

海上柔性直流送出系统造价水平分析

库陶菲^{1,✉}, 关前锋², 王琦²

(1. 南方电网能源发展研究院有限责任公司, 广东 广州 510000;

2. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广东 广州 510663)

摘要: [目的] 研究海上柔性直流送出系统的造价构成及造价水平, 为海上柔性直流送出系统的造价管控提供有益的探索。[方法] 收集目前已开展的海上柔性直流送出系统设计及造价相关数据, 采用统计分析法、费用构成法以及对比分析法等对海上柔性直流送出系统涉及的各项费用进行分析。[结果] 给出了海上柔性直流送出系统典型方案的单位容量投资水平以及投资构成, 提出了海上柔性直流送出系统造价水平控制的关键因素和要点。[结论] 海上柔性直流送出系统的单位容量投资为 3 750~4 600 元/kW。费用构成比例从高到低依次为设备购置费、建筑工程费、其他费用和安装工程费; 系统构成比例从高到低依次为海上换流站、海缆、陆上换流站和其他部分。与陆上柔性直流送出系统对比, 总体差异在 1.3~1.6 倍。

关键词: 海上风电; 柔性直流; 造价水平; 换流站; 海缆

中图分类号: TK89; TM9

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2023)01-0133-06

开放科学(资源服务)二维码:



Analysis on the Cost Level of Offshore Flexible DC Delivery System

KU Taofei^{1,✉}, GUAN Qianfeng², WANG Qi²

(1. CSG Energy Development Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510000, Guangdong, China;

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

Abstract: [Introduction] The paper aims to study the cost composition and cost level of the offshore flexible DC delivery system and provide beneficial exploration for the cost control of the offshore flexible DC delivery system. [Method] By collecting the design and cost quantities of the offshore flexible DC delivery system, we analyzed the costs of offshore flexible DC delivery system by using statistical analysis method, cost composition method and comparative analysis method. [Result] The unit capacity investment level and investment composition of typical schemes of offshore flexible DC delivery system are given, and the key factors of cost level control of offshore flexible DC delivery system are put forward. [Conclusion] The unit capacity investment of offshore flexible DC delivery system is 3,750~4,600 yuan/kW, and the costs, according to their component ratio (from high to low), are equipment procurement cost, construction cost, other cost and installation cost, and the systems, according to their component ratio (from high to low), are: marine converter station, sea cable, onshore converter station and other parts. Compared with the onshore flexible DC delivery system, the overall difference is about 1.3~1.6 times.

Key words: offshore wind power; flexible DC; cost level; convertor station; submarine cable

2095-8676 © 2023 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/>).

海上能源的开发利用是沿海地区未来能源发展的重要领域, 海上风电是海洋可再生能源利用较为成熟和具有前景的能源形式, 其具有资源丰富、发电

利用小时数相对较高、技术相对高端的特点, 是新能源发展的前沿领域。目前, 我国海上风电的送出方式主要有交流送出和柔性直流送出两种: 交流送出

收稿日期: 2021-09-30 修回日期: 2021-12-03

基金项目: 中国能建广东院科技项目“深远海大规模风电直流集中送出工程应用方案研究”(EV0551W)

方式多适用于海上风电小规模、近距离输送;柔性直流送出方式多适用于海上风电大规模、远距离输送^[1-3]。随着我国未来海上风电从近海、浅海走向远海、深海,以及江苏如东海上风电柔性直流输电示范项目的实施,根据我国各沿海省份的规划,更大规模的海上风电柔性直流集中送出(2 GW~3 GW)的工程开发近在咫尺,进一步深化海上柔性直流输电技术的研究工作迫在眉睫,作为海上柔性直流输电技术的重要一环,送出系统的造价水平也备受建设各方的关注。

