

大比例受电情景下天津电网电压稳定性研究

随着外受电容量日益增大,受端地区机组增加速度放缓,负荷中心地区日益缺乏动态无功支撑,电压稳定性脆弱,因此电压稳定问题引起研究人员的密切关注。首先依次提高天津电网受电比例,寻找到电网电压最低区域(即电压稳定性薄弱区域),然后为了提高薄弱区域的电压稳定性,针对无功补偿装置不同安装地点、不同类型及不同容量进行了仿真计算,为天津电网动态无功配置研究提供了一种实用的方法。

李 慧 王学军/国网天津市电力公司

程临燕 李 哲 童 琴/中国电力工程顾问集团华北电力设计院有限公司

0 引言

天津地区经济发达,人口众多,系统负荷大且增长速度很快;同时天津地区地域狭小,一次能源资源严重匮乏,使得天津受端电网的规模不断扩大;随着《京津冀及周边地区落实大气污染防治行动计划实施细则》的具体实施,天津电网煤炭消费比重将降低,清洁能源得到大力发展,外受电比例进一步提高。根据天津地区“十二五”及“十三五”负荷预测结果,结合电源建设和机组关停对天津电网进行电力平衡计算,预计2017~2020年天津电网外受电比例逐年增大。随着外受电容量日益增大,受端地区机组增加速度放缓,负荷中心地区日益缺乏动态无功支撑,电压稳定性脆弱,因此电压稳定问题引起了研究人员的密切关注^[1-3]。国内各大电网都纷纷开展了电压稳定的研究工作:四川电网结合其2001~2002年运行特点,对电网的不同运行方式(包括丰水期大方式、丰水期小方式、枯水期大方式和枯水期小方式)进行稳态潮流分析、静态电

压稳定分析以及暂态稳定分析,研究四川电网在发生典型扰动时电网电压稳定水平^[4];广西电网针对2001年典型接线方式、典型负荷状态下的静态电压稳定性进行分析,指出了电网电压稳定薄弱接点和薄弱区域^[5]。天津电网利用PSD-VSAP软件对电网电压稳定裕度进行了全面分析,并从无功补偿变化、运行方式变化和结构变化的角度对电压稳定裕度的影响进行了敏感性分析^[6]。

本文首先依次提高天津电网受电比例,寻找到电网电压最低区域(即电压稳定性薄弱区域);然后为了提高薄弱区域的电压稳定性,针对无功补偿装置不同安装地点、不同类型及不同容量进行了仿真计算;最后提出合理的无功配置方案。

1 受电比例增大时,电网电压薄弱区域分析

随着外受电容量、比例日益增大,受端地区机组增加速度放缓,负荷中心地区日益缺乏动态无功支撑,电网大部分地区会出现电压降低的现象,同时电压降低程度、快慢往往不尽相同。

本文采取减少网内220 kV电网接入电厂开机的措施,逐步增加天津电网外送功率,达到提高外受电比例的目的,可以从冀北电网500 kV输电通道和特高压电网1 000 kV输电通道分别增加区外送电功率^[7]。考虑到特高压通道下降负荷更集中,增大该通道区外受电功率引起的供电电压下降问题更为突出,因此本文以增加特高压通道送电为例进行电压稳定性研究。



李 慧/高级工程师

关键词/Keywords

大比例受电·
电压稳定性·
STATCOM·
无功补偿·

天津电网电压水平与外受电比例关系如表1、图1所示。图表中均反映了在特高压送电通道逐步提高送电功率，使天津电网外受电比例从30%~50%依序变化的情况下，天津南特高压站及网内各枢纽500 kV变电站的母线电压变化趋势，限于篇幅，只列出下降比较剧烈的站点。从图表中还可以看出，系统各站各电压等级母线电压基本随外受电比例的提高而呈线性下降趋势。当区外受电比例达到50%时，天津南特高压站1 000 kV侧母线电压水平为1 008.3 kV，各500 kV变电站中电压最低点为吴庄的495.4 kV。另外从图1中曲线斜率可以看出，吴庄500 kV和天津南500 kV电压下降最为剧烈，因此吴庄天津南区域为天津电网的电压稳定性薄弱区域。

