

[开关设备]

中压智能相控断路器在国内大容量变压器上的首次应用

文/中海石油（中国）有限公司湛江分公司 吴 锋 刘继峰 陶 鑫

随着海上油田群电力系统大容量变压器的应用普及，基于中压相控技术的中压智能相控断路器正在逐步得到应用。结合中海油涠洲油田群小型电网系统特点，介绍中压智能相控断路器在海上平台供配电系统中的应用，为其今后在其他工程项目中推广应用提供实践、参考依据。

海上平台电力系统为独立系统且系统内安装有大量容量的电力变压器，随机控制执行分合闸操作产生的合闸励磁涌流会给系统其他设备的安全运行造成威胁，而且影响开关自身的寿命和可靠性。

结合中海油涠洲油田群小型电网系统中压智能相控断路器设计应用实例，介绍一种基于断路器相控技术的中压智能相控断路器。该断路器为一种新型智能化开关设备，实现了变压器等负荷投切过程中精确的相位控制，达到抑制投切大容量变压器产生的励磁涌流的目的。介绍了该设备的功能特点及现场应用效果，验证了该项技术的可实施性及有效性，对海上平台电力系统供电的可靠性研究进行了积极的探索。

中压智能相控断路器应用需求

空载变压器刚接上电源时，电源侧会出现很大的电流，通常称为励磁涌流，其值可高达额定电流的6~8倍。变压器励磁涌流不仅会导致继电保护误动，由其衍生的电网电压骤降、谐波污染、涌流和铁磁谐振过电压等都为电力系统运行带来了不可低估的负面影响。多年来，人们通过识别励磁涌流特征的方法来减少继电保护的误动率，但并未获得良好的回报，

误动率仍居高不下。

根据供货的变压器厂提供的资料，变压器空载合闸时，最大励磁涌流将达到额定电流的6~10倍，由于海上平台小型电网发电机组台数少、容量小，主变压器空载合闸时，过大的励磁涌流将对平台电网及发电机端的电压产生较大的影响，如透平发电机组拉停、泵/马达因低压而关停或差动保护引起开关跳闸等。因此，需要采取一定的措施，限制主变压器空载合闸励磁涌流的影响。

目前，解决变压器空载合闸时的励磁涌流方案主要有零起升压方案、串联电阻方案、涌流抑制器方案和断路器选相方案等。国内代表性的产品有微机涌流抑制器，采用相位角控制技术，避免大容量变压器投切时磁通饱和，从而降低励磁涌流。然而相控技术应用不能离开执行设备，为了解决传统的中压真空断路器动作时间离散性大、与涌流抑制器配合控制精度低和涌流抑制效果差等方面的问题，中压智能相控断路器应运而生。

多年工程经验证明，国内外用户及业内相关专家认为采用选相控制技术既能有效解决变压器、电容器等非线性负载的投切暂态问题，又能有效地节省投资费用。

中压智能相控断路器介绍

1. 技术原理及设备组成

中压智能相控断路器的核心技术原理是以电网电压或电流为参考信号，根据开关负荷类

型控制开关触头在最佳相位关合或分离，以抑制或消除开关分合闸过程中的电磁暂态现象。

中压智能相控断路器系统工作原理示意图如图1所示。

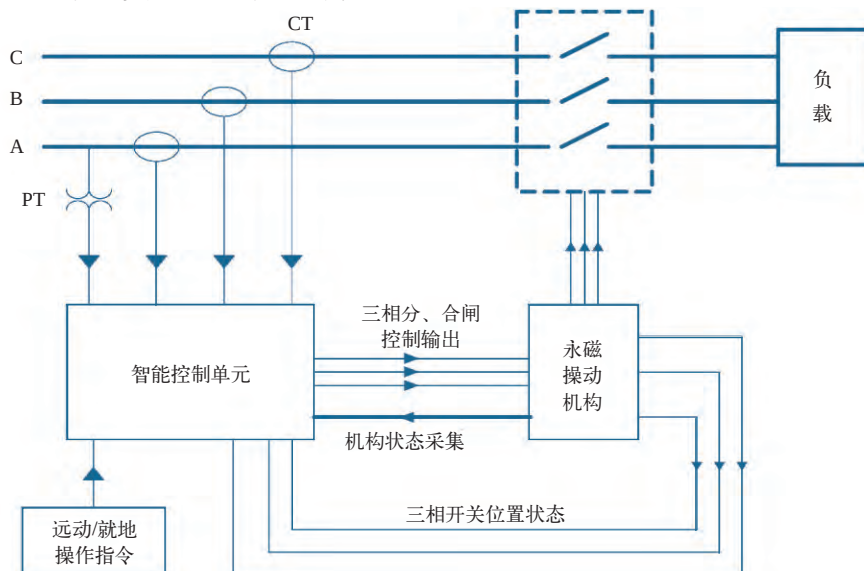


图1 中压智能相控断路器系统工作原理示意图

中压智能相控断路器主要由智能控制单元、三相分相操作的永磁真空断路器等组成。通过智能控制单元的精准控制和三相分相断路器的精确执行，实现优选的分合闸相位角控制，从而抑制变压器等负载空投过程中产生的励磁涌流。

1. 技术优势

1) 正常分合闸操作时，以电网电压或电流为参考信号，根据分合闸命令时电网信息和负荷类型，控制断路器每一相触头在最佳相位关合或分离，以减少断路器正常合闸操作的涌流和过电压，消除正常分闸重燃过电压，提高断路器的正常开断能力和系统可靠性；在故障时，能够根据采集到的故障电流信息，采用故障电流过零预测算法，实现故障选相开断，大大提高断路器开断故障电流的成功率，减少故障电流给设备及系统运行带来的危害，实现断路器在执行环节的智能化。

