

空投大容量变压器对海洋石油平台微电网的影响分析

以海洋石油平台微电网为背景,以抑制大容量变压器空载合闸励磁涌流为目的,结合平台电网自身的特点,根据实际案例和现场数据从发电机、变压器自身、和应涌流和安全生产等4方面剖析大容量变压器对平台电网的影响。从未来油田群组网需求和平台安全考虑,给出改进措施。

王东升 王 伟 鹿栋梁 王亚楠 李墨林/海洋石油工程股份有限公司



王东升/工程师

随着海上平台组网的发展,组网变压器的容量越来越大。在系统恢复过程中,为了实现电力输送就无法避免空载投入大容量变压器^[1]。正常运行时,变压器的励磁涌流很小,一般为额定电流的1%~2%。当变压器空载合闸时,由于铁心磁通的饱和以及铁心材料的非线性特性,励磁电流可能达到极高的数值,一般为稳态励磁电流的80~100倍,可达到额定电流的4~6倍;同时波形会产生严重畸变,形成励磁涌流。

由于平台微电网自身特点^[2],励磁涌流可能会导致变压器继电保护误动作,大量的谐波会恶化平台电网电能质

量,高次谐波的电磁干扰将影响中控系统和变频设备的正常运行。另外励磁涌流还将导致母线处电压骤降,从而影响平台电力系统中其他用电设备的正常运行^[3]。

一般情况下,海上平台自用降压变压器容量较小,为单台发电机容量的20%~25%,可以不用考虑空投产生励磁涌流的问题。但是,组网用升压(10.5/35 kV)变压器与单台发电机容量相当,可视为大容量变压器,必须考虑励磁涌流抑制问题。

国内SZ油田群某平台配置有中海油所用海上最大的干式变压器,现在以该平台为例,详细分析空投大容量变压器励磁涌流对平台微电网的危害。图1为某平台中压配电系统图。

准备工作和现行抑制措施

1. 基本参数

该平台配置参见图1。

关键词/Keywords

大容量变压器 ·
空载合闸 ·
励磁涌流 ·
海洋平台微电网 ·

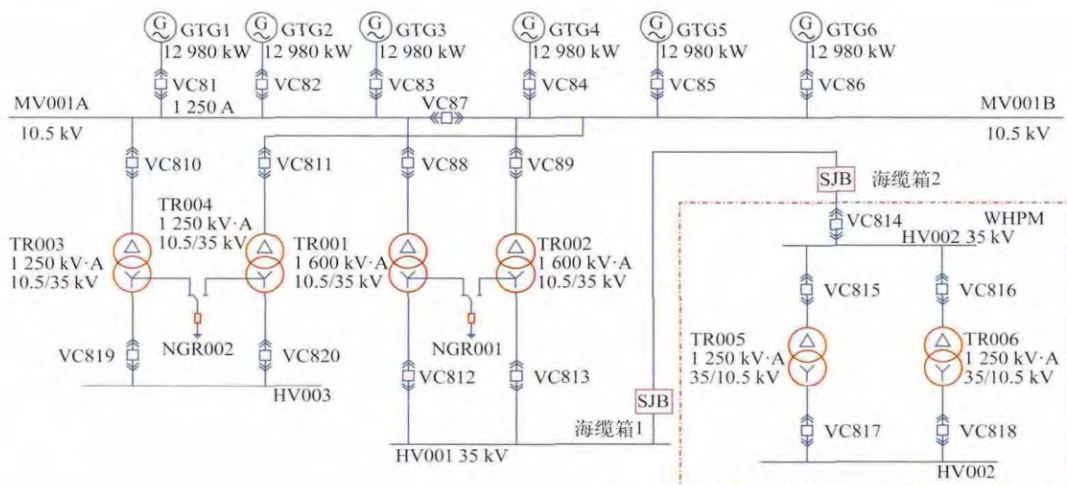


图1 中压配电系统图

1) 配备有6台10.5 kV, 功率为12 980 kW (容量为16 225 kV·A) 的透平发电机, GTG1~GTG6, 额定电流为892 A。

2) 配备2台16 000 kV·A, 10.5/35 kV升压变压器TR001和TR002, 10.5 kV侧额定电流为879.8 A, 阻抗比 X/R 为22.51, TA电流比为1 250 A/1 A, TV电压比为10 500 V/110 V, 35 kV侧为星形联结, 通过接地电阻NGR001接地, 为中海油所用海上最大的干式变压器。

