

## 以设计为龙头的海上风电工程总承包项目管理研究

元国凯, 李耀能, 卢钦先, 张京伟, 李煜东

### 引用本文:

元国凯, 李耀能, 卢钦先, 张京伟, 李煜东. 以设计为龙头的海上风电工程总承包项目管理研究[J]. 南方能源建设, 2022, 9(1): 1-8.  
YUAN Guokai, LI Yaoneng, LU Qinxian, ZHANG Jingwei, LI Yudong. Research on Design-Led EPC Project Management of Offshore Wind Power Project[J]. *Southern Energy Construction*, 2022, 9(1): 1-8.

### 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)

#### [浅析海上风电施工安全管控](#)

Brief Analysis on Safety Management and Control of Offshore Wind Farm Construction

南方能源建设. 2020, 7(1): 128-132 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.01.021>

#### [浅谈海上测风塔工程EPC总承包风险管理](#)

Discussion on Risk Management of Offshore Wind Tower Engineering Under EPC Mode

南方能源建设. 2017, 4(z1): 168-173 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.S1.032>

#### [生态系统理念在海上风电项目管理中的应用研究](#)

Application Research of Ecosystem Theory in Offshore Wind Farm Project Management

南方能源建设. 2018, 5(2): 143-148 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.02.021>

#### [海上风机基础阴极保护设计与应用](#)

Cathodic Protection Design and Application of Offshore Wind Turbine Supporting Structure

南方能源建设. 2015(3): 76-79 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.03.015>

#### [智慧海上风电场的定义、架构体系和建设路径](#)

Definition, Architecture and Constructive Route of Intelligent Offshore Wind Farm

南方能源建设. 2020, 7(3): 62-69 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.03.008>

# 以设计为龙头的海上风电工程总承包项目管理研究

元国凯<sup>✉</sup>, 李耀能, 卢钦先, 张京伟, 李煜东

(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] 为应对平价上网阶段下海上风电行业发展的巨大挑战, 推动海上风电产业可持续健康发展, [方法] 基于我国多个以设计为龙头的总承包模式建设的海上风电项目, 分析工程总承包模式在电力工程中的应用, 提出海上风电工程总承包管理当前特有的挑战与对策, 从宏观上总结平价上网阶段下以设计为龙头的海上风电工程总承包管理的主要优势。[结果] 研究认为总承包模式对于海上风电降本增效有明显帮助, 尤其是以设计为龙头的海上风电工程总承包模式, 它有效地调动了产业链各环节的力量推进降本增效。[结论] 研究成果为平价阶段下推动海上风电行业可持续发展提供了有益的借鉴, 将会大力地促进平价上网阶段深远海风电场建设的高质量发展。

**关键词:** 海上风电; 平价上网; 工程总承包; 项目管理; 以设计为龙头

中图分类号: TK89; TM617

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2022)01-0001-08

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Research on Design-Led EPC Project Management of Offshore Wind Power Project

YUAN Guokai<sup>✉</sup>, LI Yaoneng, LU Qinxian, ZHANG Jingwei, LI Yudong

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

**Abstract:** [Introduction] In order to cope with the huge challenges of the development of offshore wind power industry in the grid parity stage and promote the sustainable and healthy development of the offshore wind power industry, [Method] based on experience from some design-led EPC projects in China, the application of EPC mode in power engineering was analyzed, the current unique challenges and countermeasures of offshore wind power project EPC management were put forward, and the main advantages of design-led offshore wind power project in the grid parity stage were summarized from the macro level. [Result] The research shows that the EPC mode is of great help to the cost reduction and efficiency increase of offshore wind power, especially the design-led EPC mode, which effectively mobilizes the forces of all links in the industry chain to reduce costs and increase efficiency. [Conclusion] The research results provide a useful reference for promoting the sustainable development of offshore wind power in the grid parity stage, and will effectively promote the high-quality development of deep sea offshore wind farms in the grid parity stage.

**Key words:** offshore wind power; grid parity; EPC; project management; design-led

2095-8676 © 2022 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/>).

