

高压串联电抗器在南京城市环网中的应用研究

孙文涛, 王海潜, 谢珍建, 蔡 晖

(江苏省电力公司电力经济技术研究院, 江苏 南京 210008)

摘 要: 随着电网规模的不断扩大, 导致了系统短路电流水平逐年增长, 严重影响电网安全稳定运行。改变电网结构、调整系统运行两种措施虽然可以有效降低短路电流, 但同时降低了电网运行的稳定性和可靠性。而以串联电抗器为主的改变设备性能参数措施在不改变电网结构前提下, 也可达到降低短路电流的目的, 对电网运行的稳定性和可靠性影响相对较小。本文以高压串联电抗器在南京城市环网对应用为例, 分析高压串联电抗器在降低短路电流中的作用, 重点计算分析了不同容量高压串联电抗器的作用效果。

关键词: 高压; 串联电抗器; 城市环网; 短路电流

0 引言

随着电网规模的不断扩大, 负荷密度越来越高, 电网结构日趋密集, 导致了系统短路电流水平逐年增长, 某些变电站的高压开关设备的遮断容量已接近或超过了额定值, 严重影响电网安全稳定运行^[1-2]。目前针对电网短路水平偏高的问题, 在规划和系统设计阶段, 控制短路电流水平的方法主要包括改变电网结构、调整系统运行方式和改变设备性能参数三方面^[3-5]。改变电网结构、调整系统运行方式两种方法一定程度上降低了电网运行的稳定性和可靠性, 给电网运行带来的影响不容忽视^[6]。而改变设备性能参数主要是采用高阻抗变压器、在主变中性点加装小电抗器的措施对短路电流进行限制, 其未改变电网结构, 对电网运行的稳定性和可靠性影响相对较小^[7], 在近期的规划建设中得以充分应用。

目前国内外提出限制短路电流的措施很多, 从各种措施的实施层次来看, 可以简单地分为系统级措施和设备级措施2大类^[8-9]。从限制短路电流措施的运行方式角度来看, 可以简单地分为主动式和被动式2大类^[10]。在系统级措施中, 电网解列运行和母线分列运行是国内电网中经常采用的2种降低系统短路电流水平的措施, 但这2种措施在一定程度上降低了电力系统运行的稳定性和可靠性, 给系统运行带来的影响不容忽视^[11-12]。在设备级措施中, 目前采用较多的是串联电抗器和高短路阻抗变压器^[13-14]。串联电抗器是目前广泛应用于高、中、低压

系统的故障电流限制技术, 也是最为成熟的故障电流限制器, 高短路阻抗变压器也是一种切实可行的故障电流限制技术, 但高阻抗变压器从目前抗主要限制来自高一级电压等级对低一级电压等级的短路电流激增^[15]。目前, 高压限流电抗器已广泛应用在国外超高压电网中, 在国内也有应用, 如上海泗泾站和浙江瓶窑站^[16-17]。

本文研究了高压串联电抗器在城市环网中的应用问题。以南京电网为例, 从高压串联电抗器容量选择、安装地点选择角度, 计算分析了高压串联电抗器在南京城市环网短路电流限制问题中的应用, 综合短路电流、潮流的计算结果, 得到了南京城市环网高压限流电抗器应用方案。

1 高压串联电抗器

高压串联电抗器是指 220kV 及以上输电网电压等级的串联电抗器, 其工作原理是通过在出线断路器出串联电抗器, 增大系统短路阻抗, 从而限制短路电流^[18], 但同时正常状态下的工作电流也有限制作用。目前, 高压限流电抗器已广泛应用在国外超高压电网中, 2008 年国内在上海泗泾站首次应用^[16], 运行状态良好。

2 高压串联电抗器在南京城市环网中的应用

2.1 南京城市环网短路电流问题

目前, 南京市220kV电网成一片运行, 电源主要包括500kV变电站和220kV接入的电厂。500kV龙王山变位于南京市电网的东北面,

500kV东善桥变位于南京市区电网的南面；220kV接入的电厂主要包括金陵燃机（2×390MW+2×180MW机组）、大唐马渡电厂（2×660MW机组）、华能南京电厂（2×320MW机组）、板桥电厂（2×330MW机组）。

南京市区220kV电网呈双环网结构，很好地保证了市区的供电可靠性，然而也带来了短路电流水平较高的问题。根据《江苏电网2014年年度运行方式》中2013年夏季高峰短路电流计算结果的数据，市区220kV电网短路水平整体较高，其中，500kV东善桥变220kV母线三相短路电流为47.19kA，500kV龙王山变220kV母线三相短路电流为50.50kA，已超出其额定值，龙王山变将调整部分220kV出线间隔，并打开分段开关运行。

