考虑运行风险的主配协同转供电方法研究与应用

潘凯岩[1]，隋向阳[1]，赵瑞锋[2]

（1. 东方电子股份有限公司，山东 烟台 264000；2. 广东电网有限责任公司，广东 广州 510600）

摘要：电网设备发生故障时，往往要求调度人员在最短的时间内将失电压负荷进行快速转移，以满足供电可靠性。在充分考虑主配电网协同建模的基础上，给出了主配协同负荷转供的方法，考虑的因素包括负荷切除、拆分转电、二次转电及递归转电等，转电策略中通过建立运行风险模型充分考虑了对备用馈线及备用变压器的影响。现场运行情况表明提出的策略能大幅度缩短用户预案编制时间，同时转电策略也可以提供给供电服务指挥系统进行调用，最大限度地保证电网的供电可靠性。

关键词：负荷转供；配电网；运行风险；主配协同

Research and application of load transfer in transmission and distribution network considering running risk

PAN Kaiyan[1], SUI Xiangyang[1], ZHAO Ruifeng[2]

(1. Dongfang Electronics Corporation, Yantai 264000, China; 2. Guangdong Power Grid Co., Ltd, Guangzhou 510600, China)

Abstract: Load should be transferred quickly for power reliability where fault occurs in power grid. A load transfer method based transmission and distribution network is proposed, corresponding factors include load shedding, split transferring, second transferring and transferring etc. The effect for spare feeder and spare transformer is considered by build running risk model. Site operation shows that the proposed method is feasible, it can reduce fault treating time substantially and ensure power distribution reliability.

Key words: load transfer; distribution network; running risk; coordination of transmission and distribution

0 引言

随着用户对供电可靠性的要求越来越高，电力企业对安全、经济、稳定运行和提供优质供电服务提出了更高的要求。电力系统的设备异常运行包括故障情况及过载情况，对于电网实时运行中出现设备过载运行的情况，文献[1]提出了自动负荷切除的方法来消除设备过载。文献[2]通过负荷自动转移控制技术实现了高电压等级主变压器过载处理。文献[3]通过调节电压的降压软减载方法来消除设备过载。针对电网中因设备故障导致用户失电的情况，文献[4]对实现配电环网可靠自动转供电功能的关键策

略进行了研究。文献[5]对配电网的供电能力进行了实时评估分析。文献[6-7] 对接线模式与转供能力进行了分析与评估。文献[8]提出了基于公共信息模型拓扑收缩的配电网转供能力分析方法。文献[9]提出计及分布式电源转供能力的配电网供电能力。文献[10]则从整体上对配电网接线方式的合理性进行了分析。以上文献针对的是设备的过载运行情况或设备发生故障的情况，有的从主网范围内提出处理措施，有的针对配电网层面提出处理措施，从而将主网与配电网割裂开，没有从主配电网协同的角度进行综合分析与评估。本文在充分考虑主配协同建模的基础上，提出了考虑运行风险的主配协同负荷转供的方法，考虑的因素包括负荷切除、拆分转电、二次转电及递归转电等，转电策略中通过建立运行风险模型来充分考虑对备用馈线及备用变压器的影响。

1 主配协同转供电建模及策略实现

1.1 主配协同转供电建模及架构设计

主配协同转电基于已有主网调度模型和数据的基础上，按全景建模规范，充分整合配网、计量、营销和客服等信息的模型和数据，形成覆盖主配和用全过程的“网－站－线－变－户”全景数据模型，并在此基础上完成馈线转电、母线转电、全站失电压转电及电缆沟爆炸引起的转电等功能。主配协同转电示意图如图1所示。

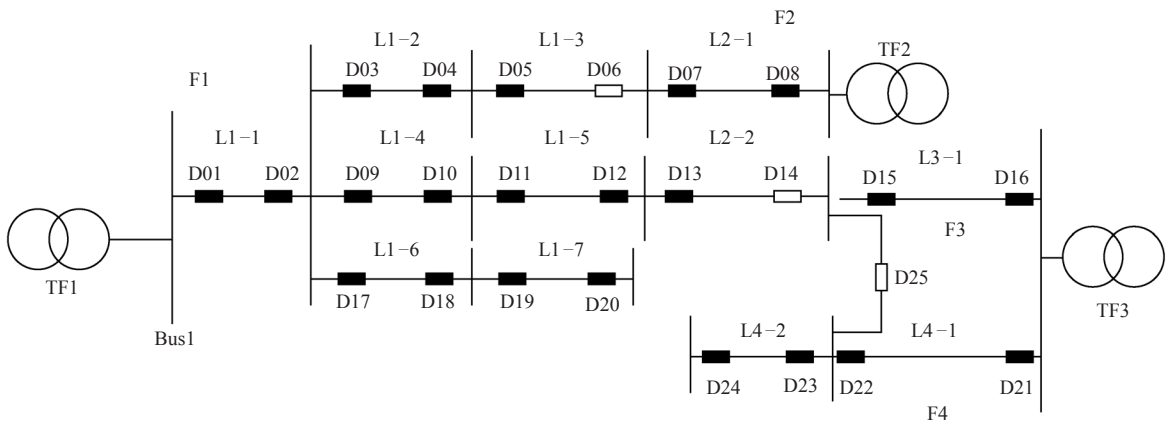

图1 主配协同转电示意图

Fig. 1 Illustration chart of load transfer

1.2 基于节点包容的负荷切除方法

针对转电策略中出现的备用馈线过载情况，传统的方法通常是重新进行负荷搜索，确定匹配的负荷切除。本文给出基于节点包容的负荷切除方法，由于不需要重新进行搜索处理，从而使负荷切除的处理更加容易，方法包括确定供电支路与供电范围。