海上柔性直流送出系统包括了换流站和输电线路两部分,换流站主要为海上换流站和陆上换流站,输电线路主要以海缆为主。目前针对直流送出系统的造价水平已有初步的探讨:如文献[4]分析了 ± 800 kV 陆上换流站的造价构成及投资水平、文献[5]分析了 ± 800 kV 特高压直流架空线路工程造价的合理区间、文献[6]分析了海底电缆工程造价的主要影响因素、文献[7-8]着重于海底电缆工程计价的规范性、文献[9]结合实际项目分析了陆上柔性直流送出系统的造价构成,但针对海上柔性直流送出系统造价水平的研究相对空白:一方面是海上柔性直流送出技术处于示范阶段,工程应用实例较少;另一方面是海上柔性直流送出系统既有风电项目的特殊性,也有电网工程的特殊性,加上海上施工工艺复杂、外部环境特殊等,导致现行的计价体系适用性不强,海上柔性直流送出系统的造价较多地依赖于多方询价,造价水平因议价能力的不同差异较大。

本文以 3 种典型吉瓦级输送容量海上风电送出系统方案为依托,对海上柔性直流送出系统的造价构成及造价水平进行研究,并提出造价水平控制的关键因素和要点,为未来海上柔性直流送出的造价管控提供有益的探索。

1 海上柔性直流送出系统典型方案

海上柔性直流送出系统目前主要采用对称单极接线,受直流海缆输送容量限制,海上风电接入形式主要有两类:

第 1 类即风电场所发电能分别汇集至海上升压站 35 kV 母线,经主变升压至 220 kV,经海上升压站采用 220 kV 交流海底电缆接至场区附近的海上换流站,系统输送容量为 1 GW,其中,海上换流站容量

为 1 GW,海上换流站内建设变压器、换流阀等,所有电能经海上换流站整流后采用 1 回直流海底电缆传输至登陆点。在登陆点配套建设 1 座陆上换流站,陆上换流站容量为 1 GW,陆上换流站内建设换流阀、变压器等,经陆上换流站逆变、升压后采用 1 回 500 kV 线路接入系统。如图 1 所示。

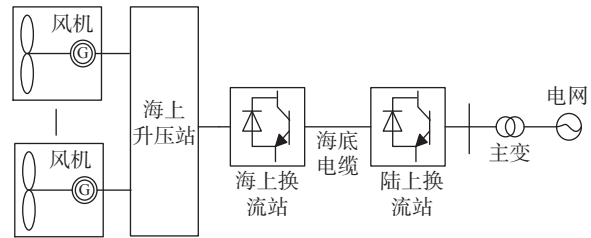


图 1 海上风电接入形式(一)

Fig. 1 Offshore wind power access form (I)

该类接入形式对应的典型工程方案有 ± 320 kV 和 ± 250 kV 两种,具体参数如表 1 所示。针对 2 GW 级的输送容量,则按两个回路进行送出。

表 1 典型工程方案(一)

Tab. 1 Typical engineering scheme (I)

电压等级/kV	送出容量/GW	离岸距离/km	海缆截面/mm ²
± 320	1	104	1 800
± 250	1	78	2 500

第 2 类接入形式为集约化方案,即海上风电场风机通过 66 kV 集电海缆直接接至海上换流站,系统输送容量为 2 GW,其中,海上换流站容量为 2 GW,交流转换为直流后通过直流海缆接至陆上换流站,陆上换流站容量为 2 GW,陆上换流站通过 1 回 500 kV 交流线路与电网相连。如图 2 所示。

该类接入形式对应的典型工程方案有 ± 500 kV,具体参数如表 2 所示。

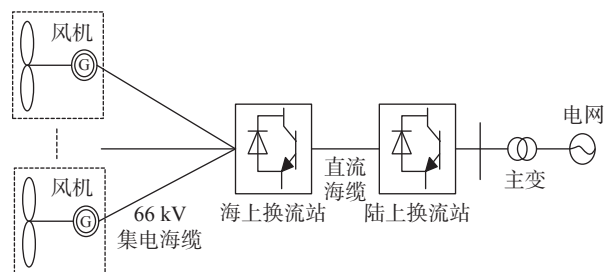


图 2 海上风电接入形式(二)

Fig. 2 Offshore wind power access form (II)

表 2 典型工程方案 (二)
Tab. 2 Typical engineering scheme (II)

