

风电行业 投资逻辑与框架

 作者： 光大电新：殷中枢/郝骞/黄帅斌

2022年5月10日



证券研究报告

■ 风电产业发展及股价走势复盘

■ 产业链分析及供需、格局判断

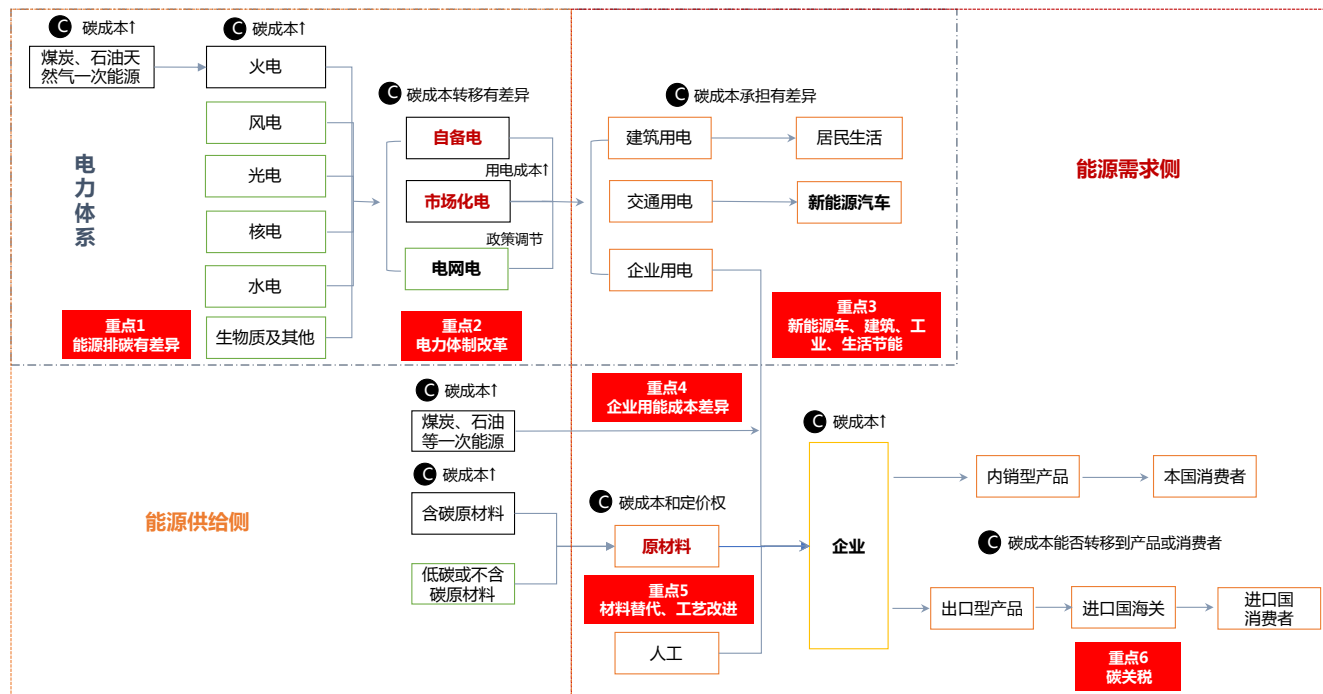
■ 未来发展趋势：降本、海风、出海

双碳发展背景下能源发展离不开“三要”

碳中和背景下新型能源形势要满足“三要”：

- 既要清洁化转型
- 又要持续性降本
- 还要保障能源安全

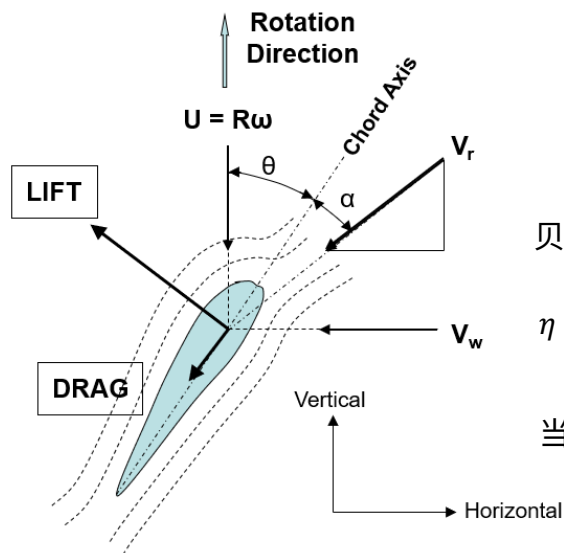
图：碳要素自上而下传导过程



风力发电的原理是动能转化

- 风力发电能量转换：风能→机械动能→电能
- 根据贝茨定律，风能利用效率最高约为59%
- 考虑过程中能量损耗，实际风能利用率约为30~50%

图：风电叶片上的空气动力学



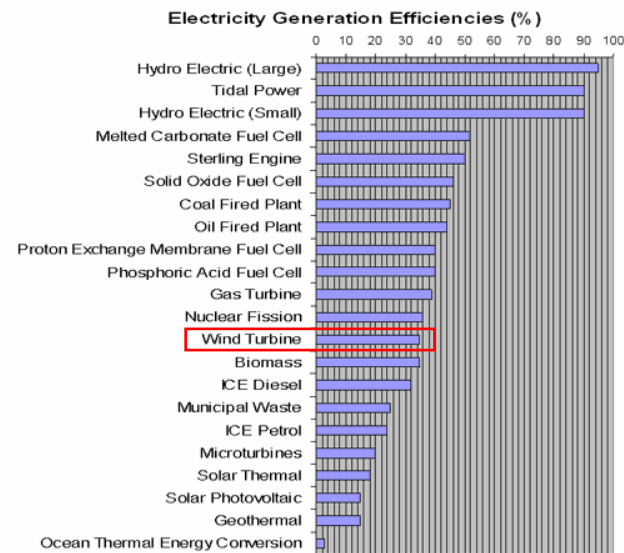
贝茨定律

$$\eta = \frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \left(1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right) \left(1 + \frac{v_2}{v_1} \right)$$

当 $\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{3}$ 时， $\frac{P}{P_0}$ 为最大值 $16/27 \approx 59.3\%$

资料来源：《Wind Power》(Flumerfelt, Raymond W, et al)

图：各类发电源的发电效率



资料来源：Eurelectric

风力发电是最清洁的发电方式之一

- 风力发电的全生命周期度电碳排放量在7~17 g-CO₂/kWh
- 光伏发电的全生命周期度电碳排放量在8.5~34 g-CO₂/kWh
- 均远低于燃煤发电的230~800 g-CO₂/kWh，同属优质的清洁能源

图：各类发电技术二氧化碳排放情况

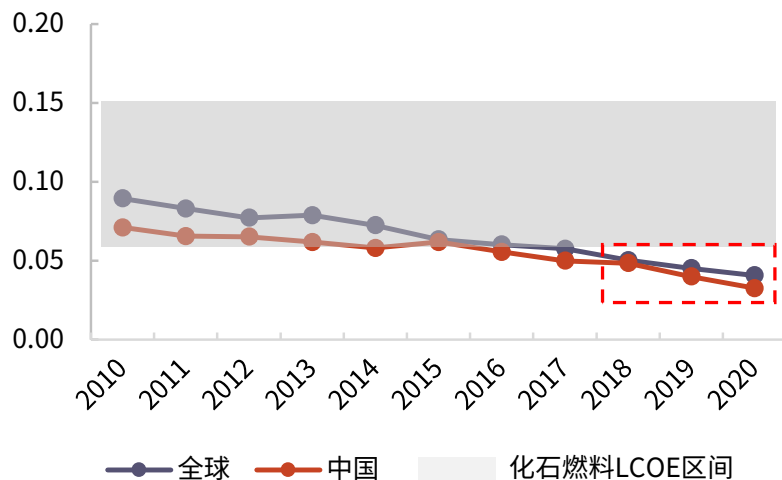
技术	全生命周期CO ₂ 排放	人为热排放	人为水蒸气排放	核泄漏或CCS泄露危险	覆盖植物造成的CO ₂	100年内二氧化碳当量
陆地风电	7.0-10.8	-1.7 to -0.7	-0.5 to -1.5	0	0.0002-0.0004	4.8-8.6
海上风电	9-17	-1.7 to -0.7	-0.5 to -1.5	0	0	6.8-14.8
屋顶光伏	15-34	-2.2	0	0	0	0.8-15.8
光伏电站	10-29	-2.2	0	0	0.054-0.11	7.85-26.9
聚焦式太阳能热发电	8.5-24.3	-2.2	0 to 2.8	0	0.13-0.34	6.43-25.2
地热能	15.1-55	0	0-2.8	0	0.088-0.093	29-79
水能	17-22	0	2.7 to 26	0	0	61-109
波浪能	21.7	0	0	0	0	26-38
潮汐能	10-20	0	0	0	0	14-36
核能	9-70	1.6	2.8	0-1.4	0.17-0.28	78-178
生物质	43-1,730	3.4	3.2	0	0.09-0.5	86-1,788
天然气	179-336	0.61	3.7	0.36-8.6	0.41-0.69	230-412
煤炭	230-800	1.5	3.6	0.36-8.6	0.41-0.69	282-876

资料来源：《Evaluation of Nuclear Power as a Proposed Solution to Global Warming,Air Pollution,and Energy Security》（Jacobson, M.Z.），单位：g/kWh

风力发电成本过去十年持续下降，后续仍有下降空间

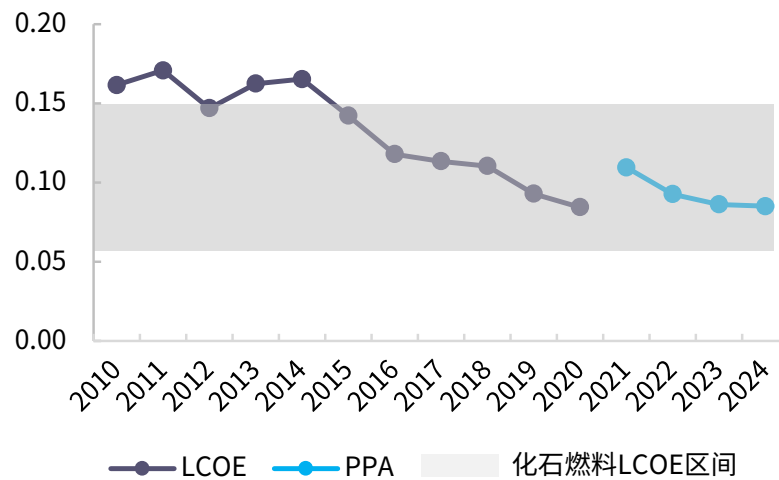
- 陆上风电全球平均安装成本从2010年的1972 美元/kW下降至2020年的1349美元/kW
- 中国风机中标价格从2010年的768美元/kW下降至2020年底的543美元/kW（降幅超29%）
- 路上风电LCOE从2018年起已经低于化石燃料成本区间，海风已可以做到和化石燃料平价