## 0 引言

中国海上风电至今走过了15年的发展历程。2007年, 中国海油在渤海湾安装第一台试验样机; 2009年, 沿海各省纷纷启动海上风电工程规划, 吹响了海上风电发展的号角; 2010年, 上海东海大桥

海上风电场建成投产, 这是中国海上风电发展史上里程碑的突破; 2011年, 广东省海上风电工程规划率先获得国家能源局批复, 此后其他各省陆续颁布规划, 在规划引领下, 中国海上风电在此后10年得到了长足的稳健发展。截至2021年底, 全国海上风电累计装机约26.39 GW, 装机跃居世界第一,

收稿日期: 2022-03-02 修回日期: 2022-03-18

基金项目: 中电工程2020年科技项目“海上风电总承包项目管理体系研究”(ER06541W)

超过了2020年整个欧洲的海上风电累计装机容量(25.014 GW),英国海上风电累计装机约11.0 GW,德国海上风电累计装机7.77 GW,分别位居第二位与第三位。如此靓丽的成绩得益于国家的政策支持与鼓励,特别是电价政策。中国海上风电电价政策是引导行业发展的指南针和加速器,政策大致可分为四个阶段:核准电价阶段(2008年至2014年),标杆电价阶段(2014年至2018年),标杆电价为指导价的竞争性配置资源阶段(2018年至2021年),平价上网阶段(2022年至以后)。平价上网阶段后的新增海上风电不再纳入中央财政补贴范围,由地方按照实际情况予以支持。蔡绍宽<sup>[1]</sup>认为平价上网将推动海上风电行业的发展,他分析了不同电力能源的价格现状与现行电价体系,研判海上风电平价上网的进程,并提出海上风电降本途径,为行业的稳健发展提供了有益指导。

随着我国“碳达峰、碳中和”目标的提出,新能源发展将迎来巨大机遇,海上风电发展也将更上一层楼。蔡绍宽<sup>[2]</sup>基于中国能源发展形势,剖析了双碳目标的本质,从宏观层面给出了双碳目标的根本出路,并预测中国海上风电5 m至50 m水深、140 m高度海域低空的海上风电资源规模为1.4 TW,可开发装机规模不小于840 GW。中国海上风电在双碳目标下前景光明、大有可为,同时挑战也是巨大的。随着国家补贴退坡,海上风电直接进入平价阶段,如何降本增效是平价上网阶段面临的最主要挑战。虽然产业链各单位在不同场合都提出了很多宝贵建议,但大部分都侧重技术创新与新产品研发,往往较难在短时间内产生效益,也难以形成合力,如何在最短时间内调动全行业降本增效的主动性与积极性需要另辟蹊径。

基于作者多年的海上风电工程实践经验,本文认为总承包模式对于当前海上风电降本增效有明显帮助,尤其是以设计为龙头的海上风电工程总承包模式,它有效推动产业链各环节的力量开展系统性的降本增效与全过程全链条优化工作。本文首先简单介绍工程总承包在电力行业的应用,然后针对性地阐述了海上风电工程总承包当前所面临的独特挑战与对策,接着详尽地描述了平价上网阶段下以设计为龙头的海上风电工程总承包的主要优势,最后对本研究进行了总结与展望。

## 1 工程总承包在电力行业的应用

工程总承包是指承包商受业主委托,按照合同约定对工程项目的勘察、设计、采购、施工、试运行(竣工验收)等实行全过程或若干阶段的承包,工程总承包企业对承包工程的质量、安全、工期、造价全面负责<sup>[3]</sup>。

工程总承包有几种形式,本文谈及的主要是EPC(Engineering Procurement Construction,设计、采购、施工)工程总承包。国家早在1987年将EPC作为改革的方向之一,2016年以后各地纷纷出台文件,倡导建设工程项目采用工程总承包模式,大力推进工程总承包<sup>[4]</sup>。在电力工程领域,EPC总承包近些年得到了广泛应用。相比传统模式,电力工程EPC承包管理模式具有降低造价、缩短工期、有利于项目目标实现、降低业主风险等优势<sup>[5]</sup>。贾明科等<sup>[6]</sup>分析了EPC总承包模式的优点,阐述了EPC总承包项目管理在某风力发电工程项目设计、施工直至建成投产保修全过程中的应用。实践证明,EPC总承包管理模式在风电工程中的应用是切实可行的。目前大部分陆上风电工程都已采用EPC模式。

EPC总承包模式的优点很多,但具体执行也存在一些问题,很多行业专家通过实践总结了许多宝贵对策。王燕<sup>[7]</sup>分析了输变电工程领域采用工程总承包存在的问题及解决对策,特别提到工程总承包包括设计和施工等环节,但并非各环节的简单叠加。这种模式的优势在于充分发挥设计的龙头作用,使得设计、采购和施工一体化,从根本上解决三者脱节的问题。设计主动优化,充分考虑施工的困难,施工提前介入就可以减少因不理解设计意图产生的返工,从而最大限度地产生效益。可以发现,无论采用哪种形式的总承包管理模式,设计作为龙头是不争的事实。刘建强<sup>[8]</sup>探讨了设计类工程公司的项目管理体系建设,通过借鉴其他企业项目管理体系的成果及经验,对设计类工程公司项目管理标准体系构建与完善提出了设想。张羽等<sup>[9]</sup>分析了总承包项目管理中采购和设计成本控制的问题,并针对其中的关键点和风险点加以分析,认为以设计为龙头的总承包管理模式适用性最强。林幼晖<sup>[10]</sup>重点论述了传统设计院向国际工程公司转型时应注意的问题,详细地分析了E(Engineer)对



