风能
WIND ENERGY

传播专业知识　　启迪成长智慧

2013年
09
总第43期

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

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　《中国学术期刊网络出版总库》收录期刊

联合动力的成长与梦想 > P20

全产业链布局，风电新增装机排名国内第二，6兆瓦机组完成吊装，正在进行12兆瓦机组设计，是什么让这家公司这般快速生长？

> P36　2012年全国风电设备运行质量调查概述
> P46　促进我国分散式风电发展的政策研究
> P74　全国极端最低气温时空分布特征研究

ISSN 1674-9219
9 771674 921137 09
人民币25元

一种高度与一项使命

文 / 秦海岩

随着当前的调整期步入尾声，我国风电产业能否就此完成以质量为基础，以行业秩序为准绳，向健康发展的转变成为业界的核心关切。即将于10月16日召开的北京国际风能大会暨展览会，会议主题即“质量、健康”，将对上述问题进行全方位的探讨，我们也希望藉此机会进行梳理和总结，寻求具有启示性意义的智慧之光，并将之编入行动逻辑的大网。

高速增长后诸多问题集中爆发，将行业质量建设问题推向了风口浪尖。从另一个角度讲，这也更方便我们在短期内系统地攻克一些主要障碍。我们也注意到，国家能源主管部门正在不遗余力地全面加强行业质量管理工作，其中，国家能源局组织开展的风电产业监测和评价体系建设，便是一项带有全局性思维的系统工程。如果该项工作能够得到认真贯彻执行，对整个行业的健康有序发展将起到基础性的、关键性的作用。当然，面对复杂的行业发展诉求，现实中没有“一招鲜”式的办法，围绕“电价补贴”这一核心激励政策的大量配套措施也将陆续出台。

除质量建设外，我国风电行业所面临的问题在本届风能大会议程中都有所体现，尤其是今年出现的一些新焦点和新思维，也被及时纳入。例如，中国风电产业的国际化、海上风电、风能的互补应用和分布式发电、风电场安全运维以及标准检测认证等。从组织形式来看，历年最受大家关注的“企业家论坛”，今年将细分三场进行，更加务实地探讨焦点问题：投融资与保险，制造企业困境、风电和电力市场。这些凝聚业界精英最新最深入的思考和感悟的交流活动，也必然是未来解决方案的源泉，尤其是关于新兴市场模式的讨论，包括风电场新型融资模式和运维市场新模式，透露出产业强大的创新原动力和不同社会资源对风电产业的积极关注，行业的边界在拓展，行业的界线在模糊，这是一种进步，一种希望。

大会也不仅限于“坐而论道”，本届风能大会还将开展国际商务对接等具体活动，为国内外企业之间的合作搭建平台，推动企业间实现高效对接。为此，我们已经做了大量基础性的工作，包括从认证的角度帮助国内企业扫除公平参与国际风电市场竞争的障碍。

北京国际风能大会暨展览会到如今已是第六届，自开办以来始终都是我国最受关注的风电行业大型活动，会议内容方面更有针对性，层次多样，无论政策、产业还是技术的议题都能够体现出务实精神，吸引业界人士深入参与，可谓集全球行业共同智慧，为行业发展、技术进步、企业成长寻求解决方案。世上没有“毕其功于一役”的神话，但我们力争将大会打造成一个有力的支点和进步的阶梯，用一种高度完成一项使命。

18 对话 Dialogue

把握海上风电机遇

专访艾尔姆风能叶片制品公司
亚太区总裁 Randall Hoeflein

20 封面 Cover Article

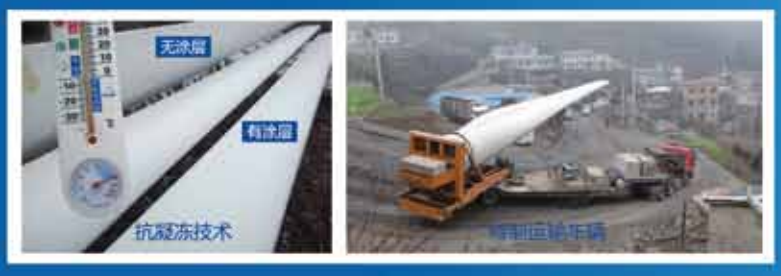
联合动力的成长与梦想

全产业链布局，风电新增装机排名国内第二，6 兆瓦机组完成吊装，正在进行 12 兆瓦机组设计，是什么让这家公司这般快速生长?

国内率先投入商业化运营的单机2.5MW风电场

——贵州四格一期47.5MW风电场19台GX93风电机组全部并网发电

我们如何以创新技术应对西南山区的极端条件？



详细内容请访问：

www.yinhe-windpower.com GO >

银河风电
YINHE Wind Power

地址：北京市海淀区紫竹院路69号中国兵器大厦 100089　　电话：+86 10 88019199　　传真：+86 10 88019099

《风能》杂志在线阅读网站www.cwea.org.cn

卷首语/ From The Editor

01 一种高度与一项使命 / 秦海岩

08 风向/ Direction

时评/ Review

16 提高质量与管理水平 推动风电可持续发展 / 史立山

对话/ Dialogue

18 把握海上风电机遇

封面/ Cover Article

20 联合动力的成长与梦想 / 薛辰，苏晓

公司/ Company

28 ABB在中国 / 于贵勇

国际/ International

30 墨西哥风电发展现况 / Marco A.Borja

课堂/ Classroom

34 为课堂多加一点“鲜料包” / 白亚茹

调研/ Survey

36 2012年全国风电设备运行质量调查概述 / 中国可再生能源学会风能专业委员会

产业/ Industry

46 促进我国分散式风电发展的政策研究 / 王彩霞，李琼慧

54 河北省海上风电发展浅析 / 张清清

58 关于风电项目核准的总结 / 杨德清，王景涛，王强

风电场/ Wind Farm

62 区域风电场群统一调度系统的探索与实践 / 张菲菲

68 无线以太网通信系统在风电场的应用 / 戴建军，赵国群，邵科，蔡璐璐

技术/ Technology

74 全国极端最低气温时空分布特征研究 / 朱玲，柳艳香，龚强，黄凤新，兰海波，晁华，蔺娜，王刚，尚敏帅

80 大型风电机组仿真实验台研究 / 王宁，段振云，赵文辉，邢作霞

84 针对微风发电的城市风场特性初步研究 / 李登君，韦雅文，季丰

90 风电机组疲劳载荷影响因素分析（二） / 许移庆

94 珠海桂山200MW海上示范风场风电机组导管架基础方案设计 / 朱荣华，李少清，张美阳

100 行星差动齿轮箱速比及功率分配计算 / 陈华平，冯仲，刘小刚，杨胜，郭宗礼

104 风电机组使用铝电缆替代铜电缆的可行性分析 / 陈志刚，秦本才

广告索引

封二	东汽树脂	目录对页 1	银河风电	P79	阳光电源
扉页 1	中国南车	目录对页 2	敏泰液压	P83	赢创工业
扉页 2	三菱电机	版权对页	恩斯克	P93	千聚科技
扉页 3	赛米控	P27	壳牌	P99	中航惠腾
扉页 4	《风能》杂志微信平台	P45	奥特科技	后彩一	贺德克
扉页 5	《风能》杂志	P53	南车电机	封三	ABB
扉页 6	CWP2013	P61	中水恒信	封底	罗特艾德
扉页 7	鉴衡认证	P67	华仪风能		
卷首语对页	远景能源	P73	铁姆肯		

上海敏泰液压股份有限公司

上海敏泰液压股份有限公司自2006年进入风电市场以来，以遍布全国的12个办事处为基点，引进消化德国技术并自主研发，已经为风力发电行业提供了润滑冷却系统、水冷系统、液压系统等共上万套产品。公司秉承“一流的产品源于一流的技术”的企业宗旨，还打造了一支专业化、快速反应的风电场服务技术团队，为客户提供一条龙服务。

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

可替换进口、国产滤芯备件

液压站

压力开关传感器

水冷却系统

便携式旁路过滤装置

齿轮箱过滤冷却系统

散热器

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

可提供风电场配套系统附件、维护及替换等其他客户相关服务

风电场油液检测

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

主管： 工业和信息化部　**主办：** 中国电子信息产业发展研究院

风能
WIND ENERGY

中国可再生能源学会风能专业委员会
2013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 WenkeZhu Junsheng He Dexin
王承煦　朱瑞兆　戴慧珠　马学禄	Wang Chengxu　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： 卢　山	**President:**Lu Shan
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　夏丽华	**Associate Editor-in-Chief:** Wang Zhongying Xia Lihua
编辑部主任： 秦海岩（兼）	**Editorial Director:** Qin Haiyan
编辑部副主任： 薛　辰　蔡丰波	**Deputy Editorial Director:** Xue Chen　Cai Fengbo
本期责编： 白亚茹	**Duty Editor:** Bai Yaru
编　辑： 于贵勇　赵　靓　苏　晓　白亚茹	**Editor:** Yu Guiyong　Zhao Liang　Su Xiao　Bai Yaru
视觉设计： 荆　莹	**Visual design:** Jing Ying
广告及发行： 王　艳　徐晓英　郭继元	**Advertising & Distribution:** Wang Yan　Xu Xiaoying　Guo Jiyuan

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号易亨大厦1108	**Address:** Room 1108，Yiheng Building，No.28，the 3rd Ring Road East， Beijing， P. R. China
邮编：100013	**Zip Code:** 100013
电话：010-59796665-3953（编辑部） 010-59796665-3501（广告部）	**Tel:** 010-59796665-3953（Editorial Office） 010-59796665-3501（Advertising Office）
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
广告经营许可证：京海工商广字第8245号
印刷：北京国彩印刷有限公司
出版日期：每月6日出版
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，本刊已被国内多个数据库收录，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。

承启时代，承诺未来

支持将风能转化为电能，
静静地、持续地、年复一年、风雨无阻

NSK作为轴承行业的领导品牌之一，凭借其卓越的摩擦学技术、材料技术、解析技术、机电一体化技术等四大核心技术，不断挑战新技术，开发新产品，已经成为世界各国著名企业的极佳合作伙伴。

NSK拥有世界一流的风机轴承开发和生产能力，是风车无忧旋转的重要保障。

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

国家进一步完善可再生能源和环保电价政策

2013 年 8 月 27 日，国家发改委网站发布了《关于调整可再生能源电价附加标准与环保电价有关事项的通知》(简称《通知》)，决定在保持现有销售电价总水平不变的情况下，主要利用电煤价格下降腾出的电价空间，适当提高可再生能源电价附加、脱硝电价标准，新增除尘电价，以支持可再生能源发展，鼓励燃煤发电企业进行脱硝、除尘改造，改善大气质量。

《通知》明确，自今年 9 月 25 日起，将除居民生活和农业生产用电之外的其他用电可再生能源电价附加标准由每千瓦时 0.8 分钱提高到 1.5 分钱；将燃煤发电企业脱硝电价补偿标准由每千瓦时 0.8 分钱提高到 1 分钱；对烟尘排放浓度低于 30 毫克 / 立方米 (重点地区 20 毫克 / 立方米) 的燃煤发电企业实行每千瓦时 0.2 分钱的电价补偿。

《通知》要求，各省级价格主管部门要结合本地实际，抓紧提出具体方案，把可再生能源和环保电价政策落实到位。

国家发改委表示，此次价格调整，既着力保护环境，又注重不增加电力用户的负担。一方面，通过适当优化电价结构，支持可再生能源发展，提高燃煤发电企业脱硝、除尘的积极性，促进节能减排目标的实现；另一方面，现行销售电价总水平不变，不增加用电企业和居民负担，有利于保持价格总水平的基本稳定。

国家发改委印发《分布式发电管理暂行办法》

2013 年 8 月 13 日，国家发改委网上发布了有关印发《分布式发电管理暂行办法》的通知 (简称《暂行办法》)，以推动分布式发电应用，促进节能减排和可再生能源发展。

《暂行办法》适用于总装机容量为 5 万千瓦及以下的小水电，风能、太阳能、生物质能、海洋能、地热能等新能源发电，除煤炭直接燃烧外废弃物发电、多种能源互补发电、资源综合利用发电，总装机量 5 万千瓦及以下煤层气发电，以及综合能源利用率高于 70% 且就地消纳的天然气热电冷联供等分布式发电方式。其中，适用于分布式发电技术包括分散布局建设的并网型风电、太阳能发电技术，小型风光储等多能互补发电技术等 9 类技术。《暂行办法》还对分布式发电项目建设和管理、电网接入、运行管理、政策保障及措施作了详细说明。

对符合条件的分布式发电，将给予建设资金补贴或单位发电量补贴。享受补贴的分布式发电包括风电、太阳能发电、生物质发电、地热发电、海洋能发电等新能源发电。

科技部对国家海上风力发电工程技术研究中心现场验收

2013 年 8 月 9 日，重庆海装风电公司承担的科技部平台建设项目“国家海上风力发电工程技术研究中心”现场验收大会召开。

验收议程主要分为验收大会、实地考察、现场答辩等 3 个阶段。在验收大会上，重庆市科委副主任徐青致欢迎词并介绍了国家海上风力发电工程技术研究中心组建 3 年以来取得的主要成绩。国家海上风力发电工程技术研究中心副主任、重庆“两江学者”、海装风电副总经理陶友传博士汇报了国家海上风力发电工程技术研究中心的验收总结报告。在实地考察中，领导和专家主要参观考察了中心各科室、海上风电装备载荷计算与仿真分析平台、海上风电装备系统控制分析与测试平台、5MW 海上风电机组调试台、2MW 装配线，以及海洋动力研究实验室、海洋风电装备防腐研究实验室、海洋风电机组检测研究实验室等图片展板。随后，验收专家组审查了相关资料，并进行了现场答辩。验收专家组对研究中心 3 年以来的建设成果给予肯定，并提出了宝贵意见。

风电设备质量调查报告发布会在京召开

2013 年 8 月 20 日，风电设备质量调查报告发布会暨信息监测和评价体系建设工作会在京召开，会议由中国可再生能源学会风能专业委员会（简称中国风能协会）组织，国家能源局新能源和可再生能源司副司长史立山等领导以及数十家风电开发企业、制造企业参加了会议。发布会上，中国风能协会总结了自 2010 年起连续三年的全国风电设备质量状况调查情况，并对下一步加强风电设备制造产业信息监测和评价体系建设工作进行统筹安排。

根据报告，我国已安装运行的风电机组可利用率从 2010 年的 95% 上升到了 2012 年的 97%。零部件故障仍是导致非正常停机的主要原因，其中叶片、发电机、齿轮箱和控制系统的故障率较高。综合三年调研报告，我国风电设备整体运行情况良好，全体机组平均可利用率高于国内外风电行业机组可利用率大于 95% 的通常要求；多数机组本身并不存在重大设计缺陷，机组故障多由生产制造中的质量控制和一致性问题所致。

根据工作方案部署，未来风电制造产业信息监测与评价体系将由以国家能源局为首的指导委员会、中国风能协会牵头的技术工作组和数据传输和报送单位三部分组成。采用实时监测和定期填报结合的方式，逐步建立以可靠性数据库为基础的风电设备信息监测与评价体系。

鉴衡认证携手德国TÜV和金风科技创新风电认证

2013 年 9 月 4 日，北京鉴衡认证中心携德国TÜV莱茵集团与金风科技签署风电机组认证协议，金风科技成为北京鉴衡认证中心开展国内、国际认证“一站式服务”业务之后的首家客户，其机组通过认证后，将同时获得两家机构颁发的认证证书。

产品认证是保障风电产业高质量健康发展的必要措施，风电产品认证作为市场准入条件已逐渐成为各国的普遍要求。为了让国内风电企业“足不出户”即可获得国内国外权威认证机构的高效优质服务，鉴衡认证创造性推出“一站式”认证服务，通过与德国TÜV莱茵的合作，双方分工协作并对检测认证结果予以互认，极大地缩短了认证周期，提高了认证效率，加快了新产品推向市场的步伐，使国内风电制造企业花费一次认证时间，取得两张认证证书，轻松获得进军海外市场的“通行证”。

为服务于产业和企业的国际化需求，破除国际市场准入门槛，鉴衡认证选择首先使自身“国际化”。为此，其针对不同国家市场开展了大量工作，取得了美国、澳大利亚、罗马尼亚、土耳其、南非、埃塞俄比亚等众多国家市场不同层次的认可和采信。

“一次认证，两张证书”的服务模式，为我国风电企业公平参与国际风电市场竞争进一步扫除了障碍，加快了我国风电产业的国际化进程。

维斯塔斯8月在华再次签署10万千瓦订单

2013 年 8 月下旬，维斯塔斯中国与宁夏回族自治区的天然气龙头企业宁夏哈纳斯新能源签订了两份共计 10 万千瓦的风电设备采购合同。不到一个月前，哈纳斯新能源向维斯塔斯订购了 5 万千瓦的风电设备，这使哈纳斯新能源所拥有的维斯塔斯风电机组总装机容量达 25 万千瓦。再加上本次两份订单，哈纳斯新能源将拥有共计 35 万千瓦的维斯塔斯风电设备，维斯塔斯依然是其唯一的供应商。