图：陆上风电LCOE成本与化石燃料成本比较



资料来源：IRENA，单位：2020 USD/kWh

图：海上风电LCOE成本与化石燃料成本比较

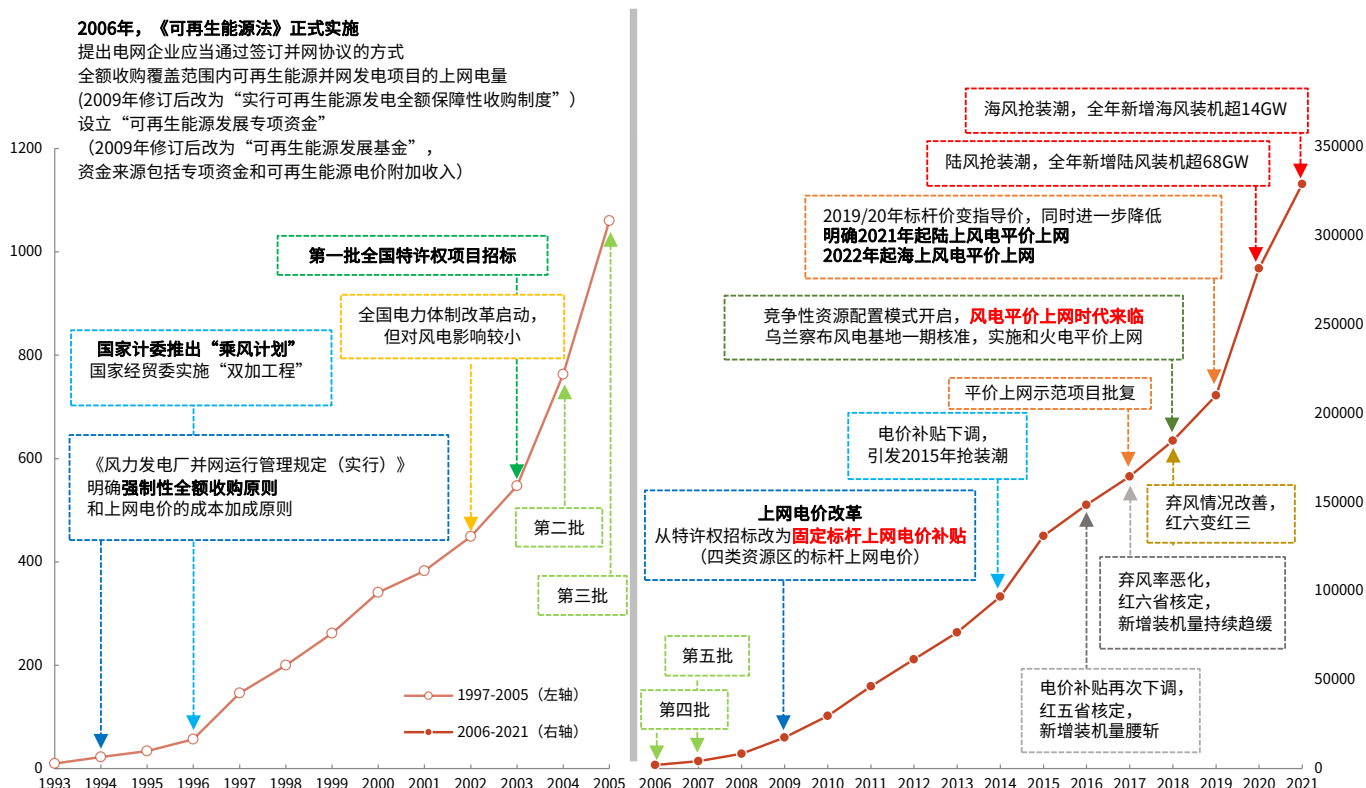


资料来源：IRENA，单位：2020 USD/kWh

我国风电装机规模已步入平价后稳健增长期

- 发展初期政府支持+补贴推动装机规模快速发展
- 技术进步+竞争加剧推动成本持续下降，平价时代风电清洁+持续降本优势推动持续发展

图：我国累计新增风电装机规模

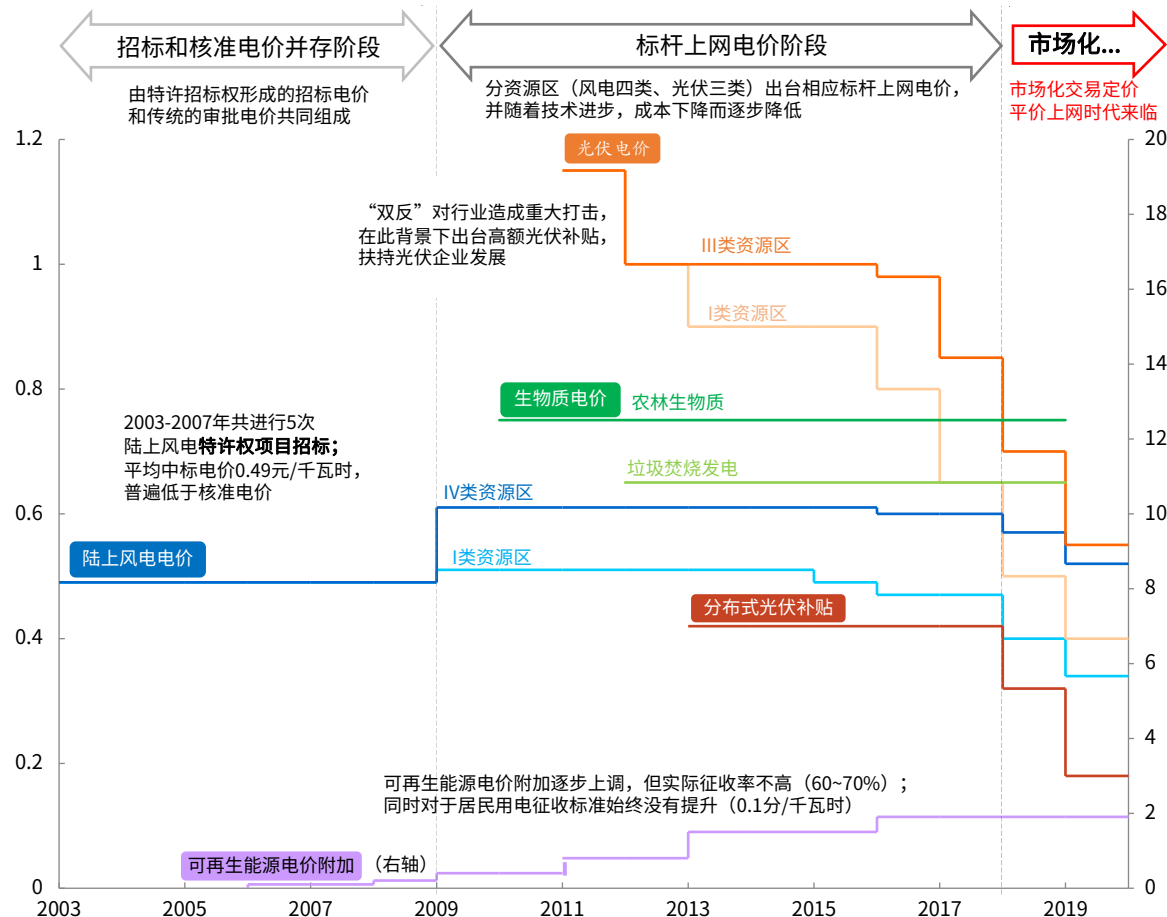


资料来源：Wind，各部委公告，光大证券研究所整理；单位：MW

可再生能源政策推动我国风电行业大力发展

- 有效解决新能源发展初期成本高于煤电的成本压力；
- 极大的扶持了中国风电制造业并逐步成为世界领先；
- 中国风电装机规模快速提升，领先世界。

图：可再生能源电价政策变化情况



资料来源：各部委公告，光大证券研究所整理

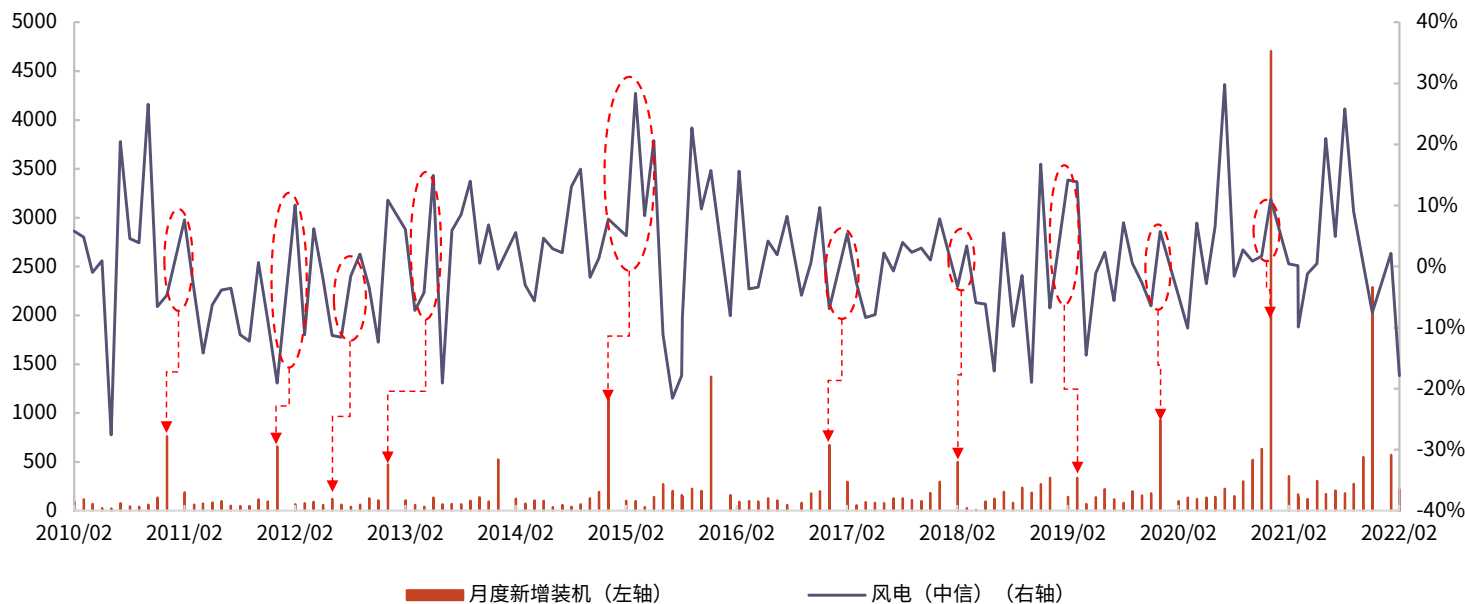
左轴：元/千瓦时，右轴：分/千瓦时

投资三要素：量、成本拐点、性价比

(1) 量：成长行业的第一选择，即对需求的判断

- 前期，风电装机规模超预期后指数后置反映
- 后期，逐步提前到对装机量增速预期判断，指数前置反映

图：中国月度新增风电装机量和风电（中信）指数（CI005284.WI）月度涨跌幅情况



资料来源：中电联，Wind，左轴：万千瓦，截至2022年3月

投资三要素：量、成本拐点、性价比

(2) 成本拐点：和钢价高度相关，钢价拐点即股价拐点

- 根据GWEC数据，陆上/海上风电项目中钢材料重量占比为24%/90%；
- 钢价/其他原材料价格上涨，叠加陆风平价对产业链的降本压力，会影响相关企业盈利
- 以日月股份为例，其铸件产品中钢相关材料成本占比较高，钢价和其走势负相关

图：零部件厂商（日月股份）股价与钢价指数整体呈现负相关趋势



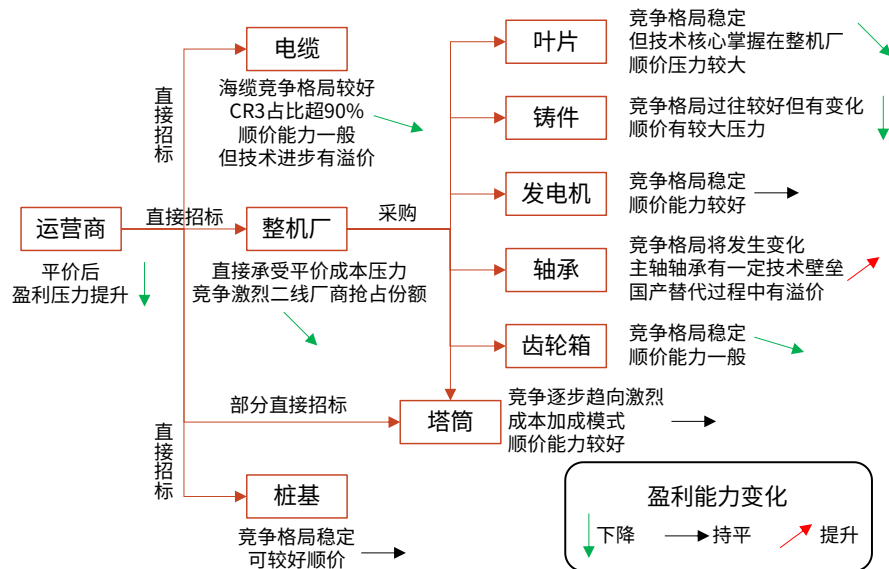
资料来源：Wind，截至2022年5月11日

投资三要素：量、成本拐点、性价比

(2) 成本拐点：项目招标中的议价能力同样会影响公司盈利

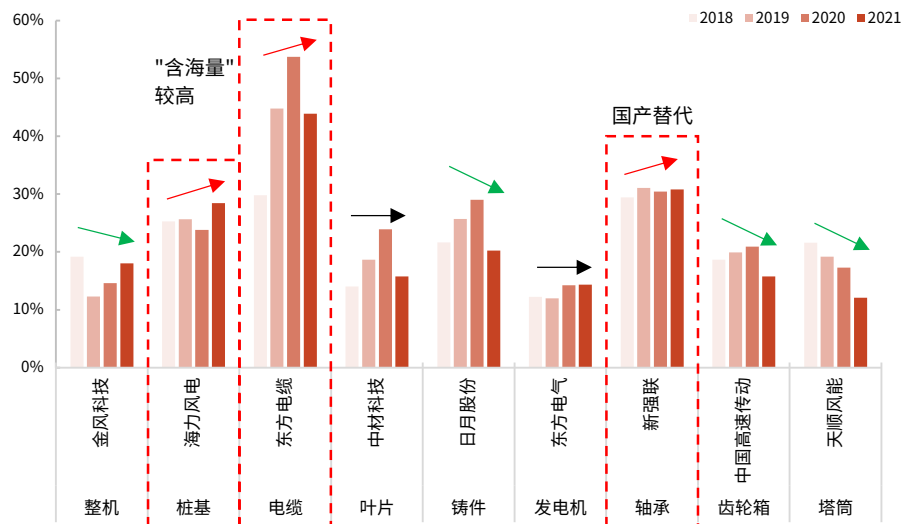
- 陆风平价对整机厂降本压力较大，叠加竞争激烈故整机全产业链均有较大降本压力；
- 独立或部分独立招标的海缆、塔筒、桩基等业务受影响相对较小，盈利能力得以维持
- 海风竞争和盈利较陆风相对理想，企业营收中“含海量”较高的盈利能力相对较好

图：风电项目招标过程及盈利能力变化示意图



资料来源：光大证券研究所绘制

图：风电各细分环节龙头毛利率变化情况



资料来源：Wind

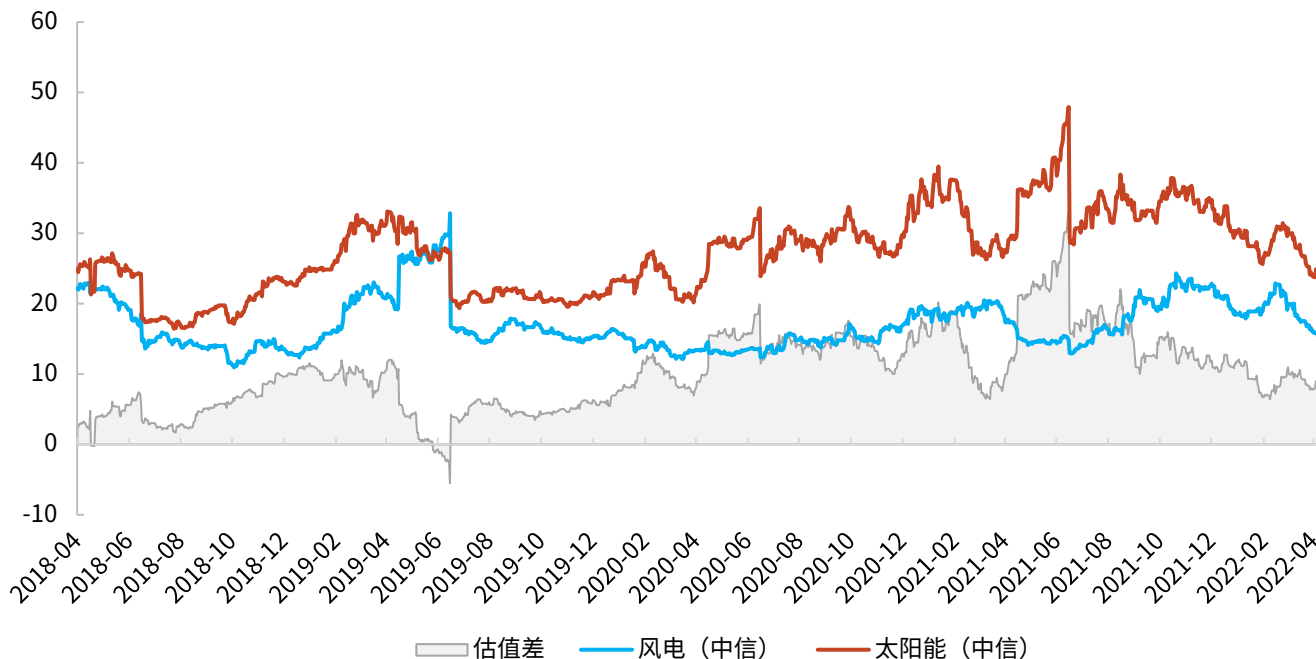
注：新强联、中国高速传动为公司毛利率，其他公司为细分环节毛利率

投资三要素：量、成本拐点、性价比

(3) 和光伏的比较：同为可再生能源，估值差拉大带来投资性价比

- 风光PE估值存在一定差距（平均为10倍左右），主要系市场对未来增速预期不同所致
- 光伏降本路径更清晰、资源约束更小、可享受海外市场红利等三因素使其估值存在溢价

图：风电（中信）指数（CI005284.WI）和太阳能（中信）指数（CI005286.WI）预测PE走势及差值



资料来源：Wind，2018年4月16日至2022年4月30日，平均估值差（太阳能-光伏）为10

注：PE计算方法为：当年6月30日（含）前PE取当年预测PE；当年6月30日后PE取次年预测PE

■ 风电产业发展及股价走势复盘

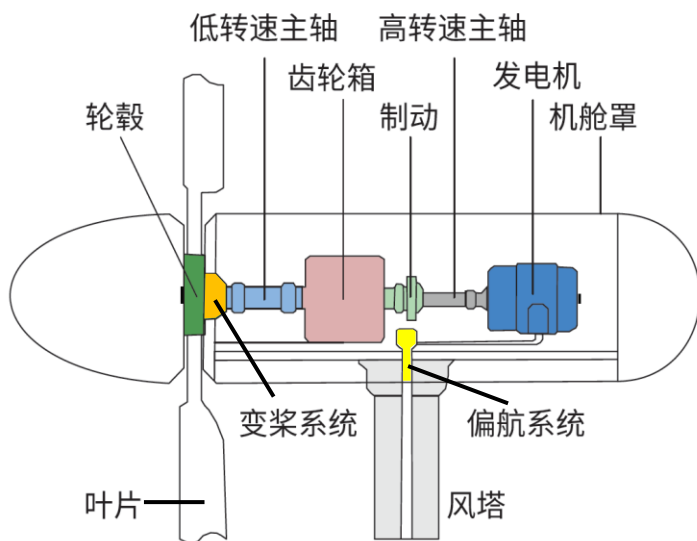
■ 产业链分析及供需、格局判断

■ 未来发展趋势：降本、海风、出海

风机是风电项目最重要的组成部分

- 一个典型陆上风电场主要由风机、基础、外送线路等部分组成
- 风机主要分为直驱、半直驱、双馈等三种技术路线，包含主轴、叶片、轮毂、发电机、机舱罩、偏航变桨系统等部件

图：双馈风机示意图



资料来源：《Wind Energy Factsheets》

图：湖南省郴州市桂阳县白水瑶族乡天塘山风电场

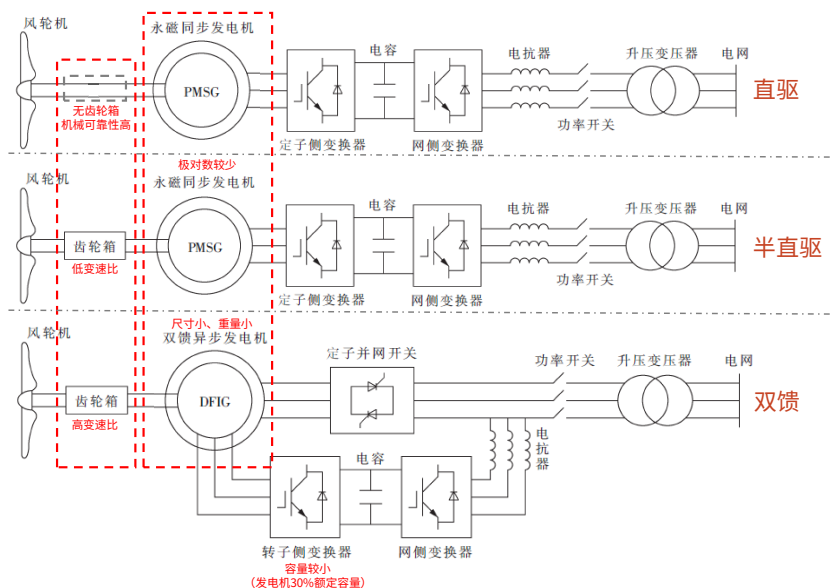


资料来源：人民网

风机是风电项目最重要的组成部分

- 直驱、半直驱、双馈等三种技术路线各有优劣，适用场景略有差异
- 成本优势：双馈>半直驱>直驱；稳定性优势：直驱>半直驱>双馈
- 代表厂商：直驱（金风科技、西门子-歌美飒）半直驱（明阳智能、维斯塔斯）、双馈（远景能源、GE）

