

提高南方电网交流通道 2010 年西电东送能力研究

陈旭¹, 康义²

(1. 广东电网公司, 广东 广州 510600; 2. 中南电力设计院, 湖北 武汉 430071)

Study on Enhancing the West-to-East Capability in 2010 through AC Transmission Lines of China Southern Power Grid

CHEN Xu¹, KANG Yi²

(1. Guangdong Power Grid Corporation, Guangzhou, Guangdong 510600, China;

2. Central Southern China Electric Power Design Institute, Wuhan, Hubei Province 430071, China)

Abstract: The planning power transmission network can meet the requirement of transmitting electric power to Guangdong in 2010, but the transmission margin is just 7.5~13%, and the network is characterized as strong transmission with DC and weak with AC. Once a serious DC fault occurs, large amount of power has to be transferred to AC systems, the coupling between voltage collapse and rotor angle swing may destroy the system stability. It is shown that the power transmission capability is limited fatefully by the insufficient voltage support at the Guangxi-Guangdong cross-section of AC channels, and the situation can be improved with measures of installing series capacitors, building static compensation, and establishing new AC lines at the cross-section, while the best measure is to install series capacitors. A scheme of all four AC channels at the cross-section installed with series capacitors will increase the power transmission margin up to 18%~23%.

Key words: China Southern Power Grid; west-to-east power transmission; AC; power transmission capability

摘要: 南方电网规划的 2010 年输电网络虽然可满足送电广东的要求, 但仅有 7.5%~13% 的送电裕度, 且“强直弱交”送电形式明显, 一旦发生直流故障, 大

规模功率转移到交流系统, 可能使电压崩溃和功角失稳相互耦合, 进而破坏整个系统的稳定。研究显示, 交流输电通道广西—广东断面的电压支持能力不足对送电能力的限制是决定性的, 在交流输电通道的广西—广东断面安装串联补偿、静止无功补偿和新建输电系统等措施都可以改善这种情形, 但加装串联电容补偿装置是最好的办法。若在广西—广东断面的 4 个交流通道均装设串联电容补偿装置, 可使西电东送输电通道各断面的送电极限裕度提高到 18%~23%。

关键词: 南方电网; 西电东送; 交流; 输电能力

南方电网是典型的“强直弱交”混合输电系统, 2006 年西部送广东 8.48 GW 电力中, 有约 57% 即 4.8 GW 电力由直流输送, 6 回 500 kV 交流线路仅送 3.68 GW 电力。随着 2007 年±500 kV 贵—广第二回直流、2009 年±800 kV 云—广直流投产^[1-3], 2010 年西部送广东 19.58 GW 电力中, 由直流输送电力增加到 12.8GW, 所占比重提高到 65%。

直流故障、特别是送电能力 5 GW 的±800 kV 云南至广东直流故障后, 大规模功率转移到交流系统, 将对系统稳定运行造成较大压力^[2-7]。

研究 2010 年南方电网输电通道薄弱环节, 采用新技术等措施, 提高 2010 年西电东送交流通道输电能力及稳定裕度对保证大容量、远距离、交直流并联南方电网^[2,3,8]的安全稳定经济运行具有重要的现实意义。

1 2010年南方电网结构

2005年南方电网已建成“六交三直”的500 kV西电东送输电通道,湖南鲤鱼江电厂采用交流500 kV专厂单线送电广东,送电规模合计10.88 GW^[3,5]。规划“十一五”期间南方电网西电东送新增向广东送电13.5 GW^[2,3,5,9]。

2010年南方电网将形成“八交五直”的西电东送输电通道(不含鲤鱼江电厂专线),外区送电广东总规模24.38 GW,其中云南7.8 GW、贵州8 GW、天生桥1.68 GW、龙滩2.1 GW、三峡(华中)3 GW和湖南鲤鱼江电厂1.8 GW。

500 kV独山至河池双回线、罗平至百色和天生桥至百色线路分别装设有2×726 MVar、670 MVar和542 MVar的串联补偿电容器。500 kV天生桥至平果双回线装设有补偿度分别为35%和5%的固定串补和可控串补^[2,3,9-11]。

云南形成以“品”字型环网为核心并向西扩展的500 kV网架^[2-5]。广东电网建成以珠江三角洲内外双回路环网为中心,向东、西、北方向延伸的500 kV骨干网架^[2,3,5,9]。

