

江苏特高压建设时期短路电流限制措施

陈倩, 汤奕

(东南大学电气工程学院, 江苏南京 210096)

摘要: 淮沪特高压工程投产运行初期, 会在江苏特高压沿线形成 1000 kV/500 kV/220 kV 三级电磁环网, 对电网短路电流产生影响。BPA 短路电流计算结果表明, 特高压接入江苏电网后, 石牌 500 kV 母线以及苏南负荷密集子系统中部分 220 kV 母线的短路电流均会有不同程度的提高。针对上述现象提出电磁环网解环、负荷转移等基于动态分区策略的短路电流抑制措施, 结合实际系统算例进行分析。算例分析结果验证了所述限流措施的可靠性, 对工程实际降低短路电流水平有一定参考价值。

关键词: 江苏特高压; 三级电磁环网; 短路电流; 分区控制策略

中图分类号: TM713

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2015)05-0021-04

“十二五”期间, 华东电网成为交直流特高压工程建设的主战场, “皖电东送”北半环建成投运后, 华东电网将形成世界上首个交流特高压双环网^[1]。1000 kV 皖电东送淮南至上海特高压交流输电示范工程(简称淮沪特高压)在提高电网输电能力的同时, 也会在特高压沿线形成 1000 kV/500 kV/220 kV 三级电磁环网, 改变特高压落点附近电网架的拓扑结构、潮流分布、稳定特性、短路电流^[2], 对电网供电可靠性、安全性等产生一定影响。随着电网规模的不断扩大, 电网结构的逐渐加强, 电网内部联系的日益紧密, 负荷及负荷密度的持续增长, 江苏省内三级电磁环网下部分负荷密集区的 500 kV 和 220 kV 母线的短路电流均出现不同程度的提升。如何有效限制电网短路电流水平是目前江苏特高压电网建设过程中亟待解决的问题。以淮沪北半环工程建成投运后的江苏电网为研究对象, 以江苏电网 2016 年运行规划数据为研究基础数据, 分析省内三级电磁环网现象引起的短路电流问题, 并提出合理可行的限流措施。

1 江苏电网概况

1.1 江苏特高压电网现状

自 2012 年起, 江苏积极响应国家政策, 同特高压交直流电网密切衔接, 并成为特高压交直流大同步电网的一部分^[3]。包括 1000 kV 淮南—南京—上海特高压交流输电变电工程、1000 kV 锡盟—南京交流特高压输电变电工程、±800 kV 锡盟—泰州直流特高压工程等计划在内的江苏特高压工程于 2014 年起进入加速建设阶段。至此, 江苏电网已逐步由 500 kV 骨干网架向特高压骨干网架转变, 对外受电容量和距离将分别大幅增加。此外, 江苏也积极拓展西南水电、三峡水电等“西电东送”电力, 扩大内蒙古、山西、新疆、陕西等“北电南送”规模, 到 2020 年区外来电力力争达到 30 000 MW。

对于江苏电网而言, 特高压交直流系统接入后, 无论区外来电规模和受电比例, 还是江苏电网的网架结构、潮流分布以及同外界电网的电气联系, 都发生了巨大变化^[4]。江苏特高压交直流成网格局的形成, 在加速促进江苏电网原有网架的发展, 有效提高江苏电网的受电能力的同时^[3], 也伴随着 1000 kV/500 kV/220 kV 三级电磁环网的出现, 这将给江苏电网安全稳定运行带来风险, 增加电网运行控制难度。针对上述情况, 急需研究特高压初步成网后与 500 kV/220 kV 电网的协调运行控制策略, 充分发挥特高压电网的输电能力。

1.2 短路电流现状

淮沪北半环工程建成投运后, 特高压系统将与江苏省内已有的 500 kV/220 kV 电网之间构成三级电磁环网。在原有电压等级的电网传输负荷能力接近极限的情况下, 接有更大容量机组的高压线路投入运行将使该地区电网容量更大, 联系更加紧密, 从而导致短路电流问题更突出^[4]。系统容量的明显增大以及系统阻抗的相对减小, 都更容易造成江苏电网母线短路电流水平的进一步提升。表 1 具体给出了省内存在短路电流超标问题的节点以及相应地短路电流。

