STATCOM在江西电网中的应用仿真研究

李 峰, 徐 敏
(南昌大学信息工程学院,江西 南昌 330029)

摘要: 针对江西电网暂态电压稳定性能差,无功补偿相对不足的现状,以吉安地区 2005年网架结构为背景,将先进的静止同步补偿器 STATCOM应用于该区电网,进行了大量仿真分析,并对 STATCOM安装在不同地点时其作用效果的差异进行了详细的分析比较。仿真结果表明,将 STATCOM应用于江西电网后,可极大地改善系统暂态电压稳定性能。所得结论为 STATCOM在江西电网的推广应用提供了理论依据。

关键词: FACTS; 静止同步补偿器; 电压稳定; 仿真

中图分类号: TM761 **文献标识码**: A **文章编号**: 1003-4897(2006)03-0051-04

0 引言

随着电网结构的不断完善和电源分布的日趋合理,江西电网的电压稳定水平有了较大幅度提高。但在某些网络结构较弱或无功补偿不足的重负荷地区如南昌地区、九江地区、吉安地区等,电网动态电压支撑情况不甚理想,出现电压稳定问题的可能性相对较大。为此,有必要最先配置无功补偿装置,以提高系统电压水平和改善系统稳定性。

另外,2010年丰水期大方式下,三峡电站 26台机组将全部投入运行,发电出力 18.2 GW,除向华东电网送电 7.2 GW外,剩余的 11.0 GW的电力将被送入包括江西电网在内的华中电网[1]。此时,江西电网负荷中心发电机组出力相对减少,将导致负荷中心地区的无功功率供应出现缺额,严重时会导致电压崩溃。为此,需要安装一定数量的无功补偿装置,以保证出现故障后系统电压的稳定性。

先进的静止同步补偿器 STATCOM(Static Synchronous Compensator)是 FACTS控制器的重要成员之一,它在系统发生故障时能够快速提供无功支持,且提供的无功不受元件装设处电压的影响,从而能够较好地改善故障后电压跌落幅度,提高故障后电网电压恢复能力。与传统的调相机相比,STATCOM没有机械旋转部分带来的机械惯性,无功功率阶跃响应时间很短[2],因而响应速度快;与现有的静止无功补偿器 SVC(Static Var Compensator)相比,STATCOM体积更小,输出特性更为理想。近年来,STATCOM在电力系统中的应用受到日益广泛的重视,美国、日本和德国已将其投入工业运行,我国自行研制的 ±20 MvarSTATCOM工业样机装置已在河南电力公司朝阳变电站运行,应用于上海电力系统的 ±50 MvarSTATCOM工业装置也正在研制中[3]。

基于上述原因,本文以江西电网吉安地区 2005年网架结构为背景,对 STATCOM在江西电网中的具体应用进行了一系列仿真计算和分析比较,以期利用 STATCOM进一步提高江西电网的电压稳定水平。考虑到中长期电压稳定研究涉及到电网运行控制和操作等不确定因素[4],本文主要研究电网的暂态电压稳定性能。

1 江西电网吉安地区网架结构及无功分析

吉安地区的网架结构以 220 kV吉安站为中心,分别向敦厚、城北、河东、城南四个 110 kV站及永和 220 kV站供电,永和 220 kV站又向庐陵和敦厚两个站供电,如图 1所示。夏季用电高峰期,敦厚、城北、城南三个站的受电量约占吉安地区的 2/3。

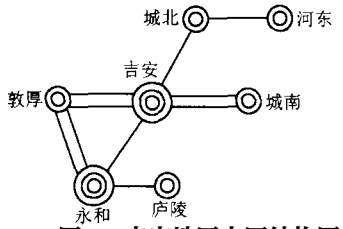

图 1 吉安地区电网结构图

Fig 1 Structure of Ji'an area electric power network

吉安站现有四台容量为 9.6 Mvar的电容器,分成四组投切对该站母线提供稳态无功补偿和暂态无功储备。一方面,由于电容器组是分组投切,会给系统带来一定的冲击,母线电压也会呈阶梯状提高,且电压升高的同时会出现轻微波动;另一方面,由于用电高峰期,与吉安站相连的敦厚、城北、城南三个站

的受电量约占吉安地区的 2/3,当吉安 - 永和线路发生三相接地故障时,暂态无功补偿明显不足,若不尽快采取措施,会危及网内发电机同步运行,使发电机功角失稳,严重时甚至引起电压崩溃,因此,必须采取有效措施改善吉安地区的电压稳定性能。根据 STATCOM 相对于传统动态无功补偿装置的优势,在吉安电网中配置 STATCOM 能较好地改善该地区的电压稳定性能。

