一起海上石油设施电网失电事件原因分析及处理

刘 炼，刘为玉，郭 骏

（中海油能源发展装备技术有限公司，天津 塘沽 300452）

摘要：干式变压器空载投入运行时产生的励磁涌流影响着海上石油孤岛电网电力系统的安全稳定运行，其引发的发电机继电保护装置误动作，造成海上石油设施电网失电。分析了此次失电的原因，并提供相应建议。

关键词：变压器励磁涌流；发电机继电保护装置误动作；海上石油设施失电；事故分析

Cause analysis and treatment of a power loss incident of offshore oil facilities

LIU Lian, LIU Weiyu , GUO Jun

(CNOOC EneTech Equipment Technology Co., Ltd., Tianjin 300452，China)

Abstract: The inrush current produced by dry-type transformer in switching on affects the safe and stable operation of the power system of offshore oil island power grid. The generator relay protection device misoperation caused by the inrush current causes the power loss of offshore oil facilities. The reasons for the power loss are analyzed and corresponding suggestions are provided.

Key word: transformer inrush current; generator relay protection device misoperation; power loss of offshore oil facilities; accident analysis

0 引言

海上某设施平台电网共有3台发电机（额定容量为4 028 kW；额定电压为6.3 kV），2台额定容量2 000 kV·A、6.3 kV/0.4 kV干式变压器，由于生产负荷需要，对6.3 kV/10.5 kV干式变压器T_1/T_2进行扩容改造，将原额定容量2 500 kV·A升级到4 000 kV·A，电网一次接线如图1所示。

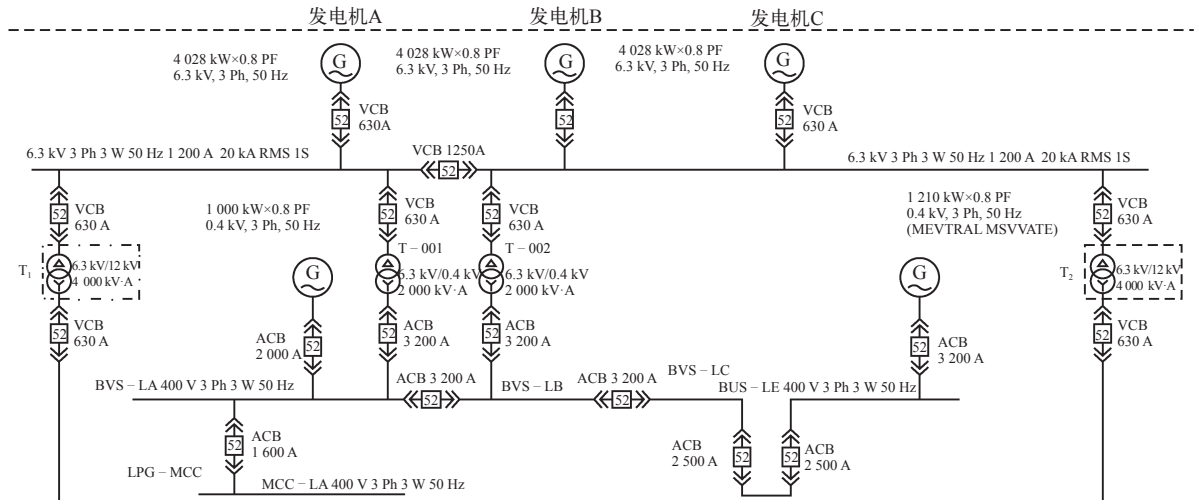


图 1 海上石油设施电网一次接线图

Fig. 1 Primary wiring diagram of offshore oil facilities

故障前发电机A/C在线运行，发电机B机处于停运状态，6.3 kV母联柜处于合闸状态，变压器T－001和T－002运行，由于变压器T_1/T_2改造扩容后，需要对变压器T_1/T_2进行送电测试，当对变压器T_1空载投入运行时，造成发电机A和B保护继电器装置GE489保护同时动作，发电机进线柜分闸，致使电网失电，海上设施生产关停。

1 事故排查

排查人员查阅两台发电机故障记录，均显示此次故障分闸是发电机保护装置差动保护动作造成。根据现场情况和以往排查经验，排查人员决定从发电机保护装置差动保护设置、故障录波和差动保护电流二次回路三个方面进行排查和分析。发电机A机差动跳闸故障数据如表1所示。

