

油田群项目海上降压变电站布置方案研究

刘生, 巴砚

引用本文:

刘生, 巴砚. 油田群项目海上降压变电站布置方案研究[J]. 南方能源建设, 2021, 8(2): 99–104.

LIU Sheng, BA Yan. [Research on Layout Plan of Offshore Step-down Substation for Oilfield Group Project](#)[J]. *Southern Energy Construction*, 2021, 8(2): 99–104.

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)

[高压串联电抗器独立子站应用研究](#)

Application Research on Independent High-Voltage Series Reactor Station

南方能源建设. 2017, 4(4): 71–75,123 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.04.014>

[基于泛在电力物联网的无人值守变电站消防策略研究](#)

Research on Fire Control Strategy for Unattended Power Substation Based on Ubiquitous Electric Power Internet of Things

南方能源建设. 2020, 7(4): 75–80 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.04.011>

[标准配送式变电站预制光缆工程应用方案研究](#)

Research on the Engineering Application of Prefabricated Optical Cable in Standard Distribution Substation

南方能源建设. 2018, 5(4): 117–123 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.04.018>

[500 kV 江门变电站不停电改造关键技术分析](#)

Key Technology of Live Retrofit in 500 kV Jiangmeng Substation

南方能源建设. 2015, 2(z1): 244–248 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.S1.054>

[光伏电源接入500 kV 变电站站用电对保护的影响分析](#)

Influence Analysis on Power Relay Protection of PV Generation Connected to 500 kV Substation Station Power

南方能源建设. 2018, 5(1): 98–102 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.01.016>

油田群项目海上降压变电站布置方案研究

刘生^{1,✉}, 巴砚²

(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 510663; 2. 中海油研究总院有限责任公司, 北京 100028)

摘要: [目的] 海上油田群电力主要来源于发电机组, 存在供电可靠性差、发电效率低和节能减排压力大等问题, 通过陆上向海上供电可以很好地解决上述问题。[方法] 根据功能定位和工作原理, 可将海上降压变电站分为220 kV开关设备区、变压器区、35 kV开关设备区、10 kV开关设备区、无功补偿区和辅助房间六大区域。通过对各区域的研究给出了推荐的布置方案。[结果] 给出的布置方案对提高海上降压变电站的可靠性、保障设备检修和维护便利以及最大程度减少平台尺寸具有重要作用。[结论] 提出的布置方案能够对油田群项目中的海上降压变电站起到很好的指导作用, 具有较高的参考价值。

关键词: 油田群; 海上降压变电站; 布置方案

中图分类号: TM7; TM63

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2021)02-0099-06

开放科学(资源服务)二维码:



Research on Layout Plan of Offshore Step-down Substation for Oilfield Group Project

LIU Sheng^{1,✉}, BA Yan²

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

2. China National Offshore Oil Corporation Research Institute Limited, Beijing 100028, China)

Abstract: [Introduction] The power of offshore oilfield group mainly comes from generating units, which has problems of poor power supply reliability, low power generation efficiency, high pressure of energy saving and emission reduction, etc. [Method] According to the function orientation and working principle, the offshore step-down substation could be divided into six areas: 220 kV switchgear area, transformer area, 35 kV switchgear area, 10 kV switchgear area, reactive power compensation area and auxiliary room. The recommended layout plan was given through the study of each area. [Result] The layout plan proposed in this paper plays an important role in improving the reliability of offshore step-down substation, ensuring the convenience of equipment maintenance and service, and minimizing the platform size. [Conclusion] The layout plan proposed in this paper can play a good role in guiding offshore step-down substations in oilfield group project and has high reference value.

Key words: oilfield group; offshore step-down substation; layout plan

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/>).

