[发变组]

进口燃机发变组保护国产化替代与综合优化

文/侯苏宁[1] 李 毅[2] 涂梦雅[1] 史华仁[1] 张文斌[2]
1.华能南京燃机电厂；2.西安热工研究院有限责任公司

以GE公司的9F重型燃机保护为研究对象，采用国产化保护装置全面覆盖GE保护，比较GE公司与国产南瑞继保公司发变组保护配置、功能及二次回路差异，提出燃机发变组保护国产化替代与综合优化方案，涉及发电机保护、主变压器保护、高厂变压器保护及励磁变压器保护等，对后续的进口燃机发变组保护的改造及新建燃机发变组保护配置有参考意义。

发变组保护装置作为电厂核心控制设备之一，其运行状况直接关系到发电机组和电力系统的安全稳定运行。近年来，完全自主可控的国产化保护装置已具备了应用条件。国产化保护装置基于国产核心器件和操作系统开发，软硬件国产化率均为100%，能够全面反映发变组各种类型故障和异常运行工况。

随着能源结构的多样化，国内进口了较多以天然气为燃料的大型燃气轮机机组，其中部分机组配备了进口的发变组保护。机组经过一段时间运行，进口的发变组保护缺点逐渐显现，本质安全不可控，备件稀缺、供货周期长，界面不友好，维护校验困难，保护配置不符合规范、反事故措施要求等，因此，必须进行国产化保护替代进口燃机保护，尤其是已使用较长年限的保护装置。

本文以GE公司的9F重型燃机发变组保护为研究对象，采用国产化保护装置覆盖GE保护，比较GE公司与国产南瑞继保公司发变组保护配置、功能及二次回路差异，提出发变组保护国产化替代与综合优化方案，涉及发电机保护、主变压器保护、高厂变压器保护和励磁变压器保护等。

基金项目：中国华能集团科技项目（HNKJ21-HF265）

保护国产化替代的机组概况

某燃机电厂机组于2006年12月建成，采用GE公司的2×390 MW级9F型燃气—蒸汽联合循环发电机组，发电机出口电压19 kV，经主变压器升压至220 kV电压等级，发变线方式接入系统，配置发电机出口断路器（52G）、线路断路器（52L）、高压厂用变压器、励磁变压器和隔离变压器各一台，与相邻2号机组公用一台起动变压器。发变组保护全套使用GE公司保护。机组电气系统简图如图1所示。发电机出口断路器（52G）、线路断路器（52L）具备同期功能。

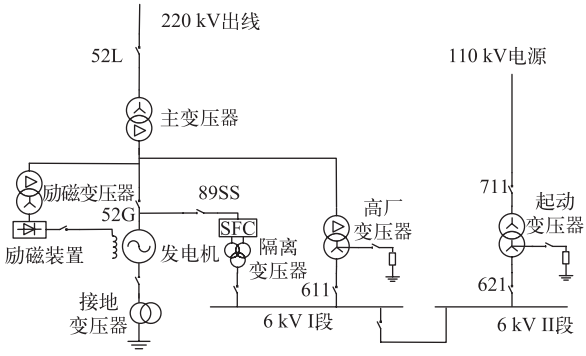

图1 机组电气系统简图

国产化替代的保护装置配置

针对GE公司9F重型燃机，采用南瑞继保国产化PCS-985系列保护装置替代进口GE公司保护装置，保护功能全面覆盖，增加部分电流互感器、开关位置节点等，完善保护配置，符合规范、反事故措施要求，屏柜原位置布置，最大程度利用旧电缆。

GE公司保护装置配置方案：发变组配置两面保护屏，其中保护盘1包含4套保护装置，分别是断路器保护装置C60、发电机保护装置G60、主变压器保护装置T60-UT及高厂变压器保护装置T60-AT，还配置两台83LBSX同期闭锁装置；保护盘2包含3套保护装置，断路器保护装置C60、发电机保护装置G60及主变压器保护装置T60-UT；保护盘3包含励磁变压器保护装置T60-EX、隔离变压器保护T60-IX。保护装置合计8套。保护A柜、保护B柜安装尺寸为1 600 mm×800 mm×2 200 mm。