图：不同技术路线发电系统示意图



资料来源：《海上风电机组机型发展的技术路线对比》（黄子果）

表：不同技术路线对比

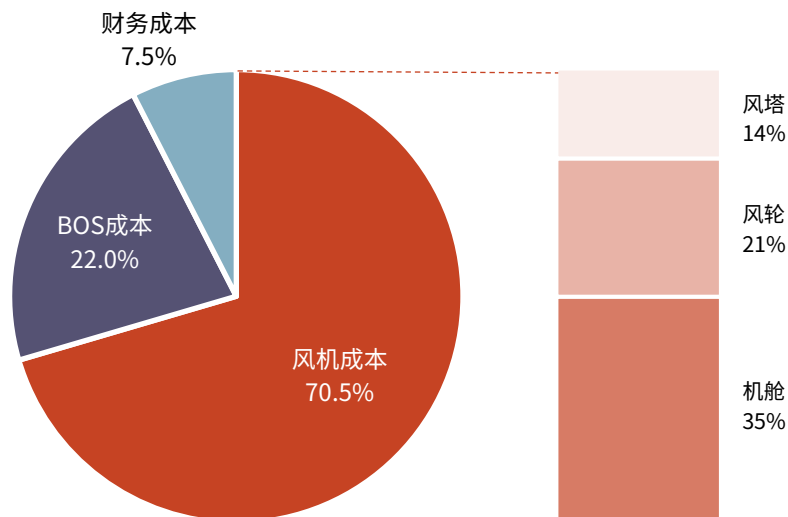
	双馈	半直驱	直驱
结构	齿轮箱+双馈发电机+变流器	齿轮箱（低传动比）+永磁直驱发电机+变流器； 永磁体励磁，励磁不可调	永磁直驱发电机+变流器； 永磁体励磁，励磁不可调
齿轮箱	齿轮箱增速比大 可靠性低	发电机、齿轮箱链接结构复杂， 齿轮箱双极行星，使用轴承多 可靠性较低	无齿轮箱 机械可靠性高
发电机	发电机滑环系统故障率高； 转速高、转矩小； 尺寸较小、重量小	发电机永磁体存在锈蚀可能； 发电机极对数较少，转速中等、 转矩中等，重量中等	发电机永磁体存在锈蚀可能； 永磁同步发电机极对数多、 体积及重量大
变流器	变流器容量约为 发电机额定容量的20~30%； 技术难度相对较小	采用全功率变流器容量大 &技术难度大	采用全功率变流器容量大 &技术难度大
其他	电网电压突降时 发电机端电流/转矩急增； 噪音高； 故障点多，需经常维护	电网电压突降时 电机端电流/转矩变化较快； 噪音较高； 齿轮箱与发电机集成安装不可 拆，机舱与轮毂不能相同； 可维护性差，维护量较少	电网电压突降时 电流/转矩稳定； 噪音低； 故障点少，维护量少

资料来源：《风电机组技术现状分析及未来发展趋势预测》（杨培文等）

陆上风电项目成本拆分

- 风机（含风塔）成本占比超70%
- 叶片（14%）、动力系统（14%）、电力系统（11%）、风塔（14%）成本占比较高
- BOS成本中地基和电气基础设施占比较高

图：2.8MW单机容量陆上风电场（600MW）分块成本占比（2020年）



资料来源：《2020 Cost of Wind Energy Review》

请务必参阅正文之后的重要声明

表：2.8MW单机容量陆上风电场（600MW）单位造价拆分(2020年)

	2.8MW风机	占比
叶片	202	13.8%
变桨系统	63	4.3%
轮毂系统	48	3.3%
风轮模块	313	21.4%
机舱结构	102	7.0%
动力系统	203	13.9%
电力系统	164	11.2%
偏航系统	38	2.6%
机舱模块	513	35.1%
风塔模块	204	14.0%
风机成本	1030	70.5%
项目开发	23	1.6%
项目管理	10	0.7%
地基	76	5.2%
场地相关费用	41	2.8%
安装施工	41	2.8%
电气基础设施	131	9.0%
BOS成本	322	22.0%
融资成本	22	1.5%
准备金	88	6.0%
财务成本	110	7.5%
总成本	1462	100.0%

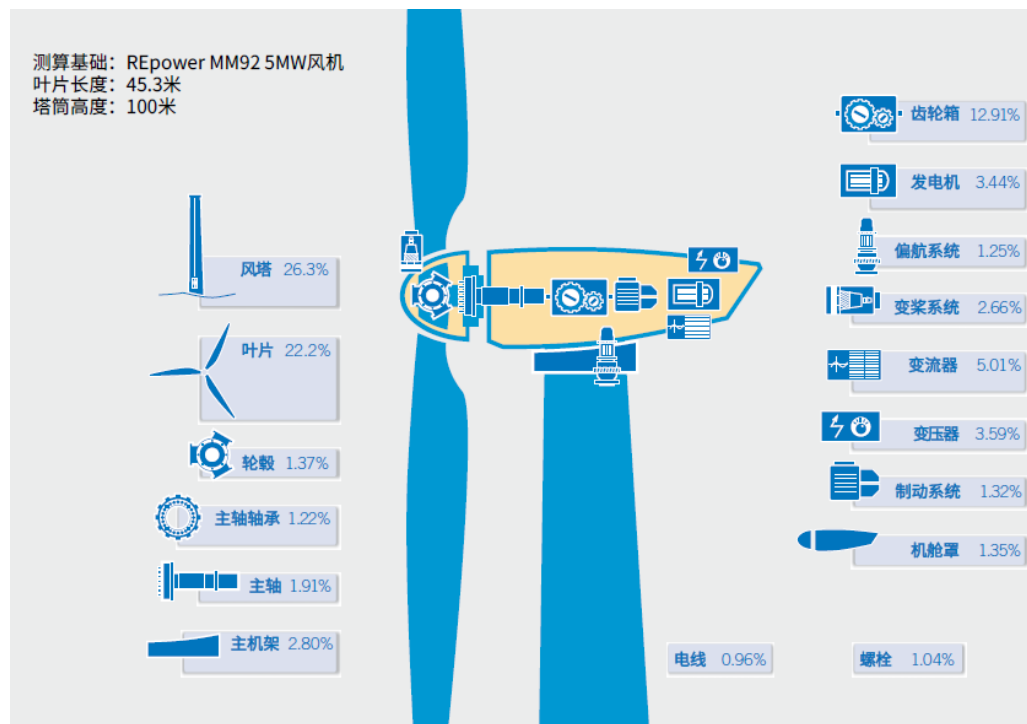
资料来源：《2020 Cost of Wind Energy Review》

单位：美元/kW

陆上风机（含风塔）成本拆分

- 一个典型陆上双馈风机（含风塔）主要包括风塔、叶片、齿轮箱、主轴等零部件
- 主要部件成本占比近90%
- 风塔+叶片+齿轮箱成本占比超60%

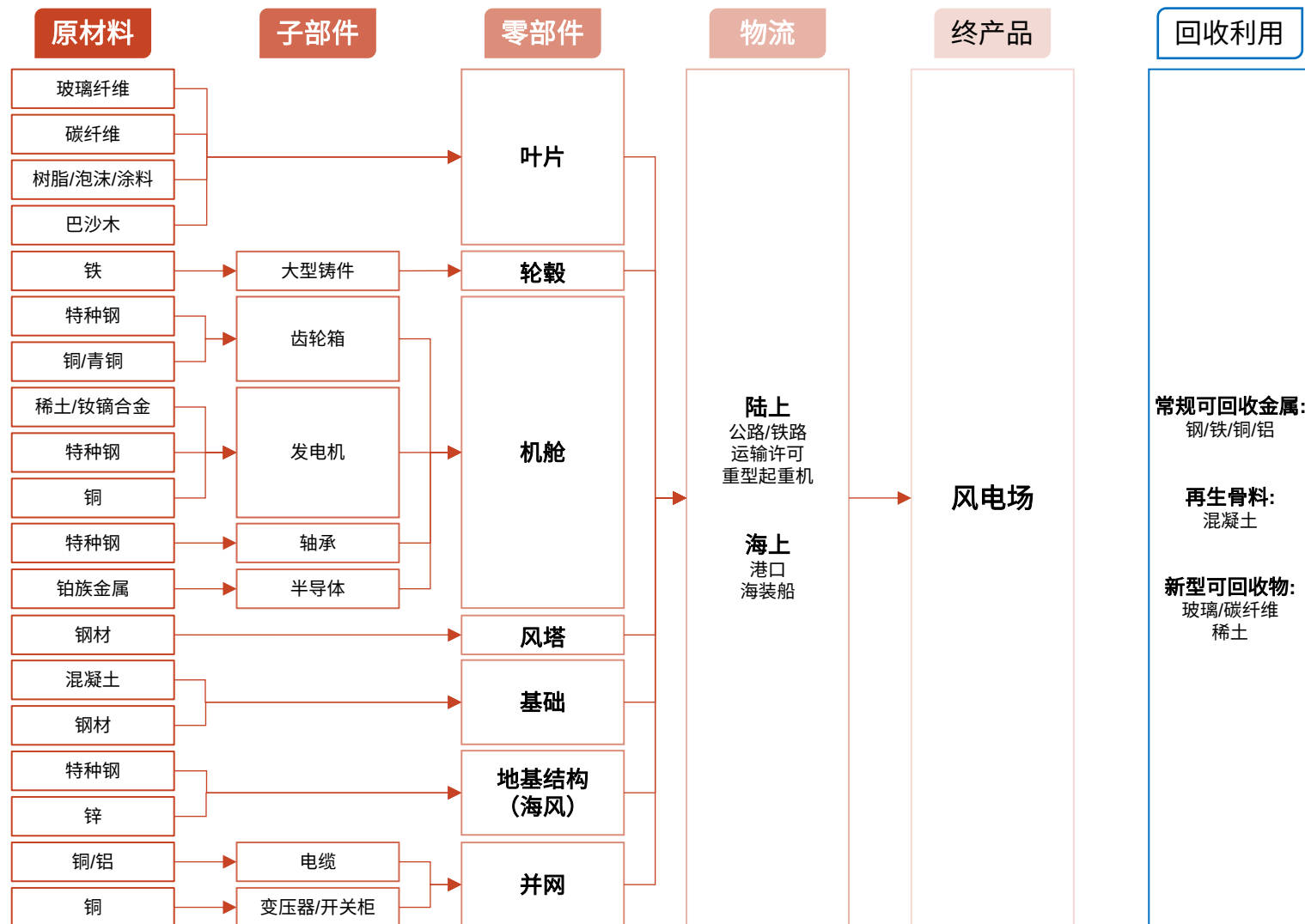
图：5MW风机主要部件成本拆分(2013年)



主要部件	成本占比	
风塔	26.30%	
叶片	22.20%	
齿轮箱	12.91%	占比超60%
变流器	5.01%	
变压器	3.59%	占比超70%
发电机	3.44%	
主机架	2.80%	
变桨系统	2.66%	
主轴	1.91%	占比超80%
轮毂	1.37%	
机舱罩	1.35%	
制动系统	1.32%	
偏航系统	1.25%	
主轴轴承	1.22%	
螺栓	1.04%	
电线	0.96%	
汇总	89.33%	

资料来源：《The Economics of Wind Energy》(原EWEA，现WindEurope)

产业链全景图

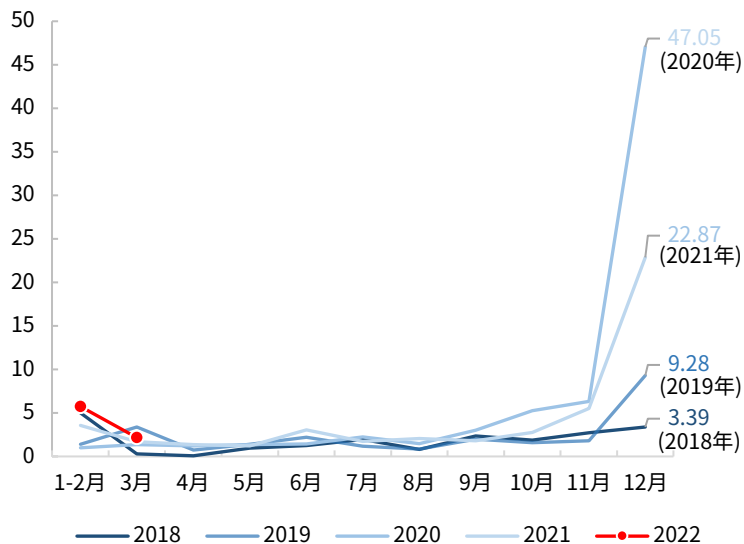


请务必参阅正文之后的重要声明

需求端：“十四五”期间风电年均新增装机规模超50GW

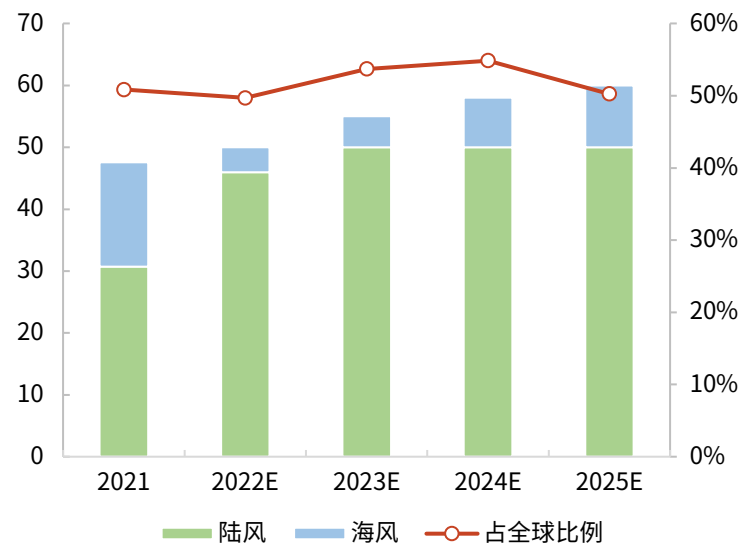
- 2020年底《风能北京宣言》提出保证“十四五”期间风电年均新增装机50GW以上
- GWEC（国际风能协会）预计“十四五”期间我国风电年均新增装机54GW
- 大基地+企业“十四五”规划+度电成本降低等三因素保证新增装机规模稳健增长

图：我国各月新增风电装机量情况



资料来源：中电联，单位：GW

表：GWEC预测中国22-25年装机规模

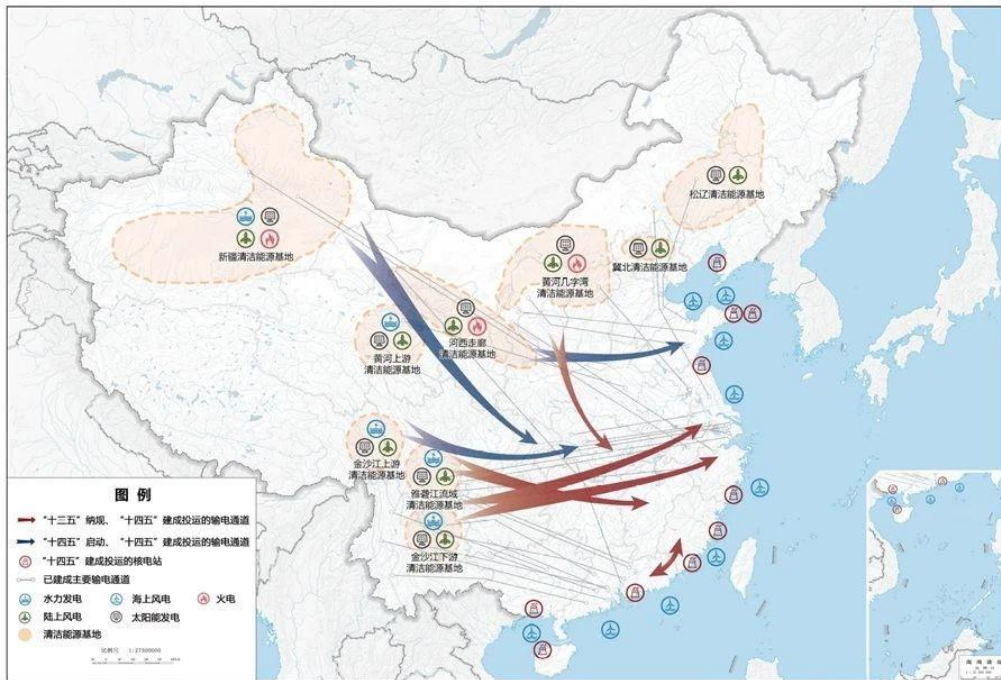


资料来源：GWEC，左轴：GW

需求端：“十四五”期间风电年均新增装机规模超50GW

- (1) 第一批97GW风光大基地项目有序开工，第二批100GW将于“十四五”期间建成
 - 《以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地规划布局方案》提出，“十四五”规划建设风光基地总装机约200GW
 - 5月3日，国家能源局表示第一批风光大基地项目已开工近九成

