

风能

WIND ENERGY

中国可再生能源学会风能专业委员会

中国可再生能源学会风能专业委员会
(中国核心期刊(遴选)数据库) 收录期刊 中国知网收录期刊

国际标准刊号: ISSN 1674-9219
国内统一刊号: CN11-5942/TK

09

2018年 总第103期 赛迪出版物



P12. 专栏

关于弃风限电的十大科学认知

P22. 对话

分散式风电开发应成为精准扶贫新路径

P26

你也能有一个 两全其美的电源

火电、核电、水电、光电、风电、生物质发电, 哪类电源能让你既有眼前即时的生存, 又有远和说秀的生活?



风电未来 不言而喻

WIND POWER FUTURE
DO NOT SPEAK

H160-3.2MW

聚能陆上低风速“智”发展

H171-5MW+

质领海上风电5MW+“新”时代

2018CWP中国海装亮点展示

主要产品 MAIN PRODUCTS



H160-3.2MW

聚能陆上低风速“智”发展
全球风轮直径2大陆上风电机组
在6米/秒的低风速风场，年等效利用小时数可超过3000

H171-5MW+

质领海上风电5MW+“新”时代
全球风轮直径2大(已投运)的海上风电机组
在江苏如东，十个月等效满发利用小时数3442(实际运行数据)，发电效率全球前列(海上风电)

陆上低风速、分散式整体解决方案 OVERALL SOLUTION



助力陆上整体解决方案立竿见影 | 120至160米混合塔筒技术 | 结合LIGA大数据智慧平台 | 一站式全寿命周期管理

中船重工风电事业群 INSTITUTION GROUP



协同设计 | 协同制造 | 协同服务 | 协同管理
全产业 + 军工企业 + 龙头供应商的全生命周期服务链

风电事业群由中船重工集团22家成员单位、行业内前列的供应商队伍及中船重工(北京)新能源投资有限公司组成。

更好的金融模式 FINANCE MODEL



中国海装依托中船重工集团优势，自身拥有产业发展基金、金融租赁公司、财务公司、保险经纪公司等融资平台，以及与众多金融机构长期的战略合作关系，具备强大的融资服务能力，为客户提供优质的金融服务。

传承高铁荣耀 和聚风电智慧

C 客户导向的 Customer-oriented

以客户需求为导向，与客户一起解决问题、创造价值。

R 负责任的 Responsible

勇于担当，以真诚和专业的高度践行对国家、社会、客户、员工的各项承诺。

R 可靠的 Reliable

产品可靠、技术可靠、解决方案可靠、服务可靠、承诺可靠。

C 创造的 Creative

中国中车致力于为客户创造最具价值的产品与服务，创造是中国中车发展的动力之源，是中车人从无到有、克服一切困难的开创性力量。



美丽株洲



Ene-Compass

中车株洲电力机车研究所有限公司
CRRC ZHUZHOU INSTITUTE CO., LTD.

 中国中车
CRRC



Safe · Simple · Specialized

专用安全升降设备

3S Lift,
服务于从事艰苦事业的人们



关注我们公众微信号

· 塔筒升降机 · 智能助爬器 · 海上平台吊机 · 密封型自锁速差器 · 铝合金爬梯/平台 · 安全护栏
· 免爬器 · 逃生包 · 防坠落系统 · 叶片/混塔检修平台 · 工程技术服务 · 个人安全用品

中际联合(北京)科技股份有限公司

热线: 400 002 4580

www.3slift.com



May 7-10, 2018 | Chicago, Illinois
Booth Number: 5020



Hamburg | 25-28 September 2018
Booth Number: A4 339



2018 | 17-19 October Beijing, China
Booth Number: W2-B01

长城风电 全系列润滑产品

风电行业润滑解决方案

长城润滑油拥有风电行业润滑全系产品，包括齿轮油、液压油、润滑脂、冷却液、变压器油等。长城风电专用润滑油在国内润滑油行业中率先通过国际风电设备知名齿轮箱制造商FLENDER的技术认可，并与南高齿、重齿、联合动力等企业加强技术合作，实现技术许可和产品准入。



官方·微博



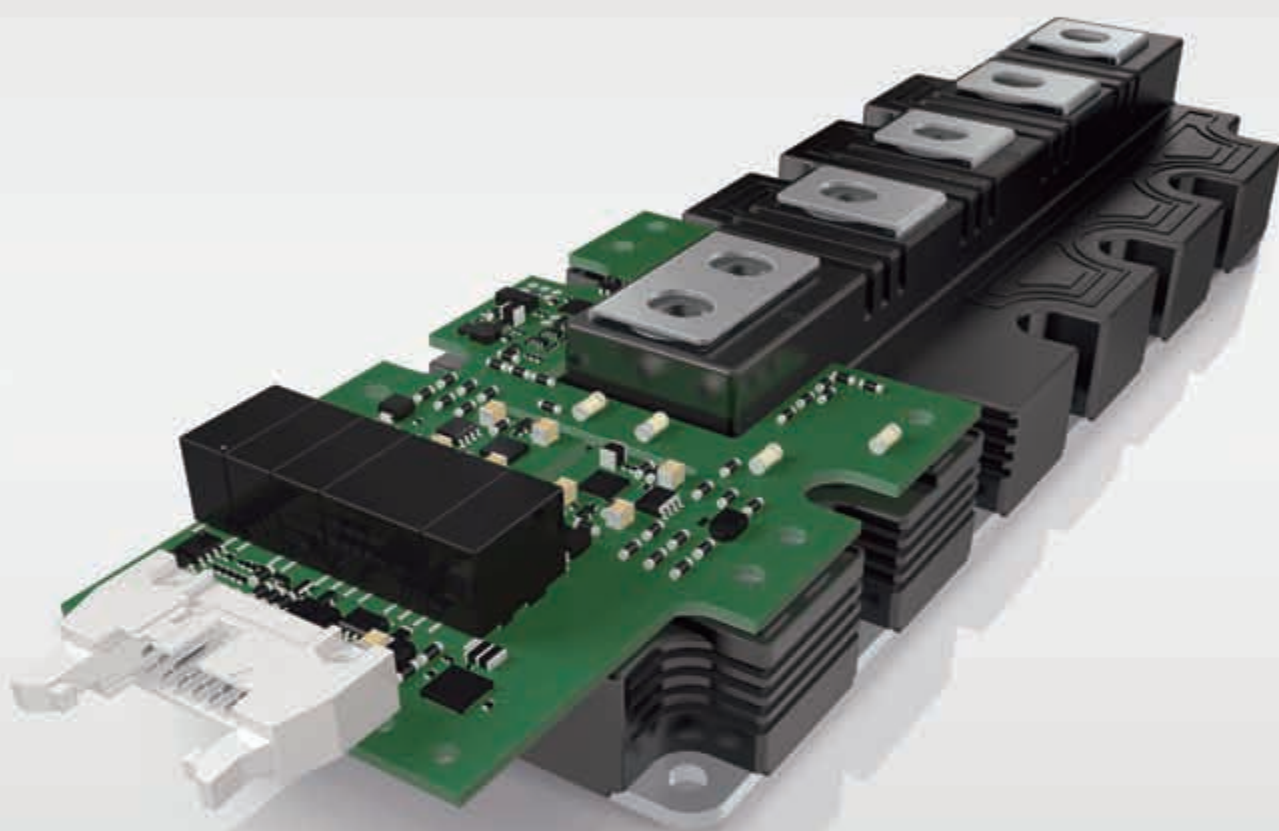
官方·微信

 长城润滑油

中国石化·荣誉出品

中国石化润滑油有限公司 / 客户服务热线: 400-810-9886 / www.sinoilube.com

全新系列 SEMITRANS[®] 10 超越一般标准



500kW – 1.5MW

与行业标准完全兼容

芯片组有第二供应商

出色的开关性能

强大的热循环能力

结合SKYPER Prime驱动器，可以达到最大的安全工作区（SOA）



电机驱动



风能



太阳能



电能质量

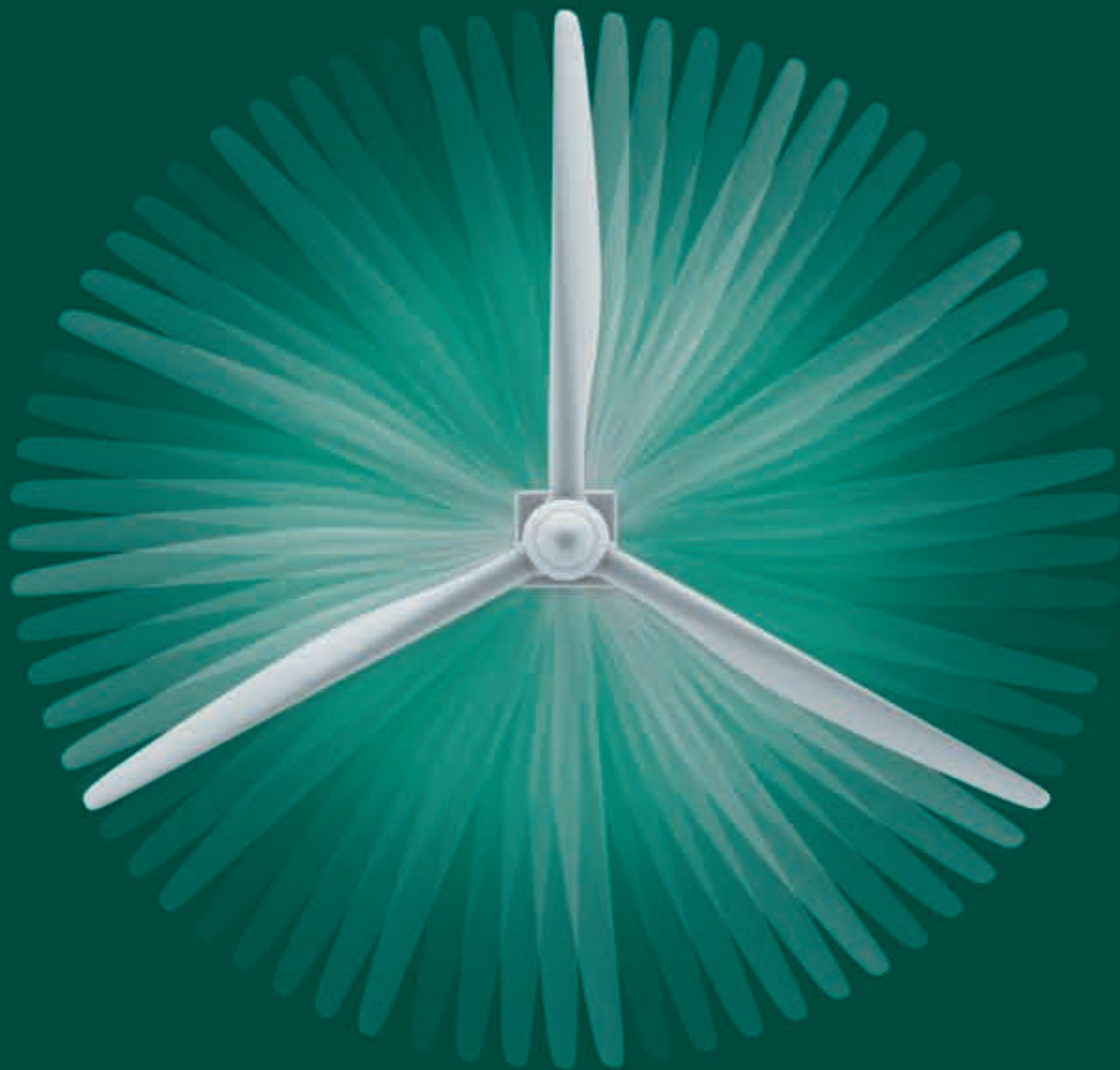


城市轨道交通设备



MEGA

Corrosion Protection Professional



Eco-MEGA
the coating solution

麦加让生活更环保

Tel: +86-21-59100888 Fax: +86-21-59150001 Mail: zhanghuayong@megacoatings.com

www.megacoatings.com

motion for emotion

慧风电，慧未来

将风能转化为电能静静地、
持续地年复一年风雨无阻

► 无外圈轴承—
风力发电增速机用

齿轮内径面直接作为轴承的滚道使用，从而省略了外圈的设计。该设计能够彻底解决外圈打滑的问题，同时通过轴承特殊配列的设置，还可实现更高的承载能力。提高该部位的运转可靠性。



NSK微信公众号



MOTION & CONTROL™
NSK

恩斯克投资有限公司 (NSK中国总部)

www.cn.nsk.com

地址：江苏省昆山市花桥经济开发区恩斯克路8号

电话：+86-512-57963000

传真：+86-512-57963300

邮编：215332

HYDAC

为风力发电机组

齿轮箱润滑冷却系统
发电机、变频器水冷却系统
刹车、变桨矩液压系统
提供完整的解决方案



HYDAC INTERNATIONAL

贺德克液压技术（上海）有限公司

地址：上海市闵行经济技术开发区中屏路28号

邮编：200245

电话：021-64633510

传真：021-64300257

电子邮件：hydacsh@hydac.com.cn

网址：www.hydac.com.cn

世界著名的液压系统、冷却系统制造商

绿色清洁能源的倡导者

截止至2017年12月

湘电风能累积安装运行风机超过4500台套

年均发电量超200亿度

年均减少二氧化碳排放2500万吨





科诺伟业风能设备(北京)有限公司
Corona Wind Energy Equipment (Beijing) Co., Ltd.

海上风电

5.0MW全套电控系统产品



5.0MW海上风电主控系统



5.0MW海上风电变桨系统



5.0MW海上风电变流器



科诺伟业
CORONA

科诺伟业风能设备(北京)有限公司
Corona Wind Energy Equipment (Beijing) Co., Ltd.

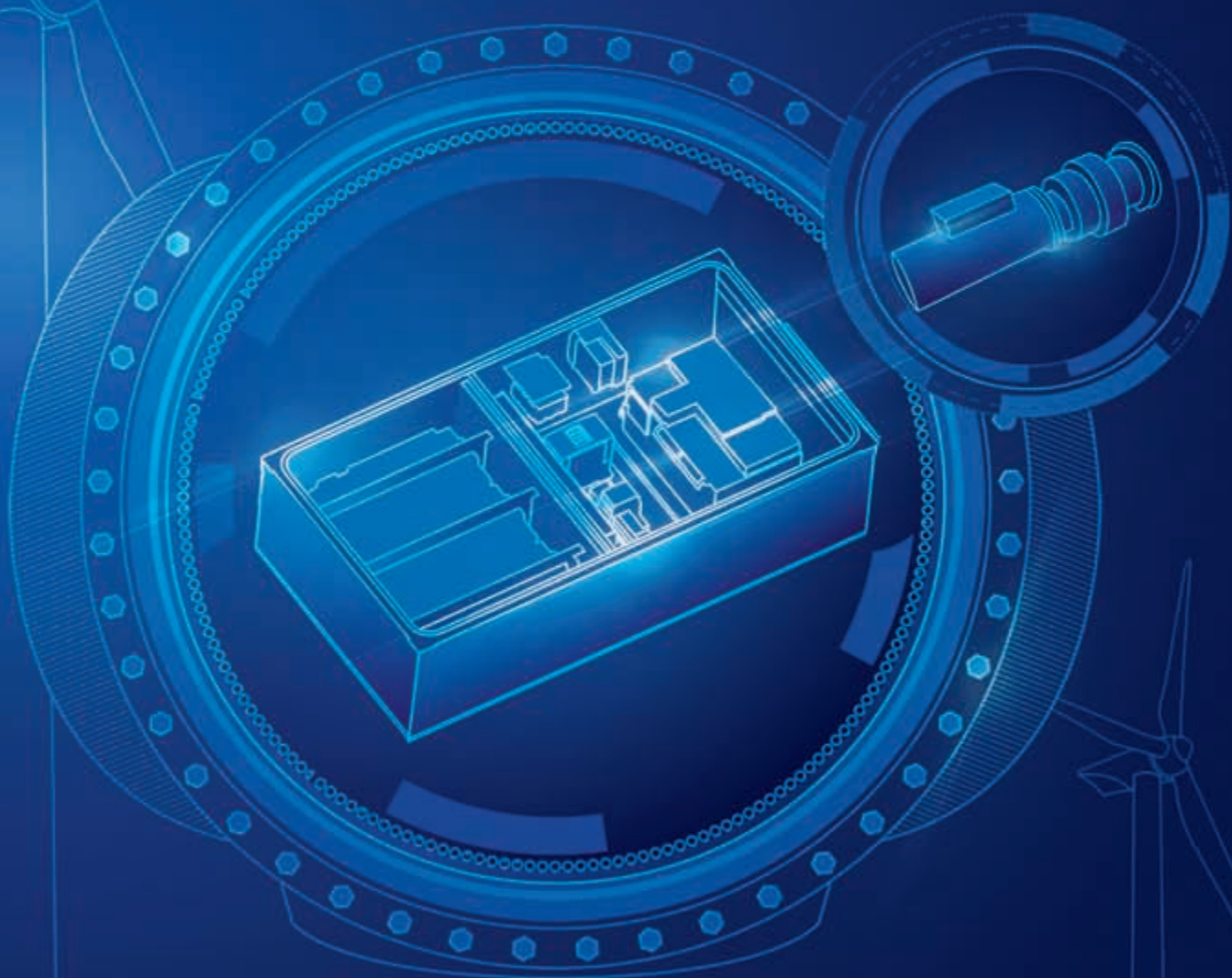
地址: 北京市海淀区王庄路1号清华同方科技广场8座19层
销售热线: 010-82378899-302



新能源 新生活
Renewable Energy Better Life

让电力生产更

安全、高效、智能化



CE GL


ISO 9001 质量体系认证

北京华电天仁电力控制技术有限公司

地址 / Add : 北京市海淀区西四环中路16号院1号楼

电话 / Tel : 010-57658000

网址 / Web : www.gdtianren.com

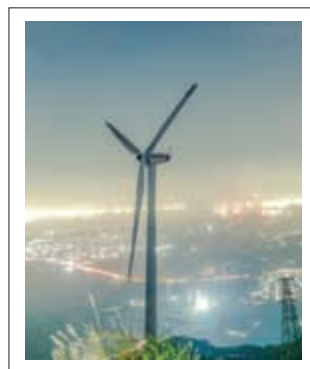


让美好能源， 走进生活

Bring beautiful energy
closer to you

规范风电场建设使用林地 不能以禁代管

文 | 秦海岩



日前，国家林业和草原局印发《关于规范风电场项目建设使用林地的通知（征求意见稿）》，对风电场建设的禁限区域、使用林地范围等作出界定，引发关注。

整体而言，《通知》的下发具有积极意义，其中关于将自然遗产地、国家公园、自然保护区等敏感区域列入风电项目禁限区域的规定，得到了风电行业的普遍赞同，有利于进一步推动风电产业发展和生态保护形成良性互动关系。

然而，《通知》中有关风电场建设一律“禁止使用有林地”的规定则过于僵化和苛刻，属于典型的“一刀切”做法。这种“以禁代管”的行政管理方式，不仅难以产生长远效果，还会伤及相关产业，影响经济建设和发展，给企业和百姓造成困扰，让群众对政策失去理解和信任。国务院、生态环保主管部门都明令禁止此类做法。不久前，生态环境部发文规定，严格禁止“一刀切”，保护合法合规企业权益；并要求各地加强对生态环境保护“一刀切”问题的查处力度，对不作为、乱作为现象，发现一起，查处一起，严肃问责。对于风电行业而言，这种做法同样不可取。实事求是地说，在少数风电项目开发中确实存在林地使用不规范、植被恢复不到位等问题，但这些并非风电产业本身所致，更多的是由监管不严造成的，可以通过加强事中和事后监管等方式予以解决。大量实例证明，规范化建设的林地和山地风电场不会对生态环境造成过度伤害，并能够通过保护和修复措施将损害降到要求的范围内。国内的国电电力宁海茶山风电场、华电郴州太平里风电场，美国的 Beech Ridge 风电场以及德国的 Brandenkopf 风电场等众多项目更是实现了与当地环境和谐共处，成为带动地方经济发展的典型。因此，对于此类问题不能因噎废食，对所有项目一禁了之。否则，我国南方地区和东北部分省份的风电开发会完全陷入停滞，全国风电建设规模将出现断崖式下降，装备制造业及产业链上游企业由此遭受毁灭性打击。不仅如此，风电建设的停滞，势必导致多数省份无法完成非化石能源占一次能源消费比重目标、可再生能源电力配额目标和非水电可再生能源电力消纳量比重目标，最终直接影响我国 2020 年非化石能源占一次能源消费比重达到 15% 目标的实现。由此可见，因地制宜制定风电场建设使用有林地的范围，对于促进风电产业健康发展、改善能源结构、带动县域经济发展具有重要意义。

因此，《通知》还有必要继续完善：首先，应由各省份因地制宜制定风电场建设使用有林地范围。我国不同地域的森林覆盖率、植被恢复能力、地形条件、风能资源条件、新能源消纳等存在显著差异，对风电场建设使用有林地采取“一刀切”的做法显然不符合各地管理实际。应当考虑将风电场建设使用有林地范围的决定权下放到省级政府，由相关主管部门根据自身的情况，并结合国家已出台法律法规中关于林地的使用和保护规定，分别制订本辖区范围内风电场建设使用有林地的政策。国家林业和草原局可以在政策制订过程中提供指导性意见，并严格监管政策的执行，对违规企业依法依规进行严厉处罚。

其次，强化事中、事后监管，避免以禁代管。一是要求风电开发企业应该在项目合同中明确生态恢复的资金制约措施，并在开工前依法健全征林征地手续，建设时切实做好环境保护、水土流失、植被恢复等工作。二是林业主管部门会同有关部门通过强化执法、专项打击违法违规使用林地、建立林业及风电开发黑名单、加大植被恢复验收审查力度等方式强化风电项目使用林地的事中、事后监管。

党的十九大报告要求，加大生态系统保护力度，改革生态环境监管体制，同时也提出发展清洁能源产业，构建清洁低碳、安全高效的能源体系。可以说，开展生态保护与推进能源绿色化都是我国实现生态文明建设的必由之路。因此，对于这些方面的管理必须服从国家发展大局，制定相关政策时理应慎之又慎，各项规定都要做到科学有据、因地制宜，切不可“以禁代管”，懒政思维要不得。❖

26

封面故事 Cover Story

你也能有一个两全其美的电源

火电、核电、水电、光电、风电、生物质发电，哪类电源能让你既有眼前苟且的生存，又有诗和远方的生活？



12 专栏 Column

关于弃风限电的十大科学认知

对话 Dialogue



18 发展分散式风电亟需更细致的顶层设计

专访新疆金风科技股份有限公司副总裁兼北京天润新能投资有限公司董事长刘日新



22 分散式风电开发应成为精准扶贫新路径

专访浙江运达风电股份有限公司董事长杨震宇



历史回眸

2011年9月，由国家能源局审定并发布的《风电场电能质量测试方法》对风电场电能测试的前提条件作了详细表述。《办法》规定，风电场电能质量测试期间，风电场内实际运行容量大于额定容量的95%才能进行测试，风电场实际并网状况不应变化。但在测试时，允许有5%额定容量的机组停止运行。该《办法》是基于对风电机组制造商和风电

场开发者的广泛调研和对国外类似标准的研究分析，结合我国风电场运行现状以及电网运行对风电场电能质量的要求制定的。通过现场测试风电场的电能质量参数，更有利于确保系统安全可靠供电，并满足电网的电能质量要求。该《办法》的出台，标志着我国向先进的风电标准体系又迈出了重要一步，能够有力推动我国由风电大国向风电强国转变。



40余年的坚守 只为绿色能源点亮生活

绿色创想，驱动未来

矢志不渝，永在追风路上

风电拓荒者

深信中国风电资源，始终坚持创新驱动



浙江运达风电股份有限公司
地址：浙江省杭州市文二路391号
西湖国际科技大厦A座22F
电话：0571-87397666
网址：www.chinawindey.com





《风能》杂志在线阅读网站
www.cwea.org.cn

卷首语/ From The Editor

- 01 规范风电场建设使用林地不能以禁代管 / 秦海岩

08 风向/ Direction

专栏/ Column

- 12 关于弃风限电的十大科学认知 / 张树伟

现场/ Presence

- 16 黄土高坡上的风电抢修故事 / 李林

对话/ Dialogue

- 18 发展分散式风电亟需更细致的顶层设计
22 分散式风电开发应成为精准扶贫新路径

封面故事/ Cover Story

- 26 你也能有一个两全其美的电源 / 葛林志

公司/ Company

- 34 FreeMeso: 资源选址, 只需要一部手机 / 皮光明, 马骞, 董海萍, 王乾坤

调研/ Survey

- 38 海上风电机组重力式基础发展回顾 / 杨威, 林毅峰, 张权

海上风电/ Offshore Wind Power

- 44 2018年上半年德国新增海上风电装机430MW / 夏云峰

国际/ International

- 48 风电行业: 美国退役军人新去处 / 孙一琳

产业/ Industry

- 52 浅析“互联网+”对风电设计业务发展的启示 / 胡己坤, 刘玮, 袁红亮, 高洁

风电场/ Wind Farm

- 56 复杂地形不同测风年数据对风电场发电量推算的影响研究 / 苏中堂, 李诗峰, 曹胜平

技术/ Technology

- 64 纵向变厚度钢板在风电塔筒中的应用及力学性能研究 / 丁宇楠, 刘明, 李文斌, 祝磊
68 风电机组远程故障处理及容错运行 / 王明军
72 风储系统最优运行策略研究 / 刘兵, 银磊, 张新宇, 王禹力
78 海上风电植入式单桩施工稳桩系统研究 / 曹淑刚, 迟岩, 韩毅平, 张晗
84 风电机组并网开关回路问题的处理探索 / 姜山

广告索引

| | |
|--------|---------|
| 封面拉页 | 中国海装 |
| 封二 | 联合动力 |
| 扉页 1 | 中国中车 |
| 扉页 2-3 | 中际联合 |
| 扉页 4 | 长城润滑油 |
| 扉页 5 | 赛米控 |
| 扉页 6 | 麦加涂料 |
| 扉页 7 | 恩斯克 |
| 扉页 8 | 贺德克 |
| 扉页 9 | 湘电 |
| 扉页 10 | 科诺伟业 |
| 扉页 11 | 华电天仁 |
| 卷首语对页 | 远景能源 |
| 目录对页 1 | 运达风电 |
| 目录对页 2 | 金风科技 |
| 版权对页 | 南高齿 |
| P21 | 歌美飒 |
| P25 | 中科宇能 |
| P33 | 科凯前卫 |
| P37 | 太原重工 |
| P43 | 弗兰德 |
| P55 | 埃斯倍 |
| P63 | 莱茵科技 |
| P67 | CWP2018 |
| P77 | 鉴衡认证 |
| 后彩一 | 敏泰液压 |
| 封三 | 重齿 |
| 封底 | 罗特艾德 |



GOLDWIND
金风科技

直驱未来
点亮世界



www.goldwind.com.cn
新疆乌鲁木齐经济技术开发区上海路107号

微信二维码



中国可再生能源学会风能专业委员会
2018年第09期

| | 顾问 | Consultant | | | | | |
|-----|----------------|--|---------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| 石定寰 | 史立山 | 杜祥琬 | 黄其励 | Shi Dinghuan | Shi Lishan | Du Xiangwan | Huang Qili |
| 徐建中 | 倪维斗 | 胡文瑞 | 杨裕生 | Xu Jianzhong | Ni Weidou | Hu Wenrui | Yang Yusheng |
| 李宝山 | 韩文科 | 朱俊生 | 贺德馨 | Li Baoshan | Han Wenke | Zhu Junsheng | He Dexin |
| 王承熙 | 朱瑞兆 | 戴慧珠 | 马学禄 | Wang Chengxi | Zhu Ruizhao | Dai Huizhu | Ma Xuelu |
| 王斯永 | 吴运东 | 齐同庆 | 于午铭 | Wang Siyong | Wu Yundong | Qi Tongqing | Yu Wuming |
| | | 宫靖远 | Gong Jingyuan | | | | |
| | 社长：夏丽华 | President: Xia Lihua | | | | | |
| | 主编：施鹏飞 | Editor-in-Chief: Shi Pengfei | | | | | |
| | 执行主编：秦海岩 | Executive Editor-in-Chief: Qin Haiyan | | | | | |
| | 副主编：王仲颖 于贵勇 | Associate Editor-in-Chief: Wang Zhongying Yu Guiyong | | | | | |
| | 编辑部主任：秦海岩（兼） | Editorial Director: Qin Haiyan | | | | | |
| | 编辑部副主任：薛辰 夏云峰 | Deputy Editorial Director: Xue Chen Xia Yunfeng | | | | | |
| | 主笔：曹宏源 | Editor in Chief: Cao Hongyuan | | | | | |
| | 编辑：时春景 张雪伟 孙一琳 | Editor: Shi Chunjing Zhang Xuewei Sun Yilin | | | | | |
| | 本期责编：夏云峰 | Duty Editor: Xia Yunfeng | | | | | |
| | 视觉设计：荆莹 刘湛 | Visual design: Jing Ying Liu Zhan | | | | | |
| | 广告部经理：张烨 | Advertising Manager: Zhang Ye | | | | | |
| | 发行部经理：张烨 | Distribution Manager: Zhang Ye | | | | | |

| | |
|---------------------------|--|
| 编辑制作：《风能》杂志社 | Produced by: Wind Energy Magazine |
| 地址：北京市北三环东路28号 | Address: Room 1108, Yiheng Building, No.28, |
| 易亨大厦1108 | the 3rd Ring Road East, Beijing, P. R. China |
| 邮编：100013 | Zip Code: 100013 |
| 电话：010-59796665-3953（编辑部） | Tel: 010-59796665-3953（Editorial） |
| 010-59796665-3501（广告部） | 010-59796665-3501（Advertising） |
| 010-59796665-3501（发行部） | 010-59796665-3501（Distribution） |
| 传真：010-64228215 | Fax: 010-64228215 |
| 投稿邮箱：gaojian@cwea.org.cn | E-mail: gaojian@cwea.org.cn |

国际标准刊号：ISSN 1674-9219
国内统一刊号：CN 11-5942/TK
广告发布登记号：京海工商广登字20170178号
印刷：北京久佳印刷有限责任公司
出版日期：每月6日出版
发行范围：全国发行
国内定价：人民币25元

声明

- ◆本刊图文版权所有，如需转载，请与本刊编辑部联系。
- ◆向本刊投稿（图片）文责自负，由作者原稿产生的版权或其他法律责任，本刊概不承担连带责任。
- ◆为适应我国信息化建设，扩大本刊及作者知识信息交流渠道，本刊已被《中文科技期刊数据库》（维普网）、龙源期刊网、《中国核心期刊（遴选）数据库》、中国知网等多个数据库收录，并在相关网站提供在线阅读和下载服务。如作者不同意文章被收录或数字出版，请在来稿时向本刊书面声明，本刊将做适当处理。



欢迎莅临南高齿展位W3-C13

南高齿 齿轮箱与动力传动系统解决方案专家

南高齿风电信息化齿轮箱全生命周期管理系统包含多个智能信息化可扩展模块，在推动互联网技术与用户需求对接的基础上，实现大数据采集应用以及产品的信息化，为客户带来优化生产水平、管理效率、安全性能和盈利水平的一体化智能解决方案。



国家相关部门规范风电场项目建设使用林地

近期，国家林业和草原局在组织调研和专家咨询的基础上，起草了《关于规范风电场项目建设使用林地的通知》。

《通知》要求，划定风电场建设禁限区域。严格保护生态功能重要、生态脆弱敏感区域的林地，特别是天然林资源。将自然遗产地、国家公园、自然保护区、森林公园、湿地公园、地质公园、风景名胜区、江河源头汇水区、东北内蒙古重点国有林区、沿海基干林带和消浪林带等区域划为风电场项目禁止建设区域。其他生态区位重要、生态脆弱、地形破碎区域，为风电场项目

限制建设区域，具体范围由各省、自治区、直辖市确定。

《通知》提出，严格风电场建设使用林地范围。风电场建设应节约集约使用林地，风电机组基础、施工和检修道路、升压站、输电线路等风电场设施，禁止使用有林地及一级国家级公益林地。

《通知》还指出，加强对风电场建设使用林地的指导和监管。各级林业主管部门要提前介入测风选址工作，指导建设单位避让生态脆弱区和生态敏感区；定期检查，依法严厉打击未批先占、少批多占、

拆分报批、以其他名义骗取使用林地许可等违法违规行为；对野蛮施工破坏林地、林木的，未及时恢复林业生产条件及弄虚作假骗取使用林地行政许可的风电场项目及其建设单位，要依法追责，列入林业系统黑名单，限制该建设单位后续风电场项目使用林地；对因野蛮施工损毁林地、林木的，一经发现，应及时下达整改通知书，责令停止施工，限期清理废弃砂石渣土并恢复植被，验收合格后方可复工。各派驻森林资源监督机构应当加强对风电场项目建设的监督检查。

两项分散式风电规划通过青海省能源局评审

日前，青海省电力设计院系统处、新能源处完成了《海南州分散式风电发展规划》及《黄南州分散式风电发展规划》，并于8月17日、8月21日由青海省能源局主持召开了评审会议，省、州、县相关部门领导及特聘专家出席会议，会议一致通过了两份规划报告，并提出了完善意见。

设计院根据相关部委下发的分散式风电的相关文件制定规划大纲，并组织人员赴现场进行踏勘及基础数据的收集，之后展开规划报告的编制工作。

规划报告研究了各规划区域自然地理和社会概况、电力系统现状及发展、相关地区的负荷及发展情况，依托相关变电站的消纳能力及周边风能资源情况开展了布局落点，并分析了规划项目的经济效益、环保效益及社会效益。海南州及黄南州分散式风电发展规划响应了国家能源局的号召，创新风电开发模式，对促进地区风电产业的可持续发展具有重要意义。另外，以就地消纳为原则的分散式风电项目，对于促进地区经济发展具有积极作用。

国家能源局：将推动风电与取暖用户直接交易

8月25日，2018国际清洁取暖峰会暨工程应用展（ICHE）在河北雄安新区举行。会议聚焦当前清洁取暖的热点、难点，展望清洁取暖的未来发展。峰会同时启动了“2019国际清洁取暖工程应用展暨峰会”，集中展示清洁取暖领域的高端环保装备、先进环保技术系统解决方案与最新服务模式。

国家能源局总经济师郭

智表示，推进清洁取暖规划的落实要坚持因地制宜，采用宜电则电、宜煤则煤的供暖方式，循序渐进地推动北方地区冬季清洁取暖工作。国家能源局将从推动风电与取暖用户直接交易，提升天然气供应能力，积极推进生物质、地热、太阳能等可再生能源取暖等方面，推进清洁能源利用。督促地方政府做好新

旧供暖方式的衔接，确保群众温暖过冬。

目前，中国北方地区清洁取暖比例为34%。根据十部委去年底共同发布的《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021）》，到2019年，中国北方地区清洁取暖率将达50%，替代散烧煤7400万吨；到2021年，北方地区清洁取暖率将达70%，替代散烧煤1.5亿吨。



浙江发布加强能源控制的方案

8月28日，浙江省发展改革委起草了《进一步加强能源“双控”推动高质量发展实施方案（2018-2020年）》（征求意见稿）。《方案》要求，到2020年，建立能源“双控”倒逼转型升级体系；在各市平衡基础上，累计腾出用能空间600万吨标准煤以上；完成“十三五”能源“双控”和煤炭消费总量控制目标任

