

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.S1.021

混合直流输电柔性直流换流站直流场接线研究

郝为瀚, 简翔浩

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 常规直流输电系统已经有广泛的工程应用, 但常规直流输电系统的固有技术特性存在逆变换流站可能发生换相失败、无法对弱交流系统供电等问题。混合直流输电技术综合了两种直流输电技术的优点, 控制高度灵活且成本较低, 在可再生能源发电的能量汇聚、异步电网互联以及远距离输电方面有很好的应用前景。提出了混合直流系统中柔性直流换流站的直流场接线方案, 并根据其特点进行了优化设计, 提高了系统性能, 节约了投资成本, 同时也对现有常规直流输电换流站改造为柔性直流输电换流站有指导意义, 有广泛的工程应用前景。

关键词: 混合直流输电; 模块化多电平换流器; 直流场接线

中图分类号: TM853

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)S1-0099-04

Research on DC Field Wiring Scheme of Hybrid HVDC VSC-Converter Station

HAO Weihuan, JIAN Xianghao

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

Abstract: LCC-HVDC transmission system has numbers applications in world. But the inherent technical characteristics of LCC-HVDC transmission system may cause some problems, such as the failure of commutation of converter station, unable to supply power to weak AC system. Hybrid DC transmission technology has the advantages of both two kinds of HVDC technology. It has the high flexibility control method and low cost, and has a good prospect in the energy convergence of renewable energy, asynchronous grid interconnection and long-distance transmission. In this paper, the DC field wiring scheme of the VSC-HVDC converter in hybrid HVDC system is proposed and optimized according to its characteristics. The performance of the system is improved and the investment cost is saved. And it has wide application prospect. for the reconstruction of LCC-HVDC converter station to VSC-HVDC converter station.

Key words: hybrid HVDC; MMC; DC field wiring scheme

大规模远距离西电东送是我国电网发展的一个重要趋势, 直流输电在其中担负着重要角色^[1]。到目前为止, 担负西电东送任务的直流输电系统全部都是采用电网换相换流器的常规高压直流输电系统(LCC-HVDC), 从而造成我国直流输电通道地区电网有两个重要特点: 其一是潮流方向单一, 不管是大容量水电基地送出还是大容量火电基地送出, 都

不需要考虑潮流反向问题; 其二是受端系统直流落点密集, 如广东电网和华东电网等, 造成所谓的多直流落点问题, 其严重性表现在当受端系统某点发生故障时, 可能引起多回直流线路同时发生换相失败, 导致多回直流线路输送功率暂时中断, 对送、受端交流系统的安全稳定性构成严重威胁^[2-3]。

以全控型电力电子器件为基础的柔性直流输电(VSC-HVDC)因其可独立控制有功无功功率、不存在换相失败、可为无源孤岛供电等诸多优点得到学术界与工业界的青睐^[4]。在众多的VSC-HVDC输电拓扑中, 模块化多电平换流器直流输电系统(MMC-HVDC)具有较好的发展前景。MMC-HVDC系统还具备开关频率较低、开关损耗小、无

收稿日期: 2016-02-01

基金项目: 国家重点研发计划项目资助(2016YFB0901001)

作者简介: 郝为瀚(1984), 男, 内蒙古包头人, 工程师, 硕士, 主要从事柔性直流输电技术的研究工作(e-mail) haoweihan@gedi.com.cn。

需交流滤波器组和扩展性强等优点,这使得其可以运用于高直流电压、大功率输电的场合^[5]。

为了能够解决常规直流带来的系统问题,综合LCC-HVDC以及VSC-HVDC的优势,混合直流输电成为了新的研究热点。所谓混合直流输电技术(HB-HVDC)是常规直流输电和柔性直流输电的结合。即混合直流输电系统的一端采用基于晶闸管的电网换相换流器LCC,另一端采用基于IGBT的电压源换流器VSC^[6]。混合直流输电技术综合了两种直流输电技术的优点,控制高度灵活且成本较低,在可再生能源发电的能量汇聚、异步电网互联以及远距离输电方面有很好的应用前景^[7]。