图：风光大基地



资料来源：国家发改委

图：大型基地相关政策

- 2021年3月 《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》发布，明确了“十四五”期间将重点发展九大清洁能源基地及四大海上风电基地。
- 2021年7月 国家能源局新能源司介绍“十四五”期间新能源重点发展方向时表示，将推动重大基地、示范工程和行动计划尽快实施。
- 2021年10月 国务院总理李克强主持召开国务院常务会议，会议指出要加快推进沙漠戈壁荒漠地区大型风电、光伏基地建设。

资料来源：新华社

需求端：“十四五”期间风电年均新增装机规模超50GW

(2) 各大央企“十四五”新能源规划建设提速

➤ 国资委提出央企新能源装机占比超50%要求，各大央企规划及建设步伐有望提速

表：部分央企集团十四五风光装机规划

集团名称	公司名称	2020	2025	CAGR	十四五规划	碳达峰时间
华能集团	集团	25.44	105.44	32.89%	华能集团2025年清洁能源占比50%以上，发电装机达到3亿千瓦左右，“十四五”期间新增新能源装机8000万千瓦以上。	2025年
	华能新能源	14.62	39.62	22.06%		
	华能国际	10.65	50.65	36.60%		
华电集团	集团	24.90	99.90	32.03%	华电集团“十四五”期间新增新能源装机7500万千瓦；华电福新将着力实现新能源装机规模力争达到1亿千瓦	2025年
	华电福新	13.09	100.00	50.19%		
	华电国际	4.91	24.91	38.38%		
大唐集团	集团	18.43	93.43	38.36%	大唐集团2025年清洁能源占比50%以上。	2025年
	大唐发电	6.22	36.22	42.25%		
	大唐新能源	12.22	42.22	28.13%		
国电投	集团	67.47	132.47	14.45%	国电投2025年实现电力总装机2.2亿千瓦，清洁能源占比60%。	2023年
	中国电力	5.38	24.38	35.29%		
	吉电股份	5.83	20.83	29.01%		
	上海电力	5.84	15.84	22.10%		
国家能源集团	集团	47.73	12.73	20.79%	国家能源集团“十四五”期间光伏装机容量将新增25~30GW，可再生能源新增装机达到7000-8000万千瓦。	2025年
	国电电力	6.54	25.54	31.31%		
	长源电力	22.75	-	-		
	龙源电力	22.75	52.75	18.32%		
中广核	集团	19.74	54.74	22.63%	中广核预计到“十四五”末境内新能源所运装机总容量将突破4000万千瓦	-
	中广核新能源	4.05	34.05	53.09%		
华润集团	集团	10.96	50.96	35.99%	华润集团预计“十四五”期间新增40GW新能源装机。	2025年
	华润电力	10.96	50.96	35.99%		
国家开发投资集团	集团	2.86	37.86	67.61%		-
	国投电力	3.17	38.17	64.47%		
三峡集团	集团	16.49	91.79	40.46%	三峡集团“十四五”时期及后续发展阶段，保持每年1500万千瓦清洁能源新增装机规模的增速；未来5年，新能源装机实现7000万至8000万千瓦的水平。	2023年
	三峡新能源	15.30	63.30	32.84%		
	长江电力	-	-	-		

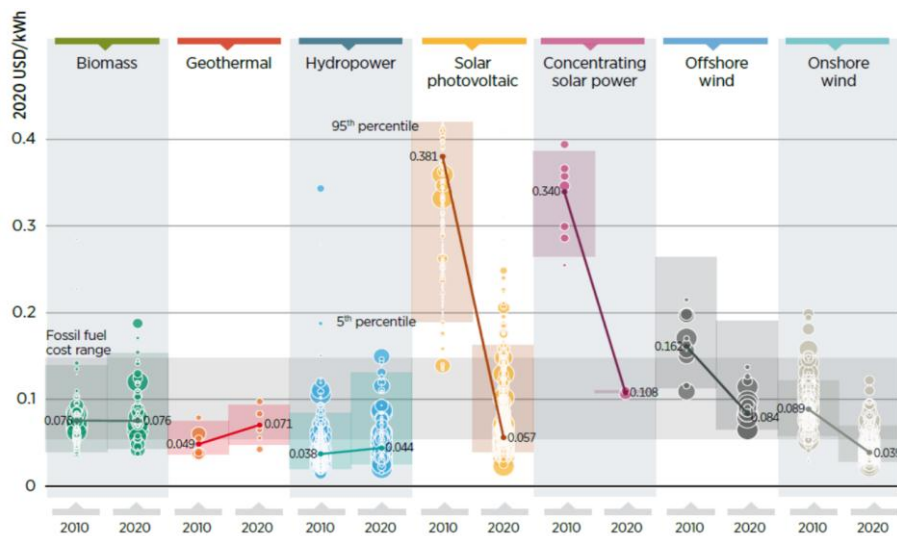
资料来源：各公司网站，装机单位为GW

需求端：“十四五”期间风电年均新增装机规模超50GW

(3) 风机成本显著下降，使得风电的经济性凸显，在平价时代仍然具有极强的竞争力

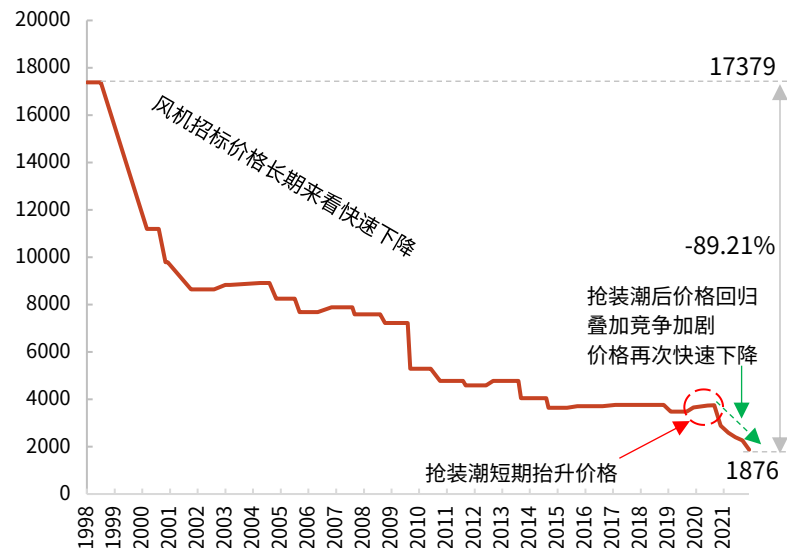
- 2010-2020年期间风电发电成本大幅降低，其中陆风度电成本下降56%至0.039美元/kWh
- 风机招标价格随技术进步持续下降，2022年3月招标价格已下降至1876元/kW，较1998年风机招标价格17379元/kW（2520美元/kW）下降89.21%

图：2010-2020年不同发电类型的成本变化



资料来源：IRENA

图：我国风机市场投标均价变化趋势（1998年-2022年3月）



资料来源：IRENA，金风科技；单位：人民币元/kW
注：截至2020年底数据来自IRENA，原数据为美元/kW，美元对人民币汇率取6.8974；
2021年之后数据来自金风科技

供给端：全产业链降本大势所趋，共同承担平价时代成本压力

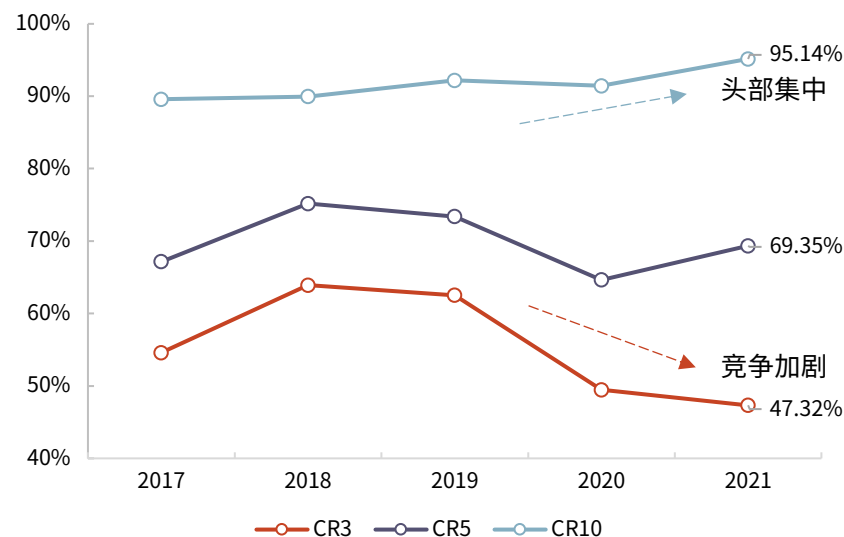
- (1) 整机：平价后向头部集中但竞争加剧，海风仍有一定技术和过往业绩壁垒
- 金风科技&远景能源&明阳智能龙头地位稳固，2019年三一重能&中车风电进入前十后至今TOP10整机厂未发生变化，且CR10集中度持续提升
 - 2020年平价后TOP10企业竞争加剧，CR3集中度从2019年的63%下降至2021年的47%

表：2017-2021年中国风电整机厂新增装机容量排名

	2017	2018	2019	2020	2021
1	金风科技	金风科技	金风科技	金风科技	金风科技
2	远景能源	远景能源	远景能源	远景能源	远景能源
3	明阳智能	明阳智能	明阳智能	明阳智能	明阳智能
4	联合动力	联合动力	运达股份	电气风电	运达股份
5	中国海装	电气风电	东方电气	运达股份	电气风电
6	电气风电	运达股份	电气风电	中车风电	中国海装
7	湘电风能	中国海装	中国海装	东方电气	中车风电
8	运达股份	湘电风能	联合动力	三一重能	三一重能
9	东方电气	维斯塔斯	中车风电	中国海装	东方电气
10	华创风能	东方电气	三一重能	联合动力	联合动力

资料来源：历年《中国风电吊装容量统计简报》，光大证券研究所整理

图：2017-2021年中国风电整机厂新增装机集中度



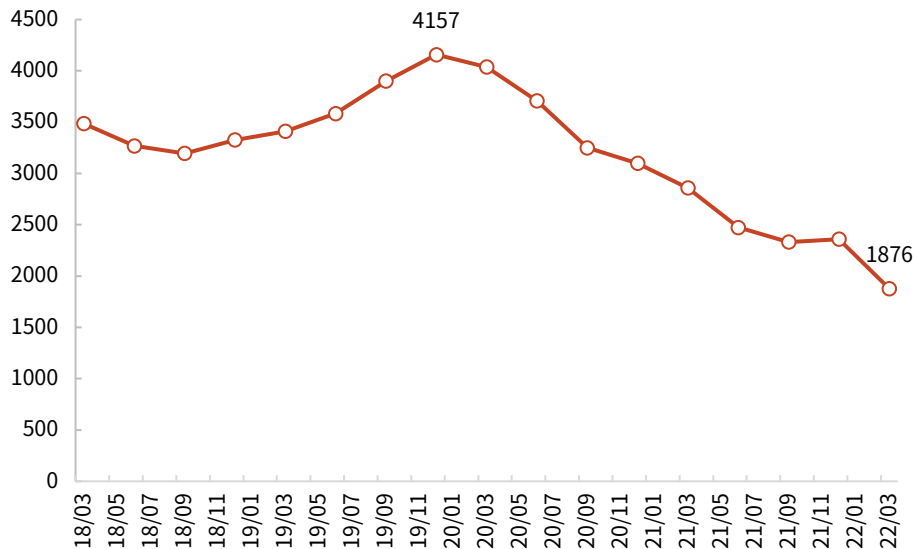
资料来源：历年《中国风电吊装容量统计简报》

供给端：全产业链降本大势所趋，共同承担平价时代成本压力

(1) 整机：盈利触底，招标价格企稳&原材料压力减轻，关注厂家“含海量”

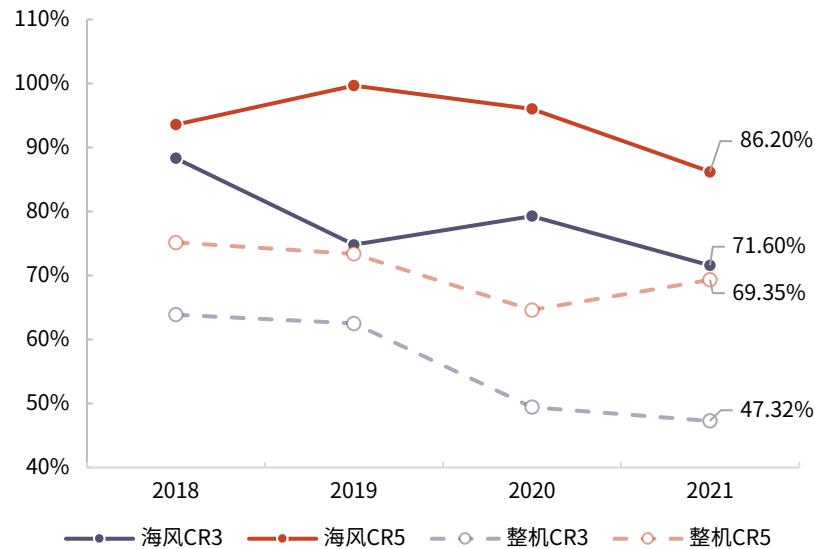
- 风机价格从抢装前的高点（超过4000元/kW）一路跌破2000元/kW，但近期中标价格已企稳并略有回升；钢价企稳并略有下降，原材料成本压力亦有所缓解
- 海风技术、资源、项目业绩等壁垒相较陆风明显，集中度更高故盈利能力相较陆风更好；此外，海外风机均价较高（因电价较高），故海上+出海是整机厂提升盈利能力的选择
- 行业主要参与公司：金风科技、明阳智能、远景能源、运达股份、电气风电、三一重能