务，全省单位GDP能耗年均下降3.7%以上，能源消耗总量年均增长2.3%以内，煤炭消费总量比2015年下降5%以上、控制在1.31亿吨以内。

《方案》提出，着力发展可再生能源，大力发展风电、光伏、生物质发电等可再生能源。2018年，新增非水可再生能源57万吨标准煤，其中，新增风

电15万千瓦、光伏发电200万千瓦、生物质发电4万千瓦。2019年，新增非水可再生能源21万吨标准煤，其中，新增风电5万千瓦、光伏发电50万千瓦、生物质发电10万千瓦。2020年，新增非水可再生能源24万吨标准煤，其中，新增风电10万千瓦、光伏发电50万千瓦、生物质发电10万千瓦。

山西风电光伏发电装机快速增长

截至8月底，山西全网并网新能源总装机容量1745.8万千瓦，占全省总装机容量的20.8%。风电累计发电量132.99亿千瓦时，同比增长40.91%；光伏累计发电量60.44亿千瓦时，同比增长82.76%。

近年来山西大力推进以风电、光伏为主的新能源项目，全省风电、光伏发电装机容量快速增长。在全省新能源装机快速增长的同时，山西电网积极提升新能源并网发电运行和优先消纳的管理水平，努力降低弃光、弃风、弃水“三弃”。首先是出台政策保障。继国家电网

公司出台促进新能源消纳“二十条”后，国网山西省电力公司及时制定落实调控管理“新十七条”措施，推出全方位、全过程、全时序的精细化管控措施，保证在全年新增百万千瓦风电和280万千瓦光伏基础上，实现风、光新能源的充分消纳。其次是创新优化调度手段。强化新能源功率预测，精准计算消纳空间，坚决执行优先调度原则，充分发挥西龙池抽蓄电站调峰优势，实施火电机组深度调峰和启停调峰，全方位支持新能源消纳。功率预测准确率提

升至92.3%，名列华北区域第一，在国家电网公司系统领先。

加快消除网架瓶颈也是降低“三弃”的有效措施。投资10亿元建设寿阳等地光伏基地和全省扶贫光伏工程建设。积极支持晋北风电基地建设和中南部低风速资源开发，按期完成雁淮直流特高压启动投产任务，大幅缓解朔州地区风电受阻问题，减少弃风电量约4亿千瓦时。据了解，截至8月31日，全省新能源弃电量0.82亿千瓦时，同比降低91.42%；弃电率0.45%，同比减少6.88个百分点。

潍坊风电并网装机居山东省第二位

近年来，受国家对新能源发电优惠政策影响，以风电、光伏为代表的新能源发展迅猛。为最大限度接纳新能源并网发电，国网潍坊供电公司多措并举保障潍坊电网安全稳定运行。加强新能源发电机理特性研究；加强新能源并网验收管理，新能源调度运行管理；强化新能源并网场站人员业务素质培训；建立市县一体化的分布式新能源并网调度管理制度和业务流程等，合理安排电网运行方式，积极为新能源并网、消纳创造条件。

潍坊电网新能源日发电量突破去年新高的2831.79万千瓦时，达到3162.8万千瓦时，新能源日发电量占当日省调调度用电量的23.35%。其中，风电日发电量突破去年的纪录——2500万千瓦时，达到2738.94万千瓦时，风电日发电量创历史新高。

截至日前，潍坊电网已并网风电场达到19座，装机容量达175.22万千瓦，居全省第二位；并网集中式光伏电站31个，并网容量100.5万千瓦，居全省第一位；并网分布式光伏发电1.8万余家，并网容量约90万千瓦，居全省第一位。



中国海装5MW海上风电机组将亮相智博会

由中国海装自主研发的智能装备 5MW 海上风电机组将亮相智博会，该机组的最大风轮直径达 171 米，是目前全球风轮直径最大的海上风电机组。

5MW 海上风电机组分为 H128-5MW、H151-5MW、H171-5MW 三种机型，在同类型机型中实现了“三个之

最”，即“风轮直径最大、机头重量最轻、发电量最高”。其中，H171-5MW 的风轮直径超过 2 架并排的 A380 客机宽度。该机型创造了多项世界纪录，整体技术达到世界先进水平。在风电机组满发情况下，一台机组一年发电 1500 万千瓦时。



明阳智能与国家电投签署全面深化战略合作协议

8 月 19 日，明阳智慧能源集团股份有限公司与国家电力投资集团公司在广州举行全面深化战略合作协议签字仪式。国家电力投资集团公司董事长、党组书记钱智民和明阳智慧能源集团股份有限公司董事长兼首席执行官张传卫共同出席仪式并见证签约。

根据签署的深化战略合作协议，双方将建立定期交流工作机制，共同开展全方位广泛技术合作，并围绕海上风电场尾流及湍流强度、漂浮式海上风电基础开发、智慧能源优化调度系统研究和基于区块链的智慧能源交易系统开发等进行全面合作研发。



华电集团首个青海风电项目进入安装阶段

8 月 30 日，青海华电诺木洪风电项目首台风电机组第一节塔筒伴随着吊车吊臂的缓缓上升，在空中完成“接轨仪式”，标志着华电集团在青海的首个风电项目正

式进入安装阶段。该风电项目位于青海省都兰县宗加镇，占地面积约为 130.65 亩，场区海拔约为 2810 ~ 2865 米，安装了 25 台 2.0MW 风电机组。

项目初期，华电集团制定吊装专项方案和应急预案，提前开展吊装方案评审、质量监督检查等专题会议，为风电机组吊装奠定了坚实基础。下一步，华电集

团将进一步总结经验，跟踪设备供货，协调设备运输，合理安排风电机组吊装，稳步推进箱变和集电线路施工，确保诺木洪风电项目按期投产发电。

数据

110 万千瓦

中国电建华东勘测设计研究院有限公司正计划在中国东部江苏省沿海 90 公里处开发一座具有突破性的 110 万千瓦海上风电场，同时将建成我国第一个海上高压柔性直流输电系统。

5500 米

西藏措美北控 4.9 万千瓦风电场升压站综合楼基础混凝土开仓浇筑，标志着这一世界海拔最高的风电场建设进入实质性施工阶段。场区海拔高度在 4850 米 ~ 5500 米之间，场址面积约 14 平方公里。

120 亿美元

美国能源经济与金融分析研究所 (IEEFA) 表示，私营和国有中国企业积极利用快速增长的可再生能源市场，加大对海外风电项目的投资力度。中国在欧洲和澳大利亚风电市场的投资超过 120 亿美元。



国际热点



英国

英国政府宣布，计划从2019年4月开始废止新能源发电上网电价补贴（Feed-in-Tariff, FiT）政策。影响评估的分析结果显示，取消FiT政策与继续执行该补贴政策相比，消费者的年度能源费用将节省13亿到19亿英镑。提案正处于征求意见阶段，截止日期为2018年9月13日。

希腊

希腊小岛蒂洛斯（Tilos）拥有优美的生态环境与海洋景致，而近期该岛将通过安装200千瓦的太阳能发电设备、800千瓦的风力发电设备与容量为0.24万千瓦时的储能系统，成为地中海首个100%由可再生能源供电的绿色岛屿。目前，技术人员正在对系统进行最后测试，预计在2018年下半年全面运行。

巴西

根据巴西电力交易商会CCEE的数据。截至6月底，该国风电装机容量达到1318万千瓦，同比增长19.8%。CCEE表示，2018年上半年，518家运营中的风电场发电量占总发电量的比例增加到6.5%。

印度

印度新能源和可再生能源部计划在古吉拉特邦海岸附近建立一座百万千瓦级的海上风电场。并宣布海上风电的发展目标，即到2022年安装500万千瓦的海上风电装机。到2030年，完成3000万千瓦的目标。

200 万千瓦

根据美国能源部国家可再生能源实验室（NREL）的数据，截至2018年6月底，美国海上风电待开发项目的装机容量总计2546万千瓦，预计到2023年，将有200万千瓦的项目投产运营。

65.9 万千瓦

丹麦Ørsted能源及其合作伙伴日前宣布，位于爱尔兰海的Walney Extension海上风电场正式开工建设，总装机容量达到65.9万千瓦，所产生的电力能满足约60万家庭的用电需求，超过英国的伦敦阵列，是目前世界上最大的海上风电场。

10.55 万

美国能源部发布的一份报告显示，2017年，美国风电行业创造了105500个全职工作岗位，包括建筑、开发和运输以及从事机组制造和供应链方面的工人。约18700个全职工作与风电场的运营和维护有关。



关于弃风限电的十大科学认知

文 | 本刊特约评论员 张树伟

在前几期的专栏文章中，我们对国内存在的弃风限电顽疾进行了多角度的剖析。本期，我们按照弃风问题的描述性理解、性质、原因、未来的可能变化、应对的手段、应对的价值、可再生能源发展存在的风险与不确定性、彻底解决弃风问题的技术和经济以及政治途径，对前面提及的问题给出十个方面的主要论述。这将构成各位读者必须知晓的弃风限电的“十大科学认知”。因此，本期专栏也是“弃风限电”专题讨论的总结篇。

总体而言，关于我国的严重“弃风”：

从技术上讲，是传统电力系统运行的僵直（甚至以此为美，优先考虑长期计划、基荷运行）与可再生能源发电的出力特点格格不入的问题，特别是涉及跨省跨区线路与省内火电年度计划约束。在不同地区，各种因素在引发弃风问题中所起到的作用可能不尽相同，包括系统平衡困难、网络

阻塞、调度模式与分辨率等。

从经济上讲，是缺乏经济调度与统一市场内生出各种电源市场份额的问题。从年尺度到天、再到小时，存在调度自由量裁空间过大的问题。而过去在界定问题时，往往跳过了经济层面的整体损失，直接将其归为一个划分损益的政治问题。

从政治上讲，是对弃风的经济责任缺乏清晰认定的问题，而广泛存在的“先来先得”计划思维是对新的、更低成本（指的是已建成项目）的发电商的歧视，把市场份额问题错误地归结为系统调峰辅助服务。随着可再生能源规模和参与者数量的扩大，以及整体宏观形势的变化，这一局面正在得到极大改善。

要解决“弃风”问题，建立经济调度与统一市场是各种视角下的共同思路，区别仅在于实现这两个目标的方式是什么。那么在未来若干年，这一问题能够得到有效解决吗？作为谨慎的乐观主义者，笔者对此的答案是一个复杂的“可以解决”，这一点从之前的专栏文章中已经可以看出。

希望此次专题能够引发更多的讨论，共同促进我国能源转型事业的进步。

认知之一：在我国，弃风的更准确名称应该为“控风”

考虑到奇高的弃风率，弃风的准确名称应该为“控风”，因为在弃风率如此高的情况下，煤电设备的利用小时数依然那么高，一定存在非技术与人为干预的因素，属于人为控制风电出力。这种弃风，一方面，是风电项目业主的损失，另一方面，也是消费者的损失。因为其不能占据市场份额，无法最大限度地通过调度优先次序效应（merit-order effect）促进利润从电力生产者向电力消费者有效转移。

考虑到奇高的弃风率，弃风的准确名称应该为“控风”，因为存在非技术与人为干预的因素，属于人为控制风电出力。

不发电就没有收益，而不是根据市场的竞争排序结果与系统安全运行约束确定财务责任，这种将物理运行与财务结算混为一谈的范式极大地损害了可再生能源发电商的正当利益。

认知之二：解决弃风问题的困难在于可再生能源具有的强烈再分配效应与传统的系统运行以及既有主体之间存在冲突

在传统的规划中，“明年需求增长100万千瓦，增加100万千瓦装机，火电80万千瓦，水电20万千瓦，正好完美，电源结构保持不变”这样的基本方法论充斥其中。

与传统发电模式相比，可再生能源机组的出力与用电需求的非同时性更大。这必然意味着：（1）一些机组在很大程度上仍需要去满足尖峰负荷，利用率会下降；（2）在部分时间段，必然会出现装机远高于需求的情况，甚至是仅可再生能源装机就超过了总负荷。此时必须有相应的竞争机制，来决定过剩机组的市场份额。即使有负荷的增长，但是由于剩余负荷曲线的形状发生了很大变化，系统的合理结构也必须做出相应改变。

可再生能源进入电力系统，具有区分“赢家”与“输家”的再分配效应。传统基荷部分将逐渐缩小乃至消失，这对于一些投资成本高的基荷电源（过去的所谓主力与稳定电源），绝对不是好消息。

认知之三：弃风的根本原因在于电力系统缺乏显性有效的竞争机制，使得风电的市场份额无法通过竞争来确定

如果将对弃风的探讨限制在经济范

畴内，那么电力系统缺乏竞争为基础的市场份额决定机制是导致该问题的根本原因。技术上核定的煤电最小出力高达50%~60%，是非常保守的；省际与地区间联络线的运行计划安排不是基于市场原则进行调整的，而是一种凌驾于市场之上的特权。所谓可再生能源增量现货交易的逻辑也在于此。

一言以蔽之，从经济视角来看，之所以出现如此严重的弃风问题，市场未能发挥决定性作用是本质性原因。

认知之四：弃风情况在今后几年可能有所改善，但也可能出现反弹，这取决于多种政治、经济与技术因素

如果法律上规定了可再生能源优先调度，那么调度部门在安排开机组合计划时必须先考虑让可再生能源发电设备出力，然后才是其他机组满足剩余需求（比如一年8760小时的剩余负荷曲线）的问题。因此，只要明确这一法律要求，那么风电即使不参与其中，也会对市场产生影响。同时，管制的电力系统也完全可以没有如此高比例的弃风。在欧美地区，经济调度早在放松管制之前就已经推行了，因此，其系统可以平滑地从只有可控机组发电过渡到波动性电源结构。而我国所谓的“平均调度”原则往往仅限于年尺度上，在低于年尺度上，仍旧缺少明确规则，调度的自由量裁权显得过大。

我国的弃风问题正在逐步得以改善，这主要得益于整个可再生能源行业的力量壮大，以及其与更宏大的政治、经济目标之间的正向联系。但是，如果未来政治上对实现这种目标的迫切性有所减弱，那么在一个不是以竞争性为主的市场中，弃风情况仍有可能出现反弹。

从经济视角来看，之所以出现如此严重的弃风问题，市场未能发挥决定性作用是本质性原因。



认知之五：应对弃风的手段应具有明确的价值标准——成本最小化或者全社会福利最大化

建立成本最小化或者全社会福利最大化的价值观，是避免将弃风的原因变成对存在问题的另外一种描述（需求不足、线路不够等）的前提。从解决方案的角度而言，“药方”必须具有明确的价值标准，不能以“搞定就是本事”为价值观。

建造一个无比巨大、完全不阻塞的超级电网的确可以解决弃风问题，比如对于每年 1 小时 10 万千瓦水平的阻塞，也通过额外新建一条线路来解决。但是，这种解决方案是缺乏价值标准的，无法回答其收益是否大于成本的问题，以及是否存在成本更低的方案（例如对弃风给予补偿）的问题。

认知之六：应对弃风具有极大的社会价值，是中国实现国内优先议程与国际承诺的必要条件

面对多种现实经济、能源的不确定性，风电与光伏的发展为兑现在应对气候变化方面所做出的国际承诺以及到 2050 年使非化石能源发电量占 50% 的目标提供了“保证”。这种不确定性包括：比预期更慢或者更有限的水电与核电发展、经济增长的不确定性、能源效率提升的快慢。

大体上来说，风电和光伏需要保持过去 10 年的增长速度，才能确保到 2030 年实现非化石能源在一次能

源消费中的比重达到 20% 的目标；需要保持更快的增长速度，才能实现非化石能源发电量占 50% 的目标，即达到《能源生产与消费革命战略（2016—2030）》的要求。如果不解决弃风问题，再加上存在各种不确定性因素，那么为实现上述目标，风电、光伏装机的增长速度需要至少提高 60%~100%。这已经超过现实装机增长速度的可能范围，甚至存在很多操作性约束，比如土地空间、人力资源，甚至是短期内的制造与安装能力等。

认知之七：风险与不确定性主要存在于电力的市场化改革，以及整体宏观经济形势和可再生能源支持政策方面

在可再生能源支持政策中，补贴水平不超过 2 分钱 / 千瓦时目前俨然已经是一个“降电价”氛围下的政治性约束。基于竞争原则确定风电、光伏价格的政策已经推出或者即将实施。这将改善还是增加补贴账户的平衡压力，仍然是一个存在不确定性的问题。

可再生能源自身的成本并不是一直处于下降之中。大宗商品价格的上涨、资源条件的劣化、资本成本的上涨，都将推动可再生能源成本（如果以度电成本衡量）上升。

电力市场化改革的意愿正在增强，但是现实的体制与政策安排并没有使改革滑入“不可逆的轨道”。2018 年，进行了局部地区短期市场（一般指的是短于天的市场，习惯上称为现货）试点；2020 年，将开展全国现货交易试点，现在来看，这依然是

建立成本最小化或者全社会福利最大化的价值观，是避免将弃风的原因变成对存在问题的另外一种描述的前提。

一个遥不可及的目标。由于调度体系的原因，目前的市场是高度割裂的，比如外送电与本地用电仍旧是割裂的。这些都意味着，改革随时有可能出现倒退。

认知之八：解决弃风的技术手段

极大地提升调度的系统平衡分辨率，改变“区域与跨区计划优先”的调度体系，可以在很大程度上降低风电、光伏发电对系统平衡备用需求的影响。储能与先进的 IT 技术也有望在小的时间尺度上改善弃风，促进自我平衡调度的实现。技术进步有可能直截了当地解决问题，但是技术进步本身往往是可遇而不可求的。

认知之九：解决弃风的经济手段

即使没有电力市场化改革，平均调度都是不符合经济逻辑的。经济调度与市场竞争将自动实现可再生能源的优先调度。经济调度需要得到透明地贯彻执行。

彻底消灭点对点、点对网的基荷送电对大幅度降低控风率是尤为关键的。市场的开放性与统一性要求这些新增电源先并入当地电网，在本地实现平衡，再以“网对网”的方式外送，这才是符合整体经济效率的做法，也符合建设统一市场与实现电力“均一产品”消费价值的要求。要实现经济调度的基本目标，调度的时间尺度、开机组合计划的精细化程度都必须进行改变。

认知之十：解决弃风的政治手段

增加调度运行数据的透明化，这已经成为理解并解决我国电力系统与行业

几乎所有问题的关键所在。没有对系统运行与调度模式的全面、深入理解，多数政策建议与目标都只能是缘木求鱼。

在供给侧停止新建任何传统燃煤机组，从系统最优结构意义的层面而言，是存在充分理由的。笔者在此前的文章中多次指出，定义落后产能时应基于经济效率，而不是能源效率。在目前的环境下，越大型的机组往往越落后。通过行政手段关停超过 20% 的百万千瓦以上的大容量煤电机组，这部分是系统灵活性与资本回收意义上的“落后产能”，将减少它们在市场争夺上的政治与话语优势。

最后，让我们用这 10 期专栏的文章标题列表来结束“揭秘‘弃风限电’的真相”专题的讨论：

揭秘“弃风限电”的真相（一）：电力需求放缓构成弃风加剧的原因吗？

揭秘“弃风限电”的真相（二）：“电源与电网不协调”构成弃风加剧的原因吗？

揭秘“弃风限电”的真相（三）：扩大外送是解决严重弃风的正确药方吗？

揭秘“弃风限电”的真相（四）：风火发电为什么要“打捆”外送？

揭秘“弃风限电”的真相（五）：系统“调峰能力与辅助服务”是啥意思？

揭秘“弃风限电”的真相（六）：何为现货市场？现货市场解决什么问题？

揭秘“弃风限电”的真相（七）：IT 与新的商业模式有望改善弃风吗？

揭秘“弃风限电”的真相（八）：有效信息披露对缓解弃风限电的作用。

揭秘“弃风限电”的真相（九）：电力市场背景下的“协调”到底是什么意思？

揭秘“弃风限电”的真相（十）：关于弃风限电的十大科学认知。 [作者单位：卓尔德环境研究（北京）中心（DERC）]

彻底消灭点对点、点对网的基荷送电对大幅度降低控风率是尤为关键的。

黄土高坡上的风电抢修故事

文 | 李林



七、八月的陕西定边，一场场大雨如约而至。这片古老的黄土地也热闹了起来，雨水冲刷着黄土，形成一条条小“黄河”，别有一番韵味。

就在这陕、甘、宁、蒙四省区交界的边陲小县，驻扎着一群年轻人。与那些追求物质享受的年轻人不同，这里生活条件艰苦，偏远得有时连个新面孔都见不着，他们却甘愿驻扎在这里。这就是陕西定边董新庄风电场的上海电气项目团队。团队里的8个人每天忙着定检巡检，做着熟练的工作，一切都与往常一样。突如其来的一场特大暴雨却打破了这份平静。

“紧急情况！有几台机组通信中断，情况不明，请速来中控室一趟。”上海电气现场项目经理韩光召接到了业主的电话。

黄土高坡上地形地貌复杂，每次大雨都会卷走大量泥土。

每次下雨前，韩经理的项目团队都会做好防汛准备，就连箱变设备项目团队都用砖石将设备围起来，防止泥土倒灌引发安全事故，这次也不例外。暴雨下得实在太太大，午后两点钟开始下，到六点了都没有停。对于通信中断，可大意不得，这意味着将无法掌控风电机组的运行情况。往往未知才是最可怕的，暴雨再加上泥石流对风电设备的冲击，什么安全事故都有可能发生，倒塔、飞车、着火……韩经理来不

及多想，二话不说立即赶到了国家电投董新庄风电场的中控室。

业主反映，此前 8 台风电机组通信突然出现中断，原因不明。韩经理马上开始了故障排除工作。通过电脑连接交换机的方法一个个试连，最终确定问题出现在 39 号机组上。

他召集了项目团队与业主一起赶往风电场进行维修。平常，两支队伍一起打篮球、乒乓球时针锋相对，谁也不让谁；真正遇到事情，大家却是众志成城，一点都不含糊。然而，一切并没有想象的那么顺利。

天渐渐黑了。大家冒雨驱车 20 多公里，眼见快到风电场了，却遇到新的难题。由于暴雨，大量的泥流横穿路面，又深又急的泥流凭空生出一条河，拦住了大家的去路。时间一秒秒逝去，排除故障刻不容缓，多耽搁一秒就多一分危险。情急之下，大家纷纷下车准备徒步穿过泥流。可脚刚一踏进泥流，长筒雨鞋就灌满了泥浆。

“大家脱掉鞋，手拉手一起走过去，注意安全。”韩经理当机立断。

大家脱掉雨鞋，挽起裤筒，手拉手开始过河。水底淤泥吸陷着脚掌，水面泥流拍打着膝盖，大家每一步走得很谨慎，以防被水冲倒或不慎滑倒。所幸有惊无险，大家全部安全渡“河”。

过“河”后没有半点停歇，项目团队打着手电筒、

背着工具箱向机位点赶去。雨水淋透了衣服，他们却全然不顾。

走进塔筒，项目团队用了将近二十分钟终于排除故障，风电机组也全部恢复通信。业主方对项目团队的工作感到十分满意，但韩经理却未下达撤退的指令。雨一直下，也不清楚什么时候能停下来，其他机组是不是也可能会出现这种情况呢？为防患未然，韩经理决定带着项目团队对风电场其余机组再检查一遍。

夜里的风电场格外寂静，雨水拍打在机组、地面上，也拍打在大家坚毅的脸上，声音显得格外清晰。黑暗中光点移动着，项目团队从一台机组到另一台机组，穿梭着、忙碌着、检查着……等全部检查完，已经快十点钟了。

“客户满意是我们的最大追求，我们的工作就是要让客户放心，让风电场取得更好的经济效益。辛苦点、累点没什么，只要能让客户满意，我们做什么都值得。”事后被问到为什么明明故障已经排除还要“多此一举”全部再检查一遍时，韩经理如是说道。

雨水冲得黄土地千沟万壑，但对客户的热情却不会削减，永远饱满；暴雨阻断了前行的路，但为客户服务的心不会阻塞，永远通畅。自己多辛苦一点，为客户多想一点，为客户多做一点。这就是上海电气的项目团队，这就是“至臻至诚 行远不殆”的上海电气风电人。🏢（作者单位：上海电气风电集团有限公司）



发展分散式风电亟需更细致的顶层设计



受访嘉宾：
刘日新，新疆金风科技股份有限公司副总裁兼
北京天润新能投资有限公司董事长

本刊 | 夏云峰

刘日新表示，目前，在我国发展分散式风电的各方面条件都已具备，这一模式的应用前景广阔。针对当下分散式风电发展现状，他认为当务之急是在现有政策框架体系的基础上，尽快出台细则，进一步完善规则，让流程更加清晰、透明。

《风能》：您如何看待分散式风电在我国的发展前景？

刘日新：对于分散式风电的未来发展，需要从以下几个方面进行综合判断：第一，是否符合能源发展的整体趋势？第二，有没有相关的应用场景，有没有可以发展的空间？第三，老百姓愿不愿意投资？

从可再生能源利用的角度来说，考虑到去中心化的发展趋势，未来的系统将是基于就近开发，就近消纳的目标而设计的。在我国，风电开发重心正在向中东南部转移，这些地区多丘陵、多山，人口相对密集，与欧洲的应用场景相似。从欧洲的经验来看，发展分散式风电，使电源贴近用户，这是提高可再生能源利用效率、降低开发成本的有效途径。

在可利用的空间上，截至2017年，我国中东南地区多数省份的每平方公里风电装机容量仍不到20千瓦，与欧洲相差甚远。此外，

我国现有约70万个行政村，倘若其中的10%有意愿参与分散式风电开发，这部分市场潜力就很巨大。

同时，分散式风电发展与老百姓的生产生活息息相关，会产生很多场景化应用。如在田间地头安装一台风电机组，需要搭建相应的线路，这就为实现农机设备的电气化创造条件，有可能降低农机设备使用成本。

从投资角度看，此前，大量资本进入资本密集型房地产市场的一个重要原因是缺少投资渠道。如果能把风电开发与农村发展、电气化、扶贫紧密结合，同时给社会资本一个较为合理的回报，分散式风电将大有可为。

《风能》：技术层面上，发展分散式风电是否存在任何障碍？

刘日新：开发分散式风电，单就技术而言，不存在任何障碍。一方面，依托现代化技术手

段，可以较低成本完成对资源条件的筛选。比如通过数字化软件平台，运用公共气象数据，能够在前期较为精确地模拟出资源条件。另一方面，技术发展成果可支持对资源和设备进行宽带化选择，只需调整机组控制策略、风轮直径、塔筒高度等，就可高效开发利用不同地理环境、不同风速条件下的风能资源。另外，设备运行安全也有保障。随着传感技术的发展，一些故障在前期就会被发现，如通过位移传感器可及时发现叶片开裂问题，震动传感器则会实时监测异常转动，从而监测基础和塔筒的状态，目前该技术仍在研发中。

分散式风电项目靠近居民聚集区，既需要关注设备运行的安全性，也必须重视环保和体现人文情怀。实际上，只要严格执行相关规定，风电开发对生态环境影响并不大。金风科技在开发攀枝花项目时，考虑到当地是彝族的聚集区，就对机组的塔筒进行彝族图腾柱的涂装。对此，当地老百姓十分支持，也意味着项目开发与当地文化实现高度融合。

《风能》：与集中式风电相比，分散式风电的开发模式会呈现哪些新特点？

刘日新：从欧洲的经验来看，一般来说，分散式风电需要专业的合作伙伴去增信。在我国，未来分散式风电开发模式中，投资人和服务提供者可能是分离的。随着越来越多对投资回报要求较低、承受风险能力较弱的业主愿意参与投资小型风电项目，需要有专业公司承担相应风险。在这种情况下，以金风科技为代表的企业就可扮演增信角色，确保收益，消除风险。因为企业更专业，有数据，可进行预判；企业有技术，可帮助投资者消除风险。但企业无法接受相对较低的收益，怎么办？企业可以帮助投资者进行项目的设计、建设、运营，但不一定持有项目。所以，未来开发模式上可能会有根本性改变，资源所有者成为可再生能源的直接受益者，成为可再生能源的拥护者。企

业负责做好技术研发，做好产品，做好服务。

在运维方面，国外很多分散式风电项目进行区域化运维，即在一个区域合理配置资源，统一采购。目前，金风科技拥有多款数字化产品可进行风电场资产管理并有效支持区域化运维。我们的全球监控中心已接入近3万台设备，机组实时运行数据全部会传输到系统中，后台再进行数据挖掘，通过数据预测设备的运行状态。借助这种方式，金风科技MTBF（平均故障间隔时间）已达到3000多小时，运维模式已由传统的故障响应式转化为预防性运维、精准运维。

未来的运维一定是基于数字化的、基于区域共享的、基于集中采购的、基于运维平台的。响应速度更快，成本更低，这是运维服务提供商的核心竞争力所在。对业主而言，要求响应速度最快，成本最低，运维期最长。运维承诺期越长，运维成本被锁定，项目就变成了一个纯理财产品。金风科技依托大数据技术、创新模式，可向业主提供更好的运维体验、更长期的服务保障，在这方面具备强大竞争力。在资产管理方面，金风科技也可与业主签订长达20年的合同。

《风能》：从金风科技前期参与的一些项目来看，目前我国分散式风电开发存在的主要问题是什么？

刘日新：应该说，在开发分散式风电项目过程中，已出台政策的规定相对还是比较宽泛的，很多操作细则还不明确。随着行业的发展，这类问题将越来越多地暴露出来，但我相信通过政府、企业与相关方的积极互动，会逐步解决这些困难。所以，我对当前分散式风电发展的建议只有一条：细化规则，让流程清晰，清晰意味着透明，细节决定一切。

在这个过程中，我们不能光等，因为政策的调整需要以项目开发作为支撑。在开发中遇到了问题，汇总反馈这些信息，政府部门才能

据此出台细则或者调整政策。

《风能》：在参与分散式风电市场的过程中，金风科技的核心竞争力体现在哪些方面？

刘日新：首先，有足够的应用场景。金风科技研发的600kW~6.X MW全系列产品都有足够的应用场景，在数据和技术方面也有深厚积累。

其次，金风科技有相应的设计和建设团队储备来确保客户收益。金风科技有设计院，可以承担工程设计工作，有天源科创这样的EPC团队，天润新能则能够负责资源运营，也就是说，金风科技打通了风电开发的全价值链，深度参与各个环节，这是金风科技比较突出的一大优势。在向业主做出承诺时，知道自己承诺的是什么。所以，与其热衷于炒作概念，不如扎扎实实地去做一些东西。金风科技的一个特点就是：做到了再说。

在上述基础上，针对分散式风电开发，金风科技逐步形成并不断完善出从风能资源评估、产品技术到智慧运营的整体解决方案，帮助分散式风电项目实现其商业价值：

一是运用大数据、虚拟测风塔、激光雷达补测、无人机三维建模、地物识别技术、高精度仿真等高新技术精确评估，深入挖掘分散式风电项目资源价值。

二是金风科技从风电机组、风电场、电网友好性、环境友好性出发设计解决方案，实现分散式项目高投资收益率。

三是基于物联网、大数据、云计算、移动互联、人工智能、VR/AR技术，金风科技已形成“分散式风电智慧运营整体解决方案”。实现线上智慧大脑（金风科技智慧运营系统SOAM™）与线下高效前台充分结合，为分散式风电管理实现集中监控、预知故障、智能决策、移动办公、服务共享与高效协同等智慧运营模式。

最后，在技术之外，金风科技拥有极强的风险防范意识。金风科技销售的设备都有相应拨备，投资人的投资是有保障的，出现了问题，因为有拨备，到保险公司直接理赔就可以了。对于社区风电的业主来说，抗风险能力弱，需要整机商有更强的责任感，进行拨备等防范风险的机制设计。✎





为风电项目提供理想收益率： 新型SG4.5-145 陆上风机

Siemens Gamesa一直以来都以适应客户的多样需求为目标，不断研发先进的产品。作为您值得信赖的技术合作伙伴，我们将会应用在整个产业链积累的广泛经验来创造全面的产品序列，并针对各种风场环境对风机进行灵活的、模块化的设计改进，使其可以适应每一个风场。

因此，SGRE可以为每一个风电项目提供全面的技术解决方案。例如新推出的SG 4.5-145陆上风机就是基于我们经过充分验证的成熟技术研发而成，将为您的风场提供更低的度电成本。

分散式风电开发 应成为精准扶贫 新路径

本刊 | 夏云峰



受访嘉宾：
浙江运达风电股份有限公司董事长杨震宇

在杨震宇看来，分散式是风电开发的“自然模式”，是实现风电开发与地区经济社会发展、自然环境保护相和谐的重要途径。他表示，我国的分散式风电开发必须与农村、农户的利益以及农业扶贫结合，成为县域经济发展的新引擎，为精准扶贫探索出新路径。

《风能》：您如何看 2018 年是我国分散式风电开发元年的提法？

杨震宇：分散式风电是 2018 年我国风电行业最热的关键词之一。2017 年 6 月，《关于加快推进分散式接入风电项目建设有关要求的通知》印发，沉寂多年的分散式风电回归大众视野，多个省份密集发布建设规划。今年 4 月，《分散式风电项目开发建设暂行管理办法》下发，再度推高分散式风电的热度，开发商、整机商和投资者蜂拥而至，政策、技术等层面都在加速分散式风电井喷式爆发。

发展分散式风电遵循了我国风电发展的客观规律。近几年，我国风电开发重心转向中东南部。然而，这些地区地形复杂，可供集中连片开发的区域越来越少，大规模开发模式越来越受限制，未来分散式将是主要开发模式之一。当前，中东南部的分散式风电显现出巨大开发潜力。据中国气象局评估，这些地区风速在 5

米 / 秒以上达到经济开发价值的风能资源有 10 亿千瓦，而目前实际的累计风电装机容量仅占 8.3%，仍具有很大的开发空间。从欧洲经验来看，90% 以上的德国陆上风电为分散式，每平方公里国土面积的风电装机为 155 千瓦，而我国浙江、湖南、安徽等重点区域的这一指标还不到 20 千瓦 / 平方公里。因此，分散式风电的发展前景广阔。

当然，就目前而言，我国分散式风电开发还面临着一些阻碍，若要像分布式光伏那样爆发，必须调动所有参与方的积极性，打造利益共同体，从政策体系上为产业发展保驾护航。具体来说，应当简化项目审批流程、明确并网要求和办理流程、降低融资成本、解决征地难等问题。一是简化审批流程，建议政府部门根据分散式风电的特点简化流程，加速核准承诺制政策细节的落地。二是优化电网接入流程，建议电网企业严格落实政策要求，缩短接网申请

流程，加大信息公开力度，执行符合分散式风电开发实际需要的技术标准。三是创新商业模式，借鉴国外社区风电发展经验，通过土地入股、PPP模式等方式增加地方的参与度，与地方旅游开发、特色小镇建设相结合，使当地社区和居民从中受益，促进地方经济和社会发展。

《风能》：分散式风电的个性特征体现在哪些方面？

杨震宇：按照《分散式风电项目开发建设暂行管理办法》的规定，分散式风电与集中式风电在接入电压等级、消纳方式、项目容量等方面存在较大差异，这就决定了可以对分散式风电全生命周期的各阶段进行创新，从而实现所有权和管理权的分离。

在前期选址方面，集中式风电项目的宏观选址特点是“先找风、后找网”，分散式风电项目则是“先找网、后找风”。因为后者的单体规模小，大多只有两三台机组，单独立测风塔的成本太高，就需要在无测风塔的情况下优选机位点。在机组选型方面，分散式风电项目靠近居民点、工业园区，机组必须绝对安全可靠，对噪音、光影污染也有严格的要求。此外，集中式风电场的运维一般由业主组建的团队负责；而单体规模小的分散式项目并不会配备传统的升压站，现场基本为无人值守，可由区域性运维服务商提供集中服务。