2 安全稳定研究的条件及原则

采用Windows 9x/NT/2000平台中国版BPA潮流及暂态稳定程序进行计算分析。

(1) 发电机模型。所有机组均采用 q 轴暂态电势或 d 轴暂态电势、 q 轴次暂态电势变化详细模型,考虑调速系统和励磁系统的作用,计及机械阻尼转矩系数。

(2) 负荷模型。潮流计算采用恒定功率负荷模型,负荷挂在220 kV变电站的220 kV母线,功率因数取0.95~0.98,模拟10 kV侧的无功补偿装置。稳定计算采用考虑负荷频率效应的综合静态负荷模型,模型参数取值如下表1^[2,3,7,9,12]。

表1 稳定计算采用的负荷模型参数

Tab. 1 The Load Model Factors in Stability Calculation

负荷模型	广东	广西	贵州	云南	海南
恒阻抗比重	30%	30%	30%	30%	40%
恒电流比重	40%	40%	40%	30%	30%
恒功率比重	30%	30%	30%	40%	30%
有功频率因子 dP/df	1.8	1.2	1.2	1.2	1.2
无功频率因子 dQ/df	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0

(3) 直流模型。采用包含直流电压和电流测量环节、电流调节器、基于电压的电流限制环节和触

发控制环节的直流控制系统模型。该模型可模拟双侧频率调制等控制功能,并可进行直流线路的故障操作。除特殊说明以外,计算中不考虑直流调制的作用。

(4) 故障模拟。主要研究一般故障,即直流单极故障或500 kV交流线路三永短路。

(5) 稳定判据及准则。仅当系统的功角、电压和频率均稳定,才认为系统稳定^[13,14]。具体表现为故障清除后,同一系统中任意2台机组的相对功角摇摆曲线第一或第二个振荡周期不失步并同步衰减振荡;系统中枢点电压减幅振荡并逐渐恢复到0.8 p.u.以上,母线电压持续低于0.75 p.u.的时间不超过1s^[2,3,12,15-17];系统频率波动超出(50±1) Hz范围的持续时间低于0.2 s^[15],并能恢复到正常范围(50±0.5) Hz。根据《电力系统安全稳定导则》^[13]和《电力系统技术导则》^[18]的规定,稳定准则为:一般故障,无稳定措施,系统保持稳定。

(6) 运行方式。以2010年为研究分析水平年。考虑丰水期大、小方式和枯水期大、小方式。旋转备用约为最大负荷的6%,主要预留在受端广东的火电和抽水蓄能机组。

(7) 外送极限及稳定裕度。外送极限是在调整送受端开机,在电网发生一般故障的情况下,系统能够保持暂态及动态稳定的外送断面的最大有功潮流^[2,3-5,7,15]。

稳定裕度是外送极限与协议送电容量的差值。

云电出口外送断面是指500 kV罗平至天生桥1回、至百色2回及红河至南宁1回共4回交流通道及800 kV云南至广东直流。不包括鲁布革电厂通过220 kV电网送广西的线路^[2,3,5,7]。

贵电出口外送断面是指500 kV兴仁至天生桥1回、独山至河池2回、黎平至桂林2回共5回交流通道及500 kV安顺至肇庆、兴仁至白花洞直流^[2,3,5,7]。

两广断面是指广西送广东断面的500 kV玉林至茂名2回、梧州至罗洞2回、贺州至罗洞2回和桂林至贤岭山2回共8回交流通道及500 kV天生桥至北郊、安顺至肇庆、兴仁至白花洞直流和800 kV云南至广东直流^[2,3,5,7]。

3 2010年潮流及外送极限计算结果

3.1 潮流计算结果

(1) 在西电东送容量最大的丰水期正常大方式

下, 南方电网主网架潮流分布合理, 无重载或过载线路。云南、贵州外送交流线路的平均负载分别为 550 MW、460 MW, 而两广断面交流线路的平均负载 850 MW。茂名—蝶岭、施秉—黎平、柳东—贺州及来宾—梧州线路的负载最高, 约 900 MW。系统电压可维持在 515~545 kV 的水平。总体上 2010 年西电东送主干网架潮流不重, 还有一定送电裕度。

(2) 丰大方式下, 交流输电通道任意 1 回线开断, 不会造成其他线路的过载。在 $N-1$ 运行方式下, 柳东至贺州、茂名至蝶岭和施秉—黎平线路的潮流较重, 负载约 1.5 GW。

