

海上风电及能源转型对我国经济发展的思考

周立健（海洋石油工程股份有限公司，天津 300480）

摘要：海上风电是推动能源向环境友好型低碳能源转化的重要战略方向，具有强大的产业带动及辐射能力。推动我国海上风电产业规模化、集中化、可持续发展，为海上风电产业国产化、集群化发展提供了重要机遇。

关键词：海上风电；能源转型；发展对策

0 引言

在全球关注低碳经济发展背景下，风电作为一种可再生能源，正以其巨大的潜质成为全球开发热点。另外，海上风电项目是目前我国大力发展的项目之一，也是世界经济环保能源的发展趋势。海上风电的开发能帮助沿海城市解决用电困境，且对环境污染小，值得推广。

1 海上风电工程优势

海风由海水和陆地间比热容差异引起的定向运动，当温度突然变化，因冷热空气比重变化而导致海上气压发生变化，致使空气流动朝某单一方向流动。我国周围海域处于暖流风带，海上温度变化频率高，空气变化而导致的风速高，规律性强，主风向稳定，致使我国周边海域非常适合进行海上风电工程建设。

①海上风能是一种应用广泛的再生清洁能源，适合大规模开发；②海上风电工程的建设，具有高风速、高功率、高密度、恒风速等特点，海上风机可提供大容量产电、输电并提供稳定电力来源的生产基地；③沿海地区存在大量对电力需求非常大的经济发达城市，在其临近海域建立风电工程、风电项目，可以为高能耗城市提供可稳定电力资源，同时降低输电线路建设成本并减少其他非清洁能源发电所带来的污染；④海上区域广阔，海上风电项目不占用耕地、林地等较容易开发土地资源，无障碍物限制，未来空间无限广阔。此外，能在风电海洋间形成人工岛礁，为附着性海洋生物提供生存条件。

2 海上风电能源的发展是推动全世界低碳能源转型的有效方式

随着世界能源发展趋势的确定，世界能源结构正在全面调整，能源革命正被再生清洁能源所取代。海上风电资源丰富，占全世界陆地再生能源储量的约 27%，因此可以预见将来海上风电工程的推进全面发展是开拓新清洁能源的充分条件。随着大规模海上

风机、海上工程船舶、海底电缆输电等核心技术及科研成果的进步，必将使海上风电项目实施的风险大大降低，为其大规模推进提供更多、更有效的技术支持。伴随海上风电逐步走上正轨，它将逐渐规模化、标准化以及商业化。

3 海上风电发展现状与趋势

3.1 发展现状

从宏观上看，风力发电分为海上风电、近海风电、陆上电力。临近沿海城市的海上风电发展能有效防止远距离输电造成的电能损失，与传统发电相比，海上风电具有较大环境优势。

世界上 90% 以上海上风电位于北欧沿岸，海上风电是欧洲可再生能源主要组成部分。我国在海上风电开发领域也已初步崭露头角，随着越来越多风电场的建设、开发并投入运营，我国多个沿海城市均已纳入海上风电规划的宏伟蓝图之中。

3.2 发展趋势

在能源转型、清洁能源占比逐渐加大的发展背景下，海上风电正朝着两个方向快速发展。首先，从浅海向深海发展是由于深海区域有着更丰富的风能资源，现近海风电场的开发建设无法满足当前形式的风电需求，因此转向深海开发，这一趋势是由于浅海区缺乏资源造成的。另一方面，随着风能发电量需求的增加，海上风电发电机容量也在增加。另外，因电力需求的不断增加，大型单体风机正在逐步取代小型风机，大型风机更有利于在深海区域使用，故大型风机的深海开发是未来海上电力能源发展的主要趋势。

4 海上风电将成为我国可再生能源发展的必然选择

我国海上风能资源丰富，大陆海岸线超过 18000km，可用海域超过 300 万 km^2 ，水深 5~50m，海上可开发资源量总量约为 $5 \times 10^8 \text{kW}$ ；同时考虑到 70m 以上技术开发能力的进步及实现，可开发资源将越来越丰

富。大容量单体风机,年最大运行小时数可达4000h以上,海上风电效率相较于陆地风电年发电效率可提高约20~40%,能源开发效率非常高;同时海上风电场因远离陆地和大型居民城市,不会因城市规划而受影响,且无需担心噪音、电磁波等对我国居民造成影响。