3) 配备2台12 500 kV·A, 10.5/35 kV升压变压器TR003和TR004, 10.5 kV侧额定电流为687.3 A, 阻抗比 X/R 为18.72, TA电流比为1 000 A/1 A, TV电压比为10 500 V/110 V, 35 kV侧为星形联结, 通过接地电阻NGR002接地。

4) 经过升压到35 kV后, 通过海底电缆输电到WHPM平台, 并且配备2台12 500 kV·A, 35/10.5 kV降压变压器TR005和TR006, 35 kV侧额定电流为206.2 A, 阻抗比 X/R 为18.72, 35 kV侧为星形联结, 中性点不接地。

5) TR001/002与TR003/004形成并联结构, TR001/002与TR005/006形成串联结构。

2. 准备工作

一般情况下, 在空投变压器时应该保证电源波形失真不超过5%, 而TR001/002的容量与单台发电机的容量相当, TR003~TR006的容量略小于单台发电机的容量。因此, 理论上至少需要3台或4台发电机组并列运行才能完成以上变压器的空载合闸操作。对于新建和已投产的平台电网来说, 这都是个严峻的考验。

在实际调试中, 综合考虑涌流抑制器的作用和新建平台施工条件的局限性, 采用2台发电机组并列运行的方式, 逐一完成上述大容量变压器空载合闸测试, 并采取以下措施。

1) 出于安全考虑, 最好使用带载并车。根据厂家建议, 要使2台发电机组并列运行, 至少需要3 000 kW的负载。在未投产的情况下, 平台负荷大约为1 000 kW。为此, 强制起动所有用电设备, 包括强制起动1台1 600 kW的中压注水泵。在管系中使用200 m³淡水, 形成临时闭路循环, 管网压力

保持在11 000 kPa, 管网温度限制在50 ℃, 从而形成恒定的负载, 确保2台发电机在线运行。

2) 空载合闸时, 始终开起差动保护、2次谐波制动、5次谐波制动、零序过电流保护和过电流保护等保护措施, 避免变压器励磁涌流产生的冲击反馈到发电机侧, 尽可能避免发电机因冲击电流而故障停机^[4]。

3. 现有抑制措施

为了抑制变压器空载合闸励磁涌流, 设计上采取以下几种措施。

1) 对于变压器TR001~TR004采用涌流抑制器SID-3YL^[5], 设置涌流抑制器开关操作类型为联动模式; 设置断路器辅助触头作为测量合闸时间的基准; 选取A相在90°, B相在210°, C相在330°合闸。利用三次空载合闸, 来优化和校准合闸角度和补偿时间。

2) 采用2次谐波闭锁来“躲”过变压器空载合闸时励磁涌流和TA饱和导致的保护继电器误动。

3) 采用5次谐波闭锁来“躲”过变压器空载合闸时高电压过励磁导致的保护继电器误动。

对平台电网的影响

实际上, 正是由于涌流抑制器的抑制作用, 成功地将涌流抑制在额定电流峰值的3倍以内。但是, 相对于平台微型电网来说, 由于抑制原理采取躲避方式, 其涌流仍然客观存在, 对供电质量的影响和一次设备的损失依然存在, 并留下了安全隐患, 可以从以下几方面进行分析。

1. 对发电机的影响

在使用涌流抑制器的前提下, 也尝试过用单台发电机做空投试验, 但是结果不理想, 对发电机的危害很大。

空投大容量变压器对发电机的危害表现在空投瞬间励磁电流过大, 电源侧电压波形畸变, 电压骤降, 导致发电机失电压报警而突然停机; 或电压过低使辅助设备(如燃油泵变频器等)停止运行导致发电机突然停机; 或瞬间电流过大, 反馈到发电机侧导致发电机保护误动作。某次空投失败时保护继电器的现场故障记录如图2所示。