云广直流单极停运, 潮流主要转移在天生桥经平果、来宾、梧州至罗洞的输电中通道和罗平经百色、南宁、玉林、茂名至蝶岭的输电南通道。如不考虑其它直流的过负荷能力, 交流输电通道多回线路潮流超过 1 GW, 其中红河—南宁线送电功率达 1.4 GW, 罗平—天生桥及茂名—蝶岭线, 潮流超过 1.2 GW。为维持输电通道 510~515 kV 的电压水平, 贺州、桂林、玉林等变电站需投入两 three 组低压电容器。

2010 年西电东送主干网架在 $N-1$ 方式下, 部分线路重载, 在输电通道和受端电网投入适当电容补偿可满足运行对电压的要求。

3.2 外送极限计算结果

(1) 2010 年, 南方电网西电东送输电通道输电能力相比协议送电容量有 7.5%~13% 的富裕。正常方式下, 一般故障时, 系统都能保持稳定。仅当和平变电站—楚雄换流站线路三相短路故障或云广直流单极闭锁时, 发电机功角和贺州、桂林、清远的电压初始振幅稍大。

(2) 外送极限裕度占协议送电容量的比重, 贵电出口最高、达 13%, 其次是云电出口, 两广断面最低、仅 7.5%。相应地, 外送极限情况下, 各断面交流通道每回线路送电负载以两广断面最高、约 1 GW, 其次是云电出口, 贵电出口最低、仅 0.7 GW。详见表 2。

表 2 2010 年外送极限
Tab. 2 The Maximum of Power Transmitting in 2010

断面外送 极限	交流 送电	直流 送电	合计	稳定 裕度	占协议 容量	平均每回 交流送电
云电出口	3.62	5.00	8.62	0.82	10.5%	0.91
贵电出口	3.38	6.00	9.38	1.08	13%	0.68
两广断面	7.90	12.10	20.00	1.40	7.5%	0.99

3.3 西电东送通道稳定性辨析

(1) 各断面外送极限的稳定控制故障均是和平

变至楚雄换流站线路三相短路故障。

若超过外送极限送电, 和平变至楚雄换流站线路三相短路故障发生后, 楚雄换流站母线电压降为 0, ± 800 kV 云南至广东直流输送功率由 5GW 降为 0, 大量功率转移到 500 kV 交流通道, 0.1 s 故障切除后, 虽然楚雄换流站母线电压和 ± 800 kV 云南至广东直流输送功率迅速恢复, 但西电东送输电系统功率持续振荡, 约 3 s 后, ± 800 kV 云南至广东直流输送功率振荡到最小值, 两广断面的交流通道负载最重, 贺州、梧州、罗洞、桂林、贤令山等电压较低, 特别是贺州电压持续低于 0.75 p.u. 的时间超过 1 s, 同时送受端相角差不断拉大, 功角振荡失稳。

(2) 南方电网西电东送输电系统是典型的“强直弱交”混合输电系统, 送电规模大, 距离远。导致直流功率大幅跌落的故障发生后, 大量有功功率转移到链式结构的交流通道, 系统无功损耗急剧增加, 交流输电通道的中部枢纽站母线电压持续低落, 低于 0.75 p.u. 的时间超过 1 s, 同时云南机组和广东机组功角大幅振荡, 在中部枢纽站母线电压滑落后系统失稳, 最终导致电压崩溃和功角振荡失稳相互耦合的整个系统的稳定破坏^[2,3-6,8,12,15,16,19-21]。

(3) 根据《国家电网公司电力系统安全稳定计算规定》及有关文献的实用稳定判据^[14,16,17,21-24], 及本文中采用提高电压支撑能力措施的有效性, 可以判定南方电网西电东送输电系统存在电网稳定问题, 输电系统中部电压支撑能力不足。

4 提高交流通道送电能力分析

4.1 交流通道电压支撑能力的薄弱环节

(1) 设交流输电系统感抗为 X , 电压为 U , 输送的有功功率为 P , 功率因数为 a , 其消耗的无功功率 $Q = X \times (P / (U \times a)) \times 2$, 对于确定的交流输电系统, 感抗 X 、电压 U 、功率因数 a 确定的情况下, 消耗的无功功率 $Q = K \times P \times 2$, 其中 K 为常数。因此, 对于确定的交流输电系统, 其消耗的无功功率与输送的有功功率存在指数关系, 消耗的无功功率增长速度远高于输送的有功功率增长速度。

以两广断面为例, 若 ± 500 kV 贵州至广东直流或 ± 800 kV 云南至广东直流发生单极闭锁, 两广断面有功功率分别增大到正常方式下 1.2 或 1.35 倍, 而无功损耗则增加到正常方式下 2.35 或 3.6 倍。

