

行业深度报告

漂浮式海上风电：商业化气息渐浓，潜在的新兴赛道

强于大市（维持）

行情走势图



相关研究报告

《行业深度报告*电力设备*海上风电之塔筒/管桩：单位价值量不减，出口潜力加成》2022-02-17
 《行业深度报告*电力设备*海上风电之海缆：需求高增，格局清晰，优质成长赛道》2022-01-24
 《行业深度报告*电力设备*海上风电：平价窗口临近，迈向主力电源》2021-12-28
 《行业深度报告*电力设备*风电机组：格局变迁，成本要素凸显》2021-10-14

证券分析师

皮秀 投资咨询资格编号
 S1060517070004
 010-56800184
 PIXIU809@pingan.com.cn



平安观点：

- **资源禀赋决定漂浮式海上风电大有可为。**深远海的区域面积大、风资源好，可开发潜力大；研究显示，全球大部分风资源位于水深超过 60 米的海域。在迈向深远海时，传统的固定式基础海上风电在技术和经济上面对的挑战增加，水深越大，固定式海上风机基础的材料用量越多，且施工难度也会提升；一般认为，当水深超过 60 米，漂浮式技术方案较固定式更为适用。
- **仍处发展初期，示范项目投产节奏加快。**2009 年以来，漂浮式海上风电已经通过多个样机和小型试验风电场的验证，证实了技术的可行性，目前漂浮式海上风电基础技术方案仍未定型，新的技术方案持续涌现。截至 2021 年底，全球已经投运的漂浮式海上风电场共 3 个，均属于试验性的小型风电场，合计规模约 105MW；由挪威国家石油公司 Equinor 投资的首个商业化项目 Hywind Tampen 将于 2022 年投运，未来两年将有多个小型漂浮式风电场投入运行。2021 年国内首个漂浮式海上风电平台“三峡引领号”在广东阳江投运，后续还将有多个样机投运，国内企业的入场有望加速全球漂浮式海上风电的发展。
- **降本空间较大，商业化发展可期。**尽管成本依然较高、商业化尚需时日，漂浮式海上风电具有较清晰的降本路径，单体规模的提升和单机容量的增加被认为是漂浮式海上风电降本的重要抓手。基于海洋工程和固定式海上风电的积累，漂浮式海上风电具有较好的供应链基础，未来具备快速降本的潜力，近期主要国家海上风电项目用海权招标情况也反映了海上风电向漂浮式发展的趋势。按照全球风能协会的预测，从 2026 年开始，漂浮式海上风电进入新增装机达到 GW 级的商业化阶段，欧洲、中日韩和美国将主导全球漂浮式海上风电市场。
- **投资建议。**漂浮式海上风电的核心制造环节包括风电机组、浮式基础、系泊系统和动态海缆，其中后三者与传统的固定式海上风电差别明显，随着漂浮式海上风电的逐步兴起，这些环节的相关企业有望迎来大的发展机遇。基于当前的供货业绩等情况，建议重点关注动态缆环节的东方电缆，系泊系统环节的亚星锚链，半潜浮式基础的浮筒的潜在供应商大金重工，以及风电机组供应商明阳智能。
- **风险提示：**1、漂浮式海上风电的降本速度可能不及预期。2、在迈向商业化的过程中，漂浮式海上风电的发展依赖政策支持，存在政策支持力度不及预期的风险。3、如果采用固定基础的海上风电技术进步超预期，可能延缓漂浮式海上风电的商业化进程。

股票名称	股票代码	股票价格		EPS			P/E				评级
		2022-03-21	2020A	2021E	2022E	2023E	2020A	2021E	2022E	2023E	
东方电缆	603606.SH	55.20	1.29	1.91	1.92	2.47	42.8	28.9	28.8	22.3	推荐
大金重工	002487.SZ	33.06	0.84	1.27	1.53	2.04	39.4	26.0	21.6	16.2	推荐
明阳智能	601615.SH	24.69	0.7	1.55	1.61	2.05	35.3	15.9	15.3	12.0	推荐
亚星锚链	601890.SH	7.61	0.09	0.13	0.2	0.31	84.6	58.5	38.1	24.5	未评级

资料来源: Wind, 平安证券研究所

正文目录

一、	资源禀赋决定漂浮式海上风电大有可为.....	6
二、	仍处发展初期，示范项目投产节奏加快.....	7
	2.1 单台样机大量涌现，技术路线多元.....	7
	2.2 示范性风电场逐步投产，后续投产节奏有望加快.....	9
	2.3 国内已开启样机试运行阶段.....	12
三、	降本空间较大，商业化发展可期.....	14
	3.1 降本路径较为清晰，成长潜力较大.....	14
	3.2 制造环节与固定式海风有较明显不同.....	17
四、	投资建议.....	19
五、	风险提示.....	19

图表目录

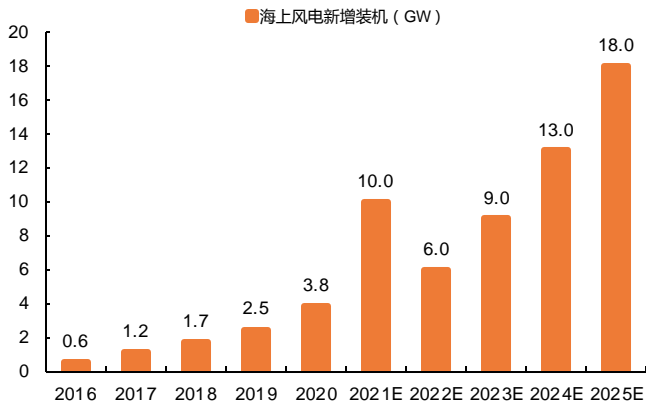
图表 1	国内海上风电新增装机规模预测.....	6
图表 2	海外市场海上风电新增装机规模预测（GW）.....	6
图表 3	欧洲近年海上风电项目水深趋势.....	6
图表 4	不同水深区域的海上风电开发潜力估算.....	6
图表 5	广东拟新建的海上风电项目的水深情况.....	7
图表 6	阳江近海深水场址拟建海风项目区位布局情况.....	7
图表 7	适应不同水深的海上风电基础结构示意图.....	7
图表 8	应用于油气领域的各类基础平台.....	8
图表 9	历年建成投运的漂浮式海上风电样机.....	8
图表 10	典型半潜式基础以及其他新型的半潜式基础.....	9
图表 11	新型的立柱式基础示意图.....	9
图表 12	新型张力腿式基础及其他新型基础示意图.....	9
图表 13	历年建成投运的漂浮式海上风电场.....	10
图表 14	Hywind Scotland 项目示意图.....	10
图表 15	Hywind Tampen 给油气平台供电示意图.....	11
图表 16	WindFloat Atlantic 项目示意图.....	11
图表 17	WindFloat Atlantic 和 WindFloat 1 的参数对比.....	11
图表 18	WindFloat 漂浮式技术方案的演进过程.....	12
图表 19	未来两年即将投运的漂浮式海上风电项目情况.....	12
图表 20	三峡引领号的工程进度.....	13
图表 21	三峡引领号基础.....	13
图表 22	海装扶摇号基础.....	13
图表 23	Equinor 规划的漂浮式海上风电成本下降曲线.....	14
图表 24	WindFloat 机组大型化前后对比.....	14
图表 25	挪威船级社预测的漂浮式海上风电成本下降曲线.....	15
图表 26	主要国家漂浮式海上风电发展规划和动态.....	15
图表 27	苏格兰海上风电首轮用海权招标的中标项目情况.....	16
图表 28	全球漂浮式海上风电新增装机预测（MW）.....	17
图表 29	GWEC 预测的 2030 年全球漂浮式新增装机分布（MW）.....	17
图表 30	漂浮式海上风电场示意图.....	17
图表 31	动态海缆系统示意图.....	17
图表 32	三峡引领号工程总包招标包含的具体内容.....	17
图表 33	典型漂浮式海上风电项目的主要设备供应商情况.....	18

