

大容量海上柔性直流换流站紧凑型布置研究

刘生

引用本文:

刘生. 大容量海上柔性直流换流站紧凑型布置研究[J]. 南方能源建设, 2021, 8(1): 45-50.

LIU Sheng. Research on Compact Layout of Large Capacity Offshore Flexible DC Converter Station[J]. *Southern Energy Construction*, 2021, 8(1): 45-50.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

[± 800 kV柔性直流换流站换流变区域电气布置研究](#)

Research on VSC-UHVDC Converter Station Transformer Area Layout

南方能源建设. 2018, 5(3): 67-71 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.03.010>

[海上柔性直流换流站关键电气设备选型研究](#)

Research on the Selection of Key Electrical Equipments in Offshore VSC-HVDC Converter Station

南方能源建设. 2019, 6(1): 31-35 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.01.006>

[海上平台柔性直流换流站工程应用方案研究](#)

Research on VSC-HVDC Converter Station Application on Offshore Platform

南方能源建设. 2017, 4(1): 66-70 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.01.012>

[常规直流柔性化改造过渡方案研究](#)

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

南方能源建设. 2017, 4(1): 61-65 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.01.011>

[珠海"互联网+"柔性直流配电网换流站设计方案](#)

Design of Converter Stations of Zhuhai "Internet +" Flexible DC Distribution Network

南方能源建设. 2020, 7(1): 95-100 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.01.015>

大容量海上柔性直流换流站紧凑型布置研究

刘生[✉]

(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: [目的] 由于国外厂家的技术封锁, 我国在大容量海上柔性直流输电技术的应用研究仍处于空白阶段。文章针对大容量海上柔性直流换流站提出了一种既满足工艺流程要求, 又最大程度减少平台尺寸的紧凑型布置方案。[方法] 根据功能定位和工作原理, 可将换流站分为交流场、阀厅、桥臂电抗器区域、直流场和辅助房间五大区域。通过对各区域的布置原则研究给出了推荐的布置方案。[结果] 紧凑型的布置方案对提升海上换流站的可靠性、减少施工及维护检修工作以及降低工程总体造价具有重要作用。[结论] 柔性直流输电正向大容量、高电压、远距离输电方向不断发展, 是大容量海上风电送出的最佳应用方案, 研究提出的紧凑型布置方案能够对大容量海上柔性直流换流站起到很好的指导作用, 具有较高的参考价值。

关键词: 紧凑型布置; 柔性直流; 海上换流站

中图分类号: TK89; TM721.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2021)01-0045-06

开放科学(资源服务)二维码:



Research on Compact Layout of Large Capacity Offshore Flexible DC Converter Station

LIU Sheng[✉]

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

Abstract: [Introduction] Due to the technology blockade by foreign manufacturers, the research on the application of large capacity offshore flexible DC transmission technology in China is still in a blank stage. The paper presents a compact layout scheme for the large capacity offshore flexible DC converter station, which not only meets the requirements of process flow, but also minimizes the size of the platform. [Method] According to the function orientation and working principle, the converter station could be divided into five areas: AC field, valve hall, bridge arm electric reactor area, DC field and auxiliary room. Through the study of the layout principle of each area, the recommended layout scheme was given. [Result] The compact layout plan plays an important role in improving the reliability of the offshore converter station, alleviating construction and maintenance work and reducing the overall cost of the project. [Conclusion] Flexible DC transmission is developing towards the direction of large capacity, high voltage and long-distance transmission, which is the best proposal for large capacity offshore wind power output. The compact layout scheme proposed in the paper can play a good role in guiding the large capacity offshore flexible DC converter station, and has a high reference value.

Key words: compact layout; flexible DC; offshore converter station

2095-8676 © 2021 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

从全球海上风电发展与规划的情况来看, 近年来, 全球海上风电发展呈现大容量、高电压和远距离的特点^[1]。

随着电力电子技术的发展, 基于电压源技术的柔性直流输电技术为大容量海上风电送出提供了一种新的解决方案。目前, ABB、SIEMENS和ALSTOM等公司基于电压源技术的柔性直流输电方式已在欧洲建成了多条商业运行的大规模远海岸风电并网工程, 如 BorWin1、BorWin2、DolWin1、Dol-