电压等级/kV	送出容量/GW	离岸距离/km	海缆截面/mm ²
±500	2	93	2 500

2 海上柔性直流送出系统造价水平

结合《海上风电场工程设计概算编制规定及费用标准》(NB/T 31009—2019)和《电网工程建设预算编制与计算规定》,海上柔性直流送出系统的造价构成包含了设备购置费、建筑及安装工程费、其他费用、预备费和建设期利息^[10-12]。由于建设期利息取决于投资者的融资方式、融资能力和外部的融资环境,因此以静态投资为分析对象可以较好地反映出海上柔性直流送出系统的造价水平。本文将海上柔性直流送出系统的静态投资分为设备购置费、建筑工程费、安装工程费、施工辅助工程费用、其他费用、预备费六大部分。

从总体造价水平角度,3类典型工程方案的造价水平如表3所示:

表 3 典型工程方案静态投资水平

Tab. 3 Static investment level of typical engineering scheme

电压等级/kV	送出容量/GW	静态投资/亿元	单位容量投资/(元·kW ⁻¹)
±500	2	75	3 750
±320	1	46	4 600
±250	1	40	4 000

由表3可见,±500 kV电压等级静态投资为75亿元、±320 kV电压等级静态投资为46亿元、±250 kV电压等级静态投资为40亿元。三类典型工程方案的单位容量投资为3 750~4 600元/kW,输送容量越大,单位容量投资越低,相同输送容量下存在一定的差异,其主要原因为受海上风电场离岸距离的影响,海缆部分的投资差异相对较大。

从费用构成比例角度,3类典型工程方案的静态投资构成比例如图3所示。

由图3可见,设备购置费占比最高,达到59%~60%,其主要包括了换流阀、换流变压器、桥臂电抗器、直流控制及保护系统、通风空调系统以及海缆等设备;安装工程费占比4%~8%,其主要包括了换流站内一次设备安装、直流控制及保护设备安装以

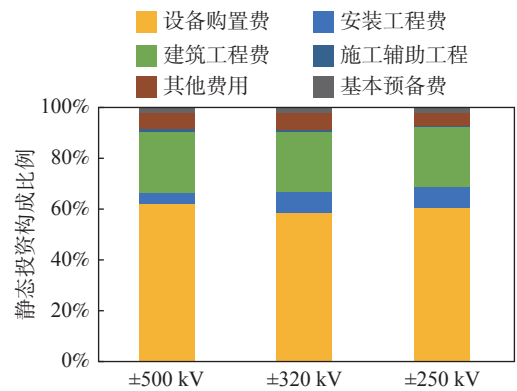


图 3 海上柔性直流送出系统静态投资构成

Fig. 3 Static investment composition of offshore flexible DC delivery system

及海缆的敷设等;建筑工程费占比23%~24%,其主要包括海上换流站上部组块制作安装、海上换流站下部基础结构制作安装以及陆上换流站的土建工程等;施工辅助工程占比约1%,其主要包括施工交通工程、大型船舶进出场费、其他施工辅助工程以及安全文明施工措施等;其他费用占比5%~7%,其主要为项目建设用海费、项目建设管理费、生产准备费、科研勘察设计费等;预备费占比为2%。随着海上更大容量柔性直流平台的技术突破和施工技术的进步,未来海上风电逐步深远海化,海上平台基础加深加大,海上柔性直流送出系统建筑工程费的占比将有所增加。

从系统组成角度,海上柔性直流送出系统包括了海上换流站、陆上换流站、海缆以及其他四大主要系统。海上换流站即为海上换流站的一次设备、控制保护设备及安装,海上换流站上部组块及基础等;陆上换流站为陆上换流站的一次设备、控制保护设备及安装以及相应的建筑工程;海缆为海上换流站至登陆点的海缆工程和登陆点至陆上换流站的陆缆工程;其他主要为除换流站和海缆之外的采暖通风及空调系统、室外照明系统、消防及给排水系统、安全监测设备、运维船舶车辆等等。3类典型工程方案不同系统的投资比例如图4所示。