于EPC项目成功的重要性与必要性,E的广度与深度远远大于D(Design)。对于海上风电工程总承包项目,原理是一致的,但有关海上风电工程总承包的论述却很少,或者只侧重某一方面。

刘晋超<sup>[11]</sup>详细分析了海上风电施工窗口期对施工的重要性。刘庆辉等<sup>[12]</sup>对海上风电全过程的安全风险和管理要点进行了梳理,提出了应对措施,以EPC总承包方的视角做出了全面的分析和总结,并重点关注了南海范围的海况特点和防台措施。与常规项目不同的是,上述文献中的项目建设了国内第一个海上风电安全管理信息系统,实现了“安全+”管理效果,该系统还具有船舶调度与人员管理功能<sup>[13]</sup>,为海上风电工程安全管理保驾护航。元国凯等<sup>[14]</sup>对海上风电场建设中的基础施工、风机安装、海缆敷设、升压站施工等主体工程进行了风险识别、分析并提出相应的控制措施。T. Poulsen等<sup>[15]</sup>则分析了供应链对欧洲与中国海上风电的影响,除DONG ENERGY(现更名为沃旭能源,为全球最大的海上风电开发商)外,对于其他业主而言,由于管理和专业人才的缺乏,在快速推进项目时,他们大多都选择EPCI承包商。除欧洲和中国外,越南是目前海上风电发展比较迅速的国家,大部分潮间带风电工程都是采用EPC的模式,极大地推动了越南海上风电工程的建设。

纵观国内外,从当前的形势可以看出,EPC工程总承包得到业主的高度认可,在电力行业的应用越来越广泛和卓有成效。

## 2 海上风电工程总承包的挑战与对策

相比常规电力项目,当前海上风电工程总承包的主要挑战在于复杂的海洋环境、持续紧张的供应链以及突如其来的平价上网三方面。

### 2.1 变化莫测的施工窗口

海上风电工程建设受到自然环境的显著影响,中国南部沿海有台风,北方海域有浮冰,冬季均受到季风气候影响,大大压缩了工程可施工的时间窗口。以中国南部沿海为例,南海气候属亚热带类型,雨量丰沛。夏秋季常受台风影响,风力强,雨量大;春冬冷暖气流交替,阴雨多雾,受季风影响强烈。区域年常风向大多为NE,冬夏季风向有明显的区别,4月至5月和9月至10月是风向转向的

过渡月份,风向多变。区域年平均风速较高,很多区域超过6 m/s,一般以NE、NNE为最大,最大月平均风速出现在冬季11月至12月,最小出现在夏季7月至8月。12月至次年4月的雾日数一般约占全年雾日数的80%以上。波高和周期较大,常浪向一般为SE。风浪流的方向往往不一致,使得施工窗口的分析与把握存在更大困难与不确定性,增加了施工调度与安装的难度。

除了风浪雾,其他自然环境因素的影响较小。海域雷暴天气一般不影响连续施工,对施工总工期产生的影响有限;除海流流速大于2 m/s外,一般也不考虑海流对施工的影响;海域年暴雨天数较少,有些暴雨随台风而来,本来就无法施工,因此,一般不考虑暴雨对各个月份的影响,对总施工工期的影响有限。综上所述,施工窗口期对施工的影响,主要体现在大雾、风况和波浪三个方面。

对于变化莫测的施工窗口,以设计为龙头的总承包可利用自身在前期掌握到的详尽自然条件资料,如风、浪、流、潮汐、气温、降雨、雾等历年统计资料和实测资料;根据统计和实测资料,分析影响施工的自然条件因素;分析统计影响施工作业的时间和可施工的窗口期;根据统计资料和现场施工计划,结合天气预报的相关数据,对自然环境的现场变化进行预测,指导施工安排;同时根据自然条件的可能变化,做出有针对性的现场施工应变预案,具体对施工的影响在文献[11]中有详细地描述。