表1 天津电网电压水平与外受电比例关系

受电比例		30%	35%	40%	45%	50%
厂站						
天津南	1 000 kV	1 046.0	1 038.5	1 029.5	1 022.0	1 008.3
	500 kV	528.8	525.6	520.3	515.6	506.5
静海	500 kV	524.7	521.8	517.1	512.8	504.1
吴庄	500 kV	518.7	515.7	510.1	505.2	495.4
南蔡	500 kV	521.1	518.7	513.0	508.5	500.0
芦台	500 kV	523.0	521.5	515.5	511.1	502.5

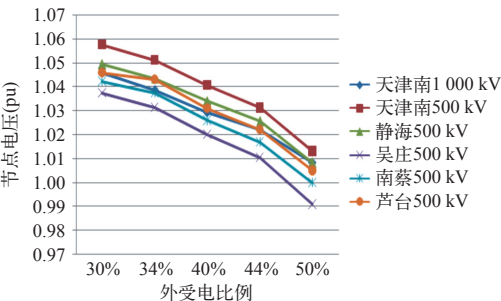


图1 天津电网电压水平与外受电比例关系

结合网架结构特点，天津南特高压站位于吴庄天津南区域的核心腹地，属于该区域的枢纽站点，本文将重点采取措施提高天津南特高压站的电压稳定性。

2 主要无功补偿模型参数

为了提高吴庄天津南区域的电压稳定性，需要加大无功电源投入。本文考虑在特高压站、

500 kV站加装无功补偿装置，由于传统机械式投切固定电容、电抗器的调压能力有限，SVC、STATCOM和UPFC等FACTS运用大功率电力电子开关器件响应迅速、调节平滑，代替传统的机械断路器后，大大提高了电网的可控性和调压能力。目前，中国SVC与STATCOM的开发与研制相对成熟，在电网中已有工程应用，而UPFC、SSSC等新型FACTS装置尚处于研究阶段。本文将重点研究SVC、STATCOM的配置。SVC、STATCOM两种动态无功补偿装置的模型均基于PSD-BPA程序构建。SVC模型由电压采样环节、延时环节、放大环节、电压限幅环节和逻辑环节等组成；STATCOM模型由电压采样环节、延时环节、比例积分环节和电压限幅环节等组成。SVC、STATCOM模型主要参数分别如表2、表3所示^[8-10]。

表2 SVC模型主要参数

参数	数值	参数	数值
SVC容量/Mvar	200	最大电压误差 (%)	0.22
采样时间常数 T_{S1} /s	0.05	电压误差 (%)	0.01
超前时间常数 T_{S2} 、 T_{S4} /s	0.05	最大导纳	2.00
滞后时间常数 T_{S3} 、 T_{S5} /s	0.05	最小导纳	-2.00
连续控制增益	1 000	触发时延/s	0.06

表3 STATCOM模型主要参数

参数	数值	参数	数值
STATCOM容量/Mvar	200	比例时间常数	0.01
采样时间常数 T_{S1} /s	0.02	比例放大倍数	1 000
超前时间常数 T_{S2} 、 T_{S4} /s	0.02	积分放大倍数	200
滞后时间常数 T_{S3} 、 T_{S5} /s	0.02	$V-I$ 特性曲线斜率	0
响应延迟	10	等效电抗	0.01

3 动态无功配置方案

动态无功补偿装置可以在系统故障后迅速注入无功功率提供电压支撑，提高电力系统的暂态稳定水平，装置的配置方案对其作用效果有很大的影响。针对无功补偿装置不同安装地点、不同类型及不同容量进行了仿真计算，最后提出合理的无功配置方案。

3.1 安装地点选择

在天津南特高压站及其附近的静海、板桥分

别装设200 Mvar的STATCOM。为突出反映动态无功补偿装置对特高压近区电网的电压改善效果, 本文重点考查故障后天津南特高压中压侧母线电压恢复情况。

研究考虑了多种故障形式, 包括北京东—天津南特高压线路单相瞬时故障、近区500 kV电网三相永久故障、主变压器故障、发电机失磁故障以及主变压器低压侧无功设备故障等。由于篇幅有限, 以下仅对一种小扰动(天津南特高压一组210 Mvar低容故障退出运行)和一种大扰动(北京东—天津南特高压线路单相瞬时故障)后特高压中压侧母线电压的恢复曲线进行分析, 如图2、图3所示。

