

常规直流柔性化改造过渡方案研究

彭冠炎¹, 卢毓欣², 简翔浩¹

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 5106331;

2. 南方电网科学研究院有限责任公司, 广州 510080)

摘要: 为避免高压直流受端换流站逆变器换相失败的问题, 同时提高受端换流站交流系统的电压稳定性, 将受端换流站改造成柔性直流换流站, 形成送端常规直流受端柔性直流的混合直流输电系统。结合南方电网贵广 I 直流输电工程, 为减少改造过程中的停电时间, 对两端换流站改造的过渡方案进行深入研究, 并提出了常规直流柔性化改造过渡方案, 该研究成果对混合直流输电工程有借鉴和参考价值。

关键词: 混合直流输电; 电压源换流器; 直流柔性化改造; 过渡方案

中图分类号: TM731

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)01-0061-05

Research on Transition Scheme of LCC-HVDC Retrofitting for VSC-HVDC

PENG Guanyan¹, LU Yuxin², JIAN Xianghao¹

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;

2. Electric Power Research Institute, CSG, Guangzhou 510080, China)

Abstract: In order to avoid the commutation failures of receiving end converter station in LCC-HVDC transmission systems, and to improve the voltage stability of receiving end converter station AC system, the Line Commutated Converter in receiving end converter station retrofit for Voltage Source Converter, that form the Hybrid HVDC transmission systems which sending end is LCC-HVDC and receiving end is VSC-HVDC. In order to reduce the outage time during the retrofitting process, intensive study on transition scheme of sending and receiving ends converter station according to Guizhou-Guangdong I HVDC Project of CSG, Put forward transition scheme of LCC-HVDC retrofit for VSC-HVDC, the research results have great reference value to the Hybrid HVDC transmission systems.

Key words: hybrid HVDC transmission systems; voltage source converter; LCC-HVDC retrofit for VSC-HVDC; transition scheme

混合直流输电系统是通过结合电网换相换流器和电压源型换流器的技术特点, 互相取长补短而形成的新型直流输电拓扑结构^[1-4]。电网换相换流器直流输电在大容量远距离输电以及异步电网背靠背互联等场合有成熟的应用, 但系统存在着的逆变站换相失败、无法对弱交流系统供电、运行过程中需要消耗大量无功功率等缺陷制约其进一步发展^[5]。电压源型换流器直流输电不需要

考虑直流系统的潮流反向功能, 与传统直流输电系统不同, 不存在逆变站的换相失败问题, 从而彻底解决了所谓的多直流落点问题, 十分适合南方电网的主网构架^[6-8]。

为避免肇庆换流站逆变器换相失败问题, 提高输电的可靠性, 同时可以为电网提供无功功率支撑, 提高受端肇庆换流站交流系统的电压稳定性, 将肇庆换流站的常规直流换流站改成柔性直流换流站, 使贵广 I 直流改造为送端为电网换相换流器 (Line Commutated Converter-LCC) 受端为电压源型换流器 (Voltage Source Converter-VSC) 的高压混合直流输电系统^[9-10], 系统拓扑结构如图 1 所示。

收稿日期: 2016-07-01

作者简介: 彭冠炎(1984), 男, 广东化州人, 工程师, 硕士, 主要从事换流站设计工作(e-mail) pengguanyan@gedi.com.cn。

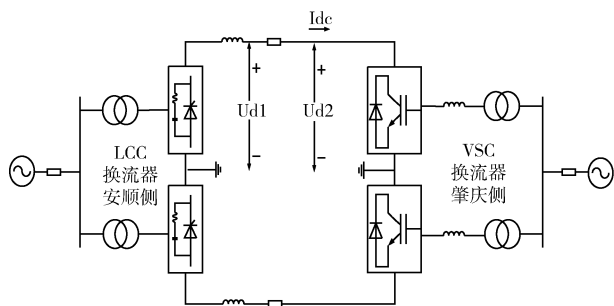


图1 LCC-VSC混合直流输电结构示意图

Fig. 1 Hybrid HVDC transmission structure

肇庆换流站为贵广直流的受端换流站，改造方案为将 ± 500 kV、3 GW的常规直流换流站改造为 ± 500 kV、3 GW的柔性直流换流站。

常规直流柔性化改造一次设备包括肇庆换流站的500 kV直流场、柔直换流单元、启动回路、联接母线、换流变压器等设备，二次设备包括上述一次设备的保护、监控、测量等二次线的控制保护改造。为适用受端换流站控制保护策略及响应速度的要求，送端换流站的常规直流控制保护要进行相应的改造。