1 系统拓扑

1.1 直流输电系统拓扑结构

混合直流输电系统中将常规直流输电技术和柔性直流输电技术结合,其中一侧换流站为常规直流换流站,另一侧为柔性直流换流站。综合两站运行情况,需统筹考虑两站拓扑结构型式。

1.1.1 常规直流换流站拓扑

由于单极系统运行可靠性和灵活性均不如双极系统好,考虑到常规直流工程输送容量都很大,常规直流工程通常采用双极系统建设。

1.1.2 柔性直流换流站拓扑

目前柔性直流换流站主要有对称单极和双极两种接线方式。

1) 对称单极接线

柔性直流采用单极对称接线,与常规直流换流站组成双端系统时,主回路接线示意图如图1所示。

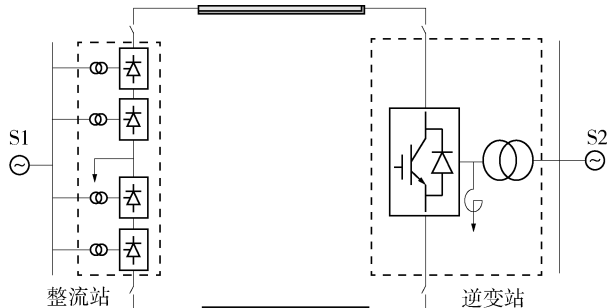


图1 对称单极接线方案主回路接线示意图

Fig. 1 Symmetrical monopole wiring scheme diagram

该种接线需在交流侧或直流侧采用合适的接地装置钳制住中性点电位,两条直流极线的电位为对

称的正负电位。正常运行时,VSC侧的换流变压器可采用普通变压器,但需在VSC侧设计专门的交流接地装置,增加占地面积。

但对称单极接线在发生直流侧短路故障后只能整体退出运行,故障恢复较慢,因此多适用于不易发生线路故障的采用电缆接线的直流工程,不适用于较容易发生线路故障的长距离架空线输电工程。

2) 双极接线

柔性直流采用双极接线,与常规直流换流站组成双端系统时,主回路接线示意图如图2所示。

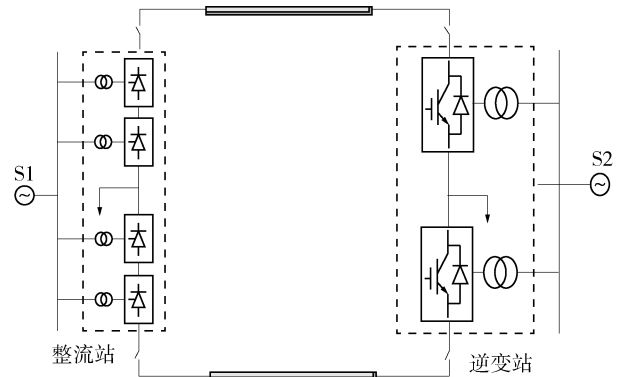


图2 双极接线主回路接线示意图

Fig. 2 Bipolar wiring scheme diagram

这种接线的特点是可靠性较对称单极接线高,当一极故障时,另外一极可以继续运行,不会导致功率断续。因此这种接线方案可以采用架空线作为直流输送线路,不受电缆制造水平的限制,直流侧可以选用较高的电压等级,输送容量较大,故障时转代部分或全部功率,增加了供电可靠性。

同样,由于目前双极接线柔性直流工程都不具备直流故障清除能力,发生直流故障时,仍然要通过闭锁换流器、跳开交流侧开关来实现故障清除,运行可靠性仍然相对较低,需要额外考虑直流故障清除方案。

1.2 直流故障清除方案

柔性直流技术的工程应用方面逐渐向高电压、大容量、远距离方向发展,因此对于直流侧故障清除的需求越来越强烈。考虑经济性及设备技术限制等因素,采用架空线取代原有的电缆作为直流传输线路更为合适^[8]。

