



海上风电工程技术市场情报

海上风电设计研究院

市场推广团队

2021年6月·第8期

<http://f9t.cn/nHVUB>

仅限内部交流学习

目录

一、行业纵览	1
1. 习近平：各级党委和政府要拿出实现碳达峰、碳中和的时间表、路线图、施工图	1
2. 两部委：到 2025 年新型储能装机规模达 3000 万千瓦以上	2
3. 国家能源局发布风电等管理办法：≥90GW 保障规模	2
4. 部分沿海省市 2021 年海上风电相关政策	2
5. 260GW！2020 年全球新增可再生能源装机容量创历史新高	3
6. 我国海上风电并网容量超过 10GW	4
7. 权威数据 2021 年一季度全国新能源电力消纳评估分析	4
8. 中国 2020 年新增海陆风电装机均居全球第一	5
9. 全球海上风电集体步入运维时代	6
10. 到 2050 年全球风电成本有望降低 37-49%	6
11. 美国发布海上风电目标：到 2030 年装机达到 30GW	7
12. 2021 年欧洲风电行业装机量与装机类型分析	7
二、产业链资讯	9
1. 全球最大海上风电打桩船顺利搭载，正式入坞生产	9
2. 国际领先的首套混合驱动传动链正式下线	9
3. “新振浮 7” 轮完成亚洲最高最重海上风电导管架安装任务	10
4. 全球最大风电叶片专用巨轮安全出江	10
5. 中国首座浮式海上风电半潜式基础平台装船下水	10
6. 世界首台Ⅲ型单桩钻率刷新国内纪录	11
7. 国内首个采用柔直输电技术的海上风电项目实现黑启动	11
8. 国内首个近海深水区首台机组安装完成	11
9. 龙源电力建成世界首个深水裸岩单桩基础	12

10. 全新波浪能技术无缝对接浮式风电.....	12
11. 单位千瓦重量减少 70%，英国首创无人值守海上高压换流平台.....	13
12. 颠覆性的浮式风机即将下水.....	13
13. 15MW 漂浮式海上风电搭建成型.....	14
14. 全球首艘 3000 吨级 “Alfa Lift” 号半潜式海上风电重吊船即将交付.....	15
15. 最新研究发现：ORNL 新型大丝束碳纤维可降低 40%叶片主梁材料成本.....	15
三、友商信息.....	16
1. 明阳全球首台抗台风型漂浮式海上机组下线.....	16
2. 中国海装首台主控系统国产化 6.2MW 机组并网投运.....	16
3. 上海电气风电中低风速海域王牌机型 WG5.55F-172 下线.....	17
4. 东方风电亚洲单机容量最大的海上风电机组成功发运.....	17
5. 东方电气 7.5MW 海上风电机组批量启运.....	18
6. 国内最大 7.X MW 高速永磁同步风力发电机下线.....	18
7. GE Haliade-X 获得 “T 级（台风级）” 认证.....	18
8. 无需大型安装船的英国 SENSEWind 全新风机安装系统.....	19
9. GE 设计巨型浮动涡轮机，捕获深海区的风能.....	19
10. Siemens Gamesa 首创 “孤岛模式” 风机就地制氢.....	20
11. Siemens Gamesa 发布 “人机界面” 叶片制造器.....	21
四、创新技术&报告文献.....	22
1. 海上风电高桩承台基础封底结构受力特性研究.....	22
2. 随机波浪作用下导管架海上风电机组波浪动力响应.....	22
3. 海上风电结构过渡段灌浆体的疲劳性能研究.....	23
4. 漂浮式风电机组平台运动对叶片应力特性的影响.....	24
5. 海上风电大直径单桩沉桩疲劳分析.....	25

6. 海上风电场微观选址工程优化方法与软件开发.....	25
7. 直流断线故障下海上风电经柔性直流送出系统的暂态特性.....	26
8. 海上风电场集电系统开关配置最优化及可靠性评估.....	27
9. 2500T 沉垫自升式海上风电安装平台设计与布置.....	28
10. 海上风电送出交流故障穿越控制策略研究.....	28
11. 海上浮式风电机组变桨距自抗扰控制策略研究.....	29
12. 风机叶片连接螺栓损伤的在线监测.....	30
13. 海上风电柔性直流换流平台用 ± 200 kV 直流 GIS 关键电气应力研究.....	30
14. 考虑机组分类的海上风电短期功率预测-校正模型.....	31
15. 海上风电导管架陆地建造过程中的应力分析.....	32
16. 基于海上风电项目施工管控的分析.....	33
17. 海上风电运维服务商业模式研究.....	33
18. 海上风电直流汇集 DC-DC 变换器拓扑与控制策略分析.....	34
19. 高桩承台式海上风机施工期封底混凝土分析方法.....	34
20. 多功能直流集电器概念及其全直流海上风电系统.....	35
21. 海上风电基础钢管桩嵌岩斜桩后注浆施工技术.....	36
22. 海上风电单桩基础周围非均质土体横向土抗力分布特性研究.....	36
23. Numerical and Physical Modeling of a Tension-Leg Platform for Offshore Wind Turbines	37
24. A metaheuristic optimization model for the inter-array layout planning of floating offshore wind farms.....	38
25. Potential environmental effects of deepwater floating offshore wind energy facilities.....	39

一、行业纵览

1. 习近平：各级党委和政府要拿出实现碳达峰、碳中和的时间表、路线图、施工图

4月30日下午，中共中央政治局就新形势下加强我国生态文明建设进行第二十九次集体学习。中共中央总书记习近平在主持学习时指出，实现碳达峰、碳中和是我国向世界作出的庄严承诺，也是一场广泛而深刻的经济社会变革，绝不是轻轻松松就能实现的。各级党委和政府要拿出抓铁有痕、踏石留印的劲头，明确时间表、路线图、施工图，推动经济社会发展建立在资源高效利用和绿色低碳发展的基础之上。不符合要求的高耗能、高排放项目要坚决拿下来。

习近平强调，“十四五”时期，我国生态文明建设进入了以降碳为重点战略方向、推动减污降碳协同增效、促进经济社会发展全面绿色转型、实现生态环境质量改善由量变到质变的关键时期。要完整、准确、全面贯彻新发展理念，保持战略定力，站在人与自然和谐共生的高度来谋划经济社会发展，坚持节约资源和保护环境的基本国策，坚持节约优先、保护优先、自然恢复为主的方针，形成节约资源和保护环境的空间格局、产业结构、生产方式、生活方式，统筹污染治理、生态保护、应对气候变化，促进生态环境持续改善，努力建设人与自然和谐共生的现代化。

习近平还指出，我国要坚持不懈推动绿色低碳发展，建立健全绿色低碳循环发展经济体系，促进经济社会发展全面绿色转型。要把实现减污降碳协同增效作为促进经济社会发展全面绿色转型的总抓手，加快推动产业结构、能源结构、交通运输结构、用地结构调整。推动能源清洁低碳安全高效利用，持续降低碳排放强度。要抓住产业结构调整这个关键，推动战略性新兴产业、高技术产业、现代服务业加快发展，推动能源清洁低碳安全高效利用，持续降低碳排放强度。要支持绿色低碳技术创新成果转化，支持绿色技术创新。

2. 两部委：到 2025 年新型储能装机规模达 3000 万千瓦以上

4 月 21 日，国家能源局、国家发改委联合发布《关于加快推动新型储能发展的指导意见（征求意见稿）》，文件指出：到 2025 年，实现新型储能从商业化初期向规模化发展转变，低成本、高可靠、长寿命等方面取得长足进步，**新型储能装机规模达 3000 万千瓦以上**，新型储能在推动能源领域碳达峰碳中和过程中发挥显著作用。到 2030 年，实现新型储能全面市场化发展，新型储能装机规模基本满足新型电力系统相应需求，成为能源领域碳达峰碳中和的关键支撑之一。

3. 国家能源局发布风电等管理办法：≥90GW 保障规模

5 月 20 日，国家能源局正式印发《关于 2021 年风电、光伏发电开发建设有关事项的通知》（国能发新能【2021】25 号），至此，2021 年光伏、风电发展规则正式敲定。

根据文件，各省（区、市）完成年度非水电最低消纳责任权重所必需的新增并网项目，由电网企业实行保障性并网，2021 年保障性并网规模不低于 9000 万千瓦。

4. 部分沿海省市 2021 年海上风电相关政策

● 广东省

广东省政府正式发布《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》，到 2021 年底，全省海上风电累计建成投产装机容量达到 400 万千瓦；到 2025 年底，力争达到 1800 万千瓦，在全国率先实现平价并网；到 2025 年，全省海上风电整机制造年产能达到 900 台（套）。

● 浙江省

《浙江省电力发展“十四五”规划（征求意见稿）》指出，“十四五”期间，分布式光伏以整县（市）推进规模化开发为重点，新增光伏装机 1245 万千瓦以上。**打造 3 个以上百万千瓦级海上风电基地，新增海上风电装机 455 万千瓦以上。**

● 海南省

《海南省海洋经济发展“十四五”规划(2021-2025年)》发布,文件指出,在东方西部、文昌东北部、乐东西部、儋州西北部、临高西北部50米以浅海域**优选5处海上风电开发示范项目场址,总装机容量300万千瓦,2025年实现投产规模约120万千瓦。**

- 山东省

山东省能源局发布了《关于促进全省可再生能源高质量发展的意见》,《意见》提出,加快开发建设海上风电基地。编制实施《山东海上风电发展规划(2021-2030年)》,研究出台支持海上风电发展的配套政策,**2021年建成投运两个海上风电试点项目,实现我省海上风电“零的突破”。**“十四五”期间,海上风电争取启动**1000万千瓦。**

5. 260GW! 2020年全球新增可再生能源装机容量创历史新高

2021年4月5日,国际可再生能源机构(IRENA)发布2020年全球可再生能源装机容量的数据,数据显示去年全世界增加了超过260吉瓦(GW)的可再生能源装机容量,比2019年的增长量增加了近50%。

中国和美国是2020年来两个突出的增长市场。中国已经成为世界上最大的可再生能源市场,去年增加了136吉瓦,其中大部分来自72吉瓦的风能和49吉瓦的太阳能。美国去年安装了29吉瓦的可再生能源,比2019年增加了近80%,其中包括15吉瓦的太阳能和约14吉瓦的风能。

IRENA的《2021年可再生能源统计》年报显示,可再生能源在所有新发电装机容量中的份额已连续二年大幅上升。去年增加的所有新增发电产能中,80%以上是可再生能源,太阳能和风能占新增可再生能源的91%。其中2020年的风能增长量与2019年相比几乎翻了一番(111GW,去年为58GW)。中国增加了72吉瓦的新增风电装机容量,其次是美国(14吉瓦)。2020年,其他十个国家的风力发电产能增加超过了1吉瓦。**2020年,海上风电占风电总容量的比例增加到了5%左右。**

6. 我国海上风电并网容量超过 10GW

2021 年 5 月 26 日，国家能源局官方网站发布消息，宣布**我国海上风电并网容量突破千万千瓦**，进入新的里程碑！



我国海上风电建设成效显著。**截至 2021 年 4 月底，我国海上风电并网容量达到 1042 万千瓦，已超过英国 2020 年底海上风电 1021 万千瓦的装机容量。**

今年 1—4 月份，我国海上风电发电量为 99.4 亿千瓦时，占全国发电量的 0.39%。据行业统计，我国海上风电年平均利用小时数约 2500 小时，比陆上风电年平均利用小时数高出约 500 小时。

7. 权威数据 | 2021 年一季度全国新能源电力消纳评估分析

一季度，全国风电新增装机 677 万千瓦，与去年一季度疫情影响下极低值相比有较大增长，较去年四季度抢装潮下的高峰又明显回落。新增装机规模较大的省区包括蒙东 86 万千瓦、广东 82 万千瓦、山东 64 万千瓦、湖北 61 万千瓦。截至 3 月底，全国并网风电装机 2.86 亿千瓦，同比增长 34.7%。