本次两份订单共包括 50 台维斯塔斯 V100–2.0 兆瓦机组。该机型的设计基于可靠的 2 兆瓦风电机组平台而来。其加大的风轮直径提升了此款机组在低风速地区的适用性。这批机组将安装于宁夏回族自治区的盐池风电场。

此次订单内容包括风电机组的交货、安装督导和调试，同时包含一项维斯塔斯在线 ® SCADA 系统，以及一份为期两年的服务与维护服务协议。本次订单不包括塔筒，第一批风电机组计划于 2014 年第二季度交付。

哈纳斯新能源计划到 2015 年在风能资源丰富的宁夏回族自治区打造共计 100 万千瓦的风电基地。

金风科技发布2013半年度报告

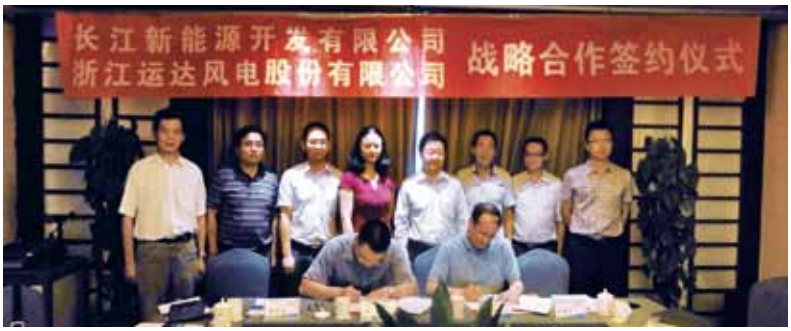
2013 年 8 月 26 日，金风科技发布了 2013 年半年度报告，公布截至 2013 年 6 月 30 日止六个月根据中华人民共和国财务报告准则制定的未经审计 2013 半年度报告。于报告期内，公司营业收入为人民币 32.46 亿元，较上年同期下降 6.82%，归属母公司净利润为人民币 9268 万元，较上年同期增长 28.60%，每股基本盈利为人民币 0.03 元，较上年同期增长 28.84%。

金风科技在 2013 年上半年的公开市场招标中成绩理想。截至 2013 年 6 月 30 日，金风科技待执行订单为 455 万千瓦，中标未签订单为 353.9 万千瓦，共计 808.9 万千瓦，继续保持国内市场领先优势。

同时，金风科技通过固本开源、精益管理的经营方针，上半年在成本控制方面取得良好效果。截至 2013 年 6 月 30 日止六个月，根据国际会计准则编制的金风科技未经审计中期业绩，公司整体毛利率为 18.56%，较上年同期的 13.29% 增长了 5.27 个百分点。

报告期内，金风科技相继在泰国、巴拿马、罗马尼亚、土耳其等新兴市场取得一定进展，获得机组订单。2013 年上半年，国际项目累计发运量创历史新高，共计发运 77 台 1.5 兆瓦及 2.5 兆瓦风电机组，约合装机容量 16.2 万千瓦。报告期内，金风科技实现国际销售收入人民币 5 亿元，较上年同期增长 14.15%；占营业收入 15.41%，较上年同期增长 2.76 个百分点。

运达风电与三峡集团长江新能源签署战略合作框架协议



2013 年 8 月 13 日，三峡集团长江新能源开发有限公司与浙江运达风电股份有限公司在杭州签署战略合作框架协议。长江新能源公司副总经理吴光军，运达风电副总经理斯建龙代表双方签约。

浙江省能源局电力与新能源处处长金敬撑，长江新能源开发有限公司总经理肖军治、副总经理吴光军，浙江运达风电股份有限公司常务副总经理高玲、副总经理斯建龙，杭州前进齿轮箱集团股份有限公司总经理冯光及浙江省机电设计研究院副总经理普勇等出席了本次交流会暨签约仪式。

近日，运达风电中标三峡新能源黑龙江宾县大个岭、大泉子两项目，共安装 66 台 WD1500 机组，这也为本次签约打下了良好的基础。根据此次签署的协议，双方按照“优势互补，合作共赢”的原则，建立长期战略合作伙伴关系，运达风电与长江新能源的合作将进一步深入。今后，双方将以签署战略合作协议为新的开端，依托各自的资源，在风能资源开发、海上风电项目开发、技术、科研与培训合作等等领域进一步深化合作关系，在建设美丽中国的道路上共同探索，为我国风电产业的发展作出更大的贡献。

世界海拔最高风电场首批风电机组完成吊装

2013 年 8 月 8 日，由国电联合动力技术有限公司自主研发的首批 5 台 1.5 兆瓦超高海拔风电机组在西藏那曲完成吊装，国电龙源那曲超高海拔实验风电场是国家《“十二五”支持西藏经济社会发展建设项目规划方案》确定的重点能源项目，也是迄今世界海拔最高的风电项目。项目的建设，实现西藏高原风电“零”的突破，对我国乃至全世界“高海拔、低风速”风电建设运行将起到十分重要的引领示范作用。

国电龙源那曲超高海拔实验风电场项目计划投资 5.6 亿元，设计总装机容量 5 万千瓦，安装 33 台 1.5 兆瓦风电机组，年发电量可达 7000 万千瓦时，节约标煤 3 万余吨，年减少二氧化碳排放量 10 万吨以上。今年计划将先行建设 5 台机组，根据实际运行情况再进行扩建。

西藏境内地势高亢、地形复杂，为世界最大、最高的高原——青藏高原的主体，素有“世界屋脊”之称，特殊地理位置、地形地貌，形成了独特的西藏高原气候。针对西藏地区海拔高、气压低、日照强度高、雷暴多发、空气密度极低、温差幅度较大等特殊地理环境，联合动力 1.5 兆瓦超高海拔风电机组在设计研发上采取了一系列创新技术，使机组能够在海拔 4500 米 –5000 米的环境中安全稳定运行。

粤水电收购新疆风电企业

2013 年 8 月 13 日，粤水电发布公告，拟以 400 万元向哈密东方民生新能源有限公司（简称哈密东方民生）收购其持有的木垒县东方民生新能源有限公司（简称木垒东方民生）100% 股权，并将继续履行木垒东方民生为建设其拥有的新疆木垒县老君庙风电场一、二期已签订尚未履行的项目总承包 EPC 合同和设备材料采购合同，合同总金额 6.84 亿元。

公告显示，公司拟以自有资金支付收购木垒东方民生的款项 400 万元，其中包括木垒东方民生股东全部权益价值评估值 100 万元和哈密东方民生尚未支付的该项目的前期开发及设计费用 300 万元。

上述合同中，总承包 EPC 合同价格为 1.55 亿元，由新疆电力设计院负责木垒东方民生新疆木垒县老君庙风电场一、二期 49.5MW×2 项目的风电场工程、110 千伏升压站、110 千伏送出线路及对侧升压站扩建间隔工程的勘测设计及土建工程、设备安装、设备调试、机组试运行、整体工程的验收等交钥匙工程。

据介绍，老君庙风电场一期、二期工程项目总装机规模均为 4.95 万千瓦，并均已取得新疆维吾尔自治区发展和改革委员会核准批复。其中一期项目年上网电量 9940 万千瓦时，二期项目年上网电量 9920 万千瓦时。

中电投与华仪风能签署战略合作框架协议

2013 年 8 月 24 日，中电投集团华北分公司与华仪风能有限公司在北京签署战略合作框架协议。中电投华北分公司总经理张峰、华仪风能公司总经理张建新出席签约仪式并代表双方在协议上签字。

根据协议，双方将在风电领域开展广泛、全面和长期的合作，中电投华北分公司开发的风电项目将优先使用华仪风能机组，华仪风能提供的风电场项目由中电投华北分公司独立或者合作进行投资建设和运营。通过合作，将中电投华北分公司的资金优势和风电场建设运营经验，与华仪风能公司的风电机组生产、技术优势和风电场开发运维经验相结合，实现双方的优势互补和互惠共赢。

同时，双方就黑龙江、宁夏地区 25 万千瓦风电场合作事宜进行了磋商并签署合作意向协议。

国电南自子公司终止17亿重大风电项目合同

2013 年 8 月 7 日，国电南自发布公告称，公司控股子公司南京国电南自新能源工程技术有限公司与中国华冉建设集团全资子公司新疆华冉东方新能源有限公司于 2013 年 8 月 7 日签署了《关于终止〈新疆华冉东方哈密东南部 200MW 风电项目工程总包合同〉的协议》，合同金额为人民币 17.6 亿元。

公告称，合同签署后，由于尚需等待国家有关部门的核准，该项目一直未能全面启动。直至 2012 年 8 月 21 日该项目才完成核准程序。因此，项目审批延迟等客观因素导致该合同未能履行。

随着合同截止期的临近，南京国电南自新能源工程技术有限公司通过对该合同重新评估后认为，该项目的实施风险和预计收益存在不可控因素。为维护国电南自及全体股东利益及防范风险，经与发包方——新疆华冉东方新能源有限公司友好协商，双方同意终止执行上述合同，并且互不构成违约。

公告称，项目筹备期间，公司实施项目施工前准备工作产生的前期费用合计人民币 79.32 万元，将计入南京国电南自新能源工程技术有限公司当期损益；公司过去 2 年均未将该项合同金额计入当期订货累计额，因此该项合同的终止对公司 2011 年、2012 年、2013 年度订货金额不会造成实质影响；且该项目的终止不影响公司控股子公司南京国电南自新能源工程技术有限公司完成年度经营目标。

东方海上风电项目开展前期工作

据国电海南分公司消息，2013 年 8 月 9 日海南省发改委下发文件，同意东方海上 35 万千瓦风电项目开展前期工作，标志着海南省首个海上风电项目获得“路条”。

东方海上风电项目位于东方市西侧近海海域，总装机容量 35 万千瓦，由国电海南分公司投资建设。该项目符合《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》和海南国际旅游岛能源发展规划总体战略，风能资源丰富，且项目所在海域地质情况稳定，距离海岸线较近，交通和电网系统接入条件便利，开发条件较好。

项目建成后，每年可向海南省提供清洁电力约 8.2 亿千瓦时，有利于改善该省电力紧张局面，优化电源结构。与燃煤电厂相比，该风电项目每年可节约标煤 28 万吨，减少二氧化碳排放 66.6 万吨，减少二氧化硫排放 5391 吨，具有良好的经济效益和社会效益。

根据《风电发展“十二五”规划》，在海上风电示范项目取得初步成果的基础上，我国将促进海上风电规模化发展，重点开发建设上海、江苏、河北、山东的海上风电，加快推进浙江、福建、广东、广西和海南、辽宁等沿海地区海上风电的规划和项目建设。

澳大利亚对中国风电塔筒发起反倾销调查

据中国机电产品进出口商会发布的消息称，2013 年 8 月 28 日，应澳大利亚 A.C.N.009483694 与 Keppel Prince Engineering Pty Ltd 公司申请，澳大利亚反倾销委员会发布 No.2013/68 号公告，对进口自中国与韩国的风电塔筒发起反倾销调查。

本次调查涉案产品主要为应用级风电塔筒，无论是否为锥形、无论是否组装、无论是否带有塔座，主要用途是为发电功率不低于 1 兆瓦、塔基至机舱高度不低于 50 米的风电设备提供支撑。本案倾销调查期为 2012 年 1 月 1 日至 2013 年 6 月 30 日，损害调查期为 2008 年 1 月 1 日至 2013 年 6 月 30 日。

泰胜风能就此发布公告称，已经收到中国机电产品进出口商会的相关通知，表示将尽快成立相关工作组，以配合澳大利亚反倾销委员会进行调查，并密切关注事态进展，积极采取相应的应对措施。该公司认为，本次“反倾销”尚处是否存在实质性损害的调查阶段，对公司生产、经营的影响存在不确定性。

海外

中美能源公司艾奥瓦州风电项目获批

2013 年 8 月 12 日，巴菲特旗下中美能源公司投资的艾奥瓦风电项目获得美国艾奥瓦州批准，8 月 13 日公司宣布投资 19 亿美元（约合 116.3 亿元人民币）建设艾奥瓦的风电工程计划细则。工程预计在 2013 年 9 月份开始，计划到 2015 年 12 月底前完成所有项目。

应该说，近年来巴菲特对新能源行业情有独钟，尤其是风电行业。2011 年，中美能源斥资 20 亿美元（约合 122.4 亿元人民币）收购第一太阳能设备公司；2012 年 1 月份，中美能源收购美国中西部艾奥瓦州的 3 个风电场装机项目；2012 年 10 月份，中美能源收购 Terra-Gen Power 公司在特哈扎比山脉建造的两个风电场项目。

据分析，巴菲特看好风电行业也将给我国 A 股相关上市公司如华锐风电、金风科技、天顺风能、泰胜风能、湘电股份等带来新机会。此外，该项目将拉动风电设备需求，国内对美国出口占比较大的相关风电设备制造上市公司也有望受益。

通用电气在墨西哥首座22兆瓦风电场正式投产

2013 年 8 月 13 日，由美国通用电气公司提供 2.75-103 型号风电机组在墨西哥 Santa Catarina 风电场正式投产。

Santa Catarina 风电场位于墨西哥新莱昂州，装机容量为 22 兆瓦，共配备了 8 台美国通用电气生产的 2.75-103 型风电机组。

该风电场是由墨西哥可再生能源公司 Comexhidro、Next Energy 与纽约 Conduit Capital Partners 联合建立的合资公司负责开发。

Santa Catarina 风电场年发电量有望达到 4.5 万千瓦时，主要用于巴西圣卡塔琳娜州 (Santa Catarina)、墨西哥蒙特雷 (Monterrey)、阿波达卡 (Apodaca)、尼古拉斯市 (Nicolás de los Garza) 和洛莱蒙市 (Los Ramones) 地区的公共照明和市政用电。

据悉，Santa Catarina 风电场项目建设总耗资约为 5100 万美元（约合人民币 3.13 亿元）。除了供应 8 台风电机组外，美国通用电气还将提供为期 5 年的风电场运营维护等服务。

DONG能源公司致力于2020年前将海上风电成本缩减40%

2013 年 8 月 12 日，据彭博社报道，丹麦国有公共事业公司——DOND 能源正在带头推动风电成本的降低，以力图在 2020 年之前将海上风电成本降低 40%。

DONG 能源公司与另外 6 家公司、3 所英国和爱尔兰的大学一起协作，研究通过在海上风电机组安装基础减少使用钢材的方式来使技术更具经济性。DONG 能源公司风能部门的一位副总裁 Bent Christensen 表示：“海上风电机组所发电力的成本必须减小，我们期待通过缩减机组安装基础尺寸并改变机组安装方式来节约成本。”据彭博新能源财经预计，海上风电机组所花费成本比陆上的 2.7 倍还多，在一个项目全寿命周期内，海上风电机组所耗成本为每千瓦时 0.221 美元（约合人民币 1.35 元）。DONG 能源所预定的目标是到 2020 年将这一价格降至 0.134 美元（约合人民币 0.82 元），这比英国政府 0.155 美元的目标还要低。

目前，DONG 能源公司、德国 RWE AG 公司、Statkraft AS 公司、SSE Plc 公司、Iberdrola SA 苏格兰电力公司和 Vattenfall AB 公司都参与了英国牛津大学、帝国理工学院和爱尔兰都柏林大学等三所高校的研究工作。该研究项目预计将持续 18 个月，研究结果有望在 2015 年初公布。这一研究结果有望用在英国第三轮海上风电招标中海上风电项目的申请中。

海外

宜家将从Mainstream Renewable Power收购爱尔兰风电场

2013 年 8 月 13 日，据美通社报道，全球风能与太阳能公司 Mainstream Renewable Power 达成一项协议，即向全球最大的家具零售商宜家 (IKEA) 出售其 7.65 兆瓦的 Carrickeeny 风电场。Mainstream 已经开始建设这个位于爱尔兰西北部 Leitrim 的项目，预计 2014 年初投入运行，届时宜家将收购该风电场。作为该交易的一部分，Mainstream 将代表宜家在项目 20 年寿命期内继续经营并维护这家风电场。

宜家集团计划到 2015 年将在风能和太阳能项目方面投资 15 亿英镑 (约合 143 亿元人民币)。风能战略是宜家集团可持续性发展战略的主要组成部分，旨在 2020 年之前供应所需的大量可再生能源。这次对爱尔兰风电场的收购将使宜家集团致力于拥有并经营风电机组总数达到 137 台。

宜家集团可持续发展英国与爱尔兰负责人 Joanna Yarrow 就此声明表示：“我们对可再生能源的投资不仅有助于减少公司在爱尔兰开展业务中的碳排放量，还可以结合节能工作，共同有助于控制电力成本。针对公司、个人或政府，我们均能解决其资源困境并致力于营造一个更加可持续发展的未来。自行提供可再生经济型电力使我们向实现 2020 年能源方面完全独立的目标更加迈进一步，同时确保我们在商业方面取得成功。”

西门子获得6.7万千瓦来自波兰的机组订单

2013 年 8 月 14 日，据外媒报道，西门子风电公司将向波兰北部两个风电项目提供总装机容量为 6.7 万千瓦的风电机组。此次西门子将向项目运营商波兰 Energy Partners 提供 29 台西门子 SWT–2.3–108 型的风电机组。这是波兰首次使用转子风轮直径为 108 米的风电机组，并被安装在轮毂高度为 115 米的钢塔上，机组将被优化，以便更好地运用于中、低风速风电场。