2 仿真分析

2.1 仿真条件及故障选择

本文应用美国 MATHWORKS公司开发的 MATLAB 仿真软件,对 STATCOM 安装在吉安地区后的电网电压进行了仿真计算和分析比较,仿真条件及故障选择如下:

1)仿真过程中吉安电网采用 2004年夏季高峰期的运行方式和网架参数。

2)仿真过程中发电机模型采用 MATLAB/SIMULINK中提供的标幺值单位下同步发电机标准模型(Synchronous Machine pu Standard),负荷模型采用 50%恒定阻抗 +50%电动机综合模型,SVC采用文献[5]提出的Ⅰ型模型。STATCOM 是本文研究的主要控制装置,仿真过程中采用文献[6]提出的一阶延时可控无功电流源模型,这是由于 STATCOM 首先作为无功发生器,主要通过向系统补偿无功来支撑线路电压,而且 STATCOM 相对于 SVC的显著优势是它可以在系统电压很低的情况下仍然可以提供所需要的无功电流输出,不会影响它对系统提供无功电流的大小。

3)故障情况选择对吉安地区电压影响较为严重的吉安 - 永和线路三相接地故障,故障点为 STATCOM 安装线路对侧端,故障持续时间为 0.1 s,然后线路跳开。

本文首先对吉安站装设 STATCOM 进行了仿真计算,着重分析了装设 STATCOM 与装设 SVC以及切负荷等不同措施对改善暂态电压稳定性能的效果比较。然后,对永和站安装 STATCOM 也进行了仿真计算,以对比 STATCOM 安装在不同地点时其作用效果的差异。

2.2 仿真措施及分析比较

2.2.1 STATCOM 安装在吉安站的仿真分析

针对吉安地区暂态无功补偿不足的现状,本文分别采取在吉安站增加一台 50 Mvar STATCOM 或增加一台 75 Mvar SVC或切吉安地区 65 MW 负荷等不同措施来改善该地区的暂态电压稳定性能,上述措施对吉安站 220 kV母线电压的影响如图 2所示。

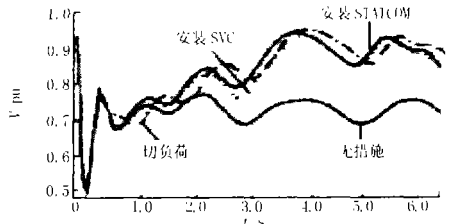

图 2 不同措施下吉安站 220 kV母线电压恢复情况比较图

Fig. 2 Comparison of 220 kV bus voltage in Jian substation with different measures

由图 2可以看出,若故障后不采取任何稳定措施,则吉安地区存在电压稳定问题,故障后吉安站母线电压明显低于 0.8 pu;若加装容量为 50 Mvar STATCOM或容量为 75 Mvar SVC,则对故障后动态电压的恢复有明显效果,吉安站电压在 1.7 s时恢复到 0.8 pu以上,系统不存在电压稳定问题;若切吉安负荷 65 MW,则故障后动态电压恢复的效果也较明显,吉安站电压在 2.2 s时恢复到 0.8 pu以上,系统电压保持稳定。

对比在吉安站安装 STATCOM 与安装 SVC两种措施可以看出,两种措施下曲线形状相差不大,说明这两种措施均能有效解决吉安地区的电压跌落问题;此时 STATCOM 的容量为 50 Mvar, SVC的容量为 75 Mvar,说明达到相同的电压恢复水平,STATCOM 的容量可比 SVC大约少 30%。

对比在吉安站安装 STATCOM 与切负荷两种措施可以看出,从故障后电压的恢复速度(达到 0.8 pu)来看,安装 STATCOM 比切负荷的速度要快,说明采用 STATCOM 比切负荷更能有效地改善暂态电压稳定性能;此时 STATCOM 的容量为 50 Mvar,切负荷的容量为 65 MW,说明要使电压恢复正常水平,每增加一台 50 Mvar STATCOM 可少切负荷 65 MW。

图 3、图 4和图 5分别给出故障后安装 STATCOM 前后,敦厚站、城南站和城北站 110 kV母线电压的变化曲线。由图可见,系统装设 STATCOM 后,可极大地改善故障情况下系统的电压波动,从而在最短的时间内恢复电压稳定,提高系统暂态电压稳定性能。

