电源快切在青岛炼化配电网中的配置与应用

青岛炼化是国家重点工程，出于对生产安全、市场需求和产品质量的考虑，要求具有较高的供电可靠性。上级电网故障导致下级配电网失电或电压波动，对安全生产造成冲击。电源快速切换系统应用在青岛炼化110 kV枢纽站和35 kV区域变电站的配电系统中，提高了供电可靠性，保证了化工生产的安全平稳。快切是通过计算母线残压与备用电源的频差和角差变化，捕捉满足设备持续运行的电压切换点，尤为关键的是保护起动方式下的快速切换和同期捕捉切换，能够快速反应、快速动作，保证对重要负荷和关键生产装置的不间断供电，实现青岛炼化电网的稳定可靠运行。实际事故下的动作表明，经过合理的配置和严谨的调试，电源快切在青岛炼化配电网中的应用取得了成功。

房家才／天津钢铁集团有限公司动力厂　王善菊／上汽通用五菱青岛分公司
房家睿／青岛炼油化工有限责任公司

房家才／工程师

关键词／Keywords
快速切换·
同期捕捉切换·
残压切换·
起动方式·
切负荷·

0　引言

青岛炼化电网由1座110 kV枢纽变电站、4座35 kV区域变电站、29座6 kV终端变电站及1座动力中心（自备发电厂）构成，通过两条110 kV电缆与外电网联络，网内输配电线路均为电力电缆，各级分段均装有备自投，其结构示意图如图1所示。

正常运行方式为除110 kV外其他电压等级分列运行，即各电压等级母线分段或分段开关是热备用状态（小车在运行位置，开关在断开状态）[1]。但这种电网结构、运行方式、电器设备及自动装置并不能满足实际供电可靠性的要求。典型事故影响有两类。

1）进线失电，电网半边停电。上级220 kV海河变电站曾发生110 kV母线故障（GIS盆式绝缘子击穿），青岛炼化电网与其联络的一条进线失电，即电网半边失电。事故发生时，各电压等级母线备自投相继动作，但备自投的动作，仅