一季度海上风电新增并网 123 万千瓦，同比增长 488%，截至 3 月底全国海上风电累计并网装机达到 1022 万千瓦，同比增长 66.5%。海上风电装机占全部风电装机的比重达到 3.6%，与去年同期相比提

9. 全球海上风电集体步入运维时代

据能源咨询公司伍德麦肯兹预测,从今年起,全球海上风电运维市场的投资规模将以每年 16%的速度增长,到 2029 年,全球海上风电运维市场的总投资额将突破 120 亿美元。

全球风能理事会的统计数据显示,截至 2020 年,全球海上风电累计装机规模已达 36 吉瓦。受益于全球海上风电装机规模的迅速扩张, **运维市场将成为无补贴时代产业发展的新“蓝海”**。

据伍德麦肯兹测算,到 2029 年,欧洲海上风电运维市场规模将达到 66 亿美元,成为全球最大的风电运维市场。同时,亚洲海上风电的运维需求也将明显增加。中国有望成为一个新的重要市场。伍德麦肯兹预计,2020—2029 年,中国海上风电新增装机规模在 41 吉瓦左右,累计装机容量将达 49 吉瓦。按照风机 5 年的质保期计算, **到 2029 年,中国在海上风电运维市场的投资规模将能达到 20 亿美元,发展空间较大。**

伍德麦肯兹称,近年来,欧洲等主要海上风电市场一直致力于数字化运维技术的研究,目前已开发操作船、无人机等新型工具。在技术的加持下,过去 8 年,海上风电每兆瓦运维成本已经下降了 44%。预计随着市场的不断拓展,到 2029 年,海上风电每兆瓦运维成本将进一步下降 20%左右。

10. 到 2050 年全球风电成本有望降低 37-49%

劳伦斯·伯克利国家实验室(Berkeley Lab)对全球最重要的风力发电进行的一项调查显示,技术和商业进步有望继续降低风能的成本。

研究显示,由于功率更大、更高效的风力涡轮机投入使用,更低的资本和运营成本以及其他的进步,预计到 2035 年,风电成本有望降低 17-35%,到 2050 年将降低 37-49%。

尽管陆上和海上风电技术日趋成熟,但仍有很大的持续改进空间,成本甚至可能更低:专家预测,在乐观情景下,到 2035 年,成本降幅将为 38%-53%,到 2050 年则为 54%-64%。与此同时,这些预测存在不确定性。

整体而言,降低成本的主要驱动力就是大型涡轮机即将上市,它将影响能源平均化成本的五大关键因

素，例如前期资本成本，持续运营成本，产能，项目设计寿命以及融资成本。该研究的合著者，也是伯克利实验室 Joachim Seel 指出：“仅考虑资本成本改善的预测最多只能获得约 45% 的成本降低机会。”

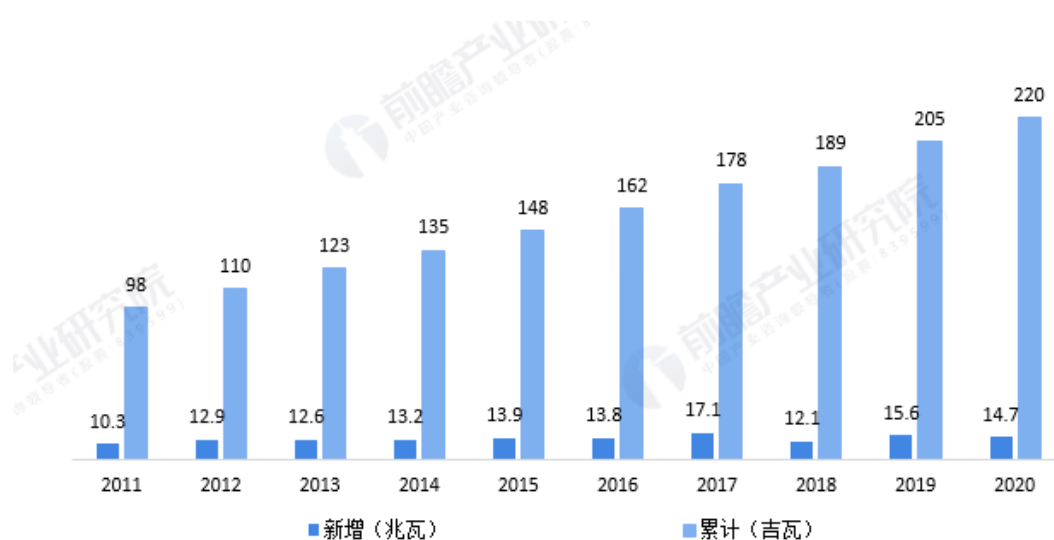
11. 美国发布海上风电目标：到 2030 年装机达到 30GW

近日，美国能源部(DOE)宣布到 2030 年的海上风电目标，将部署 30 吉瓦海上风电机组，旨在推进美国海上风电行业发展，助力解决气候危机并创造就业机会。据 DOE 估计，实现该目标将带动 120 亿美元/年的资本投资，可建设多达 10 个海上风力涡轮机组件和安装船制造厂，并促进价值 5 亿美元的港口升级。该目标将推动美国到 2050 年建设 110 吉瓦海上风电机组，提供 13.5 万个工作岗位。

12. 2021 年欧洲风电行业装机量与装机类型分析

截至 2020 年末，欧洲陆上风电装机量达 195 吉瓦，占欧洲风电装机总量的 89%，但是海上风电正加速发展。2020 年，欧洲风电发电量达 458 太瓦时，满足了欧盟 + UK11 地区 16% 的能源需求，相较于 2019 年提升了 1.4 个百分点。

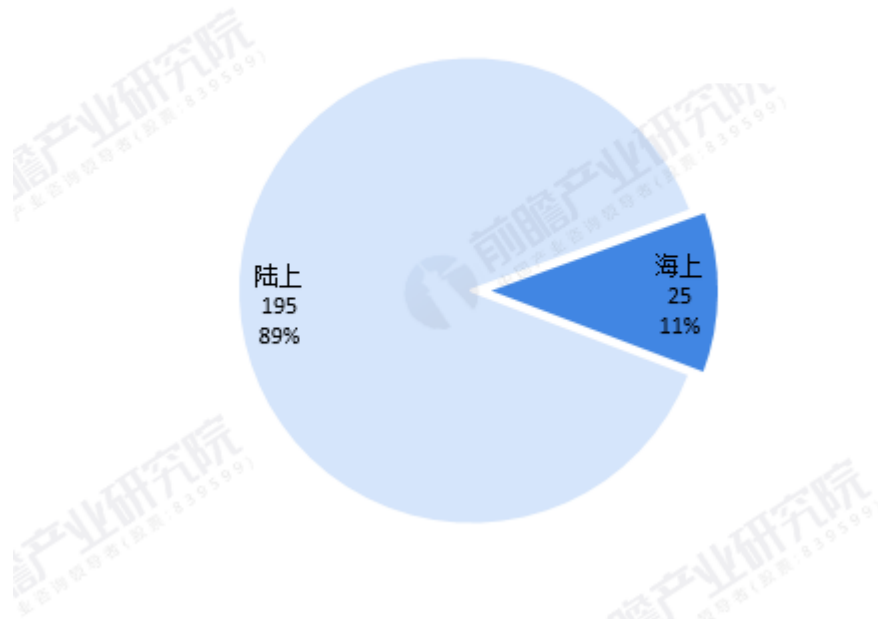
图表 1：2011-2020 年欧洲风电新增装机、累计装机量变化情况(单位：兆瓦，吉瓦)



(数据来源：前瞻产业研究院)

从风电装机类型来看，欧洲风电发展以陆上风电为主，截至 2020 年末，欧洲陆上风电装机量达 195 吉瓦，占欧洲风电装机总量的 89%。

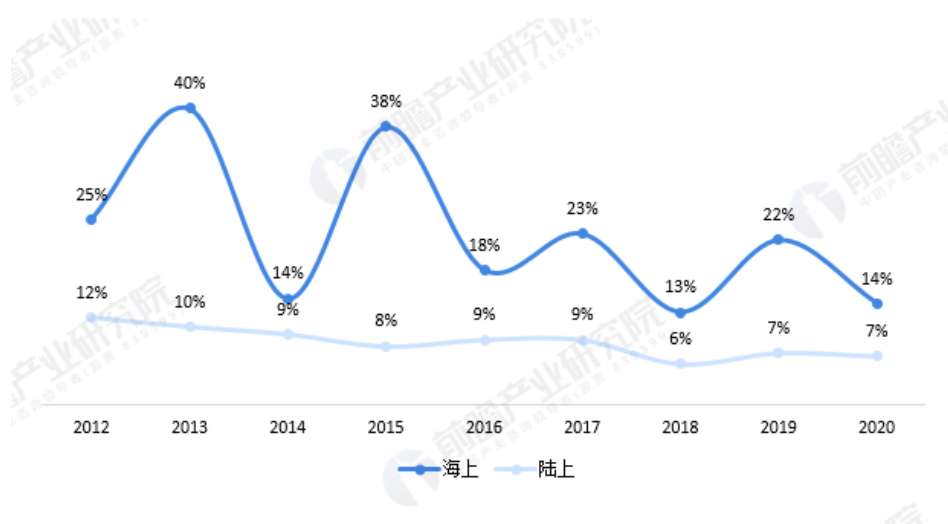
图表2: 截至2020年欧洲风电装机类型 (单位: 吉瓦)



(数据来源: 前瞻产业研究院)

虽然欧洲的风电项目仍以陆上风电为主,但是从2012-2020年海上风电、陆上风电的累计装机增速来看,海上风电的装机速度显著高于陆上风电,而陆上风电的累计装机增速呈总体下滑趋势,这主要是因欧洲海上风电资源丰富,波罗的海、北海、地中海以及黑海区域的海上风电潜力都十分巨大。

图表3: 2012-2020年欧洲海上风电、陆上风电累计装机量增速



(数据来源: 前瞻产业研究院)

二、产业链资讯

1. 全球最大海上风电打桩船顺利搭载，正式入坞生产

4月12日，由上海振华重工为中交一航局一公司建造的140米级打桩船项目在振华启东海工举行搭载仪式，正式启动入坞生产节点，该船船长124米，船宽39米，型深8米，桩架高142米，可打最大桩长118米+水深、重700吨、直径6米的桩基，适应外海恶劣海况下施工要求，用于海上风电高桩承台桩、导管架桩以及大型梁桩基等施工，在无限航区可封舱拖航。

此次建造的140米级打桩船是目前国内乃至全球最大的打桩船，是中交集团提高海上风电桩基施工核心竞争力的又一重大利器，该船在规划阶段就充分考虑了桩基大型化和外海施工的施工需求，预计可于2021年10月交付，该船交付后将成为世界范围内打桩架高度最高、打桩能力最大、抗风浪能力最强的专用打桩工程船。

2. 国际领先的首套混合驱动传动链正式下线

4月22日，威能极与上海电气合作开发的5.X兆瓦混合驱动PDFG 2740产品正式下线并在威能极天津工厂举行了交付仪式，作为更加整合的混合驱动产品，5.X兆瓦混合驱动PDFG2740使用了目前市场中最领先的技术，是风机传动链的最新一代产品。

传动链中威能极的齿轮箱使用了先进的滑动轴承技术，包含三个行星级，每一级搭载多个行星轮，作为面向未来设计的风机平台，进一步减轻了齿轮箱重量并增加了齿轮箱输出扭矩，在振动和噪音方面也作了进一步优化，具有更长的使用寿命、更高的可靠性和更低的成本。传动链同时使用了威能极自研的永磁同步发电机，在设计上更好地平衡了与齿轮箱的传动比，带来更加可观的工作效能。同时，5.X兆瓦混合驱动PDFG2740采用紧凑设计，重量轻、工作效能高，是市场技术的领跑者。