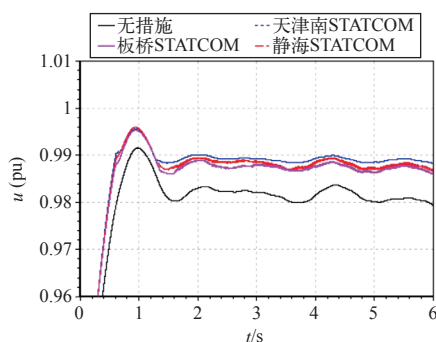


图2 一组低容退出运行, 不同站点装设STATCOM后天津南中压侧母线电压恢复曲线

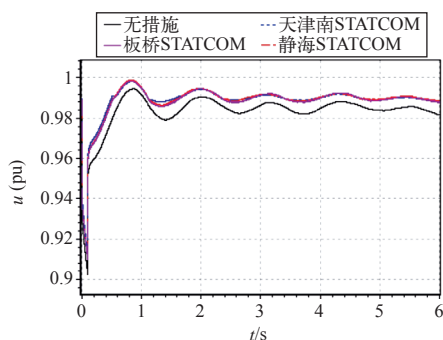


图3 北京东—天津南线路单相故障, 不同站点装设STATCOM后天津南中压侧母线电压恢复曲线

从图2可以看出, 在低容故障退出运行的情况下, 装设动态无功补偿装置对改善电压稳定水平有较好的效果, 且在不同站点加装, 改善效果有所区别: 在天津南特高压站装设的方案效果最为明显, 在静海装设效果其次且与天津南效果相差不多, 在板桥站装设效果相对较差。静海、板桥均是天津南特高压站有着直接电气联系的站

点, 但是装设效果却不尽相同, 经过分析, 静海站距离天津南特高压站的距离为30 km, 而板桥站距离天津南特高压站的距离为50 km, 这是造成补偿效果存在差别的主要原因。

从图3可以看出, 在特高压线路单相瞬时故障下, 各装设方案效果差异不显著, 经过分析, 北京东—天津南1 000 kV线路全长207 km, 当该线路潮流达到5 600 MW时, 线路吸收无功约2 900 Mvar, 各站点仅装设200 Mvar动态无功补偿装置, 相对特高压线路吸收的无功及故障后的无功波动, 该容量过小。

经过上述仿真计算分析, 为了改善天津南故障后母线恢复电压, 可在天津南或者静海站装设STATCOM。目前, SVC与STATCOM最高直挂电压等级为66 kV, 天津南特高压站低压侧母线为110 kV, 动态无功设备尚无法直接应用于特高压电网, 若采用升压变压器引接的形式, 投资势必增加。静海为已有站点, 目前低压电容补偿容量为180 Mvar, 可利用现有低压设备位置实施拆除改造, 原低压设备区域场地较大, 无须新增用地, 可装设动态无功补偿装置。

综合考虑设备制造能力及工程实际情况, 建议在静海站装设动态无功补偿装置。

3.2 装置类型比选

在静海站分别装设同容量的SVC与STATCOM, 天津南特高压站低容故障退出运行后, 监视特高压站点的电压变化曲线如图4所示。

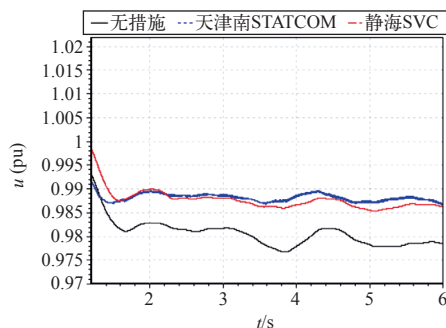


图4 一组低容退出后, 静海站装设不同类型补偿装置天津南特高压母线电压恢复曲线

从图4可以看出, 装设SVC与STATCOM对改

善电压特性均有较好的效果。由于STATCOM采用GTO、IGBT等自关断电力电子器件,相比SVC,STATCOM响应时间更短,对电压的支撑能力更强,能够更快地补充无功缺额,致使暂态电压波动更小,同时稳态电压亦能恢复到更高的水平。

