

“海风之心”安装就位

我国海上风电迈入超高压直流输电时代

6月4日,广东阳江离岸超70千米的青洲海域,历时近7个小时的连续作业,重达25000吨的海上换流站上部组块与水下导管架完成毫米级精准对接。这座被命名为“海风之心”的工程设施,作为全球规模最大的海上换流站,它同时也是当前世界电压等级最高、输送容量最大的海上风电柔性直流送出工程核心枢纽。它的成功安装,标志着我国海上风电进入超高压直流输电时代。

“海风之心”由中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司(以下简称“中国能建广东院”)EPC总承包建设,服务于三峡阳江青洲五、青洲七海上风电场海缆集中送出工程。工程整体建成后,每年可为粤港澳大湾区用电负荷中心输送约60亿千瓦时绿电,相当于每年减少二氧化碳排放约494.4万吨,为广东省能源结构转型升级注入强劲动力,也为我国深远海风电大容量、远距离规模化集中开发与送出提供工程示范。



半潜船稳稳驶入导管架之间

图源中国能建

>> 破解输电难题,打造海上电力枢纽

青洲五、青洲七海上风电场总装机规模达2000兆瓦,场址中心离岸距离70千米。163台风机发出的电能如何高效、稳定地送达陆地,是深远海开发要破解的核心难题。

传统交流输电方式在远距离、大容量场景下电能损耗较高。对此,项目采用柔性直流送出方案。中国能建广东院计划经理程俊介绍:“深远海风电开发的核心难题是电能高效稳定上岸。通过创新设计将风机66千伏交流电转化为±500千伏高压直流电,依托柔性直流输电技术,相比传统交流输电,电能损耗降低60%,输电效率

大幅提升,能将电能稳定直达负荷中心。”

在这套柔性直流输电系统中,海上换流站如同整个海上风电场的“心脏”,负责将海上风电机组发出的交流电汇集、升压并转换为高压直流电,再通过海底电缆输送至陆地电网。“海风之心”是世界首座±500千伏/2000兆瓦柔性直流海上换流站,也是世界规模最大的海上换流站。

中国能建广东院技术团队进行了突破性的技术革新,采用世界首创的±500千伏集约化柔性直流送出拓扑,实现66千伏风机直接接入海上换流站,经升压、换流

为±500千伏直流电后输送至陆上集控中心。这一方案取代了传统的海上升压站,在有限空间内实现双风场电能集中转换,大幅度节省工程投资并节约用海。

技术团队通过多项关键技术攻关,在世界范围内首次突破了±500千伏柔性直流海上换流系统技术难关,成功解决了系统协同控制、参数研究、谐振抑制、过电压控制等关键难题,并首次研发并应用了海上低损耗轻型化换流阀等多项核心设备,全方位实现了±500千伏柔性直流换流平台的应用落地。



海上换流站“海风之心”

图源中国能建

>> 精细建造运输,实现毫米级对接

“海风之心”体量庞大。其上部组块为一座7层钢结构建筑,长85.5米、宽82.5米、高44米,平面面积相当于一个标准足球场,高度约等于15层居民楼,总重约25000吨,相当于10000辆中大型SUV汽车的总重量。下部的导管架长82米、宽57米、高69米,总重约1.7万吨。

为在有限空间内集成大量电气、控保、暖通、消防等精密设备,同时适应海上高盐雾、高湿度等严苛工况,中国能建广东院运用精细化协同设计技术和数字化设计手段,提出了新一代海上柔性直流换流站设计方案,开展全过程重量优化控制,大幅降低平台功率密度和重量。这一设计思路,也为全球海上换流站建设提供了可复制、可推广的技术路径。

5月27日11时18分,“海风之心”从江苏南通振华码头正式发运,由“祥泰口”号超级半潜船托举,历经1090海里航行,于6月1日下午安全抵达广东阳江沙扒海域预定锚地。作业点位于阳西县上洋镇、沙扒镇南侧离岸超70千米海域。

