



海上风电回顾与展望2023

2023年6月

编撰单位



CREIA



2023 全球海上风电大会专刊

海上风电回顾与展望 2023

2023 年 6 月

目 录

前言.....	1
第一章、全球海上风电发展现状	3
一、全球海上风电市场现状.....	3
(一) 全球总体情况	3
(二) 重点市场发展情况.....	5
二、全球海上风电供应侧现状.....	10
(一) 领先制造商情况	10
(二) 单机容量及技术路线情况.....	13
三、全球加快海上风电发展规划布局.....	15
第二章、中国海上风电发展现状	16
一、政策回顾与分析	16
(一) 推动海上风电基地化、集群化开发建设.....	17
(二) 地方政府相继出台海上风电补贴政策支持产业发展.....	17
(三) 各地加强产业发展规划.....	18
二、中国海上风电市场现状.....	21
(一) 市场总体发展情况	21
(二) 海上风电成本变化情况.....	22
(三) 整体开工规模情况	23
三、中国海上风电供应侧现状.....	24
(一) 风电机组制造商情况.....	24
(二) 开发商装机情况	26

(三) 海上风机技术情况.....	28
(四) 深远海风电技术发展现状.....	30
第三章、海上风电发展展望	31
一、逐步向大型化、深远海、融合型发展.....	31
(一) 大兆瓦级机组	31
(二) 漂浮式海上风电	32
(三) Power to X (海上风电制氢)	33
二、规模扩大和市场竞争带来成本下降	35
三、转型需求和市场范围扩大创造更大发展空间.....	36
四、重视产业链保障、规避供应环节瓶颈.....	37

前言

回望 2022 年，能源安全、极端天气等危机使得越来越多的国家更加深刻地认识到了能源转型的重要性和紧迫性。也是在这一年，全球可再生能源装机增幅实现了历史最高增幅，增量占到了全球新增电力的 83%。海上风电发展抢眼，在促进经济增长、加强能源安全方面发挥愈发着重要的作用。

2022 年全球海上风电新增装机容量达到 8.8GW，成为继 2021 年创纪录的最大增量后的历史第二高位，继续维持总体增长势头，累计装机达到了 64.3GW。中国是全球最大的海上风电市场，年新增装机和累计装机均位居首位。凭借英国、法国、荷兰的良好表现，欧洲市场紧随其后。此外，美国、日本、印度、巴西等国家也制定了更具雄心的发展目标，加大对海上风电的投入和开发。

市场的蓬勃发展带动了产业逐步走向成熟，技术水平的进步使得海上风电竞争力得到不断提高。尤其是随着风电机组大型化、漂浮式风电技术取得突破、海上风电制氢等融合发展模式的推出，为产业提供了更为广阔的发展空间和机遇。

然而，面对严峻的气候变化和能源危机，当前全球能源转型的进度仍落后于设定目标，海上风电等清洁能源的发展亟待加大投资，也需要更加灵活、更具雄心和合作精神的政策支撑，以确保能源转型目标的实现。

值此一年一度的全球海上风电大会召开之际，大会组委会特筹划撰写此报告，对过去一年中海上风电产业情况进行了梳理分析，并对未来发展做出了趋势预测，以供各位海上风电事业参与者参阅，并期待为产业发展贡献一份力量。鉴于报告编写时间和编者水平所限，报告不妥之处，望批评指正。

第一章、全球海上风电发展现状

一、 全球海上风电市场现状

(一) 全球总体情况

在经历了上一年度市场规模的大幅增长后，2022 年全球海上风电发展规模回落。根据全球风能理事会（GWEC）的统计，2022 年全球海上风电新增装机约为 8.8GW，较 2021 年的历史最高位下降了近 58%。然而由于各重点地区的市场仍表现出较强的发展势头，使得 2022 年依然成为了海上风电发展史上的第二高位。在过去的五年中，全球海上风电的年复合增长率达到了 19.2%，总体保持了向上增长的势头。

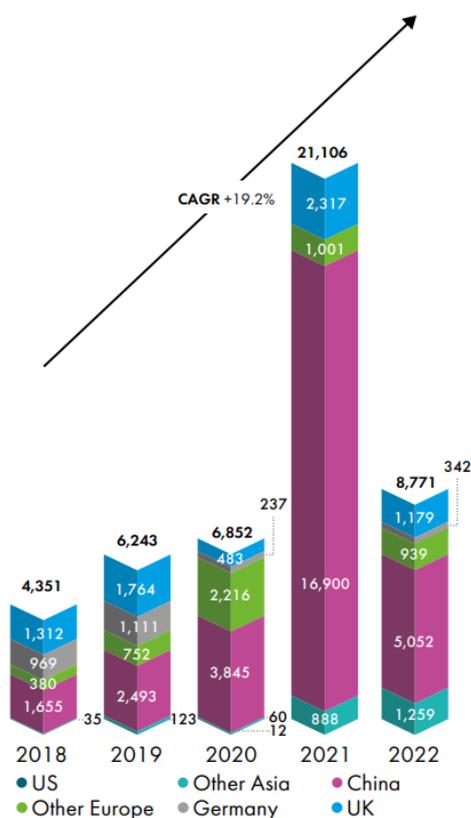


图 1：2018-2022 年全球海上风电新增装机容量（MW）情况

凭借中国的较大市场规模，亚洲地区保持全球最大海上风电市场地位。其中，中国连续第五年成为全球最大的海上风电国家，2022 年新增并网装机容量约 5.1GW，较上年下降了逾 70%，但仍占全球新增装机总量的一半以上。其他亚洲地区 2022 年新增海上风电装机规模达到了 1.25GW。

2022 年，欧洲地区共有六个国家实现了海上风电项目并网，规模共计 2.5GW。其中，英国继续引领欧洲市场，新增装机规模 1.18GW；凭借首个海上风电项目（480MW 的 SaintNazaire 项目）投产，法国成为了当年欧洲第二大、全球第三大海上风电国家；荷兰和德国新增装机均超过 300MW，分别为 369MW 和 342MW，位列第三和第四位。意大利在 2022 年也实现了首个商业化海上风电项目的投产运营，规模约为 30MW，这也是首个在地中海投入运营的海上风电项目。

美国是美洲地区唯一拥有海上风电的市场，但 2022 年美国未有新增装机容量。

截至 2022 年底，全球海上风电装机总量已经达到 64.3 GW。中国于 2021 年首次超越英国成为全球海上风电累计装机规模最大的国家，并在 2022 年继续保持了这一地位。英国是全球海上风电装机第二大国，占全球总规模的约 22%，随后为德国、荷兰和丹麦，排名依次为第三、第四和第五位。世界排名前五位的国家，占据了全球海上风电市场的九成以上。

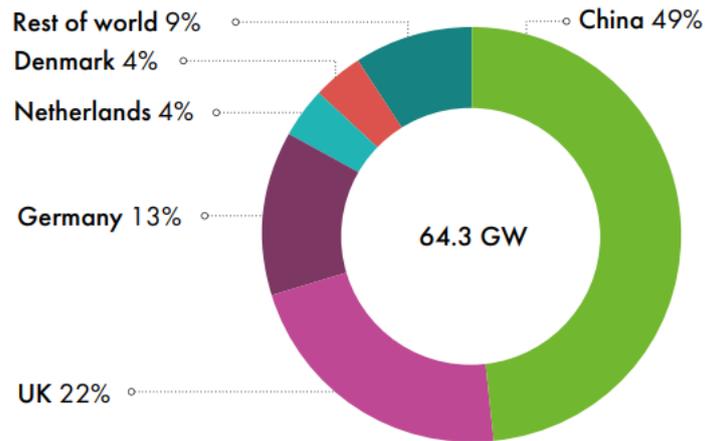


图 2：截止 2022 年底全球海上风电累计装机各国占比情况

漂浮式海上风电方面，2022 年全球漂浮式海上风电新投入运营的规模达到 66.4MW，包括了挪威 Hywind Tampen 项目(60.2MW)，以及中国海装在国内安装的“扶摇号”漂浮式海上风电装备(6.2MW)。截止 2022 年底，全球漂浮式海上风电装机容量达到了 188MW，其中挪威位居世界首位，装机容量达到了 177MW，占据了全球总量的 91%。

(二) 重点市场发展情况

英国

海上风电在英国实现 2050 年零碳目标的过程中将扮演重要角色。根据 2022 年英国政府最新公布的《英国能源安全战略》，海上风电被列为新战略中的重点。根据该计划，到 2030 年，英国海上风电的发展目标将从之前的 40GW 提高到 50GW，其中漂浮式风电的装机规模目标提高到了 5 GW。

2022 年英国开展了第四轮海上风电项目差价合约(CfD)竞拍，

合计规模 7GW。此轮拍卖的海上风电项目上网电价为 37.35 英镑/兆瓦时，较上一轮降低约 1.65-3.65 英镑/兆瓦时，同时也低于陆上风电 42.47 英镑/兆瓦时和光伏 45.99 英镑/兆瓦时的上网电价水平，成为所有参加拍卖的可再生项目中上网电价最低的类型，凸显出了欧洲海上风电的经济性优势。

此外，用海政策明确也是支持英国海上风电发展的重要措施。该国海上风电始于专属经济区海域，目前已实现对领海外专属经济区风电资源大规模开发。截至 2021 年年底，英国在运的 42 个海上风电项目中有 9 个位于专属经济区，装机容量合计约 5.3GW，占全部在运装机容量（11.3GW）的 47%。在建的 8 个海上风电项目中有 7 个位于专属经济区，装机容量合计 8.5GW，占全部在建装机容量（9GW）的 94%。已中标用海权、待申请开发的 29 个储备项目中有 25 个位于专属经济区，装机容量合计 33GW，占全部此类装机容量（36GW）的 92%。