海上风电工程邻近我国东部发达沿海城市的用电能耗中心,而陆上风能及太阳能主要来源于我国西北地区,其中北方和西北方大部分地区约76%均在使用煤炭资源,西南方地区水力发电占比约80%,而中东部地区负荷需求占总需求的70%以上。远离绝大多数能源电力供给源头,最远距离可达3000km。依照中国工程院所下发的“关于研究我国未来电网格局的咨询意见”,鉴于西部地区产业发展及东部地区清洁能源的刚需和开发,我国东西部能源供需不平衡将得到缓解,随之而出现的情况就是“西电东送”将可能发生反转,但也将遭受不可持续的症结。工程院研究小组判断,至2030年,我国中东部地区最大用电负荷将达到 $9.7 \times 10^8 \text{ kW}$,所需输入电力超过 $3.6 \times 10^8 \text{ kW}$,需实施“集中开发、远距离输送”为主“分散开发、就地消纳”两管齐下。在沿海风电负荷集中区域附近全面开发海上风电,以减轻“西电东送”通道工程压力;海上风电与“西电东送”以及水力发电可在构成季节互补。同时海上风电开发可以大幅提高可再生能源、清洁能源的占比,提速能源整体构型转变。

党的“十九大”报告明确指出需坚持海陆一体化,推进建设海洋强国,推进发展东部沿海经济,形成海洋经济新增长形态,海上风电发展战略切合海洋经济发展及建设海洋强国战略。

依照省级规划,到2035年,我国海上风电装机容量将实现约 $1.3 \times 10^8 \text{ kW}$,约等于当前我国西电东送容量,对促进能源结构转型及发展清洁低碳、可靠高效的新能源体系有着关键积极作用。可以预见,中东地区的电力负荷将催生由传统能源、“西电东送”、新型分布式能源、大型海上风电相互支持的格局。

5 海上风电技术

5.1 风机技术

当前,海上风机正朝着大容量、轻量化、高可靠性方向发展。国外单机最大容量为14MW,国内单机最大容量11MW。

①超长超柔叶片技术。叶片是影响风机性能和成本的核心部件,是国家核心技术实力的标准之一。利

用对弯扭耦合的调节,实现叶片自适应减载,降低叶片单位长度成本。科学合理的材料配置能增强叶片表面气动阻尼及叶片稳定性。柔性叶片和气动附件设计降低了叶片失速风险,确保机组发电量;②风机主轴轴承技术。主轴是风机核心枢纽,不仅要具有腐蚀性及防潮,而且能承载整个风机振动冲击。现阶段,我国主轴设计还处于薄弱能力短板阶段,部分核心技术仍倚赖国际引进,需在下一阶段深入研究整个轴系,研究适于我国周边沿海环境所匹配的轴承工艺核心技术;③直驱永磁风力发电机。当前,我国海上风力发电机组包括双馈风机、永磁直驱风机,其不同在于不同发电结构和传动方式。与双馈风机相比,永磁直驱风机具有效率更高、能耗更低、风速限制更小等好处,对我国风电行业进步意义重大。然而,由于生产成本低、控制困难、技术不成熟等因素,永磁直驱风机及双馈风机仍会在未来的一段时间并行发展使用;④新型高效能源转换装置。当单风轮最大风能利用系数达到0.48时,流过风机后风速仅下降约20%,能量主要被风轮外叶展吸收,内叶展能量利用率低,且能量梯级利用价值高。串列式双风轮机组结构紧凑,单位面积功率密度高,单位面积内机位多,总容量大。双风轮风机功率密度高,占地面积小,可有效提高风能利用率,且利用系数高。

5.2 海上输电技术

①海上风电单场送出技术。包括高压交流输电(HVAC)、常规直流输电(LCC-HVDC)、柔性直流输电(VSC-HV-DC)、分频输电(FFTS)。海上风电场输电方式选择取决于风电场容量及离岸距离。随着海上风电场开发规模的扩大,输电容量和距离增加,机组大型化、受端电网短路电流水平及电网安全稳定等因素,海上风电输电直流化方向发展趋势更明显;

②大型海上风电集群组网送出技术。未来可用于海上风电集群组网送出方案包括基于HVAC技术的场间交流并联组网交流送出、基于VSC-HVDC的交流并联组网柔直送出、基于VSC-HVDC多端柔性直流输电、基于LCC-HVDC及VSC-HV混合直流输电。

5.3 海洋工程技术

海洋工程技术包括勘察工程技术、结构工程技术、岩土工程技术、建造技术、运维技术。在水深超过50m区域,使用固定基础设施会增加成本,通过现有技术很难实现。深海浮式风电场将成为海上风电场发展的新趋势。

