

智能相控开关在石化企业10（6）kV无功补偿中的应用

石化企业10（6）kV无功补偿装置投切普遍存在电容器及其投切开关检修频繁，电容器容量三相不平衡保护跳闸导致投切失败、主绝缘击穿、熔断器熔断及电容器使用寿命缩短，严重时发生母线停电、电容器本体故障起火、开关重燃及爆炸等事故问题，针对上述问题分析智能相控开关在石化企业10（6）kV无功补偿中的应用。

王树国/中国石化工程建设有限公司



王树国/教授级高工

0 引言

石化企业10（6）kV无功补偿通常采用AVC控制系统方案来提升电能质量，改善功率因数。在电容器组的随机投切过程中会产生很大的涌流和过电压，对电网造成不利影响。经常性的过电流会导致电容器容量衰减、鼓肚、击穿和烧毁；电弧重燃的过电压会导致电容器、避雷器爆炸和断路器损坏，接于同一母线上的设备发生绝缘击穿、闪络等故障，引起继电保护误动作和降低电能质量等。因此，如何有效地解决电容器等投切瞬间暂态效应，对于电网的安全可靠非常重要。

1 石化企业压10（6）kV无功补偿的投切方式分析

目前石化企业传统型的无功投切方式有两种：一种是延时投切方式，即“静态”补偿方式。另一种是瞬时投切方式，即“动态”补偿方式。延时投切的目的在于防止过于频繁的动作使电容器造成损坏，更重要的是防备电容不停地投切导致供电系统振荡。静态投切方式的投切设备包括：交流接触器、晶闸管、复合开关、常规普通开关和相控开关等。几种静态无功投切方式对比如表1所示。

表1 几种静态无功投切方式对比表

采用方式类型	优点	缺点	应用场所
接触器	价格相对较低，工业系统应用广泛	投切中会产生幅值很大、频率很高的浪涌电流，使接触器产生电弧，烧坏触头，降低交流接触器的触头寿命	不适合频繁投切场所；可靠性不高，有被淘汰的趋势
晶闸管	过零时投切，响应速度快	结构复杂，体积大，成本高，可靠性差，发热严重，用于10（6）kV系统投切电容器时晶闸管承受过电压能力弱	故障率高，可靠性差，除了负荷频繁变化的场合外，在其他场合应用性差
复合开关	避免了晶闸管的导通损耗问题，也避免了电容器投入时的涌流	由于中继结构复杂，其对电压变化率敏感，过电流能力差	安全稳定性差，大面积推广应用受到限制
常规普通开关	节省空间，增大抗涌流和过电压能力	需要配置限流和限过电压等附件，增加一次系统的复杂度，降低了系统的可靠性，增加了成本	无法完全消除暂态扰动，应用存在一定风险
相控开关	过零点投切，可增大分组容量，改善无功设备运行环境，智能、节能、安全且可靠	由于相控的特殊，突破常规开关设计，空间高度比普通开关高一些	适用于频繁投切，故障率低，免维护，从根本上解决电容器投切暂态，应用性较好

关键词/Keywords

相控开关·
无功补偿·

从表1可以看出,采用相控开关技术优势显著。

2 相控开关技术性分析

相控开关技术是近年来最新发展的技术。其工作原理是使机械开关的触头在需要的时刻准确地闭合或打开。对于控制电容器的同步开关,就是要在开关触头两端电压为零的时刻闭合,从而实现电容器的无涌流投入,在电流为零的时刻打开,从而实现开关触头的无电弧分断。基于永磁机构的相控开关技术不仅动作时间稳定准确,而且适用于频繁投切场所。由于相控开关相比交流接触器、普通开关及复合开关更节能、更安全可靠,且相控开关应用了微机技术,不仅能通过RS 485等通信控制方式对电容器进行控制,还具备通信功能,可将石化现场的电测量信号等信息数据实时发送到上一级变电所。

通常石化企业10（6）kV无功补偿传统的解决方法是采用普通开关柜随机投切,并采用固定电抗器、安装 $R-C$ 阻容吸收设备、后备氧化锌避雷器(MOA)、预插电阻及“大马拉小车”等方法来削弱分合闸的电磁暂态现象。以上均是采用抑制和“避开”措施以提高设备的耐受电压水平来防止投切时的暂态危害,并没有从根本上解决问题。应用相控技术来完成电容器组、电抗器等的投切操作,是充分利用了电容器电压和电抗器电流不能突变的原理,控制开关在电流或电压最有利的相位完成分合闸,可以大幅减小合闸操作的暂态过电压和涌流,同时消除分闸重燃现象,实现无冲击的平滑过渡,有效地削弱甚至消除瞬间电磁效应。

