

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2019.05.024

±500 kV 柔性直流电网控制策略研究

孙 栩¹, 曹士冬², 雷 霄¹, 董 鹏¹

(1. 中国电力科学研究院, 北京 100192; 2. 华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206)

摘要:文中针对±500 kV 柔性直流电网的控制策略加以分析研究,并使用时域仿真的手段加以验证。针对张北柔直电网换流器控制策略,其要避免接入短路比在1.3以下的弱交流电网;直流电网的系统级控制非常重要,要兼顾系统稳定与换流器过负荷两方面的要求;由于直流电网配置线路直流断路器,可以利用合直流断路器来为其他换流器充电;对于直流电网可以通过配置快速合环开关来实现换流站退出后的线路潮流快速合环。

关键词:柔性直流电网; ±500 kV; 控制策略; 快速合环开关; 直流断路器

Control Strategy Research on ±500 kV Flexible HVDC Grid

SUN Xu¹, CAO Shidong², LEI Xiao¹, DONG Peng¹

(1. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China; 2. School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: In this paper, ±500 kV flexible HVDC grid control strategy is researched and analyzed. The converter is need to avoid connecting to the weak AC grid under SCR less than 1.3 according to converter level strategy. The system strategy is very important and it must focus on both system stability and converter overload. The rated voltage converter can charge for the other converters by DC break and the disturbance should be acceptable. The rapid close loop switches can be installed to loop the DC grid line flow.

Key words: flexible HVDC grid; ±500 kV; control strategy; rapid close loop switch; DC break

0 引言

为了配合冬奥会的举办,国家电网公司计划在北京、河北建设柔性直流电网。此项工程的额定直流电压达到±500 kV、最大输电容量为3 000 MW,而且输电线路采用架空线及直流断路器,这将是目前为止工程技术难度最大的柔性直流工程。直流电网控制策略十分复杂,涉及换流器控制、站间协调控制、系统级控制、启停及在线投退控制、故障后恢复控制等^[1-10],因此文中针对±500 kV 张北柔性直流电网的控制策略进行了相关研究。关于阀控策略等方面的内容,直流电网与现有工程区别不大,文中不再赘述。另外,舟山多端直流工程的很多研究成果可以为张北柔直电网所借鉴和继承,文中在此

基础上侧重于研究直流电网所特有的控制策略。

1 柔性直流电网的结构与参数

1.1 柔性直流电网的结构

张北柔性直流电网为“O”字型电网,4个站分别接入北京延庆、张北、康保和丰宁,其中张北和康保均为新能源馈入,且推荐孤岛运行方式,丰宁为抽水蓄能站,北京延庆站为接受端,一般都设为整个直流电网的松弛节点,即直流电压控制端,其输送功率随其他站功率变化实时跟踪,以维持直流电压的稳定。整个柔性直流电网的结构示意图见图1。

图1中,延庆站和丰宁站接入500 kV交流电网,而张北站和康保站接入220 kV交流电网或交流孤网。为了提高其可靠性,该工程采用对称双极结

收稿日期:2018-11-14; 修回日期:2019-01-16

基金项目:国家电网2016年科技项目(SGSDYT00FCJS1600344)的资助。

Project Supported by State Grid Corporation of China Technology Project in 2016(SGSDYT00FCJS1600344).

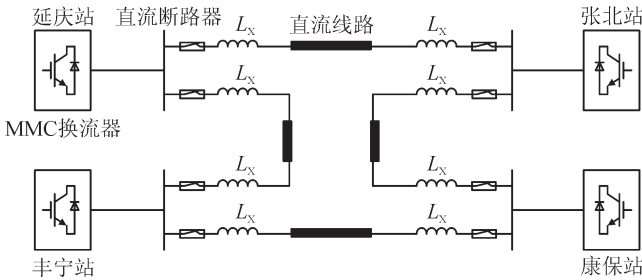


图1 柔性直流电网结构示意图

Fig. 1 Flexible HVDC grid structure graph

构。整个直流电网的接地点选在延庆站。

1.2 柔性直流电网的参数

1.2.1 换流阀

张北柔性直流电网换流器均采用半桥 MMC 型结构。延庆站与张北站的容量为 3 000 MW,称为大站,而康保站与丰宁站的容量则为 1 500 MW,称为小站。大站采用 4 500 V 的 IGBT,而小站则采用 3 300 V 的 IGBT。柔性直流电网换流阀参数见表 1。