2.2.2 STATCOM 不同安装地点的仿真比较

由于无功补偿采取“就地平衡”的原则,无功补偿装置安装地点的选择对无功流向影响较大,进而

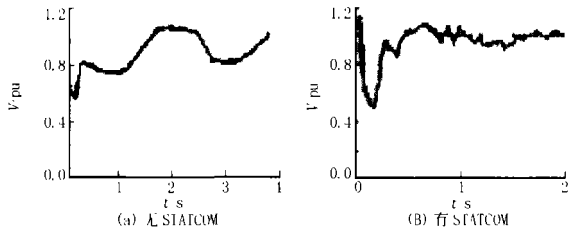

图 3　敦厚站 110 kV母线电压变化曲线

Fig 3　Changes of 110 kV bus voltage in Dunhou substation

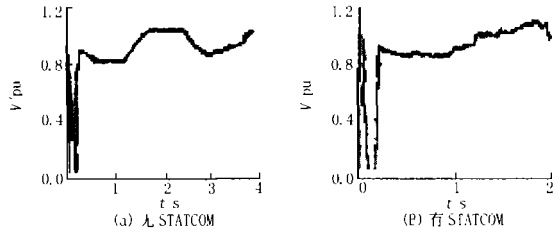

图 4　城南站 110 kV母线电压变化曲线

Fig 4　Changes of 110 kV bus voltage in Chengnan substation

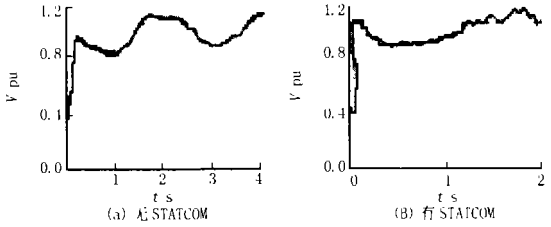

图 5　城北站 110 kV母线电压变化曲线

Fig 5　Changes of 110 kV bus voltage in Chengbei substation

影响故障后系统各点电压的恢复速度,因此, STATCOM安装点对 STATCOM的作用效果有较大影响。

在吉安地区电网中,吉安站位于线路中间,且位于重负荷中心;永和站处于线路末端,靠近负荷中心。现将 STATCOM安装于永和站进行仿真计算,同时与 STATCOM安装在吉安站的仿真结果进行比较,以对比 STATCOM安装在不同地点时其作用效果的差异。图 6和图 7分别为在永和站安装 80 Mvar STATCOM时故障后永和站和吉安站 220 kV母线电压恢复曲线。

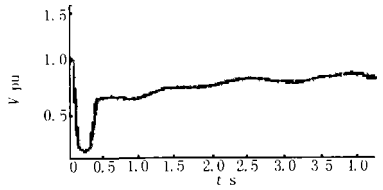

图 6　永和站 220 kV母线电压变化曲线

Fig 6　Changes of 220 kV bus voltage in Yonghe substation

由图 6和图 7可以看出,将 80 Mvar STATCOM安装在永和站时,对于永和站和吉安站均有较好的动态支撑作用,故障后 220 kV母线电压均能在较短时间内恢复到 0.8 pu以上(永和站为 1.9 s,吉安站为 2.1 s,这也体现了无功补偿的"就地平衡"原则)。

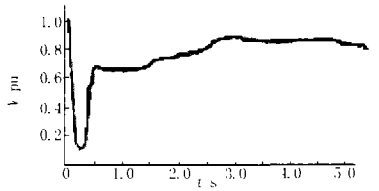

图 7　吉安站 220 kV母线电压变化曲线

Fig 7　Changes of 220 kV bus voltage in Jian substation

将 STATCOM安装在永和站所需容量为 80 Mvar,而达到相同的电压恢复水平,吉安站仅需容量为 50 Mvar,说明 STATCOM安装在吉安站可比安装在永和站节约容量大约 38%,因此,将 STATCOM安装在线路中间比安装在线路末端的效果要好,这也符合文献[7]将 STATCOM安装在单机无穷大系统联络线上,对 STATCOM最佳安装点的选择进行理论推导所得出的结论。

就吉安电网而言,由于吉安站是吉安地区的重负荷中心,同时也是无功补偿明显不足的地方,另外考虑到在没有安装 STATCOM时,线路发生故障后吉安站 220 kV母线的电压情况要比永和 220 kV母线恶劣,因此,将 STATCOM安装在吉安站能更好地改善吉安地区的整体电压水平,从而产生更大的经济效益。

3　结论

通过大量的仿真计算和分析比较,可得到如下结论:

1)安装 STATCOM与安装 SVC均能有效解决江西电网吉安地区系统故障后电压跌落问题,在相同故障条件下,若要求故障后达到相同的电压恢复水平,所需 STATCOM的容量可比 SVC少大约 30%。

