

风能

WIND ENERGY

传播专业知识 启迪成长智慧

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

03

2017年 总第85期 赛迪出版物



P12. 专栏

“电源与电网不协调”构成弃风加剧的原因吗？


P16. 现场

德昌风电场：一个精准扶贫的样本

P24

绿证,不只是一张“光荣证”

从今年7月1日开始,绿色电力证书(下称“绿证”)将试行自愿认购,但对未来绿证制度的实施效果业界内外仍有争论。在我国加速推动能源转型和电力体制改革等背景下,绿证制度的实施将带给我们什么?建立怎样的绿证制度才会更符合我国的实际情况?本期封面将尝试为您解答。



绿色电力证书



为什么要建立可再生能源 多边互认体系

文 | 秦海岩



近十年,我国风电产业走过了一条从无到有、由弱到强的波澜壮阔之路,成为全球的“领头羊”和“晴雨表”。特别是在各国掀起能源革命浪潮的语境下,中国通过大力发展风电,一方面,大幅降低了本国的温室气体排放量,为全球应对气候变化做出卓越贡献;另一方面,则加速了全球风能开发技术的演进,大大降低风电的度电成本,助推风电平价上网目标的早日落地。

依托技术进步以及管理经验积累,国内风电企业愈加自信,纷纷走出“国门”,活跃于国际舞台。统计显示,截至2016年底,我国风电机组累计出口容量超过250万千瓦,遍布六大洲,28个国家和地区。一批开发企业也在积极开拓国外市场,对外投资逐年提升。这些企业正在用“中国智慧”和“中国方案”让更多地区的风能资源实现经济性开发,促使更多国家走上清洁化发展道路。

但这个过程并非一路坦途,因国际贸易壁垒碰壁的案例时有发生。其中,技术壁垒是广泛存在的国际贸易隐性壁垒,认证则是一种重要的表现形式。目前,经过长期努力,各国在可再生能源领域的技术标准方面趋于统一,但检测认证制度并未完全接轨,各国认证机构颁发的产品质量认证证书往往无法做到“一证在手,全球通行”。这不仅导致企业需要反复认证,增加了成本,还为一些国家实施贸易保护提供便利,阻碍了优质产品的出口。

针对以上情况,我们一直在积极采取措施。除了与欧美国家的认证机构签订互认协议,我们也在不断提升自己证书的国际公信力,取得了一定效果。目前,鉴衡认证中心已经将认证证书推向近20个国家和地区。但这种双边的方式毕竟效率低下,结局也难以预测。

从已有经验来看,建立国际多边互认体系才是破除这一问题的治本之策。首先,它符合“全球治理”理念的内在要求。近几年,站在推动全球一体化发展的高度,国家主席习近平多次系统阐述了“全球治理”体系,呼吁推进开放,打破壁垒。其中,技术标准体系接轨和认证制度统一,是国际经贸领域的基础性、制度性建设,也是国家参与全球经济治理的重要组成部分。其次,有利于提升我国的国际话语权。通过建立多边互认体系,可以使我国从参与者向管理者和引导者转变,争取到全球治理制度建设权力。最后,能够推动产业发展。打破国际贸易技术壁垒,可以为企业参与国际竞争创造条件,提升市场活跃度,实现优质资源的全球自由流通和优化配置。

正是看到了上述价值,近些年,我们一直在积极推动可再生能源多边互认体系建设,其中最重要的成果当属建立国际电工委员会可再生能源认证体系(IECRE)。它旨在统一国际技术标准和认证模式,推动认证结果的多边互认。鉴衡认证中心全程参与了IECRE的建设,并于今年通过现场评审,正式成为目前欧洲之外首家获得IECRE认可的认证机构,并准许颁发IECRE证书。从某种意义上说,这是属于中国可再生能源行业的共同荣誉,意味着国际认证体系中将会融入更多中国元素和考量。

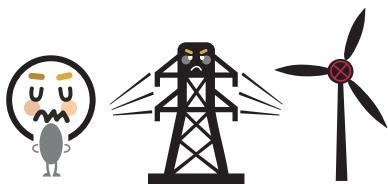
当下,“标准已成为世界‘通用语言’。”在建立国际可再生能源互认体系方面,我们迈出了坚实的一步。未来,还必须不断强化这些工作,通过完善相关体系,在打破贸易壁垒的同时,保障可再生能源产业在全世界茁壮成长,推动建设绿色低碳的全球能源治理格局,为增加全人类福祉作出更多贡献。🌍

24

封面故事 Cover Story

绿证,不只是一张“光荣证”

从今年7月1日开始,绿色电力证书制度(下称“绿证”)将试行自愿认购,但对未来如何实施绿证制度,业界内外仍有讨论。在我国加速推动能源转型、电力体制改革进程加快等背景下,绿证制度的实施将带给我们什么?建立怎样的绿证制度才会更符合我国的实际情况?本期封面将尝试为您解答。



12

专栏 Column

“电源与电网不协调” 构成弃风加剧的原因吗?

20

对话 Dialogue

市场和技术定义风电 服务新趋势

专访远景能源副总裁田庆军。

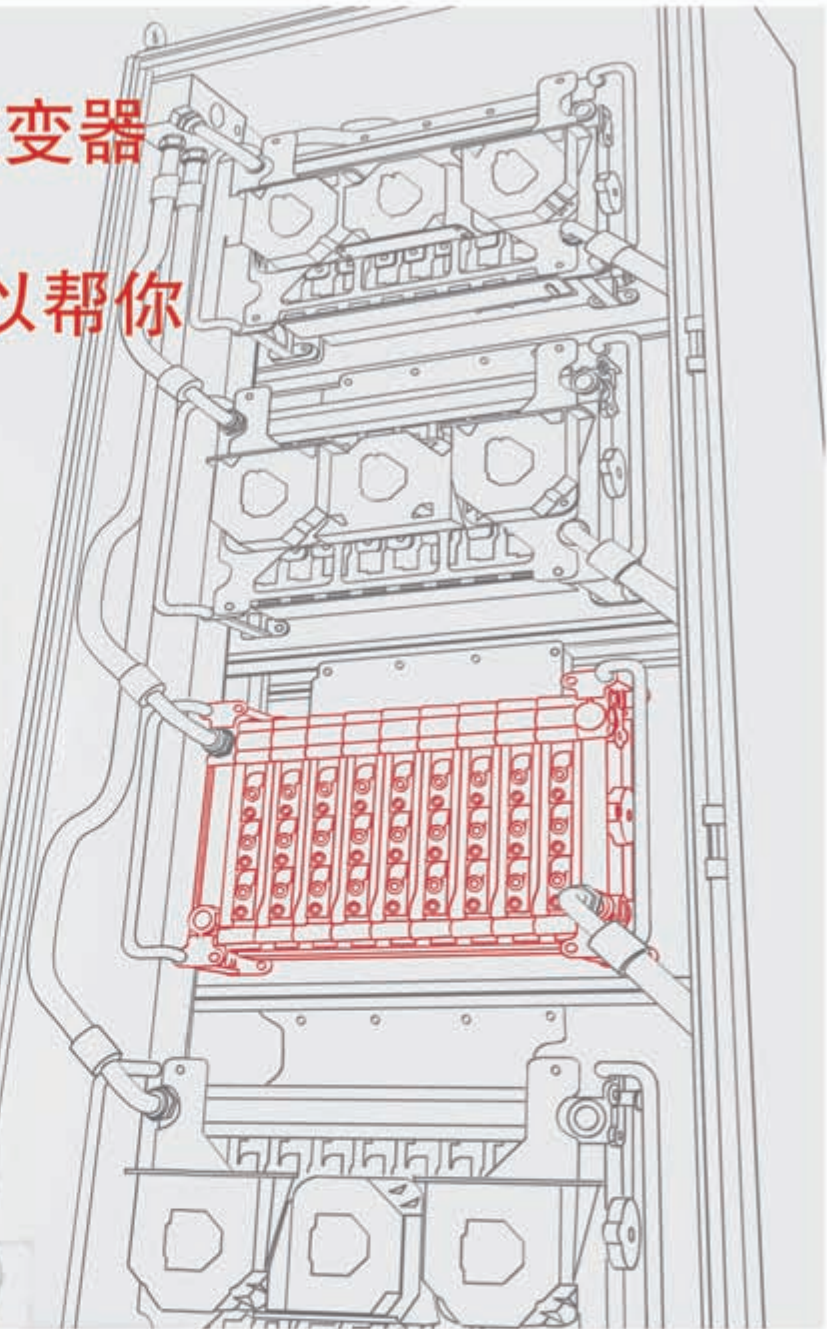


历史回眸

“八五”期间,我国风电场建设规模普遍较小,设备国产化程度低。“九五”新能源发展计划提出,到“九五”末期全国风电装机达到40万千瓦,这对我国大型风电机组国产化提出了迫切的要求。为了实现以市场换技术、立足于高起点发展我国风力发电机组制造业,原国家计委于1996年3月推出“乘风计划”,主要目标是:采取合资合作方式引进技术,到2000年使大型风电机组国产化率达到

60%;坚持“两条腿走路”的方针,组织“九五”风电科技攻关项目的研究,掌握大型机组的开发技术。此后,围绕上述目标,一系列科技攻关项目相继展开。比如,1996年11月,国家计委进行了“300千瓦、600千瓦级风力发电机组国内总装企业”询标,由中标单位进行相关技术研发。“乘风计划”的推出,为我国实现风电设备国产化奠定了基础。

你想将3.3MW的逆变器
放入单一机柜里
我们的SKiiP® X可以帮助你



SKiiP® X

1 MW-6MW的三相逆变器

逆变器体积减小了50% ,所需要的零部件少了50%

内置的水冷冷却系统

在 ΔT 70K的环境下, 负载循环达一百万次

采用SKIN®技术



风能

赛米控(香港)有限公司 电话: (852) 3426 3366

赛米控电子(珠海)有限公司 电话: (86) 755 3396707

北京分公司 电话: (86) 10 8225 5398

上海分公司 电话: (86) 21 5436 2988

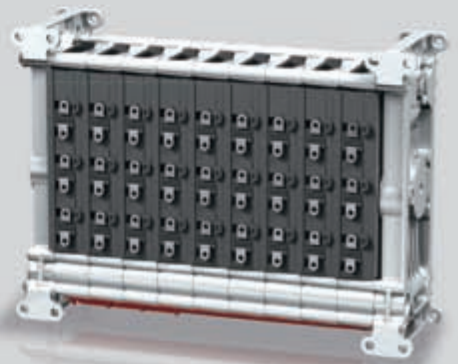
深圳分公司 电话: (86) 755 8256 2866

sales.zhuhai@sen-kron.com

shop.sen-kron.cn

www.sen-kron.com

微信号: SEMIKRON-power



SKiiP® X



《风能》杂志在线阅读网站
www.cwea.org.cn

卷首语/ From The Editor
01 为什么要建立可再生能源多边互认体系 / 秦海岩

08 风向/ Direction

专栏/ Column
12 “电源与电网不协调”构成弃风加剧的原因吗? / 张树伟

现场/ Presence
16 德昌风电场: 一个精准扶贫的样本 / 夏云峰

对话/ Dialogue
20 市场和技术定义风电服务新趋势

封面故事/ Cover Story
24 绿证, 不只是一张“光荣证” / 曹宏源, 夏云峰

公司/ Company
34 三一重能的改变 / 夏云峰

调研/ Survey
36 2016年中小型风电设备行业发展报告 / 姚修伟, 祁和生

海上风电/ Offshore Wind Power
40 德国迎来首批零补贴海上风电项目 / 夏云峰

国际/ International
42 2017年全球风电市场展望 / 杨丽娜

公开课/ Open Class
44 发挥团队作用, 为风电培养人才 / 高志鹰, 马剑龙, 张立茹, 东雪青

产业/ Industry
48 影响风电机组发电量的因素 / 许刚, 任宝

50 青海海西地区多能互补运行方式初步分析 / 胡小丽, 刘军涛

风电场/ Wind Farm

54 浅谈SCADA数据分析在风电场运维中的应用 / 张庆运, 史丽荣

技术/ Technology

60 海上风电场离岸升压站关键技术研究 / 高宏斌, 刘碧燕, 罗雯雯

66 浮式海上风电: 离岸更远, 捕获更大的能量 / Sebastian Bringsværd

70 既有风电场区域粗糙度值设置方法研究 / 彭秀芳, 项雯, 王磊

广告索引

| | |
|--------|---------|
| 封二 | 麦加涂料 |
| 扉页 1 | 中国中车 |
| 扉页 2 | 三一重能 |
| 扉页 3 | 三一重能 |
| 卷首语对页 | 远景能源 |
| 目录对页 1 | 赛米控 |
| 目录对页 2 | 威力传动 |
| 版权对页 | 南高齿 |
| P15 | 奥特科技 |
| P23 | 华豹涂料 |
| P39 | 恩斯克 |
| P59 | 鉴衡认证 |
| P65 | 鉴衡认证 |
| P69 | 《风能》杂志 |
| P75 | CWP2017 |
| 后彩一 | 金风科技 |
| 封三 | 重齿风电 |
| 封底 | 罗特艾德 |



您的风机需要更可靠地偏航和变桨

自2006年起，我们已经为几千台风机配套了偏航驱动和变桨减速器，至今无一台减速器被换下风机。



2.5MW 风机偏航驱动和变桨减速器
——用于瑞典布莱肯项目

我们深切理解风机不能正常偏航和变桨会带来灾难性的后果。我们的产品帮您降低投资风险

- 三十年行星减速器设计和制造经验，拥有多项专有技术。
- 1986 年率先设计并制造了中国的行星减速器。
- 参与行星减速器国家标准的起草及审定。
- 产品可靠性达到国际先进水平，出口欧洲。

高效、完善的售前和售后服务为您解除后顾之忧

- 售后服务人员平均拥有十年以上行星减速器装配及现场服务经验，为您提供业内极专业的解决方案。
- 24 小时内快速响应，48 小时内抵达现场。
- 质保期后高效的维护保养和零部件维修更换服务。



微信号: YCWLJSQ

通过 ISO9001 和 ISO14001 认证

银川威力传动技术股份有限公司 网址: www.ycwljsq.com
地址: 宁夏银川市金凤工业园新开渠街 128 号 邮编: 750011
电话: +86 951-3882168 传真: +86 951-3882168



威力传动
WEILI TRANSMISSION



中国可再生能源学会风能专业委员会
2017年第03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：赵福艳 杨丽娜 金杭川 王菲 | 本期责编：夏云峰 | Editor: Zhao Fuyan Yang Lina Jin Hangchuan Wang Fei | | | | | |
| | 视觉设计：荆莹 刘湛 | Duty Editor: Xia Yunfeng | | | | | |
| | 广告部经理：徐晓英 | Visual design: Jing Ying Liu Zhan | | | | | |
| | 发行部经理：金杭川 | Advertising Manager: Xu Xiaoying | | | | | |
| | | Distribution Manager: Jin Hangchuan | | | | | |

| | |
|---------------------------|--|
| 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） |
| 010-59796665-3933（发行部） | 010-59796665-3933（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：北京中科印刷有限公司
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。

NGC StanGear™

风电齿轮箱系列化产品平台

- 降低新产品开发成本
- 缩短新产品上市时间
- 提高产品可靠性
- 提高供应链规模效应
- 降低维修复杂性与备件及工装成本



2017年4月25日-27日
欢迎莅临南高齿展位：
展馆1-B205&205A

风电业务

地址: 中国南京市江宁区莱茵达路299号

电话: +86 25 52172849

邮箱: WEsales@NGCtransmission.com





国家两部委：优先、重点保障风电等新能源发电

3月29日，国家发展改革委、国家能源局印发《关于有序放开发电计划的通知》(发改运行〔2017〕294号)。《通知》指出，国家规划内的既有大型水电、风电、太阳能等清洁能源发电，以及网对网送受清洁能源的地方政府协议，通过优先发电计划予以重点保障。各地按照中发〔2015〕9号文及配套文件精神制定优先发电计划，以落实国家能源战略，

确保清洁能源、调峰机组等保障性电源发电需要；各省(区、市)消纳规划内的风电、太阳能发电等机组在保障性收购小时以内的电量，由省级政府相关部门按照《通知》的要求，依据国家制定的相关办法，确定为优先发电计划，由电网企业保障执

行。另外，《通知》提出风电、太阳能发电等可再生能源是否符合规划、符合国家规定程序，由地方能源主管部门会同国家能源局派出机构进行核查。同时，国家发展改革委、国家能源局会同有关部门不断完善优先发电、优先购电管理办法。

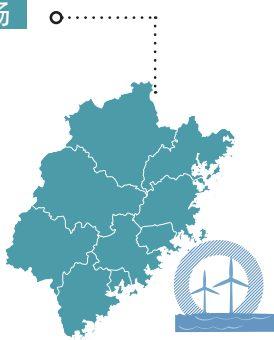


山东：2020年风电总装机1400万千瓦

3月22日，山东省人民政府印发《“十三五”战略性新兴产业发展规划》，提出要发展绿色低碳产业，顺应新能源技术应用系统化、模块化、分布式方向，优化风能等可再生能源布局，加快节能环保制造业与服务业联动发展，促进形成绿色产业结构、绿色增长方式和绿色消费模式，助力“生态山东”和“绿色山东”建设。《规划》指出，到2020年，建设30个循环经济示范基地、300个示范企业，培育发展一批新能源和节能环保企业。《规划》特别提到要重点发展陆上3兆瓦以上、海上10兆瓦以上大型风电机组，加快研发先进高效、应用广泛的低风速风电机组，提升大尺度叶片、齿轮箱、控制系统、变桨系统等关键部件的自主化水平。发展风电机组在线监测与故障诊断、风电场功率预测、远程监控、区域集控系统，提升风能监测应用水平，目标是到2020年，风力发电装机容量达到1400万千瓦，占山东省总装机容量的比重达到8.6%；光伏发电装机容量达到1000万千瓦，占全省总装机容量的比重达到6.1%。

福建：将新建17个海上风电场

近日，国家能源局发布《关于福建省海上风电规划的复函》(国能新能〔2017〕61号)，同意福建省海上风电规划总规模1330万千瓦，涉及福州、漳州、莆田、宁德和平潭所辖海域的17个风电场。到2020年底，福建省海上风电装机规模要达到200万千瓦以上，2030年底要达到300万千瓦以上。《复函》指出，鼓励选择实力较强的企业连片规模化开发海上风电项目，发



挥规模效益，有效带动海上风电相关产业发展和降低发电成本；国家能源局将抓紧组织开展福建省海上风电消纳研究；规划实施中，要落实电力消纳市场，尽量避免弃风，提高

海域资源使用效率，避免海上风电开发活动与海洋倾侧相互影响，维护好海洋生态环境；项目开工前要开展海洋生物和海洋渔业资源调查等。《复函》要求福建省发展改革委加强规划实施过程中的监督管理，实施中后期要适时组织开展海上风电项目对海洋环境的积累性研究和评估，为规模化开发海上风电积累经验，促进海上风电产业持续健康发展。



晋北三市：2018年底风电装机将达200万千瓦

3月17日，山西省发展改革委发布《山西省晋北三市2018年底建成投运风电项目开发建设方案的通知》。《通知》提出，晋北三市（大同、朔州、忻州）2018年底建成投运风电项目开发建设装机容量200

万千瓦，共46个风电项目。《通知》要求，列入山西省晋北三市2018年底建成投运风电项目开发建设方案的所有项目须在2017年11月30日前提交项目核准前置手续，年底核准。其中，涉及与晋发改新能源发



〔2017〕48号文相同的项目，由国土、住房城乡建设、环保等有关部门按照相关政策规定，统一办理项目前期相关手续。同时，《通知》还要求国家能源局山西能源监管办公室按照国家能源局的要求，加强项目后续监管工作，重点对项目核准过程中违法违规倒卖批文、设备招投标、质量监督、项目接入电网以及建成后的并网运行等工作开展监管，以确保项目建设合法合规进行，以及项目建成后能够及时接入电网和所发电量的全额优先上网。

甘肃：首个大型风电供暖项目并网投用

日前，甘肃省第一个大型风电供暖试点项目在酒泉瓜州县并网投用。据悉，该项目由太平洋集团投资4亿元规划建设，采用具有世界尖端技术的瑞典高压电极锅炉设备，利用先进的蓄能技术结合国内低谷电力，通过已安装的3台40兆瓦高压电极锅炉及2台1万吨蓄热罐，进行加热蓄热，可实现供暖面积300万平方米，年可消纳新能源电量5亿千瓦时，节约标准煤4.3万吨，减少二氧化碳排放量11.4万吨，减少二氧化硫排放量370吨，减少烟尘排放量652吨，减少氮氧化物排放量322吨。目前，瓜州县风电供暖试点项目已完成投资1亿元，建成运行1台12兆瓦锅炉，实现供暖100万平方米，每平方米供暖电价0.15元，可就地消纳电量1.5亿千瓦时。项目的建成投运，有效缓解了全县新能源就地消纳的问题，从根本上转变了以煤炭为主的供热方式。据悉，未来瓜州将继续坚持创新发展的理念，做好供暖各项数据监测，全面扩大清洁能源供暖范围，这将有效破解弃风限电问题，推动新能源产业健康快速发展。

青海：依托互联网推进能源生产与消费模式创新

近日，青海省人民政府发布《关于积极推进“互联网+”行动的实施意见》（青政〔2017〕12号）。《意见》提出要依托互联网推进能源生产与消费模式创新，提高能源利用效率，推动节能减排；推进综合能源网络基础设施建设，提高电力系统的安全性、稳定性和可靠性；促进能源接入转化与协同调控设施建设，鼓励依托智能电网发展家庭能效管理等新型业务；稳步推进售电侧改

革，多途径培育市场主体。《意见》指出要推动可再生能源生产智能化。鼓励建设智能风电、智能光伏等设施以及基于互联网的智慧运行云平台。另外，《意见》提出还要在全省开展建设基于互联网的绿色能源灵活交易平台，鼓励风电、光伏、水电等绿色能源与电力用户之间开展直接交易；发展基于互联网平台的绿色证书交易与结算模式，实现绿色证书的



证券化、金融化交易，培育第三方运维、点对点能源服务等绿色能源生产、消费和交易新业态；落实对可再生能源并网发电项目的优先发电制度和发电量的全额保障性收购。



壳牌发布工业润滑油全新品牌战略

3月31日，壳牌工业润滑油品牌战略发布暨工业TCO创新技术峰会在上海召开，与会嘉宾就壳牌工业润滑油发布的六大行业“TCO（总拥有成本）白皮书”展开研讨，旨在共同寻找企业降本增效的有效路径。在长期的实践探索中，壳牌意识到工业用户对降本增效的渴求：希望最大化地利用现有资源、设备，获得更高的价值和回报；希望减少能源消耗，降低设备运行成本，提升运行效率等。针对客户的需求，未来5至10年，壳牌除了在清洁能源领域更深入地进行开拓外，还将更加关注润滑油的效率性和经济性，进一步提升产品的抗氧化性、耐磨性和稳定性，帮助工业设备延长寿命，提高效能。

“绿色电力消费合作组织”在京成立

3月25日，“可再生能源配额制和绿色电力证书交易制度研讨会暨绿色电力消费合作组织筹备会”在京举行。本次研讨会在能源基金会的支持下，中国可再生能源学会风能专业委员会、中国资源综合利用协会可再生能源专业委员会、鉴衡认证中心、IBM、Apple、中国电信集团公司、国际金融公司(IFC)以及国内外大型电力集团和制造企业等众多单位发起成立了“绿色电力消费合作组织”，旨在宣传倡导绿色电力消费，推动企业和组织在产品制造、运营管理、市场活动中更多利用绿色电力，建立绿色电力消费标准体系并开展评价，进而引导全社会绿色消费，推动经济社会转型升级。



运达风电成为浙江省首批服务型制造示范企业

近日，浙江省经济和信息化委员会发布《关于公布浙江省服务型制造示范企业（平台）（第一批）名单的通知》（浙经信服务〔2017〕64号），浙江运达风电股份有限公司（简称“运达风电”）被认定为第一批浙江省服务型制造示范企业。浙江运达从全省数百家企业中脱颖而出，成为29家获评浙江省

首批服务型制造示范企业中的一员，此次是运达风电从生产型制造向服务型制造成功转型的重要成果。这次转型推动了制造业与服务业相融合，提升了企

业核心竞争力，为实现运达风电“一主两翼”的发展目标，成为技术领先的风电整体解决方案供应商，向“十三五”发展战略目标迈出了重要一步。

数据

15088 万千瓦

近日，国家统计局发布的数据显示，1月至2月，全国全社会用电量累计9356亿千瓦时，同比增长6.3%。全国6000千瓦及以上发电设备容量160341万千瓦，其中风力发电设备容量15088万千瓦，同比增长13.2%。

260 个

日前，中国电力企业联合会公布2016年全国电力工程建设规模，其中风电工程投产260个项目，装机容量1971万千瓦；风电工程新开工项目192个，装机容量1251万千瓦；风电工程在建项目399个，装机容量2756万千瓦。

70%

据悉，湖北风电并网总装机容量中以大规模风电场为主，其中装机容量近10万千瓦及以上的风电场9家，合计约111万千瓦，占比52%。2016年，湖北电网风能发电量达35.2亿千瓦时，同比增长70%。



国际热点

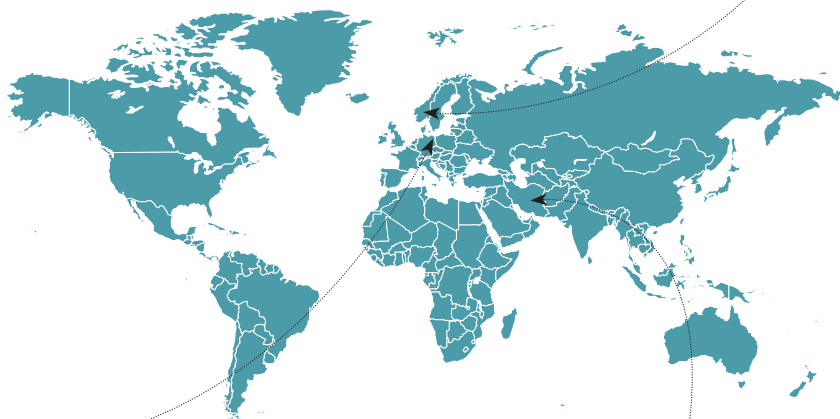


欧盟

欧洲风能技术创新平台 (ETIP Wind) 发布了《风能研究与创新战略议程》报告, 提出风能技术创新五大优先主题领域: 改善电力系统、基础设施和并网集成方案, 改善风电系统运营和维护, 推进风电产业化, 促进海上风电发展, 研发新一代风电技术, 旨在进一步降低风电的平准化成本, 促进风电的并网集成, 维持欧盟风电技术的全球领导地位。

丹麦

近日, 欧盟批准了丹麦史上最大的海上风电项目, 装机容量为 60 万千瓦, 可为 60 万个丹麦家庭提供可再生能源电力。另外, 欧盟将为该项目提供 11 亿克朗 (约合人民币 8.415 亿元) 建设资金, 项目预计于 2021 年投产使用。



德国

据德国“明镜在线”网站报道, 德国联邦经济和能源部拟于 2018 年至 2020 年进行试点, 对风电和光伏发电补贴实行联合招标, 这种形式资助的装机容量为 40 万千瓦, 要求补贴报价较少的企业才能拿到政府补贴, 而针对风电和光伏分别进行的补贴招标将继续保留。

伊朗

芬兰拉彭兰塔理工大学研究报告显示, 伊朗在 2030 年前将需要投资 1870 亿美元 (约合人民币 12875 亿元) 开发大约 4900 万千瓦的太阳能发电、7700 万千瓦的风力发电以及 2100 万千瓦的水力发电, 旨在建立一个 100% 可再生能源发电系统。

