



# 海上风电工程技术市场情报



金风海上设计研究院

市场推广组

2021年3月·第1期



仅限内部交流学习

[www.goldwind.com.cn](http://www.goldwind.com.cn)

## 目录

一、行业纵览.....	1
1. 2020 年全国新增风电装机 7167 万千瓦，海上新增装机 3.06GW .....	1
2. 2020 年全球海上风电新增装机超 6GW .....	1
3. 2020 年风电整机商新增吊装排名 .....	2
4. GWEC 预测到 2024 年，全球风塔需求合计接近 1067 万吨.....	2
5. 各省海上风电政策，未来五年内我国海上风电装机将突破 30GW.....	3
6. 2020 年下半年全球海上风电市场展望，预计 2021 年新增装机规模将反弹.....	5
7. 美国能源局：2020 年风能研发亮点.....	5
8. 总投资超 580 亿美元，浮式风电在亚太地区是主力.....	6
二、产业链资讯.....	6
1. 海上风电再填安装再添重器——“德建”号！.....	6
2. 国内首艘 500 千伏海底电缆运维船交付使用.....	7
3. 自升式风电安装平台“海洋风电 79”出坞.....	7
4. 招商工业“海狮 5 号”半潜重吊生活平台成功入海.....	8
5. 全球首制 48000MT 海上风电安装兼半潜重吊运输船下水.....	8
6. 中国船舶七〇二研发设计的“海上风电号”风电安装平台顺利交付.....	9
7. 又一大型海上安装船建造，重吊能力 3000 吨.....	9
8. KK Wind Solutions 推出新型风机状态监测云平台 TCM Cloud.....	9
9. Mammoet 推出创新风机安装系统.....	10
10. 荷兰 Tetrahedron 推出下一代大型海上起重机，最大可以满足 20MW 的风机安装.....	11
11. 荷兰公司研发自动叶片喷涂机器人，有望加快叶片的生产速度.....	12
12. 世界上最大的 3D 打印机可将风力涡轮机叶片的成本降低一半.....	12
13. Greenboats 为海上风机建造“首款”天然纤维机舱.....	13

14. Evoblade 和 Deutsche Windtechnik 创建可改造的叶片扰流板, 为风机提供空气动力学优化	14
15. 法国 LCJ Capteurs 开发超声波风速传感器	15
三、友商信息	16
1. GE 获美国能源部支持, 研发风机叶片 3D 打印技术启动 3D 打印风机叶片	16
2. MHI Vestas 使用 DLM 方案称重机组叶片	16
3. Vestas 重磅推出 15MW 海上风机	17
4. 西门子歌美飒推出破纪录的 108 米叶片	19
5. 远景能源海上风电产业园预计 1 月底投产使用, 年产 200 台套	20
6. 上海电气: 世界最长 90 米风电玻纤叶片诞生	20
7. 东方风电 10MW 海上风机多功能吊具测试成功	21
8. 东方风电在漂浮式海上风电领域取得新突破	21
9. 上海电气风电集团在西安高新区成立其西安研发中心	21
10. 明阳智能获得意大利地中海首个海上风电项目	22
11. 国内首艘 30 米级海上风电高速运维船正式开工	22
四、创新技术&报告文献	22
1. 海上风电单桩基础-土相互作用特性影响因素分析	22
2. 非均质土中海上风电单桩基础动力响应特性	23
3. 海上风电大直径单桩基础固有频率影响因素的数值分析	24
4. 基于改进长期循环卷积神经网络的海上风电功率预测	24
5. 海上风机单桩基础与锚索的应用研究	25
6. 单桩基础抗冰锥设置引起波浪载荷增幅研究	25
7. 大连海上风电单桩抗冰锥结构灌浆施工研究	26
8. 考虑最优运行点的超速风电机组调频控制策略	27
9. 湍流激励下风电轴系的宽频受迫扭振及其抑制方法	28

10. 基于 GA-ENN 特征选择和参数优化的双馈风电机组轴承故障诊断 .....	29
11. 变转速工况下基于改进奇异谱分解和 1.5 维包络阶次谱的风电机组轴承损伤识别 .....	29
12. 模糊布谷鸟算法在风电机组变桨自抗扰控制中的应用 .....	30
13. 基于特征选择和 XGBoost 的风电机组故障诊断 .....	31
14. 基于频率响应区间划分的风电机组虚拟惯量模糊自适应控制 .....	32
15. 适于广西北部湾海域风况下风力机叶片翼型气动性能对比与分析 .....	33
16. 海上风电运维管理系统的研究与建议 .....	33
17. 考虑疲劳均衡的海上风电场主动尾流控制研究 .....	34
18. 风浪作用下新型格构式基础耦合动力响应分析 .....	35
19. 风浪联合作用下的钢格构式基础海上浮式风机耦合动力响应分析 .....	35
20. 具有双重抗摇摆机制的浮式风机基础水动力特性研究 .....	36
21. 海上浮式风力机变桨距控制研究 .....	37
22. 双极短路故障下海上风电 MMC-HVDC 并网系统的暂态运行特性 .....	37
23. 海上风电柔直系统送端电网故障过电压机理分析及抑制策略 .....	38
24. 海上风电过电压及无功补偿问题 .....	39
25. Improved Remaining Useful Life Estimation of Wind Turbine Drivetrain Bearings under Varying Operating Conditions .....	40
26. Fatigue lifetime calculation of wind turbine blade bearings considering blade-dependent load distribution .....	41
27. Tribological challenges and advancements in wind turbine bearings: A review .....	42

# 一、行业纵览

## 1. 2020 年全国新增风电装机 7167 万千瓦，海上新增装机 3.06GW

1月19日，国家能源局发布2020年全社会用电量等数据。数据显示，2020年，全国电源新增装机容量19087万千瓦，其中水电1323万千瓦、风电7167万千瓦、太阳能发电4820万千瓦。**其中陆上风电新增装机6861万千瓦、海上风电新增装机306万千瓦。**从新增装机分布看，中东部和南方地区占比约40%，“三北”地区占60%。到2020年底，全国风电累计装机2.81亿千瓦，其中陆上风电累计装机2.71亿千瓦、海上风电累计装机约900万千瓦。

其中，2020年风电新增装机数超2017、2018、2019年并网总和6136万千瓦。（注：2017年风电新增并网装机1530万千瓦，2018年新增并网装机2059万千瓦，2019年新增并网装机2574万千瓦）12月单月新增并网装机容量高达4705万千瓦。

## 2. 2020 年全球海上风电新增装机超 6GW

2021年2月25日，比利时布鲁塞尔：全球风能理事会（GWEC）最新发布的数据显示，**2020年全球海上风电新增装机超过6GW**，新增容量与2019年接近，为历史最高水平。**中国连续第三年成为海上风电最大市场，2020年新增海上风电并网容量超过3GW，占到全球增量的一半。**

欧洲市场保持稳定增长，荷兰以近1.5GW的新增装机排在全球第二位，比利时（706MW）、英国（483MW）、德国（237MW）排在第三到五位。新增漂浮式海上风电装机仅来自葡萄牙（17MW）。

目前，全球海上风电装机已经超过35GW，几乎是五年前的三倍。英国依然是海上风电装机最多的国家，总装机量超过10GW，中国则超过德国，成为全球海上风电装机第二多的国家。

报告见 SP 附件编号： 07-01

### 3. 2020 年风电整机商新增吊装排名

3月3日, 彭博新能源财经公布数据显示, 在陆上及海上风电补贴退坡政策的双重刺激下, 中国风电市场克服疫情不利影响, 新增吊装容量达到历史最高水平。2020 年全球风电新增装机容量为 96.3GW, 相较于 2019 年增长 59%。其中陆上风电新增装机容量达到 90.2GW 的历史最高水平, 海上风电新增装机容量为 6.1GW。中国 (57.8GW, 陆上 53.8GW 海上 4GW) 与美国 (16.5GW) 在抢装潮推动下双双达到新增装机容量新高。

根据 2020 年新增吊装容量, 全球整机商排名 GE 与金风科技借助本土市场强劲需求超过了位居第三的维斯塔斯。前三大风电整机制造商装机容量皆超过 12GW, 第四位远景能源以超过 10GW 的装机容量紧随其后。中国整机商前三名分别是金风科技、远景能源和明阳智能, 排名与 2019 年一致。上海电气凭借海上风电优势升至第四位。运达股份位列第五, 为排名前五整机制造商中唯一尚未涉足海上风电的企业。中车风电与三一重能吊装容量增长多倍, 排名分别跃升至第六、七名, 变化最为显著。

注: (3月23日, 全球风能理事会 (GWEC) 近日正式公布了 2020 年全球风电整机商 TOP5。据其数

2020 Preliminary Ranking	Turbine OEM	Installations in 2020*	Change	Commentary
1	Vestas	16,186 MW	-	Remains in lead for fifth year in a row
2	GE Renewable Energy	14,135 MW	+2	Moving up two positions from 4th position in 2019
3	Goldwind	13,606 MW	-	Remains in 3rd position for second year running
4	Envision	10,717 MW	+1	Up from 5th position in 2019
5	Siemens Gamesa	8,678 MW	-3	Down from 2nd position in 2019

据, 维斯塔斯仍雄踞第一, 其后依次为: GE、金风科技、远景能源、西门子歌美飒。)

### 4. GWEC 预测到 2024 年, 全球风塔需求合计接近 1067 万吨

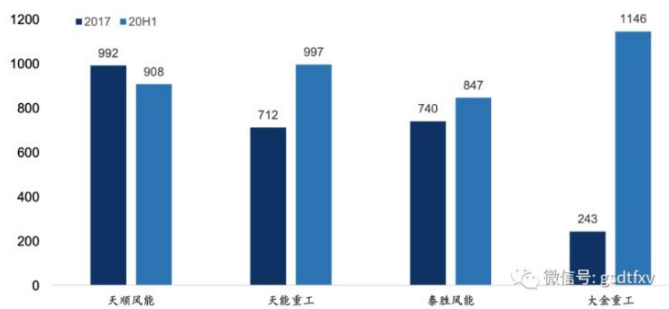
根据全球风能理事会(GWEC)的预测, 在不考虑中国后续地方补贴政策的保守前景下, 依托欧洲的强劲需求, 2020-2024 年全球海上风电保持高速增长; 同时全球陆上风电的新增也稳定在 55-70GW 之间。预期到 2024 年, 在保守估计中国海上风电需求的前提下, 预期全球风塔(含海上管桩、导管架)需求合计接近 1067 万吨, 较 2018 年的 661 万吨年均复合增速 13%。国内风塔四强企业在全市场的渗透率将从

2018 年的 13%左右逐步增长到 32%。

在用钢量方面，海上风电的单吨用钢量远远高于陆上风电，而且欧洲海上风电的水深和离岸距离越来越远，在机组大型化趋势的分摊下，预期每 GW 的风塔用钢量在 45-50 万吨；陆上风电随着高塔架的应用，平均用钢量下跌趋势较为平缓，从每 GW10 万吨逐步下降到 8 万吨。预期到 2024 年，在保守估计国内海上风电需求的前提下，预期全球风塔(含海上管桩、导管架)需求合计接近 1100 万吨，较 2018 年年均复合增速为 13%。(估算来源：国信证券)

单位(万吨)	2017	2018	2019	20H1
天顺风能	38	38	51	26
天能重工	13	17	29	13
泰胜风能	21	18	27	14
大金重工	17	13	20	14
合计	89	86	127	67
出口量(估计值)	28	28	32	10
国内市场占有率(CR4)	26%	22%	26%	54%

资料来源：公司公告，国信证券经济研究所估算



2017-2020H1 国内风塔四强企业出货量

风塔吨钢净利润随销量提升而提升 (元/吨)

来源：期刊 - 股市动态分析 2020 年第 25 期

## 5. 各省海上风电政策，未来五年内我国海上风电装机将突破 30GW

### ● 广东省

2020 年 12 月 30 日，广东省能源局下发了《关于促进我省海上风电有序开发及相关产业可持续发展的指导意见（征求意见稿）》，其中明确了 2022 年海上风电中央补贴取消后，广东省对省管海域内 2022 年和 2023 年全容量并网项目继续补贴两年，对 2024 年起并网的项目将不再补贴。

广东省对 2022 年、2023 年全容量并网项目补贴标准分别为每千瓦补贴为 1500 元、1000 元。另外，补贴项目总装机容量不超过 450 万千瓦，其中 2022 年补贴项目装机容量不超过 210 万千瓦。

广东还明确提出将推动海上风电项目开发平价示范，拟在“十四五”期间安排 600 万千瓦海上风电厂址，由上海电气、明阳智能、金风科技主导，自主选择开发商及产业链相关企业，和广东下属相关市政府签署开发协议，明确项目开工、全容量并网时间和电价约定，如按期全容量并网，“每 100 万千瓦奖励 1

亿元”一次性奖励给风机制造企业。

根据测算，2022 年和 2023 年，广东最大补贴金额为 55.5 亿元，如再加上奖励风机制造商推动平价项目的金额，广东省最大将投入 61.5 亿元来扶持海上风电发展。

- 浙江省

2 月 18 日，浙江省能源局发布浙江省能源发展“十四五”规划（征求意见稿），明确指出浙江省能源发展“十四五”规划的新增风电全部指标都集中在海上风电领域。规划十四五期间新增海上风电 4.5GW，嘉兴 1#2#，溇泗 2#、5#、6#等海上风电项目，打造若干个 G 级海上风电基地，开展象山洞头和苍南深远海风电开发。积极推动海上风电可持续发展，加快建立省级财政补贴制度，通过竞争性方式配置新增项目。

- 山东省

2 月 19 日，山东省能源局研究制定了《2021 年全省能源工作指导意见》（下称《意见》），对 2021 年全省能源发展工作作出指导性部署安排。《意见》提到，到 2021 年底，山东省新能源和可再生能源发电装机达到 5200 万千瓦以上，占电力总装机比重达到 32%以上；

《意见》指出，2021 年，全省要实施可再生能源倍增计划。规划布局千万千瓦级中远海海上风电基地，建成投运首批海上风电试点示范项目，实现海上风电“零突破”；科学布局陆上风电，推进华润德州陵城风电二期、沃尔新源莱西风电等重点项目建设。可再生能源发电装机突破 5000 万千瓦，年内完成投资 300 亿元以上。

- 江苏省

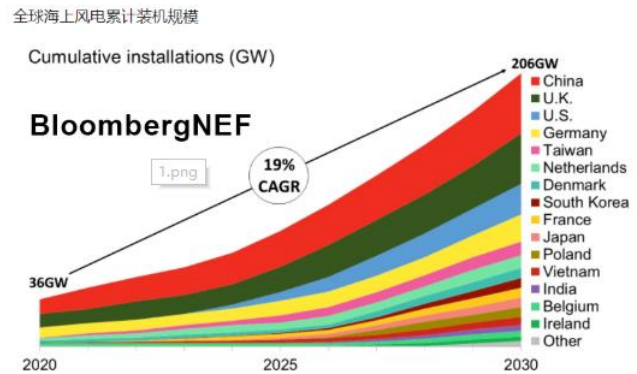
江苏省发改委发布《江苏省“十四五”海上风电规划环境影响评价第一次公示》，对《江苏省“十四五”海上风电规划环境影响报告书》征求公众意见。规划概要提到“十四五”期间，江苏省规划的海上风电场址共计约 42 个，规划装机容量 1212 万千瓦，规划总面积约 1780 平方公里。这一调整后的规划数据，比去年 11 月江苏省能源局发布的《江苏省“十四五”可再生能源发展专项规划（征求意见稿）》中提出的“十四五海上风电新增约 800 万千瓦”的数据有了大幅提升。