南瑞继保国产化PCS-985系列保护装置配置方案：采用4面安装尺寸800 mm×800 mm×2 200 mm屏柜原位置安装，按照发电机保护A柜、变压器保护A柜、发电机保护B柜及变压器保护B柜依次布置。包含发电机保护PCS-985G、变压器保护PCS-985T各2套，合计4套保护装置。

励磁变压器高压侧引接于主变压器低压侧和发电机出口断路器（52G）之间，其差动主保护及后备保护出口与主变压器保护、高厂变压器出口相同，因此，在配置保护方案中将励磁变压器保护与主变压器厂变压器保护放在同一套保护中，简化跳闸出口回路。

DL/T 5153—2014《火力发电厂厂用电设计技术规程》8.4.1规定：当单机容量为100 MW级及以上机组的高压厂用工作变压器装设数字保护时，除非电量保护外，保护应双重化。GB/4285—2016《继电保护和安全自动装置技术规程》4.2.3.5规定：对100 MW级及以上发电机变压器组，应装设双重化主保护。依据上述规程，国产化保护替代时，高厂变压器保护和励磁变压器保护由单套保护更改为双套保护。

国产化保护替代配置见表1。

原设计发电机出口断路器（52G）、线路断路器（52L）具备同期功能。同期功能由MARK VI系统实现，考虑机组没有解列运行工况（小岛工况），52L同期功能没有实际用处，在此次保护替代过程中，取消52L并网功能。

表1　国产化保护替代配置比较

GE保护型号/套数	安装位置	国产化保护型号/套数	安装位置
断路器保护C60/2套	保护盘1、盘2	发电机保护PCS-985G/2套	保护A、C柜
发电机保护G60/2套	保护盘1、盘2		
主变压器保护T60-UT/2套	保护盘1、盘2	变压器保护PCS-985T/2套	保护B、D柜
高厂变压器保护T60-AT/1套	保护盘3		
励磁变压器保护T60-EX/1套	保护盘3		

主变压器、高厂变压器和励磁变压器的非电量保护在机组投产时已采用PCS-974保护，本次采用国产化保护替代。

国产化保护的保护功能配置

GE断路器保护装置C60、发电机保护装置G60包含发电机差动、负序过电流及失磁等19项保护，转子接地保护采用励磁系统配置的接地保护。原设计没有设计定子匝间专用电压互感器或横差电流互感器，GE没有发电机匝间保护功能，不符合《继电保护和安全自动装置技术规程》及DL/T1505—2016《大型燃气轮发电机组继电保护装置通用技术条件》要求。国产化保护装置由机端零序电压和中性点零序电压通过矢量合成计算得到纵向零序电压，用于反映定子匝间故障。运行中投于报警或跳闸。

发电机中性点接地柜增加一组电流互感器，一套发电机保护装置中增加注入式接地保护功能，改造后，运行和停机状态都可以检测定子接地故障。发电机保护A柜和发电机保护B柜分别采用不同保护原理的定子接地保护，提高保护可靠性。

GE主变压器保护装置T60-UA包含主变压器差动、复压过电流、过电压及接地零序电流4项保护，没有零序过电压保护功能。在国产化PCS-985T保护装置中，增加零序过电压保护功能，在主变压器高压侧失地的情况下，对接地故障进行保护。

GE高厂变压器保护装置T60-AT包含厂变压器差动、复压过电流、通风保护及6 kV断路器失灵4项保护，根据《继电保护和安全自动装置技术规程》要求，不再设置6 kV断路器失灵保护。

在机组SFC起动期间，主变压器差动保护和发电机差动保护均是一侧有流，GE主变压器保护装置、发电机保护采用定值切换的方式，闭锁差动保护。国产化保护中采用主变压器差动通过GCB位置来判断发电机机端电流是否参与主变压器差动保护、发电机差动保护，这样的改动可以简化保护计算和现场整定工作。

断路器保护装置C60中52G并网闭锁功能由同步继电器WT-AA31替代。同期闭锁功能不出现在发电机保护装置中。

国产化保护替代二次回路改造及优化

在保护替代中，需要对部分二次回路改动、优化。发变组保护装置至励磁、52G断路器、52L断路器、TCP、同期和其他保护装置的二次回路分别讨论。运行中的机组改造，电缆的敷设比较困难，必须最大程度利用原有电缆。由于国产化保护配置和保护功能变更，也需要敷设部分二次电缆。

