配电自动化自愈过程分析及优化研究

自愈能力作为保证电网可靠、优质供电的关键功能，是智能电网技术研究的重点。配电网直接面向用户，其自愈能力的高低直接影响电网对用户的供电可靠性。本文通过分析配电自动化自愈过程，结合现场实际运行经验，提出了主站集中式自愈优化策略，对配电自动化自愈技术实用化提出初步建议。

吕立平[1] 郑康[2] 谷君[1] 刘漫雨[1] 王宁[1] 郝良[1]/1. 国网北京电力科学研究院
2. 华北油田科达开发有限公司

吕立平/工程师

关键词/Keywords
配电自动化·
自愈·
智能配电网·
自愈时间·

0 引言

我国95%及以上用户停电是由配电网造成的（扣除发电不足的原因），因而，减少配电网停电是提高用户供电可靠性的关键。电网的“自愈”能力作为保证电网可靠的关键功能，可在无需或仅需少量的人为干预的情况下，利用先进的监控手段对运行状态进行连续的在线自我评估，并采取预防性的控制手段，即时发现、快速诊断、快速调整或快速隔离。同时，配电自动化是实现自愈的重要手段；配电网自愈主要包括：主站集中式自愈、就地分布式自愈和组合式自愈三种方式。目前国家电网公司的配电自动化主要采用主站集中式系统。自愈成功率与自愈时间长短均是反映配电网自愈的重要指标，如何缩短自愈时间，提高自愈成功率是配电自动化实用化提升的重点工作。本文考虑了配电网现场运行情况，通过分析主站集中式自愈过程，提出了主站集中式自愈优化策略。

1 自愈过程分析

1.1 地区配电网现状

本地区配电自动化为国网公司第一批试点建设，对配电网精益化运行，提供了有效手段，目前积累了一定的运行经验。本地区配电网主要现状是：

（1）10 kV架空、电缆线路分段及联络开关采用负荷开关，网架结构向着多分段多联络方向改进。

（2）配电自动化系统均采用主站集中式故障处理方式，变电站出线故障信息采用调度自动化系统向配电自动化系统转发数据形式。

（3）实现自愈功能的线路，主要集中在架空及架混线路上，电缆线路未开放自愈功能。目前通信方式主要采用无线通信，新建及改造的项目采用光纤通信。

1.2 自愈过程

配电自动化系统自愈过程主要分三个阶段：故障信息收集阶段、故障区间定位及转供方案生成阶段、方案执行阶段。自愈过程及各阶段运行说明见表1。

表1 自愈过程及各阶段运行说明

处理阶段	故障信息收集阶段（时间可设定）		故障区间定位及转供方案生成阶段	方案执行阶段	
	变电站信息收集	终端信息收集	故障区间定位及转供方案生成	事故隔离	非事故区段的供电恢复
运行说明	收集变电站出线故障信息；	配电终端将故障信号通过光纤或无线上送至配网主站	系统分析定位故障区间，生成并选定最优转供方案	遥控开关隔离故障区间	遥控开关转供非故障区间

中国知网 https://www.cnki.net

（1）故障信息收集阶段。考虑设备、通信等各个环节，系统需要设定适当的延时来确保线路上的关键故障信号完整收集，从而进行事故区间判定，采用无线通信时，一般设定为30 s。

（2）故障区间定位及转供方案生成阶段。此阶段为配电自动化主站数据处理故障时间，一般3 s左右，该时间属于系统固有计算时间，运行经验看，不超过5s。

（3）方案执行阶段。此阶段包括故障隔离与非故障区段转供，系统必须先完成故障隔离，再完成非故障区段转供，因此本阶段时间为隔离时间+转供时间。在隔离或转供过程中，均涉及控制多个开关的情况，目前配电自动化系统在同一时刻仅允许对单个开关进行控制，在此机制下完成隔离或转供阶段耗时为控制单个开关耗时（光纤5 s，无线10 s）×隔离开关数量。若考虑执行过程个别开关存在超时现象，则此阶段耗时将被延长，无线通信条件下单个开关超时将导致整体时间延长60 s。

1.3 自愈成功案例分析

以2014年4月14日柳巷路的成功自愈为例（自愈过程共耗时51 s），整个自愈过程中所用的时间进行分析如下：

4月14日12时42分故障发生；42分24秒～42分40秒：配电自动化系统完成与本次故障相关的关键数据收集工作。具体收集到如表2中序号1～42；42分40秒～42分43秒：配电自动化系统完成故障区间定位及转供方案的编制工作，如表2中序号46；42分43秒～43分15秒：完成全部方案执行工作；其中事故隔离耗时19 s，非事故区段恢复供电耗时10 s。