表1 柔性直流电网换流阀参数表

Table 1 Flexible HVDC grid convertor parameters

参数	延庆	张北	康保	丰宁
桥臂电抗器/mH	100	100	150	150
子模块电容器/mF	15	15	10	10
子模块数量	228	228	312	312

1.2.2 换流变压器

延庆站和丰宁站换流变变比为 525/260.26 kV,张北站和康保站换流变变比则为 230/260.26 kV,所有换流变的漏抗均按照 0.15 p.u.考虑,且均为 Y0/△联接。

1.2.3 限流电抗器

直流线路限流电抗器电抗值为 200 mH,只有张北—康保短线路采用 300 mH;另外在每站每极的中性母线上也配置 100 mH 电抗器。电抗器配置位置见图 1。

1.2.4 直流线路

柔性直流电网直流线路的塔型采用±500 kV 常规直流输电的经典塔型,文中不再赘述。导线推荐 4x JL/G2A-720/50 型钢芯铝绞线。4 条线路的长度分别为:①北京—张北为 206.6 km;②张北—康保为 49.3 km;③康保—丰宁为 205.1 km;④丰宁—北京为 186.7 km。

2 柔性直流电网控制架构

从硬件配置角度讲,±500 kV 直流电网的控制装置层次包括换流站级控制、系统级控制、换流阀级控

制、换流器子模块级控制等,其控制架构见图 2。

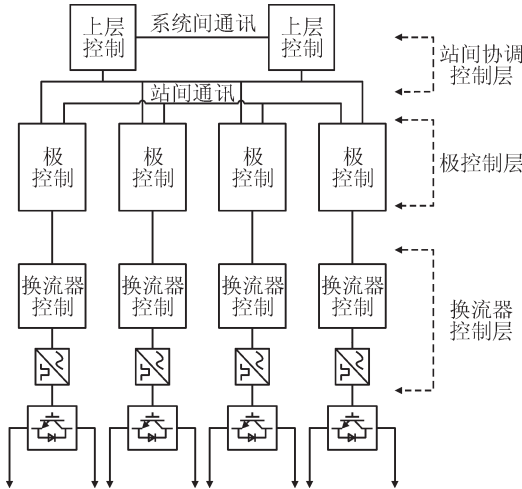


图2 柔性直流电网控制系统架构图

Fig. 2 Control system structure diagram of flexible HVDC grid

3 换流器控制策略

3.1 换流器基本控制策略

目前柔性直流工程比较普及,一般都是采用电压外环+电流内环的直接电流控制法,动态反应速度非常快^[11-12]。在直流电网中,一般选择一个传输功率最大的换流站控制直流电压,其他的换流站控制直流功率,如果是新能源发电孤岛并网运行,要采用自生交流电压控制,其传输功率不能控制,随新能源的波动而波动。关于换流器的模型及其基本控制策略,已经有大量文献进行了研究和讨论,文中不再赘述。

3.2 换流器在弱交流电网下的控制校验

张北柔直电网经常为新能源并网运行,某些运行工况下,如长距离单回交流线路送电,会导致交流电网强度(SCR)不足,因此必须对直流电网换流器运行于交流弱电网下的控制特性进行校验。

从 PCC 向换流阀传输的有功功率与无功功率 P 和 Q 见式(1)

$$\begin{cases} P = \frac{EU}{X_g} \sin \delta \\ Q = \frac{U(E \cos \delta - U)}{X_g} + \omega C_r U^2 \end{cases} \quad (1)$$

不同 SCR 情况下的换流器 PQ 运行区间见图 3,图 3 中 PCC 点电压最高为 1.1 p.u.(图中线 2 所示),最低为 0.9 p.u.(图中线 1 所示)。由图 3 中所示可知,当系统强度降低时,PCC 点的 PQ 运行区间减小。

