

大规模区外来电失去背景下电网响应机制的研究

卫鹏, 刘建坤, 周前, 胡昊明, 朱鑫要
(江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏南京 211103)

摘要:随着江苏特高压电网的不断发展, 区外来电的可靠性对保障地区供电具有重要意义。特高压直流等大规模区外来电在受端电网需要各个省级电网支撑和分担, 当双极闭锁等情况损失的电量需要进行分摊, 电网潮流重新分布。以实际发生的锦苏直流闭锁历史事件为背景, 分析了区外来电失去后本地电源的响应特性和外省电源的支撑特性, 对于应对区外来电损失后的潮流控制提供借鉴。

关键词:区外来电; 特高压直流; 双极闭锁; 电力电量平衡; 电源

中图分类号: TM732

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2016)03-0013-04

至2015年, 江苏电网已有13回交流500 kV省际联络线与周边省市电网相连, 其中4回连接安徽、2回连接浙江、4回连接上海、3回与山西阳城电厂相连; 此外, 有2回跨区直流输电通道, 分别是500 kV龙政直流、800 kV特高压锦苏直流, 形成点对点直送、网间互供并存、交直流并供的区外来电输送模式^[1]。

根据年度受电计划, 最大区外受电约13 600 MW, 受电量670亿kW·h, 分别占最大全社会用电负荷和用电量15.1%和13.38%。主要成分包括: 皖电东送、阳城直送、秦山核电、天荒坪抽蓄、三峡水电、锦屏官地水电等, 正常不调峰的核电和水电合计9280 MW, 占受电计划总量的68.2%。日调峰比例约13%, 比全省统调用电负荷年平均峰谷差率16.5%低3.5个百分点。

大规模区外来电对江苏电网的电力需求平衡作用日益增强, 对于特高压直流等大规模区外来电失去后内外电源响应机制研究较少, 文中基于历史双极闭锁事故对电网内外电源协调配合策略进行了研究。

1 区外来电现状

江苏省目前最高统调用电负荷达7800 MW, 电网装机容量超过90 000 MW。大型的区外来电主要包括三峡水电、阳城直送、皖电东送。各主要区外来电规模及现状如图1所示。

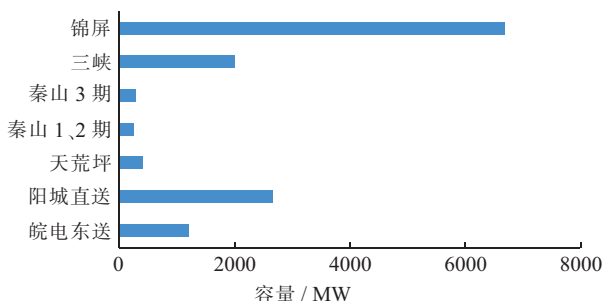


图1 区外来电现状及规模

三峡水电站水电通过500 kV龙政直流送出江苏电网, 落地约为1200 MW。三峡水电和锦屏官地水电合计8720 MW, 占2015年江苏电网区外受电比例达到64.1%, 区外受电成分以水电为主, 分月受电计划受送端水电丰水期和枯水期变化呈现非常明显的季节性特征, 冬季枯水期受电计划6000 MW, 约为夏季丰水期受电计划的44%, 比夏季最大受电少7600 MW, 调峰比例也明显高于夏季。

山西阳城电厂包括6台350 MW进口燃煤发电机组, 以专线、专供方式通过760 km长线路接入江苏电网输送至江苏500 kV三堡变电站^[2]。

2 区外来电规划

根据目前国家电网公司“十三·五”电网发展规划, 江苏电网将建设10回1000 kV特高压交流省际联络线(淮南—南京双回线路、苏州—上海双回线路、徐州—豫北双回线路、徐州—枣庄双回线路、临沂—连云港双回线路), 输电规模15 000 MW; 将建设3回特高压直流(锡盟—泰州、晋北—南京、陇东—徐州), 输电规模28 000 MW; 预计到2020年江苏电网区外来电规模将超过56 000 MW, 较2015年年度计划最大受电电力13 600 MW增加3倍以上。预计“十三·五”主要区外来电及规模如图2所示^[3-5]。