1 换流站常规直流柔性化改造方案

换流站常规直流改柔性直流可按一极改造一极正常运行和双极整体改造两种方案。

1.1 一极改造一极正常运行方案

1) 先双极短时停电，保留极Ⅰ极线出线测量装置、极线直流高压耦合电容器及避雷器，转换运行方式为负极金属回线运行。拆除其余极Ⅰ的设备，先进行极Ⅰ设备的改造。在极Ⅰ改造的过程中极Ⅱ恢复单极金属回线运行。

2) 极Ⅰ设备改造完后全站停电，拆除双极区中性线设备，改造直流场双极区设备。期间同时完成两极极线测量装置的改造，极Ⅰ具备单极金属回线运行的条件后恢复极Ⅰ单极金属回线运行。

3) 改造极Ⅱ设备。

1.2 双极整体改造方案

双极一次性改造拆除双极的换流变、直流场、阀厅区域、交流滤波器场、主控楼及直流场继电器小室的所有设备，新增换流变，启动回路、阀厅及柔性直流换流器、主控楼等；跟柔性直流有关的直流控制保护、换流变保护、测量装置及合并单元等一次性同期建设。

1.3 方案比较

一极改造一极正常运行方案：在一极停电的情况下另外一极可以单极金属回线运行，在改造的过程中直流系统还可以传输一半的功率。改造过渡方案比较复杂，但分阶段停电施工安排对电网运行方式有利。

双极整体改造方案：容易施工，控制保护不存在通信接口复杂的问题，相关的控制保护设备全部重新配置，对侧换流站的极控和直流保护同期开展相应的改造以适应柔性直流控制保护的要求，但停电期间相对方案一损失一半的传输功率。

通过技术方案比较，为减少改造过程中的停电时间，提出优化的改造过渡方案，在减少停电时间的情况下确保换流站在改造过程中还可以单极金属回线运行。

2 肇庆换流站改造过渡接线

肇庆换流站常规直流柔性化改造方案按极Ⅰ先停电，极Ⅱ金属回线运行的模式进行改造，改造完极Ⅰ再改造极Ⅱ。在做好相应的隔离措施的情况下对停电极的设备进行改造，具体的过渡可以分为以下五个阶段。

2.1 第一阶段：双极短时停电，双极接线改造为单极金属回路接线

由于单极大地回路仅能短时运行，不足完成一个单极的改造，故需要将双极接线改造为单极金属回路接线以便完成单极改造，在直流极Ⅰ停电之前需要进行双极短时停电以完成：极Ⅰ在进换流站之前将线路解开；通过运行方式转换实现极Ⅰ停运的情况下极Ⅱ金属回线运行，为保证金属回线差动保护正常运行需保留原正负极极线出线测量装置、极线直流高压耦合电容器及避雷器。

2.2 第二阶段：极Ⅰ停电，极Ⅱ金属回线运行，极Ⅰ改造为柔性直流

换流站极Ⅰ停电，直流运行方式改为极Ⅱ金属回线运行，两端换流站的极Ⅱ仍采用常规直流正常运行的模式。

一次设备：停电期间完成极Ⅰ的极线、直流滤波器、换流阀及换流变的一次设备改造。主要包括取消极Ⅰ的直流滤波器，电网换相换流器改造为电压源型换流器，更换适应柔性直流的换流变压器，增加启动回路等一次设备。