另外,可以建立柔性直流电网换流器的小信号模型,共有 12 个状态变量,包括 PCC 点三相电压的

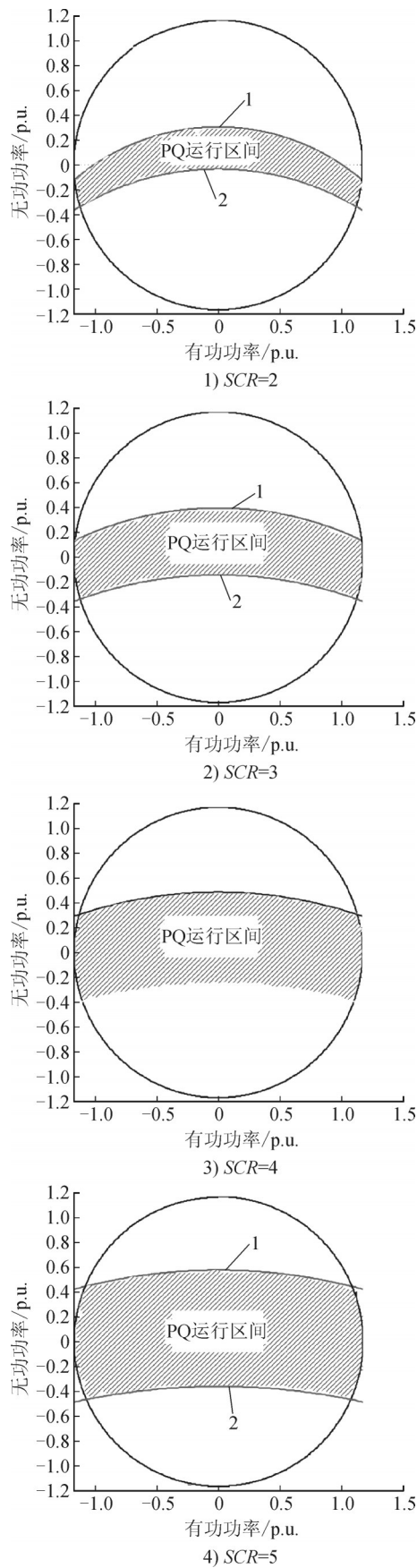


图3 不同SCR下的换流器PQ运行区间

Fig.3 Converter operation region under various SCR

dq 分量,交流系统流向PCC点的电流 dq 分量,PCC

点流向换流阀出口的电流 dq 分量以及控制系统的积分量,即 $x=[\Delta i_{1d}, \Delta i_{1q}, \Delta i_{2d}, \Delta i_{2q}, \Delta v_d, \Delta v_q, \Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \Delta x_4, \Delta \theta, \Delta x_5]^T$ 。换流器状态空间方程见式(2)

$$\dot{x} = Ax + Bu \tag{2}$$

式(2)中输入量 $u=[\Delta P_{ref}, \Delta U_{ref}]$,考虑到换流器在小干扰情况下有功功率整定值与交流电压整定值不会发生变化,因此输入量为0。换流器在小干扰下的稳定性决定于状态矩阵 A ,通过对状态矩阵 A 进行分析可以得到在不同SCR下的特征根,特征根见表2。

表2 不同SCR下的柔性直流换流器特征根

Table 2 Flexible HVDC eigenvalues under various SCR

参数	SCR=1.4	SCR=1.3
λ_1	-1 510.00	-1509.0
$\lambda_{2,3}$	-304.00±j1 120.00	-366.9±j1 180.6
λ_4	-1 010.00	-840.6
$\lambda_{5,6}$	-46.30±j629.00	-78.4±j631.3
λ_7	-61.29	-59.8
$\lambda_{8,9}$	-5.30±j23.10	5.2±j21.7
λ_{10}	-11.18	-10.8
λ_{11}	-99.54	-10.0
λ_{12}	-99.92	-10.0

通过分析特征根可以得到影响小干扰稳定性的主导极点,通过对传输不同有功功率下的主导极点进行计算可以得到主导极点根轨迹曲线,从而得到小信号稳定运行极限。其根轨迹见图4。通过上面分析可知SCR降至1.3左右时,特征根出现正实部解,此时柔性直流控制器会出现控制失稳现象。