图表 34	中海油深远海浮式风机国产化研制及示范应用项目主设备招标情况	18
图表 35	惠生海工 W.SEMI 漂浮式海上风电基础平台参数.....	19

一、资源禀赋决定漂浮式海上风电大有可为

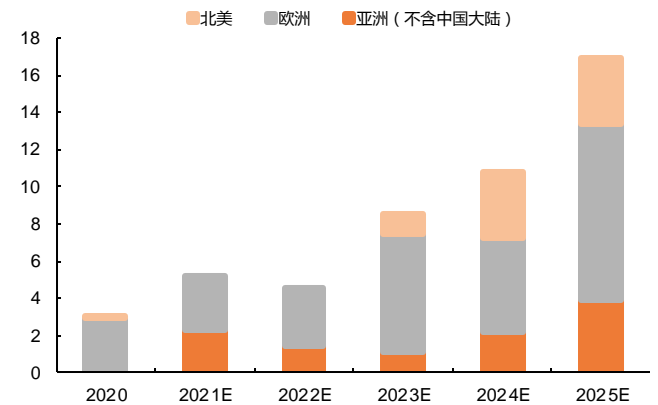
海上风电全面平价，步入大规模开发阶段。国内方面，从 2022 年开始，中央财政补贴全面退出，风机的大型化等方面技术进步推动海上风电投资成本的快速下降，参考近期各地海上风电项目 EPC 招标情况，国内新建海上风电平价项目基本具备合理的投资回报率；海外方面，近两年欧洲新招标的海上风电项目均为零补贴项目。整体来看，当前基于固定式基础的海上风电逐步成熟，步入大规模开发阶段。

图表1 国内海上风电新增装机规模预测



资料来源: CWEA, 平安证券研究所

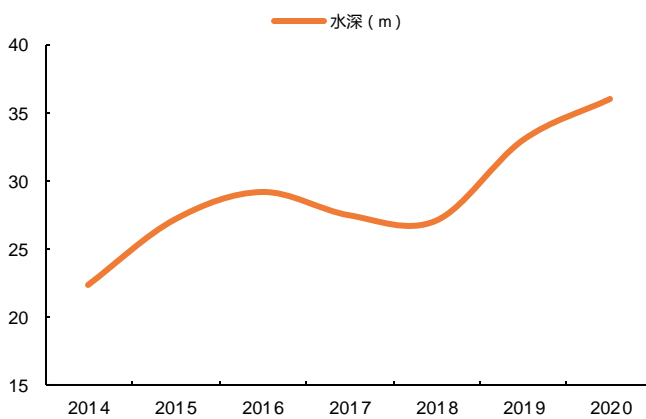
图表2 海外市场海上风电新增装机规模预测 (GW)



资料来源: GWEC, 平安证券研究所

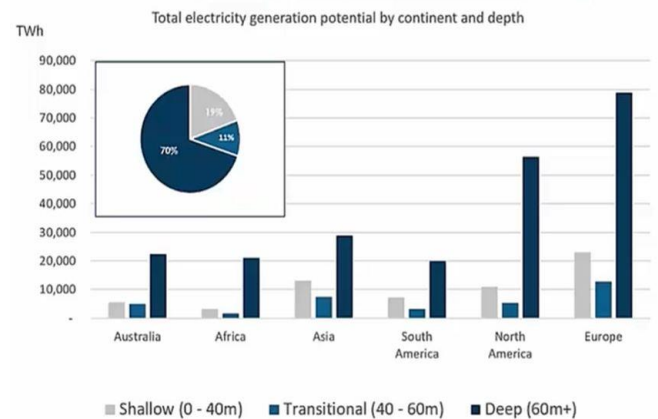
海上风电发展已呈现深水化特点，深海风资源更为丰富。海上风电的开发一般是从近海向深远海逐步推进，以欧洲为例，近年海上风电项目的水深持续增大，2020 年欧洲在建海上风电项目平均水深 36 米，预计未来将进一步增加。从资源量的角度，深远海的区域面积大、风资源好，可开发的潜力大；研究显示，全球大部分风资源位于水深超过 60 米的海域。

图表3 欧洲近年海上风电项目水深趋势



资料来源: WindEurope, 平安证券研究所

图表4 不同水深区域的海上风电开发潜力估算



资料来源: DNV, 平安证券研究所

国内海上风电开发已经拓展至超过 40 米水深的区域。目前广东新建的海上风电项目主要集中在阳江近海，三峡青洲五六七、粤电青洲一二、明阳青洲四等大型海风项目均处于在建状态，整体看阳江海上风电的开发已经从近海浅水区向近海深水区延伸，这些项目的平均水深基本达到 40 米以上。在江苏市场，2022 年 1 月，江苏省发改委发布《关于江苏省 2021 年度海上风电项目竞争性配置结果的公示》，射阳 100 万千瓦海上风电项目、大丰 85 万千瓦海上风电项目、大丰 80 万千瓦海

上风电项目场址中心离岸距离分别达到 60km、33km、67km，明显高于已建成常规项目的离岸距离，而离岸化往往对应深水化。

图表5 广东拟新建的海上风电项目的水深情况

项目名称	容量 (MW)	水深 (m)	基础类型
中广核汕尾甲子一	500	30-35	单桩+四桩导管架
中广核汕尾甲子二	400	33-39	单桩+四桩导管架
中广核阳江帆石一、帆石二	2000	38-50	试桩采用导管架
三峡阳江青洲五	1000	46.5-52.5	四桩导管架
三峡阳江青洲六	1000	45 (平均值)	四桩导管架
三峡阳江青洲七	1000	45-53	四桩导管架
粤电阳江青洲一	400	35-38	四桩导管架
粤电阳江青洲二	600	37-43	四桩导管架
明阳阳江青洲四	500	43-46	四桩导管架+漂浮式

资料来源：广东发改委，平安证券研究所

图表6 阳江近海深水场址拟建海风项目区位布局情况



资料来源：阳江发改委，平安证券研究所

图表7 适应不同水深的海上风电基础结构示意图



资料来源：BSEE，平安证券研究所

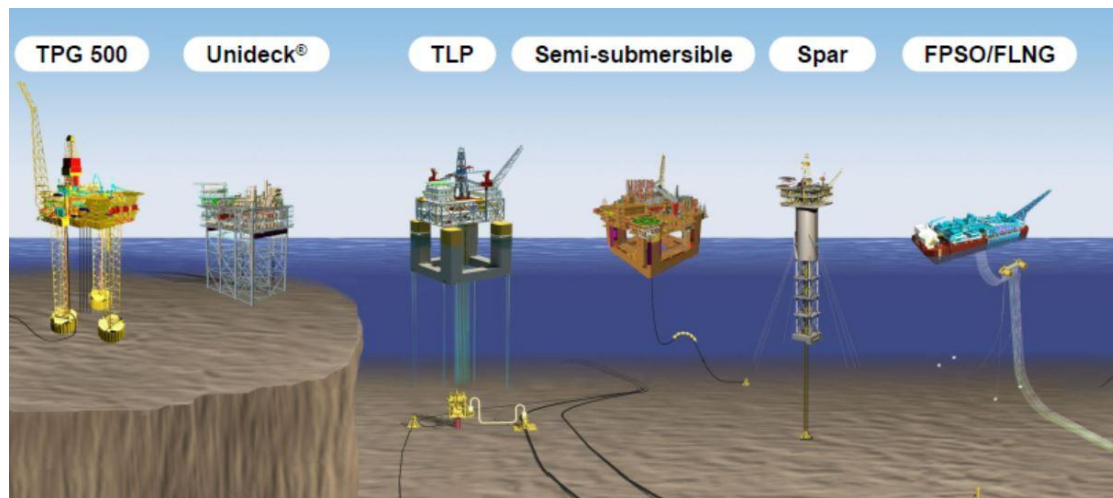
漂浮式助力深远海海上风电开发。在迈向深远海时，传统的采用固定式基础的海上风电在技术和经济上面对的挑战增加，水深越大，固定式海上风机基础的材料用量越多，且施工难度也会提升；一般认为，当水深超过 60m，漂浮式较固定式更为适用。此外，漂浮式基础通过系泊系统与海床相连，摆脱了复杂海床地形以及复杂地质的约束，受水深影响小，且同一海域的若干台风机基础可做成标准型式，可以大幅提高建造效率、降低开发成本，运维也较为便利。在全球能源低碳转型的大背景下，基于海上风电的资源禀赋情况，漂浮式海上风电的兴起或许只是时间问题。

