

柔性直流输电技术在海岛供电领域的应用方案

郝为瀚

(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: 柔性直流输电技术发展至今已经逐步走向成熟, 在风电接入、电网互连等方面已经有了大量的应用, 积累了充足的工程经验。由于柔性直流输电技术的特点, 用于海岛供电有着先天的优势。本文梳理了柔性直流输电技术的发展概况、基本原理和技术特点, 系统总结了该技术的演化发展和工程应用特点, 对于其在海岛供电领域的应用进行分析, 并针对海岛供电提出一个典型的应用方案, 对柔性直流输电技术的在海岛供电领域的应用以及发展方向提出了一些具有积极意义的设想和建议。

关键词: 柔性直流输电技术; 海岛供电; 应用方案

中图分类号: TM721

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)S1-0046-04

Application of VSC-HVDC Technology in the Field of Islands Power Supply

HAO Weihan

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

Abstract: VSC-HVDC technology development has been gradually maturing, in the field of wind power grid interconnection and power grid connection has a large number of applications, has accumulated plenty of engineering experience. Because of the characteristics of VSC-HVDC technology, it has the congenital advantage for using in the field of island power supply. This paper combed the VSC-HVDC technology development situation, basic principle and technical characteristics, summarized the development of the technology and the characteristics of the engineering application, analyzed the application in the field of island power supply, and put forward a typical application plan for island power supply system, and put forward some positive ideas and Suggestions.

Key words: VSC-HVDC; islands power supply; application plan

柔性直流输电技术经过十几年的发展, 特别是近几年实际工程应用的不断增加和运行经验的积累, 证明了其技术上、工程上的可行性和优越性。柔性直流输电技术体现了设计施工灵活、电磁场污染小、噪声污染小等特点, 在风电等可再生能源接入、长距离电缆输电、跨区电网互联、孤岛或海上平台供电、城市电网非同步互联、偏远负荷供电等应用场合有着明显的应用优势^[1]。

海岛供电领域, 由于其特殊的地理条件, 海岛供电存在输送距离远、用户分散、电网相对薄弱、稳定性问题突出等问题^[2]。特别近年经济发展迅速, 我国各海岛电力负荷呈持续增长趋势, 尤其是以旅游业为主的海岛, 用电负荷增长较快, 在用电

高峰的旅游旺季, 当地电网稳定性问题突出, 对于海岛长期发展存在限制瓶颈。通过建设柔性直流输电系统, 改造原有电力系统的功能, 实现海岛送电、稳定区域电网、岛上电量反送等多重目标, 增加地区电力系统的稳定性, 可以有效解决上述问题。

1 柔性直流输电技术的发展概况

与传统方式相比, 柔性直流输电在孤岛供电、城市配电网的增容改造、交流系统互联、大规模风电场并网等方面具有较强的技术优势, 是改变大电网发展格局的战略选择。

柔性直流输电概念最早在 1990 年由 ABB 加拿大 McGill 大学的 Boon-Teck Ooi 等人提出^[3]。1997 年 ABB 公司在瑞典中部的赫尔斯杨进行了世界上第一个柔性直流工业试验^[4]。1999 年 ABB 公司的哥特兰工程是世界上首个投入商业运行的柔性直流

收稿日期: 2015-11-01

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。

工程^[5]。之后,柔性直流输电技术得到迅速发展,ABB 公司先后开发了四代柔性直流输电技术,即二电平换流器技术(G1)、箝位式多电平换流器技术(G2)、改进的二电平换流器技术(G3)和二电平级联换流器技术(G4)^[6]。另外,ABB 公司于 2012 年末研制出了 320kV 的混合式直流断路器,这为柔性直流输电在更广的领域应用扫清了技术障碍。

SIEMENS 公司提出的模块化多电平技术(MMC)进一步推动了柔性直流的快速发展,该技术在美国 Transbay 工程中首次应用,目前已经成为柔性直流输电的主流方案^[7]。近期投运的柔性直流输电多采用 MMC 结构,对于单套换流器,电压等级已做到 ± 500 kV,输送功率达 1 000 MW,总损耗不大于 1%,各次谐波分量基本控制在 1% 以下。