抵达锚地后,项目进入关键的浮托安装阶段。由于“海风之

心”重量远超国内船机吊装能力极限,项目团队采用国际先进的“浮托安装”工艺。三峡集团广东分公司海上风电项目负责人黄勇形容:“海上换流站‘海风之心’浮托安装相当于装载8列至9列普通整列火车,在波涛汹涌的海平面上,在导管架槽口两侧不超过15厘米间隙内‘倒车入库’,难度非常大。”

6月4日7时,安装海域风平浪静,潮位水平达到安装条件。总长近231米的半潜船向导管架方向进近。安装现场,海巡艇巡航、无人机空中巡查、多艘大马力拖轮应急保障,构建起“空、海、岸”立体保障体系。11时30分,“海风之心”缓慢“倒车入库”,驶入导管架槽口,依靠船舶动力定位系统精准调整方向。12时15分许,半潜船完全驶入导管架槽口。操作人员通过压载调整控制船舶吃水,上部组块与左右导管架的间隙不超过150毫米。项目团队通过三维实测纠偏、三重定位监测、可靠动力定位、精密压载调平、精准潮位匹配、全流程预演联检等手段,为毫米级一次性精准对接筑牢安全底线。

据中国能建广东院海工工程

师高尚宁介绍,施工工艺创新方面有四项突破:一是整体浮托工艺,陆上总装、一体运输、海上一次安装,替代传统分体吊装;二是智能监测融合,风、浪、流、潮,以及船舶运动、LMU间隙、压载过程等状态,全部可视化监测;三是冗余动力定位,DP2系统配合推进器冗余,在恶劣海况下仍能保持定位稳定;四是借潮精准施工,基于实测高程精细计算,最大化利用海上作业窗口期。在安全管控方面,项目团队完成了应急拖轮前置、全场景应急预案闭环以及深远海人员保障等三项升级。

6月4日14时18分,“海风之心”通过无锚泊动力定位并利用潮汐变化,实现了万吨级海上组块一次性整体就位。半潜船通过排载系统降低船身高度,待与上部组块脱离并保持安全距离后,缓缓驶出导管架槽口。

黄勇表示:“项目团队通过提前开展多次模拟推演,采用无锚泊动力定位和利用潮汐变化,通过对现场风、涌、流实时检测的协同协作,实现万吨级海上组块一次性整体就位,安装精度达到国际先进水平。”

>> 依托技术创新,赋能产业绿色发展

据悉,三峡阳江青洲五、青洲七海上风电场海缆集中送出工程全面建成后,每年可向粤港澳大湾区用电负荷中心输送约60亿千瓦时清洁电能,每年可减少二氧化碳排放约494.4万吨,为区域能源结构转型升级提供有力支撑,同时助力“双碳”目标稳步推进。

项目在建设过程中全面应用国产化主要电气设备,带动国内海上风电装备研究、设计、制造、运维等全产业链协同创新,多项技术成果填补我国海洋工程领域空白。“海风之心”的落地应用,标志着我国在柔性直流输电、大型海洋工程建造两大领域形成技术引领优势,也为我国深远海风电大容量、远距离规模化集中开发与送出提供工程示范。

依托±500千伏柔性直流输电、集约化拓扑设计、浮托安装等技术成果,项目为深远海风电规模化发展筑牢基

础。该标杆工程落地广东,也将持续推动当地能源产业稳步发展。

项目落地阳西县,是广东阳江打造千万千瓦级海上风电基地的重要一环。据介绍,阳江计划在2026年实现千万千瓦级海上风电并网目标,而“海风之心”所代表的超高压柔性直流输电技术,将进一步巩固当地在全国海上风电产业中的领先地位,助力阳江加快建设“绿能之都”。

目前,“海风之心”已进入后续施工阶段,项目团队将依次开展结构接缝焊接加固、海缆终端对接、全站设备调试等工作,并稳步推进海陆系统联调。随着各项收尾工作有序完成,这座屹立于南海之上的“绿能心脏”将正式运转,源源不断的海上风电将送入千家万户,以科技创新之力,书写绿色发展的崭新篇章。