

# SVC 安装对四川电网的影响研究

杜新伟, 丁理杰, 周惟婧

(四川电力试验研究院, 四川 成都 610072)

**摘要:** 从系统动态稳定、川电外送能力、特高压无功电压支撑等 3 个方面研究了在四川电网装设静止无功补偿器 (SVC) 的影响, 并通过仿真分析探讨了具体 SVC 安装方案, 具有一定的工程意义。

**关键词:** SVC; 动态稳定; 外送能力; 特高压

**Abstract:** The influences of static var compensator (SVC) on Sichuan power grid are analyzed in terms of dynamic stability, transmission capacity and dynamic voltage support of UHV. And the locations of SVC are also researched by simulation which is of actual significance.

**Key words:** SVC; dynamic stability; transmission capacity; UHV

**中图分类号:** TM714 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)05-0021-03

## 0 引言

四川电网处于全国联网、西电东送的始端, 是全国最大的送端电网。目前四川电网已经基本形成覆盖全省的 220 kV 电网, 随着成都 500 kV 双环网和一批 500 kV 变电站的建设, 及瀑布沟等大型水电电源的接入, 四川 500 kV 网架将初具规模; 另外, 德宝直流、特高压交流示范工程的投运, 以及未来川内交流特高压线路、向家坝溪洛渡等特大型水电及其特高压直流送出线路的建设, 都将给四川电网带来深刻的影响。研究四川电网的动态稳定、川电外送、特高压输电及大电网安全等问题, 对应于各种新技术、新问题带来的挑战, 保证全国联网系统的安全稳定运行都具有重要的意义。

静止无功补偿器 (static var compensator SVC) 是典型的并联补偿装置, 可实现无功补偿的快速和连续平滑调节。在系统主要站点装设 SVC, 除可灵活补偿电网无功<sup>[1~3]</sup>、调整节点电压外, 对增强系统阻尼抑制功率振荡<sup>[4~7]</sup>、提升输电线路输送功率<sup>[8,9]</sup>、改善系统静态和暂态稳定性、降低系统过电压等也都具有一定的作用。因此, 有必要对 SVC 在四川电网中安装的影响和方案进行深入研究。

下面从系统动态稳定、川电外送能力、特高压无功电压支撑等 3 个方面研究了 SVC 安装对四川电网的影响, 并通过仿真分析探讨了具体安装方案, 具有

一定的工程意义。

## 1 SVC 对系统动态稳定的影响

### 1.1 四川电网的低频振荡现象

中国电力系统正在步入大区电网互联、全国统一联网的阶段, 而四川电网正处于西电东送的始端, 由于输电距离长、结构薄弱, 动态稳定水平较低。其主要表现为仿真中较多 500 kV 线路 N-1 三相短路故障将引发系统功率振荡失稳, 以洪沟至板桥双回线和尖山站附近的线路 N-1 故障最为明显, 如图 1 所示。进一步分析得到功率振荡摇摆曲线发现, 四川水电机组与河南大功率火电机组间均存在低频振荡模式, 而四川电网内部机组间未发生振荡。

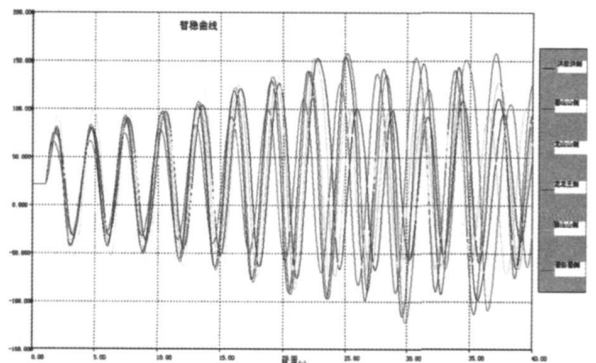


图 1 部分 500 kV 线路 N-1 故障, 二滩与豫姚孟机组的功角摇摆曲线

对四川电网进行频域小干扰分析,得到与该振荡失稳主导频率(0.33 Hz)一致的特征值  $-0.14047 \pm j 161155$ ,对应模态图如图 2 所示。