3 并联电容器相控投切原理分析

相控开关投切原理是通过控制相控开关分合闸时电压或电流的初相角,即控制开关在电压或电流最有利的相位完成合闸和分闸,主动消除开关操作时所产生的涌流和过电压等暂态冲击,从而达到提高电能质量、延长设备使用寿命和检修周期的目的。考虑开关各相机构的预期动作时间,在合适的电压或电流相位角度,延时合适的

时间分别发出分相操作指令,以期在目标相位完成开关的关合或开断。

下面以10（6）kV中性点不接地系统电容器组的合闸操作为例,阐述相控操作的原理。图1、图2分别为常规合闸、相控合闸的波形对比。

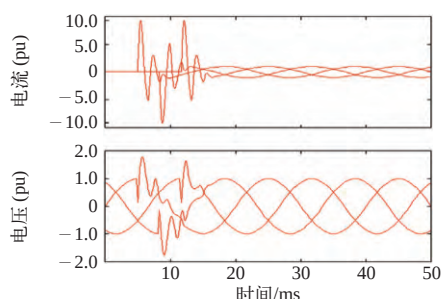


图1 常规合闸操作

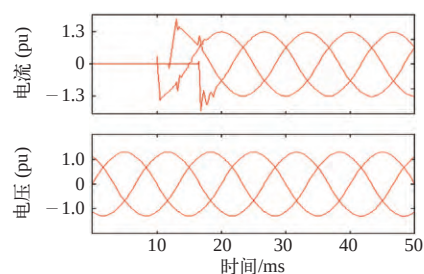


图2 相控合闸操作

3.1 石化企业无功补偿电容器组相控投切的目的是消除暂态过程

石化企业中的电容器组有中性点接地、中性点不接地和三角形联结的接线方式,开关各相电压的过零时刻不同,要实现相控投切应有不同的投切策略。系统中无功补偿电容器组的接线方式如图3所示,石化企业变电所通常为星形中性点不接地方式。

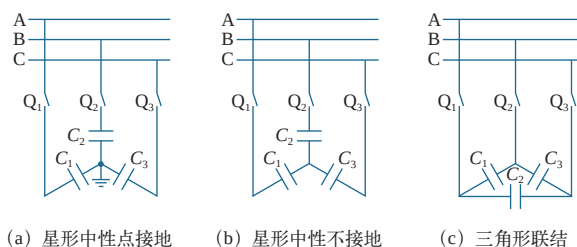


图3 电容器组连接方式

3.2 相控投切技术在10（6）kV中性点不接地系统电容器组的合闸操作时控制原理分析

中性点不接地电容器组关合时,首合相电容

器在投入系统时不能形成回路，不会产生开关暂态过程，因此采用首合两相分开合策略，即选择首合相在该相电压零点时刻关合；对于第二合相，应在该相电压与首合相电压相等时投入，从而首合两相补偿电容器组的投入只受第二相开关关合相位误差的影响。中性点不接地三相电容器组同步关合时参考电压可以选择相电压或线电压，从而具有不同的关合时序。参考电压为线电压 U_{AB} 时，三相电容器组同步关合时序，如图4所示。从图4中可知，三相电容器组的关合顺序为A—C—B。对于参考电压 U_{AB} 的零点，三相关合相位分别滞后 30° 、 60° 和 150° 。

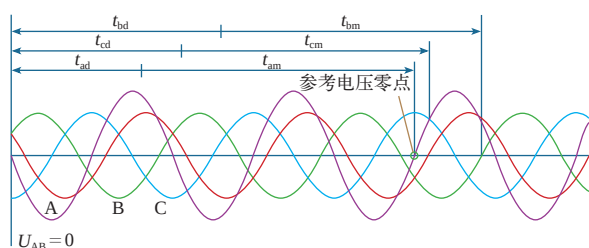


图4 参考电压为线电压 U_{AB} 时，三相电容器组同步关合时序图

3.3 相控投切技术在进行10（6）kV 中性点不接地系统电容器组的分闸操作时控制原理分析

从交流电路理论得知，系统的电容电流总是超前电容电压 90° ，即电容电压峰值时刻，对应电容电流过零时刻。因此在电容器组相控切除时选择电压信号为参考信号，那么参考电压过零与电容开断时电流零点之间具有固定关系，对于中性点和三角形联结的补偿电容器组相控切除与单组电容器切除策略相同；对于中性点不接地补偿电容器组相控切除，采用先切除一相，延时 $1/4$ 周期后，同时切除后两相补偿电容器组的策略。参考电压为 U_A 、燃弧时间为5 ms 时，中性点不接地三相电容器组相控切除时序，如图5所示。从图5中可知，三相电容器组的相控切除顺序为A—B—C；对于参考电压零点相位，三相电流过零、电弧熄灭相位滞后为 90° 和 180° 。