除了有些硬性规定外,不同的船舶对海况环境的适应性是不同的,应根据具体船舶针对性地开展窗口期分析,以便迅速投入到紧锣密鼓的施工安装中。据作者统计,一般南海的有效施工窗口期为100~120天,如能采用适用性较好的船机设备,施工窗口可提升20%以上,但也需在效率与成本上达到平衡。

### 2.2 持续紧张的供应链

海上风电的供应链大多都是大型设备与海工装备,有些属紧缺资源或很难短时间内保障供应,如海上主要作业船舶、海缆、风电机组及其配套等,这些紧缺资源的后勤保障常常要谋定后动,紧密跟踪。在后勤供应过程中时常产生木桶效应,整个过程受限于某块短板,以致其他长板也无法发挥作

用,因此,持续紧张且长短不一的供应链成为海上风电工程顺利推进的巨大挑战,只有扬长补短,资源匹配,才能使整体效益最大化。

在过去的一年里,当最新的平价上网电价政策遇上大规模海上风电工程开工建设,行业本来就已初步进入抢装快车道速度立即提速,使海上风电抢装进一步加剧,如何保证海上风电抢装潮下的供应链是每个开发商和承包商的首要任务。当前的供应链形势虽然比2021年有所好转,但由于海上风电场本身水深和离岸距离不断增加,能参与作业的装备并不多,也可能导致供不应求,在政策的助推下,仍存在部分供应链环节紧张的问题。

应对这类挑战,以风电机组为例,需要项目前期进行充分风险预判,在招标文件及合同中明确约定延迟交货的罚则,并约定若不能有效管控分包商,总承包商可自行切除相应部分委托第三方执行,明确禁止厂家私自挪用已开展监造设备及部件,并提出相应处罚措施。其次,要求厂家提交实际排产计划及交货计划,并实时跟踪,过程中与风机大部件生产制造商保持联系,实时掌控生产进度,并积极协调其资金支付收款等外部事宜。第三,要求驻场监造及巡检人员跟踪开始生产部件和完成后的去向,并关注其它项目需求情况,如有可能被挪用苗头,立即报告,以周报、日报形式,保持密切跟踪盘点更新,并定期向高层呈送简报。第四,作为项目重点防控风险,提请公司高层及业主共同协调,重点关注。最后,如果确实可能发生潜在的供货不及时或者无法供货的情况,过程中要给供方发函警示,项目后期关键节点采购经理驻厂督促,以防止风险发生。

对于重要船舶资源,应尽快在前期提前研判形势,寻找潜在合作单位并锁定资源,确保在指定时间内档期可用。与此同时,应关注与主要船舶配套的辅助船只与后勤保障,确保主船与其他船舶具有很高的匹配度与协同度,提高施工效率。

### 2.3 突如其来的平价上网

本文开篇时描述了国家关于海上风电电价政策的发展过程,现已全面进入平价上网阶段,国家虽然不再进行财政补贴,但允许地方政府进行补贴以促进产业发展和工程建设。根据最新广东省政府文件《促进海上风电有序开发和相关产业可持续发展

的实施方案》(下称“方案”)<sup>[16]</sup>,2022年起,省财政对省管海域未能享受国家补贴的项目进行投资补贴,项目并网价格执行我省燃煤发电基准价(平价),推动项目开发由补贴向平价平稳过渡。其中,补贴范围为2018年底前已完成核准、在2022年至2024年全容量并网的省管海域项目,对2025年起并网的项目不再补贴;补贴标准为2022年、2023年、2024年全容量并网项目每千瓦分别补贴1500元、1000元、500元。鼓励相关地市政府配套财政资金支持项目建设和产业发展。

除了明确补贴政策外,方案还说明了广东省海上风电发展目标,主要包括装机规模与产业发展。在装机规模方面,到2025年底,力争达到18GW,在全国率先实现平价并网。从客观上讲,虽然补贴的力度不大,但也体现了地方政府发展海上风电的决心和魄力,按照预期规模,十四五期间年平均新增装机容量约为2GW,如果平价上网的挑战不能突破,实现这个目标非常艰难。

以某百万千瓦海上风电工程为例,探索实现平价上网的可行性。在考虑送出工程时,该工程静态投资为165.7亿元,单位千瓦静态投资为16555元,工程动态投资为172.2亿元,单位千瓦动态投资为17204元。根据以上投资估算,在含税上网电价为0.453元/kWh,年等效满发小时数3200h,长期贷款利率为4.65%时,资本金财务内部收益率3.02%,项目全投资财务内部收益率(所得税后)为0.63%。一般开发商的资本金内部收益率至少为8%,由结果可知,该项目无法实现平价上网。

