

馈线自动化测试功能的可靠性保障机制研究

嵇文路

(南京供电公司, 江苏 南京 210019)

摘要: 对馈线自动化动作失败常见原因进行分析的基础上, 提出了馈线自动化功能的递进式测试方法, 并设计开发了相应的软件支撑模块。该方法涵盖了馈线自动化功能投运前、后的全生命周期, 可持续保证馈线自动化启动成功率、动作正确率的问题。该方法在地区配电自动化系统的建设和运行工作中得到了应用, 可对馈线自动化的可靠性起到有效保障作用。

关键词: 配电系统; 馈线自动化; 可靠性保障; 测试技术

0 引言

配电自动化系统由主站系统、子站系统、通信系统、终端装置、操作电源和开关设备等构成, 馈线自动化功能的可靠性涉及到系统的每一个组成部分。配电自动化系统建设的一个重要目的是提高配网供电可靠性, 包括一二次设备改造、三遥调试、FA 功能测试在内的配电自动化系统的停电调试工作需要在较短的停电时间内一次性完成(供电可靠性要求高的 A+或 A 级区域往往要求在 4 小时以内)。

目前配电自动化系统功能的可靠性试验包括出厂试验(FAT)和现场试验(SAT)两个阶段。FAT 初步在实验室保证了系统的原理和功能的可靠性与正确性, 试验结果并不能完全反应现场的实际情况。SAT 是指系统经过现场的安装调试, 在现场正式投运前, 对配电自动化系统进行全面验收测试的过程。

FA 功能的启动成功率和动作正确率指标是评估配电自动化系统实用化程度的一项核心指标。文献[2]构建了基于并行计算的馈线自动化仿真测试环境, 侧重于对该环境下的动作逻辑进行验证, 需要单独建立配电系统仿真环境。文献[3]提出了一种主站注入测试法, 以模拟配电网中发生的各种故障现象并对配电自动化主站的故障处理性能进行测试, 但是 FA 故障处理逻辑不仅与主站相关, 还与通信系统、现场自动化设备以及这些设备的参数及其配合关系精密相关。另外该方法的主站测试步骤较为复杂, 配网数据和模型需要预先录入到配电网仿真器, 每测试一条线路都需要单独进行数据录入

和模型化工作, 不适合作为配电自动化系统的日常工具来大范围开展实施。文献[4]提出设计配电网自动化在线仿真系统以实现在不影响运行条件下对 FA 功能进行完全的故障模拟和试验, 可以测试 FA 功能逻辑和图模准确性, 相对于文献 3 减少了数据录入和模型化的过程。文献[5]是在配网自动化系统竣工验收时, 对配网线路进行实模试验, 即通过在变电站出口保护和终端设备上同步模拟实际故障, 对整个馈线自动化功能进行验证, 测试较为全面。但由于试验准备工作及试验时的各部分配合工作十分烦琐, 其准备时间很长, 牵涉大量人力、物力, 在供电可靠性要求逐渐提高的情况下, 很难在不做好相关辅助工作的前提下, 直接作为配网自动化系统投运交接运行和日常校验时对 FA 进行试验的通用方法。

另外, 以上测试方法只是测试了线路投运前馈线自动化功能是否正常及其能否正确启动。但事实上配电网异动频繁, 在 FA 功能投运后如何结合电网拓扑、基础数据和设备健康状态的变化而持续性的开展评估和测试, 保证 FA 功能的可靠性, 目前并没有一个完整的解决方案。

1 典型 FA 功能处理逻辑

馈线自动化功能的典型处理逻辑如图 1 所示, S_1, S_2, S_3 为 10kV 出线断路器, 具备自动跳闸功能, 其余开关为站外开关(不具备跳闸功能)。当发生 A_2 到 A_3 段线路故障时, 有短路电流流经 S_1, A_1, A_2 开关, 由于 S_1 开关具备跳闸功能, 因此 S_1 开关保护动作, 开关跳闸。以一个典型故障为例,

介绍馈线自动化功能的处理流程：

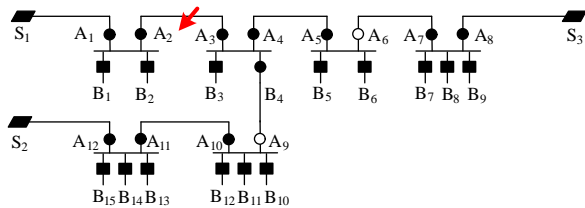


图 1 配电网环网图

故障启动：馈线自动化功能的启动条件包含四种：分闸加保护、分闸加事故总、分合分、非正常分闸。通常采用分闸加保护启动条件。配电自动化主站检测到S₁开关跳闸以及S₁开关的保护动作信号满足馈线自动化启动条件，从而启动故障分析。