收稿日期: 2020-05-23 修回日期: 2020-07-13

基金项目: 2018年广东省促进经济发展专项资金(海洋经济发展用途)项目“远海岸风电送出关键技术及装备研究”(GDME-2018B002)

Win2等,电压等级在200 kV~320 kV之间,容量在400 MW~900 MW之间。国外通过上述工程的积累,已有完备的海上柔性直流换流站的解决方案。但是国内海上风电送出都是采用常规交流方案,通过海上升压变电站实现电能送出,还没有采用柔性直流送出的案例。

国外用于海上风电送出的大容量柔性直流换流站大多为西门子和ABB提供,由于技术封锁,我国在大容量海上柔性直流输电技术的应用研究仍处于空白阶段^[2],未有通过高压直流输电进行远海岸风电并网工程。

相比于陆上的柔性直流换流站,海上柔性直流换流站的建设难度更大,成本更高。紧凑型的布置方案对提升海上换流站的可靠性、减少施工及维护检修工作以及降低工程总体造价具有重要作用。

1 概述

1.1 海上柔性直流换流站介绍

海上柔性直流换流站包括两种类型,一种用于输配电领域,主要用在海上石油平台上,从陆地电网接收电能整流为直流后送到海上平台,就地逆变为交流为石油平台供电;另一种用于发电领域,主要用于海上风电送出,从海上风场接收电能整流为直流后送到陆上,就地逆变为交流接入陆地电网。本文的研究对象属于后者。

1.2 海上输电平台主要布置型式

根据《Offshore substations for wind farms》(DNV-OS-J201)的分类^[3],海上输电平台一般分为无人操作的海上变电站,临时或者长期有人驻守的海上变电站,无人操作的海上变电站平台加一个生活平台,三种类型的平台示意如图1所示。

目前建成的大多数海上输电平台均为无人操作,此类平台不考虑人员临时或永久在平台上居住,只需在平台上布置电气设备,平台布置紧凑,整体较小,上部结构重量轻,方便施工。

2 海上、陆地柔性直流换流站布置方案差异

陆地柔性直流换流站一般为平铺设计,按接线顺序一字排开,除阀厅为户内布置外,其余设备大多为户外布置,并布置有控制楼用于运行人员值守,占地较大。

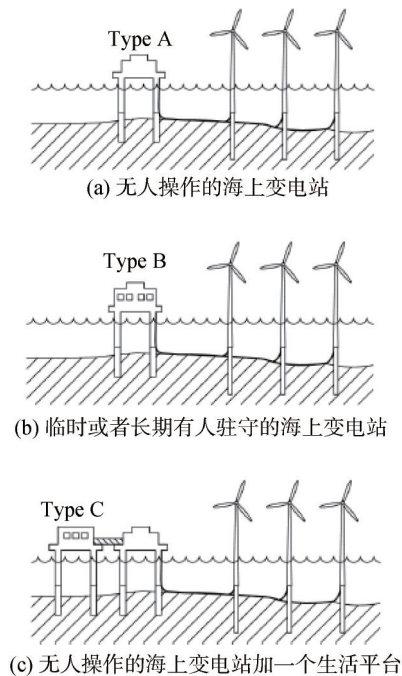


图1 海上输电平台主要布置型式

Fig. 1 Main layout types of offshore power transmission platform

海上柔性直流换流站以海上平台型式建设,大多距离陆地较远,无人值守,并且为了节省占海面积,均采用多层甲板上下布置型式。

海上柔性直流换流站平面设计相比陆地换流站的布置差异还体现在:

1) 所有电气设备均为户内布置,以适应海洋恶劣的环境条件。

2) 电气设备之间的连接导体尽量采用电缆,以减小电气安全净距对房间尺寸的影响,最大程度减少平台尺寸。

3) 海上平台须规划专门的电缆通道,包括电缆间和电缆竖井,保证各设备之间电气连接顺畅。

4) 海上平台须布置应急柴油发电机,用于事故状态下的应急电源接入。

5) 在平面设计时应充分考虑主要电气设备的运维通道,设置检修机械,方便设备元器件的更换和整体更换。例如联接变压器作为平台上最重要的设备,应布置在平台上端,房间顶部应设置带盖板的检修孔,通过平台顶部的吊机进行元器件的更换。