3. “新振浮 7” 轮完成亚洲最高最重海上风电导管架安装任务

5月9日,随着“新振浮7”轮4个主钩缓缓下放,国家电投揭阳神泉一海上风电项目海上升压站导管架顺利平稳的坐落在南海海底。

国家电投揭阳神泉一海上风电场位于南海粤东海域,规划总装机容量315.5MW,共53台风机,配套建设一座220kV海上升压站与一座陆上集控中心。风场所属海域水深浪大,对海上结构要求非常高,海上升压站导管架基础高61米,长40米,宽39米,重3500吨,是目前亚洲最高最重的海上风电导管架。

4. 全球最大风电叶片专用巨轮安全出江

5月11日,船长173米、船宽42米的全球航运市场最大风电叶片专用船“波弗特海”轮在镇江引航站三名引航员的精心引领下安全离开扬州港务集团码头,并将于当日在长江宝山水域交接出口驶往越南。

据了解,“波弗特海”轮本航次装载由迪皮埃风电叶片(扬州)有限公司制造的120片V150型风电叶片驶往越南三个港口,是国家支援越南风电项目建设的重要组成部分。该轮的成功装载出口,创下了全球单船装载V150型叶片数量和叶片方量两个世界之最,有效提升了扬州港作为长江中下游风电叶片出口基地的重要地位。

5. 中国首座浮式海上风电半潜式基础平台装船下水

6月8日,国内首座浮式海上风电半潜式基础平台在浙江舟山建造完工并装船下水,标志着我国第一个浮式风电试验样机工程进入新阶段,取得了国内浮式风机基础平台建造方面的新突破。

该浮式基础平台由三峡集团组织研发建设,惠生海洋工程承接建造,平台整体型宽91米、型深32米、设计吃水13.5米、风场在位排水量13000余吨,可抵御南海复杂且恶劣的极端海况。该座浮式风电试验样机单机容量5500千瓦,叶轮直径158米,每小时满发电量可达5500度,每年可为3万户家庭提供绿色清洁能源电能。

6. 世界首台Ⅲ型单桩钻率刷新国内纪录

据悉,中交天和研制的世界首台加压钻进式竖向掘进机,仅用 26 天就完成了国内海上最大直径嵌岩单桩钻孔,刷新了Ⅲ型单桩钻孔纪录。

该海上风电项目位于福建省莆田市秀屿区海域,共有 19 台 7 兆瓦海上风机。为了让这些庞然大物站得更稳,科研人员设计了深度达 25.4 米的钻孔,相当于 9 层楼高。机桩打入海底岩层后,在弱风化硬岩嵌岩的深度达 18.4 米,成孔直径达 7 米,是国内海上最大直径嵌岩单桩钻孔。

据介绍,该装备最大提升力 900 吨,钻孔最大直径可达 10.4 米(国内外主流装备钻孔直径 4.7—6 米),并采用智能化钻进控制系统使设备操作便捷性,实现钻进施工一键启动。其超大扭矩驱动系统可以为快速掘进提供动力支持,在全风化、中风化岩层中,该装备的钻进速度达到 20—40 毫米/分钟,微风化、弱风化岩层钻进速度可达 10 毫米/分钟,综合能力及钻进速度均领先于目前国内外传统装备。

7. 国内首个采用柔直输电技术的海上风电项目实现黑启动

近日,电气风电—三峡新能源江苏如东 800MW (H6、H10) 海上风电项目首台机组 H6-9#风机顺利实现黑启动。

江苏如东 H6、H10 海上风电项目共安装 200 台电气风电 4.0-146 海上风机,装机容量 80 万千瓦,建成后年均上网电量 24 亿千瓦时,节约标煤 74 万吨,减排二氧化碳约 186 万吨,充分响应了国家的“30.60”目标。

该项目离岸直线距离 60 千米,为国内首个采用柔直输电技术的海上风电项目,将采用 2 根 99 千米、电压等级±400 千伏直流海缆输电,大大减少远距离输电损耗,提高输电系统稳定性。

8. 国内首个近海深水区首台机组安装完成

5 月 6 日,随着 30#风机叶轮轮毂与主机螺栓在空中的精准对接,华电广东阳江青洲三 500MW 海上风电项目顺利完成首台风机安装,标志着国内首个近海深水区海上风电项目实现风机深海安装从无到有的

历史性跨越。

本次吊装的风机为明阳 6.8MW 国产自主研发风电机组, 主机重量达 280 吨, 轮毂高度 106 米, 单只叶片长度 76.6 米。据悉, 该项目投产后, 每年可为社会提供清洁电能约 15 亿度电、节约标准煤 46.15 万吨、减少二氧化碳排放 43.55 万吨、烟尘 14.60 吨、灰渣 1.43 万吨, 社会经济效益显著。同时对阳江打造世界级风电产业基地, 加快广东省能源结构转型升级发挥重要作用。

9. 龙源电力建成世界首个深水裸岩单桩基础

龙源福建公司圆满完成莆田南日岛海上风电场一期项目 B31 机位基础施工, 标志着世界首个海上风电深水裸岩大直径嵌岩单桩基础顺利完工。

B31 机位水深 20 米, 基础桩长 53 米、入岩 19 米、桩径 5.5 米, 垂直度 0.36‰, 远优于 3‰的行业标准。深水裸岩大直径嵌岩单桩基础的建设, 标志着龙源电力在海上风电开发建设技术领域取得新的突破, 对解决裸岩海域的海上风电建设难题、推动国内同类海上风电场的大规模开发具有重要的借鉴意义。

10. 全新波浪能技术无缝对接浮式风电

总部位于英国的能源公司 TechnipFMC 与专注于波浪能的澳大利亚公司 Bombora 合作, 开发一个浮式风电+波浪能项目, 该项目名为 “InSPIRE”, 将采用 Bombora 的波浪能专利技术 “mWave” 的设备安装在浮式基础上, 与风机同时发电。在示范项目中, 两者的容量合计 6MW, 之后在商业化应用时, 将扩展至 12MW 或 18MW。

mWave 是 Bombora 研发的波浪能专利技术(WO2017143399A1), 由大量上图所示的小单元构成, 每个单元的上表面是橡胶膜, 内部充满了空气, 后部则通过一个风阀连通一个单向风道, 当波浪经过时, 通过橡胶膜挤压空气, 空气通过阀门排向一个单向风道, 在大量小单元的共同作用下, 空气通向并推动一台风力发电机, 输出电力; 当波浪经过后, 空气再由原路返回小单元内, 这个过程同样能推动发电机输出电力。

11. 单位千瓦重量减少 70%，英国首创无人值守海上高压换流平台

正在开发的全球最大海上风场 3.6GW 的 Dogger Bank 将采用全球首个“无人值守海上高压换流平台 (HVDC)”，如果投入使用，对于整个海上风电行业将产生革命性的影响。

Dogger Bank 总装机容量 3.6GW，这座“无人 HVDC 平台”将在 2023 年和一期 1.2GW 项目（届时将成为全球最大的单体海上风电场）一起投入使用，这也是英国第一个采用高压直流方式将海上风机所发电能传输回陆地的项目。



(图片来源: Aibel)

作为全球第一个无人海上风电平台，其风险和不确定性很高，但通过汲取无人油气平台的经验，开发团队相信能完成一座安全、创新且重量大幅降低的海上换流平台。这不仅会降低整个项目的度电成本，也为未来海上 HVDC 发展竖立一座新的标杆。这将转变人们传统观念，认为远海风电项目输变电部分将拖累项目整体成本，如今可能变竞争优势。

Dogger Bank 项目一期和二期项目由 Equinor、SSERenewables 共同开发（后意大利油气巨头埃尼集团以收购股权形式加入），将采用 190 台 GE Haliade-X 13MW 风机。中国南通的中远海运重工有限公司承建的“Voltaire”号自升式安装船将用于项目风机安装。

12. 颠覆性的浮式风机即将下水

近日，西班牙漂浮式技术公司 X1 Wind 的 PivotBuoy 技术的首台原型样机 X30 已进入组装阶段，即

将部署到大加那利群岛附近海域。

这台与实物比例为 1:3 的浮式样机，配套一台 225kW 的 Vestas V29 风机，采用张力腿浮式基础及单点系泊系统，风机无塔筒，大幅减少用钢量，整个漂浮式风机采用下风式设计，可与盛行风方向配合，更好地利用风资源。



(图片来源: PLOCAN)

PivotBuoy 颠覆了现有的浮式结构设计，首创下风式浮式风机，配合单点系泊，实现自动对风；大幅减少用钢量，最小化主动系统，可以搭配更大型的风机叶片，根据 X1 Wind 的测算，PivotBuoy 设计比常规浮式设计轻 80%，适用水深最大可达 1500 米，总体成本下降 50%，度电成本在 50 欧元/MWh 左右。

13. 15MW 漂浮式海上风电搭建成型

据悉，全球第一批 15MW 漂浮式海上风电组件在西班牙比斯开湾 Geroa 项目已经搭建成型，下一步工作将是创新型混凝土平台设计。该项目的创新公司为 Saitec。Saitec 计划在 2025 年安装 15MW 漂浮式海上风机。



(图片来源: Saitec)

14. 全球首艘 3000 吨级 “Alfa Lift” 号半潜式海上风电重吊船即将交付

全球首艘 3000 吨级 “Alfa Lift” 号半潜式海上风电重吊船由挪威 OHT 公司 (Offshore Heavy Transport)、挪威 Ulstein 设计与解决方案有限公司、德国建筑机械公司利勃海尔 (Liebherr) 和认证机构 DNV GL 共同设计开发, 由中国招商重工 (江苏) 有限公司 (下称招商重工) 建造。

“Alfa Lift” 号是具有半潜式重型运输能力的重型起重机安装船, 船长 216 米, 可装载甲板长度 148 米, 主甲板可装载面积 8310 平方米, 舱口前甲板可装载面积 2470 平方米, 总载重达 4.8 万吨。配备一台 3000 吨的主起重机, 能够运输和安装高达 10 个 1500 吨的超大型导管架基座或 11 个 2000 吨的 XXL 型的基础, 一个超过 1 万平方米的智能甲板, 拥有动态定位系统 DP2, 可容纳 100 人。该船是挪威 OHT 公司 (Offshore Heavy Transport) 首艘专门为海上风电市场建造的船只, 预计于今年推向市场。

15. 最新研究发现: ORNL 新型大丝束碳纤维可降低 40% 叶片主梁材料成本

近期, 美国 Sandia 国家实验室发布了一项最新研究, 采用碳纤维生产的风机叶片较传统的玻纤叶片轻 25%, 这意味着碳纤维叶片可以制造得更长, 且能够在低风速区捕捉到更多能量, 碳纤维叶片也因为碳纤维优异的抗疲劳性能而获得更长的服役寿命。研究结果表明与市面上常见的商用碳纤维和玻璃纤维相比,

新型大丝束碳纤维能够为风能行业带来成本效益和性能提升。

研发团队同时对新型碳纤维、商用碳纤维和标准玻璃纤维复合材料进行了力学性能对比，将测试数据与 ORNL 的成本模型相结合，并将这些数据用于叶片设计分析，研究结果表明，与商用碳纤维相比，采用新型大丝束碳纤维能够将每美元的抗压强度提高 56%。通常情况下，制造商会采用更多材料来制造部件以适应较低的抗压强度，从而导致材料成本的增加。考虑到新型碳纤维单位成本抗压强度的提高，研发团队预计，与商用碳纤维相比，采用新型碳纤维制造的叶片主梁在材料成本上将下降 40%。