5.4 运维技术

①激光雷达检测技术及实时风速预测。激光测风雷达安装在漂浮式平台以观测风资源,为设计规划及优化调度提供准确指导;前馈变桨降载运行由机舱式激光雷达实现。分析历史气象数据,建立预测模型,输入高精度测量数据进行模型计算,得到实时风速预测结果,为多尺度场级功率预测及海上风能优化管理提供测算依据;②风电场尾流控制。为量化尾流效应引起的功率耦合,建立面向控制的尾态尾流模型。优化问题的解决减少了尾流效应引起的功率损失,提高了整体发电能力。结合模态分解及频率分析,分析尾流动态特性,量化尾流效应对机组负荷的影响,实现了功率-载荷协调优化;③优化风电场调度及控制。考虑到风-浪-流-机复杂耦合效应,从固有/可变角度表征高可靠性机组功率调节特性,量化功率调节与机械负荷指标间关系。基于风电机组多层框架,构建风电场群协调优化调度方法,提高大型海上风电并网友好性;④设备智能检测及维修。基于智能数字检测技术,建立风电场大数据云平台,实时更新及计算风场监控状、故障分析、设备监测与预警,以定期维护与故障预警维修形式确保机组日常维护,尽快发现故障并及时处理,减少故障造成的停机时间。建立区域运维基地及智能调度策略,将设备健康检测信息与准确的天气预报相结合,优化部署海上维修交通工具及检修队伍,提高维修效率,降低运维成本。

6 海上风电高质量发展对策

6.1 加强海上风电资源勘察,建立资源评估体系

建议优先支持可再生能源勘察评估相关教育专业的设置及人才培养。

6.2 提高海上风电对我国能源转型发展的认识

明确海上风电等可再生能源是国家能源规划及战略政策的重要组成部分,近海海上风电资源丰富,开发利用潜力大,靠近东部电力负荷中心,有助于减少输电成本。海上风电发展将是我国能源结构转型的重要战略支撑,将有助于我国海洋能源的综合开发利用与海洋强国建设。

6.3 深化国家宏观协调统筹规划

“十四五”期间,推进海上风电顶层设计,协调未来电网建设模格局,促进东部沿海加快形成海上风电统筹规划、集中、规模化滚动开发态势,优化电力生产与输送通道布局;聚焦“新基建”,建议电网企业共同参与海上风电开发,综合考虑电网格局、电力

流、电网安全影响,合理布局建设海上输电通道,减少不必要的冗余投资。

6.4 关注“卡脖子”问题,加强科技创新

海上风电技术及装备要求高,科技含量丰富,运用“十四五”窗口期,建议科技部、国家发改委等关注整个海上风电产业链“卡脖子”问题,加强科技研究,加快国产装备生产步伐,推动国内关键核心技术生产取得突破;开展技术全生命周期的多维经济评价,建立差异化政策支持机制,引导海上风电技术创新;在科研体制方面,探索符合国家需要的创新合作机制、激励机制、人才培养机制。

6.5 完善政策支持机制,确保海上风电产业健康发展

改变单一限时补偿机制,建立海上风电定期退补补贴机制,避免海上风电只追求规模而忽视质量的“抢装潮”;加大力度调动地方财政补贴,确保海上风电产业良性循环,推动地方经济转型升级;准确界定“放管服”政策范围,避免陆上风电“49.5万千瓦现象”;对技术全生命周期进行多维经济评价,建立差异化政策支持机制,引导海上风电科技创新。

6.6 做好综合规划及制度安排,高度重视海洋生态保护

科学规划,审慎选址,避免生态脆弱区与重点保护区,尽量减少海上风电开发对海洋生态环境的影响。在施工及后续运营期间,应采取有效措施,防止设备设施和建筑垃圾对海洋环境的破坏,并在施工、运营和维护期间保持海上风电生产的全过程清洁化。利用科技及数据支持海洋环境风险的准确研判及防范,使海上风电建设成为生态环保型工程。

引导企业采用尽可能形成真正封闭、相对较小的专属海洋布局模式,选取对其他用海影较小的优化设计方案优化风场用海布局。研究海域使用权核准一定期限后不动工圈海的经营权归还管理制度;草拟批复一定年限后不运营的风电场或运行不当或终止的风电工程移交或改建制度,推动我国海洋经济体系的全方位发展。

参考文献:

- [1] 张义斌.我国海上风电发展的现状及分析[J].能源技术经济,2016,24(03):66-71.
- [2] 林鹤云.海上风电的若干关键技术综述[J].东南大学学报(自然科学版),2016,41(04):882-888.
- [3] 陈玲娜.海上风电的发展现状和前景分析[J].中国高新科技,2020(13):75-76.