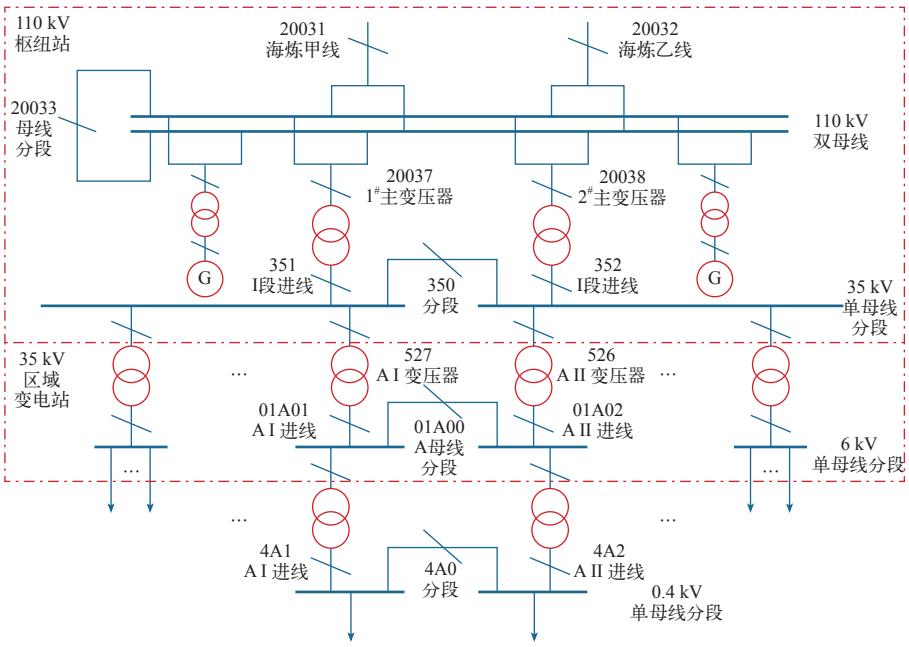

图1　青岛炼化电网结构示意图

中国知网　https://www.cnki.net

是快速恢复供电，大部分机泵彻底停运，造成巨大经济损失和安全隐患。同样，在炼化网内发生进线事故，都会造成下级配电网半边失电。

2）上级电网异常，引起下级电网的电压波动，造成机电设备停电。工厂生产离不开机泵，大量机泵的控制回路中广泛应用着接触器、变频器等，这类元件对电能质量有一定要求，在上级电网事故异常而引起电压波动严重的情况下（电压短时间过低或长时间较低），变频器会保护停机、接触器会失磁脱扣，最终都会造成机泵停运。根据GB 14048《低压开关设备和控制设备》规定，在其75%～110%的额定控制电压之间任何值应可靠闭合，而其完全断开的极限值是其控制电源电压的20%~65%。在电压幅值降低较小的波动情况下，低电压时间持续稍长，接触器将释放，而在电压降低较多时，很短的周波内接触器即已释放[2]。换言之，在电压波动时，要想单纯从电器元件本身着手，是很难避免机泵停运的。

事实上，造成电压波动可能是上级电网事故等引起的短时冲击波动。这种短时波动不仅对炼化企业有巨大影响，也同样困扰着钢铁行业[3]。供电的连续可靠是发、供和用电共同的追求目标，在发电厂、工矿企业等对供电可靠性要求较高的场合，其电网多采用两路电源供电，两路供电电源之间的不间断切换是在系统异常或故障的情况下连续不间断供电的关键[4]。

如果在上级电网事故发生时或在其引起对下级电网波动的同时能快速将下级电网的电源切换至完好进线，不让下级电网失电或长时间发生电压波动，就极大地缩小了事故范围，减少了事故的衍生影响。电源快速切换系统是毫秒级的切换，其应用在一定程度上解决了以上问题，提高了电网的供电可靠性。

1　电源快切动作原理及过程

1.1　电源快速切换动作原理

以35 kV区域3#变电站为例，接线简化如图2所示。6 kV进线是线变组，各段母线上接有电容器组和大量电动机，出线均为电缆，母线分列运行，I、II段互为暗备用。

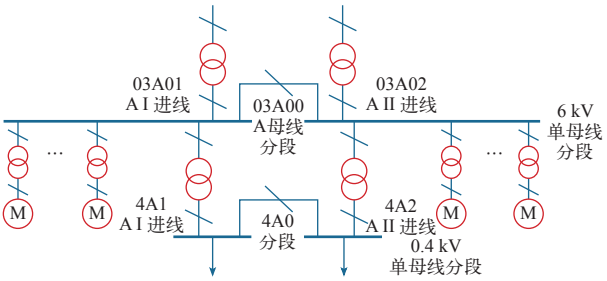

图2　区域3#变压器主接线示意图

当6 kV I段进线故障跳闸或上级失电时，I段母线将失电，电动机将惰行。其所带电动机多为异步电动机，减速过程中，转子电流磁场会在定子绕组中产生反向感应电动势。当多台异步电动机接于同一段母线时，由于各电动机容量、负载和运行状况等各不相同，在惰行过程中，部分异步电动机会显现出异步发电机的特征，而另一些仍是异步电动机的特征[5]。也就是说6 kV I段上的众多电动机、电缆和电容反馈形成了母线残压，残压的频率和幅值也是逐渐衰减的。

