

基于智能开关的广州 10 kV 架空馈线自动化新模式

宋友文, 廖伟炎

(中国南方电网责任有限公司, 广东 广州 510000)

摘要: 根据广州地区 10 kV 架空线路的实际情况, 提出两种基于柱上智能开关的广州地区 10 kV 架空馈线自动化新模式, 应用了柱上智能开关、线路设备保护、智能控制器和 PLC 控制器, 可实现二遥监测、减少变电站出线开关跳闸、缩小停电范围、自动隔离故障、迅速恢复非故障区域的正常供电等功能。分阶段在广州不同地区对馈线自动化新模式进行试点, 结果表明架空线路馈线自动化新模式适合广州实际, 在广东地区具有广阔的应用前景。

关键词: 馈线; 自动化; 智能开关; 线路保护; 应用

Abstract: Based on the actual situation of 10 kV overhead line in Guangzhou, the new automation mode for 10 kV overhead feeder in Guangzhou based on two kinds of pole-mounted smart switches is proposed. It uses the pole-mounted smart switch, line equipment protection, intelligent controller and PLC controller, which can realize the functions such as the secondary remote monitoring, decreasing the tripping times of outlet switch in substation, reducing the range of power interruption, isolating the fault automatically, recovering the normal power supply for the non-trouble area quickly etc. The pilot for the new automation mode of feeders is carried out in different areas of Guangzhou by stages. The results show that the new automation mode for 10 kV overhead feeder is suitable for the actual situation of Guangzhou, which will have a wide application in Guangdong area.

Key words: feeder; automation; smart switch; line protection; application

中图分类号: TM762 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2012)05-0046-05

0 引言

馈线自动化是配电线路自动化的重要组成部分^[1]。近年来,随着馈线自动化技术的不断发展,柱上开关具有了自动隔离故障、测量、保护、通信等功能。在架空线路上安装具有自动化功能的柱上开关(这里统称为柱上智能开关),发生故障时柱上开关能自动隔离故障区域,缩短故障查找的时间,迅速恢复非故障区域的正常供电。同时,馈线自动化能显著降低馈线出线开关的跳闸次数,提高重合闸成功率,是提升配电网架空线路运行水平的有效手段。因此馈线自动化的实施对提高供电可靠性具有非常重要的意义。

目前广州地区 10 kV 架空线路覆盖范围广阔,跳闸率高,柱上开关数量严重不足,这些因素直接导致架空线路所在的农村地区供电可靠率低,远远低于市中心区的供电可靠性水平,对广州地区供电可靠性水平造成了很大的影响。因此,为了提高广州

地区的供电可靠性水平,必须寻求有效的技术手段弥补架空线路现状的不足。实施架空馈线自动化就是一种主要的技术手段。

从广州地区 10 kV 架空线路现状出发,对柱上智能开关的应用进行深入探讨,提出实现遥测、遥信功能,应用线路设备保护的架空馈线自动化新模式,实现减少馈线出线开关跳闸,缩小停电范围,提高供电可靠性的目标。

1 广州地区 10 kV 架空线路现状

1.1 广州 10 kV 架空馈线规模

广州地区 10 kV 馈线情况如表 1 所示,10 kV 架空线路主要集中在城镇和农村地区,线路平均长度约 11.6 km,以放射型线路为主,分支线路多。

表 1 广州地区 10 kV 馈线情况

| 10 kV 馈线总体情况 | | 架空线 | |
|--------------|---------|---------|----------|
| 回路数 | 总长度 /km | 总长度 /km | 占馈线比例 /% |
| 3 774 | 23 796 | 10 787 | 45.3 |

1.2 广州 10 kV 架空馈线跳闸特点

(1) 永久故障跳闸以架空线路为主

根据 2008 年 10 kV 馈线共发生永久故障跳闸统计(见表 2), 架空线路永久故障跳闸占了 82.7%。

表 2 2008 年广州地区 10 kV 馈线故障情况

| 总跳闸次数 /次 | 架空线永久故障 跳闸比例 /% | 电缆线路 跳闸比例 /% |
|-------------|--------------------|-----------------|
| 1 090 | 82.7 | 17.3 |

(2) 架空线路跳闸以瞬时性跳闸为主

2008 年架空线路跳闸 4 231 次, 78.7% 为瞬时性跳闸(重合闸成功)。

(3) 架空线路跳闸以单相接地故障为主

广州地区 10 kV 配电网是中性点小电阻接地系统, 单相接地故障将引起变电站 10 kV 出线开关零序保护动作。2008 年单相接地故障引起的零序保护跳闸占架空线路跳闸次数的 66%。