由图4可见,海上换流站占比34%~40%;陆上换流站占比22%~29%;海缆占比27%~38%,其他部分占比约5%。随着未来海上风电深远海化,海上换流站平台基础加深、加大以及海缆路径加长等,海上换流站和海缆部分占比将有较明显增加。

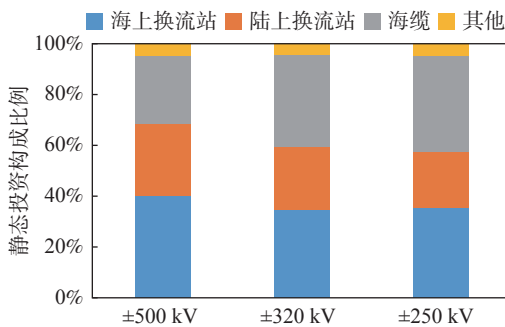


图 4 海上柔性直流送出系统投资比例

Fig. 4 Investment proportion of offshore flexible DC delivery system

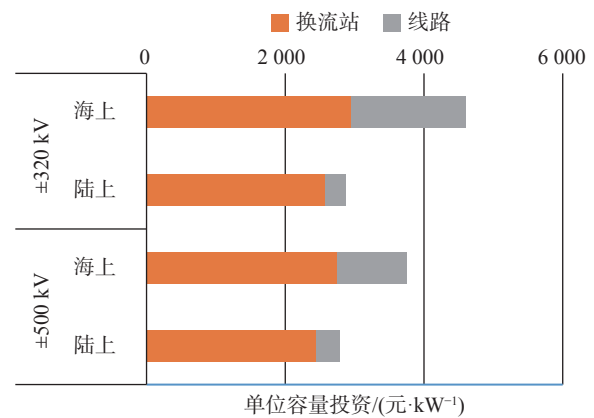


图 5 柔直送出系统单位容量投资比较

Fig. 5 Unit capacity investment comparison of flexible DC delivery system

3 与陆上柔直送出系统的比较

相比海上柔性直流送出技术,陆上柔性直流送出系统技术相对成熟,工程应用在输送容量、电压等级、装备技术等方面都创出了新的纪录,实现了小容量到大容量、柔性直流到混合直流、两端到多端、高压到特高压技术的全面突破。截至 2020 年底,我国已投产陆上柔性直流送出项目 8 个,其中容量为吉瓦级的 5 个。

本文选取较有代表的 2 个陆上柔性直流送出工程进行比较,具体方案如表 4 所示。

表 4 陆上柔性直流送出典型方案

Tab. 4 Typical scheme of onshore flexible DC delivery system

电压等级/kV	输送容量/GW	输送距离/km	截面/mm ²
±500	4.5	675	架空
±320	1	11	1 800

3.1 单位容量投资比较

由于陆上柔直送出涉及多端换流站,且不同电压等级的柔直送出方案投资水平差异较大,为方便比较,将柔直送出系统根据系统构成分为换流站和输电线路两部分,并将不同方案的投资水平折算为单位容量投资进行比较。图 5 为海上柔直送出和陆上柔直送出的单位容量投资水平比较。

从总体投资水平看,海上柔直送出系统单位容量投资为 3 750 ~ 4 600 元/kW,陆上柔直送出系统单位容量投资为 2 300 ~ 3 000 元/kW,总体投资水平差异为 1.3 ~ 1.6 倍。从系统构成角度看,海上柔直换流站部分的单位容量投资与陆上柔直具有较好的一致性,单位容量投资在 2 500 元/kW ~ 3 000 元/kW 之间,输送容量越大,单位容量投资越低。海上柔直线

路单位容量投资与陆上柔直差异较大,线路单位容量投资为陆上柔直的 3 ~ 5 倍,主要因为海上柔直线路均为海缆方式送出,海缆路径长,单位造价高;对比方案的±500 kV 陆上柔直线路为架空方式送出,单位造价低;对比方案的±320 kV 陆上柔直线路为海缆方式送出,虽然单位造价高,但其海缆路径短。