德国

根据德国 2021 年修订的《气候行动法案》，该国 2030 年温室气体排放量将较 1990 年降低 65%，并在 2045 年实现碳中和（比之前目标提前了五年）。2022 年德国政府通过能源一揽子法案修订提案，重申了对气候议程和清洁能源发展的承诺，并计划到 2030 年实现 80% 的电力来自可再生能源的目标。

海上风电是德国能源转型和打造氢能经济的支柱。2022 年 12

月，德国《海上风电法案》(WindSeeG)修正案获得欧盟批准，此版修正案中将德国 2030 年海上风电装机规模目标由 20GW 提高到 30GW，2035 年和 2040 年目标分别设定和提高到 40GW 和 70GW。

然而，德国海上风电受项目审批缓慢、劳动力短缺和供应链中断等因素影响，产业扩张速度较为缓慢。2022 年，德国海上风电市场仅完成 Kaskasi 风电场（规模 342MW），截止年末该国累计装机容量约 8.1GW，距离实现 2030 及远期目标仍采取更为有力的激励措施。

荷兰

作为欧洲重要的海上风电发展国家，荷兰充分认识到了能源安全的必要性，受国家清洁能源发展目标的推动，海上风电开发建设较快。根据本国《可持续增长能源协议》，其设定了 2023 年海上风电装机容量达到 4.5 GW 的目标，2023-2030 年将再增加 7 GW，使 2030 年总装机容量达到 11.5 GW。

2022 年，荷兰制定了海上风能长期增长计划，计划到 2040 年海上风电规模达到 50GW，到 2050 年达到 70GW。荷兰是欧洲最新使用非价格标准进行海上风电项目招标的国家。2022 年全球首个“零补贴”海上风电场——Hollandse Kust Zuid 在荷兰完成首次并网发电。

除了海上发电，荷兰政府还计划在北海大规模生产绿氢，以实现工业从天然气转型，而与其他北海国家建立互连，也有助于荷

兰能源的供应安全。

欧盟其他国家

为应对能源危机问题，实现碳中和战略目标，欧洲 2022 年各国不断提高海风规划容量。

北欧四国（德国、丹麦、比利时和荷兰）于 2022 年 5 月签署《埃斯比约宣言》，承诺 2030 年海风累计装机达 65GW，到 2050 年累计装机 150GW，共同建设“欧洲绿色发电站”，为海上风电加速重添里程碑。

同年 8 月 30 日，欧洲 8 国在能源峰会上签署“马林堡宣言”，同意加强能源安全和海上风电合作，计划在 2030 年将波罗的海地区海上风电装机容量提升至 19.6GW，为目前容量的 7 倍。

美国

美国海上风电的开发潜力巨大，但装机规模目前仍远落后于欧洲和中国。近年来，美国政府进一步明确和公布了低碳发展目标，海上风电的战略地位得到提升。

按照 2021 年美国公布的到 2050 年实现碳中和的目标节点与技术路径，其计划 2035 年实现 100%清洁电力目标。2022 年 2 月，美国能源部发布《海上风能战略》，规划到 2030 年、2050 年海上风电累计装机规模将达 30GW、110GW。同年 8 月，美国政府通过《2022 年通胀削减法案》，法案恢复此前对海风的 30%税收减免，

旨在帮助项目开发商降低成本。9月，拜登政府提出计划到2035年建设15GW漂浮式海上风电，将美国漂浮式海上风电的成本降低70%以上（达到约4.5美分/千瓦时）。

美国政府希望在这一系列的政策措施下，海上风电技术科降低温室气体排放的同时，也可以创造出更多的就业机会，并推动基础设施投资。在此驱动下，美国海上风电建设正蓄势待发，有望后来居上。

越南

越南的风电市场正处在一个关键节点，快速增长的电力需求为风电的发展提供了机会，对陆上及海上风电的开发也有利于保证该国的能源安全。该国拥有超过3000公里的海岸线，其海上风电可开发资源达到475 GW。

越南最新公布的第八个电力发展计划（PDP 8）明确基础，到2030年后将不再新建燃煤发电项目，到2050年可再生能源将占全国全部发电量的70%左右。按照此计划，到2030年，越南海上风电装机规模可达到6GW，到2050年至少达到70GW。

日本

日本海上风电起步并不晚，其已于2003年就建设了本国第一个海上风电示范项目，之后产业发展较为缓慢。从2019年起，日本为加速海上风电的发展采取了更为积极的措施。一方面，日本

政府正在简化海上风电的监管框架，国土交通省通过法案促进海洋区域的可再生能源发展，并且公布了 11 个海上风电开发海域。国土交通省还修订了《港湾法》，自 2019 年 10 月起，允许开发商和施工方利用港口码头进行海上风电的开发建设。另一方面，制定和发布净零排放和产业发展规划，按照 2020 年 9 月日本政府通过的《海上风电产业愿景》，其规划到 2030 年海上风电实现累计装机 10GW、到 2040 年实现累计装机 30-45GW。

2020 年对于日本海上风电产业而言是具有里程碑意义的一年。当年 6 月日本启动了第一个漂浮式风电项目的竞标，同年 11 月启动了第一个固定基础海上风电项目的竞标。截止 2022 年底，日本海上风电装机规模已达到 136MW，处于环评及审核阶段的项目约 15GW，预计 2025 年后日本海上风电将迎来较大发展。

二、 全球海上风电供应侧现状

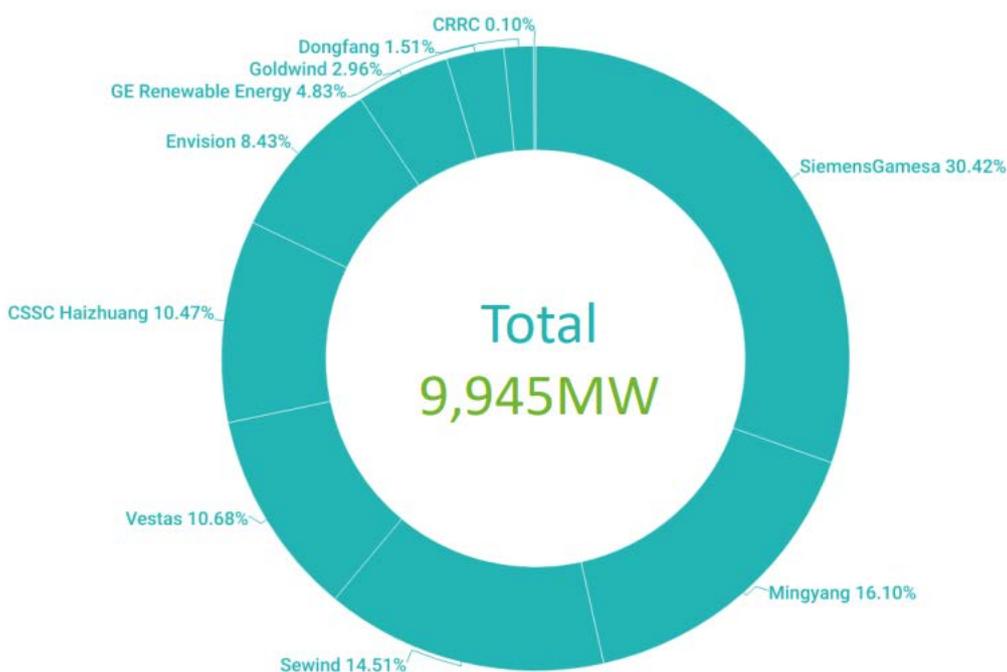
(一) 领先制造商情况

2022 年，全球 10 家风机制造商共安装了 1300 台海上风机设备，装机规模约为 10 GW。

2022 年主要制造商新增装机情况

- 西门子歌美飒 (Siemens Gamesa) 重回全球新增装机第一位。其在全球六个市场范围内共完成装机 3GW。
- 借助国内海上风电市场的强劲发展势头，中国共有 7 家设备制造商位列 2022 年全球前十位之内。

- 其中，明阳智能继续保持全球第二位，国内市场约占新增装机规模的 86%，约 14%的装机分布在越南和意大利。电气风电位居全球新增装机规模的第三位。
- 尽管 2022 年的新增装机规模仅为上一年的三分之一，但维斯塔斯仍保持了全球第四的排名，全球占比约 10.68%。
- 中国海装和远景能源较上一年分别提升了一位和两位，位列全球新增装机规模的第五和第六。金风科技和东方电气排名第八和第九位。
- GE 新能源于 2022 年在法国首次运行了海上风电项目，使其成为了当前全球第七大海上风机供应商。
- 中国中车去年在中国安装了一台 10MW 海上风机样机，首次实现海上风电市场的突破。

