

# 高压串联电抗器在南京 220 kV 电网中的应用分析

徐宁<sup>1</sup>, 王莹<sup>2</sup>, 许文超<sup>2</sup>

(1.江苏省电力公司电力经济技术研究院, 江苏 南京 210008;

2.中能建江苏省电力设计院有限公司, 江苏 南京 211102)

**摘要:** 高压串联电抗器已成为近年来限制短路电流的重要新兴设备之一。以南京 220 kV 电网为例, 针对南京市 220 kV 尧化门变短路电流水平越限的问题, 通过计算, 选择在相应位置加装一定数值的高压串联电抗器, 并分析其安装后的效果, 发现高压串联电抗器可以有效解决南京市 220 kV 电网短路电流越限的问题。

**关键词:** 高压串联电抗器; 尧化门变; 路电流

中图分类号: TM713

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2015)05-0034-03

随着电网规模的不断扩大, 系统短路电流水平逐年增长, 部分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。为解决此问题, 保证电网安全稳定运行, 在规划阶段, 控制短路电流水平主要从改变电网结构、调整系统运行方式和改变设备性能参数三方面进行研究。然而面对电网密集程度日益加大, 电气距离和电气强度日趋紧密的现实情况, 电网需采用更多有效控制短路电流的方法, 高压串联电抗器则是近年来重要的新兴设备之一。电抗器按用途可分为并联电抗器、限流电抗器、消弧线圈、中性点接地电抗器等<sup>[1]</sup>。文中的高压串联电抗器指的是 220 kV 及以上输电电压等级的限流电抗器, 其主要用途是限制电流, 尤其是限制故障电流, 同时对正常状态的工作电流也有限制作用。

## 1 高压串联电抗器的应用

目前, 高压限流电抗器已广泛应用在国外超高压电网中, 在华东 500 kV 电网也有相关应用, 可有效降低短路电流水平, 避免电网结构大规模调整, 保证电网的可靠运行。

(1) 上海泗泾站。上海泗泾、黄渡和南桥 500 kV 变电站 500 kV 断路器遮断容量为 50 kA。至 2005 年一批大机组相继投产, 在调整优化网络结构的同时, 黄渡、南桥短路电流仍逼近开关遮断容量, 有必要对短路电流进行限制。因此在 500 kV 黄渡—泗泾双回路泗泾站出口变电站内安装了 2 组 500 kV 高压串联电抗器。加装后, 可将黄渡短路电流控制在 50 kA 以下, 明显降低了南桥短路电流, 对降低整个上海 500 kV 电网短路电流水平有一定作用, 并对上海电网的运行方式有较强的适应性<sup>[2]</sup>。

(2) 巴西 Tucurui 水电厂。该水电厂规划装机容量 8361 MW, 分二期建设: 一期 12×353 MW; 二期 11×

375 MW。如果一、二期机组 550 kV 母线直接相联, 短路电流将超过断路器遮断容量 40 kA, 因此在一、二期机组串与串之间装设串联电抗器, 既实现一、二期机组高压母线的互联, 提高系统的可靠性, 又将短路电流控制在 40 kA 以下。该电抗器额定阻抗为 20 Ω, 额定电流 2.6 kA, 额定容量为 3×135 MV·A, 已于 2004 年 4 月底完成交接<sup>[3,4]</sup>。其接线如图 1 所示。

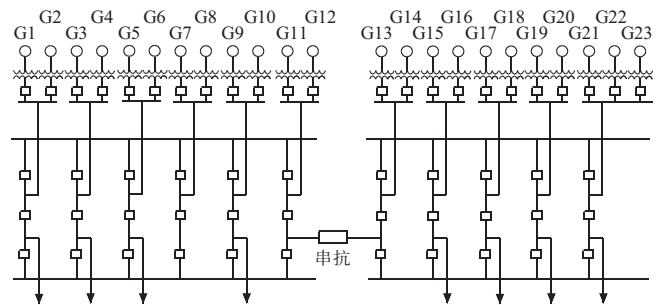


图 1 巴西 Tucurui 水电厂接线

(3) 美国 345 kV 电网。2001 年, 美国纽约电网的联合爱迪生系统由于新机组的接入, 345 kV 电网短路电流超过了现有断路器遮断容量, 因此, 345 kV 系统中的 M51/52 和 M71/72 线路上串接了 4 台电抗器, 以满足断路器遮断容量要求<sup>[3]</sup>(如图 2 所示)。

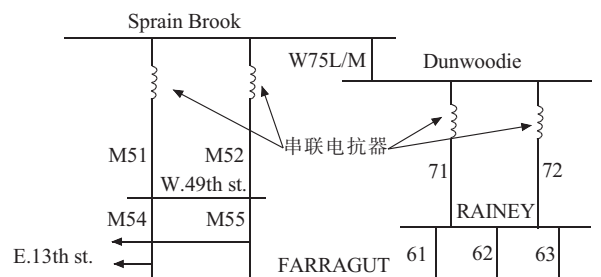


图 2 Sprain Brook 和 Dunwoodie 变电站接入串抗

## 2 高压串联电抗器在南京 220 kV 电网的应用

### 2.1 南京市 220 kV 电网短路电流问题

南京市 220 kV 电网呈双环网结构, 保证了市区的供电可靠性, 但是电网结构的紧密带来了短路电流

水平较高的问题。根据规划,为了控制短路电流,2016年 500 kV 秦淮变投运,将目前的“O 型”环网结构改成“C 型”结构运行。2016 年南京市 220 kV 电网结构如图 3 所示。