根据协议，西门子将于 2014 年 5 月分两批向两个风电项目交付 18 台和 11 台 SWT–2.3–108 风电机组并提供 5 年期维护服务。这两座风电场将于 2014 年夏末投产使用。

西门子风电公司欧洲、中东和非洲地区首席执行官 Jan Kjaersgaard 先生表示：“此笔交易再次证明了西门子公司风电产品的稳定性和可靠性，它为我们在波兰风电市场赢得了良好口碑。”

风能首次成为美国新增发电量的首要来源

2013 年 8 月 6 日，美国能源部发布的报告显示，2012 年美国风能产业增长强劲，风能首次成为美国新增发电量的首要来源。

美国能源部当天发布的《2012 年风能技术市场报告》显示，2012 年美国风能产业新增投资 250 亿美元 (约合 1530 亿元人民币)，新增风能发电装机容量超过 1300 万千瓦，接近 2011 年的 2 倍。与此同时，风能发电占去年新增发电量的比重达到 43%，首次成为美国新增发电量的最大来源。

报告还显示，截至 2012 年底，美国风电累计装机容量达到约 6000 万千瓦，与 2000 年相比增加超过 22 倍，可供 1500 多万户家庭使用。其中，艾奥瓦州、南达科他州和堪萨斯州电力总需求的 20% 以上来自风能发电。

美国能源部表示，发展清洁和可再生的风能资源是奥巴马政府减少温室气体排放、促进能源结构多样化和能源技术创新的全方位能源政策的一个关键部分。在奥巴马第一任期内，美国风能和太阳能的发电量翻了一倍多，奥巴马政府承诺到 2020 年将美国可再生能源发电量再翻一倍。

提高质量与管理水平 推动风电可持续发展

文 / 史立山

近年来，我国风电发展取得了惊人的成绩，但绝不能就此沾沾自喜，因为目前行业发展面临的矛盾和问题不断增加。除弃风限电问题外，风电设备制造依然是我国风电发展的软肋。我国风电制造业与高质量、高水平的要求还有差距。

为掌握我国风电设备运行的基本状况，中国可再生能源学会风能专业委员会已连续很长时间对风电设备运行质量进行监测，也从机组的可利用率、机组故障情况、关键零部件特点、故障特点等方面，对我国生产的风电设备进行分析。总体来看，大多数机组本身并不存在重大设计缺陷，大部分故障是由于生产制造过程中的质量控制和产品一致性差，从而难以保证每个设备都达到运行所需的质量水平。

通过客观规律我们知道，机组越成熟故障发生的概率就越低。因此，风电设备要走向成熟就必须多加使用。这似乎也是一个矛盾，由于企业都喜欢使用成熟机型，不愿承担新机型带来的风险，新机型的挂机试验、推广成为一个难题。如何来推动新的产品得到广泛运用，从而推动技术进步，是产业发展中仍未解决的问题，甚至一些试验风电场也未能在此问题上发挥很好的作用。

而目前的风电产业监测体系建设及运作，是风电产业走向良性发展的一个标志。

风电设备是风电建设的核心，也是风电技术进步的关键，对现有风电设备的状况进行监测，及时发现运行中存在的问题，对推动风电技术进步，提高风电市场竞争力，保证风电产业的持续健康发展意义重大。产业要健康发展，必须有一些规则，有一些刺激。我们希望行业的所有企业都有一个外部的约束。因此，我们应该把风电产业监测体系建设作为推进技术进步，提高管理水平，确保设备质量的一个重要的契机。

今年 5 月，国家能源局专门下发了《关于加强风电产业监测和评价体系建设的通知》，提出由风能专委员会来负责风电设备产业数据的统计和分析评价。通过实践看来，要真正客观、全面地评价风电设备的运行状况，仅靠企业上

报的相关数据是不够的。一是缺乏客观的公正性。各企业一般都会报对自己有利的数据，投资者会把风电场运行不好的事实推向设备制造商，设备制造商也会把不太好的一些状况推向管理者。二是缺乏系统性。对于风电设备的评价仅靠一些零散的数据很难做到客观，必须要有系统的、长期的监测数据，也要对不同地区、不同建设单位、不同设备企业和不同机型，选取有代表性的风电场进行长期的监测。这个监测既是对投资者管理水平的监测，也是对风电设备运行和企业服务水平的监测。要做到这一点，必须要制定一个全面系统的监测管理办法，但不可非常复杂，要切实有效，能对产业的特点和面临的问题进行客观公正地评价，使大家有一个标杆。

风电产业监测体系开始运行后，国家能源局会对一些重要事项形成文件，比如对风电场的选择等。对企业怎样配合体系的运行，也要提出一些要求，并希望企业能够提高认识，很好地配合这项工作。

第一，要充分认识风电设备制造技术和质量面临的一些问题，企业要有危机意识。一些风电开发企业的情况显示，有些设备可用率很高，发电量不高，有些设备可用率不是最高，但是发电量很大。这就说明设备在设计的整体性能上有差距，应该引起重视。风电设备制造业的特点是产业链长，任何企业都不能生产一台整机所需的全部零件，需要从零部件企业采购。如何保障这些产品的质量，难度非常大。一些产品质量问题的根本原因出现在管理上，是如何保证产品质量一致性的问题，要有严格的管理制度和清晰的认识。如果要真正做到这一点，则需要企业精神。现在零部件采购存在很多利益关系，现实中真正做到优质优量很难。目前看来，无论国有企业还是民营企业，都面临这个问题。谁能保证设备持续可靠，谁就能持续地走下去。因此，一定要抓好管理、建好机制、建好责任制。

第二，风电是最有前途的新能源产业，在当前环境问题日趋严重的情况下，加快新能源产业的发展，加快调整能源结构，减少化石能源消费，保护环境是社会各界共识，也是国际社会的共识。目前，风电发展面临不少的矛盾和问题，解决这些问题也不是那么容易，但风电发展的前景是非常光明的，这一点要坚定信心。虽然当前行业发展速度有所放缓，但长期来看风电市场仍非常大，这给了有责任心、事业心的企业做好市场的空间。相信到 2020 年建成 2 亿千瓦的目标没有任何问题。如此具有广阔前景的产业，更要可持续地走下去。企业的核心竞争力还是质量和成本，企业家应不求大、不求快，就求好，一定要立足长远，稳扎稳打。

总体来看，目前健康的风电市场还未建立起来，设备制造企业的竞争还不完全是质量、成本的竞争。风电设备竞争一定会回到这两点上，目前这样的环境正在形成。好的产品就应该有更多的市场，这是一个客观规律，监测体系建立后就是要明确哪个好，哪个差，使选择有标准。

建立监测体系是为了促进我国风电产业能够健康持续地发展。风电产业是开放的，能否做好的关键是能否静下心来认真做，这样才能使风电行业比别的行业做得好些。希望通过行业的共同努力，使这个产业能够持续为国家经济、社会发展和能源结构调整提供优质、可靠的能源。

（本文根据国家能源局新能源和可再生能源司副司长史立山的讲话整理，未经作者确认。）

把握海上风电机遇

本刊记者 / 白亚茹 赵靓

受访嘉宾：Randall Hoeflein

艾尔姆风能叶片制品公司亚太区总裁。

《风能》：您认为中国叶片市场和国外叶片市场之间的区别有哪些？

Randall Hoeflein：我觉得这是一个很重要的问题。在中国，大家以前最看重的是风电机组的价格，但是现在的认识已开始逐渐发生改变。现在风电机组的价格已经开始上涨，大约为每千瓦时 3800 元左右，开始接近 4000 元，海上风电机组的价格甚至更高，每千瓦时达到了 5000 元左右。大家逐渐认识到，价格不是购买风电机组时考虑的唯一因素，风电机组和叶片的能量输出问题也很重要。机组一旦出现了故障，停止运行，维修费用将会很高，尤其是海上风电。现在，国外企业和中国企业都将焦点放在了生命周期的能源成本上。也就是说，在 20 年的生命周期中，购买成本、运行成本、维修成本都要考虑进去，而不是仅仅看重购买风电机组的价格。也就是说，你可能买了一台很便宜的机组，但是出了问题之后还要再买一台新的。行业的观念已经发生了改变，人们更加关注的是风电机组生命周期总成本。我们也正在培育这个市场，让客户认识到生命周期的能源成本是更科学的考量标准，而不是仅仅看重价格。

《风能》：艾尔姆在中国风电市场面临的挑战是什么？如何应对这些挑战？

Randall Hoeflein：无论对中国制造商还是外国制造商来说，价格仍是一个很大的挑战。行业最初的主流产品是 1.5MW，后来逐渐发展到 2MW 和 3MW，随着机型的增大，价格也成为了更大的问题。同时，随着行业的不断发展，也面临着整合问题，包括最初进入行业的制造商，以及新进的一些制造商。

对于 LM 来说，海上风电市场是我们的下一个目标。中国叶片市场的主流产品经历了从最初的 35 米到 40 米再到 50 米的发展过程。艾尔姆基于原有的经验研发了更长的叶片，从 61.5 米到 66.5 米，甚至到现在的 73+，取得了新的突破。现在，中国风电市场也开始使用更长的叶片。艾尔姆在海上风电也有长叶片设计和生产的历史经验，利用这一优势去占领更多的市场份额。对于艾尔姆

来说，一个突出的能力就是生产更长、更细和更轻的叶片。此外，艾尔姆拥有 22 年的海上风电经验，在丹麦有世界上最大的叶片研发中心，这些优势也为叶片追求更轻的重量、更好的可靠性创造可能。

《风能》：中国风电市场近年来并不是很好，很多零部件企业将重点转向其他企业，一些外资企业也在退出中国的风电市场。此时，艾尔姆却在中国推出了 73+ 叶片，这对于艾尔姆来说有何重要意义？

Randall Hoeflein：对于艾尔姆来说，最大的意义就是 73+ 是中国海上风电市场最长的叶片。而且经过两年多的设计、生产和测试，保证了它的可靠性。叶片长度和能量输出是一个平方增长的关系，叶片越长越能获得更多能源。另外一个意义就是，年初的时候风电行业形势不是很好，大家都在疑惑艾尔姆会不会像其他外资企业一样离开中国市场，我们想给客户传递一个更强的信息，我们没有离开中国，而是以更强的实力进入中国。现在我们把最好的产品带到中国，并且在以适应中国市场特点的方式开拓中国叶片市场。

《风能》：目前艾尔姆在全球海上风电市场有哪些重点项目值得大家关注？

Randall Hoeflein：目前的项目主要集中在江苏省，这是未来海上风电市场最有前景的一个省，如东、盐城等都是当时海上风电特许权招标时候的重点区域。我们非常关注整机商的动态，包括他们的排名和产品研发趋势，这决定了我们未来的一个发展方向。今天来看，中国海上风电发展还刚刚起步，装机容量基本不到 500MW，离 2020 年将近 30GW 的装机目标还有很大差距，未来有很大的发展空间。海上风电是在人口密集，经济高速发展的东南沿海发展，不会遇到像甘肃、新疆等地区的电网瓶颈问题。在中国，现在最大的问题是现金。由于弃风限电，风电场的发电量达不到满发。在年发电量里，最重要的就是功率因数，它决定了年可利用有效小时数。我们预计，海上风电的年可利用小时数要远高于陆上风电。所以我们相信海上风电是一个非常大的机遇，也是未来风电发展的一个方向和目标。

《风能》：海上风电和陆上风电不同，您认为中国的整机厂商应该更加关注哪些问题，才能顺利地做好中国海上风电市场？这里面 LM 需要做什么？

Randall Hoeflein：质量问题一直是很重要的因素，到了海上风电就由重要因素变为了关键因素。在陆上风电碰到的一些问题可以维修，不会很贵，但是海上风电要花更多的时间和费用。欧洲海上风电发展得很早，出现过轴承、发电机、塔基问题等，这些问题的维修成本都非常高。我们在欧洲的时候就遇到过这样的问题。用 3 个小时将船开到海上风电机组所在的机位，再用几个小时安置设备，真正开始维修的时候七、八个小时已经过去了。在风电机组上进行一些重要的置换、维修，比如换发电机等，需要特殊的设备和船只，大概要花 10 万欧元，相当于 80 万人民币。所以，质量问题是非常重要的。整机商要检查每一个供应商，以此确保整个供应链在质量上没有问题，减少未来潜在的成本。我们在过去已经有 30 多年的叶片生产经验，在中国与客户联系得也非常紧密：一是与整机商分享我们在欧洲的经验；二是帮助客户进行叶片维护，及时看到潜在的问题，并提供维护服务，力求把我们最好的技术和服务带给客户。

联合动力的成长与梦想

全产业链布局，风电新增装机排名国内第二，6 兆瓦机组完成吊装，正在进行 12 兆瓦机组设计，是什么让这家公司这般快速生长？

本刊记者 / 薛辰 苏晓

联合动力
United Power

看待联合动力的成长需要另一种逻辑。

有业内人士对联合动力的迅速发展不以为然，认为这家公司能有良好业绩是因为其生产的风电机组在国电集团内部循环，并非市场行为。2013 年上半年中国风电制造商新增装机排名榜单显示，联合动力依旧位居第二，这越发引起了多方关注。

但在联合动力市场开发中心总经理邹长宁看来，这种看法忽略了联合动力近两年外部市场的持续增长。邹长宁告诉记者：“2012 年，联合动力的外单份额已占居销售总量的 30%，2013 年还有上升趋势。”在谈到外部销售的情况时，邹长宁说他最看重的一个外单，是今年 8 月联合动力的 3 兆瓦机组在“国家风光储输示范工程”二期扩建项目中中标，订单量达到 96 兆瓦。

外部市场业绩的提升，在一定程度上彰显了这家公司适应市场的能力。一位业内资深销售经理对记者表示，在国内整机市场竞争白热化的形势下，联合动力能在外部市场取得这般业绩并不是一件轻而易举的事情。

这位销售经理解释说，这家公司的难点在于，它是国电的下属公司，而国电与其他“四大”电力公司不可避免地存在竞争关系。比如，在囤积风能资源这件事上，五大电力集团的步调一致，哪一家也不会和行业的主流做法背道而驰。这种看似和谐而实则“好风必争”的氛围，对联合动力的整机销售业务来说就是问题：一方面要和人家竞争风能资源，另一方面还要人家购买你的风电机组，这在心理和感情上让客户难以接受。另一个问题是你的机组够不够好，即便购买也要限定数量，同样的机型也不太可能给你和其他制造商同样的订单量。“这似乎是联合动力对外部市场销售风电机组的一个坎。”这位销售经理强调说。

“我们的确感到这是一个坎。”邹长宁很认

同这位销售经理的说法。他说正因为如此，联合动力的销售人员才会一次次地带上联合动力机组在国电风电场的运行数据到几大电力集团去游说，以获取这些公司的订单，即便是小量的订单也很珍惜。邹长宁告诉记者，“联合动力外部市场的销售布局已基本完成。”

在布局中成长、在成长中布局是这家公司的一个特点。在联合动力所有的布局中，全产业链布局是最受关注的一点。在风电制造业垂直链整合或去产业链的态势下，这家公司仍然坚持全产业链布局，是目前国内唯一全产业链布局的整机制造商。在这一点上，这家公司确实在风电制造业中显得有些与众不同，却也因此受到局外人的关注。较为普遍的一种看法是，作为制造业的新手，内部制造比例的提高并非可靠的盈利模式，公司未来的盈利恐怕成也产业链败也产业链。实际上，这种看法跟质疑这家公司的装机量一样，都与不了解这家公司的深厚背景有关。

如果以国电集团的绿色能源战略为参照，就不难理解为什么联合动力的机组先在国电体内循环并不断提升零部件自造比例，一切都与这家公司在国电集团的战略地位有关。

公开资料显示，这家公司成立于 2007 年 6 月，是国电集团为适应发展中国绿色能源事业的需要，解决风电关键和重大设备国产化问题，在原龙威发电技术服务有限公司的基础上组建的高科技企业，它“承载着国电人开创绿色能源时代的希望和梦想”。

能够清晰可见的是，联合动力正在实现梦想的路上前行，每一步都来自技术的活力和驱动。2007 年下半年，联合动力从德国 aerodyn 能源系统公司引进了 1.5 兆瓦机组技术，与当初有些国内制造商引进生产许可证、照图组装所不同的是，联合动力引进的机组技术是一个“打开的黑匣子”，不仅获取了完整的设计文件，也拿到了所有软件的代码，使其从开始就站在了巨人的肩膀上，这也让这家公司在风电技术上能够看得更远。

能够清晰可见的是，联合动力正在实现梦想的路上前行，每一步都来自技术的活力和驱动。

拥有了一个“打开的黑匣子”，就意味着联合动力收获了一个对引进的机组制造技术知其所以然的过程。联合动力风电技术总监张启应评价说，“正是这个过程为联合动力培养了风电技术人才，也为后来和 GH 联合设计 3 兆瓦机组增添了底气。”