因此对应这种发展趋势,柔性直流换流站目前可通过采用新型式拓扑结构(如子模块全桥结构)、加装直流断路器等方案来实现直流侧故障清除^[9]。

考虑目前直流断路器发展较为缓慢, 不能满足柔性直流迅速发展的输送功率、电压的要求, 采用子模块全桥结构的柔性直流技术是当前的技术发展趋势。

2 柔性直流换流站直流场接线

本文针对现有混合直流输电系统的特点, 以及应用于长距离输电工程时存在的问题, 提出一种满足经济性、灵活性和可靠性要求的柔性直流换流站直流场主接线方案。同时, 该方案可通过对现有常规直流换流站直流场主接线方案进行简单改造实现, 有利于将现有常规直流输电换流站改造为柔性直流输电换流站。

2.1 柔性直流换流站运行方式

混合直流输电工程中, 柔性直流换流站采用双极接线, 同时换流站需具备直流故障清除能力, 采用子模块全桥结构的 MMC 换流器, 混合直流工程主回路接线示意图如图 2 所示。

应用于长距离、大容量输电工程时, 混合直流输电系统中柔性直流换流站需满足以下运行方式:

- 1) 两回直流双极运行。
- 2) 一回直流双极运行, 一回直流单极大地运行。
- 3) 一回直流双极运行, 一回直流单极金属回线运行。
- 4) 两回直流单极金属回线运行。
- 5) 一回直流单极大地运行, 一回直流单极金属回线运行。
- 6) 两回直流单极大地运行。
- 7) 降压运行方式。
- 8) STATCOM 运行方式。

2.2 柔性直流换流站直流场接线方案

柔性直流换流站直流场接线见图 3, 将其划分为 A1、A2、B1、B2、C 共 5 个部分, 其中 A1、B1 与 A2、B2 分别对称布置于正、负极, 接线形式与设备选择均相同。

A1、A2 为极母线部分, 采用的主要设备有隔离开关、电压电流测量装置、避雷器、高压耦合电容器等。

B1、B2 为中性母线部分, 采用的主要设备有冲击电容器、电压电流测量装置、避雷器等。

C 为接地极部分, 采用的主要设备有隔离开关、接地开关(HSGS)、避雷器、电压电流测量装

置等。

在直流极线和中性母线之间设置连接回路, 可实现在单极检修情况下, 另一极保持单极金属回线运行状态。

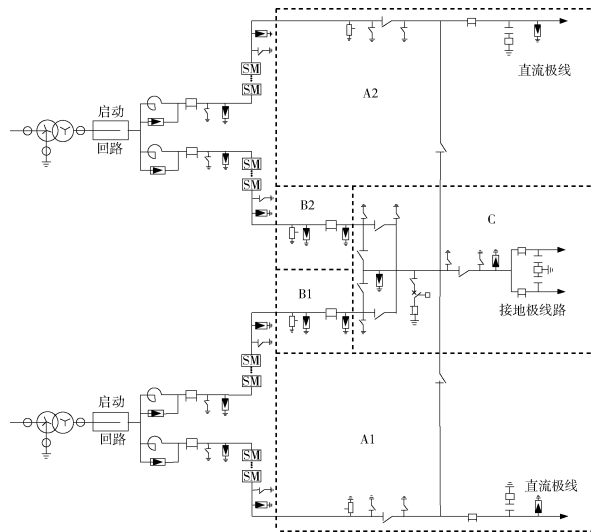


图 3 柔性直流换流站直流场接线

Fig. 3 DC field wiring scheme of VSC-HVDC Converter Station

2.3 直流场接线方案优化

和现有常规直流和柔性直流的双极接线相比, 本接线方案进行了一定的优化:

2.3.1 取消中线母线开关(HSNBS)

在常规直流工程中, 为安全可靠运行, 在常规直流工程中需考虑设置中线母线开关(HSNBS)。当单极计划停运时, 换流器在没有投旁通对的情况下闭锁, 换流器将使该极直流电流降为零, HSNBS 在无电流情况下分闸。当正常双极运行时, 如果一个极的内部出现接地故障, 故障极投旁通对闭锁, 利用 HSNBS 将正常极注入接地故障点的直流电流转换至接地极线路。

在对称单极接线的柔性直流工程中, 由于直流场无接地点, 因此没有中性线设备, 相应也不需设置中线母线开关(HSNBS); 在双极接线的柔性直流工程中, 多采用子模块半桥拓扑结构, 不具备故障清除能力, 因此在运行中同样需要设置中线母线开关(HSNBS)。