## 6. 2020 年下半年全球海上风电市场展望，预计 2021 年新增装机规模将反弹

1 月 13 日，彭博新能源财经发布研究报告《2H 2020 Offshore Wind Market Outlook》，报告提到 2020 年海上风电建设陷入低迷，但我们预计 2021 年新增装机规模将反弹。此后，新增规模逐年下滑，但

到 2024 年恢复增长势头。今年海上风电新项目投资迎来大丰收，为近期的待建项目带来充足动力，共有 15GW 完成融资。到 2030 年底，全球累计

海上风电装机规模将突破 200GW 大关，达到



Source: 彭博新能源财经

Note: "其他"包括西班牙、葡萄牙、意大利、芬兰、瑞典、挪威、立陶宛和希腊

206GW。由于海上风电项目开发需要 6-10 年的时间，对于开发商来说，2030 年近在眼前。市场已经开始制定到 2050 年的更长期的海上风电建设目标，向着长期气候目标的方向前进。

2020 年海上风电新增规模同比下降 20%。中国预计是明年海上风电装机规模反弹的主力。2030 年全球新增规模将达到 28.5GW 的新高点，是目前年度新增规模的三倍以上。但企业扩大风电价值链中各环节的产能，才能支撑海上风电的建设需求。

2020 年，海上风电领域新增投资创下新高。今年融资活动势头强劲，完成融资的项目共有 15GW，同比增长 58%。三分之二在上半年就完成融资；下半年融资规模最大的是 2.4GW 的英国 Dogger Bank 项目。

2020 年早些时候，维斯塔斯全资收购了其海上风电合资企业三菱重工维斯塔斯，旨在扩大在新兴行业的市场份额。三菱重工维斯塔斯是除中国外全球市场的三大风机供应商之一。未来十年，中国风机市场仍有 100GW 的增长空间。

## 7. 美国能源局：2020 年风能研发亮点

美国能源局 (DOE) 风能技术办公室 (WETO) 对 2020 年以来最受瞩目的风能研发成就进行了回顾，

具体包括：①海上风电：浮式混凝土基础项目、激光雷达部署、15MW 参考风机开发 ②陆上风和横切风能技术：轻量级风力发电机、碳纤维复合材料叶片、创新专利叶片设计、开源风机性能优化工具 ③分布式风能与微电网 ④电网集成：电网安全、优化传输 ⑤环境研究、选址等：蝙蝠威慑、鸟类和蝙蝠的 3D 热跟踪、老鹰规避。

报告见 SP 附件编号：07-02

## 8. 总投资超 580 亿美元，浮式风电在亚太地区是主力

日前，咨询结构伍德麦肯兹 (Wood Mackenzie) 做出预测：未来 10 年，亚太地区将新建超过 10GW 浮式风电项目，总投资超过 580 亿美元。

据介绍，该预测主要是基于日本、韩国和台湾地区在 2030 年前将有 89GW 的火电厂、热电厂退役，为了填补空缺，同时为了净零排的长远目标，新建一批可再生能源发电设施势在必行。

目前，在日本建设浮式风电项目的造价约为每兆瓦 1000 万美元，固定式基础海上风电项目的造价约为每兆瓦 200 万~300 万美元。如果要大规模商业化，浮式风电的投资成本必须有大幅下降。并指出，在 2025 年~2030 年，浮式风电的造价将会下降 40%，到每兆瓦 260 万~400 万美元的水平，目前还处在早期规划阶段的 9GW 项目的投资额约 500 亿美元。

## 二、产业链资讯

### 1. 海上风电再填安装再添重器——“德建”号！

1 月 9 日，中集来福士为交通运输部烟台打捞局建造的插桩式抢险打捞工程船在龙口厂区举行下水暨命名仪式。该船命名为“德建”号，将为我国北方近海海域快速应急打捞和风电安装再添重器。

据悉，“德建”号由我国自主研发设计，船长 132.1 米，型宽 41.3 米，型深 9 米，配置 4 条 90 米长圆柱型桩腿及液压插销式升降系统，最大作业水深 50 米，可变载荷 5000 吨；具备自升自航能力，艏部

推进系统为 3 套吊舱式全回转推进器, 艏部为 3 台管道式侧向推进器; 具备 DP-2 级动力定位能力; 作业甲板面积约 2800 平方米, 安装 1200 吨绕桩式重型起重机; 设计航速 10 节, 自持力 20 天, 续航力 3600 海里, 可适用于无限航区航行; 定员 220 人, 入级中国船级社。该船具备起重、运输、储存及补给等抢险打捞作业支持功能, 可用于打捞作业现场的设备吊运、小型沉船整体打捞、大型沉船辅助打捞、沉船货物卸货和舱内存油卸载以及现场作业人员的生活支持等工作, 还可用于近海风电场风机运输和安装, 兼顾平台维修、生活支持等工作。

## 2. 国内首艘 500 千伏海底电缆运维船交付使用

1 月 19 日, 由南方电网公司自主建造的海底电缆综合运维船“南电监查 01” 19 日在海口交付使用, 这是国内首艘具备对 500 千伏海底电缆进行高速巡航和低速定位检测的海缆运维船, 该海缆船可实现海缆不停电检测作业, 跨海电缆检修期间不会给海南电网稳定及居民用电带来影响。

据南方电网相关负责人介绍, “南电监查 01” 船是针对琼州海峡高洋流、横向流、低能见度的复杂作业环境进行定向开发的海缆运维船, 首次研发配备了海上宽带自动跟踪天线系统, 实现海缆保护数据、指挥指令实时传达交流。

海缆运维船所配套搭载的水下机器人系统是电力行业首个搭载声学、光学、电磁检测设备进行海底电缆检测的机器人, 可实现海缆路由和埋深带电检测, 从而最大程度地了解 500 千伏海底电缆的水下运行状况, 为采取针对性海缆保护措施提供科学依据。

## 3. 自升式风电安装平台“海洋风电 79”出坞

2021 年 1 月 28 日, 由中国船舶第七〇八研究所研发设计, 海洋水建投资建造的一艘装压载水装置适于无限航区、自升式风电安装平台“海洋风电 79”, 在民营船厂新韩通船舶重工 30 万吨船坞中顺利出坞。

“海洋风电 79” 船长 110.4 米、型宽 42 米、型深 8.5 米、设计吃水 5.3 米、桩腿长 91.6 米, 船舶定员 80 人, 自持力 20 天, 最大作业水深 50 米。该平台配备一台绕桩式全回转起重机, 起升高度为主甲板以

上 125 米、甲板以下 20 米。

该平台带有海上升压站 (5000 吨级重量升压站上建组块) 海上平移安装功能。同时, 平台安装了压载水处理装置, 可适合于无限航区调遣作业。“海洋风电 79” 于 2020 年 11 月 6 日进坞, 2021 年 1 月 28 日出坞, 出坞后将全面进入舾装和 1200 吨起重机安装调试阶段, 所配备的操作船员也将陆续按计划到位并全程参与所有设备调试, 预计在今年 4 月中旬投入到海上风电施工项目。

#### 4. 招商工业“海狮 5 号”半潜重吊生活平台成功入海

2 月 20 日, 由招商局重工自主设计建造的全球最先进半潜式起重生活平台“海狮 5 号”, 从公司起航, 并于 21 日 17 时左右正式出江。该平台总长 137.75 米、型宽 81.0 米、型深 12.0 米、水面以上最大高度 96.3 米。本次拖带作业船舶编队总长度达 399 米、宽度达 101 米、吃水达 10.5 米, 系长江通航史拖带宽度最大、拖带难度最高的作业活动之一。

据了解, 该平台的控制系统、起重设备、人员容量等均为全球先进水平。平台采取左右不对称浮筒及立柱设计, 安装 6 台单个 3800 千瓦的推进器和 1 个直升机平台, 吊机起重联吊能力达 4400 吨, 而且能够全回转并配备辅钩深水升沉补偿功能, 起吊过程中吊机波浪补偿能力可达 5 米, 搭载的 25 米\*400 吨加长臂可以加大吊机的吊高和吊远范围。并能同时容纳 750 人居住, 可在恶劣风浪条件下, 为海上钻井平台、海上风电安装等服务保障功能。

#### 5. 全球首制 48000MT 海上风电安装兼半潜重吊运输船下水

2 月 28 日, 球首制 48000 MT 海上风电安装兼半潜重吊运输船顺利出坞, 完成下水, 开启码头阶段最后的建造与调试工作。由于本型船的多功能属性, 需同时具备半潜、DP、自航运输、重吊能力, 建造要求较高。其中, 服务于半潜功能的快速压载系统采用的是 FBE 管和集成透气系统, FBE 管的制造及表面处理工艺要求高、制作安装难度大, 大直径的 FBE 管在国内的产能及制作经验更是严重不足。

该船为招商重工为挪威 OHT 承建的全球首制, 其总长 216.3 米, 型宽 56 米, 设计吃水 8 米, 最大

半潜吃水 27.6 米，配备一台最大起重能力达到 3000 吨的吊机，该吊机法兰直径达 14m 之多，厚度为 210mm，材质为 FO690-Z35，材料之特殊，在制作上对精度和控制变形均有很高的要求。

## 6. 中国船舶七〇二研发设计的“海上风电号”风电安装平台顺利交付

近日，中国船舶七〇二所研发设计的“海上风电号”顺利交付。该平台配备 600 吨起重能力的绕桩吊和 200 吨起吊能力的履带吊，通过绕桩吊和履带吊配合作业，可在作业甲板上完成整套风机的机舱和叶片组装工作，实现风机的整体起吊安装，大大提高了单台风机的安装效率，是专业化、高端化的自升式风电安装平台。目前，“海上风电号”已经投入到沿海风电场安装施工作业中，总体运营作业情况得到船东高度认可。

## 7. 又一大型海上安装船建造，重吊能力 3000 吨

近日，位于中国南通的中远海运重工有限公司为“Voltaire”号自升式安装船铺设了龙骨。这是比利时海工巨头 Jan De Nul (JDN) 集团在中远海运重工订造的第 3 艘自升式海上安装船，预计将于 2022 年交付。

此次负责建造的 Voltaire 号将是市场上第一艘能够运输、吊装和安装超大型“下一代”海上风机及大型基础的船只。这艘船配备了一套 3000 吨的主吊和一个动态定位系统(DP2)，作业深度约 80 米，有效载重约为 1.4 万吨，可容纳 110 人。

Voltaire 将在 2022 年下水，为目前正在建的全球最大装机规模海上风电场——3.6 GW Dogger Bank 吊装 GE 13MW 的风机。

## 8. KK Wind Solutions 推出新型风机状态监测云平台 TCM Cloud

KK Wind Solutions 子公司 Gram&Juhl 在其 TCM (风机状态监测) 产品组合中增加了一个云平台 TCM Cloud，新型 TCM Cloud 是下一代风机状态监测系统，它将 TCM Enterprise 和 TCM Ocular Pro 的所有功能都集成到了云中。

KK Wind Solutions 数字解决方案副总裁表示：TCM Cloud 可以构建行业需要的敏捷性的高弹性云环境，提供适应性强的 TCM 定制化集成。借助新型 TCM Cloud 平台，客户可以在同一基础架构上构建、部署和扩展 TCM 应用程序和服务。这节省了服务器资源及相关的维护成本。

小型企业和风机所有者可以使用 Gram & Juhl 在 TCM Cloud 上的现有产品执行多种部署模型。新的 TCM 云平台使小企业能够建立和扩展他们的风机监测项目，并按需扩大资源，以最小的前期投资来维持强大的底线；规模较大的企业，TCM 云平台提供了一个集中式的信息平台，

 <p><b>一站式</b></p> <p>通过集中式管理简化和自动化操作，在一个平台中包含TCM Enterprise和TCM Ocular Pro的所有功能。</p>	 <p><b>节约成本</b></p> <p>即用即付，没有隐藏的费用，节省获取服务器基础设施的成本和相关的维护成本。</p>	 <p><b>更高灵活性</b></p> <p>具有随需应变灵活性的可适应的解决方案和自定义接口。随着需求的变化和存储或附加服务的调整，可以轻松交换。</p>
 <p><b>大数据</b></p> <p>利用TCM Cloud作为大数据平台，实现数据的导入、同步和与SCADA数据、ERP系统等大数据项目的集成。</p>	 <p><b>随时随地可访问</b></p> <p>随时随地访问风机数据和云服务。使用基于云的平台进行合作和交叉比较，创造协同效应。</p>	 <p><b>安全性</b></p> <p>用最好的安全标准和程序保护您的数据。可配置的用户管理使确定访问级别变得容易。</p>

在提升工作流程和扩展分析能力的同时，在数据安全方面也不妥协。在集中式云平台中收集数据和信息可以更好地概述风力发电场，并使数据提取变得更容易。TCM 云平台支持大数据管理、集成、架构搭建、定制算法和强大的脚本功能。

来源：[KK 官网](#)

## 9. Mammoet 推出创新风机安装系统

Mammoet 已开始与三井住友建筑株式会社 (Sumitomo Mitsui Construction) 及 FHECOR Ingenieros Consultores 共同努力，开发一种创新的陆上风机发电机安装系统和塔架结构。自爬式安装技术将每台风机塔架进行分段安装，使其能够达到更高的高度，并更可靠。

三家开始共同开发 200m 塔架。该设计和构思方面的技术开发由三井住友建筑公司和 FHECOR 共同完成，而自爬式提升系统的概念设计由三井住友建筑公司进行，Mammoet 为该项目从概念变为现实贡献了他们在风力发电和可再生能源领域的重型起重和工程设计方面的经验和专业知识。每座塔架将分段建造，并分阶段提升至其全部运行高度。

该系统允许将机舱以比当前情况低得多的高度固定在每台风机塔架上，从而提高了每个提升系统的安

全性，并允许客户从能够进行此项工作的更大数量的起重机中进行选择。反过来，这对项目进度和成本都有积极影响。它还允许将风机叶片以较低的高度连接到机舱，并确保当轮毂高度增加时，无需更换当前用于陆上风能项目的设备。

该技术可以用于陆上和海上风电场的新建，也可以用于现有陆上风机塔架的更新。这项技术将逐渐满足日本乃至世界各地的陆上和海上风电市场的需求。

来源: [mammoet 官网](#)

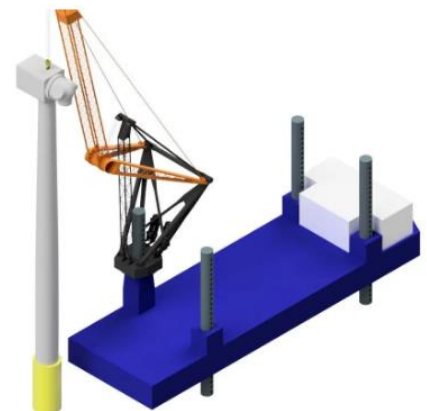
## 10. 荷兰 Tetrahedron 推出下一代大型海上起重机，最大可以满足 20MW 的风机安装

荷兰 Tetrahedron (四面体) 公司开发出一种可吊装下一代大型海上风机的新型起重机，该起重机即可安装在原有的安装船上，实现升级改造。重点关注提升高度，高度承载能力，提升半径和悬臂距。

如同该公司名称一样，新型吊机的外观呈四面体形状。据 Tetrahedron 公司透露，和占地面积相同的现有船载起重机相比，因其利用了不同的运动原理和结构载荷传递方式，该新型起重机拥有更强的起重能力，最大可以满足 20MW 的风机安装。如此一来，就能充分利用现有的船只，省去更新为大型起重船的费用。

