



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

海上风电运营概况 及退役机制下面临的挑战

江苏海上龙源风力发电有限公司





目录
Contents



1 海上风电运营概况

2 海上风电退坡机制下面临的挑战





2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

1

海上风电运营概况



海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

[江苏海上龙源风力发电有限公司]

- 江苏海上龙源、龙源盐城大丰海上、龙源黄海如东、海安龙源
- 总装机118.2万千瓦，安装10个厂家的15种机型海上风机共390台；
- 已有西门子、华锐、金风等多个风电项目出质保期；
- 已核准待建海上风电容量100万千瓦，今年开工建设40万千瓦。



海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

一、龙源江苏海上风电现状



龙源江苏海上风电场



海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活



与陆上风机相比，海上风机存在的问题



海上风电设备运行可靠性

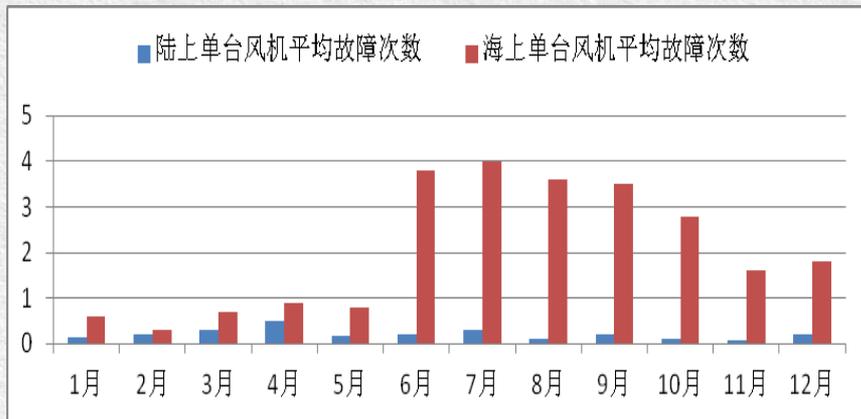
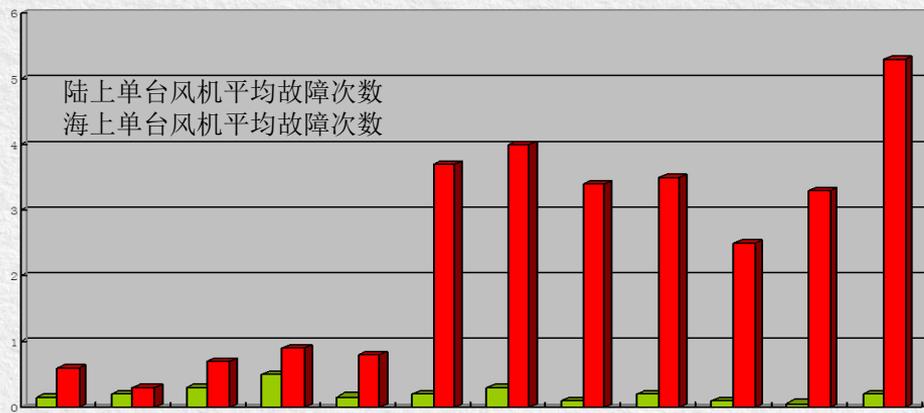


2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(1) 新型风电机组多，故障率高



由于风机所处环境恶劣，故障处理及时性差，故海上风机故障次数明显高于陆上风机。



海上风电设备运行可靠性

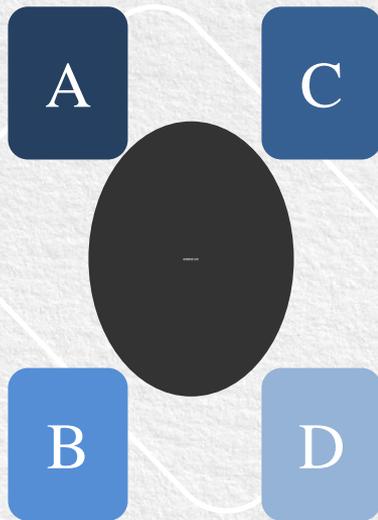


2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

与陆上**105台GE**风机相比较，**1~5**月份，**3万**试验项目风机单台平均故障次数相对平稳，是陆上风机的**2.6**倍；

6月份起，随着气温升高，变频器、散热系统等故障频繁发生，单台平均故障次数激增至陆上风机的约**20**倍；



11月以后，气温降低，故障率有所下降。

表面上看，故障率受气温影响；深层次上则反映了海上防腐与散热之间不易调和的矛盾。可以说，陆、海风机的设计差异和风机技术的不成熟，是**3万**试验项目风机故障频发的主要原因。



海上风电设备运行可靠性

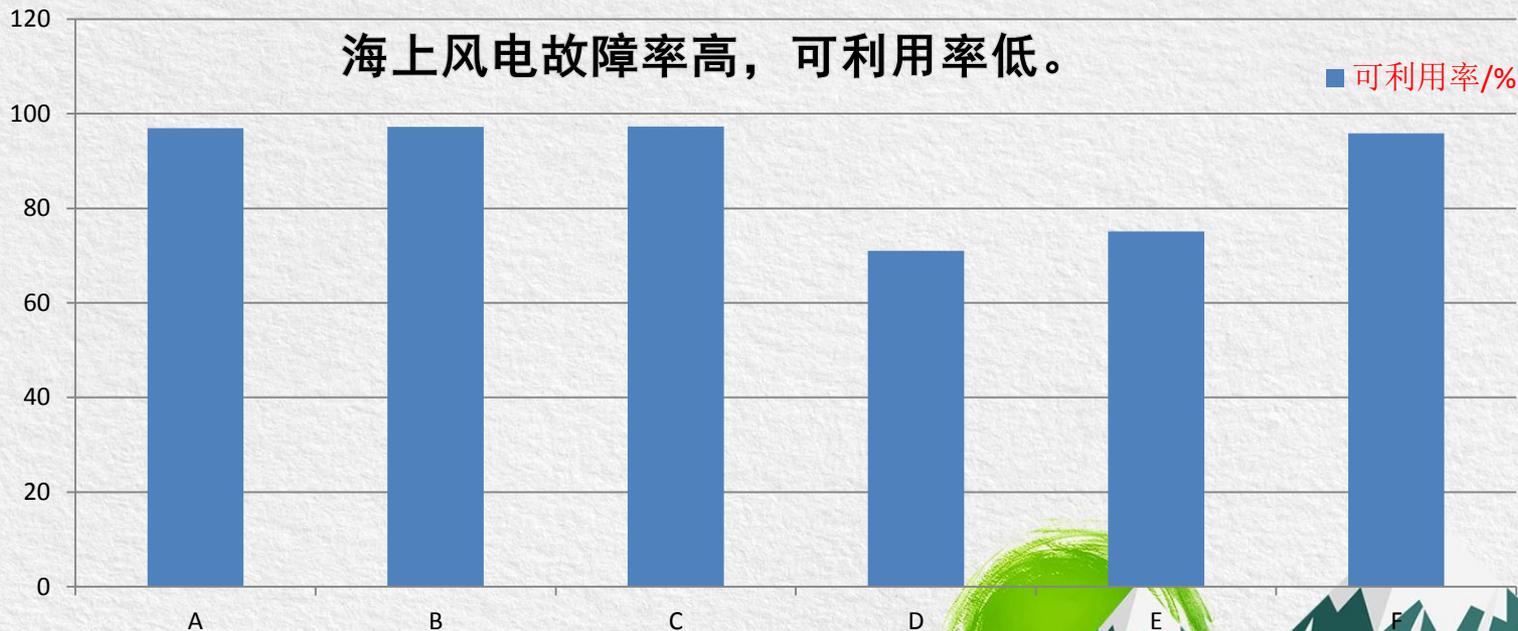


2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(1) 新型风电机组多，故障率高



海上风电设备运行可靠性



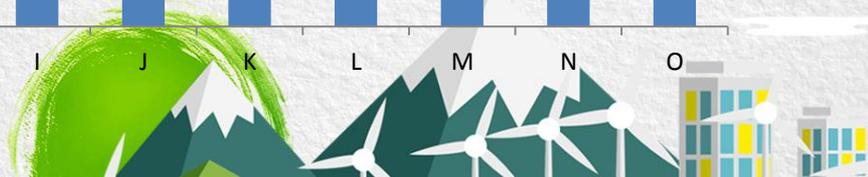
2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(1) 新型风电机组多，故障率高

海上风电场不同种类机型单台年相对利用小时数



海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(1) 新型风电机组多，故障率高

海上风电机组日利用小时数及日风速（某天）



海上风电设备运行可靠性



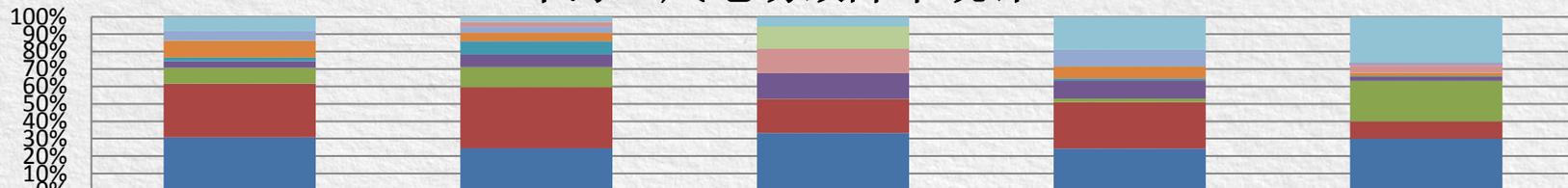
2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(2) 故障原因统计分析

2018年海上风电场故障率统计



	甲项目	乙项目	丙项目	丁增容项目	戊项目
■ 其他	0.08	0.03	0.06	0.19	0.26
■ 振动系统					0.02
■ 通讯故障			0.13		
■ 冷却系统故障		0.03	0.14		0.04
■ 偏航系统故障	0.06	0.03		0.10	
■ 齿轮箱类故障	0.10	0.05		0.07	0.02
■ 液压系统故障	0.02	0.08		0.01	0.01
■ 发电机故障	0.04	0.07	0.15	0.11	0.02
■ 主控系统故障	0.09	0.11		0.02	0.23
■ 变桨系统故障	0.31	0.35	0.19	0.27	0.10
■ 变频器故障	0.31	0.24	0.33	0.24	0.30

海上风电设备运行可靠性



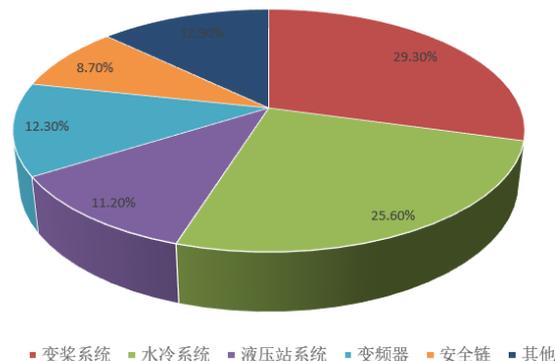
2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(2) 故障原因统计分析

2018年如东海上风电场机组故障分布情况



截至2018年底，龙源如东海上风电场风机共有594台次就地故障处理发生，因设备质量问题而引起的就地故障处理有543台次，其中**变桨系统故障占比29.3%**，**变频器故障占比25.6%**，**液压站系统故障占比12.3%**，**水冷系统故障占比11.2%**，**安全链故障占比8.7%**，**其他故障占比12.9%**。

龙源近三年统计：**变桨系统故障占比29.9%**，**变频器故障占比15.7%**，**发电机故障占比11.2%**，**齿轮箱故障占比11.1%**，**偏航故障占比10.2%**，**叶片故障占比7.65%**，**主控系统故障占比7.2%**，**液压系统故障占比6.1%**。

海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会
清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状 (2) 故障原因统计分析

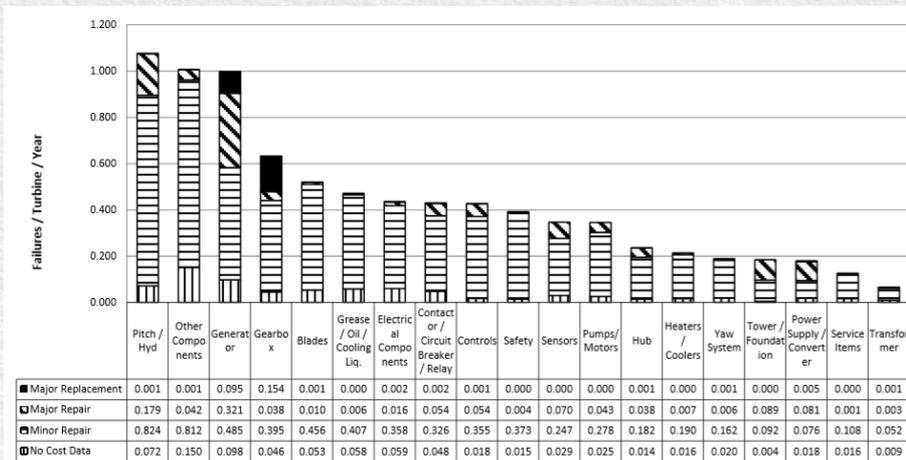


Figure 1: Pareto chart of offshore wind turbine subsystem / component failure rates [1]

