不受故障影响。

当有主站存在时，根据需要可使用集中控制与分布式智能相结合的故障后网络重构方案，分布式智能与集中控制互为备用，网络重构方案的可靠性大大提高。装置增加了一组内部通信信息，即心跳信息，在同一个区域的网络上互相告知目前和主站互联的状态，相邻的装置都通过通信通道两两相

连。当主干网的通信正常，主站功能正常时，终端装置处于集中处理模式，和传统的智能终端完全一样，终端装置记录开关状态，线路上的电压、电流及告警等信息，并将信息上送给主站，主站根据终端记录的信息、网络拓扑，变电站出口断路器保护动作信息，通过遥控开关分合闸，完成故障定位分析、故障隔离以及负荷转供。

线路上发生故障时，终端装置在和主站通信正常的情况下，只记录过流告警信息，并上传至主站系统，自身不会产生保护动作。

主站因采集服务器故障或者主干通信节点异常，导致终端装置和主站失联，则终端装置进入分布式自主判断阶段，在区域内通过终端信息交互，自动完成馈线自动化。

主站失联判断方法：区域内的终端装置有一个心跳信息和区域配置信息，通过配置信息和广播心跳信息的对比判别，确定出单个或某几个装置通信故障还是区域内所有装置和主站失联，如图5、图6所示。

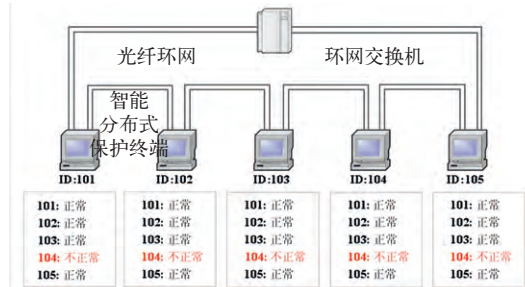


图5 智能开关设备防火墙系统运行情况

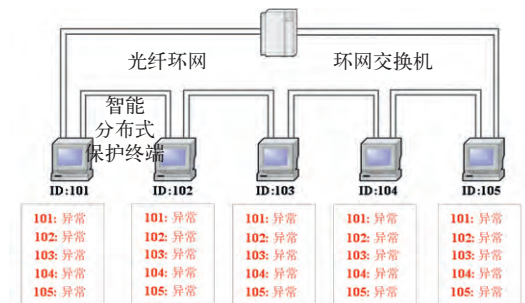


图6 智能开关设备防火墙系统所有设备处于异常

图5说明，只有ID号为104的终端装置异常，所以不进入分布式处理模式。

图6说明，区域内所有终端装置都出现通信异常，表明和主站失联。此时，终端装置进入分布式模式来处理数据。

(2) 智能开关设备防火墙系统实施

智能开关设备防火墙系统可按常规智能配电终端进行实施，安装完成后，具备常规智能配电终端的所有功能，包括遥信、遥测、遥控、故障检测等。分布

(下转第100页)

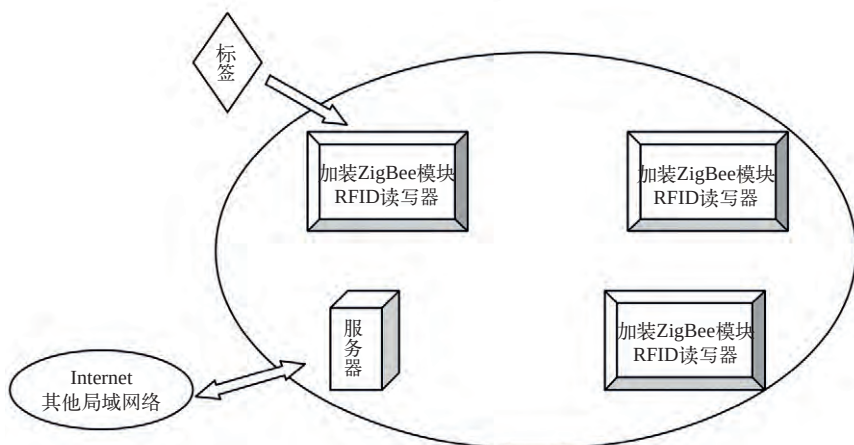


图 RFID系统结构示意图

巡检。为此，就需要在每一个转接塔安装读写器，同时，每一层安装定位器。夜间巡视人员或维修人员每人随身携带一个电子标签，每个标签有唯一的ID对应相应的人员，当巡视人员经过读写器的读写区域时，他们随身的标签会向读写器发送ID，读写器将收集到的人员ID信息通过ZigBee无线网络发送给处理器，经处理后的信息发送给PC和相应控制设备。这样既可以通过对人员的定位来控制照明设备的开闭，还可借此监控记录巡视人员的巡视时间和路径，起到巡检管理系统的作用。

3. 智能系统的扩展

照明智能系统中，在实现开关智能化的前提下还可根据实际情况加装适当传感设备，如在灯具上加装亮度传感器来检测灯具的亮度，以方便维修人

员实时了解灯具的使用状况；在灯具上加装温度传感器来检测灯具的散热情况，以避免煤尘较多的转接塔内因灯具过热而造成火灾，等等。

各类传感设备可通过加设ZigBee模块来实现无线通信，使管理人员利用PC监测照明灯具的状况。

结束语

基于RFID射频技术的智能照明系统，在理论上完全符合煤炭港口的现场实际环境，能有效完成对进入照明区域人员的定位，实现照明设备的智能监控，并且该技术成本较低，扩展性较高，具有很高的实用价值。EA

(收稿日期：2015.06.19)

(编辑：杨得润)

(上接第94页)

式模式默认情况下是不投入的，如果需要投入，就需要对终端装置进行分布式参数配置，即配置正常供电方向时的上游供电区域编号和下游供电区域编号。终端根据这些配置以及自动诊断的功率方向建立内部的网络拓扑信息。在进入分布式处理模式下，根据这些拓扑信息完成故障的诊断、隔离和恢复供电。

装置采用半波傅里叶算法计算故障电流，速断定值可整定为4倍额定电流。定时限过电流保护的定值可整定为2倍额定电流，动作时间按照供电方向，以150 ms为梯度依次整定线路上串联的开关。由于装置依据功率方向，判别网络拓扑结构是否发生变化，因此电压电流接线注意为正极性接线方式，即正常时，测得功率为正。装置配置2个以太网口，网口1与主站通信，网口2用于装置间通信，利用光纤交换机组成环网。

结束语

智能开关设备防火墙系统根据网络拓扑信息自动完成故障的诊断、隔离和恢复供电，对于无主站的地区，或者主站瘫痪后，可以自动切换为智能分布式模式，可迅速隔离故障，避免非故障线路的用户停电；故障隔离和恢复供电时间短，可适用于各种复杂配电网网络拓扑结构，可用于短路器或者负荷开关，不会对电网造成多次冲击。应用该技术后，缩短了故障隔离和恢复供电时间，适用于各种复杂配电网网络拓扑结构，可用于短路器或者负荷开关，对提高配电网供电可靠性和智能化具有重要意义。EA

(基金项目：中国南方电网科技项目资助项目编号：K-GZM2014-140)

(收稿日期：2015.09.22)

(编辑：杨得润)