三、友商信息

1. 明阳全球首台抗台风型漂浮式海上机组下线

5月26日,全球首台抗台风型浮式海上风电机组在广东阳江海上风电产业基地装配完成并测试下线。

标志着我国浮式海上风电关键技术实现新的突破,为深远海风电规模化、经济性开发奠定坚实基础。

该台海上漂浮式风机由三峡集团和明阳集团联合自主研发制造,拥有完全知识产权,即将应用在三峡能源广东浮式海上风电项目试验样机工程中。该机组单机容量 5.5MW,风轮直径达到 158 米,应用的浮式基础为半潜式,满发时每小时发电 5500 度,每年可为 3 万户家庭提供绿色清洁能源电能。

随着海上风电的发展,漂浮式海上风电是未来发展的必然选择。离岸距离与水深的不断增加,漂浮式海上风电基础与创新型半直驱大兆瓦机组结合,可有效提高海上风电开发的经济性。区别于固定式风电机组,漂浮风机基础经受海上风浪和洋流的巨大冲击,承受高于固定式风机 10 倍以上的倾斜振动载荷。首台漂浮式海上风电机组实现海上浮式风机一体化设计、平台及系泊系统设计等多项关键技术突破,并成为全球第一台抗台风型海上漂浮式风机,最高可抗 17 级台风。

2. 中国海装首台主控系统国产化 6.2MW 机组并网投运

5月29日,中国船舶集团海装风电股份有限公司(以下简称“中国海装”)首台自主可控 6.2MW 海

上风电主控系统国产化机组在华电福清海坛海峡海上风电项目成功并网投运。

该项目规划总装机容量 300MW，其中 148.8MW 为 24 台中国海装 6.2MW 机组，为中国海装首个批量 6.2MW 风电场。本次并网的整机主控系统采用国产 CPU 处理器及编程环境，开发的软件平台满足 IEC 61131-3 标准、NB/T 31043 标准。通过总线整合优化技术分层技术的研究，保证了系统时效管理更为有效；建立算法标准库，固化模块交互接口，解耦数据采集与数据存储，重构主控软件架构，实现低系统占有率，大大提升了主控运行效率；利用特征工况转速状态识别，开发精准 ECD 工况特征量在线提取算法，采用全域变桨协同控制技术，极限载荷降低 10%以上，确保了风电整机高效安全运行。

3. 上海电气风电中低风速海域王牌机型 WG5.55F-172 下线

5 月 31 日，上海电气风电集团（简称：电气风电，股票代码 688660）基于 Synergy 混动平台的 WG5.55F-172 首台机组正式下线。该机型主打中低风速海域“高性价比”，专门应对中国海上风资源平均风速低、南北差异大的具体风况，是中国近岸“极具经济性”的机组，将助力电气风电在平价时代保持中国海上风电的领先优势。

WG5.55F-172 使用国内外双重认证的叶片、高效低能耗的冷却系统、成熟可靠的偏航系统和综合更优的电气系统，以达到更高效、更可靠的运行效果。此外，机组采用驱动链创新优化整机设计，提升了传动效率和发电收益，实现了发电机免维护，并可实现大部件空中自维护和更换。

4. 东方风电亚洲单机容量最大的海上风电机组成功发运

日前，亚洲单机容量最大的 10 兆瓦海上风电机组在福建三峡海上风电国际产业园成功发运，标志着该产业园已具备海上风电大容量机组批量生产能力。

据介绍，成功发运的 10 兆瓦海上风电机组在年平均 10 米/秒风速条件下，一台机组每年可输出 4000 万度清洁电能，可减少燃煤消耗 1.3 万吨，减少二氧化碳排放 3.5 万吨。机组顺利投运后，将大幅降低海上风电度电成本，提高海洋利用率，释放出巨大的社会效益和经济效益。不仅如此，该机组的成功发

运也将助力我国实现“碳达峰”“碳中和”以及能源绿色低碳转型的高质量可持续发展。

5. 东方电气 7.5MW 海上风电机组批量启运

6月21日,华能大连庄河项目首批次风电机组从东方福建风电顺利发运。该项目总装机容量195兆瓦,选用东方风电自主研发的DEW-D7500-186永磁直驱抗台风型海上风电机组。

该机型针对国内海域平均风速低、盐雾腐蚀强、台风强等特点,定制化开发的一款7MW等级平台产品,叶轮直径186米,是目前国内中低风速区域单机容量最大的永磁直驱抗台风型海上风电机组。

在年平均8.5米/秒的风速条件下,单台机组每年可以输送2830万度清洁电能,每年可减少燃煤消耗9060吨,二氧化碳排放23720吨。

6. 国内最大 7.X MW 高速永磁同步风力发电机下线

4月21日,由中车永济电机公司自主研制的7.X MW高速永磁同步风力发电机在山西永济成功下线。这是目前国内最大功率海上高速永磁同步风力发电机,已获得北京鉴衡认证中心认证,技术达国际领先水平。

7.X MW高速永磁发电机是国内首台7MW级高速永磁发电机,其高可靠、低成本的优势,为公司达成海上风电市场的发展目标提供了支撑。

随着碳达峰、碳中和目标的推进实施和风电技术的不断进步,高速永磁风力发电机因其体积小、效率高、成本低等特点有着广阔的应用前景。

7. GE Haliade-X 获得“T级(台风级)”认证

近日,海上风机“巨无霸”GE Haliade-X获得了挪威船级社DNV的“T级(台风级)”认证,可在台风条件下运行。

此次Haliade-X获得T级认证,证明了其能够在生命周期内可靠地抵御台风。机型将能够在欧洲和美国以外的地区,如中国、日本和韩国等市场投入运行。

Haliade-X 于 2018 年发布, 至今已推出 12MW、13MW、14MW 等 3 款机型, 其中 12MW 机型在去年 11 月获得了 DNV GL 的完全型式认证, 而 13MW 机型在今年 1 月获得了 DNV 的型式认证。

目前 GE 的 Haliade-X 系列风机单机容量最高可达 14MW。每台 Haliade-X 14MW 风机一年可生产 7,400 万度电, 并实现减碳 52,000 吨——相当于 11,000 辆小汽车一年的碳排放。

8. 无需大型安装船的英国 SENSEWind 全新风机安装系统

日前, 来自英国的初创公司 SENSEWind 宣布, 他们全新的 SENSE 风机自安装系统已经成功完成样机测试, 即将进入应用研发阶段。

SENSE 系统最重要的优势是无需大型安装船, 在海上风电用船资源非常紧张的情况下, 可以大幅降低项目成本, 据测算, SENSE 系统最多可使度电成本下降 12%; 同时, 全自动执行的系统可以减少人为操作带来的风险, 提高安全性; 另外, 该系统还可以反向运行, 起到拆卸的作用, 风机大部件的更换、维修非常方便快捷。

9. GE 设计巨型浮动涡轮机, 捕获深海区的风能

2018 年, 通用旗下子公司 GE 可再生能源(GE Renewable Energy)重磅推出了巨型风力涡轮机计划, 展示了 12 兆瓦的巨型海上风电机组 Haliade-X。这个 853 英尺(260 米)高的庞然大物拥有三个有史以来最长的海上叶片, 据称比市场上的任何其他产品多捕获约 45% 的能量。而最新消息称, 该公司目前正在开发更强大的 14 兆瓦的 Haliade-X 版本。



(图片来源: GE)

Haliade-X 将在世界最大的海上风电场--英格兰海岸的 Dogger Bank 投入使用, 并成为美国 800 兆瓦海上风电场的骨干。来自 GE 的 Rogier Blom 表示: “通过 GE 的 Haliade-X, 这个迄今为止建造的最强大的海上风力涡轮机, 我们才刚刚开始在欧洲、美国和全球其他地区挖掘海上风力发电的未来前景。今天, 这些固定底部的风力涡轮机被限制在 60 米(200 英尺)或以下的深度。有了浮动涡轮机, 我们将能够极大地扩大海上风力发电的范围, 使之达到水深 60 米或更深的地区”。

10. Siemens Gamesa 首创 “孤岛模式” 风机就地制氢

西歌与丹麦电解设备供应商 Green Hydrogen Systems(GHS)达成协议, 将在丹麦建设一个直接在风

机附近制氢的风电制氢示范项目 Brande Hydrogen。日前, 该项目已经首次成功产生了绿色氢气。

Brande Hydrogen 项目使用孤岛模式在一台 3MW 陆上风机旁边放置一套 400kW 电解设备, 就地电解制氢。氢气将由丹麦的一家名为 Everfuel 的氢气燃料公司存储, 用作汽车燃料;氧气则直接排放到空气中。

所谓“孤岛模式”意味着风机在不连接电网的情况下驱动一台电解设备。该模式独立于电网制氢, 可以将风机放置在具有良好风资源的任何地点, 而不必考虑接入电网的问题。

与电力传输到升压站集中制氢相比, 就地制氢成本更低, 氢气可以通过比电缆便宜得多的管道送到岸上;同时能降低将电力传输到岸上时的电损耗。一旦验证了其可行性, 便可推广到海上, 让海上风电制氢这一受成本困扰的模式尽早市场化。

11. Siemens Gamesa 发布“人机界面”叶片制造器

Siemens Gamesa 研究了一种数字化的、机器人主导的风机叶片叠层工艺, 可以大幅削减下一代巨型叶片设计的制造成本。其所提光学叶片概念(Optical Blade concept), 是通过“光学检测平台”, 使用边缘计算系统将模具上方的多个摄像机连接在一起, 从而创建了一个人机界面, 允许工作人员实时反馈、捕捉错误、提高加工效率。这一研究成果使其获得了微软(Microsoft)颁发的智能制造奖。



在 Siemens Gamesa 丹麦奥尔堡制造车间进行铺层时的叶片

这项由 Siemens Gamesa 数字风险实验室和 IT 巨头 IBM 合作开发的技术在一家丹麦奥尔堡风机制

造商大厅进行了试验,使玻璃纤维板定位更快、精度更高,同时记录过程,并在铺层过程中将收集到的数据存储在云中,为未来的分析提供设计反馈。

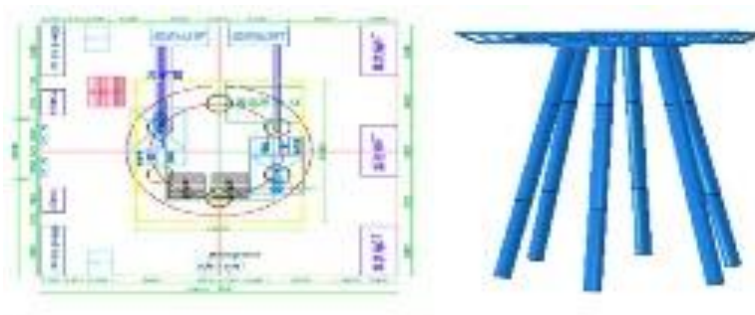
由 IT 巨头每年颁发的“微软智能制造奖”评审团在颁奖时表示:该解决方案通过改进产品设计为 OEM 和风电场运营商带来重大好处,并确保减少风机故障以及能源生产的改善。

据了解, Siemens Gamesa “光学叶片系统”将继续在奥尔堡工厂使用,并将“在未来两年内”安装在 Siemens Gamesa 的法国和英国制造车间中。

四、创新技术&报告文献

1. 海上风电高桩承台基础封底结构受力特性研究

摘要: 本文依托中交路建实施的平潭长江澳海上风电场工程,针对该地区复杂地质及海况,以海上风电高桩承台封底结构基础为研究对象,结合高桩承台施工工序过程中的载荷工况分析封底结构在不同施工工况及极端海况下的受力特性,对承台封底结构受力特性及配筋设计进行分析,研究表明高桩中承台封底板结构上部二期砼浇筑压力控制。同时,提出了增加封底结构抗沉的有效措施并进行了对比和建议。



