

[控制系统]

中压无功设备相控投切技术在变电站的应用

文/国网南京供电公司 王 弢 陈冰冰
国网湖北省电力公司 李红兵

中压电力电容器在投切过程中产生的涌流和过电压等电磁暂态严重影响了系统和设备的运行安全，传统开关暂态的抑制方法存在诸多弊端。介绍了中压无功设备相控投切技术及其在某变电站无功补偿回路中的典型应用，通过控制中压电容器的投切相位，可以有效提高开关开断能力和抑制开关投切暂态冲击。

中压电力电容器组作为变电站重要的无功设备，其不仅投切频繁且投切过程中普遍存在涌流和操作过电压，由其导致的问题比较突出，因此，迫切需要一种新的方法彻底解决上述问题。

本文结合南京某变电站应用中压无功设备相控投切技术的实例，介绍了一种基于中压无功设备相控投切技术的相控开关系统，该系统能够实现对中压无功设备进行选相投切，提高开关开断能力和抑制开关投切暂态冲击等。

中压无功设备投切现状

电力电容器合闸操作时会引起涌流。涌流产生的原因是：电容器投入电网时，因回路电压不能跃变，瞬间相当于短路，因此产生过渡性电流——涌流。涌流最大可达20倍额定电流。

电力电容器分闸操作时会引起过电压。过电压产生的原因是：电容器退出电网时，断路器主触头断开后，电容器、串联电抗器与对地杂散形成一个高压振荡回路，与另一侧的电网工频电源形成一个高频脉冲电势差。主触头开距小，触头间耐压不充分时将发生电弧重燃，产生重燃过电压。母线过电压最大可达2.5倍额定电压，电容器端过电压最大可达3~5倍额定电压。

随着电网建设规模不断扩大，中压电容器、

电抗器应用越来越多，单组容量也越来越大，无功投切问题近年也越来越突出。通过对国网某省中压10 kV电容器组、电抗器组等非线性负载投切现状调研，用常规断路器在投切电容器时，存在电容器、电抗器及投切开关检修频繁，无功设备使用寿命缩短，投切失败，电容器故障，开关重燃及爆炸，引发母线停电等问题。

以电容器组为例，国网某省电力公司2015年该省已投运中压电容器缺陷有242台，电容器本体绝缘损坏及熔断器熔断缺陷合计约占15%，其中电容器主绝缘击穿缺陷15台次，占6.2%；熔断器熔断17台次，占7.0%，是导致电容器组设备严重损坏无法投运的最主要的两个原因。二次装置缺陷占6%，主要问题是断路器控制回路中的交流接触器消弧能力低，导致分合线圈烧毁，普通开关投切振动大（尤其是固定柜），断路器机构线圈松动，接线脱落，引发二次装置故障等。此外，因为过电压和过电流会导致电容器鼓肚、变形、温升，也可能容易引发电容器本体渗漏油。在电容器缺陷统计中，由电容器投切过程中涌流和过电压直接导致的主绝缘击穿和熔断器熔断缺陷占13.2%，间接引起的电容器本体渗漏油和二次装置故障缺陷占19%，共计占比32.2%。

上述数据可以看出电网中压无功设备投切存

在问题较为普遍，约占故障的1/3。因此电网工程有必要采取一定优化措施，解决上述中压无功投切带来的问题。

中压无功设备相控投切技术介绍

1. 基本原理

中压无功设备相控投切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。

中压无功设备相控投切技术原理示意图如图1所示。

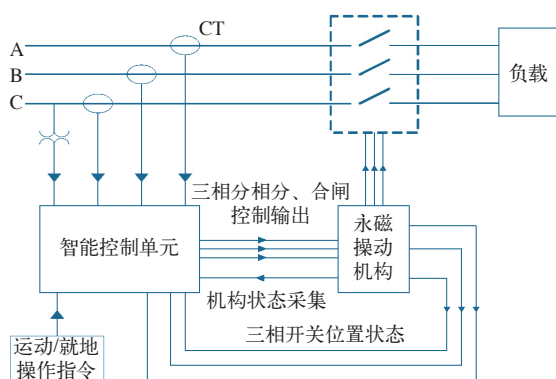


图1 中压无功设备相控投切技术原理示意图

中压无功设备相控投切技术的核心设备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，从而抑制电容器组、电抗器组等无功设备投切过程中产生的涌流和操作过电压。