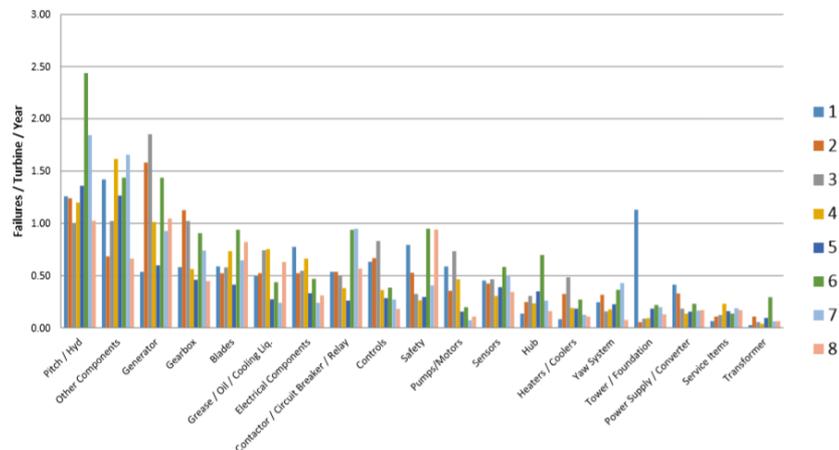


Figure 2: Pareto chart of offshore wind turbine subsystem / component failure rates vs. year of operation

欧洲海上风机系统、部件故障率帕累托图



海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(2) 故障原因统计分析

变桨系统故障:

- 1、变桨通讯
- 2、变桨位置

变桨位置不一致（差异过大）、限位开关触发故障、编码器故障、限位开关接线破损；

3、变桨电机损坏，变桨电机温度异常

4、变桨电容电压低 5、变桨充电器故障 6、变桨变频器故障

7、蓄能器密封失效漏油、旋转接头内泄漏 8、变桨减速器渗油

9、变桨轴承卡涩、开裂 7、桨叶电磁阀故障

10、变桨电池固定螺栓不牢固，使电池脱落，系统失去后备电源，无法紧急收桨



海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(2) 故障原因统计分析

齿轮箱故障:

- 1、齿轮箱齿轮出现：疲劳裂纹、点蚀、胶合、磨损；一级行星轴面出现点蚀、齿面剥落情况较多，有部分出现齿轮折断
- 2、紧固件变形松动
- 3、齿轮箱轴承，疲劳失效、摩擦磨损失效
- 4、齿轮箱油封磨损、橡胶老化，密封失效、渗油
齿轮箱滤芯渗油、齿轮箱驱动端渗油、
齿轮箱观察口处渗油、齿轮箱空气滤芯处渗油



海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(2) 故障原因统计分析

偏航系统故障:

一、偏航驱动系统故障

- 1、齿圈齿面磨损
- 2、偏航电机损坏
- 3、异常噪声（偏航大、小齿轮有撞击声，偏航轴承异响）
- 4、偏航计数器传感器故障
- 5、偏航定位不准确，左、右偏航反馈丢失
- 6、偏航轴承内密封圈渗漏油
- 7、偏航齿圈固定螺栓断裂

二、偏航制动系统故障

- 1、偏航制动器漏油、液压管路渗漏、偏航压力不稳、建压时间长、液压泵无反馈、液压系统油位低
- 2、制动器有异响



海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(2) 故障原因统计分析

冷却系统故障:

1、风机水冷系统故障

风机塔底水冷压力低、塔外变频器散热片损坏，塔外散热片存在渗水

2、箱变水冷故障

更换箱变水冷泵透气管，故障消除；

3、齿轮箱2级轴温高

齿轮箱油循环系统的温度控制阀有问题，导致散热不好；

更换油泵电机后故障消除；

液压系统故障:

1、液压油位错误故障

更换油位传感器，风机故障消除



海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(2) 故障原因统计分析

安全链故障:

1、PLC_安全链反馈异常

2、人工安全链或机械安全链无反馈信号故障

检查发现为AXCN3插头内部接线有虚接现象，紧固后故障消除；

3、机组“1#变桨内部安全链”故障

检查发现，滑环与2#变桨柜接口的安全链回路哈丁头插针存在出厂压接问题，有轻微的晃动现象，重新更换变桨通讯线后故障消除；

4、安全链被短接

因轮毂滑环不太好用，常报安全链故障，人为把安全链短接，但可能导致无法紧急收桨，需安全链测试



海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(2) 故障原因统计分析

主控系统故障:

1、EtherCAT模块状态异常

2、Ethercat通讯自恢复故障

检查发现EL2024模块失效，经更换后故障消除

3、CAN通讯模块故障

690电缆变频器机侧断路器下边屏蔽没有接地，产生干扰

4、滑环编码器故障

滑环双端屏蔽，共模干扰，干扰速度信号失真



海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(2) 故障原因统计分析

变频器故障:

1、变频器电抗、风扇、散热器、IGBT、电源模块、功率模块、网侧模块故障

变频器功率模组损坏加速：功率模组中的电容器损坏所致，电容器已经到达寿命期限

网侧断路器同步超时

PLC程序出现问题

2、变频器内部温度高

变频器水压低，水泵有泄漏；变频器风扇故障

3、变频器网侧和机侧断路器故障

断路器无法自动储能



海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(2) 故障原因统计分析

海上、陆上变电站（集控中心）：

- 1、SVG采用空冷式设备，故障率高
设备电子元器，在高温、高湿的环境中损坏率高，空冷式不适合在沿海的环境下使用。
- 2、主变在高温、高湿的环境中，散热片存在漏油
- 3、海上升压站暖通设备故障率较高
- 4、海上升压站自动消防系统高压细水雾的主变散热片的喷头设置在户外，出现锈蚀



海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(2) 故障原因统计分析

其他故障:

- 1、风机无法并网故障
- 2、箱变绕组温度高故障
- 3、烟雾报警
- 4、箱变跳闸、箱变温度控制板故障
- 5、电能表检测频率超高故障

环网柜V柜CT的B相二次线连接端子排已烧焦，确认为端子排下端连接螺栓松动，瞬时电流过大导致，经更换端子排后故障消除。

6、发电机接地碳刷不能正常接地

盐雾导致在集电环接地附着一层白色盐雾结晶体，使接地碳刷磨损不规则

7、发电机PT100存在失效现象



海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会
清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(3) 下海处理故障工作量大

项目	A机型	B机型	C机型	D机型	E机型
2018年度故障总次数	74	122	85	111	124
2018年度下海处理故障次数	62	107	71	95	112
单个故障维护耗时（小时）	38.56	23.70	25.74	40.80	28.42
2018年度可利用率	89.25%	96.25%	92.41%	93.43%	94.89%
累计技改项目（个）	14	26	4	18	6



海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(3) 下海处理故障工作量大

截止到2018年底龙源如东海上风电场各机型故障台次统计表

机型	故障台次	下海处理次数
	年累计台均	年累计台均
A	9.50	6.50
B	5.5	3.5
C	4.0	3.0
D	4.5	3.5
E	25.50	10.50
F	25.00	19.00
G	18.00	7.00
H	12.00	6.00
I	12.00	8.50
J	28.50	25.50
K	11.00	6.00
L	7.16	3.84
M	27.00	17.50
N	22.50	16.50
O	7.5	4.5
P	10.00	5.00

海上机组在国产化替代过程中，由于制造水平受限，未能达到开发商预期。



海上风电设备运行可靠性



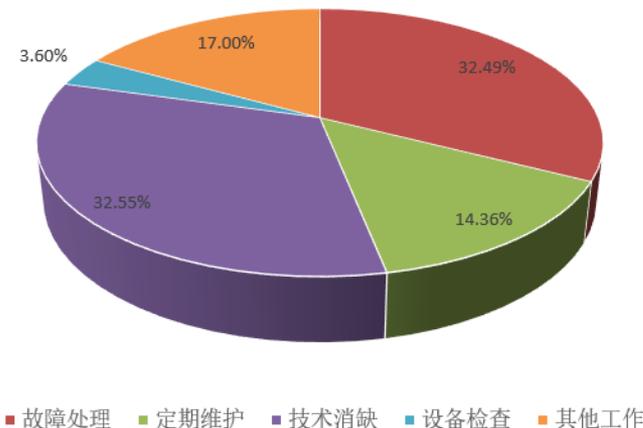
2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(3) 下海处理故障工作量大

2018年如东海上风电场下海次数统计情况



截至2018底，龙源如东海上风电场累计下海工作1万多人次，其中故障处理占32.49%。

海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(4) 大部件损坏率高，更换成本高昂、周期长、电量损失严重

机型	齿轮箱	轴承	叶片
A机型	5	4	2
B机型	0	5	10
C机型	7	0	0
D机型	0	1	0
E机型	2	0	0
所有风机	14	10	12

投运以来，各主力机型大部件损坏主要集中在齿轮箱、轴承、叶片；齿轮箱更换费用单台大约400万，停机周期50天左右

海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(4) 大部件损坏率高，更换成本高昂、周期长、电量损失严重

A试验项目，机组多数首次安装于海上，部件不适应海上高湿度、重盐雾的工况，近两年机组大部件逐渐出现损伤，A、B机组更换齿轮箱3台次、C机组更换发电机2台次，C、D机组更换叶轮、齿轮箱、发电机各1台次。

B试验项目，除H机组以外的机组运行一直不够稳定，机组内部结构布局设计、设备性能方面多存在缺陷，技改工作量大，大部件可靠性不高，一台J机组主轴承损坏，K机组由于变频器性能与设计预期差距较大，故障频发，L机组仍在调试中。



海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(4) 大部件损坏率高，更换成本高昂、周期长、电量损失严重

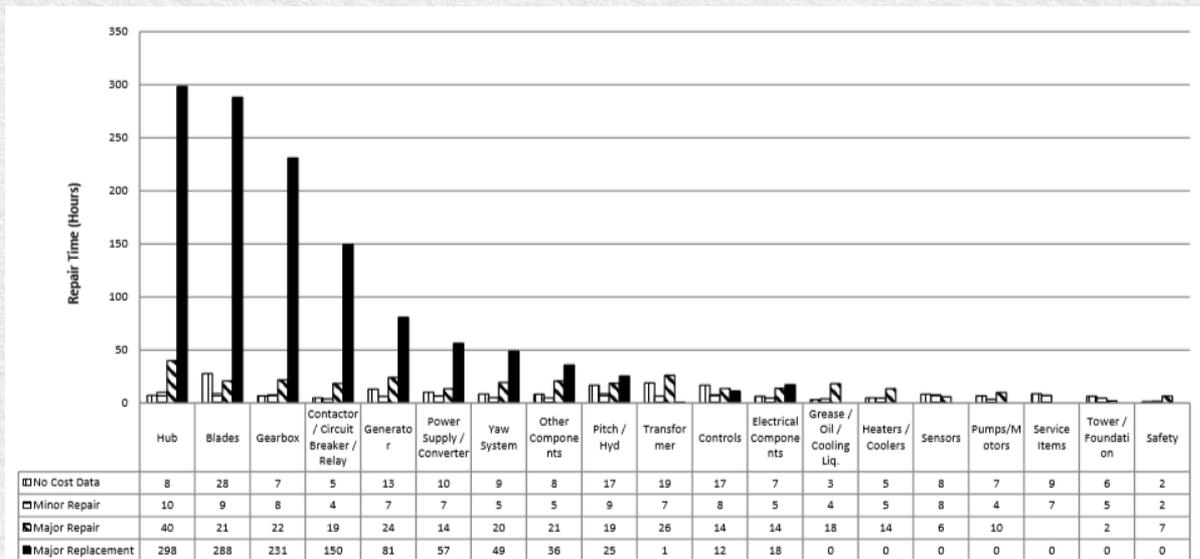


Figure 13. Pareto chart of average repair times for each sub-assembly/component

欧洲海上风机系统、部件故障平均修复时间帕累托图

海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(4) 大部件损坏率高，更换成本高昂、周期长、电量损失严重