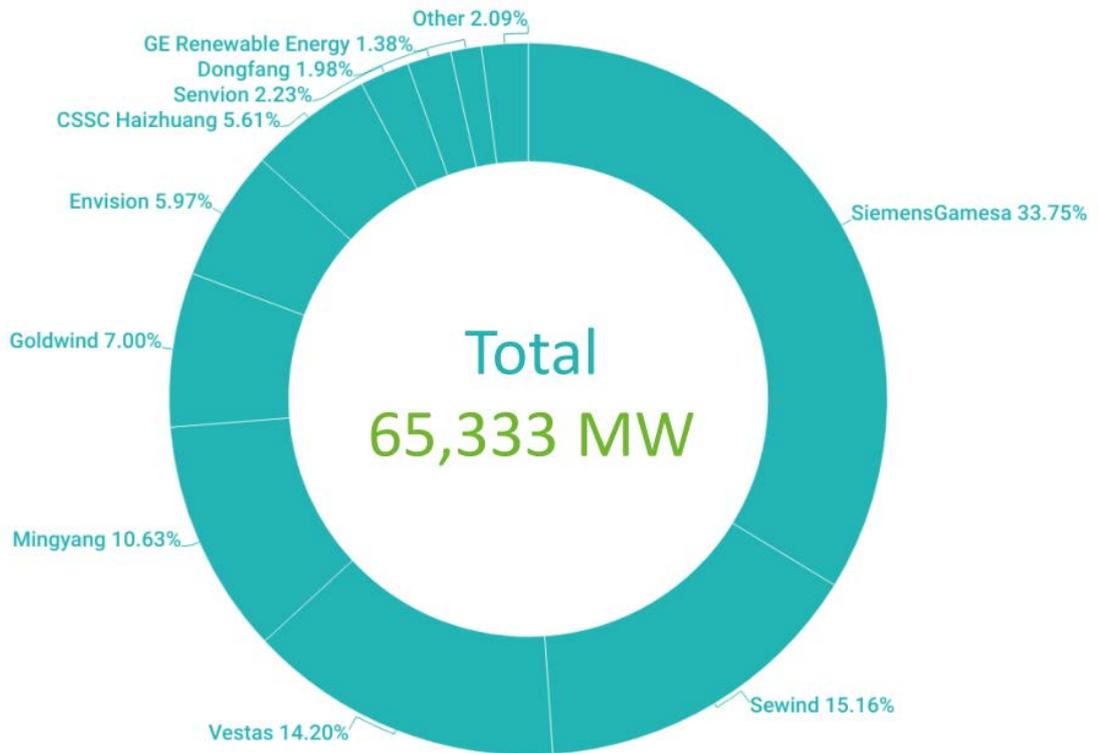


来源：GWEC

图 3：2022 年全球风机制造商海上风电新增装机前十强及市场份额（%）

2022 年各制造商累计装机情况

- 西门子歌美飒和维斯塔斯作为全球海上风机的两大先锋设备供应商，2022 年两家企业合计约占全球海上风机安装量的 48%。
- 其中，西门子歌美飒继续保持全球海上风机累计装机规模的首位。然而，相较于 2021 年，该企业的市场占有率下降了约 0.6 个百分点。维斯塔斯在全球累计装机容量排名中位居第三，占比约 14.2%。
- 在全球新增装机量排名前十位的制造商中，中国企业占据六家。其中，电气风电位居全球第二，占全球海上风电累计装机的约 15.16%；明阳智能、金风科技、远景能源、中国海装和东方电气分别位列第四、五、六、七和九位。

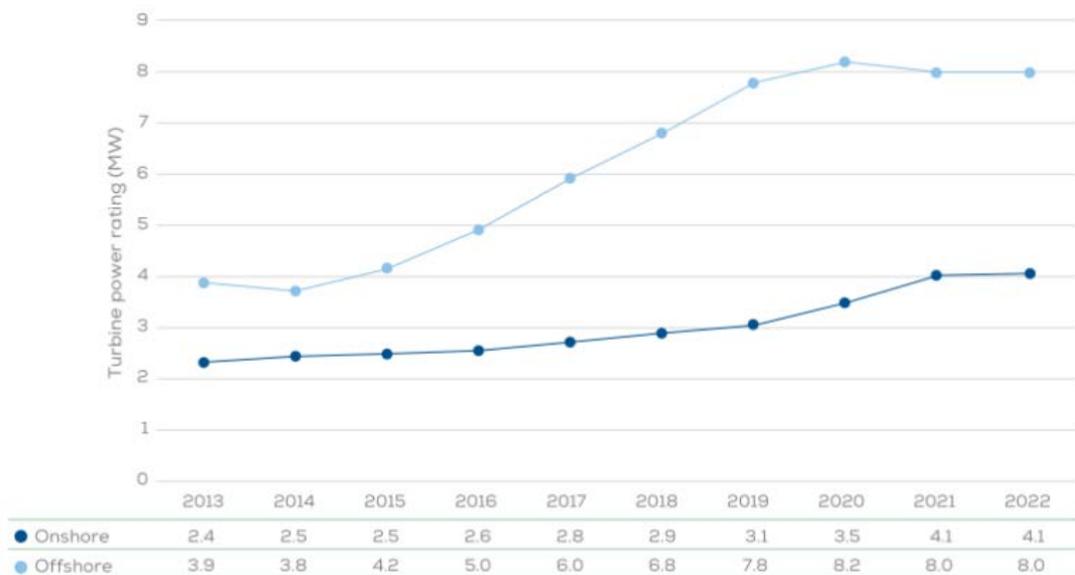


来源：GWEC

图 4：2022 年全球风机制造商海上风电累计装机前十强及市场份额（%）

（二） 单机容量及技术路线情况

从新增风机单机容量看，全球海上风机进一步提升，平均单机容量达到了 7.6MW。其中，在欧洲已经突破 8.8MW；亚太地区达到了 7.2MW。



Source: WindEurope

图 5：2013-2022 年欧洲海上风机平均单机容量

面对海上复杂恶劣的自然条件，海上风电逐步探索出了有别于传统陆上风机的技术路线，以提升系统运行的稳定性。根据 GWEC 分析信息显示，直驱机组是当前全球海上风机的主要应用技术。

海外主要的海上风机企业——维斯塔斯采用半直驱技术，GE 和西门子歌美飒选择采用直驱技术方案。中国海上风机企业也多转换至直驱或半直驱技术方案，其中，明阳智能海上风机产品一直延续半直驱路线，金风科技由直驱向半直驱转变；远景能源、电气风电、中国海装、东方电气则从高速齿轮箱向直驱或半直驱转变。另有一些企业也采用双馈等技术方案。

Offshore Wind Turbine Technology Road Map (excluding China)

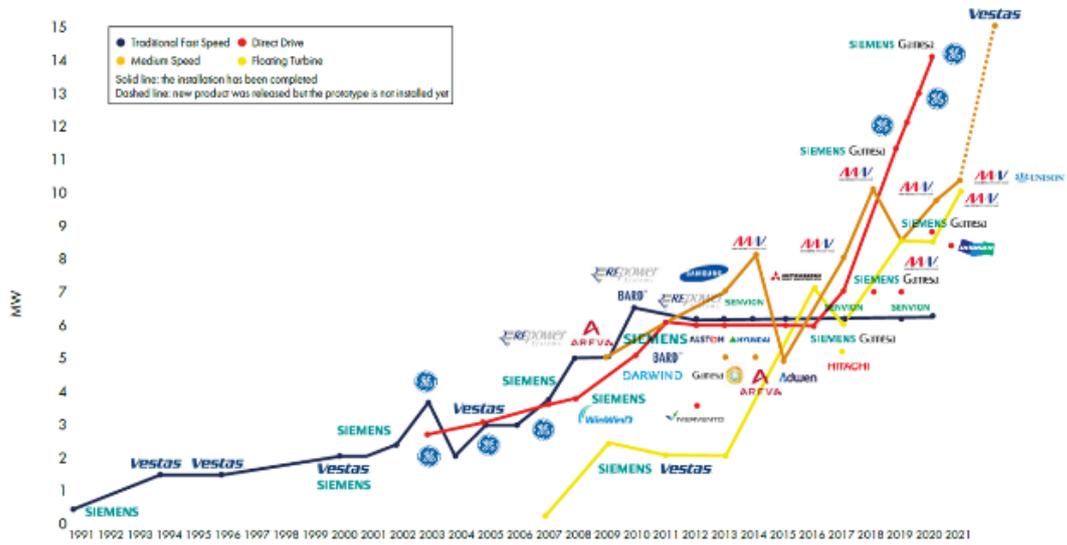


图 6：全球（不含中国）海上风机技术路线

Offshore Wind Turbine Technology Road Map (China only)

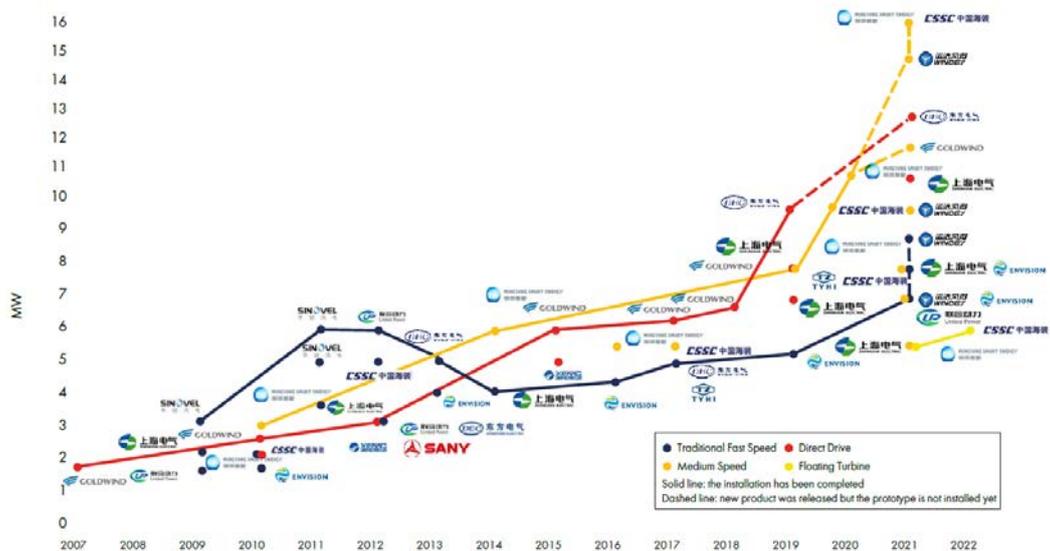


图 7：中国海上风机技术路线

三、 全球加快海上风电发展规划布局

随着对海上风电重视程度的不断提高，全球各国也正在不断调整能源政策，加强对海上风电发展的规划部署，更新提高其发展目标，并加大对项目的投入和建设。

表 1：各国海上风电发展目标

	2025年	2030年	2035年	2040年	2050年
欧盟		≥60 GW			≥300GW
英国		50GW			
德国		30 GW	40	70 GW	
荷兰	4.45 GW (2023)	11.5 GW			70GW
丹麦		12.9GW			
法国			18GW		40GW
美国		30 GW			110GW
日本		10 GW		30-45 GW	
韩国		12 GW			
波兰		10 GW			
爱尔兰		5 GW			
苏格兰		11GW			