根据相关文献资料，以极坐标形式画出某一段失电母线的残压相量变化轨迹[6]，如图3所示。

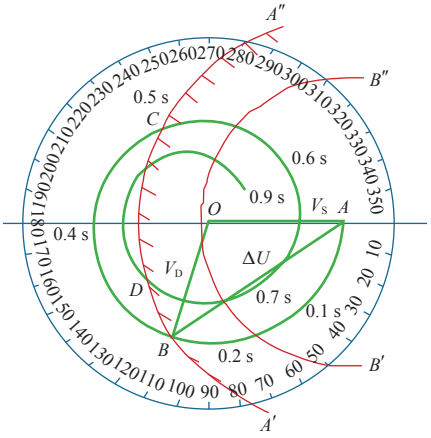

图3　母线残压相量轨迹

图3中，V_D为6 kV I段母线的残压；V_S为备用电源电压（即II段母线电压）；ΔU为两段母线之间的电压差。

将单台电动机与II段系统按暂态分析模型作充分简化，如图4所示。图4中，V_S、X_S为II段母线的电压、电抗；V_M、X_M为I段母线的残压、电抗。

中国知网　https://www.cnki.net

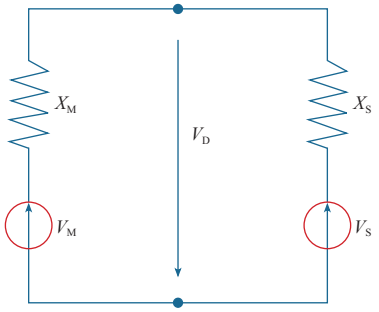

图4 单台电动机切换分析模型

电源切换瞬间，电动机绕组承受的电压U_M为

$$U_M = \frac{X_M}{X_S + X_M} \cdot (V_S - V_M) \quad (1)$$

式中，$V_S - V_M$为备用电源电压与故障侧残压的压差，设为ΔU；$X_M/(X_S + X_M)$为系统电抗比，设为K；则

$$U_M = K\Delta U \quad (2)$$

为保证电动机安全运行，U_M应小于边界电压，即1.1 倍额定电压U_{De}，则有

$$K\Delta U < 1.1U_{De} \quad (3)$$

$$\Delta U\% < \frac{1.1}{K} \quad (4)$$

设$X_S : X_M = 1 : 2$，$K = 0.67$，则$\Delta U(\%) < 1.64$。以A为圆心，以1.64为半径绘出弧线$A' - A''$，则$A' - A''$的右侧为备用电源允许合闸的安全区域，左侧则为不安全区域。若取$K = 0.95$，则$\Delta U(\%) < 1.15$，$B' - B''$的左侧均为不安全区域，理论上$K = 0 \sim 1$，可见K值越大，安全区越小。

假设，区域3#变压器6 kV系统，$K = 0.67$，则在$A - B$段内闭合备用电源，既能保证电动机安全，又不使电动机转速下降太多，这就是所谓的快速切换；过B点后$B - C$段为不安全区域，不允许切换；在$C - D$段内切换，特别是捕捉I段残压与II段电压第一次相位重合点实现合闸，即同期捕捉切换。另外还有残压切换和长延时切换，类似于备自投。

1.2 电源快速切换动作过程

电源快切有手动起动、保护起动、失电压起动、误跳起动、无流起动和逆功率起动等多种起动方式。上级电网事故时保护起动方式下实现快速切换或同期捕捉切换尤为关键。

当6 kV 03A01 I段进线保护起动时，3D26－3D28端子有保护开入信号，快切装置立即通过4D－6输出跳03A01开关的信号，即接通I段进线开关跳闸回路。同时根据电压、电流采样，计算初始角差、频差以及合闸控制角。当6 kV I段进线03A01开关分闸后，3D－5接收到I段进线分闸信号，捕捉同期点，随即通过4D－18发出合闸信号，闭合区域3#变压器6 kV A母分段开关。这就是一个典型的保护动作起动快切的动作过程。

2 青岛炼化配电网快切配置与调试

2.1 快切配置与开入量选择

根据上述的原理和动作过程可知，若要利用快切应对引言中的两类典型事故，主要考虑第一要将快切安装在双电源开关处；第二要引入电源侧或上级电网的快速保护动作信号，以利于快速切换的实现和动作可靠性。配置在110 kV枢纽站的110 kV母联处、35 kV分段处和各区域变电站的6 kV分段处，较为合理（见图1）。但若配置在110 kV母联处的快切要可靠动作，需引入联络线及上级变电站的保护信号（属地方电网），由于较难实现，故未实际安装。最终青岛炼化电网配置MFC－5103快切装置10台，35 kV分段1台，各区域变电站的6 kV分段9台。