二、 仍处发展初期，示范项目投产节奏加快

2.1 单台样机大量涌现，技术路线多元

漂浮式基础概念来源于深海油气开发平台，主要包括四大类型。漂浮式海上风电的设计思路很大程度借鉴了油气领域的技术积累，目前漂浮式海上风电的基础类型主要包括四大类，分别是半潜式 (Semi-sub)、单柱式 (Spar)、张力腿 (TLP) 和驳船式 (barge)，这些基础形式在油气领域比较常见。除了基础，漂浮式海上风电动态缆绳等环节的设计也都吸收了海洋油气平台的工程经验。

图表8 应用于油气领域的各类基础平台



资料来源: technip, 平安证券研究所

全球首个漂浮式海上风电样机 2009 年投产，近年样机推出速度加快。2009 年，挪威国家石油公司 Equinor 率先开展了全球首台海上浮式风机样机实测项目，该项目采用单柱型基础，距离挪威西南海岸线 10km 处，单机容量 2.3MW，水深约 200m，总投资约 4 亿挪威克朗。之后，葡萄牙、日本、法国、西班牙、韩国、中国等国家也纷纷推出漂浮式样机，近期漂浮式样机的推出速度明显加快。

图表9 历年建成投运的漂浮式海上风电样机

项目名称	海域	投运时间	技术开发者	技术方案	浮式基础类型	容量
Hywind Demo	挪威	2009	Equinor	Hywind	立柱式	2.3MW
WindFloat 1 (已拆除)	葡萄牙	2011	Principle Power	WindFloat	半潜式	2MW
Fukushima Forward phase 1	日本	2013	Mitsui Engineering & Shipbuilding	Semi-Sub	半潜式	2MW
Kabashima (已拆除)	日本	2013	Toda Corporation	Hybrid Spar	立柱式	2MW
Fukushima Forward phase 2	日本	2015	Mitsubishi Heavy Industries	V-Shape Semi-Sub	半潜式	7MW
Fukushima Forward phase 3	日本	2016	Japan Marine United	Advanced Spar	立柱式	5MW
Sakiyama	日本	2016	Toda Corporation	Hybrid Spar	立柱式	2MW
Floatgen	法国	2018	IDEOL	Damping Pool	半潜式	2MW
IDEOL Kitakyushu Demo	日本	2018	IDEOL	Damping Pool	半潜式	3MW
Ulsan Demo	韩国	2020	Mastec Heavy Industries	Semi-Sub	半潜式	0.75MW
Tetraspar Demonstration	挪威	2021	Steisdal Offshore Technologies	Tetraspar	立柱式	3.6MW
三峡引领号	中国	2021	惠生海工	w.semi	半潜式	5.5MW
DemoSATH	西班牙	2022	Saitec	SATH	驳船式	2MW

资料来源: FWJIP, 平安证券研究所

Hywind Demo 和 WindFloat 1 是代表性样机。漂浮式样机主要起技术验证的作用，截至目前，前两个投运的样机 Hywind Demo 和 WindFloat 1 运行良好，对应的技术方案已进阶至小型漂浮风电场验证阶段。Hywind Demo 是全球首台漂浮式样机，采用立柱式的漂浮式基础，基础内部包含浮力舱和压载舱，浮力舱位于基础的上段，为上部风电机组提供支撑浮力，压载舱位于基础的下段，通过装载水、碎石或高密度混凝土进行压载，使系统重心位于浮心之下。WindFloat 1 是全球第二台样机，2011 年投运，采用三立柱的半潜式基础，风电机组偏置于其中一个浮体上。

欧洲和东亚是漂浮式样机验证的主要区域。欧洲是漂浮式海上风电发展较早的区域，英国、法国、葡萄牙、挪威等国家均已推出漂浮式样机项目；日本也较早开展漂浮式海上风电样机验证，韩国近年积极跟进，日本和韩国海域水深条件较为适合发展漂浮式海上风电；中国的样机推出时间相对较晚，主要位于水深相对较深的南海区域。结合产业基础、样机推进情况以及水深条件，欧洲、东亚以及美国西部海域可能是未来漂浮式海上风电发展的重点区域。

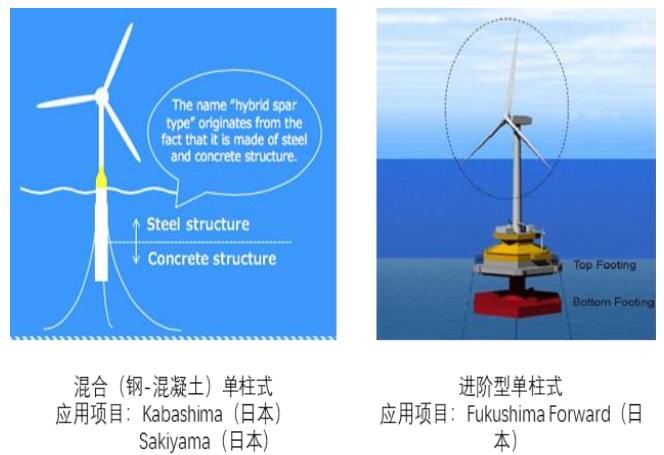
漂浮式海上风电基础技术方案仍未定型，新的技术方案持续涌现。半潜是目前应用最多的漂浮式样机技术方案，其次是单柱式，但新的技术方案和样机仍在持续涌现，漂浮式海上风电技术路线尚未定型。据统计，目前已推出的漂浮式海上风电基础技术方案超过 40 种，即便同是半潜，不同的方案在基础结构设计等方面的差异较大。2018 年，搭载维斯塔斯 2MW 风机并配备 Ideo 设计的 FloatGen 基础的试验风机投运，这是法国首个漂浮式样机，采用阻尼池的浮式基础方案，未来有望商业化推广；2021 年，Tetraspar 浮式风电基础示范项目在挪威海域投运，TetraSpar 基础是一种带有悬浮龙骨的钢管状结构，具有制造、组装、安装过程精简以及材料成本更低的潜力。这些新推出的基础方案有望推动漂浮式海上风电成本的下降。

图表10 典型半潜式基础以及其他新型的半潜式基础



资料来源: Carbon Trust, 平安证券研究所

图表11 新型的立柱式基础示意图



资料来源: Carbon Trust, 平安证券研究所

图表12 新型张力腿式基础及其他新型基础示意图



资料来源: Carbon Trust, 平安证券研究所

2.2 示范性风电场逐步投产，后续投产节奏有望加快

截至目前全球仅有少量的漂浮式风电场投运。截至 2021 年底，全球已经投运的漂浮式海上风电场共 3 个，均属于试验性质的小型风电场，合计规模约 105MW，分别位于英国和葡萄牙；另外，由挪威国家石油公司 Equinor 投资的 Hywind Tampen 项目将于 2022 年投运，该项目将是全球最大的漂浮式海上风电项目，同时也是全球首个商业化运行的漂浮式海上风电项目。