图：中国大陆风电整机厂风电机组投标均价



资料来源：金风科技业绩演示材料，单位：元/kW，截至2022年3月

图：2018-2021年中国风电整机厂新增海风装机集中度



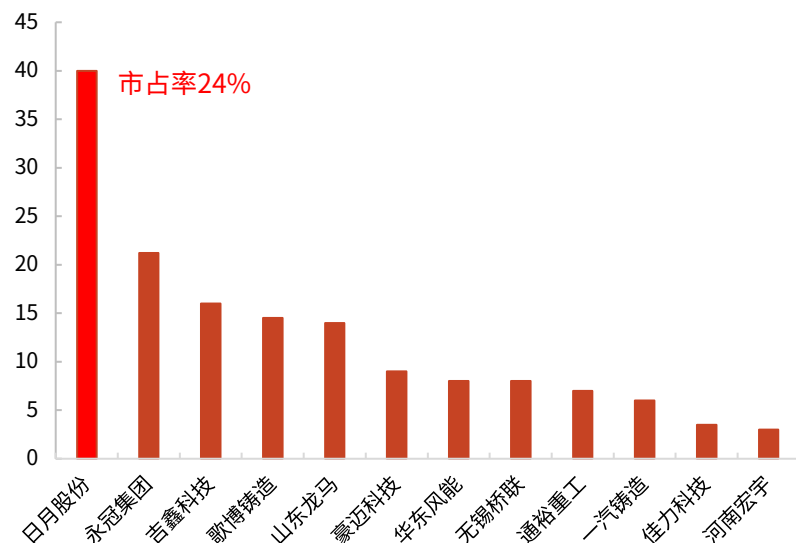
资料来源：历年《中国风电吊装容量统计简报》

供给端：全产业链降本大势所趋，共同承担平价时代成本压力

(2) 铸件：龙头企业竞争优势明显，短期成本及盈利面临一定压力

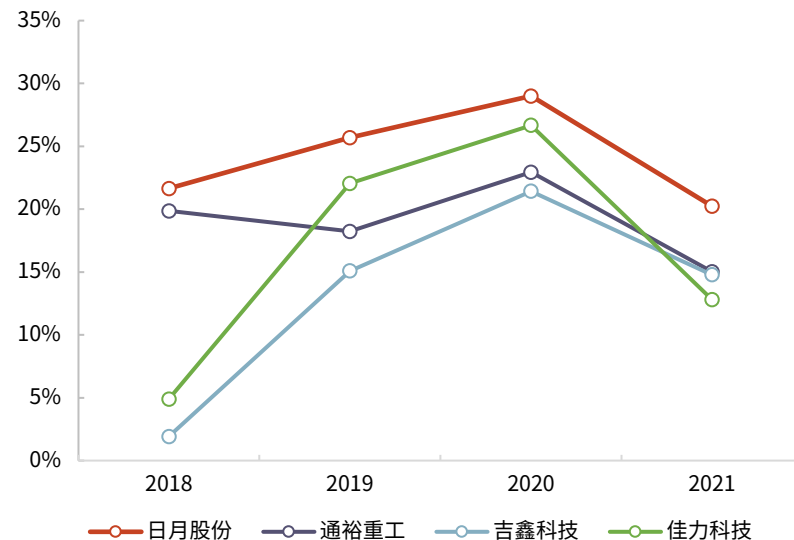
- 风电铸件主要用于轮毂、底座等环节，70~80%以上铸件产能集中在中国，龙头日月股份市占率超20%（25年目标40%），其成本控制、费用管理均行业领先
- 日月股份（新增34万吨）、广大特材（新增20万吨）、金雷股份（新增40万吨）等均加码铸件产能扩张；当前时点整机压价叠加原材料成本大幅提升，盈利能力已触底，后续有望改善
- 行业主要参与公司：日月股份、广大特材、通裕重工、金雷股份、豪迈科技、永冠集团

图：2019年全球主要风电铸件公司产能



资料来源：日月股份公司公告，单位：万吨

图：主要铸件企业铸件产品毛利率变化



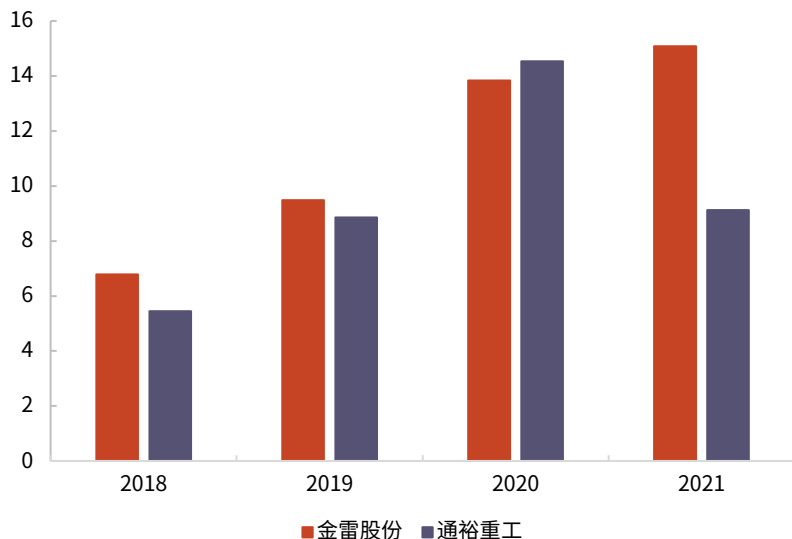
资料来源：Wind

供给端：全产业链降本大势所趋，共同承担平价时代成本压力

(3) 主轴：龙头优势明显，积极布局多种制造工艺路线

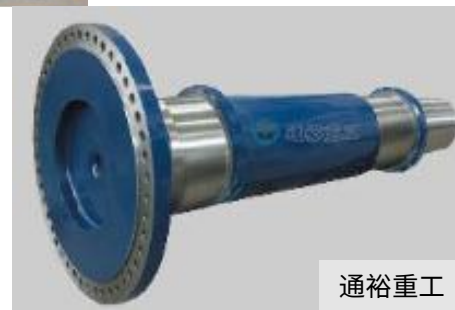
- 风电主轴用于连接轮毂和齿轮箱，是动能传递的重要零部件；金雷股份和通裕重工优势明显，CR2市占率近50%（2021年），但21年整机压价叠加原材料成本大幅提升，盈利阶段性承压
- 未来海风规模将逐步提升，其中直驱/半直驱风机技术路线应用较广泛，铸造主轴需求量将逐步提升；两家公司均提前布局铸造主轴产品，未来有望维持领先优势
- 行业主要参与公司：金雷股份、通裕重工、振宏重锻

图：金雷股份&通裕重工主轴产品营业收入



资料来源：Wind，单位：亿元

图：风电锻造主轴实物



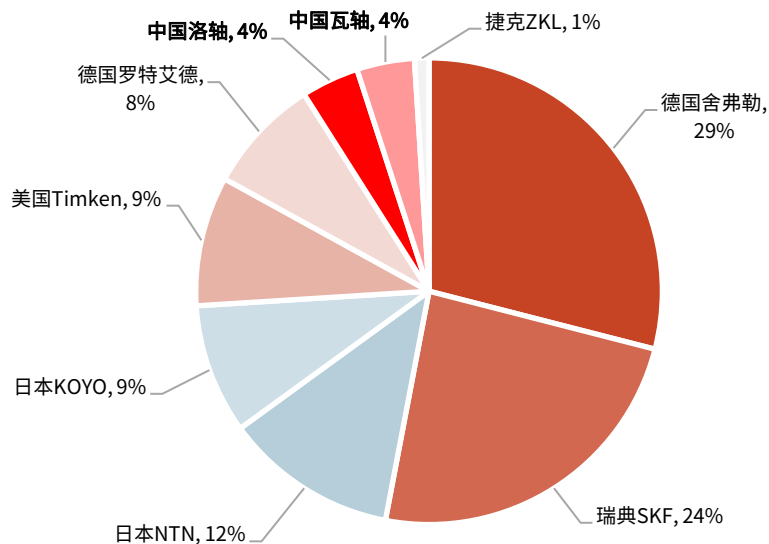
资料来源：金雷股份、通裕重工官网

供给端：全产业链降本大势所趋，共同承担平价时代成本压力

(4) 轴承：技术+认证导入壁垒明显，降本压力下国产替代进程提速

- 一套风电机组一般包含4套偏变轴承、1套主轴轴承、约20套增速器轴承、2套发电机轴承；随着行业发展我国已经在偏变轴承和小兆瓦主轴轴承上实现国产化
- 新强联率先打破了国外轴承企业对我国2MW风力发电机组三排滚子结构主轴轴承的垄断，在大功率研发和产业化步伐方面处于行业领先优势
- 行业主要参与公司：新强联、洛轴、瓦轴、天马轴承

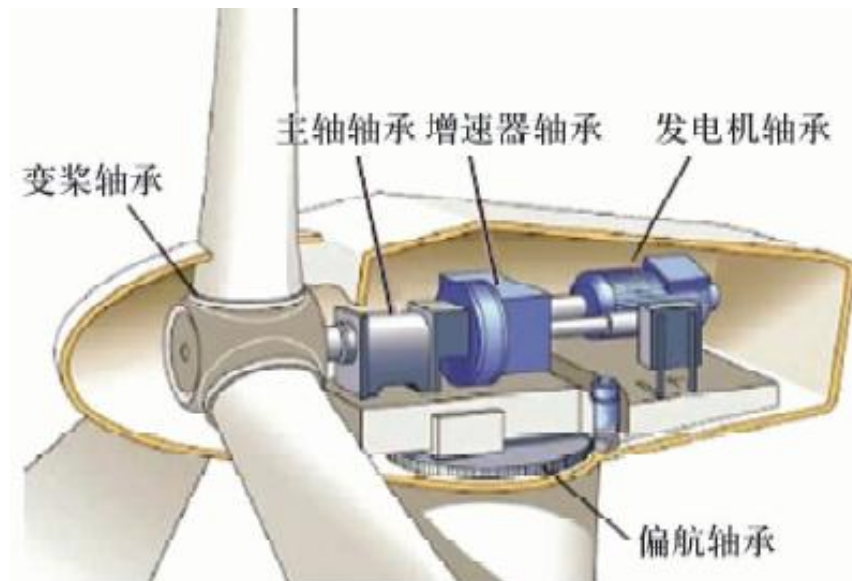
图：2019年全球风电主轴轴承市占率情况



资料来源：电气风电招股说明书

请务必参阅正文之后的重要声明

图：风电机组轴承示意图



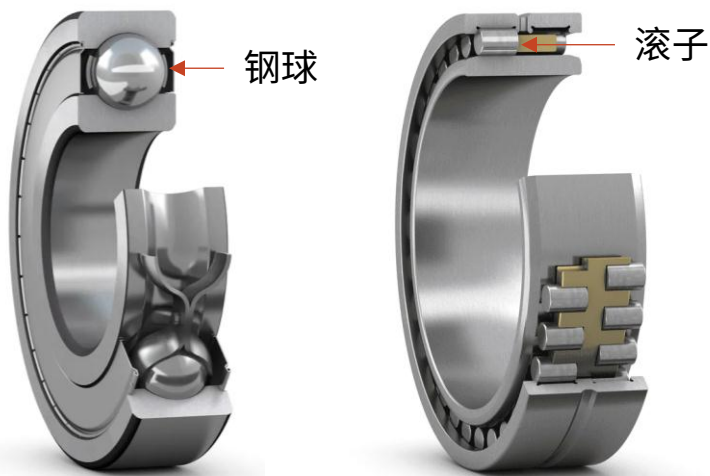
资料来源：《论我国重大技术装备轴承的自主安全可控》（何加群，中国轴承工业协会）

供给端：全产业链降本大势所趋，共同承担平价时代成本压力

(4) 轴承：大型化背景下偏变系统要求提升，滚子轴承取代球轴承趋势提速

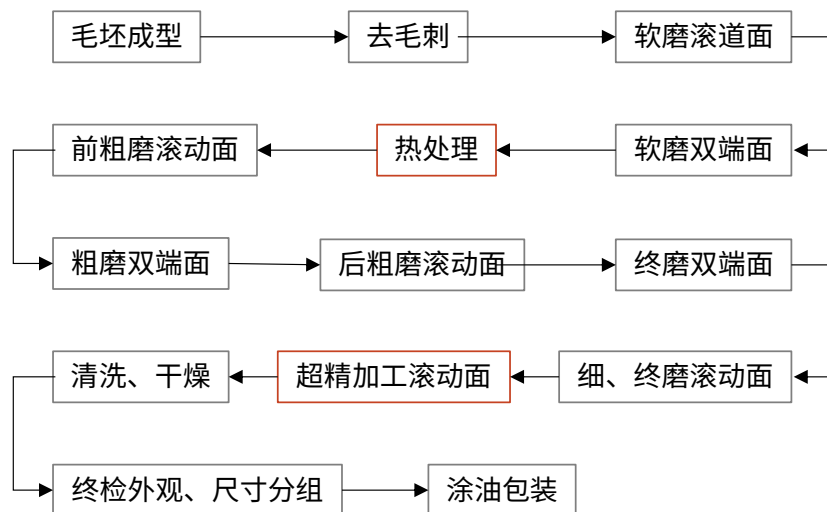
- 滚子和滚道的线接触相较钢球的点接触可承受更高负荷，更适用于大型化风机中各类轴承；滚子轴承目前国内取代率约15%（国外30%），风电滚子应用未来仍有较大空间
- 风电滚子过去被海外企业所垄断，五洲新春/力星股份的风电滚子正逐步进行国产替代，为国内外多家龙头轴承公司提供配套滚子销售
- 行业主要参与公司：五洲新春、力星股份

图：SKF球轴承和滚子轴承示意图



资料来源：SKF官网

图：圆柱滚子加工工艺流程



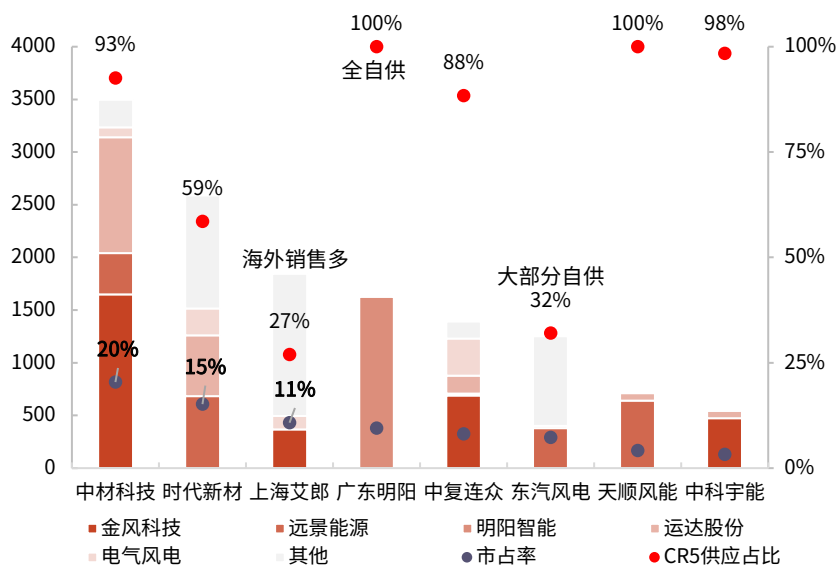
资料来源：《风电齿轮箱圆柱滚子轴承的设计和制造研究》（杨晓刚）

供给端：全产业链降本大势所趋，共同承担平价时代成本压力

(5) 叶片：风机大型化配套重要环节，国产化比例较高

- 叶片国产化率较高且集中度相对较高，2021年全国叶片出货约1.7万套，CR3占比46%，CR5占比超64%；整机厂自供比例约23%
- 随着整机大型化趋势推进，叶片产品长度亦快速革新提升；2022年5月7日，运达股份与中复连众下线110米长的海风叶片创国内纪录
- 行业主要参与公司：中材科技、时代新材、上海艾郎、中复连众

图：2021年国内叶片主要厂家出货情况



资料来源：道生天合，左轴：套

请务必参阅正文之后的重要声明

图：GE旗下LM（丹麦）叶片厂生产的全球首个超百米长叶片



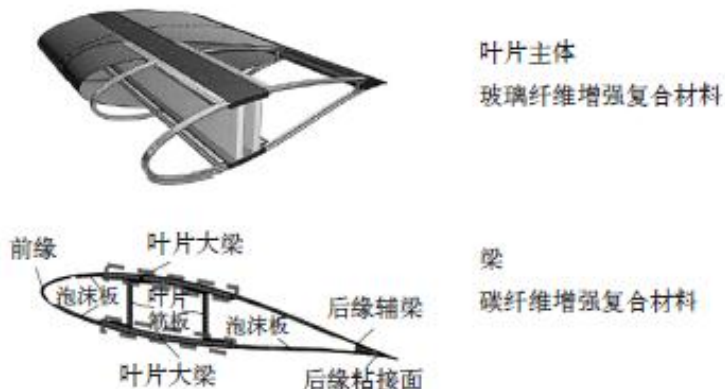
资料来源：LM官网

供给端：全产业链降本大势所趋，共同承担平价时代成本压力

(5) 叶片：碳纤维在叶片轻量化趋势下需求持续提升，但大规模导入仍需价格下降

- 海风叶片长度持续增加，轻量化+刚度要求逐步提升；碳纤维相较玻璃纤维减重优势明显（减重比例可以达到1:3~1:5），后续有望在大梁（龙骨）制造中大规模应用
- 受到军工/航天/体育用品等其他领域需求景气度提升、以及国内产能释放周期等因素影响，国产碳纤维价格高企，后续产能释放后有望回归合理区间（约110~120元/千克），叠加海风规模提升后轻量化叶片需求提升，碳纤维有望实现在国产海风叶片的大规模导入