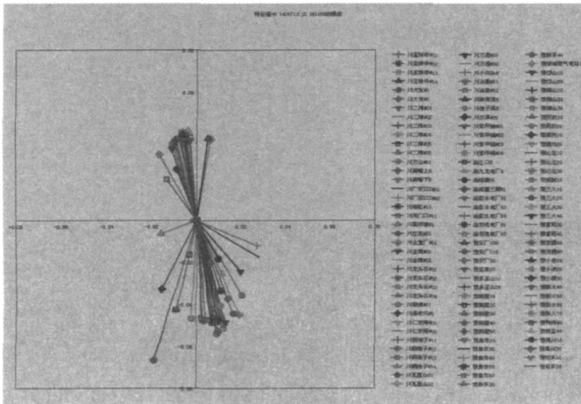


图 2 特征值  $-0.14047 \pm j 161155$  的模态图

### 1.2 关键站点安装 SVC 对抑制低频振荡的作用

通过仿真的方法研究在四川电网关键站点安装 SVC 对抑制低频振荡的作用,考虑到分析的有效性,在仿真中适当降低川西水电出力及华中—华北特高压北送功率,保证线路 N-1、N-2 故障暂态功角不失稳,以便于分析 SVC 安装对低频振荡的抑制效果。设置相对较严重的尖山出线 N-2 故障,分别选取尖山、龙王、黄岩、蜀州、丹景、谭家湾、雅安等站装设 SVC。容量选用 120 Mvar 和 180 Mvar (SVC 容量不参与正常运行调压,完全用作动态无功支撑),单台或两台,记录各种情况下的系统阻尼比和最大振幅,如表 1 所示。

表 1 各种 SVC 安装方案下的阻尼比和最大振幅

SVC 方案	阻尼比	最大振幅
无新增 SVC	0.007 14	94.183 0
尖山 180 Mvar	0.010 46	92.230 3
龙王 180 Mvar	0.011 28	91.965 7
黄岩 180 Mvar	0.009 98	90.454 1
蜀州 180 Mvar	0.010 26	92.340 2
丹景 180 Mvar	0.009 61	92.001 8
谭家湾 180 Mvar	0.011 45	91.712 0
雅安 180 Mvar	0.009 43	91.437 6
尖山 2×180 Mvar	0.024 87	93.711 4
龙王 2×180 Mvar	0.026 49	93.478 1
黄岩 2×180 Mvar	0.020 76	90.270 7
蜀州 2×180 Mvar	0.024 52	93.653 7

由表 1 可以看出,没有装设 SVC 时,故障将引起阻尼比小于 1% 的低频振荡(区间振荡);各站点加装 SVC 后,阻尼比均可以得到一定程度的改善,且各站加装 SVC 的效果差别不太明显,相比较而言,以在成

都下半环网 500 kV 变电站安装 SVC 效果相对较好。另外,随着各站点安装 SVC 容量的增加,阻尼比将有较大幅度提升,能有效改进系统的动态稳定性。

## 2 SVC 对川电外送能力的影响

四川水电资源丰富,未来几年内将形成三通道六回 500 kV 交流线路,及与西北网互联的德宝直流进行川电与外网的交互。

经分析得到,川电外送能力受到华中—华北特高压潮流、川西水电出力、鄂豫断面功率、及河南机组 PSS 装设情况的影响较大。如第 1 节中所示,在华中—华北特高压联网后的某些运行方式情况下,电网故障引起的动态稳定性问题较为突出,川电外送能力受此影响明显。

为考察 SVC 安装对川电外送的提高能力,选择与第 1 节中相同的边界,以 500 kV 洪沟—板桥线路洪侧三相短路故障可以不采取切机等安全措施为条件进行仿真研究,可得到川电外送极限如表 2 所示。

表 2 SVC 对川电外送能力的影响 (单位: MVar 万千瓦)

SVC 方案	总容量	川渝断面	川渝提高	单位提高	提高
无新增 SVC	0	3 200	—	—	—
尖山 180 Mvar	180	3 260	60	0.330	
龙王 180 Mvar	180	3 260	60	0.330	
尖山 120 Mvar 黄岩 120 Mvar	240	3 290	90	0.375	
龙王 120 Mvar 蜀州 120 Mvar	240	3 290	90	0.375	
黄岩 2×180 Mvar	360	3 350	150	0.420	
蜀州 2×180 Mvar	360	3 350	150	0.420	
尖山 120 Mvar 黄岩 120 Mvar 谭家 120 Mvar	360	3 350	150	0.420	
尖山 120 Mvar 黄岩 180 Mvar 谭家 120 Mvar	420	3 368	168	0.400	
尖山 120 Mvar 黄岩 180 Mvar 谭家 120 Mvar 蜀州 180 Mvar	600	3 431	231	0.385	
平均					0.384

由表 2 中可以看出:① SVC 的安装对于川电外送能力的提高又一定作用,但提高的程度对 SVC 安装地点不是特别敏感,主要与总的安装容量有关;② 每 Mvar 的 SVC 平均可以提高外送功率 0.384 MW。