根据规划，2016年，南京市区将建设500kV秦淮变（2×1000MVA主变），秦淮变投运后，为了控制短路电流，需断开若干条500kV秦淮变和500kV东善桥变之间的220kV线路，将现状东龙片区（东善桥、龙王山500kV变电站为主要电源点的城市220kV双环网）从秦淮变和东善桥变之间解环，具体为：断开220kV秦淮~东善桥1回、大胜关~东善桥1回，共计2回220kV线路。至2019年，南京市区电网均不建设500kV主变，该分片结构一直保持。2016年~2019年南京市区电网分片结构示意图如图1所示。

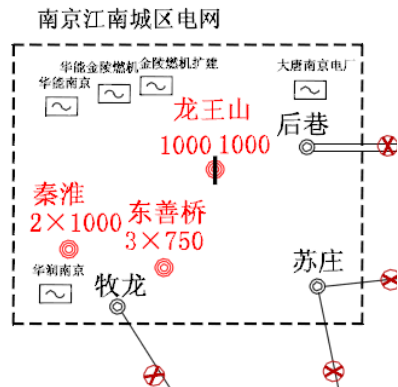


图1 2016年~2019年南京市区电网分片结构图

在该分片方式下，计算南京市区电网的短路电流，部分短路电流结果如表1所示，220kV尧化门变各支路短路电流结果如表2所示。由计算结果可以看出，南京市区220kV三相短路电流最高点为220kV尧化门变的220kV母线，达到51.077kA，已超过50kA的限值，其中，尧化门~经港支路提供的

短路电流最大，达到15.75kA。

表1 南京市区电网三相短路电流结果 单位：kA

序号	变电站	短路电流
1	500kV秦淮变220kV母线	44.122
2	500kV东善桥变220kV母线	44.735
3	500kV龙王山变220kV母线	37.703/47.298
4	220kV尧化门变220kV母线	51.077
5	220kV经港变220kV母线	49.933
6	220kV铁北开关站220kV母线	49.651

表2 尧化门变各支路三相短路电流结果 单位：kA

序号	支路名	短路电流
1	尧化门~铁北	7.636
2	尧化门~仙鹤	8.6835
3	尧化门~仙鹤	8.6835
4	尧化门~东阳	5.1935
5	尧化门~东阳	5.1935
6	尧化门~经港	15.7463

由表1、2的结果可知，尧化门变的三相短路电流较高的原因主要是尧化门变与500kV龙王山变和华能金陵燃机电厂电气距离较近。因此，220kV仙鹤变、东阳变、经港变所对应的支路短路电流较大。

2.2 高压串联电抗器在南京城市环网中的应用

目前，南京市区500kV主变均已采用高阻抗变压器，其中，500kV东善桥变、500kV龙王山变已采用20%阻抗的高阻抗变压器，根据500kV秦淮变可研审查意见，500kV秦淮变将采用22%阻抗变压器。而常规技术存在一定的局限性，或可能带来潮流问题，或经济性差，造价过高。在保证电网结构的情况下，应用高压串联电抗器在南京城市环网的短路电流控制问题中是必然选择。

(1) 高压串联电抗器装设地点选择

由表2和图2可知，尧化门~经港支路提供的短路电流最大，且潮流较小，为了同时满足短路电流的控制效果，以及对潮流的影响最小，建议在尧化门~经港线路加装（下文称为尧经线）高压串联电抗器，高压串联电抗器装设地点如图3所示。

(2) 高压串联电抗器容量选择

在220kV尧经线加装高压串联电抗器，限制220kV尧化门变的短路电流，计算不同电抗值对尧化门变及相关变电站短路电流的影响，计算结果如表3所示。由表3可知，尧经线加装高压串联电抗器后，对南京市区220kV电网整体短路水平均有降低作用，离安装高压串联电抗器的电气距离越近，短