### 吊臂拆分

起重机的悬臂可以分开，这样在起重机的装载位置它可以越过自升式支腿。由于需要进行额外的焊接，这种副臂分割需要额外的成本，但是这种修改对重量没有影响。



型号: Tetrahedron65	型号: Tetrahedron45	型号: Tetrahedron25
机舱举升机: 1200T	机舱举升机: 900T	叶片架升降机: 500T
半径40m-200m AWL *	在40m半径处-180m AWL *	半径35m
叶片行程: 300T	叶片行程: 300T	叶片行程: 250T
顶部带有6m副臂间隙	顶部带有6m副臂间隙	安装在180m AWL
适用于安装未来的20MW DirectDrive机组	适用于安装15MW机组, 包括西门子15MW和通用电气Hallade-X 13MW	适用于安装15MW机组, 包括西门子15MW和通用电气Hallade-X 13MW
包括重载模式 (降低高度时): 1430T	包括重载模式 (降低高度时): 1250T	包括四点标语系统: 改进叶片配合
可选的重载模式: 1800T	可选的提升套件	可选重载模式: 800T

目前, DNV GL 已完成概念设计验证, 计划在 2022 年之前在鹿特丹交付首台新型起重机。Tetrahedron 创始人兼董事 Wilco Stavenuiter 说: “由于其独特的设计和专利技术, 这种起重机仅比现有起重机高出

50m, 而没有增加任何重量和复杂性。”

“这样一来, 原本设计用于安装 5MW 风机的自升式平台可以升级而无需重新加固船体 (由于该新型起重机在自升式平台上施加的力矩很小), 并且能够安装目前已开发的 SG 14- 222 DD 或 GE Haliade-X 的超大型风电机组。”

这款起重机的开发得到了荷兰企业局 (RVO) 发起的合作项目资助, 其中包括 Van Oord, 代尔夫特理工大学和多家行业供应商。

来源: [Tetrahedron 官网](#)

## 11. 荷兰公司研发自动叶片喷涂机器人, 有望加快叶片的生产速度

荷兰 TebuloRobotics 公司正在测试一种自主移动叶片喷涂机器人 (AMR), 使用自动化的方法替代叶片生产中的手动操作步骤, 有望在 90 分钟内完成 100 米叶片的喷涂。

AMR 机器人有 4 个电动 360 度旋转车轮, 能够在各个方向精准无限制地移动。装载车还集成了许多其他创新功能, 包括先进的外部引导运动 (EGM) 技术可以跟踪复杂的三维叶片形状和曲率, 无需在机器人中预先输入产品尺寸等编程信息。另外, 还为机器人设计了在不同制造阶段执行的多种工艺任务, 如自动涂抹胶水、切割叶片毛刺、叶片层无损检查及精密涂层和抛光等。

为了对叶片进行精确喷涂, 荷兰初创公司 Qlayers 开发的先进喷头被安装在机器人的手臂上。附加的综合支持系统包括一个多余的油漆颗粒去除装置, 带有内置的抽吸和清洁过滤装置, 所有这些装置都集成在运载工具内。在此次概念测试阶段之后 TebuloRobotics 公司预计会在未来 6 个月完成全尺寸 ARM 机器人的制造生产。

## 12. 世界上最大的 3D 打印机可将风力涡轮机叶片的成本降低一半

缅因州大学先进结构与复合材料中心近期获得美国能源 280 万美元资助, 以开发一种快速、低成本、可回收的 3D 打印大型制造分段叶片模具解决方案。预计新的 3D 打印解决方案可以将叶片的开发成本降

低 25~50%，交付时间缩短 6 个月。

此外，缅因州大学复合材料中心与橡树岭国家实验室 (ORNL) 共同获得 400 万美元的奖励，以在风力叶片中应用连续增强纤维的自动沉积 (robotic deposition)。

叶片模具将使用位于美国缅因州复合材料中心，世界上最大的聚合物 3D 打印机制作，材料上使用可再生的生物基原材料。将尖端的 3D 打印制造与生物基原料相结合，且使用这些材料生产的模具可以进行再磨碎并在其他模具中重复使用，从而使其成为更具可持续性的解决方案。

缅因州大学是纤维素纳米纤维 (CNF) 技术的全球领导者，其技术包括纳米纤维素和微纤维素增强热塑性复合材料的开发。这些新的生物基材料以较低的制造成本保证了与铝类似的机械性能。碳纤维增强 ABS 热塑性原料广泛用于大规模 3D 打印，每磅成本超过 5 美元。通过掺入源自木材的生物基材料，原料的成本可以降低到每磅 2 美元以下。

模具将使用 ORNL 开发的新技术结合 3D 打印的加热元件。模具表面温度的控制是模具制造的关键要求，而新的 ORNL 技术可实现自动沉积加热元件，从而减少了模具制造时间和成本。

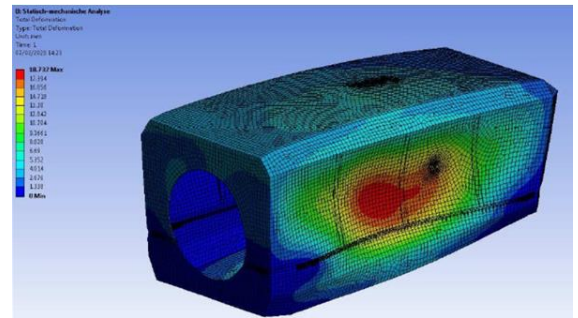
来源: [UMaine News](#)

### 13. Greenboats 为海上风机建造“首款”天然纤维机舱

工程公司 Greenboats 和生物环氧树脂公司 Sicomin 生产了一种由天然纤维复合材料制成的风力发电机机舱 (NFC 机舱)，并计划于今年春天在鹿特丹港口进行测试。他们声称该结构是目前世界上最大的天然纤维复合材料 (NFC) 结构之一，标志着此类材料首次用于海上风机机舱。迄今为止，机舱已经使用了钢、铝、聚酯基和环氧基玻璃纤维增强复合材料。

产品开发商和制造商 Greenboats 受尚未命名的风能技术开发商委托，设计和生产可持续的 NFC 机舱。7.3 米长的结构，表面积约为 100m<sup>2</sup>，经设计可满足海上风机机舱所需的所有 DNV-GL 载荷工况。其中包括 55m / s 的最大风荷载和护栏上的 2KN 荷载。

Sicomín 说，这种生物基环氧树脂被用来注入 BComp 亚麻纤维增强材料和轻木芯，并在其外表面涂上膨胀型的耐候胶衣。膨胀型胶衣是一种保护层，当暴露于火中时，会焦化并膨胀，而不是扩散。在制造过程中，固化的面板被切割成一定形状，然后在阳插头上形成并粘合在一起。然后将亚麻增强层与 GreenPoxy 树脂手工层压在一起，并真空包装，然后沿着所有面板连接线添加。最后将高度抗紫外线的透明涂料产品用于保护和增强亚麻纤维的光洁度。



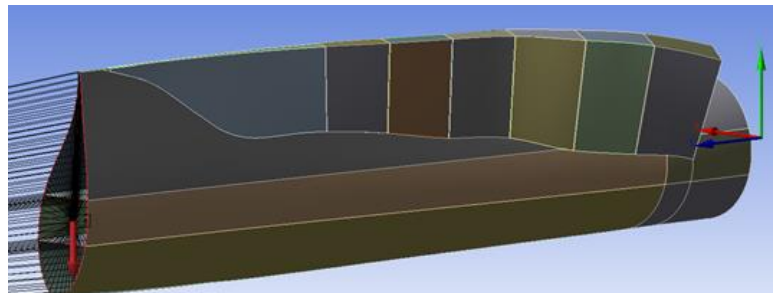
Sicomín 还与德国分销商 Time Out Composites 合作，为新的机舱生产生物基树脂，膨胀型阻燃胶衣和耐紫外线（抗紫外线）透明涂料。

来源：[wind power monthly](http://www.windpowermonthly.com) 官网

## 14. Evoblade 和 Deutsche Windtechnik 创建可改造的叶片扰流板，为风机提供空气动力学优化

德国的风能初创公司 Evoblade（由不来梅应用科学大学航空航天技术研究所分离而来）、风能服务公司 Deutsche Windtechnik，以及商业管理咨询公司 Wirtschaftsförderung Bremen 合作开发了一种可改造的叶片扰流板，在最近的测试中，该扰流板将 1.5MW Neg Micon 风机的产量输出提高了 6%。

Evoblade 联合设计的 “EvoFlap” 尾缘扰流板由玻璃纤维和增强塑料条组成，并附接到转子叶片的根部。其设计目的是更好地吸收作用在叶片上的机械载荷，并改善叶片根部周围的空气动力流动，从空气动力学角度出发有利于叶片的扭矩增加。从而提高涡轮机的效率和性能。此外，EvoFlap 减少了由于气动升力和阻力随时间变化而在转子叶片根部产生的不利周期性载荷。



Evoblade 使用玻璃纤维增强塑料制造 EvoFlap, 该材料与制造转子叶片材料相同。在组装过程中, 转子叶片的表面首先要略微粗糙。然后将 EvoFlap 层压到薄板上。EvoFlap 适用于标称输出功率为 1 到 3 MW 的大多数风机系统。

在 2015 年 8 月至 2019 年 3 月之间进行的一项研究中, 他们的 10 米长 EvoFlap 扰流板使 1.5MW NEG Micon NM 82 涡轮机的年发电量 (AEP) 提高了 6%。据 Evoblade 最近的测试表明, 平均风速为 7 米/秒时, AEP 的增幅大致相同。

来源: [Evoblade](#) 官网

## 15. 法国 LCJ Capteurs 开发超声波风速传感器

风力发电具有风速不稳定的特点, 这就给风力发电的稳定性带来了一定的困难, 而且在风力发电系统中由于风能不能被存储, 所以为了保证稳定的供电, 需要利用超声波风速传感器稳定其风速, 工采网提供的法国 LCJ Capteurs 超声波风速传感器 - CV7 - OEM。与传统的风速计相比, 传统的风速计具有旋转的机械部分, 这些移动的部分容易使得传感器损坏。而超声波传感器设计旨在避免任何的机械部件, 以确保最佳和更可靠的操作。超声波风速传感器具有长期的稳定性且无需维护。

法国 LCJ Capteurs 超声波风速传感器 - CV7 - OEM 可提供 4 个独立的测试数据。正确性检查用于头风矢量的计算。这种方法提供了 0.15m / S 的风速灵敏度, 可靠性和卓越的线性度高达 40m / S。

另一方面声音 (和超声波) 通过它所穿过的流体的运动来传递。电声换能器使用超声波信号两两相互通信, 根据正交轴确定由气流引起的波传播时间差。CV7 - OEM 换能器彼此之间进行通信, 提供四种独立的测量, 而头风测量矢量则用于计算。结合这些测量结果计算出相对于参考轴的风速及风向。温度测量是用于校准。传感器的设计减小了倾角的影响 (基于空间的形状, 传感器倾角的影响被部分校正)。

输出数据格式	NMEA0183, MWV, XDR	
信息传输	Instant. W. Speed, Instant. W. Angle, availability	
输出率	2 Hz / 30 Hz	*4 Hz / 60 Hz
风速灵敏度	0.12 m/s	
风速分辨率	0.05 m/s	
量程	0.12 to 40 m/s	
风向灵敏度	+/-1.5°	
风向分辨率	1°	
供电	8 V ~ 30 V DC	
电流消耗	9 mA	
工作温度	-15° C ~ +55° C	
线长	50 cm / 4x0.22 mm2	
接口	4 线	
头部重量	100 克	
产品部件重量	N/A	
安装	N/A	

## 三、友商信息

### 1. GE 获美国能源部支持，研发风机叶片 3D 打印技术启动 3D 打印风机叶片

近期，通用电气研究公司 GEREsearch、通用电气可再生能源公司 GE Renewable Energy 及其下属子公司 LM Wind Power 被美国能源部选中，负责研究风电叶片 3D 打印的设计和制造。

通用电气表示，其上述子公司将与 Oakridge 国家实验室以及国家可再生能源实验室合作，开展一项为期 25 个月、耗资 670 万美元的项目，为未来大型转子的新型高性能叶片的一体化增材制造工艺进行研发和展示。能源部于近日宣布了这一项目，包括制造 1 片全尺寸的叶尖以进行结构测试，以及制造 3 片叶尖在风电机上进行安装。该项目将侧重于低成本的热塑性表面以及打印加强层。

### 2. MHI Vestas 使用 DLM 方案称重机组叶片

近期，位于英国的 Dynamic Load Monitoring (DLM) 为 MHI Vestas 叶片提供无线称重解决方案。DLM 提供了一个 25 吨容量的遥测拉力链和一个 20 吨容量的 S 型传感器称重传感器，因此 MHI Vestas 可以测量其在根部和尖端的 80 m 长涡轮叶片的重量。

负载监控设备安装在现场高架起重装置的吊钩下方。可以在两个独立的无线手持显示器上读取数据。

现场经理 James Perkins 表示：“准确的数据采集使我们能够精确计算每个叶片所需的压载材料的数量，这对于在海上风力涡轮机上安装叶片并旋转叶片时至关重要。准确的称量使我们能够减少未来的运维成本（运维），并确保叶片尽可能地旋转。”

DLM 在此实例中提供了 TL-2.0。但是，它最近推出了第三代遥测拉伸链接称重传感器，这是一种轻巧的无线张力测量单元，结合了高水平的性能和针对恶劣环境的坚固设计。它由航空级铝制成，续航里程

达 800m (超过 2,600 英尺), 电池使用寿命长达 700 小时。TL-3.0 可以与一个或多达十二个手持显示器配对。

来源: [DLM 官网](#)

### 3. Vestas 重磅推出 15MW 海上风机

Vestas 于 2 月 10 日正式宣布推出 V236-15.0 MW 海上风机, 一举超过 Siemens Gamesa 14MW-222DD 海上风机、GE Haliade X 14MW-220 海上风机, 成为全球最大的海上风机。

V236-15.0 MW 海上风机将利用现有风机平台 (例如 9 MW 和 EnVentus 平台) 的最佳设计协同作用, 并通过模块化方法扩展组件的规模来提高风机设计的工业化水平。V236-15.0 MW 额定功率为 15MW, 叶片长度为 115.5 米, 叶轮直径为 236 米, 扫风面积为 43000 平方米, 具有出色的部分负荷生产能力, 可实现更稳定的能源生产, 并且根据特定场址条件, 其容量系数超过 60%, 设计寿命达 25 年以上。该机型首台样机将于 2022 年夏天吊装, 2024 年实现批量化生产。



- 取得平衡

这个新的 15MW 风机是为迎风 IEC I / S / T 条件开发的, 包括容易受台风影响的市场 (IEC T), 目的是 “在产量水平和项目水平所需的风机数量之间取得平衡。下一代海上平台基于 9MW 海上平台和 EnVentus 海上平台的成熟技术解决方案。

V236-15.0MW 机舱的独特视觉外观显示了其中央部分是升高的, 两侧是两个水平 “隔间”, 机舱宽后舱顶部有一个被动式冷却器。

- 振动友好

Vestas 解释说, 将关键的电气和电力电子组件放置在靠近塔架中心的位置可创建一个振动友好的操作环境, 同时有助于使设计在结构上更高效, 更优化。结果是使机舱更紧凑、更短——包括直升飞机起重甲

板和轮毂在内，机舱长度 28 米。如果需要，可以将这些子组件卸下进行运输。机舱高 11 米，宽 9 米。

根据 Vestas 的说法，V236-15.0 在强风（接近 10m/s）IEC I 条件下容量系数超过 60%。与 V174-9.5MW 风机相比，它可将单个风机的年发电量（AEP）提升高达 65%，达到 80GWh。在参考水平上，900 兆瓦风电场的 AEP 增加了 5%，同时减少了 34 台风机、地基以及相关的内部内部阵列电缆。该公司表示，这些因素共同为更强大的业务案例提供了实质性好处，包括大幅降低了平均能源成本（LCoE）。

