

[变电站]

山东电网无功电压紧急协调控制系统研究

文/南京南瑞继保电气有限公司 何学东 徐柯 戴如虎 曹更新 王凯

利用变电站已有的电容器、电抗器等无功元件，构建山东首套区域无功电压紧急协调控制系统，解决直流换相失败或者闭锁后的电压问题。该系统采用主站、子站和执行站集中式控制结构，协调控制主站通过与AVC主站、换流站子站通信，判断出故障后，通过光纤通信下发动作指令，合理投切相关变电站的低容低抗。

随着大容量特高压直流逐步投运，特高压电网建设初期“强直弱交”特性日益凸显，交直流交互影响加剧，特别是多馈入电网交流故障可能导致多回直流同时换相失败，对送受端系统造成巨大的短时功率冲击，引起特高压联络线较大功率波动，威胁到特高压交直流混联电网的安全稳定运行。鲁固、昭沂和银东等多直流馈入山东后，山东电网特别是东部地区发生电压稳定破坏的风险大幅增加，采取各种控制措施提升电网电压稳定性，已成当务之急。

在提升电网电压稳定性的方法中，应该优先利用电网当前已有的无功控制资源，通过紧急协调控制等方法发挥其作用。目前，电网已经具有的无功控制资源包括以下几点。

1) 变电站内可以投切的低压电容器、电抗器。电网在负荷高峰时刻，仍有数量较多的电容器处于备用状态，通过快速投切电容器、电抗器，发挥其在电压紧急控制中的作用，具有较好的技术经济优势。

2) 直流输电换流站内安装的高压电容器和滤波器，以及大容量调相机。这些设备原来的目的是保证直流输电系统的安全稳定运行，通过协调控制等技术手段，也可以发挥对整个电网电压稳

定性的作用。

3) 考虑到新能源电力电子变流器也有无功电压控制能力，也可以作为无功电压控制的资源。

山东电网电压稳定问题分析

1. 电压稳定问题原因综述

三回直流馈入山东，新能源出力占比增加，因机组置换效应，山东电网内部火电机组开机减少，电网短路容量小，电压支撑力量薄弱。大扰动情况下，常规电源强励作用可提供动态无功支撑，而直流会短时从系统吸收无功，严重影响系统暂态电压稳定性。经计算，在恶劣方式下，1 000 kV河泉双线或泉乐双线N-2故障时会导致山东电网电压崩溃，其根本原因是电网电压支撑力量薄弱，无法承受大故障导致的低电压，进而导致直流发生连续换相失败后闭锁，并最终导致山东电网电压崩溃。

各电站的低容低抗对附近电压具有重要影响，而目前多由AVC控制或由调度或运行人员手动投切，仅能实现近区电压较长时间的缓慢调节，无法满足短时严重故障下迫切的无功需求。

2. 电压稳定问题常规解决方案

针对山东电网电压稳定问题，常规解决方案

有方式预控、增加动态无功补偿设备等,但这两种方案都存在一定的弊端,现分析如下。

(1) 方式预控

若不改变电网结构以及元件参数,为了规避特定故障下的电网电压稳定风险,需要对山东电网运行方式进行预控,包括预控重要断面潮流、开机方式及直流功率等。但方式预控存在诸多弊端:①无法充分利用特高压交直流输电线路输电能力;②无法充分利用各断面潮流的输电能力;③解决大范围潮流转移造成的电压恢复问题能力有限④不利于新能源消纳。

方式预控是在现有资源条件不变的情况下,通过牺牲电网的经济性,保证电网的稳定性,是不具备更好措施的权宜之计,不能作为最终解决问题的方案。

(2) 增加动态无功补偿设备

增加无功补偿设备,如调相机、FACTS设备等,也是解决电压稳定问题的常规方案。但这种方案也存在一定的弊端:①单点设备难以解决大范围的电压稳定问题。山东电网电压稳定问题具有全局性、整体性,需要电网电压稳定性的整体提升,或者采用分布式的动态无功补偿措施;②性价比低。调相机与FACTS设备投资较大,且只在电网发生故障后发挥作用,投资收益比较低;③电压稳定风险存在局部发生,快速蔓延的特点,若低电压已经快速蔓延,个别站点的调相机与FACTS设备都将无法解决大面积的低电压问题。

无功电压紧急协调控制系统

1. 无功电压紧急控制系统简述

本项目主要考虑在换流站及部分500 kV、220 kV的变电站新增一套无功电压紧急控制装置,各站之间采用光纤通信的方式形成一套无功电压紧急协调控制系统。当换流站的装置判断出直流换相失败或者闭锁后,发送投切低容低抗的指令给下属各变电站,从而实现电压的稳定。

从某个站端看,与常规电容器、电抗器投切无异,但是从整体上看,无功电压紧急控制系统可以作为一个分散、准连续控制的动态无功补偿设备,根据故障信息以及实时电压,动态投切电容电抗器,实现无功动态补偿。