二次设备: 停电期间完成柔性直流系统的直流站控、极 I 的极控、直流极保护、阀控、换流变保护及阀冷控制保护设备等控制保护设备的安装接线、单体及分系统调试, 在上述工作完成后进行单极的站系统调试, 验证单极混合直流输电的两端换流站控制保护系统配合功能。第二阶段肇庆换流站的系统结构图如图 2 和图 3 所示。

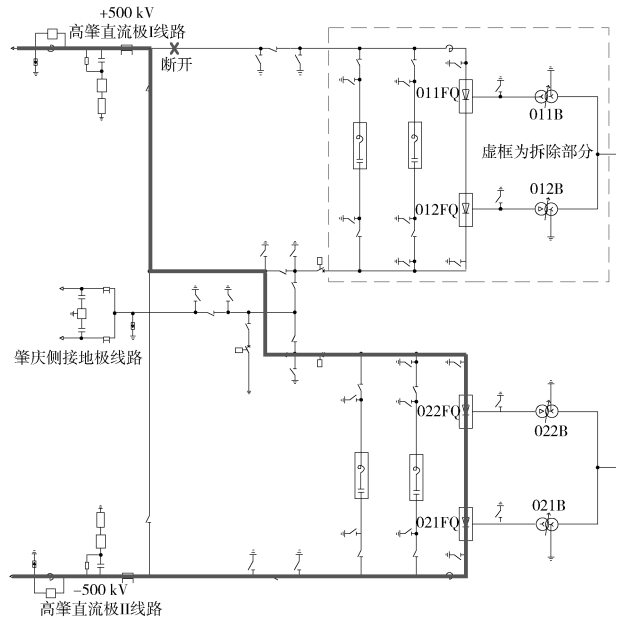


图 2 极 I 停电拆除设备
Fig. 2 Dismantling equipment in pole I

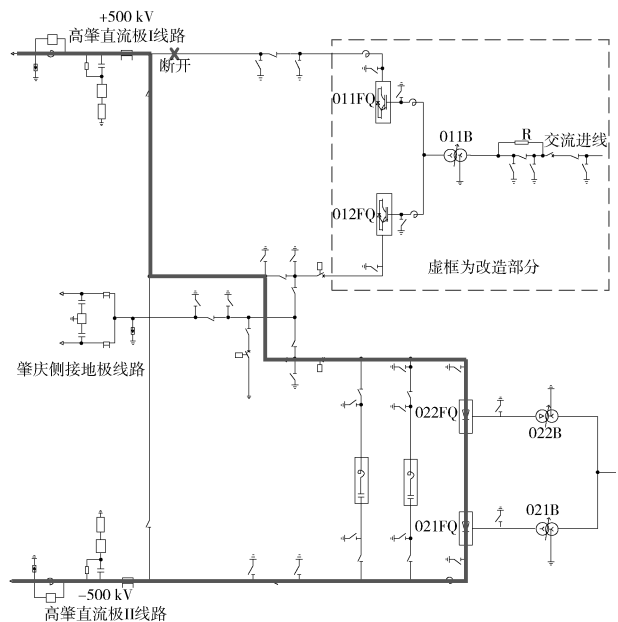


图 3 极 I 停电改造设备
Fig. 3 Retrofitting equipment in pole I

2.3 第三阶段: 双极短时停电, 双极中性线设备改造

极 II 停电之前需要进行双极短时停电。完成极 I 和极 II 出线路极线直流高压耦合电容器及避雷器的设备改造, 同时改造双极区的中性母线设备, 双极控制相关的直流断路器、直流隔离开关、直流接地开关的控制信号开关量接入的双极区直流场接口屏, 极 II 在进换流站之前将线路解开。

柔性直流控制保护要求的测量装置的远端模块的采样频率为 50 kHz, 比常规直流要求的采样频率 10 kHz 要高得多, 故原先的测量装置均不适用于本次改造设备的采样频率, 更换极线、中性母线及双极区的直流测量装置的远端模块及合并单元。