35 kV快切保护起动取110 kV主变压器差动、主变压器非电量保护以及110 kV母线差动保护出口触点。

6 kV快切取进线线变组光差、进线变压器差动以及非电量保护出口作为起动信号。

闭锁信号主要考虑运行方式不满足、TV断线、进线开关后备保护以及复压闭锁过电流（快切装置自有）等。

除保护起动外，投无流起动（6 kV，0.5 s）、失电压起动（6 kV，0.9 s）和误跳起动。此类起动类似于备自投，需设起动延时，且要大于上级站快切装置可靠切换的时间，整定为0.3～0.5 s的

中国知网 https://www.cnki.net

级差[7]。

切换方式投快速切换、同期捕捉以及残压切换，退出长延时切换。

2.2 主要调试项目及步骤

快切改造施工主要材料是快切装置和百余条控缆。施工前，拟定详尽的方案。在母线停电前，以敷设控缆、快切装置就位为主，同时完成快切装置的内部检查、配线检查及紧固、绝缘及耐压试验、电源检查、机组参数设置、保护定值输入、单体静态调试以及动态模拟等。

母线停电期间完成接线，进行开入开出测试，采样值检查，快速切换频差、相差和越前允许角，残压切换电压幅值，失电压起动电压幅值，失电压起动延时，无流检查定值，无流起动频差，无流起动电流，无流起动延时，有压定值，方向过电流闭锁定值，后备失电延时的校验。最后带负荷做整组传动试验。

在完成单体静态调试、单母线传动后，为检验上下级配合动作情况，仍需做快切的系统传动试验。

调试条件：110 kV母线并列运行；110 kV 1#、2#主变压器，35 kV I、II段母线，6 kV各段母线分列运行。各段母线分段开关热备用，电容器组开关冷备用，各变电所安排相应的操作检查人员。

调试具体步骤如下。

1）在各母线快切装置处，对从相应I、II段母线或进线TV所接过来的二次相位进行核对，并对相序进行检查。

2）区变试验项目如下。①做差动保护起动快切试验，在差动保护屏端子上加故障电流；②做非电量保护起动快切试验，在非电量继电器端子上短接；③做光纤纵差保护起动快切试验，在光差端子上加故障电流；④做手分误跳起动快切试验，手分进线开关；⑤做无压起动试验，拉开TV二次断路器和手分上级开关。

3）区变调试完毕后，做枢纽站35 kV快切试验。①做差动保护起动快切试验，在差动保护装置上手动试验出口传动；②做非电量保护起动快切试验，在继电器端子上短接；③做手分误跳起动快切试验，手分进线开关；④做无压起动试验，拉开TV二次断路器、手分主变压器110 kV侧开关。

3 电源快切动作分析

2012年5月15日区变一C2变速动油压继电器动作跳闸，C母线快切动作，下面结合快切装置的故障录波详细分析快切动作情况。

3.1 动作过程

（1）保护起动快切，跳CII进线

C2变速动油压继电器动作，开入C2变非电量保护装置，非电量保护出口起动快切，4 ms后快切装置起动（0 ms），1 ms后发出跳CII段母线进线01C02开关信号，55 ms后快切装置检测到01C02开关确已分闸，故障录波如图5所示（各图中刻度两点间为5 ms，两竖间为20 ms）。