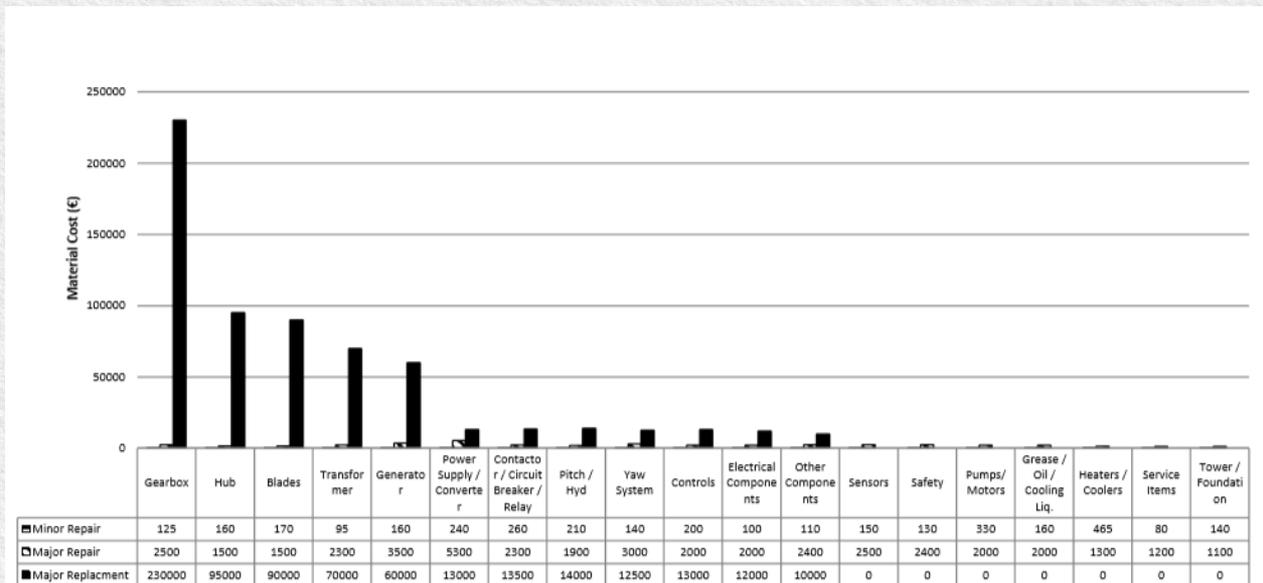


Figure 14. Pareto chart of average repair cost for each sub-assembly/component

欧洲海上风机系统、部件故障平均修复费用帕累托图

海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(4) 大部件损坏率高，更换成本高昂、周期长、电量损失严重



海上风机如发生叶片、齿轮箱、发电机等大型部件故障，必须动用大型船只和吊装设备，并且处理时机还受制于海上气象，施工周期长，对风电场安全经济指标有重大影响。



海上风电设备运行可靠性

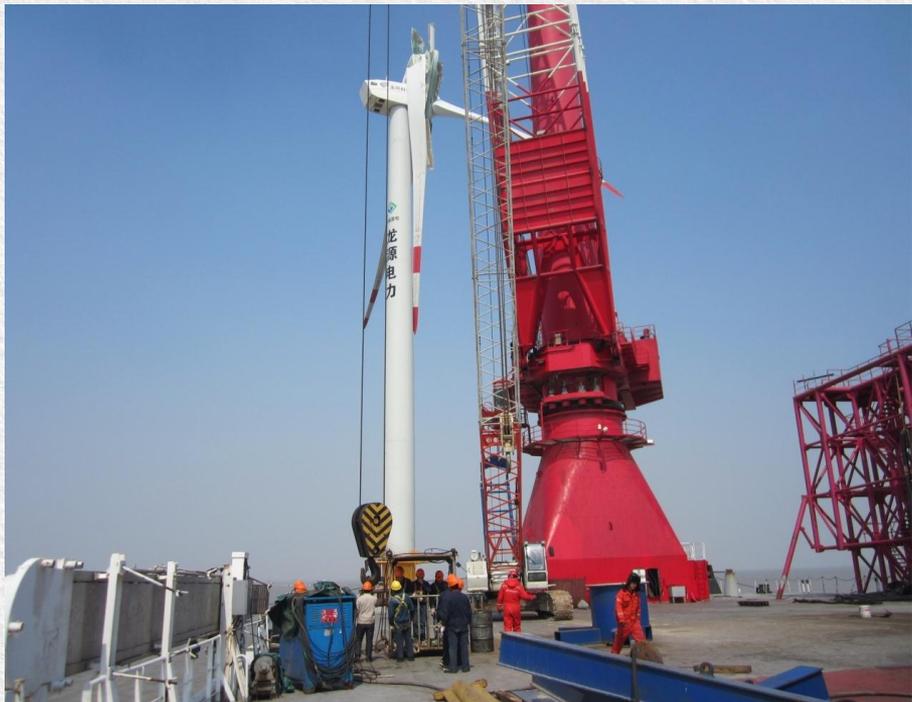
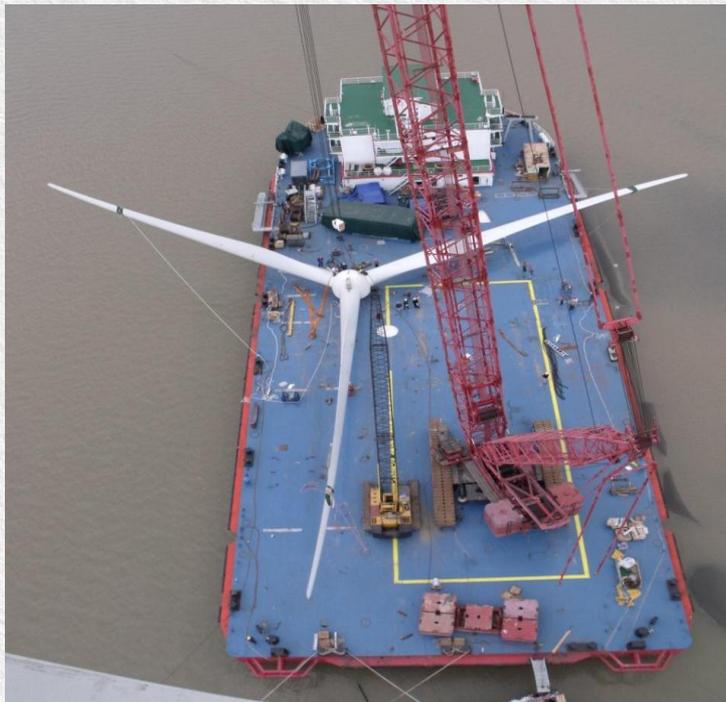


2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(4) 大部件损坏率高，更换成本高昂、周期长、电量损失严重



海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(4) 大部件损坏率高，更换成本高昂、周期长、电量损失严重



齿轮箱出现问题较多，如其中1台，齿轮箱过滤器堵塞，滤芯、滤筒中存在大量铁屑，内窥镜检查发现行星轮轴承滚道剥落，原因轴承材料存在局部缺陷。



海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(4) 大部件损坏率高，更换成本高昂、周期长、电量损失严重



因雷击损伤的某风机叶片正在紧张修补中

海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

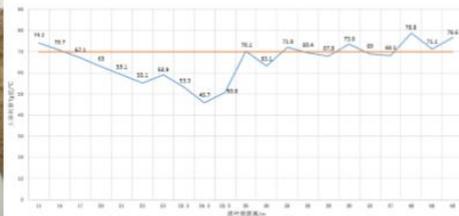
清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(5) 风机叶片失效

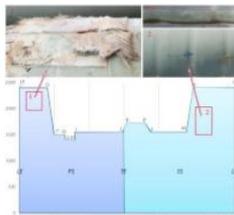


褶皱、缺胶、Tg值超限、材料体系不匹配、运输碰撞、控制逻辑问题、叶片选型错误、轴承选型偏于激进、载荷过大.....



11: + OK/S

主梁褶皱、开裂，螺栓断裂



风机叶片失效原因分析

海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(5) 风机叶片失效



作为叶片防雷系统中最为重要的接闪器、引下线，开展电流载荷测试。

海上风电受雷击易造成机械性损伤与电气性损伤，另外大容量海上风机超长叶片利用更多的碳纤维，导电的碳纤维是导电的，更容易被闪电击中。分析海洋环境风电机组雷击原因和雷电电磁脉冲的侵入途径，雷击浆叶损伤机制与冲击爆裂动力学建模，优化风机浆叶和防雷系统的设计。

风机叶片失效原因分析

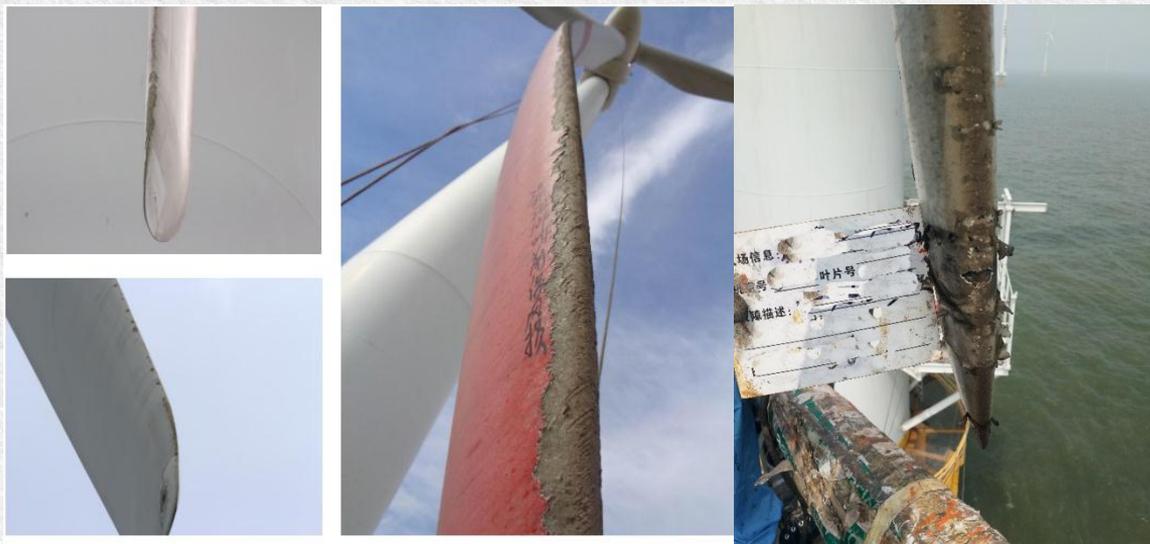
海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会
清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(5) 风机叶片失效



前缘侵蚀是大型叶片面临的一个严重问题，几乎所有的MW级叶片都存在叶片高速撞击空气中的颗粒物是导致此问题的主要原因。由于降雨的出现概率较大，因此雨蚀通常被认为是关键影响因素。

海上风电叶片腐蚀除了雨滴、盐雾、紫外线辐射等因素外，海浪冲击也是叶片前缘的一大威胁。

前缘损伤会改变气动外形，降低发电量；外防护层破坏，玻璃钢层受损，结构破坏风险。

叶片前缘磨蚀



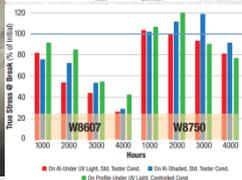
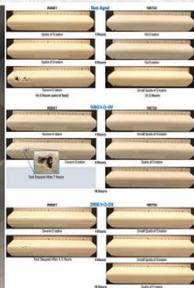
海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会
清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

(5) 风机叶片失效



前缘保护主要采用贴膜、刷涂层
3M 8750膜；PPG涂料保护技术
前缘保护技术



海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

二、中国海上风电机组运行可靠性现状

风场	项目	停机时长(min)	日可利用率	月可利用率	年可利用率
A海上风电场	A	5305	78.54%	83.44%	87.99%
	B	1200	95.10%	90.34%	96.32%
	C	6048	80.00%	89.54%	94.87%
	D	737	97.44%	98.38%	99.48%
	E	1440	95.00%	99.49%	93.33%
	F	1447	89.53%	87.68%	87.11%
	G	80	99.78%	97.42%	96.99%
	H	1592	95.58%	97.68%	97.23%
	小计		17849	93.18%	94.32%
B海上风电场	I	1705	98.52%	97.64%	97.21%
C海上风电场	J	799	99.26%	98.96%	98.17%
合计		38202	96.13%	96.41%	96.24%