(4) 用户出门跳闸逐年增长

2008 年因用户出门事故引起的 10 kV 架空馈线跳闸占架空线路跳闸次数的 6.7%, 同比增加 1.3 个百分点。

1.3 广州 10 kV 架空馈线自动化实施现状

从 1999 年开始^[2], 广州供电局开展了电压型馈线自动化的初步实施, 累计安装柱上自动化开关 700 多台, 主要实施模式是采用电压型自动化柱上开关, 配合馈线出线开关二次重合闸、实现故障区域的隔离。这种电压型馈线自动化模式具有设备配置简单、隔离故障成功率高的特点^[3], 但存在以下不足。

(1) 隔离故障需要馈线出线开关多次分闸、合闸配合, 造成非故障区域的多次重复停电。

(2) 馈线出线开关跳闸次数多。

(3) 隔离故障所需时间长, 需要逐段延时合闸分段负荷开关。

(4) 不能实现馈线潮流、开关工况的远方监视控制。

(5) 不能缩小停电区域, 导致非故障段停电。

广州地区架空馈线以自然延伸辐射型为主, 主干线上带有多条分支线, 分支线再延伸出多条小分支线, 线路结构复杂, 而且分支线上的每一次永久或瞬时故障均会引起全条馈线停电, 影响范围较大, 因此传统的电压型馈线自动化模式已不能满足广州地区配电网实际发展需求, 需要探讨一种功能丰富、适

合广州地区的馈线自动化新模式。

2 柱上智能开关

柱上智能开关指具有电流电压信号采集、线路保护、智能就地自动隔离故障、采用多种通信方式等功能的柱上开关, 由一次开关设备、自动化控制器和电源变压器 3 部分组成。按照开关类型可分为柱上智能断路器、柱上智能负荷开关、柱上智能用户分界负荷开关 3 类。

(1) 柱上智能断路器

柱上智能断路器是配置自动化控制单元和保护单元的柱上断路器, 满足馈线自动化的功能要求, 可切断相间短路电流、负荷电流、零序电流。可装设在主干线和分支线上, 配备三相电压或电流互感器、零序电流互感器。可带两种保护配置, 一种配置带时限的过流或速断保护、零序保护, 另一种配置重合闸后加速保护。

根据功能位置分类可分为主干线分段断路器、分支线分界断路器、用户分界断路器 3 种。

(2) 智能柱上负荷开关

智能柱上负荷开关是配置自动化控制单元的柱上负荷开关, 满足馈线自动化的功能要求, 可切断负荷电流、零序电流, 并且可灵活配置为电流型或电压型。可装设在主干线和分支线上, 配备三相电压和电流互感器和零序电流互感器。具有有压延时合闸、无压延时分闸等功能, 可自动隔离故障区域。

根据功能位置分类可分为主干线分段负荷开关、分支线分界负荷开关两种。

(3) 用户分界负荷开关与柱上智能负荷开关功能基本一致, 配置了自动化控制器, 可自动切除用户侧单相接地故障, 不引起上一级线路跳闸。配备三相电流互感器和零序电流互感器。

(4) 馈线自动化智能控制器(feeder terminal unit, FTU)

馈线自动化控制器可与断路器、重合器、负荷开关连接, 可设置多种控制参数, 灵活使用多种通信方式, 使得柱上开关实现馈线自动化两遥功能。控制器可选择配备多种保护功能, 包括配置带时限的过流或速断保护、零序保护、电压时限型、电流时限型控制等模式。

3 10 kV 架空馈线自动化新模式的主要特点

架空馈线自动化新模式应用柱上智能断路器或柱上智能负荷开关将馈线分成若干区段,实现对馈线的分段监测、控制,以实现二遥为核心,应用线路设备保护与变电站保护进行有效的配合。主要特点如下。

(1) 减少变电站出线开关跳闸

馈线出线开关跳闸将影响整条馈线的全部供电区域,停电影响范围最大。馈线发生故障时,通过增设分段断路器的方法,利用线路设备保护尽可能在出线开关跳闸之前有效隔离故障区域,减少出线开关动作。