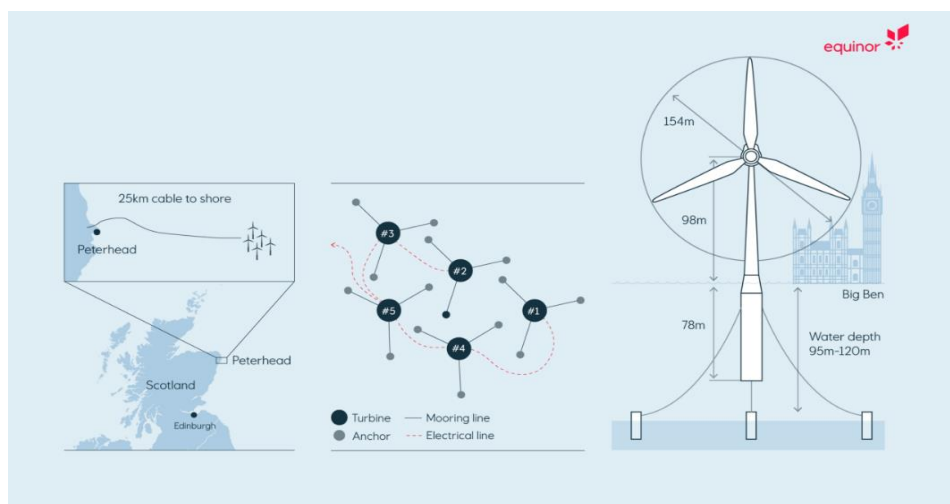
图表 13 历年建成投运的漂浮式海上风电场

项目名称	海域	投运时间	项目开发商	技术开发者	技术方案	浮式基础类型	总容量	单机容量
Hywind Scotland	英国	2017	Equinor	Equinor	Hywind	立柱式	30MW	6MW
WindFloat Atlantic	葡萄牙	2019	EDPR, ENGIE, Repsol, PPI	Principle Power	WindFloat	半潜式	25MW	8.4MW
Kincardine	英国	2021	Pilot Offshore, Cobra	Principle Power	WindFloat	半潜式	50MW	9.5MW
Hywind Tampen	挪威	2022	Equinor	Equinor	Hywind	立柱式	88MW	8MW

资料来源：FWJIP，平安证券研究所

Hywind Scotland 是全球首个漂浮式海上风电场。该风电场是 2009 年投运的样机 Hywind Demo 经过多年运行验证之后采用同源技术的试验风电场，共包括 5 台单机容量 6MW 的风电机组，于 2017 年投运。该风电场由 Equinor 和阿联酋清洁能源投资公司 Masdar 合作开发，其中 Equinor 持有 75% 股份，Masdar 持有 25% 股份，项目总投资约 20 亿挪威克朗。根据披露数据，该风电场运行后的前两年平均容量系数达到 56%，即年均的利用小时达到 4900 小时，是英国容量系数最高的海上风电场。

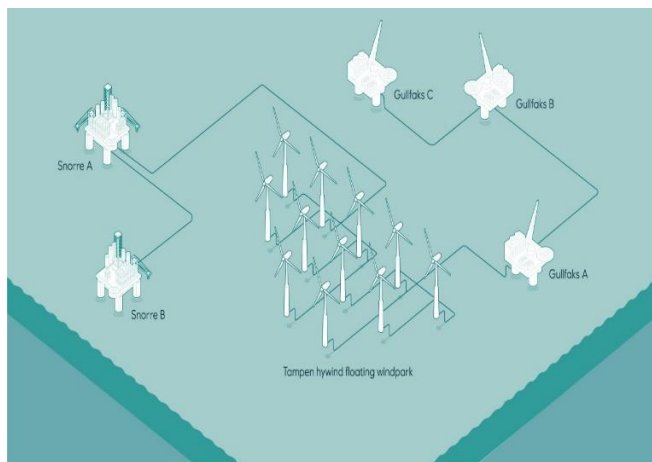
图表 14 Hywind Scotland 项目示意图



资料来源：Equinor，平安证券研究所

Hywind Tampen 将是全球首个商业化运行的漂浮式项目。该项目同样采用 Hywind 技术方案，包括 11 台 SG 8.0-167 DD 风机，总容量 88MW；该风电场所发电量主要供给附近的 Snorre A/B、Gullfaks A/B/C 等五个石油和天然气平台，能够满足这五个海上油气平台每年 35% 的电力需求。项目离岸 140 公里，所处水深 260-300 米，总投资近 50 亿挪威克朗，计划于 2022 年三季度投产。该项目得到了挪威政府及部分商业机构较大比例的资金支持。

图表15 Hywind Tampen 给油气平台供电示意图



资料来源: Equinor, 平安证券研究所

图表16 WindFloat Atlantic 项目示意图



资料来源: Principle Power, 平安证券研究所

WindFloat Atlantic 是全球首个采用半潜技术的漂浮式海上风电场。在 WindFloat 1 样机运行多年并经受超过 17 米高的海浪以及超过 40 m/s 的极端风速的情况下，全球首个采用半潜技术的漂浮式海上风电场 WindFloat Atlantic 于 2020 年 7 月实现全容量并网。该项目的投资方包括 EDP Renewables (54.4%)、ENGIE (25%)、Repsol (19.4%)、Principle Power Inc. (1.2%)，采用 3 台维斯塔斯 8.4MW 的机组，合计容量约 25MW，通过一条 20 公里的送出海缆连接至葡萄牙维亚纳堡变电站。该项目是首个获得银行贷款融资（约 0.6 亿欧元）的漂浮式海上风电项目。

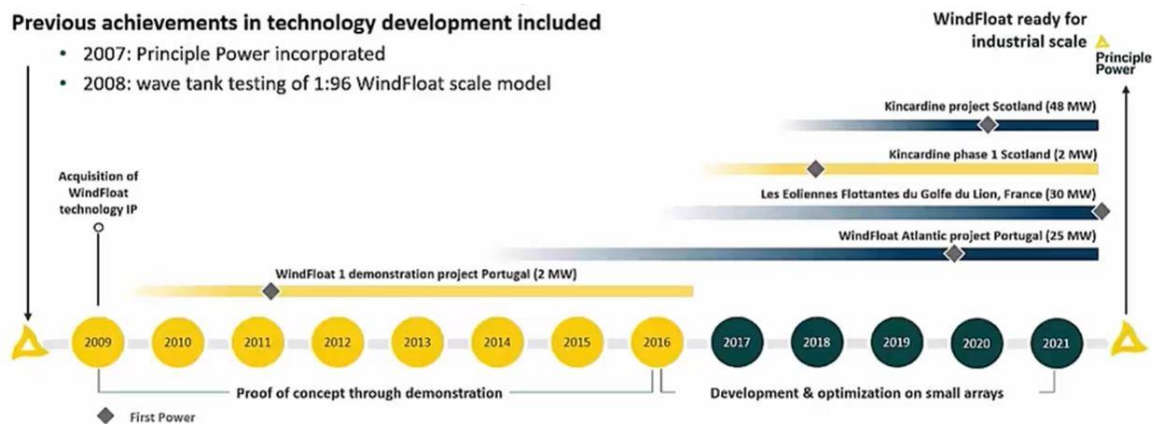
图表17 WindFloat Atlantic 和 WindFloat 1 的参数对比

	WindFloat 1	WindFloat Atlantic
投产年份	2011	2020
海域	葡萄牙	葡萄牙
水深(m)	40-50	85-100
离岸距离(km)	5	20
基础形式	半潜	半潜
基础排水量(ton)	2800	8000
基础用钢量(ton)	900	3000
基础吃水(m)	13.7	25
立柱直径(m)	8.2	11
风机功率(MW)	2	8.4
轮毂高度(m)	56	105
风轮直径(m)	80	164