2个试验风电场多采用试验原型机，设计方面未能充分考虑海上高盐雾、高湿度的恶劣环境，导致设备故障频发，两个试验项目的可利用率均低于90%，大幅拉低了风电场全场平均可利用率。

龙源风电场某年风机可利用率

海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

三、中国海上风电机组建议

针对中国海洋、水文及风资源特点建议关注以下几个方面

- 1、为适应海上风电电价退坡，关注可用于长江以北沿海的海上低风速风机的研制；
- 2、继续开展抗台风风机的研究；
- 3、开展浮式风电机组的研究；
- 4、开展延长风电机组使用寿命研究；
- 5、大容量机组采取在做好检测、试验的基础上，逐步、稳妥推进；
- 6、为有效降低全寿命度电成本，继续推进机组、基础一体化研究；
- 7、关注大部件更换自维护装备、工艺的研究；
- 8、继续推进机组状态监测；
- 9、运行维护辅助装备（包括工装）研制。



海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会
清洁能源 智慧电力 美好生活

四、海上风电海缆运行可靠性

海上风电海缆受损频度高，直接、间接损失大，海缆运行可靠性很重要



Horns Rev2连接风电场和陆地的电缆在10月19日01:56发生故障。电缆长42公里，找到故障的确切位置，11月25日才能下线。



泰晤士河河口的伦敦阵列风电场电缆，在铺设第二条电缆的过程中，被风机安装平台的支腿损坏。

Thanet风电场，在2011年检查发现两条电缆中的一条扭结，在检修中同一根电缆中又发现了扭结，需要再次修补。在维修期间，这个风电场只有一半功率。如果没有可用的船只和电缆，修复可能需要几个月。



海缆受损



海上风电设备运行可靠性



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

四、海上风电海缆运行可靠性

海上风电海缆受损频度高，直接、间接损失大，海缆运行可靠性很重要

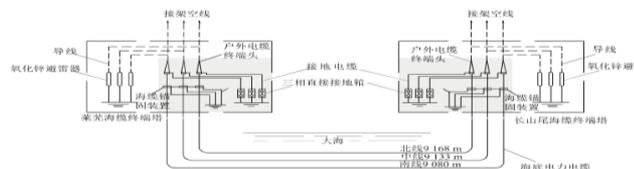


图7 原海缆系统的接地方式

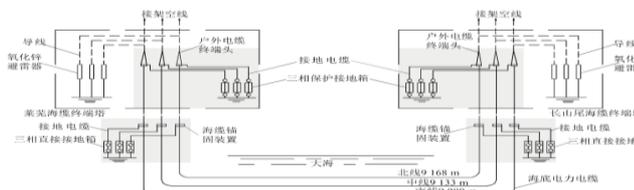


图8 改造后海缆系统的接地方式



图4 海缆W相测温光纤故障点

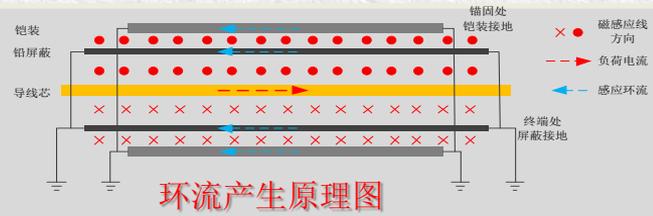
(a)本体故障2
半导体PE层烧穿点

(b)本体故障2
剥离后的铅护套

图5 发热电缆本体故障2的内部情况

测量环流，锚固处铠装接地电流C相最大506A，终端处屏蔽层接地电流B相最大146A。

当海缆流过电流时，会在其周围产生交变磁场，磁场变化频率与交流电相同。即使海缆的金属铠装、铅屏蔽层等金属护套固定安装、静止不动，但交变的磁场还是会相对“切割”这些金属护套，并在其两端产生感应电动势，220kV单芯海缆产生的感应电动势一般为20~30V/km。当海缆铠装、铅屏蔽层两端直接接地时，即铠装、铅屏蔽层中产生较大环流。



环流产生原理图

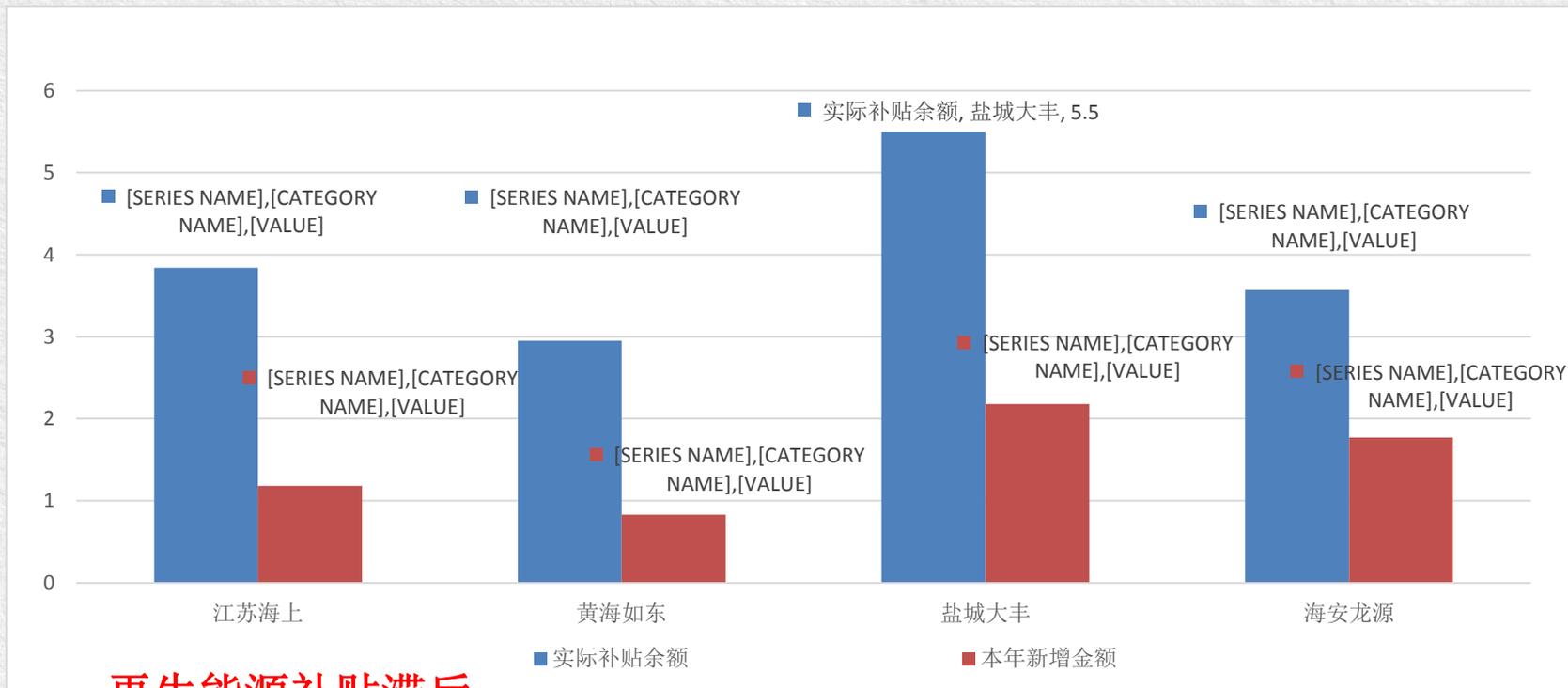
已建成海上风电经营情况



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

可再生能源补贴情况 (单位:亿元)



再生能源补贴滞后

已建成海上风电经营情况



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

初步分析

经过10年的运营数据分析

- 1、海上风电设备可靠性不高，故障率居高不下，需现场消缺次数多，投入维修人员多；
- 2、海上风机的维护模式仍以定期维护和故障检修为主；故障诊断和远程预警仍在探索；
- 3、大部件更换频繁，检修费用高；除了大部件本身的成本外，还要考虑大型吊装船施工手续及费用、海上运输费用、养殖户补偿，常因等待大型吊装船，潮位、天气窗口因素等，长时间停机，造成的发电量损失；
- 4、大部件更换专用工装、水下检测机器人、无人机智能巡检、波浪补偿舷桥、海上换油装备等，正在摸索；
- 5、防腐、冲刷等问题逐渐暴露；
- 6、海上运维因出海窗口期的原因，存在人员工时浪费、停机时间过长等情况较多；
- 7、夏季塔筒、机舱内高温，硫化氢，登离风机基础、海上升压站、码头时人员安全问题仍需改进；
- 8、相比陆上风电，尾流影响更大；技改工作多，送出改造情况多（送出线路陪停等），电量损失大；两个细侧考核更严，常因SVG故障、风功率预测偏差，受考核；电网提出储能要求，影响收益；
- 8、平准化度电成本与单机容量的正相关性不明显；
- 9、再生能源补贴滞后，对经营收益影响明显，早期近岸潮间带风电，尽管电价较低，但因投资低，并已取得多年补贴资金，经营状况较好；新投海上风电项目存在一定不确定性。



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

2

退坡机制下海上风电 面临的挑战



海上风电发展现状



[能源供应革命]

2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活



电池储能让我们跟传统能源说再见

6月底，洛杉矶水电委员会提交了装机容量为400MW太阳能和800MWh储能项目计划，在该项目为期25年，**光伏价格为1.997美分/kWh**(约人民币13.8566分/kWh)，**电池储能价格为独立的1.3美分/kWh**(约人民币9.02分/kWh)。



海上风电发展现状



[能源供应革命]

2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

项目编号	场址位置	推荐入选企业	申报电价 (元/kWh)	申报主要技术参数
1	昭君镇达拉特光伏发电应用领跑基地西北角场址(地块号:A-1-1) 昭君镇达拉特光伏发电应用领跑基地西北角场址(地块号:A-4-1)	中广核太阳能开发有限公司	0.28	单晶PERC双面双玻组件390Wp, 19.5%; 单晶N型异质结双面组件320Wp, 19.27%; 单晶MWT组件395Wp, 20.2%
2	昭君镇达拉特光伏发电应用领跑基地西北角场址(地块号:A-4-2)	中国三峡新能源(集团)股份有限公司 阳光电源股份有限公司	0.26	单晶PERC双面双玻组件380Wp, 18.88%
3	昭君镇达拉特光伏发电应用领跑基地西北角场址(地块号:A-4-3)	浙江正泰新能源开发有限公司	0.28	单晶PERC双面多主栅半片组件405Wp, 19.68%
4	昭君镇达拉特光伏发电应用领跑基地西北角场址(地块号:A-5-1)	国家电力投资集团有限公司	0.28	单晶PERC双面双玻半片组件405Wp, 19.8%
5	昭君镇达拉特光伏发电应用领跑基地西北角场址(地块号:A-5-2)	中国华能集团有限公司	0.27	单晶PERC双面双玻组件315Wp, 19.04%; 单晶PERC双面双玻半片组件425Wp, 19%

内蒙古达拉特旗光伏领跑者奖励规模公布中标企业，
最低中标电价0.26元/千瓦时。



海上风电发展现状



[能源供应革命]

2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活



光伏发电等可再生能源从补充能源走向替代能源，已是全球的大势所趋。

截至2018年底，中国光伏发电新增装机连续6年全球第一，累计装机规模连续4年位居全球第一，在发电效率和制造成本方面也已成为了世界领跑者。

截至2019年9月底，全国光伏发电累计装机1.9亿千瓦，同比增长20%。

在技术研发上，技术的更迭换代、光伏产业链的优化整合，使得光伏发电竞争力日益突出，稳步进入平价时代。

2019年是中国光伏迈向平价的拐点之年，根据预期，光伏发电在2020年代初期进入平价时代。



海上风电发展现状



[能源供应革命]

2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

- **电池成本的最新暴跌威胁到煤炭、天然气**
- 自2018年上半年以来，锂电池的基准平准化成本（LCOE）已下降35%，至187美元/兆瓦时。
- 与此同时，海上风电的基准LCOE已经下跌了24%。
- 陆上风电和光伏也变得更加便宜，它们各自的基准LCOE在2019年初开工的项目达到每兆瓦时50美元和57美元，比一年前的同等数字下降了10%和18%。
- 分析显示，自**2010年以来，陆上风电、光伏和海上风电每兆瓦时的LCOE分别下降了49%、84%和56%。**
- 与陆上风电或太阳能光伏相比，**海上风电通常被视为一种相对昂贵的发电选择。然而，新增项目招标，再加上更大的风机，大幅降低了。**