表 1 发电机 A 机差动跳闸故障数据

Tab. 1 Differential trip fault data of generator A

（单位：A）

	A相	B相	C相
相电流	511	232	607
中性点相电流	189	230	511
差动电流	451	0	321

1.1 发电机保护装置差动设置检查

电网三台发电机均配置GE公司的SR489发电机综合保护继电器，电流互感器电流比设置为600 A/5 A，差动保护设置如图2所示，其差动保护起动值设置为1.3 A，即0.26×CT，一般工程常用差动起动值范围为$0.1I_{ref}$～$0.3I_{ref}$，拐点值斜率设置也满足一般工程要求。

同时，为了防止出现因灌值错误导致保护装置实际定值与设计值不符问题，现场再次进行发电机保护设定值和定值单的比对，经比对，装置CT电流比及差动保护设定值与定值单相符。

Phase Differential

SETTING [GROUP 1]	PARAMETER
PHASE DIFFERENTIAL	
Phase Differential Trip	Latched
Assign Rrip Relays (1-4)	Relay 2
Differential Trip Min. Pickup	0.26 x CT
Differential Trip Slope 1	30 %
Differential Trip Slope 2	50 %
Differential Trip Delay	0 Cycles

图 2 发电机差动保护设置

Fig. 2 Setting of generator differential protection

1.2 故障波形

排查人员调取失电时发电机A机和C机故障录波波形如图3、图4所示。

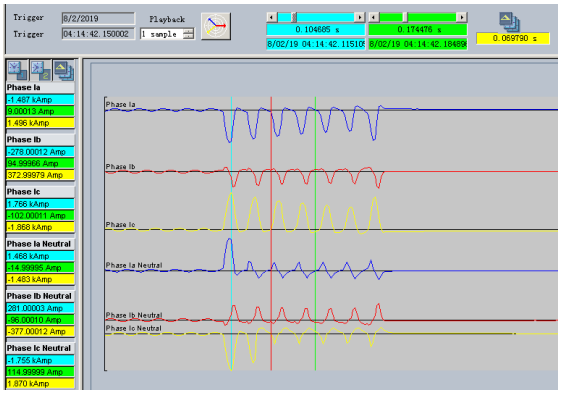


图 3 发电机 A 机故障波形

Fig. 3 Fault waveform of generator A

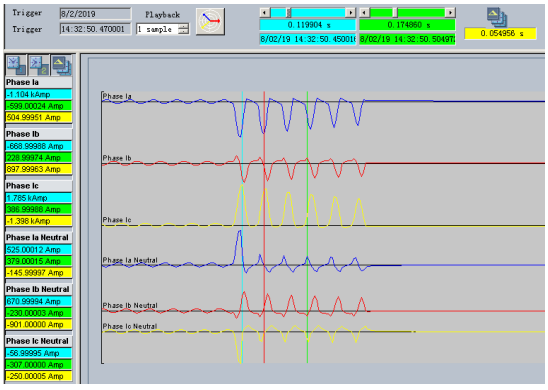


图 4 发电机 C 机故障波形

Fig. 4 Fault waveform of generator C

经过对A机和C机综保录波波形进行比对，两个故障波形形状基本相同，且从图3和图4中可以看到非常明显的变压器励磁涌流特征。以A机为例子进行故障分析。

从故障波形可知，当变压器T_1投入时，C相电压更接近过零点，因此C相产生了最大的励磁涌流，当时现场负荷电流幅值约为152 A，叠加励磁涌流幅值达到3 653 A，B相励磁涌流相对较小。

发电机保护回路使用P型电流互感器，受励磁涌流非周期分量和谐波分量影响，铁心容易出现饱和，从波形上也存在饱和特征。发电机A机差动回路图和矢量图如图5、图6所示。

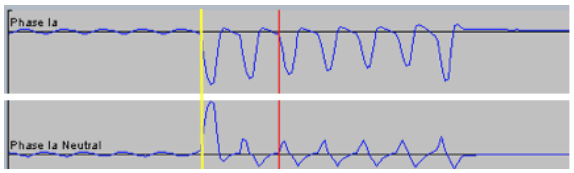
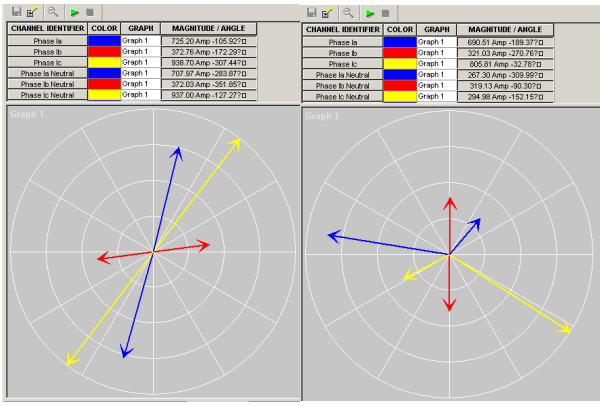