张启应是在 2011 年初从 aerodyn 加入联合动力的。他说在有梦想、有实力，能长久做风电事业的国企主管风电技术研发是一件快乐的事情。张启应的到来，成为联合动力在全球招募风电技术人才的一个标志性事件。2011 年，全球风电跌入低谷，而联合动力却借机吸纳了一批来自 GE、西门子、维斯塔斯等国际知名公司的人才，成就了这家公司自主研发好产品的愿望。

目前，联合动力有 1.5 兆瓦、2 兆瓦、3 兆瓦、6 兆瓦四个产品平台，除了海上 6 兆瓦样机正在进行运行调试外，其他机组产品已经全部量产。值得关注的是，2 兆瓦、6 兆瓦机组产品完全由联合动力自己的研发团队自主研发，这是一个最能显示这家公司技术研发水平的聚光点。张启应强调，自主研发并非“闭门造车”，而是通过整合全球研发资源，设计并制造出一款能够为行业带来改变的机组产品，比如 6 兆瓦海上机组，就集合了国际知名公司的智慧和经验，多方合作可以让这款海上机型更安全、更可靠、更有发电效率。

仅产品多还不够，产品性能好才完美。联合动力营销总监李杰举例说，联合动力高海拔 1.5 兆瓦 82 米叶轮机组在国电电力云南大风丫口风电场的整体运行数据证明了这款机组的完美。该项目 2011 年 12 月 18 日并网运行，令人惊喜的是，“2012 年度，机位 A18 号机组年

发电量 693.9 万千瓦时，可利用率 99.3%，可利用小时数达到 4626 小时。”

这惊喜也让张启应和他的研发团队对超高海拔机组在西藏那曲风电场的安全稳定运行充满信心。那曲，海拔约 4786 米，气压低、日照强度高、雷暴多发、空气密度极低、温差幅度较大。风电机组在这样的特殊环境中运行面临两大风险：一是超低的空气密度会导致额定功率下降，风电机组有提前失速的可能；二是稀薄的空气介质会给所有的电气设备带来绝缘等系列问题。由此可见，要使机组在那曲做到安全稳定运行，就必须解决所有的技术挑战。

> 风电机组可靠性实践更深远的商业意义在于，它可以为联合动力进入风电场运维服务业务提供技术支持。

2013 年 8 月 8 日，联合动力自主研发的首批 5 台 1.5 兆瓦超高海拔风电机组在那曲完成吊装，屹立于“世界屋脊”。至此，超高海拔机型所有的挑战都已成为过去，但更高的技术挑战又摆在张启应和他的研发团队面前。

张启应透露，联合动力正在进行 12 兆瓦风电机组项目的研发，项目的程序设计将在 2014 年 4 月完成。据来自互联网的信息，维斯塔斯将推出 8 兆瓦机组，这是迄今已公开单机容量最大的风电机组。有业内人士称，在现有的技术条件下，突破单机容量 8 兆瓦级别是一件十分困难的事情。但张启应看来，“只要相信你的技术，坚持下去并将它完美，那么你必将成功。”张启应的信心源自联合动力对做强技术的资源支持，也与这个项目已被列为国家 863 课题密切相关。

还有正相关的是，12 兆瓦风电机组的研发也会对联合动力垂直产业链模式的发展带来益处和价值。在谈到此模式时，李杰强调，这符合联合动力做大做强的战略定位。“通过自己制造零部件，能够提升自身的技术水平，也会对国电集团风电场 20 年运维过程中的零部件更换起到保障作用。”

截至 2012 年，国电集团累计风电装机容量已达 1576 万千瓦，占全国风电累计装机容量的 21%。这就不难理解为什么联合动力那么看重风电全产业链布局，但其国内唯一性也让这家公司比国内轻资产的整机商面临更多经营管理方面的问题。为了取得成功，联合动力整合部门的力量，将叶片、发电机、齿轮箱、变桨系统和变流器作为核心部件加以重点打造，推进这一产业健康成长。

这种选择，也决定了这家公司在每个领域都会有不同的竞争对手，人们需要看到的是这家国企的竞争力。显然，这家公司意识到了这一点，2012 年开始尝试用内外销售比例机制增强核心部件生产厂的内部活力。比如说齿轮箱厂，在外部市场销售了 1 台，就获得了在内部市场再交易 1 台的资格，也就是说内部市场拿到的供货量完全取决于在外部市场的销售。这样，就会倒逼部件厂开拓外部市场，提升产

业链的整体竞争力。

在张启应看来，核心部件产业链对风电机组发电性能的优化具有很强的支撑作用。今年9月中旬，联合动力的1.5兆瓦、97米叶轮低风速机组在天津并网运行。值得关注的是，这款机型采用的都是优化后的发电机和齿轮箱，由联合动力自主设计和制造，仅发电机的发电效率就可提升3%的电量。

张启应解释，在低风速区域，发电机的发电量有规律可寻，优化的目的就是在某个功率段把发电机的效率提上去，带来更多的发电量。而齿轮箱的优化则主要体现在很多细节上，目的也是为了提高齿轮箱的效率。正是这种对核心部件的性能优化以及机组技术的持续改进，张启应对联合动力的产品未来充满了信心。

在这家公司，以优化为核心的持续改进理念不仅体现在机组及部件产品的设计和制造上，在对5000多台风电机组的运行与维护中也有更直接的反映。

2012年初，联合动力开始实施旨在以提高在役机组发电量、节省自耗电和降低运维成本为目的持续改进计划。李杰告诉记者，这项计划确定了100多个优化改进项目，率先对国电电力、龙源电力、国电新疆公司等多家业主的25个风电场的1000多台机组进行了功率曲线优化和冷启动与自耗电改进项目，取得了显著效果。随后，又对分布在多个风电场的3000多台风电机组进行了相应的项目改进，赢得了业主的认可。以机组冷启动与自耗电改进项目为例，一个由33台1.5兆瓦机组组成的风电场，实施该项改进后可使自耗电降低30%，而整个风电场发电量提升1%。

联合动力副总工程师苏剑涛对此项目的由来和改进作了解释：“有业主反映我们某个机型低温下启动过程较长且自耗电较高的问题。对此，我们的技术团队细致分析该机组耗电部件的用电数据，寻求其自耗电改善空间，同时对机组低温冷启动特性进行调研，确定低温冷启动改进策略，提出机组自耗电优化方案，最终实现机组发电量的提高。”

需要说明的是，这 100 多项优化项目并非是一个“凑合”的数字，而是一个实际调研的结果，一方面来自联合动力运维人员的现场发现，另一方面来自业主的期望，归结到一点就是让风电场发出更多的电量。更重要的一点是，这项计划是在一个叫“技术持续改进小组”的组织下落地实施的。在联合动力这样的国企，只要一件事情有一个专门的组织，就足见这件事情的重要程度。

技术改进要靠技术能力来实现，整体风电技术能力的提升为这家公司实施这项计划提供了支持。不仅如此，这家公司还将其技术向风电业务链条的上游延伸，并作为营销支持的手段和内容固化下来，为客户提供更具有技术含量和提升投资收益的服务。正如李杰所说：“我们为客户提供的不只是风电机组，而是一项发电工程项目的服务。”

这家公司会对选购了自己机组的业主提供更多的服务，其中协助设计院进行风电场设计、帮助业主核查机组选址并调整机位和评估发电量收益是必须的环节。李杰举例说，在华润山西原平风电场项目中，联合动力微观选址工程师配合设计院在对原平风电场 88 个机组机点位作了认真细致的复核，在现场确认每个机位的地形、障碍物，核对各机位风况参数，对 16 个安全超标和 11 个风能资源不好的机位作了调整，最大程度地保障机组安全和发电量提升。

因为多年的电力背景，联合动力对“安全”和“电量”这两个概念有着更为深刻的理解，这就不难理解这家公司为什么会在公司内部践行“机组可靠性”、“度电必争”这两大理念。据内部资料，联合动力在国电集团科综部的直接指导下，起草了《风力发电机组可靠性管理办法》和《双馈型风力发电机组可靠性评价标准》，明确了风力发电机整机及大部件作为可靠性管理的基础，引入了部件可靠性指标、故障采集指标、损失电量指标，形成了较为完整的风电机组制造企业设备可靠性指标评价体系。李杰告诉记者，“这一指标体系已于今年 7 月开始试行，以便为未来全面推广积累经验、奠定基础。”

其实，风电机组可靠性实践更深远的商业意义在于，它可以为联合动力进入风电场运维服务业务提供技术支持。 2013 年 7 月 19 日，这家公司启动风电场“云”运维平台，通过利用云计算技术、通讯技术及控制技术搭建机组远程监控及运维数据系统，对风电场实现集中管理并提供远程技术支持、故障在线诊断及解决、实时数据分析等服务。可以预见的是，至少这家公司的云平台可以为国电集团的所有风电场提供全生命周期的运维服务，让这项投资变得有回报，也让风电大数据挖掘成为可能。

据张启应透露，联合动力总经理张滨泉对云平台的建设和运行格外重视。“张总建议云平台控制室设在自己办公室的对面，他也时常进入控制室来观察风电场的实时运行情况，停机的风电机组一定会成为他向值班人员询问的问题。”

对于这位秉承“时刻不忘竞争，细节决定一切”工作理念的总经理，人们期待他缩短联合动力现实与梦想的距离。在所有期待的人们中有国电人，也有在国电之外关注中国清洁能源事业的人们。

旨在为风电行业提高
可靠性和效率！

壳牌充分了解润滑油在风力发电机组运行中发挥的重要作用。无论您是想要使用专用低温液压油来延长维护周期和提高设备稳定性，或是想要使用润滑脂来防止桨叶发生摩擦腐蚀和微动腐蚀，壳牌将超越您的各种需求，提供全系列的润滑油产品。

- 经专门研发的**壳牌可耐压(Omala)系列**工业齿轮油，是设备使用者和管理者的理想选择，能够为用户提高齿轮箱的稳定性，实现高效运营和加倍保护。
- **壳牌可耐压(Omala)S4 GX齿轮油**是壳牌销量领先的合成工业齿轮油。具有非常优异的低温流动性和超长使用寿命，它能有效降低摩擦系数，大幅度减少摩损。能为不易维护的风力发电机组齿轮箱提供超强保护。

壳牌润滑油热线：
400 010 3208
壳牌润滑油网址：
www.shell.com.cn/lubes

ABB在中国

本刊记者 / 于贵勇

再次见到穆赫是在位于厦门的 ABB 开关有限公司，这位来自德国的 ABB（中国）电力产品部负责人，已经在华工作了十几年，对中国的文化很了解，在德式沉稳与中式幽默之间游刃有余。而且，每次与初次见面的朋友谈话中，他总要在顺理成章的地方提到，他的太太是一位地道的厦门人，这一下就拉近了彼此的距离，在惊讶和溢美中，谈话的气氛也就更加舒服。

优化在中国的布局

ABB 与厦门的渊源远不止上面提到的这段个人佳话。1992 年 9 月，ABB 在厦门成立其在华投资的第一家公司，即上文提到的 ABB 开关有限公司。目前，厦门是 ABB 在中国最重要的生产研发中心，有 7 家工厂设在这里，员工人数超过 3000 名。ABB 将来自欧美的先进技术在这里进行本地化，产品 90% 以上的部件实现本地供应，从这里辐射全国。近年来，ABB 中国除了在服务本地市场以外，也在逐步扩大出口。目前，10% 到 15% 的营业收入直接或者间接来自于中国以外的市场。根据全球分工，厦门研发中心不仅承担本地化技术的开发，同时也为其他地区提供首创性技术和产品，在 ABB 的全球布局中发挥着重要的作用。“从去年开始，我们在中国当地的研发团队，甚至承担了 ABB 集团全球的研发任务。一些项目是通过本地的团队去帮助全球研发产品的，有一些研发项目是由中国本地的研发工程师和在国外的工程师共同协作的，但是还有一些项目是完全由本地的研发工程师来承担，而这个产品研发出来以后，是提供给 ABB 全球使用的。研发需要硬件的投入，比如说各种实验室，未来我们在中国会建立更多的实验室。”穆赫说道。

在全球，ABB 分为五大业务部门，分别是电力产品部、电力系统部、离散自动化与运动控制部、低压产品部、过程自动化部。这五大业务部门在全

球 100 多个国家，包括中国都有分支机构，员工人数 14.5 万人，2012 年整个集团营业收入是 390 亿美元，其中电力产品部去年整个集团的收入大概是 107 亿美元。电力产品部在中国设立了 17 家合资工厂，按原有布局基本都集中在东部沿海，但现在正呈现出向华中以及西部地区转移的趋势。这种布局的转变也反映出 ABB 公司对于中国宏观经济政策和发展路径的深入观察和思考。中国政府的西部开发政策以及西电东送、西部能源基地建设、包括风能太阳能等清洁能源电力生产和输送等大型工程项目，对 ABB 形成一种全局化、前瞻性的导向。

提供差异化服务

ABB 的电力产品被广泛地应用在火电厂、水电站、风电、太阳能发电等传统和清洁电力的发电和输变电当中，在矿山、机械、冶金等工业领域也能找到 ABB 的身影。在大家耳熟能详的青藏铁路上、在高铁列车上、在鸟巢和世博园建筑上，都应用了 A B B 的关键产品。人们通常习惯于传统的产品贸易或者产品的交付，实际上还有另一种产品叫服务。按照穆赫的说法，ABB 之所以把服务当作一项业务，尤其是在中国市场，是非常必要的。随着产品销售量和市场占有量的增加，对设备进行全生命周期管理，包括设备的延寿变得尤为重要。

为此，ABB 在厦门建立了远程服务中心。客户只要远程拨打电话或者通过视频会议进来，远程服务中心就可以帮他解决问题。ABB 现场服务工程师通过视频的方式拨入进来，远程服务中心的专家就会看到现场的情况，同时提出相应的解决方案，现场的工程师就可以安全、高效地去处置现场出现的技术问题。如果遇到在厦门的专家也解决不了的问题，同样可以把电话或者是视频拨到德国去，由德国的专家通过连线的方式提供进一步的技术支持。所以，虽然是一个小的远程中心，但是它把 ABB 全球所有的技术资源都整合在了一起。

在感受 A B B 的服务理念时，能够让我们深刻感受到，服务不仅是一种产品，更是一种文化理念，是成为世界级优秀企业的特殊标签。ABB 中国不仅凝聚了一批来自世界各地的技术骨干，也打造出了一个本土化的优秀而年轻的管理团队，每个人的谈吐和微笑都透露着 A B B 的基因特质，而其所提供的所有产业和服务，也必然建立在这个基础之上。

做优秀的企业公民

今年是穆赫连续第九年参加 ABB 在厦门理工学院的奖学金颁发仪式。7 月 2 5 日上午，穆赫带领 ABB 厦门各分公司高管来到厦门理工学院，受到了全校师生的热烈欢迎。从 2005 年开始，ABB 一直在跟厦门理工学院进行校企合作。“我们一直坚定不移、全方位地推进当地教育的发展，这也是 ABB 在努力尽到自己的企业社会公民的责任。”穆赫说道，“其实，ABB 做的公益活动涉及很多领域，比如我们的员工在厦门海滩上捡过瓶子、捡过垃圾，为了保护海岛生态，我们的管理团队也到过厦门附近的一个海岛上种过红树林。”

ABB 和厦门理工学院之间的校企合作已经被福建省推为校企合作的典范。这显然是当之无愧的，因为这种合作是全方位的、深入的，除了通常会见到校企合作最初级的形式，如奖学金、助学金，还有奖教金，最近合作领域又拓展到了共同技术研发的领域，厦门理工学院的一些优秀学生会参与到 ABB 内部的延续项目中来。每年厦门理工学院即将毕业的优秀学生都会到 ABB 工厂做毕业设计，每年也有一部分学生到公司进行暑期实习。同时 ABB 也会邀请学校的专家、教授到工厂为技术人员做培训。ABB 内部的技术专家每年也会到学校去，跟厦门理工学院的老师探讨行业的最新技术，包括介绍 ABB 的一些产品和技术。厦门理工学院在 ABB 的帮助下，也建立了 ABB 的产品实验室。

除了厦门理工学院这样的高等院校以外，ABB 还和厦门技师学院进行了密切的合作，除了在教学上的交流、技术方面的交流以外，还在厦门技师学院里专门设立了一个 ABB 班。这个理念其实是来自于 ABB 重庆分公司和重庆技师学院设立的 ABB 班。ABB 在其所在的其他城市都在开展类似的校企合作以及公益活动，而不仅限于厦门一个地方。

“从企业社会责任的角度来讲，作为一个经理人你可以设立一个项目，推动这个事情的成功。但是二十年如一日持续推进这些企业社会责任的项目，其实源自于我们每一名员工的个性化社会责任。”穆赫在谈到这个问题时，饱含感情，他反复讲了多次：“大家可以想象，有一天当 ABB 员工的孩子进入到一所大学，当他了解到其实 ABB 在一直不遗余力地支持教育、支持这所学校，这将给我们的员工和孩子带来怎样的自豪感和成就感？”