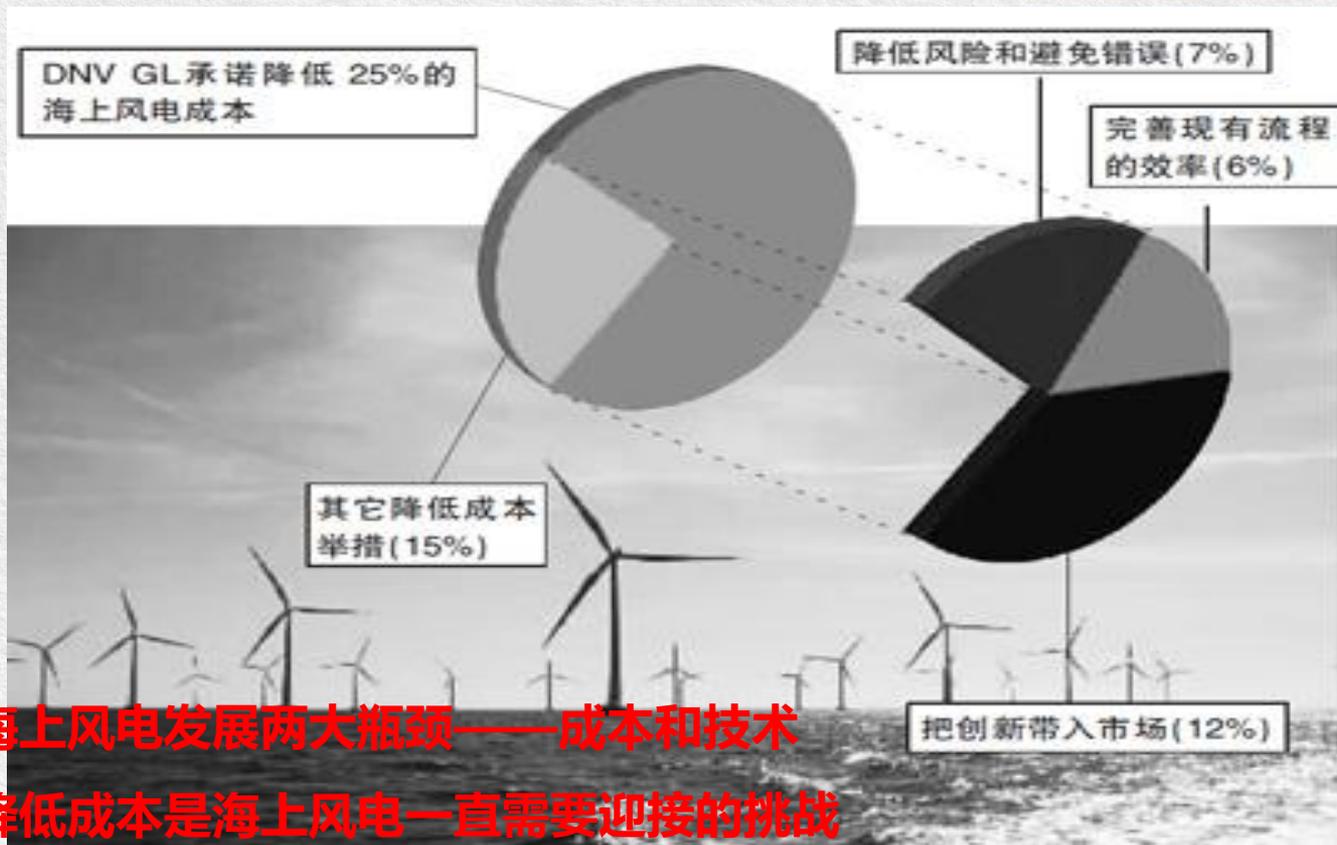


海上风电发展主要挑战



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活



➤ 制约海上风电发展两大瓶颈——成本和技术

➤ 如何降低成本是海上风电一直需要迎接的挑战

欧洲海上风电应对策略



德国

2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

虽然，沃旭能源（Orsted）并未参与荷兰的本轮招标。但此前沃旭能源已经在德国的海上风电招标中，以“零”补贴获得OWP West和Borkum Riffgrund West 2两个项目的开发权。

Successful bids

Project name	Owner	Capacity	Price bit
OWP West	DONG Energy	240 MW	0.00 ct/kWh
Borkum Riffgrund West 2	DONG Energy	240 MW	0.00 ct/kWh
Gode Wind 3	DONG Energy	110 MW	6.00 ct/kWh
He Dreiht	EnBW	900 MW	0.00 ct/kWh

在2017年4月的德国第一轮海上风电招标中，沃旭能源（原DONG Energy）和EnBW以史无前例的低补贴报价，最终获得了1490MW的海上风电项目开发权，其中1380MW为“零”补贴。

欧洲海上风电应对策略



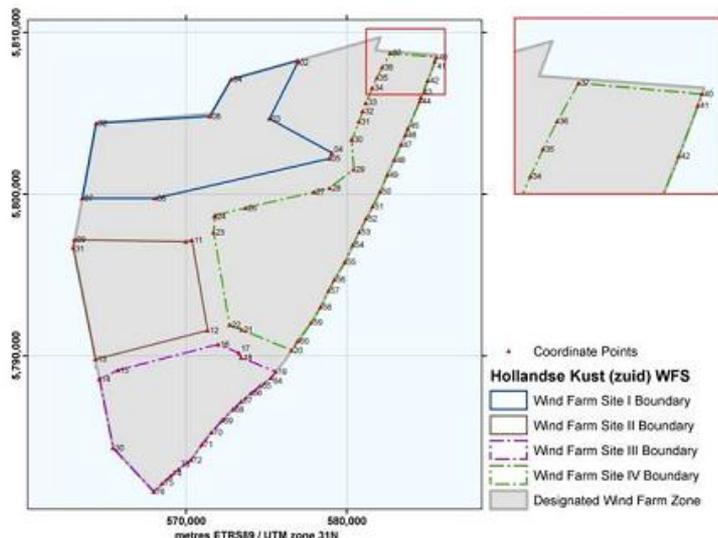
2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

荷兰

荷兰政府于**2017年12月15日**期间，开启了**Hollandse Kust Zuid I&II**两个海上风电项目开发权的“**零**”补贴投标进程(【市场】荷兰海上风电市场之一：剑指“零”补贴)。至**2017年12月21日**投标窗口期关闭，据悉至少已有**Statoil**（挪威国家石油公司）和**Vattenfall**对这两个项目进行了投标。因此，原本计划的第二轮带补贴竞标将不再进行。

Hollandse Kust (zuid) Wind Farm Sites (HKZWFS)



欧洲海上风电应对策略



英国

2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

英国的差价合约（CfD）招标结果也值得关注。虽然，差价合约（CfD）招标不能实现海上风电“零”补贴，但是其中标电价的显著下降不容忽视。2017年9月的第二轮差价合约（CfD）竞标结果中，海上风电的中标电价为57.5英镑/MWh，相较2014年第一轮差价合约（CfD）竞标的114.39英镑/MWh，近乎腰斩。

Project Name	Developer	Technology Type	Capacity (MW)	Strike Price (€/MWh)	Delivery Year	Homes Powered	Region
Drakelow Renewable Energy Centre	Future Earth Energy (Drakelow) Limited	Advanced Conversion Technologies	15.00	74.75	2021/22	27,190	England
Station Yard CFD 1	DC2 Engineering Ltd	Advanced Conversion Technologies	0.05	74.75	2021/22	90	Wales
Northacre Renewable Energy Centre	Northacre Renewable Energy Limited	Advanced Conversion Technologies	25.50	74.75	2021/22	46,220	England
IPIF Fort Industrial REC	Legal and General Prop Partners (Ind Fund) Ltd	Advanced Conversion Technologies	10.20	74.75	2021/22	18,490	England
Blackbridge TGS 1 Limited	Think Greenergy TOPCO Limited	Advanced Conversion Technologies	5.56	74.75	2021/22	10,080	England
Redruth EFW	Redruth EFW Limited	Advanced Conversion Technologies	8.00	40.00	2022/23	14,500	England
Grangemouth Renewable Energy Plant	Grangemouth Renewable Energy Limited	Dedicated Biomass with CHP	85.00	74.75	2021/22	148,880	Scotland
Rebellion	Rebellion Biomass LLP	Dedicated Biomass with CHP	0.64	74.75	2021/22	1,120	England
Triton Knoll Offshore Wind Farm	Triton Knoll Offshore Wind Farm Limited	Offshore Wind	860.00	74.75	2021/22 ¹	893,690	England
Hornsea Project 2	Breesea Limited	Offshore Wind	1,386.00	57.50	2022/23 ²	1,440,300	England
Moray Offshore Windfarm (East)	Moray Offshore Windfarm (East) Limited	Offshore Wind	950.00	57.50	2022/23 ³	987,220	Scotland

欧洲海上风电应对策略



法国

2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

与此同时，英吉利海峡对岸的法国，也已**建立起了海上风电的竞标程序和制度**，旨在开发性价比更高、补贴更少的海上风电项目。



通过竞标，上网电价下降，原170欧元/MWh，竞标后：首轮招标投标价，72.7欧元/MWh(15年，未含海上升压站、海缆建设费用)；第二轮招标投标价，54.5欧元/MWh(15年，未含海上升压站、海缆建设费用)；电价降低原因：开发规模大，钢材下降，造价降低，风机单机容量增大。