海洋油田群受海底油气资源分布限制, 通常距离陆地较远, 以孤岛形式建设。油田群平台目前主要通过透平发电机组等自发电设备为用电负荷提供电能, 自发电在保障海上油田开发电力供应的同时也带来了一系列的问题, 主要体现在: (1) 透平发

电机组基本都是进口设备, 费用高, 核心技术被国外垄断; (2) 每个油田平台都需要设置自发电设备; (3) 自发电设备以原油或天然气为燃料, 由于单一平台的容量小且效率低, 导致发电成本较高^[1]。

通过从陆上向海上供电可以很好地解决上述问题。陆地电力一方面控制技术成熟, 调度灵活, 供电可靠性高; 另一方面陆地能源中水电、核电、风

收稿日期: 2020-12-04 修回日期: 2021-01-30

基金项目: 中国能建广东院科技项目“百万千瓦级海上柔性直流输电平台研发”(EV04841W)

电等清洁能源占比较高,能够大幅减少海上自发电过程中产生的温室气体和污染气体直接排放,为地区环境治理作出贡献。因此,这一技术将会是海洋油田群电力解决方案的主要发展方向。

海上降压变电站是油田群供电的核心内容,承担着电能分配和改善电能质量的重要功能。目前国内油田群海上降压变电站尚无工程应用案例。相比于陆上电网的变电站和用于海上风电送出的海上升压站,海上降压变电站功能区域更多、建设难度更大,成本更高。本文提出的海上降压变电站布置方案对满足工艺流程、保障设备检修和维护便利以及最大程度减少平台尺寸具有重要的指导作用和参考价值。

1 海上降压变电站的特点

1.1 海上降压变电站介绍

本文研究的海上降压变电站通过高压交流海缆接收陆地电网电力,再通过降压变压器变低至负荷侧电压,最后通过交流海缆输送至海上油气田集群。

1.2 海上降压变电站与海上升压站差异

本文研究的海上降压变电站与发电技术领域用于风电送出的海上升压站有以下两处明显的不同。

首先是拓扑结构的不同。对于海上升压站,不管是单个还是多个,都属于点对点拓扑,海上风电经过升压站升压后送至陆地。但是对于海上降压变电站,属于海上组网拓扑,彼此之间存在互联,接线和控制复杂程度高。

其次是无功补偿设备的配置。对于海上升压站,由于风电场已具备一定的电压控制及无功调节能力,同时陆上集控站内都会配置无功补偿设备,所以升压站内不再配置。但是对于海上降压变电站,一方面,为了保证各个方向的配电长度均衡,一般深入油田群中心,远离陆地,长距离输电需要配置无功补偿设备以抑制过电压水平;另一方面,油田群负荷主要是电动机类负荷,大量消耗无功,需要配置无功补偿设备以改善电能质量。

最后是电压等级的不同,海上升压站一般有220 kV、35 kV和0.38 kV三个电压等级,220 kV用于电能汇集后集中送出,35 kV用于风机集电线路,0.38 kV用于辅助系统;海上降压变电站一般有220 kV、

35 kV、10 kV和0.38 kV四个电压等级,220 kV用于接收陆地电网电力,35 kV和10 kV用于不同的油气田传输电力,0.38 kV用于辅助系统。

1.3 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,海上平台分为无人操作的海上平台,临时或者长期有人驻守的海上平台和无人操作的海上平台加一个生活平台三种类型^[2, 3-13]。

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 海上降压变电站工艺流程和设计原则

2.1 工艺流程

根据功能定位和工作原理,海上降压变电站可划分为220 kV开关设备区、变压器区、35 kV开关设备区、10 kV开关设备区、无功补偿区和辅助房间六大区域。

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。

各功能分区间的工艺流程如图1所示。

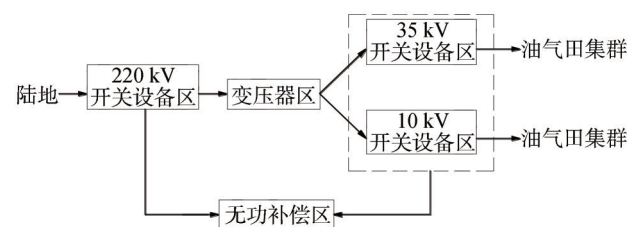


图1 海上降压变电站的工艺流程

Fig. 1 Technological process of offshore step-down substation

2.2 设计原则

在满足工艺流程的前提下,应考虑以下设计原则:

1) 220 kV降压变压器重量200~250 t,是海上降压变电站里最重的单体设备,并且位于工艺流程的核心位置,应布置在平台中央,这样一方面利于重心控制,另一方面方便进出线,避免交叉。