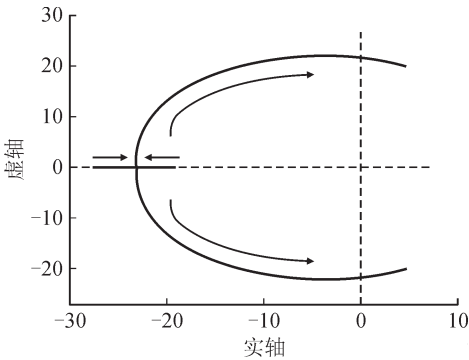


图4 连接弱交流电网的VSC根轨迹图

Fig.4 Root locus diagram on the VSC connecting to weak grid

为了验证上面的分析结果,在电磁暂态仿真软件PSCAD/EMTDC上搭建了±500 kV 柔性直流电网的时域仿真模型。以丰宁站为例,通过改变系统阻

抗来调整接入电网的SCR, SCR从1.4降至1.3时丰宁站的各电气量变化波形(从上之下分别为交流电压、直流电压、有功功率、无功功率以及交流电流)见图5。从图5中波形可以看出SCR降至1.3时,各电气量发生震荡,直流电网失去控制稳定性。因此在规划阶段必须对直流电网接入系统的条件进行详细校验,避免极弱交流电网强度的出现。

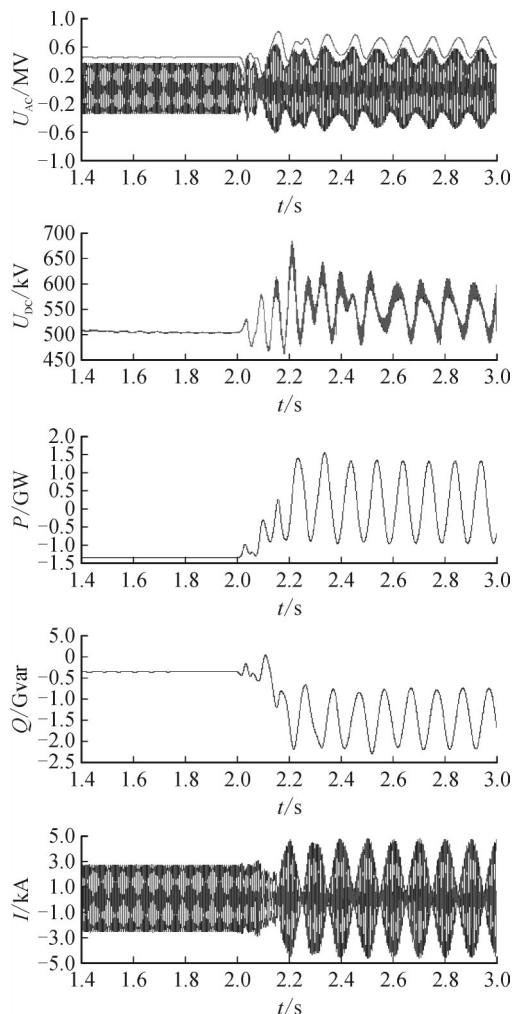


图5 SCR从1.4降至1.3时丰宁站各电气量波形

Fig. 5 Various waveforms during SCR from 1.4 to 1.3

4 站间协调控制策略

舟山多端柔性直流工程的站间协调采用直流电压裕度控制,在此方面,直流电网和多端柔直的区别不大,因此也可以借鉴^[13-20]。即在通讯正常时,采用主从控制,北京站控制直流电压;而失去控制时,如北京站因故退出,丰宁站接替控制直流电压,电压裕度取为10 kV,直流电网运行电压变为510 kV。由于直流电压上升,直流电流必然下降,不会产生过负荷问题。

