

配网自动化的配网自愈技术要点探究

其米次宗

(国网西藏电力有限公司昌都供电公司 西藏自治区昌都市 854000)

摘要：目的：为解决配套网络信息的结构功率较低的问题，结合不同的故障特点，提出相关的解决思路。方法：对配网自动化配网自愈技术类型进行探讨，在确定主站与电压-时间型自愈技术模式的基础上，对启动条件、故障定位逻辑、配网转供电逻辑加以分析，围绕自愈技术原理提出配网自愈技术终端布设及馈线要求，将数学算法引入到配网自愈技术中，搭建Y型树枝模型与配网故障恢复算法，并进行实验分析。结果：生成数学算法、构建配网自愈数字模型可以实现故障定位与恢复，充分发挥配网自愈技术优势，提高配网自动化自愈成功率。结论：配网自愈技术在配网自动化发展过程中发挥出重要作用，为配电故障的定位与恢复提供技术支持，实现提高配网自动化自愈率的目标。

关键词：配网自动化；配网自愈技术；故障定位；Y型树枝模型

一、配网自动化配网自愈技术类型

配网自愈技术实际上就是通过在线上加装自动化装置对配电线路运行情况进行实时监控，一旦检测到故障信息，可及时定位并隔离故障区域，并保证非故障区域的正常供电^[1]。按实现方式划分，配网自愈技术主要包括集中型、就地型、集中就地协同型三种技术类型。具体来看，集中型配网自愈技术对基础设施的要求较高，利用完善的主站、终端以及通信通道实现实时双向通信，采集线路运行信息与故障信号，通过人工控制或远程监控控制自动化开关，及时发现并隔离故障，实现配网运行方式的改善与优化。配网自愈技术适用于所有配网线路，在满足线路保护及复杂故障处理要求的基础上进一步降低对终端与站内配合情况的要求。根据技术应用情况，影响故障定位及恢复的因素主要包括配网基础数据质量、主站稳定性以及二者通信质量，受到上述因素影响，可能出现集中型配网自愈技术失效的情况。

二、配网自愈技术实践应用

(一) 技术路线选择

配网自愈技术主要分为集中型、就地型与集中就地协同型，某区域配电网在选择配网技术路线时为实现主干分段、负荷支线、联络开关三遥功能，选择主站与电压-时间型自愈技术模式，即通过电压-时间型逻辑控制主干线分段断路器，通过保护、重合闸功能控制支线首端分界断路器，联络断路器可实现逻辑、保护功能退出，确保主站与电压-时间型自愈技术模式与该区域配网自动化建设情况相适应^[2]。

(二) 配网自愈技术操作方法

分析认定自愈技术模型为配套网络技术，参考配网终端的通信，对存在故障点的位置进行定位，调整隔离范围，通过主站位置控制，调整非故障区域内的基础供电情况。图1为技术具体流程。

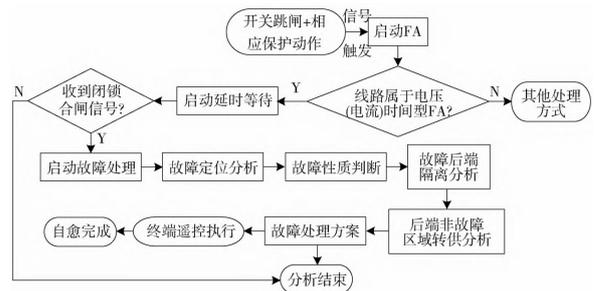


图1 主站与电压-时间型自愈技术模式具体流程

根据图1信息，对主站与电压-时间型自愈技术的自愈启动条件、故障定位逻辑以配网转供电逻辑进行分析。

1. 配网自愈启动条件

变电站出线开关跳闸和重合闸动作信号为自愈技术的启动条件，主站接收第一个故障信号后，进行故障分析并产生一段时间的延时，待完成所有故障信号的采集后进行出线开关重合闸动作，并对闭锁需求等方面进行分析，一直持续到最终执行^[3]。值得注意的是，故障分析的延时长度是可以设置的。