资料来源: Principle Power, 平安证券研究所

Kincardine 是当前单体规模最大、单机容量最大的采用半潜技术方案的漂浮式海上风电场。与 WindFloat Atlantic 相同，Kincardine 项目采用 WindFloat 半潜技术方案，但单体规模和单机容量更大。该项目距离苏格兰阿伯丁郡东南海岸约 15 公里，所处水深 60-80 米，采用 5 台维斯塔斯 V164-9.5MW 漂浮式机组以及一台 2MW 的试验风机，于 2021 年 10 月全容量并网。

图表18 WindFloat 漂浮式技术方案的演进过程



资料来源: Principle Power, 平安证券研究所

未来两年将有多个小型漂浮式风电场投入运行。随着漂浮式海上风电样机及小型风电场的技术方案逐步得到验证，漂浮式海上风电技术成熟度逐步提升，在全球能源低碳转型背景下，漂浮式海上风电的关注度和受重视程度也在提升，未来两年，法国、日本、美国等地的小型漂浮式海上风电场将批量投运，推动全球漂浮式海上风电装机规模的快速提升。以法国项目为例，即将投运的漂浮式风场采用的风机单机容量达到 10MW 级别，与常见的采用固定基础的海上风电场单机容量基本相当。

图表19 未来两年即将投运的漂浮式海上风电项目情况

项目名称	海域	投运时间	项目开发商	技术开发者	技术方案	浮式基础类型	总容量 (MW)	单机容量
Goto City	日本	2022	Toda Corporation	Toda Corporation	Hybrid Spar	立柱式	16.8	2-5 MW
Les éoliennes flottantes de Groix & Belle-Ile	法国	2023	Shell/Eolfi, 中广核	Naval Energies	Sea Reed	半潜式	28.5	9.5 MW
Les Eoliennes Flottantes du Golfe du Lion	法国	2023	Engie, EDPR, Caisse des Depots	Principle Power	WindFloat	半潜式	30	10 MW
EolMed (Gruissan) Pilot Farm	法国	2023	Quadran	IDEOL	Damping Pool	半潜式	30	10 MW
Provence Grand Large	法国	2023	EDF EN	SBM Offshore	TLP	张力腿式	25.2	8.4 MW
Aqua Ventus I	美国	2023	University of Maine	University of Maine	VolturnUS	半潜式	12	6 MW

资料来源: FWJIP, 平安证券研究所

2.3 国内已开启样机试运行阶段

国内处于漂浮式样机验证阶段。目前，国内正在实施的漂浮式海上风电项目至少包括三个，分别是三峡阳江示范项目、龙源福建南日岛示范项目和海装风电湛江示范项目，均为采用半潜技术方案的单台样机，其中三峡阳江示范项目（即三峡引领号）已投运，其他两个有望在 2022 年投运；除了传统的发电央企，中海油等油气巨头未来也有望涉足漂浮式海上风电开发。随着采用固定基础的海上风电基本实现平价，国内漂浮式海上风电的发展进程有望加快。

我国首个漂浮式风电机组已于 2021 年实现并网。2021 年 7 月，由三峡集团投资建设的国内首台漂浮式海上风电平台——“三峡引领号”在广东阳江海域成功安装并实现并网，该机组位于三峡阳西沙扒三期 400MW 海上风电场项目 A1 区场址内，水深 28~32 米，场址中心离岸距离 30 公里。“三峡引领号”采用三立柱半潜式平台，作业时排水量约 13000 吨，风机安装

于其中一个立柱上，通过 9 根约 1000 米长系泊缆与 9 个吸力锚连接定位，最高可抗 17 级台风。该台机组容量 5.5MW，由广东打捞局总包，项目整体造价约 2.44 亿元。

图表 20 三峡引领号的工程进度



资料来源：三峡集团，平安证券研究所

海装“扶摇号”漂浮式样机即将投运。2021 年 12 月，由中国海装牵头联合中国船舶集团内多家成员单位自主研发的“扶摇号”浮式风电机组浮体平台成功下线，浮体平台采用半潜技术方案，将搭载中国海装 6MW 级别的海上风电机组，计划于 2022 年在广东省湛江市徐闻罗斗沙海域完成示范应用。该台样机所处海域水深 50-70m，采用 9 点系泊方案，项目得到工信部等机构资金支持。

图表 21 三峡引领号基础



资料来源：三峡集团，平安证券研究所

图表 22 海装扶摇号基础



资料来源：中国海装，平安证券研究所

龙源电力漂浮式样机工程正在建设过程中。龙源电力漂浮式示范项目依托于福建莆田南日岛 400MW 风电项目，拟安装单机容量 4MW 的漂浮式风力发电机组样机 1 台，所处水深大概 35 米，采用 1 回 35kV 动态电缆与邻近机位的固定式风力发电机组连接，并接入海上升压站。该平台采用半潜式，平面为三角形布置，每个角上设置一个圆柱浮筒，风机坐落在其中一个浮筒上；平台结构由龙源电力和来福士联合设计，双方共享知识产权。该项目将与水产养殖进行融合，计划于 2022 年完成示范工程建设。

国内样机主要采用半潜方案，且与采用固定基础的大型海上风电场相连。由于海域的水深情况不同，国内正在推进的漂浮式样机主要采用适应水深条件相对较浅的三立柱半潜技术方案。不同于欧洲和日本常见的独立样机的模式，国内推进的漂浮式样机与采用固定基础的大型海上风电场相连，成为大型海上风电场的一个风机单元，有利于降低样机的并网相关成本，同时运行情况具有较好的可对比性；整体来看，国内漂浮式样机验证模式的效率较高，有助于国内漂浮式海上风电后来居上。

三、 降本空间较大，商业化发展可期

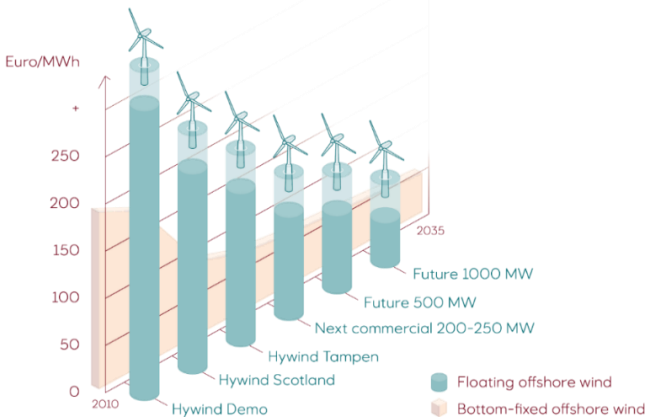
3.1 降本路径较为清晰，成长潜力较大

技术的可行性已经过较充分的验证，未来降本是关键。从 2009 年首个样机投运以来，漂浮式海上风电样机验证已经超过 10 年，2017 年首个漂浮式风电场 Hywind Scotland 投运，至今已有 5 年，欧洲在漂浮式海上风电技术验证方面积累了较为丰富的经验，漂浮式海上风电的技术可行性得以证实。近年新的技术方案仍在快速涌现，更多的是出于降本的考虑，以及面对不同的海域环境所作的技术改进；整体来看，高成本是当前制约漂浮式海上风电大规模商业化发展的主要因素，未来降本情况是影响行业发展的关键。

近年欧洲漂浮式海风成本下降明显，Hywind Tampen 的投资成本已低至约 40 元/W。根据 Equinor 披露数据，2017 年投运的 Hywind Scotland (30MW) 的单位千瓦投资成本较 2009 年投运的 Hywind Demo (2.3MW) 下降了 70%，2022 年即将投运的 Hywind Tampen (88MW) 较 Hywind Scotland (30MW) 的单位千瓦投资成本下降 40%。Hywind Tampen 作为首个商业化运行同时也是规模最大的漂浮式风电场，总的投资规模近 50 亿挪威克朗，对应的单瓦投资约 40 元人民币/W，高于当前固定式基础海上风电的造价水平。