536 亿美元

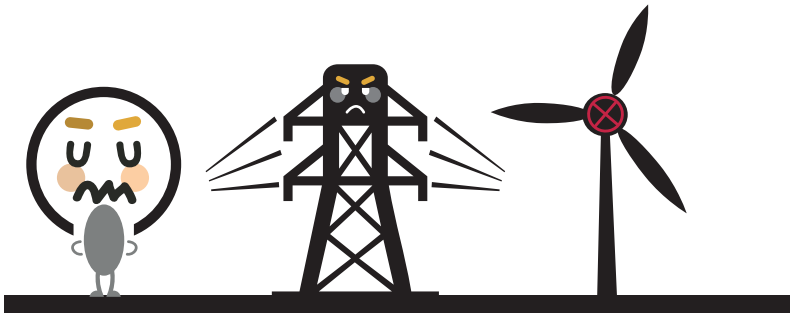
日前, 彭博新能源财经 (BNEF) 公布最新数据, 2017 年第一季度全球可再生能源投资总额 536 亿美元 (约合人民币 3689 亿元), 比 2016 年第一季度下降 17%, 相比 2016 年第四季度也下降了 7%。

52000 台

近日, 美国风能协会发布的数据显示, 2016 年美国风电发电量为 2260 亿千瓦时, 比 2015 年增长 18%, 占全美发电量的 5.5%。目前美国共有 52000 台风电机组, 其中爱荷华州风电比例高达 36.6%、南达科他州 30.3%、堪萨斯州 29.6%。

136%

3 月, 苏格兰风电发电量突破 120 万千瓦时, 目前当地平均发电量已经足以供应全苏格兰地区 330 万户人家约 136% 的用电量。苏格兰政府表示, 他们拥有全欧洲四分之一的离岸风力发电站, 而风力发电也将成为未来绿能产业。



“电源与电网不协调” 构成弃风加剧的原因吗？

文 | 本刊特约评论员 张树伟

问题

严重的弃风限电困扰了整个风电行业，而将“电源与电网不协调”作为弃风原因的说法仍具有很大的市场。似乎只要存在足够大的电网容量，或者基于事后的大规模风电并网暴露的问题，“早知如此，需要限制发展规模”就可以了——所谓的“水多了加面，面多了加水”。不清楚最初到底哪个是目标，哪个是必须不断提升的基础设施条件，现有的并网潜力是否已经耗竭，而“协调”到底意味着什么，谁有这种能力以及意愿去做这种“协调”？这其中存在着短期与长期问题的逻辑跳跃，目标与约束的混杂。在第1期“专栏”文章探讨了“需求不旺”一说的基础上，本文讨论“电源和电网不协调”之于弃风问题的理解。

波动性可再生能源进入电力系统，具有三个明显的系统效应：较低的保证容量；减少的总体系统利用率；过发电（可再生容量出力超过总负荷），程度随着份额、系统特性的不同而不同。

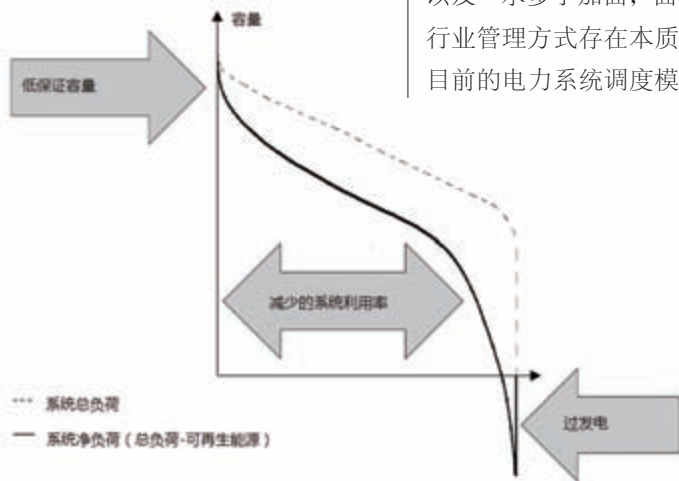


图1 风电出力特性与系统影响（示意图）

事实

- 波动性可再生能源（主要是风电与光伏）进入电力系统，具有三个明显的系统效应（必须指出，这不涉及好还是不好的价值判断），程度随着份额、系统特性的不同而不同。这包括：较低的保证容量；减少的总体系统利用率；过发电（可再生容量出力超过总负荷）（见图1）。基于系统成本最小化的目标，随着可再生能源电力的日益增多，未来的系统无疑应该是一个更少基荷、更频繁爬坡、更多备用的系统。这对未来的发电与电网投资具有很强的含义。除了可再生能源之外的其他电源形式，将只会拥有越来越低的利用水平，以及在更短周期与更少机会内回收固定投资的机会，电力系统需要日益成为一个轻资产的系统。传统煤电机组与输电设施，“大”本身都不再是优点，而是影响系统灵活性的巨大缺点。

- （净）基荷将越来越少，直至波动性电源到达一定份额之后彻底消失。这跟中国传统的基荷思维（运行无频繁变化、关注电量而不是容量），以及“水多了加面，面多了加水”的行业管理方式存在本质上的冲突。在目前的电力系统调度模式下，机组的

完全可控，而不是承诺输出与实际输出的差别是一个刚性的要求。即使需求永远不是一条直线，但似乎目前政府认为只有出力是一条直线才意味着没有辅助服务。在某个时刻，需求负荷只有 10，风电有 8，火电有 10，那么如果风电优先承担 8，火电就只有承担 2 的可能性与空间。无法调到 20%，或调到 20% 损失的电量与增加的支出，只应该是火电的“烦恼”，而不是风电的问题。

- 我国各省份弃风率的水平与当地火电发电小时数的关系是一个很有意思的问题。按照理论上的揭示，风电越多的地方，火电机组的利用水平应该更低，具有更少的利用小时数（与历史以及其他地区相比）以体现系统运行成本最小化（全社会福利最大化）的要求。但是，至少从 2015 年我国各省份的火电利用小时数分布来看，这并不是事实，二者之间的关系是非常混杂的。

- 几个弃风重灾区（弃风率高于 30%），甘肃的火电利用小时数为 3800 小时，辽宁为 4300 小时，新疆为 4700 小时，内蒙古接近 5000 小时。在可再生能源负荷在最大负荷中的占比超过 50%，甚至 100% 的背景下，传统火电还能有如此高的利用率，在最小化成本调度的体系中，这是无法想象的。这意味着，还远远不到讨论电源与电网是否协调（更确切地说，是否短期存在严重的网络阻塞，长期需要扩容）的地步。系统仍然存在相当程度未耗尽的可再生能源发电增长空间，需要的仅仅是系统调度方式的改变。

- 在具体项目接入层面，电源与电网不协调是可能存在的。项目没

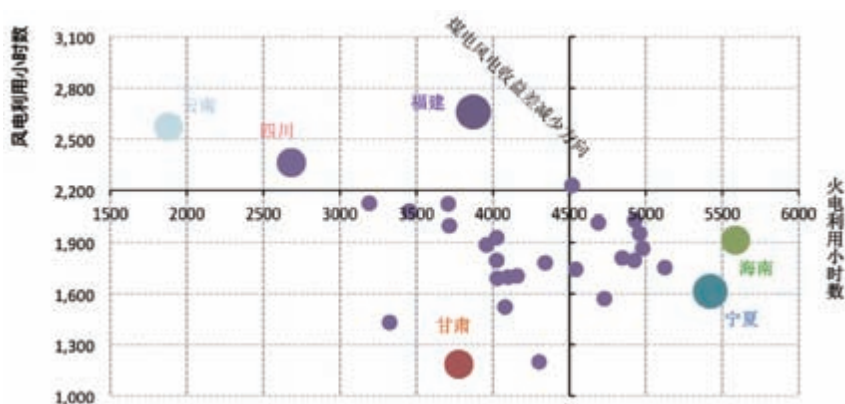


图2 分省区风电与火电利用小时数（2015年）

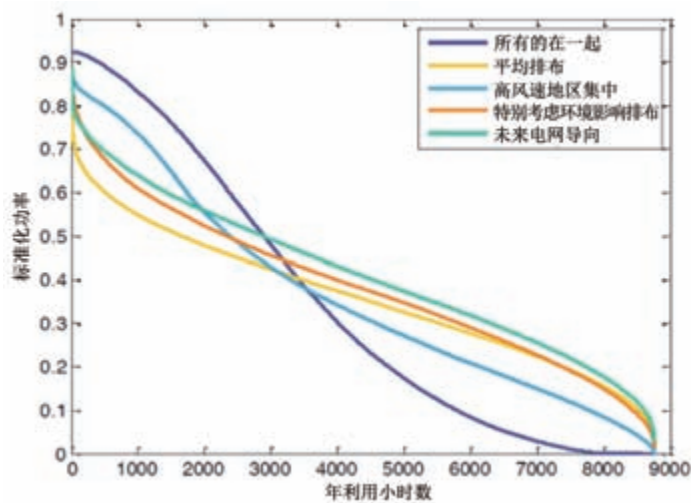


图3 项目分散接入的“输出”平滑效应

来源：南非科技与工业研究院（CSIR）于2016年发布的《南非风能和太阳能资源聚集性研究》

有足够分散的接入系统，造成部分变电站与线路超容，造成配电网络阻塞，是部分地区风电项目建设与布局的问题，特别是在 4.95 万千瓦项目广泛存在的时期。过于集中也会对系统运行提出更高的要求，阻碍机组不同出力特性“平滑”效应的发挥（图 3 给出了不同接入方式的集合出力特性）。

- 审批权下放措施极大地释放了中国可再生能源发展的潜力，属于基于错误的理由，做了正确的事情，否则我们无法想象 2015 年中国只有

现在，还远远不到讨论电源与电网是否协调的地步。系统仍然存在相当程度未耗尽的可再生能源发电增长空间，需要的仅仅是系统调度方式的改变。



500万千瓦—1000万千瓦的风电装机到底对整个产业意味着什么。但是需要配套政策的跟上，比如提供更详细的电网线路、变电站容量、传输线容量等公共信息，类似澳大利亚 AREMI (Australian Renewable Energy Mapping Infrastructure) 项目 (<https://nationalmap.gov.au/renewables/>) 集成的信息。

- 目前，中国的大部分风电项目都是业主新建变电站接入高电压等级的地区电网，或者提前与电网一同确认变电站与线路的容量问题。接入端的配网阻塞问题造成的部分时段弃风可能存在，但这绝不是全国普遍的情况。这个问题在很大程度上已经解决，也无法解释如此高的弃风程度。

逻辑

- 协调与否需要明确的定义与参考系。“协调”这个词缺乏明确的参考系，含义是不明确的。1000万千瓦的风电，与何种特点、容量的电力系统是协调的？从系统调度平衡备用容量的角度，1000万千瓦肯定没有必要，因为可能90%的情况下，风电出力都是大幅低于这一水平的，在500万千瓦以下（取决于风资源特性以及风电机组的布局），并且风电存在一定程度的保证容量。因此，目前还缺乏明确的参考系，去事先判断是否协调。

- 电源与电网不协调的话，需要后果 (consequence)，这是最为关键的，否则无法形成对未来避免这一问题的机制与政策。给定问题的存在，问题需要也必将产生一系列的后果，以暴露问题或者减少问题的损失，对未来的社会群体选择提供清晰的信号。大幅下降的电价水平就是过装机、网络阻塞地区的后果之一，发出了“装机过剩”的信号。而这种信号，在我国是缺乏的。

- 是否需要从网络阻塞的角度解决

不协调要在系统与经济意义上存在，在短期，需要明确的后果。而在长期，解决这一“不协调”的电网容量问题需要明确的成本效益，或者成本有效性为价值标准的分析比较，以导出最优的解决方案。

问题需要价值标准。这个问题如果存在，若解决它的成本大于了相应的收益，那就不如不解决。造一个足够大的电力系统“池子”，扩容电网传输能力，的确可以消纳任意量级的风电，但是这已经脱离了现实的资金、时间，甚至土地等约束，是充分而非必要的安排。如果有成本更低的解决方案（比如本地火电深度调峰，大幅跌落的价格导致扩大的本地电力需求等，这是系统成本最小化调度的必然结果），那么也不能排除经济性的比较。作为“解决方案”，需要以最小成本的方式解决问题，这是基本的价值观。

- 现有的基础设施体系风电接纳潜力是否已经耗竭，这是需要首先回答的问题。而这一问题，由于调度数据的不公开透明，是一项远远没有达成一致的问题。

含义

“电源与电网不协调”的归因说法着实是一个中国特色与中国特有的概念。它是极其模糊、不完整，并且缺乏确切含义的。

就短期而言（比如系统运行），似乎与“网络阻塞”意义相关或者相同。网络阻塞是有可能存在的，特别是在一些可再生能源布局集中、项目接入不够分散的地区。但在现实的讨论中，这往往又是一个长期的概念（更多地涉及电源电网容量充足性与新增建设问题，而不是运行问题）。

不协调要在系统与经济意义上存在，在短期，需要明确的后果（比如阻塞地区供给严重过剩、电价大幅跌落）。而在长期，解决这一“不协调”的电网容量问题需要明确的成本效益，或者成本有效性为价值标准的分析比较，以导出最优的解决方案。笼统的“加强协调”说法，更像是“马后炮”式地对存在问题的另外一种描述，无法提供具体行动方案。✎（作者单位：卓尔德环境研究（北京）中心（DERC））



奥特润滑 给您的风机更全面的润滑呵护

- 独创自动吸排式废油回收技术，主动彻底清理轴承内废旧油脂，确保轴承以新油脂润滑
- 独创高泵送型气压油箱技术，确保旋转工况、高寒低气压等恶劣环境下的正常润滑作业

郑州奥特科技有限公司
北京奥特勒新能源科技有限公司

- 全国免费客服热线
4006-836-862
8008-836-862
- 网址: www.autol.net
- 邮箱: sales@autol.net





德昌风电场： 一个精准扶贫的样本

文 | 夏云峰

德昌，地处四川省南部，隶属凉山彝族自治州。境内，螺髻山和牦牛山东西对峙，老幼山居中南。安宁河北入南出贯穿全境，沿途有茨达河、老碾河等注入。特殊的地理环境为发展农业和畜牧业提供了得天独厚的自然条件。然而，多山地导致交通闭塞，加上属于少数民族聚居区，“扶贫”就成为当地政府长期以来的一项重要工作。如何找准扶贫的发力点，是摆在管理者案头的重大命题之一。2010年，随着四川首个风电项目——德昌风电场在安宁河谷开工建设以来，风电为当地在新形势下实现精准扶贫提供了一条清晰、可行的思路。

日前，本刊组织的“最美风电场”采访组便实地调研了德昌风电场，探寻项目背后的那些人和故事。

第一个吃螃蟹的人

“神女擎峨眉，映水挽螺髻”，神秘的螺髻山脚下，安宁河绵延 300 多公里，被誉为凉山州的“母亲河”。沿河谷内的 108 国道行驶，一台台迎风而立的巨大风电机组迅速进入视野，提示我们已经进入德昌风电场的场址区。

公开资料显示，该项目的业主方为中国电建中国水电顾问集团德昌风电开发有限公司（简称“德昌风电公司”），共建设了 5 期，总装机 20.2 万千瓦。

在中国电建中国水电顾问集团川藏公司总经理邓良胜看来，能达到今日的装机规模，实属不易。“这是四川省风电开发的第一个示范工程。示范就有风险，其中的艰辛，只有身处其中的人才能体会。但凭借中国电建人身上那股‘敢为天下先’的精神以及严谨务实的作风，我们还是变不可能为可能。就凭这一点，我们就该为自己点个赞。”

事实上，早在中国水电顾问集团踏足安宁河谷之前的 2004 年，就有一家民营新能源企业在此地立过 1 座 70 米

高的测风塔，但测风结果并不理想，最后只能铩羽而归。

中国水电顾问集团的测风结果也验证了当地风资源条件不佳。德昌风电公司总经理董文军向本刊记者介绍，“最初，为了使测风数据更具代表性，我们将整个河谷分为北、中、南三个断面，每一个断面立了 3 座测风塔。开发后几期时，又增设了 3 座。这些测风塔都保留了一至三年的完整风资源数据。”

实测显示，年平均风速仅有 6.5 米/秒。在现在看来，这已经属于不错的风速条件，但要知道，业界当时普遍认为 7 米/秒以下的风能基本上没有开发价值。就连当时的四川省委、省政府也持谨慎态度，专门批示要“以试点示范起步，逐步有序发展”。并且当地的海拔高程为 1450 米，空气密度只有 1.022kg/m^3 ，是标准空气密度的 0.8 倍。

先天条件较差，成为第一道必须迈过去的坎。彼时正处于飞速发展中的风电技术，让董文军看到了希望，“我们对此进行了大量研究，在向四川省委、省政府以及凉山州委、州政府汇报时，提出到 2008 年—2009 年时采用长叶片低速机组等风电技术将可以较好地解决风资源不好的问题。”

明确了技术可行性后，为了利用好有限的风资源，德昌风电公司在微观选址上下足了功夫。据悉，除了运用软件模拟，并联合设计院、整机厂家等多次进行实地查勘外，技术人员还因地制宜地“创新”了原有的布机理论。

“我们没有完全按照传统的观点布机，而是在充分考虑峡谷内风速、风向以及尾流效应等因素的情况下，最大限度缩小机组的间距，从而使同样面积内的装机容量增加了近一倍，对风能的利用效率也提高了一倍。”相关技术负责人解释，“机组离得近，也相应降低了道路和集电线路的建设成本。”

进入施工环节，新的难题又出现了。由于沿途多山，

河流密布，大部件，尤其是叶片的运输难度十分大。

董文军还清晰记得，当时请的一家运输公司的车队从成都出发，过了雅安，在名为泥巴山的地方走过两个回头弯后就决定打道回府。并向他们提交了一个报告称，叶片长度超过 27 米，根本无法运到现场。

最后，在公路、铁路以及航空运输均难以奏效的情况下，只能舍近求远，从云南绕道运输。“我当时和项目经理专门提前查勘了道路，改造不符合运输要求的地方，这才解决了问题。”

场内运输也并非一帆风顺。虽然有 108 国道，但安宁河谷寸土寸金，各类建筑物密集，加上 6 月到 9 月的连绵雨季导致路面松软，都给运输带来了巨大困难。在当时还缺少专业机械设备的情况下，只能群策群力，依靠利用吊车将叶片吊起倾斜一点的“土法子”来加以解决。

克服重重困难，德昌风电场终于从 2011 年 5 月迎来收获期。投产后的第一年，年利用小时数即达到 2408 小时，超出设计值的 20%。即使是在风速普遍偏低的 2016 年，通过精细化管理和维护，也顺利完成了全年的发电计划。

当记者问及该项目开发的意义时，邓良胜表示：“一方面，通过它的示范，才让四川的风电开发如火如荼，为将凉山建成千万千瓦级风电基地奠定了基础。另一方面，它是国内首个高山峡谷风电场，为今后四川开发‘两江一河（岷江、雅砻江、大渡河）’积累了经验。”

像蒲公英随风而动

“蜀道难，难于上青天”，这更像是对早期四川风电开发的白描，运输成为横亘在整机和开发企业面前必须翻越的一座“大山”，德昌风电场的建设过程就是例子。若能将制造环节搬到风电场周边，无疑可以降低运输难度，减少成本。

这一思路正好契合了东方风电努力帮助业主降低项目整体成本的诉求。“我们一直在思考，如何配合业主，将设备制造、项目施工、运维等各个环节联动起，从而实现全生命周期成本的下降。”东方风电党群工作部部长郑伟国坦言，“我们确立的策略是‘随风而动，柔性制造’，哪里有需要，就把制造点设在哪里。”

德昌风电场的成功，让该公司看到了凉山地区蕴藏的巨大风电开发潜力，更加坚定了其落实上述策略的决心。

2014 年 11 月，东方电气正式与德昌县政府签订协议，在该县建设凉山风电装备制造示范基地。

基地的建设得到当地政府的大力支持，企业的建设投产创造了“凉山速度”。“2015 年 7 月，叶片生产车间开始动工。11 月，第一支叶片正式下线。整机制造车间则于 2016 年 4 月开始投用，当月就有首批两台机组下线。基本上都是当年建设，当年投产，当年创造效益。”东方电气风电（凉山）有限公司副总经理张军说道。

据悉，基地目前占地 17 万平方米，年产能达到 100 万千瓦，完全可以满足凉山州以及周边地区风电建设的市场需求。德昌风电场所用的部分机型就是由东方风电凉山基地供应的，比如 DF2.5MW—121 机组。它是德昌风电场所用的另一款主力机型——DF2.5MW—110 的升级版，风轮直径达到 121 米，具有更大的扫风面积。同时，针对安宁河谷的地形以及风资源特点，东方风电做了针对性设计，采用动态转速滤波、动态最佳功率捕获、主动减载等控制策略，再加上机组本身的高可靠性和优良的电网适应性，很好地保障了业主获得最大的发电效益。

正是得益于这两款机型的良好运行表现，东方风电还计划将在安宁河谷吊装 4 台 FD2.0MW—127 双馈机组，这是该公司为超低风速市场研发的下一代主力机型，主要针对 5 米/秒左右的风能开发。

除了实施“柔性制造”，东方风电还在德昌试点成立了首个现场集中售后服务站，打破了传统以风电场为单位的零散式服务点模式。

东方风电四川片区经理金延开告诉记者，这个服务站可以辐射整个德昌地区。除了负责日常的计划性检修工作，依托这个站点，对于非计划性停机，运维人员基本上可以在半小时内抵达故障机位现场，大大提高了应对突发情况的能力。同时，站内还针对片区建立了一个二级库，有效保障了备品备件的供应。

事实上，服务站只是东方风电完善的售后服务链条上的一环。据郑伟国介绍，目前，该公司沿着风电场、片区以及公司总部这条线，形成了一套服务的信息监控系统，随时收集信息，及时分析和处理，以最快的速度响应服务需求。

这种高效的“上门”服务模式，得到了邓良胜的高度认可。“在风速较差的情况下，德昌风电场能够实现经济开发，与东方风电可靠的产品质量和优质的服务密不可分。”



交个税的人都多了

将制造和售后搬到现场，带来的不仅是效率的提升和成本的下降，也对当地经济、就业等产生积极的拉动作用。

虽然投产仅一年左右的时间，但凉山制造基地的经济效益已经开始显现，在尚未达产的情况下，2016年就实现工业总产值10.3亿元。

围绕风电开发，一条清晰的产业链条已经在德昌成型。张军告诉记者，此前，凉山州的装备制造业一直处于空白状态。在东方风电入驻后，吸引了一批生产塔筒、玻纤布以及机舱罩等的制造企业落户当地，“就连一些周边产业，比如五金销售及大部件运输也被带动了起来。可以说，这里已经成为西南地区的风电产业链相对比较完整的园区。”

步入生产区，不时见到工人们忙碌的身影。据了解，东方电气风电（凉山）有限公司为当地200多名待业青年提供了工作岗位，其中很多人来自彝族、傈僳族、白族等少数民族。记者从随机采访的一名员工口中得知，他们的平均工资在四五千元左右，最高的能拿到近万元。“在德昌，甚至是凉山州，这已经算是相当不错的薪水了。”

该说法也在当地税务部门工作人员那里得到了证实。

“我们县里的工资水平普遍偏低，很多都达不到个税起征点。自从这家企业来了之后，到我们这里缴个税的人都多了。”

收入的增加，也拉动了当地的餐饮娱乐、银行、快递等产业。用张军的话来说就是，“我们刚来的时候，找个吃饭的地方都需要跑半个小时。现在，园区周边已经有很多便利的生活配套设施了。”

此外，东方风电的母公司——东方电气还深度参与凉山州的扶贫工作。比如，捐资20万元用于普诗乡路灯项目建设，解决了300多户居民的夜间出行照明问题。其还重点关注教育，在昭觉捐资援建了东方电气第一希望小学，并持续向优秀贫困学生发放奖学金和助学金，仅2016年就向昭觉县600余名贫困学生发放奖学金10万元、助学金20万元。

郑伟国认为，这些都是央企责任和担当的体现。“现在都在讲精准扶贫，实际上这就是精准扶贫的精神。因为靠输血可以解决一时的问题，但解决不了一世的问题。真正需要的是造血，即依托某一种项目来发展地方经济。可以说，通过开发风电项目，在当地设厂，让大凉山这个相对贫瘠落后的地区发展了起来，造福了少数民族。”

受访嘉宾：
田庆军，远景能源副总裁。

市场和技术 定义风电服务新趋势

文 | 张远

回看 2016 年的中国风电市场，值得关注的一个现象是，远景能源新增订单达到 600 万千瓦，这意味着这家公司较高的市场活跃度和客户注意力。远景能源副总裁田庆军表示，新增订单增量彰显了远景智能风电机组产品的客户信任度，也体现出远景能源在做厚客户服务界面、推进“大服务”理念上的进步。但同时他也认为，远景能源服务客户的内容也会随着市场需求和技术创新而变化，以此定义风电服务的新趋势。

《风能》：从中国可再生能源学会风能专业委员会发布的 2016 年整机商吊装数据看，除了金风科技一枝独秀，排名后几位的整机商差距不大。但换个角度看，新增订单的变量更能预示行业或一家公司未来两年的市场状况，远景能源 2016 年的新增订单达到 600 万千瓦，您认为取得这一业绩的主要原因是什么？远景能源的竞争力体现在哪些方面？

田庆军：远景能源始终相信市场和服务的价值。2016 年，远景能源新增订单量达到 600 万千瓦，取得这一业绩的原因主要有两个方面：一方面是向客户学习，这是远景能源客户关系的一个基本价值观，因为只有向客户学习才能真正理解客户的需求，为客户提供更具针对性和定制化的服务。也正是基于这样的理念，2016 年，远景能源延伸了客户服务的价值链，从项目前期到参与投标再到中标后的项目建设和运维，形成了一个以技术、质量和收益为基点的大服务体系，持续不断地为客户提供最具价值的服务。

另一方面，实现客户服务产品化，根据市场和客户的需求，协同和调动一切优质资源聚焦客户、解决客户痛点。过去的两年，远景能源利用智慧风场管理系统的优势为客户“量体裁衣”，定制化响应客户需求，从风电机组应用场景的项目适合度等考量，提供从选型与选址、载荷、塔筒与基础、变电站、集电线路及道路的设计和建设管理等一系列的优化整体解决方案并全生命周期执行。

可以肯定的是，降本增效的压力将使市场竞争变得更为激烈，远景能源的“大服务”理念也在纵深延续。我们判断，开发商未来可能将不再满足于目前简单的招投标模式，为了获得理想的项目投资收益率，会与其信任的厂家进行全方位的深度合作，合作厂商从资源开发时就介入，从源头上为开发商最关心的成本和盈收保驾护航。当然这需要整机厂家具备强大的技术实力和服务支持，才能在市场竞争的大潮里站得更稳，这也是远景能源始终在技术创新和工程经验积累上从不懈怠的原因，也是远景能源深度服务客户的发力点。

《风能》：您提出了当下甚至是未来 2 年至 3 年我国风电发展面临的四个挑战，有挑战才有机遇，能否分享远景能源在助推风电成本下降和技术创新方面所做的努力或成果？

田庆军：挑战就是机遇，前提是你要有解决挑战的能力。当下，低风速复杂山地风电场让投资收益变得非常脆弱，如何利用技术实现风电效率提升和成本下降、让风资源先天不足、地形复杂的风电场项目能够有钱赚，实现理想的 IRR 是远景能源技术创新的价值所在。