(2) 正常方式下, 南方电网西电东送输电系统

中贵电、云电出口断面无功功率有一定盈余, 而两广断面需要受端广东提供一定的容性无功功率。表 3 列出了正常方式和不同故障情况下, 各断面需要外区送入的无功功率值。和平变至楚雄换流站线路三相短路故障情况下, 两广断面需要外区送入的无功功率急剧增加到正常方式的 6.1 倍。

(3) 通过上述分析计算, 可判定南方电网西电东送交流输电通道电压支撑能力不足, 通道中部的两广断面是其薄弱环节^[2,3-5,7,12,15,19-21]。

表 3 各断面需要外区送入的无功功率

GVar

Tab. 3 Reactive Power Absorbed at Different Cross-Section of transmission line

GVar

外送断面	正常方式	云广直流单极闭锁	贵广直流单极闭锁	和平至楚雄换流站线路三相短路故障
云电出口	-0.41	0.43	-0.35	0.08
贵电出口	-0.37	-0.18	-0.12	0.24
两广断面	0.85	3.06	2.01	5.21

4.2 交流通道加强措施及分析

(1) 为降低交流通道无功损耗, 增加交流通道输电能力, 提高通道电压支撑能力, 考虑采用加装串联电容补偿、新建线路装设 SVC 三类加强措施^[21,25-27]。针对外送极限控制故障下, 电压偏低的枢纽变电站均集中在西电东送北、中交流通道, 因此, 主要对两广断面和北、中交流通道进行加强。各方案提高的两广断面的送电能力和相应的单位投资见表 4。

表 4 交流通道加强方案及单位投资

Tab.4 The Alternative Schemes for Improving the Transmitting Capability of AC Transmission Channel and its Unit Investment

方案	提高送电能力/MW	单位投资/万元·MW ⁻¹
桂林=贤令山线路	140	116.3
黎平=桂林=贤令山线路	180	145.1
加装补偿度为 50% 的串联补偿电容	柳东=贺州=罗洞线路 340	77.4
	来宾=梧州=罗洞线路 370	54.3
	桂林=贤令山、贺州=罗洞、梧州=罗洞、茂名=螺岭线路 540	90.7
	黎平=桂林=贤令山、柳东=贺州=罗洞、来宾=梧州=罗洞、玉林=茂名=螺岭线路 1300	68.7
新建线路	增建桂林-贤令山 III 线 80	635
	增建柳东-贺州-罗洞 III 线 200	339.8
装设 SVC	桂林、贺州、梧州、北郊各装设 120MVar 130	107.7
	桂林、贺州、梧州、北郊各装设 240MVar 180	155.6

(2) 串联电容补偿装置缩短了线路的电气距离, 同时串联电容补偿器产生的容性无功与负载电流的平方成正比, 对改善系统运行电压和无功平衡具有自适应性^[7,25]。增建第三回线相当于加装了补偿度 33% 的串联电容补偿, 产生的效果自然比补偿

度 50% 的串联电容补偿要低, 新建线路的投资远高于装设串联电容补偿, 而且还涉及取得线行和青赔等工程建设问题。装设 SVC, 故障情况下可以直接对电压便低节点提供支撑^[7,25], 但其容性无功出力随跌落电压的平方而迅速减少, 因此电压支撑能力有限, 而且造价昂贵。

(3) 从表 4 可见, 采用加装串联电容补偿, 提高的送电能力最多而且单位投资最省, 效益最好, 其次是装设 SVC 措施, 最后是新建线路方案。因此, 加装串联电容补偿措施技术经济指标最优。

(4) 直接对西电东送交流中通道(来宾=梧州=罗洞线路)和北通道(柳东=贺州=罗洞线路)装设串联电容补偿的方案, 提高送电能力明显, 单位投资最省, 效益最好, 但在送电极限方式下, 导线截面仅 4×300 mm² 的中通道会出现“N-1”过载现象。

(5) 在两广断面 4 个双回路交流线路装设串联电容补偿的方案, 可进一步提高送电能力达 540 MW, 而且通道潮流分布较为均匀。若对西电东送 4 个双回路交流通道的广西、广东段均装设串联电容补偿, 提高送电能力最高, 达 1300 MW, 单位投资较低。