另一方面，对于海上风电等清洁能源的投资也在逐步加强。为了实现巴黎气候协定目标，世界各地的金融机构都在退出对煤炭领域或燃煤电厂项目的投资，以全球能源转型为标志的新发展新阶段已经开启。2020年，全球对于海上风电的投资首次超过对于海上油气的投资。2022年全球海上风电投资额则预计在500亿美元以上。

第二章、中国海上风电发展现状

一、政策回顾与分析

2022 年是中国海上风电经历了上一年“抢装潮”后回归平稳的一年，市场规模虽出现了较大幅度的下降，但政策环境得到了不断优化和完善，市场前景保持乐观。

从政策制定和出台情况看，国家通过主管部门或部门联合发文的形式，及地方已陆续出台“十四五”规划，从产业布局、技术发展，到深远海等方面均明确指出大力发展海上风电。

(一) 推动海上风电基地化、集群化开发建设

我国沿海地区大多经济发达、能源需求大，通过充分利用当地资源禀赋优势，开展海上风电项目的规划和发展，成为此类地区落实双碳目标，保障能源供应安全和促进绿色转型的重要抓手。

2022 年 3 月，国家发改委、国家能源局发布关于印发《“十四五”现代能源体系规划》，6 月国家发改委等九部委联合印发《“十四五”可再生能源发展规划》，两项重要的国家级文件中均明确提出积极推动沿海地区海上风电集群化开发建设。重点基地集群包括了山东半岛、长三角、闽南、粤东、北部湾等五大海上风电基地集群，其中以广东、福建、浙江、江苏和山东等省作为重点建设基地。

沿海各省陆续推出海上风电发展规划，并积极开展海上风电装备产业园/基地规划建设。在《“十四五”能源领域科技创新规划》中，提出集中攻关深远海域海上风电开发及超大型海上风机技术等内容。

(二) 地方政府相继出台海上风电补贴政策支持产业发展

为推动产业发展，2010-2020 年的近十年期间内，我国对海上风电项目先后实施了特许权招标、标杆上网电价、竞价上网等政策。进

入“十四五”后，海上风电项目进入了国家补贴退出的新阶段。根据《关于促进非水可再生能源发电健康发展的若干意见》，2022年新增海上风电不再纳入中央财政补贴范围。

为保障海上风电较平稳向平价上网过渡，各地方多出台政策予以支持。截止2022年末，已有广东、山东、浙江、上海三省一市出台了海上风电补贴政策。

表 2：三省一市海上风电项目补贴政策概况

省份	保障政策
广东省	对 2022 年、2023 年、2024 年全容量并网项目每千瓦分别补贴 1500 元、1000 元和 500 元
山东省	对 2022 至 2024 年建成并网的项目，由省财政分别按照每千瓦 800 元、500 元、300 元的标准给予补贴，补贴规模分别不超过 200 万千瓦、340 万千瓦、160 万千瓦
浙江省	2022 年和 2023 年，全省享受海上风电省级补贴规模分别按 60 万千瓦和 150 万千瓦控制、补贴标准分别为 0.03 元/千瓦时和 0.015 元/千瓦时。项目补贴期限为 10 年，从项目全容量并网的第二年开始，按等效年利用小时数 2600 小时进行补贴
上海市	针对深远海海上风电项目和场址中心离岸距离大于等于 50 千米近海海上风电项目奖励标准为 500 元/千瓦，单个项目年度奖励金额不超过 5000 万元。适用于上海市 2022—2026 年投产发电的项目。

（三）各地加强产业发展规划

为落实双碳目标，同时带动自身经济社会的高质量发展，各地方政府已经在十四五发展规划或产业发展规划中，对推动海上风电产业发展作出了政策决策，积极引导产业规划布局。

表 3：“十四五”期间部分地方政府关于海上风电政策情况

省份	政策/规划	主要内容
山东省	《关于促进全省可再生能源	加快开发建设海上风电基地。编制实施

	高质量发展的意见》(征求意见稿)	《山东海上风电发展规划(2021-2030年)》, 2021年建成投运两个海上风电试点项目, 实现本省海上风电“零突破”。“十四五”期间, 山东省海上风电争取启动1000万千瓦
	《山东省海上风电发展规划(2019-2035)》	海上风电总规划三大海上风电基地: 渤中基地890万千瓦(其中近东营市周边规划海上风电700万千瓦)、半岛北基地30万千瓦、半岛南基地680万千瓦, 共计41个风电场
海南省	《海南省海洋经济发展“十四五”规划(2021-2025年)》	稳步推进海上风能资源利用。在东方西部、文昌东北部、乐东西部、儋州西北部、临高西北部50米以浅海域优选五处海上风电开发示范项目长治, 总装机容量300万千瓦, 2025年实现投产规模约120万千瓦
广东省	《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》	自2022年起, 对2018年底前完成核准、在2022年至2024年全容量并网的省管海域项目, 由省财政进行投资补贴。到2025年底, 全省海上风电累计建成投产装机容量力争达到1800万千瓦, 全省海上风电整机制造年产能达到900台(套)
浙江省	《浙江省电力发展“十四五”规划》	“十四五”期间, 打造3个以上百万千瓦级海上风电基地, 新增海上风电装机455万千瓦以上
江苏省	《江苏省“十四五”可再生能源发展专项规划》	重点发展海上风电, 全力推进近海海上风电规模化发展, 稳妥开展深远海海上风电示范建设。形成近海千万千瓦级海上风电基地。到2025年底, 全省海上风电并网

		装机规模达 1500 万千瓦以上
广西壮族自治区	《加快发展向海经济推动海洋强区建设三年行动计划(2020—2022 年)》	培育立足广西、面向东盟的海上风电产业，形成“双园三中心”发展布局。重点推进北部湾海上风电示范项目、海上风电和海上牧场试点项目、广西北部湾海上风电基地、广西海上风电产业园南宁风电科技园等骨干项目建设。到 2022 年，海上风电装备产业园初步构建，力争年产 100 万千瓦以上，初步建成海上风电装机容量 50 万千瓦以上
河北省	《唐山市海上风电发展规划(2022-2035 年)》《唐山市海上风电发展实施方案(2022-2025 年)》	明确到 2025 年，累计开工建设海上风电项目 2-3 个，装机容量 300 万千瓦；到 2035 年，累计开工建设海上风电项目 7-9 个，装机容量 1300 万千瓦以上

据统计，“十四五”期间，各省海上风电新增装机总规模约 5000 万千瓦，到 2025 年，累计装机并网容量将超过 6000 万千瓦。

表 4：“十四五”期间部分地方海上风电规划情况

省份	“十四五”海上新增并网 (投产) 容量	“十四五”海上开工规模	到 2025 年累计并网 (投产) 容量
江苏	909	1212	1500
浙江	500	996	500
福建	410	1030	600
广东	1700	1700	1800
山东	800	1000	500
上海	30		60
辽宁	50		290
广西	300	500	300

海南	200	1100	200
天津	90	90	
河北		300	500 (到 2027 年)
合计	4989	7928	约 6000

二、 中国海上风电市场现状

(一) 市场总体发展情况

我国海上风电起步较晚，但近年来发展迅猛，成效显著。“十三五”期间，我国海上风电年实现了规模化发展。进入“十四五”，受政策调整影响，2021 年装机规模创历史新高，达到了 16.49GW。

2022 年，我国海上风电市场由“抢装潮”回归稳步增长态势，虽较 2021 年有明显下降，但比 2019 和 2020 年仍呈现出显著增长，市场整体发展保持向上增长趋势。

据统计，2022 年我国新增海上风电并网容量 5.05GW，占当年全国风电新增并网容量的约 13.4%；占全球海上风电新增市场份额的近六成，连续第五年位居全球新增规模的首位。截止 2022 年底，我国海上风电装机累计并网容量达到 30.46GW，占全国风电累计并网容量的 8.5%；占全球海上风电累计市场份额的一半左右，连续第二年位居全球累计规模的首位。