表2 柳巷路自愈过程事件记录

序号	发生时间	事件记录描述	自愈阶段
1	14/04/14 12:42:24:490	柳巷路 X07(Z)箱式变电站 12开关 线路故障告警 动作	故障信息采集阶段
	……		
17	14/04/14 12:42:26:910	柳巷路 X07(Z)箱式变电站 12开关 Ic过流告警 动作	
34	14/04/14 12:42:28:060	天坛站 219断路器 事故总 事故发生	
35	14/04/14 12:42:28:370	天坛站 219断路器 开关位置 分	
	……		
42	14/04/14 12:42:40:740	柳巷路 K01(Z)开闭器 11开关 线路故障告警 动作	
46	14/04/14 12:42:43:060	天坛站 柳巷路 K3597开关负荷侧 事故区间设定	故障区间定位及转供方案生成阶段
47	14/04/14 12:43:02:260	柳巷路 K3597开关 远方分	事故隔离
48	14/04/14 12:43:12:110	天坛站 219断路器 开关位置 合	非事故区段的供电恢复

2 自愈优化建议

通过分析自愈过程各阶段以及采用无线通信、光纤通信和变电站故障信息直采与转发形式，可以优化故障信息收集、方案执行阶段，缩短自愈时间，提高自愈效率。

2.1 故障信息收集阶段

本阶段时间可设定，主要考虑无线通信条件下终端数据上送有较长延时，以及调度自动化系统采集事故信号并转发至配电自动化系统也有一定延时，本地区设定为30 s。30 s内配电自动化系统能够收集到各方发送的关键信号。

通过采用光纤通信与变电站故障信息直采形式，可以减少自愈时间。光纤通信条件下，配电终端上传故障信息到配电主站一般耗时2 s，此时终端信息收集时间可设定为3 s，确保关键信息的完整采集；考虑到EMS转发故障信息一般耗时4 s，可将故障信息收集时间设置为5 s。因此系统采用光纤＋转发，则故障信息收集时间为5s；系统采用光纤＋直采，则故障信息收集时间为3 s，具体见表3。

中国知网 https://www.cnki.net

表3　柳采用光纤通信与变电站故障信息直采时的自愈时间

处理阶段	故障信息收集阶段（T_1）注1		故障区间定位及转供方案生成阶段（T_2）	方案执行阶段（T_3）注2		合计时间
	变电站信息收集/s	终端信息收集/s	故障区间定位及转供方案生成/s	事故隔离	非事故区段的供电恢复	
现状时间注3	5	30	3	10 s*隔离开关数量	10 s*转供开关数量	33 s＋t3
优化一　光纤＋转发	5	3	3	5 s*隔离开关数量	5 s*转供开关数量	8＋t3/2
优化二　光纤＋直采	2	3	3	5 s*隔离开关数量	5 s*转供开关数量	6＋t3/2

注1：故障信息收集阶段（T_1）为EMS信息收集与终端信息收集时间中最长者，下同；
注2：方案执行阶段（T_3）为故障隔离与非事故区段的供电恢复时间之和，下同；
注3：现状时间指采用无线通信方式、变电站故障信息采用EMS转发形式，下同；

（1）光纤通信取代无线通信。无线通信条件下，终端将故障遥信上送至配电自动化主站正常情况下用时5 s，考虑无线通信延时问题，将数据采集时间设定为30 s来确保关键信号的完整采集，参照时间运行经验，该时间可缩短至20 s。

光纤通信条件下，终端将故障遥信上送至配电自动化主站正常情况下用时0.2 s，不考虑延时问题，此时将数据收集阶段时间设定为3 s可满足关键信号的完整采集，与无线通信相比减少27 s。

（2）采用变电站故障信息直采形式。光纤通信条件下，采用变电站信息转发形式将影响故障信息收集的整体时间，此时若采用变电站信息直采形式，可以将整体故障信息收集时间控制在3 s。由于采用直采形式时，需要完成所有变电站10 kV出线与配电自动化系统做传动，因此非必要时，不建议采用直采形式。