2. 技术特点

1) 断路器操作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 $\pm 0.5\text{ ms}$ ，确保相控技术精确执行。

2) 智能控制单元采用“硬件FIR数字带通滤波”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) 中压智能相控断路器具有完善的在线自检功能，操作机构、断路器控制回路、开关柜等状态通过IEC61850等通信规约实时上传至监控系统。

5) 具备保护、相控、测量、计量、监视等功

能于一体，简化二次回路设计。

3. 技术效益及指标

中压智能相控断路器投切电容器组相比常规断路器而言，带来了诸多效益，如提高了开关投切可靠性，提升了系统运行安全、减少了暂态谐波，提高了电能质量，延长了设备检修周期，减少了运维工作量，等等。

技术指标如表1所示。

表1 技术指标

名 称	技术参数值
相控投切角度控制精度	$\leq \pm 10^\circ$
断路器动作时间离散性	$\leq \pm 0.5\text{ ms}$
智能控制单元控制精度	$\leq \pm 1^\circ$
断路器操作方式	三相分相
断路器位置操作联锁方式	机械方式
断路器机构分合闸指示标志	按相独立配置
相控组件与永磁驱动组件连接方式	光纤或一体化设计
永磁机构动作行程监视功能	具备
分合闸线圈通断在线监视功能	具备
紧急分闸方式	电动/机械
断路器动作录波容量及次数	>100次， 每次录波时间 $\geq 2\text{ s}$
断路器永磁机构状态量的采样率	$\geq 16\text{ 000点/s}$

中压无功设备相控投切技术的应用

1. 方案实施

为检验中压无功设备相控投切技术应用效果，选择将南京某110 kV变电站作为试验站。通过在试验站10 kV开关室的备用间隔增加相控断路器柜及电缆进线柜，以实现第I段母线上的#2电容器进行相控投切试验和挂网试运行，从而获取该技术应用的相关试验及运行数据。

试验站10 kV开关室的备用间隔增加相控断路器柜及电缆进线柜，两柜主母排连接。增加的电缆进线柜作为相控断路器柜的电缆进线柜，拆除原10 kV#2电容器1R2断路器柜电缆并转接到相控断路器柜1R2Z出线端，原10 kV#2电容器1R2断路器柜出线端与新增的电缆进线柜通过电缆连接，2个开关柜串联运行，原10 kV#2电容器1R2断路器柜上的电容器保护装置仍然投入使用，新增的相控断路器柜取代原1R2断路器柜对电容器进行相控投切。2个开关柜相互独立，互不影响，本回路故障由原1R2断路器柜保护实现。

2. 对比试验及数据

对比论证试验于2015年12月1日进行,试验开关是由1R2开关(常规)和相控开关1R2Z串联组成,在试验过程中先让相控开关1R2Z始终处于合位,用1R2开关(常规)投切电容器5次。之后再让1R2开关始终处于合位,用相控开关1R2Z投切电容器5次,完成电容器投切效果对比试验。对比试验方案示意图如图2所示。