如要实现平价上网,考虑从设备价格(主要是风电机组与海缆)、施工安装和风机基础三个方面降低造价,实现资本金内部收益率8%的收益。分析发现,在满发小时数与电价不变的前提下,需要将单位千瓦投资在原基础上降低约6000元才能满足上述收益要求,而短期内这个造价水平在南海大部分深远海风电场很难实现。除了降投资外,采用大容量风电机组与先进的控制技术,优化风机排布,提高满发小时数也是达成收益率要求的选项之一。截至目前,海上风电设备的招标价格的确明显降低,浙江某海风项目开标均价4440元/kW,最低投标价只有4061元/kW,较2020年的采购均价7000元/kW降幅达40%~60%,也低于早前市场预

期的平价项目5 000元/kW附近的价格。广东省最近几个项目的风电机组单价也在4 000元/kW出头。满发小时数也提升10%以上,可以看出,风电机组设备单位为海上风电平价上网作出了举足轻重的贡献。同样,施工安装以及风机基础的成本均有所降低,这是海上风电产业链各环节为了共同目标而努力达成的效果。

因此,海上风电能否平价上网将主要取决于三方面,即设备、海上基础以及施工安装的降本增效。对于风电机组设备而言,结合风电场资源情况,可采用10 MW以上大型风电机组,实现齿轮箱、发电机轴承和变速箱轴承等零部件制造核心技术国产化,加强机组总体设计技术,电控、传动、发电系统集成设计技术,润滑系统设计技术等攻关突破。对于海上基础,首要的任务是进行方案的优化,因地制宜地设计出最优的方案,在此基础上大力优化工程量,在进行风机基础设计的同时一定要考虑海上施工的船机设备适应性与施工便利性,敢于尝试有利于降低造价的新型方案与材料,在安全可靠与合乎标准的前提下逐步推广与应用,风机基础的批量化与标准化建造也是降本增效的方式之一。对于施工安装,首要的任务是选择具有良好合作意愿与履约能力的施工单位,海上主施工船舶是施工的最关键环节,选择具有自有船机设备的施工单位对于控制成本和工期具有重要帮助。

### 3 以设计为龙头的工程总承包管理主要优势

#### 3.1 龙头引领,主动作为

以设计为龙头的海上风电总承包发挥了设计的前端优势与技术长处,在整个过程中主动作为,以项目大局出发,创造一切条件为项目服务,以便开展项目的总体优化和资源整合。

龙头引领特别反映在工程进度上,海上风电项目设计周期的关键路径:主机招标—微观选址—地质勘察—基础设计—海上升压站。由于作业受海况影响,地勘外业经常持续数月。开展完海上勘察外业后,还需开展室内土样试验与参数分析,因此,勘察进度是海上风电施工图设计的关键环节。由于勘察时间较长,常规会按施工的先后顺序对不同区域的地勘成果进行分批提供,以满足对应图纸的提

交进度。风机基础设计在施工图出版前还需提供采购用的备料图,往往备料图的进度管理是项目首要关注的内容。以设计为龙头的总承包可以更好地衔接好勘察与设计工作,利用丰富的经验,开展钢管柱的备料图设计,以便能迅速进行钢板采购,这方面的经验已在多个总承包项目中得到实施,为项目提前并网打下坚实基础。

主动作为反映在与各方的协作上,更主动与充分发挥设计优化作用,施工及采购同属于设计方管理,专业主设人具备双重身份,除了设计人员职责,同时作为总承包的专业工程师,可以在项目实施过程中,与施工单位开展充分技术沟通,进一步优化施工方案,减少不必要的施工费用支出,避免施工风险导致的成本浪费与工期延误,并且提前策划采购方案,优化项目参数,尤其在基础优化设计中充分配合风机厂家的迭代计算,合理充分优化设计方案与施工组织。

对于变幻莫测的施工窗口,以设计为龙头的总承包在掌握施工海洋气象的规律上有天然优势,对自然环境对船机的影响有深刻的理解和管控能力,因为在前期做好工程海域的海洋气象的收集、分析和预测,可以有效克服复杂多变的海洋气象条件带来的对施工安全、质量和进度的不利影响。通过对项目海洋气象数据进行分析,得出海上风电施工的最优施工窗口,最大程度上用好每一个窗口期,精打细算,使得冬季季风期也能为项目所用,并以此为重点,整体规划项目的进度计划,促进项目朝安全与高效推进。