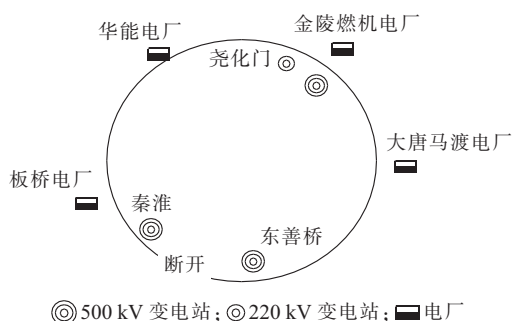


图 3 2016 年南京市 220 kV 电网结构

在正常运行方式下,南京市 220 kV 三相短路电流最高点为 220 kV 尧化门变的 220 kV 母线,达到 51.077 kA,已超过其断路器 50 kA 的遮断能力。尧化门变的三相短路电流较高的原因主要是它位于南京市“C 型”电网结构的中点附近,且与 500 kV 龙王山变和华能金陵燃机电厂电气距离较近。

## 2.2 南京市电网限制短路电流措施

220 kV 尧化门变三相短路电流水平超过其断路器遮断容量,可采用如下措施降低其短路电流,包括调整电网结构(方案一);更换附近变电站的断路器及相关设备(方案二);安装高压串联电抗器(方案三)。其经济技术比较详见表 1。

表 1 各种措施综合比较表

项目	方案一	方案二	方案三
投资及工程量	投资最少;运行时断开尧化门—经港线路	投资最多;需更换附近 220 kV 及 500 kV 变电站断路器及相关设备	投资较少;需占用部分土地资源
对短路及潮流影响	有效解决短路;会造成电网某些方式下线路过载	有效解决短路;无潮流问题	有效解决短路;无潮流问题
远景适应性	较差	较好	较好
对电压的影响	无	无	可能增大线路电压降
运行管理	运行管理简单	运行管理简单	可借鉴 500 kV 串抗运行经验

综合表 1 的结果,可以看出三类措施均可解决短路电流越限的问题。方案一,根据电网的情况,调整电网结构可选择开断尧化门—经港线路,尧化门变短路电流将大大降低,但是断线运行会造成潮流问题,因为尧化门变周边为 500 kV 龙王山变向西送电的主要通道,若断线运行,部分线路发生  $N-1$  或  $N-2$  故障时,将存在线路潮流过载的问题,影响电网的供电可靠性。方案二,采用更换周边变电站的断路器及相关设备,造价高,经济性差,且停电时间长、范围广,影响较大。方案三,安装高压串联电抗器体积较大,需占用场地资源,

但投资较少;同时,若串联电抗器的数值过大,可能增大所在线路的电压损耗,造成电压降不符合相关规定;虽华东地区暂无 220 kV 串抗运行管理经验,但可借鉴 500 kV 串抗运行管理经验。

综上所述加装高压串联电抗器最利于降低南京尧化门变短路电流,且影响最小。

## 2.3 高压串联电抗器装设地点选择

计算尧化门变各支路提供的短路电流及潮流(见表 2)。根据表 2 的结果,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,选择在尧化门—经港线路(下称尧经线)加装高压串联电抗器。

表 2 尧化门变各支路三相短路电流及支路潮流结果

序号	支路名	短路电流 /kA	有功潮流 /MW
1	尧化门—铁北	7.636	86
2	尧化门—仙鹤	8.683 5	79
3	尧化门—仙鹤	8.683 5	79
4	尧化门—东阳	5.193 5	219
5	尧化门—东阳	5.193 5	219
6	尧化门—经港	15.746 3	26

## 2.4 高压串联电抗器容量选择

### 2.4.1 对短路电流的影响

在 220 kV 尧经线加装高压串联电抗器,限制 220 kV 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,计算结果见表 3。由表 3 可以看出,尧经线加装高压串联电抗器,对南京市 220 kV 电网整体短路水平存在一定程度的降低作用,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明显,因此,在尧经线加装高压串联电抗器,对尧化门变及经港变 220 kV 短路电流降低效果最好。但随着高压串联电抗器数值的增大,对短路电流限制效果在降低。

### 2.4.2 对潮流的影响

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,部分支路潮流结果详见表 4。尧经线是龙王山向西环网送电的重要通道之一,根据潮流计算的结果,在尧经线路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。另外,由于尧化门变短路电流越限程度不大,所需的高压串联电抗器数值不大,经计算,加装 6  $\Omega$  高压串联电抗器后,尧化门—经港线路电压降增加 0.16 kV,由此可见,加装高压串联电抗器不足以对线路的电压降产生根本性的影响。