3.2 海上换流站与陆上换流站投资的比较

海上柔直送出系统需要采用全户内布置的海上换流站,有防盐雾、防湿热、抗强台风、狂浪等要求,这些对换流站的平台设计及电气设备的防腐、密封以及散热等提出了很严格的要求,由于工况及环境的特殊性,海上换流站整体投资水平较陆上换流站高。选取典型方案中±500 kV 换流站进行比较,单座±500 kV 换流站单位造价在 900 ~ 1 300 元/kW,其中海上换流站投资最高,其次是对侧的陆上换流站,最低的是常规柔直换流站。由图 6 可见,海上换流站和陆上换流站的安装工程费差异不大,设备购置费陆上换流站约为海上换流站的 1.1 ~ 1.3 倍,其主要是海上柔直送出系统中通常在陆上换流站设置直流耗能装置,目的是在发生交流故障后,由直流耗能装置消耗无法送入交流系统的多余能量,提高送出系统的可靠性,建筑工程费海上换流站约为陆上换流站的 1.8 ~ 2.1 倍,其主要是一方面海上换流站采取了特殊的设计方案,即上部组块采用多层平台+设备舱室的整体式结构型式,下部基础采用导管架基础形式,外形尺寸大,设计标准高以及大量采用钢材、水泥等材料;另一方面海上换流站的施工工艺复杂,施工难度大,且作业窗口期短。

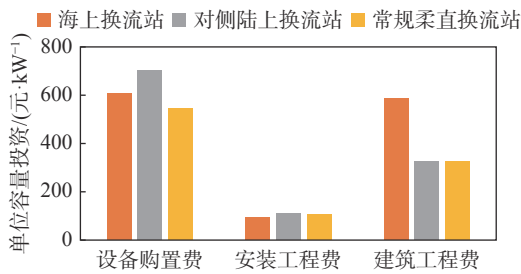


图6 海上、陆上换流站投资比较

Fig. 6 Investment comparison between offshore and onshore converter stations

4 造价水平影响因素

海上柔性直流送出造价系统既有风电项目的特殊性,也有电网项目的特殊性。根据投资构成和投资对比的结果,海上柔性直流送出系统整体造价水平较陆上柔性直流送出高,其主要原因是以下5点:

1)设计标准高:海上柔性直流送出系统由于受潮位、风、波浪、海流、雨、雾、雷暴和台风等气候环境影响,设备材料等均加强防腐防潮和抗风设计,设计和设计标准均有别于陆上柔性直流工程。

2)施工工艺复杂:海上柔性直流送出系统的施工主要包括海上换流站基础施工、上部组块安装施工、直流海缆敷设施工等。海上换流站采用空间钢桁架结构,分为上部组块和下部基础两部分,上部组块整体结构由立柱、甲板、梁格和斜撑组成,下部基础由导管架和钢管桩组成。海上换流站重量高达1.8万t以上,制作和安装的难度很大。受限于上部组块外形尺寸和吨位,能够具备整体吊装能力的船舶设备国内鲜有,大型海上结构物浮托安装技术正成为海上施工安装的新方法^[13-14]。下部基础导管架总重约7342t,对于大型导管架,如超过4000t的导管架,使用吊装的形式非常困难,往往采用滑移下水的方式,该方式对施工技术的要求很高。

3)作业窗口有限:海上柔直送出施工用的设备大部分为工程类船舶,水文气象等外部自然环境条件是限制工程进度的主要因素。不同施工船舶的浮性、稳性及耐波性等性能各不相同,船舶的抗风能力、工作工况等各有差别^[15]。

4)海缆费用高:较陆上柔性直流对比来看,海上柔性直流送出系统需采用海缆送出方式,由于海缆设备价格较高,海缆的单公里造价水平远高于架空送出线路。

5)施工资源紧张:海上柔性直流送出施工的机械设备主要为大型的运输驳船、起重船及常规的机械设备等,对于运输驳船来说,来源较为广泛,对于施工机械来说,由于海上换流站基础单桩桩径大且桩重重,目前国内此类施工机械较为稀缺,需通过租借或合作共建的方式来一定程度上满足施工需求。对于起重船来说,为节省海上作业环节,降低海上作业施工风险,一般选用整体安装方案,整体安装方案需要采用大型深吃水起重船,可选择的船的余地较少,采用浮托安装技术进行安装,需采用大型浮式起重船舶。