#### 3.2 全程参与,贯穿始终

海上风电工程总承包有许多内外接口,不同单位在资料的接口上各有差异,在项目执行过程中,需做好接口的资料收集与管理。对于整个执行过程中,涉及到接口变化的活动,应及时发现,并提出相应的解决办法,无论是发生概率还是影响后果,接口风险都非常大,是最值得关注的风险之一。

在以设计为龙头的总承包管理模式下,设计、采购、施工管理团队全程参与到工程建设中,并贯穿建设始终,在海上风电项目执行过程中起到纽带与桥梁的作用。以某非EPC项目的基础施工为例,该项目的桩基顶部全部打入水下,桩端一定长度范围内焊接剪力键,用于灌浆连接段传递荷载,由于



桩顶位于水下,施工方采用送桩器内插至钢管桩内进行沉桩,由于施工忽略了与设计进行配合,直接生产送桩器,导致送桩器的大小未考虑剪力键的影响,使得送桩器无法插入钢管桩,施工方不得不现场焊接剪力键,而现场焊接剪力键无论是进度、成本、人力、质量都受到严重影响,因为沉桩的进度直接影响到后续风机基础施工与风电机组安装进度,这是一个微小的接口,带来的影响却是巨大的。以设计为龙头的总承包模式一定能避免类似问题,因为设计团队将参与到基础施工方案审核与评审中,识别出具体的风险点,提供避免或降低风险的建议,密切协助总承包方与施工方,施工管理团队做好信息跟踪与反馈,避免诸如此类的风险。

以设计为龙头的总承包中,设计与采购的配合是关键一环,采购提前介入设计方案的制定,尽快发起采购文件与流程准备;设计积极配合采购编制技术规范书,缩减设计与采购的配合时间,提高采购工作的效率。以设计为龙头的采购团队还可以延伸管理范围,深入设备厂家,了解设备进度情况,分析延期原因,直到解决根本问题;施工管理团队也是如此。这样才能及时发现后勤保障的短板,采取相应的预案,在业主的统一指挥下,确保项目的资源调配合理与及时。

总之,以设计为龙头的设计团队应对前面发生过的风险加强识别与核对,将能开展的工作尽量放在陆上,节省海上施工的时间。在与采购配合的过程中,做到设计与采购的融合,这需要以设计团队具备高度的责任心、敬业态度与业务素质,在总承包模式中发挥全程参与贯穿始终的作风,为业主创造真正的价值。

### 3.3 精准把脉,创造价值

面对平价上网,各方都面临巨大压力,皮之不存,毛将焉附,唯有各方齐心协力,推动降本增效,才能实现平价上网,才能助推海上风电行业的可持续发展。海上风电各项技术与设备都处在高速发展期,以设计为龙头的总承包具备对系统整体把控的优势,能实时对整个系统做出最优控制,因此能有效地调动了产业链各环节的力量,满足平价上网的经济要求。在成本测算与经济效益分析中,抓住成本降低重点,优化经济效益分析模型,通过整

合资源,优化配置,实现平价上网。以下给出几点主要的降本路线:

1) 大容量风电机组:除了前述谈及的风电机组设备成本降低,还需重点关注项目的微观选址及风机优化布置,努力提升发电量,采用可靠的机型,这关系到业主整个运行期内的经济效益。此外,还应重点考虑运维成本。

2) 海缆:重点关注海缆布置、选型与采购,采用技术经济综合最优的方案,在深远海风电场中,对比交流与直流的技术经济性。此外,还应关注铜价的走势以及海缆采用铝芯的可行性。

3) 海上勘察:此处不是指节省海上勘察的成本,海上勘察反而要加大投入,以小博大,通过精细化的海上勘察,准确获取岩土层物理力学参数,为设计优化与施工组织提供基础。

4) 海上基础:尽量采用成熟与低成本的基础型式,如单桩基础,结合风机容量、水深与地质,及早开展风机基础优化设计。

5) 海上施工:在前期加大调研与询价,选择具有良好合作信誉、经验丰富且具自有主力船机资源的施工方,优质的施工方是项目成功的有力保障。

6) 海上升压站(换流站):海上风电场的核心,是电能汇聚与升压的关键环节,影响海上风电场并网发电的关键线路,设计与采购密切配合,在设备选择上,尽量采用国产化设备,推动国产化设备与工艺的成熟,助力平价上网。

7) 陆上集控中心(换流站):重点在于规划布局与自然景观协调,建筑设计体现业主的文化理念。陆上集控中心(换流站)往往被轻视,需重点关注陆上工程的电气楼设计、施工图报建、消防报建等行政审批环节,这些能间接影响项目收益。