《风能》：随着众多缺乏开发和管理能力的中小型投资者涌入，拥有技术优势和丰富经验的整机企业如何与这些投资者更好地合作开发分散式风电项目？

杨震宇：分散式项目的单体规模普遍在1万~2万千瓦，仅为标准集中式项目（5万千瓦）的20%~40%，由于不具备规模效应，传统的大型风电运营商对此类项目开发的积极性并不高。但分散式风电项目是“麻雀虽小，五脏俱全”，其建设开发以及运行维护仍属资金和技术密集型。中小业主多为行业的新进入者，

以财务投资为目的，欠缺技术储备和开发经验，由他们自己负责开发、建设与管理显然不太现实。在这种情况下，拥有技术和经验优势的整机商可以通过转换角色，由设备供应商转向整体解决方案供应商，在分散式风电项目开发中发挥关键作用，向中小业主提供从开发到运维的一揽子服务方案，涵盖项目融资，前期的测风、微观选址、入网设计，运行过程中的监控和运维服务，有时甚至需要将项目整体打包卖给业主。而运达风电作为以技术见长的企业，会在这一领域迎来更为广阔的发展机遇。

《风能》：运达风电将如何抓住这一轮机遇期？

杨震宇：基于对我国风电市场的深入观察，运达风电早已开始对分散式风电进行布局，与多地建立战略合作关系，将在相关领域开展深度合作：与湖北省签订分散式风电扶贫项目开发协议；与工业园区、特色小镇等所在地的政府部门、企业合作开发分散式风电。此外，运达风电机组多年可靠稳定运行的良好口碑，也让众多私人业主主动与我们洽谈合作事宜。

而正如我在前面所说，要开发分散式风电项目，整机企业必须具备提供一站式整体解决方案的实力。运达风电在这方面有着长期的积累，目前正在向高端服务型制造企业转型。此前，我们相继推出适用于低风速、分散式的2.X兆瓦和3.X兆瓦系列风电机组产品，可针对不同资源条件匹配最佳功率等级和叶轮组合，适配混、柔高塔方案。近期，运达风电还将推出多款可用于中低风速、超低风速的风电机组。这些机型是基于运达风电成熟的2.X兆瓦平台、先进的3.X兆瓦平台而研发。我们开发的先进降噪和光影污染消除技术，可确保机组能够运行于靠近居民点的地方。

同时，我们还在风能资源评估、微观选址、智能运维、大数据分析、集中监控等方面形成了套餐式的分散式风电整体解决方案。运达风电打造的风能资源分析与管理系统，可为分散

式风电项目的风能资源评估提供整体技术解决方案。该平台融入了行业领先的中微尺度嵌套耦合的风能资源评估技术和虚拟测风塔技术，有效提升计算分析的精准性。它还采用数字化风电技术，能够 360° 全方位实时监测机组，跟踪机组的关键部件运行状态，正确评估机组运行工况和科学验证机组的设计，通过对关键部件的智能监测，确保机组安全可靠运行。

《风能》：从国内外的实践来看，如何才能将分散式风电项目开发与地方经济社会发展紧密结合？

杨震宇：分散式风电本身就是风电开发的“自然模式”，国外也多是通过这种模式实现了风电开发与地区经济社会发展、自然环境保护的和谐。丹麦自 20 世纪初就开始开发分散式风电，其风电发展经历了从分散式到集中式再到分散式的过程，开发主体也经历从个人到多人合作再到企业的过程。在德国，社区风电项目非常多，政府通过一系列政策提高当地居民的参与度，让每个居民变成心怀绿色目标的企业家。

当前，业界都在围绕分散式风电开发模式进行创新，我们非常看好将分散式风电开发与国家推进的特色小镇建设结合起来，与工业园区结合起来，通过与微电网及其他分布式能源的融合互动，实现优势互补，可以提高用电效率，减少输电网投资，必将成为县域经济的新引擎。在全面建设小康社会决胜阶段的当下，分散式风电开发还必须与广大农村、农户的利益相结合，与农业扶贫紧密结合，用“政府扶贫资金 + 专业投资企业 + 绿色金融”的支持方式，为精准扶贫探索出一条新路。也有部分企

业尝试将众筹模式引入分散式风电开发中，让拥有土地的人参与其中，并获得持续的稳定收益；或者通过融资租赁的方案，来化解企业资金来源难题，推进项目开发。

《风能》：运达风电在这方面进行了哪些有益探索？

杨震宇：运达风电是浙江省国资委控股的省属国有企业，专注风电行业 40 余年，“为改变中国的能源结构，为中国的能源安全贡献力量”是我们的核心价值，以“信”和“善”为企业立身根本，履行社会责任是我们企业的重要目标。“打赢脱贫攻坚战，决胜全面建成小康社会”是十九大定下的宏伟目标。运达风电勇于承担助力脱贫攻坚的重任，用绿色能源点亮中国梦。

今年 5 月，我们与湖北省崇阳县签订了分散式风电扶贫项目开发协议，预计 2020 年前并网发电。当地风能资源丰富，人口密度较大，电力消纳条件好，属于典型的低风速山地地形，具有发展分散式风电的先天优势。经过多轮的技术宣讲，当地政府部门和人民群众对发展风电表现出极大的热情，但是由于当地地形复杂，给风电开发带来很大挑战。针对该县的环境特征，项目将使用运达风电的先进风能资源评估技术，选取机位点时避开耕地、林地及生态保护区。建设过程中会采用小平台吊装、分体式运输、降噪叶片等技术，从而实现风电机组与人、自然的和谐统一。运达风电研发的先进低风速机组，则能够保障项目获得 20 年的稳定收益。该项目的帮扶对象为该县建档立卡贫困户，运行期内每年会为贫困村和贫困户带来稳定的现金收入。■



中科宇能
Sino-wind

风电叶片系统解决商

SYSTEMIC SOLUTION PROVIDER FOR WIND TURBINE BLADES

2MW系列叶片

- SW59.5
- SW64
- SW69

3MW系列叶片

- SW69
- SW72

中科宇能科技发展有限公司

Sino-wind Energy Group Ltd.

地址: 北京经济技术开发区地盛北街1号21-1

Address: 21-1, No.1 Disheng North Street, BDA, Beijing, P.R. China

电话Tel: +86-10 80706780

网址Web: www.sino-wind.com.cn

邮箱E-mail: market@sino-wind.com.cn



 **Envision**

封面
故事

你也能有一个 两全其美 的电源



火电、核电、水电、光电、风电、生物质发电，哪类电源能让你既有眼前苟且的生存，又有诗和远方的生活？

文 | 葛林志

8月初，一位在石油行业工作多年的朋友告诉笔者，说他要撤离北京，回家乡濮阳办个电厂，做发电卖电的生意，有点悲情，也是一种新的活法。

本来，他一直想把北京的小房子换成大房子，但越来越高的房价让他彻底绝望了，所以就不想了。干脆把房子换成钱，回到乡下老家开始筹划他的分布式风电场。

他曾经像魔怔了一样，每当眺望城市璀璨的灯海，会莫名其妙地猜猜这些电力来自何方，甚至是哪种类型的能源。有时候还会想到，人类仰赖的煤炭和石油会造成令人心痛的生态污染。

他说他看到一篇微信文章后，跑到江苏江阴调研了远景能源的分布式风电项目，自发自用、余电上网，也可以全额上网。以前他在一份介绍欧洲社区清洁电力的资料上，看到过这样的电源模式，现在他决定试一试。

有时候，某些走在时代前面的人抵达的是不毛之地，但他不会，他的眼前是中国江阴零散土地上的彩色风电机组。即使竖起一台这样的机组，那也是在家乡搭建了发电和用电的一个新坐标。

电力由大一统向碎片化演进，这是一个时代的呼喊和趋势。但对他个人而言，却是一个关于未来的赌约，祝福他和他的分布式风电场能挣钱，有一个好的开始。

去哪儿投资先要看平准化度电成本导航地图

如果你也想有一个能挣钱的分布式风电场，不妨也到远景能源江阴分布式风电项目实地考察一番。在此之前，还是请你补充几点非专业人士的应知套路。

第一步，你想去哪儿投资可以先看看远景能源的风电平准化度电成本（LCOE）导航地图，这几乎就决定了你的投资是否选对地方。

中国这么大，一定有你的心仪之地，关

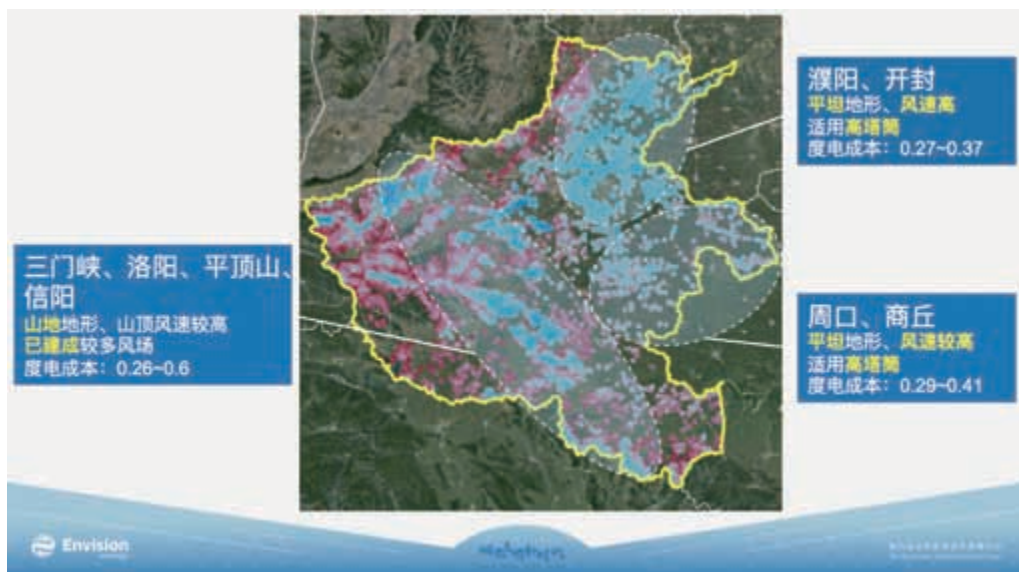
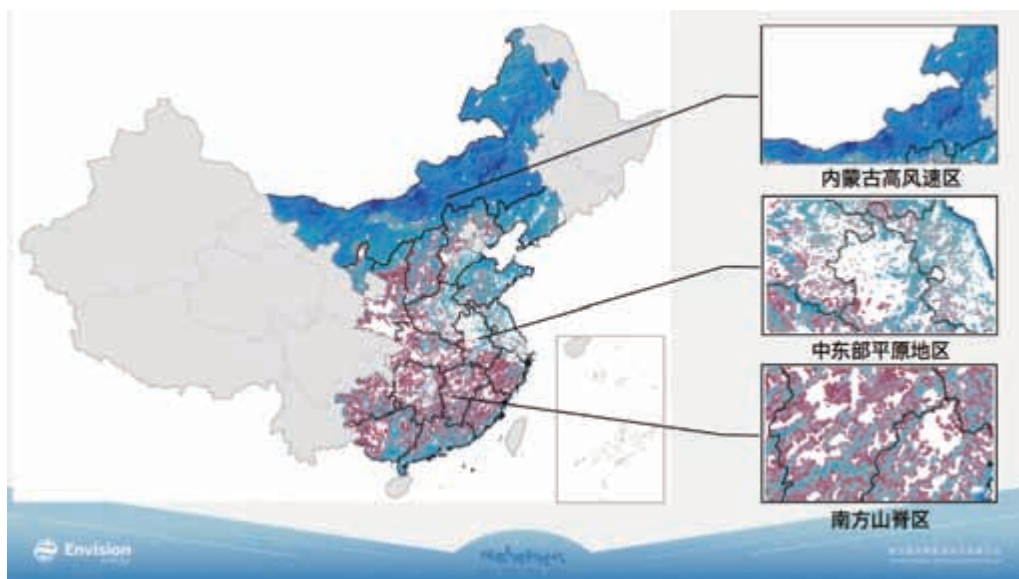
键要看看那儿的平准化度电成本是不是适合分布式风电项目。只要你去查阅远景能源全国LCOE导航地图，立刻就知道哪儿是风电平准化度电成本的洼地。需要说明的是，远景能源LCOE导航地图为风电平价新时代而生，同时也向分布式风电开发释放了服务红利。

为什么远景能源要开发LCOE导航地图？风电进入平价新时代，开发商开发项目时需要综合考虑项目资源、容量、成本、运维等各类因素，风能资源图谱已不能满足需求。在这样的时代背景下，远景能源依托高性能计算与全国新能源数据库，实现了对全国首批主要省份LCOE地图的绘制，于今年8月发布风电LCOE地图。

从LCOE地图中可见，目前，内蒙古的LCOE最低，是平价上网潜力最大的地区；其后为中东部平原，是第二大LCOE洼地。这里本是传统的低风速地区，但由于近年来高塔筒、长叶片技术的兴起，该地区便成为能获取可观收益的宝地。再加上该地区地形相对简单，造价相对偏低，带来了比部分山地更高的投资收益。另外，该地区作为我国经济发展的中心地带，人口、GDP、用电量占全国的比例均超过1/3，负荷集中可以就近消纳。然而这一地区人口稠密、农田、城市、限高等因素限制了集中式风电发展，反而更适合分布式风电开发。

早在2014年，远景能源就发布了首张全国风能资源图谱，为风电项目开发提供资源导航，颠覆风电场宏观选址的传统模式，提升了国内风电项目由协议到实际落地的转化率。LCOE导航地图的生成只需要2周，但从风能资源图谱走到LCOE导航地图，远景能源用了4年时间。期间的技术攻关和数据积累，是局外人难以想象的。

的确，做出LCOE地图并非一日之功，不但要掌握电量、容量、选型选址、工程设计、造价等数字化模型，还有不同空间尺度和精细程度的数据应用。没有足够的工程设计案例和技术沉淀，以及基于超算的格林威治超强的计



算能力，不可能完成如此使命。

简单来说，想去哪儿做分布式风电，你就看看远景能源的风电 LCOE 导航地图。比如想去河南，那你就查查河南 LCOE 地图，这事儿靠谱。

如何更快地做成一个分布式风电场

了解平准化度电成本后，就可以考虑第二

步了，也就是怎么做成一个分布式风电场，比如要花多少钱，建多大容量等，邀请远景能源帮你办好这件事再合适不过。2018 年夏天，远景能源格林威治平台就已完成了针对分布式应用场景的系统升级，意在用更大的价值成就分布式风电客户的生意。

简单来想，你可能认为分布式风电机位少，设计会比较简单，其实不然。

实际上，分布式风电带来了更多传统设计未曾遇见的场景，比如在前期缺少测风塔的情



况下怎么进行风能资源评估；再比如，分布式风电政策鼓励县级打捆上报，这时就会遇到多个机位点面对多个接入点的问题，由于排列组合太多，反会让人陷入不知所措的窘境；还有，诸如自发自用率的计算、多元化参与方的经济评价、电价底线的计算等，无不表明分布式风电的设计并不像想象的那么简单，反而在某些方面比集中式风电设计有更高的难度。

不过，格林威治一直在探索这些问题的解决方案。

对于缺少测风塔的评估，依据中尺度也好，短期激光测风也好，开发者最想明确知道的是，给出的风能资源风险到底有多大，又能让人对给出的风速有多大的信心，这些都是不确定因素。简单地说，就是能够基于量化的误差来作为下一步开发，或者针对风险采取措施的依据。格林威治的中尺度模块采用机器学习将误差量化，让开发者在获悉某个地域平均风速的同时，也知道该风速的不确定度，大大减小了无塔、仅使用中尺度数据给项目带来的潜在风险，让投资决策有了依据和支撑。

再比如，对于分布式风电接入的困惑，格林威治接入规划模块会先根据电网收资判定可接入的容量，再通过智能寻优算法从纷繁的排列组合中确定最优的分组接入和机组发电策略方案，以实现项目成本和投资收益优化，作为开发商申报电网接入的输入。

需强调的是，格林威治在智能设计方面的造诣远不止如此。如果你打算安装一台风电机组，格林威治会将塔筒基础与风能资源进行一体化设计；如果你打算安装几台风电机组，格

林威治会将道路改造、吊装方案等综合能力赋予整场解决方案中。另外，通过风电场与机组定制化设计和协同载荷优化，格林威治既智能化降低了综合成本，又最大化地提升风电场的发电收益。

不是所有风电机组都是分布式风电机组

也许，你注意到了风电机组能力的重要性，那么这就到了请你认知风电机组的一步。这也是需要特别提醒和强调的一步，因为不是所有的水电机组都是分布式风电机组，至于道理，就摆在明面。

分布式风电的机组会立在居民社区、田间地头、楼前屋后、港口码头，以及人口集中、工业密集的区域，那么什么最重要？第一，当然是安全！其次是低噪音和电网友好性。

远景能源是我国首家发布分布式智能风电机组的技术公司，不妨了解一下这款分布式风电机组的安全性能。需要补充的一点是，远景能源在几千台机组的运行业绩中没有出现过一起重大安全事故，这是远景能源区别于友商的安全业绩，不服不行。

在这个安全设计的基础上，远景能源分布式智能风电机组加装了更多先进的传感设备。比如在叶片、塔筒以及关键连接部分加装的智能传感器，使得叶片、塔筒等结构件以及齿轮件等传动系，都具备了一套完整的智能检测系统。尤其是在机组机头罩内还安装了远景能源

自主研发的独有激光测风雷达系统，能够精准规避风险，大幅度抑制风速湍流对机组机械结构的潜在冲击和影响，从而确保这样一个庞然大物的运行获得了航空级的安全性能。

值得一提的是，远景能源激光测风雷达安装在机头，不受叶片遮挡的影响，测风数据不间断，可为控制系统精准追风、实现最优风能捕获，且具备了良好的气象环境适应性。即便在极端的雨雪遮挡场景下，机组控制系统仍能得到实际风况信息，多发 2% 以上的电量。

再来看远景能源分布式智能风电机组的降噪表现。在分布式风电场景中，机组噪音成为风电机组设计的严格指标，静音运行成为分布式风电场景的刚需。来自美国航空航天局（NASA）的一项研究成果显示，猫头鹰之所以成为“静音”之王，主要得益于羽毛对空气旋涡的碎涡效果，也就是当气流经过翅膀后缘发生涡旋脱落分离时，后缘穗状须边使得涡旋脱离更加离散，大大抑制了涡流脱离过程中引起的气动噪声，这是猫头鹰在夜间安静飞行来捕

捉猎物的秘密。

远景能源借鉴“猫头鹰静音”的灵感，通过仿生学原理设计分布式风电机组叶片，叶片翼型加装了锯齿尾缘，使气体分离的涡流变得非常小，有效降低了机组运行时的噪音。在机组静音设计上，远景能源还通过大扭矩的齿轮箱技术，降低了叶轮的旋转速度，进而显著降低气流声音。正是创新设计和技术的使用，使远景能源分布式智能风电机组比传统机型降低 70% 的噪音，大大提升环境友好性。

非常需要强调的是，远景能源分布式智能风电机组的电网友好性。

传统机组的并网设备非常复杂，也非常昂贵。一般而言，每台机组都需要配备箱变，很多场景下风电场还需要配置开关站，这些成本分摊在集中式风电场是可以接受的，但如果压到仅有一台独立主体风电机组或几台机组的风电场，这就成为分布式风电难以承受的成本之重。

常规风电机组的出口电压为 690 伏，需要





额外为其配备占地面积 30 平方米的箱式变压器，再加上配套电缆的线路通道，占地面积会更多。为节省用地，又要考虑防火安全，有些常规风电机组将干式变压器放置到塔筒底部或机组内部，从成本的角度来看，这不是最优的选择。

远景能源分布式智能风电机组的电网友好性在于，其发电机的直接出口电压即为 10 千伏，可无缝连接配电网。

另外，机内配备的集成智能接入装置，无需传统开关站所占的几百平方米土地，以 10 千伏接入时，机组外完全实现零占地，同时也规避了火灾以及机组外安装电气设备的潜在风险。

假若你的分布式风电场使用了这样的智能分布式风电机组，也就基本解决了机组维护的问题。因为，远景能源分布式智能风电机组自带智能维护光环，其维护性体现在状态可视，所有故障都可被提前预警，不存在非计划性维护。

当然，这是设计的结果。

远景能源分布式智能风电机组采用全风冷设计，免除液冷系统复杂的维护需求，而且增加关键螺栓连接防松设计和安全裕度，不但延长了维护周期，也减少维护工作量，比如变桨、偏航、轴承完全自动润滑，大大降低对维护人员的需求和要求。

更重要的一点在于，智能监控方案可实时精确感知机组各部件状态，并通过 EnOS™ 构建云端数据分析管理系统一键报表，让专家系统在云端管理全面维护计划，主动推送状态维护通知。这样，你就省心多了，只需要在关键的时候出现足矣。

写到这儿，笔者已然明白，即便再写千言万语，也许不如一句话更有意义：你也可以有一个既能为你挣钱，也能让你的生活有诗和远方的电源。

这，也给了更多人选择电力颜色的机会。🔌



已经
批量运行
!

科凯前卫

无惧严酷运行环境，
值得信赖的5MW海上风电机控制系统
已经批量运行！

重庆科凯前卫风电设备有限责任公司

地址：重庆市渝北区黄山大道中段69号

传真：+86 23 67889837

网址：www.kekaiqianwei.com

电话：+86 23 67889827

邮编：401120

全新一代 FREEMESO

宏观选址 现场踏勘 风场交易 技术服务

全民风电精益投资大平台



FreeMeso： 资源选址，只需要一部手机

文 | 皮光明，马骞，董海萍，王乾坤

在分散式风电开发进入快车道以及竞价上网政策即将落地的大背景下，开发一款适合全民投资的数字化风电互联网产品，任重道远。

由新疆金风科技股份有限公司（下称“金风科技”）研发的全民风电精益投资大平台——新一代 FreeMeso 已于 8 月 16 日正式对外发布，其受关注度持续提高。截至 9 月 16 日，短短一个月的时间，该平台的注册用户数接近 5000，风资源宏观选址报告的用户阅读量近 5000 份，中华和华东两大热点地区的风资源搜索率达到 50%，微观选址的现场踏勘记录点位超过 2500 个，风电场合伙人平台的风资源点击量最高突破 1200 次，收集各方用户反馈近 100 条。

下面就为大家揭秘该平台所具有的四大核心功能——宏观选址、风电场投资、现场踏勘、技术服务及其背后的各种黑科技。

四大核心功能之宏观选址

宏观选址模块可以帮助投资人寻找优质风资源，精准计算发电量。以往，风资源服务类产品往往重点关注风资源数据，默认使用者都是工程师，却忽视了他们可能来自各行各业，背景实际上更为多元的情况，无形中提高了平台的使用门槛。新一代 FreeMeso 平台中的多用户模式既保留了原有的工程师模式，还增加投资者模式。即便使

用者并非风资源工程师，也可以根据多维度不同筛选条件（平均风速、等效利用小时数、收益率）获取资源的推荐及查询信息，更加贴近用户需求。

而精准的经济性测算则依赖于精准的风资源数据。“数据准不准”一直是 FreeMeso 平台用户关心的核心话题之一。数据质量不佳，寻找风电投资商机就成为空谈。对于大多数风电投资人而言，其心中最大的疑惑或许是，在风资源条件存在不确定性的情况下，如何确保平台自动测算的经济评估数据是精准的？

金风科技在最初研发 FreeMeso 平台时就充分认识到解决好这一问题的重要性。为了提高平台中风资源数据的精度，该公司与国家权威机构——中国气象局风能太阳能资源中心通力合作，后者利用风云系列卫星、新一代多普勒天气雷达网，采集了全国 6 万个高密度气象观测站和 300 个雷达的海量数据，建立起超过 10TB 的风资源共享数据库。FreeMeso 平台引入中国气象局风能太阳能资源中心的全国 200 米精度风图谱服务，经过金风科技的 2500 座测风塔优化修正，从而确保全国 95% 地区的单点风速精度误差小于 0.3m/s。

除了资源筛选，新一代 FreeMeso 平台还提供包含保护区、水系、地物类型、已建风电场四项内容的限制性因素排查，并在自动排除的基础上，结合风资源情况向用户推荐风电场建设区域。四项内容均是当前可以查询到并确定的地表数据，并会保持定期更新。后期，该平台还将增加更多的限制性因素，帮助客户快速筛选可利用区域。

此外，依托强大的云计算能力，平台可以实时出具宏观选址报告，并提供在线查看、下载及分享功能，从而帮助投资者更好地了解资源的详细信息，做好资源评估及项目投资决策汇报等工作。

四大核心功能之风电场投资

在风电场投资模块中，投资人可以获取风电场投融资服务。FreeMeso 平台采用 O2O 电商模式，意在撮合“有资金找资源”与“有资源找资金”的投资人，实现风资源的优化配置。

山东聊城某县的一位投资商通过这一功能嗅到了风电精益投资的商机，发布一个 10 万千瓦的“低风速高收

益”优质风资源项目，并迅速得到众多投资商的青睐。然而，分散式风电的开发难点之一是土地资源问题。由于存在土地、林地的保护性政策以及生态红线，分散式风电项目在选址上面临着诸多法律问题。在此前结束的一场分散式风电研讨会上，北京大成律师事务所律师、上海电力大学法学副教授司军艳认为，无论是前期的征地、核准、电价、消纳等，还是中期所面对的招投标、资质问题，抑或是后期的接网、竣工验收、运行维护等均存在一定法律约束，需要项目各方积极应对，并做好风险防范。

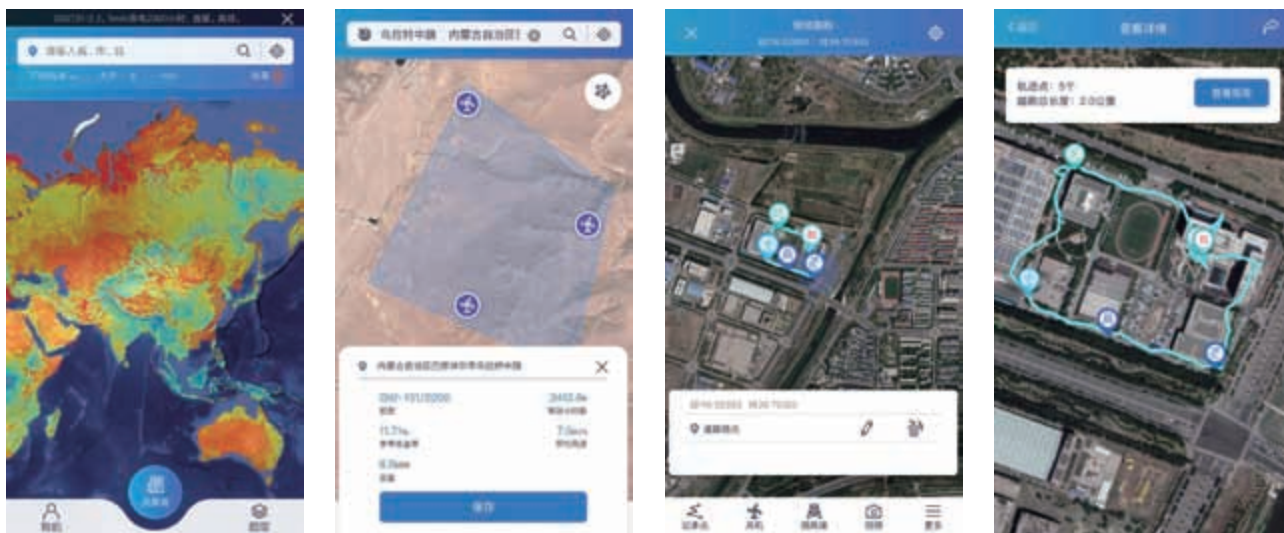
同样，土地资源的资质核准问题也是前述投资商无法规避的法律风险。在 FreeMeso 平台上，每一位投资者发布资源时都需要提供数十项政府审核批文，系统会自动计算资源的可信度，作为投资商的法律参考依据。不过，该平台并未强制要求线上用户提交政府核准批文的原件或复印件，而是将实名审核的流程搬到了线下。对此，FreeMeso 平台数字化团队给出的解释是：FreeMeso 资源投资平台目前尚处在“风资源 O2O 电商平台”商业模式探索的前期，线上承担的任务会比较轻，主要实现“商机对接”，复杂的实际投融资环节则仍保留在线下。未来，研发团队会探索在 FreeMeso 上完成资质审核、投融资工作，逐步使其从风资源 O2O 电商平台转向 C2C 电商平台。

四大核心功能之现场踏勘

现场踏勘模块旨在帮助工程师提高踏勘效率。基于 GPS 和基站定位技术，FreeMeso 平台可以提供数十种图层和地物标记，支持影像记录与编辑，能够一键生成踏勘报告，以此指导工程师进行现场作业。

据媒体报道，近期有网友反映，河南某个总投资额超过 8 亿元的风电项目，在建设过程中存在一些违法施工、破坏林地和文物情况。当地政府根据《勘测定界报告》《工程设计方案总说明》《风电项目选址文物调查及文物影响评估报告》等文件做出了“勒令停工”的处理意见。由此可见，FreeMeso 风资源轨迹踏勘平台所提供的随时记录踏勘轨迹功能对于风电场微观选址具有重要指导意义。

微观选址工作的好坏，直接影响着风电场投运后的收益。微观选址做得细致，场内风资源利用充分，道路及线路建设方案合理，风电场的收益就很有可能会超出预计；



反之，风资源被浪费，道路及线路建设方案不合理，项目收益无疑会大打折扣。而作为微观选址的核心环节，现场踏勘就显得至关重要。

四大核心功能之技术商城

打造技术商城意在为投资人提供风电场技术服务和解决方案。例如，FreeMeso采用B2C电商平台模式，为用户推出了“无人机三维建模”“激光雷达补测”“风资源后评估”“精细测风管理”等创新服务。

在前述的分散式风电研讨会上，金风科技风电设计研究院风资源技术部部长胡高硕表示，当前的分散式风电项目处于典型的低风速区域，且我国测风资料不足造成了风资源评估不确定性较大。对此，可以利用大数据、虚拟测风塔、激光雷达补测、无人机三维建模等技术革新来提升风资源评估水平，从而降低企业投资风险。研发FreeMeso技术商城平台的出发点就是，通过金风科技风电设计研究院风资源团队的“黑科技”第一时间向风电精益投资商赋能，最终实现降本增效。不过，作为一个风资

源B2C技术服务电商平台，技术商城所承载的使命远不止如此。FreeMeso平台研发团队正在探索采用“风资源技术专家联盟”模式，将风资源工程师的标准化服务、创新服务、定制化服务、数据服务、咨询服务等陆续搬到线上，减少中间环节，实现工程师与客户需求的无缝对接。

金风科技的研发团队在设计技术商城模块之初就希望使其保持独立，既能够作为完整独立的电商产品，又可以嵌入类似FreeMeso和微信这样的第三方平台。而随着FreeMeso平台的用户活跃度日益提升，势必给技术商城带来源源不断的流量。后续，FreeMeso技术商城团队会加大该模块与FreeMeso平台的整合力度，实现无缝衔接。

可以说，一方面，FreeMeso平台是一款数据驱动的专业产品，集成了数十个风能气象和地理信息图层、数十万份精确的宏观选址报告。另一方面，它还是一款体验驱动的互联网产品，提供了实时查看报告、实时踏勘、在线技术服务等功能。作为一款风电互联网产品，FreeMeso平台的目标是“专注、极致、口碑、快”，并由此打造一条完整的风电产业链。[▶](#)

TZM500 全地面起重机

已广泛用于市政、场馆、冶金、路桥、石化、风电等领域吊装。

臂头离地面/能力：95.9米/72吨；101.8米/60吨，吊装性能强。

道路适应能力强，适用1.5MW风机吊装，2.0MW风机检修。



为用户创造价值



- | | |
|----------------|--------------------------------|
| TZM500 | 适用1.5MW风机吊装，2.0MW风机检修吊装。 |
| TZT1200 | 适用2~3MW风机吊装，带配重不拆车转场。 |
| TZM1200 | 适用2~3MW风机吊装，道路适应性强。 |
| TZL750 | 适用2~3.XMW风机吊装，140米轮毂中心高风机吊装设备。 |
| TZC750 | 适用2~3.X MW风机吊装，能吊装140米轮毂中心高风机。 |
| TZC500 | 适用2MW风机吊装，3.0MW风机检修吊装。 |
| TZM260 | 风机吊装辅助吊，76米伸缩臂杆。 |
| TZF9000 | 高性价比的风机吊装辅助起吊设备，也适用于风机检修吊装。 |

重力式基础是海上风电机组基础结构中的主要形式之一，已经在欧洲多座海上风电场中得以成功应用，在施工便利性和工程成本控制方面表现出较大的优越性。借鉴国外重力式基础的设计理念，可为我国海上风电机组基础结构设计建造提供创新思路。

海上风电机组重力式基础发展回顾

文 | 杨威，林毅峰，张权

与陆上风电相比，海上风电机组的基础结构具有重心高、倾覆力矩大、动力响应显著的特点，同时还受到波浪、海流、海床地质以及海冰等环境因素的影响，因此，此类基础结构是国内外海上风电场设计中的重要研究课题。

重力式基础是海上风电机组基础结构中的主要形式之一，它和陆上风电机组常见的重力式扩展基础工作原理相似，主要依靠基础结构及内部压载重量抵抗上部机组和外部环境产生的倾覆力矩和滑动力，使基础和塔架结构保持稳定，如图 1 所示。重力式基础通常是在风电场附近的码头场地或船坞内预制建造，然后通过船运或浮运至机位，并用砂砾等填料填充基础内部空腔以获得必要的重量，再将其沉入经过整平的海床面上。重力式基础通常为钢筋混凝土结构，节省钢材，经济效果好，采用陆上预制方式

建造，不需要海上打桩作业，海上现场安装工作量小，节省施工时间和费用。重力式基础的结构分析和建造工艺比较复杂，对海床地质条件要求较高，还需要有较深的、隐蔽条件较好的预制码头和水域条件。

近年来，随着欧洲海上风电进入大规模开发阶段，海上风电机组重力式基础在多座海上风电场中得以成功设计建造，并在施工便利性和工程成本控制方面表现出较大的优越性。表 1 给出了欧洲海上风电 1991—2017 年的重力式基础应用现状。我国海上风电开发建设正处于快速发展阶段，福建、广东沿海作为我国海上风能资源储备最为丰富的地区，存在着大范围浅覆盖层甚至裸岩地基海床，海域水深超过 30 米，这在国内外海上风电场建设中是罕见的，大直径钢管桩嵌岩施工周期长，成本高，不确定性因素多。参考、借鉴国外重力式基础的设计理

念，可为我国海上风电机组基础结构设计建造提供创新思路和方法。

浅水海域重力式基础设计

一、重力式扩展基础

早期的海上风电场大部分建在水深 15m 以下的浅水海域。1991 年，世界第一座海上风电项目——Vindeby 海上风电场在丹麦 Lolland 岛附近的低水位海域并网运行。该风电场水深 2~4m，安装 11 台 450kW 风电机组，总容量为 4.95MW，其基础设计为图 2 所示的重力式扩展基础。随后，Tunø Knob 海上风电场（丹麦，1995 年）、Middelgrunden 海上风电场（丹麦，2001 年）均采用类似的重力式基础结构。