3.3 装设容量分析

静海站装设STATCOM容量的确定,需要从改善天津南故障后恢复电压效果和经济性两方面综合考虑。

在静海装设容量分别为100 Mvar、150 Mvar、200 Mvar、250 Mvar和300 Mvar的STATCOM,监视天津南特高压低容故障退出运行后特高压中压侧母线的电压恢复曲线如图5所示。

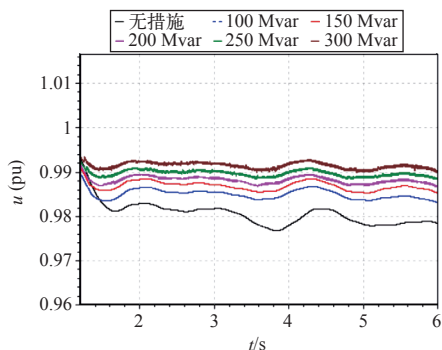


图5 一组低容退出后,静海站装设不同容量STATCOM天津南特高压母线电压恢复曲线

由仿真可知,不同容量的动态无功补偿装置装设效果存在一定差异,当装置容量从0提升至150 Mvar时,装置容量的提升对电压改善效果较为明显;当装置容量超过150 Mvar后,装置容量的提升对电压改善效果相对较弱。同时随着装设STATCOM容量的增大,设备投资、场地扩建也相应增大,所以静海站最终STATCOM容量的确定需要综合分析考虑。

4 结束语

1) 随着受电比例、容量的增大,比较天津电网枢纽站的母线电压下降情况,确定吴庄天津南区域为天津电网的电压稳定性薄弱区域。

2) 在天津南特高压站加装动态无功补偿装置,对小扰动后天津南中压母线电压稳定改善效

果最优,静海站效果其次。结合工程实际情况,建议在静海站装设动态无功补偿装置。

3) 装设SVC或STATCOM,对电压稳定改善效果明显。STATCOM响应速度更快,输出更为平滑,STATCOM改善效果优于同容量SVC。

4) 随着装置容量的增大,电压改善效果较为明显,当装置容量超过一定值后,装置容量的提升对电压改善效果相对较弱。同时随着装设STATCOM容量的增大,设备投资、场地扩建也相应增大,所以最终STATCOM容量的确定需要综合分析考虑。

参考文献

- [1] 黄志龙. 华东大受端电网安全稳定分析研究思路[J]. 华东电力, 2007, 35(5): 40-43.
- [2] 武寒, 祝瑞金. 华东大受端电网电压稳定性研究之我见[J]. 华东电力, 2006, 34(8): 1-5.
- [3] 陈兆庆, 祝瑞金. 对大受端电网规划若干技术问题的思考[J]. 华东电力, 2009, 37(5): 695-698.
- [4] 唐茂林, 王超, 陈刚. 四川电网电压稳定水平研究[J]. 四川电力技术, 2004(1): 7-11.
- [5] 高文建, 梁才浩. 广西电网电压稳定研究[J]. 广西电力, 2003(增刊): 88-99.
- [6] 刘丽霞, 李晓辉, 黄志刚, 等. 天津电网电压稳定裕度分析研究[J]. 华北电力技术, 2010(2): 17-21.
- [7] 国家电网天津电力公司. 国网天津市电力公司“十三五”电网发展规划[R]. 2014.
- [8] 王健, 丁屹峰, 王卫, 等. STATCOM在电网暂态电压稳定中的应用仿真[J]. 现代电力, 2012, 29(4): 28-31.
- [9] 汤涌, 卜广全, 印永华, 等. PSD-BPA暂态稳定程序用户手册[M]. 北京: 中国电力科学研究院, 2007.
- [10] 田昕, 钟胜, 王惠来, 等. 大型受端电网动态无功配置[J]. 中国电力, 2014, 47(6): 12-17.

(收稿日期: 2015-08-19) EA