该风机具有最新的 Vestas “system8000” 控制系统，该系统与硬件和软件有关，该系统是随 EnVentus 平台首次引入的。与 EnVentus 一样，增强型液压独立桨距控制系统也是基于负载的，它具有备用电池系统，可支持关键功能，例如在同时发生电网故障的台风条件下进行逆风偏航控制。

- 结构壳

V236 将配备创纪录的 115.5 米长，内部设计的结构壳型叶片，其结构和空气动力学将基于为 EnVentus 平台引入的最新细长叶片技术和翼型。每个叶片都在上部和下部壳体中集成了结构增强件和预先制造的碳插件。

主要的设计动因是具有竞争力的叶片质量；适度，优化地使用昂贵的碳，以实现最佳的操作和生命周期性能，并保留从制造，运输和安装角度出发的一体式叶片设计。对于 Vestas 以及这种风机模型来说，新的功能是将额定叶尖速度从 90m/s（V164 和 V174 的标准值，也适用于海上风电）提高到 104m/s。

通过将耐腐蚀的前缘外壳并入叶片的层压板中，可使尖端速度提高 16%。该解决方案针对海上应用进行了设计和验证，其可靠性性能在具有代表性的条件下经过了 V164 风机的长期测试和证实。

旋转速度更快的 V236 转子的一个重要优点是，这可以大大降低齿轮箱输入扭矩，从而可以实现更紧凑的设计。Gjerløv 补充说，整个动力传动系统在功能上是按照经过验证的 EnVentus 设计原则进行升级的。与 EnVentus 一样，这包括保留一个模块化的主轴承单元，该单元在前部装有转子，并在后端接口用于齿轮箱和发电机的联动装置。

V236 齿轮箱具有三个行星升压级，而 EnVentus 则为两个通过固有的降低的转子速度来补偿更高的额定值和更大的转子。设计布局进一步实现了更小的尺寸，特别是对于第一个低速齿轮级。

- 批量和成本优化

与较小的 EnVentus 单元相似, V236 齿轮箱在所有主要位置均配有轴颈轴承。它的扭矩密度比 V174-9.5 MW 参考齿轮箱高 48%, 其值超过 200Nm / kg。高扭矩密度和 V236 尖端速度的提高相结合, 提供了质量和成本优化的整体解决方案。和以前一样, Vestas 与 ZF Wind Power 合作开发了齿轮箱和完整的传动系统。但是, 由于 V236 齿轮箱的规模更大, 因此尚未确定完全组装并经过测试的装置的运输物流, 并且可能与 EnVentus 解决方案有所不同。同时, Vestas 取消了 V164 / V174 系列部署的主轴承单元与齿轮箱之间的低速联轴器, 以防止转子产生的弯矩进入齿轮箱输入侧。

据 EnVentus 平台的经验, 内部开发的永磁发电机更大, 更长, 因为其额定功率高出 2.5 倍。Vestas 再次避免使用稀有且昂贵的稀土 Dy, Vestas 通过将完全密封的风冷 PMG 产品与空气-水热交换器连接到被动式屋顶冷却器上解决了这一问题。

- 全球产品及可扩展性

V236 平台的开发于 2020 年初开始, 原型计划于 2022 年下半年开始, 随后在 2024 年进行批量生产。它将以主要的 15MW V236-15.0MW 模型版本进入市场。以及可根据项目的具体考虑进行优化, 如第二个变体——降级的 13.6 兆瓦运行模式。

根据 Vestas 及陆上和海上常规风能行业惯例, 新推出的平台也将始终牢记未来的可扩展性。因此, 沿着相同的进化发展路径进一步扩展 V236-15.0MW 可能会在将来导致更高的结果, 例如 17MW 的 V236-17.0MW 功率为 389W / m<sup>2</sup>。

来源: [WIND POWER MONTHLY](#)

## 4. 西门子歌美飒推出破纪录的 108 米叶片

近期, 首款 Siemens Gamesa 108 米 B108 叶片已经下线, 并将于 2021 年下半年安装在丹麦的 SG 14-222 DD 样机上。108 米叶片正式问世, 就此打破了 GE Haliade-X 风机上配备的 LM 107 米叶片记录, 成为全球最长风电叶片。

据悉, 该叶片将用于西门子歌美飒 SG 14MW-222DD 海上风电机组, 安装有 108m 长叶片的风机, 直径 222 米, 具有 39,000m<sup>2</sup>的扫风面积, 与额定功率为 11 MW 的 SG 11.0-200 DD 海上风机相比, 年发电量增加了 25%以上。采用 Siemens Gamesa IntegralBlade 概念进行设计, 由碳纤维和玻璃纤维的熔融覆盖层制成, 并在单个模具中浇铸而成。机组预计 2024 年进行量产。

来源: [OffshoreWIND.biz](http://OffshoreWIND.biz)

## 5. 远景能源海上风电产业园预计 1 月底投产使用, 年产 200 台套

远景能源海上风电产业园项目位于核电工业区, 是海阳市的重点项目, 规划建立海上智慧风电装备制造中心, 并以总装基地为核心, 带动本地企业发展, 拉动配套产业落地海阳, 打造海上风电产业园, 未来业务将覆盖山东半岛, 辐射河北、辽宁等环渤海区域。该项目预计一月底将投产使用。

远景能源海上风电产业园项目由远景能源有限公司投资建设, 总投资 15 亿元, 一期工程占地 113 亩。主要建设海上风机制造中心, 建成后具备年产 200 台套智能海上风机机组的能力。

## 6. 上海电气: 世界最长 90 米风电玻纤叶片诞生

2 月 6 日, 在中国质量认证中心的见证下, 上海电气风电集团股份有限公司自主研发的海上风电叶片 S90 一次性通过全尺寸静力测试, 刷新了国内大型叶片测试的记录。

S90 叶片是上海电气针对我国海上中低风速地区自主研发的一款叶片。叶片采用低粗糙度敏感性的设计, 保证稳定可靠的发电量; 采用了自主开发的预埋螺栓套技术, 其能够满足 S90 叶片苛刻的叶根载荷, 保证叶根连接的安全性能; 首次采用了玻纤拉挤板材技术, 通过前期充足的技术准备, 在 S90 叶片上顺利运用, 有效达到减重降本目的。另外, 还采用了玻纤布环铺技术, 不仅能够提升生产效率, 保证生产质量, 而且可设计性更强, 使叶片设计更加轻巧。

## 7. 东方风电 10MW 海上风机多功能吊具测试成功

1月14日,东方风电 10MW 海上风机多功能吊具在山东蓬莱测试成功,这是目前国内大兆瓦海上风电机组叶片吊装的优异解决方案,创新性的解决了非平衡状态下超大扭矩的风轮盘车给单叶片吊装技术应用带来的行业难题,打破了盘车装置的国际垄断,让海上风机单叶片吊装更加便捷高效。

东方风电 10MW 海上风机单叶片多功能吊具,可适应+30° ~ -60°大角度区域安装,可满足 45 吨叶片吊装。单叶片吊装方案将叶片吊装的安全临界风速从 8m/s 提高到了 15m/s,大幅延长了吊装作业的窗口期,突破了海上吊装作业风速边界限制。



## 8. 东方风电在漂浮式海上风电领域取得新突破

近日,在多家用户的共同见证下,按照东方风电与中集来福士共同开发的方案,缩比定制的漂浮式海上风电机组模型,在实验室完成水池试验,并取得圆满成功。本次试验为期一周,试验采用 1:64 的缩比模型,模拟水深 44 米,完成了浮式风机衰减、系泊刚度以及风、浪、流载荷下的工况试验。测试响应与设计仿真结果基本相符。

## 9. 上海电气风电集团在西安高新区成立其西安研发中心

近日,国内风力发电行业领军企业上海电气风电集团股份有限公司(以下简称“上海电气风电集团”)决定在西安高新区成立其西安研发中心,这将是该企业在全球范围内的第 6 个异地研发中心。

西安研发中心是上海电气风电集团在西北地区重点打造的研发平台,将融合西安、上海两地资源,开展海陆风力发电机组的研发,初期规模将达 200 人。据上海电气风电集团西安研发中心负责人倪黎介绍,目前,研发中心 1700 平方米的办公场地已经装修一新,能够容纳 200 人办公,待前期准备工作完成,将在西安招募 200 名具有控制、系统工程、机械、电气、电驱动、测试等学科背景的研发人员。

## 10. 明阳智能获得意大利地中海首个海上风电项目

明阳智能斩获意大利 Renexia 公司塔兰托项目订单, 将其地中海首个海上风电项目提供风机供货及运维服务。该项目位于意大利南部阿普利亚地区塔兰托港附近, 项目建成后将成为意大利第一座建设并投产的海上风电场, 将获得地中海第一座商业化规模海上风电场的殊荣, 也将成为南欧海上风电项目发展的里程碑。

**本项目计划安装 10 台 MySE3.0-135 海上风机。**据悉, 该项目由法国 Natixis S.A. 银行提供项目融资服务, 同时也是明阳风机首次获得来自欧洲银行的无追索项目融资。预计今年夏季将开始交付, 年底投入商业运行。

## 11. 国内首艘 30 米级海上风电高速运维船正式开工

日前, 由中国船舶集团海装风电股份有限公司(下称“中国海装”)投资建造的, 国内首艘 30 米级海上风电高速运维船正式开工, 并将于今年投入使用。

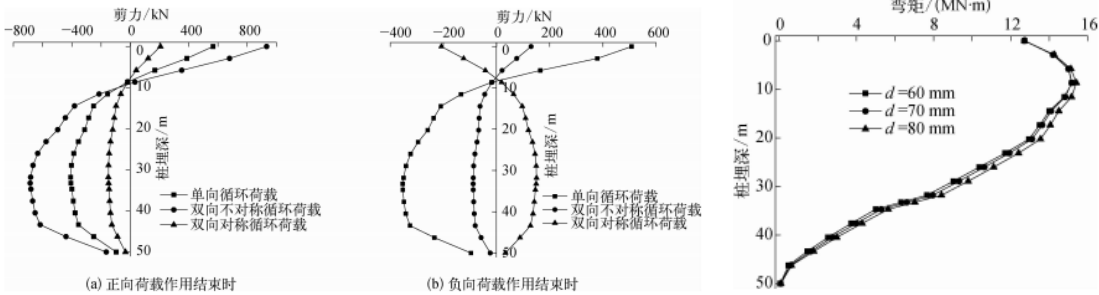
本次开工建造的运维船是中国海装发挥集团公司船舶设计建造优势, 结合国内海上风场运维特点及中国海装多年海上运维经验量身定制。待投入使用后, 能有效满足山东、江苏、浙江、福建等不同海域海上风电场需求, 在各类海况下具有优良的安全性、快速性和日常运营经济性。

# 四、创新技术&报告文献

## 1. 海上风电单桩基础-土相互作用特性影响因素分析

摘要: 采用有限元软件 ABAQUS 建立了海上风电单桩基础与土相互作用数值计算模型, 将波浪、洋流及风荷载等效成双向对称循环荷载, 研究了水平循环荷载作用下不同因素对桩身水平位移、剪力和弯矩的影响规律。研究表明, 随着循环荷载比的增加, 桩身位移零点和桩身剪力反弯点沿埋深逐渐下移, 桩身弯矩最大值点位于浅层土体; 不同荷载频率时桩身位移在零点以上变化较大, 桩身弯矩随着频率的增加逐渐增大; 单向循环

荷载作用下桩身位移最大,双向对称循环荷载作用下桩身位移最小;壁厚较小时对桩身水平位移影响较大;在位移零点之上范围内可以考虑设计"上厚下薄"的钢管桩,以减小桩身水平位移;不同桩壁厚时桩身剪力曲线在埋深约 6D 处出现交点,且泥面处桩身弯矩变化不明显。



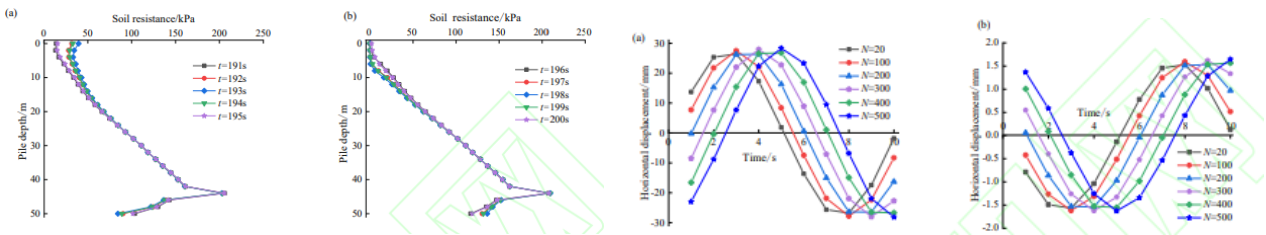
不同加载方式下桩身水平位移变化曲线

193 s 时不同桩壁厚下桩身弯矩变化曲线

来源: 期刊 - 海洋工程第 39 卷第 1 期 SP 附件编号: 07-03

## 2. 非均质土中海上风电单桩基础动力响应特性

摘要: 采用有限元分析软件 ABAQUS 建立了非均质土中海上风电单桩基础数值计算模型, 将桩基础受到的波浪、洋流及风荷载等效成双向对称循环荷载, 对水平循环荷载作用下桩身水平位移、桩身剪力、桩身弯矩和桩侧土抗力进行了研究, 并对不同循环次数下桩身水平位移进行了对比分析。研究表明, 桩身水平位移随时间变化逐渐累积, 随着循环次数的增加, 泥面处桩身最大位移发生的时间点滞后; 桩身剪力出现负值; 桩身弯矩最大值发生在浅层土体; 桩身外壁土抗力曲线随时间的变化在埋深约 2/3 处出现分界点, 分界点上下范围内土抗力变化规律正好相反, 在淤泥土和粉砂土分界面处增加显著; 不同时间点桩身内壁沿埋深承担的荷载基本不变。

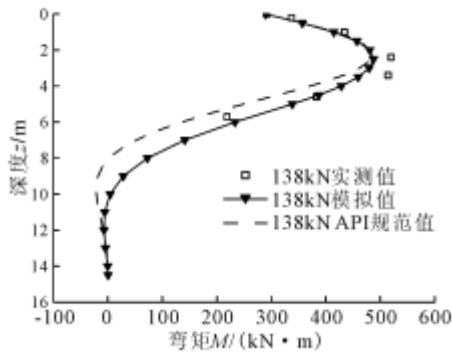


第 20 次循环时桩身外壁土抗力埋深分布曲线. (a) 前 5 s 顺载侧;(b) 后 5 s 逆载侧

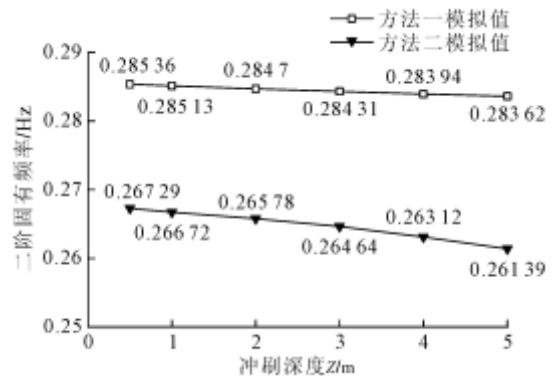
来源: 期刊-工程科学学报 网络首发论文 01-10 SP 附件编号: 07-04