Middelgrunden 海上风电场的海域水深 3~5m，安装 20 台 2.0MW 风电机组，总容量为 40MW，是当

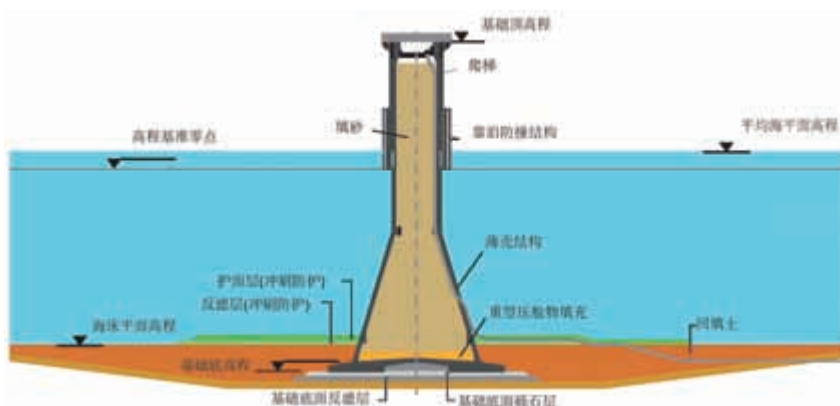


图1 海上风电机组重力式基础的典型结构形式

表1 欧洲海上风电机组重力式基础应用现状

| 风电场 | 国家 | 时间 | 单机容量 (MW) | 重力式基础数量 | 水深 (m) | 浅层地质 |
|-----------------|-----|------|-----------|---------|--------|--------|
| Vindeby | 丹麦 | 1991 | 0.45 | 11 | 2~4 | 岩石、硬粘土 |
| Tunø Knob | 丹麦 | 1995 | 0.5 | 10 | 4~7 | |
| Middelgrunden | 丹麦 | 2001 | 2.0 | 20 | 3~5 | |
| Nysted | 丹麦 | 2003 | 2.3 | 72 | 6~10 | |
| Lillgrund | 瑞典 | 2007 | 2.3 | 48 | 4~8 | |
| Sprogø | 丹麦 | 2009 | 3.0 | 7 | 6~16 | |
| Rødsand 2 | 丹麦 | 2010 | 2.3 | 90 | 4~10 | |
| Karehamn | 瑞典 | 2013 | 3.0 | 30 | 8~20 | |
| Thronton Bank 1 | 比利时 | 2008 | 5.0 | 6 | 20~28 | 中粗砂 |
| Blyth demo | 英国 | 2017 | 8.0 | 5 | 36~42 | 含砾砂石 |

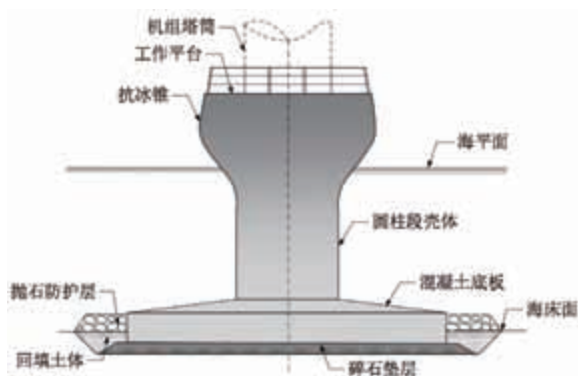


图2 浅水海域重力式扩展基础

时世界上规模最大的海上风电场。地质勘察显示海床浅层存在石灰岩，且海域波浪和海流作用较小。基础选型对比发现，混凝土重力式基础是最具成本效益的解决方案，基础典型结构如图2所示。基础结构由混凝土底板、圆柱段壳体、抗冰锥和工作平台组成，基础顶部与机组塔筒连接，抗冰锥设置于海平面附近，形状为外凸弧线。基础安装在经过整平的碎石垫层上，整个基础结构重量为1800t。基础建造在风电场附近的干船坞内完成，再将首节机组塔筒以及电气设备先安装在基础顶部整体出运。由于海域水深较浅，基础底部离海床面只有10~20cm，选择波浪较小的海况出运，基础的海上运输和安装由大型浮吊船来完成。水下碎石垫层铺设、夯实和整平工作由潜水员下水进行人工作业。

二、重力式沉箱基础

2003年，丹麦Nysted海上风电场成为当时世界上最大规模的海上风电项目。该风电场离岸10km，海域水深6~10m。由于海床地质中存在大量的漂石，单桩基础方案难以应用。同时，海床浅层存在7.5~12.75m厚的硬粘土层可作为重力式基础的持力层，最终72台机组基础全部采用重力式基础。Nysted风电场重力式基础的设计理念在当时是具有创新性的。为了使重量尽可能小以便于海上运输和安装，基础结构形式为六边形钢筋混凝土沉箱结构，主要由3个部分组成：开敞式沉箱、圆柱段壳体和抗冰锥，沉箱隔舱中装填砂石填料从而获得必要的压载重量，每个机位的重力式基础底高程是根据机组荷载和地质条件优化确定的，如图3所示。基础在附近港口码头的驳船上预制建造。基础

安装下沉之前,对海床进行处理,首先将表面的淤泥和细砂挖除,开挖深度达到 10m,直到开挖至坚硬的土层,然后用专业的整平船对海床面进行整平处理。海上运输采用 10000t 级甲板驳船进行作业,每次运输 4 个重力式基础至风电场海域,并运用 1500t 级浮吊船进行基础安装下沉作业,然后对沉箱的 6 个隔舱填充卵石和砾石作为压载物,整个基础压载完成后的总重量约为 1800t。Lillgrund 海上风电场(瑞典,2007 年)、Sprogø 海上风电场(丹麦,2009 年)、Rødsand 2 海上风电场(丹麦,2010 年)、Karehamn 海上风电场(瑞典,2013 年)均采用类似图 3 所示的重力式沉箱基础。

深水海域重力式基础设计

一般认为重力式基础适合于水深不超过 20m 的浅水海域风电场,因为随着水深的增加,重力式基础受到波浪和海流的作用更加显著,同时浮力作用占基础总重量的比例高达 40% 以上,会抵消很大一部分基础的重量。此外,海上风电机组在塔筒与基础交界面产生的荷载量级巨大,导致重力式基础的重量和尺寸急剧增加。深水海域大容量机组对重力式基础的结构优化设计、海床处理和海上运输安装等关键环节提出了越来越高的要求。

一、重力式预应力壳体基础

2008 年,比利时 Thronton Bank 海上风电场一期工程安装 6 台 5.0MW 风电机组,项目海域水深 20~28m,海床以下地质条件为 10m 厚的中粗砂。考虑到北海恶劣的海况条件,设计方认为应尽可能减少基础

建造的海上作业时间,Nysted 海上风电场的开敞式沉箱基础并不适合这种海况条件。对于深水海域恶劣的海况条件以及大容量风电机组需要承受巨大的风力荷载,基础结构刚度和疲劳问题成为决定性的因素。设计方创造性地提出采用后张法预应力技术建造重力式基础壳体结构。为保证重量最小化,基础采用图 4 所示的锥形壳体结构。整个基础结构由圆柱段、圆锥段和底板组成,其中的圆柱段和圆锥段壳体为后张法预应力结构,底板为变厚度的混凝土厚板,中间为圆形空心,边缘向外伸出较长的悬挑,内部空腔装填海水和砂作为压载,整个混凝土结构的重量达到 3000t,如图 4 所示。

将重力式基础设计为上述结构形式具有如下诸多优点:

(1) 锥形壳体结构能够提供足够的空间来保证压载物重量。

(2) 机组荷载传递至基础底部受力明确,荷载传递路径简单直接。

(3) 结构整体上细下粗,波浪和海流作用较小,重心较低,有利于提高基础的整体稳定性。

(4) 后张法预应力混凝土结构的强度和刚度大,能够较好防止裂缝开展和疲劳破坏。

(5) 压载物填充作业一次性完成,施工方便,无需多次分仓填充。

Thronton Bank 海上风电场一期工程所用的重力式基础是在专门设计的码头场地上进行建造的,每个机位的海床挖深大约为 7m。为保证基础重量能够很好地传递至基床以下土体,基床由过滤层和碎石垫层组成,整平后的碎石垫层表面倾斜度小于 0.75° 。重力式基础采用夹具固定后用重型浮吊船吊运至安装机位。达到预定位置后,先向基础空腔内注水使之下沉,再向空腔内装填重度为 15.8kN/m^3 的中粗砂。整个压载物的装填体积接近 2000m^3 ,装填完成后整个基础的重量达到 7000t。基础防冲刷设计由反滤层和抛石防护层组成,抛石防护层沿

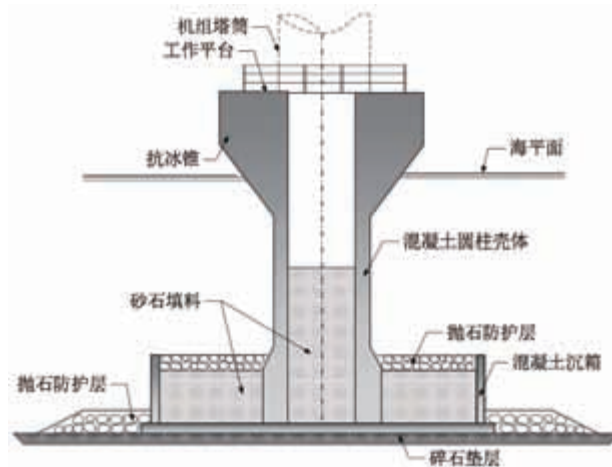


图3 浅水海域重力式沉箱基础

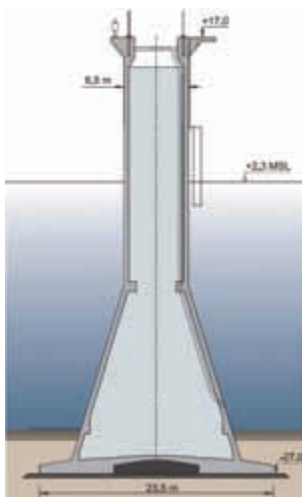


图4 重力式预应力壳体基础

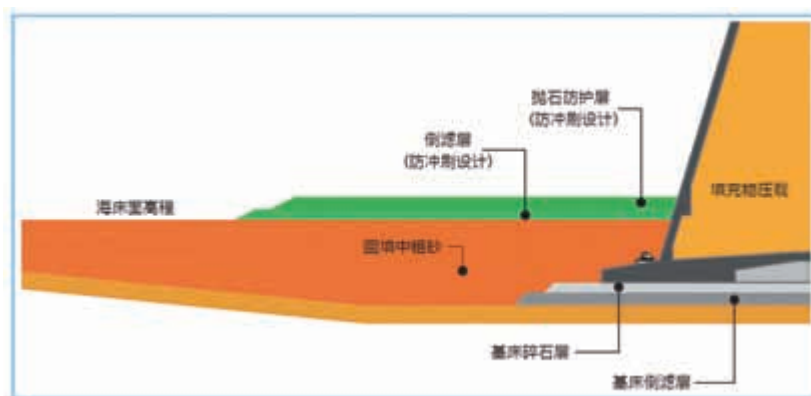


图5 Thronton Bank海上风电场重力式基础的防冲刷设计

基础边缘延伸 10m 范围内进行抛石防护, 如图 5 所示。

二、钢管桩—混凝土沉箱组合基础

2017 年, 英国 Blyth 海上风电示范风电场规划安装 5 台 8.0MW 风电机组, 工程海域水深 36~42m。为满足大容量机组和深水海域对机组基础的严苛要求, 建造方首次提出采用“钢管桩—混凝土沉箱”组合重力式基础方案; 为解决重力式基础由于重量和尺寸较大导致海上运输和安装困难的问题, 设计方采用“浮运—下沉”技术的海上运输安装方案, 这种技术是首次应用于海上风电工程。重力式基础结构主要由钢管桩和混凝土沉箱组成, 钢管桩直径 6.5~7.0m, 混凝土沉箱由圆锥段壳体 and 圆柱段壳体结构组成, 直径 30.0m, 高度 20.0m, 圆柱段壳体结构内设置辐射状肋板作为支撑结构, 沉箱空腔内装填砂和海水作为压载物, 整个重力式基础结构预制

部分重量超过 5500t, 浮运时吃水深度小于 10m, 如图 6 所示。上述重力式基础结构形式具有以下优势:

(1) 采用浮运—下沉技术, 无需重型浮吊设备运输和安装基础, 海上作业简单方便。

(2) 专门为 30~50m 深水海域的大容量机型定制优化设计, 结构设计简洁紧凑。

(3) 与导管架基础、大直径单桩基础相比, 具有成本控制和施工便利的竞争优势。

(4) 相比混凝土圆柱壳体, 采用钢管桩结构能够减小结构重量和浮运吃水深度。

(5) 钢管桩顶部可直接与机组塔筒底法兰连接, 无需过渡段。

Blyth 海上风电示范风电场的 5 座重力式基础在干船坞内建造, 建造完成后向坞内注水, 然后由拖轮将基础浮运至安装机位, 最后向沉箱的隔舱内填充砂和海水, 完成装填压载作

业, 整个基础安装完成后的总重超过 15000t。

海上风电机组重力式基础应用的关键问题

目前海上风电正逐步向深水海域大容量机型方向快速发展, 而我国福建、广东沿海地区受台风影响严重, 导致机组极限荷载多受暴风工况控制, 荷载量级与欧洲海上风电场同类机型相比高出 30% 以上, 对基础设计提出了更高的要求。海上风电机组重力式基础的设计关键环节包括基础结构设计、运输安装设计、海床处理设计。

(1) 基础结构。根据已有的结构形式可以判定, 重力式基础结构的最佳形式是带有空腔的壳体结构与提供重量的压载物的组合。为保证壳体结构具有足够的强度和刚度, 可采用预应力混凝土结构、钢结构或者两种结构的组合形式。混凝土结构的整体性

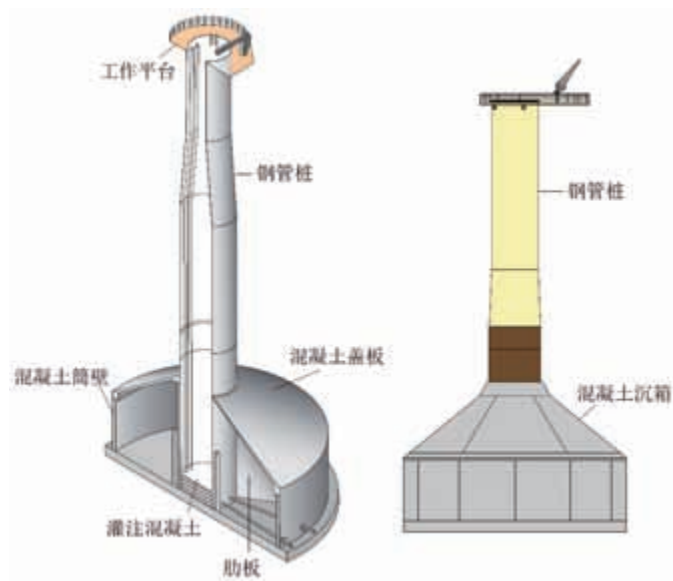


图6 钢管桩—混凝土沉箱组合基础

较好，节省钢材，现场预制工序较为复杂，基础重量较大；钢结构强度大，基础重量轻，但钢结构疲劳和腐蚀问题比较突出，材料成本高；采用钢管桩—混凝土沉箱组合结构，能够较好地平衡两种结构材料的优缺点，但两种材料连接部位受力复杂，需要设计可靠的连接方式。

(2) 运输安装。按照目前 5.0MW 以上大容量海上风电机组设计，重力式基础预制结构部分的重量达到 3000~6000t。目前的运输安装方式主要根据重力式基础的浮运稳定性分为两种方式：第一种是由于重力式基础

浮运吃水深度较大，海域水深无法满足条件，或者基础无法满足浮运稳定性，如 Thronton Bank 1 期的重力式基础，只能用大型半潜驳船运输至装机位，然后用重型浮吊船辅助重力式基础下沉至海床面；第二种是重力式基础的下部尺寸设计较大，浮运吃水深度小，具有良好的浮运稳定性，可在海况较好的情况下用拖轮拖航浮运至装机位。

(3) 海床处理。在将重力式基础安放就位之前，先要对海床进行处理，这个环节也是重力式基础相比其他基础形式如单桩、导管架基础的劣势所

在。海床处理的主要目的是：(a) 使得海床浅层土满足地基承载力的要求；(b) 对基床进行整平，满足重力式基础对基床平整度的要求；(c) 扩散基础对地基的应力，起到减小地基应力和不均匀沉降的作用。针对浅覆盖层大直径单桩嵌岩施工困难的问题，若对海床浅层土体进行地基加固处理，可大幅提高浅层土体的地基承载力。如此，重力式基础方案可成为具有竞争力的基础方案。

本文通过回顾海上风电机组重力式基础从浅水海域小容量机型向深水海域大容量机型发展过程中的技术革新，总结了四种不同结构形式的重力式基础技术路径，对它们的设计的关键环节进行了论述，得到结论与建议如下：

(1) 海上风电机组重力式基础的最佳结构形式为高强度壳体结构与提供重量的压载物的组合体。

(2) 重力式基础的陆上预制可选择在附近的干船坞、甲板驳船或者码头场地完成。

(3) 基础海上运输安装分为驳船、浮吊船运输安装和浮运安装两种方式，可针对具体海域海况和施工便利性进行优选。

(4) 针对浅覆盖层大直径单桩嵌岩施工困难的问题，若对海床浅层土体进行地基加固处理，重力式基础可成为具有竞争力的基础方案。☑

(作者单位：上海勘测设计研究院有限公司)

期待与您相约

CHINA
WINDPOWER
2018 17-19 October
Beijing, China

2018年10月17-19日
W3展馆, B07展台

什么 能降低风机的 全生命周期成本？

结构紧凑、经久耐用的威能极齿轮箱为此而生。总计150GW
齿轮箱交付的行业经验以及与客户无数次携手开发齿轮箱积
累的宝贵知识使得我们始终能够推陈出新。

我们的前沿技术不仅能提高齿轮箱的功率密度并降低其全生
命周期成本，与此同时也大大提高风机的效率及发电量。

更多信息，可浏览我公司网站
www.winergy-group.com



 winergy

2018年上半年，德国新吊装了装机容量为430MW的海上风电机组，但均未并网发电。这些机组全部位于北海地区，平均水深32m，平均离岸距离为57km。在发电量方面，同期，德国海上风电共发电不足90亿千瓦时（9TWh），占全部发电量的2.9%。

2018年上半年 德国新增海上风电装机430MW

编译 | 夏云峰

整体走势及关键指标

2018年1—6月，德国海域新吊装62台风电机组，容量为429.5MW，所有机组均未并入电网。同期，还新增了75个基础，其中的50个尚未安装机组，加上于2017年建设但到2018年上半年仍未安装机组的基础，德国海域共有139个基础在等待安装机组。由于没有新增并网装机，截至2018年6月，德国海上风电累计并网规模维持在上一年水平，为5387.4MW（1169台）。

截至2018年6月，德国全部并网海上风电机组的技术指标与2017年年底持平，平均单机容量为4069kW，平均风轮直径和平均轮毂高度分别达

表1 德国海上风电发展情况一览（截至2018年6月30日）

| 年份 | 指标 | 装机容量（MW） | 数量 |
|------------|-------------|----------|------|
| 2018年上半年新增 | 已吊装但尚未并网的机组 | 429.5 | 62 |
| | 尚未吊装机组的基础 | | 50 |
| 2018年上半年累计 | 已并网机组 | 5387.4 | 1169 |
| | 已吊装但尚未并网的机组 | 429.5 | 62 |
| | 尚未吊装机组的基础 | | 139 |

到126m和92m，平均比功率（specific area power）则维持在369W/m²的水平。

2018年前6个月新增的基础主要采用了单桩式和负压桶基式技术类型，两者的比例分别为89%、11%。截至

2018年6月，在德国海域所有已安装的基础中，单桩式占72%，导管架式、三脚架式和三桩式分别占12%、9%、6%。今年上半年，负压桶基式基础首次在德国的海上风电项目中实现批量化应用，占比1%。

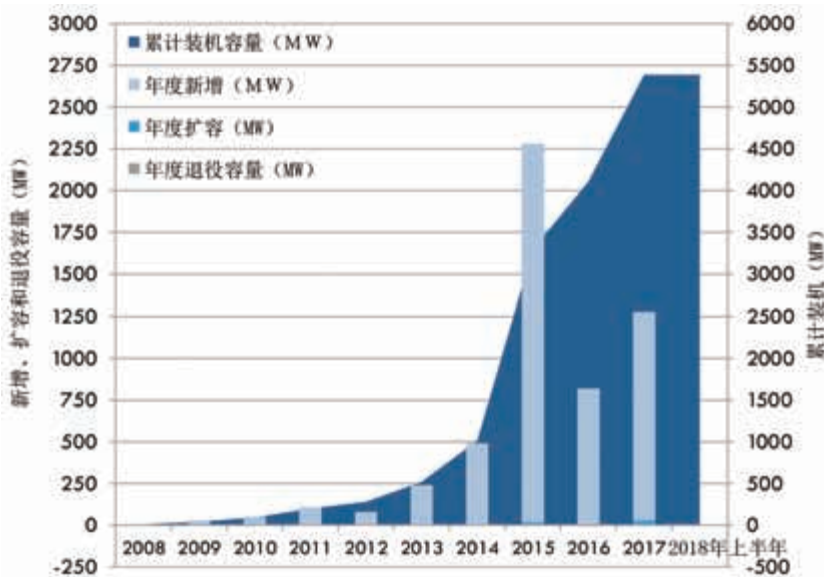


图1 德国海上风电并网容量发展走势



图2 各种基础类型的历年新增数量

表2 德国各海域海上风电发展情况（截至2018年6月）

| | 海域 | 北海 | | 波罗的海 | |
|------------|-------------|-----------|-----|-----------|-----|
| | | 装机容量 (MW) | 数量 | 装机容量 (MW) | 数量 |
| 2018年上半年新增 | 已吊装但尚未并网的机组 | 429.5 | 62 | | |
| | 尚未吊装机组的基础 | | 50 | | |
| 2018年上半年累计 | 并网机组 | 4695.1 | 997 | 692.3 | 172 |
| | 已吊装但尚未并网的机组 | 429.5 | 62 | | |
| | 尚未吊装机组的基础 | | 79 | | 60 |

在水深和离岸距离方面，2018年上半年新增机组的平均水深为32m，平均离岸距离为57km。与已建项目相比，有3个施工中的项目的水深和离岸距离均为中等水平。另外一个建设中的项目和2个已经做出最终投资决定（FID）的项目离岸更远，水深则在40m左右。

地域分布

今年上半年安装的海上风电机组和基础全部集中在北海地区。在波罗的海地区，有一个项目正处于施工中，但机组吊装要到今年下半年才启动。截至2018年6月，北海和波罗的海地区分别有79个和60个基础尚未安装机组。此外，北海地区还有62台机组即将并网发电。在全部并网装机中，北海和波罗的海各占87%和13%。

可以根据各台风电机组输电线路在陆上电网连接点的位置，将其划归到不同的州。截至2018年6月，下萨克森州的累计装机容量最大，为2917MW，占全国总装机的54%。其中，有229MW的装机位于该州的领海。其次为石勒苏益格—荷尔斯泰因州，累计装机容量为1780.5MW，占33%。除了一台近海风电机组外，该州的所有其他海上风电项目均位于其专属经济区。梅克伦堡—前波莫瑞州的规模则达到690MW，只有一个装机为48MW的项目位于其领海内。

招标

2017年4月和2018年4月，德国组织过两轮为已有项目分配可用并网容量的投标，规模达到3.1GW。

2017年，有4个项目中标；2018年，中标数为6个：Borkum Riffgrund West 1、Gode Wind 4、Kaskasi II、Wikinger Sued、Baltic Eagle 以及 Arcadis Ost 1。这些项目有望在2021年—2025年投运。

2018年中标的6个项目的平均加权中标价为4.66欧分/千瓦时，比2017年的中标价高出0.44欧分/千瓦时。在这两轮招标中，均出现了零补贴的报价。同时，2018年上半年这一轮招标中的最高中标价——9.83欧分/千瓦时，也明显高于2017年的水平（6欧分/千瓦时）。

开发目标

到2018年6月，除了已并网的5.4 GW 装机外，德国还有0.4 GW 的机组已经完成吊装，但未并网发电。处于吊装中的机组容量为1.5 GW。此外，做出最终投资决定的装机容量达到0.4GW。另有19MW 的示范机组已经获得并网许可，但尚未做出最终投资决定。根据“德国能源法案”的规定，到2020年，德国海上风电的最大装机容量为7.7GW，这个目标预计会实现。

如前所述，在2017年4月和2018年4月举行的两轮招标中，共有3.1GW 的装机中标，并有望在2021年—2025年投运。据此来看，德国海上风电的累计并网容量有望在2025年达到10.8GW。

项目开发

到2018年6月，德国在运海上

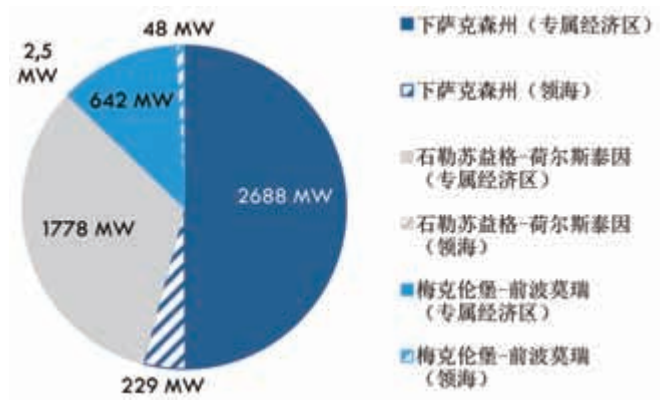


图3 德国各州的海上风电累计并网容量



图4 两轮招标的中标价区间

风电场的数量达到20座。此外，还有5个项目处于施工中，2座在建风电场吊装了首台机组。Mercur Offshore 项目的所有基础已经安装完毕，Borkum Riffgrund 2 风电场的基础和机组安装工作正在同步进行中。同期，EnBW Hohe See 与 Trianel

Windpark Borkum II 两个项目也于2018年上半年安装了首个基础。虽然早在2017年 Arkona 风电场的所有基础就已经完成安装，但机组吊装到目前为止仍未启动。

此外，EnBW Albatros 与 Deutsche Bucht 风电场已经做出最



图5 2017年以及2018年上半年德国海上风电月度发电量

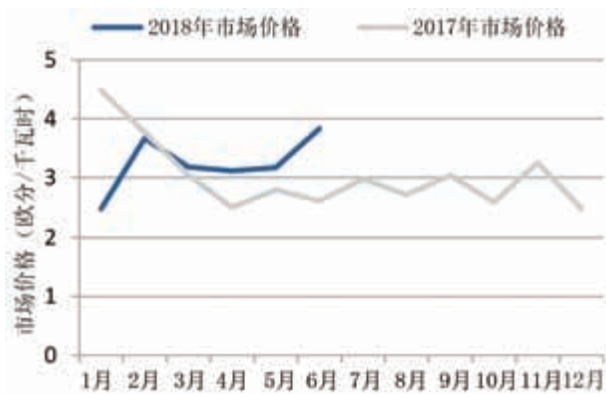


图6 2017年以及2018年上半年德国海上风电的月度平均市场价格

终投资决定，有望于2019年底开工。另有位于北海地区的3台机组——GICON-SOF和2台示范机组获得了并网许可，但尚未做出最终投资决定。

发电量与市场价格

2018年上半年，德国海上风电发电量不足90亿千瓦时（9TWh），比2017年上半年增长16%。根据德国联邦能源和水资源协会（BDEW）测算，这在同期该国全部发电量中占2.9%。

图6显示了2017年以及2018年上半年德国海上风电的月度平均市场价格。这个价格指的是每千瓦时电力从发出到并网期间的平均加权市场收益。在德国，这一指标从2018年1月的2.5欧分/千瓦时提高到2018年6月的3.8欧分/千瓦时，平均市场价格比2018年同期低1%。其加权月度市场价格比欧洲电力交易所EPEX SPOT SE的小时合同（hourly contract）的平均价格低9%。

（编译自 Deutsche WindGuard 网站）



摄影：袁飞

美国佐治亚州本宁堡军事基地一直积极开发可再生资源，推动本地区可持续发展，并于近期开展“可再生能源和通信塔技术项目”，旨在为军人提供相关培训课程，帮助他们退伍后获得进入风电行业的从业资格。

风电行业：美国退役军人新去处

编译 | 孙一琳

在特朗普执政期间，尽管美国国防部（The Department of Defense）推动可再生能源发展的计划受到了一定程度的阻碍，积极性有所下降，但还是启动了新项目。7月30日，美国佐治亚州本宁堡市的凯莱希尔部队与Airstreams Renewable公司合作开展“可再生能源和通信塔技术项目”（Renewable Energy and Communications Tower technical program）。该项目为期28天，为军人提供完整的学习课程，旨在帮助他们获得进入通信塔、风能或其他替代能源行业的从业资格，让他们在离开军队后能够顺利适应社会生活。

美国存在很多难以在普通劳动力市场中找到合适技术工人的产业，而本宁堡的这一做法不仅仅有助于军人退伍后重返社会生活，也为各个行业招贤纳士开辟了新思路。

本宁堡的风能概况

在奥巴马执政期间，为了保证能源安全，积极应对气候变化，减少温室气体排放，美国国防部在全国范围内积极推动可再生能源的发展。前期措施主要是安装太阳能电池板，从屋顶小阵列到大型地面太阳能电站等。但由于存在空中交通和其他运营方面的顾虑，国防部所属地区的风电开发始终进展缓慢。

本宁堡的情况同样如此。到2016年，本宁堡运行着一个3万千瓦的太阳能发电站，此外还有许多屋顶太阳能电池板阵列。相比之下，风能产业没有得到官方的大力扶持，发展几乎处于停滞状态。此外，佐治亚州的风能资源条件较差。与大众熟悉的拥有高大塔架和巨大叶片的风电机组不同，本宁堡的风电设备主要安装在低层建

筑中，它们是针对上升气流设计的，并不适应环境风（ambient winds）。

开展风电从业培训的原因

既然佐治亚州的风能资源并不是十分丰富，为什么本宁堡还要创造条件推动退伍军人在风电行业再就业呢？

首先，风电产业的技术人才需求缺口巨大。本宁堡从中得到启发，军方引用美国劳工统计局（Bureau of Labor Statistics）的预测称，未来5年，风电领域的就业增长可能高达108%，这会为大量退伍军人提供就业机会。

其次，本宁堡十分注重推动可再生能源的发展，对可再生能源技术创新投入了大量精力。

不仅是风电产业，包括太阳能产业也是如此。近期，本宁堡在其环境学习中心（Environmental Learning

Center)推出了“Smartflower”阵列,一款可以跟踪阳光进行自动调节的智能太阳能电池板。紧凑的阵列能够跟踪白天最佳的阳光,并在晚上折叠起来以妥善保管。折叠系统还可以清除面板上的灰尘和碎片,这样,第二天早上设备会有一个良好的运行状态。

Smartflower 的安装运行具有多重意义。除了为电网供电,这一设备的使用让学生了解军队在节能方面所付出的努力。此外,Smartflower 还具有教育和启发意义。据公共工程部(DPW)环境部门的负责人 Kirk Ticknor 说,这种装置可以培养人们在节能方面的创造性思维,“可以通过下达工作指令,或者提高办公楼里人们的意识,在不需要的情况下拔掉电源,关掉电脑、电灯等设备,节省办公楼内消耗的能源。”作为整个可再生能源体系中的一部分,Smartflower 是本宁堡不断努力发展可再生能源的象征。

事实上,与风能资源一样,佐治亚州并不具备发展太阳能产业的最佳条件。虽然它有充足的阳光,但当地的高温和高湿度会影响太阳能电池的效



率。尽管如此,本宁堡的探索依然证明在佐治亚州开发太阳能发电项目是有利可图的。除了学习中心及风能和太阳能产业项目之外,本宁堡最近还安装了一个覆盖 200 多座建筑的集中数据驱动能源管理系统。同时,当地还在使用节能型 LED 灯取代传统路灯。

再次是风电行业能为退伍军人融入社会生活提供良好的基础。在此前启动的新训练计划仪式上,美军驻本宁堡要塞的副指挥官乔治·斯特比布(George Steuber)解释说:“我们之前将普通的市民训练成身经百战的士兵,现在 we 希望能让他们重新回归到社会生活中,并获得高薪工作。军队将确保士兵在完成现役职业生涯后,也就是退役之后还能在其他市场中获

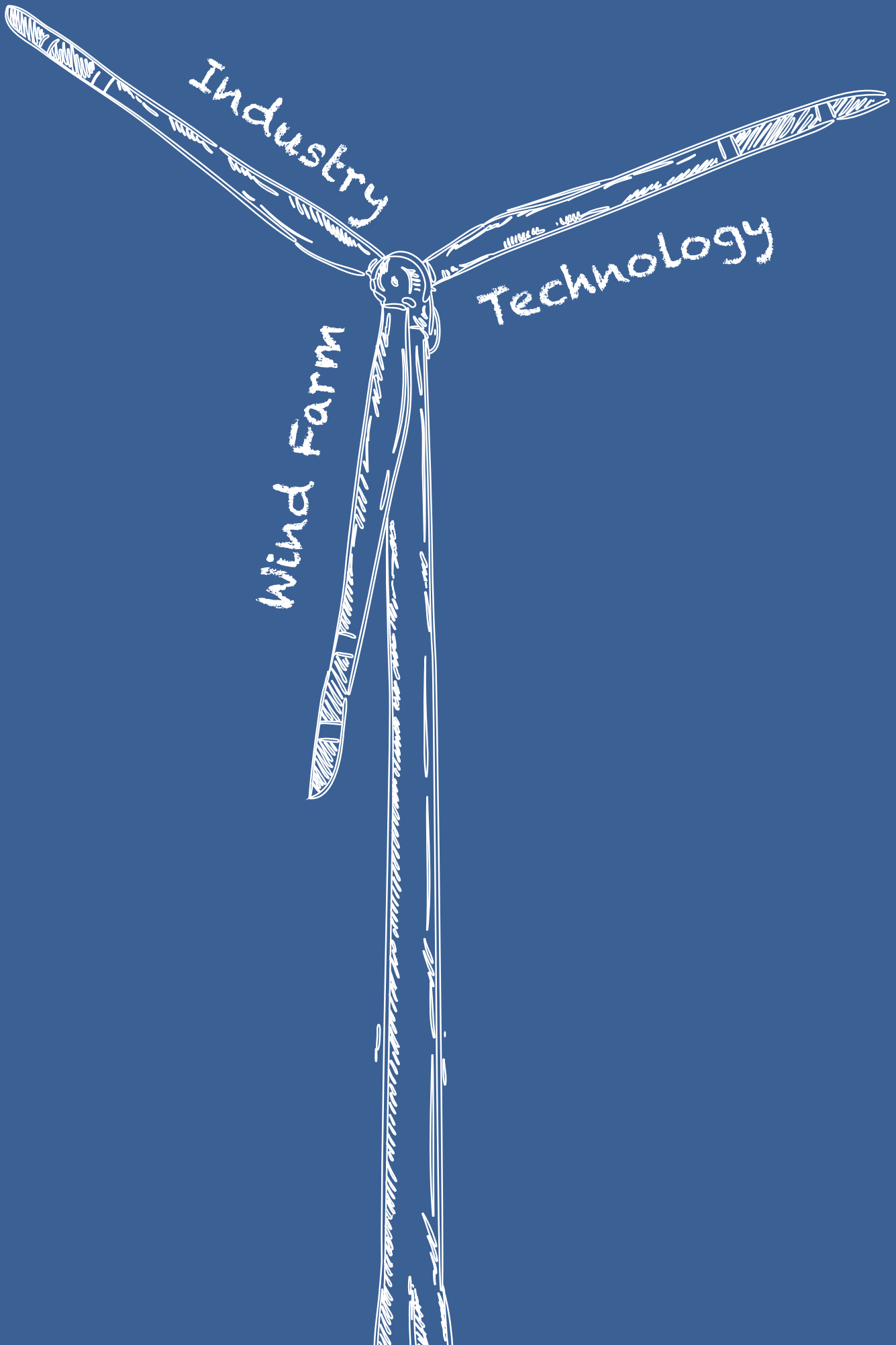
得一个具有同等竞争力的职业。”