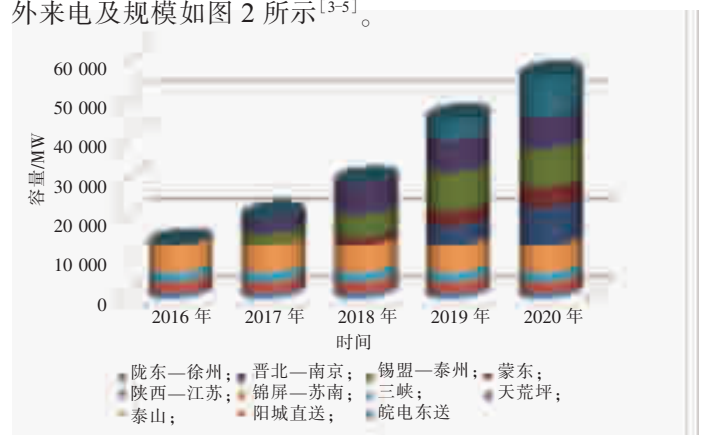


图2 “十三·五”区外受电规划

3 特高压双极闭锁后电网响应

3.1 电网网架

苏州南部电网主要包括苏州市区及吴江地区,主要通过梅里—木渎、华能太仓—车坊及石牌—玉山—车坊 3 个 500 kV 输电通道受电。预计 2020 年 1000 kV 特高压淮沪北半环泰州—苏州过江通道能够建成,届时苏南地区的受电能力将进一步提高。苏南地区网架如图 3 所示^[6,7]。

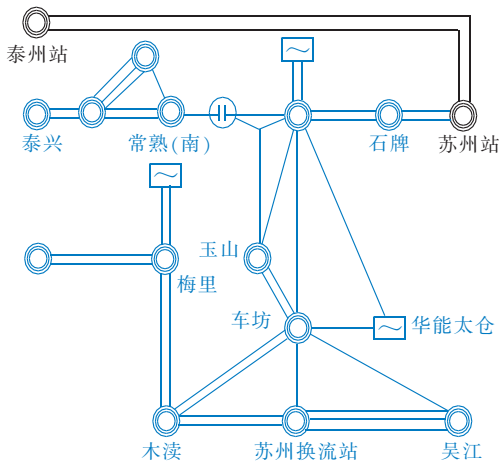


图 3 苏南地区电网示意图

3.2 锦苏直流闭锁后潮流分布

3.2.1 区外来电变化情况

以锦苏直流历史双极闭锁事故为背景,故障时刻发生在 21:58,故障前锦苏直流双极功率 4900 MW,从安徽方向受电 451 MW,从上海方向受电 1216 MW,外送浙江 525 MW^[3]。故障失去瞬间锦苏区外来电变化情况如图(4—6)所示。

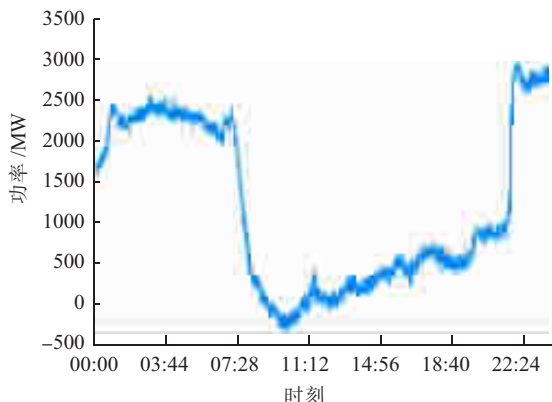


图 4 上海联络线功率变化曲线

锦苏直流双极闭锁后,各省按照事故预案进行功率分摊,有图可见,上海市际联络线功率事故后 1 min 增加了 1121 MW,浙江省际联络线功率事故后 1 min 增加了 601 MW,安徽省际联络线功率事故后 1 min 增加了 1050 MW。全部区外来电相比故障前增加了 2772 MW。