表 1 江苏三相短路电流超标现状

母线名称	电压等级/kV	遮断电流/kA	短路电流/kA
苏石牌	525	63	74.3
苏石牌 H	525	63	71.2
苏木渎 2	230	50	55.5
苏望亭	230	50	55.5
苏东善	230	50	54.0
苏泰兴	230	50	53.3
苏晋陵	230	50	52.4
苏龙王	230	50	51.9
苏凤城	230	50	51.0
苏向阳	230	50	50.9

由表中数据可见, 淮沪北半环工程建成投运后, 江

苏电网短路电流分布情况:

(1) 1000 kV 站点不存在短路电流超标问题。

(2) 个别 500 kV 站点短路电流水平超标。苏石牌 500 kV 侧母线三相短路电流高达 74.3 kA, 已超出该电压等级断路器的遮断电流。

(3) 部分 220 kV 站点短路电流水平超标。苏木渎、望亭、东善桥、泰兴等 220 kV 侧母线三相短路电流超出该电压等级的遮断电流值。

短路电流超标不仅对电力设备造成的损坏严重, 而且会破坏局部甚至整个江苏电网的安全稳定运行, 对工业生产、居民生活等产生不可估量的影响。因此, 采取合理的限流措施抑制江苏特高压电网短路电流在现阶段显得尤为重要。

2 短路电流限制方法

针对电网建设发展过程中出现的短路电流超标问题, 学者们在改变电网结构、变更系统运行方式及加装限流设备等进行了研究, 总结出的限流方法主要有以下几类^[5]: (1) 低电压等级分层分区运行; (2) 变电站母线分列运行; (3) 变压器中性点经小电抗接地; (4) 利用高阻抗设备; (5) 串联电抗器; (6) 直流背靠背技术; (7) 提高断路器遮断容量。目前, 江苏电网多采用分层分区运行的格局, 对已实现分层分区运行的电网, 动态分区技术无疑是抑制短路电流的一种快速有效手段之一。动态分区技术指正常情况下电网作为一个整体运行、故障情况下电网自动分裂的分区技术^[6], 文中介绍以下 3 种基于分区技术的限流方法。

2.1 电磁环网解环

在特高压电网建设初期, 网架结构较薄弱, 一般采用电磁环网合环运行方式; 但随着电网的发展和网架结构的加强, 针对合环运行出现的潮流转移、短路电流超标等问题, 需要进一步实施电磁环网解环运行^[7]。在进行电磁环网解环时, 需要考虑解环原则, 如果不满足解环条件, 将会导致当高压等级的元件因故障断开时, 影响仅依靠此元件供电的用户; 另外, 部分设备可能会出现超过输送能力的现象, 从而造成“窝电”或“缺电”现象。电磁环网解环原则主要有以下 3 条^[5]:

(1) 若 220 kV 电网过于密集导致 220 kV 母线短路电流增加, 超过设备的遮断容量, 则应解环。

(2) 对于处在一个或多个电磁环网的通道上的短路电流超标站点, 应尽量选择在提供支路电流最大的线路断开电磁环网;

(3) 解环时要保证电网结构、潮流分布合理, 系统安全稳定水平及短路电流水平均满足要求。

2.2 负荷转供

江苏电网分层分区后将形成 1 个或多个 500 kV

变电站带动一片 220 kV 地区的格局, 各 220 kV 分区间通过一个或多个解环点及备用联络通道进行联系。分区间联络通道主要承担以下功能^[8]:

(1) 在 500 kV 主变检修或其它重大检修时, 作为系统联络通道将两个相邻分区合环运行;

(2) 作为分区间调整负荷的备用线路, 当某一分区出现火机组跳闸等原因造成分区供电能力不足时, 由相邻分区通过联络线转供负荷。

各分区间备用联络线的不仅可使不同分区之间相互支援, 同时也为分区之间的负荷转移提供了条件。当某一分区中出现短路电流超标问题, 通过备用联络线将部分负荷转移到另一分区, 动态调整局部分区结构, 改善短路电流。因此如何实现短路电流超标情况下分区负荷的快速转移, 成为抑制短路电流的关键所在。