2. 故障定位逻辑分析

故障逻辑定位分析中，主要有5个分类。一是以GIS数据拓扑方式实现的基础链路的衔接，通过主配电集成馈线闭锁信号收集实现，信号经过正向、反向，形成上游主闭锁元件。然后根据上游闭锁元件方式，经过闭锁信号分析，提高准确性，完成闭锁合闸信号的输送，确保故障上游相关开关边界有效。如果未完成，需要考量闭锁信号是否存在丢失的情况。按照闭锁合闸信号设备方式，考量其中的故障因素，调整上游边界范围。从故障区域内，对上游边界进行下游扩展，注意故障区域的检索分析。在故障区域内，调整下游边界开关，经过闭锁合闸信号处理后，如果未完成需要调整，判断闭锁是否失败。按照配网故障场景的具体情况，调整图像的信息，分析故障位置，经过开闸和关闸后，处理合闸的位置，完成闭锁信号的信号输送处理，满足故障上游边界

的操作要求。

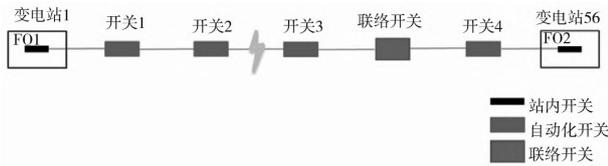


图 2 配网故障位置示意图

参考信息内容，分析上游故障开关，调整向下搜索的过程，采用反向闭环锁扣信号处理的方法，上送后，判断故障区域级下游边界位置。在开关之间区域内调整故障范围，达到故障准确定位的评估处理。终端锁定闭合信号处理过程中，参考信号上送方式，结合开关位置，对故障上游的边界和范围进行持续升级，经过闭锁信号分析和搜索评估，同时评估下游没有闭锁的开关情况。经过联络联动开关处理，控制开关下游和上游的输送，经过正向反闭锁信号上送后处理，完成闭锁信号的调节。

3. 配网供电逻辑分析

按照主配网供电逻辑要求，在明确故障区域范围的条件下，对下游边界位置区域进行判断，评估负荷的需求量，达到有效转供要求。参考各备用电源的升级负荷量水平，分析转区域，提供转供要求。按照对应联络开关的相关控制过程，采用分段开关的闭合闸处理。

(三) 配网自愈技术终端布设及馈线要求

按照自动配网故障评估自愈规范要求，参考布设馈线位置，调整相关内容。变电站经过自动联络后，自愈路径实现自动开关处理。按照分段节点的操作方式，经过主配电线路的自动开关后，遵循相关处理原则。按照主干线长度，调整距离，控制在 5km 内，配置自动开关 1 台。当主控线路在 5-10km 内，自动配置开关设备 2 台。当达到 11-20km 之间的时候，需要配置 3 台。当达到 21-30km 之间的时候，需要配置 4 台。当达到 30km 以上的时候，需要结合实际情况，调整增加。按照分支配置范围和结构，参考配电自动化的参数，选定用户一台对应 10 户，配电自动化开关配置过程中，需要注意调整可增加的支线长度，用户数量。参考配电自动化的实际配置流程，需要调整流量供应和负荷适应性。每条馈线自愈路径至少配置 1 个分段开关以及联络点开关，保证馈线自愈路径满足遥控要求。

三、基于数学算法的配网自愈模型

(一) Y 型树枝模型

随着配网自动化建设水平的提高，包括启发式算法、免疫算法等在内的数学算法更多应用于配网自愈技术当中，对于配网运行问题提出了相应的解决措施。若将配电网馈线中的分段开关和联络开关视为节点，则满足了配电网树形结构的应用条件，同时也在馈线分析、网络重构等方面体现出突出优越性。基于此，可以将配网自动化自愈技术与配电网树形结构相结合，搭建 Y 型树枝

模型，起到提升配网自动化自愈成功率的作用。通常情况下，配电网规划以闭环结构为主，同时考虑到其辐射状特点，可以通过配电网拓扑模型来对相关理论进行简化。具体来看，首先可将配电所母线简化为根节点，也就是 Y 型树枝模型的起点与网络重构起点；其次将控制开关、电力负荷等设备以及馈线交叉点作为子节点，各个子节点之间的线路为路径；最后根据线路对应路径和权值确定馈线的成本消耗。基于上述简化过程，可以得到 Y 型树枝模型，配电网母线、馈线以及开关设备的简化结构。通过搭建树形结构的方法对配电网进行简化，可以在实现基本配电网的拓扑自愈故障分析功能，及时解决故障问题，保障配电网电路。与此同时，还可以通过数据矩阵对配电网树形结构模型加以分析，将配网中的开关与设备节点转化为邻接矩阵，进而表示树形结构各边的权值与位置。

$$Z = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & \dots & x_{1a} \\ \dots & x_y & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{a1} & \dots & \dots & x_{aa} \end{bmatrix} \quad (1)$$