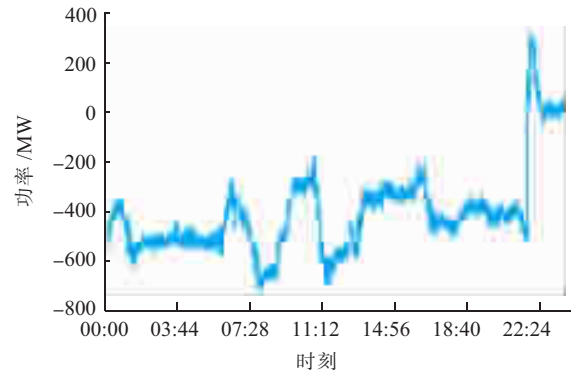


图 5 浙江联络线功率变化曲线

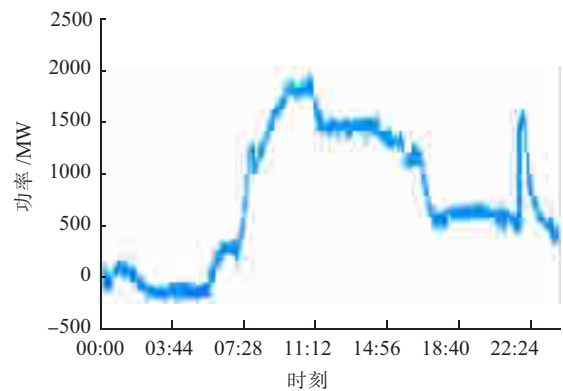


图 6 安徽联络线功率变化曲线

事故后约 5 min 区外来电开始进一步增大,此时上海际联络线功率事故后 5 min 增加了 965 MW,浙江际联络线功率事故后 5 min 增加了 558 MW,上海安徽联络线功率事故后 5 min 增加了 952 MW。全部区外来电相比故障前增加了 2475 MW。

事故后 1 h,旋转备用基本已经被调出,区外来电有所降低,此时上海市际联络线功率事故后增加了 1565 MW,浙江省际联络线功率事故后增加了 517 MW,安徽省际联络线功率事故后增加了 68 MW。全部区外来电相比故障前增加了 2150 MW。

因此,整个双极闭锁过程中,区外来电对于本省用电支撑都发挥了巨大的作用^[10]。

3.2.2 关键 500 kV 线路变化情况

过江断面主要功率变化情况如图 7 所示。

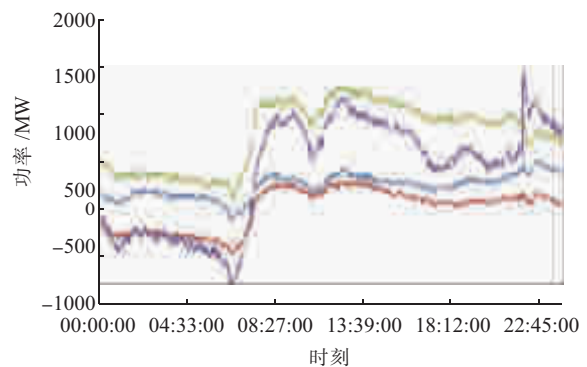


图 7 过江断面功率变化曲线

双极闭锁后过江东通道(泰兴—斗山双线)功率受影响较大,功率增加了 815.8 MW。过江断面北电南送潮流增加了 927 MW,主要是江北电厂开机导致。江苏本地剩余 1201 MW 缺额主要由江南的机组承担。

苏南地区主要线路功率变化情况如图 8 所示。苏南地区受进主要通过 3 个通道,西电东送通道石牌—常熟、梅里—木渎和东通道省际联络线石牌—黄渡,双极闭锁后西电东送通道石牌—常熟增加了 928 MW(主要是江北电厂支撑),梅里—木渎增加了 1923 MW(主要是安徽省际联络线受进),苏南东通道黄渡—石牌增加了 1370 MW(主要是上海市际联络线受进)。苏南地区总受进增加了 4221 MW,基本平衡了锦苏直流损失的区外来电。

