

基于孤岛运行方式的燃机发变组保护及控制分析

介绍了9F燃机的电气主接线方式和运行特点，指出了正向低功率保护作为闭锁条件应用于燃机控制系统保护跳闸的优点，分析了发电机低频、过频和失步等保护可动作于孤岛运行，发电机低频、过频、逆功率和失磁等保护在起动过程需要闭锁，给出了低频率过电流保护、逆功率保护等具有燃机特色的保护定值，综合实际情况提出了起动孤岛运行的判据，并对孤岛运行方式下的保护出口方式、励磁及调速控制方式进行了介绍。

王兆鹏/中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司



王兆鹏/高级工程师

燃机发电项目具有节能减排、调峰能力强和建设周期短等优点，近年来燃气—蒸汽联合循环机组在国内发电项目中的占有率不断提高。燃机FCB（Fast Cut Back）是指燃机快速甩负荷至带厂用电稳定运行，也就是常说的孤岛运行，在电网故障消除后机组可重新并网发电。这对热电冷联产的燃机电厂在电网故障情况下带厂用电和周边热负荷是十分有利的，另外FCB模式对于一次接线方式不完善、备用电源不可靠的电厂起着重要的作用。

目前国内多数燃机项目业主会在主机谈判中要求燃机具备FCB功能，出口到发展中国家的项目因其所在电网薄弱，国外业主在合同中明确要求联合循环机组具有FCB功能，并在合同中列为考核指标。本文以中山嘉明电力有限公司 3×390 MW级燃气—蒸汽联合循环热电冷联产工程项目为背景，对具备FCB功能的燃机发变组保护及二次控制进行了探讨，希望对有类似要求的燃机项目起到一定的借鉴作用。

关键词/Keywords

燃机发电机 ·
静态变频起动装置 ·
孤岛运行 ·
跳闸矩阵 ·

燃机电气主接线及运行特点

本文所述项目建设三套F级改进型的高效一拖一双轴联合循环发电机组，发电机以发电机—变压器单元接线接入厂内220 kV配电装置，220 kV系统设两回出线。发电机出线经离相封闭母线接至主变压器低压侧，在发电机出口侧与主变压器低压侧之间设置发电机出口断路器（GCB），厂用分支接于主变压器低压侧，机组正常起停通过主变压器倒送厂用电源，由GCB同期，适应各种调峰运行方式的要求。高压起动/备用电源从厂内220 kV配电装置引接。

采用静态变频起动装置（SFC）的9F型燃机在投入SFC之前，首先闭合GCB内的SFC隔离开关及打开中性点接地变压器隔离开关，再闭合SFC进线6 kV断路器，在起动过程中，频率从零逐步上升，直到SFC变频起动系统退出，投入原动力和励磁一般需要30 min左右。在退出SFC过程中，先跳开SFC进线6 kV断路器，再分断GCB内的SFC隔离开关和闭合中性点接地变压器隔离开关。

燃机发变组保护的配置

与常规火电机组相比，燃气—蒸汽联合循环机组的正常运行对继电保护没有特殊要求，但需考虑9F型燃机在起动过程及特殊运行工况时的特点。此外，保护出口方式除了与电气故障和异常运行情况有关，还与机组是否具有FCB功能及是否允许甩负荷带厂用电运行（孤

岛运行)方式有关^[1]。

本文在常规火电机组成熟的继电保护原理和配置方案的基础上,按具有FCB功能来考虑燃机发变组保护的配置,几种具有燃机特色的发变组保

护出口方式如下表所示。保护出口采用跳闸矩阵方式,既可节省大量的出口继电器并简化二次接线,又便于现场根据FCB功能的投退要求来修改保护出口方式。

表 燃机发变组几种主要保护的跳闸矩阵

保护种类	发电机出口断路器跳闸	灭磁开关跳闸	高压厂用变压器断路器跳闸	跳母联开关	关停燃机	主变压器高压断路器跳闸	跳SFC隔离变压器、励磁起动变压器	起动发电机出口断路器失灵	起动主变压器高压断路器失灵	解除复压闭锁
发电机低频过电流保护		X			X		X			
发电机起停机保护	X	X			X			X		
发电机过频保护						X				
发电机低频保护	X	X			X			X		
燃机控制系统保护跳闸	X	X						X		
主变压器高压断路器非全相保护	t_1 时限									
	t_2 时限									
	t_3 时限									
主变压器高压侧断路器闪络保护	X	X			X			X		
SFC系统故障保护							X			

1) 燃机控制系统联跳保护,实质为燃机与发电机之间的联锁保护,因燃机不设程序跳闸,可采用保护装置中发电机功率保护的正向低功率保护出口来实现。实际工程中非紧急停机开入所接信号为燃机控制系统跳闸指令,如图1所示,保护逻辑为当燃机故障发出跳闸指令且满足低功率条件时,保护经过短延时出口避免了燃机跳闸指令可能因信号干扰导致误跳机。燃机控制系统联跳的保护出口应只跳发电机出口断路器,而不用再去关停燃机,否则会因燃机控制系统保护逻辑的原因形成一直关停燃机的死循环。