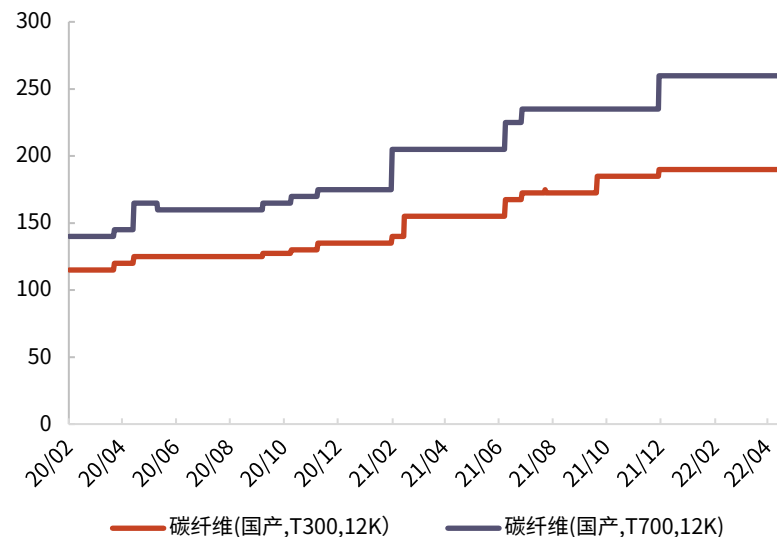
图：海上风机叶片直径及规模预测



资料来源：《国产碳纤维在风电叶片产业中的机会》（沈真）

请务必参阅正文之后的重要声明

图：国产碳纤维价格走势



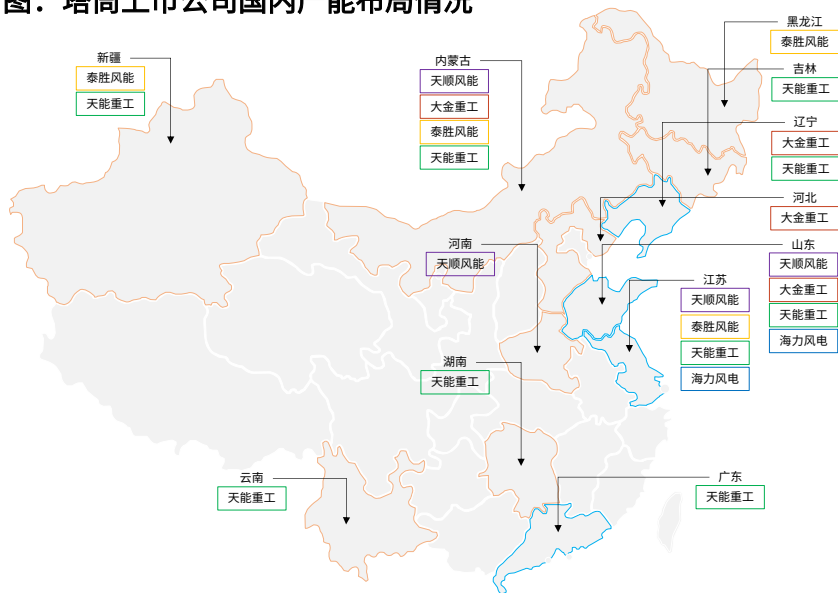
资料来源：Wind，单位：元/千克，截至2022年5月10日

供给端：全产业链降本大势所趋，共同承担平价时代成本压力

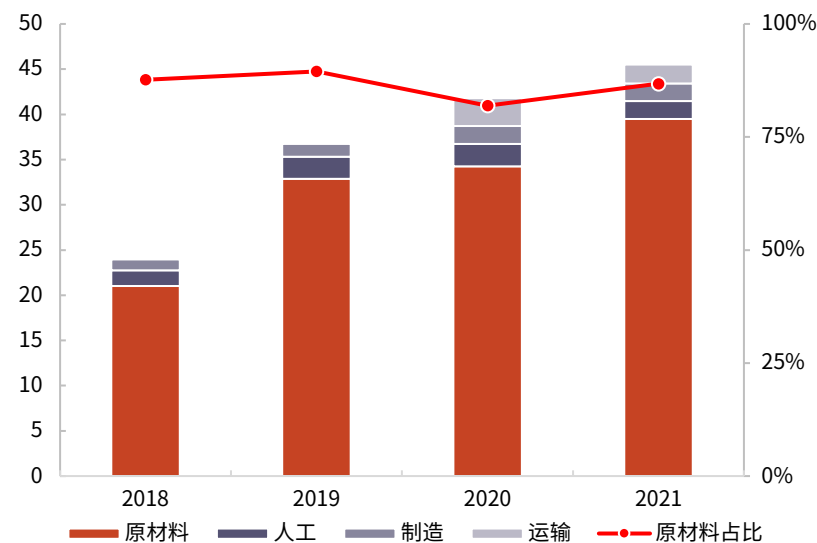
(6) 塔筒：成本加成模式可较好顺价，码头资源直接影响未来“含海量”

- 风电塔筒定价采用成本加成赚取加工费模式，原材料成本占比超80%；陆风产品技术壁垒不高故格局较为分散，CR4约在20%（2020年）；大型化对塔筒影响较小故盈利能力较为稳定
- 除钢价外，运输成本是影响塔筒盈利的重要因素，陆上看布局（运输半径500km）、海上看码头资源（自建码头成本优势明显），海风+出海规模提升背景下码头资源重要性凸显
- 行业主要参与公司：天顺风能、大金重工、海力风电、泰胜风能、天能重工

图：塔筒上市公司国内产能布局情况



图：天顺风能塔筒产品成本拆分



资料来源：各公司公告，光大证券研究所整理

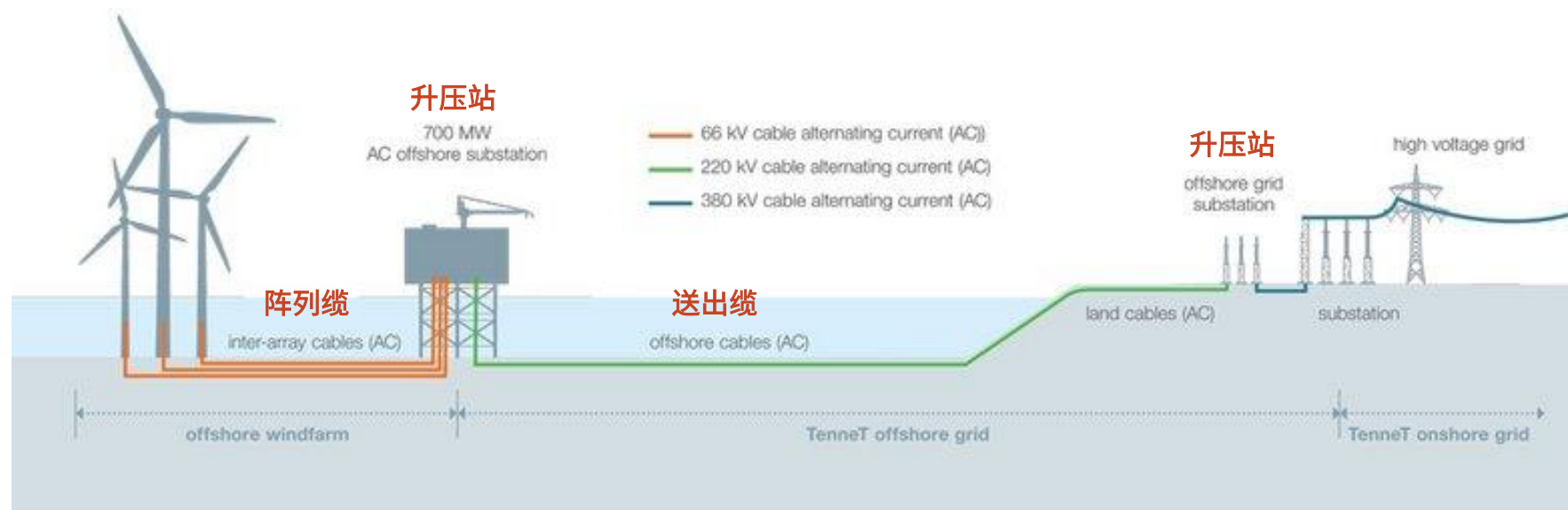
资料来源：Wind，左轴：亿元

供给端：全产业链降本大势所趋，共同承担平价时代成本压力

(7) 海缆：龙头各方面优势明显，未来将凭借技术+产品抢占份额并获取超额利润

- 海缆在**产品**（抗腐蚀、截面复杂）、**技术**（接头、敷设）、**区位**（需要码头资源）、**项目业绩**等方面均存在一定壁垒，CR3东方电缆、中天科技、亨通光电市占率行业领先
- 未来风场大型化、远深海化趋势明显，高电压及高毛利的电缆产品比例将提升；同时龙头公司将凭借技术优势（超高压交流电缆、柔直电缆、软接头等）抢占份额并享受溢价
- 行业主要参与公司：东方电缆、中天科技、亨通光电、宝胜股份

图：海上风电场电力输送方案



资料来源：Tennet公司官网

■ 风电产业发展及股价走势复盘

■ 产业链分析及供需、格局判断

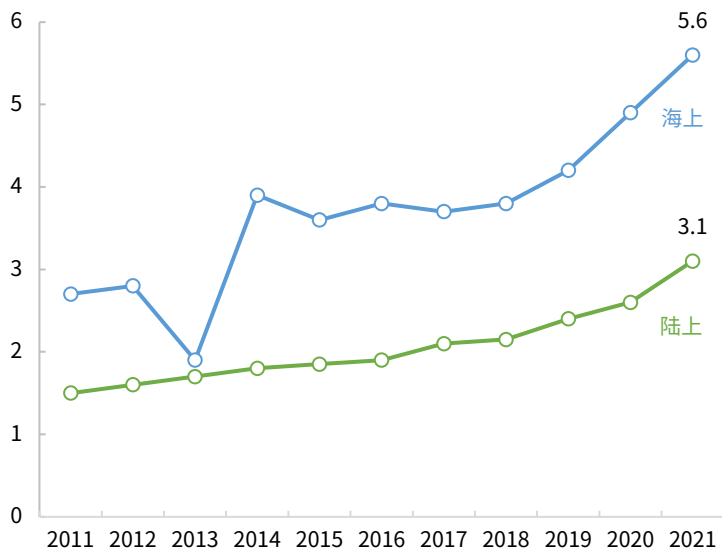
■ 未来发展趋势：降本、海风、出海

降本三因素：大型化、国产化、运维效率提升

(1) 大型化趋势加速，有望进一步降低风机成本与风电发电成本

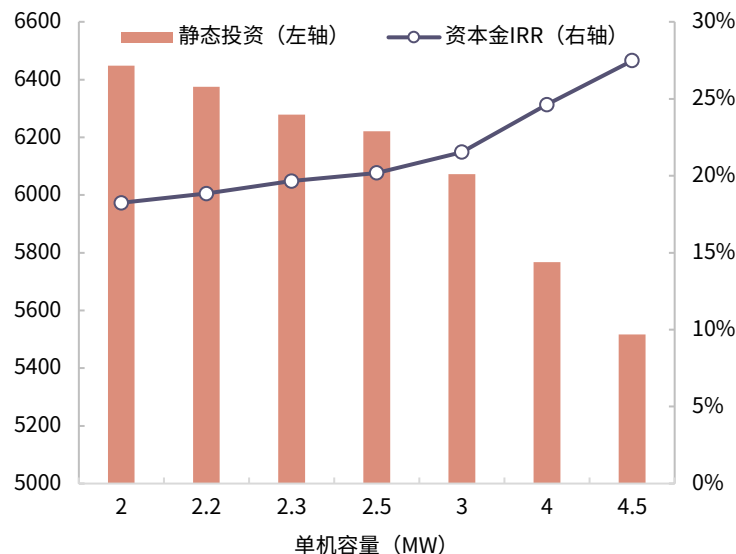
- 我国风电机组大型化趋势随着补贴下降和技术进步持续加速，2021年陆风平均单机容量已达3.1MW（对比2011年1.5MW已翻倍）
- 单机容量提升优势：单位重量下降（造价更低）、更大扫风面积（全生命周期发电量更多）、机组数量需求变少（同容量风电场吊装及运维单位成本更低）

图：中国历年新增陆上和海上风电机组平均单机容量



资料来源：《2021年中国风电吊装容量统计简报》，单位：MW

图：采用不同单机容量机组的项目经济指标



资料来源：《平价时代风电项目投资特点与趋势》（徐燕鹏），左轴单位：元/kW

降本三因素：大型化、国产化、运维效率提升

(2) 各类零部件国产化有望进一步降低风机生产成本

- 行业发展早期，国家通过国产化率保护政策（国内风电场建设国产化率不得低于70%）推动我国本土风电制造业发展
- 过去依靠进口的部分产品（主控、驱动链、齿轮箱等）都已实现国产化，后续仍需在主轴轴承、齿轮箱轴承、IGBT等方面继续突破
- 2021年5月，华能&海装联合研制的国产化5MW海风机组整机国产化率超95%

图：SKF（瑞典）用于风电机组主轴的球面滚子轴承

图：Winergy（德国）用于风电机组的High Densityx齿轮箱



资料来源：SKF产品手册

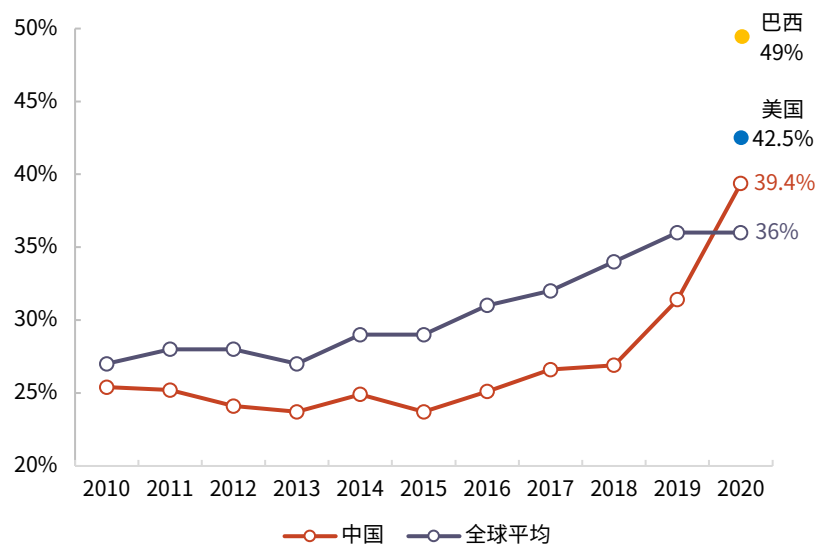
资料来源：Winergy官网

降本三因素：大型化、国产化、运维效率提升

(3) 运维效率提升推动风电项目实现“开源”“节流”

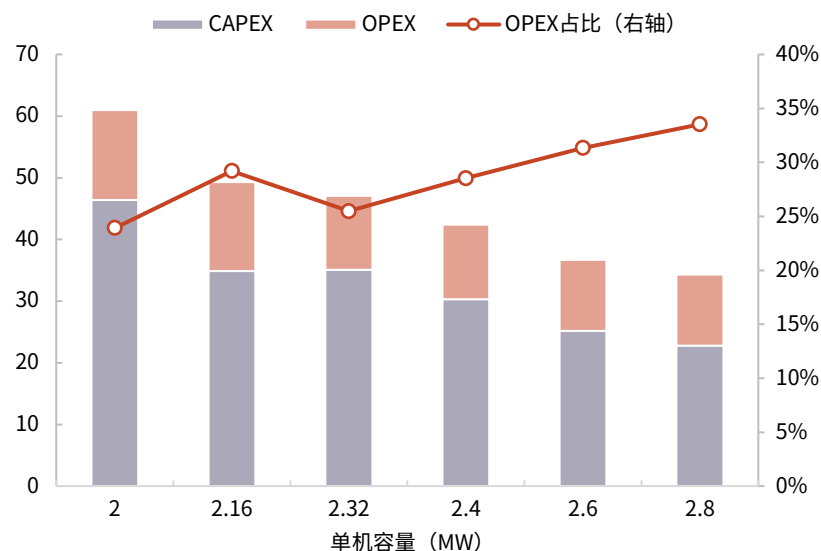
- 开源（收入提升）：容量系数仍有提升空间，单位发电量提升带来更多收入
- 节流（成本下降）：运维成本仍需持续下降，尤其是大兆瓦风机LCOE中OPEX占比持续提升