最后,在奥巴马政府的领导下,风电产业的发展速度开始大幅加快,需要寻找更多优秀的人才来推动产业发展。业内人士认为,退伍军人拥有与风电产业相匹配的技能,包括熟悉电子和机械设备,心灵手巧,身体健康以及具有极高的纪律性、团队合作能力和领导力。他们较一般人更为出色,完全能胜任风电行业的工作。

Airstreams Renewable 公司已经在其他 4 个军事基地开展了类似的项目。他们的想法是,在现役军人退役前,让他们具备特定的、急需的职业技能,而不是在没有任何清晰预期的情况下让他们直接回归社会。📍(编译自 triplepundit 网站)



摄影:王家林



产业

浅析“互联网+”对风电设计业务发展的启示

风电场

复杂地形不同测风年数据对风电场发电量推算的影响研究

技术

纵向变厚度钢板在风电塔筒中的应用及力学性能研究

风电机组远程故障处理及容错运行

风储系统最优运行策略研究

海上风电植入式单桩施工稳桩系统研究

风电机组并网开关回路问题的处理探索

浅析“互联网+”对风电设计业务发展的启示

文 | 胡己坤, 刘玮, 袁红亮, 高洁

“互联网+”的理念自2012年首次被提出后迅速传播,受重视程度不断提高。“互联网+”代表一种新的社会形态,即充分发挥互联网在社会资源配置中的优化和集成作用,将互联网的创新成果深度融合于经济、社会各领域之中,提升全社会的创新力和生产力,形成更广泛的、以互联网为基础设施和实现工具的经济发展新形态。管理学大师彼得·德鲁克指出,“互联网消除了距离,这是它最大的影响。”互联网在革命性地提升沟通效率的同时,深刻颠覆了传统的商业模式。互联网转型专家刘润在其著作《互联网+:战略版|传统企业,互联网在踢门》中分析到,商业过程的“价值模型”可以简单分为两大环节:创造价值和传递价值。互联网化,首先改变的是价值传递环节,不断消除信息流、资金流、物质流的不对称。这个因为“消除距离”导致传递环节极大缩短的过程被称为“互联网减法”;在信息越来越对称的前提下,利用互联网将用户“加”入设计和制造环节被称为“互联网加法”。

风电设计业务的核心集中在创造价值的设计环节。通常在设计开始前根据客户的开发意愿制定相应的规划,设计过程中根据客户的开发计划制定相应的方案,并充分采纳客户的选择

意向,设计产品紧密围绕客户需求,尊重客户的个性化要求。从表面上看,风电遵循的商业模式是先进的C2B,应该具有高水平的客户满意度和较强的市场竞争力,而事实上,风电设计单位的市场竞争力普遍有限,用户黏性也不强。本文将从“互联网+”思维出发,深入分析造成目前风电设计单位竞争力偏弱的原因和面临的挑战,并尝试给出解决建议。

传统风电设计业务分析

满足用户需要,创造用户价值,是一切商业的根本目的。本文将分别从供、需两端对传统风电设计业务模式展开分析。

一、风电客户的需求分析

用户的需求可以简单划分为功能、体验、个性三个层次。在“沟通效率”还不高的时候,满足功能需求是最重要的,也是最容易实现的。随着沟通效率的提升和信息文明的发展,体验、个性的需求将被快速了解,然后被逐步满足。按照需求特点可以将风电客户大致分为三类:

(一) 刚开始涉足风电的客户

刚开始涉足风电的客户对风电行业了解甚少、要求不高,基本处于满足功能需要阶段,对设计公司 and 设计

人员非常尊重,包容心较强。这类客户已不多见。

(二) 具有一定风电投资经验的客户

这类客户具备基本的风电知识,对风电开发有个性理解,对体验和服务有较强要求,容易被新颖的概念吸引,对设计公司和设计人员比较尊重。这类客户数量同样较少。

(三) 具有丰富风电投资经验的客户

这类客户多为大型能源开发或投资企业,拥有多年风电开发经验,具有成熟的管理制度和团队,不同客户的个性化差异十分显著。这类客户构成了风电业务来源的主体,对设计公司的要求和限制较多,技术理解甚至可能高于设计公司,设计公司更像他们典型设计个性化的执行人,他们对设计公司的要求主要集中在体验上。

二、传统风电的服务分析

企业在满足用户需求的过程中,根据对用户的认识不同,也可以分为三个阶段,即假想用户、泛指用户、个体用户。从社会发展的宏观背景来看,随着近年来信息文明的发展,已经从满足假想用户的功能需求转变为满足泛指用户的体验需求,并逐步进入满足个体用户的个性需求阶段。

(一) 传统风电设计的管理服务

分析

传统风电设计管理通常由设计公司的某部门牵头负责，在接到客户项目委托后，项目经理会与客户进行沟通，了解客户技术和进度要求；在接收到所有资料后，项目经理会启动项目执行，组织十余个相关专业人员开展设计工作，高质量服务的正常周期约为3~6周。

目前从事风电设计的公司多为水电设计院或火电设计院，对风电等新能源业务的设计流程多参考传统主营业务的执行经验，不同专业分布在不同部门之中，而每个部门又有各自的定位和目标，于是出现了以下特点：

1. 内部成本高，报价市场竞争力低

由于不同部门均制定了各自的业绩目标，除牵头部门，其他各部门均承接多个行业的相似业务。在有限的时间和人力资源条件下，各部门为了提高业绩，必然要提高每笔业务的业绩贡献要求。假定A部门单笔业务的业绩贡献期望等于A部门在所有参与行业同类业务的平均水平，对于市场进入门槛较低的风电业务而言，由于价格竞争激烈，单笔风电业务的业绩贡献水平很可能低于A部门的期望。为了避免时间和人力资源的浪费，A部门要么选择业绩贡献率更高的其他行业，要么提高对风电业务的报价。类似的B、C、D等部门也面临着相同问题，再加上公司的管理费用等其他成本，风电报价自然水涨船高，造成市场竞争力降低。

2. 完成周期长，协调难度大

在多部门配合共同完成风电设计业务的公司中，除牵头部门，风电业务在其他部门多属于补充业务，由于业绩贡献偏低造成了各部门对风电业务的积极性有限，推动风电业务的高

效执行缺少统一的思想基础和利益基础，部门间存在推诿扯皮现象，相互补台的协作精神较弱。

3. 员工重视度不足

风电业务在多数直接参与部门中不属于核心业务，员工在认识上容易将风电定位为较为简单的业务，对风电业务的重视度偏低，缺乏对风电相关专业的持续研究热情。在多业务并行的繁忙时期优先完成非风电业务，主动服务意识不强。

综合来看，传统风电设计业务的管理模式已无法满足市场发展需要，客户对于公司提供的产品服务也由“用嘴抗议”发展到了“用脚投票”，部分设计公司在近年来的风电发展黄金期内，业务管理思路始终未根据市场反馈做出有效调整，造成市场竞争力不断下降。可以说，类似的风电服务在管理层面仍然停留在从“假想用户”出发的最低级阶段。

（二）传统风电设计的技术服务分析

传统风电设计的技术服务是依据种类繁多的国家及行业规范开展的，由于相关规范在制定过程中已经充分征求过主要市场参与主体的意见，因此，规范本身天然具备了“泛指用户”的特征。可以说，设计咨询单位对客户的技术要求普遍具有较深入的理解，在满足规范要求的前提下提供设计产品并不存在难度；但当客户要求与规范发生冲突，或者提出较多个性化要求时，容易出现协调困难、缺乏耐心、敷衍了事等现象。可以说，传统风电设计服务在技术层面已能够从“泛指用户”的需求出发，但是处于满足“个体用户”需求的初级阶段。

通过以上分析，在客户的需要已经演变为“体验”需求的情况下，设

计公司所提供服务的思路和技术特点仍建立在满足客户的“功能”需求上，供需并不匹配，传统风电设计是在用C2B的资料提供着B2C的服务。

“互联网+”的启示

“互联网减法”是目前互联网公司最有力、也是最为人熟知的武器，例如360、滴滴打车、余额宝等，用全新商业模式，给传统行业带来了巨大的冲击。那么，风电设计业务有没有可能也会面临类似的困境？

答案是肯定的，并且这种威胁已经成为现实。国内风电机组制造厂商中的领军企业均已开展基于“互联网+”的风电在线综合服务平台的研发工作，利用设计公司难以比拟的资金、人力和大数据优势，为用户提供从宏观选址到运行维护的风电场全生命周期超高效咨询及管理服务，并且在与传统风电设计业务类似的相关功能上是完全免费的。风电机组厂商的初衷是为了辅助其主营业务——风电机组的销售，但在无意中却可能成为传统风电设计业务的“终结者”。尽管现阶段相关平台还无法完全替代人的工作，但可以预见，随着人工智能及相关算法的完善发展，未来的风电场设计很可能将通过计算机程序自动实现。

面对上述的威胁，风电设计公司必须做出调整，用“互联网+”的思维和方法武装自己，争取在竞争中抢得先机。

一、主动转型互联网服务，苦练超级效率

“快鱼吃慢鱼”是思科CEO钱伯斯的名言，生动地刻画了互联网时代的竞争法则。“快鱼准则”对外强调找准目标，快速出击；对内强调提

高工作效率，尽量把反馈循环流程的总时间缩减到最短。要想在市场中占据主动，风电设计公司一定要苦练超级效率，利用互联网的技术手段武装自己：

(1) 短期内调整风电业务的管理思路和组织方式，采用多专业跨部门协作模式的应尽快推行业务部体制，降低内部成本，改进内部沟通和组织效率，提高报价竞争力。

(2) 中长期内打造风电智能化设计服务云平台。平台应采用先进的“云、大、物、移、智”技术，在统一的数据管理和设计平台上，充分总结公司自身多年风电设计的先进理念和丰富经验，利用智能算法高效完成风电规划、可研、初设、施工等不同阶段的方案设计、报告编写和图纸绘制工作，让设计效率有质的飞跃。通过一体化设计平台，切实打通目前设计中各专业平台不统一的低效流转体系，使得各专业间无缝对接，协助项目经理精准贯彻设计意图、全面掌握设计进度并及时发现卡滞节点，帮助设计人员无论身在何处都能及时沟通跟进，提高项目整体的质量和效率。

智能化设计服务云平台不仅能够提高对客户需求的响应速度，通过在同等时间内完成更多的项目降低平均成本，还将极大减轻员工的重复工作强度，使得员工有更多的时间和精力

投入到科研、市场和个性化服务中去，促进人员结构优化，实现销售-生产-研究-服务的良性循环。

二、提高满足客户“体验”需求的能力

在解决效率问题后，风电设计业务满足客户“体验”需求的硬实力将显著提高，软实力建设同样不容忽视。企业文化传播上要引导全员树立“客户至上”的服务理念，真正把顾客当成“上帝”，建立鼓励提高服务质量的激励机制；为技术人员制定系统化、针对性强的培训计划，拓展技术人员的专业能力和视野；项目管理上同样要把客户摆在核心位置，针对重要客户设立专职设计总工程师（以下简称“设总”），稳定的职责划分有助于设总加强与客户的联络，不断增进彼此互信，并使得设总有意愿加强对特定客户“个性化”的研究，让满足“体验”需求的能力持续提升成为可能；在风电智能化设计服务云平台中为客户提供设总及设计人员信息查询、互动交流、项目进度查询、满意度评价等服务功能，让客户真正参与到项目中。多管齐下将风电设计业务的服务模式改造为真正的C2B。

三、积极探索新的商业模式

互联网很少以新技术去颠覆老科技，而是用新技术带来的新商业模式去颠覆老商业模式，以及人类的传

统生活方式。目前具备广阔市场前景的“技术创新”是海上风电设计，但海上市场开拓难度极大，绝大多数设计公司难以顺利入围；而在新商业模式方面已有许多设计公司进行了有益的探索。开展商业模式上的创新相对技术创新而言易于实现，但需要发挥创造性思维，今后风电设计公司可以在商业模式探索上进行积极尝试，在现有技术条件下为业绩的突破性增长找到出路。

结论

“互联网+”不仅体现在技术上，更体现在思维方式上，互联网极大地提升了沟通效率，推动商业模式更加贴近用户。风电设计业务的“互联网+”，应围绕“如何提升服务客户的能力”这一中心重构管理架构，重点是尽快打造风电智能化设计服务云平台，打通目前碎片式的低效技术服务模式，向互联网一体化服务转型；着力促进满足客户“体验”需求的能力建设，建立鼓励提高服务质量的激励机制，增设大客户设总，打造与项目紧密结合的在线服务平台；另外要积极探索新的商业模式，拓宽风电设计的合作方向。✎

（作者单位：中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司）



摄影：刘鹏帅

SSB变桨系统 经验助您成功

拥有27年风电领域的经验，全球范围内有超过32000*台风机、

中国累计超过7000*台风机上安装了SSB的变桨控制系统

- 在全球有包括100余位开发人员（其中在德国有50余名，中国50余名）在内近600名员工
- 从未有一台风机因为SSB的变桨系统而倒塌
- 2013 SLIP 超长寿命电池与集成变桨系统 -- Super Long Battery Life & Integrated Pitch
- 2014 BPMM风电变桨系统电池组健康状况监测模块开始应用于风场
- 2015
- 在中国开始大范围安装大兆瓦海上风机变桨控制系统
- 在北京国际风能展上正式推出第二代BPMM 比第一代更加智能 数据监控更加便捷
- 成立了风电后市场专业业务单元—配备专业的研发、生产和技术改造团队。为客户提供定制化的后市场产品、技术改造方案及服务
- 2017 桨叶风模型测量系统 Blade Vision 正式投放市场；全新研发的集成式变桨系统 EPD 开始大批量安装
- 2018
18年海上风机变桨系统安全运行经验
最大兆瓦级风机双驱动方案安全运行经验



埃斯倍风电科技（青岛）有限公司

地址：中国青岛市崂山区株洲路91号 邮编：266101 客服热线：400 622 1136

电话：+86 532 8870 2788 传真：+86 532 8870 5788

北京办事处：北京市朝阳区雅宝路10号凯威大厦15层 邮编：100020

电话：+86 10 8563 1122

上海办事处：上海宜山路1009号创新大楼2202室 邮编：200233

电话：+86 21 3418 3888



LEROY-SOMER

异步和永磁低压电机，适用于变桨，偏航和冷却系统应用

- 全球服务
- 设计灵活性
- 结构紧凑和可靠的解决方案
- 0.37 – 55 kW
- 防护等级可达IP65
- 200-400V/50Hz



利莱森玛电机科技(福州)有限公司

上海办事处：徐汇区宜山路1009号创新大楼2202室 | 200233 | 上海 | 中国

电话：+86 (21)3418 3888

复杂地形不同测风年数据对风电场发电量推算的影响研究

文 | 苏中莹, 李诗峰, 曹胜平

随着风电场大规模开发, 可供开发的优质风能资源区域越来越少。在这种情况下, 建设单位为了保证风电场投运后的发电收益与降低风电场前期的投资风险, 要求对风电场投运后年预期发电量进行准确的评估, 从而确保达到预期的收益目标。

目前, 行业大多通过对某一年测风数据的分析, 结合风电场附近区域的长期数据, 从而将该年风速订正为风电场投运后年均风速, 并据此得到风电场年预期的发电量。此时, 风向数据在整个风电场投运期内变化是可忽略的。然而, 经分析发现, 不仅不同测风年风速与该点同期风速数据的相关性存在差异 (引起其订正后年均风速也会有差异), 而且不同测风年的风向数据也是变化的。

本文以国内某复杂地形的风电场为例, 通过对不同测风年数据计算分析, 寻求其对投运后风电场预测年发电量的影响程度及对应的影响因素, 并对风电场总体与单台机组发电量的变化程度加以量化。建设单位可将该量化值作为敏感性因子考虑, 从而降低风电场的前期投资风险。

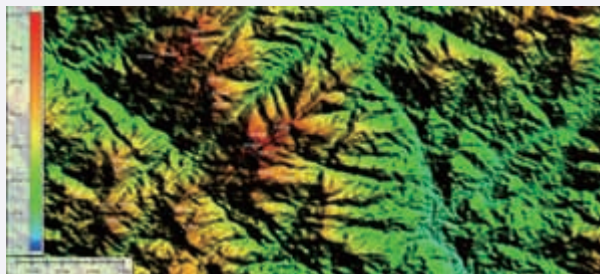


图1 风电场项目示意图

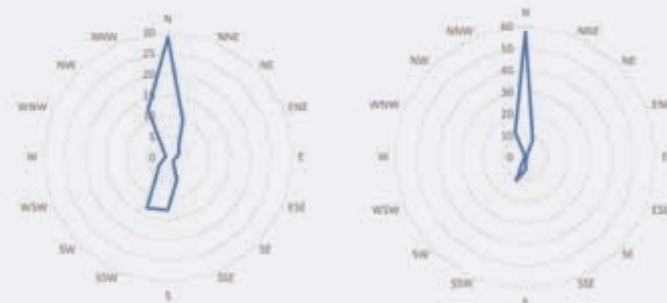


图2 数据1风向与风能玫瑰图

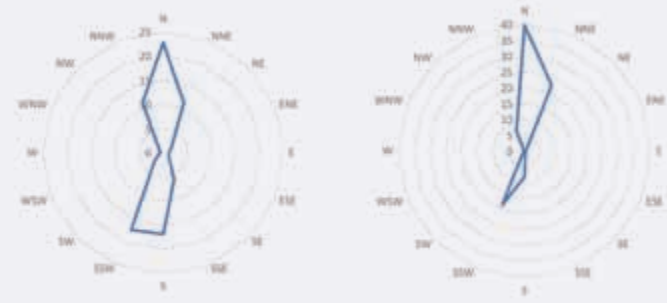


图3 数据2风向与风能玫瑰图

场区描述

本文选取湖北的某风电场项

目, 如图 1 所示。场区内最高海拔为 813m, 山体大致为南北走向, 地形起伏较为明显, 属于复杂地形。该风

电场测风数据已满三年, 现分别选取 2012 年 3 月 1 日—2013 年 3 月 1 日 (以下简称数据 1, 小风年)、2013 年 3

月 1 日—2014 年 3 月 1 日（以下简称数据 2，大风年）、2014 年 3 月 1 日—2015 年 3 月 1 日（以下简称数据 3，小风年）、2012 年 3 月 1 日—2015 年 3 月 1 日（以下简称数据 4，平风年）测风数据，并分别对其风速进行长年代风速订正，风向数据采用原始数据。场区内拟安装 21 台风电机组，设立 1 座测风塔，位于风电场偏东位置。测风塔主风向与主风能方向集中，主风向集中在 N、SSW 及 S 方向，主风能集中在 N、NNE、SSW 方向；其测风数据的各时间段风向风能如图 2—图 5 所示。

测风数据分析

选取数据 1、数据 2、数据 3、数据 4 等四个时间段的测风数据及测风塔附近中尺度 merra2 数据，将中尺度 merra2 同期数据与上述 4 项数据分别进行线性相关，相关性均在 65% 以上，满足实际工程需求。根据两者的相关性，并结合国家规范《风电场风能资源测量方法 GBT18709—2002》对各测风数据进行长年代风速订正。数据 1~数据 4 与中尺度 merra2 同期数据相关性及其长年代订正后年均风速成果见表 1。

由表 1 可见，测风数据存在如下现象：

(1) 不同测风时段风速与中尺度 merra2 同期数据风速的相关性存在差异。相比平风年相关后年均风速，其风速相关性的差异最大值为 0.04，最小值 0.02，在合理范围内；

(2) 对同一点的中尺度 merra2 数据与不同测风时段的测风数据进行长期数据订正，其订正后的风速存在差异。相比平风年风速，其小风年与

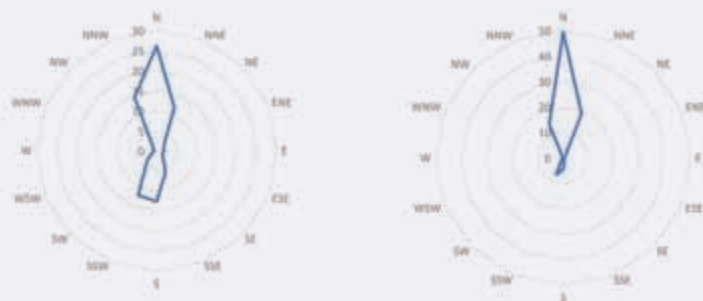


图4 数据3风向与风能玫瑰图

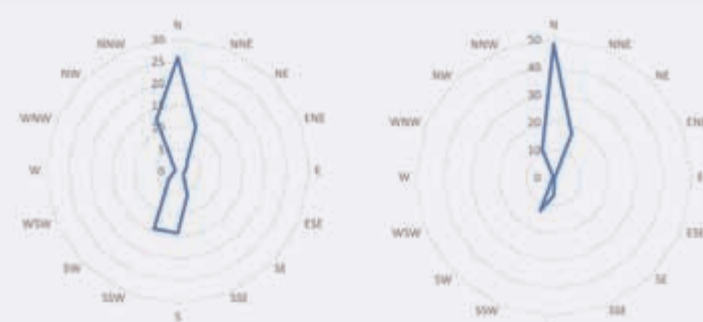


图5 数据4风向与风能玫瑰图

表1 数据1~数据4与中尺度merra2同期数据的相关性及对应长年代订正后风速成果

| 测风数据 | 相关性 (R) | 斜率 | 截距 | 长期订正后风速 (m/s) | 原始风速 (m/s) |
|------|-----------|-------|-------|-----------------|--------------|
| 数据 1 | 0.67 | 1.081 | 0.503 | 5.15 | 5.04 |
| 数据 2 | 0.73 | 1.124 | 0.334 | 5.22 | 5.51 |
| 数据 3 | 0.65 | 1.024 | 0.768 | 5.33 | 5.10 |
| 数据 4 | 0.69 | 1.064 | 0.433 | 5.24 | 5.24 |

表2 不同测风年数据的发电量结果对比

| 不同测风年数据 | 年等效利用小时 (h) | 发电量变化 (%) |
|---------|---------------|-------------|
| 数据 1 | 2094.31 | 3.60 |
| 数据 2 | 2221.30 | -2.25 |
| 数据 3 | 2198.30 | -1.19 |
| 数据 4 | 2172.43 | |

大风年订正后的年均风速偏差百分比最大值为 1.72%，最小值为 0.38%，在合理的范围内。并且同为小风年的数据 1 与数据 3 相比平风年，其风速偏差百分比相同，其值均为 1.72%。

发电量结果分析

一、发电量结果

(一) 风电场总体发电量结果对比
如表 2 所示，以数据 4 为基础，

将数据 1、数据 2、数据 3 与风电场总体发电量结果进行对比，得到如下结论：

(1) 采用数据 1、数据 2 及数据 3 得到的风电场总体发电量与数据 4 结果的偏差分别为 3.6%、2.25%、1.19%。因此，选择不同测风年对风电场总体发电量影响较大，其最大发电量结果偏差达到 3.6%。

(2) 由测风数据分析可知，数据 1 与数据 3 相比平风年订正后的风速偏差百分比相同，在不考虑其他因素的情况下，其发电量结果偏差应该保持一致。然而，数据 1 与数据 3 得到风电场总体发电量偏差与风速偏差并不是一致的；很显然，总体发电量结果还受到其他间接因素的影响。

(二) 不同机位点发电量结果对比

如表 3、图 6 及图 7 所示，以数据 4 风电场单台机位点发电量为参考，将数据 1、数据 2 及数据 3 的发电量与之对比分析，得到如下结论：

(1) 不同测风年数据计算的单台机位点发电量变化趋势一致。这说明不同测风年数据订正后年均风速与数据本身的固有特性一致。数据 1 与数据 3 相比数据 4，其风电场内单台机位点的发电量变化百分比趋势是一致的，而数据 2 相比数据 4，其风电场内单台机位点的发电量变化百分比明显与数据 1、数据 3 差异较大。这是由测风数据本身的大、小风年风速固有特性决定的。

(2) 数据 1、数据 2、数据 3 相比数据 4 计算的结果，其风电场内单台机位点的发电量变化百分比的最大值与最小值分别为 6.76% 与 1.72%、9.9% 与 0.18%、3.52% 与 0.2%；其中，数据 1、数据 2、数据 3 相比数据 4 结果，单台机位点发电量变化超过 3.6% 的分

表3 不同机位点发电量结果偏差对比

| 机位编号 | 数据 1、数据 2、数据 3 相对于数据 4 的结果偏差 | | |
|-------|------------------------------|----------------|----------------|
| | 数据 1 发电量偏差 (%) | 数据 2 发电量偏差 (%) | 数据 3 发电量偏差 (%) |
| WTG01 | 1.62 | 1.17 | -2.86 |
| WTG02 | 3.42 | -2.52 | -1.25 |
| WTG03 | 3.16 | -1.08 | -1.97 |
| WTG04 | 3.11 | -1.67 | -1.40 |
| WTG05 | 2.60 | -1.42 | -1.36 |
| WTG06 | 3.73 | -4.98 | 1.37 |
| WTG07 | 3.75 | -4.26 | 0.52 |
| WTG08 | 2.44 | 0.19 | -2.66 |
| WTG09 | 2.41 | 0.71 | -2.93 |
| WTG10 | 2.55 | 0.18 | -2.42 |
| WTG11 | 3.86 | -3.17 | -0.49 |
| WTG12 | 5.12 | -4.81 | -0.20 |
| WTG13 | 6.76 | -9.90 | 3.54 |
| WTG14 | 3.24 | -0.64 | -2.28 |
| WTG15 | 5.18 | -3.82 | -0.86 |
| WTG16 | 4.41 | -3.16 | -1.05 |
| WTG17 | 4.42 | -3.62 | -0.35 |
| WTG18 | 4.28 | -2.57 | -1.29 |
| WTG19 | 3.96 | -2.29 | -1.77 |
| WTG20 | 4.08 | -1.96 | -1.53 |
| WTG21 | 4.00 | -2.96 | -0.55 |



图6 数据1、数据2及数据3相对数据4的发电量变化



图7 数据1、数据2、数据3及数据4发电量变化趋势

别有 12 台、6 台、1 台。这说明不同测风年数据计算的单台机位点的发电量结果差异较大，其中数据 2 的单台机位点发电量的结果偏差存在最大值，其值为 9.9%。

(3) 同为小风年的数据 1 与数据 3 测风数据，其单台机位点的发电量结果差异也较大，并且数据 3 订正后年均风速明显大于数据 1。这说明在外围数据建模均相同的情况下，订正后年均风速的大小会对机位点发电量结果有影响。

二、发电量与风速

由数据 1、数据 2 及数据 3 相对数据 4 的计算结果（表 4、图 8 及图 9）可得到如下结论：

(1) 数据 1、数据 2、数据 3 及数据 4 的单台机位点年均风速变化趋势一致，这与其对应单台机位点的发电量变化趋势保持一致。这符合风能吸收原理，即风速与风能吸收成三次方的关系。在发电量计算过程中，风速对风能影响是最大的。

(2) 数据 1、数据 2 及数据 3 相对数据 4 的年均风速变化百分比大于 2% 的机位点数量分别是 21 台、1 台、4 台。其对应年均风速变化百分比的最大值与最小值分别为 2.06% 与 3.38%、0% 与 3.58%、0.6% 与 2.25%。由数据 1 计算的所有单台机位点年均风速变化均大于 2%，主要是由订正后年均风速引起的，并且此结果与数据 1 的风电场总体发电量结果一致。由数据 2 计算的单台风速变化最大、其发电量结果变化也最大的机位点为 WTG13，风速变化趋势与发电量变化趋势一致。

(3) 由图 8 可见，数据 1、数据 2 及数据 3 相对数据 4 的变化趋势明显存在差异，数据 1 与数据 3 风速变化趋势一致，而数据 2 风速变化趋势明

表4 机位点风速偏差对比

| 机位编号 | 数据 1、数据 2、数据 3 相对数据 4 的结果偏差 | | |
|-------|-----------------------------|-------------|-------------|
| | 数据 1 风速 (%) | 数据 2 风速 (%) | 数据 3 风速 (%) |
| WTG01 | 2.33 | -0.16 | -2.02 |
| WTG02 | 2.54 | -0.95 | -1.59 |
| WTG03 | 2.49 | -0.33 | -1.82 |
| WTG04 | 2.46 | -1.05 | -1.23 |
| WTG05 | 2.67 | -0.83 | -1.34 |
| WTG06 | 2.56 | -1.18 | -0.79 |
| WTG07 | 2.44 | -1.22 | -1.22 |
| WTG08 | 2.26 | -0.15 | -1.66 |
| WTG09 | 2.17 | -0.31 | -1.55 |
| WTG10 | 2.06 | 0.16 | -1.90 |
| WTG11 | 2.51 | -0.54 | -1.44 |
| WTG12 | 2.84 | -1.24 | -1.06 |
| WTG13 | 3.38 | -3.58 | 0.60 |
| WTG14 | 2.44 | -0.17 | -2.09 |
| WTG15 | 2.37 | -0.20 | -1.97 |
| WTG16 | 3.01 | -1.59 | -0.88 |
| WTG17 | 2.68 | -0.96 | -1.34 |
| WTG18 | 2.54 | -0.73 | -1.63 |
| WTG19 | 2.80 | -0.99 | -1.32 |
| WTG20 | 2.35 | 0.00 | -2.15 |
| WTG21 | 2.25 | 0.41 | -2.25 |

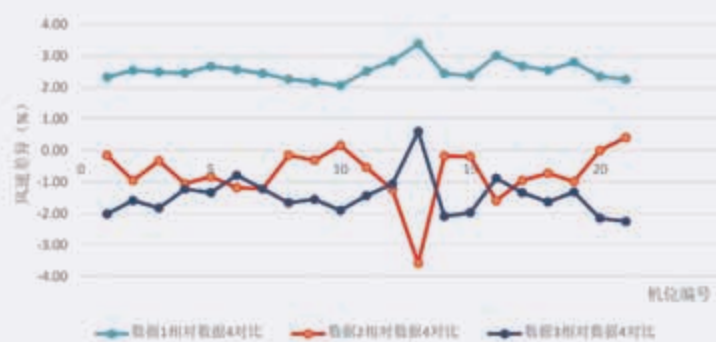


图8 数据1、数据2及数据3相对数据4的风速变化

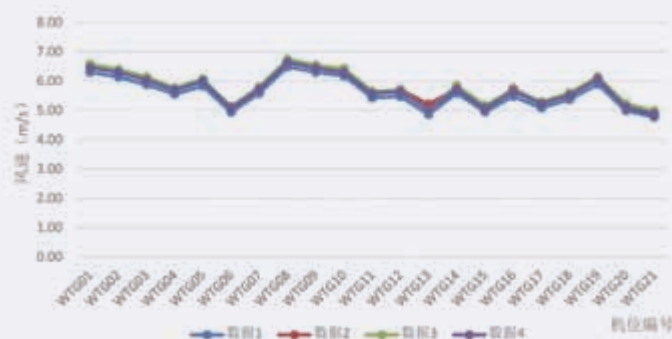


图9 数据1、数据2、数据3及数据4机位点风速变化趋势

显与数据1、数据3差异较大，主要是由于数据2为大风年测风数据，但此结果与其对应的发电量变化趋势是一致的。而同为小风年的数据1与数据3，其风速的变化趋势与对应的发电量结果变化趋势一致。

三、发电量与风向

发电量计算结果是在本风电场年风向数据变化忽略不计的情况下，依据订正后的风速与原始风向数据，结合风电机组技术参数，利用风能资源评估软件进行流场模拟得到的。然而，因风向与风速数据处理的原则不同，分析发电量与风向的关系时，风向数据按连续测风塔年风向变化百分比考虑。由图10、图11、图12及图13可见：

(1) 不同测风年的风向是变化的。数据1、数据2、数据3及数据4的主风向与次风向分别为N与SSW、N与SSW、N与S以及N与SSW、S。而且数据1相对数据2、数据2相对数据3及数据3相对数据1在主风向变化百分比分别达到6.09%、5.35%、2.56%。

(2) 不同测风年的风能是变化的。数据1、数据2、数据3及数据4的主风能与次风能分别为N与NNW、N与NNE、N与NNE以及N与NNE。而且数据1相对数据2、数据2相对数据3及数据3相对数据1在主风能变化百分比分别达到13.83%、11.46%、10.23%。

综上，不同测风年的风向与风能是其固有特征，并且不同的测风年数

据对应的风向与风能也是发生变化的。在实际流场模拟过程中，不同测风年风向会对机位点风速造成影响。主要原因为流场模拟是考虑各个风向扇区下风速值加权平均得到的。其中任一扇区风向百分比发生变化，必将会引起风向加权值变化，进而影响机位点风速值。

四、发电量与威布尔分布

威布尔分布是体现风电场风速、风频分布的主要特征参数。而机位点发电量是统计该点风速风频分布情况，结合已知的功率曲线值得到的。现选取不同测风年数据计算单台机位点的发电量变化较大4台机组 WTG06、WTG07、WTG12、WTG13，并对其机

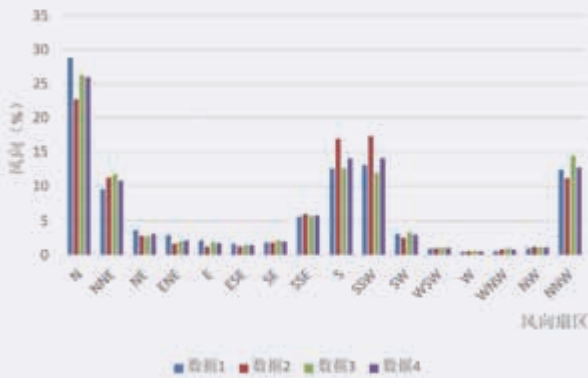


图10 数据1、数据2、数据3及数据4的各扇区年风向变化

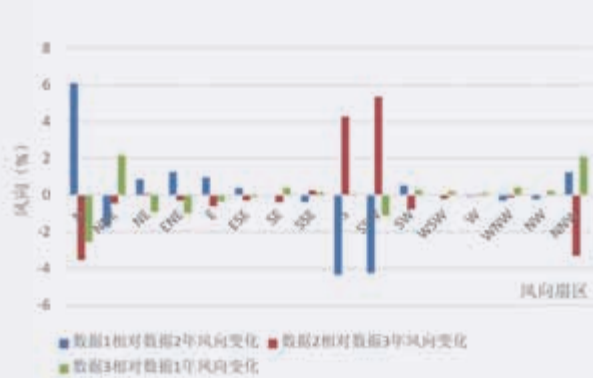


图12 数据1、数据2及数据3的各扇区年风向变化

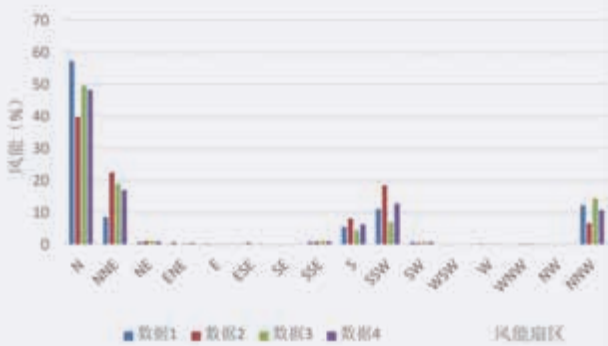


图11 数据1、数据2、数据3及数据4的各扇区年风能变化

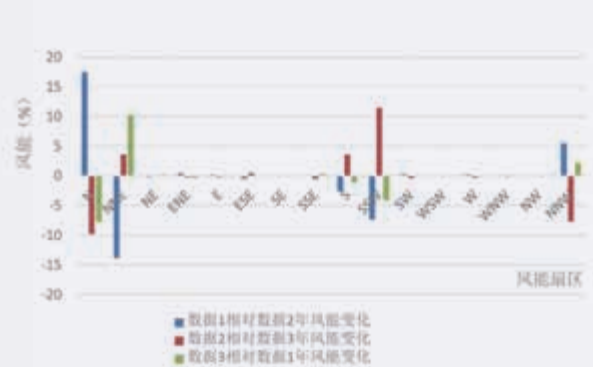


图13 数据1、数据2及数据3的各扇区年风能变化

表5 WTG06、WTG07、WTG12、WTG13机位点风速与发电量对照表

| 机位编号 | 数据 1 | 数据 2 | 数据 3 | 数据 4 | 备注 |
|-------|------|------|------|------|-------------|
| WTG06 | 1704 | 1859 | 1746 | 1770 | 年等效利用小时 (h) |
| | 4.94 | 5.13 | 5.11 | 5.07 | 风速 (m/s) |
| WTG07 | 2028 | 2196 | 2096 | 2107 | 年等效利用小时 (h) |
| | 5.59 | 5.8 | 5.8 | 5.73 | 风速 (m/s) |
| WTG12 | 1977 | 2184 | 2088 | 2083 | 年等效利用小时 (h) |
| | 5.48 | 5.71 | 5.7 | 5.64 | 风速 (m/s) |
| WTG13 | 1663 | 1960 | 1720 | 1783 | 年等效利用小时 (h) |
| | 4.86 | 5.21 | 5 | 5.03 | 风速 (m/s) |