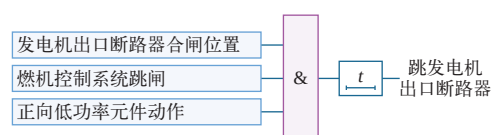


图1 燃机控制系统联跳保护逻辑

2) SFC系统故障保护需要动作于跳SFC隔离变压器、励磁起动变压器的6 kV馈线开关,以往有工程将隔离变压器保护配置在发变组保护的变压器保护装置中,可以统一保护的类型,本工程6 kV的SFC隔离变压器馈线、励磁起动变压器馈线均按馈线配置过电流保护,SFC隔离变压器差动保护由

主机厂配置在SFC控制柜中,这样按供货范围划分设计范围可减少设计接口。

3) 当发电机因系统原因引起故障或者发生外部故障时,如出现发电机过频保护、发电机低频保护、发电机失步保护、主变压器高压侧零序过电流保护(第一时限)和主变压器复压过电流保护(第一时限),以及系统的安稳切机、失步解列,这些保护的出口不需要立即关停燃机,可以只动作于跳主变压器高压侧断路器,让燃机进入孤岛运行工况。

4) 燃机有孤岛运行方式的要求,主变压器高压侧断路器为孤岛运行后再并网的同期点,考虑到在进行同步并列的过程中,断路器合闸之前作用于断口上两倍的运行电压会造成断口闪络事故,需相应配置主变压器高压侧断路器闪络保护,正常运行时保护退出。因机端有断路器,保护动作于跳发电机出口断路器^[2]。

5) 主变压器高压侧断路器为分相操作的断路器,要求装设非全相保护^[3]。本体已配置了非全相保护,按照电网的反措要求主变压器保护中也配置了带电流判据的非全相保护,两者整定相同的动作时间。非全相保护分三个时限出口:第一

时限起动独立的跳闸回路，重跳本断路器一次，此时不起动失灵；第二时限解除断路器失灵保护的复压闭锁；第三时限起动断路器失灵保护。

6) 起动过程需要闭锁的保护有过频、低频、逆功率、失磁、低电压和误上电保护，闭锁触点采用发电机SFC隔离开关的常开辅助触点。SFC隔离开关在机组变频起动阶段闭合、并网后分开，采用SFC隔离开关的常开触点作为保护判据接入发电机和变压器保护装置，可以避免保护装置的开入掉电而导致起动过程需闭锁的保护或主变压器差动保护的误动作。

相关保护的整定值

1. 低频过电流保护

在燃气轮发电机静态变频起动过程中，若发电机出口发生相间短路，其短路电流由SFC输出电流和发电机定子电流构成，由于SFC隔离变压器阻抗较大，同时因直流电抗器的作用，隔离变压器过电流保护可能拒动作，而仅依靠晶闸管自动较缓慢地减小SFC输出电流；另一方面，发电机输送到短路点的短路电流相当大，则低频过电流保护出口快速动作跳开励磁开关，并跳开SFC隔离变压器高压侧断路器，消除短路电流。低频过电流保护的定值应躲过SFC起动过程中的最大负荷电流，根据静态变频起动装置容量计算通常取 $0.2 I_n^{[4]}$ 。

2. 起停机保护

在燃气轮机静态变频起动或停机过程中，若出现发电机定子接地故障，此时采用零序电压原理，但因起动过程中发电机中性点隔离开关处于断开状态，零序电压无法取自发电机中性点接地变压器低压侧，只能取自发电机机端的电压互感器，可以通过运行方式控制此选择。

3. 逆功率保护

对燃机应装设逆功率保护，常规汽轮发电机的逆功率保护定值一般整定为 $0.5\% \sim 2\% P_n$ ，而燃机则不同，由于燃气轮机还拖动同轴的压气机，而后者消耗的压缩功率可达到燃机燃料燃烧膨胀功率的一半以上，即逆功率值可达到其燃气发电功率

的数量级，因此该保护定值可适当提高，本项目根据主机厂提供的相关资料取值为 $10\% P_n$ 。

4. 失磁保护

发电机失磁保护的励磁低电压判据在失磁、短路、振荡及长线充电情况下，容易产生误动作、拒动作，且励磁电压高不易从励磁柜取出，故燃机失磁保护取消转子电压判据，且考虑燃机有进相运行的要求，采用异步圆的阻抗判据可避免进相运行时保护的误动作。