### 3. 海上风电大直径单桩基础固有频率影响因素的数值分析

摘要: 针对海上风电整机结构其低阶固有频率的控制问题,基于有限元分析技术开展小直径桩土相互作用的数值模拟分析,与试验结果、API 规范计算结果进行对比,验证了数值模型的适用性,分析大直径单桩结构桩内土芯、冲刷深度、表层土置换措施对整机固有频率的影响,结果表明,基于有限元实体单元计算所得一、二阶整机固有频率要明显大于传统 p-y 方法计算结果;桩内土芯对一、二阶整机固有频率影响很小;在一定范围内,随着泥面冲刷深度的增加,一、二阶固有频率降低不明显,认为传统 p-y 方法对于大直径单桩的适用性有待研究;在实际工程设计中,桩内土芯的影响可忽略;对于大直径单桩,在一定范围内可以忽略冲刷的影响。



沿桩身弯矩分布



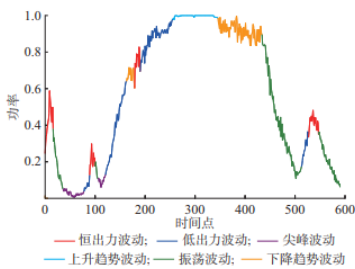
冲刷深度对二阶固有频率影响分析

来源: 期刊-船海工程第 50 卷 1 期 SP 附件编号: 07-05

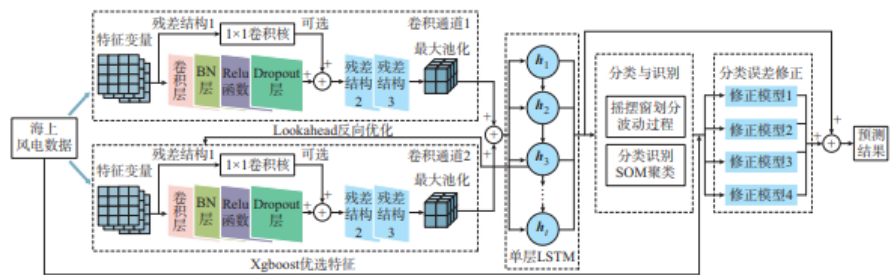
### 4. 基于改进长期循环卷积神经网络的海上风电功率预测

摘要: 准确的风电功率预测对海上风电安全并网具有重要意义。不同于陆地,海上具有气象因素复杂、风电出力波动显著等特点,使得海上风电功率预测精度难以满足工程实际要求。针对以上问题,文中提出一种基于改进长期循环卷积神经网络(LRCN)的预测模型,用于超短期海上风电功率预测。首先,采用改进 LRCN 进行初步功率预测,即构建多卷积通道分别提取不同层次变量的时序特征,并通过具有前瞻性的改进 Adam 优化器提升网络收敛效果。其次,利用摇摆窗算法与波动特征聚类识别预测时段的出力波动类型。再次,针对不同的波动类型建立对应的误差修正模型,并输入经 Xgboost 算法筛选出的强相关特征因子,实现误差修正。最后,采用实际海上风电场数据进行实验,其结果表明所提方法能够有效预测超短期海上风电功率,且预

测精度高于多种传统预测模型。



出力波动过程识别结果

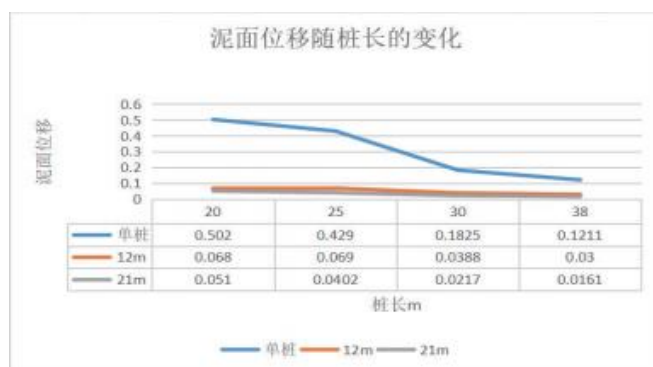
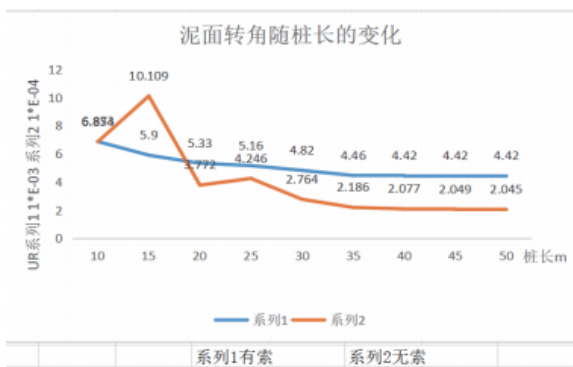


基于改进 LRCN 的超短期海上 WPP 流程

来源: 期刊-电力系统自动化第 45 卷第 3 期 SP 附件编号: 07-06

## 5. 海上风机单桩基础与锚索的应用研究

摘要: 提出在海上风机的单桩基础上不同位置结合锚索,形成海上风机基础中的索塔结构。运用 ABAQUS 有限元模拟软件进行建模建立简化模型,上部风浪荷载与机箱叶片采用等效集中荷载(取极限值),运用 p-y 曲线理论做出土弹簧,在不同桩长的情况下,泥面位移量、泥面转角、桩顶位移等方面对无拉索的海上单桩风机进行对比。结果表明:25m 长度的桩长效果最优,并且泥面位移量、泥面转角、桩顶位移都有显著的优化。使得风机在基础位置削减桩长将减少用量节约成本,同时增添稳定性。



来源: 期刊-建筑与预算 2021 年第 1 期 SP 附件编号: 07-07

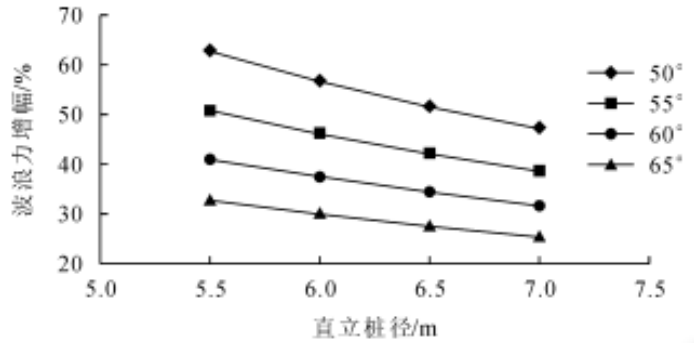
## 6. 单桩基础抗冰锥设置引起波浪载荷增幅研究

摘要: 我国渤海及黄海北部海域海洋环境复杂多变,冰载荷及波浪载荷同时成为风电风机桩的控制载荷。工程中一般安装抗冰锥体结构以提高其抗冰性能。然而抗冰锥的设置加大了基础的水线面面积,波浪载荷急剧

增加。为有效评估波浪载荷的增幅,以海上风机单桩基础为研究对象,采用 SACS 数值计算软件,分析不同桩径的单桩基础由于设置不同锥角的抗冰锥结构引起的波浪力增幅,为单桩基础抗冰锥结构的设计提供指导及参考。

锥角/°	桩径/m	锥径/m	锥角/°	桩径/m	锥径/m
50	5.50	12.04	60	5.50	10.08
	6.00	12.54		6.00	10.58
	6.50	13.04		6.50	11.08
	7.00	13.54		7.00	11.58
55	5.50	11.00	65	5.50	9.25
	6.00	11.50		6.00	9.75
	6.50	12.00		6.50	10.25
	7.00	12.50		7.00	10.75

计算模型尺寸表

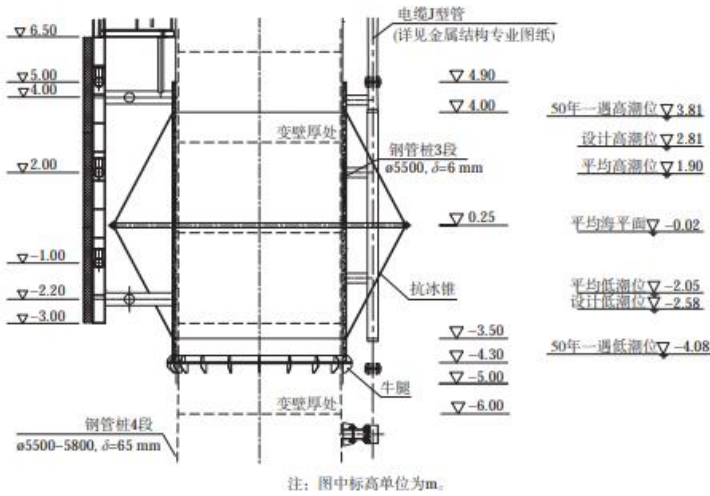


不同桩径及锥角对应的波浪力增幅

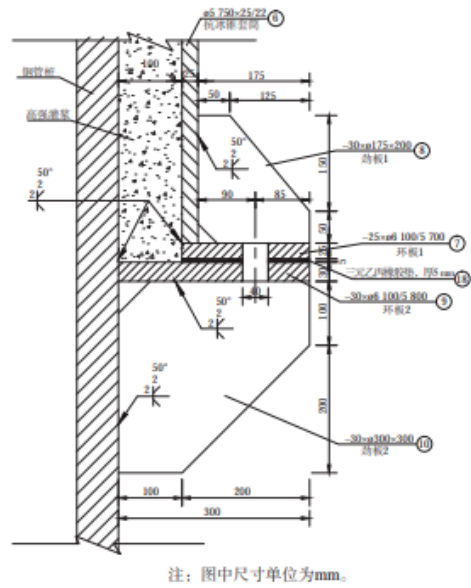
来源: 期刊-水电与新能源 2021 年第 1 期 SP 附件编号: 07-08

## 7. 大连海上风电单桩抗冰锥结构灌浆施工研究

摘要: 抗冰锥结构是北方海上风电单桩基础结构的特有结构。抗冰锥结构的安装施工是单桩基础施工的重点和难点之一,灌浆连接技术通过装配化施工方式成功解决这一难题。大连某海上风电项目在国内首次采用单桩抗冰锥结构。[方法]以该项目抗冰锥灌浆施工的工程实践为依托,研究总结单桩抗冰锥灌浆施工关键技术,内容包括安装准备、灌浆材料选择、灌浆管路设计与优化、灌浆封堵等技术和灌浆施工质量控制等。[结果]采用自主研发的优固特 SKG-V 高强灌浆料、集装箱小型一体化海上风电灌浆专用设备和自主研发的水下灌浆工艺,材料和施工性能均满足要求,成功完成国内首批单桩抗冰锥结构与单桩之间的灌浆连接。



抗冰锥及灌浆部位结构示意图

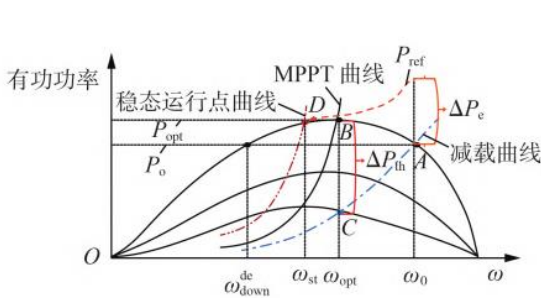


灌浆封堵设计

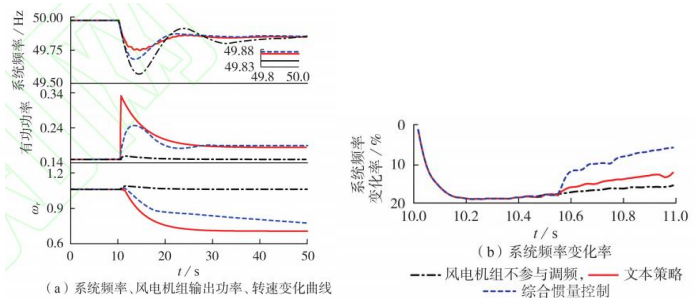
来源: 期刊-南方能源建设第 8 卷 1 期 SP 附件编号: 07-09

## 8. 考虑最优运行点的超速风电机组调频控制策略

摘要: 风电机组凭借超速控制预留备用容量, 可以同时实现惯性响应和一次调频 2 个控制目标。传统的控制策略往往对机组的备用容量利用不足, 尚未发挥出超速风电机组的最大调频优势。为此, 在深入研究超速风电机组频率控制的基础上, 分别分析惯性响应和一次调频与稳态运行点的关系, 提出了考虑最优运行点的超速风电机组调频控制策略。该控制策略通过调频能量模型求解出不同风速下的最优运行点, 充分利用风电机组的备用容量参与频率调整, 以实现频率跌落速度、深度和稳态偏差之间的优化协调。在 DigSILENT 中搭建系统仿真模型进行验证, 结果表明所提控制策略能够改善不同风速下系统动态频率响应特性, 同时可保证 风电机组自身运行的稳定性。



超速风电机组参与调频时的动态响应

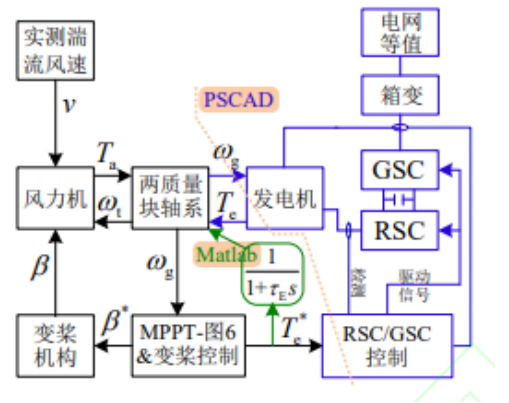


低风速下的仿真结果

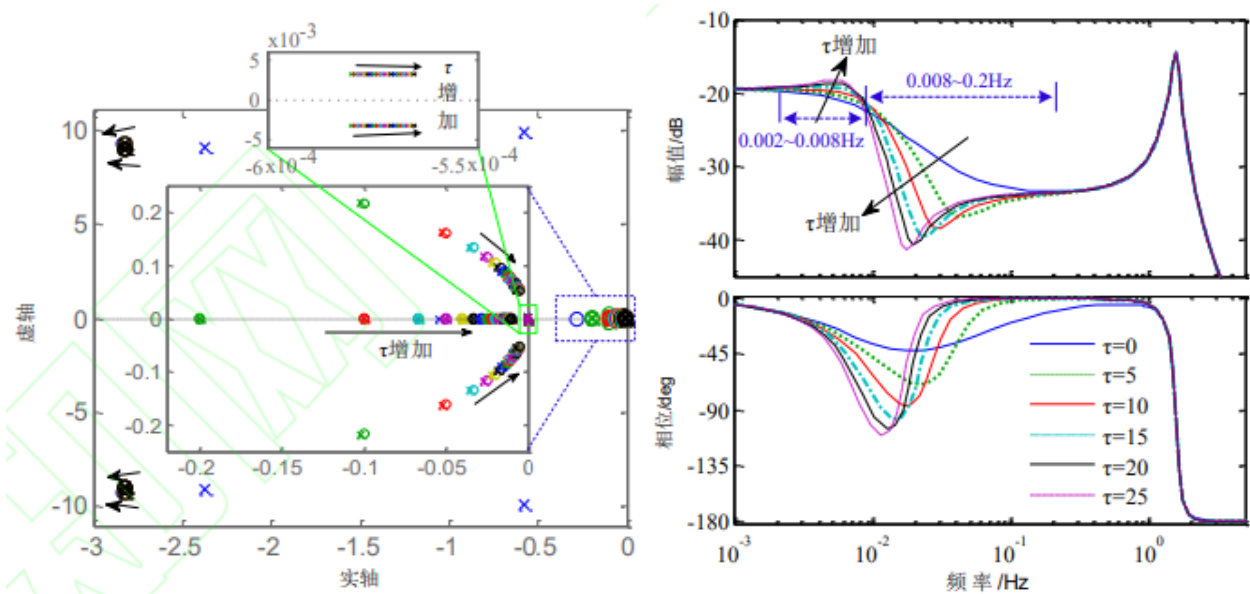
来源: 期刊-电力自动化设备 网络首发 02-03 SP 附件编号: 07-10