图2 保护继电器的现场故障记录

从图2可以看出,在这次空投瞬间,电源侧电压从10 500 V骤降到最低6 941 V,导致低电压故障报警;B相出现差动电流,发生差动报警,是导致发电

机停机的直接原因;视在功率达到了1.566 MV·A,与原动机容量相当,超出了设计需求范围。

2. 对变压器自身的影响

虽然励磁涌流抑制在额定电流峰值的3倍以内,但是在空投瞬间,强大的电动力使变压器发生强烈的抖动,并伴随沉闷的“嗡嗡”声,对其机械特性和寿命都有很大影响;大量的谐波分量持续很长时间,综合保护装置始终发出二次谐波报警;由于涌流波形非常复杂,导致识别和躲避很难做到完全正确,仍然存在变压器差动保护误动的情况。图3为空投成功时,涌流抑制器的监控画面。

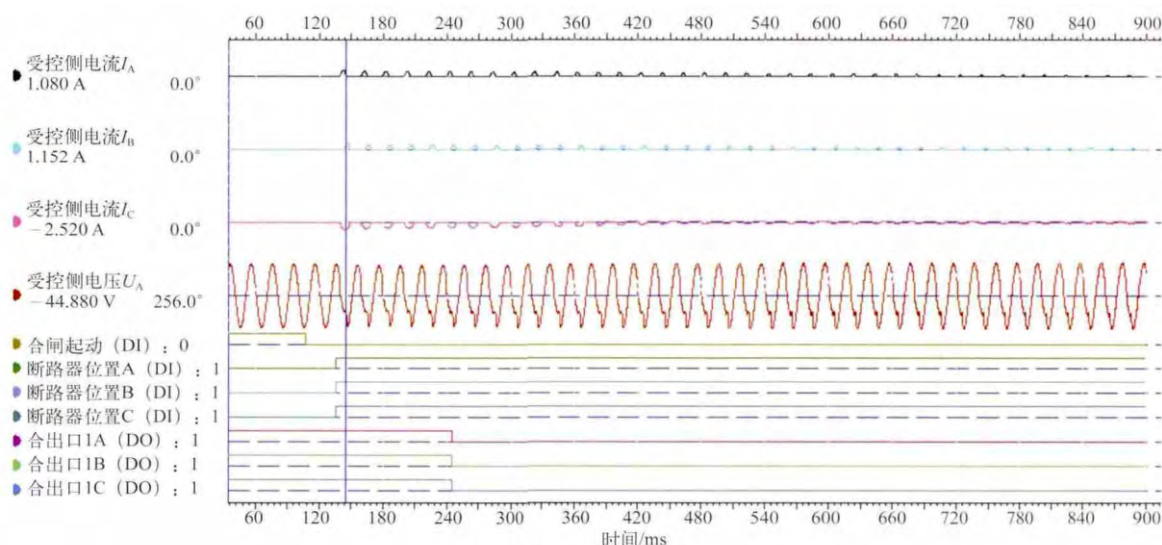


图3 涌流抑制器监控画面

从图3可以看出,以开关合闸状态作为反馈信号,从发出合闸命令到开关完成合闸动作大约用时136 ms,并选择在A相电压波峰位置合闸;涌流波形呈断续状态,偏向于时间轴的一侧;其中最大涌流出现在C相,折算到一次侧大约为3 150 A, B相次之, A相最小;整个励磁涌流衰减过程持续至少900 ms,即至少持续45周波。励磁涌流出现时,电源侧电压波形发生严重畸变,但是频率不变。

3. 和应涌流的影响

在电网中邻近运行的并联或串联变压器由于其他变压器的空载合闸也可能会产生和应涌流的现象。和应涌流是励磁涌流持续一段时间后才产生,偏向时间轴的另一侧,逐渐增大,达到最大值后又逐渐衰减,和应涌流峰值出现的时刻与励磁涌流峰值交相呼应。和应涌流比励磁涌流衰减

要缓慢得多,励磁涌流一般在10 s以内,和应涌流往往可达几分钟;并且二次谐波含量低于励磁涌流,容易造成变压器保护误动作,使已运行负荷突然停电,造成严重后果^[6]。

在该电网中,TR001/002与TR003/004形成并联结构,TR001/002与TR005/006形成串联结构;而且TR001/002共用接地电阻NGR001,TR003/004共用接地电阻NGR002。所以,TR001/002与TR003/004容易形成并联和应涌流,TR001/002与TR005/006容易形成串联和应涌流。在实际测试中曾多次发生和应涌流现象,导致已运行变压器发生跳闸,致使整个平台失电。