3 海上柔性直流换流站布置原则研究

3.1 工艺流程

根据功能定位和工作原理,换流站可划分为交流场、阀厅、桥臂电抗器区域、直流场和功能房间五大区域^[4]。

1) 交流场区域主要包含交流进线、联接变压器、交流滤波器(若有)等。

2) 阀厅主要包含换流器、阀厅接地刀闸等。

3) 桥臂电抗器区域主要包含桥臂电抗器。

4) 直流场区域主要包含直流隔离开关、电流测量装置、电压测量装置、避雷器等。

5) 功能房间区域主要包含低压配电室、继电器室、阀冷设备间、备品备件间、通信机房、二次蓄电池室、通信电源室、工具间等。

每个功能区域在有机联系的同时,应尽量独立成区,减弱各区域间的交互影响。

换流站功能分区间的工艺流程如图 2 所示。

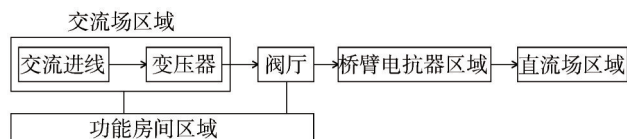


图 2 换流站的工艺流程

Fig. 2 Technological process of converter station

在满足工艺流程的前提下,为节省平台尺寸,应考虑以下设计原则:

1) 对于 ± 320 kV/1 000 MW 的柔性直流换流站用联接变压器,重量 600~700 t,甲板式起重机很难满足要求,需考虑采用起重船起吊,考虑设备的检修维护,变压器应布置在上层。换流阀检修单元为功率模块,单个功率模块重量小于 1 t,可考虑将阀厅布置在下层。直流场可与阀厅同厅布置,这样一方面保证了接线顺畅,另一方面节省了穿墙套管。联接变压器网侧和阀侧 GIS 设备以及桥臂电抗器可根据实际工程在保证接线顺畅的前提下灵活布置。

2) 为使平台上下层尺寸匹配,考虑在各层灵活布置功能房间。

3) 为减少换流阀相关光缆的长度及工艺布置流畅,考虑就近阀厅设置阀控设备间。

3.2 交流场紧凑型布置方案研究

3.2.1 开关设备区域

海上柔性直流输电平台风电场交流接入的电压

等级一般为 110 kV 及以上,因此交流场开关设备推荐采用 GIS 设备,同时考虑将相关设备如测量装置、避雷器、接地开关等集成在 GIS 内,满足海上平台的紧凑化布置要求。

3.2.2 联接变压器区域

如图 3 所示,联接变压器分为单相变压器和三相一体变压器两种型式。

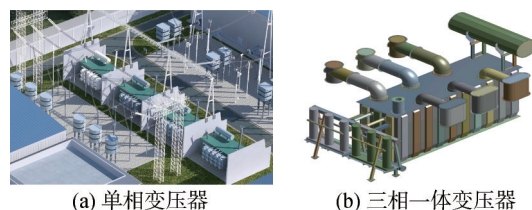


图 3 联接变压器型式

Fig. 3 Type of connection transformer

联接变压器采用单相变压器时,需要设计备用的快速切换方案,接线复杂,辅助设备较多,并且站用电无法再从变压器取能,需要配置专门的高压站用变压器;采用三相变压器时,变压器的第三绕组可以为站用电提供电源,虽然需要两台三相变压器,但是相比单相变压器方案省去了快速切换设备和高压站用变压器,减少了平台尺寸和重量,因此,联接变压器推荐采用三相变压器。

联接变压器是平台上最重要的电气设备,应尽量布置在中央,重心居中有利于结构设计。联接变压器是换流站内最重要的设备之一,为了方便运维和检修,应尽量布置在平台上层,顶部设置检修孔。

联接变压器网侧和阀侧可考虑选用电缆或 GIL 与 GIS 连接,选用何种方式需根据具体工程布置方案确定。

3.3 阀厅电气平面布置研究

3.3.1 桥臂极性布置研究

阀厅宽度尺寸取决于桥臂极性布置方式。换流阀桥臂的相序有两种排列方式:

1) 方式一:同相上下桥臂相邻布置,呈 AA'BB'CC'排列。阀厅交流进线侧直接接入换流阀,在直流侧通过支撑管母线和悬吊管母线实现换相连接。交流侧进线长度相应减少,直流侧汇流母线长度相应增加。