综合算例中短路电流、潮流计算结果,在 220 kV 尧化门—经港线路加装高压串联电抗器,可以有效控

表3 加装不同数值的高压串联电抗器时相关母线短路电流计算结果

序号	变电站		无	1 Ω	2 Ω	3 Ω	4 Ω	5 Ω	6 Ω
1	500 kV 秦淮变 220 kV 母线	短路电流 /kA	44.122	43.969	43.880	43.822	43.781	43.751	43.727
		降低百分数 /%		0.347	0.202	0.132	0.094	0.069	0.055
2	500 kV 东善桥变 220 kV 母线	短路电流 /kA	44.735	44.635	44.576	44.538	44.511	44.490	44.475
		降低百分数 /%		0.224	0.132	0.085	0.061	0.047	0.034
3	500 kV 龙王山变 220 kV 母线 I	短路电流 /kA	37.703	37.531	37.431	37.366	37.320	37.286	37.260
		降低百分数 /%		0.456	0.266	0.174	0.123	0.091	0.070
4	500 kV 龙王山变 220 kV 母线 II	短路电流 /kA	47.30	47.276	47.264	47.255	47.249	47.245	47.241
		降低百分数 /%		0.051	0.025	0.019	0.013	0.008	0.008
5	220 kV 尧化门变 220 kV 母线	短路电流 /kA	51.077*	49.914	49.263	48.847	48.560	48.349	48.189
		降低百分数 /%		2.277	1.304	0.844	0.588	0.435	0.331
6	220 kV 经港变 220 kV 母线	短路电流 /kA	49.933	48.171	47.196	46.578	46.153	45.842	45.605
		降低百分数 /%		3.529	2.024	1.309	0.912	0.674	0.517
7	220 kV 铁北开关站 220 kV 母线	短路电流 /kA	49.651	49.062	48.725	48.507	48.356	48.244	48.158
		降低百分数 /%		1.186	0.687	0.447	0.311	0.232	0.178

注:\*表示越限;500 kV 龙王山变分段打开运行,故存在 I 和 II 两段母线的计算数值。

表4 加装不同数值的高压串联电抗器后部分支路潮流结果

序号	线路或主变	无串抗	2 Ω	4 Ω	6 Ω
1	尧化门—经港	26	16	12	9
2	尧化门—铁北	86	91	94	95
3	铁北—晓庄	202	202	202	202
4	龙王山降压	393/481	393/480	393/480	393/480

制 220 kV 尧化门变的短路电流,且对潮流影响较小。为了预留一定的裕度,将尧化门变的短路电流控制在 48 kA 左右,串联电抗值可选择 6 Ω。

### 3 结束语

华东地区 500 kV 电网加装高压串联电抗器的成功实践,使该设备的运用越发趋于普及化。针对南京市 220 kV 电网的问题,进行算例的计算分析,可以看出,在 220 kV 电网加装高压串联电抗器限制短路电流的效果明显,可以解决尧化门变短路电流超标的问题,可以避免采用常规手段对电网可靠性产生的不良影响。但是,高压串联电抗器体积较大,需占用一定的用

地资源,且运行期间噪声较大,一般 220 kV 变电站距离居民区较近,工程实施需采取相应的消除噪声手段。另外,加装高压串联电抗器后,还可能引起暂态恢复电压的问题,需详细论证,合理选择串联电抗器相应的对地电容数值。

#### 参考文献:

- [1] 茅嘉毅,蒋平,胡伟.采用粒子群算法优化配置限流电抗器的研究及应用[J].江苏电机工程,2010,29(5):21-25.
- [2] 尹天明,谢天喜,周志成.500 kV 线路安装串联电抗器后断路器 TRV 分析[J].江苏电机工程,2014,33(6):45-47.
- [3] 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):7-10.
- [4] 庄侃沁,陶荣明,尹凡.采用串联电抗器限制 500 kV 短路电流在华东电网的应用[J].华东电力,2009,37(3):440-443.

#### 作者简介:

徐宁(1972),男,浙江杭州人,高级工程师,从事电网规划及输配电工程研究;

王莹(1986),女,江苏常州人,工程师,从事电力规划研究;

许文超(1979),女,江苏盐城人,高级工程师,从事电力规划研究。

## Analysis of the Performance of High Voltage Series Reactor in Nanjing 220 kV-power-grid

XU Ning<sup>1</sup>, WANG Ying<sup>2</sup>, XU Wenchao<sup>2</sup>

(1.Jiangsu Electric Power Company Power System Planning Research Center, Nanjing 210008, China;

2.China Energy Engineering Group Jiangsu Power Design Institute Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

**Abstract:** High voltage series reactor has become an important equipment for current-limiting in recent years. This paper takes Nanjing 220 kV-power-grid as an example. The short-circuit current level of Yaohuamen is out-of-limit. This paper selects the appropriate location and number for high voltage series reactor. Then analyzes the effects after its installation. It is found that high voltage series reactor effectively reduces the short-circuit current in Nanjing 220 kV-power-grid.

**Key words:** high voltage series reactor; Yaohuamen transformer substation; short-circuit current