该方案具有三个突出的优点,一是分布式解决方案;二是快速控制;三是投资小,见效快。

2. 无功电压紧急协调控制系统选址定容研究

依据选址定容原则,分别从稳态电压、暂态电压两个方面进行分析,遴选出经济有效的布局站点,提出切实可行的选址定容方案,充分发挥无功电压紧急协调控制系统的作用。

(1) 选址定容原则

1) 具备足够的控制量。考虑控制效果以及正常运行时的裕度,无功电压紧急协调控制系统需配置足够的可控制量。

2) 直接作用于病灶,在稳态和暂态过程中的电压薄弱点选取站点。电压稳定存在局部崩溃,快速蔓延的特点,在电压最低的几个站点,快速提供无功支撑,可以极大地改善全网的电压稳定性。

3) 不选择与电厂直连或者近区的厂站。电厂近区无功支撑相对充足,考虑投资的经济性,以及投切电容电抗器效果,没有必要在电厂近区配置站点。

4) 不选择与换流站电气距离过远的厂站。山东电网电压问题原因复杂,与全网开机容量、直流换相失败、大范围潮流转移、负荷特性和无功补偿设备特性等都有关系,但其主要原因依然是直流换流站引起的。为解决这一电压稳定问题,需要在故障后对直流换流站紧急提供大量无功支撑,电气距离较远的厂站对换流站的无功支撑能力有限,因此需要在换流站近区站点配置无功电压紧急协调控制系统。

5) 在选定的站点配置可投切的电容电抗器。纳入无功电压紧急协调控制系统的站点应具备适当容量的可投切电容、电抗器,并便于工程实施。

(2) 稳态电压分析

短路电流和投切电容器对换流站电压影响如下。

1) 短路电流。通过对换流站短路电流分析,银东直流胶东换短路容量较大,动态无功支撑较充足,近区电压水平较高,而鲁固直流广固换与昭沂直流沂南换短路容量较小,动态无功支撑薄弱,近区电压水平较低,应当着重控制广固换与沂南换近区的低容低抗。

2) 在220 kV变电站投切电容器对换流站电压的影响如下表所示。

(3) 暂态电压分析

由泉乐双线N-2故障山东220 kV交流母线电压曲线(无措施)可得,故障后鲁安东站、鲁安丘站和鲁八一站等变电站电压水平相对更低,恢

表 在220 kV变电站投切电容器1(pu)对换流站电压影响
(1pu = 100 MV·A)

换流站电压	沂南换	广固换	胶东换
沂水	1.09	0.3	0.49
孙祖	1.11	0.31	0.49
阳都	1.05	0.3	0.47
郑家	0.34	1.2	0.53
青州	0.35	1.25	0.55
黄楼	0.34	1.15	0.52
上程	0.43	0.44	1.12
胶州	0.42	0.42	1.09
高密	0.46	0.46	1.24

复速度更慢,而这些站点均在鲁固直流、昭沂直流落点附近,即广固换与临沂换近区电压水平较低,因而要优先选择投切直流落点附近的低容低抗设备。

(4) 选址定容方案

综合稳态、暂态电压分析,结合大量应用效果计算,考虑一定裕度,山东无功电压紧急协调控制工程选点方案为:青岛、临沂和潍坊三个地

区220 kV及近区500 kV变电站。仿真结果表明,投切电容电抗器可有效解决电压失稳问题。

选点站电容器和电抗器容量如下:①500 kV电抗器总容量2 100 Mvar,电容器总容量2 940 Mvar,典型潮流下可投切电容器和电抗器总容量2 520 Mvar;②220 kV电容器总容量1 400 Mvar,典型潮流下可投电容器总容量1 190 Mvar。

3. 无功电压紧急协调控制系统方案

(1) 无功电压紧急协调控制系统架构

结合现有控制装置成熟设计,山东无功电压紧急协调控制系统采用主站、子站和执行站集中式控制结构,站间采用2Mbit/s通道直接通信。在正常控制模式下,子站将本站采集的电容器和电抗器信息上送到协调控制主站,协调控制主站根据故障情况、电压情况采取投切本区域内电容电抗措施。