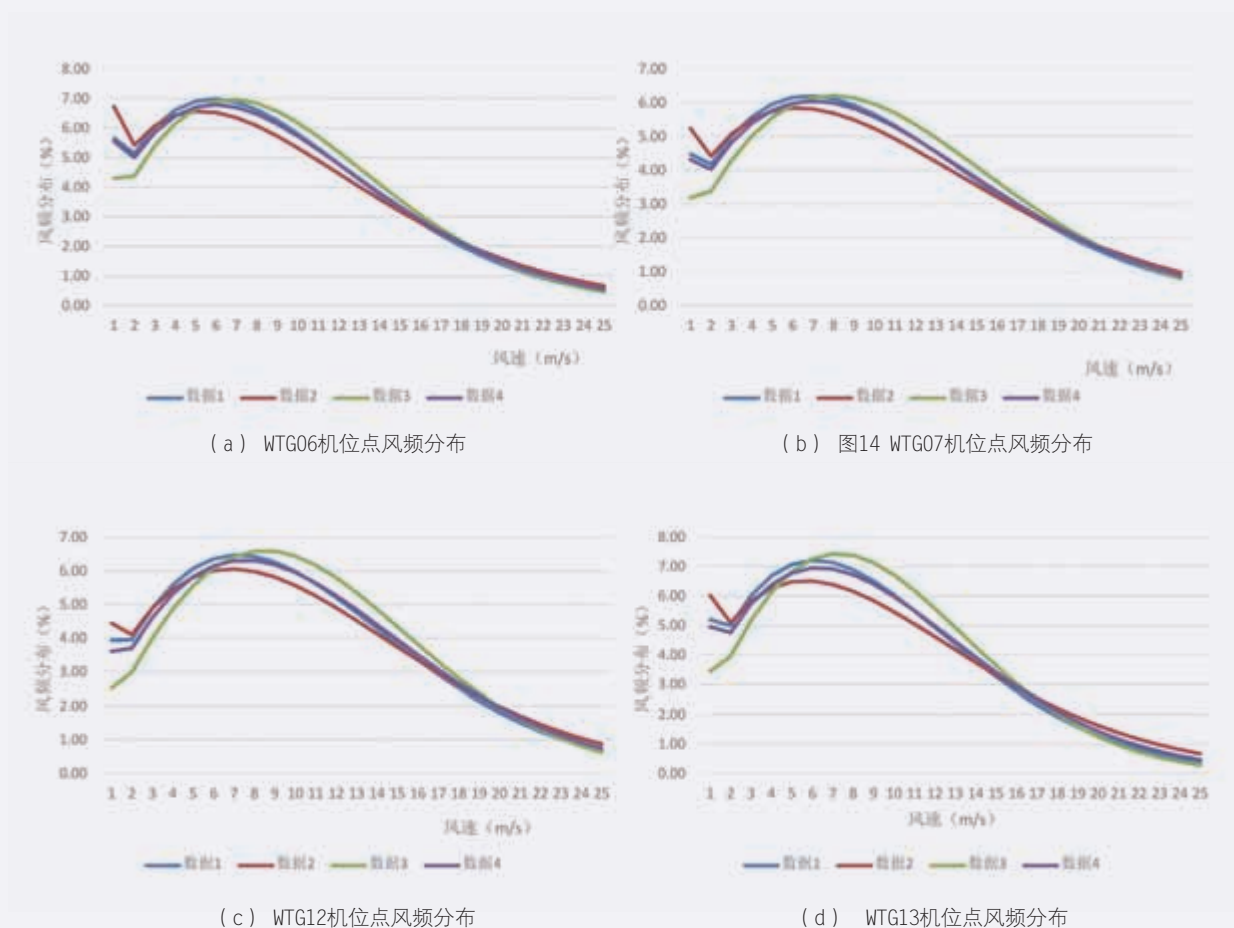


图14 4个机位点风频分布

位点威布尔的风频分布进行对比分析, 其详细机位点风速及发电量结果见表5, 威布尔风频分布情况见图14。

由表5与图14可得到如下结论:

(1) WTG06、WTG07、

WTG12、WTG13 机组机位点风频分布变化趋势是一致的。但数据1与数据4风频分布曲线最为接近, 数据2、数据3与数据4的风频分布曲线差异最大。

(2) 通过对 WTG06、WTG07

WTG12、WTG13 机位点风速与发电量分析不难发现, 最为明显的结果是数据2与数据3经流场模拟后此4台机位点风速差异分别 0.02m/s、0m/s、0.01m/s、0.21m/s, 其对应的发电

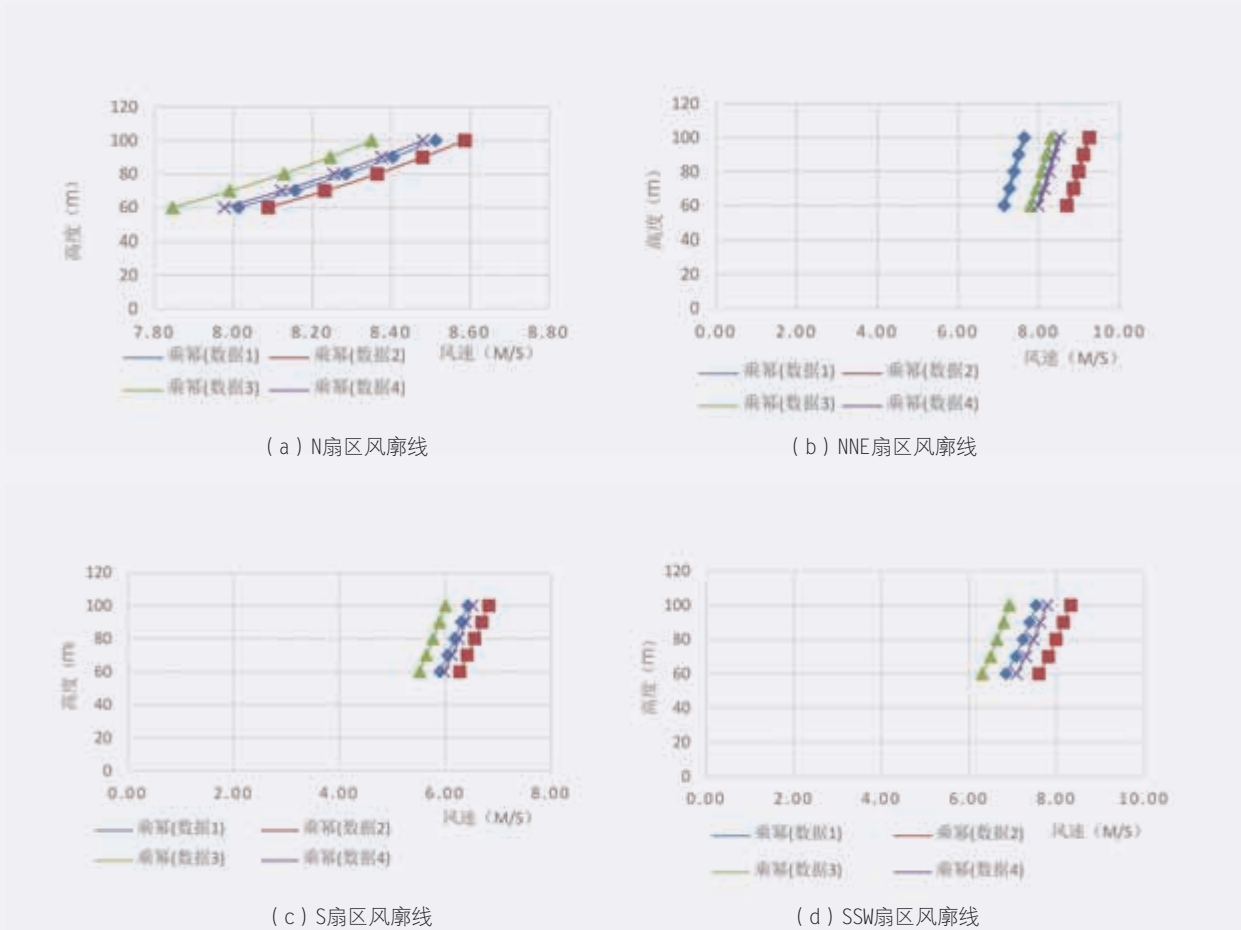


图15 主风向与主风能风廓线

小时数结果偏差达到 113h、100h、96h、240h。这说明机位点发电量除了受风速影响外，还受机位点风频分布的影响。

其他参数分析

如图 15 所示，选取本风电场主风向与主风能扇区的风廓线，并对其进行分析。可发现存在如下现象：

(1) 不同测风年数据经流场模拟前后风廓线变化趋势是一致的，这说明订正后测风数据保持了原测风数据的固有特性。

(2) 不同测风年数据在主风向与主风能扇区上风廓线所呈现同一海拔高度处的风速差较大。年均风速较大

的数据 3 在流场模拟后在主扇区中相同的海拔高度处风速不一定是最大值。如 NNE 扇区中相同海拔高度处，数据 3 得到的风速仅高于数据 1 得到的风速，低于数据 2 与数据 4 得到的风速。这说明订正后测风数据风速大的，其流场模拟后风速不一定是最大值。这是由数据 1、数据 2、数据 3 及数据 4 中风向数据存在差异引起的。

结语

通过对实际工程案例进行分析表明，在外围数据建模相同的情况下，不同测风年数据对风电场总体发电量及单台机位点的发电量结果影响很大。小风年与大风年测风数据相比平风年

的风电场整体发电量偏差分别达到 3.6%、2.25%，而单台机组机位点发电量偏差最大值达到 6.76%、9.9%。不同测风年测风数据结果对风电场总体发电量影响可能会导致该风电场建设项目的弃用；而对单台机位点影响则会导致该机位点的弃选，从而影响风电场总体容量。此外，本文研究了不同测风年数据年风向、单台机组机位点风频分布情况及与同期数据相关性等问题，从侧面验证了不同测风年数据对风电场发电量推算的影响，并将不同测风年数据对发电量影响以数值形式加以体现，为今后准确地预测风电场全生命周期内发电量收益提供了理论依据。

(作者单位：许昌许继风电科技有限公司)

德国莱茵TÜV 一站式风电服务 供应商

 风机 检验


设计评估 

功率曲线 
测试

海上安全 
管理

风场运维 
认证

载荷 
测试

信息安全 
认证

风场 
后评估

在风能服务领域，德国莱茵TÜV在全球的项目中积累了丰富经验，能够在整个风电项目周期提供一站式服务，从前期收益评估到整机的设计验证，从风机的生产质量控制到整机的型式实验，以及海上安全管理、风场运行维护、风场后评估等，确保客户风场项目的顺利运行。

北京国际风能大会暨展览会（CWP）
2018年10月17-19日，中国国际展览中心（新馆）
展位号：W1德国展团D01-E，欢迎莅临



扫码预约我们的专家

纵向变厚度钢板在风电塔筒中的应用及力学性能研究

文 | 丁宇楠, 刘明, 李文斌, 祝磊

传统风电机组钢塔筒由等厚钢板卷制成环状焊接而成, 若干节塔筒焊接成 20 ~ 30m 长的塔段, 段与段之间通过 L 型法兰连接。风电机组塔筒的主要薄弱部位为塔筒底部和塔筒变壁厚处, 这些部位的应力远大于其余部位, 这说明塔筒结构的材料利用率相对较低, 结构设计还有待改善。而采用 LP (Longitudinally Profiled) 钢板制作塔筒是一种提高材料利用率的有效方法。所谓 LP 钢板, 是指采用变厚度轧制技术生产的、沿轧制方向厚度连续变化的钢板。这种钢板可以根据结构服役时的受力情况来设计不同的钢板纵向形状和厚度尺寸, 进而达到节约钢材的目的。日本、西欧等在 20 世纪七、八十年代就已经开发出了变厚度轧制技术。经过几十年的发展, 如今 LP 钢板已经有了多种规格和品种 (如图 1), 并在船只建造和桥梁建设领域有广泛应用。我国变厚度钢板轧制技术于本世纪初才开始发展, 目前, 鞍钢已成功轧制出多种规格及厚度的 LP 钢板。但是由于产品标准和设计规范的滞后, 我国尚未将 LP 钢板大规模应用于实际工程。

为探讨将 LP 钢板用于风电机组塔筒的可行性, 本文以某 83m 风电机组塔筒为基础, 用 LP 钢板替代传统等厚度钢板制作塔筒, 运用 ANSYS Workbench 平台对 LP 钢板塔筒和传统等厚塔筒的静力性能进行分析, 通过比较两者前 5 阶固有频率以及水平静载下塔顶位移与塔筒应力情况的差别说明两者在受力性能上的差异, 进而论证采用 LP 钢板制作塔筒的优越性。

塔筒变厚度原则及建模

一、变厚度原则

塔筒的控制截面为底端截面, 通过图 2 所示的优化方法, 可以在不削弱控制截面的情况下减少钢材用量, 实现各段塔筒之间厚度的连续过渡。

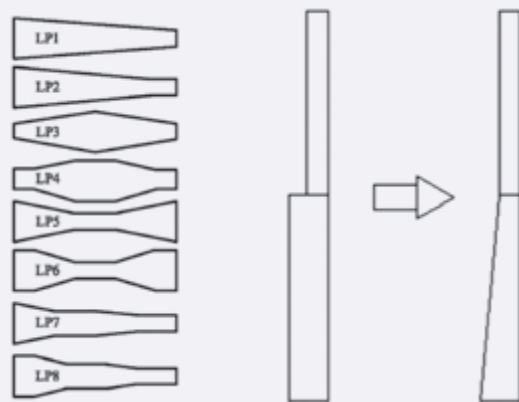


图1 常见LP钢板品种

图2 等厚度塔筒的优化

表1 各节塔筒尺寸

| 编号 | 塔筒厚度 (mm) | 塔筒高度 (mm) | 编号 | 塔筒厚度 (mm) | 塔筒高度 (mm) |
|----|-----------|-----------|----|-----------|-----------|
| 1 | 44 | 750 | 12 | 21 | 4320 |
| 2 | 42 | 4290 | 13 | 20 | 4320 |
| 3 | 36 | 2450 | 14 | 19 | 7390 |
| 4 | 31 | 2450 | 15 | 18 | 7230 |
| 5 | 28 | 1250 | 16 | 17 | 7230 |
| 6 | 27 | 1250 | 17 | 16 | 7350 |
| 7 | 26 | 1250 | 18 | 15 | 7200 |
| 8 | 25 | 1990 | 19 | 14 | 7200 |
| 9 | 24 | 3000 | 20 | 15 | 2400 |
| 10 | 23 | 2800 | 21 | 17 | 1110 |
| 11 | 22 | 4320 | 22 | 22 | 1360 |

二、建立塔筒模型

本文在建立塔筒模型的过程中简化了塔筒内的爬梯和平台等附属件, 并且暂不考虑门洞的影响, 将模型化为标准的薄壁圆锥筒件。塔筒可以认为是一个悬臂结构, 因此, 有

有限元模型底部的约束条件设置为固接。忽略焊接和法兰连接的影响，塔段和塔段之间设为固接。分析中采用三维 20 节点 SOLID186 单元，钢材屈服强度为 345MPa，弹性模量取 200GPa，泊松比取 0.3。等厚度塔筒各节的具体尺寸参数见表 1，LP 钢板塔筒基于图 2 的优化方法相应变厚度，最终模型如图 3（等厚度塔筒与 LP 钢板塔筒有限元模型外观相同，因此未分别列出）。

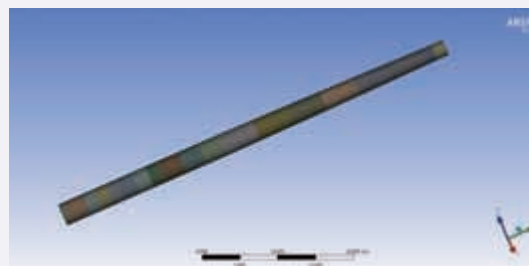


图3 塔筒模型及有限元划分

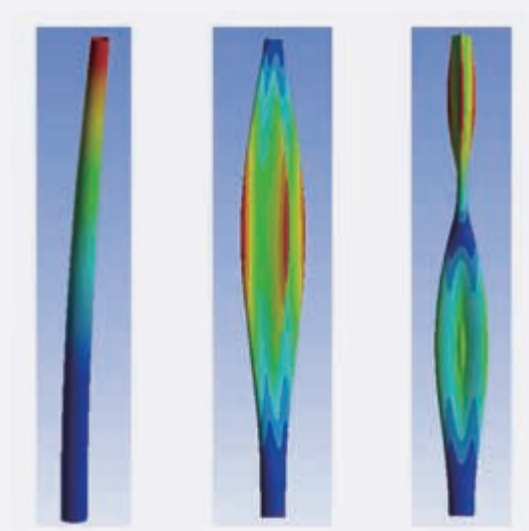
塔筒结构静力分析

一、塔筒模态分析

利用 ANSYS Workbench 对塔筒模态进行求解，本文只比较塔筒受力性能的差异，计算时不考虑塔筒顶端机舱和叶片的重量，得到等厚度塔筒和 LP 钢板塔筒模型前 5 阶固有频率如表 2 所示，其中 LP 钢板塔筒振型见图 4。对比两种塔筒的模态分析结果，二者前 5 阶模态振型相同，频率相差在 4.2% 之内。

二、塔筒静力分析

本文选取 Bladed 软件计算得到的极端运行阵风工况下的塔筒顶部极限荷载，部分荷载如表 3 所示，计算中考虑 M_{xy} 、 M_z 、 F_{xy} 和 F_z 四种荷载作用。经有限元计算得到塔筒整体位移及 Von-Mises 等效应力云图，如图 5 所示。其中 LP 钢板塔筒顶端位移 1147mm，最大应力 174.95MPa；等厚度塔筒顶端位移 1113.3mm，最大应力 182.51MPa，可得两者位移极值相差 3%，应力极值相差 4.1%。



(a) 1阶振型 (b) 3阶振型 (c) 5阶振型

图4 LP塔筒模态振型

表2 塔筒固有频率

| 等厚度塔筒 | | LP 钢板塔筒 | |
|-------|-----------|---------|-----------|
| 模态 | 频率 (Hz) | 模态 | 频率 (Hz) |
| 1 阶 | 0.90466 | 1 阶 | 0.89744 |
| 2 阶 | 0.90517 | 2 阶 | 0.89748 |
| 3 阶 | 3.1506 | 3 阶 | 3.0315 |
| 4 阶 | 3.2129 | 4 阶 | 3.0794 |
| 5 阶 | 4.1722 | 5 阶 | 4.0302 |

表3 塔筒顶部集中荷载

| 顶标高 (m) | $M_x / (\text{kN} \cdot \text{m})$ | $M_y / (\text{kN} \cdot \text{m})$ | $M_{xy} / (\text{kN} \cdot \text{m})$ | $M_z / (\text{kN} \cdot \text{m})$ | F_x / kN | F_y / kN | F_{xy} / kN | F_z / kN |
|-----------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| 0 | 3788.1 | 77178 | 77271 | 489.1 | 925.5 | -14.3 | 925.6 | -4662.3 |
| 41.83 | -3749.5 | -38758 | 38939 | -3136.3 | -806.9 | 83.3 | 811.1 | -2738 |
| 82.91 | 146.4 | -8751.9 | 8753.1 | -640 | -236.2 | 32.5 | 238.4 | -1936.3 |

三、塔筒用料比较

经 ANSYS 软件统计，等厚度塔筒一共用钢 22.416m³，所用钢材总重 175.97t；LP 钢板塔筒一共用钢 21.708m³，所用钢材总重 170.41t，可知采用 LP 钢板塔筒相比于等厚度塔筒可节约 3.16% 的用钢量，即节约钢材 5t。

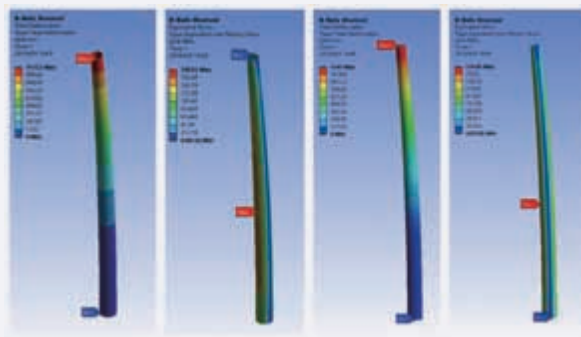
根据有限元计算结果比较可知，LP 钢板塔筒在模态和静力性能方面相对于传统等厚度塔筒差异微小（差距均在

5%之内），采用 LP 钢板制作风电机组塔筒能在不影响其受力性能的情况下节约钢材使用量。另外，传统等厚度塔筒在筒节焊接时为了避免壁厚突变带来的应力集中，通常采用削边处理的方式保证壁厚的平滑过渡，以提高焊缝疲劳寿命。而采用 LP 钢板制造的塔筒则可以很好地解决焊缝应力集中的问题，同时由于厚度的连续变化，LP 钢板塔筒还可自由选择焊接截面，从而避免在高应力截面施焊。

结论

本文对 LP 钢板风电机组塔筒和传统等厚度塔筒进行了有限元分析研究，得到的主要结论为：采用 LP 钢板制作的风电塔筒在模态和静力分析中与传统等厚度塔筒性能相近，可在不降低受力性能的情况下节约塔筒整体用钢量；连续变化的壁厚可以很好解决环向焊缝应力集中的问题，进而可提升塔筒的疲劳寿命。因此，采用纵向变厚度钢板制作风电机组塔筒可以充分利用材料，改善塔筒受力性能，具有良好的应用前景。✎

（作者单位：丁宇楠，祝磊：北京建筑大学土木与交通工程学院；刘明，李文斌：鞍钢股份有限公司）



(a) 等厚度塔筒 (b) LP 钢板塔筒

图5 极限荷载作用下塔筒位移和应力云图



摄影：孙飞

CHINA
WINDPOWER
2018 17-19 October
Beijing, China

www.chinawind.org.cn



2018 北京
国际风能大会暨展览会
CHINA WIND POWER 2018

2018年10月17-19日 中国国际展览中心（新馆）
October 17-19, Beijing, China
China International Exhibition Center(New Venue)

风电机组远程故障处理及容错运行

文 | 王明军

风电机组通常安装在人迹罕至的荒郊野外，现场技术力量薄弱、服务难度大、维修成本高，故障处理不及时带来的发电量损失不容忽视。尤其是随着海上风电的发展，登机处理故障的难度更大，因单机功率大，故障停机损失巨大。因此，风电机组的故障容错运行受到国内外的广泛关注。通过有效的容错机制以优化机组运行，在不登机维修的情况下，还能继续发电，将能有效降低机组故障带来的损失。

由于我国风电行业起步较晚，业内对机组故障屏蔽在认识上存在一定的偏差，普遍对故障屏蔽带来的好处认识不足，而对其带来问题又过分夸大，这无疑为机组容错运行制造了障碍。尤其是在我国风电行业的快速发展时期，一些事故原因未能查清，导致业内至今还存在不少误解。国家电力管理部门对风电机组的管理等同于火电、核电机组，规定不能通过互联网和手机 APP 对风电机组实施远程操控，从而失去了机组容错运行的必要条件。因此，我国对风电机组的远程故障处理及容错运行研究较少。

从国外相关文献及研究成果来看，目前，有关风电机组的故障容错研究主要从以下两方面展开：

(1) 变频器结构的改进。增加一组备份冗余桥臂代替故障桥臂；采用 6/5 桥臂容错变频器拓扑实现故障容错；利用直流电压的中点进行电路重组。

(2) 电机本体改进或设计。将多相电机应用到大功率风力发电系统中。大功率变频器通常是由许多单元级并联而成，大功率电机的绕组通常也由许多并联的线圈组成。因此，电机和电力电子电路可以通过重新配置应用在多相发电系统中，并且不需要增加硬件。

上述方法中，需要修改原变频器结构和电机设计，技术难度大。在增加成本的同时使电路结构变得更加复杂，且实际应用中还受机舱空间的限制。因此，需要深入挖掘现有系统的容错潜力，在不改变或对现有硬件做微小改变的情况下，使机组具有更高的容错能力，有效降低故障带来的损失。同时，保证机组、部件及电网安全，避免重大事故的发生。

本文着重介绍当机组主控报故障停机后，通过远程修改主控参数，即：修改相关主控运行参数，修改主控设置的状态码或温度端口状态等，实现机组容错运行。

风电机组按照主控程序在无人干预下自主运行，机组启停通常是依据主控程序执行。当主控程序判断机组存在故障时，则会执行保护性停机。然而，按主控程序执行的保护性停机故障，与专家判断的机组不能运行之间存在着差距。在设计时，风电机组的保护等普遍采用了冗余设计，这给容错运行提供了条件。再者，因各种原因，还存在主控误报等问题，因此，在机组报故障停机后，时常可通过专家诊断和远程操控使之继续运行。

通过修改参数实现机组容错运行，其技术简单、操作方便、不改变机组结构和性能。当某个冗余保护、冗余部件出故障停机，可以通过远程屏蔽故障启机，在机组维修后，再解开故障屏蔽。随着互联网和现代通信的发展，这种远程处理故障方式在国外的某些知名整机厂家中早已普遍运用。此技术在我国普遍运用将能大幅度提高国产机组的可靠性和稳定性。

远程管理、故障诊断与处理

在保证电网、机组及部件安全的前提下，充分利用现代通信技术实施远程登录，并加强机组的操控、修改权限管理。通过远程判断和机组故障处理，减少现场服务和登机次数，将能大幅度降低机组运营成本。

可通过远程处理的机组故障包括：通过故障屏蔽、修改参数等手段实现容错运行的机组故障和通过特殊容错技术处理实现容错运行的机组故障。下面就远程容错处理恢复机组运行予以分析和讨论。

一、远程管理与权限设置

业内有这样的说法：“现场由于某些原因（备件不足、缺少备件），使得风电机组某些故障被屏蔽掉，这样做会非

常危险，有些故障的屏蔽甚至会导致机组倒塌，造成极为恶劣的后果。”如果某个故障被屏蔽掉就导致机组倒塌，那么，应该由主控程序设定该故障不能屏蔽。若确实因现场维修人员屏蔽了某个故障后造成了机组飞车倒塌事故，其主要是由主控程序不够完善、编程人员考虑不周，或权限管理等问题造成，而非现场故障屏蔽引起。但是，某些主控由主控程序设置了可以屏蔽的故障，如果没有经过充分、周密思考和判断，以及相应的保证措施，屏蔽故障确实可能带来不良后果。因此，需通过加强对数据修改、故障屏蔽的权限管理，以保证部件安全，提高发电量。下面以设计优良相对完善的WP3100直流变桨主控程序为例，对机组权限管理和故障屏蔽等问题展开论述。

为了便于机组管理、保证机组安全，WP3100主控程序设置了多级控制权限，有100级、99级、80级、10级等，这些权限都能用于复位启机。为了能辨别操作者身份，在99级、80级、10级中，可以设置多个登录身份和密码。每次利用登录身份和密码登录后，主控均有记载。权限级别与屏蔽故障、参数修改相对应，不同权限能操作屏蔽的状态码和修改的参数是不同的。99级权限是现场操作的最高权限，能操作的状态码和参数最多，主要在调试阶段和机组维修时使用；机组投入正常运行，现场使用的权限一般为80级，主要用于查看机组状态和复位启机；10级权限最低，能查看的项目较少，主要用于复位启机。100级权限由主控程序设定，只有一个，除了具有最高修改权限外，主要用于权限管理，可以控制和管理所有低级别权限的账户和密码。

高权限可设置多个比自己权限低的登录账户。根据现场需要，通过100级权限给现场维修维护人员授权，并提供与其维护、维修及故障处理相当的登录账户和密码，对于具有修改权限的99级，在故障处理使用完毕后，应通过账户和密码管理及时收回。

该主控设置了几百个表明机组状态的状态码，大多数状态码及所有温度端口均能用100级和99级权限屏蔽，屏蔽状态码通常又叫屏蔽故障。该主控有49个关系到机组、人身安全的状态码（其中，有的既属于机组故障，同时又表示机组状态；有的则仅表示机组状态）只能报出和显示，任何权限均不能屏蔽。也就是说，即便使用100级最高权限也不能屏蔽。对于这类不能屏蔽的故障，应引起重视。不能采取回避、跳过此类故障的错误处理方式。例如，采取线路短接跳过此类故障，或采取错误手段跳过机组自检等。

例如，状态码1159，脱离限位开关故障，属于由主

控程序设定的不能屏蔽状态码。刹车190，通常叶片回到90°，不能到正常的92度限位开关位置。当存在此故障时，报高级别刹车电池顺桨，机组只能通过轮毂驱动器顺桨，而不能切换到正常的电池顺桨。如不处理，在适当的条件下可导致三支桨叶同时不能顺桨，导致飞车事故的发生，这个故障可能由接线错误或短接造成，启机时不能通过机组自检，也不能远程复位。

该故障的危险性在于，一方面，如果机组存在该安全隐患，且在机组并网运行期间没有报故障停机，也没有出现定期机组自动电池检测、登机维修（如：实施机组断电、启动叶片维护开关）或集电线路停电等。这样，机组就不会出现高级别刹车或自检，就难以发现该故障。这就是为何“倒塌机组都是运行得特别好的”。另一方面，在现场可以通过非正常手段绕过机组自检实现并网。当机组并网后，只要不出现高级别刹车和电池检测，机组就一切状态正常。如机组维修人员对该故障的危险性认识不足，或重视度不够，并采取错误方式启机并网，也可能造成机组飞车倒塌事故的发生。再如，状态码13（手动停机），也属于由主控程序设定不能实施屏蔽（修改）的状态码。该状态码不仅涉及机组安全，更关系到人身安全。

在我国风电的快速发展期，不少机组实现了主控国产化。在主控研发和生产初期，由于编程人员缺乏实践经验，没有深入理解风电机组的运行原理，仅是通过国外知名厂家的主控说明书仿冒编程。有的主控把绝大部分主控参数设置为不能修改，所有故障都不能屏蔽，这样，必然会造成不必要的发电量损失；有的国产主控则是只要权限足够，所有参数均可修改，所有状态码都可以屏蔽，如果出现了屏蔽错误，则可能造成严重后果。由于开发时间短，在主控编程和硬件设计上，国产主控大多很少或没有考虑现场维修和判断故障方便问题，更没有考虑通过远程实施安全检查、故障诊断及故障处理等对主控软硬件的一系列要求。

二、远程故障诊断与处理

设计完善的主控程序和后台软件，在机组故障诊断和远程故障处理中起着重要作用。在适当的条件下，可以通过主控的参数修改和故障屏蔽实现远程故障诊断和处理等。

首先，通过修改主控参数实现机组远程故障诊断。

WP3100主控具有众多可通过SCADA软件进行远程操控并可设置为不同状态的硬件端口，以及大量与机组故障诊断有关的可修改参数，极大地方便了远程及现场故障诊断。如不能修改参数和屏蔽故障，判断和处理机组故障

的难度将增加，给机组维修带来不便。尤其是在实施风电机组的“集中监控，区域维修”时，故障屏蔽和参数修改权限授权给整机厂商总部现场经验丰富的专家，则便于他们远程诊断故障。

例如，判断机组的“异常振动”是否与并网后有关。故障检查时，需要暂时甩开变频器，让机组在不同转速下空转运行。对于 WP3100 主控，只要修改相关参数，改变相应的主控硬件端口状态，屏蔽相关状态码，就能实现不同转速下的机组空转运行，很容易判断出机组振动是否与并网加载有关，给远程故障检查和判断带来了方便。

其次，通过主控参数修改和故障屏蔽实现远程故障处理。

在保证机组及部件安全的前提下，通过短时间的参数修改和故障屏蔽，尽量多地让机组发电。在机组及主控程序设计完善的情况下，在适当的条件下，一方面，通过参数修改和故障屏蔽，让机组性能得以充分发挥。另一方面，应经过处理者周密的判断和分析，确保在机组远程故障处理到故障维修的时间段内，不会产生新问题。

在参数修改后，应有详细记载。通过适当措施保证机组的遗留故障能及时处理，在故障处理后，把修改参数恢复到正常设置值。对远程故障处理的遗留问题，应根据故障和现实情况的不同，选取不同的时间点处理：可以在小风、无风时再作处理；与必须登机处理的机组故障一并处理；也可以在机组维护时再对遗留故障进行处理。

另外，参数修改和故障屏蔽是车间、现场调试及现场维修的需要。

在车间调试阶段，因不满足现场运行条件，主控的众多参数与现场不同，很多故障需要屏蔽；在现场调试阶段和故障处理时，需要屏蔽故障，当调试和故障处理完毕，符合并网条件后，再把全部故障解开，恢复到正常的参数设置。

容错运行

提高系统可靠性的一个基本方法就是使用容错技术，即一个系统在出现故障时能够依靠系统内在的能力保持连续正常的运行。对于机组的传感器故障、线路故障、个别部件损坏以及轻微电气故障，可通过修改参数、优化控制算法和硬件重构等方式实现容错运行。

容错，顾名思义就是允许出错，工程上指在系统中，当一个或多个部件出现故障时，系统必须将发生故障的部件

从系统中隔离开，然后采取相应措施维持其规定功能，或在可接受的性能指标变化下，继续稳定可靠运行。

故障容错可分为参数修改容错、硬件容错和软件容错。参数修改容错主要指故障停机后，保证机组及部件安全和原机组性能基本不变的条件下，通过修改主控参数、屏蔽主控温度端口，或屏蔽主控设置的状态码等手段使机组再次恢复运行；硬件容错主要指故障后的硬件系统重构，着眼于机组本体的容错设计和变频器的结构容错等；软件容错主要考虑故障容错控制，着眼于故障后的控制策略与算法优化。

要实现远程故障处理、容错运行，还需有以下几方面作为支持和保障：

第一，在产品设计上，采用冗余设计，有充分的余量。

在设计时，机组应有多重保护和冗余的硬件设置。如：每台机组安装两个风速仪、两个风向标，每支叶片均有两个检测叶片角度的编码器等。当两传感器中的一个出现故障后，便于采用修改参数容错，使机组恢复运行。