2) 电气二次设备室和通信设备室应尽量与蓄电池室紧邻布置,减少供电回路电压偏差。

3) 对于较重的设备,为了方便吊装,应尽量

布置在上层, 顶部设置检修孔。

4) 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 海上降压变电站布置方案研究

3.1 220 kV 开关设备区

高压开关设备有敞开式和 GIS 组合电器两种布置方式, 如图 2 所示。



(a) 敞开式 (b) GIS组合电器

图2 高压开关设备布置方式

Fig. 2 Layout of high voltage switchgear

GIS 组合电器与敞开式相比有以下优点:

1) 占地面积小、设备体积小, 元件全部密封在金属壳体内, 不受环境干扰。

2) 运行可靠性较高, 采用 SF₆ 气体绝缘, 缺陷/故障发生概率低, 维护工作量小, 其主要部件的维修间隔大于 20 年。

3) GIS 采用整体运输, 安装方便、周期短、费用较低。

为实现海上平台的紧凑化布置, 海上降压变电站 220 kV 开关设备区推荐采用 GIS 组合电器, 同时将相关设备如测量装置、避雷器、电压互感器、接地开关等集成在 GIS 内。

3.2 变压器区

变压器分为单相变压器和三相一体变压器两种型式。为油田群供电的海上降压变电站重要等级高, 变压器作为核心设备, 应考虑备用。变压器采用单相变压器时, 需要设计备用相的快速切换方案, 接线复杂, 辅助设备较多; 采用三相变压器时, 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, 减少了平台尺寸和重量。因此, 变压器推荐采用两台三相变压器, 正常运行时各承担 50% 的负荷, 当一台变压器故障时, 另一台变压器应承担 100% 的负荷。

变压器本体和散热器分体布置, 冷却方式为自

冷, 主变三侧均为电缆引出。

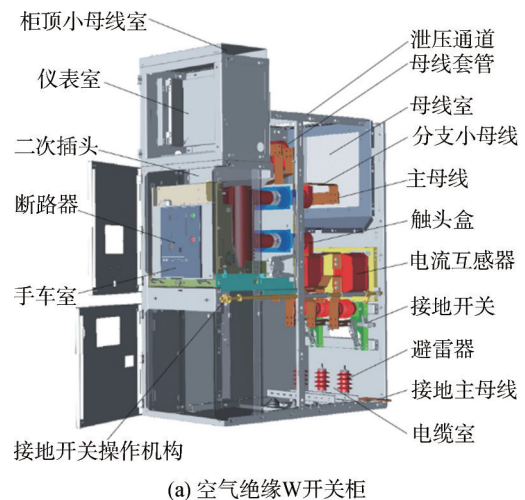
变压器是平台上最重要的电气设备, 应尽量布置在中央, 重心居中有利于结构设计。变压器也是海上降压变电站内最重要的设备之一, 为了方便运维和检修, 应尽量布置在平台上层, 顶部设置检修孔。

变压器散热器应尽量布置在平台外侧, 处于敞开空间, 附近不应有遮挡, 以保证有足够的通风面积形成有效的空气流动实现散热器的自然冷却^[3-4]。

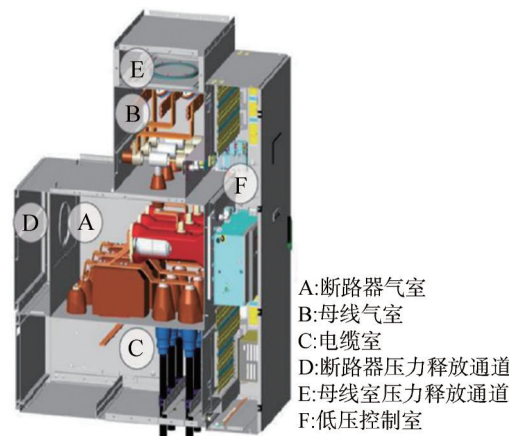
变压器上方应布置运行检修通道, 方便运维人员在设备带电运行期间查看设备运行状态。