行业和客户已经知道的是，远景能源智慧风场格林威治和 Wind OS 贯通了风电场从前期风资源测风到项目建设再到运维的全生命周期，可以和行业、客户分享的是，在这两款软件产品的技术支持

下，智慧风场产品可以将塔筒与基础、变电站、集电线路、道路等因素的设计优化，让客户真实看到降本增效的价值。

比如，基于载荷实现定制化的塔筒基础方案一体化设计，通过建立高效的载荷数据库迭代能力，对每一个风电场内的机位都进行详细的载荷分析和分类，定制专属于该风电场的塔筒和基础，通过项目实践测算，塔筒基础一体化设计可实现风电场单位千瓦降本数十元甚至上百元。

再如，远景能源智慧风场道路设计与优化模块，可以在道路设计时同步考虑施工和运输的工艺，建立打通施工与运输的道路设计数值模型，在道路建设前的路勘阶段，依靠智能数据采集系统采集风电场入场道路与设计道路的环境数据，建立数字化3D道路模拟平台，提前识别道路、物流与施工过程的风险点，并输出解决方案，确保施工质量和最终的运输过程安全。这样可实现道路平台设计降本的明显成果。

从我们整体设计优化的风电场案例来看，通过智慧风场产品的运用，风电场资本金IRR及利用小时数都有一定程度的提升，单位千瓦造价也有显著降低。可以说，在远景智慧风场软件的系统优化下，风电场的开发价值真正得到显著提升。

《风能》：去年以来，舆论及专家对我国经济层面的不确定性有些担忧，在这种大背景下，您怎么看风电行业的发展，或者说对未来几年中国风电市场的发展有哪些思考和期许？

田庆军：其实，对于风电产业的持续发展，我们应该乐观一些，其道理也比较简单，以风电为代表的新能源正在由补充能源成长为替代和主流能源，这是大势所趋。另外，随着技术的进步，可开

发资源被快速放大，据不完全统计，目前仅已签署开发协议、尚未开工建设的资源保守估计已经在1.5亿千瓦以上，相当于国内累计风电装机量的总和，未来几年这个量还在快速增长中。所以，未来资源也不是问题。

但是，我们也面临消纳、成本、实施和技术这四大挑战，这也是制约我国风电发展的主要因素。未来几年风电要平价上网，风电成本要在现在的基础上再下降每千瓦时0.2元，这是行业要努力的方向和目标。但处在风电行业的人们一定感到了项目实施越来越困难，这一方面是因为实施条件和环境越来越恶劣，但更大的问题在于有诸多的利益掺杂于其中，有些超出了商业的范畴。

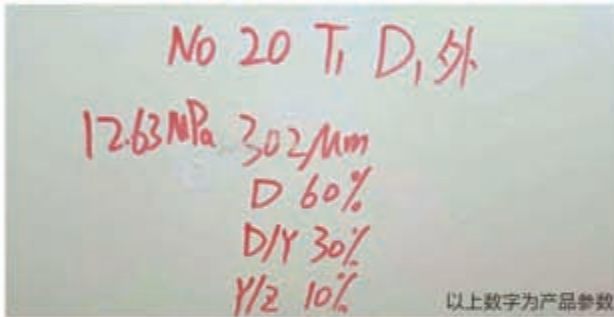
作为整机厂商，我们对此也深有感触。一个担忧是，现在地方政府对于风电在其本地的产业落地都要求有匹配的生产基地，由此来规划整机商、开发商和资源间的分配，但实际对于三者间的协调会造成一些困惑，对于行业的理性健康、可持续发展弊大于利，毕竟一个行业同质化的生产基地不断涌现，在资金、物料等成本投入上都有可能造成浪费。另一个担忧是，风电的开发是一个漫长的过程，从跑资源、到核准、到开工建设，会与林业、渔业、土地以及环保等相关政府部门打交道，但这些部门彼此协同沟通较为滞后，信息不同步，间接对项目周期和施工难度造成了一定影响，对开发商和制造商的资金造成成本压力。

我们期待的是，国家有关部门能够以全局的眼光，从顶层设计上对产业进行宏观指导，政府有关部门能够彼此做到统一规划协调、避免各级部门、政策间的反复和干预，相信市场的力量，让市场也能够发挥自组织功能，为产业的健康良性发展扫清障碍。☑



华豹水性风电漆

中国水性工业漆先行者



华豹水性风电漆三大优势

- 1

绿色环保，安全健康

→

VOC 含量低，低于国家标准；以水为溶剂不含重金属有害物质，有效保护从业者的职业健康；并且不燃不爆，安全可靠。

- 2

质量优越，综合成本低于溶剂型漆

→

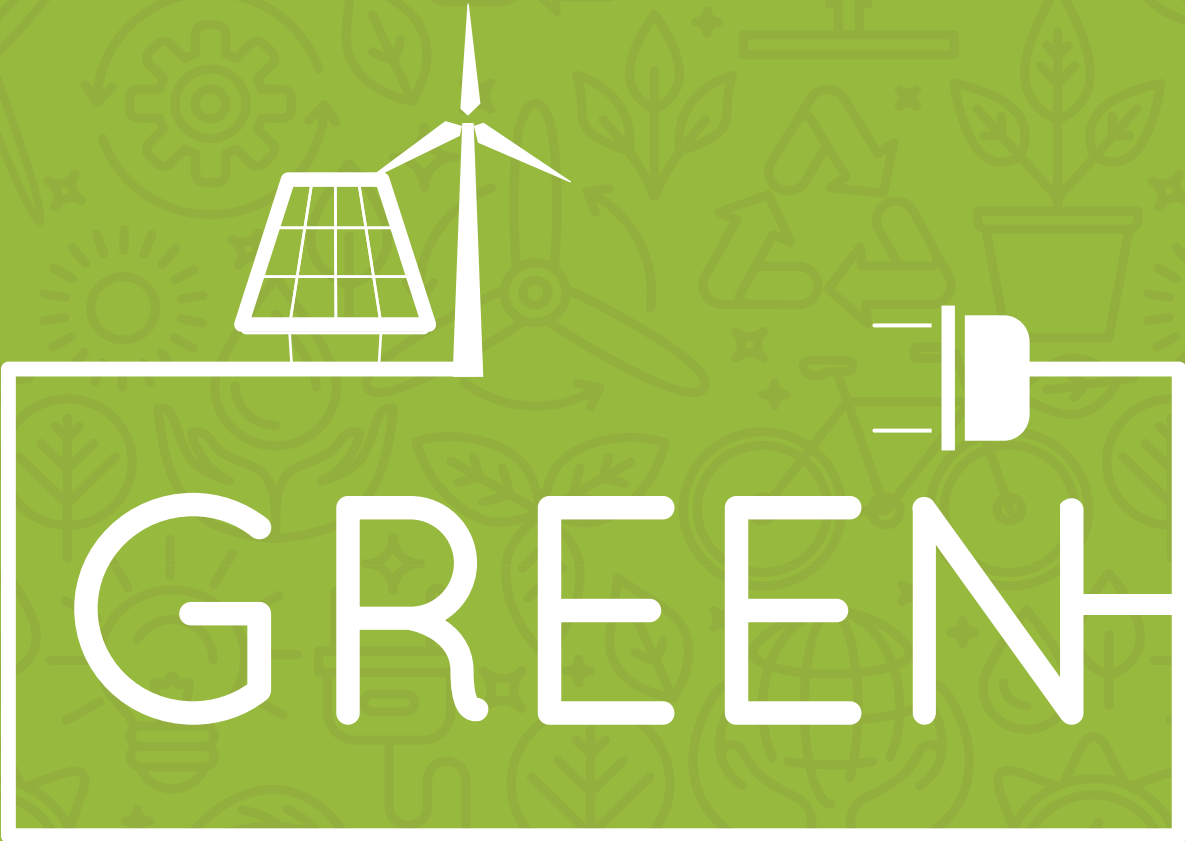
华豹水性漆性能指标达到或超过溶剂型同类产品。为加快推进环保涂装，保障员工身体健康，水性漆综合使用成本较低。

- 3

环保涂装一体化服务

→

华豹公司于 2003 年组建了专业涂装公司，现有 500 多名专业人员，按照施工管理 6S 要求，确保环保涂装一体化目标的实施。



GREEN



绿证，不只是 一张“光荣证”

从今年7月1日开始，绿色电力证书（下称“绿证”）将试行自愿认购，但对未来绿证制度的实施效果业界内外仍有争论。在我国加速推动能源转型和电力体制改革等背景下，绿证制度的实施将带给我们什么？建立怎样的绿证制度才会更符合我国的实际情况？本期封面将尝试为您解答。

本刊 | 曹宏源，夏云峰

今年 2 月，国家发展改革委、财政部、国家能源局下发通知，将在全国范围内试行绿证核发及自愿认购交易制度，以期促进清洁能源消纳利用，完善风电、光伏发电补贴机制，引导全社会绿色消费；并将根据市场认购情况，自 2018 年起适时启动可再生能源电力配额考核和绿色电力证书强制约束交易。

现阶段推行的绿证自愿认购制度，对于自愿花钱认购的政府机关、企事业单位、社会机构和个人来讲，仅仅是一份消费绿色电力的荣誉和责任，而并不会带来更多的收益和实惠，这能否激起各方的兴趣？如若遇冷，绿证制度又该何去何从？这都成为当下行业内外关注的焦点。



平台搭建完成具备核发条件

位于北京西城区六铺炕北小街 2 号的国家可再生能源信息管理中心的工作人员们近几个月来异常忙碌，他们正负责全国绿色电力证书核发和认购平台的建设工作。

国家可再生能源信息管理中心副处长徐国新告诉本刊记者，“经过三个多月加班加点的系统开发，平台的硬件布置已经完毕，软件开发也已经完成，绿证的核发已具备条件，7 月 1 日可上线试运行。目前，相关部门正在积极向社会各界宣传推广绿证相关概念，鼓励更多的人关注并支持绿色电力消费”。

对于届时自愿认购的主体，国家能源局新能源和可再生能源司相关负责人曾表示，用能成本占生产成本较低的高新技术企业对能源价格的承受能力相对较高，将会成为最积极的购买方之一。

记者了解到，为了尽最大可能减少认购企业的不便，国家相关部门已经进行了多次讨论，积极研究相关政策细则，例如认购绿证的挂牌

现阶段推行的绿证自愿认购制度，对于认购者，仅仅是一份消费绿色电力的荣誉和责任，而并不会带来更多的收益和实惠，能否激起各方的兴趣，将为下一步改革提供更多参考和指引。

价格、税收处理、会计入账方式等。预计相关情况会在 6 月初的第八届清洁能源部长级会议（CEM 8）上有所提及。

“过去我国在推行碳排放权交易的过程中，政府部门也没有出台财会方面的相关细则及处理办法，不过经过这么多年的运作，参与碳排放权交

易的各方企业也已经逐步探索出适合的解决方案，为绿证自愿认购交易提供了参考经验。相信绿证自愿认购的相关细则会在近期达成共识。”徐国新表示。

相关部门正在为绿证制度推广可能出现的新问题寻求解决办法，但人们更关注 7 月 1 日后，会不会有更多的企业和单位“买账”。不少业内人士认为，届时绿证的实际交易量不会很大，对于企业能自愿申购就已经算是“觉悟”比较高了，在掏腰包认领后却没有实际意义的现实情况下，不能太乐观。



绿证要从“电力圈”走向“社会圈”

为了推动绿色电力消费，中国可再生能源学会风能专业委员会、水利水电规划设计总院、能源基金会、中国循环经济学会可再生能源专委会、世界资源研究所、世界自然基金会、世界可持续发展工商理事会、鉴衡认证中心等众多单位在 3 月还发起成立了“绿色电力消费合作组织”。

“目前已经联系了不少单位，希望他们能够加入进来。从反馈情况来看，发电侧特别是新能源企业较积极，但消费侧的企业积极性有待提高，目前有意向的多是跨国高新技术企业，国内企业多处观望状态。”该组织秘书处的一名工作人员告诉记者。

国家发展改革委能源研究所研究员时璟丽认为，对跨国企业，特别是高新技术企业来讲，由于国外绿证市场较成熟，通常会有相关评估，

购买绿证对企业形象较为有利，这一成本远比广告费用低得多，所以他们将会成为届时绿证的认购单位。但值得注意的是，虽然有些企业宣传 100% 使用绿色能源，但他们认购的电量为办公楼部分的电量，产品的生产加工往往采用贴牌的形式交由制造企业来完成，这部分的电量并没有认购绿证，这与宣称的概念还有一定差别。

上汽集团、京东方科技等国内企业的相关负责人在接受记者采访时都曾表示，支持国家绿色发展战略，有意愿提高绿色电力的比例，承担社会责任，也希望政府在产品采购、税收优惠、信贷方面给予鼓励，增加企业信心。

对于一些国内企业认购绿证积极性不高的问题，专业人士分析认为，除了需要付出成本，增加企业经营压力外，相关企业管理人员对绿证制度不了解、对新政策持观望态度也是重要原因。

据了解，目前已有包括主要发电企业在内的上百个新能源发电项目申请核发绿证，主要是第五批、第六批入选可再生能源电价附加补贴的项目。而消费侧的用户则更关心届时绿证的价格，及购买后是否会有优惠政策。

国家能源局新能源和可再生能源司相关负责人表示，在各级政府和相关的政府采购项目中，适当选取一批品种，将产业链采用绿色电

力的比例作为同等条件下优先进入采购目录的条件，对引导全社会进行绿色消费的理念意义重大。

“对于绿证制度，过去更多是在电力行业内进行探讨，社会上对其了解不够充分，现在随着这一制度的实施，绿证需要走出电力的‘朋友圈’，走向更广的‘社会圈’，并逐渐被大众接受。”相关专业人士如是说。

记者了解到，“绿色电力消费合作组织”的一个重要目标就是推动建立绿色电力消费评价体系。目前，已经针对相关评价标准和标识编制了初步的草案文件，包括标识的使用、认证展示平台的建设和信息共享等内容，希望通过合理的激励和评价，推动绿色电力消费尽早成为社会认可的潮流。

更须关注绿证的改革价值

绿证制度作为一种在发达国家有过成功实践的市场机制，目的就是为了推动可再生能源电力的发展，这与我国能源革命的出路如出一辙。随着我国明确到 2020 年非化石能源占一次能源消费的比重达到 15%，2030 年达到 20%，这也为可再生能源配额制的实施设定了目标，绿证则是实现这一目标的重要市场化手段。



摄影：刘富卿

“配额制和绿证制度对于我们来讲，已经不是一个新概念了，从2005年《可再生能源法》立法讨论时，就有过是否引入的争论。此后多年，讨论也没有断过，到今年开始引入已经有17年的历史了。”国家可再生能源中心副主任东明说。

据了解，2003年，上海市曾经短暂试行过自愿绿证交易制度，但结果不尽如人意，最后只能“无疾而终”。

“现在引入绿证制度的时机是否成熟？这对我们的能源转型究竟能起多大作用？”鉴于此前上海的经验教训及延续多年的争论，一些业内人士有着这样的疑问。

时璟丽的理解是：2005年《可再生能源法》立法之时，以风电、光伏发电为代表的可再生能源电力刚刚起步，还未实现产业化，实行固定电价的补贴政策，有助于行业的快速发展。事实也印证了这一点。随后，风电、光伏发电出现了翻番式增长，产业迅速发展起来。随着近年来，出现了弃风、弃光及可再生能源电价补贴资金缺口逐年扩大等问题，截至2016年底的缺口资金约500亿元，如果政策不进行调整，将对可再生能源发电全产业链造成影响。在可再生能源发展目标确定的情况下，引入配额制和绿证制度将是解决问题的一种出路。

中国可再生能源学会风能专业委员会秘书长秦海岩也表示，长期以来，国家一直通过征收电价附加的方式向可再生能源电力提供相应的补贴，并在一定时期内推动了产业的快速发展。但随着产业规模的不断扩大，该政策的弊端也逐渐暴露出来，包括随着补贴资金缺口不断扩大，补贴发放拖延导致企业现金流紧张、固定电价在市场化改革中失去存在基础等，因此新能源产业的扶持政策必须进行重大调整，通过落实绿色证书认购，既可以促进可再生能源的高效利用，根治弃风、弃光顽疾，还能通过市场化手段有效破解补贴难题，降低财政资金直接补贴强度，减轻财政压力。

徐国新表示，绿证制度是一种市场手段，是符合当前改革方向的有益尝试，还有更重要

的意义在于让这一概念形成习惯并深入人心。而且从长期来看，随着新能源成本的下降，绿证也将越来越有吸引力，坚信这一市场将长期存在。



自愿强制市场并行不悖

《通知》中提到了2018年起将适时启动可再生能源电力配额考核和绿色电力证书强制约束交易，从字面理解，似乎这一制度又有行政色彩成分，这与自愿认购绿证的关系又会如何？

国家能源局新能源和可再生能源司相关负责人表示，强制交易着眼于能源供给革命，通过绿证强制交易价格体现新能源发电的外部环境效益，确保新能源开发企业的经济效益，提升新能源项目投资的积极性。强制配额考核会创造一个基本稳定的国内新能源年度增量市场需求，并避免产业发展规模的大起大落或者逐步萎缩；自愿交易则着眼于能源消费革命，建立绿证自愿认购体系，实际上是给了消费者充分而灵活的选择权，使得愿意购买和使用新能源的企业和个人有了通畅的渠道，最终通过两个市场的合力来加速实现能源转型。

时璟丽也认为，从全球来看，美国、英国、瑞典、澳大利亚等国家实施的强制市场份额或配额制度，都已经成为推动其可再生能源发展的重要市场机制。此外，绿证自愿认购也是一个重要的市场，例如美国约三分之一的绿证都是由消费者自愿购买的，随着绿证制度的推广，绿色电力消费的概念也将越来越普及，所以两者并不矛盾，将会共同推动可再生能源电力的消费。

此前，根据国家能源局的相关要求，到2020年，各燃煤发电企业（项目法人，含自备电厂）承担的非水可再生能源发电量配额与火电发电量的比重应达到15%以上，绿证制度无疑是实现这一目标的重要手段。

国家发展改革委能源研究所对此有过相关测算，这意味着到2020年，发电企业每生产

约 6.5 兆瓦时的煤电就需配一份绿色证书，若在考虑现有政策不变，实现“十三五”可再生能源目标，满足电价补贴资金需求的情况下，实施强制绿证制度可能会在 2020 年增加终端电价 0.7 分/千瓦时左右，处在社会可承受范围。

有观点认为，目前新能源发电补贴强度高不下的一个重要原因就是新能源未能有效利用，未来随着可再生配额制及绿证制度的实施，新能源发电不必要的系统成本将被充分挤掉，特别是补贴强度过高的光热发电和海上风电等能源品种已被隔离，加之技术进步，未来绿证的交易价格也将大幅走低，并逐渐维持在一个全社会可以承受的价格。

“可再生能源配额考核和绿色证书交易机制是符合现阶段可再生能源发展需求、必须采取的政策措施，也是推动全社会以总成本最小的方式实现能源转型的最有效措施。”这一观点已在业内形成广泛共识。此外，未来在储能技术的推动下，能源互联网技术蓬勃发展，系统的灵活性大大增强，再加上新能源自身的技术进步，新能源发电的成本很有可能全面低于各类化石能源的成本，届时，消费绿色电力就成为市场上完全自发的选择。

期待绿证融入系统改革中

当前，电力市场化改革、全国碳排放权交易市场建设等改革都在快速推进中，未来的可再生能源配额与绿证制度将与相关改革发生怎样的化学反应，是制度设计者不得不慎重思考的问题。

“推出配额制和绿证制度不仅仅是一个单一的政策，而是涉及了现有能源体系的变动，非常复杂。当新的体系引入后，就必须将原有体系打破，否则就不会起到太大作用。特别是我们正处于经济转型，市场机制还没有完全发挥决定性作用，国有经济又占有很大比例的情况下，更要认真分析和研究。”任东明说。

纵观国外的可再生能源配额制政策体系主

要是以电力市场为基础，通过绿证交易实现配额指标的流转，但各国承担配额的主体也不尽相同，有的是售电企业（美国大部分州、英国），有的是发电企业（韩国、印度）。

在我国，对届时由哪部分主体来承担，业界看法不一。一方认为，选择发电企业作为主体较符合当前电力行业的总体环境，由于我国发电侧的改革已有十余年，形成了一定的市场竞争条件，且监管成本也相对较低。但随着近年来发电企业经济效益的下降，选择作为主体可能增加其经营压力，且与售电侧放开的改革方向有所不符。另一方则认为，选择售电企业作为主体符合市场化改革方向，使得用户侧消纳的责任比较清晰，可有效解决新能源“重建轻用”的问题。但由于目前电力市场及售电侧改革还在进行中，不确定性较大，政策设计的难度也加大，对相关部门的监管能力也是一个考验。总之，无论选择哪部分作为承担主体，都需要在制度设计上充分考虑各方利益并完善奖惩措施。

“推进市场化改革是本届政府的重要目标，设计出并执行好可再生能源配额和绿证制度对政府部门的决策及监管能力都是一个考验，但对于改革发展是有益的。就像足球、篮球等竞技体育受广泛关注的一个很重要原因就是规则设计的复杂，甚至于裁判工作都会成为一门艺术。”徐国新告诉记者。

“任何一项重大政策起效，都会是一个不断摸索和完善的过程，在复杂的市场环境下，也无法指望单一的政策能够解决所有问题。但各类政策之间也不是互斥的，一项政策的推出不代表其他政策的必然退出，例如美国，类似于固定补贴的 PTC 政策和配额制考核就长期共存，欧洲市场上标杆电价政策和碳排放权交易也长期并行，这些政策共同起效，才能够推动产业的持续快速发展，所以，未来新能源扶持政策的发展方向，可能必然还是各项政策的‘组合拳’，特别是对存量项目，保持政策的稳定性也是必要的。”国家能源局新能源和可再生能源司相关负责人如是说。✎

可再生能源配额考核和绿色证书交易机制是符合现阶段可再生能源发展需求、必须采取的政策措施，也是推动全社会以总成本最小的方式实现能源转型的最有效措施。

何为绿色证书交易机制

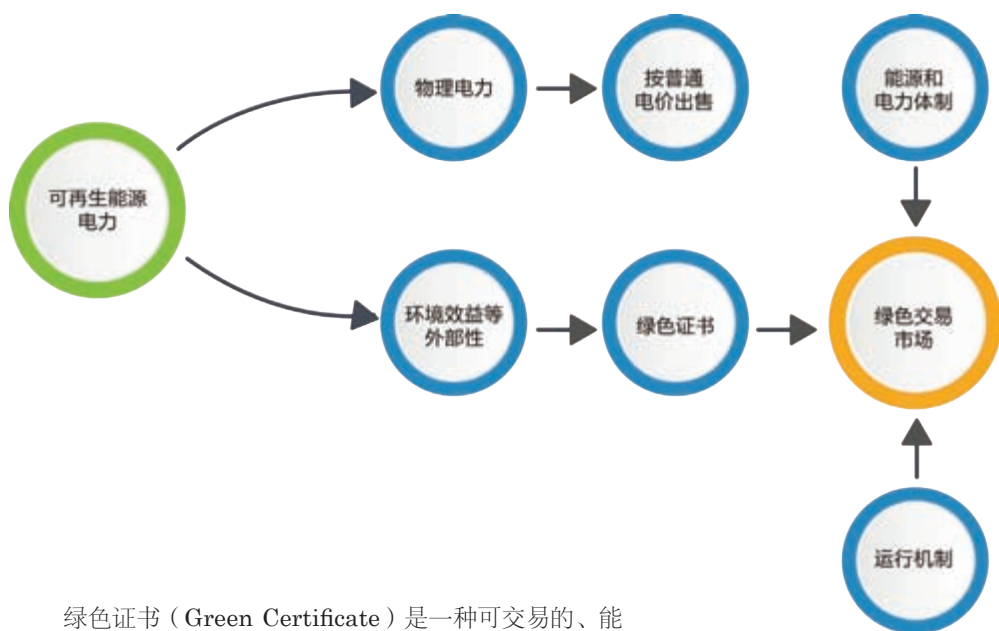


图1 绿色证书的产生与交易过程

绿色证书（Green Certificate）是一种可交易的、能兑现为货币的凭证，是对可再生能源发电方式进行确认的一种指标。一般来说，绿色证书既可以作为独立的可再生能源发电计量工具，同时也可以作为一种转让可再生能源外部性所有权的交易工具。

绿色证书的产生过程是，政府对可再生能源发电企业进行认证，通过认证后的可再生能源发电企业每产出一定量（如1兆瓦时）的可再生能源电力，就可获得一份由国家相关部门颁发的绿色证书，但在不同国家，具体规定上也有所不同。

绿色证书的价值代表可再生能源电力价格与常规电力价格的差值，并且随着地区和可再生能源发电技术水平的差异而不同。绿色证书交易机制一般由绿色证书、证书交易管理机构、电力系统企业、证书交易管理系统、消费者、自愿认购者等构成。

证书交易管理机构一般是独立于发电企业、供电企业等电力公司，是政府制定负责颁发和回收绿色证书的管理

机构，同时还负责整个交易系统的运行与监管。

证书交易管理系统，也可以称作绿色证书交易管理数据库。绿色证书持有者和可再生能源发电企业等相关主体利用该系统进行登录注册、查询交易相关信息等操作。证书运行管理机构可以在该系统中进行操作和管理。证书交易管理系统的作用是确保绿色证书发放、转让和注销的合法性和准确性。

证书交易范围，绿色证书如同商品一样可以自由流通，不受电力设施物理连接的限制。这种流通性使得绿色证书市场有可能突破一个地区或者国家的地理界线而形成更大范围的市场。例如欧盟已提议在欧盟内部建立一个国际性的绿色证书系统，促使欧盟各国进行自由的绿色证书交易。



美国¹

美国对可再生能源支持方式复杂多样，主要支持政策有可再生能源配额政策（Renewable Portfolio Standard, RPS）、税收抵免、净电量计量等。目前，美国有29个州和华盛顿特区及2个附属地区实施强制配额政策，另外8个州和2个附属地区设定了可再生能源配额目标。

美国配额制履责主体（通常是售电公司）的责任核查、计量以可再生能源证书（Renewable Energy Certificates, RECs）形式实现。每一兆瓦时可再生能源电力的产生，即同时生成一个证书。证书与可再生能源电力捆绑着同时存在，并在发电公司和售电公司之间交易。可再生能源电力到终端用户即被消费掉，而证书则被留在了售电公司，用以被核查。满足配额要求的多余证书可在售电企业之间通过电网进行交

易。可再生能源电力和绿色证书生产、交易、销售的每一个环节均有电网间建立的“追踪系统”负责计量和监测。

追踪系统责任包括：证明可再生能源电力的产生并予以统计；确保不重复计算证书数量以及保证不重复发放证书；追踪并记录证书交易，以及配额制指标的完成情况；记录并明确证书的失效。目前全美共有10个“追踪系统”，监督记录着绿证交易和配额制的完成情况。

证书的价格通常通过市场交易形成。由于美国不同州的配额要求不同且各州资源各异，影响证书价格的因素很多，如证书的年份、地区、供需紧张程度、电源品种等。在对太阳能利用有特别比例要求的16个州中，太阳能证书SRECs更加值钱。而无差异市场中，具有经济和规模优势的风电则更受青睐。

通常各州的公共事业管理局负责考核和监管配额指标的完成情况，并制定了严格的惩罚机制。如德克萨斯州公用事业监管法及具体细则规定，对未完成配额义务的履责主体处以50美元/兆瓦时（约合0.32元/千瓦时）或在义务期内绿色证书交易平均价格200%的罚款。通常允许责任主体选择价格较低的处罚措施，但处罚措施要远远大于履行义务的成本。