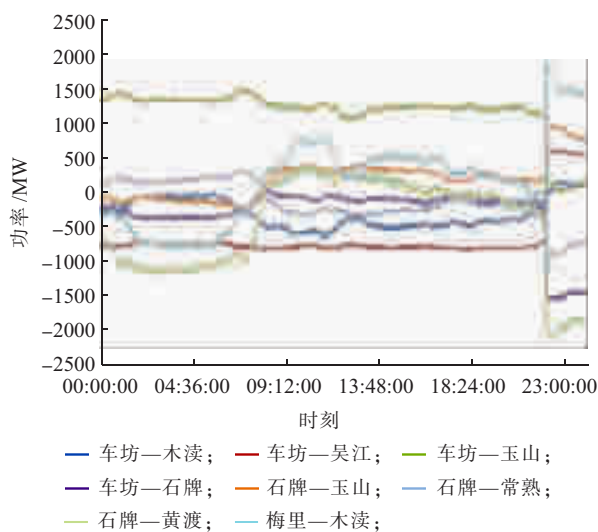


图 8 苏南地区主要线路功率变化曲线

3.2.3 苏州站送出线路功率变化情况

苏州站送出线路苏州—吴江、苏州—车坊、苏州—木渎线路有功和无功变化情况如图 9 所示。

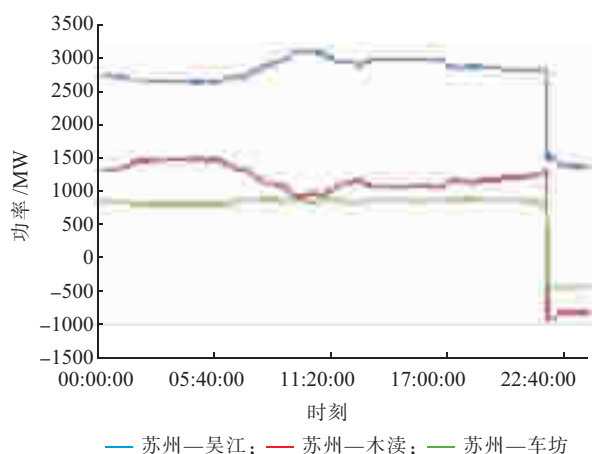


图 9 苏州送出线路有功功率变化曲线

可见,由于闭锁后锦苏直流功率失去,苏州站送出线路苏州—吴江、苏州—车坊、苏州—木渎线路有功分别在故障后减小了 1338 MW, 1247 MW, 2303 MW。苏州送出线路无功功率变化情况如图 10 所示。