嵌岩平台布置及有限元计算模型

来源:【期刊】珠江水运 2021(07) SP 附件编号: 08-01

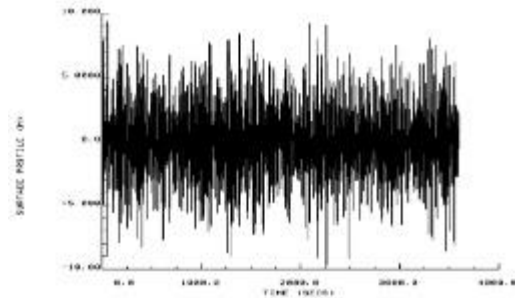
2. 随机波浪作用下导管架海上风电机组波浪动力响应

摘要: 随着海上风电向深远海发展,对于波浪动力响应的分析愈加重要。本文基于随机波浪理论使用模态

叠加法对导管架形式的海上风电机组进行了波浪动力响应分析。分析结果表明,动力荷载明显大于静力荷载;由动力放大系数理论公式计算得到的动力放大系数大于通过波浪动力分析求得的动力放大系数。



风电机组前三阶模态振型

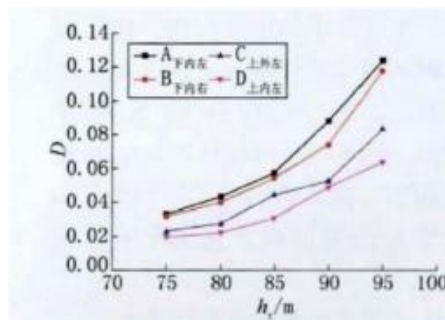


波面时程曲线

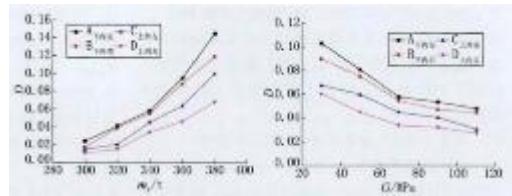
来源:【期刊】中国水运(下半月) 2021(04) SP 附件编号: 08-02

3. 海上风电结构过渡段灌浆体的疲劳性能研究

摘要: 针对采用单桩基础的海上风电结构,建立风电结构整体有限元模型,研究其过渡段灌浆体疲劳性能。通过静力和动力数值模拟,结合疲劳累积分析理论,得到灌浆体疲劳危险节点的疲劳累积损伤度。分析灌浆体的厚度、外套筒的壁厚、桩体的壁厚、灌浆体的长度、露出桩的长度、塔筒的高度、风轮-机舱的质量、土体的剪切模量等结构设计参数对过渡段灌浆体疲劳性能的影响规律。结果表明:过渡段灌浆体下边缘的疲劳累积损伤度比上边缘大;灌浆体的长度约为 1.5 倍桩径时,灌浆体的损伤度最小;塔筒的高度、风轮-机舱的质量的变化对灌浆体的损伤度影响较大。



风轮 - 机舱质量不同的灌浆体疲劳危险节点的累积损伤度

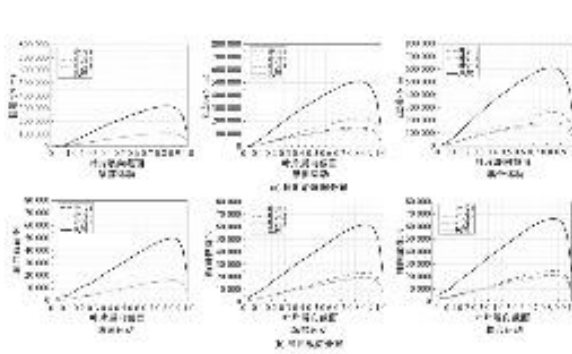


土体剪切模量不同的灌浆体疲劳危险节点的累积损伤度

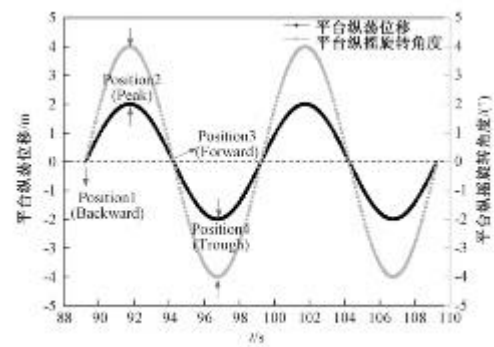
来源:【期刊】特种结构 2021(02) SP 附件编号: 08-03

4. 漂浮式风电机组平台运动对叶片应力特性的影响

摘要: 海上风电机组运行时,受波浪和风载影响,在平台运动下叶片的气动和结构载荷较为复杂。采用 CFD 方法对 NREL 5MW 风电机组进行了非定常气动性能数值模拟,然后加载至叶片固体模型进行形变量分析与应力分布研究。研究表明:展向 80%至 90%的叶片段承担了叶片整体最大做功量。平台运动下叶片整体形变量变化较大,耦合运动所对应的风电机组叶片在前向与后向运动时叶尖位移量差异较大,会显著增加叶片展向载荷波动。平台运动下,压力面中叶段出现应力集中。海上风、浪等载荷引起的平台多自由度运动,会使扭矩输出降低,叶片变形与压力载荷幅值增大。中叶段 40%~70%内应力集中程度较为严重且随相位角变化急剧,所以需要叶片中部应力集中部分进行材料或者结构强化。



平台前向运动截面气动载荷分布

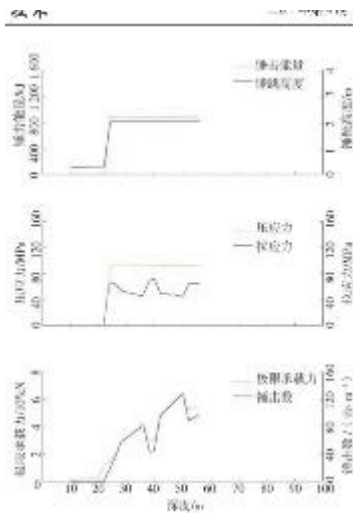


平台运动下风轮位置随时间变化

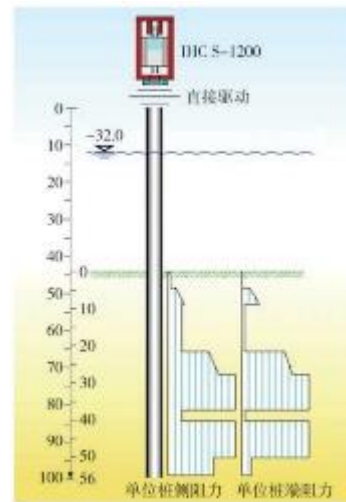
来源:【期刊】华北电力大学学报(自然科学版) 2021(03) SP 附件编号: 08-04

5. 海上风电大直径单桩沉桩疲劳分析

摘要：由于海上环境的复杂性,风机基础易发生疲劳破坏,沉桩疲劳是其疲劳的主要来源之一。随着海上风电机组单机容量增大、离岸距离和水深增加,如何准确评估沉桩疲劳成为海上风电场工程设计的一个重点和难点,目前对沉桩疲劳的影响主要是基于经验,缺少系统的研究。以山东渤海海域某拟建海上风电场为例,运用基于一维弹性应力波传递理论的 GRLWEAP 软件对大直径单桩进行了可打性分析。基于可打性分析结果及挪威船级社(DNVGL)发布的通用 S-N 曲线,对沉桩过程中产生的疲劳损伤进行了分析研究。研究发现运用 GRLWEAP 软件进行沉桩分析可较为便捷地获取疲劳分析所需数据,基于 S-N 曲线可有效评估单桩沉桩疲劳损伤情况,沉桩疲劳损伤与桩锤型号、土层情况、桩参数、S-N 曲线等多种因素有关,可为类似工程提供参考和借鉴。



沉桩过程模拟结果



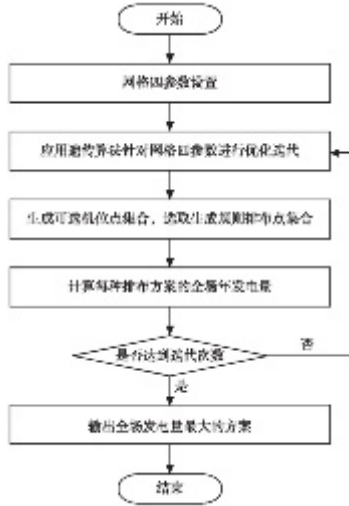
桩身阻力

来源：【期刊】山东电力技术 2021(04) SP 附件编号：08-05

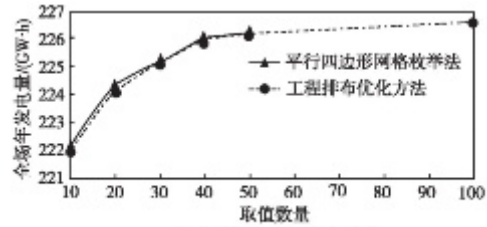
6. 海上风电场微观选址工程优化方法与软件开发

摘要：海上风电场用海面积有限,同时由于湍流强度低,尾流恢复慢,其微观选址优化排布方法是海上风电的关键技术之一。在实际工程应用中,其排布一般采用人工经验和方案比选方法,由于受主观因素影响以及比选方案数量有限,难以得到工程优质解。文中针对平行四边形网格枚举方法存在计算效率低和优化时间长

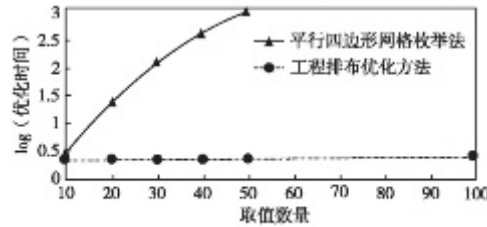
的问题,提出一种海上风电场微观选址工程优化方法,通过遗传算法对网格四个参数求解,提高优化效率。文中借助 Python 语言实现了该工程优化方法和开发海上风电场微观选址优化软件,同时进行了算例验证。结果表明:文中所提出的方法与工程方法和平行四边形方法相比提升了计算效率,得到了更加优化的结果,同时所得到的优化方案可供实际工程应用。



海上风电场微观选址优化算法流程图



(a) 全场年发电量对比图



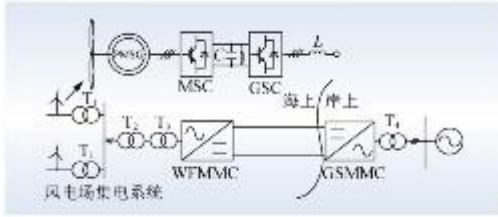
(b) 优化时间对比图

平行四边形网格枚举法与工程排布优

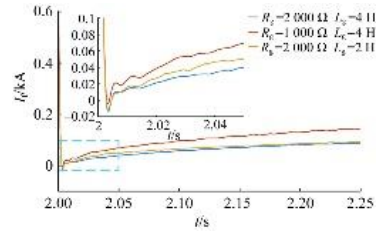
来源:【期刊】能源研究与利用 2021(02) SP 附件编号: 08-06

7. 直流断线故障下海上风电经柔性直流送出系统的暂态特性

摘要: 断线故障为常见的直流故障类型之一,研究该场景下海上风电经柔性直流送出系统的暂态响应特性对于系统的保护方案设计有着重要参考价值。首先,分析了直流母线正极断线故障下短路电流产生机理,推导了非故障极短路电流表达式,并分析了接地阻抗参数对该短路电流特性的影响。其次,研究了故障期间风电场侧与电网侧换流站交直流侧暂态电压演变特性。研究表明:故障期间风电场侧直流电压与其有功输出正相关,且两端换流站交流侧电压产生了一对大小相等、方向相反的直流偏置分量;此外,采用较大的接地阻抗参数可有效降低短路电流对系统运行性能的影响。最后,基于 PSCAD/EMTDC 仿真平台搭建了全系统的电磁暂态仿真模型,通过仿真验证了暂态特性分析的正确性与参数选择的合理性,对于大规模海上风电经柔性直流系统并网的规划设计具有一定的指导意义。