美国有着良好的清洁能源公众教育，自愿认购市场非常繁荣。企业通过自愿认购将销售门店、组装工厂、数据库运营等所需的电量，全部购买为可再生能源发电。即体现了企业强烈的社会责任意识，又是很好的营销宣传手段。2016年初，苹果公司宣称其在全球93%的设施用电完全使用太可再生资源，即通过自愿认购绿色证书得以实现。

1. 摘自《国际绿色电力证书交易机制经验及启示》一文，作者：张木梓。

英国

英国是欧盟成员国中实施配额制政策比较早的国家之一。自20世纪90年代起，英国开始执行《非化石燃料公约》(NFFO)，主要内容是：英国的地区电力公司有责任保证在其所供应的电力中，有一部分来自于非化石燃料，从而为应用非化石燃料生产电力提供了一种保障性的市场机制，其目的是要建立一个初级的可再生能源市场，以便在不远的将来，在不需要政府财政支持的情况下，使可再生能源发电具有与常规能源发电相竞争的能力。

在总结NFFO实践经验的基础上，2002年4月，英国政府又出台了《可再生能源义务法令》(RO)，明确了供电商必须履行的责任，即在其所提供的电力中，必须有一定比例的可再生能源电力，可再生能源电力的比例由政府每年根据发展目标和可再生能源实际情况和市场情况确定。这实际上是一种配额制度，在该法令中具体规定了合格的可再生能源电力的范围和指标要求，主要包括风电、波浪发电、水电、潮汐发电、光伏发电（每月发电量至少达到0.5兆瓦时）、地热发电、沼气发电和生物质发电等。

RO政策于2002年4月在英国开始实施的同期，配套的可再生能源电力交易制度和市场也逐步建立，即每1兆瓦时合格的可再生能源电力作为一个计量单位（称为一个ROC）可以在市场上进行交易。英国政府通过燃气与电力市场监管办公室（OFGEM）来监督管理。由于英国的供电和发电系统已经在1990年成功地实现了私有化，因此，所有供电商都必须履行责任和义务，达到当年规定的可再生能源电力份额，从可再生能源发电企业购买合格电力从而获得配额（ROC）证书，或者从电力监管局直接购买配额（ROC）证书。如果完不成任务，OFGEM规定，供电商将要交纳最高达其营业额10%的罚款。如果可再生能源发电企业

的配额（ROC）有剩余，则表明可再生能源电力市场处于卖方市场状态，电力监管局可以收购剩余部分，收购价格为30英镑/ROC（约合人民币298元），实际上这一价格相当于政府确定的可再生能源电力的底线价格。但在实际操作中，为了维持可再生能源电力一个相对较高的市场价格从而鼓励投资商投资于可再生能源发电，需要保证政府每年确定的可再生能源电力份额目标略高于实际可能的份额。

英国通过实施RO制度来促进可再生能源发展的思路是：政府制定具体的发展计划，在政府的监督下，利用市场竞争的机制实现其具体目标，政府不直接对市场进行干预。因此RO制度有以下主要特点：

一、政府设立每年的可再生能源发展目标，给供电商规定购买和销售可再生能源的额度，强迫供电商发展或购买可再生能源，来实现国家的发展目标。因此供电商是发展的主体和动力因素。

二、发电企业和供电商决定选择什么形式的可再生能源发电。国家则通过建立电力交易市场，实现市场竞争和扩大可再生能源电力规模、降低电力成本和价格。

三、更广泛地鼓励发电企业进入电力市场。

四、由于可再生能源发电形式的选择是由企业和市场决定的，所有可再生能源发电形式得到的是同样的市场电价，在这种情况下，低成本的可再生能源似乎会得到快速发展。

虽然RO机制在英国得以运作，但是OFGEM设立的年度目标的实现率长期徘徊在60%—80%，与英国政府设定的可再生能源发展目标仍有不小差距。权衡利弊下，英国政府在2010年4月对不高于5兆瓦的小型发电商开始施行固定电价政策，在2011年7月发布的《2011年电力系统改革白皮书》中，提出了较为完整的从RO政策向FIT政策过度的全面安排，预计在2017年结束可再生能源义务政策对新上项目的实施。✎



三一重能的改变

本刊 | 夏云峰

梳理 2016 年的行业新闻，三一重型能源装备有限公司（以下简称“三一重能”）似乎比往年“沉默”了许多，无论是新机型的发布，还是其他业务信息，都少了一些。外界不禁疑惑，这个曾被三一集团董事长梁稳根视为支撑“再造一个三一重工”战略落地的核心业务部门，是否在风电整机制造业务上出现了动摇。

然而，中国可再生能源学会风能专业委员会（CWEA）发布的《2016 年中国风电装机容量简报》显示，是年，三一重能新增装机 559 兆瓦，看似不高，但实属不易。要知道，受多种因素的影响，2016 年的全国新增装机同比下降 24%，多数整机商的业绩都出现下滑。这也向外界释放出了明确的信号：三一重能从未放弃在风电市场上“开疆辟土”。那么，在神秘“面纱”的背后，这家企业在过去一年中到底发生了什么？新的一年，它又会为市场带来哪些惊喜？

3 月 18 日，一场以“携手同行，合作共赢”为主题的三一重能 905 超低风速产品发布会在北京南口产业园举行。会上，三一集团董事、三一重能董事长周福贵揭开了上述问题的谜底。

“我们在去年进行了战略调整，改变原来的全产业链研发和制造的经营模式。”他坦言，“今后将专注于系统集成和控制策略的开发，以及智慧风电场的运营管理，通过合作开发，引进全球顶级公司的科研技术，集合全球性价比最优的零部件，打造具有绝对竞争优势的风电机组，营造完美交付以及极致的客户体验。”

据悉，三一集团在最初涉足新能源装备领域时，为了推动技术创新和实现突破性发展，制定了“全产业链”的发展模式，对增速器、发电机、控制系统，以及回转支撑系统、叶片等均坚持自主研发、制造。

为此，该公司进行了大量研发投入。2010 年，三一

电气（三一重能的前身）相关负责人曾经在公开场合称，已投资 20 亿元完成了风力发电领域关键部件自主研发生产配套的全产业链体系。

有业内专家指出，采用这一策略的优势在于，通过掌握全套技术，可以在关键零部件、整机的研发与制造上产生协同效应，最大限度地提升机组的发电效率和可靠性等关键指标。但这也意味着，企业需要布局产业链上的众多环节，资金和人力投入将是巨大的挑战。

这与周福贵的看法不谋而合，“把摊子铺得过大，不利于采用灵活的发展战略。因此，我们根据行业发展的新情况，审时度势作出了重大战略调整。”

这里提到的“新情况”，指的是我国风电产业发展重心由“三北”地区向中东部和南方地区转移，低风速风电开发成为热点。根据《风电发展“十三五”规划》制定的目标，“十三五”期间，中东部和南方地区陆上风电新增并网装机容量在 4200 万千瓦以上。若算上海上风电的新增容量，这一地区新增并网装机容量占全国新增总量的 56.9%，将为整机制造企业带来新一轮发展机遇。

“几年前，我们就注意到了上述态势，在做了大量技术积累工作的基础上，决定对低风速平台立项，与欧洲顶级公司进行联合研发，并于今年推出了针对低风速风电市场的最新型产品——905 机型，能够适用于年平均风速 5 米/秒的超低风速区域。”周福贵说。

这才有了三一重能召开 905 超低风速产品发布会的一幕。

记者了解到，这款机型可谓是“集万宠于一身”，它采用了 Winergy 的增速机、西门子的发电机，大幅提升了传动效率；主控系统是由三一重能与英国 GH 公司、奥地利 Bachmann 联合设计的，整机结构、载荷计算及校核则由 GH 公司负责。

由于牵涉多家合作伙伴，为了使整机性能达到最优，三一重能建立起了完善的供应商管理体系，以保证设计接口、标准统一，达到零部件之间协同的目的。

目前，低风速风电机组正朝着“高、大、长、轻、智”的方向发展，905 机型也是如此。

三一重能研究本院副院长、905 项目经理王广良告诉记者，该机型具有五大技术特点：其一，高塔筒，根据客

户需求，可匹配业界最高的 120 米全钢柔性塔筒，采用 Bladed、Samcef 对塔筒结构参数、频率进行优化；其二，大功率，根据不同机位点的风速特点及风电场的整体发电情况，可在 1.8 兆瓦—2.2 兆瓦区间灵活调度；其三，长叶片，叶片翼型从德国顶级设计公司引进，可根据风电场需求，匹配 105 米—121 米叶片；其四，轻量化，通过降载、结构优化，机组总重量只有 465 吨；其五，智能化，通过智能寻优、智能降载、智能控制，大幅提升机组的智能化水平。

尤其值得一提的是最后一点，通过采用最佳尖速比动态寻优等智能寻优技术，发电量提升了 5%—10%；GH 最优控制策略等智能降载技术的运用，则将极限载荷和疲劳载荷分别降低了 35% 和 18%；为了达到智能控制的目的，三一重能还与 Bachmann 公司合作，通过 OPC 和 Modbus 等协议形成高速控制网络，对上千个数据点进行处理，可以高效监控机组的运行。

事实上，从王广良传递出的信息来看，905 机型已经平台化，可以根据不同的资源条件，搭配多类型的塔筒和叶片，从而形成多种产品规格，大大拓宽了其应用范围，能够满足未来复杂地形下的混排需求。

据三一重能副董事长、总工程师代晴华介绍，在样机的长时间场内试验以及实地运行过程中，各项关键指标的实际表现都优于设计值，表现出了很高的整机性能。“可以肯定地说，这款机组绝对超乎你们的想象！”

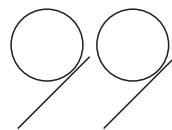
这一点也在市场反响中得到了印证。已有的公开信息显示，目前，该公司相继与国电投、中电建、华电福新能源、大唐新能源安徽公司等签署了战略合作协议，905 机型连续中标多个风电项目，总装机容量超过了 650 兆瓦。

除了这款机组，下一步，三一重能还将在低风速风电上持续发力，陆续推出多个产品，额定功率分布在 2 兆瓦—3 兆瓦之间，风轮直径为 105 米—140 米，单位千瓦扫风面积达到 $4.5\text{m}^2/\text{kW}$ — $5.8\text{m}^2/\text{kW}$ ，轮毂高度最高可达 150 米。以此助力开发商提升效益，引领低风速风电市场的发展。

当被问及未来的发展时，周福贵认为，风电将是一场比拼技术与整体实力的持久战，三一重能仍会秉持三一集团数一数二的经营战略，立志成为世界一流的风电企业。■

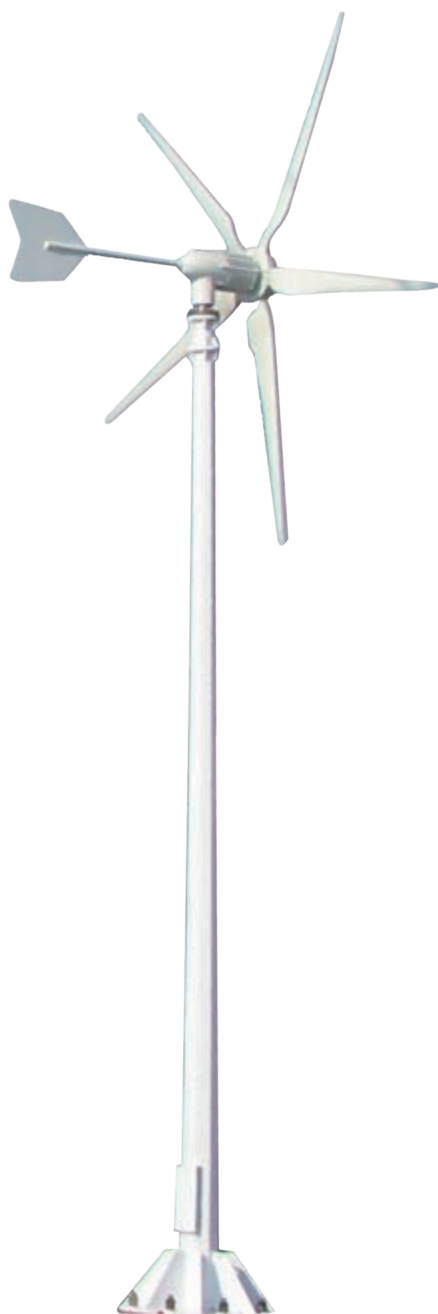


2016年，中小型风电设备市场发展趋稳，生产和销售数量均有小幅上升。出口额增长强劲，达到2617万美元，同比增长16.1%。未来，在缺乏政策支持的情况下，中小型风电设备市场将面临严峻考验，提升质量与品牌依然是行业发展的主旋律。



2016年中小型风电设备行业发展报告

文 | 姚修伟，祁和生



行业整体发展现状

2016年，参与中小型风电行业发展数据统计的企业共有20家，其中包括2家零部件企业，整机企业为18家（其中1家为无效数据，实际只有17家）。这17家企业代表了当前整个行业的主流，所销售中小型风电产品的数量为5.19万台，设备总容量为5.3万千瓦。

经整理和分析发现，2016年整个行业基本处于销售谷底位置。其中全行业共生产8.37万台设备，同比增长2.7%，生产容量为7.738万千瓦，同比下降18%；销售7.81万台，比2015年增长15.7%，销售容量6.516万千瓦，比2015年减少17.1%，销售额为8.06亿元，同比增加2.3%；出口约4800余台，同比下降62.7%，出口容量2.02万千瓦，同比降低32.7%，出口额为4090万美元，同比增长31%。

据此计算，从台数上来看，内销和出口的比重分别为93.9%和6.1%；销售容量上，两者则分别占比69%和31%。

从主要部件生产企业报送的数据来看，2016年的销售保持增长态势，控制逆变器增长18.6%，国内的销售规模与去年基本持平，增长主要出现在出口环节；发电机的销售规模与去年基本持平，产品的功率略有增加。

分析海关总署统计的数据可以看出，2016年，我国中小型风电设备出口到全球106个国家和地区，出口额为2617万美元，比2015年的2240万美元增长16.1%。其中包括：亚洲30个国家和地区，金额为860.7万美元，同比增长284.2%；非洲16个国家和地区，金额为140.3万美元，同比增长6.6%；欧洲36个国家和地区，金额为1293万美元，同比减少11.4%；北美2个国家和地区，金额为220万美元，同比减少38.3%；南美洲18个国家和地区，金额为80万

表1 2016年中小型风电设备行业发展情况

| 指标 | 2015年 | 同比增长率(%) | 2016年 | 同比增长率(%) |
|-----------|-------|----------|-------|----------|
| 生产台数(万台) | 8.15 | 0 | 8.37 | 2.7 |
| 生产容量(万千瓦) | 9.436 | 29 | 7.738 | -18 |
| 销售台数(万台) | 6.75 | -11.3 | 7.81 | 15.7 |
| 销售容量(万千瓦) | 7.86 | 27.3 | 6.516 | -17.1 |
| 销售额(万元) | 7.88 | 1 | 8.06 | 2.3 |
| 出口台数(万台) | 1.28 | 4 | 0.48 | -62.7 |
| 出口容量(万千瓦) | 3 | 18.6 | 2.02 | -32.7 |
| 出口额(万美元) | 3126 | 15.5 | 4090 | 31 |

美元,同比增长101%;大洋洲4个国家和地区,金额为23万美元,同比减少53%。

我国企业出口最多的3个国家分别为:意大利,1061.5万美元;日本,接近576万美元;加拿大,130.6万美元。自主出口量最大的企业为上海致远,青岛安华和安徽蜂鸟则位居第二和第三位。

近几年的走势对比

经历了自2012年以来的低迷之后,中小型风电设备行业的发展在2015年终于发生转折,走出了连续下跌的阴影。但经过一年的时间,并没有出现向上快速增长的态势。其中,2015年的销售量比2014年减少11.3%,而销售容量则增长27%,这意味着装机容量是有所增加的。2016年的销售量比2015年明显增长,增长率为18%,但产品装机容量则比2015年减少了17.1%,比2014年的销售容量(6.39万千瓦)增长了不到2%。

与此同时,出口数量减少了62.6%,出口容量也下降32.7%,是

迄今为止跌幅最大的一次。除亚洲外,其他传统中小型风电设备应用市场都出现不同程度的萎缩。

2016年的细分市场表现

国内方面,2016年的中小型风电销售市场与2015年基本相同,仍然集中在四个方面——内蒙古新能源通设备升级改造项目、移动基站项目、农村道路风光互补路灯照明项目以及分布式小型微网示范项目。

内蒙古西部在2015年启动了无电地区牧民“新能源通设备升级改造工程”项目,主要采用1.5kW—3kW风光互补发电系统。2016年,仅锡林浩特就有4477户改造任务,其中1483套的设备已经投入运行。应用于基站的设备规模基本与往年的平均份额持平,其业主已由中国移动公司交到铁塔公司,以招投标形式交易。农村道路风光互补路灯属于零星工程,项目不多,地域分散,市场不易捕捉。2016年,有部分小型风电设备被用于分布式小型微网示范项目以及国内高校智能微网实验室或者相关新能源领

域,分布式应用仍处于试验示范阶段。

国际市场上,风电机组利用率有所下降,主要是因为补贴力度降低,某些地区受补贴因素的影响暂缓批量交易。但各个国家的政策不同,其表现形式也有所不同。美国的补贴比例持续下降,政策不连贯,而加拿大则强于美国,政策仍在延续;欧洲地区的意大利、德国、土耳其、丹麦、西班牙、波兰等市场虽然有所萎缩,但保持了政策的延续性,并支撑了风电出口行情。据悉,英国则有恢复相关政策的可能。

亚洲是增长最快的地区。尤其是日本,由于直接受到核污染影响,风电技术在该国得到大规模应用。其他如巴基斯坦、南非、巴西等国也出现增长势头。海关的统计数据显示,2016年,我国中小型风电设备出口额为2617万美元,达到历史第二高位,奠定了我国在全球中小风电设备市场中的地位。

存在的问题

从2016年参与统计的企业来看,



保持增长势头的企业有4家——呼市博洋、上海致远、南京欧陆和山东华业在逆势中实现业绩增长。当前，企业对市场现状存在不同的理解。如呼市博洋，由于长年努力耕耘内蒙古市场才使自身取得了更好的业绩，产品得以适应内蒙古用户的心理，该公司对市场的未来也充满了信心。而上海致远则坚守一贯的敬业风格，坚持质量为企业生命的信条，在逆势中做好破局。他们认为，政策是企业发展的要素，但不是唯一要素。要摆脱市场的桎梏，就需要坚持做好产品的检测认证，树立品牌。2015年，上海致远的50kW机组取得了CWCC北美产品认证，并成功打入加拿大市场。2016年年初和年末，其19.8kW和9.8kW两款机型均获得了日本Class NK认证，使得该公司的产品在国际市场上有了上佳表现，并为这些产品在2017年大批量进入日本市场打下良好基础。

如今，整个行业都已经认识到了取得认证的重要性。为了企业自身的发展，继前几年华鹰风电和新高科技获得TUV国际认证之后，2016年又有多家企业积极委托第三方认证机构进行型式认证。进行国际认证是大势所趋，否则将失去在行业中的主导地位。未来，在参与国内竞争时，企业也同样需要重视检测和认证工作。

中小型风电设备的质量仍然困扰着行业的发展。从中国农业机械工业协会风力机械分会和中国可再生能源学会风能专委会主导的东营“风光互补路灯展示项目”的产品测试情况来看，当前风光互补路灯产品仍然存在不少质量问题。其主要技术指标基本都能符合用户的要求，但在控制器的可靠性方面，各个厂家则存在较大差异。10家风电机组生产企业的产品质量参差不齐，产品存在设计或制造中的可靠性问题。安装于内蒙古“新能源通设备升级改造工程”的风光互补发

电系统也暴露出不同程度的缺陷和不足，如地锚预埋件、开式锁扣、塔架拉环、光伏支架等存在的安全隐患；拼凑机组更存在着安全性和可靠性问题；粗制滥造、低劣品质和低价折扣服务期限等问题同时并存，需引起全行业注意。

展望

在国家政策不完善的情况下，国内中小型风电设备市场将面临严峻考验。2016年，中小型风电设备行业的秩序也在发生着微妙变化，优胜劣汰已经在2016年显现出来。市场正在向优质品牌企业集中，提升质量与品牌依然是中小型风电设备行业发展的主旋律。

随着全国节能减排任务的增加，分布式微网技术的成熟，未来中小型风电设备在国内分布式微电网、供暖系统领域、农业服务中具有广阔的应用空间。传统的应用市场将继续稳步发展。

国际市场上，用户对风电机组的选择趋于更加理性，进行产品的安全和质量型式认证成为必然趋势。过去传统中小风电应用大国的市场地位将继续降低，而日本、韩国等市场则由于国情不同，国土面积小，正在逐渐认识到中小风电占地少的优势，越来越重视发展此类项目，并将不断减少光伏电站的安装数量，以避免对土地的大量占用，从而引领中小型风电设备应用的潮流。由于国度不同，理念不同，其发展的要素会有较大差别。☒（作者单位：中国农机工业协会风能设备分会）

motion for emotion

慧动, 慧心, 慧未来



NSK微信公众号上线啦!
各种信息微信告诉你

将风能转化为电能
静静地、持续地
年复一年、风雨无阻



EM系列高负荷容量圆柱滚子轴承

EM系列圆柱滚子轴承是NSK基于新的设计理念而开发的全新构造轴承。通过轴承内部构造的优化设计,及铜合金一体式保持架的采用,具有高承载容量、高刚度低磨损、低噪音低振动等优点。无论在性能还是寿命上,都具有超强的特性,是新时代的高负荷容量圆柱滚子轴承。



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

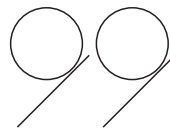
电话: +86-512-57963000

传真: +86-512-57963300

邮编: 215332



4月13日，德国首轮海上风电竞拍的结果公布，其中有3个项目的补贴均为零，这在业内尚属首次，具有重要的象征意义。它表明，通过市场化的手段能够有效释放海上风电的中长期成本下降潜力，以此减少对补贴的依赖。



德国迎来首批零补贴海上风电项目

编译 | 夏云峰

近些年，欧洲一些国家为大型海上风电项目提供了大量的补贴资金，以期培育出一个最终能够摆脱补贴和具有足够竞争力的清洁能源产业。现在，这一目标正在逐步成为现实，并且实现的速度远远快于预期。

4月13日，德国电力监管机构 **Bundesnetzagentur** 公布了该国首轮海上风电竞拍的结果，共涉及4个项目，全部位于北海海域，总装机容量为1449MW。世界最大的海上风电开发企业——丹麦的东能源公司赢得了其中3个项目的开发权，分别是：**OWP West**（240MW）、**Borkum Riffgrund West 2**（240MW）、**Gode Wind 3**（110MW），总装机590MW。这些项目的最终投资决策（FID）将于2021年敲定，并计划在2024年投运。从中标的报价来看，**OWP West** 与 **Borkum Riffgrund West 2** 两个大型海上风电项目已经不再依靠政府补贴，这在业内尚属首次，具有重要的

象征意义。

这意味着，项目的收益全部来自于电力销售。值得注意的是，该风电场的并网成本则由电力消费者承担。

“这次中标价格之低，充分显示了竞拍的方式能够释放海上风电的中长期成本下降潜力，在一定程度上减少了对补贴资金的需求”，**Bundesnetzagentur** 主席 **Jochen Homann** 在一份声明中指出，“它也证明了海上风电是具有市场竞争力的，这对于所有电力消费者而言，都是一个好消息，大大降低了其用电成本”。

海上风电规模化发展的历史只有短短25年时间，丹麦的开发商则是最早走向海洋，追逐更广阔的风能开发空间和更高的风速。今年3月，由东能源建设的世界上第一个海上风电项目——**Vindeby** 海上风电场正式退役。这个项目位于丹麦 **Lolland** 岛附近 **Vindeby** 的低水位海域，离岸距离约1.5公里—3公里，吊装了11

台单机容量为450kW的海上风电机组，采用的是整体吊装方案，于1991年实现并网运行。在整个运行期内，**Vindeby** 海上风电场共发出了2.43亿千瓦时电力。

在东能源海上风电场负责人 **Leif Winther** 看来，尽管该风电场正在退役，而且以现在的标准来看只是一个很小的项目，但它对海上风电产业来说却至关重要。“如果没有从世界上第一个海上风电场获得的经验，我们（海上风电的发展）可能就不会有今天。”

目前来看，这个产业的前景一片光明，它在生产大量电力的同时，不会像燃煤和天然气发电厂那样排放温室气体。因此，虽然成本依然较高，但发展海上风电很好地契合了各国政府应对气候变化的战略目标。

与此同时，政府也正在力图通过竞拍减少海上风电项目的施工建设成本，这种转变促使东能源等开发商不得不做出调整。

2016年，丹麦和荷兰举行了一些海上风电项目的招标，竞争十分激烈，荷兰皇家壳牌石油公司等开发商都报出了低价。这种趋势在此次德国竞拍的 OWP West 和 Borkum Riffgrund West 2 项目上得以延续。

除了这两个项目，德国电力公司 EnBW 也以零补贴的报价获得了 He Dreiht 项目的开发权；东能源中标的另一个项目——Gode Wind 3 的固定批发电价为 60 欧元/兆瓦时（约合人民币 442 元/兆瓦时）。

在一份新闻通稿中，东能源列出了一些支撑上述报价的核心因素，包括在该项目完工前，单机容量 13MW—15MW 的新一代大型海上风电机组有望投入商业化运行，是现有机组最大单机容量的两倍。

近些年来，美国的 GE、丹麦的维斯塔斯以及德国的西门子等整机商已经在生产单机容量越来越大、发电效率越来越高的机组，其高度在 180m 以上。开发商借此可以用更少的机组生产出更多的电力，从而显著降低施工建设（更少的塔筒和风电场内海底电缆，以及更低的安装船和人力成本）和运维成本。

优质的风能资源也是东能源所看中的，新项目所在海域的平均风速超过 10m/s，在这家企业的所有项目中居首。而且这几个风电场靠近东能源的 Borkum Riffgrund 1 期和 2 期项目，因此，新项目的运维服务将可以由该公司位于德国诺德代希地区的运维中心统一提供。

另外两个有利因素是，OWP West 和 Borkum Riffgrund West 2 项目将会组合成一个大型的海上风电



项目，并有望在明年的招标中获得新的装机容量，从而进一步扩大整体规模。此外，德国政府机构已经承诺在必要的情况下，可以将项目资产的运营期限由原来的 25 年延长到 30 年。

“如果预期不会为投资人带来合理的回报，我们就不会提出这样的报价了。”东能源新闻发言人 Tom Lehn-Christiansen 在电话采访中表示。

市场分析师认为，东能源等开发商近些年虽然可以获得较高的财务收益，但正在日益感受到补贴下调的压力。该公司和其他开发商都从固定电价政策中受益匪浅，这些价格可能是现有电价的两倍甚至更高。2016 年，东能源的资本收益率达到了 16.5%。

未来，最大的不确定性因素就是电力价格。东能源认为，随着核电和燃煤发电厂的陆续退役，欧洲对可再生能源电力的需求将会持续上升，后者的价格也会上涨。

然而，分析师指出，风能和太阳能等可再生能源的快速发展，将推动电力价格的逐步下降。市场研究机构桑福德伯恩斯坦公司的分析师 Deepa Venkateswaran 在一份电子邮件中表示，“如果东能源对成本或者电价发展趋势的预判出现偏差”，此次的报价将会使该公司付出高昂的代价。因为这个项目将持续多年，如果发展并不像预期那样，东能源也无法从交易中全身而退。