(6) 表 5 列出了两广断面装设串联电容补偿后, 正常方式和不同故障情况下, 需要外区送入的无功功率值。在两广断面装设串联电容补偿的方案, 将大幅降低故障时两广断面需要外区送入的无功功率值。和平变至楚雄换流站线路三相短路故障情况下, 在两广断面 4 个双回路交流线路或交流通道的广西、广东段均装设串联电容补偿的方案, 两广断面需要外区送入的无功功率将分别降低到未采取措施时的 60% 和 34%。

表 5 两广断面需要外区送入的无功功率

GVar

Tab. 5 Reactive Power Absorbed at the Cross-Section of Guangxi-Guangdong

GVar

加装补偿度为 50% 的串联补偿电容	正常方式	云广直流单极闭锁	贵广直流单极闭锁	和平至楚雄换流站线路三相短路故障
桂林=贤令山、贺州=罗洞、梧州=罗洞、茂名=螺岭线路	0.27	1.77	1.08	3.13
黎平=桂林=贤令山、柳东=贺州=罗洞、来宾=梧州=罗洞、玉林=茂名=螺岭线路	-0.21	0.84	0.38	1.78

(7) 在两广断面 4 个双回路交流通道的广西、广东段均装设串联电容补偿(共 8 个)的方案, 2010 年, 南方电网西电东送输电通道各断面的外送极限

均有明显提高,相比协议送电容量有18%~23%的富裕,满足文献^[8]建议的正常方式下电压稳定功率裕度指标。特别是两广断面外送极限裕度最大,达4.3GW,占协议送电容量的比重也最高,达23%,是装设串联电容补偿之前的4倍。每回交流线路送电能力提高到1.35GW,是装设串联电容补偿之前的1.35倍。详见表6。

表6 两广断面装设8个串联电容补偿后2010年外送极限 GW
Tab. 6 The Maximum of Power Transmitting in 2010 when 8 Series Compensation Capacitors are Established at the Cross-Section AC Lines of Guangxi-Guangdong GW

断面外送 极限	交流 送电	直流 送电	合计	稳定裕 度	占协议 容量	平均每回 交流送电
云电出口	5.17	5.00	10.17	1.55	18.0%	1.29
贵电出口	5.10	6.00	11.10	1.72	18.3%	1.02
两广断面	10.79	12.10	22.89	4.30	23.1%	1.35

5 结论

(1) 南方电网西电东输电系统是典型的“强直弱交”系统,存在制约送电能力的电压稳定问题。导致直流功率大幅跌落的故障发生后,大量功率转移到交流通道,系统无功损耗急剧增加,交流输电通道中部电压支撑能力不足,电压持续低落,最终导致电压崩溃和功角振荡失稳相互耦合的整个系统的稳定破坏。

(2) 西电东送交流通道的两广断面是输电通道的薄弱环节,在此加装串联电容补偿装置是提高交流通道送电能力技术经济指标最优的措施之一。

(3) 在两广断面4个双回路交流通道的广西、广东段均装设串联电容补偿的方案,可大幅减轻故障情况下交流通道的无功损耗,提高明显交流通道的送电能力,单位投资省,效益好,2010年,南方电网西电东送输电通道各断面的外送极限裕度达到1.5~4.3GW,占协议送电容量的18%~23%。

参考文献:

- [1] 陈允鹏. 南方电网特高压输电技术应用展望[J]. 南方电网技术研究, 2006, 2(1): 10-12.
CHEN Yun-peng. A prospect of UHV transmission technology application in China southern power grid[J]. Southern Power System Technology Research, 2006, 2(1): 10-12.
- [2] 南方电网技术研究中心, 西南电力设计院, 广东省电力设计研究院, 等. 《800 kV 云广特高压直流工程对南方电网安全稳定影响研究》系列报告[R]. 广州: 南方电网技术研究中心, 2006.
- [3] 中国电力工程顾问集团公司, 西南电力设计院, 中南电力设计院, 等. 《南方电网“十一五”电力系统设计》系列报告[R]. 广州: 中国电力工程顾问集团公司, 2006.
- [4] 董俊, 束洪春, 唐岚, 等. 2010年云南电网的稳定运行与控制问题[J]. 电网技术, 2005, 29(10): 20-24, 29.
- [5] 吴宝英, 陈允鹏, 陈旭, 等. ± 800 kV 云广直流输电工程对南方电网

安全稳定的影响[J]. 电网技术, 2006, 30(22): 5-12.