总体来说,柔性直流输电技术发展迅速,MMC 成为了柔性直流输电技术发展的主流方向,采用这种技术,在电压和容量等级上已经没有制约性,如在 2014 年投产的柔性直流输电工程中,最高直流电压等级已达 ± 500 kV,最大输送容量达到 $2 \times 1\,000$ MW。世界三大电力装备制造厂商均将柔直作为核心业务发展,使柔直技术的不断更新完善,随着价格水平的日趋合理,柔性直流工程的建设速度明显加快,发展前景非常广阔。

2 柔性直流输电技术的原理

柔性直流输电技术是基于电压源换流器(VSC)、可关断功率器件(IGBT)和脉宽调制技术(PWM)的一种新型直流输电技术。利用功率开关器件的自关断特性和 PWM 技术,可实现换流器自换相、有功无功独立控制,提高了可控性和灵活性。柔性直流系统基本原理见图 1,送端换流器(整流器)和受端换流器(逆变器)均采用 VSC,由换流桥、换流电抗器、直流电容器和交流滤波器组成,换流桥每个桥臂均由多个 IGBT 串联而成^[4]。

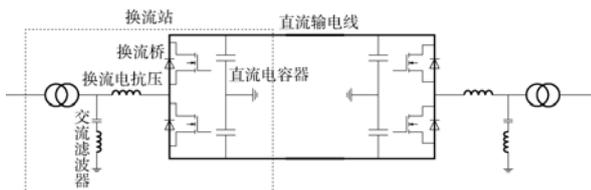


图 1 柔性直流输电基本原理图

Fig. 1 VSC-HVDC Schematic Diagram

柔性直流输电的系统结构可分为两端直流输电系统,多端直流输电系统和背靠背直流输电系统三大类。两端直流输电系统与交流系统有两个连接口,由一个整流站(送端),一个逆变站(受端)和直流输电线路(架空线或电缆)组成,是结构最简单的直流输电系统。

多端直流输电系统与交流系统有三个或三个以上连接端口,它由三个或三个以上的换流站和直流输电线路(架空线或电缆)组成。多端柔性直流输电系统能够实现多电源供电、多落点受电,作为一种更为灵活的输电方式在新能源并网、城市配电网等领域具有广阔的应用前景。

背靠背直流输电系统与交流系统有两个连接口,其整流站设备和逆变站设备通常装在一个换流站内,整流器和逆变器的直流侧通过平波电抗器连接,没有长距离的直流线路,主要用于两个非同步运行(不同频率或相同频率但非同步)的交流电力系统之间的联网或送电,也称为非同步联络站。

3 柔性直流输电技术的特点

柔性直流换流站基本多采用电压源型的换流器,采用 IEGT 或 IGBT 做为功率器件,通过控制保护系统自动调节有功、无功、频率及电压,其主要特点如下:

- 1) 可独立控制换流站的有功功率和无功功率,控制方式灵活,而且能够做为静止无功补偿器(STATCOM)对系统提供动态无功支撑,稳定交流系统运行电压。
- 2) 电压源型的换流器(VSC)采用全控型的功率器件,可实现自关断,不需要电网提供换相电压。
- 3) 在交流系统发生故障时,可以迅速提供动态的有功功率和无功功率,稳定系统电压。
- 4) 采用多电平控制技术,输出谐波多为高次谐波,所需滤波装置容量大大减小或不需要滤波装置。
- 5) 有利于构成多端直流输电系统,形成直流网络,是实现海岛、风电接入的理想输电方式。

4 海岛供电应用方案

根据海岛电网的特殊情况,采用柔性直流输电技术的优越性主要体现在以下方面:

- 1) 柔性直流输电对潮流和电压具有可控性,从

电能质量及输电稳定性来说,能使大陆主网等输出的电压、电流基本满足电能质量要求,实现交直流隔离,对于提高电网的稳定性有重要意义。

2)可实现多端直流接入,满足同时供应多个海岛用电的需求。

3)柔性直流输电良好的功率调节性能和潮流反转性能可满足海岛负荷变化以及实现岛上电能反送的需要。

4)柔性直流输电还可以实现风能、太阳能等新能源的接入,优化电网结构,最大限度地发挥可再生资源的发电能力。

5)柔性直流输电具有模块化结构、标准化设计、建设工期短、结构紧凑的工程特点,适合海岛等建站土地资源匮乏的场合。

6)对环境友好。换流阀一般布置于户内,也没有大量的滤波器组,换流站产生的噪音也非常小,可以满足周边环境的要求。

本节针对海岛供电提出一个典型的多端系统应用方案,方案的建设背景如下:2个海岛电力负荷需求容量分别为120 MW和80 MW,距离大陆约20 km,大陆侧电网电压等级为220 kV,计划建成一个直流电压为 ± 160 kV,输送容量为200 MW的三端柔性直流输电系统,用于实现海岛和大陆主网的输电通道互连。方案建设内容包括在大陆沿海近区建设1个送端换流站,在两个海岛上各建设1个受端换流站,并配套建设直流侧和交流侧的线路。

4.1 换流站电气接线

综合考虑建设的必要性和项目总投资,三端换流站均采用单换流器对称接线,可以实现双极平衡运行。电气接线示意如下图2所示。

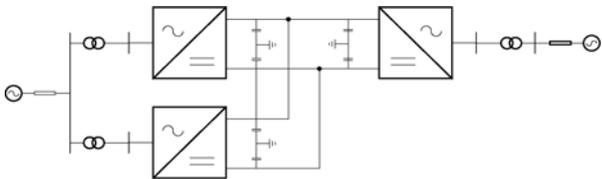


图2 三端柔性直流输电接线示意图

Fig. 2 Three-terminal VSC-HVDC Electric Diagram

大陆沿海送端换流站交流侧电压为220 kV,采用双母线接线,220 kV配电装置为线路出线2回,联接变进线1回。海岛受端换流站交流侧电压为110 kV,采用双母线接线,与海岛110 kV电网相连接。

换流器采用基于模块化多电平(MMC)拓扑结构,主要包括阀电抗器、启动回路、联接变压器回路等设备。换流器阀电抗器与联接变压器相接后引入站内220 kV交流配电装置。直流侧电压为 ± 160 kV,直流正、负极母线上分别装设2组隔离开关,并配有直流电压测量装置、直流电流测量装置、直流隔离开关及过电压保护设备等,换流器也可单独作为STATCOM运行,对交流电网进行动态无功支撑。

直流汇流场设置于大陆沿海送端换流站,分别通过两回海缆线路接至两个海岛受端换流站。

4.2 换流站平面布置

三端柔性直流换流站的电气总平面布置原则基本一致,均根据“交流场—连接变压器—阀厅—直流场”的工艺流程进行设计。按照电气主接线方案、站址地形、各级电压线路进出线方向、通风要求、噪音控制等条件进行综合考虑,尽可能做到工艺流程顺畅、技术先进、运维方便、节约占地及经济最优。根据场地尺寸要求可选择户外单层布置、半户内双层布置以及户内多层布置等多种方案。平面布置的主要原则如下:

1)功能分区明确,便于运行、维护。

2)布置紧凑、合理,便于施工、安装,节能节地。

3)与周围生态环境友好、协调,不影响附近居民的生活。

4.3 直流输电线路

本方案计划建成一个直流电压为 ± 160 kV,输送容量为分别为120 MW和80 MW的三端柔性直流输电系统,两回直流海缆线路长度均为20 km。

海底直流电缆线路的建设方案如下:

1)海底电缆路由的选择以安全可靠、技术可行、经济合理(路线短,拐点少)、对海洋环境影响少,并能保持海洋环境可持续发展为原则。

2)海底电缆推荐采用导体截面为 500 mm^2 的 ± 160 kV直流交联聚乙烯绝缘海底光电复合缆。

3)推荐采用复合套式户外电缆终端,最小爬距不应小于9 240 mm,并要求其机械强度满足使用环境35 m/s的风力和8级地震等级的要求,并能承受与它连接的导线上的拉力。

4)敷设方案,包括:

(1)深海区敷设方式:海缆采用埋设型式敷设

于海床下，海缆路径处在航道上时，敷设深度应不小于 3.0 m，海缆路径不在航道上时，敷设深度应不小于 2.5 m；在通过礁石区时，埋设前应进行清理并开设沟槽，敷设深度不小于 1.0 m，并覆盖水泥砂袋进行保护。