山东无功电压紧急协调控制系统结构图如图1所示。

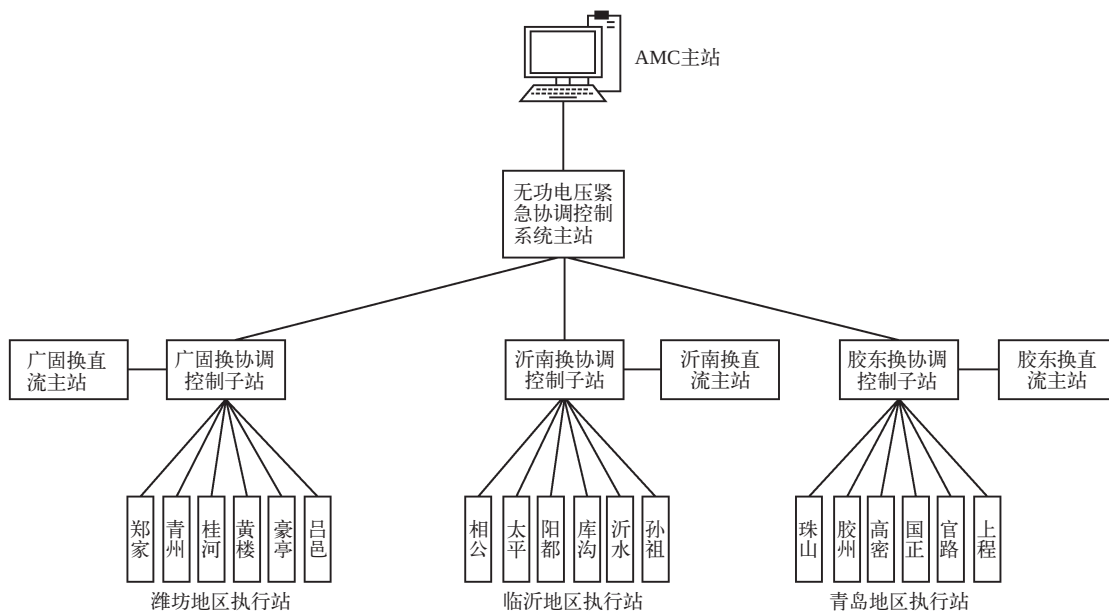


图1 无功电压紧急协调控制系统结构图

系统主要设备的功能如下:

1) 协调控制主站的具体功能:①接收AVC主站的系统运行方式和各类故障情况下无功控制容量;②接收沂南换、广固换、胶东换子站直流运行及故障信息;③按照预定控制策略,向各子站发送无功调制容量命令。

2) 协调控制子站的具体功能:①向协调控制主站发送直流运行及故障信息,接收并执行协调控制主站无功调制容量命令;②接收换流站直流主站

直流运行及故障信息;③接收各执行站电容器和电抗器运行信息,故障时向各执行站发送投切电容器和电抗器命令;④当换流站母线过电压或欠电压达到动作定值时,根据预定方案投切本站电容器和电抗器。

3) 执行站具体功能:①上送本站电容器和电抗器运行状态信息至上级控制站,接收并执行上级控制站投切电容器和电抗器命令;②当本站母线过电压或低电压达到动作定值时,根据预定方

案投切本站电容器和电抗器。

(2) 无功电压紧急协调控制逻辑

主站投切策略基于直流换相失败或者闭锁信号，结合本站电压启动投切；根据事故前主站接收AVC主站下发的相关站点短路容量信息、换流站采集电压以及设置的电压控制目标定值，计算换流站无功需求量，一次性采取投切电容电抗器措施。具体控制逻辑如图2所示。

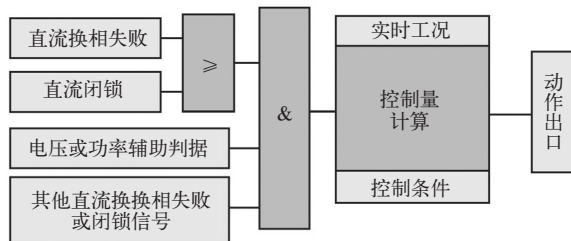


图2 退电抗投电容控制逻辑图

图2所示为欠电压情况下退电抗投电容的策略，当动态无功支撑后，若系统电压偏高，且无直流换相失败或者闭锁信号时，起动电容器退出或者电抗器投入策略，具体控制逻辑如图3所示。

以沂南换控制主站为例，当主站装置功能投入时，如果判断出直流闭锁或者直流换相失败，同时本地主变高压侧电压满足开放投切电容电抗

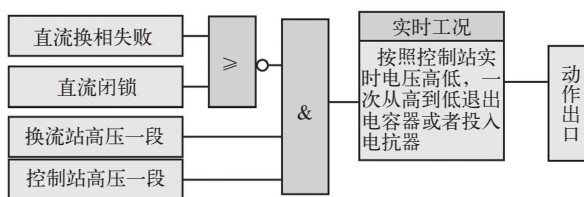


图3 退电容投电抗控制逻辑图

功能，则无功控制装置动作。当沂南换控制主站装置动作时，会投切站内允许功能投入的电容电抗，同时将命令发送至控制执行站，执行站接收到沂南主站的投切命令，如果站内的母线高压侧电压满足开放投切功能，则对允许功能投入的电容电抗器进行投切控制。

结束语

本项目紧密结合我国电网发展实际，基于已有的电容电抗器投切应用，构建山东电网无功电压紧急协调控制系统，给出了问题分析、系统方案和控制策略等，结果表明，基于电容器、电抗器快速投切的无功电压紧急系统控制系统可以在电网故障期间为电压提供紧急支撑，显著增强电压稳定性，保证电网的安全运行，从而产生很大的社会效益和经济效益。EA

(收稿日期：2020.07.23)

(编辑：朱金凤)

声明

《电气时代》杂志唯一投稿渠道

登录电气时代官网www.eage.com.cn，点击“我要投稿”

咨询电话：68993981