单体规模的提升和单机容量的增加被认为是漂浮式海上风电降本的重要抓手，未来降本空间巨大。目前已投运的小型漂浮式风电场主要采用 Equinor 的 Hywind 技术方案和 Principle Power 的 WindFloat 技术方案。Equinor 认为，漂浮式风电场单体规模的增大是降本的关键，这在 Hywind Demo (2.3MW)、Hywind Scotland (30MW)、Hywind Tampen (88MW) 等实际项目上已经体现；随着单体规模达到 200MW 以上，漂浮式海上风电的单位投资成本和度电成本有望进一步快速下降。根据 Principle Power 披露数据，单机容量提升对于漂浮式项目降本效果明显，2011 年投运的 WindFloat 1 样机的单机容量 2MW，2021 年投运的 Kincardine 项目单机容量 9.5MW，虽然后者单机容量是前者的近 5 倍，但漂浮式基础的重量不到前者的 2 倍。以上表明，单体规模的提升和单机容量的增加是漂浮式海上风电降本的核心手段，这与固定式基础的海上风电降本方式类似。目前漂浮式海风仍处于发展初期，单体规模不超过 100MW，而深远海风资源较好，更利于机组大型化，因此未来漂浮式海上风电的降本空间巨大。

图表 23 Equinor 规划的漂浮式海上风电成本下降曲线



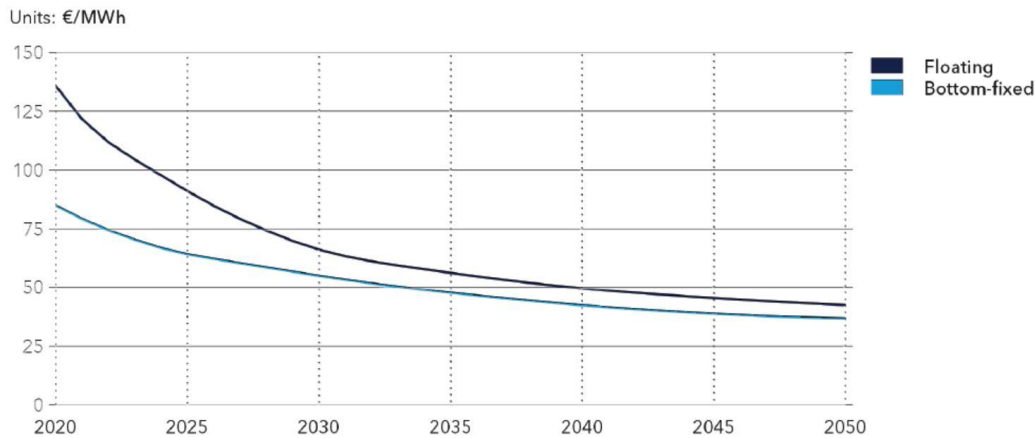
资料来源: Equinor, 平安证券研究所

图表 24 WindFloat 机组大型化前后对比



资料来源: Principle Power, 平安证券研究所

图表25 挪威船级社预测的漂浮式海上风电成本下降曲线



资料来源: DNV, 平安证券研究所

国内虽然起步较晚，在降本方面可能具备优势。国内首个漂浮式样机在 2021 年投运，起步相对较晚，但国内具有全球最大的海上风电市场以及竞争力突出的制造产业，通过借鉴欧洲经验并自主创新，国内漂浮式海上风电有望快速进步，且有望复制固定式海上风电的发展轨迹，实现后发先至。从成本的角度，由于漂浮式海上风电主要的制造环节为风电机组（含塔筒）、漂浮式基础及锚链（以钢材或混凝土作为主要原材料），国内相对欧美具有明显的成本优势。按照中国海装的预测，到 2025 年，国内漂浮式海上风电可能达到相对有竞争力的成本水平，投资成本有望降至 2 万元/千瓦左右，预计在 2030 年前后降至与固定式海上风电相当的水平，达到 1-1.5 万元/千瓦。

蓄势待发，多个国家酝酿大型漂浮式海上风电项目。目前漂浮式海上风电发展相对领先的是欧洲和日本，韩国快速跟进，中国和美国开始布局。在当前能源低碳转型以及能源安全备受关注的背景下，结合当前技术储备情况，漂浮式海上风电呈现加快发展的态势，部分国家推出专项资金以支持漂浮式海风发展，英国、法国、挪威、韩国等国家有望率先推出商业化运行的大型漂浮式海上风电项目。以英国为例，2022 年 1 月，苏格兰皇家地产局（Crown Estate Scotland）宣布了苏格兰海上风电首轮用海权招标结果，17 个中标项目的拟开发容量合计 24.8GW，其中漂浮式海上风电容量 14.5GW，尽管这些项目预留的开发年限较长，仍然反映了海上风电的发展趋势。

图表26 主要国家漂浮式海上风电发展规划和动态

国家	漂浮式海风相关规划或动态
英国	计划到 2030 年建设 1GW 及以上的漂浮式海上风电。2021 年苏格兰皇家资产管理局发起 ScotWind 海底租赁，最终在 74 个申请人中选择了 17 个海上风电项目，总容量为 24.8GW，其中漂浮式海上风电容量 14.5GW。
法国	根据“法国 2030”计划，法国将投入 3 亿欧元专项资金用于发展漂浮式海上风电，目前已有多个小型漂浮式风电场在建。法国近期宣布，启动在地中海沿岸建设两座漂浮式海上风电场的招标程序，这两座风电场项目预计将于 2023 年定标，2030 年前投入使用，单体规模均为 250MW。
挪威	挪威政府已批准两个海域的海上风电开发：Utsira Nord (1.5 GW) 和 Sørilige Nordsjø II (3 GW)，其中 Utsira 的平均水深为 267 米，适合采用飘浮式方案，Sørilige Nordsjø II 的平均水深 60 米，漂浮式和固定式都可行。2022 年下半年有望举行第一阶段的拍卖。
日本	日本海域浅水区面积有限，具有较大的漂浮式发展潜力，长期以来日本推动漂浮式样机验证，但进展缓慢。2020 年完成招标的 GOTO 浮式海上风电项目是日本政府公布《可再生海域利用法》后首次进行招标的海上风电项目，同时也是日本首个计划商业化运行的浮式海上风电场，据报道固定上网电价为 36 日元/千瓦时。日本 2021 年进行了约 1.7GW 的固定基础海上风电招标，从电价水平看，漂浮式项目电价依然明显高于固定式，日本漂浮式海上风电的发展有赖于成本的降低。
韩国	2021 年 5 月，韩国宣布到 2030 年漂浮式海上风电装机规模达到 6GW，欧洲诸多的油气巨头和电力巨头均在积极进军韩国漂浮式海上风电市场。

拜登政府计划到 2030 年开发 30GW 的海上风电，近年美国东海岸开展了大规模的固定式基础海上风项目拍卖。美国海洋能源管理局正在对加利福尼亚北部和中部的海上风电场进行环境评估，预计这些水域开发权有望在 2022 年进行拍卖，从海域水深来看，漂浮式海上风电可能是加州沿海海上风能开发的优选项。