墨西哥风电发展现况

Marco A. Borja
编译　苏晓

概述

2012 年，墨西哥新增的风电并网容量为 64.5 万千瓦，累计风电并网容量达到 121.2 万千瓦。这也说明了墨西哥政府 2008 年 11 月颁布的《可再生能源利用与能源转型融资法案》效果明显，法案主要目标也得以实现。墨西哥电力市场中，风电已然成为一种颇具竞争力的电力，而且墨西哥能源部还发布了一项可再生能源利用特别计划。此外，在墨西哥特万特佩克地峡地区正在建设一条 200MW、400kV、300km 的风电项目输电线路。目前，有总装机量 27.6 万千瓦的新增风电项目已经确认。这一项目将直接促使 2013 年年底墨西哥的风电累计装机容量达到 148.8 万千瓦。对此，墨西哥的公共和私人公司将可以适当地解决一些紧急的社会电力需求问题。

墨西哥能源管理委员会已经授权许可开发总装机容量为 370.8 万千瓦的风电项目。根据预测，到 2020 年，墨西哥将建设 1200 万千瓦左右具有经济可行性的风电项目。墨西哥最大的风能资源基地位于瓦哈卡州的特万特佩克地峡，这里离地面约 30 米高度的年平均风速为 7 米 / 秒至 10 米 / 秒，预测可供商业开发的风电容量超过了 600 万千瓦。如果在该区域使用高可靠性、高效能的风电机组，年功率系数有望达到 40% 左右。墨西哥的下加利福尼亚州、恰帕斯州和塔毛利帕斯州都成为该国新涌现出来的风电资源开发区域。

总体目标和进展

如上所述，预计到 2020 年年底，墨西哥风电装机容量有望达到 1200 万千瓦左右。假设机组年均功率系数为 30% 左右，则风力发电对该国电力需求的年贡献率将约为 5%。

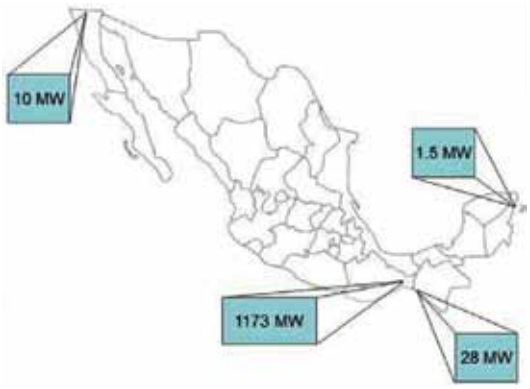
目前在墨西哥最早动工的是 La Venta I, Guerrero Negro 和 La Venta II 风电场项目，这些项目都由墨西哥的联邦电力委员会（CFE）所有和运营。Parques Ecologicos 是墨西哥首个私人所有的风电场（主要投资方是伊维尔的罗拉公司），该风电场主要为多个私人公司提供电力。EURUS 是拉丁美洲地区最大的风电场，由西麦斯（CEMEX）公司所有，其主要目的是满足西麦斯约 25% 的电力需求。Electrica del Valle de Mexico 在墨西哥安装的风电机组最多，一共 27 台，采用的都是 Clipper 风电公司的 2.5 兆瓦机组。La Rumorosa 1 则是墨西哥首个为公共市政照明供电的风电项目。墨西哥电力研究所是墨西哥第一个风电测试中心，该中心由全球环境基金会（GEF）通过联合国开发计划署（UNDP）资助。它也是墨西哥首个小型风力发电商。

2012 年，墨西哥风力发电的总电力输出

表1 墨西哥2012年风电关键统计数据

风电总装机容量	1212MW
新增风电装机容量	645MW
风电总电力输出	34 亿千瓦时*
风电在全国电力需求中的比例	1.2% *
平均功率系数	30% *
目标	到 2020 年装机 12000MW *
*表示预估值	

约为 34 亿千瓦时，相当于整个国家电力需求的 1.2%。以风电每兆瓦时可减排 0.58 吨二氧化碳的水平计算，2012 年因风电而减少的二氧化碳排放量为 1.97 百万吨。



◀
图1 截至2012年12月墨西哥的风力发电装机容量

风电激励政策

2008 年颁布的《可再生能源利用与能源转换融资法案》体现了墨西哥政府贯彻能源多元化政策、促进可持续发展的政治意愿和承诺。该法案包含的主要策略内容有：提出风电发展战略目标；设立可再生能源发展特别计划和绿色基金；提供电网接入途径；确认外部成本和容量信用；鼓励建立电力输送联网和基础设施的技术标准；为产业发展和技术研发提供支持等。该法案的部分监管手段已经发布，还有一部分尚在制定之中。

墨西哥现有的风电激励政策主要包括：

（1）2001 年颁布的可再生能源发电站接入国家电网的联网协议：该协议允许在计费周期内实行电力交换；

（2）2004 年颁布的加速折旧法（第一年折旧率高达 100%）；

（3）对自供电项目一定容量信用的确认；

（4）降低电力输送税费。

不过，墨西哥也面临着影响风电发展的一些问题，譬如在风电项目谈判过程中，迫切需要给风电项目土地所有者带来恰当而公平的社会效益（尤其是农民和渔民）。目前墨西哥还未开展国家层面的风电开发规划研究。

风电产业现况

截至 2012 年年底，墨西哥风电场建设的总投资预计约为 24 亿美元（约合 147 亿元人民币）。假设其中有 80% 左右的资金对应风电机组的成本，那么其余大约 4.8 亿美元（约合 29.4 亿元人民币）的资金则可认为是风电对墨西哥的经济发展贡献。虽然如此，还是有相当一部分风电相关的工作聘用的是国外的工人。

西班牙的风电机组制造商 Acciona 风电公司和歌美飒风能公司在墨西哥风电市场占主导

表2 墨西哥风电项目进展

风电场	机组数量（台）	机组功率（kW）	制造商	总装机容量（MW）	到2010年底进程	开发商类型(1)	并网年份	所在州
La Venta I	6	225	维斯塔斯	1.3	并网	FGOB	1994	瓦哈卡
Guerrero Negro	1	600	歌美飒	0.6	并网	FGOB	1998	南下加利福尼亚州
La Venta II	98	850	歌美飒	83.3	并网	FGOB	2007	瓦哈卡
Parques Ecol ó gicos F1	93	850	歌美飒	79.9	并网	POSS	2009	瓦哈卡
EURUS	167	1500	Acciona	250	并网	POSS	2009	瓦哈卡
Bii Nee Stipa	31	850	歌美飒	26.3	并网	POSS	2010	瓦哈卡
Certe–IIE (F1)	1	300	Komai	0.3	并网	I+D	2010	瓦哈卡
E. Valle de M é xico	27	2500	Clipper	67.5	并网	POSS	2010	瓦哈卡
Mexicali	5	2000	歌美飒	10	并网	SGOB	2010	北下加利福尼亚州
Fuerza E ó lica	20	2500	Clipper	80	并网	POSS	2011	瓦哈卡
La Venta III	121	850	歌美飒	102.9	并网	IPP	2012	瓦哈卡
Oaxaca I	51	2000	维斯塔斯	102	并网	IPP	2012	瓦哈卡
Oaxaca II	68	1500	Acciona	102	并网	IPP	2012	瓦哈卡
Oaxaca III	68	1500	Acciona	102	并网	IPP	2012	瓦哈卡
Oaxaca IV	68	1599	Acciona	102	并网	IPP	2012	瓦哈卡
Stipa Nayaa		850&2000	歌美飒	74	并网	POSS	2012	瓦哈卡
E ó lica de Arriaga	14	2000	维斯塔斯	28	并网	POSS	2012	瓦哈卡
DEMSA (F1)	45	2000	歌美飒	90	未并网	POSS	2013	瓦哈卡
Eoliatec Istmo	82	2000	歌美飒	164	未并网	POSS	2013	瓦哈卡
DEMSA (F2)	68	2000	歌美飒	137.5	未并网	POSS	2014	瓦哈卡
E ó lica Mareña	60	3000	维斯塔斯	180	未并网	POSS	2014	瓦哈卡
Not initiated	–	–		1902.6	未开工			
Accumulated				3708.5				

(1) FGOB= 联邦政府 , SGOB= 州政府 , POSS= 私人拥有自供电商 , IPP= 独立发电商 , I+D= 研发项目

地位，而其他公司譬如维斯塔斯等也获得了重要的合作订单。

墨西哥涌现出来的风电开发商主要分几种类型。其中，西麦斯公司是全球领先的建筑材料公司，它在投资墨西哥自供电风电项目中充当着主要角色。通过组建自供电财团，伊比德罗拉（Iberdrola）公司则在为大型和中型电力消费者提供电力的风电项目开发中充当重要角色。另外，在联邦政府的支持下，墨西哥下加利福尼亚州政府为公共市政照明开发了一个 1 万千瓦的风电项目。这个项目已经在 2010 年并网运营。

在墨西哥，有 200 多家公司有能力生产一些风电机组和风电场的所需配件。墨西哥 Trinity 工业、S.deR.L.de C.V. 为很多风电企业提供塔筒。墨西哥 Potencia Industrial S.A. de C.V. 为 Clipper 风电公司提供永磁发电机。墨西哥在土木工程、机械和电气工程等方面也有很多从事于风电场设计和建设的优秀技术专家。新的可再生能源法也鼓励墨西哥能源部和经济部推动该国风电机组制造业发展。

目前墨西哥还没有向公众公开的有关每个风电场具体运营详情的资料。总体而言，墨西哥风电机组制造商正在学习研究特万特佩克地峡良好的风况和独特环境。正如世界上其他地区的情况一样，很多投资商也心存担忧，因为质保期后所需花费的维护成本到底是多少还不确定。

特万特佩克地峡地区的风电项目投资成本约为每千瓦 2000 美元（约合人民币 1.22 万元）。在该区域，独立发电商的回购电价大约为每千瓦 0.065 美元（约为每千瓦时 0.4 元人民币）。

研发情况

在全球环境基金会和联合国开发计划署的经济资助下，墨西哥电力研究所（IIE）成立了一个地方风能技术中心（WETC）。2009 年，地方风能技术中心安装了一台供检测使用的特殊类型的风电机组样机。这台 300kW 的风电机组由日本 Komaihaltec 公司制造。根据制造商的技术参数，该机组的潜在用途是分布式发电。这款机型尤其适合安装在风电场交通不便、湍流强度高达 20%、地震灾害频发的地区。

在墨西哥能源部和国家科学技术委员会的支持下，墨西哥电力研究所也在研究有关风电项目建设中的众多相关课题，并获得了来自墨西哥联邦电力委员会的特殊研究课题和项目。墨西哥电力研究所还制定了一张国家风能资源分布图，该分布图在第 16 次联合国气候大会上向参会者演示过。此外，墨西哥电力研究所还参与了 IEA 风能协议 Task11 研究工作。

（该文节选自 IEA 2012 Annual Report，作者就职于墨西哥电力研究所。）

摄影：熊万能

为课堂多加一点“鲜料包”

本刊记者 / 白亚茹

无论对于哪门学科，成功的一课除了使学生汲取书本上的知识，还要让学生了解书本外的世界，在掌握基本技能的同时，还能品味到课堂的一点新鲜感。随着教育改革的不断深化，高校对人才的培养模式日益呈现出多样性和高效性，教学形式和教学活动也逐渐灵活起来。

2013 年 9 月 17 日下午，世界风能协会前主席、北欧可再生能源中心主任 Preben Maegaard 来到华北电力大学北京校区（以下简称华北电大），进行了一场以“欧洲风能发展现状与前景”为主题的讲座。二百余名华北电大师生及风电企业代表参加了讲座，并分享心得。

Preben Maegaard 于 1935 年生于丹麦，在风力发电领域积累了丰富的理论和实践经验。此次来到华北电大，Preben Maegaard 为同学们带来了不同于往日课堂上所学到的知识。除了与学生分享丹麦等国家的风能发展历程与经验外，还向他们展示了风电发展的前沿技术和风能资源的最新应用。

讲座开始后，Preben Maegaard 首先阐述了可再生能源在当今世界发展中的重要地位。“随着化石能源的日益枯竭和环境污染的加剧，能源问题逐渐得到各国的高度重视，可再生能源所占的比例也逐年开始上升。”在介绍了 2012 年全球风能发展的基本情况后，Preben Maegaard 通过列举详实的数据将欧洲多国的风电发展现状进行了对比分析，使学生比较清晰地看到了各国在风电发展过程中存在的差距及发展空间。讲座内容还包括目前风能发展过程中遇到的一些难题和挑战，以及各国在风能领域的合作情况。讲座中，Preben Maegaard 通过实例讲解和图片展示充分调动了学生的积极性，其中不少内容都是引起学生兴趣的热点话题。在讲到欧洲风能利用的先进形式以及最为前沿的技术应用时，学生纷纷举手发言，踊跃提问，与 Preben Maegaard 进行了现场互动。

除了陆上风电的发展情况外，讲座内容还涉及到海上风电的最新发展情况。Preben Maegaard 从运输、安装、材料以及安全等方面阐述了海上风电与陆上风电的不同之处以及发展过程中遇到的诸多挑战，并以配图的形式向学生展示了目前世界上最大的海上风电场。一位大三的本科生告诉记者：“之前自己掌握的只是书本上的一些理论，这次讲座利用了丰富的图片、数据资源以及具体案例，形式生动活泼并且印象深刻，这种形式很有新鲜感。”在讲座的最后部分，Preben Maegaard 向学生展示了各国对多种形式的小型风电机组的应用，丰富多彩的图片、幽默风趣的语言以及学生的积极参与将讲座推向了一个小高潮。

记者了解到，参加此次讲座的学生分别来自不同的专业，除了风能与动力工程专业外，还有热能专业、环境科学专业、电气工程及其自动化专业等。他们有的是本科生，有的是研究生，还有的是刚入学的大一新生。

谈到对此次讲座的感受，一位风能与动力工程专业的大三学生告诉记者，“学校每年都会举办很多次这样的讲座，我们非常感兴趣，能学到很多书本上没有的东西，也能接触到行业内的热点问题。无论对今后的就业还是深造都有很大帮助。”一位刚入学的大一新生也表达了自己的看法，“这样的讲座对于我们刚入学的学生来说很有新鲜感，可以产生很强的学习兴趣，也能较快地适应大学的学习方式，可以更好地规划未来四年的大学生活。”一位风能与动力工程专业的研究生谈道，“多参加一些这样的讲座能补充很多课外知识，开拓自己的视野，仅局限于书本中的知识是远远不够的。”

华北电大的一位教师在聆听讲座后也深有感触。“从讲座中可以看出学生的兴致都很高，发言也十分踊跃。教师在教学活动中还是要充分调动学生的积极性，充分发挥引导者角色。只有将书本知识灵活地传授给学生，才能引起学生的学习兴趣，激发他们的求知欲。”

此次讲座只是众多教学活动的一种形式。在向学生传授基础知识的同时，越来越多的高校开始注重教学形式和教学内容的革新。

在教学形式上，很多高校都会在一个学期当中组织开展多种形式的课外活动。小组教学、项目教学、校企合作等教学形式正在以全新的角色逐步取代以往课堂“满堂灌”的教学方式。在学生看来，一次内容丰富的课外活动除了能及时补充课堂内学不到的知识，还能开拓自己的视野，在轻松的氛围中掌握知识。在教学内容上，高校课堂更加注重学生知识面的延伸，而不是仅仅局限于书本上的理论。“掌握课本上的基础知识很重要，而懂得如何运用也很必要。对于风电专业来说，不仅要关注本国的情况，也要时刻关注国外的先进理念和技术。”一位风能与动力工程专业的学生说道。

2012年全国风电设备运行质量调查概述

中国可再生能源学会风能专业委员会

1 2012年与2011年机组平均可利用率比较

2011 年度统计的机组平均可利用率均是以安装容量加权的方式进行计算，而与统计机组的可利用率直接相关的是机组的安装台数，所以在 2012 年度机组平均可利用率的统计中，机组的平均可利用率采取安装台数加权的方式进行计算，两种方法计算所得的机组平均可利用率差异均在 1% 以内，故可对 2012 年和 2011 年的统计结果进行比较。