路电流降低效果越显著。因此，在尧经线加装高压串联电抗器，对尧化门变及经港变220kV短路电流

降低效果最好。但是，随着高压串联电抗器数值的增大，对短路电流限制作用的百分比在减小。

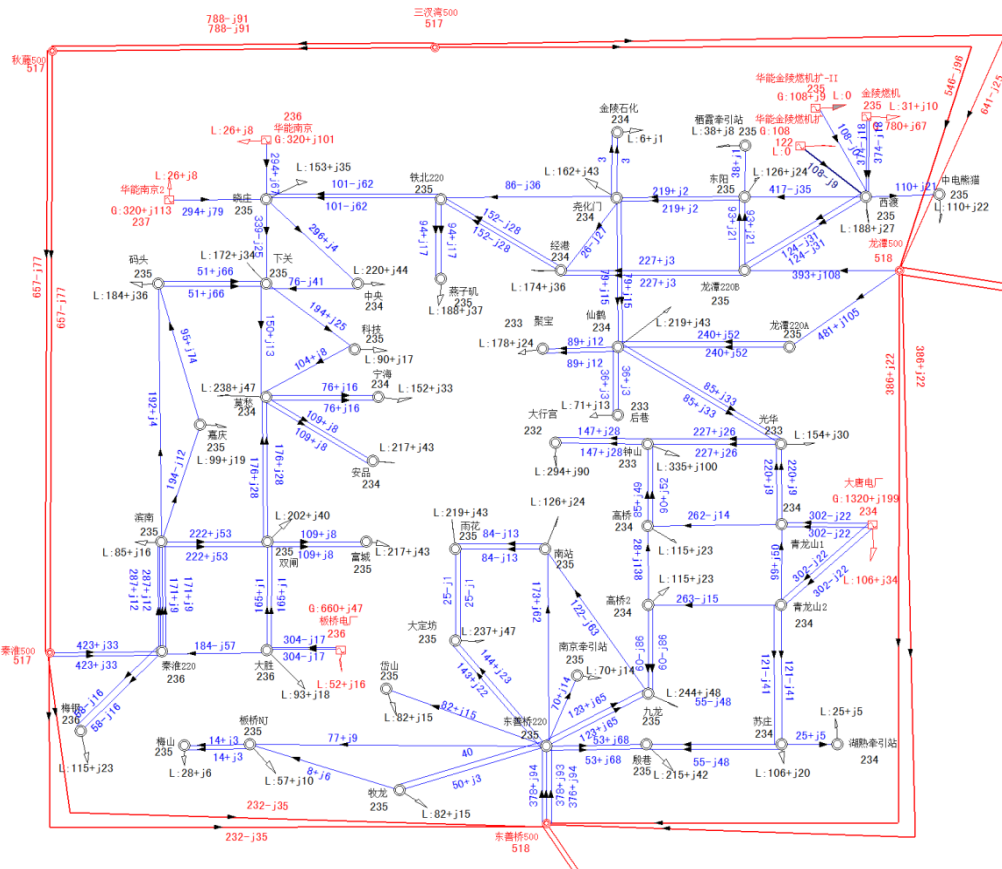


图2 调整电网结构前，南京市潮流图

表3 加装不同数值的高压串联电抗器，相关母线短路电流计算结果 单位: kA

项目	参数						
阻抗/ Ω	0	1	2	3	4	5	6
500kV 秦淮变 220kV 母线	44.122	43.969	43.88	43.822	43.781	43.751	43.727
500kV 东善桥变 220kV 母线	44.735	44.635	44.576	44.538	44.511	44.49	44.475
500kV 龙王山变 220kV 母线 1	37.703	37.531	37.431	37.366	37.32	37.286	37.26
500kV 龙王山变 220kV 母线 2	47.3	47.276	47.264	47.255	47.249	47.245	47.241
220kV 尧化门变 220kV 母线	51.077	49.914	49.263	48.847	48.56	48.349	48.189
220kV 经港变 220kV 母线	49.933	48.171	47.196	46.578	46.153	45.842	45.605
220kV 铁北开关站 220kV 母线	49.651	49.062	48.725	48.507	48.356	48.244	48.158

尧经线是龙王山向西环网送电的重要通道之一，在尧经线安装一定数值的串联电抗器后，将影响该支路及周边支路的潮流情况，部分支路潮流结果如表4所示。由表4可知在尧经线加装串联电抗器仅对尧化门~经港/尧化门~铁北存在潮流的影响，基本不影响龙王山的降压以及龙王山向西环网送电的功率。因此，在尧化门~经港线路安装串联电抗器对电网运行影响较小，且能有效降低电网短路电流。

表4 加装不同数值的高压串联电抗器，部分支路潮流结果

表 单位: MW

项目	参数					
阻抗/ Ω	0	2	3	4	5	6
尧化门-经港	26	16	14	12	10	9
尧化门-铁北	86	91	93	94	94	95
铁北-晓庄	202	202	202	202	202	202
龙王山降压	393/481	393/480	393/480	393/480	393/480	393/480