## 9. 湍流激励下风电轴系的宽频受迫扭振及其抑制方法

摘要: 风电轴系扭振会造成传动系统提前失效, 对风电机组可靠性及可利用率十分不利。在随机湍流风速的持续性激励下, 风电轴系除扭振特征频率分量之外, 还在低频段存在较宽频带分布的受迫扭振。针对目前风电机组采用的传动链主动阻尼技术仅能应对特征频率分量轴系扭振的问题, 构建了刻画轴系宽频扭振特性的传递函数, 揭示了不同频段轴系电气阻尼对轴系宽频扭振的影响机理, 得出应当在保证扭振特征频率处电气阻尼较高的同时设法降低低频段电气阻尼。提出了抑制宽频受迫扭振的轴系电气阻尼重塑方法, 并从稳定性和抑振效果两方面给出参数设计方法。所提控制策略易于工程实现, 仿真表明其可有效镇定轴系宽频受迫扭振, 且不会对发电量产生负面影响。



仿真模型的结构示意图



(a) 传递函数中控制参数  $\tau$  对系统零极点的影响

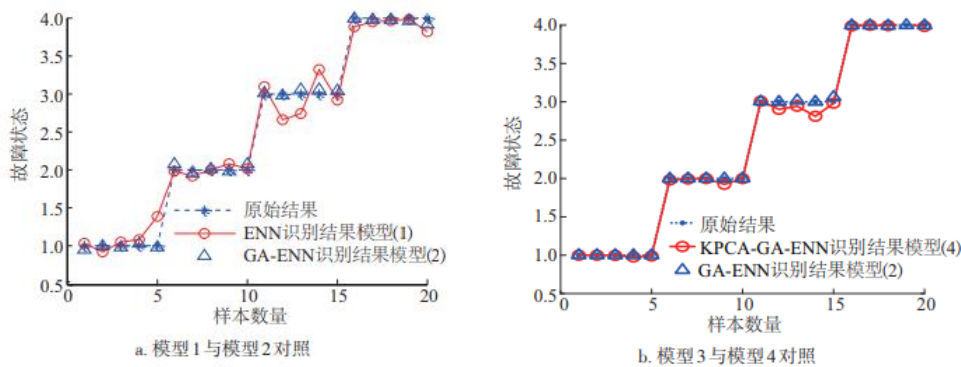
(b) 控制参数  $\tau$  对  $G_{D-\tau}$  频率响应的影响

控制参数  $\tau$  对稳定性和扭振幅度的影响

来源: 中国电机工程学报-网络首发 03-23 SP 附件编号: 07-11

## 10. 基于 GA-ENN 特征选择和参数优化的双馈风电机组轴承故障诊断

摘要: 针对双馈风电机组轴承时域、频域和时频域 3 种复合故障混合域特征集中的信息冗余或不相关性信息的干扰,导致故障诊断技术存在诊断时间长,诊断精度差的问题,提出一种基于遗传算法(GA)和 Elman 神经网络(ENN)相结合进行特征选择和参数优化实现故障诊断的新方法。为减小冗余度和不相关信息,采用 GA 进行特征选择,选出最优特征子集,根据识别误差最小和特征子集数目最少,构造 ENN 的适应度函数;为更精确识别轴承故障,采用 GA 优化 ENN 的权值和阈值参数,再进行故障识别,实例结果表明该方法对故障诊断的有效性和准确性。



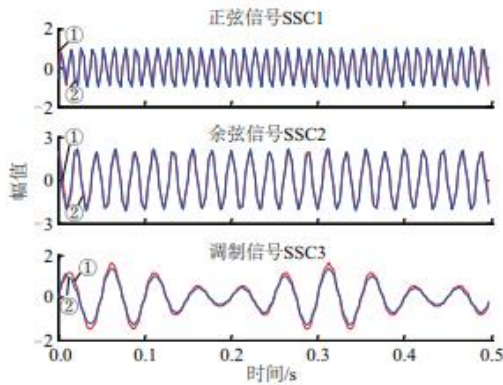
4 种轴承故障识别模型识别结果对照图

来源: 期刊-太阳能学报第 42 卷第 1 期 SP 附件编号: 07-12

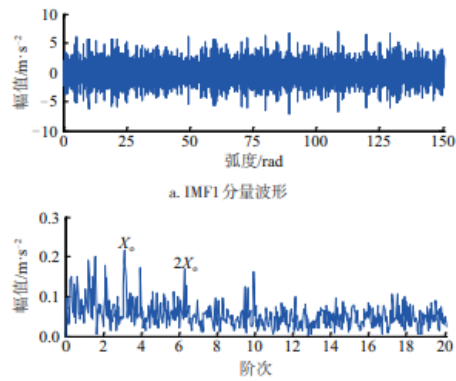
## 11. 变转速工况下基于改进奇异谱分解和 1.5 维包络阶次谱的风电机组轴承损伤识别

摘要: 为实现变转速工况下风电机组轴承故障损伤的准确识别,提出一种基于改进奇异谱分解(ISSD)和 1.5 维包络阶次谱的诊断方法。针对奇异谱分解存在的端点失真和奇异谱分量数量判定问题,提出极限学习机延拓结合窗函数的端点效应抑制策略以及基于 Person 相关系数的分量数量判定策略。首先,通过计算阶次追踪算法对拾取的信号进行等角度重采样,继而对重采样角域信号进行 ISSD 处理;为便于后续分析,利用排列

熵指标从 ISSD 处理结果中筛选出最佳主敏感奇异谱分量,对其执行对称差分能量算子解调运算,并计算所得包络信号的 1.5 维谱;最后通过分析 1.5 维包络阶次谱中的阶次成分准确判定轴承运行状态。实验台信号及实测工程信号验证表明,所提方法能有效提取变转速工况下风电机组轴承损伤特征,具有一定工程参考价值。



应用端点效应抑制策略后 ISSD 处理结果

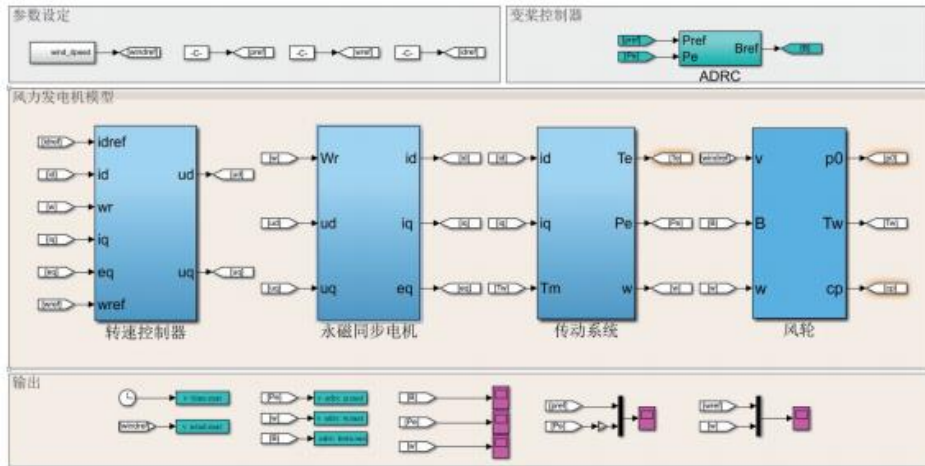


实测信号 EMD 方法分析结果

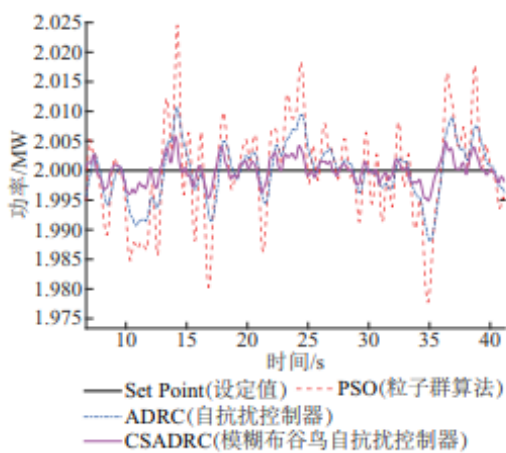
来源: 期刊-太阳能学报第 42 卷第 1 期 SP 附件编号: 07-13

## 12. 模糊布谷鸟算法在风电机组变桨自抗扰控制中的应用

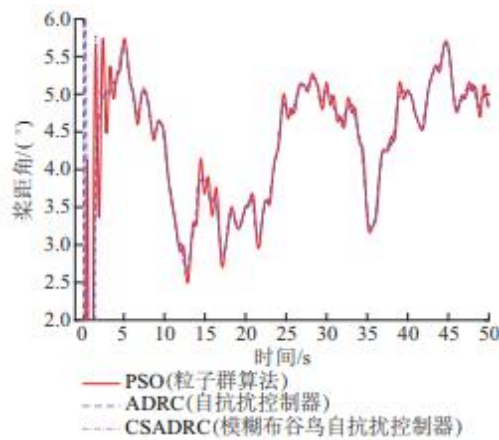
摘要: 针对自抗扰控制器存在参数众多整定难度大这一明显缺点,提出通过智能算法来实现参数的自动整定。分析布谷鸟算法的原理及步骤,利用模糊逻辑优化布谷鸟算法的种群多样性并改善其收敛速度,为实现自抗扰控制(ADRC)参数的自整定,将优化改善后的模糊布谷鸟算法应用到参数整定过程中。通过仿真试验,验证通过模糊布谷鸟算法自动整定 ADRC 参数的可行性,并就整定 ADRC 参数的过程与粒子群算法及常规布谷鸟算法进行对比验证。仿真结果表明,模糊布谷鸟算法整定 ADRC 参数的过程更加迅速,且整定后的 ADRC 能较好满足风力发电机变桨距控制要求,可有效维持风电机组输出功率的稳定性。



风电机组变桨距自抗扰控制器仿真



变桨距控制功率响应



变桨距控制桨距角响应

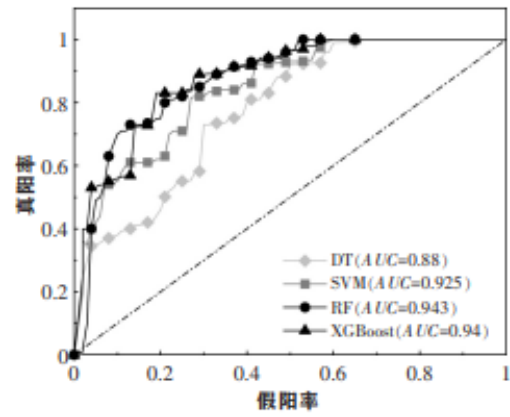
来源：期刊-太阳能学报都 42 卷第 1 期 SP 附件编号：07-14

### 13. 基于特征选择和 XGBoost 的风电机组故障诊断

摘要：随着风电规模的不断增加,风电机组的运行维护成为研究的热点。针对风电机组的故障诊断问题,文章提出了一种基于特征选择和 XGBoost 算法的故障诊断方法。该方法采用随机森林的袋外估计进行特征选择,降低了特征选择过程的主观性;以 XGBoost 算法为基础搭建诊断模型,采用网格搜索和交叉验证对算法进行参数优化。以风电场 SCADA 实测数据对所提方法进行验证,通过准确率、AUC 值等指标将文章所提方法与传统机器学习算法的诊断结果进行对比。对比结果表明,文章提出的方法比传统机器学习算法的预测准确率更高,可用于风电机组故障诊断的工程中。

故障类型	模型应用算法	准确率	精准率	召回率	F1 值
故障 A	DT	0.790	0.75	0.79	0.79
	SVM	0.898	0.85	0.86	0.80
	RF	0.918	0.91	0.93	0.90
	XGBoost	0.914	0.90	0.94	0.90
故障 B	DT	0.865	0.83	0.87	0.85
	SVM	0.899	0.88	0.93	0.85
	RF	0.917	0.91	0.98	0.87
	XGBoost	0.946	0.93	0.97	0.96

故障诊断结果

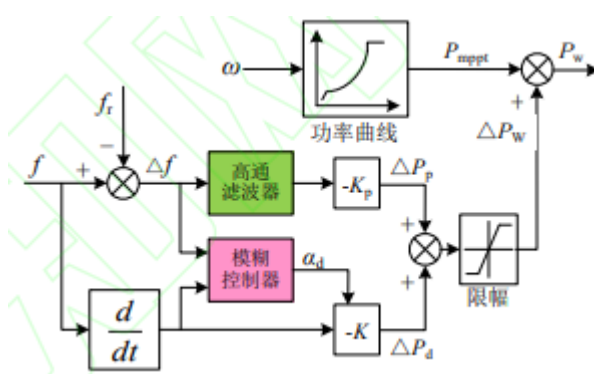


故障 A 各算法模型的 ROC 曲线对比图

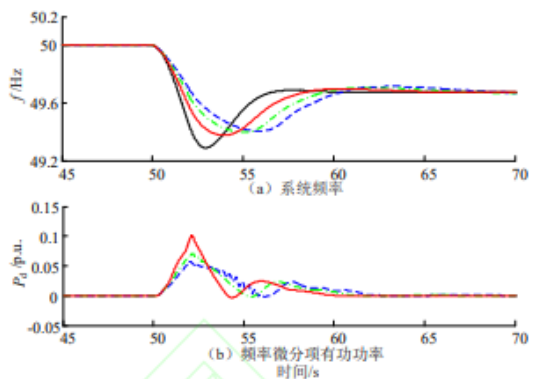
来源：期刊-可再生能源第 39 卷 3 期 SP 附件编号：07-15

## 14. 基于频率响应区间划分的风电机组虚拟惯量模糊自适应控制

摘要：根据系统频率波动区间自适应调整风电虚拟惯量参数有利于改善系统频率响应特性。首先分析了典型高比例风电系统频率响应动态过程，进而建立了含风电的电力系统频率响应线性化模型，揭示了风电虚拟惯量参数的变化对系统频率稳定性及动态性能的影响及变化规律，确定了虚拟惯量参数稳定取值范围。在此基础上，提出了一种基于频率响应区间划分的风电机组虚拟惯量模糊自适应控制方法，设计了模糊推理规则，在阻尼频率快速变化的同时，加速了系统频率恢复，实现了系统频率响应过程风电有限转子动能的合理优化分布。最后在 MATLAB/Simulink 中建立了风电-火电联合系统仿真模型，仿真验证了所提控制策略的有效性以及对频率响应的改善作用。