故障定位：系统通过对开关、保护信号的模型以及状态进行拓扑分析，进行故障定位。系统分析到配网开关A₁，A₂的过流信号动作，而其他过流信号未动作，因此定位到故障区域为A₂与A₃之间发生故障。

故障隔离：给出故障隔离最小区间的隔离方案，断开A₂，A₃。

故障恢复：上游恢复方案为合上S₁开关恢复上游供电。下游恢复方案为合上A₆或者A₉恢复下游供电。当存在多于一个下游恢复方案时，系统会自

动分析恢复方案的优先级别并给出最优恢复策略。

故障信息存储：馈线自动化功能模块会记录用户的操作记录，包括对开关的操作时间、操作内容、操作结果，操作人员等信息。当事故处理完毕后，系统会将本次故障相关信息全部存入历史数据库，用于事故追忆。

2 FA 动作失败常见原因分析

按照馈线自动化功能的处理逻辑，对现场 FA 动作失败的原因总结，共有 DMS 图模和基础数据错误、DMS 主站 FA 处理逻辑和性能故障、EMS 数据转发错误、通信系统故障、终端信息上送错误、现场一次设备故障六种故障类型（也就是 FA 功能的风险点），具体失败原因统计及故障现象见表 1。

表 1 馈线自动化动作失败常见原因分析

序号	故障类型（风险点）	具体失败原因分析	故障现象
1	DMS 图模和基础数据错误	1)单线图拓扑错误； 2)人工置数误操作导致拓扑合环； 3)设备检修未挂牌导致误启动； 4)出线开关与保护关联错误或未关联； 5)终端设备与保护关联错误或未关联； 6)参数配置错误；	FA 未启动； FA 误启动； 故障定位失败或错误；
2	DMS 主站 FA 处理逻辑和性能故障	1)FA 处理程序进程未启动； 2)FA 处理程序逻辑错误； 3)读取主站数据库（保护信息表）超时；	故障定位失败或错误；
3	EMS 数据转发错误	1)EMS 遥信或保护信号未转发； 2)EMS 遥信或保护信号转发丢失； 3)EMS 转发遥信或保护信号超过 FA 功能启动分析时限； 4)EMS 转发接口程序故障；	未能捕捉到故障信息导致 FA 未启动； 错误捕捉故障信息导致 FA 误启动；
4	通信系统故障	1)有线通信系统硬件故障（如光缆断，OLT、ONU 故障）； 2)无线通信系统硬件故障（如无线通信 SIM 卡）； 3)通信系统软件故障；	故障定位失败； 故障定位范围扩大； 故障隔离失败；
5	终端信息上送错误	1)终端保护信号遗漏、未上送； 2)终端保护信号上送超时； 3)终端保护信号未及时复归； 4)终端设备软、硬件故障（如 CPU 板、通信板、遥测板、遥控板、终端电	故障定位失败； 故障定位范围扩大； 故障隔离失败；
6	现场一次设备故障	源故障，终端软件死机或故障）； 1)操作电源故障； 2)电动操作机构慢动或拒动； 3)二次接线端子松动。	故障隔离、恢复失败；

3 FA 功能递进式测试及可靠性保障机制

现有馈线自动化测试工作通常在只在投运线路之初使用，无法保证其全生命周期可靠性。随着电

网设备异动及运行方式发生变化,可能出现馈线自动化功能投运后可靠性劣变导致的启动成功率和动作正确率下降的情况,针对此情况本文设计了馈线自动化功能递进式测试方法(见图2),并开发了“DMS 拓扑和基础数据准确性校核、基于 DMS 的 FA 功能在线仿真、主配网保护信号比对、遥控预置轮询操作、配电自动化设备状态操作”几个软件支撑模块。