2.3 增设故障限流器

故障限流器(FCL)是通过改变等效阻抗起到改善短路电流作用的, 在正常情况下 FCL 等效阻抗为 0, 不会影响系统的潮流分布和电压水平; 当交流系统发生短路故障时, FCL 将投入限流阻抗以限制短路电流^[6], 是一种可靠性高的理想电力系统故障限流装置。当电网中存在多个短路电流超标节点且分布在不同位置时, 如何从稳定性和经济性角度出发, 确定 FCL 的安装数量、安装位置和安装阻抗成为需要解决的问题^[9]。这是一个大规模的非连续、非线性的多目标优化问题。

3 江苏特高压电网短路电流限制措施

针对江苏电网中存在的短路电流问题, 文中主要通过电磁环网解环和负荷转供的动态分区方式进行短路电流抑制。采取相应抑制措施后, 遵循《电网短路电流计算标准》中的计算原则, 利用 BPA 软件对江苏电网三相短路电流进行了计算, 结果表明短路电流水平均降至遮断电流以下(见表 2)。以苏州西 220 kV 子系统和石牌 500 kV 站点短路电流问题为例, 进行具体限流措施的研究与数据分析。

3.1 电磁环网解环算例

由图 1 可见, 500 kV 熟南—石牌—车坊—木渎线路与苏州西子系统中的 220 kV 站点构成 500 kV/220 kV 电磁环网, 从而造成木渎、望亭、向阳 220 kV 侧短路电流超标, 阳山 220 kV 侧短路电流接近遮断电流。断开 220 kV 望亭—阳山双回线和 220 kV 望亭—建林双回线, 苏州西子系统中 220 kV 侧短路电流超标问题消失。具体数据如表 3 所示。

通过表 3 中短路电流裕度这一评估指标可看出, 苏州西子系统中短路电流超标站点在电磁环网解环运行后均得到了抑制。其中, 苏木渎 2 在解环运行后短路电流降到遮断电流以下, 并留有 5.6% 裕度, 苏望亭在解

表2 限流前后江苏三相短路电流超标现状

母线名称	电压等级/kV	遮断电流/kA	短路电流/kA	
			前	后
苏石牌	525	63	74.3	60.2
苏石牌 H	525	63	71.2	38.6
苏木渎 2	230	50	55.5	44.4
苏望亭	230	50	55.5	42.9
苏东善	230	50	54.0	48.6
苏泰兴	230	50	53.3	42.3
苏晋陵	230	50	52.4	39.7
苏龙王	230	50	51.9	45.4
苏凤城	230	50	51.0	44.7
苏向阳	230	50	50.9	39.2

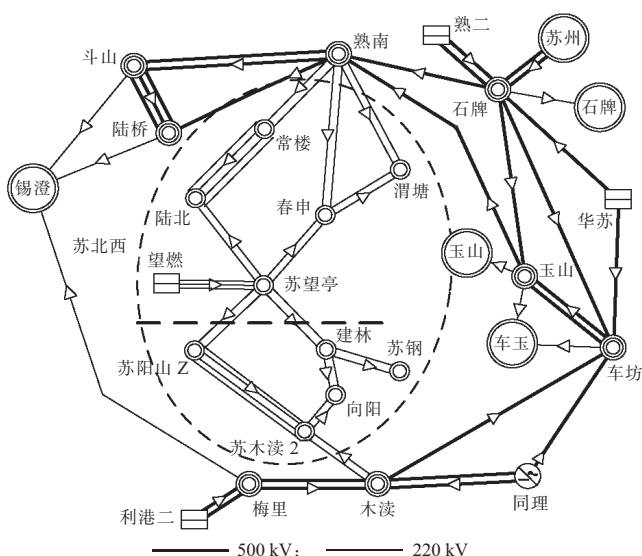


图1 苏州西 220 kV 子系统

表3 解环前后苏州西地区 220 kV 侧三相短路电流值比较

母线名称	短路电流/kA		短路电流裕度/%
	前	后	
苏木渎 2	55.5	44.4	5.6
苏望亭	55.5	42.9	14.2
苏向阳	50.9	39.2	21.6