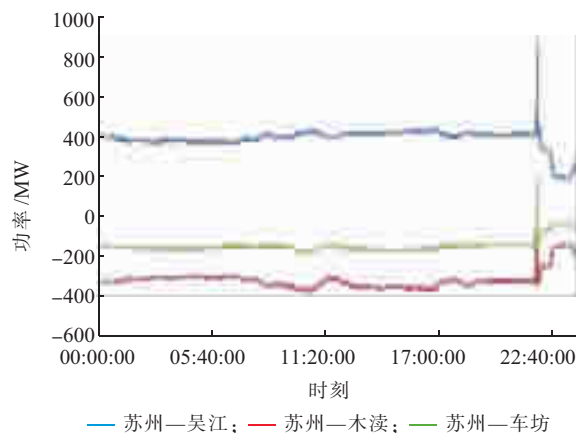


图 10 苏州送出线路无功功率变化曲线

可见,由于闭锁后交流滤波器未切除导致,苏州站送出线路苏州—吴江、苏州—车坊、苏州—木渎线路无功分别在故障后增加了 457 MW, 277 MW, 486 MW。

3.3 调度负荷变化情况

苏州、无锡、常州和镇江地区调度负荷在锦苏双极闭锁前后 2 h 内变化情况如图 11 所示。

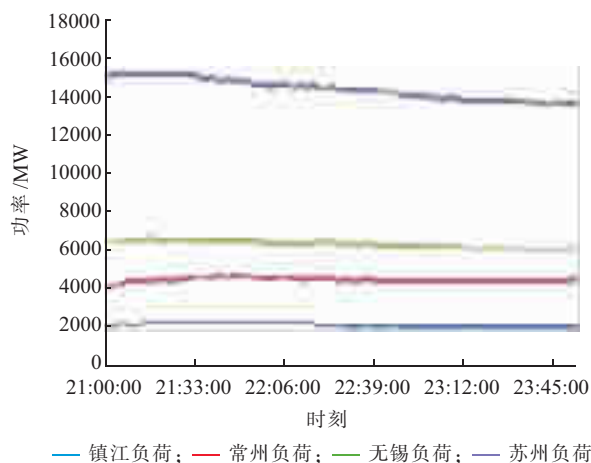


图 11 苏锡常镇地区负荷变化曲线

苏州、无锡、常州和镇江地区负荷在锦苏双极闭锁后 1 h 后基本稳定,相比事故前,负荷正常减小了 1348 MW。全省调度负荷在 1 min 后下降了 597 MW, 5 min 后下降了 403 MW, 1 h 后基本稳定,下降了 2440 MW。

3.4 机组出力变化情况

锦苏直流闭锁后,通过一次调频和自动发电控制(AGC)等措施全省旋转备用响应功率缺额,同时苏南主要电厂出力迅速增加,保障全省电力需求。苏州地区电厂在事故前后 2 h 出力情况如图 12 所示。

锦苏直流闭锁后,通过一次调频苏州地区机组功率均有提升,1 min 后比故障前增加了 330 MW,接着 AGC 动作机组开始爬坡调出旋转备用,5 min 内苏州地区机组总出力增加了 520 MW。事故后 1 h 苏州地区机组出力基本稳定,相比事故前,苏州地区机组出力增加了 1003 MW。