2) 方式二:同极桥臂三相相邻布置,呈 AB-CA'B'C'或 ABCC'B'A'排列。阀厅设置汇流悬吊管

母和支持式管母或采用其他换相方式,实现相序转换,将交流侧 AA'BB'CC'转换为桥臂侧的 AB-CA'B'C' (或 ABCC'B'A')。交流侧进线长度相应增加,直流侧汇流母线长度相应减少^[5]。

下面分析两种排列方式下的阀厅尺寸对比。

1) 阀厅纵向尺寸对比

方式一:由于同相换流阀间极性相反,AA'BB'CC'排列时,桥臂间距主要受极间绝缘距离和检修距离控制。

方式二:同极桥臂三相相邻布置,ABCA'B'C'排列时,桥臂间距主要受相间绝缘距离和检修距离控制。

由于海上平台对尺寸要求敏感,用于换流阀的检修升降平台车,在满足检修维护功能要求的前提下,尽量采用小尺寸的升降平台车,以减少桥臂间距的检修距离要求。

一般极间绝缘水平、电气距离要求高于相间绝缘水平、电气距离要求。

针对于 ± 320 kV/1 000 MW的换流阀,根据初步资料判断,极间电气距离要求高于检修距离要求。所以方案一的宽度尺寸大于方案二的宽度尺寸。

2) 阀厅横向尺寸对比

方式一:在交流进线侧可直接接入换流阀。在直流侧通过支撑管母线和悬吊管母线实现换相连接。直流侧横向尺寸增加。

方式二:在交流进线侧设置换相回路,由于采用对称单极的换流阀,换流阀交流进线侧可采用GIS设备,则GIS换相回路基本不增加横向尺寸。

由于桥臂电抗器设置在直流侧,方式一的换相

可考虑设置在桥臂电抗器直流侧,通过上、下汇流管母实现极线引出,不增加阀厅自身横向尺寸,但增加桥臂电抗器及直流场的横向尺寸。

综合考虑纵向和横向两者因素,推荐采用方式二,在交流侧进行换相。

3.3.2 阀厅高度限制因素研究

阀厅高度的限制因素主要包括换流阀设备的高度、电气安全净距和吊装机械最小作业距离^[6]。

3.4 桥臂电抗器布置研究

桥臂电抗器推荐选用干式电抗器。为减小电抗器的磁场对周围相关设备及金属构件的影响,可以考虑将桥臂电抗器单独房间布置,此时进出线侧需要增加穿墙套管,会增加平台尺寸和投资,也可以将桥臂电抗器和换流阀以及直流场共厅布置,但是做布置方案时需校验电抗器漏磁对换流阀的电磁干扰。为了减少占地,每极电抗器优先采用品字型布置,但考虑电抗器区域与阀厅纵向尺寸的匹配及减小电抗器区域的横向尺寸,电抗器区域也可采用一字型布置。具体工程应结合平台整体布置方案 and 用户需求确定桥臂电抗器布置方案^[7]。

3.5 直流场电气平面布置研究

采用对称单极接线的直流场设备数量较少,仅包括电流、电压测量设备、隔离开关、接地开关和避雷器^[8]。

如图4所示,当阀厅纵向尺寸较少时,为节约空间,直流场设备可以沿阀厅纵向采用“U”字型布置,宽度和阀厅保持一致,便于和换流阀接线,长度则可大幅减小。当阀厅纵向尺寸较大时,直流场设备可采用一字型布置。