海上风电经柔性直流送出系统结构

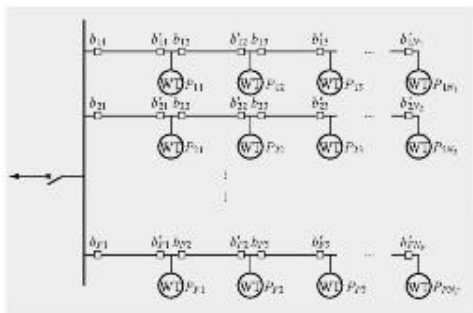


不同接地阻抗参数下短路电流特性

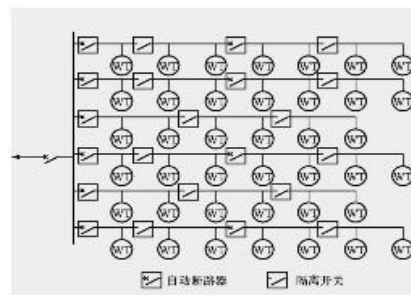
来源:【期刊】电力建设 2021(04) SP 附件编号: 08-07

8. 海上风电场集电系统开关配置最优化及可靠性评估

摘要: 海上风电场集电系统中的海缆修复困难,需要在电缆两端增设开关以减少停运的影响。研究了此开关最优配置问题。首先,考虑了风电场中自动断路器和隔离开关的所有可能配置方案,构建了开关配置布尔变量,得到了包含发电量损失成本和设备成本的全项目周期效益现值表达式。其次,根据链形拓扑的特点,提出并证明了链形拓扑集电系统中电缆远离母线侧不应配置开关的规律,减少了决策变量的数目。引入辅助变量使约束条件线性化,使模型成为标准 0-1 规划模型。随后利用求解器进行了算例分析,所得结果的综合效益较工程方案提升了 4.2%。最终,对影响因素进行了灵敏度分析,指出了开关价格与故障定位时间的变动是对于综合效益影响很小的因素,并基于解析法对最终设计方案进行了可靠性评估。该研究对于集电系统的规划具有一定的指导作用。



海上风电场集电系统

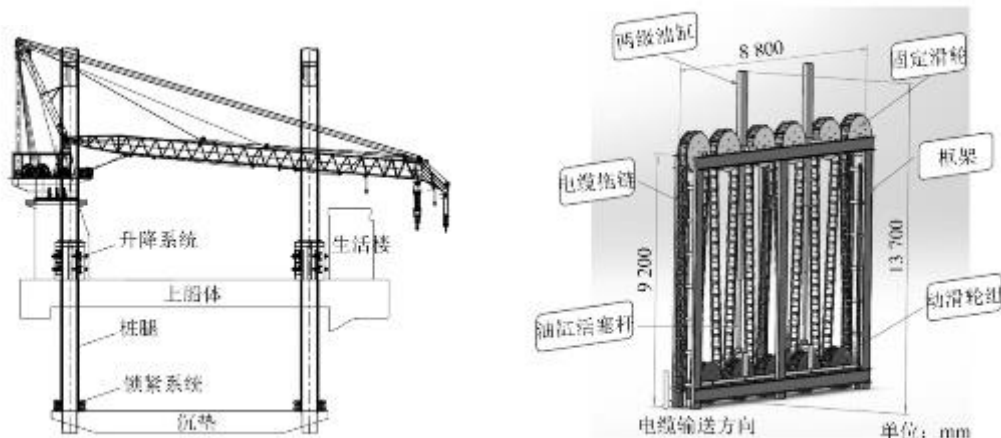


算例风电场开关最优配置

来源:【期刊】供用电 2021(04) SP 附件编号: 08-08

9. 2500T 沉垫自升式海上风电安装平台设计与布置

摘要：介绍某型沉垫自升式海上风电安装平台的总体参数及性能、沉垫设计和船体布置,并结合海上风电施工作业的要求,分析在设计该平台时需要考虑的一些特殊因素。该平台针对海上风电施工作业所进行的特殊优化布置,可为类似风电安装平台的设计提供借鉴。



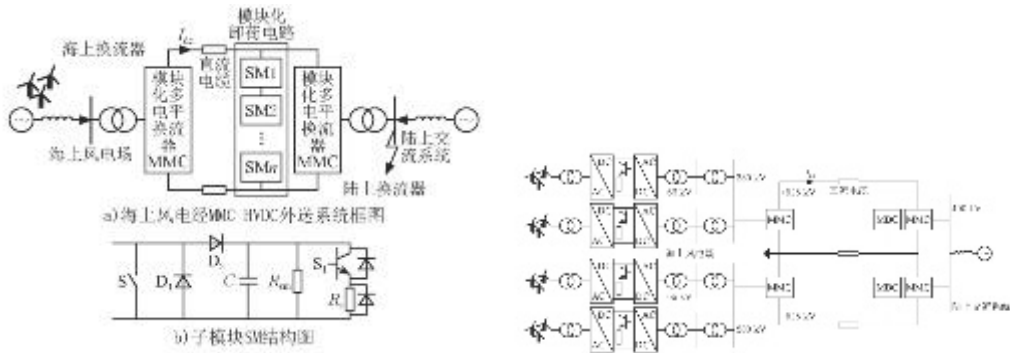
2500 T 沉垫自升式海上风电安装平台

电缆垂送装置示例

来源：【期刊】造船技术 2021(02) SP 附件编号：08-09

10. 海上风电送出交流故障穿越控制策略研究

摘要：对于大规模海上风电场经 MMC 型柔性直流输电并网系统,在陆上侧交流故障穿越过程中,由于卸荷电路是在直流电压达到一定基准电压时才开始工作,导致陆上侧换流器子模块电压存在过大的冲击,有损坏功率元器件的风险。为解决该暂态过程中子模块电容电压过高的问题,分析了模块化卸荷电路的拓扑结构与控制方法,并根据交流故障期间的系统特性对控制策略进行改进,通过控制模式的切换并配合改变参考波定值,充分利用 MMC 自身特性,在保证系统故障穿越性能的前提下对子模块电压进行抑制。根据荷兰海上风电柔直外送项目的参数,在 PSCAD/EMTDC 中搭建了两端双极柔性直流输电系统模型,验证了所提改进控制策略可有效抑制子模块的过电压水平。



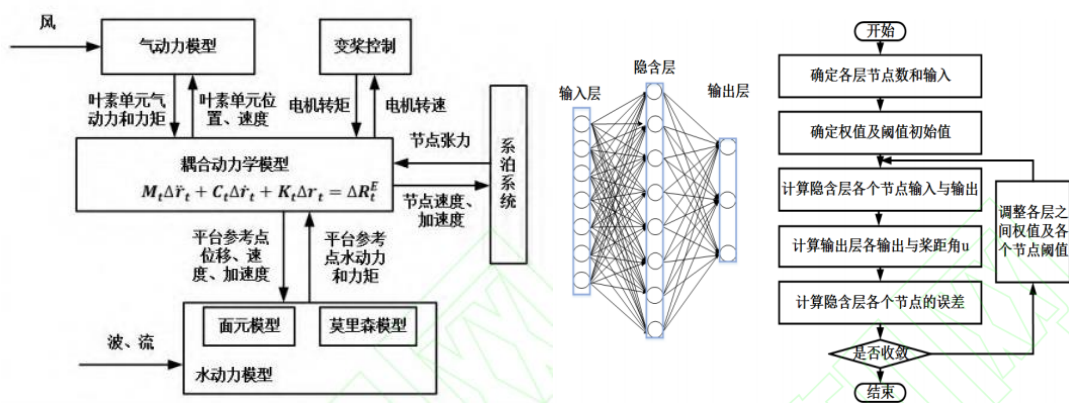
海上风电经柔性直流外送系统框图

大型风电场接入双极 MMC-HVDC 结构图

来源:【期刊】 电工电气 2021(04) SP 附件编号: 08-10

11. 海上浮式风电机组变桨距自抗扰控制策略研究

摘要: 为有效抑制由随机风、浪载荷引起的海上浮式风电机组发电功率波动, 提出了变桨距线性自抗扰控制(LADRC)策略。综合考虑气动力、水动力、结构弹性和变桨距控制等影响因素, 建立 5 MW 级海上浮式风电机组气-弹-水-控耦合系统动力学模型, 基于恒转矩控制目标设计变桨距线性自抗扰控制器, 分别采用带宽整定法和 BP 神经网络整定法对控制器参数进行整定, 对比分析变桨距线性自抗扰控制对发电功率波动的抑制效果。研究表明: 采用带宽整定和 BP 神经网络整定的变桨距线性自抗扰控制可以有效地改善海上浮式风电机组变桨距灵敏度, 抑制发电功率波动。



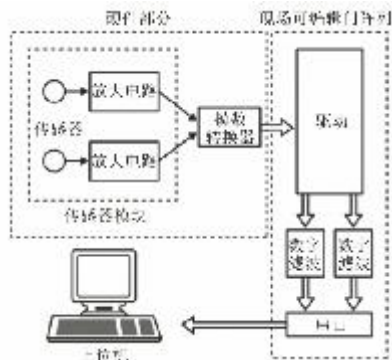
浮式风电机组整机气-弹-水-控全耦合动力学模型

BP 神经网络流程图

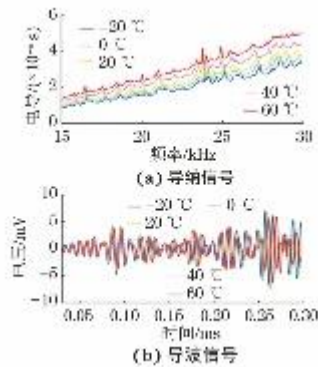
来源:【期刊】 重庆大学学报网络首发 2021-05-08 SP 附件编号: 08-11

12. 风机叶片连接螺栓损伤的在线监测

摘要：综述了先进的螺栓结构连接监测技术,介绍了振动信号检测技术、声弹性效应技术、压电效应检测技术、光纤传感技术和基于材料及结构特征检测方法等的风机连接螺栓在线监测技术的研究进展,分析了这些技术的特点及其在风机螺栓松动监测中的适用性。



基于振动相位差的螺栓连接状态监测系统



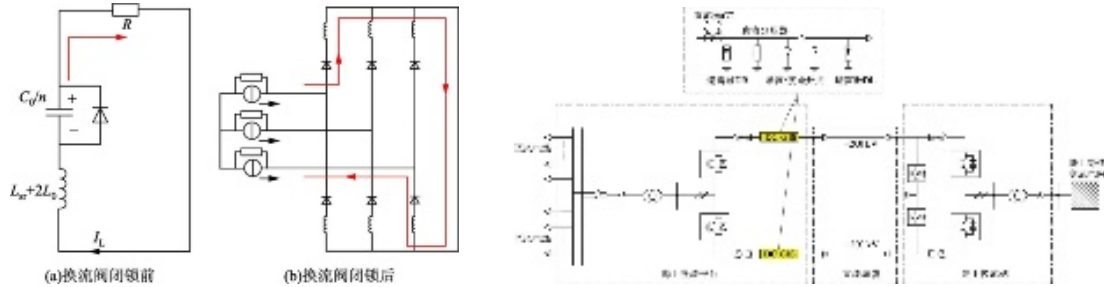
螺栓在拧紧状态、不同温度条件下测得

来源：【期刊】无损检测 2021(05) SP 附件编号：08-12

13. 海上风电柔性直流换流平台用 ± 200 kV 直流 GIS 关键电气应力研究

摘要：直流气体绝缘金属封闭开关设备(gas insulated metal-enclosed switchgear, GIS)可以显著降低海上柔性直流换流平台的体积与造价,具有广阔的应用前景与市场需求。目前,国内尚无投入直流工程应用的直流 GIS,迫切需要开展其电气应力研究,为装备研制提供设计依据。为此结合当前国内外柔性直流工程及国内直流 GIS 发展现状,以 ± 200 kV 对称单极系统拓扑的海上风电柔性直流并网工程为例,采用仿真分析与参数计算相结合的方法,对直流 GIS 关键电气应力及参数要求进行探讨。首先,基于 PSCAD/EMTDC 电磁暂态仿真软件,建立 ± 200 kV 海上风电柔性直流并网系统仿真模型,对直流 GIS 暂稳态电压、电流应力进行仿真分析与计算;然后,由此确定直流 GIS 的暂稳态电气应力耐受要求;最后,考虑不同海缆输电距离的应用需求,分析所提出的直流 GIS 关键电气参数要求的适用性。分析结果表明:所确定的 ± 200 kV 直流 GIS 操作绝缘冲击耐受电压和雷电绝缘冲击耐受电压不低于 450 kV;暂态峰值电流不低于 12.5 kA(直流接地开