但在本方案中, 即采用子模块全桥拓扑结构的双极柔性直流工程中, 由于换流器本体可通过控制方式将直流电压将为零, 实现直流故障清除或单极停运, 因此不需要额外设置中线母线开关(HSNBS)设备。

2.3.2 极线电压测量装置布置方案

极线电压测量装置有两个安装方案:

1) 方案一: 电压测量装置设置在极线隔离开关的外侧。当线路开路试验或单极金属回线运行时, 能够测得对站线路末端的电压, 两侧的直流线路低电压保护都可以正常工作, 当发生线路开路时, 可直观地发现故障。而进行阀组空载试验(不带线路)时, 需临时将电压测量装置接至隔离开关内侧。

2) 方案二: 电压测量装置设置在极线隔离开关的内侧。当进行阀组空载试验时, 无需临时改接电压测量装置位置, 试验操作方便。但当进行线路开路试验时, 无法测得对侧电压, 当发生线路断线时, 试验站从电压水平上无法判别。

在常规直流工程中, 极线电压测量装置的两种设置方案均有应用, 而柔性直流换流站具有作为 STATCOM 站运行的功能, 电压测量装置设置在极线隔离开关的内侧, 无需临时改接电压测量装置位置。因此, 本方案推荐采用方案二, 将电压测量装置设置在极线隔离开关的内侧。

3 结论

常规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。柔性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, 抑制甚至避免常规直流多馈入系统的继发性换相失败问题; 利用 VSC 快速启动 LCC, 参与电网大停电后的恢复, 可以显著改善恢复过程中的波动幅度并减小暂态过程持续时间。

因此, 混合直流将两种直流输电技术结合起来, 两者特点互补, 在保证成本经济的前提下, 具备高素质的运行特性, 同时可避免常规直流对受端电网的影响, 是未来直流输电技术发展的一个主要方向。本文提出了混合直流系统中柔性直流换流站的直流场接线方案, 并根据其特点进行了优化设计, 提高了系统性能, 节约了投资成本。

参考文献:

- [1] 胡兆庆, 毛承雄, 陆继明, 等. 一种新型的直流输电技术—HVDC Light [J]. 电工技术学报, 2005, 20(7): 12-16.
HU Z Q, MAO C X, LU J M, et al. New high voltage direct current transmission technology—HVDC light [J]. Transaction of China Electrotechnical Society, 2005, 20(7): 12-16.
- [2] 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.
TANG G, XU Z, XUE Y L. A LCC-MMC hybrid HVDC transmission system [J]. Transaction of China Electrotechnical Society, 2013, 28(10): 301-310.
- [3] 郭春义, 赵成勇, MONTANARI A, 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.
GUO C Y, ZHAO C Y, MONTANARI A, et al. Investigation of hybrid bipolar HVDC system performances [J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(10): 98-104.
- [4] 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: 72-76.
- [5] 汤广福, 贺之渊, 庞辉. 柔性直流输电工程技术研究、应用及发展 [J]. 电力系统自动化, 2013, 37(15): 3-14.
TANG G F, HE Z Z, PANG H. Research, application and development of VSC-HVDC engineering technology [J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(15): 3-14.
- [6] 刘钟洪. 基于模块化多电平变流器的轻型直流输电系统研究 [D]. 北京: 清华大学, 2010.
- [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, 2013.
- [8] 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.
XU Z, XUE Y L, ZHANG Z R. VSC-HVDC technology suitable for bulk power overhead line transmission [J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(29): 5051-5062.
- [9] 薛英林, 徐政, 唐庚, 等. 适用于架空线场合的柔性直流输电换流器拓扑技术 [C]. //2013 全国博士论坛(电气工程综合). 杭州: [s. n.], 2013: 1-7.
XUE Y L, XU Z, TANG G, et al. Flexible HVDC converter topologies suitable for overhead line power transmission [C]. // Doctoral Forum of China Electrical Engineering. Hangzhou, 2013: 1-7.

(责任编辑 隋卿毅)