### 3 SVC对特高压无功电压支撑的影响

#### 3.1 尖山站附近故障对特高压电压的冲击

通过对四川电网的仿真计算发现,在丰水期华中向华北特高压线路大功率送电,而川渝和河南分别大功率向湖北送电时,如尖山附近线路发生三相短路故障,特别是尖山—龙泉线路尖山侧发生三相短路故障,极易引起系统动态失稳和特高压母线电压大幅度降落。

究其原因,主要在于尖山为川西水电外送的枢纽,同时又向成都负荷中心供电,是四川电网主要的功率汇集点,且通过短路计算可知,尖山 500 kV 母线的短路电流在全网所有 500 kV 母线中也是最高的,因此,一旦尖山侧发生短路故障,对整个四川 500 kV 网架及川电外送通道的冲击最大,将引起明显的电压振荡和功率波动。试图通过仿真计算,研究增设大容量 SVC 装置对特高压电压的支撑能力。

#### 3.2 SVC对特高压无功电压支撑的能力

为考察 SVC 对在大规模功率外送时对输电通道的动态电压支撑作用,适当增加川电外送,特高压输电的功率大小,恶化仿真条件,设置对电压稳定影响最为严重的尖山—龙泉线路尖山侧故障,依次在龙王、谭家湾、丹景、蜀州、雅安、尖山、龙泉、黄岩等 500 kV 变电站加装一台或两台 180 Mvar 的 SVC,考察 SVC 安装地点和容量对电压稳定的影响;同样在仿真中 SVC 容量暂不参与正常运行调压,完全用作动态无功支撑,可得到计算结果如表 3 和图 3 所示。

表 3 SVC 安装地点对特高压无功电压支撑的影响

SVC 安装点	SVC 容量	特高压电压最低降落
无新增	0	0.056 5
龙王	180	0.433 8
	2×180	0.554 5
谭家湾	180	0.404 0
	2×180	0.542 8
丹景	180	0.453 9
	2×180	0.555 1
蜀州	180	0.475 8
	180	0.072 5
雅安	2×180	0.517 9
	180	0.534 58
尖山	2×180	0.616 3
	180	0.514 27
龙泉	2×180	0.597 7
	180	0.067 5
黄岩	2×180	0.512 4

由仿真结果可以看出:①若系统不新装 SVC, 龙山侧故障可能引起特高压母线电压大幅降落;②在安装单 180 Mvar 的 SVC 时,在成都环网上安装会起到比较明显的作用,其中以尖山、龙泉、蜀州加装效果最好,且其他站越靠近尖山效果越好;③当安装两台 180 Mvar 的 SVC 时,各个站安装都会起到比较明显的作用,仍以龙泉、尖山、蜀州效果最好;④对比安装一台和两台的效果,安装两台效果好于一台的效果,还可在故障后提升电压 0.1 p.u 左右;而由于黄岩、雅安等站安装一台效果不明显,安装两台后才可能起到动态电压支撑的作用;⑤另外,在仿真中发现,分散安装 SVC 的效果要好于集中安装的效果,如图 4 所示。

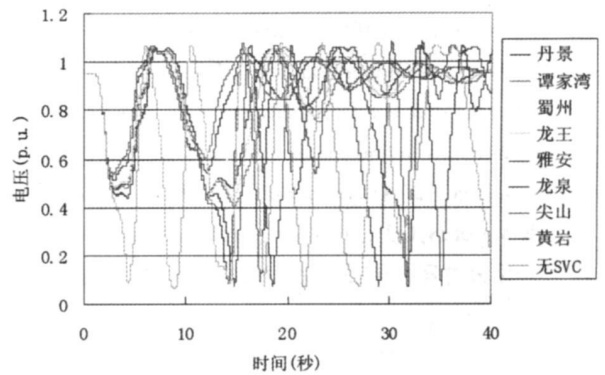


图 3 各站安装单 180 Mvar 特高压电压曲线

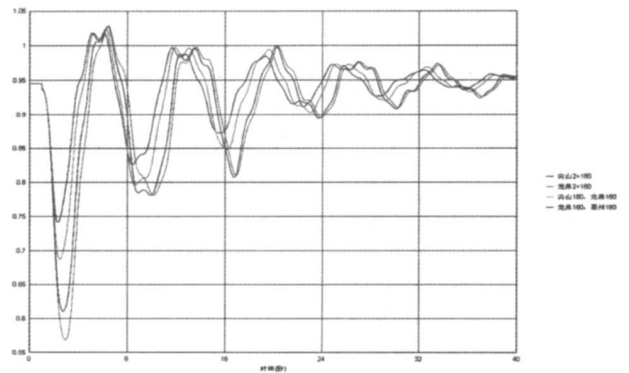


图 4 SVC 分散安装与集中安装效果对比

## 4 结论

(1)在全国大联网背景下,四川机组参与的网省间振荡模式阻尼较弱。通过仿真分析可得,在四川各 500 kV 站点,特别是成都下半环网站点加装 SVC 后,阻尼比将可得到一定程度的改善,且随着 SVC 容量的增加,阻尼比将有较大幅度提升。