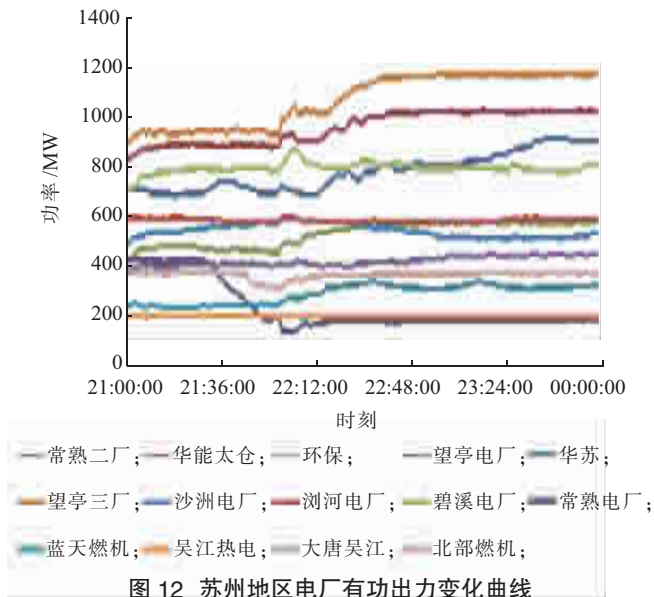


图 12 苏州地区电厂有功出力变化曲线

锡常镇地区电厂在事故前后 2 h 出力情况如图 13 所示。

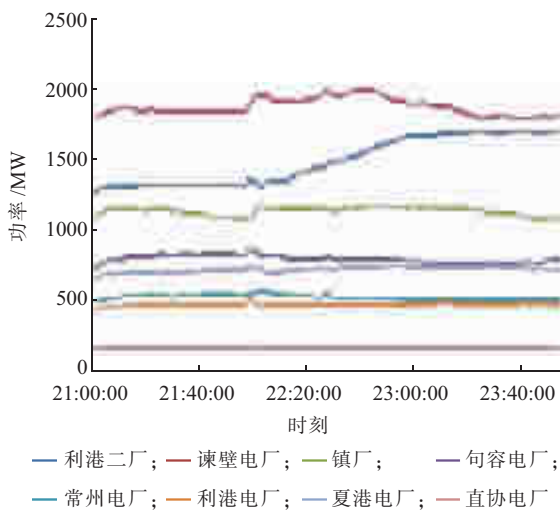


图 13 锡常镇地区电厂有功出力变化曲线

锦苏直流闭锁后,通过一次调频锡常镇地区机组功率均有提升,1 min 后比故障前增加了 240 MW,接着 AGC 动作机组开始爬坡调出旋转备用,5 min 内锡常镇地区机组总出力增加了 410 MW。事故后 1 h 锡常镇地区机组出力基本稳定,相比事故前,锡常镇地区机组出力增加了 643 MW。

全省发电机组能够迅速响应,一次调频和 AGC 及时作用,全省调度发电在 1 min 后增加了 1504 MW,5 min 后达到了全省调度发电最大值,比故障前增加了 2109 MW,一次调频动作和 AGC 作用旋转备用被调出对保障大规模区外来电失去后省内电力需求起到了重要作用。随着负荷同时降低以及频率的恢复,全省电厂出力 1 h 后基本稳定,增加了 438 MW。

4 结束语

综上所述,锦苏直流双极闭锁后损失 4900 MW 后,1 min 左右省际联络线上区外来电增加了 2772 MW,全省统调机组通过一次调频出力增加了 1504 MW;1 min 后 AGC 启动开始调出全省的旋转备用,5 min 左右达到了全省统调机组出力达到最大值,全省统调机组通过一次调频和 AGC 出力增加了 2109 MW,此外由于频率负荷特性导致负荷也降低了 403 MW;双极闭锁后 1 h 后频率基本恢复正常,省际联络线上区外来电增加了 2150 MW,全省统调机组基本恢复到故障前水平。可见,依靠本省机组一次调频和 AGC 可以短时支撑大规模区外来电损失的电量,但是考虑若此时相邻省份机组备用不足或者难以及时响应,势必影响本省的安全用电。因此,建议加强相邻省市电网备用共享和事故支援机制,使省内外电源互为备用以提高全网的旋转备用水平;加快建立省内和省外电源的调节义务分摊机制,调动省内、省外电源参与电网调节的主动性、积极性,保障江苏电网安全、优质、经济运行。

参考文献:

- [1] 刘盛松,秦旭东,汪志成,等.计及潮流断面稳定限额的分区电网最大供电能力研究[J].江苏电机工程,2015,34(5):5-9.
- [2] 胡伟,刘金官,刘华伟.区外来电对江苏电网的影响及对策[J].华东电力,2006,34(1):52-56.
- [3] 叶斌,葛斐.安徽电网电源规划及调峰能力平衡研究[J].安徽电力,2011,28(3):81-84.
- [4] 何建虎,王峰华,张帆.浙江电网区外来电状况浅析[J].浙江电力,2013(3):26-28.
- [5] 吴雪花.应用于月度用电量预测的小波分析法[J].江苏电机工程,2014,33(2):8-11.
- [6] 丁楠,陈中,胡吕龙.基于源网协同的风电并网系统双层优化调度[J].江苏电机工程,2014,33(5):6-10.
- [7] 张文婷,范立新,顾文.考虑风电预测误差的电力系统有功实时调度[J].江苏电机工程,2016,35(1):11-15.