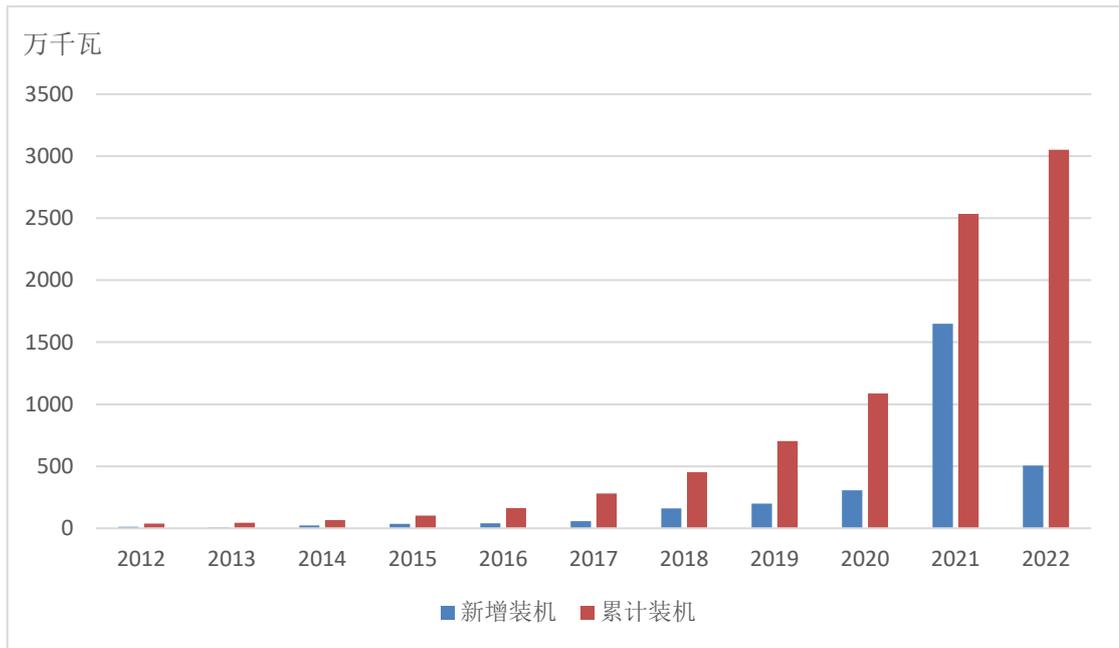


图 8：历年中国海上风电装机容量

(二) 海上风电成本变化情况

经过多年发展，我国海上风电在技术研发、工程建设和运营等方面不断取得进步，海上风电项目成本总体呈现下降的趋势。2009年，我国第一个近海项目——上海东海大桥风电场一期 102MW，该项目单位千瓦造价超过 2.3 万元；之后，江苏省海上风电开发建设步伐加快，截至 2020 年底，60% 的海上风电分布在江苏，江苏省海上风电成本下降趋势明显，单位千瓦造价下降至 1.5 万元左右。

受电价政策的影响，2020 年及 2021 年我国海上风电进入抢装潮，导致国内海上风电项目造价成本出现大幅增长。2021 年江苏以北地区海上风电建设成本约每千瓦 17000 元，而在福建及粤东地区，海上风电建设成本仍高达每千瓦 19000 元。

随着抢装潮的结束，以及风机设备和配套设施生产制造和服务供应能力的提升，我国海上风电的造价成本逐渐恢复至略低于抢装潮前

的水平，维持在 11500-14000 元/千瓦。

除政策因素对海上风电价格造成的影响外，我国海上风电成本受其他因素影响也较大，包括我国近海风资源相较于欧洲国家差，单机容量较国外平均单机容量小，关键零部件依赖进口，安装施工设备限制等。今后为进一步降低成本降低和实现平价，仍需在技术研发、制造能力、配套产业和运营维护等方面作出更大努力。

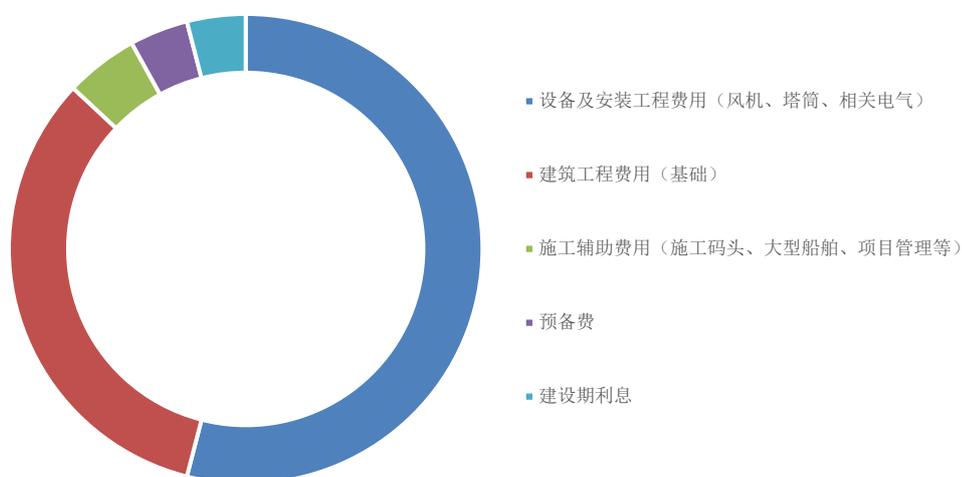


图 9：海上风电项目投资组成占比情况

（三）整体开工规模情况

从整体开工规模看，2022 年，全国在建和全部并网的海上风电项目超过 35 个项目，项目规模超过 18GW。主要分布在广东（52%），山东（15.5%），海南（15%）、浙江（8.2%）、江苏（5.5%）、辽宁（2.5%）、福建（1.6%）。

2022 年共有 7 个项目全容量并网，总容量达到 3.4GW，其中广东有 3 个项目，山东有 4 个项目。海上风电公开招标量近 2000 万千瓦，

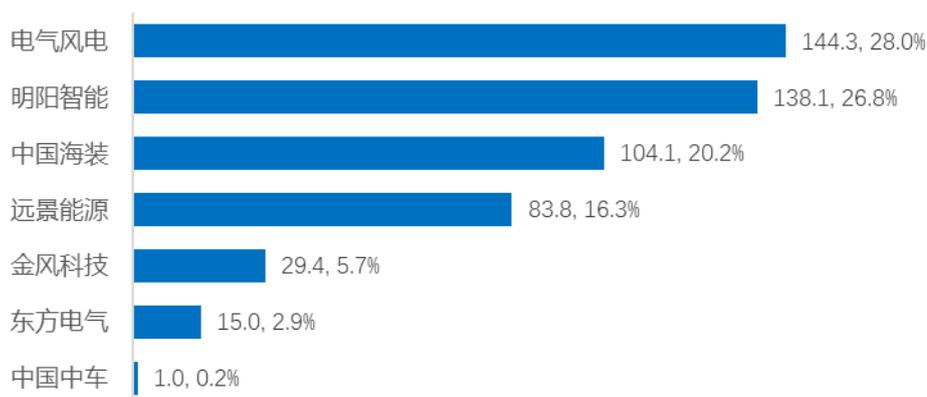
其中包括已经开工的项目。从海上风电机组招标价格看，全年招标的机组价格基本稳定在 3500-4000 元/千瓦（含塔筒）。

三、 中国海上风电供应侧现状

（一） 风电机组制造商情况

2022 年为中国海上风电项目新增装机提供风电机组的制造企业共七家，其中，电气风电新增装机 170 台，容量为 144.3 万千瓦，占比为 28%，位居第一；其次为明阳智能、中国海装、远景能源、金风科技、东方电气和中国中车。七家企业合计占总新增份额的约 85%。

单位：万千瓦

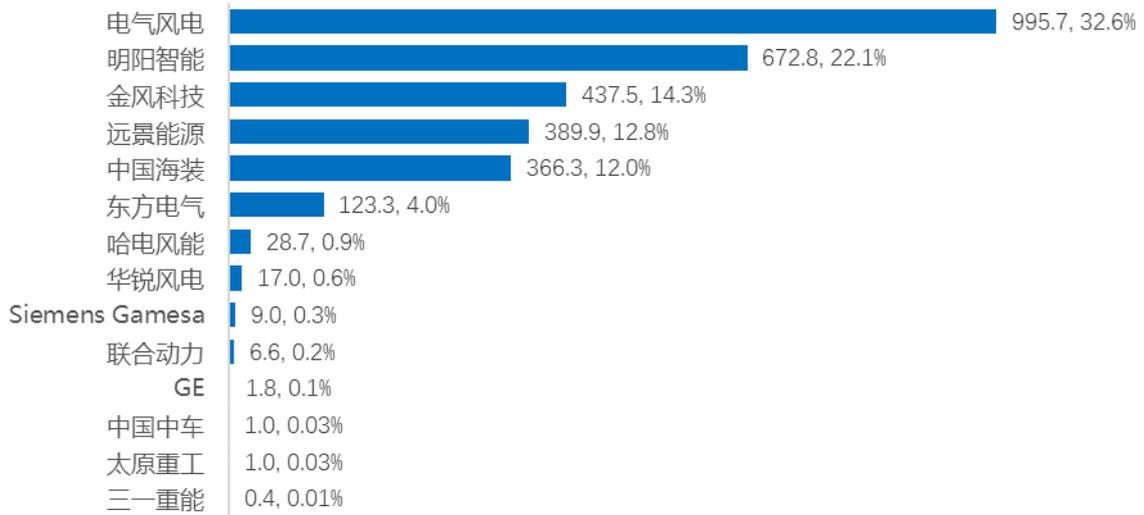


数据来源：CWEA

图 10：2022 年中国海上风电制造企业新增装机容量及占比

截至 2022 年年底，全国海上风电整机制造企业共 14 家。其中，海上风电累计装机容量超过 100 万千瓦的整机企业有电气风电、明阳智能、金风科技、远景能源、中国海装和东方电气 6 家企业的海上风电累计装机容量均超过 100 万千瓦，合计容量近 3000 万千瓦，占海上累计装机容量的 97.8%。