图：2010-2020年中国及全球陆风平均容量系数



资料来源：IRENA

图：不同单机容量陆风风机LCOE成本拆分及OPEX占比

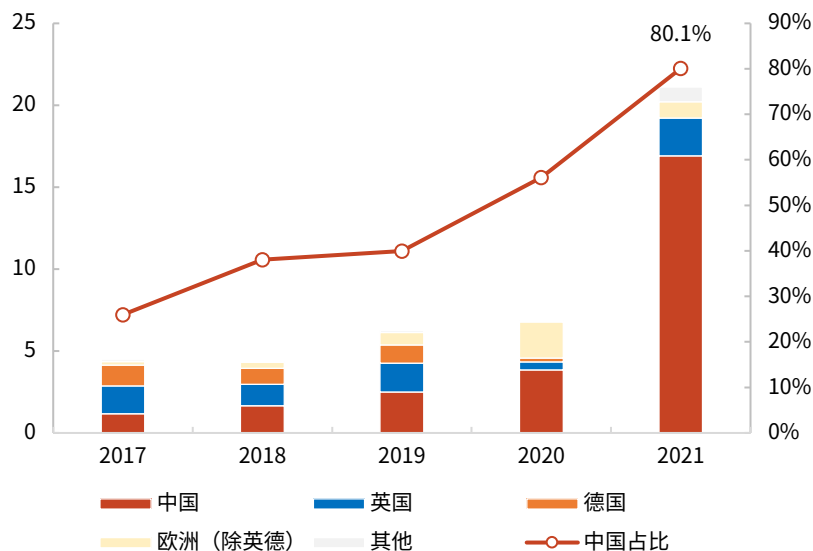


资料来源：历年《Cost of Wind Energy Review》，左轴：美元/MWh

海上风电：增速有望超预期，关注降本+运维效率提升

- 根据GWEC统计，2021年全球新增海风装机21.1GW，中国新增16.9GW，占比超80%
- 2021年底中国累计海风装机规模达27.7GW，超越英国（12.5GW）位居全球第一
- 2021年全球共有19.4GW海风招标，主要位于美国（8.4GW）、欧洲（7.8GW）
- 2021年中国海风招标规模约1.4GW，2022Q1新增约1GW，4月份新增1.7GW

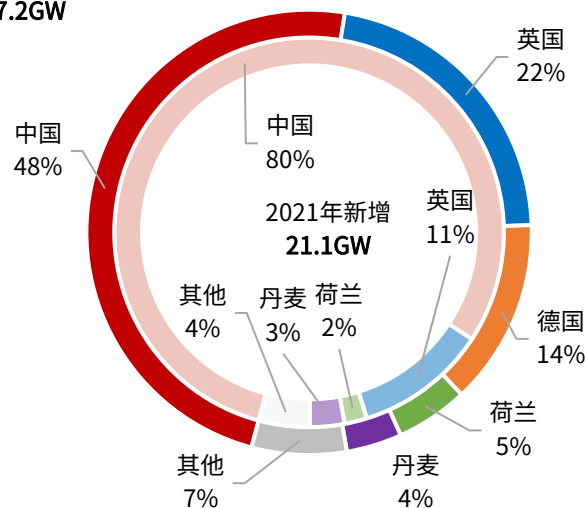
图：全球海上风电新增装机发展情况



资料来源：GWEC，左轴：GW

图：2021年全球海上风电新增及累计装机情况

截至2021年底累计
57.2GW



资料来源：GWEC

海上风电：增速有望超预期，关注降本+运维效率提升

(1) 降本：大型化趋势明显，降低整机成本，同时显著降低海上施工和机组后续运维成本

- 机组招标价格持续下探，已回落至4500元/kW左右（2019年招标价格在6500元/kW）
- 根据美国能源部统计，全球海风单机容量从2001年的2MW提升至2020年的7.6MW，风轮直径从2001年的76米提升至2020年的156.2米，轮毂高度提升至2020年的100.3米

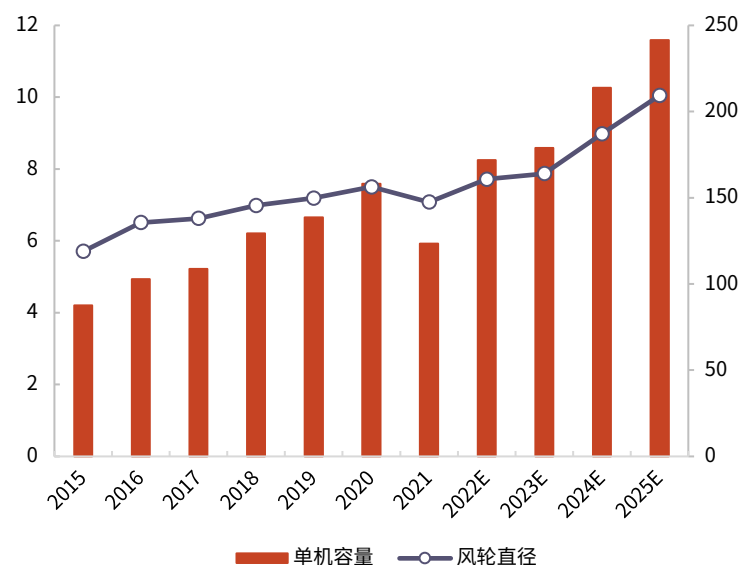
表：平价海上风电项目中标情况（截至2022年4月）

	项目名称	中标单位	装机容量	风机单价
1	山东能源渤中海上风电A场址工程风力发电机组采购	金风科技 (预中标)	500	3828
2	三峡福建平潭外海海上风电项目（标段一）	金风科技	40	4696
3	三峡平潭外海海上风电项目（标段二）	东方电气	60	4580
4	浙能台州1号海上风电场项目	东方电气	300	3548
5	三峡昌邑莱州湾一期海上风电项目	金风科技	300	4477
6	中广核象山涂茨海上风电项目	中国海装	280	3830
7	华润电力苍南1#海上风电项目	中国海装	400	4061

资料来源：各公司公告

装机容量单位：MW，风机单价单位：元/kW

图：全球海上风电单机容量、风轮直径情况

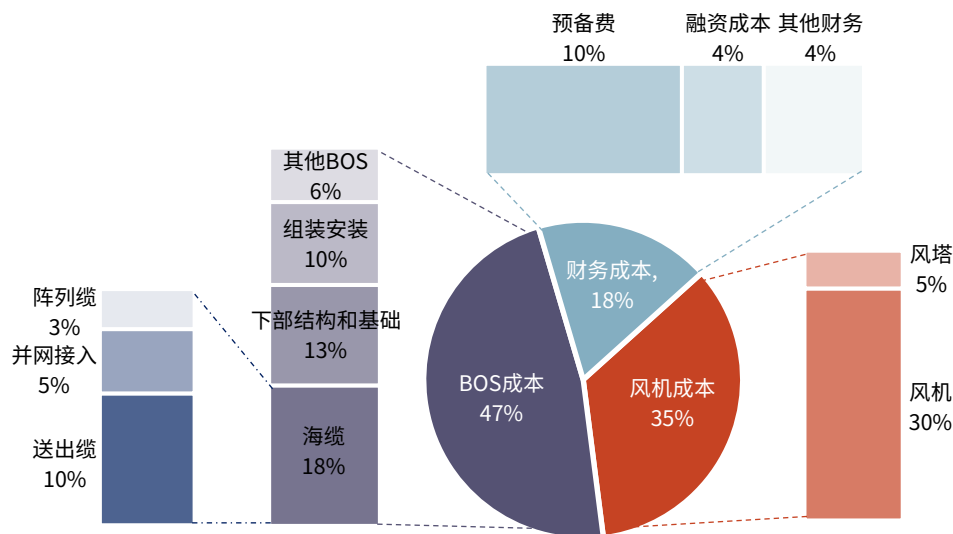


未来发展趋势：降本、海风、出海

海上风电：增速有望超预期，关注降本+运维效率提升

- 和陆风相比，海风BOS成本占比显著提升
(海风BOS 47% vs 陆风BOS 22%)
- 风塔成本占比显著降低，成本压力变小
(海风风塔 5% vs 陆风风塔 14%)
- 下部结构/基础 (13%) 和海缆 (18%)
成本占比较高

图：8MW单机容量海风项目（600MW）各板块成本占比（2020年）



资料来源：《Cost of Wind Energy Review》

请务必参阅正文之后的重要声明

表：8MW单机容量海风项目（600MW）成本拆分（2020年）

	8MW单机项目	占比
风机	1119	29.79%
风塔	182	4.85%
风机成本	1301	34.64%
开发成本	85	2.26%
工程管理	2	0.05%
下部结构	185	4.93%
基础	289	7.69%
下部结构和基础	474	12.62%
阵列缆	112	2.98%
送出缆	370	9.85%
并网接入	180	4.79%
电气基础设施	662	17.63%
组装机安装	390	10.38%
设备租赁成本	170	4.53%
BOS成本	1783	47.47%
施工保险	33	0.88%
保证担保	111	2.96%
建设融资成本	145	3.86%
预备费	350	9.32%
风场调试	33	0.88%
财务成本	672	17.89%
总投资成本	3756	100.00%

资料来源：《Cost of Wind Energy Review》，单位：美元/kW

海上风电：增速有望超预期，关注降本+运维效率提升

- 根据NREL测算，参考海风项目投资成本从2015年的4616美元/kW减少18.6%至2020年的3756美元/kW，主要降幅来自机组大型化后BOS成本的显著下降
- LCOE从2015年的181.3美元/MWh减少57.6%至2020年的76.8美元/MWh，降幅主要来自大型化以及OPEX下降

表：美国NREL历年参考海上风电项目成本测算

	单位	2015	2016	2017	2018	2019	2020
风场规模	MW	600	600	600	600	600	600
单机容量	MW	4.14	4.71	5.64	5.5	6.06	8
风机数量	个	145	128	107	109	98	75
风轮直径	米	118.9	128	140	140.4	150.7	159
轮毂高度	米	90.3	93.7	96.2	93.8	101.8	102.1
水深	米	30	30	30	34	34	34
离岸距离	千米	30	30	30	50	50	50
场站寿命	年	20	20	20	25	25	25
发电效率	MWh/MW/年	3494	3650	3741	4257	4270	4283
容量系数	%	39.90%	41.70%	42.70%	48.60%	48.75%	48.90%
风机成本	美元/kW	1466	1505	1557	1301	1301	1301
BOS成本	美元/kW	2167	2116	2289	2498	2131	1783
财务成本	美元/kW	983	959	690	645	645	672
总投资成本	美元/kW	4616	4580	4536	4444	4077	3756
降幅			-0.8%	-1.0%	-2.0%	-8.3%	-7.9%
LCOE	美元/MWh	181.3	172.8	123.7	89.1	84.6	76.8
降幅			-4.7%	-28.4%	-28.0%	-5.1%	-9.2%

资料来源：《Cost of Wind Energy Review》

海上风电：增速有望超预期，关注降本+运维效率提升

(2) 运维效率：海风运维成本占比更高，对于LCOE降低的拉动也更加明显

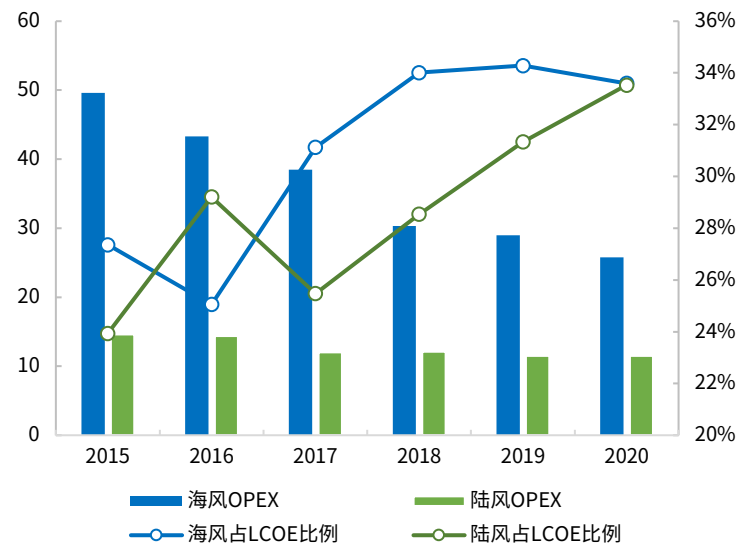
- 在粤东、福建等风资源较好（利用小时数较高）地区，1.5~1.6元/W成本便有望实现平价
- 运维是重中之重，包括机组可靠性、运维可达性、码头配备、智能化手段等
- 地方政府的政策倾斜/补贴支持也将推动海风配套设施的完善，同时弥补项目平价压力

表：广东、山东已明确海风省补计划，浙江台州出台征求意见稿

	补贴出处	补贴细则	补贴要求
广东	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	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	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
山东	2022年4月1日山东省能源局副局长答记者问	对2022-2024年建成并网的“十四五”海上风电项目，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
		对2022-2025年建成并网的“十四五”漂浮式海上光伏项目，省财政分别按照每千瓦1000元、800元、600元、400元的标准给予补贴	补贴规模分别不超过10万千瓦、20万千瓦、30万千瓦、40万千瓦
浙江台州	台州市财税支持碳达峰碳中和工作实施意见（征求意见稿）	以财政补贴、政府产业基金、财政引导金融等多种政策，大力推进核电、海上风电、光伏、水电发展	

资料来源：各地方政府网站，光大证券研究所整理

图：海风OPEX成本和在LCOE中占比均高于陆风



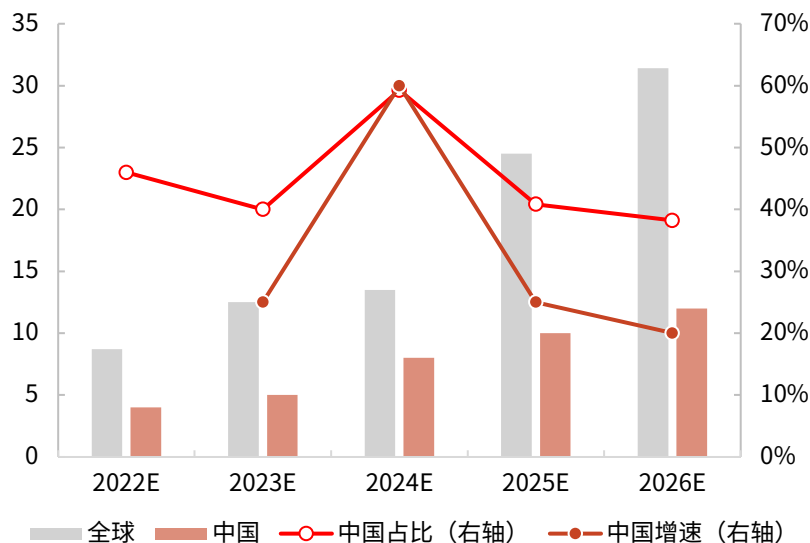
资料来源：《Cost of Wind Energy Review》，左轴：美元/MWh

海上风电：增速有望超预期，关注降本+运维效率提升

预计未来五年中国新增海风装机容量约40GW，且有望随降本及补贴进度超预期

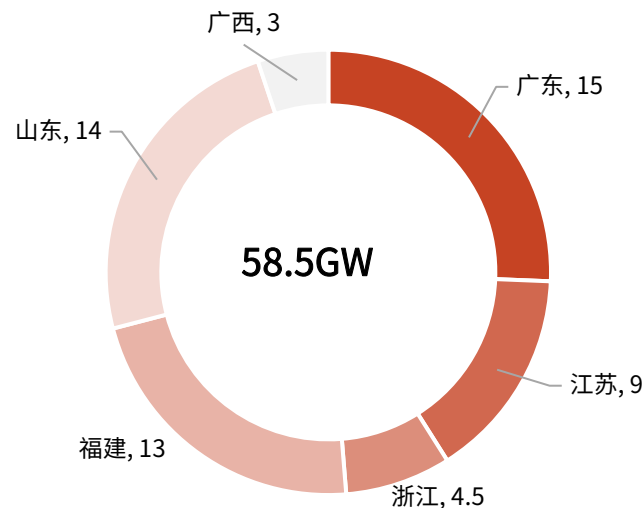
- 根据GWEC预测，2022-26年我国新增海风装机规模约40GW（全球90GW）
- 我国沿海各省“十四五”规划数据约60GW，若降本进度+地补+运维效率提升+国管海域审批放开，我国海风装机规模有望超预期增长