由(1)可知，矩阵 Z 为 $a \times a$ 方阵，元素总数目为 a ，作为一个对称矩阵，会受到配网结构变化的影响。

与此同时，还可以将将馈线线路边组成权值矩阵，矩阵表示为：

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & \dots & \dots & y_{1a} \\ \dots & y_y & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{a1} & \dots & \dots & y_{aa} \end{bmatrix} \quad (2)$$

由(2)可知，矩阵 Y 为 $a \times a$ 方阵，元素总数目为 a 。最终目标函数是在配网故障修复及重建的基础上确定的，表示为：

$$Y = Y_{\text{无故障}} + Y_{\text{故障监测与定位}} + Y_{\text{恢复重构}} \quad (3)$$

(二) 配网故障恢复约束

1. 可靠性

配网供电过程中，为避免受到故障负载影响造成其他区域供电中断，需要对配电网运行可靠性进行评估，实现故障影响的最小化。在此过程中，应加强对配电网可靠性影响损失的计算，其公式表示为：

$$B_i = k_R \sum_{i=1}^m B_{Ri} + k_L \sum_{j=1}^n B_{Li} \quad (4)$$

(4) 中 B_i 表示的是线路故障率； k_R 表示的是开关

(下转第 228 页)

(上接第 128 页)

可靠性损失折算系数; B_K 表示的是开关设备故障率; k_L 表示的是线路可靠性损失折算系数; m 表示的是配网开关总数量; n 表示的是配网区段总数量。通过提升整体配电网可靠性来对各个子系统进行分析, 得到开关设备、线路等可靠性指标。

2. 电流和电压

对配网电流、电压的约束情况公式表示为:

$$|I_i| \leq |I_{imax}| \tag{5}$$

$$U_{imin} \leq U_i \leq U_{imax} \tag{6}$$

(5)、(6)中 I_i 表示的是支路 i 的电流; U_i 表示的是支路 i 的实际电压。

3. 用户停电损失

在对用户停电损失进行测算之前需要先进行不同的用户类型划分, 根据不同用户类型进行对比再完成停电损失的计算, 将计算结果填入到《用户调查表》中。通常情况下, 可以将普通用户划分为工业、商业、居民等类型, 分析用户用电行为, 明确其具体的用电量、负荷情况及用电规律, 进而得出单个用户用电峰荷及其故障损失之间的关系, 还可以进一步对用户系统负荷上限以及故障负荷总损失进行计算。在此基础上, 可以通过停电损失函数表示停电时间和停电损失的关系, 其公式表示为:

$$f_c(t) = \sum_{i=1}^n \frac{c_i f_i(t)}{L_i} \tag{7}$$

(7) 中 $f_c(t)$ 表示的是整体停电损失函数; n 表示的是用户类别数; i 表示的是第 i 类用户; c_i 表示的是第 i 类用户用电量占比; L_i 表示的是第 i 类用户负荷比。基于整体停电损失函数 $f_c(t)$ 以及停电频次 m 可以对用户停电损失进行计算, 其公式表示为:

$$f_{oc} = \sum_{j=1}^m f_c(t) P_j t_j \tag{8}$$

(8) 中 m 表示的是总停电次数; P_j 表示的是第 j 次事故负荷损失; t_j 表示的是第 j 次事故停电时长。

结语: 综上所述, 为进一步提升配网自动化建设水平, 供电环节应加强对配网自愈技术的应用, 根据线路实际需求选择适合的技术类型, 并针对故障信息提出相应的解决方案。通过完善的自愈功能部署, 可有效实现线路带电作业、临时检修、临时转供电等作业; 将数学算法应用到配网自愈技术中有利于提高配网自动化自愈成功率低, 解决传统配网自愈技术的弊端, 为提高供电能力及供电稳定性提供保障。

参考文献:

[1]李莹平,王烁昱,刘昌新,周定均.基于遍历算法的配网故障自愈技术研究与应用[J].自动化技术与应用,2021,40(10):34-37.
 [2]仇靖.基于配电自动化的配网单相接地故障定位与自愈[J].现代工业经济和信息化,2021,11(03):142-143.