风电机组虚拟惯量模糊自适应控制框图

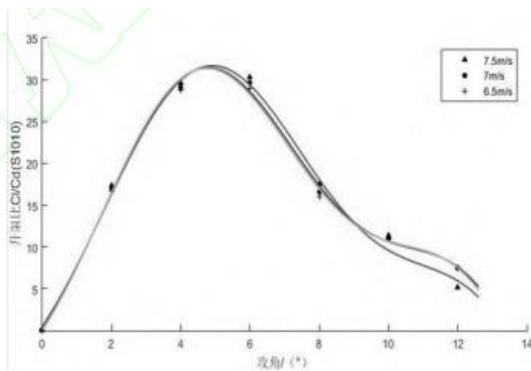


不同风电穿透率时系统动态响应波形图

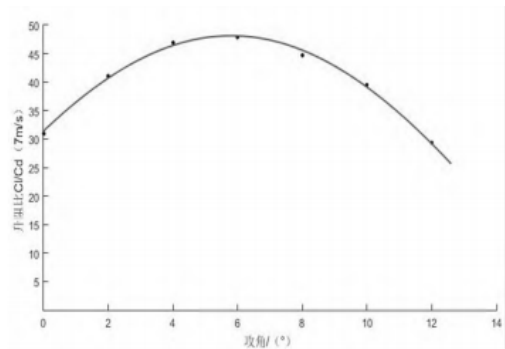
来源: 期刊-电网技术网络首发 02-26 SP 附件编号: 07-16

## 15. 适于广西北部湾海域风况下风力机叶片翼型气动性能对比与分析

摘要: 针对我国广西北部湾海域探索性发展海上风电的现状, 结合其海域风速特点。利用 Profili 软件获取翼型 NACA4412 和 S1010 数据, 通过 ICEM 对这两种翼型进行结构化网格划分, 最后利用计算流体力学软件 Fluent 对这两种翼型的空气动力特性进行了数值模拟分析, 研究了两种翼形在不同工况下的升阻特性, 分析了风速和攻角对其气动性能的影响规律。通过两种翼型在特定风速条件下的气动性能的对比研究, 为适于广西北部湾海域的风力机设计和优化提供了参考。



翼型 S1010 升阻比

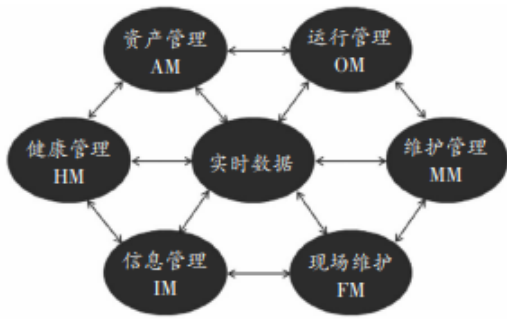


翼型 NACA4412 拟合升阻比曲线 (7m/s)

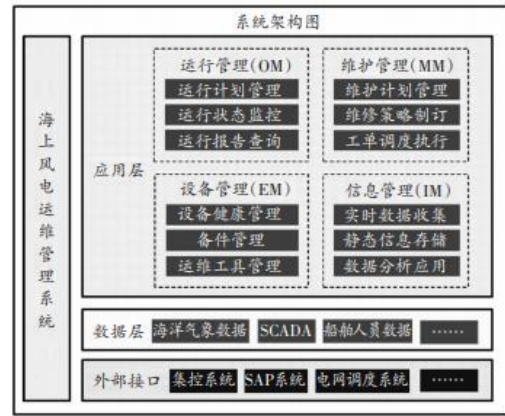
来源: 武汉理工大学学报 网络首发 03-05 SP 附件编号: 07-17

## 16. 海上风电运维管理系统的研究与建议

摘要: 文章分析了海上风电的运维特点及其运维管理系统的开发需求, 梳理了国内外典型海上风电运维管理系统的特征及优缺点, 最后提出对海上风电运维管理系统的开发建议。结果表明, 运行管理、维护管理、设备管理和信息管理是运维管理系统不可或缺的功能模块, 数据集成管理是系统构建的基础条件, 智能化是运维管理系统的必然发展方向。



海上风电场信息管理系统模块示意图

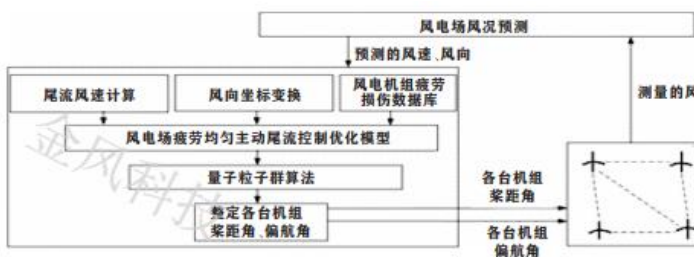


海上风电运维管理系统简单架构图

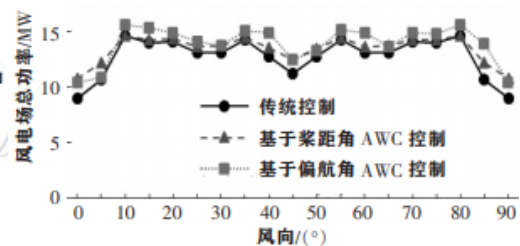
来源：期刊-能源与节能 2021 年底 1 期 SP 附件编号：07-18

## 17. 考虑疲劳均衡的海上风电场主动尾流控制研究

摘要：海上风电场运行维护成本高,而其尾流效应影响更加突出,不但会影响风电场的发电效率,还会增大风电场内机组的疲劳载荷,增加运维成本。文章针对基于疲劳均匀的海上风电场主动尾流控制展开研究,通过 GH-Bladed 软件计算建立了风电机组在典型控制工况下关键零部件的疲劳损伤量数据库。其中的工况包括最大功率追踪、桨距角控制和偏航控制 3 种,并引用了量子粒子群算法,通过变桨和偏航两种方法进行优化控制,以实现海上风电场发电量提升和风电机组疲劳均匀的多目标主动尾流优化控制策略,降低海上风电场运维成本。仿真结果表明了所提出控制方法的可行性。



风电场优化控制方案

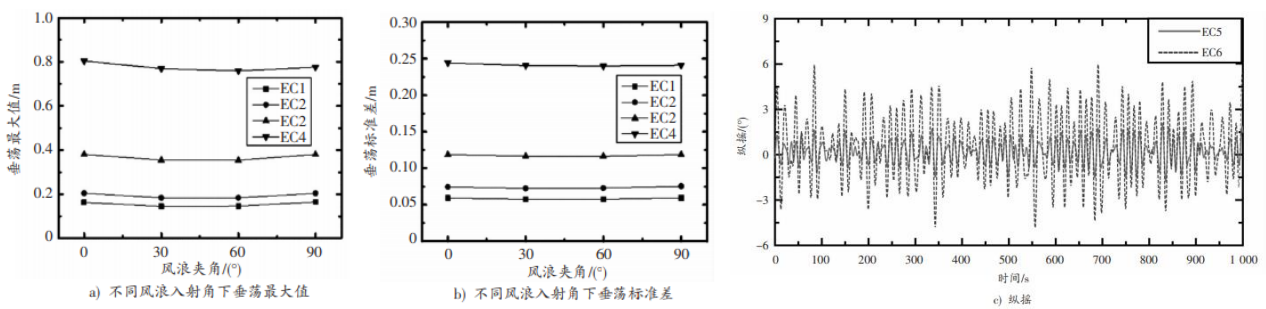


风电场总功率对比

来源：期刊 - 可再生能源第 39 卷 2 期 SP 附件编号：07-19

## 18. 风浪作用下新型格构式基础耦合动力响应分析

摘要：对一种用于海上浮式风机的新型格构式基础进行研究。首先,分析了深海风电系统全耦合动力响应,研究了不同风浪入射角对格构式基础浮式风机动力响应的影响。然后,模拟了格构式基础浮式风机在极端环境海况下的动力响应。结果表明:新型格构式基础浮式风机各结构部分之间存在耦合效应;风浪入射角的变化对其横荡、纵摇和横摇响应影响较大。在1年一遇和50年一遇极端海况下的垂荡、纵摇、动态俯仰角均满足要求。证明了格构式基础海上浮式风机具有很好的稳定性。



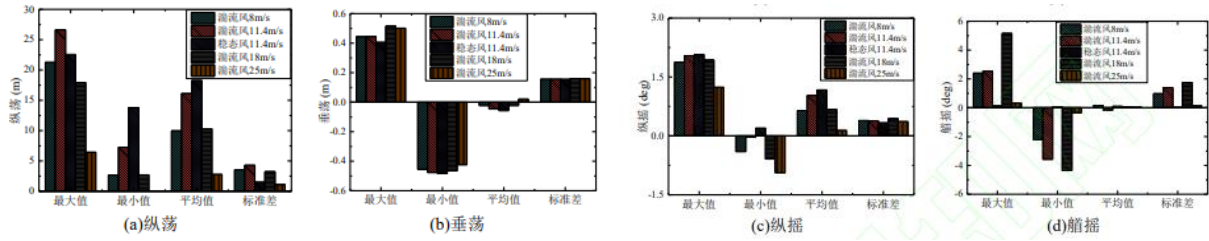
不同风浪入射角下格构式基础浮式风机的垂荡统计值

格构式基础浮式风机运动响应时程曲线

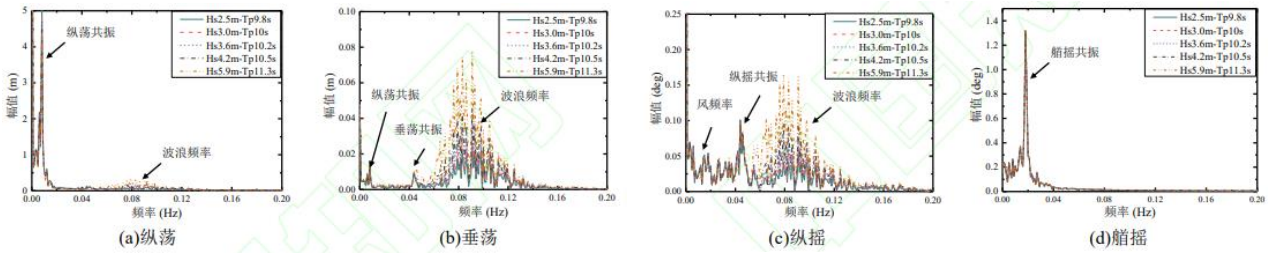
来源：期刊-能源与节能 2021 年底 1 期 SP 附件编号：07-20

## 19. 风浪联合作用下的钢格构式基础海上浮式风机耦合动力响应分析

摘要：本文结合半潜式和单立柱式海上风机浮式基础特点,提出一种用于海上风机的新型钢格构式基础。首先,根据美国可再生能源实验室(National Renewable Energy Laboratory, NREL)提供的5MW海上风机样机对本文提出的新型浮式基础进行了结构设计。然后,采用水动力-空气动力-控制系统-系泊系统耦合方法对风-浪联合作用下的新型海上浮式风机的动力响应进行了分析。结果表明:钢格构式浮式基础纵荡运动主要受风速变化影响,纵摇运动受风速-波浪变化的显著影响,而垂荡运动主要受波浪变化控制。与单立柱式浮式风机相比,钢格构式基础海上浮式风机的纵摇、横摇及艏摇响应更小,具有更好的稳定性,对比结果表明本文提出的钢格构式浮式基础是一种适用于深海环境下海上风机的新型浮式基础。



浮式风机在不同风况下的运动统计规律

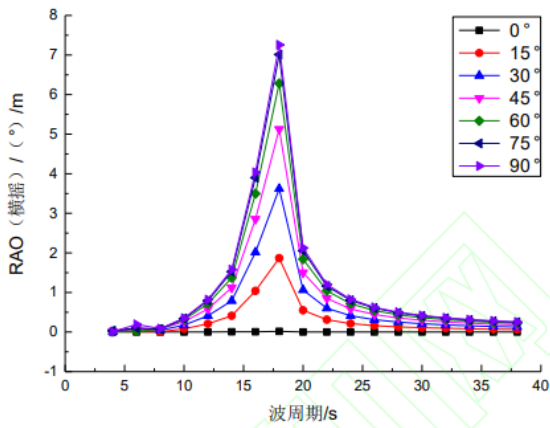


不同浪况下浮式风机运动响应谱

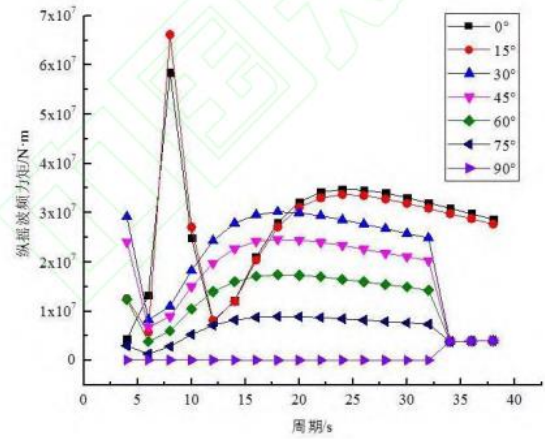
来源: 期刊-建筑钢结构进展 网络首发论文 01-27 SP 附件编号: 07-21

## 20. 具有双重抗摇摆机制的浮式风机基础水动力特性研究

摘要: 结合 Spar 基础和半潜式基础的浮态稳定特点, 本文提出了一种具有双重抗摇摆机制的浮式风机基础。采用 DTU 10MW 风机机组参数, 对提出的新型浮式风机基础进行了方案设计。基于 Morison 方程和势流理论, 分析了其在不同波浪入射角以及波浪周期下的水动力响应参数, 包括运动响应幅值算子 (Response amplitude operator, 简称 RAO) 和波频力 (矩) 传递函数等。结果表明本文提出的浮式风机基础的垂荡、纵摇及横摇固有周期远离典型波浪周期, 具有良好的耐波性; 除垂向外, 各方向波频力 (矩) 在高频区较大且变化复杂。与此同时, 本文提出了针对该新型浮式风机基础的水动力性能优化方案, 进一步提高其耐波性和浮态稳定性, 使其适应不同海域波浪环境。



横摇响应 RAO

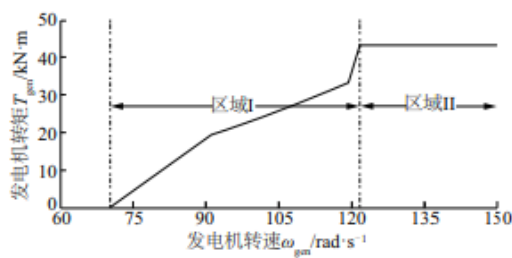


纵摇波频力矩传递函数

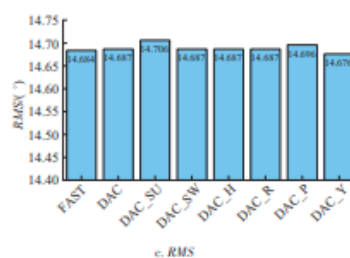
来源: 期刊-建筑钢结构进展 网络首发论文 01-25 SP 附件编号: 07-22

## 21. 海上浮式风力机变桨距控制研究

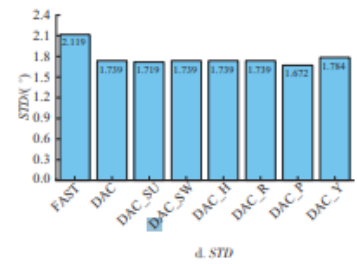
摘要: 借鉴陆上风力机基于状态空间法的干扰自适应控制,在状态空间中考虑海上浮式风力机支撑平台运动自由度,采用状态观测器评估系统各状态量,研究不同干扰自适应变桨距控制对海上浮式风力机控制性能的影响,并与 FAST 基础控制对比分析。结果表明:海上浮式风力机变桨距控制设计应基于状态空间法的干扰自适应控制,同时在状态空间中应考虑平台纵荡、纵摇及艏摇自由度。