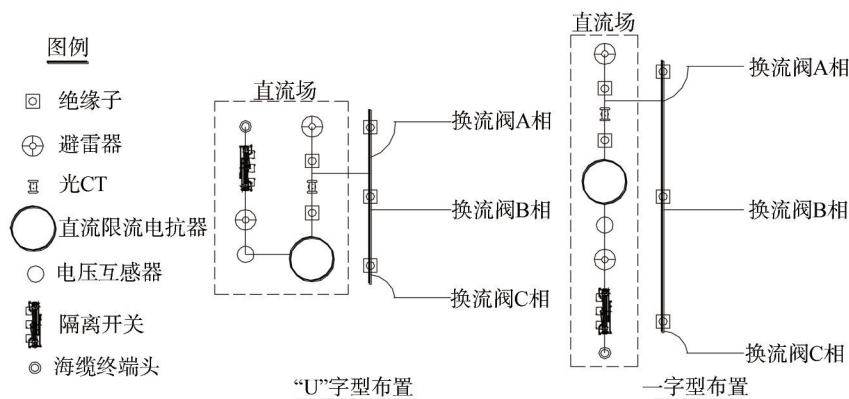


图4 直流场平面布置

Fig. 4 Layout of DC field

另外由于直流场设备较少，占地较小，可考虑与桥臂电抗器区域同房间布置，减少一组直流极线套管。

4 海上柔性直流换流站典型紧凑型布置方案研究

基于第 3 章的布置原则，本文针对高电压（例如 320 kV）、大容量（例如 1 000 MW）的海上柔性直流换流站提出一种既满足工艺流程要求，又最大程度减少平台尺寸的紧凑型布置方案，如图 5~图 7 所示^[9]。

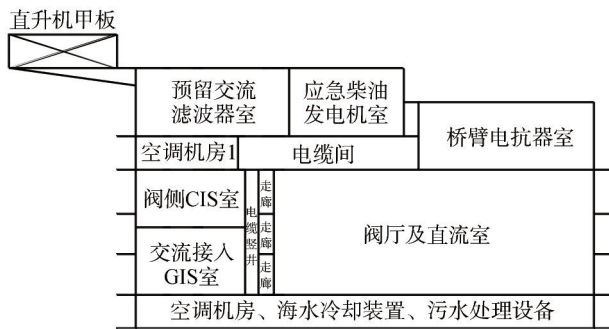


图 5 正视图

Fig. 5 Front view

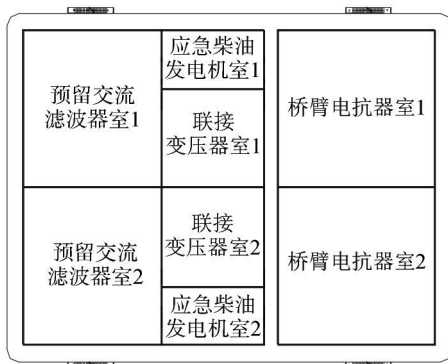


图 6 上端布置图

Fig. 6 Upper layout

海上换流站的布置方案按照图 2 的工艺流程设计。

首先，对于联接变压器室，由于重量较重（600~700 t），平台自带吊机很难满足要求，考虑采用外部起重船起吊，为了方便起重船的吊装，联接变压器布置在平台上端，房间顶部设置带盖板的检修孔，方便设备元器件的更换和整体更换^[10]。

其次，对于阀厅，由于房间最大，而单个换流阀检修单元重量小于 1 t，因此考虑布置在平台下



图 7 下端布置图

Fig. 7 Lower layout

端，房间顶部设置单轨电动吊车。这样既保证了尺寸最大的房间在下端，利于平台结构重心的下沉，也不影响运维，另外也可以普适大吨位运输船的通行空间要求。

为使平台上、下端尺寸匹配，同时满足各设备之间电气连接的顺畅，桥臂电抗器室布置在阀厅及直流室上方，交流接入 GIS 室和阀侧 GIS 室在阀厅及直流室侧面上下层布置以充分利用阀厅高度方向的空间。GIS 室通过房间顶部的吊车实现设备运维。

在平台上、下端空余位置布置辅助房间，尽量使得平台外观方正。

在平台上端布置应急柴油发电机室，用于事故状态下的应急电源接入，另外在平台上端预留了交流滤波器室，用于预防交流系统谐振风险。

在联接变压器室和阀厅及直流室之间布置了电缆间，同时在交流接入 GIS 室和阀厅及直流室之间布置了电缆竖井，这样一方面为各设备之间的电气连接规划好了专门的电缆通道，减少了对房间的影响，另一方面节省了穿墙套管。

应用典型紧凑型布置方案的海上柔直换流站平台最大尺寸约为 80 m×60 m，最大重量约为 13 500 t，接近国际主流水平。

5 结 论

我国海上风电项目呈现由近海到远海、由浅水到深水、由小规模示范到大规模集中开发的特点，目前国内江苏、广东都开始了 1 000 MW 级海上风电柔性直流送出方案的实施。海上柔性直流换流站是海上风电通过柔性直流送出的关键，对其布置方