4. 对安全生产的影响

从开始准备工作到试验结束,整个大容量变压器空投试验过程都存在安全隐患,主要体现在

以下几方面。

1) 为了能够完成空投试验,需要采取临时措施强制启动中压大功率负载来满足并车条件。这本身就违反安全操作规程,对人身安全和设备安全造成极大的危害。

2) 在低负荷下,强制使2台发电机并列运行,要考虑并车后的稳定问题。如果负载波动幅度大,就有可能使其中1台发电机发生逆功,对发电机组造成危害。

3) 多次频繁高压分合闸容易引起线路操作过电压,对系统设备造成伤害。

4) 由于励磁涌流的原因,可能诱发发电机突然停机故障或已运行变压器跳闸故障,导致整个平台生产关断。

应对措施

从根本上说,以上问题的根源就在于励磁涌流。如果进一步减少或消除励磁涌流,就不会产生如此多的问题。通过归纳总结试验过程和试验数据,得出如下建议。

1) 针对不同的电压等级和容量等级,实行不同的励磁涌流抑制方式,最大限度地减小励磁涌流,避免使用临时手段来满足变压器空投要求,尽量减小安全风险。除了涌流抑制器,预充磁变压器技术也已经在船舶上得到成功应用^[7],同样适用于海洋平台微电网。

2) 正确使用涌流抑制器,既要控制合闸操作也要控制分闸操作,合闸时考虑击穿效应,分闸时考虑拉弧效应,以受控侧的电压信号作为反馈控制信号,开关触头只能作为参考。把环境温度,中压断路器的操作电压等分量都作为补偿量,进行修正分合闸角度和分合闸时间,确保涌流抑制器的成功概率达到100%。

3) 采用更高等级的电流互感器避免暂态饱和引起的差动保护动作。重新修正发电机侧和变压器侧的保护定值,避免越级跳闸,减小停电范围。

4) 该平台的大容量变压器数量较多,发生和应涌流的几率很大,应该重视和应涌流的影响。在实际操作中,可以适当提高变压器差动保护定

值来躲过和应涌流的影响,还可以通过分断接地开关的方式,人工干预消除和应涌流的通路,防止和应涌流的产生。

5) 装设中压消谐装置,消除高频谐波干扰。

结束语

从长远来看,随着海上组网的发展,越来越多的大容量变压器会投入使用。平台电网容量小,抗干扰能力差,尤其是电力系统恢复初期,系统比较薄弱,空投大容量变压器所产生的励磁涌流和谐振过电压对电力系统的影响会更加显著^[8]。它不仅对新建平台有很大影响,而且对已投产平台也是个很大的安全隐患。因此,在实际生产中,要重视励磁涌流的危害,根据不同的情况采取不同的抑制措施,把安全隐患消除在设计阶段和建造阶段。

参考文献

- [1] 梁海平,顾雪平.空投变压器对电网恢复初期系统影响的仿真研究[J].华北电力大学学报,2012,39(5):1-5.
- [2] 李强,李鑫,魏澈.海上油气田群电力组网技术[J].中国造船,2011(7):218-223.
- [3] 张琦兵,邵能灵,王鹏,等.船舶变压器预充磁分析研究[J].电力系统保护与控制,2010,38(18):145-149.
- [4] 回志澎,刘敏.舰船大容量变压器励磁涌流的故障识别[J].船电技术,2008,28(6):333-336.
- [5] 田成凤,邓连波.变压器空载合闸引起的励磁涌流及和应涌流分析[J].天津电力技术,2007(2):26-29.
- [6] 陈清勇.变压器空载合闸产生和应涌流的现象与防范措施[J].水利科技,2010(1):66-69.
- [7] 李占元,张伟红,杜秀红.预充磁绕组在抑制变压器空载合闸励磁涌流中的应用实例[J].变压器,2013,50(3):56-58.
- [8] 陈瑞.预充磁在抑制变压器空载合闸励磁涌流中的作用[J].船电技术,2009(1):24-26.

(收稿日期:2014-04-21) EA