第二，在产品设计上，采用容错技术。

硬件容错。如，备份式冗余设计是在原来的系统设计中加入冗余硬件开关代替故障开关，实现容错控制；变流器的拓扑结构设计是在故障后改变原来的拓扑结构，配合适当的控制策略实现容错运行；多相电机具有较低的转矩脉动、更高的容错性能。大功率变流器常常是由许多单元级并联而成，大功率电机的绕组通常也由许多并联的线圈组成。因此，电机和电力电子电路可以通过重新配置应用在多相发电系统中，并且不需要增加硬件。当一相故障或缺失，功率损失比一般电机小得多。

软件容错。如，脉宽调制算法改进，当变流器中某一个 IGBT 故障后，由于其反并联的二极管仍是完好的，变流器仍可以在三相条件下运行，但电压矢量会产生畸变。用一个正常矢量来补偿代替发生畸变的矢量，实现容错运行；矢量控制容错，在运用矢量控制的容错系统中，一般是对 PWM 调制方法进行改进，使系统良好稳定运行；直接转矩控制（DTC）和直接功率控制（DPC）分别应用在永磁同步发电机机侧变流器和网侧变流器的故障容错控制中。

第三，合格的维修维护人员和完善的制度。

容错运行使用不当，则可能使小故障变成大故障，使机组利用率更低，发电量损失更大。远程故障处理技术人员应有丰富的风电场机组维修维护的实践经验、较高的技术水平及责任心。并采取有效措施确保在近期或机组维护时处理遗留问题，以保证机组和部件安全，以及下一次在远程处理

故障时，采用容错运行的可能。

因在远程故障处理中采取了容错运行，为了让可能产生的问题得到及时纠正和处理。在机组维护、维修时还应检查机组主控的参数及状态码设置等。在登机进行维护、维修时，应让机组的参数、软件和硬件均恢复到正常设置和正常状态。

远程管理与电网安全

前面介绍的风电机组远程故障检查、诊断和处理，需通过远程通信和互联网技术手段，并以机组的远程操控为基础。而国家电监会于2012年3月1日发布的《关于加强风电安全工作的意见》中要求：“禁止通过公共互联网直接对风电机组进行远程监测、控制和维护。”

行业规定及思维观念需持续更新，这正如银行存款、取款业务。在现代通信和互联网出现之前，存取款业务只能通过柜台办理。随着网络技术和互联网的发展，人们的存取款业务可以通过网络在世界各地办理，极大地方便了顾客，减少了运营成本。风电场设备管理，其服务对象主要是风电机组，与银行顾客一样相当分散。风电机组又大都分布于人迹罕至的偏远地区，其状态不定。应做好远程管理和远程技术服务，以提高服务的有效性和及时性。

实现机组的远程故障检查、诊断和处理，同时保证机组、部件及电网安全，需要做好以下几方面的工作：

首先，具有完善权限管理，并充分考虑了现场故障诊断与处理的主控程序，优秀的远程操控软件（SCADA软件）和相关制度，以便于远程权限管理，保证机组运行、电网安全。在后台软件和主控的功能设置上，还应充分考虑在机组登录互联网后，可能对电网造成的不利影响。例如，对于能够远程操控的风电机组，后台软件不能设置类似机组“群停”等危及电网安全的功能，以避免错误或恶意破坏，对电

网安全造成不利影响。采取措施避免黑客攻击等。

其次，除主控外，机组重要部件还应与风电场环网通信配套，以便于这些部件的远程检查与故障诊断。在机组各部件设计时，应充分考虑远程检查与故障诊断。众多故障诊断主要是通过主控得以实现。而类似变频器等复杂且相对独立的机组部件，应具有与机组通信控制器相配套的软硬件接口，以满足变频器等部件本身的故障检查、诊断与处理；远程操控界面和使用软件，应力求与现场机组的人机界面、风电场SCADA软件及调试软件一致，以利于远程指导。

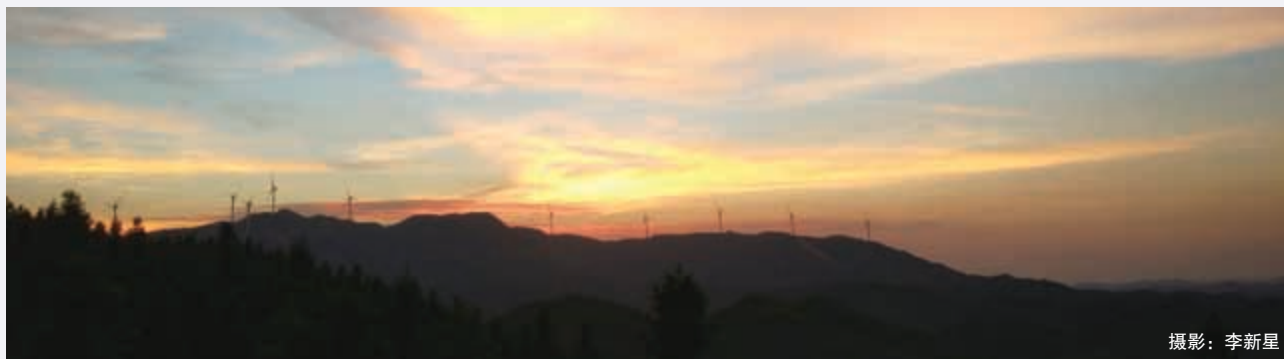
再次，制定相关政策和措施以保证风电机组远程操控的顺利实施。国家电力部门在制定相关政策和标准时，应充分考虑风电设备的特点和特殊性，如：在通常情况下，风电机组的单机发电功率不足大型火电设备的千分之一，且地处偏远，因此，在风电管理时不能照搬火电、水电等其他电力设备的现成经验。

总之，在风电机组的运行管理上，国家相关部门、电网、整机生产厂家及运营商等应相互支持，共同营造风电发展的有利环境，提高机组运行的稳定性，最大限度地降低机组运维成本。

结语

依据风电机组的固有特性及其运行、维修和维护的特点，充分利用手机APP和互联网远程通信技术，加强风电机组的权限管理。通过远程故障检查、诊断和机组的容错运行，提高机组运行稳定性和安全性。在保证机组及部件安全的前提下，尽量多地发电，以期最大限度地降低寿命期内的机组度电成本。✎

（作者单位：东方电气风电有限公司）



摄影：李新星

风储系统最优运行策略研究

文 | 刘兵, 银磊, 张新宇, 王禹力

大规模风电消纳一直是世界性难题,“三北”地区在此方面问题更加突出。由消纳产生的弃风限电大量浪费了风能资源,造成了惨重的经济损失,而损失主要由风电企业承担,严重影响产业的研发及长远发展。

提高风电的可控性是减少弃风限电的有效应对措施。在风电场安装储能系统可以显著提高风电场的并网性能。目前,在国内已经有多个示范项目以及相关的研究成果。已有的研究中,存在关于抽水蓄能、风电制热、风电制氢、电池储能等多种实现方案。其中,电池储能不受环境因素限制,建设地点和运行方式灵活,且经济性高,是目前广为采纳的储能类型。然而,在已有的通过储能缓解弃风限电的控制策略中,多数停留在策略的有效性上,没有考虑到储能系统本身的充放电特性;控制策略中考虑的时间尺度较短,多数是以自然日为单位进行储能系统的充放电控制;且经济性不高,不具备大范围推广的可行性。

本文以大庆中丹风电场为例,分析风电场一年的历史数据,从季度、月份、昼夜的角度出发分析限电的规律并提取限电开始时刻、限电时长等特征参数。结合储能系统的运行特性,提出基于调度预测的风储优化控制算法,使得储能系统的利用效率达到最优。通过对大庆中丹风储微电网项目实际运行数据进行建模及仿真计算验证了该方法的可行性。

系统特征参数分析

一、弃风限电特征参数

风电场限电状态的判断方法如下:当全场理论发电功率大于全场目标功率时则认为全场处于限电状态。用公式可表示为:

$$P_{farm} > P_{set} \quad (1)$$

式中, P_{farm} 为全场理论功率, P_{set} 为电网调度下发的全场目标功率。

根据风电场限电状态的判断方法,统计一年内风电场

的出力规律、限电规律。结合全年发电数据对风电场限电规律进行具体分析,统计全年的限电规律,结合全年限电整体特征规律,整理月度、日度限电规律。

二、储能系统特性

从实时功率和可用容量的角度可将储能分为功率型储能和能量型储能,功率型储能可实现较短时间内大功率充放电,能量型储能可实现较长时间内小功率充放电。针对不同的应用场景,需要选用不同的储能系统。对于弃风限电的场景,储能系统需要在较长时间内持续吸收或释放能量,此时,需要选用较高容量密度、较长额定功率充放电时间的能量型储能系统,比如锂电池、铅酸电池、铅炭电池、抽水蓄能等。相比其他几种类型的储能系统,由于铅炭电池循环次数较高、度电成本低、安全性高,因此,在工程实践中被广泛采用。

目前,在制定控制策略时,极少会充分考虑储能系统本身的充放电特性。部分文献采用的是储能电池恒功率充放电控制方法,没有考虑到储能系统的充放电和容量特征,从而造成储能电池利用率的损失。

表1 风电场限电特征参数

| | |
|-----|--------|
| 年度 | 限电次数 |
| | 总限电时长 |
| | 限电时间占比 |
| | 最长限电时长 |
| | 最短限电时长 |
| 月度 | 限电次数 |
| | 平均限电时长 |
| | 限电时间占比 |
| | 限电开始时刻 |
| | 限电结束时刻 |
| 自然日 | 限电开始时刻 |
| | 限电结束时刻 |
| | 限电次数 |
| | 限电时长 |

本文基于电池储能系统的特征,对其经济利用率的最佳特征点进行分析。

算例分析

结合风电场弃风限电的规律以及电池自身特性制定合理的控制策略,在风电场限电时将能量存入储能系统,在不限电时让储能系统释放能量;同时结合电池的循环深度与寿命的关系、充放电倍率与放电容量的关系,在电池全生命周期内充分利用储能系统创造经济效益。

风电场的限电规律也影响着风储系统控制策略的制定。下面就大庆中丹风电场进行特征分析。调取了该风电场2015年11月至2016年10月的一整年实际运行数据。

该风电场共有132台1.5MW风电机组,根据一年内的运行数据分析风电场风能资源、运行调度及弃风限电规律。所收集的数据为该风电场每间隔十分钟的全场目标有功、全场实际发电功率、全场平均风速,以及全场运行风电机组台数。

现统计该风电场一年风速变化规律、限电规律。如图

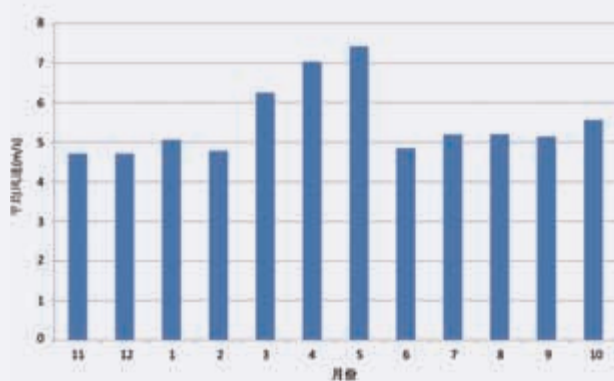


图1 2015年11月至2016年10月的平均风速

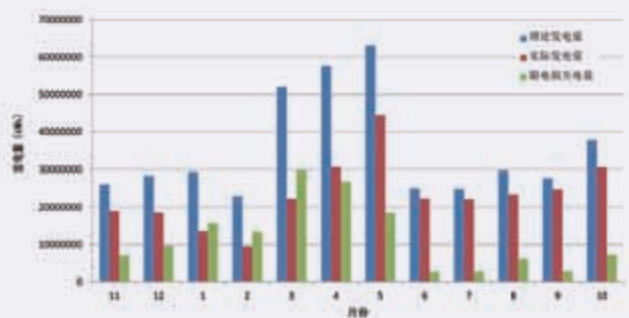


图2 2015年11月至2016年10月的每月发电数据

1所示,最大风速主要集中在3至5月,限电损失也主要集中在这几个月。3月的限电损失达到全年峰值,接近3000万千瓦时,4月的限电损失近2694万千瓦时。12月到2月的理论发电量虽然相对较少,但是也有超过一半的电量被限掉,1月限电达1576万千瓦时,2月也超过1100万千瓦时,其他月份的限电电量在271万至976万千瓦时之间。对整体数据进行统计,全年限电达12112.5万千瓦时,占理论发电量的31%。

结合全年发电数据统计表具体分析风电场限电规律,全年一共限电644次,限电时间共约1993小时,占其运行时间的25%,平均每次限电时长3.1小时,其中最长时间超过69小时。在所有限电数据中,限电超过1小时以上占49%,限电半小时以上占62%。统计全年限电数据如表2。

根据弃风限电规律可知,该风电场弃风限电呈现季节性变化以及昼夜性变化,图3以及图4为12个月的限电开始及结束时刻分析,以20:00—8:00为夜间,8:00—20:00为白天来进行时段的划分,可以看出,夜间开始限电、夜间结束限电占大部分比例,在限电严重的冬季,白天限电次数也明显多于夏季,但小于同期夜间次数。

表2 全年发电数据统计

| | |
|----------------------|-------------|
| 全场平均风速 (m/s) | 5.49 |
| 总限电时间 (h) | 1993.67 |
| 限电时间所占比例 | 25% |
| 总发电量 (kWh) | 263686422.5 |
| 总理论发电量 (kWh) | 384811922 |
| 总限电损失电量 (kWh) | 121125499.6 |
| 限电损失所占比例 | 0.31 |
| 平均每台风电机组理论发电量 (kWh) | 2915241.83 |
| 平均每台风电机组实际发电量 (kWh) | 1997624.41 |
| 平均每台风电机组限电损失电量 (kWh) | 917617.42 |
| 限电次数 | 644 |
| 最长限电时间 (h) | 69.33 |
| 最短限电时间 (h) | 0.17 |
| 平均每次限电时间 (h) | 3.1 |
| 限电1小时以上所占比例 | 49% |
| 限电半小时以上所占比例 | 62% |
| 不限电次数 | 654 |
| 不限电最长时间 (h) | 176.5 |
| 不限电最短时间 (h) | 0.17 |
| 平均每次不限电时间 (h) | 9.3 |

此外，在弃风严重的冬季每日限电呈现一定的规律性，如图 5 所示为比较典型的曲线。该曲线表示的是调度指令与理论功率的差值，如果值大于 0 则说明不限电，如果值小于 0 则说明限电。由图 5 所示典型曲线可知，夜间出现长时间限电，日间长时间处于不限电状态。

以某电池厂商提供的数据，对 1.2MWh 铅炭电池循环次数与充放电深度以及电池可放电容量与放电倍率进行分析。

表 4 为铅炭电池在满充情况下采用不同的倍率恒流放电所能够放出的容量。由图可知，当电池放电倍率越小，电池可放电容量越大。

设电池单次放电能量为 E_0 ，放电倍率为 P 。从表 4 得到 P 越小， E_0 越大。

图 6 为电池在恒定放电电流、不同温度下循环次数 N 与充放电深度 DoD 之间的对应关系。假设电池以恒定温度、恒定倍率、恒定充放电深度进行充放电，则其生命周期内可放电能量为：

$$E = E_0 \times \text{DoD} \times N \quad (2)$$

现取其中 30℃ 环境下放电深度与循环次数点对应关系进行分析，如表 5 所示。

由表 5 可知，在恒定温度、恒定充放电倍率下，铅炭电池在生命周期内所能够释放的总能量在放电深度为 0.3 ~ 0.6 时，其能够释放的总能量较多，在 0.7 以上则会迅速减少。这意味尽可能避免电池过度深充深放，同时也要避免过于频繁地浅充浅放。

结合上述分析可知，为使储能电池在生命周期内尽可能多地释放电能，需要每次以小功率充放电，同时使放电深度控制在 0.6 以内。

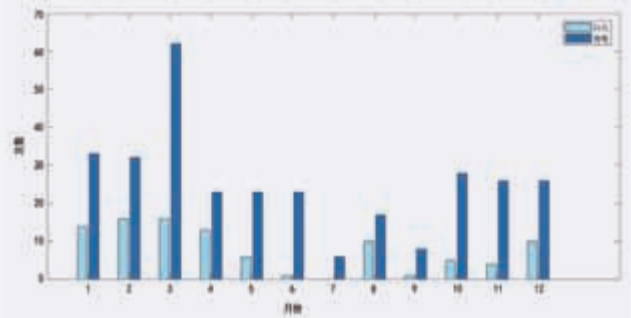


图3 12个月限电开始时刻的次数统计

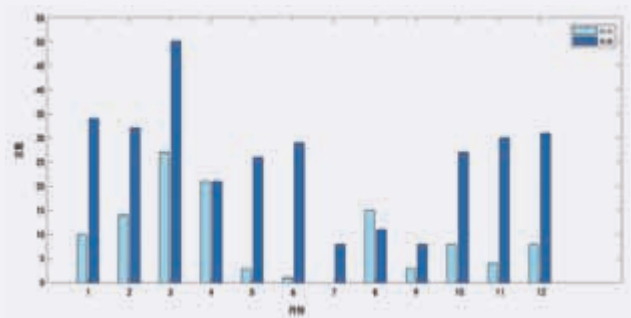


图4 12个月限电结束时刻的次数统计

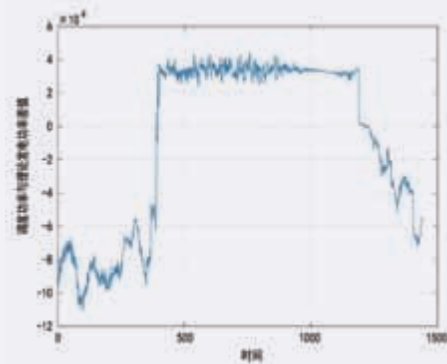


图5 日限电特性典型曲线 (2015年11月4日)

表3 每月限电统计数据

| 月份 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 限电时间比例 | 43% | 44% | 54% | 35% | 31% | 17% | 9% | 21% | 6% | 20% | 21% | 27% |
| 平均限电时长 (h) | 3.34 | 4.01 | 6.43 | 4.77 | 2.17 | 1.93 | 1.75 | 2.35 | 1.55 | 2.17 | 3.01 | 3.22 |
| 限电次数 | 95.00 | 76.00 | 73.00 | 53.00 | 108.00 | 64.00 | 38.00 | 68.00 | 30.00 | 70.00 | 49.00 | 63.00 |
| 限电大于 1 小时所占比例 | 39% | 49% | 71% | 53% | 32% | 38% | 34% | 37% | 30% | 41% | 55% | 60% |

表4 铅炭电池的放电倍率与可用容量之间的关系

| 放电倍率 | 0.55C | 0.25C | 0.17C | 0.125C | 0.1C | 0.05C |
|------|-------|-------|-------|--------|------|-------|
| 可用容量 | 60% | 80% | 90% | 100% | 105% | 115% |
| 放电时长 | 1hr | 3hr | 5hr | 8hr | 10hr | 20hr |

表5 30℃ 环境下铅炭电池循环次数与总能量的关系

| DoD | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 |
|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| 循环次数 | 13200 | 9500 | 7200 | 5700 | 4800 | 3500 | 2200 |
| 总能量 | 2640 | 2850 | 2880 | 2850 | 2880 | 2450 | 1760 |

控制策略

结合储能电池自身特性，为了每次充分利用其容量，需尽可能使用小功率充放电，因此，在限电高峰期，可在限电较长时段采用小功率进行循环充放电，以使储能电池每次充放电能量都能达到最大。

根据以上分析，现提出以下基于调度预测及风功率预测的最优化储能充放电策略：

算法流程图如图7所示，在每一个调度周期的起始时刻，通过历史数据以及天气预测信息预测未来 T 时间段内的调度功率曲线 P_{set} 及风功率曲线 P_{wind} ，根据调度功率与风功率相减可得到限电曲线 $P_{cut} = P_{wind} - P_{set}$ ，若 $P_{cut} > 0$ ，表示处于限电状态；若 $P_{cut} < 0$ ，表示处于非限电状态。设限电曲线中第一段持续限电或不限电的时间为 ΔT 。设储能最大充电功率为 $P_{c_{max}}$ ，最大放电功率为 $P_{d_{max}}$ （充电为正，放电为负）。设电池 SOC 范围为 $SOC_{min} < SOC < SOC_{max}$ ，电池容量为 C ，当前决策储能充放电功率为 P_{bat} 。

若当前决策处于充电时段，则：

$$P_{bat} = \min\left(P_{c_{max}}, P_{cut}, (SOC_{max} - SOC) \times \frac{C}{\Delta T}\right) \quad (3)$$

若当前决策处于放电时段，则：

$$P_{bat} = \max\left(P_{d_{max}}, P_{cut}, (SOC - SOC_{min}) \times \frac{C}{\Delta T}\right) \quad (4)$$

仿真分析

该风电场系统拓扑图如图8所示，风电场配置 1.2MWh 储能系统，根据其过去一年的运行数据，现采取两种控制策略进行仿真分析，第一种不考虑以预测限电时长为依据设定充放电倍率，始终以允许最大充放电倍率对储能系统充放电，第二种策略以预测限电时长调整充放电倍率。首先采用二次曲线拟合，根据可用容量与放电电流对应数据可拟合出电池可用容量与充放电功率之间的关系。

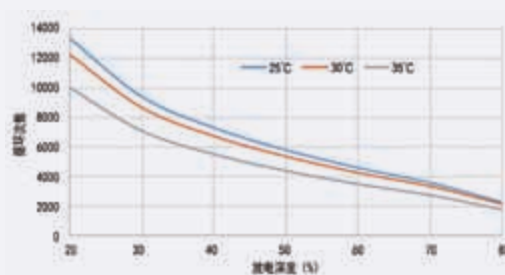


图6 铅炭电池在不同放电深度下的循环次数

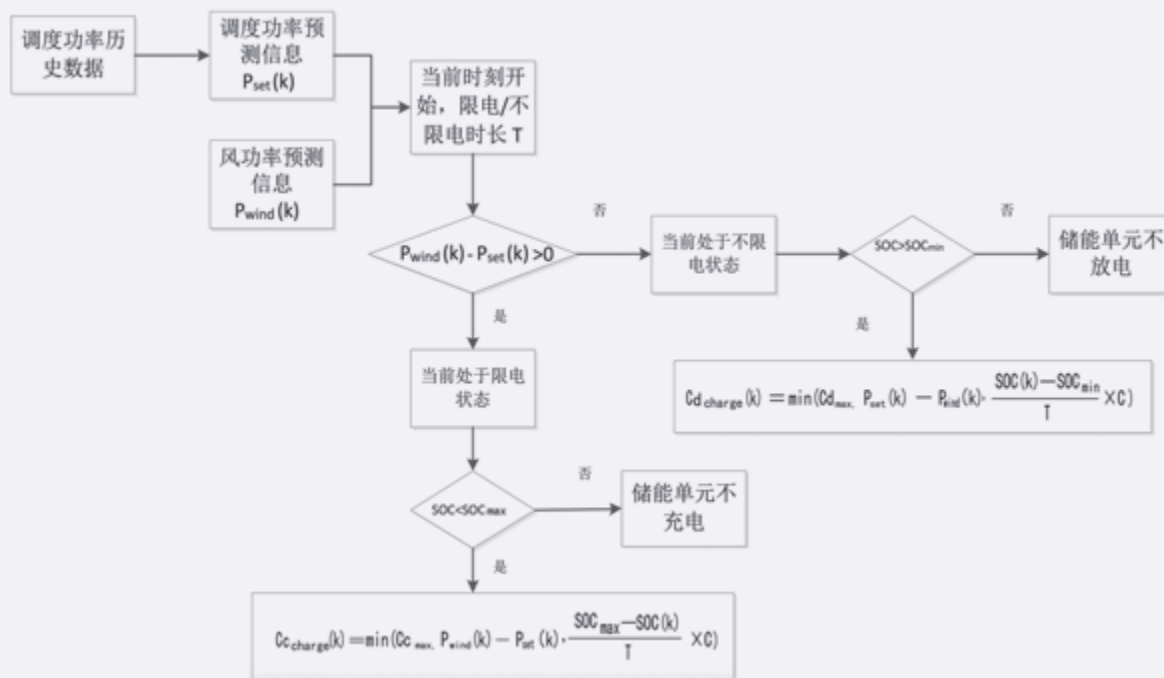


图7 控制策略流程图

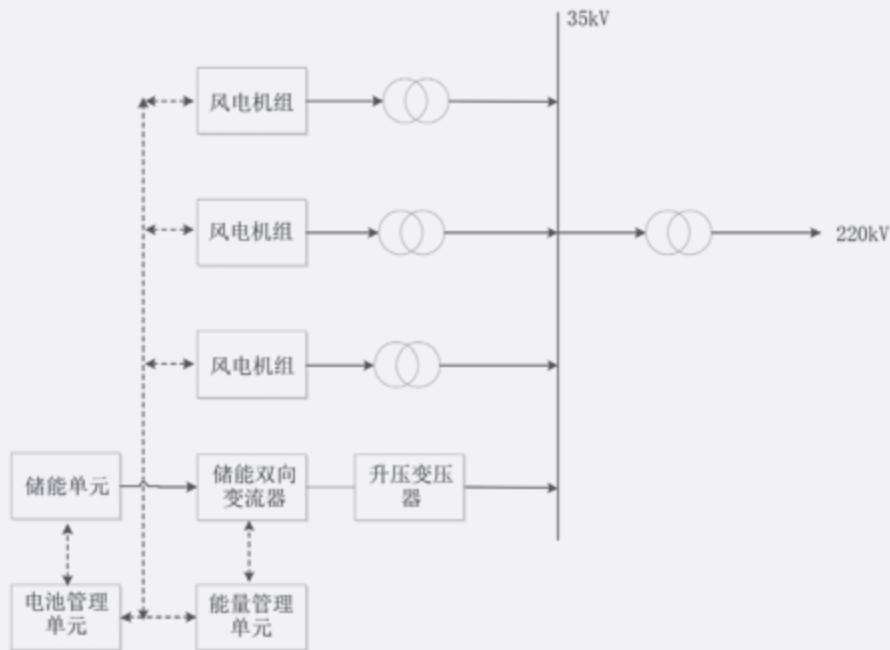


图8 风储系统拓扑图

当电池充电时，电池可放出的容量 BatC 为：

$$BatC = 2.2962 \times \frac{P_{bat}^2}{C} - 2.4799 \times P_{bat} + 1.2697 * C \quad (5)$$

当电池放电时，电池可放出的容量 BatD 为：

$$BatD = -2.2962 \times \frac{P_{bat}^2}{C} - 2.4799 \times P_{bat} - 1.2697 * C \quad (6)$$

当采用第一种策略时，基于风电场一年的历史数据，储能系统一共释放 2.0274e+05kWh 电量。

当采用第二种策略时，储能系统一共释放 2.7280e+05kWh 电量，说明后一种可以充分利用储能容量与充放电倍率关系提升储能放电电量，从而在项目生命周期内增加收益。

结论

本文针对风电场运行规律和储能系统特性开展研究，风电场的弃风限电呈现出一定的季节性和周期性，储能系统的充放电容量与充放电倍率存在显著的关系。基于分析结果，针对风储系统运行和调度提出一种基于风功率预测和调度预测的储能充放电控制方法，基于该方法可实现在风电场应用场景中充分地利用储能系统，在储能系统寿命周期内增加其充放电容量，从而提升系统经济性。🔗

(作者单位：深圳量云能源网络科技有限公司)



摄影：王宝义



重点实验室办公楼



52.5米叶片静力试验



叶片检测车间



国家能源风能太阳能仿真与检测认证技术重点实验室 ——风电机组风轮叶片检测中心

以先进设备、专业技术为风电设备检测提供高效优质服务

以鉴衡认证中心为依托单位的“国家能源风能太阳能仿真与检测认证技术重点实验室”，是我国风能太阳能行业集仿真技术、标准研究、检测认证技术研究和实践于一体的公共技术服务平台。

重点实验室设立的风电机组风轮叶片检测中心位于河北省保定市，占地36000平方米，拥有先进的实验检测设备，执行与国际接轨的实验检测标准，为叶片检测出具权威报告。

目前检测中心已完成多项叶片实验测试任务，可承接100米内叶片全尺寸结构试验、无损检测和叶片零部件测试项目。



海上风电植入式单桩施工稳桩系统研究

文 | 曹淑刚, 迟岩, 韩毅平, 张晗

福建等东南海域风能资源丰富, 是海上风电开发的“天府之地”。然而该海域海底岩基埋藏较浅, 且多为硬度较高的花岗岩, 抗压强度可达 130MPa, 对于海上风电大直径单桩基础很难直接打入。鉴于此, 该海域的海上风电开发步伐一直比较缓慢。为解决岩基海床海上风电施工的技术难题, 国内以龙源振华为代表的多家单位不断研究世界范围内类似地质条件下海上风电、跨海大桥的施工工艺, 针对基岩基本裸露、不足以沉桩稳定的地质条件, 提出了“成孔—植桩—灌浆”的植入式嵌岩单桩理念, 使得岩基海床大直径单桩的应用成为可能。

随着海上风电机组单机容量的增大, 目前单桩基础直径已达到 5~7m, 若在岩基海床采用植入式单桩, 大直径成孔是一项关键工艺。一般来说, 成孔可采用爆破法和钻孔法, 由于爆破法对海洋环境污染较大, 目前大多采用钻孔工艺。该工艺必须配备大功率钻机及可靠的稳桩系统, 其中稳桩系统在支撑嵌岩钻机钻孔、稳定单桩基础方面扮演重要角色。然而, 传统港口、大桥施工中采用的稳桩方案适用桩径较小、施工成本较高, 且存在易失稳、易管涌的风险, 无法直接应用于海上风电行业, 目前海上风电大直径桩基在岩地质条件下施工的稳桩系统还处于研究之中。本文从我国海上风电开发实际出发, 对植入式嵌岩单桩稳桩系统进行研究, 创新提出支腿船式、套箱式、人造基床式、导管架式稳桩方案, 对比分析不同方案的特点和对海上风电施工的适应性, 并以某工程中实际环境条件为例, 介绍了导管架式稳桩系统的具体应用。

稳桩方案

一、支腿船式稳桩方案

如图 1 所示, 为支腿船式稳桩方案示意图, 在支腿船一侧伸出一个桁架结构用来保证护筒稳定, 并在护筒上架设钻机用来钻孔。该方案对支腿船的稳定性要求较高, 且稳桩桁架为悬臂结构, 采用该方案时需校核其力学性能。此外,

护筒需进入泥面以下一定深度, 以抵抗浪流作用力, 以及防止海床冲刷导致的护筒底穿等现象的发生。目前国外大多采用该种稳桩措施, 而国内由于抗风浪能力强、稳定性好的支腿船较为缺乏, 且需要进行安装桁架稳桩结构的改造, 故该方案目前在国内未被采用。

二、套箱式稳桩方案

套箱稳桩方案一般是在海底沉放钢套箱或钢筋混凝土套箱形成围堰, 之后在套箱内注砂。为防止注砂漏失, 需在套箱下部内外一周铺设土工织物, 吊放套箱后投放砂袋或袋装混凝土, 将土工布压实, 或者可采用振动锤将钢制套箱振入泥面下一定深度, 注砂完成后利用振动锤将内护筒振入, 如果护筒沉入时贯入度较大, 则应对套箱内填砂进行压密处理以保证稳桩效果。为保证后续钻孔的垂直度, 液压振动锤可边振边调内护筒的垂直度, 保证实际垂直度控制在 1‰以内。内护筒沉桩完成后, 在套箱顶层铺放袋装混凝土封固套箱内的砂, 以保证后续钻孔振动过程中填砂不会流失。当岩基完全裸露时, 该法也可与冲孔埋置法联合应用, 即先使用冲锤冲出一个直径比内护筒略大的坑, 然后放置内护筒, 在内护筒周围填砂, 之后在外面套入套箱, 再在套箱内填砂, 该方法中套箱的作用是增加了填砂高度, 进一步确保了整个系统的稳定性。

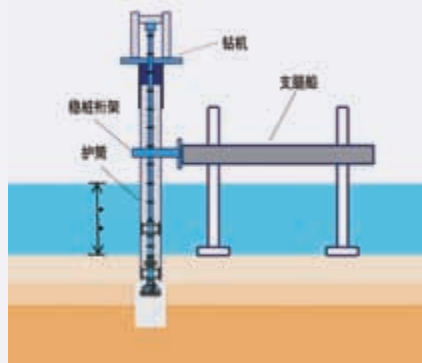


图1 支腿船式稳桩方案

图2为钢套箱式稳桩方案施工示意图,在该工艺中钻机需架设在内护筒上进行钻孔,作业过程中钢套箱和内护筒除了遭受浪流荷载外,还会受到钻机钻孔过程中的振动荷载、扭矩等作用,因此,施工前需对套箱的抗倾、抗滑稳定性,内护筒桩基承载力、内护筒稳定性等进行计算分析,并根据分析结果确定套箱内填砂所需高度,计算方法可参考《港口工程嵌岩桩设计与施工规程》。

套箱稳桩方案虽然结构简单,套箱制造工艺成熟,但填砂和下水潜水工程量较大,且需大型浮吊安装套箱,该工艺在国内的内河或浅海桥梁工程、港口码头工程中应用较多,在海上风电领域有待实践检验。

三、人造基床方案

人造基床是指在嵌岩桩区域一定范围内抛铺一定厚度的砂层(砂袋)和袋装碎石层,形成人工覆盖层来满足施工期的稳桩要求。人造基床要求具有较好的稳定性和抗冲刷能力,在护筒打入时及后续嵌岩钻孔过程中不会由于浪流作用和振动作用发生失稳、滑移等现象,同时人造基床设计时应考虑沉降、砂层流失的影响。通常人造基床采用3层结构,基床的边坡以 $1/2 \sim 1/3$ 为宜,底层采用袋装碎石粘土,可有效保护天然泥面,减少对原有覆盖层的冲刷;中间层采用袋装中粗砂;顶层为护面袋装碎石,以防止中间层砂体的流失。在护筒沉入后,为减少砂和碎石流失,应及时在护筒四周抛袋装砣围护。

图3为人造基床稳桩方案示意图,该方案在港口码头工程中应用广泛,曾应用于上海洋山深水港、浙江马迹山中转港等多个工程项目中。在海上风电领域该方案可有效应用于岩基裸露、完全无覆盖层机位的嵌岩施工,但海上风电单桩基础与港口码头中的桩基相比桩径更大,若采用该种方案工程量将较大。

四、导管架式稳桩方案

导管架式稳桩方案采用钢管或箱梁焊接成筒易导管架平台,通常为4桩或6桩结构,通过将桩基打入海床一定的深度来保证结构的稳定性,进而保证平台内护筒的稳定性。图4为某项目中海上风电植入式单桩基础施工所用稳桩系统示意图。在该方案中,稳桩系统由钢架、桩基(小桩)、中心筒组成,钢架与桩基之间通过卡键联接,从而实现平台水平度调整及平台顶高程调整的目的。钢架中间有一护筒与钢架整体焊接在一起,护筒内放置中心筒,护筒和中心筒中间通过液压千斤顶装置联接,以调整中心筒的垂直度。施工时需根据具体机位地形起伏情况先将导管架与周围固定小桩