(2) 提高变电站出线开关重合闸成功率

配合二次重合闸,馈线出线开关跳闸后应依靠自动化开关自动切除永久性故障区域,最终重合闸成功,快速恢复非故障区域供电,提高重合闸成功率,减少重合闸不成功的跳闸次数。

(3) 减少靠近电源侧的开关动作次数

靠近电源侧越近的开关,其跳闸引起的停电范围也越大,应尽量使靠近电源侧的开关少动作。

(4) 自动隔离用户侧单相接地故障

由于广州供电局 10 kV 配电网是中性点小电阻接地系统,单相接地故障频繁引起馈线出线开关零序保护动作,因此采取有效措施避免单相接地故障所引起的跳闸,在用户出门处设置用户分界负荷开关自动切除单相接地故障。

(5) 控制单元灵活采用多种通信方式,可上传开关状态信号

馈线自动化开关控制器(FTU)应根据需求灵活配置多种通信模块,开关动作后控制器(FTU)可采用无线、载波、光纤等多种通信方式将告警信号上传至后台,缩短运行人员的故障查找时间。架空线路覆盖范围广阔,前期建设可使用无线通信方式。

4 10 kV 馈线自动化功能新模式

4.1 断路器、负荷开关与智能控制器配合(模式 1)

(1) 如图 1 所示,线路设备配置如表 2 所示。其中方框表示断路器,圆圈表示负荷开关;开关填充黑色表示闭合,填充白色表示分闸;断路器、负荷开

关均与馈线自动化控制器相连接。

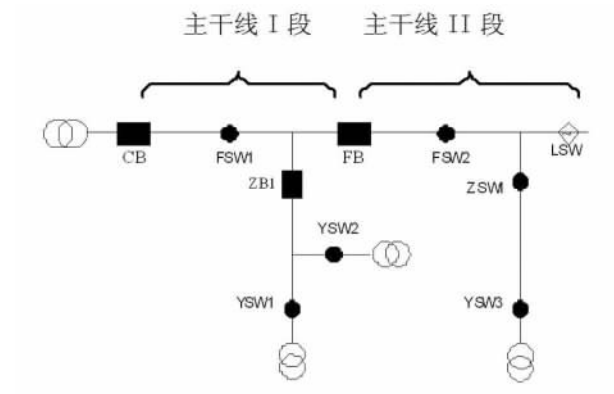


图 1 模式 1 典型配置示意图

表 3 模式 1 设备配置

| 符号 | 名称 | 功能 | 参数 |
|----------------|--------------|---------------|------------------------|
| CB | 变电站馈线出线断路器 | 时限保护 二次重合闸 | 过流 0.30 s, 零序 1.0 s |
| FB | 主干线分段断路器 | 时限保护 二次重合闸 | 过流 0.15 s, 零序 0.6 s |
| FSW1 FSW2 | 电压型主干线分段负荷开关 | | |
| ZB1 | 分支线分界断路器 | 时限保护 二次重合闸 | 过流 0.15 s, 零序 0.6 s |
| ZSW1 | 电压型分支线分界负荷开关 | | |
| YSW1 ~ YSW3 | 分支线用户分界负荷开关 | | |
| LSW | 联络开关 | | |