1.1 不同制造商机组平均可利用率比较

不同制造商机组平均可利用率 2012 年与 2011 年的增长百分比如图 1 所示。

1.2 不同型号机组平均可利用率比较

不同型号机组平均可利用率 2012 年与 2011 年的增长百分比如图 2 所示。

1.3 内资与外资机组平均可利用率比较

内资与外资机组平均可利用率 2012 年与 2011 年的增长百分比如图 3 所示。

不同技术类型机组平均可利用率

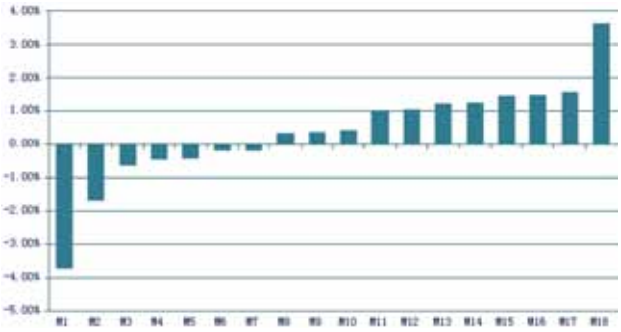


图1 不同制造商机组平均可利用率2012年与2011年的增长百分比

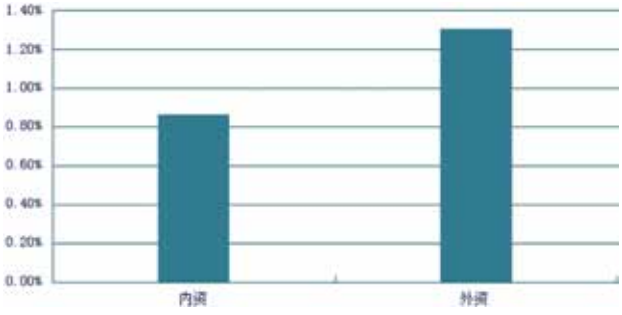


图3 内外资机组平均可利用率2012年与2011年的增长百分比

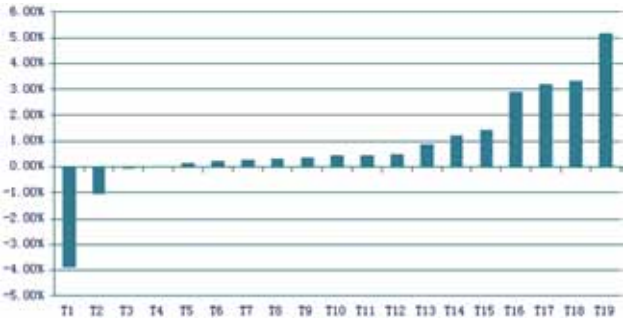


图2 不同型号机组平均可利用率2012年与2011年的增长百分比

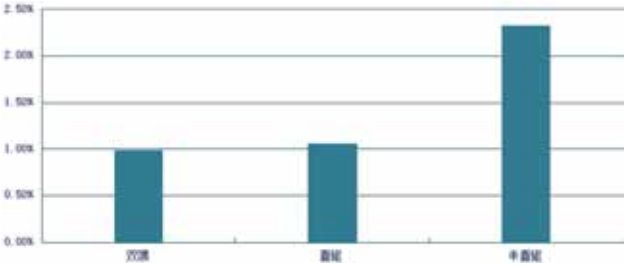


图4 不同技术类型机组平均可利用率2012年与2011年的增长百分比

2012 年与 2011 年的增长百分比如图 4 所示。

1.4 不同单机容量机组平均可利用率比较

不同单机容量机组平均可利用率 2012 年与 2011 年的增长百分比如图 5 所示。

1.5 不同风区代表区域机组平均可利用率比较

不同风区代表区域机组平均可利用率 2012 年与 2011 年的增长百分比如图 6 所示。

1.6 小结

统计结果显示，2012 年机组整体可利用率较 2011 年有明显提高，但个别企业和机型相比下降。其中，外资机组较内资机组的平均可利用率提高显著。

依不同技术路线，双馈、直驱、半直驱机组平均可利用率均有所提高，其中半直驱型机组平均可利用率提高最为显著。

依不同单机容量，仅 2MW（含）至 3MW（不含）机组可利用率有所下降，其他容量机组均为增加，其中 3MW 以上提高最为显著。

依不同风区，仅 IV 类风区（主要为辽宁省内）有所下降，其他风区机组机组平均可利用率均为提高，其中 I 类风区增长最为显著。

2 2012年与2011年机组故障情况比较

本节内容比较的是 2012 年和 2011 年的机组故障统计数据，包括整机厂商、机组型号和单机容量等整机故障统计。其中，对两次故障统计数据的比较只针对两年都统计的内容，因此本节比较结果并未完全涵盖两次数据统计的全部内容，仅作参考。

2.1 不同整机厂商机组故障情况比较

不同整机厂商机组故障发生频次比较见表 1。

不同整机厂商机组故障发生频次和平均排除故障耗时的数据统计比较如图 7 和图 8 所示。

2.2 不同型号机组故障数据统计比较

不同型号机组故障发生频次比较见表 2。

不同型号机组故障发生频次和平均排除故障耗时的数据统计比较如图 9 和图 10 所示。

2.3 不同单机容量机组故障数据统计比较

不同单机容量机组故障数据统计比较见表 3。

不同单机容量机组故障发生频次和平均排除故障耗时的数据统计比较分别见图 11 和图 12。

2.4 不同技术类型机组故障数据统计比较

不同技术类型机组故障数据统计比较见表 4。

不同技术类型机组故障发频次和平均排除故障耗时的数据统计比较见图 13 和图 14。

2.5 小结

对于不同的单机容量机组，2MW 以下的机组发生故障的频次相比去年明显降低，而 2MW 以上机组则有所提高，这反映了我国整机 2MW 以下容量机组的设计生产越来越成熟，故障发生频次也在降低，而 2MW 以上容量机组则有着一些问题亟待解决，需要整个行业共同努力。

3 2012年与2011年不同零部件故障数据统计比较

对零部件故障的统计数据比较选用的是关键零部件的故障统计数据，其中对比的内容仍是故障发生频次和平均排除故障耗时，不同零部件的故障发生情况见表 5。

不同零部件故障发生频次和平均排除故障耗时的数据统计比较分别见

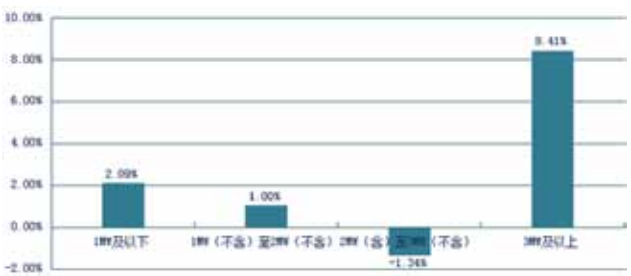


图5 不同单机容量机组平均可利用率2012年与2011年的增长百分比

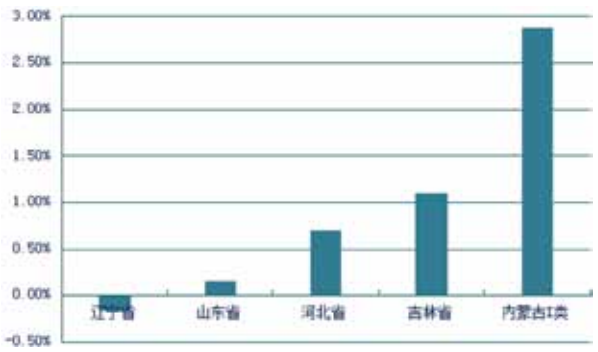


图6 不同风区代表区域机组平均可利用率2012年与2011年的增长百分比

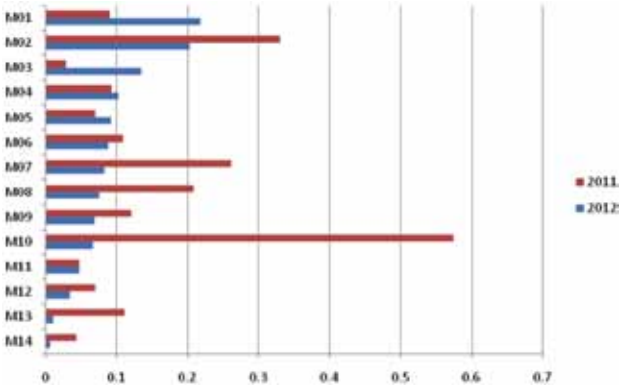


图7 不同整机厂商机组故障发生频次数据统计比较图

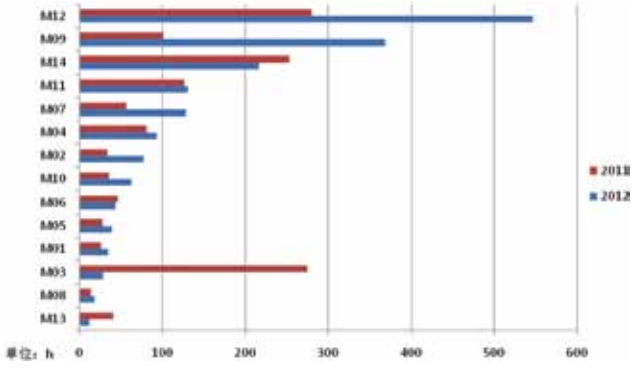


图8 不同整机厂商机组故障平均排除故障耗时数据统计比较图

表1 2012年与2011年整机厂商机组故障数据统计表（按2012年故障发生频次排序）

	2012		2011	
设备企业	故障发生频次（次/台·年）	平均排除故障耗时（小时）	故障发生频次（次/台·年）	平均排除故障耗时（小时）
M01	0.22	34.41	0.09	26.36
M02	0.20	76.99	0.33	34.22
M03	0.13	28.34	0.03	275.06
M04	0.10	92.83	0.09	80.78
M05	0.09	39.30	0.07	27.85
M06	0.09	43.54	0.11	46.45
M07	0.08	128.46	0.26	56.24
M08	0.08	18.50	0.21	14.20
M09	0.07	369.09	0.12	101.75
M10	0.07	62.52	0.57	35.43
M11	0.05	131.22	0.05	127.24
M12	0.03	547.00	0.07	279.74
M13	0.01	12.60	0.11	40.71
M14	0.01	216.53	0.04	253.28

图 15 和图 16。

由图中可以看出，大部分关键零部件的故障发生频次相较去年有所降低，这与整机机组的生产和维护技术日益成熟相关，其中关键的零部件仍是叶片，齿轮箱和发电机三类，因此下面将着重比较说明。

3.1 叶片的故障情况数据统计比较

不同叶片制造商的故障数据统计比较见表 6。

不同制造商叶片故障发生频次和平均排除故障耗时的数据统计比较分别见图 17 和图 18。

其中，叶片的主要故障类型有叶片开裂，雷击，叶片折断以及其他故障类型，因此可以比较这些故障类型的发生频次见图 19。

而叶片的主要故障原因可分为生

表2 不同型号机组故障数据统计比较表(按2012年故障频次排序)

	2012		2011	
机组型号	故障发生频次（次/台·年）	平均排除故障耗时（小时）	故障发生频次（次/台·年）	平均排除故障耗时（小时）
T01	0.15	44.48	0.21	29.49
T02	0.12	86.44	0.15	27.99
T03	0.18	7.39	0.03	2.57
T04	0.14	15.42	0.03	39.69
T05	0.13	12.71	0.15	27.99
T06	0.12	11.22	0.07	3.10
T07	0.09	10.18	0.09	190.35
T08	0.09	117.50	0.03	302.82
T09	0.07	103.79	0.47	39.61
T10	0.07	79.10	0.17	286.00
T11	0.06	547.00	0.10	279.74
T12	0.06	71.78	0.30	9.29
T13	0.05	128.18	0.04	100.34
T14	0.04	42.51	1.21	27.80
T15	0.04	295.48	0.05	62.57
T16	0.02	142.29	0.93	35.04
T17	0.01	576.07	0.03	294.38

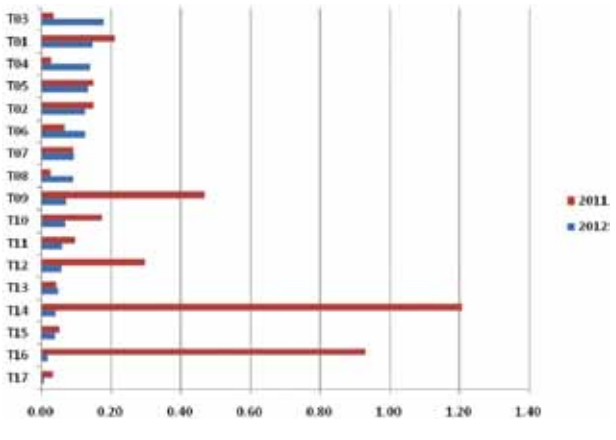


图9 不同型号机组故障发生频次的数据统计比较图

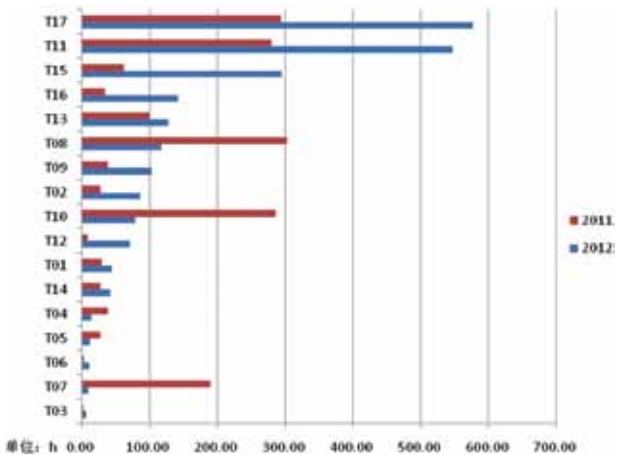


图10 不同型号机组平均排除故障耗时的数据统计比较图

产设计和外部环境等，另外一些可以确定但又不好分类的归为其他原因，其比较见图 20。

3.2 齿轮箱的故障情况数据统计比较

不同齿轮箱制造商的故障数据统计比较见表 7。

不同制造商齿轮箱故障发生频次和平均排除故障耗时的数据统计比较如图 21 和图 22 所示。

表3 不同单机容量机组故障数据比较表

单机容量范围	2012			2011		
	报送故障统计的机组数量（台）	故障发生频次（次/台·年）	平均排除故障耗时（小时）	报送故障统计的机组数量（台）	故障发生频次（次/台·年）	平均排除故障耗时（小时）
1MW（不含）及以下	5742	0.06	63.66	5213	0.17	65.89
1MW（含）至2MW（不含）	16842	0.07	63.65	11451	0.2	39.75
2MW（含）至3MW（不含）	2037	0.1	40.34	790	0.11	85.77

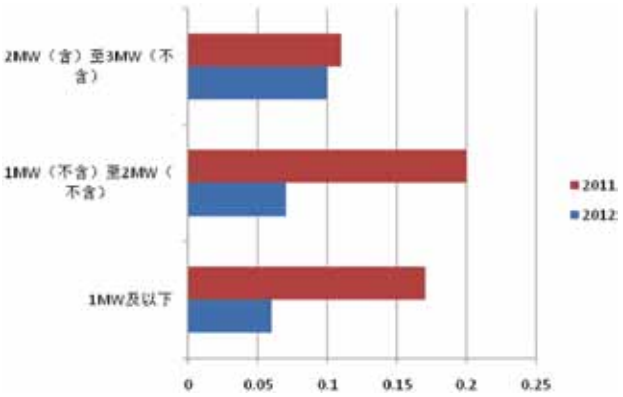


图11 不同单机容量机组故障发生频次的数据统计比较图

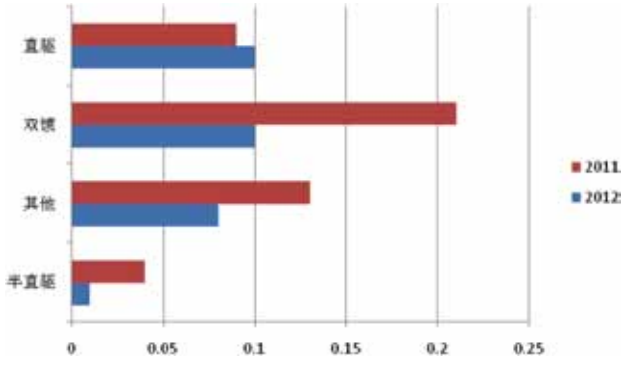


图13 不同技术类型机组故障发生频次的数据统计比较图

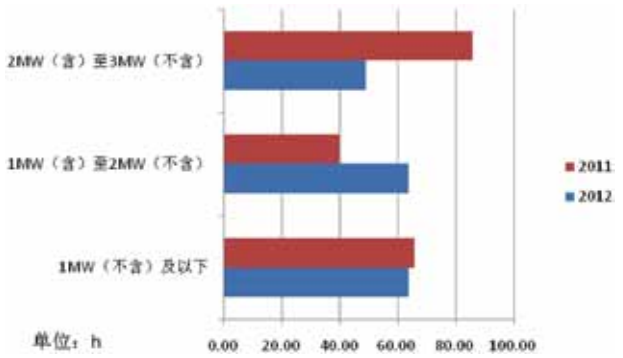


图12 不同单机容量机组平均故障排除时间的数据统计比较图

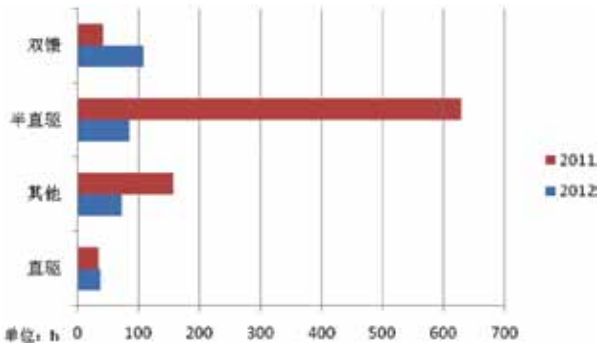


图14 不同技术类型机组平均故障排除时间的数据统计比较图

表4 不同技术类型机组故障数据比较表

单机容量范围	单机容量范围	2012			2011		
		报送故障统计的机组数量（台）	故障发生频次（次/台·年）	平均排除故障耗时（小时）	报送故障统计的机组数量（台）	故障发生频次（次/台·年）	平均排除故障耗时（小时）
1	双馈	18662	0.1	107.5	13834	0.21	40.05
2	直驱	3554	0.1	36.78	1738	0.09	33.29
3	其他	2357	0.08	72.06	1548	0.13	155.96
4	半直驱	95	0.01	84	55	0.04	628