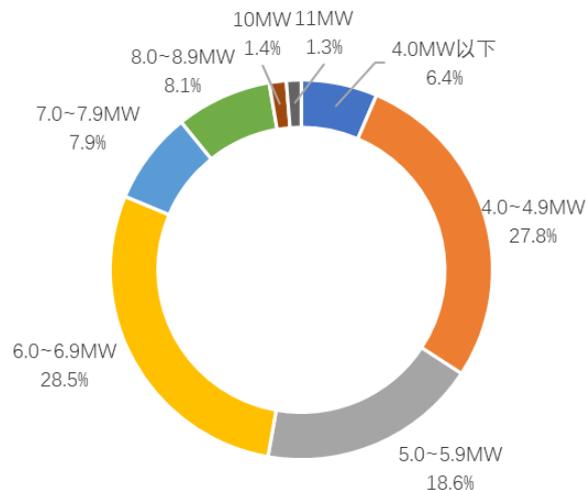
单位：万千瓦



数据来源：CWEA

图 11：2022 年中国海上风电制造企业累计装机容量及占比

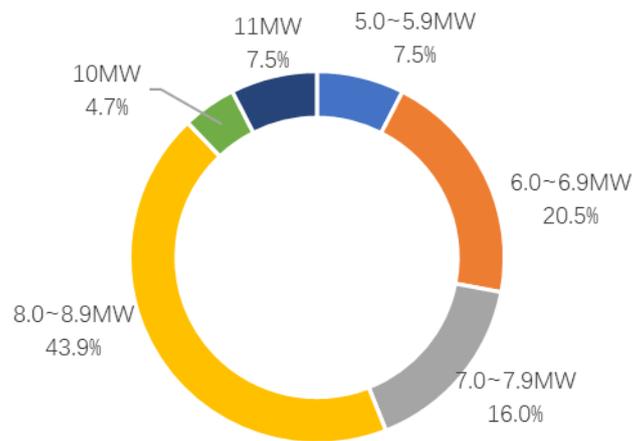
截止到 2022 年年底，国内海上风电机组单机容量仍集中在在 4MW~8MW 之间。其中 4~4.9MW、5~5.9MW、6~6.9MW 占比最高，分别为 27.8%、18.6%和 28.5%。7.0MW 至 8.0MW（不含 8.0MW）海上风电机组累计装机容量占全部海上累计装机容量的 7.9%。10MW 及以上累计装机容量占全部海上累计装机容量的 2.7%。



数据来源：CWEA

图 12：截至 2022 年年底海上风电不同单机容量累计装机占比

2022 年新增吊装的海上风电机型中，主流风机正逐步由 6MW 级迈向 8MW 级及以上。单机容量在 8.0MW 至 9.0MW（不含 9.0MW）风电机组新增装机容量占比最高，达到 43.9%。2021 年占比最大的 6.0MW 至 7.0MW（不含 7.0MW）风电机组新增装机容量占降至 20.5%。2022 年，新增吊装最大单机容量由 2021 年 10MW，提升到 11MW，新增装机容量占比达到 7.5%。



数据来源：CWEA

图 13：2022 年海上风电不同单机容量新增装机占比

（二） 开发商装机情况

据中国风能协会统计，2022 年我国共有 15 家海上风电开发企业有新增装机。前五位包括国电投、中广核、山东能源、福能和华能集团，占全国新增装机总规模的 69.6%。其中，国电投新增规模超过 100 万千瓦，达到 104.8 万千瓦；中广核和山东能源新增规模均超过 90 万千瓦。

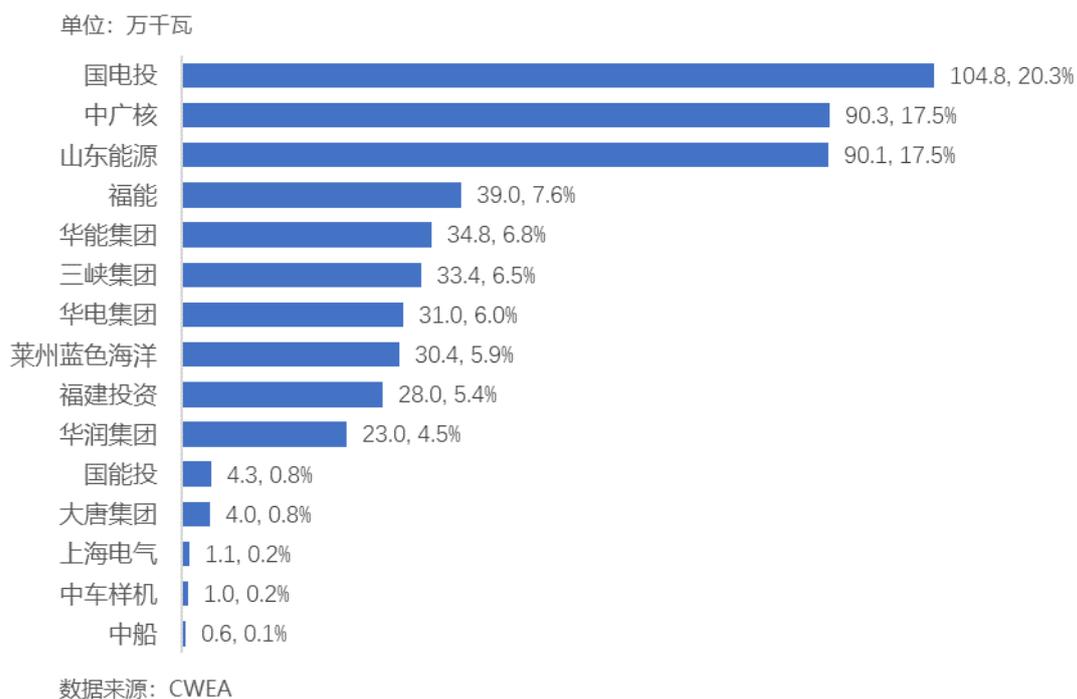
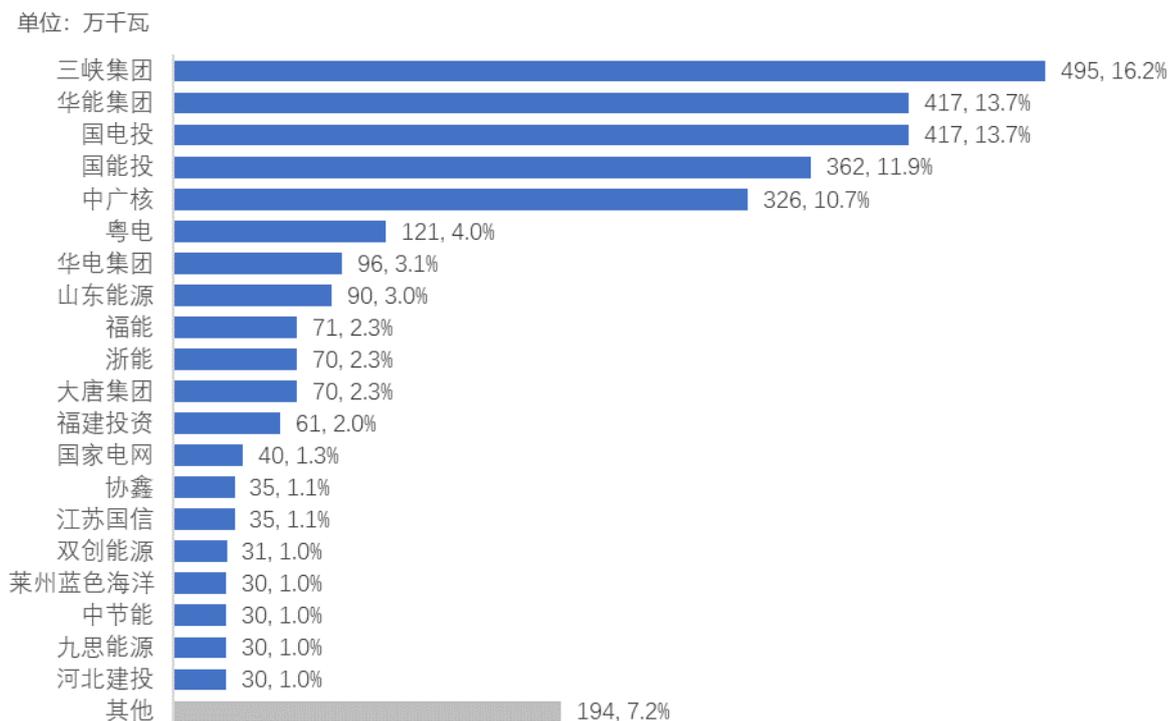


图 14：2022 年海上风电开发企业新增装机容量及占比

截止 2020 年底，我国海上风电开发企业共计 37 家。其中，累计装机容量达到 100 万千瓦以上共 6 家，分别为三峡集团、华能集团、国电投、国能投、中广核和粤电，6 家企业海上风电累计装机占到了全国总装机容量的七成。



数据来源：CWEA

图 15：截至 2022 年年底海上风电开发企业累计装机容量及占比

(三) 海上风机技术情况

机组研发能力不断提升，大容量机组与国际水平差距缩小。目前我国已经形成具有自主知识产权的大兆瓦级风电机组的研发能力。随着自身技术研发、示范以及商业推广的开展，我国海上风机与世界先进水平的差距正在进一步缩小。

在 2022 年末，我国海上风电单机容量突破全球水平。2022 年末至 2023 年初，单机容量为 16MW 和 18MW 风电机组分别下线。其中，2022 年 11 月，金风科技与三峡集团合作研发的 16MW 海上风电机组在福建三峡海上风电国际产业园成功下线；2023 年 1 月，中国海装自主研发的 H260-18MW 海上风电机组研制成功，单机功率最大、风轮直径最大的全球纪录，再次被刷新。

叶片方面，为了提升发电量，海上风电机组单机容量持续增长，风轮直径将达到 200 米以上，当前我国大部分主流风机叶片长度为 100 米左右。2022 年我国拥有 100%自主知识产权、全球最长 123 米的风电叶片完成测试并投入安装使用。超长叶片对材料的强度和刚度提出更加严苛的要求。国内外整机商均在积极推动碳纤维拉挤技术的产业化应用，为未来大叶片成型提供一种新的工艺路线。但是碳纤维价格昂贵，需要在进一步提高风电机组叶片材料性能和增强材料的负担性等方面的研发方面继续作出更大努力。同时，考虑到传统叶片回收面临的挑战，探寻出一条降低风电行业对环境的影响，促进行业自身实现碳中和的可行解决方案也尤为重要。