(2) 故障处理

故障点: ZSW1 和 YSW1 之间发生永久性故障。

步骤 1: FB 在 0.15 s 内先于 CB 保护动作跳闸, CB 不动作。FSW2、ZSW1、YSW3 两侧失压自动分闸。

步骤 2: FB 在 5 s 之后重合闸。

步骤 3: FSW2 一侧有压,在延时 5 s 后合闸,合闸后没有检测到故障电流,FSW2 在 3 s 后闭锁分闸。

步骤 4: ZSW1 一侧有压,在延时 5 s 后合闸。

步骤 5: 由于是永久故障,FB 再次跳闸,ZSW1 分闸并闭锁合闸,FSW2 保持合闸。

步骤 6: FB 在 60 s 后第二次重合闸。ZSW1 成功隔离故障,隔离故障约 75 s。

故障隔离后线路情况,如图 2 所示。

(3) 主要实现功能

① 设置主干线分段断路器(配备时限保护)将主干线分为两段,第二分段发生故障由主干线分段

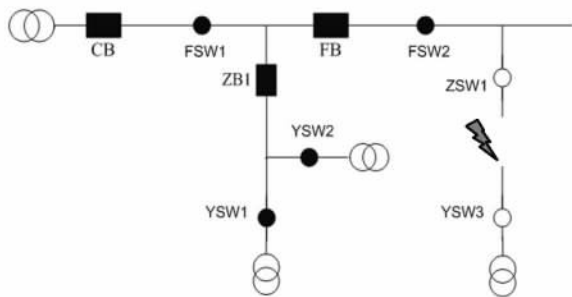


图2 模式1故障隔离示意图

断路器自动切除,不会引起变电站出线断路器跳闸,相当于减少了50%变电站出线断路器的跳闸,同时缩小了故障引起的停电范围,保障了上一级线路的正常供电。

②提高重合闸成功率到90%以上。

③分段负荷开关具有分闸闭锁功能,减少了恢复供电时逐级合闸的时间,减少了非故障段的停电时间。

④用户分界负荷开关的应用有效隔离了用户侧单相接地故障,不会引起上一级线路跳闸,减少了用户出门事故。

⑤通过通信手段即可实现故障的迅速隔离,若配合通信手段可实时监控各开关的状态,开关动作时向后台发送故障信号,实现故障的快速定位。同时,实时采集监视馈线潮流和开关运行信息。

(4) 线路保护与变电站开关保护的配合

广州地区变电站出线开关过流保护时间为0.3 s,零序保护时间为1 s;主干线分段断路器过流保护时间为0.15 s,零序保护时间为0.6 s,两级过流保护的时间级差为0.15 s,零序保护的时间级差为0.4 s。根据上下级保护时间级差的配合原则。

$$\Delta T = T_1 + T_2 + T_d + T_y$$

T_1 为变电站保护时间继电器的正、负误差,取 ± 30 ms; T_2 为线路保护时间继电器的正、负误差,取 ± 30 ms; T_d 为断路器跳闸时间; T_y 为裕度时间取30 ms。

相间故障: 断路器跳闸时间 $T_d \leq 150 - 30 - 30 - 30 = 60$ ms,即断路器保护动作时间和断路器分闸时间之和 ≤ 90 ms;

接地故障: 断路器跳闸时间 $T_d \leq 400 - 30 - 30 - 30 = 310$ ms,即断路器保护动作时间和断路器分闸时间之和 ≤ 340 ms。

目前柱上断路器的分闸时间一般为40~60

ms,在裕度时间允许范围之内,过流保护时间满足级差保护配合要求,零序保护时间配合裕度更高,也完全满足级差保护配合要求的。因此模式1中使用线路保护与变电站开关保护进行配合是可行的。

4.2 断路器、负荷开关与PLC控制器配合(模式2)

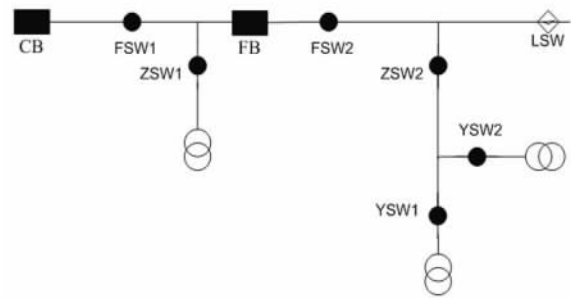


图3 模式2典型配置示意图

(1) 如图3所示,线路设备配置如下。

CB为带时限保护(过流0.30 s,零序1.0 s)和二次重合闸功能的馈线出线断路器;

FB为带时限保护(过流0.15 s,零序0.6 s)和二次重合闸功能的主干线分段断路器;

FSW1~FSW2为主干线分段负荷开关;

ZSW1~ZSW2为分支线分界负荷开关;

YSW1~YSW4为分支线用户分界负荷开关;

LSW为联络开关;

方框表示断路器,圆圈表示负荷开关;

开关填充黑色表示闭合,填充白色表示分闸;