4 智能相控开关在石化企业应用案例分析

某大型石化企业，35 kV区域变电所10 kV电

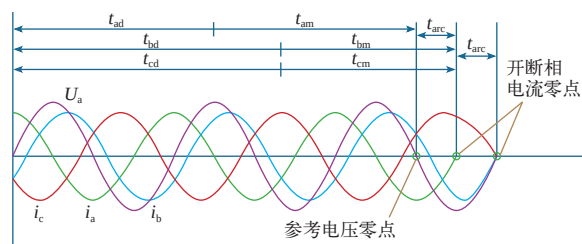


图5 参考电压为 U_A 时，中性点不接地电容器组相控切除时序

容器投切：相控投切电容器试验地点选在该变电所10 kV电容器室内，该变电所装有2台35/10 kV主变压器，单台容量20 MV·A。电容器安装在10 kV系统上，额定容量为2 500 kvar；电容器为三相分体式，开关采用普通真空开关DL-1和相控开关DL-2串联的方式，电容器接有电抗率为5%串联干式空心电抗器。在试验过程中先将DL-2开关在电容器投切过程中始终处于合位，用DL-1开关投切电容器5次，再将DL-1开关在电容器投切过程中始终处于合位，用DL-2相控开关投切电容器5次，完成电容器投切效果对比试验。电容器高压端三相对地电压，接入电容分压器测量；断路器三相电流，在电流互感器二次侧测量；电容器组中性点对地电压，接入电容分压器测量，测量结果如表2所示。

从表2可以分析：采用普通开关DL-1关合电容器时产生涌流最大可达到额定电流的4.32倍，过电压最大可达1.60倍；采用相控开关DL-2关合电容器时的涌流抑制在1.12倍以内，过电压抑制在1.11倍以内，涌流和过电压抑制效果明显。同时，从上述数据可以看出使用相控开关开断电容器时产生的过电压略小于非相控开关，且开断电容器试验过程中两种断路器均未发生重击穿现象，满足投切电容所使用的断路器要求。

5 结束语

智能相控开关能够提高电能质量、供电可靠性、设备的使用寿命和延长设备的检修周期，有效提升设备的利用效率。国家电网公司颁布的《智能高压一次设备技术导则》中提出了智能开关的一个重要功能是具有选相操作功能。智能相

表2 某大型石化企业区域变电所10 kV电容器投切试验结果（最大值）

开关编号	开关合闸涌流倍数				电容器过电压倍数			分闸时中性点电压倍数
	A	B	C		A	B	C	
DL-1	3.52	3.94	4.32	合闸	1.60	1.45	1.48	0.45
				分闸	1.44	1.42	1.47	
DL-2	1.12	1.11	1.06	合闸	1.11	1.04	1.02	0.39
				分闸	1.1	1.13	1.14	

控断路器整合相控技术，可以有效地抑制非线性负载的合闸涌流、消除分闸重燃和过电压等电网扰动，加强电网设备安全运行和提高电能质量。同时，通过对开关操作机构的主动监视，降低中压开关设备的停电检修次数，对提高电网供电可靠性和管理信息化水平有显著的经济和社会效益。将智能相控开关引入石化企业变电所无功补偿投切控制，完全符合现代智能化变电站的发展理念。相控开关是推动石化电气技术发展的一项重要技术，对保障中压电网的安全、可靠及经济

运行等各方面都具有重要的意义。

参考文献

- [1] 段雄英, 邹积岩, 方春恩, 等. 相控真空开关同步关合电容器组控制策略及其实现 [J]. 大连理工大学学报, 2003, 43 (4): 457-460.
- [2] 苏方春, 陈晓宁. 同步关合技术及其在并联电容器组投切中的应用 [J]. 高压电器, 1997, 34 (5): 38-40.

(收稿日期: 2017-05-30) EA

广告 | AD



Weidmüller

魏德米勒Energy Meter电力参数测量仪 —— 高效透明的生产电能监测

魏德米勒Energy Meter电力参数测量仪不仅能监测电能的消耗，它还能监测电能质量的基本参数和分析来自不同导体的电流的细微差别，使电力行业用户能够快速地了解生产设备中电能参数的变化情况，保证其稳定和高效地使用。具有综合功能的Energy Meter电力参数测量仪使您可以将生产点的能源网络分块测量，尽可能精确地进行监测，配备有一体的液晶显示屏，重要的监测数据如电压、电流、功率和能耗都能一目了然。

扫一扫，关注魏德米勒官方微信



Let's connect.

魏德米勒电联接(上海)有限公司
电话: 86 21-22195008 网址: www.weidmueller.com.cn