资料来源：DNV、GWEC，平安证券研究所

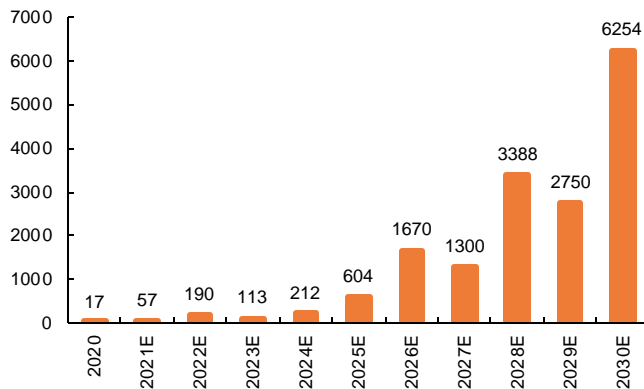
图表27 苏格兰海上风电首轮用海权招标的中标项目情况

序号	中标主体	用海权费用（万英镑）	技术类型	项目容量 (MW)
1	SSE Renewables	8590	漂浮式	2610
2	Falck Renewables	2800	漂浮式	1200
3	Shell New Energies	8600	漂浮式	2000
4	Vattenfall	2000	漂浮式	798
5	DEME	2000	漂浮式	1008
6	Falck Renewables	2560	漂浮式	1000
7	Falck Renewables	1340	漂浮式	500
8	Scottish Power Renewables	6840	漂浮式	3000
9	BayWa	3300	漂浮式	960
10	Northland Power	390	漂浮式	1500
11	Magnora	1030	混合式	495
12	BP Alternative Energy Investments	8590	固定式	2907
13	DEME	1870	固定式	1008
14	Ocean Winds	4290	固定式	1000
15	Offshore Wind Power	6570	固定式	2000
16	Northland Power	1610	固定式	840
17	Scottish Power Renewables	7540	固定式	2000
	合计	69920		24826

资料来源：Crown Estate Scotland、CWEA，平安证券研究所

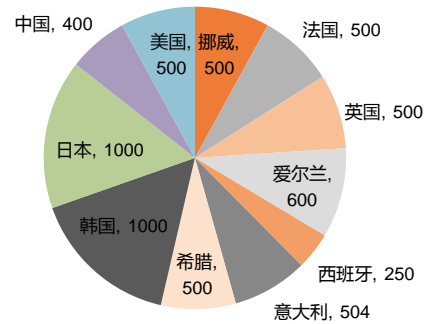
全球漂浮式海上风电新增装机有望迎来快速增长。由于漂浮式海上风电技术、产业化、政策等发展环境的快速变化，漂浮式海上风电的发展前景越趋乐观，2020 年全球风能协会（GWEC）预测到 2030 年全球漂浮式海风累计装机达到 6.5GW，到 2021 年，结合产业最新动态，GWEC 已将 2030 年全球漂浮式海风累计装机预期上调至 16.5GW。按照 GWEC 的预测，从 2026 年开始，漂浮式海上风电进入新增装机达到 GW 级的商业化阶段，欧洲、中日韩和美国将主导全球漂浮式海上风电市场。

图表28 全球漂浮式海上风电新增装机预测 (MW)



资料来源: GWEC, 平安证券研究所

图表29 GWEC 预测的 2030 年全球漂浮式新增装机分布 (MW)

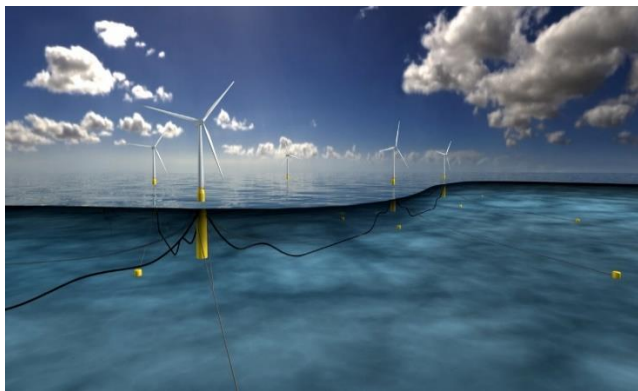


资料来源: GWEC, 平安证券研究所

3.2 制造环节与固定式海风有较明显不同

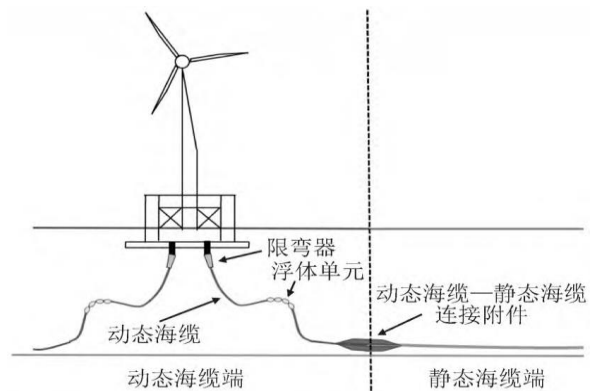
漂浮式海上风电与固定式海上风电在主设备等方面有明显差别。首先, 固定式海风基础为桩基, 包括单桩、导管架等形式, 而漂浮式海风相对应的是漂浮的基础平台 (如半潜式) 和系泊系统; 第二, 固定式海风采用静态海缆, 海缆敷设在海底, 而漂浮式海风需要采用动态海缆, 部分海缆段悬浮于海中。对于风电机组而言, 固定式海风的风电机组摆动幅度较小, 而漂浮式海风的摆动幅度相对较大, 对风机的设计、控制等提出更高要求。由于省去固定式基础的打桩环节, 且风机安装可在港口完成, 漂浮式海风的施工量相对固定式明显减少。

图表30 漂浮式海上风电场示意图



资料来源: Equinor, 平安证券研究所

图表31 动态海缆系统示意图



资料来源: 亨通光电, 平安证券研究所

图表32 三峡引领号工程总包招标包含的具体内容

序号	主要内容
1	一座 5.5MW 风电机组浮式基础平台建造的全部工作, 主要包括但不限于浮式基础钢结构的采购、平台制作、平台内附属设备的采购、试验和安装、平台下水, 相关全部试验, 以及为平台建造及下水所需的全部施工辅助措施项目的建造安装及拆除等
2	一台 5.5MW 风电机组设备及塔筒安装涉及的全部工作, 主要包括所有风电机组部件的卸货存储, 与浮式平台的拼装等, 并配合风机主机厂家调试和完成设备带电试验等工作

3	浮式基础平台与风电机组的一体化拖航运输、海上就位安装等
4	系泊系统采购制作运输及安装, 吸力锚制作、运输及安装, 锚系与浮式平台的连接以及相关的全部试验等工作
5	35kV 集电线路 (含动态电缆和静态电缆) 安装完成后的风电机组调试 (含首次送电) 等
6	35kV 动态电缆采购及敷设
7	浮式基础平台、系泊系统等所涉及的第三方鉴证检验服务
8	施工手续的办理及相关协调工作: 包括但不限于水上水下作业许可证、通航许可证 (通航安全评估)、航道部门施工许可 (含相关报告编制) 等
9	海事警戒、施工测量、现场试验、施工交通、施工码头、供电、供水、照明、通信、综合加工、仓库、存料场, 以及施工现场办公和生活建筑设施、安全、文明施工、环境保护措施以及涉及建造和施工的其他所有工作

资料来源: 三峡集团, 平安证券研究所

基于海洋工程和固定式海上风电的积累, 漂浮式海上风电具有较好的供应链基础。漂浮式海上风电的核心制造环节包括风电机组 (含塔筒)、浮式基础平台、系泊系统和动态海缆。风机方面, 供应商与固定基础海上风电的风机供应商重叠, 海外仍然以维斯塔斯和西门子-歌美飒为主, 国内仍以明阳智能等头部风机企业为主。动态海缆方面, 动态海缆系统分为静态海缆端和动态海缆端, 两部分由动态海缆-静态海缆连接附件分隔, 动态海缆在运行过程中面临大截面、高电压、负荷波动、绝缘老化以及复杂海洋环境导致的力学载荷等耦合性问题, 技术难度相对较高; 国内开展了多年的海上油气平台用脐带缆的研发, 已基本掌握油气用动态海缆的设计技术, 可一定程度嫁接至漂浮式海上风电; 目前, 国内漂浮式海上风电示范项目动态缆供应商主要包括东方电缆等, 海外仍然是以耐克森、普瑞斯曼、安凯特三大家为主。浮式平台和系泊系统的供应商与海洋工程基本重叠, 国内半潜浮式平台供应商包括中集来福士、黄埔文冲、惠生海工等, 系泊系统的供应商包括亚星锚链等。较为完善的供应链体系为未来漂浮式海上风电的加快发展奠定坚实基础。