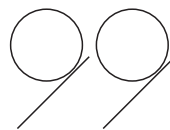
现在，海上风电产业已经从北欧的发源地扩展到了更多的海域，养老基金管理机构等长期投资人对这些项目的融资表现出了浓厚的兴趣。

在美国东海岸的罗德岛布洛克岛海岸附近海域，一个小型海上风电场已经于去年开始并网发电，这是美国第一座投产的海上风电项目。项目总投资 3 亿美元，吊装了 5 台单机容量为 6MW 的海上风电机组，总装机 30MW，可以满足 1.7 万家庭的用电需求。与此同时，国外开发企业也在积极开发该国东部海域的风能资源。此前，东能源与美国 RES 公司达成协议，接手后者位于美国马萨诸塞州附近海域的海上风电项目，项目规模超 1000MW，这是该公司首次在欧洲以外投资海上风电项目。

据悉，德国将于 2018 年 4 月举行第二轮海上风电竞拍，装机容量为 1550MW，加上第一轮竞拍剩余的 60MW 容量，总招标容量达到 1610MW。其中，根据《海上风电法案》（Offshore Wind Energy Act）的要求，波罗的海海域将在此次招标中获得至少 500MW 的装机。✎ 摘编自《纽约时报》《金融时报》、businessgreen 等网站



2016年，全球风电市场新增装机5460万千瓦，虽然低于上一年的规模，但依然保持了较高的发展水平。专家预计，2017年，全球风电的发展仍将十分坚挺，其中，中国、美国、以及拉美部分国家的发展则直接决定着市场整体走势。



2017年全球风电市场展望

编译 | 杨丽娜

从目前的情况来看，毫无疑问，风电时代已到来。虽然还存在一些问题，但全球风电市场依然在逐步扩大，与其他行业的联系越来越紧密。根据全球风能理事会（GWEC）的统计，2016年，全球约有28个国家和地区的风电新增装机容量超过100万千瓦。而国际可再生能源署（IRENA）的报告则显示，2015年，全球风能从业人数超过110万，比前一年上升5%。

许多专家预测，2017年，全球风电发展仍将十分坚挺。2015年，全球风电新增装机容量为6300万千瓦，2016年则为5460万千瓦，预计2017年也会保持这样的发展水平。

几位受访的专家表示，2017年，他们很看好墨西哥和土耳其这两大风电市场。当然，中国、美国、加拿大和拉丁美洲部分国家的风电市场也将继续延续良好的发展势头。不过，欧洲市场则可能出现萎缩。

美国国家可再生能源实验室（NREL）的能源专家Eric Lantz表示，

“在全球范围内，中国是决定风电发展走势的关键因素。”

全球风能理事会秘书长Steve Sawyer对此表示认同，他认为中国是全球风电市场的一个重要变量，“中国经济发展下行压力大，所以，对中国风电未来的发展，我不打算做过多评判。”

另一方面，Steve Sawyer认为，中国上网标杆电价下调的政策将于2018年1月1日生效，这可能会给开发商造成一定压力。按照中国最新的电价政策规定，一类至四类资源区新核准建设陆上风电标杆上网电价分别调整为0.40元/千瓦时、0.45元/千瓦时、0.49元/千瓦时、0.57元/千瓦时，比2016年—2017年的电价水平分别降低了7分、5分、5分、3分钱。

在Steve Sawyer看来，影响全球风电市场的另一个重要变量是美国。由于特朗普当选总统，从其竞选前后的言论来看，美国的风电政策会存在一些不确定性，这势必将对市场产生

冲击。Steve Sawyer认为，一旦特朗普了解，风电技术人员是美国近十年来就业人数增长最快的工作岗位，可能会改变对发展清洁能源，特别是对开发风能的看法。

另一个值得关注的市场是加勒比共同体。这一地区多是岛屿，风能资源丰富。其目标是，到2022年清洁能源的比重提高到28%，到2027年达到47%，届时会有高达200万千瓦的能源消费主要来自风能。

专家预测，从目前的发展趋势来看，尤其在2016年底荷兰海上风电项目拍卖创下历史最低价记录的情况下，海上风电市场将稳步增长。2017年，预计英国和德国将有部分海上风电项目实现并网发电。此外，荷兰领海也将有不少项目进入到施工建设阶段。中国市场也将进一步提速，去年，中国海上风电新增装机59万千瓦，一举超越丹麦，海上风电已位列全球第三。Steve Sawyer指出，对于一个海上风电项目而言，从公布到施工完成需要

持续 5 年左右的时间，因此，可以很容易预测这一市场未来的发展趋势。

技术更先进、成本更低廉、分析更精准

Eric Lantz 认为，2017 年，在欧洲以外的市场，3 兆瓦机组将会成为主流机型。“近些年，虽然欧盟国家一直在应用更大型的风电机组，但在世界其他地区，2 兆瓦机组则被应用得更为普遍。”

美国国家可再生能源实验室通过研究 3 兆瓦机组的成本走势发现，未来，机组的成本还将会持续下降。“有证据表明，一些制造商已经可以做到在使机组更大型化的同时，减少原料的使用量，从而会进一步推动成本下降。”

对开发商来说，使用成本更低、更大型化的机组，无疑可以获得更好的经济效益，这同样也适用于海上风电项目开发。Steve Sawyer 预计，8 兆瓦机组会成为海上风电市场的主流机型，“我们将会看到，8 兆瓦海上风电机组的商业化部署会比大家预期得更早。”

目前，维斯塔斯、西门子、通用电气和 Adwen（阿海珐和歌美飒的合资公司）都在布局 8 兆瓦机组产品，已有部分机型上市或即将上市。

例如，2016 年下半年，Adwen 宣布推出单机容量达到 8 兆瓦的 AD 8MW—180 机型，并将于 2018 年开始批量生产。叶片长度达到 88.4 米，由丹麦 LM 公司生产，是目前世界上最长的叶片。所用齿轮箱则是由 Adwen 和 Winergy 共同研制，输入转矩接近 10000kNm，重约 86 吨。据悉，这是目前世界上最大的风电齿轮箱，有助于降低 AD 8MW—180 机

组的平准化电力成本（LCOE）。

2017 年，另一项技术进步将体现在风电场选址技术上。在大数据、智能化控制系统的辅助下，开发商们将会逐步对风电场的布局、机组的安装位置进行优化，届时风电场的发电量和经营效益将会大幅提高。普华永道的美国清洁技术咨询主管 Brian Carey 认为，更多的开发商将会利用大数据分析来优化微观选址。

Steve Sawyer 进一步解释道：“这项技术非常炫酷，它可以通过使用多普勒雷达模拟出整个海上风电场的气流。目前，开发商已经能够通过软件模拟特定机组周围的风资源情况，从而使其出力最大。但是通过新技术，就能够把风电场看做一个整体来进行建设。”据报道，东能源已经使用了这项新技术。

Steve Sawyer 还表示，另一个值得关注的创新点是，在陆上风电开发上，并网技术会有新突破。现在，即使是在停机的情况下，一些机组也能够提供无功功率。“我能想象得到，除了增高塔筒、加长叶片、降低切入风速外，提升机组的‘电网友好性’将是主要的技术发展趋势。”

Eric Lantz 强调，在与天然气和太阳能光伏发电的激烈竞争过程中，风电行业的创新其实是相当多的，这促使制造商更加关注如何推动成本的下降。“所以，虽然我们对政策持观望的态度，但依然有理由对产业的发展保持乐观的态度。”

政策

全球风能理事会一直在密切关注全球风电政策的变化。Steve Sawyer 认为，为解决输电线路容量不足和电

网对风电并网的限制等问题，中国进行电力市场化改革是很有必要的。目前，南非电力市场供需的不平衡导致发展可再生能源的可行性和必要性将大大增强，南非国家电力公司 ESCOM 可以针对可再生能源发电方面存在的问题，尽快找到最优的解决方案。

此外，该理事会还希望越南可以在对待固定电价的问题上做出改变，并期待阿根廷宏观经济环境的改善能够逐渐推动能源改革。

特朗普担任总统后，美国能源气候政策走向备受关注。预计在 2017 年，美国市场的政策会保持稳定，但未来几年可能会发生变化。正如 Eric Lantz 所说的，现在只能是“等等看了”。

Brian Carey 注意到了有一个与美国市场税额减免相关的有趣现象。

过去十多年中，美国联邦层面的税收抵免政策以风电生产税收抵免（PTC）和光伏投资税收抵免（ITC）对可再生能源产业的影响最为显著。特别是 PTC 政策，决定着风电行业的兴衰。2015 年底，经过美国两党的妥协，通过的综合拨款法案对 2014 年到期的 PTC 提出了新的延期规定，风电 PTC 在 2020 年前延续但逐步削减为零。政策最初规定，在并网发电后根据发电量享受 10 年的税收减免。许多风电场都面临 10 年到期的问题，业主需要重新考虑到期后的经营问题。

Brian Carey 认为：“既然如此，新建项目的投资依然会保持在一个较高的水平上。”

从以上情况来看，整体上，全球风电在 2017 年将会继续保持强劲增长的趋势。☒（编译自 Renewable Energy World 网站）

发挥团队作用，为风电培养人才

文 | 高志鹰，马剑龙，张立茹，东雪青

内蒙古工业大学是国内较早开展风能开发利用研究的院校。2014年，风能太阳能利用技术教育部重点实验室（内蒙古工业大学）的验收意见中指出，“取得了一批有影响力的科研成果，特别是中小型风力发电机组理论与试验研究、产品开发、检测认证具有特色和创新性”。

本文主要介绍由风能太阳能利用技术教育部重点实验室（内蒙古工业大学）主任、二级教授汪建文带领的“风力机流固耦合及控制技术创新团队”在风电人才培养中所发挥的作用。

抓住机遇，明确科研方向

汪建文教授最初的科研方向是研究风电机组和膏状物喷雾干燥。2001年，有幸被日本三重大学聘为外国人研究员（教授）。合作教授为日本风能协会会长、世界风能协会副会长、三重大学副校长清水幸丸教授，执行文部省的“现代先进的风力发电机开发和自然能源的开发利用”项目。在此期间，学校陆续获得了“动力机械及工程”博士点，建造了B1/K2低速直流风洞，购买了一系列相关设备，硬件设施得到了保证。在此，汪建文抓住了外部提供的大好机会，经过16年

的刻苦钻研，形成了一支稳定的以试验测试为主、数值仿真为辅的风电机组创新性研究团队。

团队人员认识到，正确处理好稳定的研究方向与交叉学科的关系非常重要并需要摆正的方向性问题。“三天打鱼，两天晒网”、不时地更换研究方向，研究没有持续性肯定不会深入，也不会出成果。当然，不会挖掘新的创新点、不能从交叉学科寻找方向也是不对的。从2001年起到现在，团队人员一直沿着风力机气动性能、气动噪声、结构力学的研究主脉开展工作，形成了风电机组流场特性、结构动力学特性、噪声特性、发电机综合性能、风力机新翼型及叶型开发、风资源测量、强扰动环境下流场特征及风电机组的微观选择等研究方向。

吃苦耐劳，增强团队凝聚力

即使科研条件齐备，也不一定能见出成果，因为还需要有吃苦耐劳的拼搏精神。风电机组的性能实验绝大部分是在12公里以外的新能源试验示范基地（简称能源基地）进行，那里没有水、没有食堂、没有公交。而每年学生们至少有半年时间都在此地做实验，且通常是晚上。在冷热不均的气

温和恶劣环境的条件下，生活和学习起来十分艰苦。在老师的带领下，学生们自己做饭吃、挑水喝，甚至大学四年级毕业女生也一边在能源基地做实验，一边吃住在能源基地，有的一个多星期以后才能回学校洗澡。在这种环境下学习、研究、工作确实是不小的考验。

光有辛苦，没有凝聚力也不行。由于团队里风清气正，在向心力的激励下，大家可以互相比拼，奋勇而上。一个人的能力有限，加上艰苦的环境条件，只有团结起来、互帮互助，发挥团队的作用，才能有所作为。互帮互助不是包办，更不是把别人的成果给你，而是有困难大家一起想办法，有问题，几乎在团队里总能够找到解决方案。在团队里，大家能取长补短，相互促进，学到得更多，成长得更快。这是大家的共识。

在本科生和硕士生结合参加的全国或自治区大学生节能减排大赛、“挑战杯”大赛中，团队成员获得了国家级二等奖2项、内蒙古自治区一等奖1项，充分发挥了大家的创新性和积极性。

严字当头，要走出去请进来

科研除了要有专研精神，还要做



到“严字当头”。本团队的学生们毕业时所具备的水平已远远超出学校的基本要求。课题组的硕士生们在中文核心期刊、EI 期刊发表论文都不是问题，有一些学生在校期间已经有多篇论文被 IE 期刊收录。还有学生在毕业答辩时被现场“高薪挖到”浙江大学樊建人教授课题组当科研助理，并于次年 2 月攻读博士学位。

团队鼓励师生出去走走，到国内外名校学习、进修和参观，只有放开眼界，才能有更高的视野。利用浙江大学和重点实验室双方的优势，先后互派出 7 名师生进行科研合作，促进青年及骨干教师的培养。参加国际能源署（IEA）组织的 Task 27 项目时，任国内项目组组长单位，在强扰动流场环境下的流场特征和风电机组的微观选择方面得到国际同行专家的高度认可，并写入 Task 27 报告和成果指南。已经与浙江大学、扬州大学、新疆工程学院、中国科学院工程热物理研究所、华北理工大学、华北电力大学等高校开展开放课题研究，接受高级访问学者或联合培养博硕士研究生。

目前，学科团队在汪建文教授带领下，不断提升自己学术水平和科研

能力的同时，还为国内外相关风电科研机构和高校培养人才。在风电机组方向上，培养了 7 名博士生和 46 名硕士生，为全国 10 余家大型风电集团和国内外的相关风电科研机构服务，均为领军人物或技术骨干。目前培养风电机组方面的在读博士生 10 人、在读硕士生 33 人。

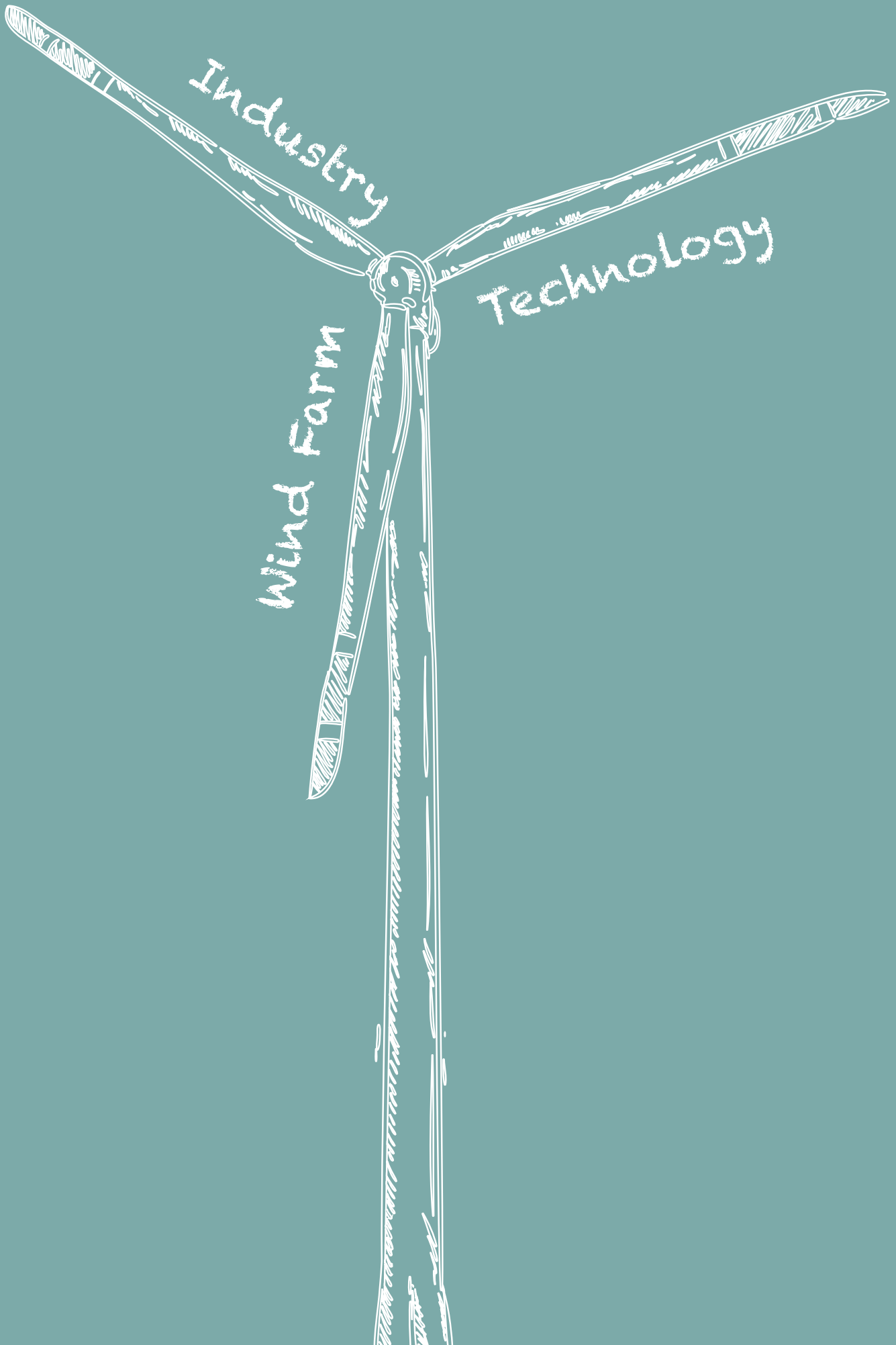
学以致用，磨炼自己的意志

本团队的学生获得的锻炼机会更多。比如该团队是内蒙古工业大学最先接触、学习 FLUENT 软件，在国内最先（甚至国际上也是最早）将电子压力扫描测、PIV（粒子图像测速仪）测试系统、60 通道 BK 振动噪声采集分析系统、应变旋转测试仪、激光测速仪、220 通道动态信号监测系统（东华）这些先进仪器应用到风电机组研究中的尝试者。学生们除了专心地研究各自的课题外，还积极参加了沈阳体育馆和体育场的风工程压力测试、白云鄂博的 810 千瓦风电机组叶片动态应变测试、1.5 兆瓦风电机组叶片疲劳载荷试验、国能风电的 20 千瓦风电机组叶片静载测试、北京鉴衡认证中心的大型风电机组现场噪声测试等横向项目。学生们的吃苦精神和动手能力得到了很大程度地提高，就业时成为行业内的香饽饽。

成绩斐然，影响力不断上升

目前，团队现有专任教师 11 人，其中教授 2 人、副教授 6 人、讲师 3 人；博导 2 人，硕导 8 人，有 6 人具有博士学位，涵盖教育部能源动力类教指委委员、中国工程热物理学会理事、中国风能学会理事、内蒙可再生能源学会副理事长、中国机械工业教育协会能源动力工程学科教学委员会动力机械委员会副主任、内蒙古自治区教学名师等具有影响力的人才。

近八年培养的学生中，所写论文 1 篇获“内蒙古自治区优秀博士学位论文”、4 篇获“优秀硕士学位论文”；1 人被评为“新疆杰青”、内蒙古“新世纪 321 人才工程”二层次 1 人、三层次 2 人；2 人晋升教授，获批博导 1 名；博士毕业生除了大部分留校任教职外，也向外省输送并被评为省级青年教学名师 2 人；获得国家奖学金博士生有 2 名、硕士生 5 名。研究成果大大地支撑和促进了内蒙古工业大学风能太阳能利用技术教育部重点实验室和动力工程及工程热物理学科的发展和建设，在少数民族边疆地区培养和凝聚了一批高水平的人才，并形成了一支较强的科研团队。 (作者单位：内蒙古工业大学能动学院)



影响风电机组发电量的因素

文 | 许刚, 任宝

风能是一种无污染、可再生的清洁能源, 风力发电作为电力工业电源的一部分, 已经历了 30 余年的发展。并网运行的风力发电技术兴起于 20 世纪 80 年代, 并迅速实现了商品化、产业化, 作为一项新的能源技术开始受到更多国家的重视。在近 10 年内, 我国的风电技术也在不断成熟和完善, 已成为第三大主力电源, 对优化能源结构、促进节能减排的作用日益凸显。

风电的经济效益与机组发电量是直接挂钩的, 影响发电量的因素也是多方向性的, 因此在风电场选址建设到运行维护必须以评估的客观因素为准则。机组在正常运行状态由于受到天气和人为因素的影响, 实际发电量与理论相比存在差别, 为使风电场投运后能达到最好经济效益, 就要具体分析影响机组发电量的主要因素。本文结合宁夏贺兰山风电场的实际情况就相关问题进行阐述分析。

风能资源

因风能资源具有差异性大的特点, 所以对年发电量的影响甚大。如贺兰山某风电场 2003 年可行性研究报告上推算的年平均风速为 7.7m/s, 3m/s — 10m/s 的风速占 65.1%, 17m/s 以上的风速为 1%, 年发电小时 2700 小时。但在 10 年的实际运行中, 平均风速均低于 7.7m/s, 在全年大风月 3、4、

5 月份的平均风速分别为 7m/s、6.4m/s 和 5.88m/s。由于评估报告中没有客观测量数据, 因此, 实际发电小时数小于 2000 小时。2015 年 4 月为贺兰山风电场全年大风月, 平均风速在 7.2m/s, 1 万千瓦机组发电量在 220 万千瓦时左右; 2015 年 9 月是全年小风月, 平均风速仅 4.5m/s 左右, 1 万千瓦机组发电量在 100 万千瓦时左右。由以上数据可以看出, 风能资源对发电量的影响很大, 因此, 建设大型风电场的首要前提是选择风资源较好的地方。

风能密度是决定风能潜力大小的重要因素。风能密度和空气密度有直接关系, 而空气密度则取决于气压和温度。因此, 不同地方、不同条件的风能密度是不同的。一般说, 海边地势低、气压高, 空气密度大, 风能密度也就高。在这种情况下, 若有适当的风速, 风能潜力自然大。高山气压低, 空气稀薄, 风能密度就小一些。所以说, 风能密度大, 风速又大, 则风能潜力最好。

有效风能密度是气流在单位时间内垂直通过单位面积的风能, 它是描述一个地方风能潜力最实用、最有价值的量。在实际利用中, 除去那些不能使机组启动或运行的风速和破坏性风速, 其余的有效风能密度将对发电量影响很大。贺兰山某风电场的有效风能密度为 $162\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$, 2012 年 11 月份平均风速为 6.52m/s, 1 万机组发

电量在 185 万千瓦时左右。

微观选址的影响

风电场微观选址是在宏观选址选定的小区域中确定机组的分布位置, 以使整个风电场具有更好经济效益的过程。微观选址比较复杂, 考虑的影响也是多方向性的, 同样的机组在不同地区由于受局部风速的影响, 发电量也有很大差别。场址选择对风能利用的预期目标能否实现起着关键性的作用。如果场址选择不合理, 即使性能优异的机组也不能很好地发电, 更有甚者, 由于选址不正确, 很可能导致设备的损坏。因此, 如何在风电场内合理地布置机组, 得到最大的发电量, 获得最佳的经济效益, 一直是微观选址工作的焦点。

以贺兰山风电场同型号机组为例, 108 号机组与 107 号机组安装在同一主风向上, 且 107 号机组位于上风向, 地势高于 108 号机组 15m 左右, 两台机组相距 500m, 满足机组安装设计要求(间距大于叶轮直径 5 倍)。2012 年, 107 号机组平均可利用率是 96.49%, 108 号机组平均可利用率是 99.52%, 但发电量分别为 134 万千瓦时和 108 万千瓦时, 107 号机组发电量是 108 号机组的 124%; 7 号机组和 12 号机组处一排, 但 12 号机组因靠山比较近, 受山坡风影响, 该机组在 2012 年的发电量

为 177 万千瓦时, 年平均风速为 5.8m/s, 7 号机组的发电量为 148 万千瓦时, 年平均风速 5.5m/s。因此, 局部选址不同对同一个风电场同型号机组影响也很大。

在具体微观选址时也要考虑机组之间的相互影响, 不同厂家生产的不同型号机组之间的相互距离要求均不相同。微观选址还要考虑地面粗糙度和山地等地形的影响, 区域资源的评估也必须是全方位的。一个大型风电场比较合理的布局是点状布置, 而且对每一个安装点进行测风计算和评估, 这对消除机组之间的紊流等影响很有必要。贺兰山风电场是一个大型的风电场, 已经安装 226 台机组, 出于整体布局考虑, 机组布局采用平行布置, 这样处于主风向的上风向机组发电量明显高于下风向的机组, 安装在山脊机组发电量高于安装在山谷的机组。风电场微观选址, 应以充分、准确的数据作为机位评估与优化的依据, 依靠科学手段, 通过对各种因素的综合考虑, 实现风电场的最优选址, 从而使风电场产生最大的经济效益。

机组选型的影响

在单机容量相同的情况下, 不同厂家、不同型号的机组在同一风能资源风电场的发电量有明显区别。在贺兰山风电场, 17m/s 以上的风速占 1%, 在 2014 年至 2016 年 24 个月, 其间的最大风速出现在 2014 年 4 月, 为 28.99m/s, 并且该风电场的风速通过了西北电力勘测院、Vestas 公司、Gamesa 公司的计算论证, G58、G52 和 V52 三种型号机组在贺兰山风电场均有安装 (三种机型均为变桨距 850kW 双馈异步机型)。在 2015 年某

月内平均发电量为 126 万千瓦时、112 万千瓦时和 114 万千瓦时, 不同型号机组的发电量比为 1.1 : 1 : 1。统计该风电场 4 月 17 日到 30 日的 13 号机组至 24 号机组的日发电量, 其中 6 台 G58 在 14 天中的发电量为 52.76 万千瓦时, 6 台 G52 在 14 天中的发电量为 47.36 万千瓦时, G58 的发电量比 G52 多 5.4 万千瓦时, 多发电量占 G52 发电量的 11.4%。同样统计 6 月份的 19 号机组至 24 号机组的日发电量, 其中 3 台 G58 在全月中的发电量为 46.73 万千瓦时, 3 台 G52 在全月的发电量为 41.59 万千瓦时, G58 的发电量比 G52 多 12.35%。由以上数据可以看出, G58 的发电量比 G52 多 11.5% 左右, 全年 G58 和 G52 的利用小时数按 2000 小时和 1800 小时计算, 直接经济差别 100 万元左右。

其他因素的影响

一、人为因素

1. 机组的可利用率影响

贺兰山风电场 2014 年上半年的机组可利用率为 98.89%, 故障时间占 1.11%, 全年故障时间按 1.2 的系数修正, 故障时间占发电机正常运行时间的 1.34%。因为机组刚投运, 各类电器设备未老化, 故障率比较低, 机组的正常故障停机时间大约在 2.5% 左右, 1 万机组年利用小时数按 2700 小时计算, 其中故障影响的发电小时数约在 67 小时左右。

2. 机组检修时间的影响

如贺兰山风电场第二季度检修 (包括机组检修和线路检修), 7 号—12 号机组检修总累计时间为 441 小时, 单台平均时间 73.5 小时, 每年 4 个季度累计检修时间在 294 小时。若机组检

修时间变化按 +10% 的范围内计算, 一年检修时间约在 300 小时, 占全年发电时间的 3.42%。按年发电小时数 270 小时计算, 其中检修影响的发电小时数为 92 小时左右。