图：全球及中国新增海风装机规模预测



资料来源：GWEC预测，左轴：GW

图：沿海各省“十四五”规划海风装机规模



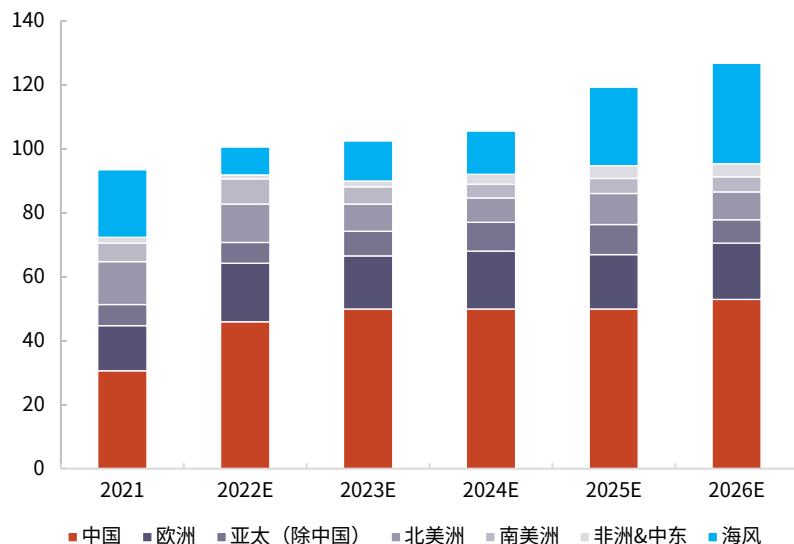
资料来源：各省官网，光大证券研究所整理

出海：海外风电市场广阔，中国风电整机厂商出海进程加速

预计未来五年全球风电市场规模持续提升，其中海风、非洲&中东、中国地区弹性较大

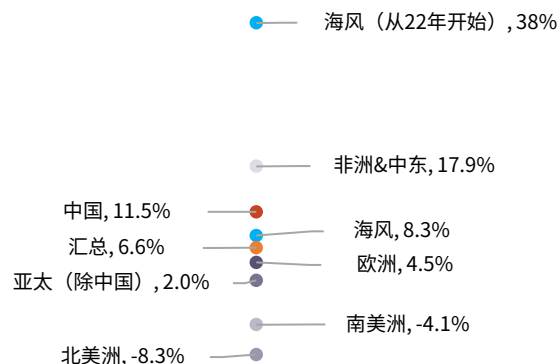
- 根据GWEC预测，2022-26年全球风电市场规模稳健增长，26年新增规模达128.77GW
- 其中，海风增速较快（若从22年开始测算，22-26四年CAGR达38%）；非洲&中东地区基数较低弹性较大（五年CAGR为17.9%），中国、欧洲地区保持稳健增长态势

图：2022-2026年全球风电新增装机规模预测



资料来源：GWEC预测，单位：GW

图：2022-2026年全球各地区风电新增装机容量CAGR



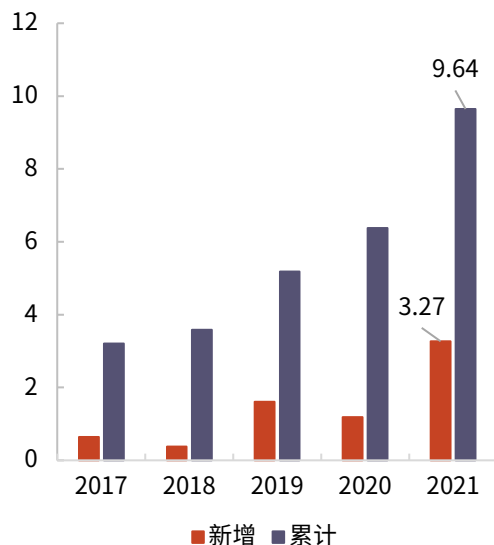
资料来源：GWEC预测

出海：海外风电市场广阔，中国风电整机厂商出海进程加速

中国整机出口进程加速，中东&非洲地区有望成为新增长潜力区

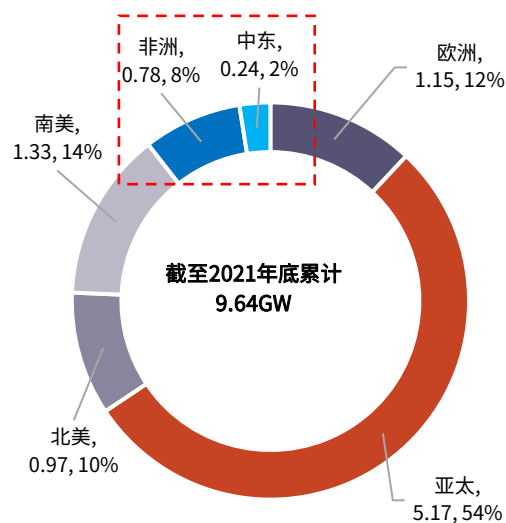
- 中国在人工成本、交付速度等方面存在优势，随着产品技术日益成熟，品牌认可度提升，2021年中国整机厂风机出口规模同比增175%至3.27GW
- 中国整机产能在全球占据领先优势（超50%），累计出口结构中亚太区占比较高，未来非洲&中东有望成为新的增长点

图：中国风电机组出口情况



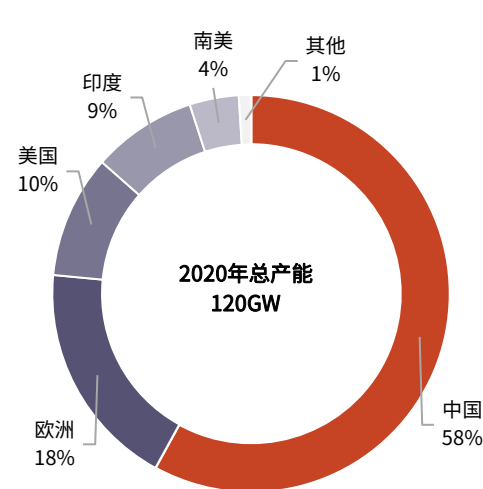
资料来源：《2021年中国风电吊装容量统计简报》
单位：GW

图：中国风电机组累计出口地区拆分



资料来源：《2021年中国风电吊装容量统计简报》
单位：GW

图：全球风电整机产能情况



资料来源：GWEC，截至2020年

未来发展趋势：降本、海风、出海

细分赛道优选，关注三要素：竞争格局、降本压力、技术进步潜力

降本、海风、出海等发展趋势下，整机、海缆、轴承、塔筒环节具备潜在投资机会：

- 整机2022年盈利承压，但平价后价格趋稳、出海规模提升等因素有望改善盈利能力
- 海缆成本面临压力（成本占比较高），但技术领先公司仍有望获得溢价
- 轴承在降本背景下国产替代成大趋势，需持续关注头部公司产品导入和验证进展
- 塔筒在海风项目中成本占比较小成本压力较小，海风&出海有望打开新的盈利空间
- 叶片环节有材料替代逻辑，重点关注国产碳纤维导入和应用

图：风电各环节关注要素判断

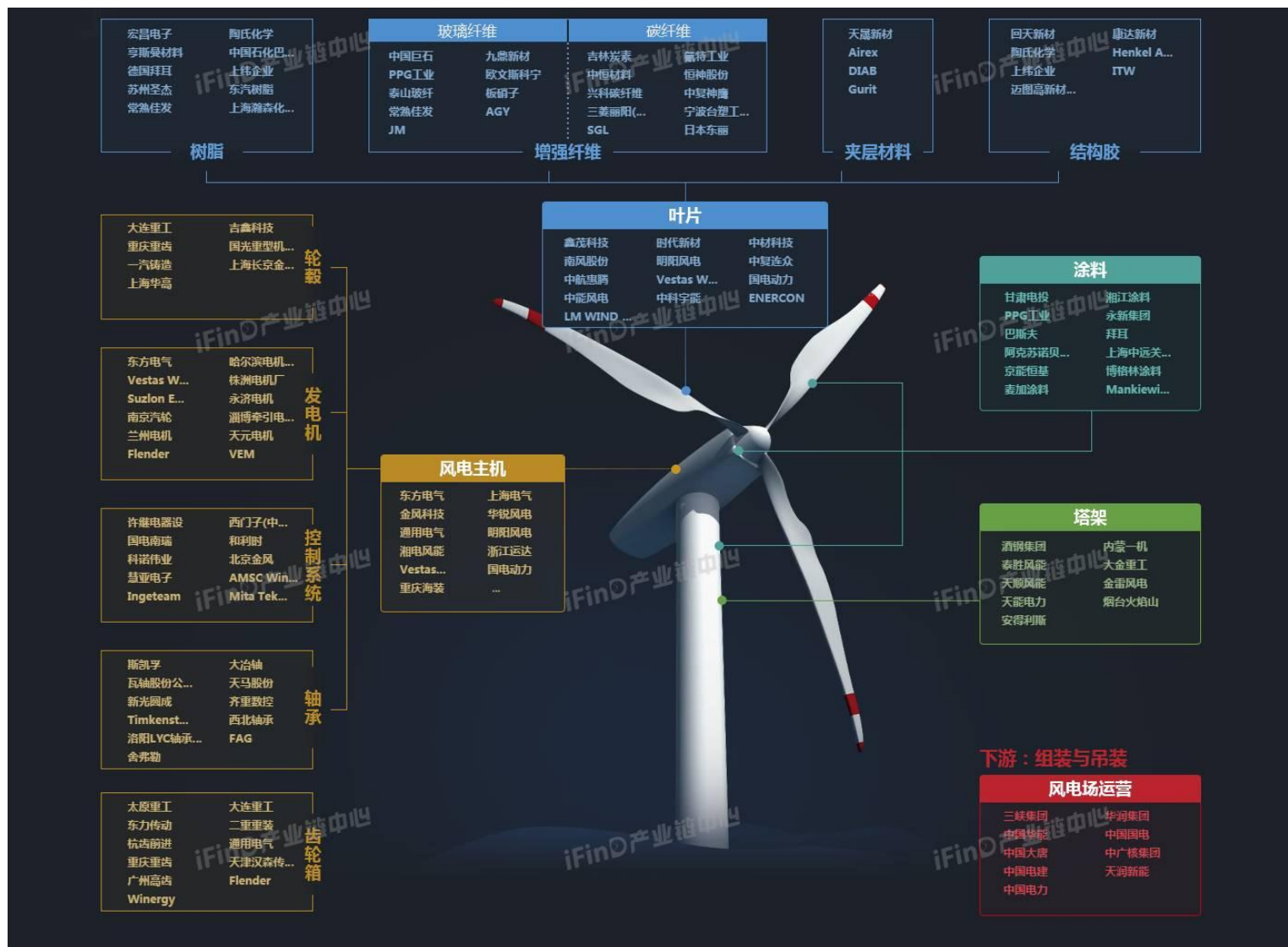
	竞争形势	成本压力	向下游顺价能力	向上游议价能力	技术进步潜力	关注点	头部公司2021年毛利率
整机	激烈	大，未来可能趋缓	较弱	较好	大	海风&出海	18%
桩基	平稳	平稳	中等	较弱	小	-	28%
海缆	趋向激烈	较大	中等	较弱	大	技术革新	44%
叶片	趋向激烈	较大	较弱	较弱	中等	碳纤维	16%
铸件	趋向激烈	大，未来可能趋缓	弱	弱	小	-	20%
发电机	平稳	平稳	较弱	较弱	小	-	14%
轴承	趋向激烈	平稳	较好	中等	大	国产替代	31%
齿轮箱	平稳	平稳	较弱	较弱	中等	-	16%
塔筒	趋向激烈	大，但可向下顺价	中等	弱	小	海风&出海	12%

资料来源：光大证券研究所，Wind

风电产业链投资图谱



光大证券
EVERBRIGHT SECURITIES



资料来源：iFinD产业链中心

请务必参阅正文之后的重要声明



- (1) 政策风险：“双碳”政策节奏发生变化，新能源上网电价政策发生变化；
- (2) 技术风险：材料国产化、材料降本低于预期、效率提升进度低于预期；
- (3) 市场风险：投资过剩，产能过剩，导致格局恶化，新产品难以获得超额收益；
- (4) 经营风险：相关企业因为研发、人员经验，导致出货量、出口进度低于预期。

衷心 感谢

光大证券研究所



电新环保研究团队

殷中枢（首席分析师）

📄 执业证书编号：S0930518040004
☎ 电话：15618060840/010-58452063
✉ 邮件：yinzs@ebscn.com

郝骞（光伏、风电、氢能）

📄 执业证书编号：S0930520050001
☎ 电话：021-52523827
✉ 邮件：haoqian@ebscn.com

黄帅斌（光伏、风电、工控）

📄 执业证书编号：S0930520080005
☎ 电话：021-52523828
✉ 邮件：huangshuaibin@ebscn.com

陈无忌（锂电）

☎ 电话：021-52523693
✉ 邮件：chenwuji@ebscn.com

和霖（储能）

☎ 电话：021-52523853
✉ 邮件：helin@ebscn.com

分析师声明

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观地出具本报告，并对本报告的内容和观点负责。负责准备以及撰写本报告的所有研究人员在此保证，本研究报告中任何关于发行商或证券所发表的观点均如实反映研究人员的个人观点。研究人员获取报酬的评判因素包括研究的质量和准确性、客户反馈、竞争性因素以及光大证券股份有限公司的整体收益。所有研究人员保证他们报酬的任何一部分不与，不与，也将不会与本报告中具体的推荐意见或观点有直接或间接的联系。

行业及公司评级体系

买入—未来6-12个月的投资收益率领先市场基准指数15%以上；

增持—未来6-12个月的投资收益率领先市场基准指数5%至15%；

中性—未来6-12个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至5%；

减持—未来6-12个月的投资收益率落后市场基准指数5%至15%；

卖出—未来6-12个月的投资收益率落后市场基准指数15%以上；

无评级—因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，致使无法给出明确的投资评级。

基准指数说明：A股主板基准为沪深300指数；中小盘基准为中小板指；创业板基准为创业板指；新三板基准为新三板指数；港股基准指数为恒生指数。

特别声明

光大证券股份有限公司（以下简称“本公司”）创建于1996年，系由中国光大（集团）总公司投资控股的全国性综合类股份制证券公司，是中国证监会批准的首批三家创新试点公司之一。根据中国证监会核发的经营证券期货业务许可，本公司的经营范围包括证券投资咨询业务。

本公司经营范围：证券经纪；证券投资咨询；与证券交易、证券投资活动有关的财务顾问；证券承销与保荐；证券自营；为期货公司提供中间介绍业务；证券投资基金代销；融资融券业务；中国证监会批准的其他业务。此外，本公司还通过全资或控股子公司开展资产管理、直接投资、期货、基金管理以及香港证券业务。

本报告由光大证券股份有限公司研究所（以下简称“光大证券研究所”）编写，以合法获得的我们相信为可靠、准确、完整的信息为基础，但不保证我们所获得的原始信息以及报告所载信息之准确性和完整性。光大证券研究所可能将不时补充、修订或更新有关信息，但不保证及时发布该等更新。

本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次发布时光大证券研究所的判断，可能需随时进行调整且不予通知。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。客户应自主作出投资决策并自行承担投资风险。本报告中的信息或所表述的意见并未考虑到个别投资者的具体投资目的、财务状况以及特定需求。投资者应当充分考虑自身特定状况，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，本公司及作者均不承担任何法律责任。

不同时期，本公司可能会撰写并发布与本报告所载信息、建议及预测不一致的报告。本公司的销售人员、交易人员和其他专业人员可能会向客户提供与本报告中观点不同的口头或书面评论或交易策略。本公司的资产管理子公司、自营部门以及其他投资业务板块可能会独立做出与本报告的意见或建议不相一致的投资决策。本公司提醒投资者注意并理解投资证券及投资产品存在的风险，在做出投资决策前，建议投资者务必向专业人士咨询并谨慎抉择。

在法律允许的情况下，本公司及其附属机构可能持有报告中提及的公司所发行证券的头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或正在争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。投资者应当充分考虑本公司及本公司附属机构就报告内容可能存在的利益冲突，勿将本报告作为投资决策的唯一信赖依据。

本报告根据中华人民共和国法律在中华人民共和国境内分发，仅向特定客户传送。本报告的版权仅归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式、任何目的进行翻版、复制、转载、刊登、发表、篡改或引用。如因侵权行为给本公司造成任何直接或间接的损失，本公司保留追究一切法律责任的权利。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

光大证券股份有限公司版权所有。保留一切权利。