5 系统级控制策略

和多端直流的链形结构不同,直流电网的直流线路为环形结构,内部潮流分布十分灵活,失去任何一个站对各直流线路及换流器的传输功率都有影响。因为柔性直流电网各换流器的过负荷能力十分有限,必须通过系统级控制使换流器快速维持在额定功率范围之内。影响直流电网系统级控制策略的关键因素是新能源接入站的控制方式,即联网方式(定功率控制)或者纯新能源孤岛运行方式(自生交流电压控制),文中基于此进行了分析。该部分分析均以四站运行且北京站定直流电压控制为基础运行方式,北京站功率为 P_1 ,张北站功率为 P_2 ,康保站功率为 P_3 ,丰宁站功率为 P_4 。定义功率流入直流电网方向为正,功率流出直流电网方向为负。

5.1 联网方式

如果新能源站交流侧处于联网状态,各站功率都可以人为指定。通过实时检测各站功率,判断是否需要采取进一步的动作。

1)张北站及康保站等新能源站退出,功率缺额由丰宁站承接。

2)丰宁站或北京站退出,如果满足式(3)、(4),无需采取下一步动作。

$$|P_1 + P_2 + P_3| \leq P_4 = 1\,500 \text{ MW} \quad (3)$$

$$|P_2 + P_3 + P_4| \leq P_1 = 3\,000 \text{ MW} \quad (4)$$

如果不满足式(3)、(4),需要根据交流系统的运行工况,快速降低新能源站传输的功率,使直流电网各换流站功率不越限,从而保持系统稳定。

5.2 孤岛运行方式

如果新能源站处于新能源孤岛运行状态,新能源站的功率随着风电或者光伏出力的变化而变化,不能被人为指定。因此直流电网系统控制逻辑和联网方式相同,只是出口动作不一样。系统控制不能调整张北站与康保站的传输功率,只能采用跳开新能源站交流进线的方式。如果采用逐步断开新能源站交流进线的方式来调节输入功率,耗时较长,目前的柔性直流换流器过负荷能力非常有限,不具备此条件,建议北京站退出后,和其相同容量的张北站交流进线全部断开,然后根据相关判断条件逐步恢复,并可以设置1 s的延时。同理,丰宁站退出后,和其相同容量的康保站交流进线全部断开,之后的动作同上。

6 启停及在线投退控制策略

启停指的是所有站依次从检修状态过渡至运行状态,或者相反的过程。柔直换流站的启动包括自启动和远方充电两种方法,一般推荐自充电,即换流站通过一定的控制方法将自身直流电压充电至额定电压,各换流站直流侧电压充电至额定电压后,可以将相应的开关合上,构成整个直流电网,然后开始给出功率定值,从而直流电网内部形成潮流。直流电网和多端柔直的主要差别之一就是其在直流线路上配置了直流断路器。在多端柔直中,远方充电也要先将直流线路联接上才可以,但是直流电网中的直流断路器可以将不同电位的装置相连,同时也可以带弧投切。但是如果一个充电完毕换流器通过直流断路器为远方完全未充电换流器充电的话,冲击电流非常大,并不可行。该部分以一个充电完毕换流器通过直流断路器为远方已经不控整流充电的换流器充电为例,研究这种情况下冲击电流以及过电压等的具体波形,以判断此种操作的可行性,其仿真波形见图6、7。从图6、7中可以看出,直流过电压水平只有560 kV左右,直流滤波器不会动作;冲击电流不到300 A,持续时间不超过30 ms,换流器完全可以承受,因此利用直流断路器为远方换流器充电也是直流电网换流器充电的一种方法。

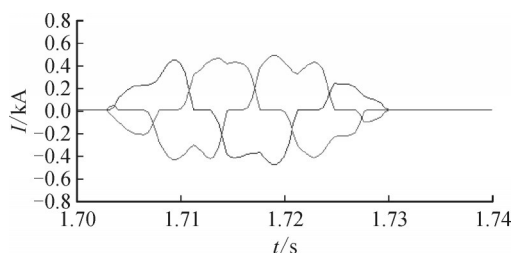


图6 通过直流断路器为远方换流器充电阀侧电流波形

Fig. 6 Remote converter transformer valve side current waveforms during charge period by DC break