- WU Bao-ying, CHEN Yun-peng, CHEN Xu, et al. Study on Impacts of ± 800 kV Yunnan-Guangdong HVDC Transmission Project on Security and Stability of China Southern Power Grid[J]. Power System Technology, 2006, 30(22): 5-12.
- [6] 董俊, 束洪春, 司大军, 等. 特高压远距离大容量云电送粤中的稳定问题研究[J]. 电网技术, 2006, 30(24): 11-15.
- [7] 中南电力设计院系统规划部. 云广直流投产对南方电网交流送电能力的影响分析[R]. 武汉: 中南电力设计研究院, 2006.
- [8] 马世英, 印永华, 李柏青, 等. 我国互联电网电压稳定评价标准框架探讨[J]. 电网技术, 2006, 30(17): 7-13.
- [9] 广东电网公司, 广东省电力设计研究院. 《广东电网“十一五”规划》系列报告[R]. 广州: 广东电网公司, 2005.
- [10] 吴宝英, 陈允鹏. 南方电网新技术研究与应用[J]. 南方电网技术研究, 2007, 3(2): 14-17, 27.
WU Bao-ying, CHEN Yun-peng. Study & Application of New Technologies for China Southern Power Grid[J]. Southern Power System Technology Research, 2007, 3(2): 14-17, 27.
- [11] 曹继丰. 平果可控串补工程及其在南方电网中的作用[J]. 电网技术, 2004, 28(14): 6-9.
- [12] 李峰, 管霖, 钟杰峰, 等. 广东交直流混合电网的运行稳定性研究[J]. 电网技术, 2005, 29(11): 1-4, 35.
- [13] DL755-2001, 电力系统安全稳定导则[S].
- [14] 孙华东, 马世英, 汤涌. 电力系统稳定的定义与分类述评[J]. 电网技术, 2006, 30(17): 31-35.
- [15] 管秀鹏, 孙元章, 赵国梁, 等. 南方电网西电东送暂态功率传输极限研究[J]. 电网技术, 2004, 28(2): 1-5.
GUAN Xiu-peng, SUN Yuan-zhang, ZHAO Guo-liang, et al. Research on transient power transfer limit of power transmission from West China to East China via South China electric power grid[J]. Power System Technology, 2004, 28(2): 1-5.
- [16] 马世英, 印永华, 汤涌, 等. 短期和中长期电压稳定仿真及评价[J]. 电网技术, 2006, 30(19): 14-20.
- [17] 赵国梁, 孙元章, 程林, 等. 南方电网动态电压稳定对其西电东送能力的影响[J]. 电网技术, 2004, 28(14): 1-5.
ZHAO Guo-liang, SUN Yuan-zhang, CHENG Lin, et al. Influences of Dynamic Voltage Stability on Power Transmission Capability of South China Power Grid from West China to East China[J]. Power System Technology, 2004, 28(14): 1-5(in Chinese).
- [18] SP131-84, 电力系统安全技术导则(试行)[S].
- [19] 齐旭, 曾德文, 史大军, 等. 特高压直流输电对系统安全稳定影响研究[J]. 电网技术, 2006, 30(2): 1-6.
- [20] 毛晓明, 吴小辰. 南方交直流并联电网运行问题分析[J]. 电网技术, 2004, 28(2): 6-9, 13.
MAO Xiao-ming, WU Xiao-chen. Analysis on operational problems in south China AC-DC hybrid power grid[J]. Power System Technology, 2004, 28(2): 6-9, 13.
- [21] 胡东辰, 朱永强, 崔文进. 南方电网交直流并联系统电压稳定分析及STATCOM应用仿真[J]. 中国电力, 2004, 37(7): 20-23.
- [22] DL755-2001, 电力系统安全稳定导则[S].
- [23] 国家电网公司. 国家电网公司电力系统安全稳定计算规定[Z]. 北京: 国家电网公司, 2006.
- [24] 国家电网公司. 《国家电网公司电力系统安全稳定计算规定》编制说明[Z]. 北京: 国家电网公司, 2006.
- [25] 郭日彩, 李明, 徐晓东, 等. 加快电网建设新技术推广应用的研究与建议[J]. 电网技术, 2006, 30(2): 23-29.
- [26] 余文奇, 康义. 提高南方电网西电东送能力研究[J]. 中国能源, 2004, 26(2): 25-29.
- [27] 郭剑波. 我国电力科技现状与发展趋势[J]. 电网技术, 2006, 30(18): 1-7.

收稿日期: 2007-11-26

作者简介:

陈旭(1976-), 男, 高级工程师, 从事电力系统规划研究管理工作。
康义(1970-), 男, 高级工程师, 长期从事电力系统规划研究工作。

(本文责任编辑 黄瑜 张亚拉)