图 5　发电机 A 机差动回路波形图

Fig. 5 Waveform diagram of differential circuit of generator A



(a)励磁涌流第一个冲击时　　(b)保护装置跳闸时

图 6　发电机 A 机差动回路矢量图

Fig. 6 Vector diagram of differential circuit of generator A

由图5、图6可见，发电机A的机端侧和中性点侧CT均反映了励磁涌流的第一个波峰，但第一个波峰后两侧CT二次电流完全不同，发电机中性点侧CT二次电流波形出现明显的切削，并且关于时间轴对称，无论从幅值还是相位上均出现很大差别，直至差动保护发出跳闸指令。

由此可以判断在励磁涌流冲击下，经过一个波峰后中性点侧CT出现严重的饱和，导致两侧CT电流不一致，在差动回路中产生较大差流，最终导致发电机保护误动作。

1.3　差动保护电流二次回路检查

此差动保护二次回路从校验保护装置、保护电流回路接线和电流互感器三个方面进行检查。

（1）校验保护装置

排查人员对发电机A/C保护装置进行校验，测试结果正常，因此可以排查保护装置故障情况。

（2）保护电流回路接线

通过图样和现场实际接线核对，未发现存在线号端子对应错误、明显接线不牢靠及保护CT和测量CT接错情况，差动保护两侧的电流回路接线极性正确。

（3）电流互感器检查

排查人员发现，发电机保护电流互感器采用绝缘等级水平，不符合6.3 kV电压等级要求。电流互感器参数如表2所示。

表 2　电流互感器参数

Tab. 2 Parameters of current transformer

额定绝缘水平/kV	额定电流比/A	准确级	型号	额定输出/V·A	厂家
0. 72/3	600/5	5P20	LRB-0.5	15	大连第一互感器有限公司

2　原因分析

1）此次失电主要原因是变压器空投时，变压器励磁涌流造成发电机保护继电器的电流互感器磁饱和，使继电保护装置SR489检测到发电机两侧电流值出现较大差值，并超过保护整定值，致使发电机继电保护器差动动作。

2）在只有两台发电机在线运行的情况下且变压器扩容后，未采取相关励磁涌流抑制措施，就采用变压器直接合闸方式，其对发电机冲击较大。

3）变压器扩容后，在制定送电方案时未充分了解和分析变压器励磁涌流对发电机的冲击，且没有制定相关具体应对预案和措施。

4）变压器扩容后，设计单位只对变压器保护定值进行了调整，而电网参数发生了巨大变化，未重新对电网系统定值进行核对。

5）变压器改造期间，未对保护装置所属电流互感器的型号进行确认和试验。

3　整改措施

电流互感器二次额定电流为5 A，带载能力相对较弱，发电机中性点侧电流互感器位于发电机现场，通过电缆连接至MCC间出线柜，其二次负载相对发电机机端侧电流互感器大，需要对其电流互感器负载进行测试。

空载投入运行变压器情况下，对发电机冲击较大，为减少励磁涌流对电网的冲击，建议采取励磁涌流限制措施。

施工方根据项目内容编制详细施工方案和预防措施，并组织包括业主方、设计方在内的相关技术人员和技术技能专家对方案进行审查，同时上报主管部门批准。

组织专业技术人员和专业公司重新对电网进行整定计算和设备选型（包括电流互感器型号），使其设置和设备符合要求。

依据国家标准对保护定值和电气设备进行电气设备交接试验，确保设备状态良好。

送电测试时，施工方和业主方按照应急预算提前做好准备，各专业人员到岗守责。

4 结束语

此次故障类型具有一定的典型性，为了确保在以后的电气设备改造、安装及调试过程出现类似情况，就需要设备管理部门严格按照相关管理规定、标准和制度执行，并加强现场电气运行人员项目施工基本知识培训，增强项目施工流程和管理意识，保证电网电气设备正常运行。

参考文献

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部．电气装置安装工程电气设备交接试验标准：GB 50150—2016[S]．北京：中国计划出版社，2016．

[2] 张保会，尹项根．电力系统继电保护[M]．北京：中国电力出版社，2005．

作者简介

刘 炼

刘炼（1984－），男，本科，学士学位，工程师 。研究方向为海上石油平台电力系统建设维护、电气设备调试及故障排查，天津市科技协会成员。

(收稿日期：2020－6－14)EA