3.3 35 kV 开关设备区

35 kV 开关设备一般选用开关柜型式, 分为空气绝缘开关柜和气体绝缘开关柜两种类型, 如图 3 所示。



(a) 空气绝缘W开关柜



(b) 气体绝缘开关柜

图3 35 kV 开关柜布置方式

Fig. 3 Layout of 35 kV switchgear

空气绝缘开关柜采用组装结构, 开关设备各功能室均采用金属隔板分隔, 绝缘介质和灭弧介质为空气。

气体绝缘开关柜是将各元器件组合封闭在接地的金属壳体内, 绝缘介质和灭弧介质为 SF₆ 气体。

空气绝缘开关柜尺寸约为 (宽) 1.2 m × (深) 2.8 m, 气体绝缘开关柜尺寸为 (宽) 0.6 m~0.8 m × (深) 1.76 m (深), 气体绝缘开关柜较空气绝缘开关柜体积更小, 更能适应海上平台紧凑化的布置要求。同时由于采用封闭式结构, 不受海上恶劣环境影响, 运行更为安全和可靠。因此, 海上降压变电站 35 kV 开关设备区推荐选用气体绝缘开关柜布置型式。

3.4 10 kV 开关设备区

10 kV 开关设备一般选用开关柜型式, 分为空气绝缘开关柜和气体绝缘开关柜两种类型。

目前国内 10 kV 开关柜大都采用空气绝缘, 虽然柜体稍大, 但由于其绝缘性能可靠、维护方便和造价较低等优点, 仍是主流。10 kV 气体绝缘开关柜主要应用在城市轨道交通供电系统, 具有节省空间、高可靠和少维护的优点。

3.5 无功补偿区

无功补偿区是海上降压变电站相对于海上升压站特有的功能分区。传统无功补偿设备包括电抗器和电容器。

电抗器用于消耗感性无功, 一般布置在电源侧, 主要功能是抑制过电压水平。电容器用于发出容性无功, 一般布置在负荷侧, 主要功能是提高功率因数。

海上平台均为钢结构, 当选用电抗器时, 一般选用油浸式电抗器, 漏磁小, 对钢结构影响小, 抗震性能和抗污秽能力也优于干式电抗器。

当选用电容器时, 设备型式分为框架式、集合式和成套装置三种类型, 如图 4 所示。

电容器回路包含串联电抗器、电容器组、接地开关和避雷器四类设备。

框架式电容器和集合式电容器的相同点在于回路中的四类设备都是独立的单体设备, 占地面积大, 区别在于电容器组的型式不同, 前者由一个个电容器单元组成, 含油少, 后者属于油浸式设备, 结构型式类似变压器, 含油多。成套装置是将集合

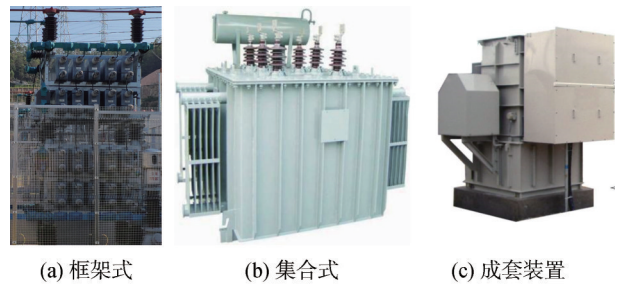


图 4 电容器布置方式

Fig. 4 Layout of capacitor

式电容器回路的四类设备集成在一个油浸式设备中, 大大减小了占地面积。考虑到海上平台紧凑型的布置要求, 推荐电容器选用成套装置。

除了常规补偿设备外, STATCOM (又称作 SVG) 新型无功补偿设备凭借动态收发无功和快速响应的优越性能在电力领域大量应用, 不过目前主要应用在陆上变电站, 海上降压变电站尚未有应用案例。

4 海上降压变电站典型布置方案研究

基于前面的布置原则, 本文针对油田群项目中的海上降压变电站提出一种既满足工艺流程要求, 又充分考虑设备检修和维护便利, 同时最大程度减少平台尺寸的典型布置方案, 如图 5~图 8 所示。