2.2 第四阶段: 极 II 停电, 极 I 金属回线运行, 极 II 改造为柔性直流

换流站极 II 停电, 直流运行方式改为极 I 金属回线运行, 两端换流站的极 I 采用 LCC-MCC 的混合直流运行的模式。

一次设备: 停电期间完成极 II 的极线、直流滤波器、换流阀及换流变的一次设备改造。主要包括取消极 II 的直流滤波器, 电网换相换流器改造为电压源型换流器, 更换适应柔性直流的换流变压器, 增加启动回路等一次设备。

二次设备: 停电期间完成直流站控、极 II 的极控、直流极保护、阀控、换流变保护及阀冷控制保护设备等控制保护设备的安装接线、单体及分系统调试, 在上述工作完成后进行单极的站系统调试, 验证两端换流站控制保护系统配合功能。第四阶段肇庆换流站的系统结构图如图 4 ~ 图 5 所示。

2.3 第五阶段: 双极调试及改造投运

在双极系统调试完成后两端换流站可以正式投入使用。

3 肇庆换流站改造过渡布置

改造后的工艺布局与改造前类似, 仍按照换流变 - 阀厅 - 直流场布置, 但柔性直流换流站需增加启动回路, 同时阀厅尺寸增大, 主控楼内原来布置的阀冷设备及其电源回路增大, 各区域对比见表 1。

结合过渡方案, 布置需重点解决以下问题:

1) 过渡阶段需保证单极改造期间另一极可维持正常运行, 因此, 平面布置方案需主控楼、中性线和接地极设备需保持原位置不变, 并以其为中心,

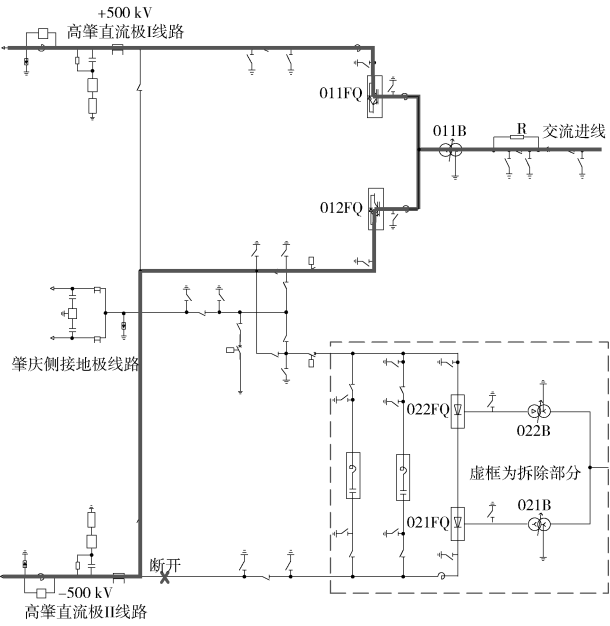


图 4 极 II 停电拆除设备

Fig. 4 Retrofitting equipment in pole II

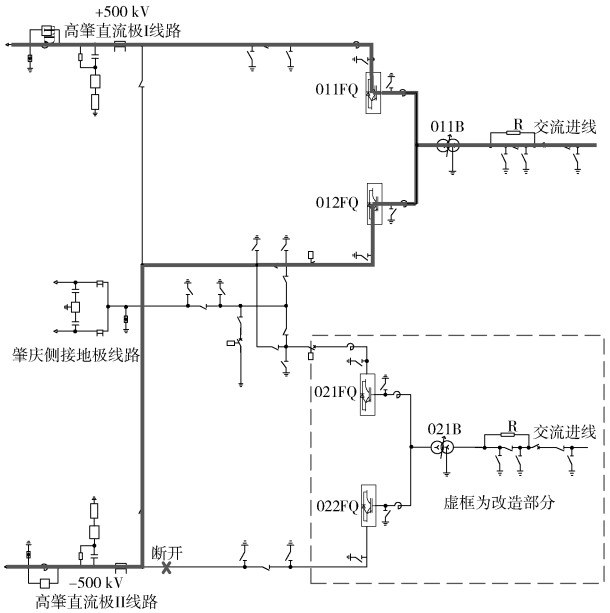


图 5 极 II 停电改造设备

Fig. 3 Retrofitting equipment in pole II

布置新的阀厅、直流场和启动回路。

2)从表 1 可以看出,启动回路、阀厅、主控楼的面积均有增大,其中阀厅面积约为原阀厅的 4.26 倍;主控楼面积增大,主要是阀冷设备及其配电、控制设备增加。而占地减少的是换流变区域和直流场。改造需利用拆除的直流滤波器、交流滤波器、常规阀厅等位置,布置启动回路和柔性直流阀厅。

单极改造的平面布置如图 6 所示。

表 1 常规和柔性直流换流站各区域布置对比

Tab. 1 Comparison of regional layout of LCC-HVDC and VSC-HVDC converter stations

名称	原常规直流	改造后的柔性直流
启动回路	无	有,面积约 2500 m ² /极
换流变	12 × 282 MVA	6 × 575 MVA
阀厅	52.9 × 22.6 m ² /极	89.4 × 57 m ² /极,为原阀厅的 4.26 倍
直流场	采用典型双极直流接线,有直流滤波器	采用典型双极直流接线,无直流滤波器
主控楼	33.5 × 33.6 m ² , 三层布置	阀冷设备及其配电、控制设备增加
交流滤波器	4 大组	改造过程中需保留两组,改造完成后全部取消

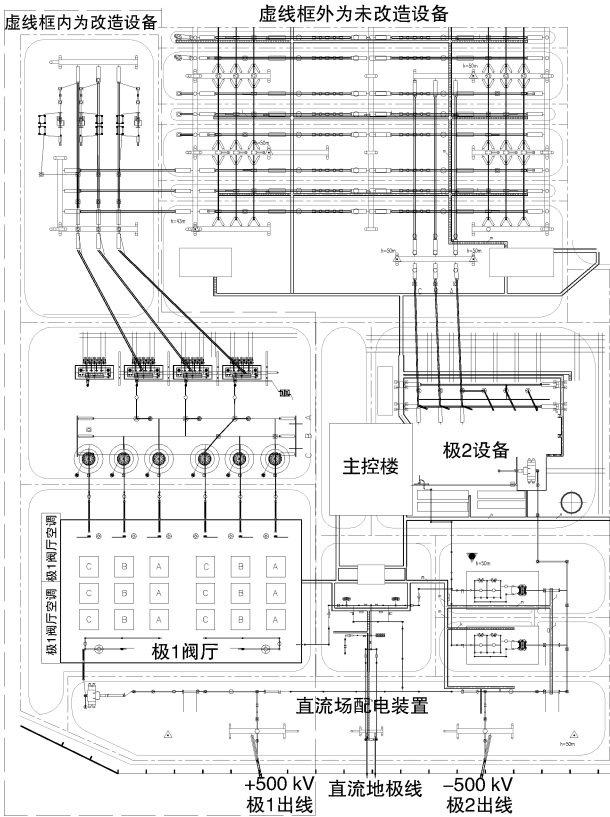


图 6 极 I 停电改造设备布置图

Fig. 6 Retrofitting equipment layout in pole I

3)主控楼局部需改造,控制保护设备、通信设备等增加不多,只需布置微调。而阀冷系统冷却容量大大增加,原阀冷系统无法满足需求,因此在阀厅一侧新建阀冷设备间。站用电容量较常规直流有明显增加,站用变增容以及新增的配电柜,考虑布置在原主控楼内的阀冷设备间。

4 安顺换流站改造过渡方案

对于送受端型混合直流输电系统而言,肇庆站采用柔性直流方案使得其系统响应时间、直流控制能力和器件通流水平与安顺站的常规直流相差较大,必须采用适当的控制保护策略,确保系统按照既定目标安全稳定运行。因此送端的直流控制保护系统需进行相应的保护改造及软件升级。