二、电网因素

由于机组直接接入电网, 并且不能对电网进行调解, 一旦电网发生故障, 机组会自动与电网解列, 同时电网维修这段时间也会造成机组停机。近年来, 由于风电装机容量不断攀升, 电网建设未能满足全部接入要求, 因此电网为确保安全运行, 对风电企业进行限负荷, 尤其在西北、东北和内蒙古地区, 不仅用电负荷受经济因素制约, 而且风电场建设比较集中, 经常会因电网对风电无法全部消纳而造成大面积停机。

三、突发事件

2015 年 6 月 21 日, 贺兰山风电场 517 南风 02 线电缆头因为下雨潮湿, 电缆头绝缘击穿造成线路故障, 造成 1 万机组停运 40 小时。2015 年 8 月 2 日, 因雷电击中 10kV 线路, 线路保护跳闸, 造成 2 万机组停运 6 小时。平均每年各类突发事件按 60 小时计算, 此类问题的影响占全年运行时间的 0.68%, 1 万机组发电小时数按 2700 小时计算, 一年突发事件对发电小时数的影响为 18 小时左右。

总结

综上所述, 风力发电是一项复杂的综合学科, 为使风电场建设后能达到最好的经济效益, 从宏观布局到微观选址, 从机组选型到电网消纳都要统筹考虑, 避免造成不必要的经济损失。☑

(作者单位: 宁夏天净神州风力发电有限公司)

青海海西地区多能互补运行方式初步分析

文 | 胡小丽, 刘军涛

加快开发利用可再生能源已成为当前世界各国的普遍共识和一致行动, 青海省海西州太阳能资源丰富, 风电开发条件好, 土地资源辽阔, 亦有建设一定规模的抽水蓄能电站的资源条件, 具备多能互补运行的基础。本文以光热、抽水蓄能电站作为调峰电源, 对海西州光热、光伏、风电、抽水蓄能之间的互补运行进行了初步分析, 充分利用光热、抽水蓄能电站对新能源补偿作用来削弱新能源的不稳定波动, 最大化地发挥可再生能源的优势。通过互补运行后, 可有效送出可再生能源的电力电量, 提高电能质量。

多能互补资源条件

青海海西地区太阳能资源丰富且有大量戈壁滩等未利用地, 土地资源广阔, 光伏发电、太阳能热发电、风电等新能源开发条件好, 亦有建设一定规模的抽水蓄能电站的资源条件, 具备光伏、光热、风电、抽蓄等多能互补运行的基础条件。根据青海省相关规划, “十四五”末海西地区拟建成光伏约 14000MW、光热约 9000MW、风电约 4000MW, 抽水蓄能 2400MW, 并拟通过直流特高压外送通道将可再生能源外送。

(1) 太阳能

青海省位于青藏高原东北部, 空气较为稀薄, 阳光直射时间长, 太

阳能资源十分丰富, 年总辐射量在 $5560\text{MJ}/\text{m}^2 - 7400\text{MJ}/\text{m}^2$ 之间, 在全国居第二位, 仅次于西藏。海西州地区太阳辐射强, 日照时数多, 全州太阳能总辐射量在 $6600\text{MJ}/\text{m}^2 - 7200\text{MJ}/\text{m}^2$ 之间, 是全省辐射量最多的地区, 也是青海省年日照百分率最大的地区, 年日照时数在 3000h - 3400h 之间。

(2) 风能

海西州风能资源储量十分丰富, 大部分地区属于可开发区域, 其中以格尔木市至都兰一线、冷湖、芒崖地区资源最具备开发条件, 年风功率密度在 $150\text{W}/\text{m}^2 - 300\text{W}/\text{m}^2$, 风速在 $5.5\text{m}/\text{s} - 7\text{m}/\text{s}$ 之间, 利用小时数在 1800h - 2500h 之间。

(3) 抽水蓄能

根据相关工作成果, 青海海西地区初选了两个抽水蓄能站点。初步规

划装机容量合计约 2400MW。

各类电源运行特性分析

一、太阳能光伏

根据光伏电站 14000MW 逐十分钟出力过程, 光伏电站全年平均出力 2368MW, 占装机容量 16.92%; 最大出力为 11763MW, 占装机容量的 84.02%, 保证率仅 0.002%; 最小出力为 0; 出力为 9100MW (即容量系数为 65%) 时, 保证率为 7.5%, 累积电量 98%。

海西州光能资源分布有明显的季节性差异, 太阳辐射的季节变化直接造成了光伏电站出力的季节性差异。经统计, 出力最小月份 (7 月) 约是最大月份 (8 月) 的 78%。最小月出力约为平均月出力的 83%, 最大月出力比平均月出力大约 15%。从光伏电站日

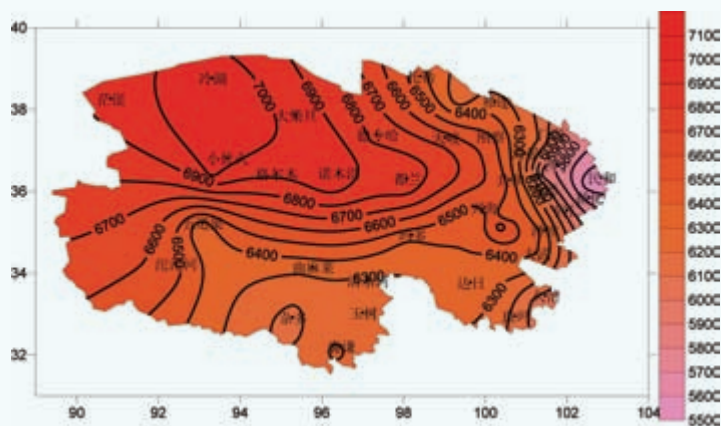


图1 青海省总辐射空间变化分布图 (单位: $\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$)

内平均出力过程看，光伏电站日内基本在 7:00—21:00 发电。

二、太阳能光热

太阳能光热发电，是利用大量抛物型的反射镜将太阳辐射能聚集到吸热装置并将其转化给传热流体导热流体的热能，传热流体再利用此热能通过涡轮机械或其他发电设备转换成电能的技术。

太阳能光热发电由于配备了储热系统，受太阳辐射变化影响小，可像常规电源一样接受电网的调节，具备稳定的电力输出和较好的调节性能。带有储热装置的太阳能热发电系统在白天将一部分太阳能转化为热能储存起来，在傍晚之后或者电力需求晚高峰时段用于发电以满足电网的要求，从而可保证电力输出更加平稳和可靠。

三、风电

根据风电 4000MW 逐十分钟出力过程，风电全年平均出力占装机容量 21.1%；最大出力为 4000MW，占装机容量 100%，达到满发；最小出力为 0；风电出力为 3600MW（即容量系数为 90%）时，保证率为 7.7%，累积电量 98%。

从风电各月出力变化图上看，3—5 月平均出力相对较大，其他月份出力较小。最大平均出力出现在 4 月，为 1420MW；最小平均出力出现在 1 月，为 180MW。出力最小月份（1 月）约是最大月份（4 月）的 13%。

从风电分时变化曲线上看，各时平均出力变化不大，最大出力为 760MW，最小出力为 516MW。虽然年内逐时平均出力变化不大，但同一时刻各自出力变化无规律，既有最大出力为 4000MW，也有出力为 0。

四、抽水蓄能

抽水蓄能电站既是发电厂，又是电力用户，是一种可以平衡系统峰、

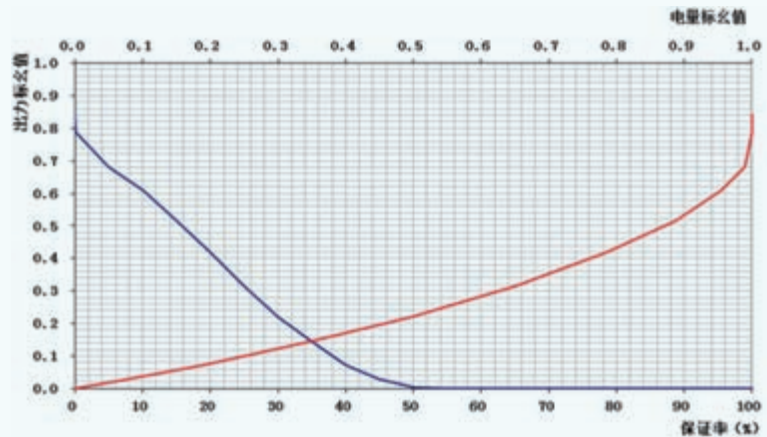


图2 海西光伏出力—保证率—电量累积曲线

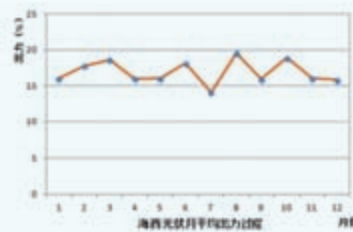


图3 海西光伏月平均出力过程

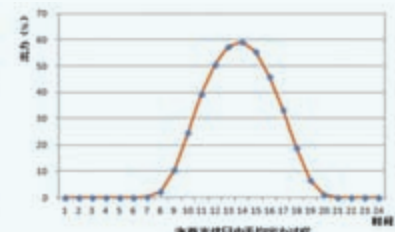


图4 海西光伏日内平均出力过程

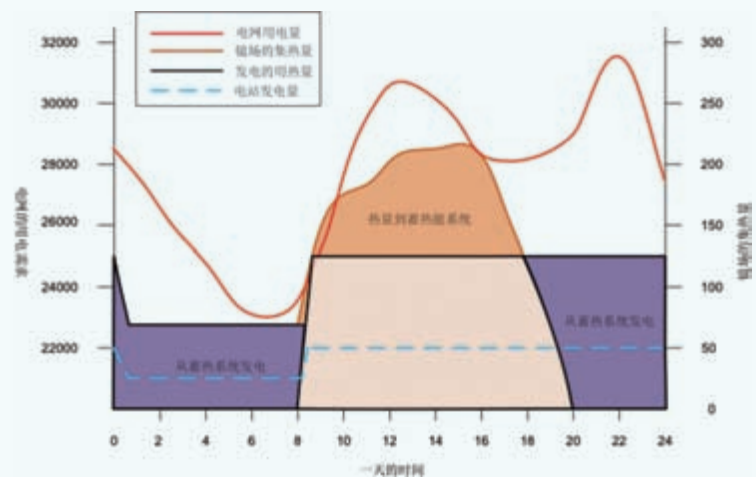


图5 带蓄热装置的光热日内运行过程示意图

谷用电需求，可间接储存电能的特殊电源点。它利用系统用电需求低谷时的剩余电力驱动水泵，将水从下水库抽到上水库储存起来，即电能转化为动能；然后在系统用电需求高峰时放

水发电，即动能再转化为电能。抽水蓄能电站以特有的既调峰又填谷的双重作用，可缓解电网的调峰困难，改善系统光伏、风电等新能源电源的运行条件，减少弃风、弃光量，提高新

能源的利用率。

由于太阳能光伏、风电出力均具备波动性、随机性等特点，特别是短时间内发电出力变化较大时，会对电力系统短时间的有功功率平衡及频率稳定产生影响，为维持系统频率稳定，需要电网配置足够的快速反应容量来适应新能源出力的随机波动。抽水蓄能电站承卸负荷迅速灵活，能适应负荷的急剧变化，调频性能好，可以很好地承担电网快速负荷跟踪和维持电网频率稳定任务。

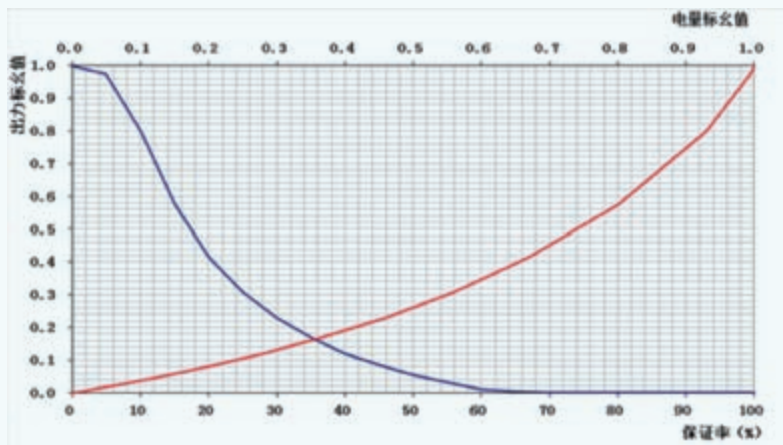


图6 海西风电出力—保证率—电量累积曲线

多能互补运行方式研究

一、互补运行分析原则

(1) 分析时段以小时为主，主要研究日内互补运行方式，小时内出力变化由电调控制系统控制。

(2) 海西地区电力电量考虑通过直流特高压输电通道外送，考虑通道输电容量对互补电源发电容量的限制。多能互补运行方式即考虑送端电源发电特性，又尽可能适应受端电网负荷需求特性，电力负荷需求按照日内呈现两至三个台阶状来考虑。

(3) 目前光热发电缺乏实测出力过程，本次分析暂按光热电站年利用小时 3500 小时考虑。光热电站在太阳能辐射强时最小发电出力不低于装机容量 20% 考虑。

(4) 针对各类能源的发电特性，在风光发电出力自然组合的基础上，分析其风光组合电源发电特性，并以风光互补后为基础，由光热、抽水蓄能电站进行补偿分析。

二、互补运行方式分析

根据风光组合电源后的出力过程，选取较大、平均、较小三个代表日对互补运行方式进行分析。

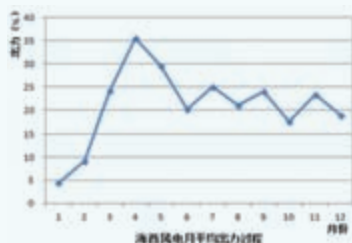


图7 海西风电月平均出力过程

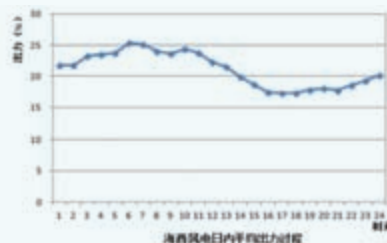


图8 海西风电日内平均出力过程

从图 9 可见，在较大代表日情况下，考虑外送通道输电容量限制后，风电、光伏、光热、抽水蓄能互补后，日内平均出力呈现三个台阶状：

1 : 00 — 9 : 00 之间平均出力占外送通道输电容量比值为 50% ；此时段主要由光热通过蓄热系统发电，并伴有风电运行。

9 : 00 — 18 : 00 之间平均出力占外送通道输电容量比值为 50% — 100%。出现风电、光伏大发时，光热压低至最小技术出力运行，将大量太阳能转换为热能蓄至储热系统中，超出线路输电容量的新能源通过抽水蓄能抽水。

18 : 00 — 24 : 00 之间平均出力占外送通道输电容量比值范围为 70%。晚高峰时段主要由风电、光热、抽水蓄能发电运行。

在较大代表日情况下，日内平均出力约占外送通道输电容量比值范围为 69%。

从图 10 可见，在平均代表日情况下，考虑外送通道输电容量限制后，风、光、光热互补后，日内平均出力呈现三个台阶状：

1 : 00 — 8 : 00 之间平均出力占外送通道输电容量比值为 22.5%，主要由光热储热部分发电。

8 : 00 — 17 : 00 之间平均出力占外送通道输电容量比值为 22.5% — 100% ；主要由光伏、风电、光热运行，同时光热将多余热能蓄至储热系统中在傍晚以后发电。

15 : 00 — 24 : 00 之间平均出力占外送通道输电容量比值范围为 67%，主要由光热储热系统发电。

在平均代表日情况下，日内平均

出力约占外送通道输电容量比值范围为 56%。

从图 11 可见，在较小代表日情况下，考虑外送通道输电容量限制后，风、光、光热互补后，日内各类电源互补后平均出力呈现两个台阶状：

1:00—10:00 之间平均出力占外送通道输电容量比值为 22.5%，主要由光热储热部分发电运行。

11:00—24:00 之间平均出力占外送通道输电容量比值为 49%，主要由光热、光伏、风电运行。

在较小代表日情况下，日内平均出力约占外送通道输电容量比值范围为 37%。

三、小结

(1) 根据风电出力特性分析，风电随机性强，月际平均出力约 40% 变化，发电量 95% 的有效容量系数较高。

(2) 根据光伏发电出力特性分析，光伏发电以日变化为主，月际平均出力约 20% 变化，发电量 98% 的有效容量系数约 0.66。

(3) 以风光组合电源发电特性分析，发电量 95% 的有效容量系数约 0.52；发电量 98% 的有效容量系数约 0.57。光热电站通过储热单元可对风光发电出力进行补偿，在太阳能辐射强时最小发电出力不低于装机容量 20%。

(4) 通过光伏、风电与光热、抽水蓄能互补运行，负荷高峰时段的出力可达到送电通道输电容量的 50%—100%，可以较为稳定、有效地送出可再生能源的电力电量，提高输出电能质量。

结语

青海海西地区具备多能互补的基础条件，本文针对太阳能光热、抽水蓄能、光伏、风电互补运行方式进行

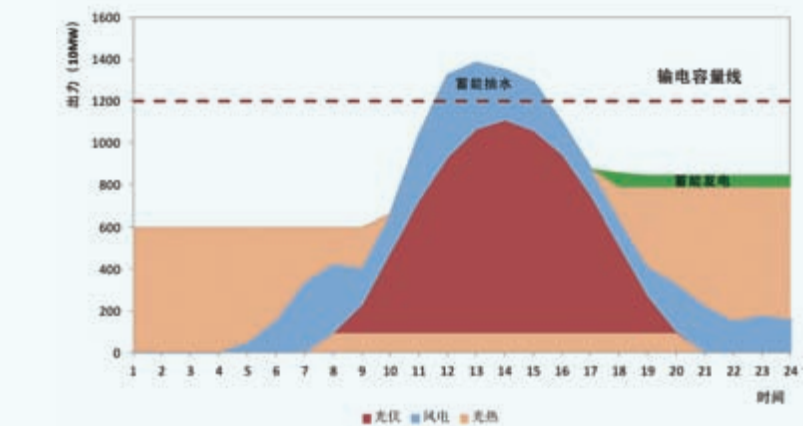


图9 基地电源互补运行方式（较大代表日）

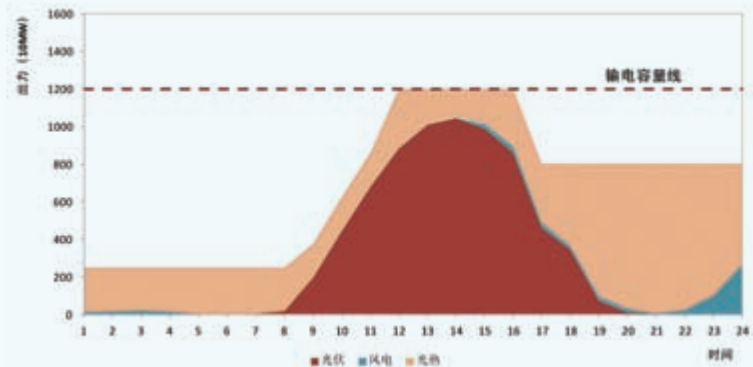


图10 基地电源互补运行方式（平均代表日）

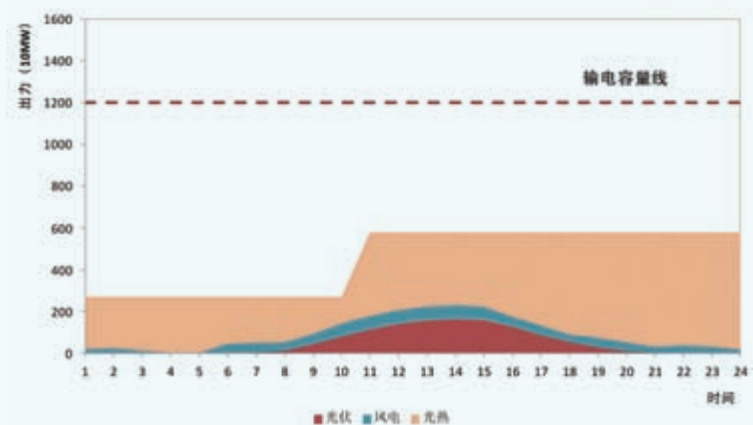


图11 基地电源互补运行方式（较小代表日）

了分析和研究，充分利用光热、抽水蓄能电站对光伏、风电的补偿作用，来削弱光伏、风电不稳定波动，更大地发挥了可再生能源的优势，对太阳

能光热与常规清洁能源的互补运行具有一定指导意义。☑

（作者单位：中国电建西北勘测设计研究院有限公司）

浅谈SCADA数据分析在风电场运维中的应用

文 | 张庆运, 史丽荣

海上风电场运维面临的挑战

海上风电因风况优良, 资源丰富而备受青睐, 装机数量正在快速上升, 见图 1 和图 2。从数据来看, 全球每年的平均增长速度达到了 30%。

尽管看上去前景美好, 但是在实际运营中, 海上风电的运维成本及维护难度巨大(图 3)。主要体现在以下几点:

1. 交通成本高: 运维时需要特殊的交通工具, 无论是船只、快艇还是直升机, 其运行费用都比较高, 目前专门用于海上机组运维的船只正在研发之中。

2. 维修成本高: 更换机组大部件需要特殊的吊装船只, 费用昂贵; 对备品备件的质量可靠性要求高, 所以备件成本也高。

3. 停机成本高: 由于海上风电场风况较好, 一旦停机, 电量损失大; 并且, 开展维修作业时, 受天气因素、海况变化影响较大, 导致安全风险大, 留给维修的时间窗口小, 如果错过会导致无法及时恢复发电, 损失电量。

4. 人工成本高: 对机组进行维护或对其故障进行修复, 要求运维人员经过特殊的培训, 具有丰富的经验、强健的体魄和一定的理论基础, 还要能够忍受恶劣的自然环境和驻外工作

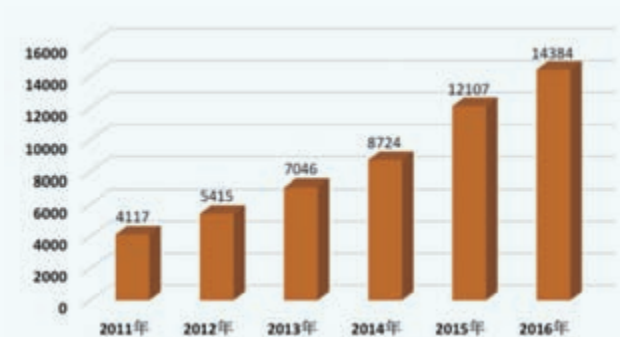


图1 2011年—2016年全球累计海上装机容量统计图



图2 中国历年海上装机容量统计图



图3 海上风电现场运维实景图

的孤独，所以海上运维的技术人员成本会较高。

以上运维费用合计，可能会超过整个生命周期内的机组设备成本。根据目前英国运维数据的统计，海上机组的维护成本占全生命周期成本的25%—30%左右（另有数据表明可能达到35%）。

数据分析技术面临的机遇

降低海上风电场运维成本的措施是多方面的，比如优化设计，提高设备的可靠性；改进、优化进入机组、风电场的装备和措施；做好机组的运营维护规划，做到预测预防性维护，减少修正性维护的概率和时间等等。对于机组运营商，在机组设备已经定型的前提下，可以开展的工作是做好预测预防性维护，设计好运营维护的规划，以减少进入机组维护维修的机会，选择在最佳的时机进行维护、维修。而要做到这一点，数据分析可以发挥很好的作用。

大数据技术的不断成熟，使得大数据分析越来越被各个行业看好，也越来越逐步发挥其掘金、省钱的角色。通过大数据分析，可以优化风电场的发电输出、优化机组的设计、优化机组的载荷输出、优化机组的运维策略以及降低全生命周期内的维护成本等等。目前，各种工具和平台都很多，比如“蓝色巨人”IBM已经涉足风电运维的数据分析支持业，各个风电运营商也都越来越重视数据的分析，看到了运行数据的价值，成立了自己的数据分析中心。在这方面，龙源电力、中广核风电等国内大企业都已经走在行业前列。

机组运维正在向精细化、专业化

方向发展。同时，机组运维数据分析技术也正在向以下三个方向发展：

1. 开展多种数据源，进行综合、全面的分析，包括在线振动数据、油液质量数据、电能质量数据等（预诊断和健康监测系统在海上机组非常必要，比如除了温度压力振动等常规参数，还要检测温度场、热像、绝缘、图像自动传输、电池健康自我诊断等）。

2. 动态、在线式数据采集与分析技术得到逐步的应用，并逐步应用到机组的全生命周期；（定期地或者在某种条件下触发，启动针对机组运行状态的动态数据采集，并进行分析，以诊断机组的各种响应状态和健康状态，比如说现在的振动监测系统，就需要进一步提高：信号采集中要包括风速、功率、风向偏差，要具备在多种条件下触发采集的功能，以利于准确分析）。

3. 各种高级数据分析算法被逐步实践应用，数据分析逐步向认知计算的方向发展。

4. 基于SCADA数据分析的维护支持策略—预防性、预测性维护。机组长期运行过程中，SCADA系统一直在记录存储着机组运行状态数据。其特点是数据采样周期较长（秒级数据或者更长的间隔），记录着机组运行过程中的关键数据，数据存储的体量较小（每年一个5万千瓦的风电场数据量在数百G的容量）。针对SCADA数据的分析不需要增加额外的硬件采集系统，成本较低，数据分析方便。但是，由于其数据采样率较低，对于机组动态数据分析还需要借助于专门的数据采集软件作支持。

鉴于海上机组的建设高投入，高运维费用的现状，对于机组的运维策略将不能再按照目前陆上机组的粗放

式运维方式进行，否则，风电场运营的利润根本无法保证。相反地，必须采取精细化运维方式，将风电场运维的层次从被动的救火式维修、定期检修，上升到状态检修，并逐步发展到运用大数据分析进行预防、预测性运维方式。

对机组SCADA数据开展分析，是对机组运维数据分析的第一步。通过对机组SCADA数据进行分析，可以发现机组的亚健康状态，总结机组运行的状态趋势，预测机组的健康趋势，评估机组的部件性能，根据数据的分析结果，计划性地安排机组的维护和维修，减小进入机组的停机次数，尤其是针对于海上机组，进入机组的难度、成本、风险都很大的情况，从而减少计划外停机，减少电量损失。所以，基于SCADA的数据分析可以为优化维护策略、开展预防性、预测性维护提供支持。

要对SCADA数据进行挖掘分析，首先要掌握机组SCADA各个变量的物理意义以及各个变量之间的因果关系，设计一些评估机组健康状态的指标和指标的算法，并优化机组健康报警指标的阈值。利用大数据分析的各种技术，比如常规的概率统计方法，支持向量机SVM算法、ANN技术、贝叶斯算法等，来找出各种指标与机组健康状态之间的关系及评价结果。这些指标和机组健康状态之间的因果关系判断需要风电行业的专家给予物理上的支持。

根据SCADA数据，可以分析的指标有机组的功率输出性能、关于机组各个部件温度—载荷的关系、各种压力、转矩、机组的振动状态、轴承的润滑状态、齿轮箱的润滑冷却系统的健康状态、叶片的表面质量、风速仪、

风向标的健康等等，通过这些指标的分析，对机组各个部件的健康状态、发展趋势、影响后果、紧迫程度等给出评级和分类。

根据数据分析的结果和部件健康等级分类，制定相应的主动维修策略、优化维护、维修计划，从而实现预测、预防性维修，减少对机组的进入次数，从而减小机组的停机时间，减少电量