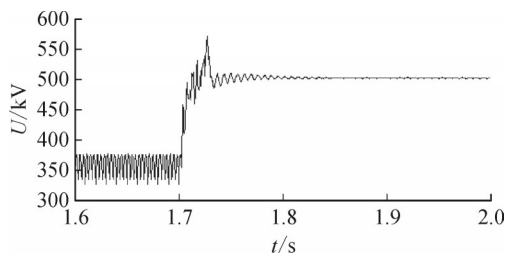


图7 通过直流断路器为远方换流器充电直流过电压波形

Fig. 7 Remote converter DC overvoltage waveforms during charge period by DC break

“在线投”和“在线退”是指直流电网稳定运行后,一台换流器正常退出或者投入的操作。一台换

流器只要将自身功率降至零,由于等电位又无电流,即可以通过拉开极母线上的开关将其退出;如果电流不为零则无法在线退出。一台换流器只要将直流侧电压自充电至正常运行电压,即可以通过合上极母线上的开关将其在线投入。

7 故障后恢复控制策略

柔性直流电网在发生故障后,必须通过闭锁、跳开直流断路器、断开交流断路器等控制动作来隔离故障。该部分针对直流电网各种故障,研究分析其故障后的控制。

7.1 直流线路故障

直流线路故障后,相应的快速保护动作,故障3 ms后故障线路两端的直流断路器开始拉开,并且在3 ms内执行完成。待150 ms的去游离时间后,两端的直流断路执行重合闸。

7.2 换流站故障

为了节省投资,直流电网只在直流线路两端配置直流断路器。换流器内部发生故障,并没有专用的直流断路器将其隔离。如果通过拉开交流断路器将其隔离,第一速度较慢,第二由于缺乏阻尼,交流断路器上的电流长期无法过零,导致其无法及时开断,同时故障点短路电流长时间不能息弧。因此在换流站发生故障后,必须通过拉开换流站相邻的两个直流断路器来隔离故障换流站。换流器故障后换流变阀侧电流波形见图8,故障电弧波形见图9。

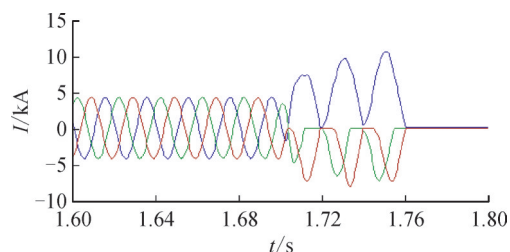


图8 换流器内部故障换流变阀侧电流波形

Fig. 8 Transformer valve side current waveforms during converter internal fault

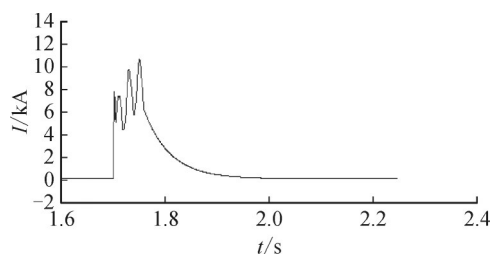


图9 故障电弧波形

Fig. 9 Fault arc current waveform

7.3 快速合环控制

如果换流站发生故障,会将相邻两个直流断路

器拉开,等待故障电流过零且拉开交流断路器,同时故障电弧熄灭后才可以重新合上这两个直流断路器,时间较长。这段时间内,直流电网的潮流发生改变,有可能会影响整个系统的稳定性,所以希望加快上面分析的过渡过程,直流电网线路能够快速恢复合环。文中通过在换流器直流场配置快速合环开关来实现以上功能,快速合环开关的基本结构就是一个互逆晶闸管,由于其是电力电子器件,开断时间非常快速。

换流站加入快速合环开关后的主电路接线见图 10。

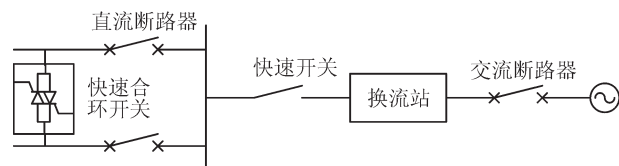


图 10 换流站主电路接线图

Fig. 10 Converter main circuit join diagram

其控制逻辑为:换流站内发生故障,控制保护装置迅速触发快速合环开关,大约 1 ms 后再跳开直流母线上的两个直流断路器,此时已经有部分故障电流经合环开关分流,对于拉开直流断路器也有利;待故障电流息弧且故障换流器被隔离后,再合上直流断路器,拉开合环开关。