4.1 直流控制系统改造

安顺站极控系统需要与肇庆站柔性直流换流站的极控系统进行配合通信,完成两个站之间的极功率、极电流及双极功率等的协调控制及模式切换,由于肇庆站要求的系统响应性能及直流控制能力比安顺站高,所以安顺站的极控系统需要进行更换以便匹配受端换流站的极控系统。

直流站控系统主要包含无功功率控制和配置、直流系统的运行方式及站内的联锁操作等功能,站控系统的软件需进行升级改造,需能直接或通过转换器接收极控系统上传的信息。

安顺站的极控与阀控系统由成套方一并提供,规约是成套方的内部规约,本次进行极控设备的更换之后需要增加转换器或者解码器确保与阀控系统能进行可靠的通信,安顺站阀控系统维持现状不变。

4.2 直流保护系统改造

直流极保护为满足两侧保护装置通信的可靠性,安顺站直流极保护需根据肇庆站的直流极保护进行相应的改造或软件及板卡的升级,两端直流保护配置的原则一致,但直流保护的功能允许有差异。

4.3 直流测量装置及合并单元改造

南方电网2010年之前投运的换流站的控制保护均采用西门子技术路线,测量装置由西门子成套供货,混合直流输电为适应国产化控制保护的需求,建议将安顺站侧的直流测量装置及合并单元进行更换改造。

5 结论

常规直流柔性化改造可以采用单极停电改造或双极同时停电改造两种方案,单极停电的情况下另外一极可以单极金属回线运行,在改造的过程中直流系统还可以传输一半的功率,改造过渡方案比较

复杂,但分阶段停电施工安排对电网运行方式有利。双极整体改造方案改造施工方案容易,不需过渡方案,停电期间相对方案一损失一半的传输功率。

本文结合贵广I回直流受端肇庆换流站详细分析常规直流柔性改造过渡方案,可分为五阶段,第一阶段为双极短时停电,双极接线改造为单极金属回路接线;第二阶段为极I停电,极II金属回线运行,极I改造为柔性直流;第三阶段为双极短时停电,双极中性线设备改造;第四阶段为极II停电,极I金属回线运行,极II改造为柔性直流,第五阶段为双极调试及改造投运。送端安顺换流站根据五个阶段对应分别进行测量装置、站控、极控和极保护的相应改造。改造过程中过渡方案对混合直流输电工程有着借鉴和参考价值。

参考文献:

- [1] 赵成勇,郭春义,刘文静.混合直流输电[M].北京:科学出版社,2014.
- [2] 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.
- [3] 唐庚,徐政,薛英林.LCC-MMC混合高压直流输电系统[J].电工技术学报,2013,28(10):301-310.
- [4] 郭春义,赵成勇,蒙塔纳里·艾伦,等.混合双极高压直流输电系统的特性研究[J].中国电机工程学报,2012,32(10):98-104.
- [5] KOTB O, SOOD V K. A hybrid HVDC transmission system supplying a passive load [C]//IEEE Xplore. 2010 IEEE Electrical Power and Energy Conference, Canda; IEEE Xplore, 2010: 1-5.
- [6] TORRES-OLGUIN R E, MOLINAS M, UNDELAND T M. A model-based controller in rotating reference frame for hybrid HVDC [C]//ATLANTA G A. Energy Conversion Congress and Exposition, Canda; IEEE Xplore, 2010: 1578-1584.
- [7] 徐政,屠卿瑞,管敏渊,等.柔性直流输电系统[M].北京:机械工业出版社,2012.
- [8] 李广凯,李庚银,梁海峰,等.新型混合直流输电方式的研究[J].电网技术,2006,30(4):82-86.
- [9] 徐政,薛英林,张哲任.大容量架空线柔性直流输电关键技术及前景展望[J].中国电机工程学报,2014,34(29):5051-5062.
- [10] PERALTA J, SAAD H, DENNETIERE S, et al. Detailed and averaged models for a 401-level MMC-HVDC system [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2012, 27(3): 1501-1509.