2.2 数据处理阶段

本时段为系统处理各方面数据的固有时间，不可人为设定，只能通过提升系统硬件性能来实现，且该阶段能缩短的时间有限，可不作过多考虑。

2.3 方案执行阶段

本阶段为终端设备执行方案的时间，目前自愈方案采用顺序执行遥控操作原则，时间为遥控所有开关所用时间总和，采用配电自动化系统批量执行机制，多开关同步遥控，减少叠加操作时间，具体见表4。

表4　同步遥控开关时自愈时间

处理阶段	故障信息收集阶段（T_1）		故障区间定位及转供方案生成阶段（T_2）	方案执行阶段（T_3）		合计时间
	变电站信息收集/s	终端信息收集/s	故障区间定位及转供方案生成/s	事故隔离	非事故区段的供电恢复	
现状时间	5	20	3	10 s*隔离开关数量	10 s*转供开关数量	23 s＋t3
光纤＋直采	2	3	3	5 s*隔离开关数量	5 s*转供开关数量	6＋t3/2
优化三　同步遥控	2	3	3	5 s	5 s	16 s

中国知网　https://www.cnki.net

（1）完善系统批量执行方案的机制。目前配电自动化主站系统仅支持对开关顺序遥控操作，不具备同时遥控多个开关的功能。在故障区间隔离、非故障区间转供过程中，涉及遥控多个开关，系统需逐一下发控制命令，完成一个开关再控下一个开关，影响全过程时间。

建议对系统控制机制进行完善，在确保安全条件下实现同时控制多个开关的功能，仅在隔离故障区间和非故障区间转供之间确保正确的逻辑关系。功能实现后，本阶段所用时间＝5 s（完成单个开关控制所用时间），自愈整体时间缩短了（$n-1$）×5 s，有效降低自愈全过程时间。

（2）优化异常情况下系统等待时间。异常情况下系统等待时间主要指控制超时情况下系统等待时间。目前配电自动化主站系统设定超时时间为15 s（无返校或应答），与数据采集阶段类似，考虑无线通信条件下数据延时上送的可能，因此设定为15 s。另外，当连续2次超时后系统才认定本操作无法执行。在此机制下，当一个开关出现异常时，系统将至少等待30 s后才能选择新的方案并执行下一步操作，影响全过程时间。

可修改系统对超时认定的机制，在无线通信条件下可调整为10 s认定超时，2次超时认定为操作无法执行，自愈整体时间缩短了10 s；在光纤通信条件下，可调整为2 s认定超时，1次超时认定为操作无法执行，自愈整体时间缩短了28 s，优化后超时需要时间见表5。

表5 遥控超时下优化

遥控超时		单次遥控时限/s	故障下遥控次数/次	合计时间/s
现状时间		15	2	30
优化四	无线	10	2	20
优化五	光纤	2	1	2

3 结束语

配电自动化为现代配电网精益化管理提供了有效手段，如何提高配电自动化系统应用水平，发挥配电自动化建设成效是实用化中的一个关键问题。配网自愈功能对快速隔离故障及非故障区域恢复供电，提升配电网供电可靠性具有重要作用，其应用水平体现了一个地区配电自动化水平。

本文详细介绍了配网自愈过程及时间开销，针对不同的通信方式、故障处理策略和遥控超时等方面提出了改进建议，主站集中式自愈宜优先采用光纤＋转发＋同步遥控策略，自愈时间可缩短为18 s。下一步针对如何提高故障区间判断正确率以及自愈成功率的研究也很有必要。

参考文献

[1] 徐丙垠，李天友，薛永端. 智能配电网与配网自动化[J]. 电力系统自动化，2009，33(19)：38-42.

[2] 顾欣欣，姜宁，季侃，等. 配电网自愈控制技术[M]. 北京：中国电力出版社，2012：113-123.

[3] 于士斌，徐兵，张玉侠，等. 智能配电网自愈控制技术综述[J]. 电力系统及其自动化学报，2013，25(5)：65-70.

[4] 刘健，赵树仁，张小庆，等. 配电网故障处理关键技术[J]. 电力系统自动化，2010，34(24)：87-93.

（收稿日期：2015－05－26）EA

作者简介

吕立平（1983-），男，工程师，国网北京电力科学研究院，从事配电自动化、电力系统继电保护及自动化等研究。

郑康（1983-），男，工程师，华北油田科达开发有限公司，从事配电自动化研究。

中国知网 https://www.cnki.net