1. 发变组保护装置至励磁回路

励磁系统采用GE公司EX2100励磁装置，灭磁开关跳闸是保护出口常闭触点断开的形式实现，回路如图2所示。

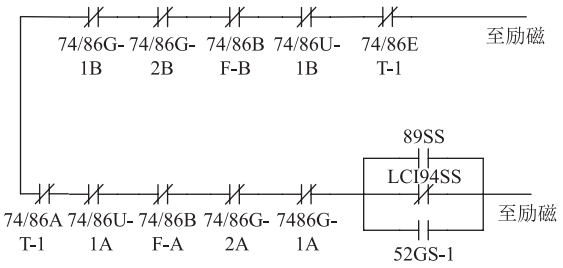

图2　励磁跳闸回路

图2中，74/86G-1A、74/86G-2A、74/86BF-A、74/86U-1A、74/86AT-1、74/86G-1B、74/86G-2B、74/86BF-B、74/86U-1B及74/86ET-1是保护出口LOOKOUT常闭触点。保护动作时，出口触点打开，灭磁开关跳闸。该设计方案保护出口不能安装硬压板，不利于运行期间单套保护退出的隔离操作。这次保护替代中，各保护装置预留常开的跳闸回路，以便励磁系统改造后使用。

跳闸回路中包含机组运行期间发电机出口断路器52G分位连跳灭磁开关回路。从各保护的出口分析，没有单独的解列方式，解列灭磁的情况下，灭磁开关和52G同时动作，可以取消52G分位连跳灭磁开关回路。燃机保护动作，在机组额定状态甩负荷时过电压是可以接受的，可考虑52G跳开不灭磁，同样连跳回路是可以取消的。

跳闸回路中还包含SFC拖动期间89SS分位连跳灭磁开关回路。这个联锁可以由灭磁开关和89SS刀开关直接硬接线实现或TCP软逻辑实现，不必要出现在保护跳闸回路中。

2. 发变组保护装置至52G、52L回路

《防止电力生产事故的二十五项重点要求》18.4.7规定：有关断路器的选型应与保护双重化配置相适应，220 kV及以上断路器必须具备双跳闸线圈机构，两套保护装置的跳闸回路应与断路器的两个跳闸线圈分别一一对应。GE公司发电机保护和主变压器保护是双重化配置，52G、52L的跳闸回路设置双跳闸线圈，发电机或主变压器保护动作时，每一套保护均起动两个跳闸线圈，不符合《防止电力生产事故的二十五项重点要求》。现更改为发电机保护A柜、变压器A柜跳52G、52L的I跳闸线圈。发电机保护B柜、变压器B柜跳52G、52L的II跳闸线圈。

励磁变压器保护和高厂变压器保护改为双重化保护配置后，也按上述跳闸方式完善。

3. 发变组保护装置至TCP回路

替代前GE发变组保护装置有8套，TCP监视每一套保护的动作状态、装置运行报警状态及直流电源报警状态，替代后保护的配置做了变动，保护装置减少为4套。PCS-985常规设计是按每套装置设置状态输出。为适应TCP的监视及逻辑回路，将PCS-985T的状态输出按保护对象分类，即主变压器保护、厂变压器保护及励磁变压器保护。改造后保护动作状态如图3所示。