（1）确定供电支路与供电范围

从主网10 kV母线节点进行搜索，根据所有的路径信息对路径上的设备及相应的负荷信息进行统计，记录统计路径上的设备信息与所带的节点关系，支路信息记为Li，其包含的负荷集合为{LiN}，则表示{LiN}中所有的节点是由支路Li进行供电的。

（2） 确定联络开关信息

联络开关由初始的转电方案得到，具体的联络开关与故障馈线及相应的备用馈线有关。根据方案提供的开关信息，得到开关两侧的节点，假设联络开关的两侧节点分别为N1、N2。

（3）确定支路的转电节点集合及最终的拆分支路

根据供电节点集合{LiN}及联络开关的节点N1、N2，确定故障支路某条馈线相对于其方案来说是主干馈线还是分支线。如果某支路Li是分支线，则选择本支路作为切除支路，其

对应的节点集合为LiN；如果为主干线，则对应的节点集合为{A－LiN}，其中A为故障支路的所有供电节点集合。例如馈线F1，对方案F2来说，L1－2为主干线，如果切除这个开关，则相应的负荷电流为开关本身所带的负荷；L1－4为支线，如果切除这个开关，则相应的负荷电流为F1负荷集合与开关本身所带的负荷的差。

1.3 考虑负荷裕度的最优拆分方案

拆分转电通常用于某个故障设备存在两个及以上方案的场景。在所有的备用馈线都无法单独完成转电操作时，可以通过拆分转电方法完成失电负荷的转电操作。分析中首先计算得到各备用馈线的负荷裕度，再得到针对某馈线的两个方案的公共路径信息。通过公共路径信息计算路径可能拆分的每个支路的负荷比，从中选择最匹配的拆分支路，从而使转电后负荷可以比较均匀地分配至各个备用馈线。如针对F1，其方案F2、F3都会过载，则可以分别得到F2、F3的裕度，假设相应的裕度分别为F_{2A}，F_{3A}，则最优拆分比为

$$\gamma=F_{2A}/F_{3A} \tag{1}$$

从公共支路L1－2、L1－4和L1－5中得到与此裕度比最匹配的支路，其中相应支路的电流计算可以根据1.2节中的方法得出，从而使负荷在备用馈线F2、F3之间负载最合理。

1.4 基于节点冗余的二次转电方法

这种情况主要是用户某馈线发生故障后，当把故障的全部负荷转至备用馈线时，会导致备用馈线过载，但可以提前将备用馈线的一部分负荷进行转移，从而在整体上实现负荷转移的功能而不发生负荷损失。例如针对馈线F3故障情况，如果其对应的备用馈线F1过载，可以将F1的部分负荷转移至F2。

1.5 递归转电方法

这种方法主要针对多个馈线同时失电压的情况，某故障馈线本身对应的备用馈线也同时失电压，但备用馈线存在转电方案。如图1中的F3、F4同时发生故障，F4的方案为转至F3，而F3的方案为转至F1，这样可以闭合D14和D25两个联络开关并进行整体转电。此馈线与备用馈线做为一个整体进行统一转电。

1.6 考虑运行风险的转电策略校核

对于母线失电压或全站失电压的情况，由于相应的每个失电馈线通常存在2～3个方案，这样总体方案组合非常多。本文根据变压器及线路运行风险来计算最优的转供组合。

运行风险值的计算过程如下：首先分别计算各设备风险指标量化值，记为A_i，利用下式计算运行平均风险值

$$R_{SYSA}=\sum_{i=1}^{n}\alpha_i A_i \tag{2}$$

式中，R_{SYSA}为设备（变压器或线路）运行平均风险值；A_i为设备i风险指标的风险量化值；α_i为设备i风险指标的权重，且满足$\sum_{i=1}^{n}\alpha_i=1$。

本文通过变权重公式计算其权重，α_i的计算公式为

$$\alpha_i=\frac{\alpha_i' A_i^{\rho-1}}{\sum_{j=1}^{n}\alpha_j' A_j^{\rho-1}} \tag{3}$$

式中，α_i'为给定的第i个设备运行风险指标的初始权重，其值的大小根据负载率得出，此处权重可以直接指定大小；α_i为第i个设备运行风险指标经过修正后的权重；ρ为均衡系数，取值在0～1之间，本文中取ρ=0.5。