(2) 登陆段敷设方式：沙滩沙堤段至低潮水位段，采用穿不锈钢关节套管、埋深 2 m、上覆钢筋混凝土保护板的组合保护方案；拟建接头工井至沙滩沙堤段，采用电缆沟敷设，每隔一定距离采用单相固定夹固定。

5 结论

柔性直流输电技术的工程化应用，将会带来巨大的经济效益和社会效益，有助于提高现有输配电网的安全稳定水平，促进可再生能源低成本规模化开发利用，促进产业结构升级与优化，对于建设坚强的电网有着显著的促进作用。

海岛一般远离电网，具有负荷轻而且日负荷波动大的特点，经济因素及线路输送能力低是限制架设交流输电线路发展的主要因素，制约了偏远地区经济的发展和人民生活水平的提高。

采用柔性直流输电技术不仅可满足海岛的供电需求，也可保障海岛所在区域电网的供电稳定性，

并支持各类新能源的接入，也可实现潮流反转，将岛上剩余电力反送至大陆主网，具有多重作用。目前世界范围内已有多个对海岛或弱电网供电的柔性直流输电系统顺利建成并投入使用，工程技术经验丰富，系统运行情况良好。可以预见，采用柔性直流输电技术对海岛进行供电将发挥很好的经济效益和社会效益，为我国沿海发展提供重要的助力。

参考文献：

- [1] 徐政, 陈海荣. 电压源换流器型直流输电技术综述[J]. 高电压技术, 2007, 33(1): 1-10.
- [2] 李懿, 马振会. 浅谈柔性直流技术在海岛输电中的推广应用[J]. 浙江电力, 2011(7): 26-29.
- [3] 梁旭明, 张平, 常勇. 高压直流输电技术现状及发展前景[J]. 电网技术, 2012, 36(4): 1-9.
- [4] 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): 47-52.
- [5] 马为民, 吴方劫, 杨一鸣, 等. 柔性直流输电技术的现状及应用前景分析[J]. 高电压技术, 2014, 40(8): 2429-2439.
- [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: 72-76.
- [7] 刘钟淇, 宋强, 刘文华. 新型模块化多电平变频器的控制策略研究[J]. 电力电子技术, 2009(10): 5-8

(责任编辑 林希平)

(下接第 127 页 Continued from Page 127)

偏沉滑移、井内涌水涌泥和超沉不止，沉井下沉速度和方向难以控制，因此如何控制沉井下沉成为工程关键。本文对沉井下沉控制研究主要是在刃脚下预先施打一排水泥搅拌桩，用来支撑沉井墙体自重，在软土层中形成一道强度适宜的连续承载墙体，在沉井下沉过程中就像形成了一道可靠导轨。通过分节，分部位凿除搅拌桩桩头来调节支撑力，准确控制沉井姿态和下沉速度、深度，但该道水泥搅拌桩的布置要合理，参数设计要适当，否则将不能达到控制下沉的目的，反而增加下沉难度，通过搅拌桩现场试验，总结得出了刃脚下水泥搅拌桩的设计施工参数，建议水泥掺入比取 6%~10%，在保持水泥总掺量不变的情况下，搅拌桩下部三分之一桩长水泥掺量可适当加大，上部三分之二桩长水泥掺量可适当减少。与此同时，我们在离沉井外壁 3 m 位置施打双排水泥搅拌桩，用来止於，防止井

外淤泥涌入井内，工程应用实践证明，井外止於的水泥搅拌桩起到了很好的效果。

参考文献：

- [1] DL/T 5024-2005, 电力工程地基处理技术规程[S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [2] JGJ79-2012, 建筑地基处理技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [3] CECS 137-2002, 给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程[S]. 北京: 中国工程建设标准化协会, 2002.
- [4] 黄海松, 臧华, 胡燕红. 水泥桩和钻孔桩联合在控制沉井下沉中的应用[J]. 中国市政工程, 2008(131): 86-87.
- [5] 陈江峰. 浅谈软土地基中沉井施工相关技术的应用[J]. 建筑发展导向, 2011(23): 64-65.
- [6] 周文芳, 秦亚琼. 复杂地基土上的沉井施工中遇到的问题分析[J]. 城市道桥与防洪, 2013(11): 128-129.

(责任编辑 高春萌)