表5 不同零部件故障数据比较表

零部件名称	2012			2011		
	故障统计的机组数量（台）	故障发生频次（次/台·年）	平均排除故障耗时（小时）	故障统计的机组数量（台）	故障发生频次（次/台·年）	平均排除故障耗时（小时）
发电机	7701	0.07	156.57	4215	0.13	105.93
变频器	4232	0.17	68.41	4069	0.2	21.74
齿轮箱	3930	0.06	136.21	2891	0.09	158.01
变桨系统	3037	0.11	6.83	3515	0.12	20.52
偏航系统	1733	0.08	37.76	1530	0.11	50.54
其他	1648	0.29	23.16	4204	0.19	24.2
叶片	900	0.04	885.35	824	0.12	229.54
控制系统	457	0.15	209.15	245	0.17	26.53
制动系统	296	0.08	18.49	583	0.12	3.46

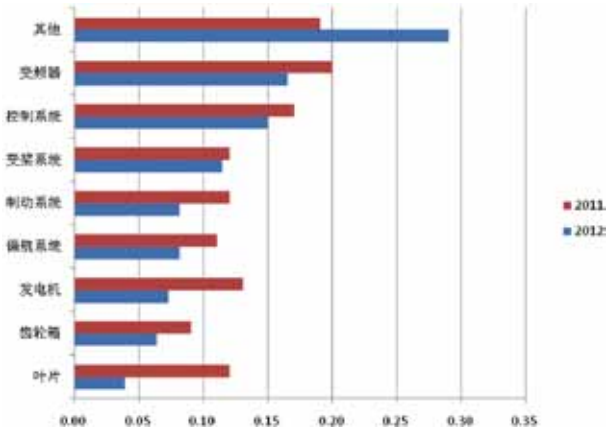


图15 不同零部件故障发生频次的数据统计比较图

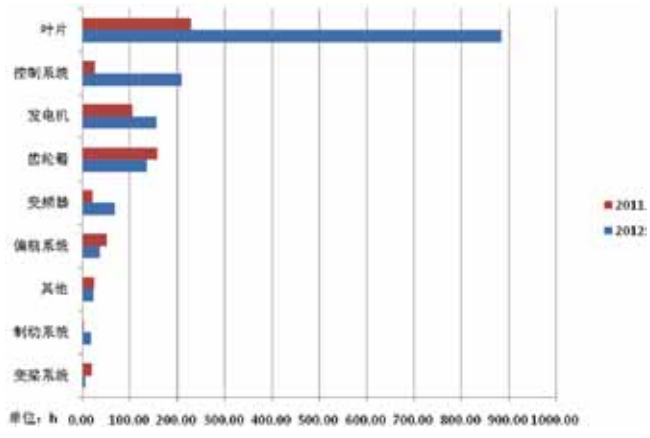


图16 不同零部件故障排除耗时的数据统计比较图

表6 不同制造商叶片故障数据比较表

叶片制造商	2012			2011		
	故障叶片配套机组数量（台）	故障发生频次（次/台·年）	平均排除故障耗时（小时）	故障叶片配套机组数量（台）	故障发生频次（次/台·年）	平均排除故障耗时（小时）
B01	148	0.07	629.88	154	0.23	122.28
B02	33	0.09	2784	33	0.04	460.9
B03	33	0.06	377	93	0.14	213.75

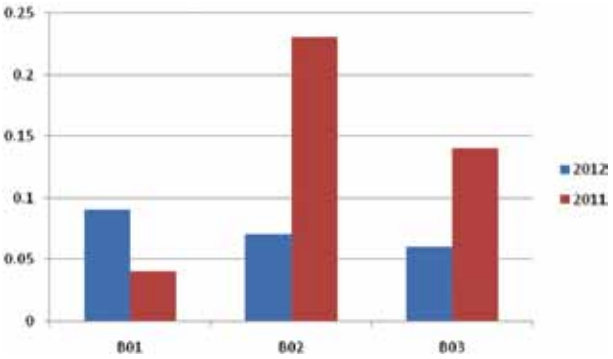


图17 不同制造商叶片故障发生频次数据统计比较图

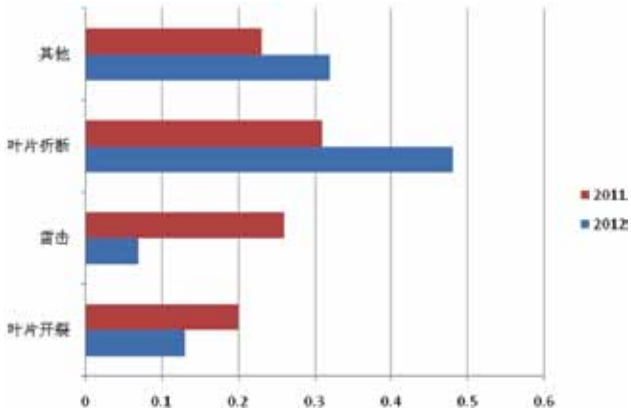


图19 叶片不同故障类型的数据统计比较图

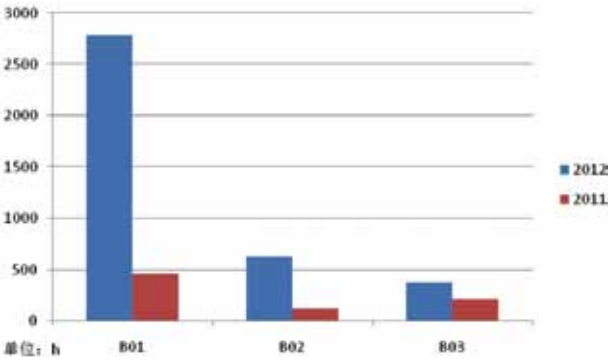


图18 不同制造商叶片平均排除故障耗时数据统计比较图

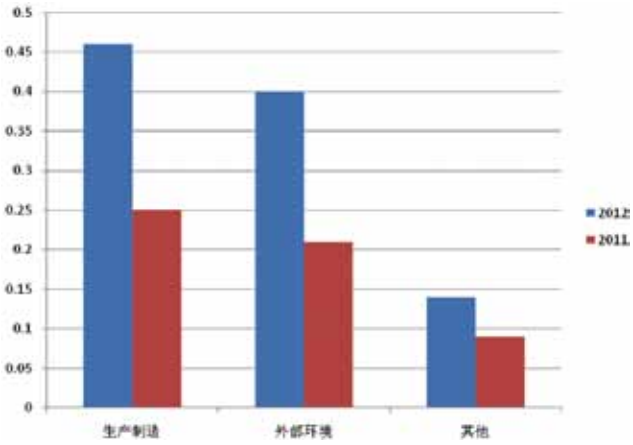


图20 叶片不同故障原因的数据统计比较图

其中，齿轮箱的主要故障类型有轮齿损坏，供油系统，轴承系统，冷却系统，传感器系统等，因此可以比较这些故障类型的发生频次如图 23 所示。

而齿轮箱的主要故障原因可分为生产设计，运行维护和外部环境等，另外一些可以确定但又不好分类的归为其他原因，其比较如图 24 所示。

3.3 发电机的故障情况数据统计比较

表7 不同制造商齿轮箱故障数据比较表

齿轮箱制造商	2012			2011		
	故障齿轮箱配套机组数量（台）	故障发生频次（次/台·年）	平均排除故障耗时（小时）	故障齿轮箱配套机组数量（台）	故障发生频次（次/台·年）	平均排除故障耗时（小时）
G01	833	0.03	80.54	629	0.04	190.78
G02	649	0.05	49.33	160	0.14	77.74
G03	316	0.13	115.17	184	0.07	91.52
G04	182	0.24	159.13	429	0.1	37.46

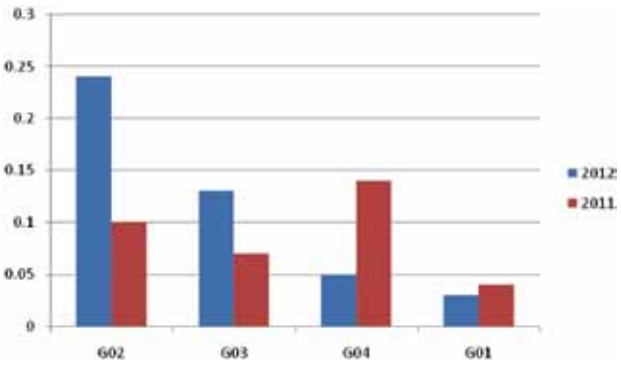


图21 不同制造商齿轮箱故障发生频次数据统计比较图

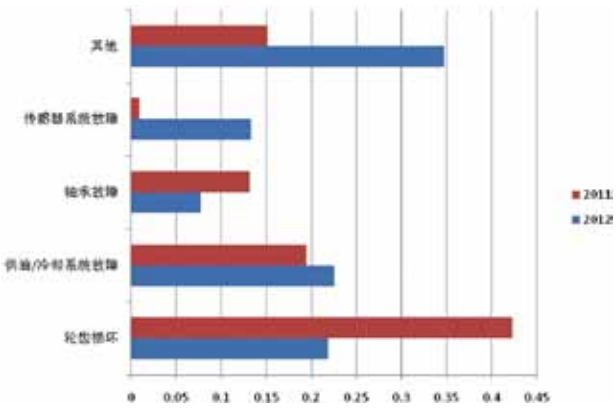


图23 齿轮箱不同故障类型的数据统计比较图

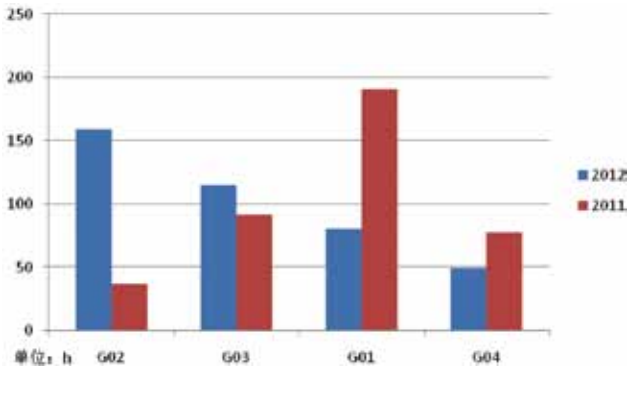


图22 不同制造商齿轮箱平均排除故障耗时数据统计比较图

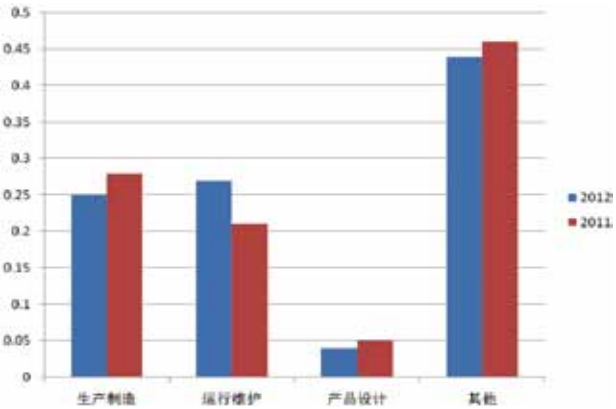


图24 齿轮箱不同故障原因的数据统计比较图

不同发电机制造商的故障数据统计比较见表 8。

不同制造商发电机故障发生频次和平均排除故障耗时的数据统计比较如图 25 和图 26 所示。

其中，发电机的主要故障部位有定子转子，轴承，接触器，编码器，风扇，集电环，短路和断路等，因此可以比较这些故障类型的发生频次如

表8 不同制造商发电机故障数据比较表

发电机制造商	2012			2011		
	故障发电机配套机组数量（台）	故障发生频次（次/台·年）	平均排除故障耗时（小时）	故障发电机配套机组数量（台）	故障发生频次（次/台·年）	平均排除故障耗时（小时）
GE01	1095	0.09	148.11	607	0.21	73.7
GE02	479	0.05	172.73	683	0.2	58.47
GE03	206	0.08	12.15	120	0.12	207.8

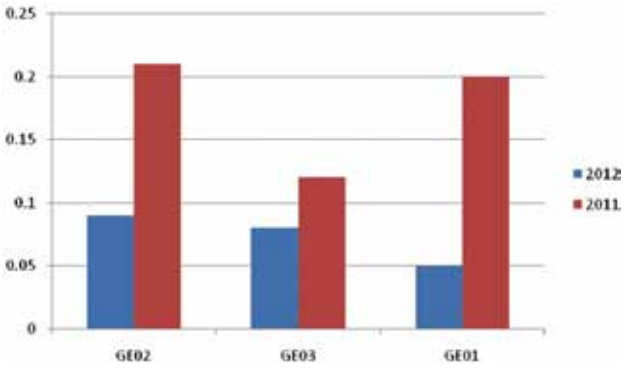


图25 不同制造商发电机故障发生频次数据统计比较图

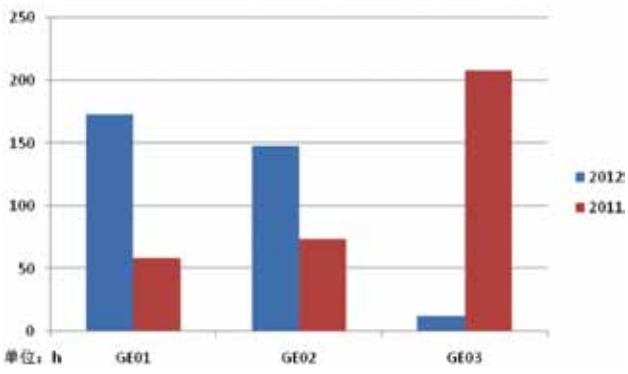


图26 不同制造商发电机平均排除故障耗时数据统计比较图

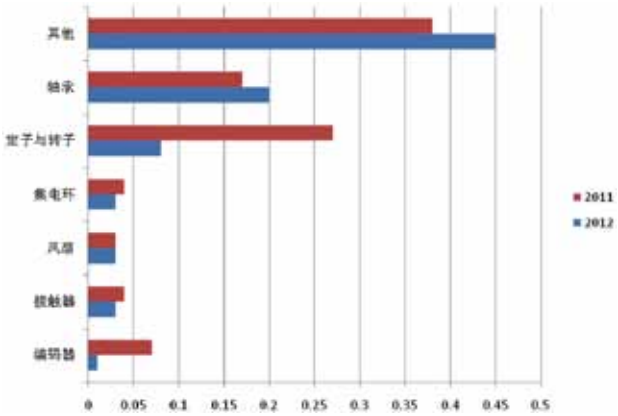


图27 发电机不同故障类型的数据统计比较图

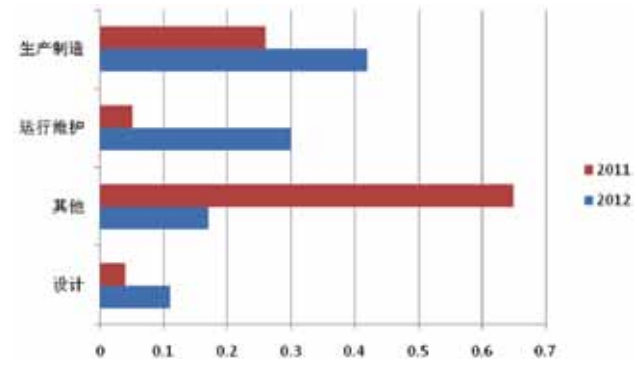


图28 发电机不同故障原因的数据统计比较图

图 27 所示。

而发电机的主要故障原因可分为设计，生产制造和运行维护等，另外一些可以确定但又不好分类的归为其他原因，其比较如图 28 所示。

3.4 结语

由于 2012 年和 2011 年数据统计上有不同之处，因此在比较时只选用了两年中都统计过的内容，并不能涵盖所有零部件故障的统计数据。

欢迎莅临CWP2013中国国际会展中心EA10-2奥特科技展位

10月16日-18日

AUTOL 奥特科技

集中润滑专家

创领润滑技术

贡献风电产业

- 突破性实现高寒高海拔高粘稠度油脂的常年应用
- 率先集成智能控制，适时适量，按需分配油脂
- 首创废油回收技术，高效节能环保，安全便捷

郑州奥特科技有限公司 www.autol.net 免费 4006-836-862

北京奥特勤新能源科技有限公司 sales@autol.net 电话 8008-836-862

促进我国分散式风电发展的政策研究

王彩霞，李琼慧
（国网能源研究院，北京 100052）

摘　要：近年来，为推动我国清洁能源战略实施发挥重要作用，我国以大型风电基地为主要形式的风电迅猛发展。但随着局部地区风电接入水平提高，风电消纳难题日益严峻。在资源不太丰富地区发展分散式风电、集中开发与分散开发并重，成为我国风电发展的新思路。本文结合我国分散式风电开发的思路与特点，借鉴国外分散式风电开发相关经验，研究促进我国分散式风电科学有序发展的政策措施。

关键词：分散式；风电；经验；政策

中图分类号：TM614　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-9219（2013）09-0046-07

Study of the Policies to Facilitate Decentralized Wind Power Development in China

Wang Caixia, Li Qionghui
（State Grid Energy Research Institute, Beijing 100052, China）

Abstract: In recent years, there has been very fast development in China in the form of large wind bases. It has played an important role in implementing the clean energy strategy in China. However, with high penetrations of wind power in part areas, wind power integration is becoming a critical challenge for wind power development. Therefore, Promoting decentralized wind power development in less rich wind areas has been proposed as future wind power development strategy along with large wind bases development. Considering the development strategy and characterisics of decentralized wind power in China, this paper references international experiences on decentralized wind power policies and studies policies to promote healthy decentralized wind power development in China.