关的最大峰值耐受电流不低于 4 kA),短时耐受电流不低于 10 kA,可以适用于最长 200 km 海缆的海上风电柔性直流输电工程。



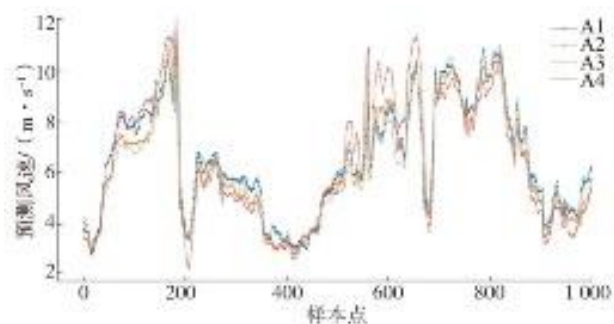
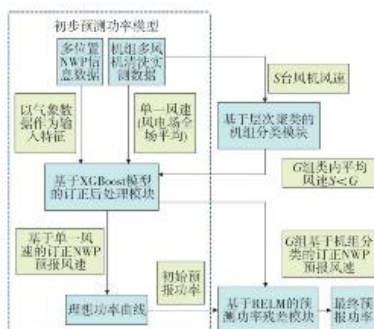
海上换流平台极母线双极短路故障等效电路

海上风电柔性直流并网系统拓扑

来源:【期刊】广东电力 2021(05) SP 附件编号: 08-13

14. 考虑机组分类的海上风电短期功率预测-校正模型

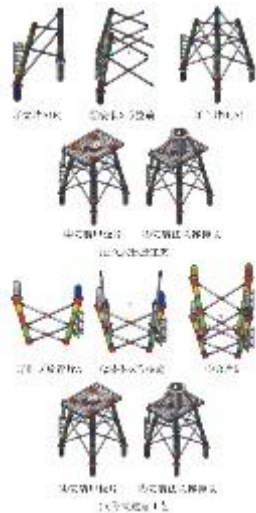
摘要: 数值天气预报(Numerical Weather Prediction,NWP)对风电功率短期预测起着重要作用,考虑风电场周围多个位置的 NWP 信息,提出利用聚类分析与机器学习相结合的方法对海上风力发电短期功率预测进行研究。同时考虑风电场内部空间差异,通过层次聚类分析将机组内多个风机风速划分为若干组代表风速,基于优选机器学习方法进行订正后处理,获得更加准确反映风电场特性的若干组初始预报风速。在此基础上,将该若干组风速作为输入特征,基于正则化极限学习机(Regularized Extreme Learning Machine,RELM)对风电功率预测结果进行校正,获得风电场最终预测功率。通过对实例电场的发电功率进行预测,相比基于风电场单一风速的功率预测模型,该模型日准确率最大可提升 3.59%,改善了极端误报情况,考核电量降低了 19.24%,有效减轻电场考核。



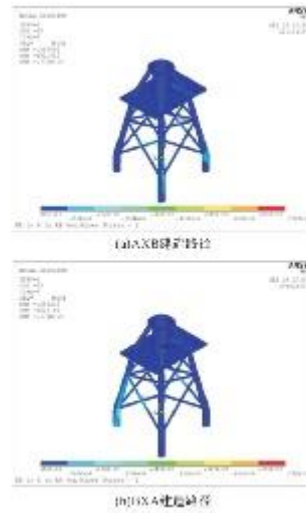
来源:【期刊】山东电力技术 2021(05) SP 附件编号: 08-14

15. 海上风电导管架陆地建造过程中的应力分析

摘要: 海上风电基础承载装备的结构越来越复杂且越来越重,建造工艺与建造路径等不同会导致其残余应力不同,从而影响其安全性和可靠性。为此,基于有限元分析方法,分别采用梁单元与壳单元建立了不同的海上风电导管架计算模型,并运用单元生死技术模拟海上风电导管架的立式与卧式陆地建造过程。由模拟结果可知:使用壳单元能够更加准确地模拟海上风电导管架管件连接处的应力状态;采用立式建造工艺能够减小建造过程中海上风电导管架重点部位的应力并保持其稳定,且建造完成后海上风电导管架的残余应力更小。研究表明,大型海工结构的重点部位应使用能够反映实际结构特征的壳单元进行模拟,在陆地建造过程中立式建造工艺更为安全,这可为海上风电基础承载装备陆地建造工艺的选择提供依据。



海上风电导管架的 2 种典型建造工艺



采用壳单元模拟时立式建造完成后

海上风电导管架的 Mises 应力分布云图

来源:【期刊】工程设计学报 2021(02) SP 附件编号: 08-15

16. 基于海上风电项目施工管控的分析

摘要：随着经济和社会的发展,海上风力发电已成为可再生能源发展的重要方向。文章分析了海上风力发电项目施工管控中的自然因素、质量控制、安全控制方面的问题,并提出相应的措施,希望为类似海上风电场的建设提供参考。

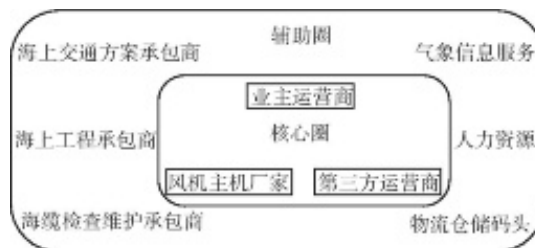


海上风电项目结构示意图

来源：【期刊】中国修船 2021(S1) SP 附件编号：08-16

17. 海上风电运维服务商业模式研究

摘要：目前,越来越多企业投身到海上风电运维服务行业中,但国内海上风电运维生态圈还在建立的过程中,运维服务商业模式也在探索中,还未出现垄断性的龙头企业。通过对海上风电运维生态圈、海上风电运维商业模式以及各商业模式优劣势研究,提出海上风电运维服务的最佳商业模式。

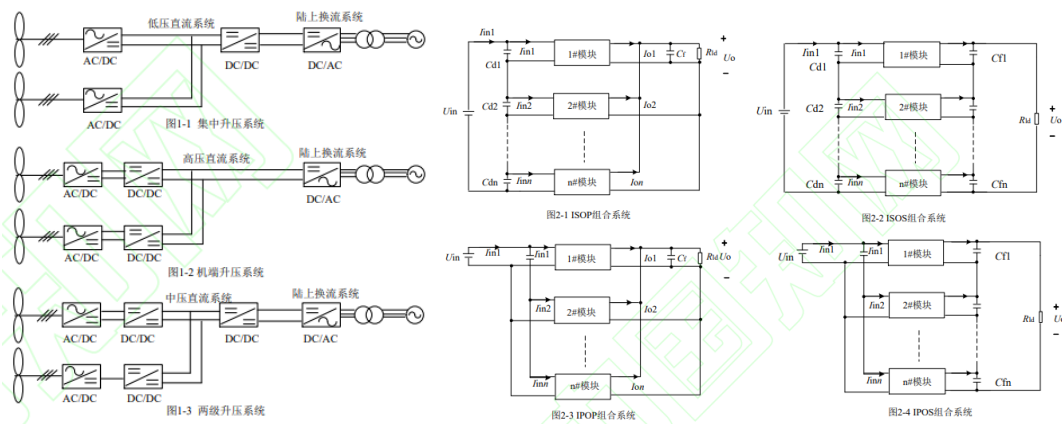


海上风电运维生态圈

来源：【期刊】技术与市场 2021(04) SP 附件编号：08-17

18. 海上风电直流汇集 DC-DC 变换器拓扑与控制策略分析

摘要：海上风能资源丰富，大规模远距离的海上风电是未来风力发电的趋势。作为风电直流汇集传输的核心设备，适用于高压大功率的 DC/DC 变换器研究尤为重要。已有的 DC/DC 变换器大多工作于中低压小功率环境，为此文章首先介绍海上风电 DC/DC 变换器的技术需求，然后介绍适用于海上风电直流汇集的模块组合式 DC/DC 变换器拓扑结构、子拓扑结构、控制策略，最后总结分析了模块组合式 DC/DC 变换器需进一步研究的内容，为其应用于海上风电直流汇集提供了参考。



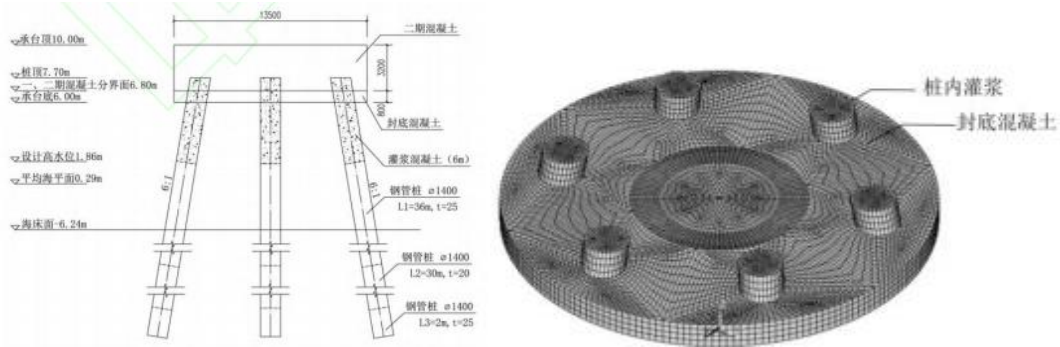
海上风电场并联型直流组网示意图

模块组合式 DC/DC 变换器

来源：【期刊】电测与仪表网络首发 2021-06-04 SP 附件编号：08-18

19. 高桩承台式海上风机施工期封底混凝土分析方法

摘要：以某海上风电场典型高桩承台基础的封底混凝土施工为研究背景，利用 ANSYS 中面-面接触单元，建立钢管桩与封底混凝土间的三维有限元接触模型，研究粘结滑移对封底混凝土应力的影响。计算结果表明：两种模型计算结果差距明显，高桩承台基础不考虑桩与封底混凝土粘结滑移时，封底混凝土拉应力偏小，设计偏危险，不利于结构的安全性；考虑桩与封底混凝土粘结滑移后，桩周拉应力增大尤为明显，故有必要采用更符合实际的接触单元建模方式。



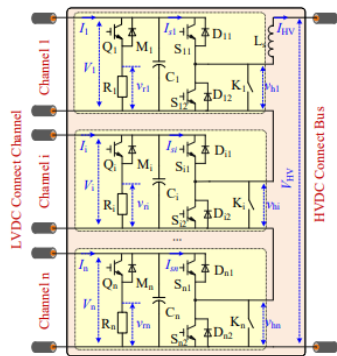
施工阶段样本风机基础几何模型 (单位: mm)