2) STATCOM安装点的选择对 STATCOM的作用效果有较大影响,就吉安地区而言,将 STATCOM安装在吉安站可比安装在永和站节约容量大约 38%;通常情况下,将 STATCOM安装在联络线中点、负荷中心或无功补偿不足的地方,对改善暂态电压稳定性能有明显作用。

3)本文的研究表明, STATCOM应用于江西电网后,能较好地改善江西电网的电压稳定性能,有利于江西电网的优质、经济运行,为 STATCOM在江西电网的推广应用提供了理论依据。

4)本文只是以江西电网吉安地区的网架结构

为背景,对 STATCOM 投入实际运行的情况进行了初步探讨,关于系统中多台 STATCOM 间的协调控制问题,以及接入系统后 STATCOM 与发电机励磁的非线性协调控制等问题还有待于深入研究。

参考文献:

[1] 林孔兴,李菊根,李向荣,等. STATCOM应用于2010年华中电网的初步研究[J]. 电力系统自动化, 2000, STATCOM研制与应用专辑: 10-13.
LIN Kong-xing, LI Ju-gen, LI Xiang-rong, et al. Preliminary Study of the Application of STATCOM to Central China Power System in 2010[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, Supl of Study and Application of STATCOM: 10-13.

[2] 刘文华,梁旭,姜齐荣,等. 采用GTO逆变器的STATCOM[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(23): 19-23.
LIU Wen-hua, LIANG Xu, JIANG Qi-rong, et al. Development of STATCOM Employing GTO Inverters[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(23): 19-23.

[3] 姜齐荣,谢小荣,陈建业. 电力系统并联补偿——结构、原理、控制与应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2004.
JIANG Qi-rong, XIE Xiao-rong, CHEN Jian-ye. Parallel Compensation of Power System——Structure, Principle and Application [M]. Beijing: China Machine Press, 2004.

[4] Kundur P. Power System Stability and Control[M]. New York: McGraw-Hill Inc, 1993.

[5] 姜齐荣. 新型静止无功发生器建模及其控制的研究(博士学位论文)[D]. 北京: 清华大学, 1997.
JIANG Qi-rong. Modeling and Controlling of Advanced Static VAR Generator, Doctoral Dissertation[D]. Beijing: Tsinghua University, 1997.

[6] 谢小荣,崔文进,唐义良,等. STATCOM与发电机励磁的协调控制[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(5): 19-22.
XIE Xiao-rong, CUI Wen-jin, TANG Yi-liang, et al. Coordinated Control of STATCOM and Generator Excitation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(5): 19-22.

[7] 英雨. 静止无功发生器STATCOM在电力系统稳定中应用的仿真研究(硕士学位论文)[D]. 北京: 清华大学, 2000.
YING Yu. Research on the Application of STATCOM in Power System Stability, Thesis[D]. Beijing: Tsinghua University, 2000.

收稿日期: 2005-05-27; **修回日期**: 2005-06-27

作者简介:

李 峰(1977-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统自动检测与控制; E-mail: lislander@sohu.com

徐 敏(1963-),女,副教授,硕士生导师,研究方向为电力系统非线性控制。

Research on simulation of applying STATCOM to Jiangxi power system

LI Feng, XU Min

(School of Information Engineering, Nanchang University, Nanchang 330029, China)

Abstract: Aiming at the defects of bad transient voltage stability and shortcomings of reactive power compensation in Jiangxi power system, taking the power network structure of Ji'an area in 2005 as background, the advanced STATCOM is applied to Ji'an area network. The effects of applying STATCOM to Ji'an substation and other different substations are presented and compared respectively. The simulation results show that the application of STATCOM to Jiangxi power system greatly improves the transient voltage stability. The conclusions obtained from the paper provide theoretical references for the extensive application of STATCOM in Jiangxi power system.

Key words: FACTS(Flexible AC Transmission System); STATCOM(Static Synchronous Compensator); voltage stability; simulation

亚洲四国继续扩大核电比重

在亚洲,日本和韩国较早拥有核电站,中国和印度则是后来者。中、日、印、韩四国今后都要继续扩大核电站建设规模,扩大核电在国家电力建设中所占的比重,以减少对石油和煤炭依赖。

2005年,在亚洲地区,中国、日本、韩国和印度四国的年核电站发电能力为5 400万 kWh。到2020年,四国的核电站发电能力将上升到9 700万 kWh,15年内将新增发电能力4 300万 kWh,增长幅度近80%。其中,中国在2020年前要新建核电站31座,新增核发电能力3 100万 kWh,增长数量和增长率均居世界第一。届时,中国的核发电能力将由目前的900万 kWh上升到4 000万 kWh。印度则计划新建28座核电站。中国和印度将成为领跑国际核电建设的两支主力。