主轴承方面，在大型轴承的设计、制造、安装等方面存在挑战。一是大兆瓦主轴承轴外圈直径一般超过 2 米，与铸件情况类似，超出了大部分市场上的主轴承机床的装载能力；二是主流供应商集中于 SKF 和 FAG 两家，产能紧张；三是国内主轴承供应商短期无法具备此类轴承的设计和加工能力。尤其是在直驱机型的 TRB 方面，目前 6MW 以上的海上风电直驱机型的主轴轴承的外径已突破 4 米，全球范围内的产品供应商较少，国内市场主要依赖海外品牌。

双 SRB 技术可能是海上风电机组大轴承配置解决方案，主轴承外径在 1.5 米以内，足够支撑到 5-6 兆瓦机组，在拥有全球充沛的供应链的基础上，已经实现了本地供应商的设计和生产。相比之下，双 TRB 技术要做到支撑 6 兆瓦以上，加工直径要增加到 2-4 米，产能不足双 SRB 技术的一半。唯有解决大轴承设计、制造和安装技术以及供应链

挑战，中国海上风电才能实现自主、可持续健康发展。

(四) 深远海风电技术发展现状

漂浮式海上风电机组。继“三峡引领号”后，2022年，由中国海装牵头自主研发深远海浮式风电装备“扶摇号”6.2MW完成总装，并在水深达65米的广东湛江罗斗沙海域进行示范应用。2023年初，中海油“海油观澜号”浮式机组已经下线，在珠海总装完后将拖航到海南进行安装，将在距离岸边136千米的120米深水处安装当前最大单机容量7.25兆瓦的“海油观澜号”，这是我国深远海风电开发迈出的关键一步。我国漂浮式风电进入样机示范阶段。

输电线路方面。浙江台州35千伏柔性低频输电示范工程的首台20赫兹低频风机实现并网，标志着国内首个柔性低频输电项目建设再次取得突破性进展，陆地—海岛—风电的互联系统构建完成；同时，为开发80~200千米中远海丰富的风力资源提供了更加经济高效的输送手段。

大吨位级别施工安装平台。两艘1200吨自升自航式海上风电安装平台的签约，还有两艘1600吨自升自航式海上风电安装平台已经开工建设。2000吨级海上风电安装平台正式交付。新一代深远海大兆瓦海上风电机组安装平台开始制作仪式，可变载荷超10000吨，起重能力可满足16-20MW级风电机组安装及深水风机导管架基础施工等需求。

第三章、海上风电发展展望

一、 逐步向大型化、深远海、融合型发展

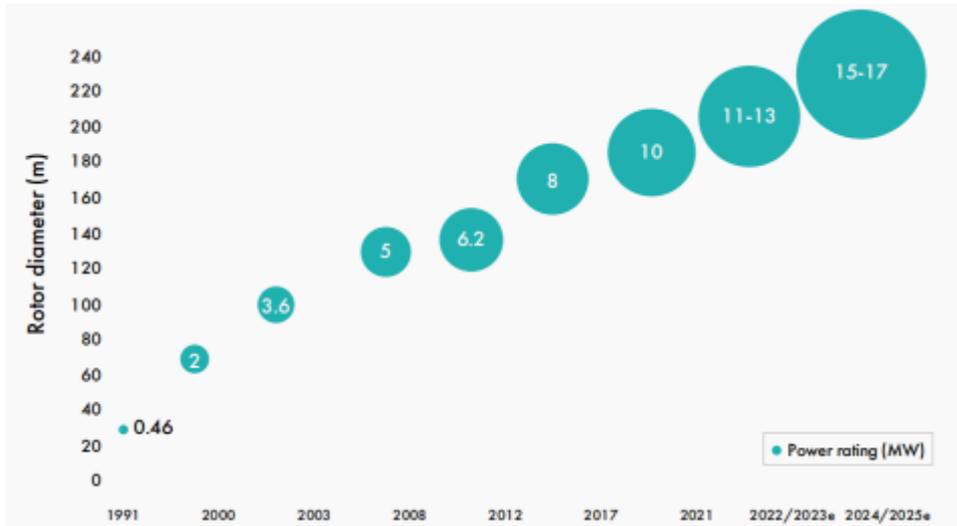
(一) 大兆瓦级机组

在过去二十年中，海上风电得到快速发展，单机容量也在不断增大。虽然大型风机成本更高，但风电机组功率、叶轮直径、塔架高度、容量系数的提高意味着年发电量的提高，并且由于同等规模风场，在使用大型机组后，机组数量减少，在基础、电缆、安装及运营上的投入都会降低，从而整体降低了风电度电成本。

2018年，三菱重工-维斯塔斯发布全球风电史上首个10 MW风电机组，标志着风电行业由此迈入10 MW时代。随后，各大风机制造商陆续推出大兆瓦级机组。其中，GE可再生能源推出Haliade X直驱风电机组，该系列风电机组有12MW、13MW及14MW三种功率。西门子歌美飒在2020年发布了SG14-222型直驱风电机组，最大功率可达15 MW，将于2024年投入商业运营。2021年维斯塔斯推出V236-15MW风电机组，计划于2024年实现批量生产，未来功率可以提升到17 MW。中国国内海上风机最大单机容量已达到16MW。

未来海上风电机组能达到的尺寸上限与多个因素有关，包括风电机组技术的创新、传动链的优化、新材料和新技术的应用、监管以及运输和安装的限制。全球海上风电的先行者Henrik Stiesdal预测下一代风电机组将在2030年之前出现，功率在20 MW左右，叶轮直径达到275米。

海上风电机型的大型化，也给运输、安装以及运维带来了新的挑战。机舱和叶片等部件会变得越来越大，海上风电项目会离岸越来越远，海水深度也在逐步增大，这对港口、船只、设备都提出了新的要求。同时，安装船依然处于供不应求的状态，除了投资建造新的安装船之外，不同开发企业之间共享安装船也成为缓解安装船瓶颈的一个方法。



来源：GWEC

图 16：全球海上风电机组叶轮直径和单机容量发展和预期

（二） 漂浮式海上风电

世界上 80% 的海上风力资源位于水深超过 60 米的海域，为了充分发掘海上风能资源，加快能源转型的步伐，海上风电项目将向深远持续海发展，漂浮式海上风电被视为深远海风能开发的主要技术，在技术研发、试验和商业化方面得到不断探索。

漂浮式技术主要有三种：单柱式（Spar）、半潜式（Semi-sub）和张力腿式（TLP）。单柱式曾经是漂浮式项目的主要技术方案，但半潜式在过去几年发展很快，逐渐成为主流。张力腿式技术在灵活性上有一定优势，但其安装过程复杂，锚链成本高，暂时市场份额较低。

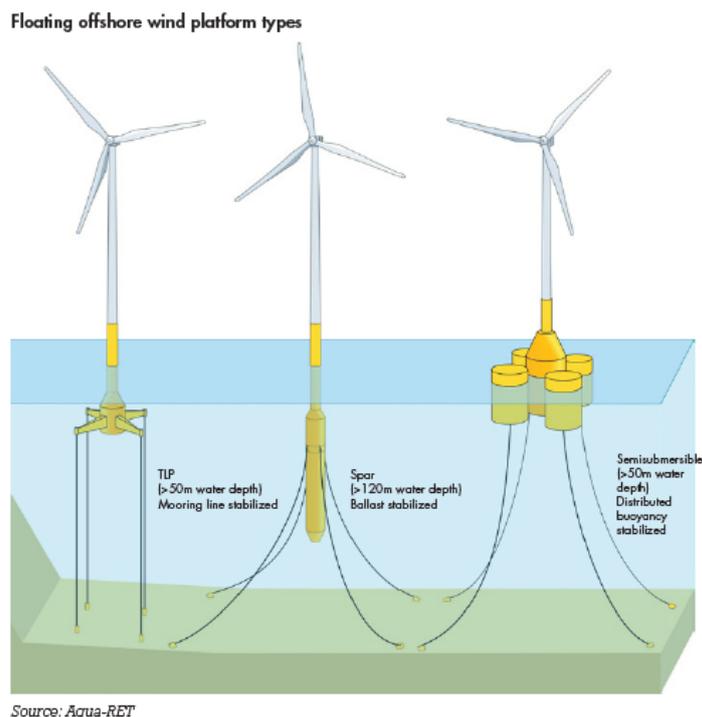


图 17：漂浮式海上风电漂浮技术类型示意图

不同的漂浮式技术多处于示范阶段，由于设备和施工等关键环节的特殊性，漂浮式海上风电平均度电成本相较传统固定式海上风电会高出三倍左右，仍处于商业化的前期，尚未进入产业化阶段。

根据 GWEC 全球漂浮式风电项目数据库的信息，漂浮式海上风电在 2025 年将会有大的发展，届时将有四个 150-200 MW 规模的项目并网，在 2030 年之前将全面实现商业化，届时，全球累计漂浮式海上风电装机可达到 18.9GW，其中欧洲为最大市场，占比约 58%，随后为亚洲和北美洲，占比分别为 29%和 13%。

我国《“十四五”可再生能源发展规划》已明确提出，力争“十四五”期间开工建设中国首个漂浮式商业化海上风电项目，并在资源和建设条件好的区域启动一批百万千瓦级深远海海上风电示范工程。中国漂浮式海上风电也有望在此基础上，向实现漂浮式海上风电进入规模化、商业开发阶段迈进。

(三) Power to X (海上风电制氢)

未来的能源系统需要高比例的可再生能源，也需要能够提供能量存储和灵活响应的技术方案，Power-to-X 将成为具有决定意义的技术之一。Power-to-X 把绿色电力转化成不同领域所需要的能源，使难以电气化的产业也能摆脱对化石燃料的依赖。