损失，降低运维成本。

SCADA 数据分析的局限与存在的问题

目前，对于 SCADA 数据分析还存在以下问题和局限性：

首先，SCADA 数据变量存储规范和数据共享规范。由于各个主机厂家

的设计思路和数据存储构架不同，开展对不同品牌机组的 SCADA 数据分析时，数据的访问和提取方式，数据的格式和规范、机组状态变量存储的数量和采样间隔都不相同，而有的主机商对机组变量的开放范围也不相同，这就为第三方数据分析开展带来一些障碍，所以，对于机组 SCADA 数据的变量存储规范和数据共享规范还需要建立和完善。

其次，在实际的数据分析中，还发现数据的完整性有待完善，数据出现中断情况。数据的中断可能导致关键的一段数据丢失，为数据分析错失一些宝贵的预警机会。所以，对于 SCADA 系统的可靠性还需要从软件设计、通信硬件质量改善、传输介质质量方面进行提高。

再者，对于动态数据的采集方式在 SCADA 系统中还需要加强和完善。还需要增加报警或者故障录波的数据存储在 SCADA 数据中的机制。这样，对于故障录波高分辨率采样数据的分析就会变得更加便捷，可以为机组的健康诊断模型的建立提供更多的样本。当前的故障录波数据大多还是以平面文件方式存储在机组主机的本地控制器上，还需要手动下载，这给数据访问的自动化带来了额外工作。

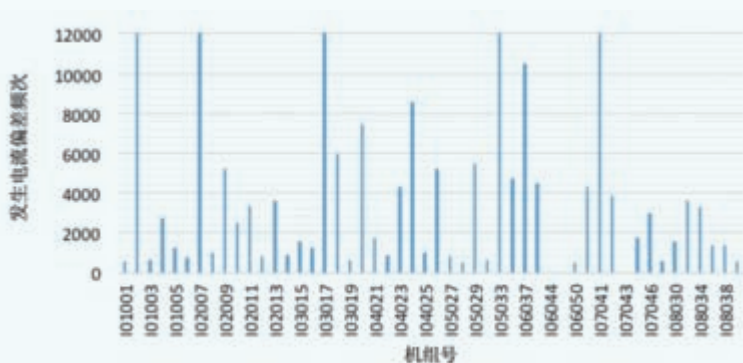


图4 某机型机组发生三相电流不平衡频次统计图

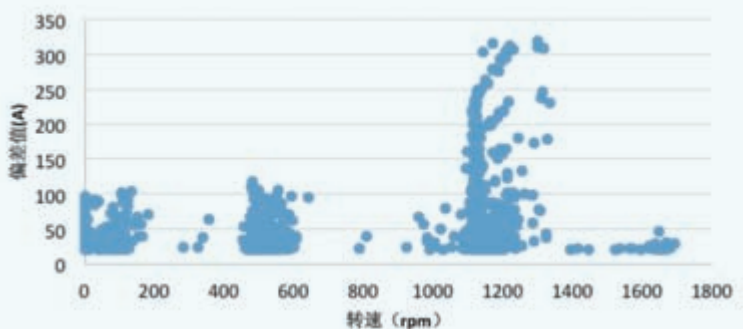


图5 三相电流偏差与转速关系散点图

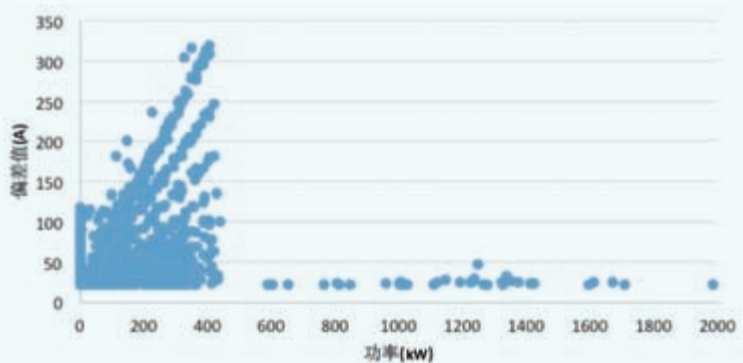


图6 三相电流偏差与功率之间关系散点图

分析案例分享

在此，分享两个基于 SCADA 数据分析的案例。

案例一：三相电流不平衡

图 4、图 5 和图 6 是某 2MW 机型出现上网电流不平衡的案例，该机组的变桨系统属于液压驱动型。在我们对数据分析之前，运营商一直被该问题所困扰。

我们对 SCADA 的数据进行了大量的分析和统计。从数据统计结果来看,该机型存在着大量的三相电流不平衡现象,如图 4 所示。

我们对电流不平衡跟功率、转速之间的关系进行了分析,如图 5 和图 6 所示。

根据统计图形上的特征,我们对 SCADA 的秒级数据进行了更进一步的分析,发现电流偏差和液压系统的压力具有如图 7 所示的关系。

图 7 说明,电流偏差和液压系统压力有关系,在液压站电机(30kW)启动打压的时候,出现了电流不平衡。

进一步地对液压站电机的控制回路做检查,发现是液压站电机接触器的烧蚀引起了三相电流不平衡,并且这种电流不平衡偏差可能达到了 200A 以上,存在着严重的安全隐患。液压站电机接触器的烧蚀图片如图 8。

同时,我们分析了电流偏差和发电功率之间的关系如图 9,表明在发生三相电流不平衡时,无功功率发生了波动和冲击的现象。

根据数据分析,我们分析在并网时无功波动是由于并网滤波回路造成的,经过检查,并网滤波接触器发生了严重的烧蚀,如图 10。

对以上两个接触器进行了更换,并对其他机组做了相同的检查与更换,提出了减少电流不平衡的技术改造方案,找到了电流不平衡的原因,并消除了由于接触器烧蚀可能带来的接触器拉弧、液压电机损坏、滤波电容损坏以及火灾的安全隐患。

以上分析都是基于 SCADA 数据的基础上开展的,经过分析,找到了问题的根源,为机组的计划性维护和预测性维修提供了支持。

案例二:偏航减速器损坏的预防

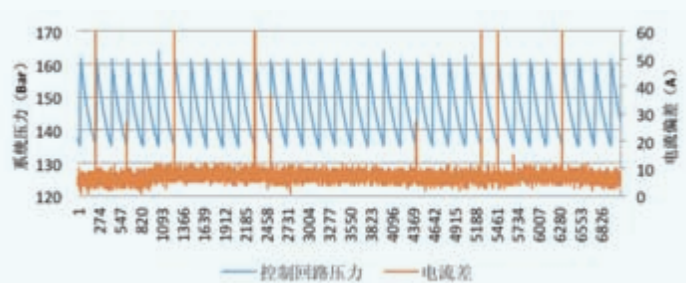


图7 某机型机组控制回路压力与电流差关系曲线图



图8 液压站电机接触器的烧蚀图片



图9 三相电流曲线与无功功率关系曲线图



图10 并网滤波接触器发生了严重的烧蚀图片

在机组偏航系统中，偏航电机的功率反映着偏航系统的健康状态。针对风电场偏航减速器损坏的机组 SCADA 数据分析，找出了预防偏航减速器损坏的措施。图 11 是国内一台某 1.5MW 机型偏航减速器行星架损坏的照片。



图11 某1.5MW机型偏航减速器行星架损坏的照片

从图 11 来看，行星架开裂，花键套开裂。从力学上分析，造成这样损坏的外力应该来自于机舱而不是来自于驱动电机。由于机舱没有被偏航卡钳可靠地锁止在塔架上，在大风的情况下，风力吹动造成了机舱的转动，从而使机舱巨大的转矩损坏了偏航减速器。经过分析，SCADA 中反映该机组偏航功率如图 12。

经过分析，由于该机的偏航功率偏低，究其原因可能是偏航卡钳的阻尼调节得偏低，使得在大风下卡钳无法将机舱固定引起的。

使用同样的分析思路和算法，将其他机组的最大偏航功率做同样的分析，找出了其他存在相同隐患的机组，并加以调整，避免了偏航减速器的进一步损坏。对该数据的分析，可以及时发现偏航衬垫的磨损程度和趋势，为物料准备和计划维护提供指导意见。

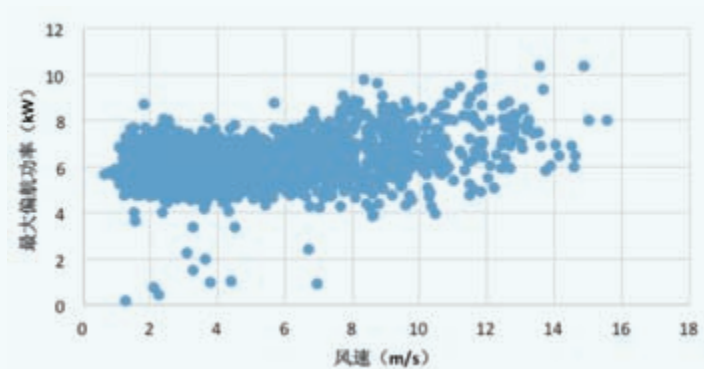


图12 某1.5MW机型最大偏航功率与风速关系散点图

结论

对于机组的运行数据分析，当然是数据越全面、越细致、数量越多越好。随着大数据技术分析技术的成熟，

可以越来越方便地处理分析这些巨量的数据。

基于 SCADA 数据分析工作，可以在不需要额外硬件投入的情况下，

挖掘 SCADA 数据的价值，从而为机组的预测性、预防性维修、维护策略提供支持。

(作者单位: 北京优利康达科技股份有限公司)



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。



海上风电场离岸升压站关键技术研究

文 | 高宏飙, 刘碧燕, 罗雯雯

海上风电场开发正趋向规模更大、水深更深、离岸更远的方向发展, 对于容量较大且离陆地较远的海上风电场, 考虑到 35kV 电缆传输容量、电压降、功率因数等问题, 为提高运行经济性, 需设立离岸升压站。海上升压站作为离岸型海上风电项目的输变电核心设施, 出现故障电量损失巨大, 而国内海上升压站建设刚起步, 为确保全寿命可靠运行, 亟待进一步研究。

国内外海上升压站发展概况

欧洲海上风电发展较早, 近二十年积累了大量工程经验。海上变电站的结构布局, 从敞开式、到半敞开式、再到全封闭式; 基础支撑结构, 有重力式、单管桩式、导管架式; 输电形式, 从小容量、离岸近的交流输电, 到大容量、离岸远的柔性直流输电。技术不断升级, 逐步适应海上风电场规模发展要求, 总体建设及运行经验较成熟。

我国海上升压站建设, 总体上还处于起步阶段, 2015 年 10 月到 2016 年 12 月期间, 已建成 4 个海上升压站。需在运行中检验设计布局和细节, 积累施工和运维经验数据, 借鉴国外设计与认证标准, 积极开展相关研究, 不断总结、优化, 指导后续项目的建设。

海上升压站的建设发展大致经历了 3 代: 第一代, 装机规模 20 万千瓦以下, 交流输电, 单台主变或单回海缆, 代表工程有丹麦 Horns Rev 风电场、英国 Barrow 风电场、中广核如东风电场、大唐滨海风电场、华能如东风电场; 第二代, 装机规模 30 万千瓦至 60 万千瓦, 交流输电, 多台主变或多回海缆, 代表工程有英国 Inner Gabbard 风电场和 Galloper 风电场; 第三代, 柔性直流输电, 代表工程有德国 Bardl 风电场。

国内外典型海上升压站, 如表 1 所示。由表 1 可见: 海上升压站发展也是从简到繁、从浅到深、从单桩到导管架, 重量递增。

海上升压站设计、建设及运维关键问题

一、标准规范

目前专门的海上升压站标准主要为《Offshore Substations For Wind Farms》(DNV-OS-J201), 该标准主要对防火、防爆、疏散逃生等提出原则性要求, 细则主要借鉴海洋平台相关标准, 如:《海上固定平台安全规则》《浅海固

表1 国内外典型海上升压站

| 序号 | 名称 | 照片 | 备注 |
|-------|---------------------|---|--------------------------------|
| 第 1 代 | 欧洲 |  | 水深 20 m 重量 440t |
| | 江苏如东 |  | 15 万千瓦单管桩式 |
| | 江苏滨海 |  | 20 万千瓦导管架式 |
| 第 2 代 | 欧洲 Borkum WestII |  | 水深 30 m 重量 2500t |
| | 欧洲 HelWin alpha |  | 重量 12000t |
| 第 3 代 | 德国 Bardl |  | 40 万千瓦, 离岸 90km, 电压等级为 ± 155kV |

定平台建造检验规范》《海上固定平台规划、设计和建造的推荐作法》(APIRP2A-WSD);由于海上与陆上环境不同、海洋平台和海上升压站特点不同、国内和国外标准适用性不同,给海上升压站设计、施工带来困扰,需深入研究。

二、海上升压站结构

海上升压站结构一般包括基础结构(下部结构)和平台结构(上部结构)。基础结构一般分为导管架式、单桩、重力式、自升式。平台主要为钢结构,主要布置电气设备。

目前国内没有成熟的海上升压站设计规范,由于其平台结构形式、受力方式类似于海上石油平台,因此在设计分析过程中,可参照海上石油平台分析方法。

以某项目为例,场址水深14m,50年一遇波高7.8m,波周期8.4s,离岸20km,四层平台,高20m,主结构 $32.4 \times 40\text{m}$,总重2460t,如图1。

电缆层以上的两层封闭,顶部、侧面结构方便主变压器更换时吊运。下部结构为导管架,受力、拼装与基础导管架不同,吊装运输也相对复杂、要求更高。

(一) 电气设备布置

一层为电缆层及结构转换层;二层为主变、GIS、高压电抗器、35kV配电室、站用变、低电阻系统和继电保护室;三层为动态无功补偿、低压、直流和通信室。并用tribon三维建模,查找电气系统、暖通系统、消防系统设计中,设备、管道、电缆及结构的干涉问题,进行优化修改。

(二) 通风设备与冷却系统

海洋大气环境具有高湿度、高盐分的特点,为了给升压站设备营造一个类似陆上的工作环境,设计通风暖通系统,包括通风装置和加热冷却装置,控制单元根据季节气候的交替、主要设备层及排风、送风主通道的温度和湿度变化,以及海上升压站各主要机电设备的运行工况,对风冷空调系统、排风系统、送风系统等进行控制,使空气的温湿度、流速及新鲜度、洁净度等指标符合要求。

1. GIS室、开关柜室事故排风

在GIS室、开关柜室设置SF₆气体泄漏报警装置,当接收到SF₆气体泄漏信号后,启动排机组排气。

2. 主变室应急排风系统

主变室屋顶设置应急排机组,当主变室空调器(包括备用空调器)均发生故障时,开启应急排风系统进行排风,排机组出口电动风阀与机组联锁。

(三) 海上升压站SCADA系统和通信系统

海上升压站SCADA系统一般分成2个独立的系统,1



图1 海上升压站结构模型



图2 穿舱件与斜撑干涉图

个为升压站的监控系统,另1个为风电场本身的监控系统。SCADA系统提供监视所有不同设备的数字、模拟或总线传输的信号,SCADA系统能适应极限环境。SCADA功能:有编程工具,易形成带有搜索和分类功能的历史报告;能接收和储存海上升压站平台所有监控设备、消防报警数据,报警和事件、所选测量值的长期储存,趋势数据的储存、报警分析及管理。

海上升压站离岸距离远,风大浪大,无线通信容易受到漫反射干扰而信号中断频繁。为保证海上通信的正常,网络和数据可通过海底光电复合海缆内的光纤传输至陆上,并设光缆或卫星通信作为备用。平台局域网接至所有房间、无线电话收发器覆盖所有室内。安装3台甚高频电台,保证平台上人员与服务供给船、直升机联系和应急呼叫,其中1台在员工房间、2台在可充电房间内。

(四) 平台救生装置、逃生通道与集散区

海上升压站平台一般按照无人值守设计,允许少量运

行检修人员逗留，平台上配备足够数量的救生衣、救生圈、救生筏等，所有救生设备均需经中国船级社认可。

1. 救生衣

按设置人数配备足够带有哨笛和救生衣灯的救生衣，救生衣存放位置易于达到和取用，并标有醒目标识；在不易取得救生衣及远离救生筏区域，也准备足够的救生衣；在救生筏、海上疏散系统上提供抗暴露服。

2. 救生圈

配置足够的救生圈，且标明所属平台名，不少于一半的救生圈配置自亮浮灯，不少于2个救生圈配置有自亮浮灯和自亮烟雾信号，不少于2个分开放置的救生圈配置漂浮救生绳，绳索长度至少是甲板至水线距离的1.5倍或30米，二者取大；救生圈沿甲板边缘布置，在危险区外。

3. 逃生通道和逃生路线指示灯

在设计中通过疏散分析对逃生路线进行评估，识别和消除危险点：如在逃生过程中的各种拥挤可能，救援队伍逆人流前进等；确保逃生通道足够可靠，逃生路践、集合站、登陆站或救生筏不会因偶然事件而不能使用。

对可能定期或临时住人的任何区域至少有2条逃生通道，通向甲板或登船点；每个设备空间如主要电气设备，有2条主要逃生通道，且通行便捷、没有障碍、沿途门都能便捷打开；主要逃生通道或楼梯，净宽不小于1m，高度不小于2.1m，有醒目标志、显示逃生方向。逃生通道沿线无有毒烟气、致命热载、热液体或坠物。所有门都能一人开启，门均向逃生方向开启，且不妨碍外侧逃生通道。

逃生路线指示灯，除生活区外，都安装在甲板逃生路线、拐角和叉路口，由应急电源供电。

逃生集合点根据在有组织和有效安排下疏散的实际人数设置，并考虑担架运送伤员要求；位于救生船登陆点，或通向救生船或主要逃生通道的保护区；有应急照明，广播、报警和通信系统，能在危险时立即警告和引导人员。在主要

逃生集合点配备：2部便携式无线电发报装置，广播装备、启动应急装置关闭的装备，安装在逃生集合点附近，广播、报警和应急通信系统由应急发电机、UPS供电。

(五) 消防系统

海上升压站离岸远，一旦发生火灾，主要靠自救。平台上安装一套自动火灾探测、报警系统和灭火系统，火灾报警系统集成在SCADA和通讯系统技术标准中。

1. 火灾探测

根据不同火灾监测设备和范围类型，安装一定数量的不同类型的探测器。感烟器安装在DNV-OS-J201海上升压站标准推荐的每一个空间，感烟探测器符合DS/EN54-7和DS/EN54-12标准，安装后应进行不同条件下的烟检测试验。在备用柴油发电机房和车间等房间，惰性气体应能覆盖，并安装感温探测器。火焰探测器安装在屋外区域，如主变散热器区域和柴油储存区，火焰探测器符合DS/EN54-10标准。手报的火灾报警应布置在没有安装惰性气体或喷淋手动释放点的通达/逃生路径上，手动惰性气体释放按钮安装在惰性气体覆盖的房间外，手动喷淋释放按钮应布置在喷淋覆盖区域附近。

2. 火灾报警

报警音响器应布置在整个平台，确保在所有地点的室内和室外均能听到。当惰性气体将释放或已释放时，火灾报警应能听到。惰性气体覆盖的房间，应安装1个黄色出逃闪光引导灯，在惰性气体释放前黄色闪光灯闪30秒，警示在区域人员。

3. 灭火系统（见表2）

三、海洋腐蚀与防腐

海上升压站所处于海水、盐雾的苛刻海洋腐蚀环境，电化学腐蚀导致钢构强度、电气设备性能降低。

(一) 设备防腐措施

1. 主要采用密封、隔离腐蚀源的防腐，设备部件安装

表2 消防灭火系统类型

| 类型 | 名称 | 特点 | 适于类型 |
|------|--------------|-----------------|---------------|
| 主动灭火 | 高压细水雾（图2） | 气体、水双重灭火，绝缘、环保好 | A、B、C、E类火灾 |
| | 惰性气体 | 响应快、效率高、无毒 | 除主变、高抗间外的封闭空间 |
| | 火探管式气体 | 报警、灭火一体 | 控制室等大空间 |
| | 水成膜泡沫 | 泡沫和水膜隔绝空气、窒息灭火 | 有可燃液体的开放空间 |
| | 移动式灭火器 | 非固定，可移动 | 适于巡视人员灵活使用 |
| 被动灭火 | 防火墙、防火涂料、防火门 | 可靠性高、成本低 | 一定时间内防止火灾蔓延 |

位置由室外改为室内，显著降低腐蚀，例如门铰链（图3）。

2. 将海上升压站电气设备布置在封闭的空间内。
3. 散热量极大的主变压器。

（1）采用“海水、冷却水、变压器油”二级热交换的闭式循环水冷系统，避免了与盐雾接触带来的腐蚀。

（2）选用 GIT 系统（图4），采用六氟化硫气体绝缘，敞开式布置。

（3）主变压器本体及油枕、中性点设备为户内布置；散热器及油管为户外布置，密封式变压器设有呼吸器和胶囊式储油罐，通过容量可变的散热器（图5），散热器需通过5000次以上伸缩疲劳试验，解决热胀冷缩绝缘油体积的变化，变压器油不能吸收外界水分，因而不会降低绝缘度，氧气、盐雾没法进入油箱，避免了腐蚀。同时散热器可伸缩的设计要求，不宜使用镀锌防腐，采用电泳漆层防腐，涂层厚度既满足防腐要求，又满足散热效果。

（二）结构腐蚀及保护

海生物的污损，如藤壶、苔藓虫、石灰虫和海藻等，对钢结构的腐蚀影响较大。由于污损层的不渗透性和外污损层中嗜氧菌的呼吸作用，使钢结构表面形成缺氧环境，引起氧浓差腐蚀。

采用 PTC 包覆防腐系统，大于 25 年防腐保护寿命，且服役寿命周期内免维护。

海上升压站施工

一、升压站主体施工方案

主体施工，按施工区水深，可采用不同的施工方案：

1. 整体吊装式：传统施工方法，拼装完成后，采用海上大型浮吊进行吊装。

2. 浮运自升式：类似自升式平台，升压站平台（带4根桩腿），浮运至现场，插腿，抬升至设计标高。

3. 浮拖法：先沉桩，平底驳船装载升压站平台浮运至现场，乘高潮位将驳船插入桩位中间，退潮时将平台搁支在桩上，抽出驳船，完成安装。

二、导管架式海上升压站施工

1. 岸上制作

具体包括：钢管桩制作、导管架制造与总装（图6）、上部组块制造与总装、舾装及设备安装。

2. 导管架基础结构施工

施工流程：钢结构运输→导管架沉放、调平→钢管桩



图3 高压细水雾灭火系统

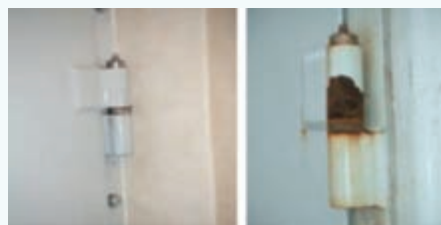


图4 室内门铰链（左）、室外门铰链（右）



图5 GIT系统

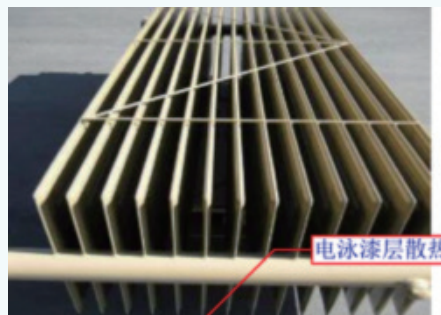


图6 封闭式变压器上容量可变的散热器

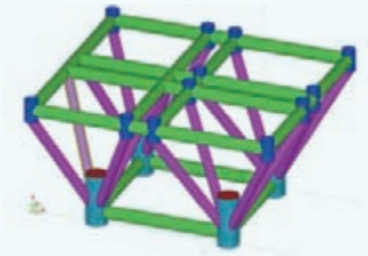


图7 导管架制造与总装

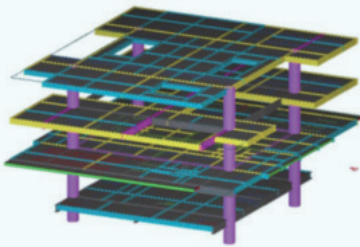


图8 上部组块制造与总装



图9 上部组块吊装

沉桩施工→钢管桩、导管架连接调平与灌浆。

3. 上部组块吊装 (图 8)

为保护升压站内部预组装完成的电气设备,正式起吊前需试吊,控制吊装上部组块柱底部的水平和竖向加速度(不大于 0.2g),采用重力加速度测量仪,对吊装时水平和竖向加速度实时监测。

海上升压站运行及维护

海上升压站采用小船进行人员运送,小船可在浪高为 1.2m 以下行驶,可以将超过 3 吨的货物装卸到机组平台。预计在前 10 年每个机组每年需维护性访问 2 次;随机组服役时间增长,故障和下海维护次数将增加。对机组 24 小时远程监控。一天中 14 个小时保持两艘船待命以运送工作人员解决小问题(冬天有一艘)。

结论

海上升压站的设计、制作、运输、安装、运行维护是一项复杂的系统工程,任一环节出现问题,在海上都会付出数倍的代价。本文通过借鉴国外经验,结合国内施工能力,对关键技术进行研究,为海上升压站经济、可靠建设及运行提供良好的工程指导。☑

(作者单位:江苏海上龙源风力发电有限公司)



摄影:陈裕法

给梦想一个机会



期待你的加入.....