8 结语

文中针对 ± 500 kV 柔性直流电网的控制策略加以分析研究,并使用时域仿真的手段加以验证。换流器控制策略方面,其要避免接入短路比在 1.3 以下的弱交流电网;换流站间协调控制策略可以参考多端柔直工程;直流电网的系统级控制非常重要,特别针对新能源孤岛运行工况,要兼顾系统稳定与换流器过负荷两方面的要求,提出了系统级控制策略;由于直流电网配置线路直流断路器,特殊情况下可以利用合直流断路器来为其他换流器充电,扰动完全可以被换流器承受;故障后控制方面,换流站内故障后必须跳开相关的两个直流断路器,而且对于直流电网可以通过配置快速合环开关来实现换流站退出后的线路潮流快速合环。

参考文献:

- [1] 文 俊,张一工,韩民晓,等. 轻型直流输电——一种新一代的 HVDC 技术[J]. 电网技术,2003,27(1):47-51.
WEN Jun, ZHANG Yigong, HAN Minxiao, et al. HVDC based on voltage source converter - a new generation of HVDC technique[J]. Power System Technology, 2003, 27(1):47-51.
- [2] 姚美齐,李乃湖. 欧洲超级电网的发展及其解决方案[J]. 电网技术,2014,38(3):549-555.
YAO Meiqi, LI Naihu. An introduction to European super-grid and its solutions[J]. Power System Technology, 2014, 38(3):549-555.
- [3] 汤广福. 高压直流输电装备核心技术研发及工程化[J]. 电网技术,2012, 36(1):1-6.
TANG Guangfu. R & D and application of key technologies for HVDC equipment[J]. Power System Technology, 2012, 36(1):1-6.
- [4] 吴俊宏,艾 芊. 多端柔性直流输电系统在风电场中的应用[J]. 电网技术,2009,33(4):22-27.
WU Junhong, AI Qian. Research on multiterminal VSC - HVDC system for wind-farms[J]. Power System Technology, 2009, 33(4):22-27.
- [5] 徐 政. 柔性直流输电系统[M]. 北京:机械工业出版社,2013:27-39.
XU Zheng. Flexible HVDC system[M]. Beijing: China Machine Press, 2013:27-39.
- [6] 汤广福. 基于电压源换流器的高压直流输电技术[M]. 北京:中国电力出版社,2010:44-69.
TANG Guangfu. HVDC technology based on voltage source converter[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2010:44-69.
- [7] 赵 岩,胡学浩,汤广福,等. 模块化多电平变流器 HVDC 输电系统控制策略[J]. 中国电机工程学报,2011, 31(25):35-42.
ZHAO Yan, HU Xuehao, TANG Guangfu, et al. Control strategy of modular multilevel converters based HVDC transmission[J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(25):35-42.
- [8] 董云龙,包海龙,田 杰,等. 柔性直流输电控制及保护系统[J]. 电力系统自动化,2011,35(19):89-92.
DONG Yunlong, BAO Hailong, TIAN Jie, et al. Control and protection system for VSC - HVDC[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(19):89-92.
- [9] 汤广福,庞 辉,贺之渊. 先进交直流输电技术在中国的发展与应用[J]. 中国电机工程学报,2016,36(7):1760-1771.
TANG Guangfu, PANG Hui, HE Zhiyuan. R & D and application of advanced power transmission technology in China[J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(7):1760-1771.
- [10] 安 婷,乐 波,杨 鹏,等. 直流电网直流电压等级确定方法[J]. 中国电机工程学报,2016,36(11):2871-2879.
AN Ting, YUE Bo, YANG Peng, et al. A determination method of DC voltage levels for DC grids[J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(11):2871-2879.
- [11] 王 松,李庚银,周 明. VSC-MTDC 控制系统的参数优化及柔性调整策略[J]. 电网技术,2015,39(2):380-386.