风力机发电系统运行区域



e. RMS



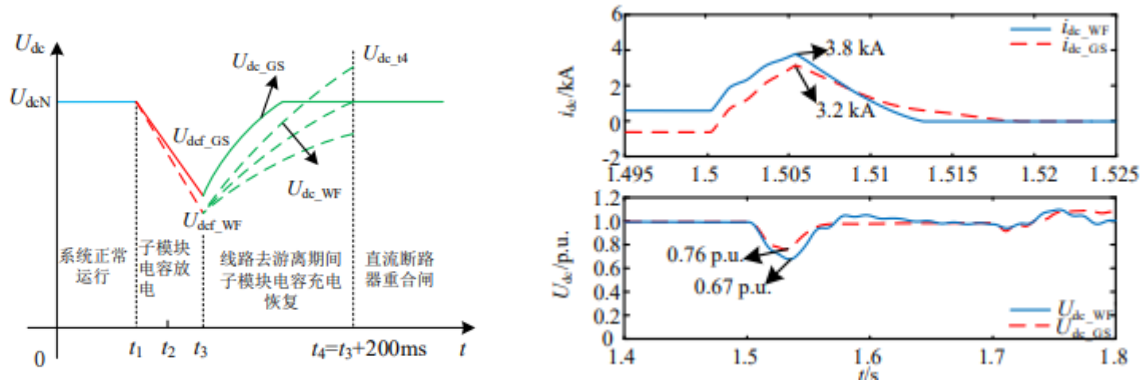
d. STD

来源: 期刊-太阳能学报第 42 卷 1 期

## 22. 双极短路故障下海上风电 MMC-HVDC 并网系统的暂态运行特性

摘要: 双极短路故障作为最严重的直流系统故障, 研究该场景下海上风电模块化多电平换流器型高压直流输电 (modular multilevel converter - high voltage direct current, MMC-HVDC) 并网系统的暂态运

行特性对于系统的断路器配置与控制方案设计有着重要意义。首先分析了直流断路器 (direct current circuit breaker, DCCB) 未动作时换流站短路电流的产生机理, 并提出了风电场侧与电网侧交、直流短路电流的计算方法。其次, 研究了计及 DCCB 控制作用下换流站交直流侧暂态电压、电流特性, 并考虑了风电场运行工况与限流电抗参数对其暂态特性的影响。最后, 基于 PSCAD/EMTDC 仿真平台搭建了全系统的电磁暂态模型, 通过仿真分析了双极短路故障下有无 DCCB 控制时换流站的暂态电压、电流特性。研究表明: 所提短路电流计算方法具有良好的精度, 且 DCCB 动作后风电场侧交、直流电压恢复速率与其输出有功功率正相关。该研究工作为系统的电气设计、断路器选型提供理论依据, 也可作为系统故障恢复阶段控制方案的制定奠定基础。



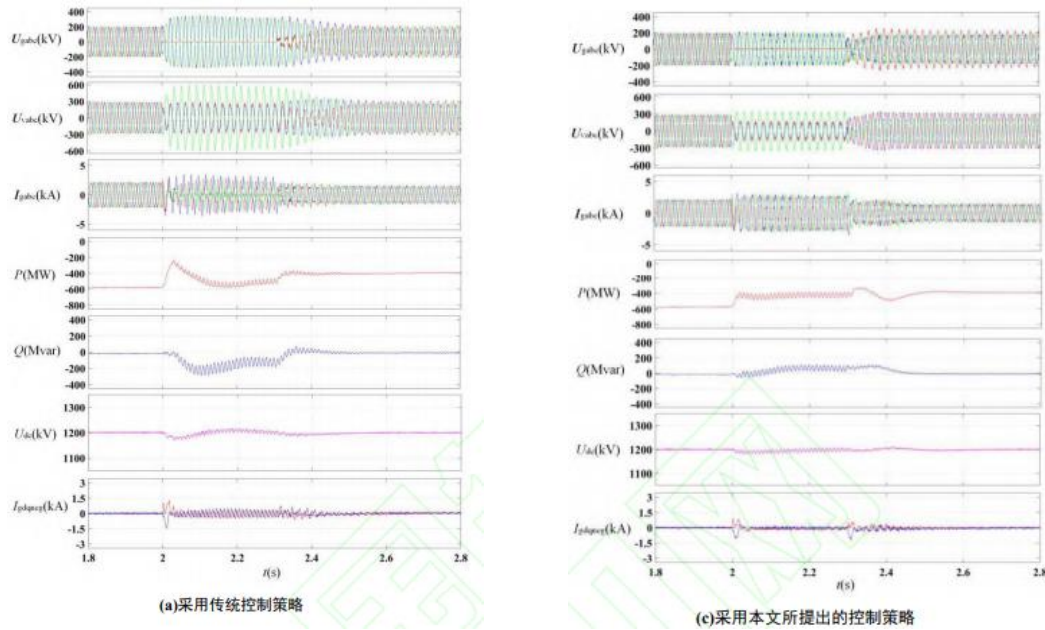
WFMMC 与 GSMMC 直流侧电压演变特性 Ldc=0.5H 时 WFMMC 与 GSMMC 直流侧暂态电压电流特性

来源: 期刊-高电压技术 网络首发论文 02-20 SP 附件编号: 07-24

### 23. 海上风电柔直系统送端电网故障过电压机理分析及抑制策略

摘要: 为应对送端交流电网故障时的过电压问题, 分析了风场-柔性直流输电系统送端交流电网故障过电压产生机理, 并提出了过电压抑制策略。首先, 建立了不同电网故障下换流变压器网侧及阀侧电压的数学模型, 研究了模块化多电平换流器 (modular multilevel converter, MMC) 控制策略对于电网电压的影响机理, 及电网过电压导致 MMC 出现的过调制问题对于系统控制性能的影响; 在此基础上, 提出了一种过电压抑制策略, 能够在不引入负序电流的条件下有效抑制系统的过电压水平, 且能够在故障线路切除后加快电网电压的恢复速度; 最后, 基于 PSCAD/EMTDC 仿真平台构建了风场-柔性直流输电系统模型并进行

了仿真研究。研究表明：所提出的送端交流电网电压数学模型能够准确反映系统的故障特性，所提出的过电压抑制策略能够实现预期控制效果，有利于系统在故障发生及恢复过程中的稳定运行。

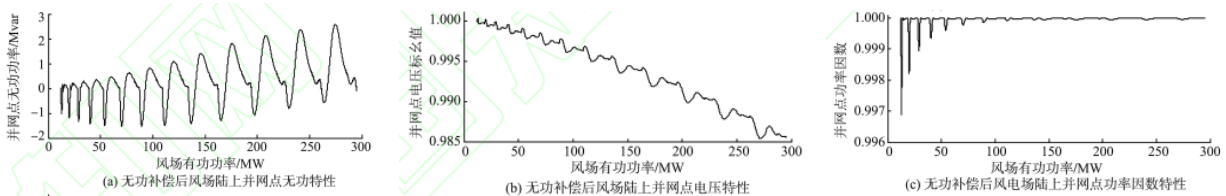


直流母线电压为±600 kV 时单相接地短路故障下采用不同控制策略的仿真波形

来源：期刊-高电压技术-网络首发论文 02-20 SP 附件编号：07-25

## 24. 海上风电过电压及无功补偿问题

摘要：提出一种新的海上风电并网过电压及无功配置问题的动态研究方法。利用 DigSILENT PowerFactory 软件建立海上风电场模型,包括风电机组、海缆、变压器及相关的控制策略。利用时域仿真方法分析不同风速条件下风电场的有功、无功及电压特性,根据时域仿真的结果,配置无功补偿装置,调整、改善风电场电压及无功特性。通过时域仿真方法对无功补偿配置方案的效果进行验证。

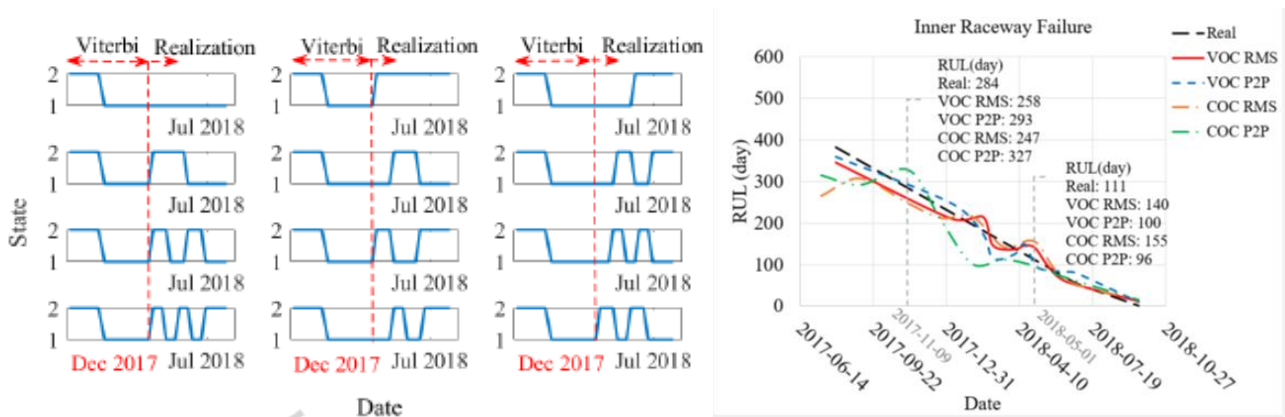


加装无功补偿装置后海上风电场陆上并 网点无功电压及功率因数特性

来源：期刊-山东大学学报（工学版）第 51 卷第 1 期 SP 附件编号：07-26

## 25. Improved Remaining Useful Life Estimation of Wind Turbine Drivetrain Bearings under Varying Operating Conditions

**Abstract:** The failure progression of wind turbine bearings comprises of multiple degraded health states due to applied load by varying operating conditions (VOC). Therefore, determining the VOC impact on the failure dynamics severity is an essential task for bearing failure prognostics. This article introduces a hybrid prognosis method using real-time supervisory control and data acquisition (SCADA) and vibration signals to predict remaining useful life (RUL) for wind turbine bearings. The SCADA data are utilized to define the role of environmental conditions such as wind speed and ambient temperature in bearing failure dynamics. Afterward, for each environmental condition, failure dynamics are identified by the vibration signal. Finally, RUL of the faulty bearings is forecast via an adaptive Bayesian algorithm using the failure dynamics, conditional to the VOC. The efficacy of the method is validated using experimental data, and test results indicate a higher RUL accuracy compared to the Bayesian algorithm.



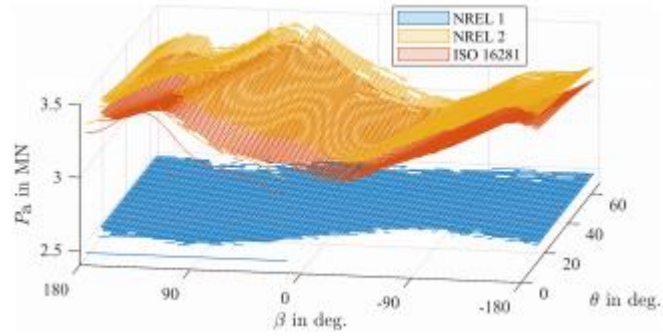
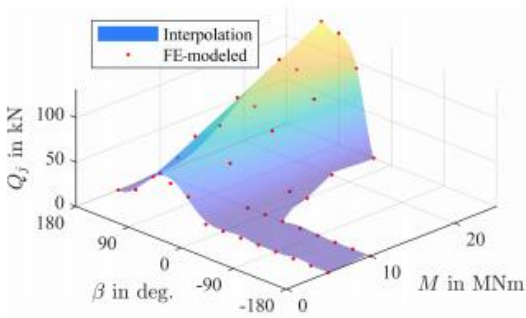
Varying states sequences for inner raceway failure      Comparison of the RULs estimated by

averaging 12 selected realizations of VOC and COC

来源: IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS      SP 附件编号: 07-27

## 26. Fatigue lifetime calculation of wind turbine blade bearings considering blade-dependent load distribution

Abstract: Rotating bearings are some of the most commonly employed machine elements. As such, they are well-understood and thoroughly researched pieces of technology. Fatigue lifetime calculation is internationally standardized through ISO 281, which is based on the assumption that loads act on a bearing under constant rotation. Blade bearings of wind turbines do not conform to this assumption since their movement typically consists of small, repetitive oscillations. Moreover, their load distribution differs considerably over the bearing circumference, a load case for which ISO 281 refers to ISO 16281 and which requires detailed simulations of the bearing to be sufficiently precise. Aside from ISO 16281, the NREL DG03, a guideline for pitch and yaw bearing lifetime, lists two methods for incorporating bearing loads into the fatigue life calculation. This paper compares all three methods. Two of the methods can not be used directly for the double-row four-point bearing used in this paper and are thus slightly adjusted. Load distributions in the bearing are simulated and curve-fit by means of a novel approach using regression analysis. The method from NREL DG03, which requires the least computational effort, is shown to result in a much higher lifetime than the other two, which are based on internal load distributions of the bearing. The two latter methods are shown to produce very similar results. An adjustment is proposed for increasing the accuracy of that lifetime calculation method which requires the least computational effort in order to resemble the other two more closely.



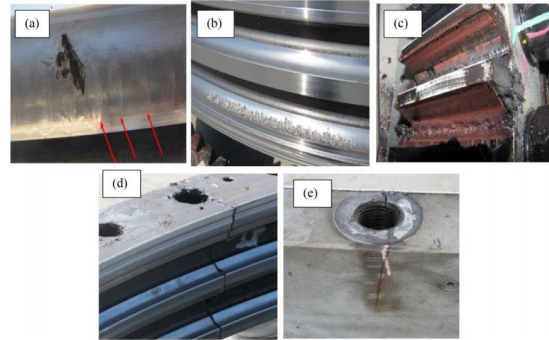
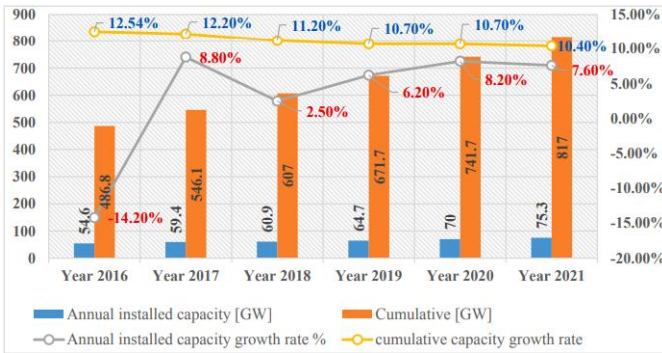
Forces  $Q_j$  for a contact  $j$  at  $0^\circ$  for a fixed pitch angle of  $\theta = 10^\circ$

Equivalent loads  $P_a$  for a fixed moment of  $M = 5 \text{ MNm}$  at operating points from the aeroelastic simulations.

来源: Wind Energy Science SP 附件编号: 07-28

## 27. Tribological challenges and advancements in wind turbine bearings: A review

Abstract: The wind industries are facing the problem of premature failure of the main components of wind turbines, which is directly affecting the maintenance, reliability, and operating (MRO) costs of the turbine. The MRO costs are associated with tribological components of the wind turbine, and bearings are one of them. This paper presents a comprehensive and up to date review of tribological issues related to rolling element bearings widely used in various parts (main shaft, gearbox, pitch, yaw, and generator systems) of the wind turbine. The recent studies on the development of the new design of bearings, improvement in surface engineering of bearings, use of advanced lubrication for the gearbox, and continually monitoring the conditions for early fault detection of bearings have been incorporated in the paper.



Market prediction of wind energy for 2016–2021      Common failure models in pitch and yaw bearings (a) false brinelling, (b) micropitting, (c) fretting corrosion in pitch gear, (d) cracks in bearing outer ring, (e) crack in threaded hole

来源: ENGINEERING FAILURE ANALYSIS      SP 附件编号: 07-29