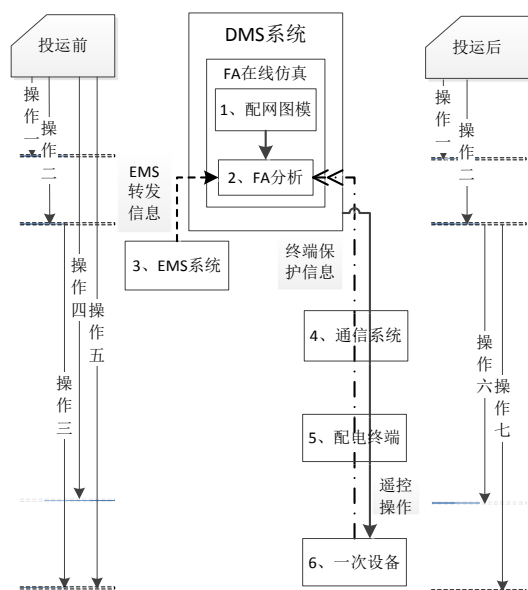


图2 馈线自动化功能递进式测试及可靠性保障机制

3.1 FA 功能递进式测试操作步骤

在馈线自动化功能投运以前,执行操作一到操作五。

(1) 操作一, DMS 拓扑和基础数据准确性校核。

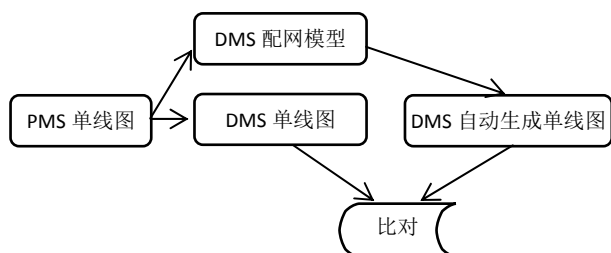


图3 配电网拓扑准确性校核

利用 DMS 系统自有的单线图拓扑着色、电源点追踪功能可初步校验图形和模型正确性。另外还开发了配电网拓扑准确性校核软件(见图3),该软件读取 DMS 系统中的配网拓扑模型,根据需要自动生成配电网单线图和环网图,通过对比 PMS 系统流转到 DMS 的单线图和 DMS 自动生成单线

图的差异来判断单线图和配电网模型的准确性。操作一的实施可降低风险点1中配网模型错误的可能性。该软件还可以对因调度员进行封锁置数、遥信错误等导致的开关位置状态异常(比如联络开关合环运行)进行预警。

(2) 操作二, FA 功能在线仿真测试。

因为图形、模型、实时数据取自 DMS 实时系统,基于 DMS 系统开发 FA 功能在线仿真工具可解决风险点1所述主站图模和基础数据错误问题,解决风险点2所述主站 FA 处理逻辑和性能故障。基于 DMS 系统的在线仿真工具与其它方案相比较最大优点是:可以实时读取系统的配网模型,馈线自动化仿真结果能够反映配电网的动态变化和异动情况,而且对于系统基础数据维护错误、自动化或者调度员操作不规范都可以通过仿真功能实时校验出来,因而更加具有实用性。

(3) 操作三, 主配网转发数据测试和配电终端遥测、遥信、遥控三遥调试。

操作三是配电自动化系统投运前的必备操作,测试主配网数据转发、通信系统、终端保护信号、一次设备和操作电源的健康状态。该操作可以降低风险点3-6潜在风险,其中针对风险点6的一次设备遥控测试操作需要停电开展。

(4) 操作四, FA 功能现场测试。

经过操作一、二、三,风险点1-6的风险系数已经降低。在此基础上基于配电终端二次注入法开展 FA 功能现场测试的成功率大大降低。该方法基于终端电气量注入,可实现对现场设备与系统的故障处理功能进行测试与参数校验,全面降低风险点1-5的风险系数。操作四成功以后就基本可以认为 FA 功能已通过投运前测试工作。

(5) 操作五(可选),开展停电情况下的 FA 功能全景测试。

因为涉及到配电自动化调试工作的停电次数和停电时间限制,操作四结束基本就可以将 FA 功能正式投运。但是如果在配电自动化调试停电时间允许的情况下,也可以跳过操作四直接实施操作五,开展 FA 功能的全景测试。

在馈线自动化功能投运以后,为了保障其可靠性不发生劣变,除了可以定期开展操作一、二,根据需要开展操作四,还要按周期执行操作六、七来保障馈线自动化功能全生命周期的动作成功率。

(6) 操作六，主配网保护信号比对功能和遥控预置轮询操作。

主配网保护信号比对功能定期将 EMS 系统与 DMS 系统中的配电自动化设备的遥信变位信息和保护信息保存到第三方数据库并进行比对，如果发现不一致则可能发生了 EMS 数据转发错误，需要分析具体原因。