作者简介:

- 卫鹏(1988),男,陕西宝鸡人,工程师,从事电力系统运行仿真分析和稳定研究工作;
- 刘建坤(1980),男,山东潍坊人,高级工程师,从事电力系统运行分析和规划研究工作;
- 周前(1978),男,江苏无锡人,高级工程师,从事电力系统运行分析和规划研究工作;
- 胡昊明(1987),男,江苏南京人,工程师,从事电力系统分析和稳定控制研究工作;
- 朱鑫要(1987),男,河南郑州人,工程师,从事电力系统稳定分析与控制工作。

(下转第 20 页)

4 结束语

在 PSD-BPA 中建立了特高压直流暂态仿真计算模型,并对同步调相机投运后,交流电网电压波动过程中,直流逆变站的电气量变化和同步调相机无功出力情况进行了仿真计算,结果表明电压波动过程中,同步调相机有助于电网电压的快速恢复,保证了直流逆变站的稳定运行。

参考文献:

- [1] 吴鹏,田猛,陆云才,等. 锦—苏特高压直流对江苏电网变压器直流偏磁的影响[J]. 江苏电机工程,2014,33(1):5-7.
- [2] 郭小江,马世英,卜广全,等. 上海多馈入直流系统的无功控制策略[J]. 电网技术,2009,33(7):30-35.
- [3] 郑超,马世英,盛灿辉,等. 以直流逆变站为动态无功源的暂态电压稳定控制[J]. 中国电机工程学报,2014,34(34):6141-6149.
- [4] 邵瑶,汤涌,郭小江,等. 多直流馈入华东受端电网暂态电压稳定性分析[J]. 电网技术,2011,35(12):50-55.
- [5] 李春华,黄伟雄,袁志昌,等. 南方电网±Mvar 链式 STATCOM

- 系统控制策略[J]. 电力系统自动化,2010,37(3):116-121.
- [6] 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.
 - [7] 刘振亚,张启平,王雅婷,等. 提高西北新甘青 750 kV 送端电网安全稳定水平的无功补偿措施研究[J]. 中国电机工程学报,2015,35(5):1015-1022.
 - [8] 徐政. 交直流电力系统动态行为分析[M]. 北京:机械工业出版社,2005:37-51.
 - [9] 赵畹君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京:中国电力出版社,2011:31-92.

作者简介:

张宁宇(1985),男,山西五台人,工程师,从事电力系统优化与运行、柔性交直流输电研究工作;
 刘建坤(1980),男,山东潍坊人,高级工程师,从事电力系统仿真分析、电力系统规划和运行以及柔性交直流输电等研究工作;
 周前(1978),男,江苏宜兴人,高级工程师,从事电力系统分析与计算研究工作;
 汪成根(1981),男,安徽桐城人,工程师,从事电力系统安全稳定紧急控制研究工作。

Analysis on the Impact of Synchronous Condenser on DC Inverter Operating Characteristic

ZHANG Ningyu, LIU Jiankun, ZHOU Qian, WANG Chenggen

(Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: The reactive power compensation devices located at high voltage DC inverter is mainly used to provide reactive power to support active power transmission. The dynamic characteristics of reactive power devices have significant influence on voltage stability and DC operating characteristics. Based on control strategy, this paper analyzes the influence of synchronous condenser on DC inverter operating characteristic during AC voltage fluctuations. The characteristics of reactive power output and the response characteristics of the inverter station are revealed and verified by simulation results. The research provides theoretical foundations to the integration of large capacity synchronous condenser to multi-infeed DC power grid.

Key words: UHVDC; inverter station; synchronous condenser; operating characteristic

(上接第 16 页)

Study on Grid Response Mechanism to Large-scale Outer Power Loss

WEI Peng, LIU Jiankun, ZHOU Qian, HU Haoming, ZHU Xingyao

(Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: With the development of Jiangsu UHV power grid, reliable outer power is important for regional power supply. Supports from provincial power grids are needed at the receiving end of UHVDC which brings large amount power into the grids. The loss of power caused by bipolar blocking needs to be allocated and the power flow among the power grid has to be redistributed. Taking a historical UHVDC blocking event in Jiangsu power grid as an example, responding characteristic of local power sources and supporting characteristic of outer power sources are analyzed for the case of outside power loss. The research provides some references to the power flow control for outside power loss.

Key words: outer power; UHVDC; bipolar blocking; electricity and power balance; power sources