图 5 下层布置图

Fig. 5 Lower layout

海上降压变电站的布置方案按照图 1 的工艺流程设计, 布置方案力求紧凑合理, 出线方便, 减少面积, 节省投资。

底层是导管架与上部组块之间的过渡层, 布置有大量的斜撑, 因此底层不考虑布置功能房间, 仅

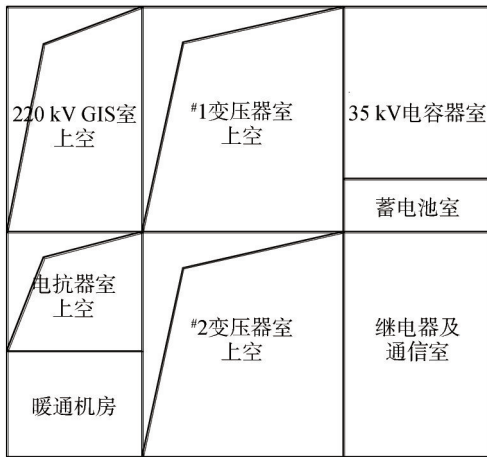


图 6 上层布置图
Fig. 6 Upper layout

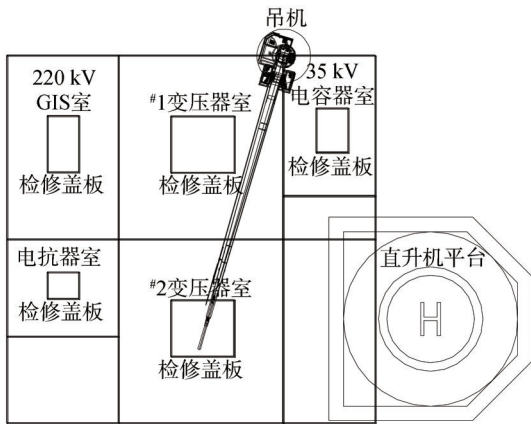


图 7 顶部布置图
Fig. 7 Top layout

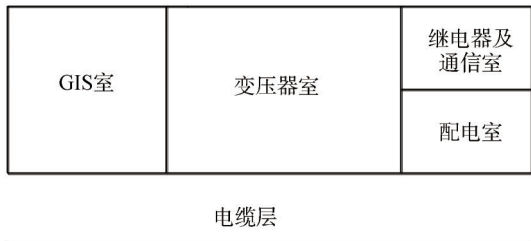


图 8 断面图
Fig. 8 Section view

考虑作为电缆层，布置电缆吊架和 J 型管，同时可布置集油罐和逃救生设备等辅助设施，按敞开式空间设计。

下层布置变压器室、220 kV GIS 室、35 kV 配电室、10 kV 配电室、电抗器室、10 kV 电容器室、接地变室、站用电室、应急电源室和消防设备间。

变压器室布置在平台中央，利于控制重心。220 kV GIS 室和 35 kV 配电室、10 kV 配电室布置在

变压器室的两侧，方便进出线，避免交叉和迂回。接地变兼做站用变，接地变室紧邻站用电室和应急电源室布置，节省低压电缆长度。电抗器室紧邻 220 kV GIS 室布置，减少高压电缆长度。

上层布置继电器及通信室、蓄电池室、35 kV 电容器室和暖通机房。

继电器及通信室紧邻蓄电池室布置，降低供电回路电压偏差。暖通机房布置在上层，提升散热效率。

35 kV 电容器室布置在上层的原因是 35 kV 电容器相对 10 kV 电容器的外形和重量较大，方便利用顶部吊机实施设备的检修和维护。

顶部布置有吊机和直升机平台，同时在 220 kV GIS 室、电抗器室、变压器室和 35 kV 电容器室房间顶部设置检修盖板用于吊机作业。吊机应布置在外舱壁以避免在作业视野出现死区，吊机选型应尽量满足所有房间的吊装需求。

上下层甲板外侧一周设置外走廊和连通的楼梯，是否设置内走廊和内楼梯由具体工程确定。

整个典型布置方案具有模块化和普适化特点，可利用和推广价值高。

5 结 论

本文针对油田群项目中的海上降压变电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，充分考虑建设可行性、经济性及运行的可靠型、灵活性等要求，得出以下结论：

1) 220 kV 开关设备区：对比 GIS 组合电器和敞开式的布置特点，推荐选用 GIS 组合电器。

2) 变压器区：考虑设备的运行可靠性与运维便利性，推荐变压器按一用一备全容量配置，选用三相一体有载调压变压器，本体和散热器分体布置。变压器布置在平台中央，顶部设置检修孔。

3) 35 kV 开关设备区、10 kV 开关设备区：对比空气绝缘开关柜和气体绝缘开关柜的布置特点，35 kV 开关设备推荐选用气体绝缘开关柜，10 kV 开关设备推荐选用空气绝缘开关柜。