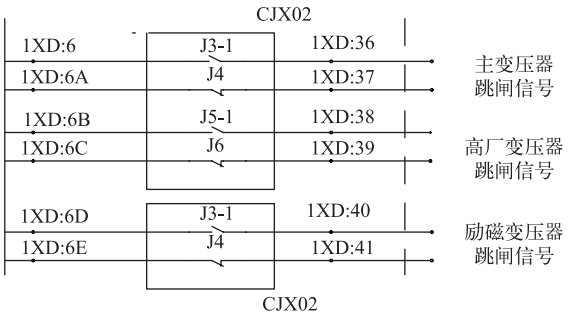

图3　至TCP信号回路

PCS-985T装置运行报警状态、直流电源报警状

态按照扩增触点方式实现，硬接线接入TCP。

改造后，各保护装置保护动作、报警信息采用通信方式传输至TCP。

4. 发变组保护装置至其他保护装置回路

改造前，两套线路保护装置保护动作信号接入保护1盘、保护2盘的端子，启动74/86U-1A、74/86U-1B出口LOOKOUT继电器切机。双重化配置线路保护，一套保护跳断路器两个跳闸线圈。改造后，线路保护A柜、线路保护B柜动作信号分别接入变压器保护A柜、变压器保护B柜外部重动端子，通过外部重动跳闸矩阵或硬接线实现两套保护装置的跳闸回路应与断路器的两个跳闸线圈分别一一对应。双重化零功率切机保护改造与线路保护相同。

励磁故障保护、变压器非电量保护及转子接地保护也由LOOKOUT继电器接入改造为接入发电机保护的外部重动。励磁故障保护、变压器非电量保护单套配置，转子接地保护运行只投一套保护，在出口配置时均跳断路器双圈。

5. 发变组保护装置同期回路

GE的设计有两个同期点52G和52L。同期电压取自发电机机端VT2、出口断路器52G-VT及升压站SWITCH-VT。在保护1盘中，并网电压切换回路和同期开关之间闭锁回路。并网电压切换如图4所示。52L并网电压采用机端VT2电压和和主变压器高压侧升压站SWITCH-VT电压，根据“就近”原则，应采用出口断路器52G-VT、升压站SWITCH-VT。

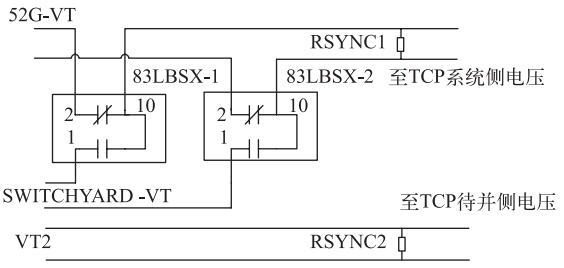

图4　至TCP并网电压切换回路

上述保护装置配置中，改造后，52L的并网功能取消，取消图4的电压切换回路，发电机机端VT2、出口断路器52G-VT直接送至TCP。同时取消52G和52L之间并网闭锁回路。

GE保护1盘，断路器保护装置C60中52G并网闭锁功能由同步继电器WT-AA31替代，同步继电器有两对节点输出，串联接入52G同期合闸回路中。

6. 发变组保护装置至故障录波器回路

发变组保护装置至故障录波器回路，按照改造后保护报警输出重新设计二次回路，故障录波器重新定义、设置报警信息。

7. 其他

保护1盘中的功率变送器提供4～20 mA机组功率信号给发电机保护装置G60和TCP，改造后发电机保护PCS-985G装置直接用机端电压、电流计算功率，不需要在保护屏配置功率变送器。在变送器屏增加两套功率变送器，提供功率信号至TCP。

GE保护盘采用交流115 V电源，改造后，更改为交流220 V电源。辅助设备打印机、照明等可使用国内标准设备。

改造中，根据回路数量设置保护端子，避免多线压接至一个端子。

结束语

进口燃气轮机机组发变组保护装置国产化改造，可以提高机组继电保护本质安全，降低发电机组的操作运行维护成本。本文提出了燃机发变组保护国产化替代与综合优化方案，对后续的进口燃机发变组保护的改造及新建燃机发变组保护配置有参考意义。**EA**

（收稿日期：2022-06-20）

参考文献

[1] 火力发电厂厂用电设计技术规范：DL/T 5153—2014[S].

[2] 继电保护和安全自动装置技术规程：GB/T 14285—2006[S].

[3] 钟守平，王洪林 ，陈佳胜，等．大型燃气轮发电机组保护关键技术研究[J]．电气技术，2021(12)：67-72.

[4] 王维俭．发电机变压器继电保护应用[M]．2版．北京：中国电力出版社，2005.

[5] 国家能源局．“防止电力生产重大事故的二十五项重点要求”继电保护实施细则[Z]．2014.

[6] 丁雪鹏，吴攀峰.数据中心20 kV供配电系统及柴油发电机组的设计[J]．电气应用，2020，39(5)：89-93.