利用变权重公式可以使得各个指标的权重随指标值的变化而得到修正，使得评估结果更为合理。设备运行最高风险值表达式为

$$R_{SYSM}=\max_{i\in 1,n}(R_{sysi}) \tag{4}$$

式中，R_{SYSM}为运行设备最高风险值。

运行平均风险值在一定程度上反映了转电后配电网运行的风险水平，如果某个设备运行风险指标很高，就会对运行风险产生较大影响，且并不一定能够在运行平均风险值上反映

出来，因此需要结合运行最高风险值来计算运行风险量化值。

因此，采用综合考虑最高风险与平均风险的方法来计算转电后的运行风险值，即

$$R_{SYS}=\gamma_1 R_{SYSA}+\gamma_2 R_{SYSM} \quad (5)$$

式中，R_{SYS}为运行风险量化值；γ_1为设备运行平均风险值的权重；γ_2为设备运行最高风险值的权重，且满足$\gamma_1+\gamma_2=1$。

通过上式的计算，既可以考虑最高风险的影响，也可以考虑平均风险的影响，更加适合于工程应用。

4　应用效果分析

本文提出的考虑运行风险的主配协同转供电方法已经在南方电网部分供电局得到了应用。目前配电网调度人员已编制基于正常方式下的电网母线失电压预案，并可以选取夏季高峰负荷和冬季低谷负荷两种数据断面，计算10 kV母线的转供电方案。

以某变电站全站失电压为例，在停电影响简报中，在方案调整区内可以查看所提出的考虑运行风险的最优方案，并针对每个馈线给出运行风险最小的方案。方案信息包括转电前实时电流、转电后备用馈线实时电流和最大电流等信息，同时用户可以对方案进行编辑，效果图如图2所示。

图2　方案调整区效果图

Fig. 2 The effect of project adjusting

在主变压器信息区可以针对转入的变压器查看有哪些馈线进行转入，变压器转电前负荷及转电后负荷信息等，在转电报告中可以查看转电的汇总信息及各个馈线的详细转电明细，并可生成Word或Excel格式的转电报告。

针对故障情况，传统的人工编制转供方案通常需要耗时2 h，而通过查询事故预案并核准转供电方案，时间可缩短至5 s以内，效率得到大幅度提升，同时缩短了故障处理时间，大幅度提高了供电可靠性。

5　结束语

本文根据地区电网的特点提出了主配协同负荷转供的方法，考虑的因素包括负荷切除、拆分转电、二次转电及递归转电等，转电策略中通过建立运行风险模型充分考虑了对备用馈线及备用变压器的影响。本文提出的策略可以应用于设备转电计划编制的情况，也可以用于针对故障情况下的转电策略，转电策略可以提供给供电服务指挥系统进行调用，在条件成熟的地区可以直接启动遥控处理进行遥控操作，从而在策略上大幅度缩短用户预案编制时间，最大限度地保证电网的供电可靠性，现场运行效果表明该方法及系统在地区电网中具有一定的推广价值。

参考文献

[1] 潘凯岩，刘仲尧，宋学清，等．自动负荷控制系统在佛山电网中的应用[J]．电力系统自动化，2009，33(22)：94-97．

[2] 李少谦，张孟君，倪小惠，等．消除330 kV变压器过载的自动负荷转移控制技术[J]．电力系统保护与控制，2009，37(11)：106-108．

[3] 黄小耘，李绥荣，潘凯岩，等．考虑负荷电压特性的降压软减载在佛山电网中的应用[J]．陕西电力，2016，44(3)：94-97．

[4] 欧昌岑，岑冬梅．实现配电环网可靠自动转供电功能的关键策略[J]．中国电力，2013，46(7)：95-99。

[5] 李振坤，陈星莺，等．配电网供电能力的实时评估分析[J]．电力系统自动化，2009，33(6)：36-39．

[6] 王凯军，肖俊，葛少云，等．杭州滨江区10 kV配电网规划中的接线模式与转供能力分析[J]．中

国电力，2005，38(2)：64-68.

[7] 朱雪飞，周长城，杨建华，等．基于$N-1$准则的中压配电线转供能力实用测算分析[J]．电力建设，2015，36(8)：64-68.

[8] 廖怀庆，刘东，黄玉辉，等．基于公共信息模型拓扑收缩的配电网转供能力分析[J]．电网技术，2012，32(6)：51-55.

[9] 张李明，齐先军．计及分布式电源转供能力的配电网供电能力计算[J]．现代电力，2016，33(5)：87-93.

[10] 岑海凤，梁志超，周乐．广州中心城区低压配电网典型接线模式[J]．广东电力，2015，28(1)：82-86.

作者简介

潘凯岩

潘凯岩（1973－），男，硕士，工程技术应用研究员，系统部总架构师，从事EMS/DMS系统软件的研发工作。

隋向阳（1988－），男，硕士，工程师，从事EMS/DMS系统软件的研发工作。

(收稿日期：2019－01－02)EA