(下转第 53 页)

(2) 电机局部放电在线监测与常规的离线绝缘测试相比, 具有方便、灵敏、有效、无损伤的优点, 能尽早发现电机绝缘内部故障, 有利于有计划、合理地安排维修, 因此局部放电在线监测是诊断大型电机定子绕组绝缘故障、进行大型电机预知维修的有效方法。

(3) 根据电机的特点选择适合的在线监测局部放电的方法, 监测的关键在于把局部放电信号与噪声信号区别开来, 尽可能地把噪声抑制或消除。这涉及到两个方面: 一是耦合器 (或传感器) 的研制与设置, 要有利于局部放电信号的提取, 便于区分和消除噪声; 二是信号的处理, 首先是分离与消除噪声, 然后对局部放电信号作进一步处理, 对定子绕组绝缘状况做出诊断。

### 参考文献

[1] 王旭红. 高压电机的局部放电及其在线监测方法 [J].

长沙电力学院学报 (自然科学版), 2002, 17(1): 23—25.

[2] 李武峰. 大型发电机定子局部放电在线监测技术的研究 [D]. 华北电力大学硕士论文, 2002.

[3] 刘立生, 邱阿瑞. 高压电机局部放电在线监测方法 [J]. 电工电能新技术, 1999, (3): 23—27.

[4] 刘辉. 发电机定子绕组局部放电监测技术 [J]. 河北电力技术, 2007, 26(1): 8—9.

[5] 陈卓. 大型发电机定子绝缘局部放电在线监测的研究 [D]. 四川大学硕士学位论文, 2005.

### 作者简介:

崔东君 (1984—), 硕士生, 研究方向电力系统安全监控和故障诊断技术。

刘念 (1956—), 博士, 四川大学教授, 研究方向电力系统安全监控和故障诊断技术、过电压保护等。

(收稿日期: 2009—05—23)

(上接第 23 页)

(2) 安装 SVC 对川电外送能力的提高有一定作用, 但提高的程度对 SVC 安装地点不是特别敏感, 主要与总的安装容量有关, 根据仿真分析, 每 Mvar 的 SVC 约可提高外送功率 0.384 MW。

(3) 尖山 500 kV 站附近线路发生三相短路故障易引起特高压母线电压大幅度降落, 在成都环网上安装 SVC 对特高压无功电压能起到比较明显的作用, 其中以尖山、龙泉、蜀州加装 SVC 效果最好。另外, 在仿真中可以看出, 分散安装 SVC 的效果要优于集中安装。

### 参考文献

[1] M. Moghavvemi, M. O. Fenuque. Effects of FACTS Devices on Static Voltage Stability. ENCON Proceedings 2000, (2): 357—362.

[2] 吴国红, 贺家李, 余贻鑫, 等. FACTS 装设最佳设置点的选择指标 [J]. 电力系统自动化, 1998, 22(9): 57—60.

[3] 包黎昕, 段献忠, 陈峰, 等. SVC 和 TCSC 提高电压稳定性作用的动态分析 [J]. 电力系统自动化, 2001, 25(13): 21—25.

[4] 倪以信, 陈寿孙, 张宝霖, 等. 动态电力系统的理论和分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.

[5] 艾欣, 蔡国伟, 徐兴伟, 等. 伊敏—大庆 500kV 系统采用 SVC 提高稳定水平的研究 [J]. 电力系统自动化, 1997, 21(3): 54—57.

[6] 刘宪林, 王鑫. 单机—SVC—无穷大系统机电模式阻尼特性分析. 郑州大学学报 (工学版), 2007, 28(3): 87—90.

[7] 王海风, 李乃湖, 陈珩, 等. 静止无功补偿器阻尼电力系统振荡 [J]. 中国电机工程学报, 1996, 16(3): 190—195.

[8] 张鹏飞, 付红军, 鄢安河, 等. 应用 SVC 提高电网输电能力的研究 [J]. 电力设备, 2007, 8(3): 28—31.

[9] 高文建, 马世英. 动态无功补偿技术在西电东送通道中的应用研究 [J]. 广西电力, 2008, (4): 6—10.

(收稿日期: 2009—05—12)

# 欢迎订阅《四川电力技术》