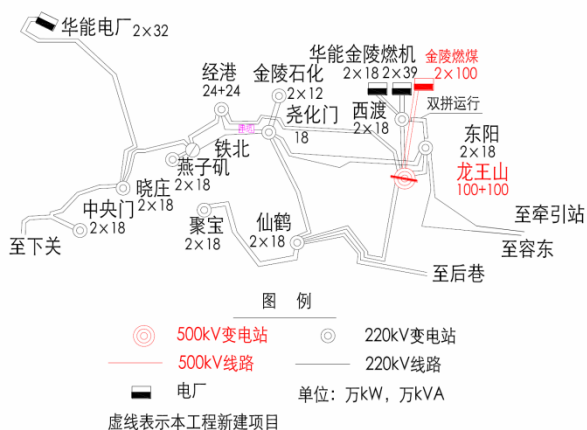


图3 投产年尧化门周边电网地理接线图

3 结束语

本论文研究了串联电抗器在城市环网短路电流限制中的应用。综合短路电流、潮流的计算结果表明, 高压串联电抗器可有效控制电网短路电流水平, 且对潮流影响较小。针对南京城市环网短路电流朝鲜问题, 在预留一定的裕度前提下, 串联电抗值可选择 6Ω , 最终可将尧化门变的短路电流控制在 48kA 左右。

参考文献:

- [1] 王非,李群炬. 京津唐电网限制短路电流问题探讨[J].华北电力技术,2007(04):17-19.
- [2] 孙奇珍,蔡泽祥,李爱民,等. 500 kV电网短路电流超标机理及限制措施适应性[J]. 电力系统自动化,2009, 33(21):92-96.
- [3] 徐贤,丁涛,万秋兰. 限制短路电流的220 kV电网分区优化[J]. 电力系统自动化,2009, 33(22): 98-101.
- [4] 梁纪峰,刘文颖,梁才,等. 500kV自耦变中性点串接小电抗对接地短路电流限制效果分析[J]. 电力系统保护与控制,2011, 39(13): 96-99(110).
- [5] 袁娟,刘文颖,董明齐,等.西北电网短路电流的限制措施[J]. 电网技术,2007, 31(10):11-15.
- [6] 杨雄平,李力,李扬絮,等. 限制广东500 kV电网短路电流运

行方案[J].电力系统自动化,2009, 33(7):104-107.

- [7] 叶幼君, 鲍爱霞, 程云志.浙江500 kV电网短路电流的控制[J], 华东电力, 2006, 34(3):132-134.
- [8] 刘树勇,孔昭兴,张来.天津电网220 kV短路电流限制措施研究[J].电力系统保护与控制,2012(10): 103-107,118.
- [9] 张铭. 短路电流限制器技术综述[J]. 华东电力,2008, 36(9): 43-46.
- [10] 韩戈,韩柳,吴琳. 各种限制电网短路电流措施的应用与发展[J]. 电力系统保护与控制,2010, 38(1):141-144(151).
- [11] 李琥,黄河,张谦. 江苏电网限制单相接地短路电流措施的研究[J].江苏电机工程, 2009, 28(1): 19-21.
- [12] 庄侃沁, 胡宏, 励刚, 等.控制和降低短路电流水平措施在华东电网的应用[J]. 华东电力, 2005, 33(12):29-31.
- [13] 祁万春,奚巍民,张谦,等.应用500 kV高阻抗主变压器提高220 kV片区供电能力[J].电力系统自动化, 2008, 32(14):96-98.
- [14] 王海潜,祁万春.高压限流电抗器在电网中的应用研究[J].科技与企业,2013(20):190-191.
- [15] 杨柳,钟杰. 峰广东1500MVA大容量变压器短路阻抗的研究[J].电力系统自动化,2008, 32(23): 23-25.
- [16] 庞爱莉. 控制上海电网短路电流的若干措施[J].电力与能源,2012, 33(4):327-329.
- [17] 程云志,叶幼君. 500 kV自耦变压器中性点装设小电抗的应用研究[J].华东电力,2006, 34(11): 104-107.
- [18] 殷可,高凯. 应用串联电抗器限制500 kV短路电流分析[J]. 华东电力,2004, 32(9):7-1.

作者简介:

孙文涛 (1986-), 男, 博士, 主要从事电网规划设计工作, Email: wt_sun@yeah.net;
王海潜 (1963-), 男, 高级工程师, 长期从事电力系统规划研究与管理工
谢建建 (1980-), 男, 高级工程师, 长期从事电力系统规划研究与管理工
蔡 晖 (1984-), 男, 博士, 主要从事电网规划设计工
作。