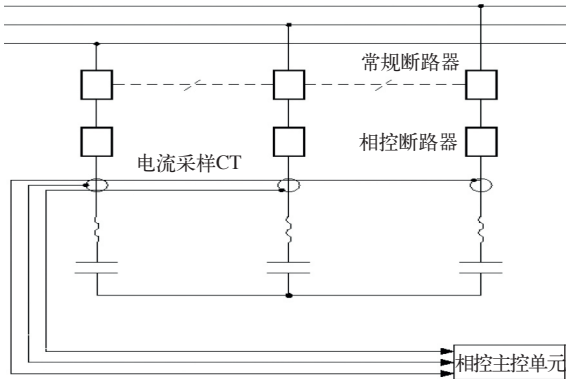


图2 对比试验方案示意图

现场#2电容器组(6 012 kvar)额定电流为315.6 A, CT流变比为600:5,装置采集到的二次侧电流为有效值为3.04 A,峰值电流4.29 A。

1) 1R2开关进行了5次投切,每次投切间隔是5 min。录波数据如表2所示。

表2 1R2开关投切录波数据

	A相合闸涌流 / (A/ p.u.)	B相合闸涌流 / (A/ p.u.)	C相合闸涌流 / (A/ p.u.)
1	14.310/3.34	4.627/1.08	10.677/2.49
2	-8.628/2.01	-11.078/2.58	15.976/3.72
3	10.840/2.53	13.871/3.23	-12.114/2.83
4	7.846/1.83	-10.675/2.49	-15.352/3.58
5	10.285/2.40	13.425/3.13	-13.6/3.17
最大值	14.310/3.34	13.871/3.23	15.976/3.72

2) 相控开关1R2Z进行4次投切,最后一次没有进行分闸,每次投切间隔是5 min,录波数据如表3所示。

表3 1R2Z相控开关投切录波数据

	A相合闸涌流 / (A/ p.u.)	B相合闸涌流 / (A/ p.u.)	C相合闸涌流 / (A/ p.u.)
1	-6.561/1.53	-6.361/1.48	-5.255/1.23
2	6.510/1.52	6.303/1.47	5.304/1.24
3	6.538/1.52	6.247/1.45	5.302/1.24
4	-6.613/1.54	-6.260/1.46	-4.946/1.15
最大值	-6.613/1.54	-6.361/1.48	5.304/1.24

3) 10 kV母线#2电容器组投切试验数据对比

(四舍五入)如表4所示。

表4 10 kV母线#2电容器组投切试验数据对比

开关编号	合闸涌流 (p.u.)		
	A相	B相	C相
常规1R2	3.3	3.2	3.7
相控1R2Z	1.5	1.4	1.2

从上述试验结果分析得出:采用常规断路器(1R2)关合电容器时产生涌流最大可达到额定电流的3.7 p.u.,而采用相控断路器关合电容器时的涌流可以控制在1.5 p.u.。试验数据论证了中压无功设备相控投切技术的应用,对中压无功电容器组的合闸涌流抑制效果相当明显。

相控断路器(1R2Z)在分闸过程中,由于可以控制断路器分闸的燃弧时间,确保在第一个交流电弧过零点时刻,断路器主触头的开距足够大,从而彻底消除断路器重燃现象。

此外,由于对比试验的两种断路器投运时间不长,均为新设备。几次投切试验过程中均没有发生分闸重燃,过电压均不明显,短期试运行无法明显区分两者在开断电容器组时的应用效果。电容器组的合闸涌流对真空灭弧室触头烧蚀及绝缘损坏具有累积效应,设备运行时间久了之后,常规投切方式容易导致分闸重燃的现象,而相控投切技术极大地改善了无功及其投切设备的运行环境,则可保证不会发生重燃。

结束语

中压无功设备相控投切技术融合了继电保护、相控技术、永磁开关等多项技术,将传统的一、二次部分有机地整合在一起,使得中压开关设备具备运行、控制、监视及保护功能兼为一整体,符合智能电网一次设备智能化设计要求。结合某变电站实际应用情况,总结其主要特点为:

1) 应用该技术解决了中压无功设备投切涌流、过电压等问题,减少无功设备冲击,改善设备使用环境,延长了设备的使用寿命。

2) 应用该技术可提高无功设备投切电能质量,稳定系统电压,降低系统扰动,加强了电网安全。

3) 应用该技术实现了开关设备机械特性在线监测,提前预警开关状态,并通过以太网上传至监控系统,达到免人工维护的目的。**EA**

(收稿日期:2016.06.10)

(编辑:杨得润)