与陆上柔性直流相同的是设备购置费均占到了总投资的较大比例,其中海上柔性直流送出设备购置费占比达到60%,设备价格直接影响柔性直流送出系统的投资水平。预计随着技术进步,设备、原材料价格下降等,柔性直流送出系统的造价水平有望下降。

5 结论

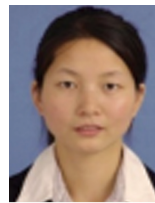
随着海上风电的深远海化,海上柔性直流送出系统的开发迫在眉睫,送出系统的造价水平也备受各方关注。本文以三类典型吉瓦级输送容量的海上柔性直流送出系统工程为依托,对海上柔性直流送出系统的造价构成及造价水平进行了剖析。总体看,海上柔性直流送出系统的单位容量投资为3750~4600元/kW;从费用构成角度,设备购置费占比最高,达到59%~60%,安装工程费占比4%~8%,建筑工程费占比23%~24%,其他占比8%~10%;从系统构成角度,海上换流站占比34%~40%;陆上换流站占比22%~29%;海缆占比27%~38%,其他部分占比约5%。与陆上柔直对比来看,总体差异在1.3~1.6倍,其中海上换流站的建筑工程费约为陆上换流站的1.8~2.1倍。在此基础上,提出了海上柔性直流送出系统造价水平控制的关键因素和要点,为海上柔性直流送出系统的造价管控提供有益的探索。

参考文献:

- [1] 卢毓欣,赵晓斌,李岩,等.海上风电送出用柔性直流换流站电气主接线[J].南方电网技术,2020,14(12):25-31. DOI:10.13648/j.cnki.issn1674-0629.2020.12.004.
- LU Y X, ZHAO X B, LI Y, et al. Main electrical connection of VSC-HVDC converter stations for offshore wind farm integration [J]. Southern Power System Technology, 2020, 14(12): 25-31. DOI: 10.13648/j.cnki.issn1674-0629.2020.12.004.