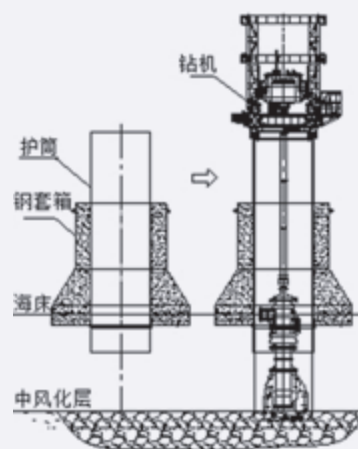


图2 钢套箱稳桩与钻孔施工

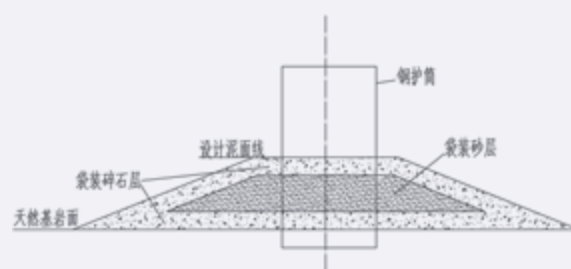


图3 人造基床稳桩方案

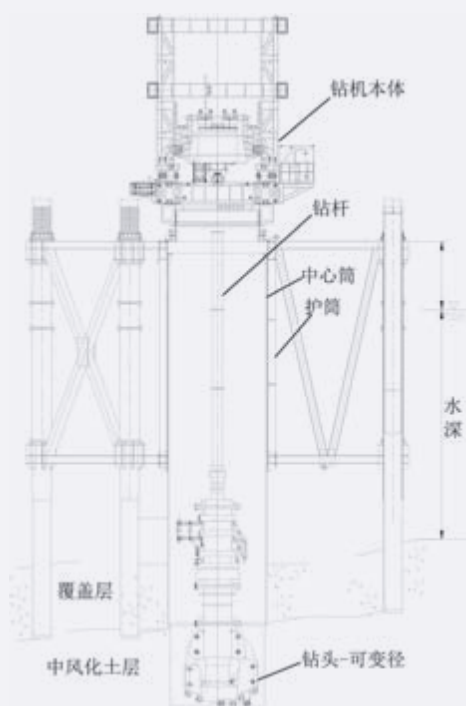


图4 导管架式稳桩方案

基进行预组装，然后整体吊入海水中，通过振动锤将固定小桩打入泥面一定深度，调平后将卡键锁死，之后将中心筒吊入护筒中，并通过打桩锤打入泥面一定深度，完成后在平台上口通过螺栓将中心筒与平台固定，形成一个整体，之后便可在上面架设钻机进行嵌岩钻孔作业。

导管架式稳桩结构具有安装方便（可整体式吊装）、承载能力强、稳定性好、适用水深大、可重复利用等优点，是海上风电领域作为辅助平台的首选方案，在国内海上风电施工用支腿船缺乏的情况下，中交三航局曾利用四桩导管架式稳桩方案来控制单桩打桩的垂直度，国内首台成功实施的海上风电植入式单桩工程——福建南日风电项目也是采用导管架式方案作为嵌岩钻孔的稳桩平台。

导管架式稳桩平台应用分析

一、工程概况及稳桩平台结构

以某海上风电项目植入式单桩工程为例。该工程中海底覆盖层较浅，桩基无法直接打入，只能采用重力式基础或植入式桩基的方案。考虑到重力式基础工期较长、成本较高，故最终采用植入式单桩的方案。场区地质参数如表 1 所示。

该工程采用 6 桩导管架式平台作为稳桩嵌岩钻孔平台，如图 5 所示。稳桩平台由一体焊接的护筒、导向套与钢架组成，6 片主钢架相对中心筒呈对称辐射布置，均与主钢架焊接，其远端仍用钢架联成六方体，使整个稳桩平台成为一

个大强度空间结构。主钢架的远端焊接有 6 个钢管桩的导向套，钢管桩的上段与导向套内孔为较精密的间隙配合，下端与导向管的间隙略大，并与导向套间用卡键式方式联接，卡键联接的轴向间隙用螺杆（钉）调节。该平台可实现快速安装，承载能力大，具备承载钻机荷载和海洋环境荷载的能力。承载时以平台承载为主、中心筒承载为辅，不仅适用于厚软地层，在薄软地层（2~3m）中也可保持较好的稳定性。稳桩平台的具体参数如表 2 所示，施工时所用钻机的钻头重量为 330t，主机重量 340t，钻杆约 130t，额定扭矩 1000kN·m。



图5 稳桩平台

表1 土壤地质参数

| 土层 | 厚度 (m) | 湿容重 (kN/m ³) | 快剪 | | 极限侧阻力标准值 (kPa) | 极限端阻力标准值 (MPa) |
|-------------|--------|--------------------------|-----------|------------|----------------|----------------|
| | | | 凝聚力 (kPa) | 内摩擦角 (deg) | | |
| ① 淤泥质粉质粘土 | 4 | 17.5 | 8.0 | 3 | 0~20 | 0~0.15 |
| ② 散体状强风化花岗岩 | 3.2 | 21.5 | 11~13 | 28 | 140~160 | 7~9 |
| ③ 碎裂状强风化花岗岩 | 5.6 | 22 | 13~16 | 30 | 240~260 | 9~11 |
| ④ 弱风化花岗岩 | 10 | - | - | - | - | - |

表2 稳桩平台参数

| 平台参数 | | 定位桩 (6 根) | | 中心护筒 | |
|---------------|--------------|-----------|-------|--------|-------|
| 重量 (t) | 430 | 重量 (t) | 20×6 | 重量 (t) | 350 |
| 长 × 宽 × 高 (m) | 25 × 22 × 17 | 直径 (m) | 1.14 | 直径 (m) | 6.5 |
| 护筒直径 (m) | 6.7 | 长度 (m) | 27.21 | 长度 (m) | 27.56 |

二、中心护筒埋置深度

植式单桩钻孔时，中心护筒内泥浆液需保证一定的水头高度。为防止局部渗透、护筒底穿、管涌等现象的发生，中心护筒埋入土中的深度一般要求在密实土中至少3m以上，并应考虑冲刷的影响。在施工期埋入局部冲刷线以下至少1m，必要时护筒周围应适当围护，如遇淤泥层、软土层，则护筒应穿过该层土。施工前可根据《公路施工手册·桥涵》中的计算方法按公式（1）估算护筒入土最小深度，计算简图如图6所示。

$$L = \frac{(h+H) \cdot \gamma_{浆} - H \cdot \gamma_w}{\gamma_{sat} - \gamma_{浆}} \quad (1)$$

式中， L 为护筒最小埋置深度，m； H 为施工水位至海床表面的深度，m； h 为护筒内水头，即护筒内水位与施工水位之差，m； $\gamma_{浆}$ 为护筒内泥浆容重， kN/m^3 ； γ_w 为海水的容重， kN/m^3 ； γ_{sat} 为护筒外海床土的饱和容重， kN/m^3 。

当只有一层土时可按式（2）计算，当存在多层土时，应取所有土层的加权平均值，如式（3）所示。

$$\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1 + e} \gamma_w \quad (2)$$

式中， G_s 为土粒比重（土粒的相对密度），当缺乏地勘参数时，砂土可取平均值2.65，粘性土可取2.70； e 为饱和土的孔隙比，一般砂土为0.33~1.0，粘性土为0.17~0.43，软土为1.0~2.3。

当护筒穿过几种不同的土层时， γ_{sat} 应取各层土的加权平均值，即：

$$\gamma_{sat} = \frac{\sum \gamma_{sati} \cdot l_i}{\sum l_i} \quad (3)$$

式中， γ_{sati} 为第*i*层土的饱和容重， kN/m^3 ； l_i 为第*i*层土的厚度，m。

根据地质勘查报告，该工程中上部覆盖层为①淤泥质粉质粘土，厚度4m，土粒比重 $G_s = 2.74$ ，孔隙比 $e = 1.42$ ；②散体状强风化花岗岩，厚度3.2m，土粒比重 $G_s = 2.7$ ，孔隙比 $e = 0.566$ 。由此计算 γ_{sat1} 为17.19， γ_{sat2} 为20.86。

将 γ_{sat1} 、 γ_{sat2} 代入式（3）得 $\gamma_{sat} = 18.82\text{kN/m}^3$ 。

钻孔施工时水面距海床高度 $H = 12.76\text{m}$ ，水头高度 h 约为1.5m，护筒内泥浆容重为 11.50kN/m^3 ，海水的容重取为 10kN/m^3 ，将以上数值代入式（1）得 L 为5m。

为防止护筒底穿、渗透等现象的发生，该机位处护筒入土深度应大于5m，工程实际中除了考虑水头作用下土体的稳定性外，还要考虑平台整体在浪流及钻机荷载作用下的稳定性以及地基的承载力。

三、结构分析

平台作业时会受到钻机以及海洋环境的荷载作用，为保证结构的可靠性，施工前需对稳桩系统的强度、刚度、稳定性、桩基承载力等进行校核分析。分析时应考虑钻孔作业、风暴自存、安装拆除等工况，下面以钻孔作业时的工况为例对该平台的安全性进行校核分析。

钻孔工作工况下计算校核采用5年一遇环境条件，工程场区平均水位为0.225m（85高程），不同水位下对应波高、周期如表3所示，表层流速1.2m/s，5年一遇风速为26.24m/s。

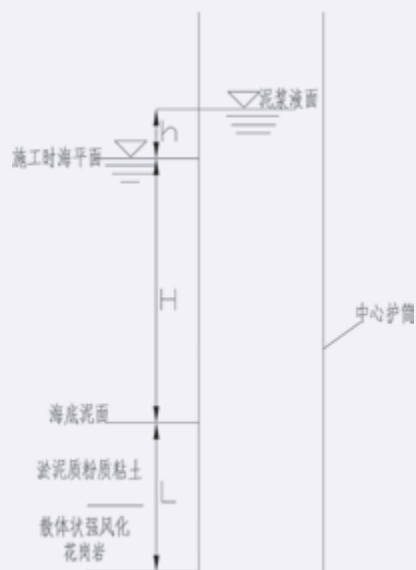


图6 中心护筒埋置深度计算示意图

表3 波浪水文要素（5年一遇）

| 波浪要素 | 设计高水位（3.81m） | 设计低水位（-3.15m） | 极端高水位（5.11m） | 极端低水位（-4.15m） |
|-------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| 波高（m） | 4.45 | 3.02 | 4.63 | 2.80 |
| 周期（s） | 7.66 | 7.25 | 7.65 | 7.24 |

稳桩平台系统所受的风荷载可按式计算：

$$F = K \cdot K_z \cdot P_0 \cdot A \quad (4)$$

式中， K 为受风构件形状系数，可参考《API RP 2A-WSD—2014 海上固定平台规划、设计和建造的推荐作法（工作应力设计法）》（以下简称“API RP 2A”）相关规定； K_z 为高度系数，海平面以上0~15.3m范围内可取1.0； P_0 为基本风压， $P_0=0.613v^2$ ， v 为海平面以上10m高度处风速。

稳桩系统所受的波浪、海流载荷可采用 Morison 公式计算，当流与波浪叠加时，在计算荷载前应首先计算出流速与波浪的水质点速度的矢量和，单位长度上结构所受的浪流荷载为：

$$F = F_D + F_I = \frac{1}{2} \rho_w D C_D u |u| + \frac{\pi}{4} \rho_w D^2 C_M \dot{u} \quad (5)$$

式中， F_D 为单位长度的拖曳力，kN/m； F_I 为单位长度的惯性力，kN/m； ρ_w 为海水密度， kg/m^3 ； D 为杆件横流向的投影宽度，m； C_D 为拖曳力系数； u 为浪流叠加作用下水质点速度在垂直于杆件轴线方向的分量，m/s。 C_M 为基于单位长度的排水质量的惯性力系数； \dot{u} 为浪流叠加作用下水质点加速度在垂直于杆件轴线方向的分量， m/s^2 。

计算分析采用有限元软件 SACS 完成，计算所用波浪理论选用流函数理论，桩土相互作用考虑土壤非线性，由 PSI 分析模块进行处理。为保证稳桩系统稳定性，固定桩和中心护筒应尽量打入覆盖层中，本工程中按照固定桩和中心护筒打入泥面下 7m 来进行校核。经过计算分析，得出强度分析 UC 值分布如图 7 所示，最大 UC 值为 0.15，发生在稳桩平台底层水平杆件上，中心护筒位移和转角计算结果如表

4 所示。

由分析结果可知，结构的强度值、位移、转角都较小，能够满足安全性和钻孔功能性要求。为校核稳桩系统的稳定性，对平台系统桩基承载力进行计算分析。中心护筒及桩基承载力按照式（6）计算：

$$Q = Q_f + Q_p = f \cdot A_s + q_u \cdot A_p \quad (6)$$

式中， Q_f 为桩（中心护筒）侧摩阻力，kN； Q_p 为桩（中心护筒）端阻力，kN； f 为单位桩长（中心护筒）侧摩阻力，kPa； A_s 为桩（中心护筒）侧表面积， m^2 ； q_u 为单位桩端承载力，kPa； A_p 为桩（中心护筒）端总面积， m^2 ；

对于打入到粘土层中的钢桩：

$$f = \alpha c, \quad q = 9c \quad (7)$$

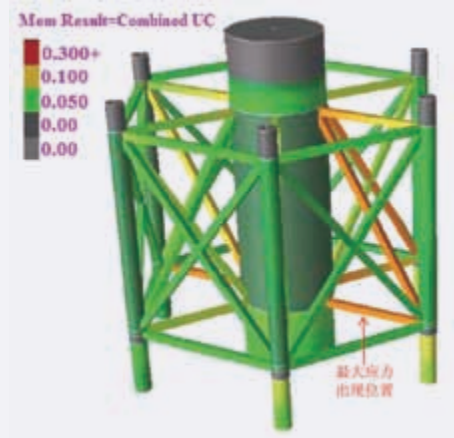


图7 强度分析UC值分布图

表4 中心护筒位移计算结果

| 位置 | 位移 (cm) | | | 转角 (deg) | | |
|--------|---------|---|--------|----------|---------|---------|
| | X | Y | Z | Rot (X) | Rot (Y) | Rot (Z) |
| 泥面处 | 0.214 | 0 | -0.022 | 0 | 0.3‰ | 0.4‰ |
| 中心护筒顶部 | 0.731 | 0 | -0.081 | 0 | 0.2‰ | 0.4‰ |

表5 桩基承载力计算结果

| 名称 | 土壤抗压承载力 (kN) | 最大轴向压力计算值 (kN) | 土壤抗拔承载力 (kN) | 最大轴向拉力计算值 (kN) |
|------|--------------|----------------|--------------|----------------|
| 固定桩 | 1998.12 | 1320.20 | 579.15 | 502.10 |
| 中心护筒 | 18226.74 | 12056.20 | 3302 | — |

式中, a 为粘着系数,可参考API RP 2A规范; c 为相应点土壤不排水抗剪强度。

对于打入到砂性土层中的钢桩:

$$f = KP_0 \cdot \tan \delta, \quad q = P_0 N_q \quad (8)$$

式中, K 为地层侧压力系数,对轴向压缩荷载 $K = 0.5 \sim 1.0$; P_0 为计算点的有效上覆土压力, kPa; δ 为桩与土之间的摩擦角,一般取 $\delta = \varphi - 5^\circ$, φ 为土的内摩擦角; N_q 为承载力系数,可参考API RP规范。

基于以上方法,当固定桩及中心护筒入泥 7m 时,计算得到两者的土壤抗压承载力、抗拔承载力,并通过有限元软件对钻孔时不同水位下的工况进行分析,得到固定桩受到的最大轴向压力和最大轴向拉力,如表 5 所示。通过比较分析可知,此时对于固定桩土壤抗压承载力安全系数为 1.51,抗拔承载力安全系数为 1.15;对于中心护筒钻孔工作时只受到轴向压力,土壤承载力安全系数为 1.51。考虑到该稳桩系统仅作为海上风电植入式单桩基础钻孔施工时的临时结构物,施工时需选择海况较好的天气,在此条件下本文认为承载力安全系数大于 1 即符合安全要求,故该稳桩系统桩基承载力

能够满足施工时要求。

结语

本文对海上风电植入式单桩施工嵌岩稳桩系统进行了研究分析,借鉴跨海大桥、港口码头嵌岩桩施工经验,提出并分析了大直径单桩嵌岩稳桩的不同方案,并以具体工程为例,针对导管架式稳桩系统进行了计算分析。分析可知该平台能够满足该工程钻孔作业的要求,实际工程中稳桩平台系统除了满足正常作业安全性外还须校核安装拆除工况、极限自存工况的安全性,并针对具体的工程特点制定相应的应急撤离方案,考虑到嵌岩钻孔时间较长,必要时还需对平台关键节点进行局部分析和疲劳分析。该研究方法可为后续嵌岩施工稳桩系统的选择、校核评估提供参考,对于促进我国岩基海床海上风电的开发具有重要意义。▶

(作者单位:曹淑刚,迟岩,韩毅平:中能电力科技开发有限公司 & 国电新能源技术研究院;张晗:福建龙源风力发电有限责任公司)



摄影:苏雷

风电机组并网开关回路问题的处理探索

文 | 姜山

风力发电是 21 世纪日益重要的绿色电力。随着风电技术水平的快速发展，机组的可靠性和不间断运行时间也在逐渐提高和增加，风力发电技术已经成为目前相对成熟、极具规模化开发和商业化发展的新能源技术。

对投运时间较长的老风电场来讲，随着运行时间的延长，机组部件的老化、损耗现象开始显现：如偏航齿轮面的磨损，将导致偏航噪音加大，并引起偏航振动超出限定值；变桨系统的老化，致使变桨动作不能准确执行，风能捕获效率降低。由此加强主要部件的缺陷处理，并不断寻求机组并网运行后部件的最佳运行方式，是降本增效的有效手段之一。

本文通过对风电机组并网开关回路中存在问题的分析，提出切实可行的技改措施，为机组的可靠运行奠定基础。

风电场概况

本文所涉及的风电场地处河北省坝上地区尚义县境内，一期项目于 2005 年并网发电，至 2008 年第四期项目建设期结束时，总装机容量达到 18.3 万千瓦，共安装 122 台单机容量为 1500 千瓦的双馈机组。升压站内安装 4 台 5 万千瓦安主变压器，通过两路 110 千伏架空线路送出，并入国家电网公司张北 220 千伏变电站。

风电机组并网开关存在的主要问题

一、并网开关动作频繁

风电场内一、二、三期风电机组为国内投运时间较早、型号偏老的风电机组，该系列的 89 台风电机组采用 AEG ME1607 并网开关与网侧同步，进行投入和切出。

目前一期风电机组自 2005 年投运以来，运行时间已达 13 年，并网开关的平均动作次数已超过 8000 次。根据风电机组维护保养手册要求，并网开关的设计寿命为 10000 次，届时需要全面更换。根据实际运行情况，并网开关机械结构在动作 5000 次后就需要进行维修、保养，如果机械结构损

坏严重，视为无检修价值。2012 与 2013 年 89 台风电机组中更换并网开关的数量分别为 19 台和 23 台。2014 年风电机组故障更换并网开关 29 台次，费用约 200 万元。并网开关故障次数呈逐年上升趋势，造成较大的采购、维修成本和巨大的发电量损失。

运行情况表明，风电机组通过并网开关与网侧同步投切存在一些弊端和安全隐患。若并网开关不能正确脱扣将导致联轴器打滑损坏、频繁报出 [141] 故障，使得发电量受损进而损坏并网开关、crowbar、变频器等零部件。

二、储能电机连接环失效

每一次并网开关的闭合，都会触发储能电机为并网开关储能，随着动作次数的增加，储能电机与储能机构的连接铜环磨损严重以致失效，无法使储能机构恢复到工作位置，此时储能电机会一直工作直至发热烧毁。随着风电机组投运时间的延长，储能电机过热烧毁次数也逐年增多。

储能电机过热烧毁后，除了风电机组无法正常工作，还会导致整个并网开关线路及继电器的损坏，届时只能将并网开关整体更换。并网开关购买费用大概在 10 万元左右，而替换下的并网开关近乎报废，维修价值不大（文中风电场每年因此种情况而更换并网开关的机组有十台左右）。另外储能电机过热所导致的潜在危险也很大，过热将会在开关柜内产生明火，而并网开关的外壳、继电器等部分都是塑料制品，若不能得到及时有效控制，会导致风电机组塔基的整体失火。

针对上述问题采取的措施

风电场运行检修人员通过运行数据发现，机组在切入风速的时间段内并网开关频繁动作，会缩短开关寿命。根据电气原理分析，可通过加装接触器减少并网开关的分合；将 ME1607 老款型号的并网开关逐步更换为 ME1609 新型号的并网开关；对并网开关的储能电机回路进行改造，防止储能电机损坏等三种方式解决上述并网开关运行存在的问题。

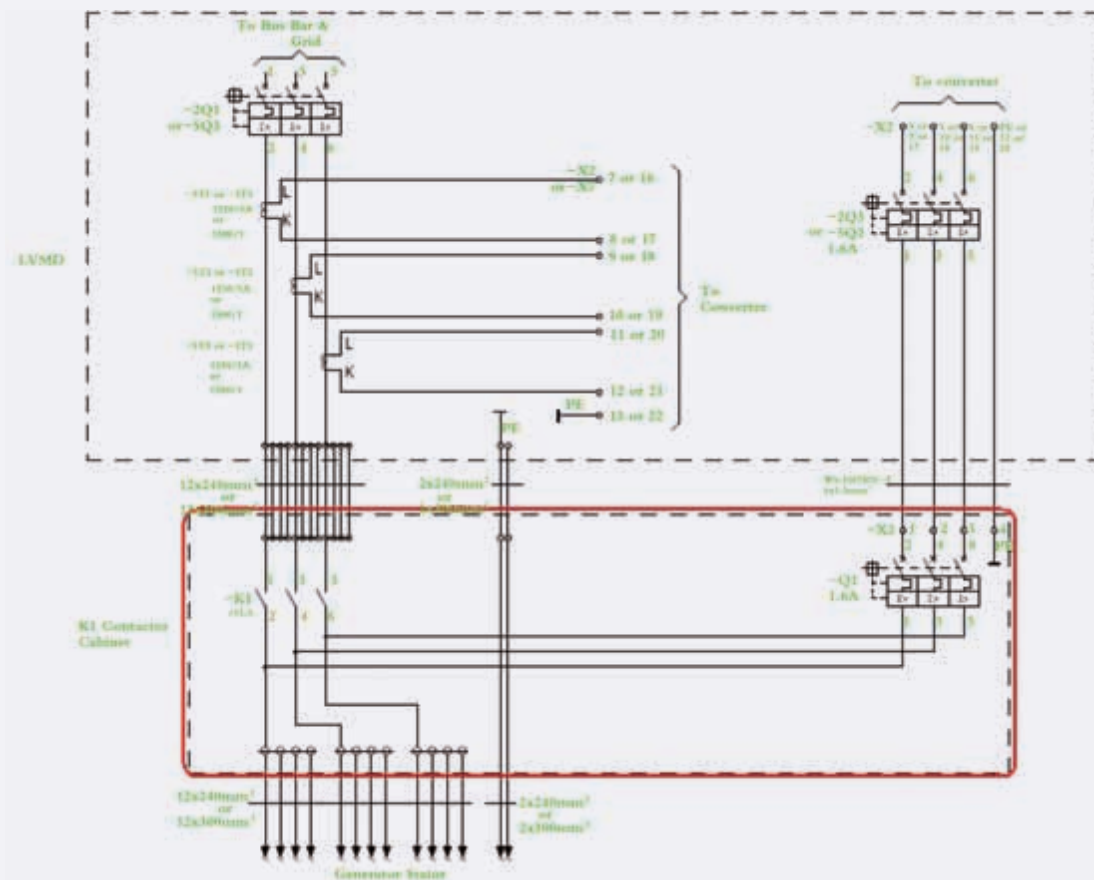


图1 K1接触器回路图

一、加装K1接触器减少并网开关分合次数

近年来,针对该风电场 89 台风电机组并网开关的频繁损坏以及并网开关无法脱网等情况,首先采取的措施是:在回路中增加一个接触器来代替开关进行并网、脱网等电气动作,在减少并网开关分合次数增加其使用寿命的同时,大大提高风电机组的电气安全性能。

同时,减少了由于并网开关故障停机所引发的变频器等其他元件的损坏,大大增加了风电机组的稳定性。

(一) 改造方案

通过对比国内外其他品牌风电机组的设计发现,大多数的风力发电机组是通过接触器实现与网侧同步、依靠并网开关实现保护功能的。这也符合供、配电设计的规范和要求。

2013 年该风电场对 5 台风电机组(2#、5#、9#、29#、33#)进行技术改造,使机组与电网的同步由一个独立的接触器来实现(图 1),这有助于预防变频器的主要故障及其他电气问题,并延长风电机组中并网开关的工作寿命。

并网开关改造主要工作为加装接触器及相应程序重新

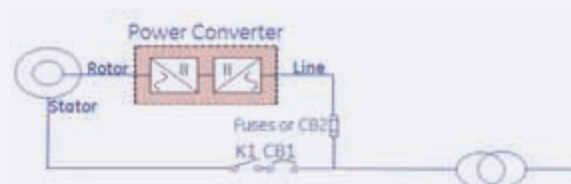


图2 机组与电网功率交换示意图

写入, K1 接触器改造主要由柜体本身和外接电缆两部分构成。

K1 接触器的平均寿命(用作并网开关时)为 10 万次,其日常维护和检修量显著减少(新 K1 接触器经电机工程学会认可的电弧测试后独立安装)。

发电机通过接触器与网侧同步,依靠断路器实现过流、过压等保护功能的改造方法,符合供、配电的设计规范和要求(图 2)。

根据风电机组的具体结构,接触器柜体可安装于塔底低压柜顶部或底层平台,为后期维护提供便利(图 3)。

通过加装 K1 接触器来实现风电机组与网侧同步的方案具有以下优点：

1. 减少并网开关维护和检修的相关费用。利用接触器的通断实现风电机组并网，接触器的开合次数 6 倍于并网开关的开合次数，因此无需再更换并网开关，节省了并网开关每三年的维护、检修费用；

- 2. 减少相关设备如变频器、低压柜等的维修成本；
- 3. 减少故障次数和风电机组停机时间；
- 4. 增强并网开关的可靠性。

(二) 安装效果

在 2014 年 1 月至 2015 年 6 月期间，已经安装 K1 接触器的 5 台机组（2#、5#、9#、29#、33#）运行可靠性进一步提高，并网开关每年的动作次数大大减少，故障率为零，通过与其他未加装 K1 接触器的机组对比发现，故障时间也明显减少（表 1）。

通过并网开关的动作次数可以看出，加装 K1 接触器后，并网开关动作次数几乎可以忽略不计，可保证机组运行 20 年不更换并网开关。

二、将并网开关由 ME1607 升级为 ME1609

对比国内外其他品牌风电机组的设计发现，有相当数量的风力发电机组是通过与网侧同步的框架式断路器实现保护功能的。目前 ME1607 并网开关（即框架式断路器）国内组装厂已停产，并且 AEG 中国销售公司没有存货，每次购买备件需要从国外进货，周期较长。根据这一情况，通过开展并网开关产品的替代试验，实现 ME1609 型并网开关对 ME1607 型并网开关的替代。同时 ME1609 型并网开关设计寿命高达 20000 次，远高于 ME1607 型并网开关 10000 次的设计寿命。

(一) 替代方案

利用 AEG 公司升级产品 ME1609 型并网开关垂直替代 AEG ME1607 型并网开关，只增加并网开关底座转接板和二次插头引线即可。ME1609 型并网开关保护性能要优于 AEG ME1607 型并网开关，且 ME1609 型并网开关跳、合闸线圈损坏后可以单独更换，其他附件损坏也可以单独更换，节省了整体更换并网开关的高额费用。

2014 年 10 月该风电场完成了 2 台风电机组（37#、38#）并网开关的升级改造工作。并网开关改造主要工作为 ME1609 型并网开关底座重新制作、铜排重新制作、二次接线插头重新制作，这些改造工作在并网开关组装厂内完成后运至现场。

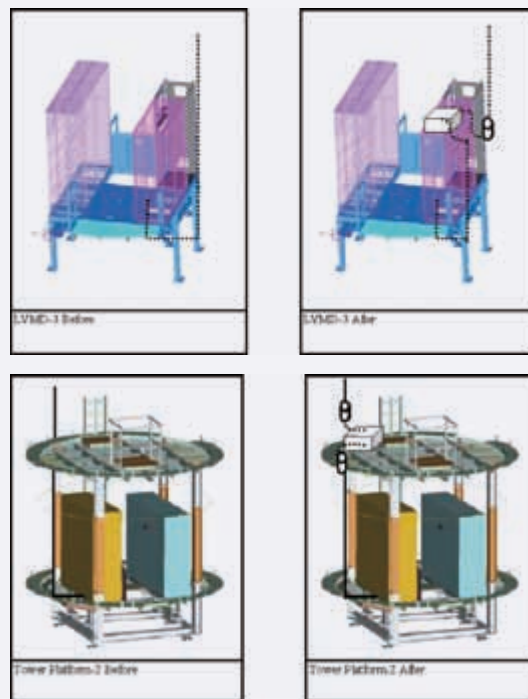


图3 部件安装位置示意图

表1 运行数据对照表

| 风电机组号 | 是否安装 K1 | 运行时间 (月) | 并网开关动作次数 | 并网开关相关故障次数 |
|-------|---------|----------|----------|------------|
| 2# | 是 | 18 | 12 | 0 |
| 5# | 是 | 18 | 9 | 0 |
| 9# | 是 | 18 | 18 | 0 |
| 29# | 是 | 18 | 10 | 0 |
| 33# | 是 | 18 | 5 | 0 |
| 3# | 否 | 18 | 356 | 1 |
| 10# | 否 | 18 | 307 | 2 |
| 30# | 否 | 18 | 449 | 2 |

1. ME1607 型并网开关升级为 ME1609 型并网开关后所对应图纸（图 5）。

2. 改造完成后现场图片（图 6）。

(二) 替代效果

风电场 37#、38# 机组进行并网开关的升级替代后，机组运行稳定，未发生与并网开关相关的故障，目前该风电场正在逐步进行替代改造工作。

三、并网开关加装储能电机保护回路

改造前，储能电机直接接到并网开关端子排上，供电



图4 K1加装完工实际效果图

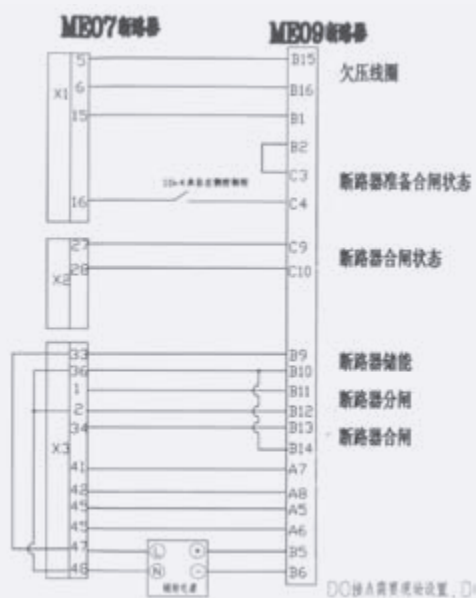


图5 并网开关替代对应图纸

方式由微开关来控制通断（图7），若连接环磨损，储能机构不能储能到位，则储能电机供电回路一直保持电源接通方式，直到储能电机烧毁。

（一）改造后的运行方式

如图8所示，在储能电机供电回路的末端加装串联的延时断开继电器和温差检测装置。连接环损坏后，若电源持续接通，则由通电延时继电器将回路断开。若延时继电器损坏不能断开回路，也会造成储能电机的持续运行，致使电机发热烧毁，此时，温差检测装置检测到电机与外部环境温差大于设定值后，立即断开供电回路，避免储能电机持续运行发热烧毁。

（二）并网开关加装保护回路取得的成果

风电场于2017年6月开始针对20台风电机组的并网开关储能电机加装保护回路，通过加装的保护回路及时将供电断开，避免了储能电机的持续运行发热烧毁，节约购买储

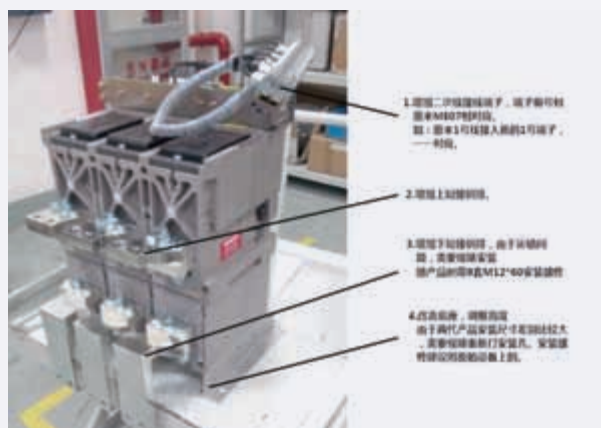


图6 升级改造后现场图片



图7 储能电机供电回路图纸

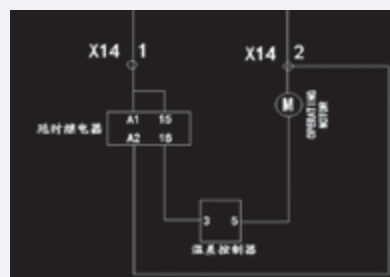


图8 加装控制回路后储能电机供电回路图纸

能电机费用约20万元。预计到今年年底，将全部完成并网开关储能电机保护回路加装工作。

结语

2013年以来，该风电场对风电机组ME1609型并网开关采取多项措施进行改造，改造后机组并网开关运行可靠性大大提高，采购费用明显降低，同时替代产品的实施有效解决了进口备件采购难、周期长的问题。▶

[作者单位：国华（河北）新能源有限公司]

上海敏泰液压股份有限公司自2006年进入风电市场，已经为风力发电机组提供了3万余套产品，积累了丰富的设计、生产和售后服务经验。秉承“一流产品源于一流的技术”的企业宗旨，打造了一支专业化、标准化、规范化快速响应的风场服务技术团队，为客户提供优质、系统化的运行维护服务。

为您提供风力发电流体系统解决方案



GRS系列风场齿轮箱换油装置



液压站



水冷却系统



齿轮箱润滑冷却系统



散热器



离线精过滤装置



可替换进口、
国产滤芯备件



压力开关
传感器



油液污染
颗粒检测仪

风电场售后服务

风电机组润滑、水冷却系统、液压系统检修、保养、维护
可提供风场配套系统附件、维护及替换等其他客户相关服务

24小时热线电话: **400-720-1580**

地址: 上海浦东新区空港川沙工业园川大路699号 邮编: 201299 电话: +(86)21-68393909

传真: +(86)21-68393955 网址: www.mintaigroup.com Email: sales@mintaigroup.com

※上海市高新技术企业 ※ISO9001质量体系认证 ※ISO14001环境体系认证 ※GB/T28001职业健康安全体系认证



风力发电增速齿轮箱 \ 偏航、变桨减速齿轮箱 \ 锁紧盘



服务电话: 023-47231560 销售电话: 023-47231563

地址: 重庆江津德感工业园区 邮编: 402263 传真: (023) 47231590 网址: www.cngpower.cn 电子邮箱: cngpower-fd@chongchi.com

罗特艾德 (Rothe Erde)

先进的回转支承制造商

徐州罗特艾德回转支承有限公司是由德国蒂森克虏伯集团旗下的罗特艾德公司与徐工集团合资组建的回转支承专业制造商。我们的产品在工程机械、风力发电、海洋平台、冶金、矿山、医疗CT机以及军工等领域有着广泛的应用。一流的产品设计、精湛的制造工艺和可靠的质保体系让我们的回转支承产品享誉中外。创立于1861年的德国蒂森克虏伯罗特艾德公司在全球11个国家建有17家回转支承工厂，个性化的解决方案更快捷地为客户提供优质服务。

徐州罗特艾德回转支承有限公司
地址：徐州经济开发区魏山路15号
邮编：221004
销售电话：0516-87661998
销售传真：0516-87767228
sales@xreb.com | www.xreb.com

engineering. tomorrow. together.



thyssenkrupp

了解更多关于回转支承的信息，请访问 <http://www.thyssenkrupp-rotheerde.com/GB/index.htm>