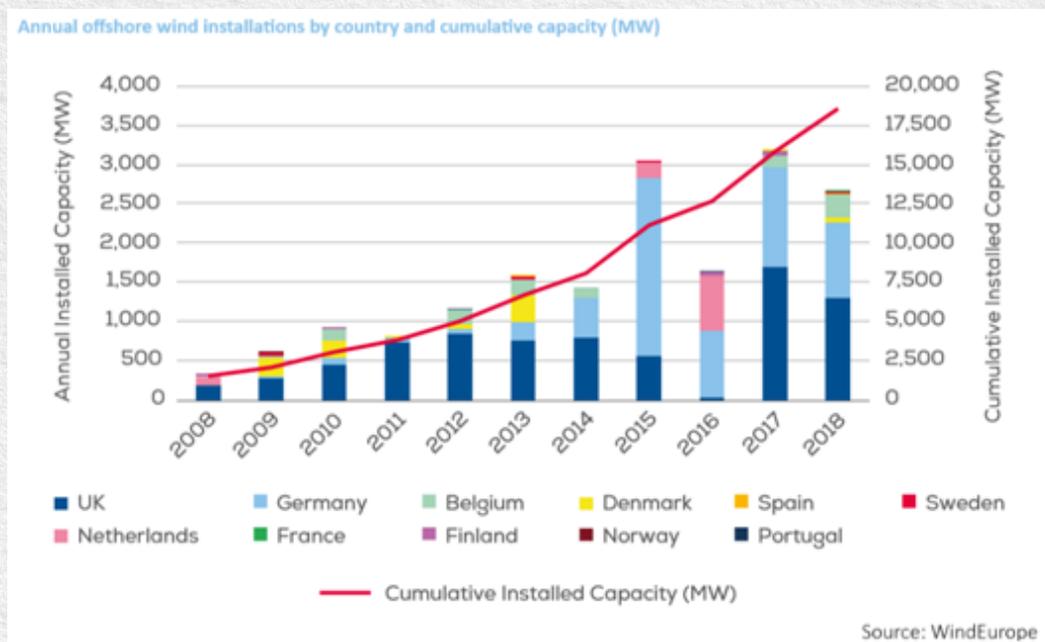
欧洲海上风电发展现状



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

2018年欧洲11个国家18个项目海上风电的409台新机组并网，新增容量2,649 MW，累计装机容量 18,499 MW。



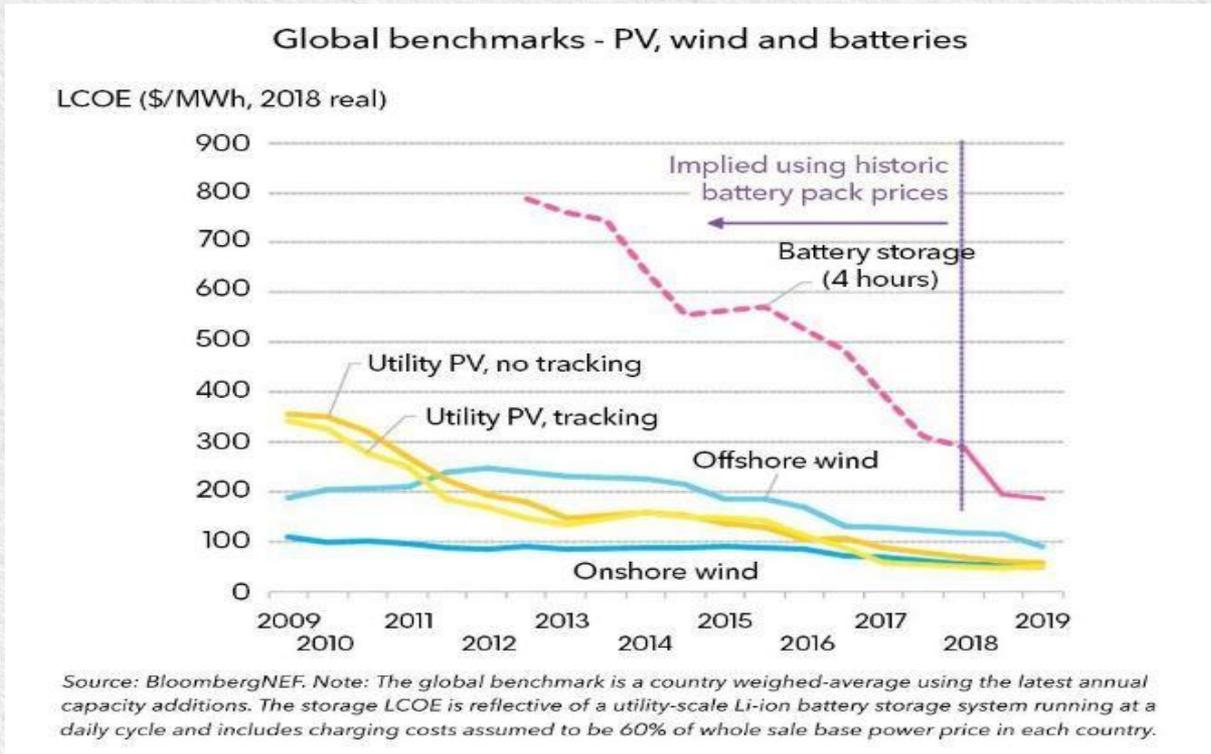
海上风电发展现状



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

全球光伏、风电及电池平准化度电成本快速下降



国内海上风电电价政策



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

海上风电投资风险：竞争性配置广东省竞争配置要求

各省均处于探索阶段，并行推进规模竞争配置和投资主体竞争配置两种竞标模式。目前已确定投资主体的项目较多，主要以规模配置为主。

广东省能源局文件

粤能〔2018〕10号

广东省能源局关于印发《广东省海上风电项目竞争配置办法（试行）》和《广东省陆上风电项目竞争配置办法（试行）》的通知

各地级以上市发展改革委（委），各有关企业：

根据《国家发展改革委关于2018年风电建设有关事项的通知》（国发改能源〔2018〕47号）相关要求，结合我省实际，我局研究制定了《广东省能源局关于广东省海上风电项目竞争配置办法（试行）》和《广东省能源局关于广东省陆上风电项目竞争配置办法（试行）》，现印发给你们，我局将按照国家发展改革委和本办法开展我省海上风电和陆上风电项目竞争配置工作。

附件：1.广东省能源局关于广东省海上风电项目竞争配置办法

（附件）

3.广东省能源局关于广东省陆上风电项目竞争配置办法

（试行）



2018年11月13日

公开方式：主动公开

地址：国家能源局，国家能源局广州监管局。

— 2 —

附件1

广东省能源局关于广东省海上风电项目竞争配置办法（试行）

为促进海上风电有序规划建设，加快海上风电技术进步，产业升级和市场化发展，根据《国家发展改革委关于2018年风电建设有关事项的通知》（国发改能源〔2018〕47号）相关要求，结合我省实际，制定本办法。

一、总体目标

通过竞争性配置，选择有投资能力、技术水平高、创新能力强、资信好的企业获得我省海上风电项目建设资格，引导海上风电产业升级和降低成本，提高资源配置效率和使用效益，推动海上风电健康有序发展。

二、基本规则

坚持“公开公正、科技领先、成本下降、综合利用”原则开展我省海上风电项目建设资格竞争性配置工作，对业主申报项目开展综合评审，按照综合得分高低确定项目投资主体和上网电价。

三、配置范围

根据国家有关规定，凡纳入《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）》（修编），但不在2018年5月18日前确定投资

— 1 —

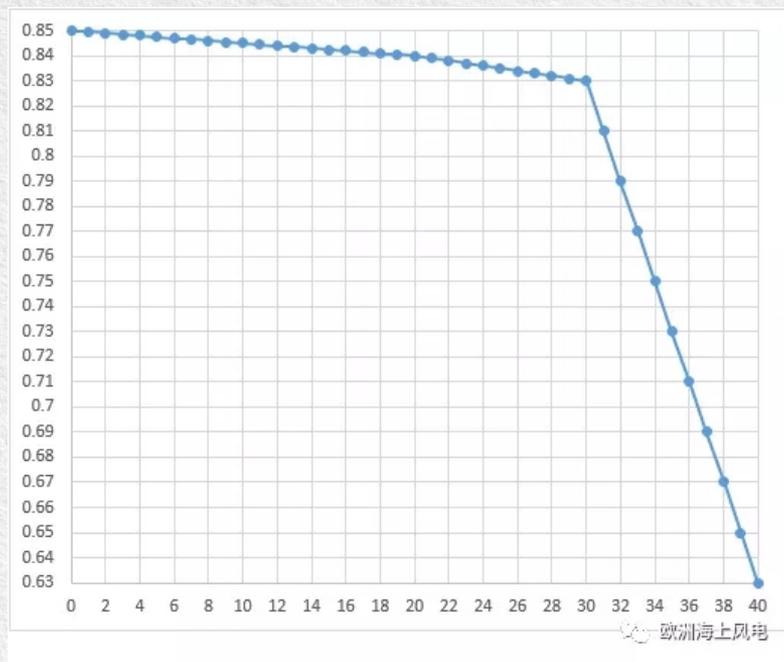
国内海上风电电价政策



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

海上风电投资风险：竞争性配置广东省竞争配置要求



国内海上风电电价政策



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

海上风电投资风险：竞争性配置福建省竞争配置要求

福建海上风电竞价规则出台 疑为特定企业“量身定制”

附表1： 已确定投资主体的海上风电项目配置办法评分标准				
序号	评审内容	评审标准	满分	
1	企业能力 (8分)	1.投资能力 (1) 企业上年末净资产在300亿及以上的，得1分； (2) 企业资产负债率65%及以下的，得1分；处于65%-70%的，得0.5分； (3) 项目资本金总投资不小于30%，得1分；项目资本金总投资20%-30%，得0.5分。	3	
		2.业绩 (1) 企业已核准国内海上风电（采用IEC标准1类及以上风电机组）装机容量达到200万千瓦得1分，达到100万千瓦得0.5分； (2) 在福建已核准海上风电装机容量达到100万千瓦的得2分，达到50万千瓦得1分。	3	
		3.诚信履约 近5年，无不良信用记录得2分；有不良信用记录不得分；建设项目在用地、用海、林业、水保、环保、安全等方面有不良记录的，每项扣1分，最低得0分。	2	
	设备先进性 (20分)	1.技术能力 风机设备单位具有国家级研发中心、技术中心或实验室，得4分；具有省级研发中心、技术中心或实验室，得2分。最高得4分。	4	
		2.行业竞争力 近三年海上风电整机销量均排名全球前十位，得1.5分；海上风电整机销量均排名全国的前五位，得1.5分。	3	
2	设备先进性 (20分)	3.风电机组技术性能 (1) 采用机型单机容量在8兆瓦及以上，得3分；低于8兆瓦的机型不得分； (2) 采用的机组有业绩支撑，且投运机型有良好的发电性能表现，得1分； (3) 投标方案中所采用风机设备的关键核心技术具有自主知识产权得2分； (4) 已投运的机型，风电场平均利用率达到98%及以上，得1分； (5) 机组获得型式认证，得1分，仅获得设计认证得0.5分； (6) 机组获得低电压穿越和高电压穿越证书的得1分，获得其中1项得0.5分； (7) 机组传动链技术先进性和可靠性处于国际先进水平，传动系统效率不低于94%，得1分。	10	
		4.动态仿真和测试数据 (1) 投标机型已完成风电场场址环境条件的动态功率曲线模拟仿真计算的，得1分； (2) 推荐机型风能利用系数、保证动态功率曲线处于国内先进水平，第一名称得1分，第二名称得0.5分，其余不得分； (3) 投标机型经过在项目仿真计算后，平均尾流损失最低的得1分，其次得0.5分，其余不	3	
		4.接入消纳条件 (4分)	取得电网公司出具的接入系统审查意见并具备消纳条件的得4分；未取得接入系统审查意见或取得接入系统审查意见，暂不具备消纳条件的得0分。	4
		6.申报电价 (40分)	以福建省海上风电上网标杆电价为基准价，电价等于基准价的得30分，上网电价降低2分/千瓦及以下内的，每降低1分/千瓦时，得4分；上网电价降低2分/千瓦时以上，超出2分/千瓦时的部分，每降低1分/千瓦时，得0.2分，最高得40分。	40
	4.已开展前期工作 (8分)	1.测风及风能资源评估 (1) 项目前期测风时间1年以上，且测风数据有效完整率90%以上，得0.5分； (2) 项目位于测风塔10km范围内，得0.5分； (3) 完成风能资源评估工作，得1分。 2.场址勘察 (1) 已完成海洋水文观测和分析，得1分； (2) 按相关规范完成可研阶段场址测量和工程地质勘察，得1分。 3.可行性研究 项目完成可行性研究报告的得2分。 4.已取得的支持性文件 (1) 取得具有审批权限部门批准的用海预审意见的得1分； (2) 陆上集控中心（或升压站）取得具有审批权限部门批准的用地预审意见的得1分。	8	
	3.技术方案 (20分)	1.建设方案及产业带动效应 整个工程项目采用EPC方式建设，EPC牵头方具备港口与轨道交通施工总承包一级及以上资质或电力行业甲级资质；项目开发建设能够带动海上风电全产业链发展。 2.风资源及收益方案合理性 充分利用风能资源，度电成本较低，发电量计算结果合理。 3.设计方案先进性、合理性 (1) 风电场设计智能化，得1分； (2) 项目技术经济合理，得1.5分； (3) 施工组织设计合理，施工船只先进，得1.5分； (4) 集约化用海，得1分。 4.风电场运维方案合理，运维成本估计准确的，得3分。 5.退役及拆除方案合理，得1分。	20	
合计				



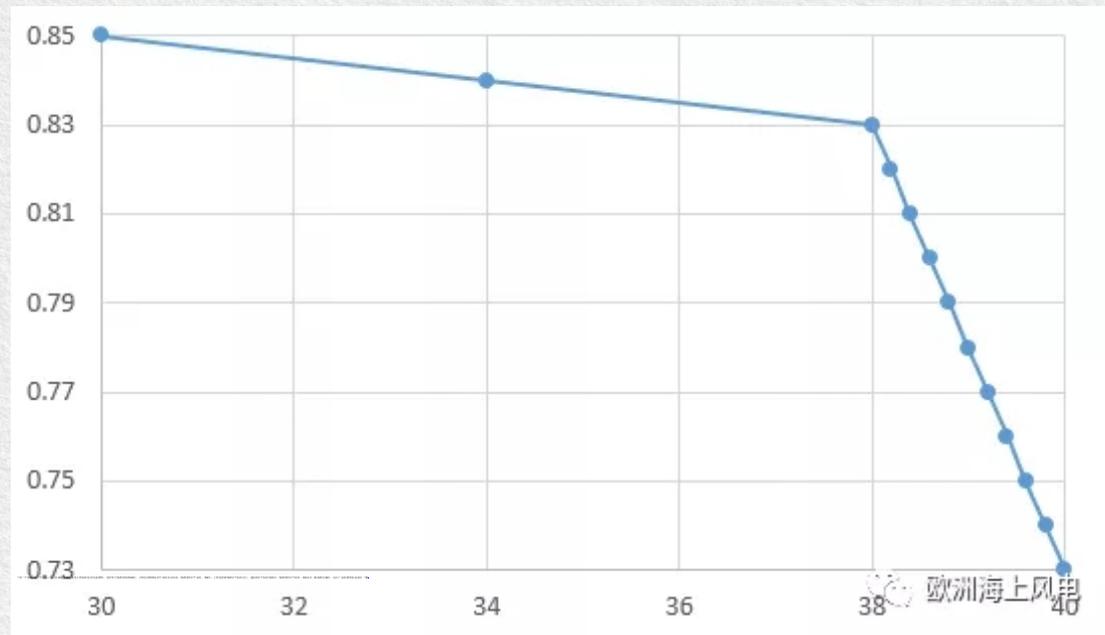
国内海上风电电价政策



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

海上风电投资风险：竞争性配置福建省竞争配置要求



“同一个中国，同一个八毛三”：以福建省海上风电上网标杆电价为基准价，电价等于基准价的得30分；上网电价降低2分/千瓦时及以内的，每降低1分/千瓦时，得4分；上网电价降低2分/千瓦时以上，超出2分/千瓦时的部分，每降低1分/千瓦时，得0.2分。最高得分40分。这与广东的图形真是如出一辙。