- WANG Song, LI Gengyin, ZHOU Ming. Parameter optimization and soft regulation strategy of VSC-MTDC control system[J]. Power System Technology, 2015, 39(2): 380-386.
- [12] 任敬国, 李可军, 赵建国, 等. VSC-MTDC输电系统的直流侧运行特性分析与稳态工作点计算[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(4): 786-795.
- REN Jingguo, LI Kejun, ZHAO Jianguo, et al. DC operating characteristic analysis and steady-state point calculation of VSC - MTDC transmission system[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(4): 786-795.
- [13] 徐殿国, 刘瑜超, 武 健. 多端直流输电系统控制研究综述[J]. 电工技术学报, 2015, 30(17): 1-12.
- XU Dianguo, LIU Yuchao, WU Jian. Review on control strategies of multi-terminal direct current transmission system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(17): 1-12.
- [14] 王 伟, 石新春, 付 超, 等. 海上多端直流输电系统协调控制研究[J]. 电网技术, 2014, 38(1): 8-15.
- WANG Wei, SHI Xinchun, FU Chao, et al. Coordinated control of multi-terminal HVDC transmission system for offshore wind farms[J]. Power System Technology, 2014, 38(1): 8-15.
- [15] 任敬国, 李可军, 张春辉, 等. 基于直流电压-有功功率特性的VSC-MTDC协调控制策略[J]. 电力系统自动化, 2015(11): 8-15.
- REN Jingguo, LI Kejun, ZHANG Chunhui, et al. A coordinated control strategy for VSC-MTDC system based on DC voltage-active power characteristic[J]. Automation of Electrical Power System, 2015(11): 8-15.
- [16] 熊凌飞, 韩民晓. 基于组合方式的多端柔性直流输电系统控制策略[J]. 电网技术, 2015, 39(6): 1586-1592.
- XIONG Lingfei, HAN Minxiao. A novel combined control strategy for VSC - MTDC[J]. Power System Technology, 2015, 39(6): 1586-1592.
- [17] 孙 蔚, 姚良忠, 李 琰, 等. 考虑大规模海上风电接入的多电压等级直流电网运行控制策略研究[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(4): 776-785.
- SUN Wei, YAO Liangzhong, LI Yan, et al. Study on operation control strategies of DC grid with multi-voltage level considering large offshore wind farm grid integration[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(4): 776-785.
- [18] 韩民晓, 熊凌飞, 丁 辉. 利用电压倾斜控制的VSC-MTDC稳定性分析[J]. 电网技术, 2015, 39(7): 1808-1813.
- HAN Minxiao, XIONG Lingfei, DING Hui. Stability analysis of VSC-MTDC with voltage droop control[J]. Power System Technology, 2015, 39(7): 1808-1813.
- [19] 姚良忠, 吴 婧, 王志冰, 等. 未来高压直流电网发展形态分析[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(34): 6007-6020.
- YAO Liangzhong, WU Jing, WANG Zhibing, et al. Pattern analysis of future HVDC grid development[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(34): 6007-6020.
- [20] 杜 翼, 江道灼, 尹 瑞, 等. 直流配电网拓扑结构及控制策略[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(1): 139-145.
- DU Yi, JIANG Daozhuo, YIN Rui, et al. Topological structure and control strategy of DC distribution network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(1): 139-145.
- 孙 栩(1978—), 男, 高级工程师, 从事直流输电与电力系统仿真的研究。

《高压电器》2019年5期广告单位

彩色广告

封一: 陕西维柯瑞电气有限责任公司制作

封二: 莱茵技术(上海)有限公司

封三: 上海乐研电气有限公司

封四: 广东吉熙安电缆附件有限公司

前插1: 北京京东方真空电器有限责任公司

前插2: 浙江雅博自动化设备有限公司

前插3: 珠海思创电气有限公司

前插4: 成都凯赛尔电子有限公司

前插5: 陕西龙翔电器有限公司

前插6: 陕西斯瑞新材料股份有限公司

前插7: 攀时(上海)高性能材料有限公司

前插8: 西安高压电器研究院有限责任公司(业务)