2) 具有对当前所控制负荷支路的保护和测控功能，可通过IEC61850等规约与监控系统进行通信，实现遥测、遥信信息上传和遥控指令接收，实现了断路器测控环节的智能一体化设计，符合一次设备智能化的技术发展趋势。

3) 实现对永磁真空断路器控制回路状态及其机械特性的在线监测，在断路器控制或执行

环节出现异常工作状态时，系统会自动定位故障，并实时将告警信息传送至监控系统。使运维人员及时全面地了解设备运行状态，大幅提高断路器的现场运行管理水平。

2. 技术特点

1) 断路器操动机构采用三相独立控制的永磁机构，可实现开关动作离散性小于 ± 0.5 ms，确保相控技术精确执行。

2) 智能控制单元采用“硬件FIR数字带滤波”和“一元线性回归过零检测”算法，实现精确的相位捕捉。

3) 断路器及智能控制单元采用一体化设计，避免中间环节带来的不可靠性和信号传输过程中的离散性。

4) 智能控制单元集成了完善综合自动化功能，具备保护、测量、相控（控制）、计量和监视等功能，并支持多种通信规约，如IEC 61850等。

海上平台电力系统的应用

1. 工程设计

涠洲12-2/11-4N油田二期WZ12-1 PUQB平台共配置4台容量为7 600 kW的发电机，发电机出口电压为6.3 kV。WZ12-1 PUQB平台新增两台变压器，电压等级为35 kV/6.3 kV，

容量为12 600 kV·A。该工程采用2套GLSM-211T系列中压智能相控断路器，如图2中PCS01和PCS02所示，在低压侧对变压器进行空投，

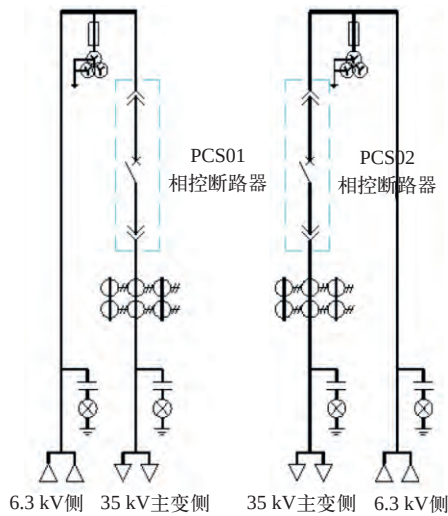


图2 涠洲12-2/11-4N油田二期WZ12-1 PUQB平台一次系统图

以解决其空投励磁涌流过大的问题。
项目采用电缆进出线一体柜800 mm×1 700 mm×2 300 mm，柜内包含了中压智能相控断路器核心组件，即相控断路器、主控单元、永磁开关驱动单元和永磁开关操作电源箱等。

2. 投运效果
WZ12-1 PUQB平台新增两台变压器基本数据如表1所示。

表1 WZ12-1 PUQB平台新增两台变压器基本数据

变压器容量/(kV·A)	额定电压/kV	低压侧额定电流一次/A	CT变流比	低压侧额定电流二次/A	低压侧额定电流二次峰值/A
12 600	35/6.3	1 155	1 500 : 1	0.77	1.09

PCS01相控断路器从低压侧冲击TR10变压器多次，装置记录波形数据，通过上位机录波分析软件，分析各次冲击时的数据记录如表2所示。

表2 冲击时的数据记录

序号	操作时间	最大涌流峰值/(A / p.u.)		
		A	B	C
1	20151006-231125-215	2.141/1.96	0.705/0.65	-2.132/1.96
2	20151006-231955-019	2.706/2.48	1.228/1.13	-2.682/2.48
3	20151006-233243-088	2.610/2.39	1.184/1.09	-2.588/2.39
4	20151006-234144-304	2.443/2.24	1.472/1.35	-2.432/2.24
5	20151007-101042-730	2.047/1.88	1.511/1.39	-2.012/1.88
6	20151007-122814-122	0.885/0.81	1.694/1.55	-1.675/1.55
7	20151007-130612-346	1.265/1.16	0.619/0.57	-1.245/1.14
8	Max相	2.706/2.48		

上述几组试验运行数据表明，采用了中压智能相控断路器后海油平台电力系统大容量变压器空投时产生的励磁涌流大幅下降，最大相励磁涌流为2.7 A，约为2.5 p.u.，励磁涌流被抑制掉近 60%，极大减少了对变压器和发电机的冲击。
此外，变压器空投时刻平台透平发电机无功功率均没有发生明显变化，系统功率稳定，极大地提高了系统运行的稳定性和可靠性。

结束语

中压智能相控断路器是断路器相控技术从高压向中压系统进行衍生创新性产品，其有机集成

了综合自动化技术、相控技术和永磁开关等多项技术。结合在海上平台电力系统实际应用情况，总结其主要特点如下。
1) 实现了选相合闸控制，减小了空投合闸涌流、提高了系统稳定性和可靠性。
2) 变压器励磁涌流抑制效果近60%，极大地降低了对设备冲击。
3) 该断路器具备开关智能化的检测、保护、控制、状态监控和通信的功能。
4) 实现了一、二次设备功能的融合，使运维和检修工作量大大降低。EA

(收稿日期: 2016.05.05)
(编辑: 刘群点)