国内海上风电未来发展趋势

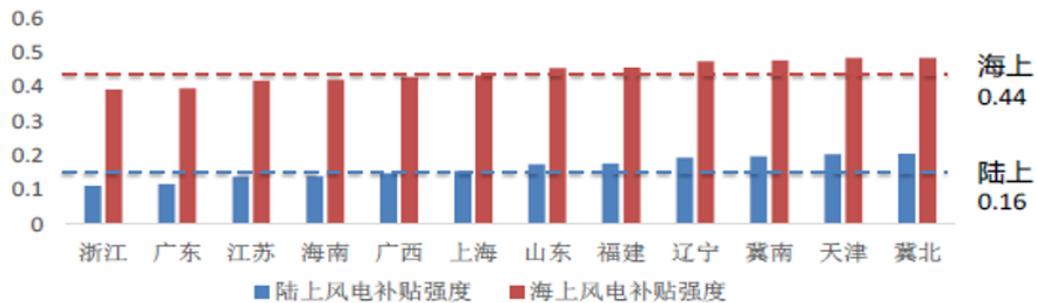


2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

平价化是减小财政补贴依赖实现行业良性发展的需要

海上风电补贴强度高，面临较大的补贴退坡压力。海上风电补贴强度是陆上风电的近3倍，且已经连续4年电价未下调。



海上风电补贴财政压力较大，补贴资金不能及时到位，高补贴一定会极大地限制规模化发展，只能实现平价化，降低甚至彻底摆脱对财政补贴的依赖，才能实现行业良性、规模化发展。各类清洁能源的前途，取决于其“降成本、去补贴”的竞赛。

国内海上风电未来发展趋势



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

海上风电平价化应与清洁能源比较

从上网电价和电能质量角度来看，燃煤电厂在现在和将来很长时期都有其他电力能源不可比拟的优势，火电最能够在负荷中心建立，属于；

但是火电的排放，它是一个大家认为造成环境污染最严重的二次能源。现在有人说燃气发电是清洁电能，这是错误的认识，尽管燃气发电不存在粉尘问题，但碳燃烧产生等二氧化碳温室气体，是击穿我们大气层的臭氧层造成臭氧层空洞，导致地球温室效应不断提高罪魁祸首之一；

核电是否清洁的问题是争议很大的，且公众接受度很低，发展也极度受限。

因此煤电价格本身已经不是价格的问题，而是一个保卫我们的地球家园、保卫我们的健康生活环境的问题，因而限制其发展是一个正确且必然的决策。

海上风电平价化水平的比较标准，是与清洁能源之间的比较。

国内海上风电未来发展趋势

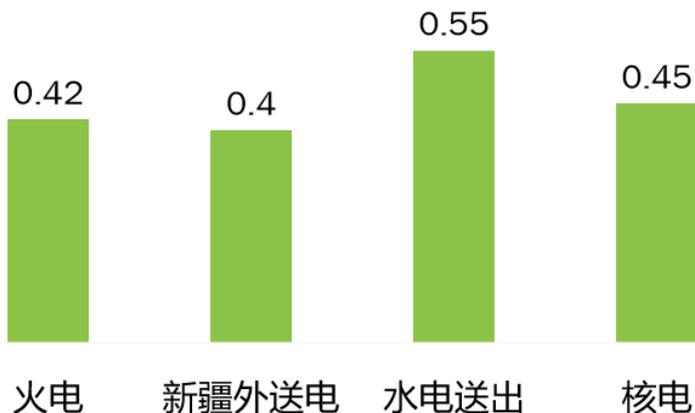


2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

现行电价体系状况

不同发电形式电价 (单位: 元/kW·h)



注: 每个省份火电价格有所不同, 表中数据仅作参考

中国海上风电平价价格暂以西部水电送出沿海省份价格作为比较标准

上网电价 (0.4元)

过网费 (0.15元)

目标:海上风电在沿海地区未来电价的奋斗前景: 0.55元/kW·h是目标, 0.5元/kW·h更具说服力

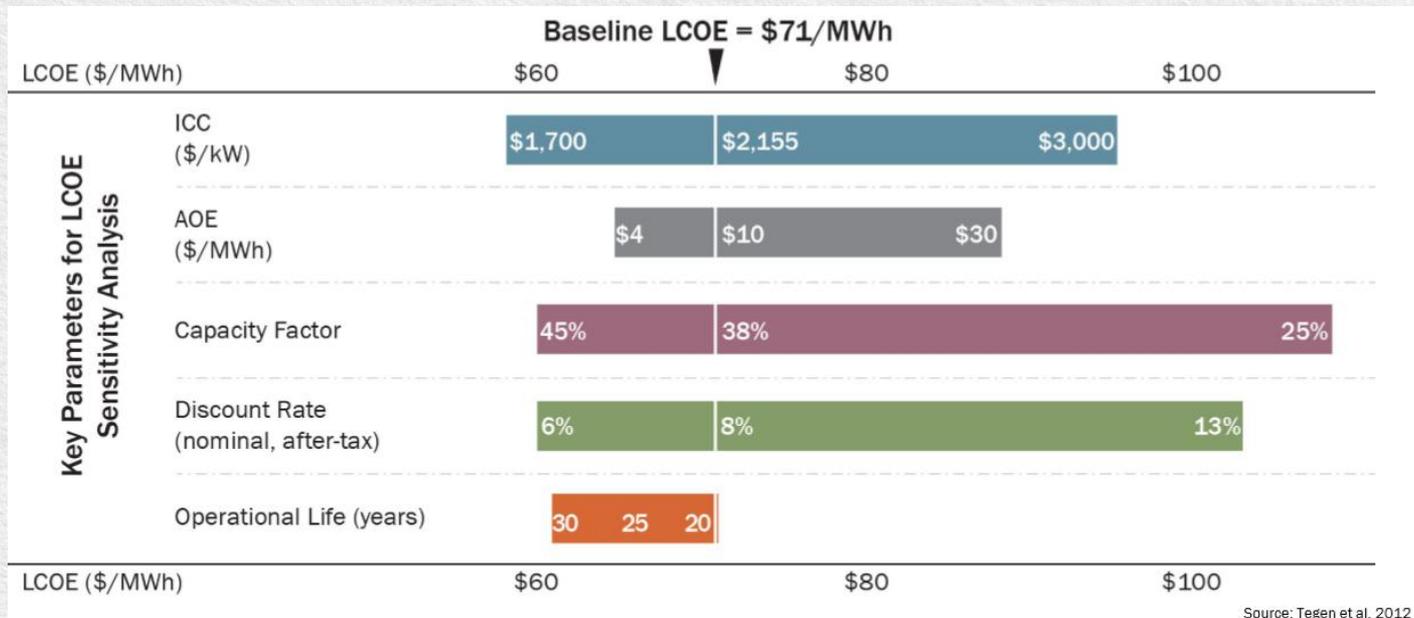
国内海上风电未来发展趋势



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

[海上风电平准化度电成本措施]



LCOE关键参数 (敏感性分析)



国内海上风电未来发展趋势

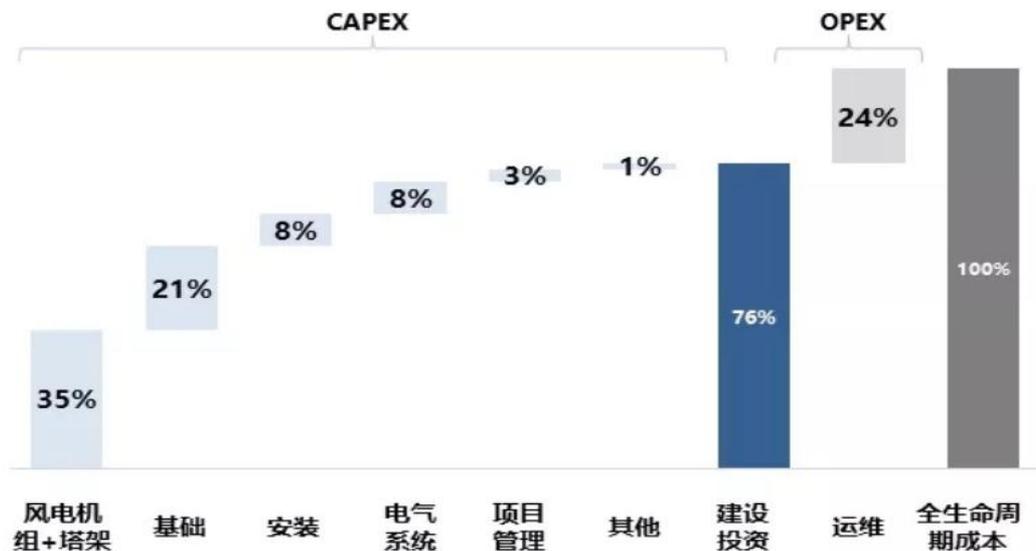


[海上风电成本构成]

2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

海上风电生命周期成本主要以机组、基础及运维构成



注:

- 1) 基础包括风机、升压站等基础(含施工费)及其他建筑、施工辅助工程;
- 2) 安装包括风机、升压站等安装费;
- 3) 电气系统包括升压站、海缆(含施工)等费用;
- 4) 项目管理为项目建设管理费包含工程前期费、工程建设管理/监理费、工程保险费;
- 5) 运维指风电场的运维成本(包含风机及升压站等运维)。

国内海上风电未来发展趋势



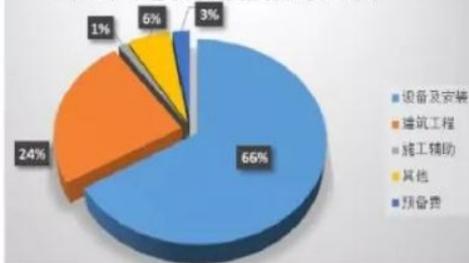
2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

[海上风电投资逐渐降低]

近年来，随着海上风电技术的快速发展，设计和建设经验逐步积累，集约化、规模化开发，海上风电投资**逐步下降**

海上风电项目投资分项比例



海上风电投资



单位千瓦概算投资

- 1) 潮间带风场：
14000~16000元/kW
- 2) 近海风场：
15000~18000元/kW

海上风电分项投资

- 设备及安装投资：9000~12000元/kW
- 建筑工程投资：3000~5000元/kW
- 施工辅助投资：150~250元/kW
- 其他费用投资：800~1200元/kW
- 基本预备投资：300~500元/kW

国内海上风电未来发展趋势



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

实现平价上网的主攻方向

推动技术进步、创新发展应用范围、实现“降成本、去补贴”

- 1、大功率机组提高了风电场本身的投入产出比
- 2、塔筒和钢结构提高投入产出比
- 3、基础新技术和新形式
- 4、大型化、专业化的海工装备
- 5、输送电新技术