- [2] 李飞飞, 王亮, 齐立忠, 等. 海上风电典型送出方案技术经济比较研究 [J]. 电网与清洁能源, 2014, 30(11): 140-144. DOI: 10.3969/j.issn.1674-3814.2014.11.028.
LI F F, WANG L, QI L Z, et al. Technical and economical comparisons of typical transmission schemes of the offshore wind farm [J]. *Power Grids and Clean Energy*, 2014, 30(11): 140-144. DOI: 10.3969/j.issn.1674-3814.2014.11.028.
- [3] 王鑫, 王海云, 王维庆. 大规模海上风电场电力输送方式研究 [J]. 电测与仪表, 2020, 57(22): 55-62. DOI: 10.19753/j.issn1001-1390.2020.22.008.
WANG X, WANG H Y, WANG W Q. Research on power transmission mode of large-scale offshore wind farms [J]. *Electrical Measurement & Instrumentation*, 2020, 57(22): 55-62. DOI: 10.19753/j.issn1001-1390.2020.22.008.
- [4] 申安, 董剑敏, 李露阳. ±800 kV换流站造价结构及投资水平分析 [J]. 南方能源建设, 2020, 7(3): 119-124. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.03.016.
SHEN A, DONG J M, LI L Y. Analysis on cost structure and investment level of ±800 kV converter stations [J]. *Southern Energy Construction*, 2020, 7(3): 119-124. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.03.016.
- [5] 李园园, 张平朗. ±800 kV特高压直流输电线路工程造价结构及投资水平分析 [J]. 电网技术, 2011, 35(2): 21-25.
LI Y Y, ZHANG P L. Analysis on cost and investment level of ±800 kV UHVDC transmission projects [J]. *Power System Technology*, 2011, 35(2): 21-25.
- [6] 吴海飞, 刘景华, 王雷广, 等. 海底电缆工程造价影响因素分析 [J]. 中国电力企业管理, 2021(6): 72-74. DOI: 10.3969/j.issn.1007-3361.2021.06.035.
WU H F, LIU J H, WANG L G, et al. Analysis on influencing factors of submarine cable project cost [J]. *China Power Enterprise Management*, 2021(6): 72-74. DOI: 10.3969/j.issn.1007-3361.2021.06.035.
- [7] 王磊, 尚奎. 海缆线路清单计价项目和计算规范 [J]. 中国电力企业管理, 2019(12): 72-74. DOI: 10.3969/j.issn.1007-3361.2019.12.034.
WANG L, SHANG K. Specification for list valuation items and calculation of submarine cable lines [J]. *China Power Enterprise Management*, 2019(12): 72-74. DOI: 10.3969/j.issn.1007-3361.2019.12.034.
- [8] 叶子菀, 夏华丽, 谢锡飞. 海缆工程专业工程量清单计价存在问题及对策 [J]. 项目管理评论, 2020(2): 54-56.
YE Z W, XIA H L, XIE X F. Problems and countermeasures for valuation with bill of quantities of submarine cable engineering [J]. *Project Management Review*, 2020(2): 54-56.
- [9] 刘丽萍, 郑红星, 林庆扬. 柔性直流输电工程造价分析与控制 [J]. 能源与环境, 2016(6): 48+51. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9064.2016.06.023.
LIU L P, ZHENG H X, LIN Q Y. Cost analysis and control of flexible DC transmission project [J]. *Energy and Environment*, 2016(6): 48+51. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9064.2016.06.023.
- [10] 国家能源局. 海上风电场工程设计概算编制规定及费用标准: NB/T 31009—2019 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2019.
- [11] 国家能源局. 电网工程建设预算编制与计算规定(2018年版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2018.
National Energy Administration. Preparation regulation for cost estimation of offshore wind power projects: NB/T 31009-2019 [S]. Beijing: China Water & Power Press, 2019.
- [12] 田晓焕. 海上风电项目建设成本分析及造价管理 [J]. 中国集体经济, 2020(34): 155-156.
TIAN X H. Construction cost analysis and cost management of offshore wind power projects [J]. *China Collective Economy*, 2020(34): 155-156.
- [13] 周胡, 李书兴, 张大勇, 等. 近海风机浮托安装的总体过程 [J]. 船舶工程, 2020, 42(增刊1): 538-541. DOI: 10.13788/j.cnki.cbge.2020.S1.124.
ZHOU H, LI S X, ZHANG D Y, et al. The overall process of floating installation for offshore wind turbine [J]. *Ship Engineering*, 2020, 42(Supp. 1): 538-541. DOI: 10.13788/j.cnki.cbge.2020.S1.124.
- [14] 吴尚, 胡斌, 涂传彬. 海上换流站浮托法安装关键技术及应用 [J]. 人民长江, 2020, 51(增刊2): 226-229+284. DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2020.S2.059.
WU S, HU B, TU C B. Key technology and application of floating support installation in offshore converter station [J]. *Changjiang River*, 2020, 51(Supp. 2): 226-229+284. DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2020.S2.059.
- [15] 刘晋超. 海上风电施工窗口期对施工的重要性 [J]. 南方能源建设, 2019, 6(2): 16-18. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.02.003.
LIU J C. Importance of window phase for offshore wind power construction [J]. *Southern Energy Construction*, 2019, 6(2): 16-18. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.02.003.

作者简介:



库陶菲

库陶菲(第一作者, 通信作者)

1985-, 女, 湖北武汉人, 硕士, 高级工程师, 工程造价与技术经济咨询(e-mail)254647215@qq.com。

关前锋

1984-, 男, 湖北潜江人, 硕士, 高级工程师, 工程造价与技术经济咨询管理(e-mail)guanqianfeng@gedi.com.cm。

王琦

1989-, 男, 江苏南京人, 硕士, 工程师, 工程造价与技术经济咨询(e-mail)wangqi@gedi.com.cm。

(编辑 李辉)