图表33 典型漂浮式海上风电项目的主要设备供应商情况

项目名称	技术类型	风电机组	系泊链/索	浮式基础平台	海缆
Hywind Demo	单柱式	Siemens	Vicinay		Nexans
Hywind Tampen	单柱式	Siemens-Gamesa		Kvaerner	JDR
WindFloat Atlantic	半潜式	MHI-Vestas	Vryhof	A joint venture of Navantia and Windar; ASM Industries	JDR
Kincardine	半潜式	MHI-Vestas	Vryhof	A joint venture of Navantia and Windar	Prysmian
三峡引领号	半潜式	明阳智能	巨力索具	惠生海工	东方电缆
海装扶摇号	半潜式	中国海装	亚星锚链	中船黄埔文冲	
龙源示范项目	半潜式	电气风电		中集来福士	
中海油示范项目		明阳智能	亚星锚链		东方电缆

资料来源: NSENERGY、各公司官网, 平安证券研究所

单位价值量较高, 动态缆、系泊系统、半潜浮式平台或明显受益。国内和海外在水深条件、台风等级、项目规模、供应链基础等方面差异较大, 可能导致漂浮式海上风电项目的成本结构差异; 国内不同样机所处的水深情况、电气连接方式不同, 可能导致成本结构也有所不同。参考 2021 年四季度开始进行主设备招标的中海油深远海浮式风电研究项目, 该项目位于中国南海海域, 所处水深约 120 米, 样机功率 6MW 及以上, 风电机组、动态缆 (含施工)、系泊系统合计的造价约 1 亿元。按照单机容量 6-7MW 估算, 参考已投运漂浮式项目半潜平台参数, 估计以钢结构为主的半潜平台重量达 3000-4000 吨。整体看, 动态缆、系泊系统、半潜浮式平台具有较高的单位价值量, 随着漂浮式海上风电的快速发展, 这些环节有望迎来战略性发展机遇。

图表34 中海油深远海浮式风机国产化研制及示范应用项目主设备招标情况

招标项目	中标主体	中标金额 (万元)
风力发电机组及附属设备 (含塔筒)	明阳智能	4415

专用动态缆工程	东方电缆	3020
系泊缆链及附件	亚星锚链	2599

资料来源：中海油，平安证券研究所

图表35 惠生海工 W.SEMI 漂浮式海上风电基础平台参数

基础类型	半潜式	适用水深	>40m
材料（钢/混凝土）	钢	立柱	3
系泊系统类型	悬链	柱间距	~65m
锚	抓力锚或吸力锚	柱直径	~12m
专利	中国专利	柱高	~30m
适用风机功率	6-15MW	总重量（钢结构）	~4000t

资料来源：惠生海工，平安证券研究所

四、投资建议

资源禀赋决定未来海上风电需要向深远海拓展，从技术和经济性角度考虑，漂浮式是深海海上风电开发较优的解决方案。2009 年以来，漂浮式海上风电已经通过多个样机和小型试验风电场的验证，证实了技术的可行性；国内开始步入样机试运行阶段，有望推动全球漂浮式海上风电加快发展。尽管成本依然较高、商业化尚需时日，漂浮式海上风电具有较清晰的降本路径，供应链基础较好，未来具备快速降本的潜力，结合主要国家海上风电项目用海权招标情况，我们认为漂浮式海上风电具有巨大的长期成长空间。

漂浮式海上风电的核心制造环节包括风电机组、浮式基础、系泊系统和动态海缆，其中后三者与传统的固定式海上风电差别明显，随着漂浮式海上风电的逐步兴起，这些环节相关企业有望迎来大的发展机遇。基于当前的供货业绩等情况，建议重点关注动态缆环节的东方电缆，系泊系统环节的亚星锚链，半潜浮式基础的浮筒的潜在供应商大金重工，以及风电机组供应商明阳智能。

五、风险提示

- 1、漂浮式海上风电的降本速度可能不及预期。
- 2、在迈向商业化的过程中，漂浮式海上风电的发展依赖政策支持，存在政策支持力度不及预期的风险。
- 3、如果采用固定基础的海上风电技术进步超预期，可能延缓漂浮式海上风电的商业化进程。

平安证券研究所投资评级：

股票投资评级：

- 强烈推荐（预计 6 个月内，股价表现强于市场表现 20% 以上）
- 推荐（预计 6 个月内，股价表现强于市场表现 10% 至 20% 之间）
- 中性（预计 6 个月内，股价表现相对市场表现在 $\pm 10\%$ 之间）
- 回避（预计 6 个月内，股价表现弱于市场表现 10% 以上）

行业投资评级：

- 强于大市（预计 6 个月内，行业指数表现强于市场表现 5% 以上）
- 中性（预计 6 个月内，行业指数表现相对市场表现在 $\pm 5\%$ 之间）
- 弱于大市（预计 6 个月内，行业指数表现弱于市场表现 5% 以上）

公司声明及风险提示：

负责撰写此报告的分析师（一人或多人）就本研究报告确认：本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格。

平安证券股份有限公司具备证券投资咨询业务资格。本公司研究报告是针对与公司签署服务协议的签约客户的专属研究产品，为该类客户进行投资决策时提供辅助和参考，双方对权利与义务均有严格约定。本公司研究报告仅提供给上述特定客户，并不面向公众发布。未经书面授权刊载或者转发的，本公司将采取维权措施追究其侵权责任。

证券市场是一个风险无时不在的市场。您在进行证券交易时存在赢利的可能，也存在亏损的风险。请您务必对此有清醒的认识，认真考虑是否进行证券交易。

市场有风险，投资需谨慎。

免责条款：

此报告旨在发给平安证券股份有限公司（以下简称“平安证券”）的特定客户及其他专业人士。未经平安证券事先书面明文批准，不得更改或以任何方式传送、复印或派发此报告的材料、内容及其复印本予任何其他人。

此报告所载资料的来源及观点的出处皆被平安证券认为可靠，但平安证券不能担保其准确性或完整性，报告中的信息或所表达观点不构成所述证券买卖的出价或询价，报告内容仅供参考。平安证券不对因使用此报告的材料而引致的损失而负上任何责任，除非法律法规有明确规定。客户并不能仅依靠此报告而取代行使独立判断。

平安证券可发出其它与本报告所载资料不一致及有不同结论的报告。本报告及该等报告反映编写分析员的不同设想、见解及分析方法。报告所载资料、意见及推测仅反映分析员于发出此报告日期当日的判断，可随时更改。此报告所指的证券价格、价值及收入可跌可升。为免生疑问，此报告所载观点并不代表平安证券的立场。

平安证券在法律许可的情况下可能参与此报告所提及的发行商的投资银行业务或投资其发行的证券。

平安证券股份有限公司 2022 版权所有。保留一切权利。

平安证券

平安证券研究所

电话：4008866338

深圳

深圳市福田区益田路 5023 号平安金融中心 B 座 25 层
邮编：518033

上海

上海市陆家嘴环路 1333 号平安金融大厦 26 楼
邮编：200120

北京

北京市西城区金融大街甲 9 号金融街中心北楼 16 层
邮编：100033