国内海上风电未来发展趋势



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

方向一、 大功率机组提高风电场本身的投入产出比

- ▶ 降低单位千瓦的海域占用费用
- ▶ 降低单位千瓦的基础分摊成本
- ▶ 降低单位千瓦海上施工成本
- ▶ 降低了箱变、控制设备及其安装调试成本



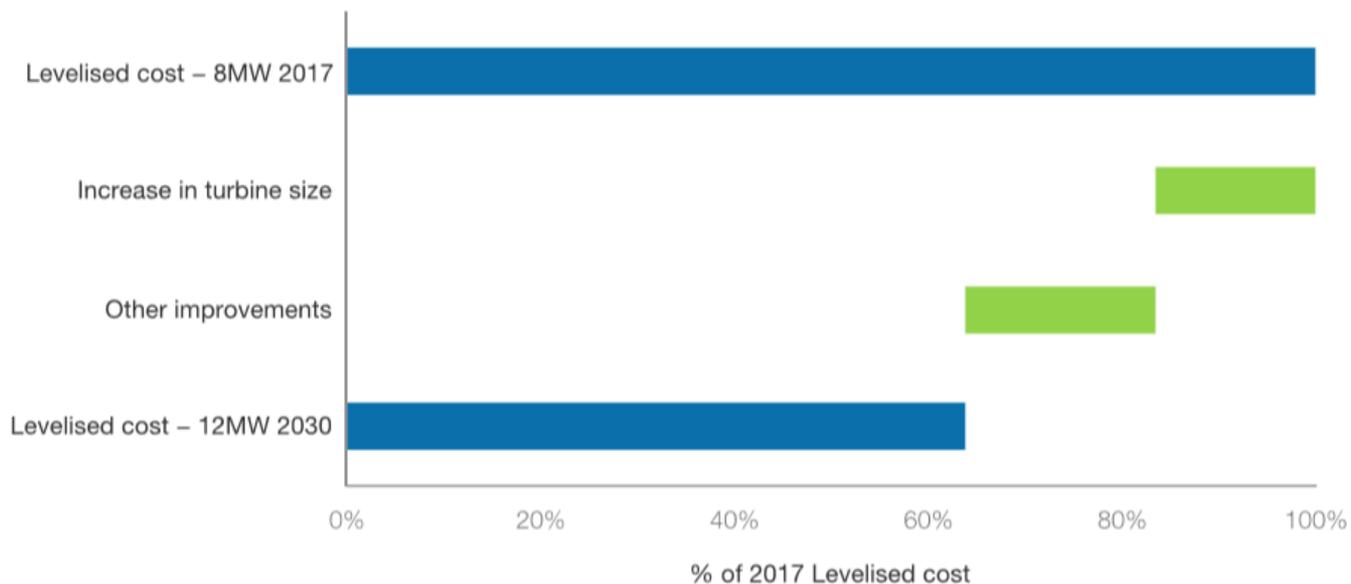
国内海上风电未来发展趋势



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

Figure 4: Increasing turbine size plays a key role in reducing costs



Source: KIC InnoEnergy (2017), Future renewable energy costs: Offshore wind

国内海上风电未来发展趋势



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活



机型: Vestas
V164
容量: 8MW
叶片: 80m
转子直径: 164m
传动系统: 中速齿
轮箱
IEC等级: S



国内海上风电未来发展趋势



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活



机型: MHI Vestas
V164-9.5
容量: 9.5MW
转子直径: 164m



国内海上风电未来发展趋势



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活



机型： GE
Haliade -X
额定功率： 12MW
叶片长： 107米
总高： 260米



国内海上风电未来发展趋势



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

方向三、基础新技术和新形式降成本



复合筒形基础一步式安装技术

适用海域，如大功率机组复合筒型基础
投标价格比单桩基础价格降低30%左右

**各种基础形式的技术进步使未来风电
造价大幅下降**



国内海上风电未来发展趋势



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

- 风机基础
——吸力式基础

吸力式基础是靠水压力使基础稳定，目前还没有大规模用于实际工程。



国内海上风电未来发展趋势



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

- 风机基础

2014年1月初报道**Dong Energy**投入73万欧元开展吸力式基础研究；

由DONG能源公司成功在德国Borkum外37公里25米水深的Borkum Riffgrund 1海上风电场，安装了世界首批牵头创新的负压筒式导管架（SBJ）基础，SBJ基础由3根桩腿和负压桶构成，结构重量轻、安装简单，施工无噪音等优点，具有较好的经济性和环境友好性。该基础型式，可借鉴使用于我国水深较深的软土海域，具有很好的经济性。



国内海上风电未来发展趋势



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活



● 挪威

hywind漂浮式基础，安装西门子

2.3MW；

● 该台风电机组在2009年安装在挪威，是全球首台大容量的漂浮式风电结构。

国内海上风电未来发展趋势



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活



- 法国砣半潜式浮式基础
(2015年)



- 德国张力腿式浮式基础



国内海上风电未来发展趋势



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活



项目名称: Hywind Scotland Pilot Park
总装机容量: 30MW
风机型号及台数: 5台SWT-6.0-154
项目总投资: 2亿1000万英镑
场址水深: 95-120m
离岸距离: 25km

发电量超预期

一般情况下, 欧洲北海地区固定式基础海上风场在冬季大风期的容量系数在45%到60%之间, 这个项目在这三个月的**平均容量系数高达65%**。

2017年10月18日, 全球首座漂浮式风电场Hywind在苏格兰东海岸正式投产运行, 该风电场由挪威国家石油公司和Masdar公司联合投资建设, 截止2018年1月底, 风场已正常运行3个月, 其表现大大超出预期。

从2017年10月到2018年1月恰好是欧洲北海的大风季, 项目先后经历了一次飓风和一次暴风雨, 最大浪高达8.2米。

Hywind第一次遭遇的恶劣天气是去年10月的Ophelia飓风, 风速最高达125公里/小时(34.7米/秒), 而12月初的Caroline风暴最大阵风甚至超过了160 km/h(44.4米/秒), 浪高超过8.2米。

国内海上风电未来发展趋势

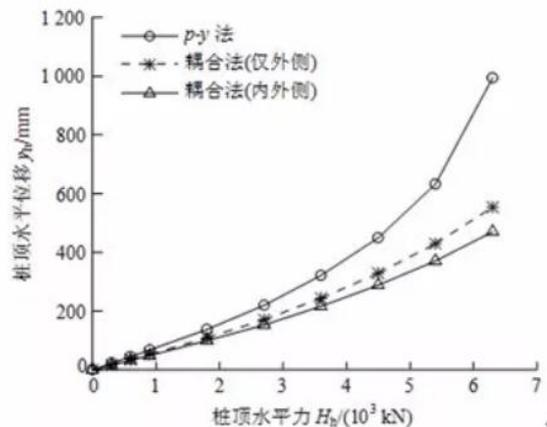
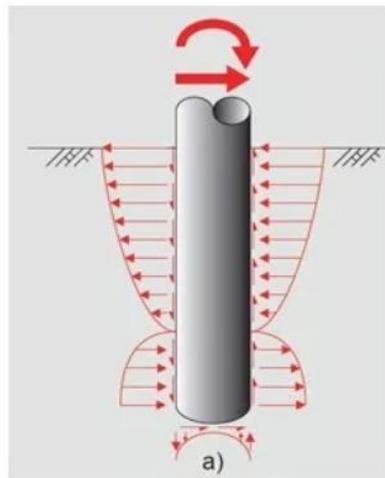


2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

❖ 大直径单桩桩土相互作用技术

➤ 三维效应分析



- ✓ 桩身转动，导致桩两侧产生不均匀的轴向侧摩阻力，导致局部抵抗弯矩
- ✓ 桩端土轴向阻力产生的局部抵抗弯矩
- ✓ 桩端横向位移产生的横向土抵抗剪力

国内海上风电未来发展趋势



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

载荷与振动控制技术

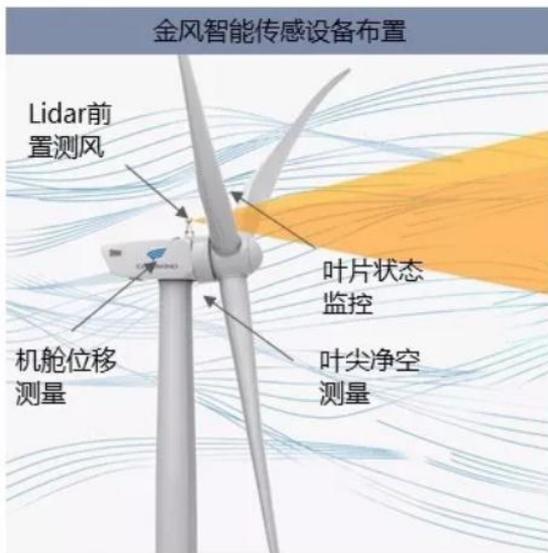
➤ 高级降载控制策略及控制参数优化技术

✓为了有效降低风机度电成本并提高风机可靠性，金风研发团队开发了一系列基于传感的智能控制技术，包括：Lidar智能控制、独立变桨、塔顶位移推力控制、叶片净空自适应控制技术等等，其中Lidar前馈获得全球首个DNV认证。

提升单机发电量1-2%
(对比基准为裸叶片)

降低叶片及塔筒重量5%-10%

降低极端风况导致的
停机次数85%以上



基于Lidar的智能控制

- ✓ 获得首个DNV设计认证

基于载荷的塔架推力控制

- ✓ 塔架载荷反演技术完成测试

基于图像识别的叶片净空控制

- 基于图像识别的叶片净空技术

基于状态监控的智能叶片

- 基于视频预警系统的叶片状态监控技术
- 叶片增功技术
- 叶片降噪技术

国内海上风电未来发展趋势



载荷与振动控制技术

2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

➤ 高级水动力优化技术

- ✓ 大尺度基础精细化水动力分析技术——基于边界元BEM的势流理论的应用
- ✓ 考虑绕射



- 塔底等效疲劳载荷下降幅度约12%。



大直径单桩基础



复合筒基础



国内海上风电未来发展趋势



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

支撑结构一体化设计计算技术

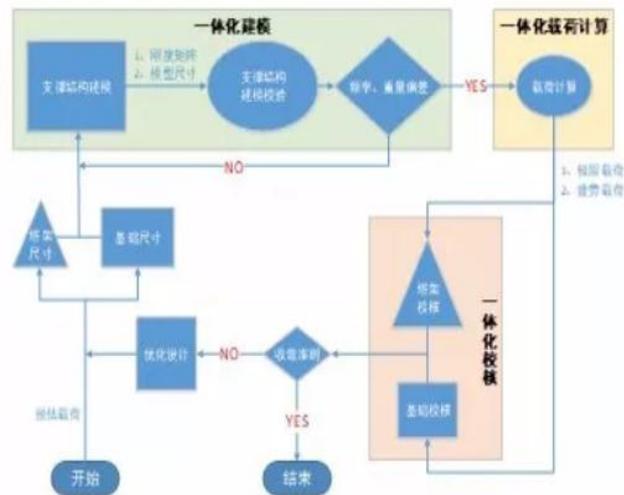
• 一体化方法

痛点:

- 分步迭代法，风机载荷和波浪载荷线性相加，且使用了较大的载荷安全系数。设计还有较大优化空间。

解决:

- 将塔架和基础作为一个整体，考虑风载荷和波浪载荷耦合作用，使用一体化方法设计。
- 支撑结构一体化方法包含一体化建模、一体化载荷计算和一体化结构校核。
- 该方法涉及塔架设计、基础设计和载荷计算。



国内海上风电未来发展趋势



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

方向四、大型化、专业化的海工装备



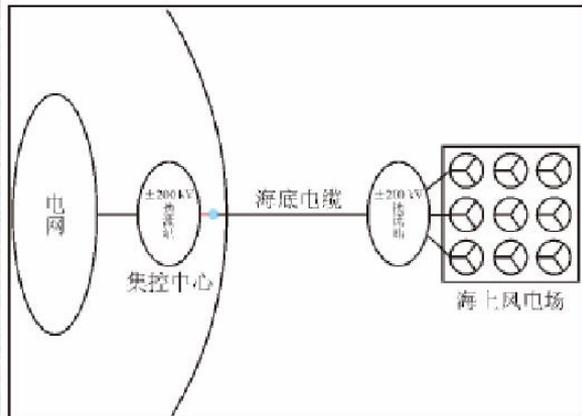
大型、专业化的海工设备增加施工时间窗口期，降低了施工成本，提高了工程施工安全

国内海上风电未来发展趋势



2019年中国电机工程学会年会
清洁能源 智慧电力 美好生活

方向五、输送电新技术



直流送出方案

远距离风场采用**柔性直流**，在海上汇集，再往陆地送，降低造价成本



高压三相同心无接头海缆

远距离**无接头海缆**制造技术、敷设技术提升，降低海缆投资成本



国内海上风电未来发展趋势



2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活



海上风电再审视

本刊记者 井然 翁爽

当务之急仍是苦练内功

要在补贴退坡的路上走得更稳、更远，一项重要功课便是控制造价、降低成本。

在近海方面我国海上风电发展已经相对成熟，下一阶段的重点任务应是通过创新降本增效，这包括主设备优化，发展大容量、高可靠性、高容量系数、长寿命（28年甚至30年）机型和低风速海上风机；加强基础优化，推动新型式、一体化设计；增大单个项目容量；提高容量系数。

另外，扩大海域面积，由16平方千米/10万增至国外平均的19.5平方千米/10万。

风机的可靠性、可用率十分关键，有些风机在使用过程中一年不如一年，利用小时数逐年减少。

随着大容量机组越来越受到推崇，加大大容量机组的研发和应用过程中，其相关产业链也需要同步完善，才能确保机组的可靠性。





2019年中国电机工程学会年会

清洁能源 智慧电力 美好生活

谢谢观看！

江苏海上龙源风力发电有限公司 高宏飙
Email: jsgaohb@163.com