4) 无功补偿区：对比框架式电容器、集合式电容器和成套装置的布置特点，推荐选用成套装置。

本文针对油田群项目中的海上降压变电站提出

了一种既满足工艺和维护要求,又最大程度减少平台尺寸的典型布置方案,带来的有益效果如下:

1) 针对油田群岸电项目中的海上降压变电站开展了布置方案研究,具有较高的参考和推广价值。

2) 充分考虑海上降压变电站和升压变电站的差异,研究了无功补偿设备的选型和布置方案。

3) 通过统筹考虑功能房间和辅助房间的布置需求,给出了典型布置方案,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,同时在平面设计时充分考虑了主要电气设备的运维通道,方便检修维护。

参考文献:

- [1] 马杰. 岸电技术在海上油田开发中的经济性分析 [J]. 经贸实践, 2018(7):135.
MA J. Economic analysis of shore power technology in offshore oilfield development [J]. Economic and Trade Practice, 2018(7):135.
- [2] 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.
NORSKE VERITASDET. Offshore substations for wind farms: DNV-OS-J201 [S]. Norway: Det Norske Veritas, 2009.
- [3] 杨建军, 俞华锋, 赵生校, 等. 海上风电场升压变电站设计基本要求的研 究 [J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(14):3781-3789.
YANG J J, YU H F, ZHAO S X, et al. Research on basic requirements of offshore substation design [J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(14):3781-3788.
- [4] 黄碧斌, 张运洲, 王彩霞. 中国“十四五”新能源发展研判及需要关注的问题 [J]. 中国电力, 2020, 53(1):1-9.
HUANG B B, ZHANG Y Z, WANG C X. New energy development and issues in China during the 14th five-year plan [J]. Electric Power, 2020, 53(1):1-9.
- [5] 张宝峰. 国内外风电场海上升压站布置型式标准概述 [J]. 中国标准化, 2017(24):222-223.
ZHANG B F. Overview of layout standards for offshore booster stations of wind farms both here and abroad [J]. China Standardization, 2017(24):222-223.
- [6] 迟永宁, 梁伟, 张占奎, 等. 大规模海上风电输电与并网关键技术研究综述 [J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(14):3758-3771.
CHI Y N, LIANG W, ZHANG Z K, et al. An overview on key technologies regarding power transmission and grid integration of large scale offshore wind power [J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(14):3758-3771.
- [7] 黄方能, 张红丽, 马骞, 等. 受端电网特高压直流系统与海上风电交互影响及评价指标 [J]. 广东电力, 2019, 32(3):96-103.
HUANG F N, ZHANG H L, MA Q, et al. Interactive effects between HVDC of receiving-end power grid and offshore wind power and evaluation index [J]. Guangdong Electric Power, 2019, 32(3):96-103.
- [8] 张丹, 王杰. 国内微电网项目建设及发展趋势研究 [J]. 电网技术, 2016, 40(2):451-458.
ZHANG D, WANG J. Research on construction and development trend of micro-grid in China [J]. Power System Technology, 2016, 40(2):451-458.
- [9] 郑明. 300 MW 海上风电场电气主接线设计 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(3):62-66.
ZHENG M. Electrical single-line diagram design of a 300 MW offshore wind farm [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(3):62-66.
- [10] 国家能源局. 220 kV~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 kV~750 kV substations: DL/T 5218—2012 [S]. Beijing: China Planning Press, 2012.
- [11] 国家能源局. 风电场工程 110 kV~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 kV~220 kV offshore substation design of wind power projects: NB/T 31115—2017 [S]. Beijing: China Water & Power Press, 2018.
- [12] 戚永乐, 史政. 海上升压站平台不同标准对比研究 [J]. 南方能源建设, 2019, 6(1):55-65.
QI Y L, SHI Z. Comparative research on different standards of offshore steel structure platform [J]. Southern Energy Construction, 2019, 6(1):55-65.
- [13] 和庆冬, 朱瑞军, 梅春. 400 MW 海上升压站电气主接线方案探讨 [J]. 南方能源建设, 2019, 6(4):80-85.
HE Q D, ZHU R J, MEI C. Discussions on the main electrical wiring scheme for a 400 MW offshore substation station [J]. Southern Energy Construction, 2019, 6(4):80-85.

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, 主要从事高压输电工程设计工作 (e-mail) liusheng@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)