封底混凝土

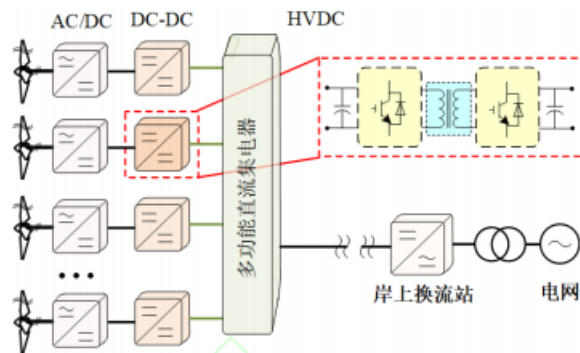
来源:【期刊】水力发电网络首发 2021-06-04 SP 附件编号: 08-19

20. 多功能直流集电器概念及其全直流海上风电系统

摘要: 直流汇集与输送是未来大规模海上风电系统的主要发展方向之一。为了实现低成本、高效率和高可靠性的海上风电全直流组网与输送, 本文提出了一种多功能直流集电器概念及其海上风电直流组网方案。通过引入直流集电器对风机单元进行能量汇集和级联升压, 所构成的全直流组网系统不仅减小了机侧换流器规模和海上换流站平台, 同时消除了风机的功率波动对于风场内网电压的影响, 使得各个风机均可实现最大功率追踪并维持原有的控制和保护架构。此外, 直流集电器概念的提出使得海上风电系统的运行更加灵活, 同时兼顾故障隔离、动态切入切出、直流耗能运行等多种模式, 为远距离大容量的海上风电建设提供了一种切实可行的解决方案。最后, 通过搭建基于直流集电器的全直流海上风电系统的仿真模型, 验证了所提方案的正确性与有效性。



一种典型的直流集电器拓扑结构



基于多功能直流集电器的全直流海上风电系统

来源:【期刊】中国电机工程学报网络首发 2021-06-07 SP 附件编号: 08-20

21. 海上风电基础钢管桩嵌岩斜桩后注浆施工技术

摘要：通过采用桩底、桩侧壁复合式后注浆新工艺,在确保风机基础桩基承载力满足设计要求的情况下,最大程度优化减小钢管桩斜桩钻孔深度,制定技术先进、安全可靠的钢管桩嵌岩斜桩后注浆质量检测方法,解决超厚强风化岩层地质环境下海上风电基础钢管桩斜桩超长钻孔(嵌岩钻机钻头出钢管桩斜桩沉桩桩底标高后继续钻进成孔深度大于 15 m,一般超过 20 m)的技术难题,该项新技术具有重要的推广应用价值。



桩侧注浆器安装图

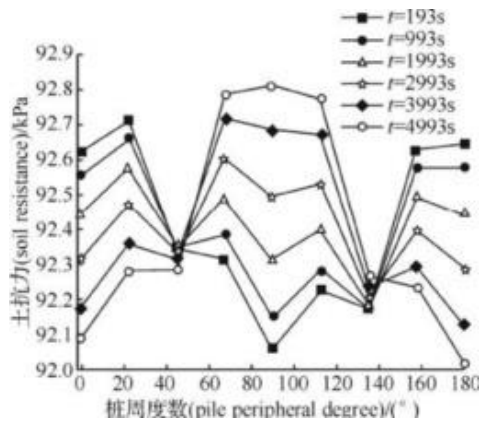


智能压浆系统现场布置图

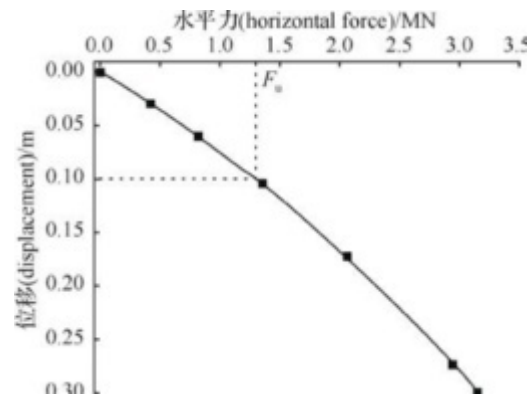
来源：【期刊】港工技术 2021(03) SP 附件编号：08-21

22. 海上风电单桩基础周围非均质土体横向土抗力分布特性研究

摘要：采用有限元软件 ABAQUS 建立了非均质土中海上风电单桩基础数值计算模型,将波浪、洋流、风荷载等效为双向对称循环荷载,分析了同一循环过程中不同埋深处和相同埋深处不同循环过程中桩身内外壁土抗力沿桩环向的变化规律。研究表明:随着循环次数的增加,在淤泥土和粉砂土层分界面处,桩身内壁土抗力沿桩环向呈先增加后减小交替分布;桩身外壁被动土压力减小,而主动土压力增大;泥面处桩身外壁被动土压力变化程度较大,随着埋深的增加,主动土压力变化程度较大;桩身内壁主要承担荷载的位置由两侧转向中部。



不同埋深处桩内壁土抗力沿桩环向曲线



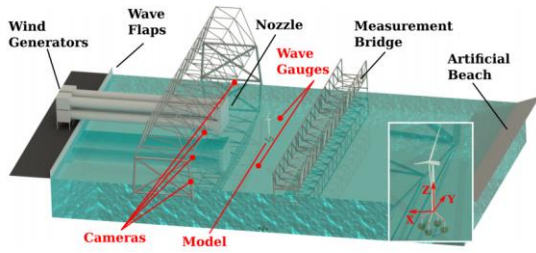
桩顶荷载-位移曲线图

来源:【期刊】应用力学学报 2021(03) SP 附件编号: 08-22

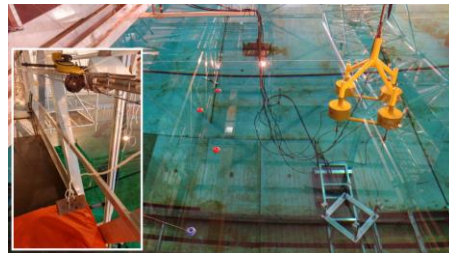
23. Numerical and Physical Modeling of a Tension-Leg Platform for Offshore Wind Turbines

Abstract: In order to tap the world wide offshore wind resources above deep waters, cost efficient floating platforms are inevitable. Tension-Leg Platforms (TLPs) could enable that crucial cost reduction in floating wind due to their smaller size and lighter weight compared to spars and semi-submersibles. The continuous development of the GICON®-TLP is driven by computer-aided engineering. So-called aero-hydro-servo-elastic coupled simulations are state-of-the-art for predicting loads and simulating the global system behavior for floating offshore wind turbines. Considering the complexity of such simulations, it is good scientific praxis to validate these numerical calculations by use of scaled model testing. This paper addresses the setup of the scaled model testing as carried out at the offshore basin of the École Centrale de Nantes, as well as the numerical model for the GICON®-TLP. The results of dedicated decay tests of the scaled model are used to validate the computational model at the first stage and to determine the natural frequencies of the system. Besides different challenges to the scaled model during the survey, it was possible to take these difficulties into account when updating

the numerical model. The results show good agreements for the tank tests and the numerical model.



Test Setup at ECN offshore basin

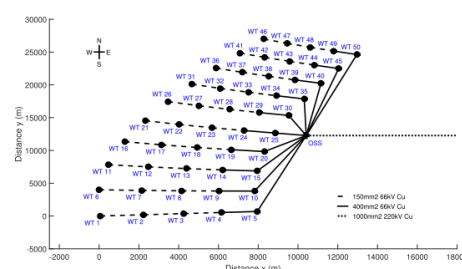
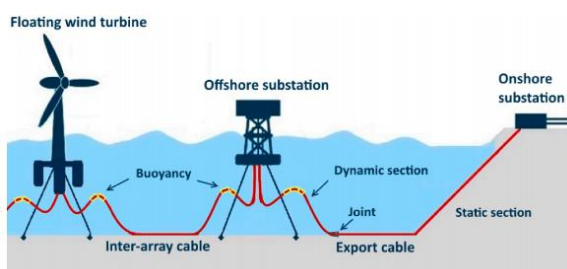


Decay test setup for yaw NF in the ocean basin

来源: EconPapers SP 附件编号: 08-23

24. A metaheuristic optimization model for the inter-array layout planning of floating offshore wind farms

Abstract: This paper presents an adapted particle swarm optimization model for the electrical layout planning of floating offshore wind farms (FOWFs). A comprehensive model is considered by taking into account the entire wind turbine connection possibilities as well as stochastic wind speed and wind direction and the computation of the wake effect within the wind farm. Furthermore, dynamic power cables used for the connection of floating offshore wind turbines are considered as well as their respective acquisition and installation costs. The reliability assessment of the electrical components and the influence on the energy generation are also taken into account. The developed optimization model is validated in this paper at first against a reference model developed by Banzo et al. Then the model is applied on a 500 MW FOWF case. The optimized collection grid results in a decrease of 4.5% of the total costs and a reduction of the energy losses by 6.4% compared to the existing layout of the FOWF. Finally, the use of either solely dynamic power cables or a combination of static and dynamic cables is studied. The findings show that for this particular case the use of solely dynamic power cables is favorable due to the avoidance of cost-intensive submarine joints and additional installation activities.



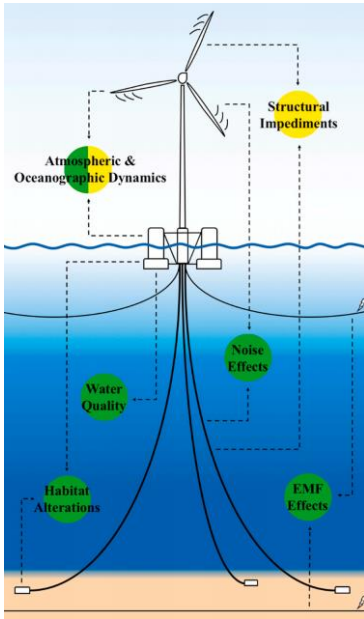
Electrical system of a floating
offshore wind farm

Lifes50+ Golfe de Fos electrical layout

来源: ResearchGate SP 附件编号: 08-24

25. Potential environmental effects of deepwater floating offshore wind energy facilities

Abstract: Over the last few decades, the offshore wind energy industry has expanded its scope from turbines mounted on foundations driven into the seafloor and standing in less than 60 m of water, to floating turbines moored in 120 m of water, to prospecting the development of floating turbines moored in ~1,000 m of water. Since there are few prototype turbines and mooring systems of these deepwater, floating offshore wind energy facilities (OWFs) currently deployed, their effects on the marine environment are speculative. Using the available scientific literature concerning appropriate analogs, including fixed-bottom OWFs, land-based wind energy facilities, wave and tidal energy devices, and oil and gas platforms, we conducted a qualitative systematic review to estimate the potential environmental effects of deepwater, floating OWFs during operation, as well as potential mitigation measures to address some of the effects. We evaluated six categories of potential effects: changes to atmospheric and oceanic dynamics due to energy removal and modifications, electromagnetic field effects on marine species from power cables, habitat alterations to benthic and pelagic fish and invertebrate communities, underwater noise effects on marine species, structural impediments to wildlife, and changes to water quality. Our synthesis of 89 articles selected for the review suggests that many of these potential effects could be mitigated to pose a low risk to the marine environment if developers adopt appropriate mitigation strategies and best-practice protocols. This review takes the necessary first steps in summarizing the available information on the potential environmental effects of deepwater, floating OWFs and can serve as a reference document for marine scientists and engineers, the energy industry, permitting agencies and regulators of the energy industry, project developers, and concerned stakeholders such as coastal residents, conservationists, and fisheries.



Type and magnitude of potential environmental effects of deepwater, floating offshore wind energy facilities. Effect magnitudes were determined using the four-level classification scheme (negligible, minor, moderate, and major) used to characterize impact levels for biological and physical resources defined in MMS (2007).

来源: ResearchGate SP 附件编号: 08-25