采用电力线载波通信(power line communication),馈线自动化控制器带有专用PLC通信装置。

(2) 故障处理

故障点: FSW1和FSW2之间发生永久故障。

步骤1: CB保护动作跳闸,FSW1、FSW2、FB、ZSW1、ZSW2、YSW1均不动作。

步骤2: CB在5 s之内第一次重合闸。

步骤3: 由于是永久故障,CB再次跳闸,各个负荷开关之间通过PLC通信,快速判断故障点位置,故障点邻近开关分闸,其余开关不动作。

步骤4: CB在60 s之后第二次重合闸,FSW1、FSW2成功隔离故障点,可合上LSW联络开关转供。隔离故障时间约为65 s。

故障隔离后线路情况,如图4所示。

(3) 主要实现功能

①设置主干线分段断路器(配备时限保护)将主干线分为两段,第二段发生故障由主干线分段

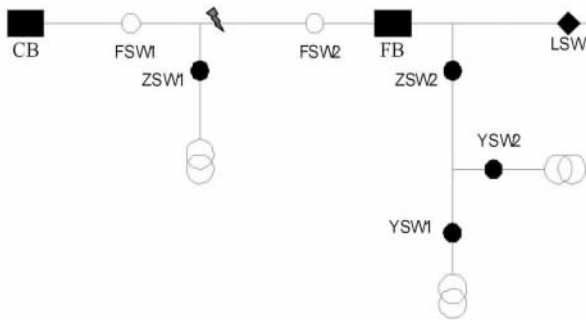


图4 模式2故障隔离示意图

断路器自动切除,不会引起变电站出线断路器跳闸,相当于减少了50%变电站出线断路器的跳闸,同时缩小了故障引起的停电范围,保障了上一级线路的正常供电。

②利用架空电力导线作为通信载体,解决了馈线自动化的通信难题,线路上每台开关可两两通信。

③由于采用PLC通信功能以及故障电流方向判别,在永久故障发生后瞬间即可判定故障所在区域并进行跳闸隔离,无需逐级延时合闸,大大缩短了故障区间定位隔离时间。

④仅有最接近故障区域的开关跳闸动作,非邻近故障区域的开关无需跳闸,减少开关不必要的动作,有效地延长开关寿命,并且大大缩短了非故障区域的供电恢复时间。

⑤对于瞬时故障,可以利用开关的过电流次数计数功能,通过二次重合闸来判定是否瞬时故障,完成永久故障区间的隔离。

模式2适用于多分支长距离馈线,可在广州地区选择农网线路进行试点。

5 其他关键问题

(1) 终端后备电源问题

方案中断路器和负荷开关需要配备蓄电池作为后备电源,目前户外终端后备电源普遍应用铅酸电池而不采用锂电池,这是由于锂电池耐高温性能一般,不宜长时间运行在户外高温环境之下,因此宜采用铅酸电池,并成立专业的维护队伍对电池进行定期维护,终端具备电池告警功能,并上传告警信号。

(2) 转供电

当线路需要转供电时,先将智能柱上开关从自动状态转换到手动状态,然后再合上联络开关,转电期间暂时退出自动化功能,避免出现保护失配。

(3) 控制器的防盗和防雷击

控制器由于安装在杆上靠下的位置,比较容易被盗,并且防雷击措施不足,2008年白云局已发生多起被盗及控制器雷击事件。

(4) 通信方式

对于方案1在实施第一阶段采用无线公网(2G和3G)通信方式,实施简单,应用灵活,不受地域限制,在条件成熟后可试点架设OPGW地线光缆,开展光纤通信应用。

6 馈线自动化新模式实施及应用前景

广州供电局在2009年6月启动了第一阶段架空线路自动化项目,实施范围包括荔湾、白云等297条架空线路,涉及线路长度3564 km,占广州地区架空馈线总长度的35%,新增柱上智能断路器306台,柱上智能负荷开关948台,主要应用模式1。而模式2适用于多分支长距离馈线,因此在增城地区选择了5~10条农网线路进行试点。2010年7月启动了第二阶段架空线路自动化项目,实施范围包括番禺、花都、增城、从化100%的架空馈线。广州供电局10 kV故障跳闸次数预计将显著下降,重合闸成功率提高到90%以上。

广东地区10 kV架空线路总长度84799 km,占线路总长度60%。广东大部分地区电网以架空线路为主,与广州地区具有相似的特点。随着柱上智能开关设备质量水平的不断提高和功能不断丰富,架空线路自动化新模式将在广东地区具有广阔的应用前景。

参考文献

[1] 陈堂,赵祖康,陈星莺. 配电系统及其自动化技术[M]. 北京:中国电力出版社,2003.

[2] 江文东,苏忠阳. 10 kV架空线配电自动化系统的初步实施[J]. 继电器,2002(8):22-25.

[3] 海涛,陈勇,武建文. 以电压式馈线自动化为基础的配电自动化方案[C]. 第一届配电网自动化会议论文集,烟台:1998.

(收稿日期:2012-02-13)