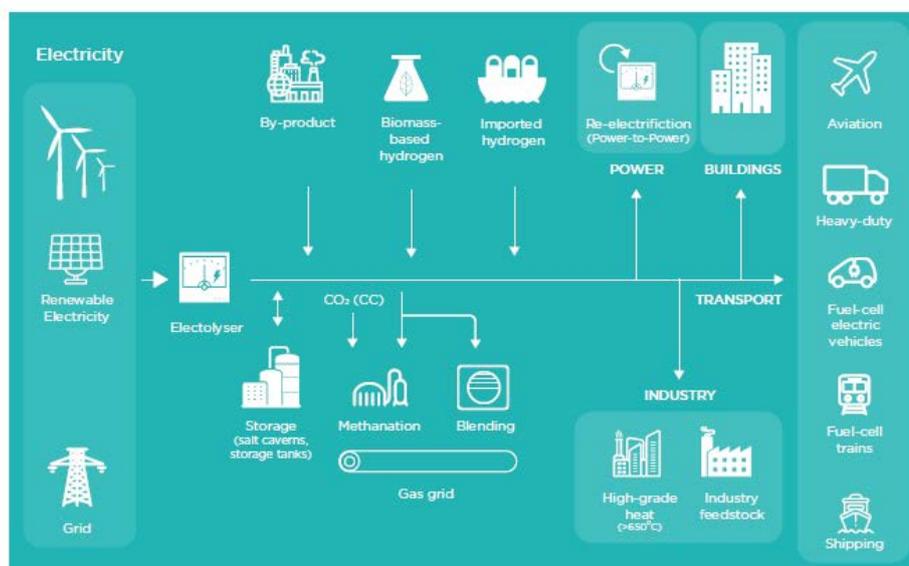


图 18: Power to X 多应用场景

近年来，多个国家把发展氢能写入经济复苏计划以及应对气候变化方案。全球已有 30 多个国家已经发布或正在制定国家氢能战略。使用可再生能源生产绿氢备受关注，其中海上风电凭借其规模大、稳定性强等优势，更是成为研发重点。

英国、德国、荷兰等国家已经开始纷纷布局海上风电制氢，如英国 Dolphyn 项目，计划在英国北海 4GW 的漂浮式风电场使用独立装置生产氢气，计划在 2023 年投运、2026 年前实现在 10 兆瓦机型上制氢。中国的一些地方也正在加快海上风电制氢布局，并探索新的融合发展模式，打造海上风电+制氢+储能+海洋牧场+陆上产业基地的开发利用示范项目。

此外，与通过电缆把电力从海上风电场送到陆地相比，利用海上天然气管线将氢输送到陆地的成本更有竞争力，对于离岸较远的项目，这种成本优势将更加明显。预计 GW 级风电场配合制氢装置的方案将在未来十年内展现出商业可行性。

二、 规模扩大和市场竞争带来成本下降

经过二十多年的发展，海上风电已经成为一种低碳可靠的电力来源，而且将在全球能源转型的过程中扮演重要角色。根据彭博新能源财经（BNEF）的分析，全球海上风电的度电成本，在 2012 年的最高位到 2020 年间下降了约三分之二（由 0.255 美元/千瓦时降到 0.083 美元/千瓦时），预计到 2025 年会降到 0.058 美元/千瓦时，较当前水平下降 30%（如图所示）。

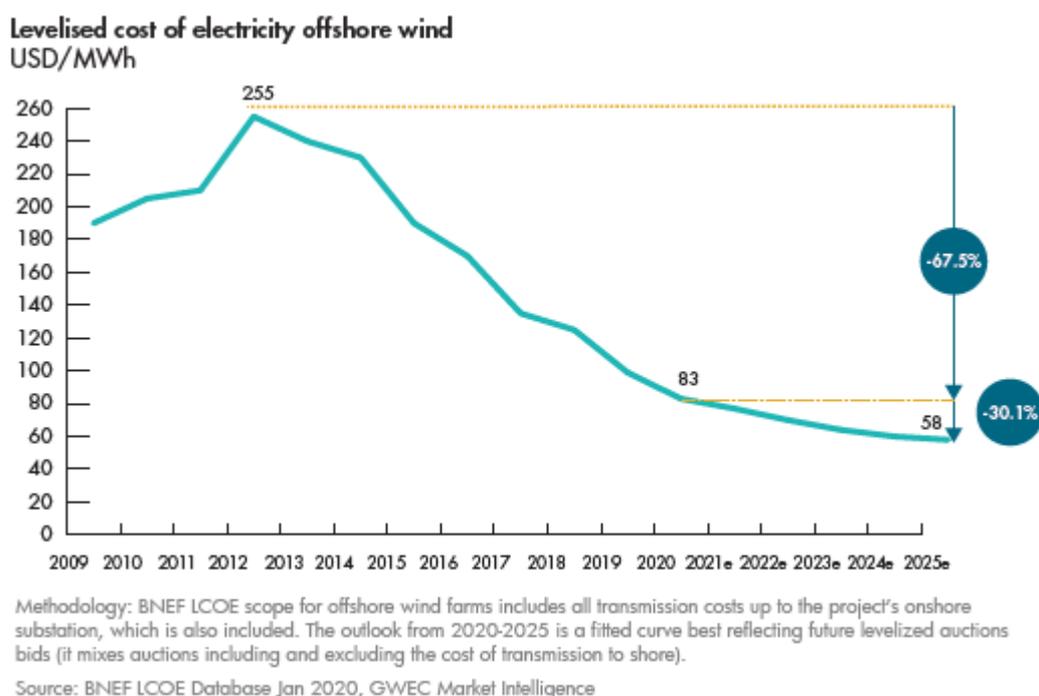


图 19：海上风电 LCOE（美元/MWh）变化及预测情况

成本下降的原因主要包括了：海上风电机组大型化、海上风电场的规模化（GW 级项目出现）、资本成本（cost of capital）的下降、以及大型油气公司参与下带来的技术进步和更加激烈的市场竞争。

从更长周期来看，未来海上风电成本下降趋势虽有所放缓，但将继续保持降低。据国际能源署（IEA）发布的《2050 零碳排放-全球能源系统路线图》报告预测，海上风电的成本在 2050 年大约在 0.025 到 0.04 美元/千瓦时的水平（不同地区成本会有差异）。

三、 转型需求和市场范围扩大创造更大发展空间

随着海上风电 LCOE 的急剧下降、欧美和亚洲主要市场海上风电发展目标的增加、漂浮式海上风电可预期的商业化和工业化发展，以及海上风电在促进跨行业合作、加速全球能源由化石燃料向可再生能源过渡方面发挥的独特作用，全球海上风电发展规模将会迎来更大的发展空间。

根据 GWEC 分析，预计到 2027 年，全球海上风电新增装机容量将达到 2022 年的四倍以上，达到 35.5GW。2023-2027 年间全球海上风电装机容量将接近 130GW，海上风电在未来五年的年复合增长率可达到 14.5%。而为了实现全球温升控制在 1.5°C 的目标，IEA 与 IRENA 也做出了相应的需求测算，对于海上风电而言，到 2050 年其规模需达到 2000GW，相当于当前全球海上风电累计装机规模的 31 倍。

分区域看，在亚洲，中国仍将是未来五年中海上风电最大的市场，其次是中国台湾地区、越南、日本和韩国。在欧洲，受低碳转型和能源安全的强烈需求影响，海上风电将继续快速增长，东欧国家也将在 2024 年安装新项目。在美国，在拜登政府的支持下，2023 年将启用第一批公用事业规模的海上风电项目(超过 800MW)，之后预计将建造 GW 规模的海上风电项目。

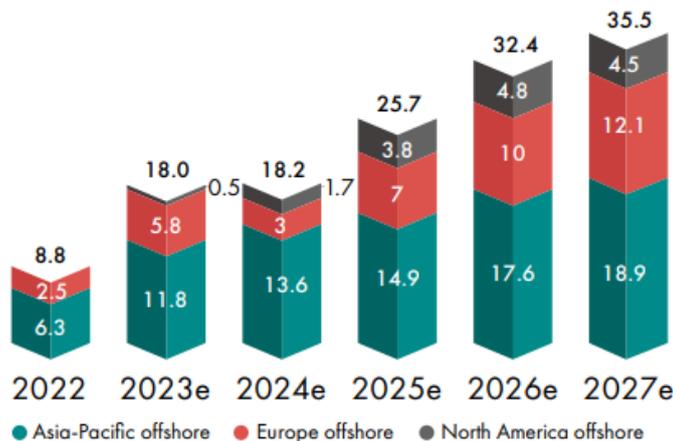


图 20：全球不同地区海上风电新增装机规模展望（GW）

四、 重视产业链保障、规避供应环节瓶颈

正如报告前文所述，全球海上风电未来发展极具潜力，而如此巨大的市场更加需要稳定、充足的产业制造和供给能力作为支撑。各国也意识到产业链建设的重要性，特别是本地制造能力的提升。如美国出台的《通胀削减法案》（IRA）、欧盟提出的“REPower EU”计划和《净零工业法》等，都旨在加强对绿色能源产业供应链的激励，打造更具韧性的供应链系统，但过于强烈和严格的本地化要求，甚至保护主义贸易措施的实施将导致成本上升，以及加重清洁能源设备供应短缺的风险，势必影响包括海上风电在内的新能源的发展和本已较为严峻的能源转型进度。

根据 GWEC 的研究显示，虽然在短期内，欧美并不会出现海上风机设备短缺问题，但随着各国发展规模的不断提速，预计 2025 年起，北美地区和欧洲地区海上风机的制造组装能力将陆续不能应对预期的增长需求。此种情况也将随后发生在除中国外的亚洲其他地区，甚至拉美国家。

为了应对可以预见的供应链危机，一方面需要从现在开始加大在全球范围内对海上风电等新能源产业供应链的投资，以满足需求的快速增长；另一方面，要不断完善产业生产转移和贸易政策，避免由此造成的产业发展困境，影响各国及全球应对气候变化目标的实现。