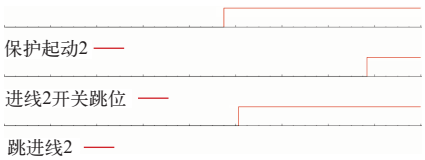

图5 故障录波1

（2）合6 kV C母线分段

快切装置检测到01C02开关确已分闸5 ms后发出合C母线分段01C00开关信号，44 ms后快切装置检测到01C00开关确已合好，故障录波如图6所示。

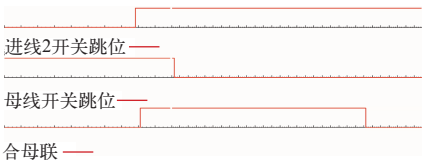

图6 故障录波2

（3）快切成功

快切装置检测到01C00开关确已合好后，51 ms发出快切成功信号（在快切发合分段信号同时起动后加速），故障录波如图7所示。

（4）联切电容

在发出跳CII段进线开关信号的同时，快切装置发出联跳电容信号（电容器未投运），故障录波如图8所示。

中国知网 https://www.cnki.net

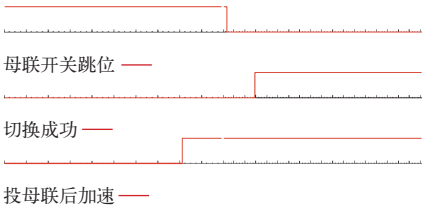

图7 故障录波3

图8 故障录波4

3.2 电压、电流分析

（1）母线电压

CI段母线电压前后变化不明显，在带上全部负荷后，略有下降。事故过程中CII段母线电压U_{BC}变化最大，事故前电压为101.55%，事故中最低为81.1%，即最低降低了20.14%。电压异常持续时间为88 ms。

（2）进线、分段电流

在快切动作110 ms时，母线分段已有电流，由于CII段电能的畸变，母联电流在139 ms时出现最大值。其中C相电流在快切动作247 ms后电流平稳。CI段进线电流同样突变，随即稳定。

3.3 综合分析

快切由保护动作起动，由CII进线切向母线分段。14：09：51.253发出跳CII段进线开关指令，此时两段母线电能角差为2.7°，频差为0.01 Hz。61 ms后开始合分段开关，此时两段母线角差为2.5°，频差为0.03 Hz，角差变化率为3 Hz/s。49 ms后合分段开关结束，此时两段母线角差为29.7°，频差为1.78 Hz，角差变化率为20 Hz/s，总体动作过程共110 ms。

根据这个典型的事故动作分析可以看出，快速切换的成功，以至于该母线所带的加氢、双加氢和水处理等生产装置未感觉到任何异常，这在安装快切之前是不可想象的。

4 结束语

电源快速切换系统功能齐全，反应迅速，保证了青岛炼化电网重要负荷和关键装置的不间断供电，提高了企业电网运行的可靠性。快切在使用中需注意以下几点。

1）保护起动中的起动信号要来自快速保护，如线路光纤差动、变压器差动、零序I段和距离I段等。没有快速保护时，需考虑逆功率、频率异常等起动方式。

2）使用快速断路器，开关的固有动作时间对切换有非常重要的影响，特别是备用电源开关的固有合闸时间越短越好。

3）母线所带负荷类型要有一定数量和容量的异步电动机。

4）要使用带方向的后备保护及时闭锁快切装置，防止其误动作。

5）母线上同步机、电容器是否需要联切，要在设计时论证，提前预留出口。

参考文献

[1] 于群，曹娜．电力系统微机继电保护 [M]．北京：机械工业出版社，2008．

[2] 袁和平．交流接触器因电压波动释放自投装置 [J]．低压电器，1987 (6)：30．

[3] 黄捷，王毅．提高一台压缩机组油泵电机的抗晃电能力 [J]．川化，2011 (1)：14-15．

[4] 孙曦．火力发电厂厂用电切换及其试验 [J]．云南电力技术，2007，35 (10)：44-45．

[5] Yalla M V V S．Design of a high-speed motor bus transfer system [J]．IEEE Transactions on Industry Applications，2010，46 (2)：612-619．

[6] Feng Xiaolan，Li Jie，Miao Shihua，et al．Application of high-speed bus transfer device in industrial substation [J]．Electric Power Automation Equipment，2011 (4)：35-39．

[7] 李志坚 范岩．发电厂厂用电快切装置增加电流判据分析 [J]．科学时代，2011 (7)：103-104．

（收稿日期：2015－09－19）EA

中国知网 https://www.cnki.net