环运行后短路电流裕度为 14.2%，苏向阳则留有 21.6% 的裕度。由此可见，通过采取解开电磁环网的方式，可以适当削减电气联系，增大联系电抗，从而将短路电流降低至遮断电流以下。但同时，解环运行会影响系统中的潮流分布以及电网供电可靠性。本例中，解环点为发电厂出口向外的点，解环后阳山、建林方向的站点供电可靠性会受到一定程度的影响。

3.2 负荷转供算例

由图 2 知，石牌站有三条 500 kV 母线，分别是苏石牌 K、苏石牌 H 和苏石牌，其中苏石牌 K 和苏石牌是分裂运行的。由于苏石牌 H 和苏石牌短路电流都存在超标问题，首先考虑先将两条母线分裂运行，减小电气联系；然后将熟南 500 kV 站从苏石牌转移到苏石牌

H，减轻苏石牌的潮流，将两条超标母线的短路电流降至 63 kA 以下。具体数据如表 4 所示。

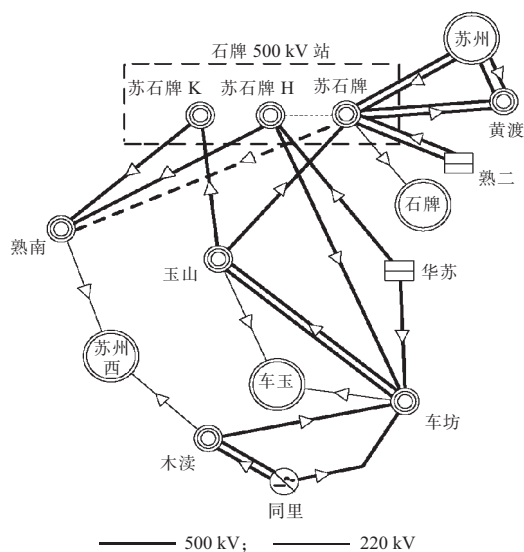


图2 石牌 500 kV 站点

表4 负荷转供前后石牌 500 kV 侧三相短路电流值比较

母线名称	短路电流/kA		短路电流裕度/%
	前	后	
苏石牌	74.3	60.2	4.4
苏石牌 H	71.2	38.7	38.6

通过表 4 中短路电流裕度这一评估指标可以看出，石牌 500 kV 站点短路电流在负荷转供后均得到了抑制。其中，苏石牌在负荷转供后留有 4.4% 的短路电流裕度，苏石牌 H 则留有 38.6% 的裕度。由上述算例可见，通过负荷转供的方式，可以改善网架结构，减轻负荷密集站点的潮流，从而将短路电流降低至遮断电流以下。但这种通过“主变出串”方式进行负荷转供的限流措施，会对地区供电可靠性造成影响，当 1 台 500 kV 主变失电时，将可能引起该地区多个 220 kV 主变失电^[10]。

4 结束语

特高压交直流接入江苏电网，使系统容量明显增大、系统阻抗相对减小。仿真数据表明，淮沪北半环工程建成投运后，江苏电网中苏南部分 220 kV 母线和石牌 500 kV 母线短路电流水平均有一定程度提升。在总结现有短路电流抑制措施的基础上，提出采用基于动态分区控制技术的短路电流抑制措施对上述问题进行具体分析。其中，苏南 220 kV 母线短路电流采用电磁环网解环措施可进行抑制；石牌 500 kV 母线短路电流可通过负荷转供措施进行抑制。采取相应措施后，江苏电网存在问题的站点短路电流均得到了抑制，这也证明了基于动态分区技术的短路电流限流措施的正确性和可靠性。

参考文献:

- [1] 姚颖蓓, 缪源诚, 庄侃沁, 等. 华东特高压交流工程投产初期 500 kV 短路电流控制策略研究[J]. 华东电力, 2014(12): 2775-2778.
- [2] 姚颖蓓, 缪源诚, 陈浩, 等. 淮沪特高压投产后电磁环网问题研究[J]. 华东电力, 2014(1): 30-32.
- [3] 刘建坤, 胡亚山, 赵静波, 等. 特高压接入对江苏电网的影响展望[J]. 江苏电机工程, 2010, 29(1): 1-3.
- [4] 马恒瑞. 特高压联网后电网限流措施和分区原则的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2014.
- [5] 李亚东. 大型受端电网限制短路电流措施研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2014.
- [6] 黄弘扬, 徐政, 林晔. 基于故障限流器的直流多馈入受端系统动态分区技术[J]. 中国电机工程学报, 2012, 19: 58-64, 186.
- [7] 董宸, 周霞, 李威, 等. 提升特高压电网输电能力的方法[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(5): 1-4.
- [8] 朱笔能, 张莹. 浅析电网分区间负荷的快速转移[J]. 科技资讯, 2011(4): 126-127.
- [9] 肖帅. 基于 PSO 的特高压落点选择与故障限流器优化配置算法[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [10] 黄坚, 吴奕. 500 kV 主变出串运行带来的影响分析及对策[J]. 电力安全技术, 2010, 12(3): 45-46.

作者简介:

陈倩(1992), 女, 江苏高邮人, 硕士在读, 研究方向为电力系统及其自动化;

汤奕(1977), 男, 江苏溧阳人, 副教授, 主要研究方向为电力系统稳定分析与控制、新能源并网控制技术、智能需求侧响应。

Research on the Jiangsu Short-circuit Current Limiting Strategy During UHV Construction Period

CHEN Qian, TANG Yi

(School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Early production and operation of the Huainan-Shanghai UHV project will form a 1000 kV/500 kV/220 kV electromagnetic loop network along the Jiangsu UHV, which has an impact on the short-circuit current of power grid. BPA short-circuit current calculation result shows that after UHV's access to the Jiangsu power grid, the short-circuit current of the 500 kV bus in Shipai and the 220 kV bus in load intensive subsystem of western Suzhou increases in different degrees. According to the phenomenon, a short-circuit current suppression measures based on the strategy of dynamic partitioning including unlocking the electromagnetic loop network and load transfer is proposed, along with the analysis of actual examples. Case analysis verifies the reliability of the proposed current limiting measures, and provides a reference value for reducing the short-circuit current in engineering practice.

Key words: Jiangsu UHV; three-level electromagnetic loop network; short-circuit current; zoning control strategy

(上接第 20 页)

- 故障区间判别方法及实现[J]. 江苏电机工程, 2014, 33(2): 64-68.
- [7] NIAZY I, SADEH J. A New Single Ended Fault Location Algorithm for Combined Transmission Line Considering Fault Clearing Transients Without Using Line Parameters[J]. Electrical Power and Energy Systems, 2013, 44: 816-823.
- [8] 杨军, 伍咏红, 江文波, 等. 基于双端故障信息的高压电缆架空线混合线路故障测距方法[J]. 电网技术, 2010, 34(1): 208-213.
- [9] 曾惠敏, 林富洪. 高压电缆—架空线混合线路相位测距法[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(9): 82-87.

作者简介:

王涛(1992), 男, 江苏宜兴人, 本科, 从事配电网运行与检修方面的工作;

李澄(1987), 男, 江苏江阴人, 硕士, 从事电力系统继电保护与故障测距方面的研究工作。

A New Method of Fault Location for Hybrid Transmission Line

WANG Tao, LI Cheng

(Wuxi Power Supply Company, Wuxi 214400, China)

Abstract: In recent years, the number of the hybrid transmission line fault location problems raises due to the increasing numbers of cable lines. This paper proposes a new hybrid transmission line fault location method based on the percentage of line calculation. A more reliable and accurate calculation method based on distributed parameter model is proposed. The fault location is determined by calculating the percentage of each line segment, in which sequence component method is used to solve the fault distance without double-ended synchronization data. The two-terminal-data method can effectively overcome the disadvantage of single-terminal-data method which is easily affected by power system operation states and parameters. Simulation results show that the proposed method for fault location is reliable, effective, and accurate. The proposed method is promising in engineering applications with the growing number of cables.

Key words: hybrid transmission line; fault impedance calculation; percentage of segment; percentage of line