工程总包,设计先行,以设计为龙头的工程总承包能有效在以上几方面精准推动各方合力,产生协同效应,有序推动平价的逐步实现。

## 4 结 论

随着国家双碳目标的提出,风光等新能源产业将迎来高速发展,海上风电又是其中重要的组成部分,必将得到长足的发展。当双碳目标遭遇海上风电平价上网时,降本增效将是海上风电健康可持续

发展的必由之路。本文分析了工程总承包在电力行业的应用、海上风电工程总承包当前存在的挑战与对策, 论述了以设计为龙头的工程总承包管理的主要优势, 主要总结如下:

1) EPC 工程总承包模式是国家大力倡导与推行的一种承包方式, 已在各种电力形式中得到广泛应用, 纵观国内外, EPC 工程总承包在电力行业的应用已越来越广泛和卓有成效。

2) 相比常规陆上项目, 海上风电工程当前的挑战主要在于变化莫测的施工窗口、持续紧张的供应链以及突如其来的平价上网等挑战。这些挑战均可通过相应的措施得到缓和与解决。以设计为龙头的总承包模式在数据掌握、分析能力、资源整合等方面都具有得天独厚的优势, 能有效地调动产业链各环节的力量开展降本增效, 应对平价上网阶段海上风电的稳健与可持续发展。

3) 以设计为龙头的海上风电工程总承包管理有很多优势, 首先, 可将设计作为龙头的角色发挥得淋漓尽致, 在管理中主动作为, 将设计、施工、采购高度融合。其次, 善用优秀与稳定的人才资源, 全程参与到项目执行过程中, 及时识别与管理风险, 深度为项目创造价值。第三, 在业主的统一指挥下, 以设计为龙头的总承包能有效地调动了产业链各环节的力量, 抓住成本降低重点, 优化经济效益分析模型, 通过整合资源, 优化配置, 推动平价逐步实现, 助力海上风电工程高质量发展。

4) 本文从宏观上谈及以设计为龙头的海上风电工程总承包管理, 很多细节无法一一描述, 下一步将结合某些具体项目实践, 从多个管理要素入手, 论述这种模式在平价阶段的具体表现, 为海上风电工程管理理论与实践提供科学依据与工程指导。

#### 参考文献:

- [1] 蔡绍宽. 平价上网助力海上风电行业发展——未来五年海上风电从业同仁的使命 [J]. 南方能源建设, 2019, 6(2): 7-15. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.02.002.
- CAI S K. Grid parity speeds up the development of offshore wind power industry—The practitioner mission of offshore wind power in the next five years [J]. Southern Energy Construction, 2019, 6(2): 7-15. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.02.002.
- [2] 蔡绍宽. 双碳目标的挑战与电力结构调整趋势展望 [J]. 南方能源建设, 2021, 8(3): 8-17. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2021.03.002.
- CAI S K. Challenges and prospects for the trends of power structure adjustment under the goal of carbonpeak and neutrality [J]. Southern Energy Construction, 2021, 8(3): 8-17. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2021.03.002.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建设项目工程总承包管理规范: GB/T 50358—2017 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for management of engineering procurement construction(EPC) Projects: GB/T 50358—2017 [S]. Beijing: China Building Industry Press, 2017.
- [4] 王伍仁. EPC 工程总承包管理模式探索及展望 [J]. 中国勘察设计, 2020(10): 40-49. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9607.2020.10.013.
- WANG W R. Exploration and prospect of EPC general contract management mode [J]. China Exploration & Design. 2020 (10): 40-49. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9607.2020.10.013.
- [5] 宋敏, 崔雯迪, 陈道明. 电力工程 EPC 总承包管理模式探究 [J]. 工程经济, 2015(8): 74-78. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2442.2015.08.014.
- SONG M, CUI W D, CHEN D M, Research on EPC general contract management mode in electrical power engineering [J]. Engineering Economy, 2015(8): 74-78. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2442.2015.08.014.
- [6] 贾明科, 李平平, 陈和善. EPC 总承包管理模式在风电项目中的应用 [J]. 西北水电, 2015(4): 102-104. DOI: 10.3969/j.issn.1006-2610.2015.04.026.
- JIA M K, LI P P, CHEN H S. Application of EPC contracting management mode in wind power projects [J]. Northwest Water Power, 2015(4): 102-104. DOI: 10.3969/j.issn.1006-2610.2015.04.026.
- [7] 王燕. 浅论输变电工程总承包模式 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(增刊 1): 226-229. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.S1.050.
- WANG Y. Discussion of transmission and substation EPC mode [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(Supp. 1): 226-229. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.S1.050.
- [8] 刘建强. 浅谈设计类工程公司项目管理体系的构建与完善 [J]. 南方能源建设, 2017, 4(增刊 1): 174-178. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.S1.033.
- LIU J Q. Discussion on project management construction and improvement of design class engineering company [J]. Southern Energy Construction, 2017, 4(Supp. 1): 174-178. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.S1.033.
- [9] 张羽, 胡亮. 关于总承包业务设计优化、采购成本控制的思考 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(增刊 1): 165-167. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.S1.037.