5. SFC保护

SFC隔离变压器容量为 $5\ 150\ \text{kV}\cdot\text{A}$ ，所配保护装置为厂家成套的西门子保护产品，设计阶段考虑带谐波制动的差动保护为主保护。在变压器空投时，为了避免一相差动电流的2次谐波含量超过整定门槛值而引起差动保护误动作，就必须投入2次谐波制动的交叉闭锁功能，但投入交叉闭锁功能后，如果隔离变压器正好投入到故障情况下，交叉闭锁会闭锁差动保护的正确动作而扩大事故。因此需选择合适的交叉闭锁时间，通常设定为 $3 \sim 5$ 个周波以避免涌流衰减时间。若现场实测涌流衰减时间过长，SFC起动过程中会很容易因涌流的原因造成差动保护误动作，此时在速断过电流保护满足灵敏度的前提下可取消差动保护。

孤岛运行方式下的保护控制

孤岛运行的工况由发变组以外的电气故障触发，关键需要确定在什么条件下起动FCB，进入孤岛运行后励磁系统和调速系统如何进行控制调节，以及孤岛运行结束后机组如何再次并网发电。

1. 起动FCB的判据

当出现升压站外线路故障引起线路跳闸时， $220\ \text{kV}$ 出线采用双回出线方式，单回线路满足厂内两台机组满负荷发电时电能输送容量要求。正常为两回出线同时运行，当任一出线因故障退出运行时，该故障线路负荷自动转移至另一出线，厂内机组不会减负荷、切机。

本工程已配置安全稳定控制装置，在发生两回线路均故障退出运行的极端情况下，安全稳定

切机的出口动作于跳开主变压器高压侧断路器。当燃机因系统原因引起故障或者发生外部故障时,发电机过频保护、发电机低频保护、发电机失步保护、主变压器高压侧零序过电流保护(第一时限)和主变压器复压过电流保护(第一时限)的出口动作于跳开主变压器高压侧断路器。上述两种情况下的动作结果均为跳开主变压器高压侧断路器。如图2所示,燃机控制系统在同时接收到主变压器高压侧断路器分位和发电机出口断路器合位的信号时可起动FCB。

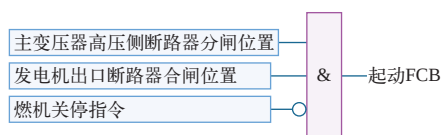


图2 起动FCB逻辑（配置安全稳定装置）

对于没有配置安全稳定控制装置的工程,在升压站外线路故障引起线路跳闸而主变压器高压断路器未跳闸的情况下,主变压器高压侧断路器位置状态不能作为起动FCB的判据。图3为在发变组保护中配置零功率保护,当发电机甩负荷时,判断机端有功功率是否在极短时间内突降到一个低值,保证在系统扰动时有功功率摆动不会达到此条件,再加上其他辅助判据,就能正确判断发电机组是否进入孤岛运行工况。



图3 起动FCB逻辑（未配置安全稳定装置）

2. 孤岛运行时的励磁系统控制

正常运行时励磁系统的无功控制选择功率因数方式,在孤岛运行时,发电机的负荷特性取决于厂用电负荷本身,厂用电频率稳定在50 Hz,发电机端电压稳定,这是孤岛运行可靠性的根本保证,此时无功控制应转为定压方式,其根据实测电压与设定电压的偏差动态调整励磁,使电压水平维持在设定范围内。

3. 孤岛运行时的调速系统控制

发生孤岛运行时,调速系统由负荷控制转为

频率控制,燃机转速上升,当达到超速保护控制OPC动作值103%额定转速时,OPC保护控制动作,燃气—蒸汽联合循环机组通过改变燃料量和进口可调导叶(IGV)的开度,改变发电机的出力,以达到系统功率的供需平衡,从而快速响应电网频率的变化,使频率恢复到正常范围。发电机过频保护动作值为51.5 Hz,延时2 s,在此过程中因有燃机调速系统的控制,发电机过频保护不会动作。

4. 孤岛运行后的同期控制

为适应孤岛运行的主要工况,燃机设置了两个同期点:第一个同期点为发电机出口断路器;第二个同期点为主变压器高压侧断路器。第一个同期点由燃机控制系统起动同期,第二个同期点由DCS起动同期。当发电机带厂用电孤岛运行一段时间后,若条件满足,发电机需要与系统再次并网,此时的同期点在主变压器高压侧断路器上,而不是在发电机出口断路器上。

结束语

燃气机组运行方式和工艺系统与燃煤机组有一些不同之处,本文在常规燃煤机组的保护设计基础上,针对燃气机组本身的起动和控制特点,考虑了孤岛运行方式下保护及控制的设计。因孤岛运行是一个由工艺系统主导加上电气系统配合的系统工程,目前在國內燃机电厂成功的范例很少,有待设计与调试部门及主机厂共同努力完成这一功能。

参考文献

- [1] 孙茗. 大型燃气—蒸汽联合循环电厂发电机保护设计特点[J]. 电力勘测设计, 2005, 12(5): 48-52.
- [2] DL/T 684—2012大型发电机变压器继电保护整定计算导则[S]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [3] 王维俭. 电气主设备继电保护原理及应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [4] 吴笃贵, 赵志华. 燃气轮发电机启停机保护方案的讨论[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(20): 93-96.

(收稿日期: 2014-07-07) EA