遥控预置轮询操作则是定期对遥控定义表中的配电自动化设备进行“遥控预置-返校确认”操作，如果遥控预置返校成功，则证明“主站前置-通信系统-配电终端设备”处于健康状态，如果“遥控预置-返校”连续 3 次操作不成功，则作为系统缺陷记录下来，有配电自动化运维人员分析处理。

(7) 操作七，配电自动化设备状态操作。

对具备配电自动化遥控功能的开关定期进行分合试验。状态操作可以在不停电及不影响电网可靠性的情况下解决配电自动化终端设备难以开展周期性校验的问题，还可防止因长时间不操作而导致机构生锈卡死的现象，确保机构能正常动作，提高电网故障快速处置能力。

配电自动化设备状态操作包括任务建立、操作前状态评估、设备状态操作执行、设备操作后结果评估的规范流程。该软件功能的具体操作方法是：

在调度业务不繁忙且负荷较轻的时间段（通常是凌晨），将联络开关合闸使线路合环运行，然后选择分段开关分闸使线路开环运行，在状态操作完成后恢复电网原有运行方式。上述操作如果可以顺利进行，则表明终端设备和一次设备处于健康状态。

3.2 FA 功能递进式测试操作频率

FA 功能递进式测试方法建议操作频率见表 2。

表 2 FA 功能递进式测试方法建议操作频率

操作 步骤	操作频率	
	FA 功能投运前	FA 功能投运后
操作一	开展 1 次	配网设备异动则开展 1 次
操作二	开展 1 次	配网设备异动则开展 1 次
操作三	开展 1 次	/
操作四	开展 1 次	根据需要开展
操作五 (可选)	开展 1 次（结合停 电时间需要）	/
操作六	/	主配网保护信号比对，每日自动执行 1 次；遥控预置，系统自动对每个设备 1 个月轮询 1 次
操作七	/	联络开关每 6 个月操作 1 次，分段开关每 12 个月操作 1 次。

3.3 FA 功能递进式测试方法的技术特点

本文设计的馈线自动化功能递进式测试方法与其它馈线自动化功能测试方案比较结果见表 3，可实现馈线自动化功能的全生命周期可靠性保障。

表 3 馈线自动化功能递进式测试方法与其它方案比较

	方案	文献 2	文献 3	文献 4	文献 5	本文方案
可 测 试 故 障 类 型	DMS 主站图模、基础数据错误	不支持	支持	支持	支持	支持
	FA 处理逻辑和性能故障	支持	支持	支持	支持	支持
	EMS 转发错误	不支持	不支持	不支持	支持	支持
	通信系统故障	不支持	不支持	不支持	支持	支持
	终端信息上送错误	不支持	不支持	不支持	支持	支持
	现场设备性能和故障	不支持	不支持	不支持	不支持	支持
特 点	是否停电	不需要	不需要	不需要	不需要	结合施工开展
	操作实施难度	容易	容易	容易	稍复杂	稍复杂
	FA 投运后可靠性是否劣变	是	是	是	是	否

4 结束语

针对配电自动化停电调试工作因供电可靠性要求需要在较短时间内完成的情况，设计了馈线自动化功能的递进式测试方法，建立了可靠性保障机制，开发了相应的软件支撑模块。该方法还解决了常规馈线自动化测试工作只在投运线路之初开展，无法全生命周期保证馈线自动化启动成功率、动作正确率等国网考核指标的问题，在地区电网配电自动化系统建设和运行工作中应用效果良好。

参考文献：

[1] 刘东,丁振华,滕乐天. 配电自动化实用化关键技术及其进展[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(7): 16-19.

[2] 翁之浩,刘东,柳劲松,等.基于并行计算的馈线自动化仿真测试环境[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(7): 43-46.

[3] 刘健,张小庆,赵树仁,等.配电自动化故障处理性能主站注入测试法[J].电力系统自动化,2012,36(18):67-71.

[4] 吴俊华,温彦军,赵月,等.配电网自动化在线仿真系统技术论述[J]. 电力自动化设备, 2006, 26(4): 50-53.

[5] 刘东,闫红漫,丁振华. 馈线自动化的出厂试验与现场试验技术方案[J].电力系统自动化, 2005, 29(3): 81-85.

作者简介:

嵇文路 (1974—), 男, 江苏南京人, 高工, 工学博士, 研
究方向: 智能配电网、配电自动化。