- ZHANG Y, HU L. Design optimization and procurement cost control of EPC project [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(Supp. 1): 165-167. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.S1.037.
- [10] 林幼晖. 浅谈设计院向国际工程公司转型应注意的问题 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(1): 33-35. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.01.007.
- LIN Y H. Discussion on the enterprise transformation from design institute to international engineering company [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(1): 33-35. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.01.007.
- [11] 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.
- [12] 刘庆辉, 陆海强. 浅析海上风电施工安全管控 [J]. 南方能源建设, 2020, 7(1): 128-132. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.01.021.
- LIU Q H, LU H Q. Brief analysis on safety management and control of offshore wind farm construction [J]. Southern Energy Construction, 2020, 7(1): 128-132. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.01.021.
- [13] 杨源, 阳熹, 汪少勇, 等. 海上风电场智能船舶调度及人员管理系统 [J]. 南方能源建设, 2020, 7(1): 47-52. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.01.007.
- YANG Y, YANG X, WANG S Y, et al. Scheme design of intelligent vessel dispatching and personnel management system for offshore wind farm [J]. Southern Energy Construction, 2020, 7(1): 47-52. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.01.007.
- [14] 元国凯, 朱光涛, 黄智军. 海上风电场施工安装风险管理研究 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(增刊 1): 190-193. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.S1.043.
- YUAN G K, ZHU G T, HUAGN Z J. Construction and installation risk management of offshore wind farm [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(Supp. 1): 190-193. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.S1.043.
- [15] POULSEN T, LEMA R. Is the supply chain ready for the green transformation? The case of offshore wind logistics [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017(73), 758-771. DOI: 10.1016/j.rser.2017.01.181.
- [16] 广东省人民政府办公厅. 促进海上风电有序开发和相关产业可持续发展的实施方案 [EB/OL]. (2021-06-01) [2022-03-

18]. [https://www.gd.gov.cn/zwgk/wjk/qbwj/yfb/content/post\\_3316639.html](https://www.gd.gov.cn/zwgk/wjk/qbwj/yfb/content/post_3316639.html).

General Office of People's Government of Guangdong Province. Implementation plan for promoting orderly development of offshore wind power and sustainable development of related industries [EB/OL]. (2021-06-01) [2022-03-18]. [https://www.gd.gov.cn/zwgk/wjk/qbwj/yfb/content/post\\_3316639.html](https://www.gd.gov.cn/zwgk/wjk/qbwj/yfb/content/post_3316639.html).

#### 作者简介:



元国凯

元国凯 (通信作者)

1986-, 男, 湖南岳阳人, 高级工程师, 硕士, 主要从事海上风电工程技术研究与项目管理工作 (e-mail) yuanguokai@gedi.com.cn。

#### 卢钦先

1981-, 男, 福建龙岩人, 高级工程师, 硕士, 主要从事海上风电场工程总承包的项目管理研究 (e-mail) luqinxian@gedi.com.cn。

#### 张京伟

1985-, 男, 陕西咸阳人, 高级工程师, 硕士, 主要从事海上风电场工程总承包的项目管理研究 (e-mail) zhangjingwei@gedi.com.cn。

#### 项目简介:

**项目名称** 海上风电总承包项目管理体系研究 (ER06541W)

**承担单位** 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司等

**项目概述** 中国能建广东院在2017年以EPC总承包模式承担了国内首个海上风电项目--广东粤电湛江外罗一期海上风电项目, 此后又以总承包模式承担了广东粤电珠海金湾、国家电投湛江徐闻、粤电新寮、南网桂山二期等多个海上风电项目, 均取得了良好的成效, 体现了EPC总承包建设模式在项目建设过程中的优势。课题基于中国能建广东院在海上风电工程总承包建设管理的有效实践, 系统性地研究与总结海上风电工程总承包建设的管理体系, 为其他海上风电场的建设提供有益借鉴。

**主要创新点** (1) 国内首次系统性的研究与总结海上风电工程的EPC项目管理体系; (2) 结合有效的项目实践, 提出海上风电项目工程总承包建设的有效管理措施。

(责任编辑 叶筠英)