案的研究显得尤为重要。

本文针对大容量海上柔性直流换流站的功能分区及工艺布置、紧凑型电气设备连接和电气设备安装运维展开研究,结合系统要求和设备配置,充分考虑换流站建设的可行性、经济性及运行的可靠型、灵活性等要求,提出了紧凑型的布置方案。

本文提出的紧凑型布置方案带来的有益效果如下:

1) 首次提出了一种适用于大容量海上柔性直流换流站的布置方案,填补了国内这一空白。

2) 通过统筹考虑功能房间和辅助房间的布置需求,给出了推荐布置方案,同时规划了专门的电缆通道,这样既保证了各设备之间电气连接的顺畅,又最大程度减少平台尺寸,节省用钢量。

3) 充分考虑海上换流站和陆地换流站的差异,布置了应急柴油发电机,用于事故状态下的应急电源接入,同时在平面设计时充分考虑了主要电气设备的运维通道,方便设备元器件的更换和整体更换。

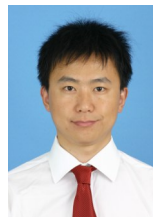
4) 在平台上端预留了交流滤波器室,用于预防交流系统谐振风险。

柔性直流输电正向大容量、高电压、远距离输电方向不断发展,是大容量海上风电送出的最佳应用方案,本文提出的紧凑型布置方案能够对大容量海上柔性直流换流站的设计工作起到很好的指导作用,具有较高的参考价值。

参考文献:

- [1] 王秀丽,赵勃扬,黄明煌,等. 大规模深远海风电送出方式比较及集成设计关键技术研究 [J]. 全球能源互联网,2019,2(2):138-145.
WANG X L, ZHAO B Y, HUANG M H, et al. Research of integration methods comparison and key design technologies for large scale long distance offshore wind power [J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2019, 2(2): 138-145.
- [2] 王志新,李响,艾芊,等. 海上风电柔性直流输电及变流器技术研究 [J]. 电力学报,2007(4):413-417+423.
WANG Z X, LI X, AI Q, et al. Research on offshore wind energy flexible direct current transmission and converter technology [J]. Journal of Electric Power, 2007(4): 413-417+423.
- [3] 挪威船级社. 风电场海上变电站:DNV-OS-J201 [S]. 挪威:挪威船级社,2009.
DET NORSKE VERITAS. Offshore substations for wind farms: DNV-OS-J201 [S]. Norway: DET NORSKE VERITAS, 2009.
- [4] 郝为瀚. 海上平台柔性直流换流站工程应用方案研究 [J]. 南方能源建设,2017,4(1):66-70.
HAO W H. Research on VSC-HVDC converter station application on offshore platform [J]. Southern Energy Construction, 2017, 4(1): 66-70.
- [5] 王丽杰,梁言桥,杨金根,等. 柔性直流背靠背换流站阀厅电气设备布置设计 [J]. 电力勘测设计,2019(7):51-57.
WANG L J, LIANG Y Q, YANG J G, et al. The layout design of valve hall electrical equipment in VSC-HVDC back-to-back converter station [J]. Electric Power Survey & Design, 2019(7): 51-57.
- [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.
TANG G F. HVDC transmission technology based on voltage source converter [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2010: 72-76.
- [7] 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 Y, PANG H. Research application and development of VSC-HVDC engineering technology [J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(15): 3-14.
- [8] 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.
XU Z, TU Q R, GUAN M Y, et al. Flexible HVDC system [M]. Beijing: Mechanic Industry Press, 2013.
- [9] 国家能源局. 220~750 kV 变电站设计技术规程:DL/T 5218—2012 [S]. 北京:中国计划出版社,2012.
National Energy Administration. The design regulation of 220~750 kV substations: DL/T 5218—2012 [S]. Beijing: China Planning Press, 2012.
- [10] 国家能源局. 风电场工程 110~220 kV 海上升压变电站设计规范:NB/T 31115—2017 [S]. 北京:中国水利水电出版社,2018.
National Energy Administration. Code for 110~220 kV offshore substation design of wind power projects: NB/T 31115—2017 [S]. Beijing: China Water & Power Press, 2018.

作者简介:



刘生

刘生(通信作者)

1985-, 男, 广东广州人, 高级工程师, 硕士, 长期从事高压输电工程设计工作 (e-mail) liusheng@gedi.com.cn.

(责任编辑 李辉)