诚聘英才

北京鉴衡认证中心有限公司（China General Certification Center，英文简称“CGC”）成立于2003年，致力于为太阳能、风能等可再生能源和节能环保、碳减排以及家用电器等领域，提供技术开发、标准制定、认证、检测、审核、项目评价以及产业和政策研究等服务的第三方机构。其中，鉴衡风电设备认证证书已被几十个国家的风电项目招标采购，认证结果得到多家银行及保险机构的采信。

为有识之士提供以下岗位：

风资源评估工程师 | 载荷评估工程师 | 机械结构评估工程师 | 控制工程师 | 电气工程师

风电机组测试工程师 | 叶片认证工程师 | 部件认证工程师 | 项目经理 | 销售经理

联系方式：请发邮件至hr@cgc.org.cn，或拨打010-59796665



浮式海上风电： 离岸更远，捕获更大的能量

文 | Sebastian Bringsværd

挪威国家石油公司（简称“挪威国油”）的浮式海上风电技术突破了水深的限制，拓宽了整个海上风电行业的市场及应用领域。2017年1月，挪威国油着手开发世界首个浮式海上风电场——苏格兰“海风”（Hywind）风电场。该风电场位于苏格兰东北海岸，平均风速达 10.1m/s，由 5 台单柱浮式基座各装配 6MW 机组组成，总装机容量 3 万千瓦，预计于 2017 年 10 月投入使用。

“海风”浮式机组的特征优势：

- 简单易组装的基底结构；
- 灵活的设计，可以适用于台风环境；
- 能够优化性能的桨叶控制系统；
- 作业水深最深可达到 700m；
- 实地应用证明可行。“海风”示范项目自 2009 年开始运行，经受住了 44m/s 的风速和最高 19m 海浪的考验；
- 可用于下一代机组。

苏格兰“海风”相关主要参数见表 1。

浮式海上风电的发展定位

浮式风电市场的吸引力主要基于几方面因素。海上固定式风电机组基底建设通常被限制在 50m 以内的浅海区域，而浮式风电可以安装在 50m 至 700m 的水深范围内，这说明浮式技术能满足深海基地建设的要求。据联合国数据显示，大约 30 亿人口生活在离海岸线 100km 的范围内。随着城镇化发展，开发大规模海上风电不仅可以为沿海城市提供清洁可持续电力的问题，也能为经济发展提供重大机遇。

浮式海上风电将“乘风破浪”

海上风电的成本在近年内不断下降。海上风电的迅速



图1 挪威国油苏格兰“海风”（Hywind）风电场
（整个风电场由5台6MW“海风”浮式机组组成）

表1 苏格兰“海风”浮式风电场的主要参数

| 苏格兰“海风”风电场主要参数 | |
|----------------|-----------------|
| 装机容量 | 30 MW (5 x 6MW) |
| 输电功率 | 33kV |
| 水深 | 95m– 120 m |
| 平均风速 | 10.1 m/s |
| 苏格兰“海风”单机结构参数 | |
| 重量 | 约 11200 吨 |
| 轮毂高度 | 98 m |
| 水下深度 | 78 m |
| 漂浮底座最大直径 | 14.4 m |
| 叶片旋转直径 | 154 m |
| 锚链系统 | 3 条线，链和吸附锚 |

发展促进了技术的创新，而且通过对海上风电相关经验的积累和不断学习，不仅打造了有竞争力的供应链，也带动了大功率机组的研发生产。在这个商业领域里装机规模至关重要。目前，欧洲 10 个国家 3589 台并网机组的总装机容量达 1263.1 万千瓦，每年能够为超过 1000 万户家庭提供清洁能源电力。从发电成本的角度说，欧洲的海上风电正在向平价上网靠拢。实际上，风电产业也正在快速地摆脱政府补贴，

而且，因其没有碳排放和放射性废弃物，发展风电更是替代传统能源切实可行的选择。海上风电成本如果继续降低，那么它将对浮式风电成本的进一步降低起到推动作用。挪威国油希望能够建设更多大型的浮式海上风电项目，以期从中获得规模经济效益，全球化供应链的管理和应用创新也会进一步提高。

最成熟的浮式风电概念

挪威国油很早就开始布局新能源产业。2001年推出了“海风”（Hywind）浮式机组概念。“海风”是挪威国油浮式风电的品牌，也是其对传统底部固定式海上风电项目的补充，更是所有浮式概念中最成熟的一个。挪威国油2.3MW的“海风”样机安装在挪威沿岸95m至100m水深范围内，自2009年运行以来，经受住了风速44m/s强台风和19m怒涛级海浪的考验，证明了“海风”的可靠性。在此之后，挪威国油在苏格兰阿伯丁彼得黑德海（Peterhead）岸的3万千瓦巴肯“海风”风电场建设项目，将在2017年底投产发电，届时将满足近2万户家庭的用电需求。挪威国油在欧洲海上风电市场算得上是一个家喻户晓的企业，目前已经将风电业务延伸至美国市场。作为未来具有成本效益、低风险的商业化规模浮式风电场，苏格兰“海风”项目将进一步增强浮式风电场在加利福尼亚、夏威夷、法国和日本等国和地区的市场的吸引力。

发挥挪威国油的优势

通过提出和发展“海风”概念，挪威国油已经把自己定位为浮式风电领域的领导者。在所有的浮式风电概念中，“海风”是成熟性最高、危险性最低的一个。之所以具有巨大吸

引力，源于它的简单性和成熟性。

在海面以下，所应用的各种核心技术都是在全世界的油气领域里可以找到的成熟技术——从单柱浮标基座到锚链，再到吸附锚。在海面以上，采用的是常规的海上风电机组和塔筒。从本质上来讲，挪威国油把油气技术和可再生能源技术结合起来，并因此获得了独特的优势，利用这一优势能够加速浮式风电产业化发展。这其中有一个决定性因素，那就是挪威国油独家专利的运动控制系统，这个系统可以确保风电场的稳定性和高产量。浮式风电市场正在受到挪威国油的高度关注。挪威国油已经是欧洲海上风电市场的重要参与者，并且也在美国市场开发项目。通过苏格兰“海风”风电场示范项目，挪威国油已成为浮式海上风电技术发展和产业化的领导者。通过对这个具有成本效益、低风险的未来商业规模浮式海上风电场的示范，苏格兰“海风”风电场进一步提高了海上浮式风电的竞争力。通过对“海风”结构不断的简化、采用标准化的工业组件以及供应链的拓宽，挪威国油旨在大幅度降低成本，加速储备项目建设，保持浮式海上风电场的领导者地位。

“海风”风电场 + 储能设施

浮式海上风电场的创新还远远没有停止。挪威国油正在开发海上风电的电力储存解决方案，利用电池组和陆上交流器进行储电。在不发电的时候，电池组将释放所储存的电量用于销售。而且，挪威国油自己研发的电力管理系统还能够减少间歇性，优化电力输出。这样做可以在输送电力时提高海上风电利用效率，降低成本。将海上风电与储能电池组相结合突显了这种创新是克服传统电力不稳定性瓶颈的最好方式。这也为未来的项目应用海上风电储能奠定了基础，电量将有可能储存到安置在海上机组结构内的电池里。这种储能



图2 “海风” 2.3MW样机



图3 挪威国油“海风”风电场发展进程

方式不仅提升了浮式风电的价值，也为与开发和存储相关的新业务模式奠定了基础。

提供细致入微的新能源解决方案

挪威国油计划在日本、法国、美国和英国等地利用“海风”技术开发大规模商业化的海上风电场。经估算，这些风电场规模都将达到 500MW 甚至更大。“海风”瞄准了各个市场的微妙差别，这要求为利益相关者和客户量身定制产品，并为不同类型客户的需求提供适合他们的能源解决方案，这主要包括：

第一，大型沿海城市的市场：由于超负荷的能源需求和污染问题，大城市迫切需要清洁电力。对于纽约、洛杉矶这类城市发展大型高效率风电场来说是个机会。

第二，岛国：人口稠密的岛屿，周边水深较深，陆上可再生资源有限，不得不依赖于柴油发电。对于这种类型，可以在不同的位置开发多个风电场。夏威夷就是一个非常好的案例，挪威国油已经开始参与当地的深水浮式风电项目招标。

第三，石油和天然气海上设施：“海风”概念可以作为陆上柴油、天然气向海上石油天然气项目供电的有力竞争者，

特别是在政策优势区域。短期内，挪威国油已经准备在自己的一些油气项目上应用“海风”。由于这类条件下的风电场服务对象能源需求有限（通常是 50MW 至 100MW），因此这个市场的规模相对较小。不过，这或许恰好可以成为未来在全球实现多重设施并存目标的重要过渡市场。

战略目标旨在能源转型

挪威国油在开发“海风”概念的同时，目前正在寻求合作伙伴继续扩宽领域，开发新的商业模式，加速浮式风电全球新市场的开发。“海风”是浮式风电最成熟的概念，挪威国油认为需要开拓更多的海域应用这一概念。同时，“海风”概念成功的关键还要依赖于供应商和风电开发商、技术所有者的密切合作。浮式风电没有理由不按照甚至是低于固定式海上风电（今年在欧洲实现平价上网）的路径去发展，因为浮式风电比固定式海上风电更容易做到标准化。浮式风电的发展只是时间问题，而最好的时机就是现在。🚩

（作者单位：挪威国家石油公司，作者系“海风”浮式风电技术总经理）



摄影：戴美莉

WIND ENERGY

A COVERAGE OF ALL EXCELLENCE OF WIND

传播专业知识 启迪成长智慧



www.fengneng.org.cn



扫一扫，关注中国风能协会官方微信
轻松阅读杂志精华文章

风能
WIND ENERGY

杂志

地址：北京市北三环东路28号易亨大厦1108室

电话：010-59796665-3953(编辑部)

010-64405232-3501(广告部)

传真：010-64228215 邮编：100013

投稿邮箱：gaojian@cwea.org.cn

既有风电场区域粗糙度值设置方法研究

文 | 彭秀芳, 项雯, 王磊

我国沿海地区大多具有地形平坦、风能资源较丰富、施工便利等优势,是理想的风电场建设区域。但随着我国风电行业的迅速发展,沿海地区可利用的土地资源越来越有限,拟规划风电场周边存在既有风电场的现象越来越突出。对于投产前阶段的既有风电场,其粗糙度值设置标准可参考平坦地形粗糙度等级及对应的粗糙度表。对于投产后阶段的既有风电场,其相当于原有地貌上新出现的障碍物,会造成下游区域风速突然减小,随后逐渐恢复的现象,然而到目前为止,有关其粗糙度值如何设置这一问题的研究几乎没有。因此,为提高今后在既有风电场存在条件下其临近风电场发电量估算和选址工作的可靠性,现阶段对既有风电场区域粗糙度值设置方法展开研究,进而准确模拟出既有风电场及其临近区域风能资源分布规律是工作的当务之急,研究结果可为今后既有风电场区域粗糙度值如何设置问题提供相应的解决思路。

本文基于一定研究条件,分别阐述了投产前后既有风电场区域粗糙度值设置方法——“双塔法”的计算原理,并结合某一工程实例验证了本文提出的设置方法的可操作性和合理性。

研究条件

为简化研究过程,本文在以下条件基础上展开研究:

1. 在既有风电场或其临近区域内选取 2 座测风塔,其测风数据需同时满足在既有风电场投产前同一测风年和投产后的同一测风年内有效数据完整率均大于 90% 的要求。
2. 假定在条件 1 中选取的投产前后两个测风年时段内,既有风电场临近区域地形地貌未有改变。
3. 考虑到大多数情况下,拟规划风电场轮毂高度(即场区需模拟的高度)与既有风电场轮毂高度相差一般不超过既有风电场内机组的叶轮半径,因此,对于两者高差超过叶

轮半径的情况本文暂不予研究。

4. 假定影响投产后既有风电场区域粗糙度值的主要因素为机组轮毂高度、叶轮直径以及机组间平均距离,其他因素暂不考虑。

一种新的粗糙度设置方法——“双塔法”原理

“双塔法”顾名思义就是以 2 座符合要求的测风塔测风数据为基础,对既有风电场区域粗糙度值进行计算和设置,进而模拟出满足一定误差要求的整个研究区域的风资源分布规律。

“双塔法”原理为:

- (1) 对既有风电场运行前时段内选取的两座测风塔同期数据分别进行分析和处理,得到两塔在模拟高度处的风速风向数据,并确定输入点和校验点。
- (2) 根据运行前时段既有风电场及其邻近区域的地形地貌特点及分布划分若干个局部区域,并绘制相应的粗糙度线,根据《地形粗糙度线范围对风电场计算的影响》一文中的研究成果,本次绘制的粗糙度线范围距离研究区域边界 3000m 及以上。
- (3) 根据运行前时段既有风电场及其邻近区域的地形地貌特点在表 1 中规定的取值范围内初步确定各局部区域粗糙度值,同时将粗糙度值赋予给相应的粗糙度线。
- (4) 将输入点在模拟高度处的风速风向数据文件以及步骤(3)得到的地形图文件载入到风资源评估软件——WAsP 中进行计算,由此得到校验点在模拟高度处的计算风速 v_i 。
- (5) 验证校验点的计算风速与实测风速之间的误差 ϵ 是否满足规定的要求,即 $\epsilon \leq 0.5\%$, ϵ 的表达式如式(1)所示。

$$\epsilon = \left| \frac{\Delta v_i}{v_i} \right| \times 100\% = \left| \frac{v_i - v_l}{v_l} \right| \times 100\% \quad (1)$$

式中, Δv_i ——运行前时段校验点在模拟高度处计算风速与实测风速的差值;

v_i ——运行前时段校验点在模拟高度处的计算风速;

v_i ——运行前时段校验点在模拟高度处的实测风速。

(6) ε 若满足要求, 则各局部区域的粗糙度值确定完毕; 若不满足要求, 则在规定的粗糙度取值范围内重新调整各局部区域粗糙度值, 并对相应的粗糙度线重新赋值然后重复步骤(4) — (6) 直至检验点的误差 ε 满足要求。

一、投产前阶段

将距离既有风电场较远的测风塔定为计算输入点, 另一座较近或在内的测风塔定为计算校验点。对于平坦地形, 《风电场工程技术手册》中将粗糙度按照不同地形特点进行划分, 详见表 1。

根据投产前既有风电场及其临近区域不同地形分布画出粗糙度线(粗糙度线范围距离风电场边界 3000m 及以上), 在表 1 中规定的取值范围内选取粗糙度值并对粗糙度线赋予相应的值。由于表 1 中这种定义使得粗糙度的取值存在一定不确定性, 为准确模拟场区风能资源, 现通过选定的 2 个测风塔同期(投产前)数据对粗糙度值进行调整, 即以模拟高度处输入点的实测数据为基础, 采用 WAsP 软件为风资源评估手段, 对既有风电场及其临近区域的粗糙度值按所在规定范围内进行取值调整, 直到模拟高度处校验点的计算风速与实测风速之间的误差不超过 0.5% 误差 ε 推求见公式(1)。

二、投产后阶段

以投产前阶段最终确定的地形图文件为基础, 对既有风电场区域粗糙度进行重新赋值, 进而得到新的地形图文件, 为后续进行风能资源模拟工作奠定基础。下面对采用“双塔法”计算投产后既有风电场区域粗糙度值的原理和过程展开论述。

(一) 模型的简化

假设既有风电场内机组的轮毂高度为 H , 叶轮直径为 D , 机组间平均间距为 L 。鉴于在 $(H - D/2, H + D/2)$ 的模拟高度范围内, 运行中的机组类似于一个圆形的障碍物, 可见, 障碍物与障碍物之间的空隙是随着高度变化而变化的, 为简化计算考虑, 本次以机组挡风面积相等为原则将圆形等效成正方形, 简化后模型见图 1, 图中, A 定义为简化后机组与机组间的平均空隙量, B 为等效后的正方形边长。

(二) 计算式的建立

设投产后既有风电场区域粗糙度值为 z_{02} , 根据假定的研究条件可知 z_{02} 是与 H 、 D 和 L 有关的函数, 即:

$$z_{02} = f(H, D, L) \quad (2)$$

式中: H 、 D ——根据场内机型可直接确定; L ——根据既有风电场呈块状还是带状分布分为两种表达形式:

$$L = \begin{cases} (\bar{d}_i + \bar{d}_c)/2 & \text{块状分布} \\ \bar{d}_i & \text{带状分布} \end{cases} \quad (3)$$

式中: \bar{d}_i ——块状风电场中机组行间距平均值; \bar{d}_c ——块状风电场中机组列间距平均值; \bar{d}_i ——带状风电场中各机组间距的平均值。

根据图 1 所示的简化模型可知:

$$B = \sqrt{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2} = \frac{D}{2} \sqrt{\pi} \quad (4)$$

$$A = L - B \quad (5)$$

可以想象当机组轮毂高度 H 和等效后的边长 B 越大, 即既有风电场总高 $(H + B/2)$ 越高, 粗糙度值 z_{02} 相应越大; 当机组间的平均空隙量 A 越大, 即场区内机组越稀疏, z_{02} 相应越小, 因此可以假设:

表1 平坦地形粗糙度划分表

| 粗糙度 z_0/m | 地形特点 |
|-------------|-------------------|
| 1.0 | 城市、森林 |
| 0.5 | 市郊 |
| 0.3 | 掩体地带 |
| 0.2 | 多树木或灌木 |
| 0.1 | 封闭状态农田 |
| 0.05 | 开阔状态农田 |
| 0.03 | 具有较少建筑物、树木等以及机场区域 |
| 0.01 | 机场跑道区域、被割的草地 |
| 0.005 | 开阔地(光滑) |
| 0.001 | 雪地(光滑) |
| 0.0003 | 沙土地(光滑) |
| 0.0001 | 水域(湖、河流入海口、开阔的海) |

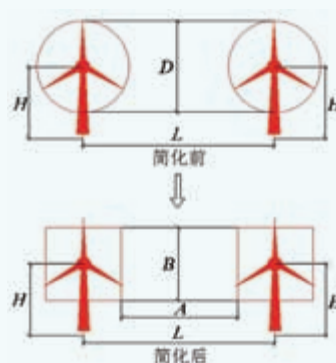


图1 模型的简化

$$z_{02} = k \frac{H+B/2}{A} \quad (6)$$

式中： k ——比例系数。

可见，只要确定比例系数 k 并结合式 (3) — (6) 即可求出投产后既有风电场区域粗糙度值 z_{02} 。下面对 k 如何确定作详细描述。

(三) 比例系数 k 的确定方法

假定在同一研究过程中， k 近似看成一定值。由于本阶段是以投产前阶段最终确定的地形图文件为基础展开的研究，此时模拟出的风能资源分布已存在一定误差，为保证对既有风电场粗糙度重新赋值后得到的投产阶段场区风能资源分布不再产生新的误差，在此规定 k 的最终取值需使得校验点处计算风速与实测风速之间的差值满足下式要求：

$$\Delta v_2 = v_2' - v_2 = \Delta v_1 = v_1' - v_1 \quad (7)$$

式中， v_2' ——投产模拟高度处校验点的计算风速；
 v_2 ——投产前模拟高度处校验点的实测风速。

采用“双塔法”推求 k 的过程为：首先对 k 赋予一较小的初值 k_0 并结合式 (3) — (6) 求出相应的粗糙度值，在投产前阶段得到的地形图文件基础上，对既有风电场区域粗糙度重新赋值得到新的地形图文件，以投产模拟高度处输入点的实测数据为依据，采用 WAsP 软件进行相关计算，得到模拟高度处校验点的计算风速 $v_{2(0)}$ ，再以 $k_{i+1} = k_i + \Delta k (i = 0, 2, L, n - 1)$ 逐级增大 k 值，并采用上述同样的方法计算出与各级 k_i 相对应的计算风速 $v_{2(i)}$ 。然后结合式 (8) 得到 $\Delta v_{2(i)}$ ，令 $x_i = \Delta v_{2(i)}$ ，到此阶段可以得到一系列散点数据 $(x_0, k_0), (x_1, k_1), L, (x_n, k_n)$ ，以 x 为横轴， k 为纵轴，采用最小二乘法拟合散点数据，得到相关方程 $k = f(x)$ ，最后将 $x = \Delta v_2$ 代入拟合的方程中即可求出最终的 k 值。

实例分析

一、工程概况

位于拟规划风电场北偏东方向存在一既有风电场，其

中，既有风电场按场内机组轮毂高度、叶轮直径和平均间距的不同细分为 3 个局部区域；既有风电场以外区域按照地形特点及分布分为 5 个局部区域，各局部区域编号及位置关系如图 2 所示，其中，编号①—③为既有风电场区域，编号④为拟规划风电场区域，其他编号为临近区域。

整个研究区域地形平坦，投产前阶段各局部区域详细的地形特点参见表 2。

拟规划风电场（区域④）机组轮毂高度初定为 90m（即本工程需模拟的高度为 90m），场内中部区域有一座编号为 1# 的测风塔，该塔具体位置见图 2，其主要信息见表 3。

既有区域①呈块状分布，场内机组轮毂高度为 100m，叶轮直径 110m，机组行间距平均值约为 1000m，列间距平

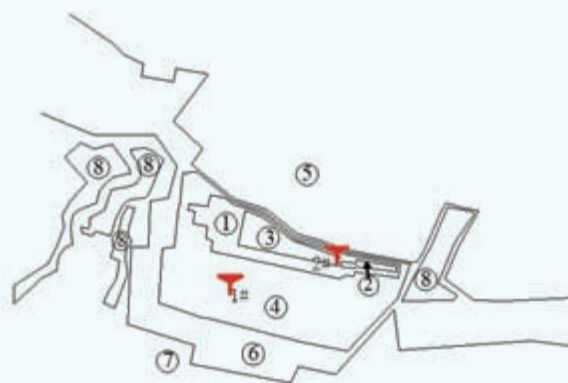


图2 各局部区域编号及位置关系图

表2 各局部区域地形特点

| 局部区域编号 | 地形特点 |
|--------|-----------------------|
| ①—④ | 基本农田为主，有相对分散的居民区和树林 |
| ⑤ | 鱼塘，有较少的草地和树木 |
| ⑥ | 有较低植被、相对集中的居民区和树林 |
| ⑦ | 有较高或高矮不平的植被、较低建筑物和防护林 |
| ⑧ | 稠密居民区 |

表3 1#和2#测风塔的主要信息

| 测风时段 | 测风塔编号 | 有效数据完整率 (90m) /% | 实测风速 (90m) /m · s ⁻¹ |
|--------------------------------|-------|------------------|---------------------------------|
| 2012.11.24—2013.11.23 (投产前) | 1# | 97 | 5.84 |
| | 2# | 98 | 6.12 |
| 2015.05.20—2016.05.19 (投产后) | 1# | 98 | 4.83 |
| | 2# | 96 | 4.64 |

均值约为 700m。

既有区域②呈带状分布，场内机组轮毂高度为 100m，叶轮直径 110m，各机组间距的平均值约为 350m。

既有区域③呈块状分布，场址最东边有一座编号为 2# 的测风塔，该塔具体位置见图 2，其主要信息见表 3，场内机组轮毂高度为 100m，叶轮直径 115m，机组行间距平均值约为 700m，列间距平均值约为 600m。

由表 3 可知，本次计算依据的 1# 和 2# 测风塔测风数据均满足研究条件中第 1 点的要求。

二、投产前粗糙度值的设置结果

在此定义 1# 测风塔为输入点，2# 测风塔为校验点。

根据表 1 和表 2 内容可知，区域①—④粗糙度值规定范围为 0.05m — 0.1m，区域⑤粗糙度值规定范围为 0.01m — 0.05m，区域⑥粗糙度值规定范围为 0.1m — 0.2m，区域⑦粗糙度值规定范围为 0.2m — 0.3m，区域⑧粗糙度值规定范围为 0.5m — 1.0m。

最初状态下：区域①—④粗糙度值为 0.06m，区域⑤粗糙度值为 0.04m，区域⑥粗糙度值为 0.1m，区域⑦粗糙度值 0.2m，区域⑧粗糙度值为 0.6m。该状态下校验点 90m 模拟高度的计算风速见表 4。

最终状态下：区域①—④粗糙度值为 0.1m，区域⑤粗糙度值为 0.03m，区域⑥粗糙度值为 0.15m，区域⑦粗糙度值 0.25m，区域⑧粗糙度值为 0.8m。该状态下校验点 90m 模拟高度的计算风速见表 4。

由表 4 可知，在规定的范围内增大区域①—④和⑥—⑧的粗糙度值，减小区域⑤的粗糙度值，可有效提高校验点 2# 测风塔 90m 高度计算风速，风速误差由最初的 2.1% 降为最终的 0.49%，满足误差不超过 0.5% 的要求。可见，根据测风塔同期实测数据对粗糙度值进行调整，能够有效降低通过查表方式设置粗糙度值的不确定性。

三、投产后粗糙度值的设置结果

由式 (4) 可得，既有区域①和②的等效边长 B 均为

表4 校验点90m模拟高度计算结果

| 粗糙度取值状态 | 计算风速 $/m \cdot s^{-1}$ | 实测风速 $/m \cdot s^{-1}$ | 风速差值 $/m \cdot s^{-1}$ | 误差 /% |
|---------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------|
| 初态 | 5.99 | 6.12 | -0.13 | 2.1 |
| 终态 | 6.09 | | -0.03 | 0.49 |

表5 不同 k 下相对应的风速差值计算结果

| k | 校验点计算风速 $/m \cdot s^{-1}$ | 实测风速 $/m \cdot s^{-1}$ | 风速差值 $/m \cdot s^{-1}$ |
|-----|---------------------------|------------------------|------------------------|
| 5 | 4.79 | 4.64 | 0.15 |
| 6 | 4.76 | | 0.12 |
| 7 | 4.74 | | 0.10 |
| 8 | 4.72 | | 0.08 |
| 9 | 4.69 | | 0.05 |
| 10 | 4.67 | | 0.03 |
| 11 | 4.65 | | 0.01 |
| 12 | 4.63 | | -0.01 |
| 13 | 4.61 | | -0.03 |
| 14 | 4.59 | | -0.05 |
| 15 | 4.57 | | -0.07 |
| 16 | 4.55 | | -0.09 |
| 17 | 4.53 | | -0.11 |
| 18 | 4.51 | | -0.13 |

97.48m；既有区域③的等效边长 B 为 101.91m。

由式 (3) 和式 (5) 可得，既有区域①的平均空隙量 $A = 752.52\text{m}$ ；既有区域②的平均空隙量 $A = 252.52\text{m}$ ；既有区域③的平均空隙量 $A = 548.09\text{m}$ 。

由式 (6) 可得，既有区域①的粗糙度值 $z_{02} = 0.1977k$ ；既有区域②的粗糙度值 $z_{02} = 0.5890k$ ；既有区域③的粗糙度值 $z_{02} = 0.2754k$ 。

在此令初值 $k_0 = 5$ ， $\Delta k = 1$ ， $n = 14$ ，以 $k_{i+1} = k_i + \Delta k (i = 0, 1, \dots, 13)$ 逐级增大 k 值，并分别计算不同 k 下相对应的风速差值 x ，其计算结果见表 5。

根据表 5 在直角坐标系中绘制散点数据 (x_i, k_i) ，经最小二乘法拟合后得到相关方程 $k = -47.15x + 11.668$ ，相关系数为 0.9979，如图 3 所示。

根据表 4 可知，投产前阶段校验点 90m 高度计算风速域实测风速的差值 $\Delta v_1 = -0.03\text{m/s}$ ，由式 (7) 可得，投产后阶段 $\Delta v_2 = \Delta v_1 = -0.03\text{m/s}$ ，因此，将 $x = -0.03$ 代入上述拟合方程，最终得到 $k = 13$ 。

此时，既有区域①的粗糙度值为 2.57m，既有区域②的粗糙度值为 7.66m，既有区域③的粗糙度值为 3.58m，结合 WAsP 软件计算后得到校验点 2# 测风塔 90m 模拟高度的计算风速 v_2' 为 4.61m/s，满足式 (7) $v_2' = -0.03 + 4.64 = 4.61\text{m/s}$ 的要求。

可见，在实际工程中，采用本文提出的既有风电场区域粗糙度设置方法——“双塔法”不仅具有一定的可操作性，而且在风能资源模拟结果方面准确性也较高。

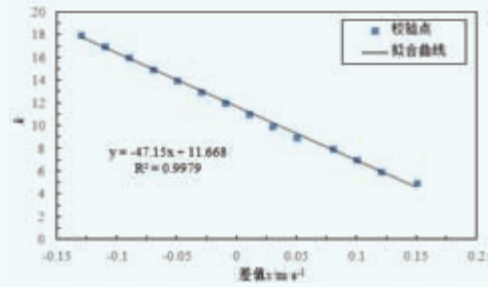


图3 差值x和k的相关关系图

结论

既有风电场投产前阶段其粗糙度设置标准可参考《风电场工程技术手册》中平坦地形粗糙度等级及对应的粗糙度表，即本文的表 1，然而这种定义使得粗糙度的取值存在一定的不确定性。而投产后阶段其粗糙度设置标准在表 1 中并未给出，且目前针对此方面的研究也几乎没有。鉴于此，本文基于一定的研究和简化条件，提出一种利用双塔测风数据来设置既有风电场区域粗糙度值的新方法，并通过某一工程实例的具体应用验证了此方法在计算既有风电场区域粗糙度值上的可操作性以及在研究区域内风能资源模拟结果上的合理性和准确性。

因此，本文提出的方法设置既有风电场区域粗糙度值并引入到今后在既有风电场存在条件下其临近风电场的风能资源评估工作中。✎

(作者单位：中国能源建设集团江苏省电力设计院有限公司)



摄影：商丽莉



www.chinawind.org.cn



2017 北京 国际风能大会暨展览会

CHINA WIND POWER 2017

2017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)





风能 改变生活



www.goldwind.com.cn

新疆乌鲁木齐经济技术开发区上海路 107 号