Keywords: decentralized; wind power; experience; policy

0 引言

近年来，我国风电迅猛发展，主要以大型风电基地的形式、按照大基地融入大电网的思路进行开发建设，为推动国家清洁能源战略实施发挥了积极作用。但是，随着我国风电装机规模的扩大，特别是局部地区风电装机占系统负荷的比重增大，大规模集中式风电开发潜藏的一些技术和管理方面的问题和矛盾日益显现，主要包括风电消纳和安全等方面。在此背景下，在建立大基地融入大电网促进了风电规模化发展的同时，鼓励发展分散式风电项目，支持在资源不太丰富的地区发展低风速风电场，成为当前我国风电产业发展的新热点。

分散式风电是以分布式电源形式分布在配电网络中的单个风电机组或以此组成的小型风电场，其规模一般在几十千瓦到几十兆瓦之间，所产生的电力就近接入当地配电网进行消纳，不以大规模远距离输送电力为目的，不同于直接与输电网连接的大中型风电场（50MW 及以上）。

分散式风电和分布式发电既有区别，又有联系。两者的共同点为位于负荷附近，装机规模小、电能就地接入配电网进行消纳，区别在于分布式发电主要满足自身用电需求，而分散

式发电则为公共电厂性质，将全部电力送入电网。相比大规模集中开发，分散式开发可以降低成本，分散电网的事故风险并缓解消纳瓶颈，适合电网结构好、土地面积有限的地区。

1 我国分散式风电发展概况

我国分散式风电目前处于起步阶段。国家能源局在《可再生能源发展“十二五”规划》中首次提出可再生能源的开发应坚持集中开发与分散利用相结合，形成集中开发与分散开发、分布式利用并进的可再生能源发展模式；对于未来风电的发展要在加快千万千瓦级风电基地建设同时，积极推进内陆分散的风能资源利用。此外，2011 年以来，国家能源局先后出台了《国家能源局关于分散式接入风电开发的通知》(国能新能 [2011]226 号)、《分散式接入风电项目开发建设指导意见》(国能新能 [2011]374 号) 等 [1-2]，明确分散式接入风电项目的定义、接入电压等级、项目规模等，并对项目建设管理、并网管理、运行管理等进行了严格的规定。目前各地正积极按照国家能源局关于分散式风电开发建设文件精神开展分散式风电项目规划和开发。

截至 2012 年 5 月底，国家电网公司经营区域内已接入 35kV 及以下电压等级的分散式风电装机容量达到 480MW，发电量 978GWh，年平均利用小时数为 2037h。各区域分散式风电装机容量及发电量占比情况如图 1、图 2 所示。

2 我国分散式风电发展思路

2.1 发展思路

按照《国家能源局关于分散式接入风电开发的通知》(国能新能 [2011]226 号)，我国近期分散式风电开发的主要思路与边界条件如下：

(1) 以分散方式多点接入低电压配电系统的风电机组，设计上应满足国家有关技术标准、运行安全、环境保护和土地使用等规定，其运行服从电网系统的统一调度。

(2) 分散式开发风电机组接入的配电设施布局分散、数量较多，宜采用分地区或分县域打捆开发的方式，初期适当限制投资方数量，确保项目开发的有序进行和电力系统的运行安全。

(3)初期阶段仅考虑在 110kV(东北地区 66kV)、35kV 和 10kV 3 个电压等级已运行的配电系统设施就近布置、接入风电机组，不为接入风电而新建变电站、所，不考虑升压输送风电，风电装机容量原则上不高于接入变电站的最小负荷水平。风电机组的单机容量可视具体情况灵活选用。

(4) 电网企业对分散式多点接入系统的风电发电量应认真计量、全额收购。风电发电量的电价补贴执行国家统一的分地区补贴标准。

2.2 项目开发条件

按照国家能源局《分散式接入风电项目开发建设指导意见》(国能新能 [2011]374 号)，分散式接入风电项目应具备以下条件：

(1) 应充分利用电网现有的变电站和线路，原则上不新建高压送出线路和 110kV、66kV 变电站，并尽可能不新建其他电压等级的输变电设施；

(2) 接入当地电力系统 110kV 或 66kV 降压变压器及以下电压等级的配电变压器；

(3) 在一个电网接入点接入的风电装机容量上限以不影响电网安全运行为前提合理确定，统筹考虑各电压等级的接入总容量，并鼓励多点接入；

(4) 除示范项目外，单个项目总装机容量不超过 50MW。

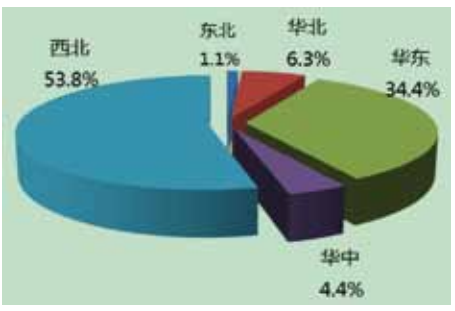


图1 各区域分散式风电装机容量分布图

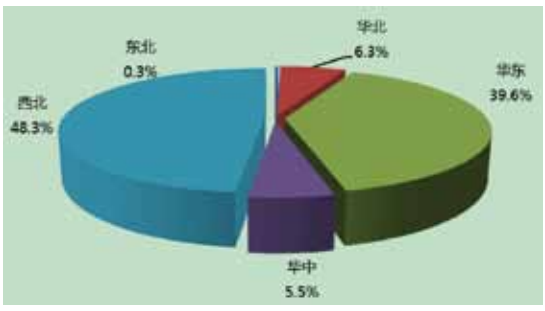


图2 各区域分散式风电发电量分布图

3 国外分散式风电发展概况与政策经验

3.1 国外分散式风电发展概况

（1）丹麦

丹麦电网是北欧电网的一部分，输电网主要由400kV和132/150kV输电线路以及与挪威、瑞典、德国的互联线路组成。丹麦配电网为100kV以下电网，主要有30 kV — 60kV，10 kV — 20kV，400V等电压等级。

丹麦风电机组主要并入配电网，接入20kV或更低电压配电网的风电装机容量约占全国风电装机总量86.7%，接入30 kV — 60kV的电网的占3.1%。大型近海风电场直接并入输电网（132 kV — 150kV），占全国风电装机总量的10.3%。丹麦风电场接入电压等级如表1所示[3]。

丹麦风电接入情况主要与丹麦风电发展历史阶段以及风电发展规划等相关[4]。丹麦风电的正式发展起步于20世纪70年代石油危机之后。受当时风电机组技术限制，机组规模较小，一般就近接入配电网。此外，丹麦早期的各种优惠政策鼓励个人联合投资开发风电，且在风电开发中注重风电机组对城市规划以及自然景观的影响，因此社区周围分散且规模较小的风电场较为常见。近年来，随着丹麦内陆风电开发资源的饱和，海上风电场建设加快。丹麦未来60%的风电场将直接并入132kV甚至400kV输电网，如罗德桑德II期海上风电场建成后将升压至132kV后并入陆上输电网。

（2）德国

德国电网电压等级共分为7级，分别为380kV、220kV、110kV、60kV、36kV、6kV和0.4kV。德国陆地风电场装机规模较小，基本连接到6kV — 36kV或110kV电压等级的配电网，以就地消纳为主。随着未来风电装机容量的扩大，将考虑并入到较高的电压等级上，如220kV及以上电网。德国未来海上风电场将接入220/380kV输电网，与其他国家的电网互联也为开发大型的海上风电场创造了条件。

（3）西班牙

西班牙电网以400kV和220kV为骨干网架，已形成全国联网，并与欧洲的四个国家互联。西班牙风能资源主要集中在北部和南部的沿海区域，风电场以成片开发的大中规模电场为主，但其电力负荷主要集中在中部的马德里和东部的巴塞罗那地区，大量风电需要跨地区输送。西班牙400kV线路主要分布在北部、中部和东部，基本与大型风电场布局相适应。

表1 丹麦风电场接入电压等级

电压等级（kV）	风电机组数量	装机容量（MW）	备注
132–150	152	325.6	用于近海风电场的网状输电网
30–60	62	97.3	网状和辐射状的配电网
10–20	2795	2010.9	辐射状配电网
0.4	2163	719.4	辐射状配电网
合计	5172	3149.6	–

从上面的分析可见，国外在风电开发上不显著区分集中开发和分散开发，一般根据资源条件、负荷分布、电源规划等情况，确定风电场的开发规模，并接入合适的电压等级。因此，国外没有明确的分散式风电概念。但从国外风电的开发利用情况来看，丹麦、德国等欧洲国家有一定比例的风电开发规模较小，接入低压配电网，类似于我国对分散式风电的定位。西班牙、美国等由于风能资源与负荷中心分布的不均衡，小规模风电开发比例较低，多为大型风电场开发，通过输电网外送到负荷中心，类似于我国的集中开发。

3.2 国外风电发展政策经验

目前，国内外尚无针对分散式风电发展的政策出台，相关政策要么针对所有类型的风电，要么针对包括光伏发电、天然气发电等在内的分布式电源。对于分布式电源，相关政策主要针对分布式发电投资主体多为用户且主要满足用户自身用电需求、与电网存在并网不上网、并网且上网等多种并网方式的特点，制定相关的上、下网结算政策、备用容量费政策、接网费政策等。根据我国分散式风电的特点—公共电厂性质，且全部电力送入电网，因此针对分布式电源的政策对分散式风电适用性不强。这里主要梳理国外风电相关政策[5-6]，为我国促进分散式风电健康发展政策研究提供借鉴。

（1）总量目标

在保障能源安全、应对气候变化、创造经济增长点等因素驱动下，许多国家制定了可再生能源中长期发展目标，结合本国资源特点，进一步细分为风电等各类可再生能源发展目标。为了实现风电与电力、能源及经济系

摄影：童世良

统的协调发展，很多国家都制定了阶段性发展目标且注重风电均衡有序发展。例如德国政府通过逐年滚动下调新建项目的上网电价水平，使年度新增容量保持在 1.5GW — 2.5GW。西班牙实行风电预分配登记制度，预先对年度新增规模进行划定，未纳入规划的风电场一律不享受补贴，以此使该国近 10 年风电快速发展期间的年度新增规模基本保持在 1GW — 2GW。

（2）电量收购

在风电发展初期，国外多采用发电量强制上网等政策激励风电发展，这对于保障风电接入、实现规模化增长起到了积极作用。随着发展规模的不断扩大，许多国家对风电上网收购办法进行了调整，目前许多国家风电上网收购办法已经调整为“优先收购”，在电力系统紧急运行情况下，可以限制风电出力。例如德国《可再生能源法》（2004 年版）和《可再生能源法》（2012 年版）都规定，如果发电设施在电网超载时不能减少其发电量，则电网运营商可以不履行可再生能源电力优先并网的义务。同时，可再生能源发电商为了将发电设施并入电网，可与电网运营商达成不优先收购的协议。《可再生能源法》（2012 年版）还规定，电网在过载等紧急情况下可以限制 100kW 以上可再生能源发电机组的出力。西班牙通过风电控制中心实时调整风电出力，并规定在某些特定情况下，电网公司有权切除部分风电或要求风电场降出力运行。

（3）上网电价

国外风电上网电价政策不存在完全统一的模式，但从应用范围和实施效果来看，政府强制要求电网企业在一定期限内按照一定电价收购电网覆盖范围内风电发电量的固定上网电价政策是应用最为广泛、最常见的电价模式。国外典型国家的固定上网电价机制具体包括定价机制和调整机制两个方面。

定价机制主要考虑发电项目的实际成本，与资源状况、装机容量、新技术应用等因素有关，重点是体现公平原则。德国根据实际风电机组发电量与参考风电机组发电量的比值关系确定该机组享受高初始电价的年限，比值越小，享受高初始电价的年限越长。此外，德国对于 2015 年之前投运的、能够提供系统服务的风电场给予额外电价奖励。

调整机制既反映发电成本的变化，也与市场变化、本国规划目标、成本控制目标相一致，旨在实现可再生能源均衡有序发展。例如，为避免出现过度激励，一些欧盟国家建立上网电价定期评估和下调机制。德国陆上风电上网电价每年下调 1.5%。西班牙对可获得电价补贴的风电场满负荷运行小时数做了限制性规定，对于发电小时数超过规定小时数的风电场，超出部分不再享受政府电价补贴。

（4）成本费用分摊

风电开发利用成本高于常规电源，因此需要给予较高上网电价等激励政策促进其发展。由于风电发展的最终受益者是全社会，因此国外普遍采用全社会成本分摊机制解决风电发展的补贴资金筹集问题。从成本分摊承担主体来看，大致可以分为 3 类：（1）向终端电力用户征收可再生能源电价附加，如德国；（2）由国家公共财政提供资金，如西班牙；（3）通过向化石能源生产者征税筹集，如英国。

4 我国分散式风电发展政策建议

4.1 我国风电发展政策

随着 2005 年《中华人民共和国可再生能源法》的颁布和实施，我国风能产业发展迅猛，已由起步阶段进入快速发展阶段。经过近几年的不懈努力，我国已经初步构建了促进风电发电发展的政策法规体系，涵盖了可再生能源发展总量目标、收购制度、分类电价以及行业管理等政策。

4.1.1 总量目标政策

根据《可再生能源法》（修正案），国务院能源主管部门根据全国能源需求与可再生能源资源实际状况，制定全国可再生能源开发利用中长期总量目标。依据总量目标制度要求，国家能源局陆续出台了《可再生能源发展“十二五”规划》、《风电发展“十二五”规划》（国能新能 [2012]195 号）等。

4.1.2 全额保障性收购制度

根据《可再生能源法》，电网企业应当与按照可再生能源开发利用规划建设，依法取得行政许可或者报送备案的可再生能源发电企业签订并网协议，全额收购其电网覆盖范围内符合并网技术标准的可再生能源并网发电项目的上网电量。发电企业有义务配合电网企业保障电网安全。由于风电具有随机性、波动性的特点，“全额收购”可再生能源发电客观上难以实现。《可再生能源法》（修正案）将“全额收购”修改为“全额保障性收购制度”，但缺乏明确的释义，没有具有可操作性配套实施办法。

4.1.3 分类价格制度

2003 年以前风电项目上网电价实行政府定价，各地价格主管部门批准后，报国家物价部门备案；2003 年—2009 年实行审批电价与特许权招标电价“双轨制”电价，特许权招标项目按照招标形成的价格确定，未进行招标的省（市、区）仍沿用政府定价；2009 年 8 月 1 日，国家发改委出台的《关于完善风力发电上网电价政策的通

知》确定了分资源区制定陆上风电标杆上网电价的新的风电电价机制。按风能资源状况和工程建设条件，将全国分为四类风能资源区，相应制定风电标杆上网电价。

4.1.4 费用分摊制度

根据《可再生能源法》（修正案）电网企业依照上网电价收购可再生能源电量所发生的费用，高于按照常规能源发电平均上网电价计算所发生费用之间的差额，由在全国范围对销售电量征收可再生能源电价附加补偿。电价附加标准由国务院价格主管部门报经国务院同意后核定征收。2006 年国家发改委确定的电价附加标准为每千瓦时 1 厘钱，在销售电价中附加收取；2008 年 7 月 1 日将附加标准提高到 2 厘钱；2009 年底调至 4 厘钱；2011 年根据《国家发展改革委关于调整东北电网电价的通知》中关于提高可再生能源电价附加标准的有关规定，可再生能源电价附加标准提高至每千瓦时 8 厘钱。

4.1.5 专项资金制度

建立专项资金制度主要解决可再生能源发电的额外成本问题，其他可再生能源开发利用的资金瓶颈仍需要专门的渠道解决，因此我国《可再生能源法》中提出设立可再生能源专项资金，专门用于费用分摊制度无法覆盖的可再生能源开发利用项目的补贴、补助和其他形式的资金支持。国家财政设立可再生能源发展基金，资金来源包括国家财政年度安排的专项资金和依法征收的可再生能源电价附加收入等。

4.1.6 行业管理政策

《可再生能源法》颁布实施后，国家能源局、财政部、电监会等陆续出台了一系列配套政策法规，进一步细化制定了可再生能源发电方面的配套管理和实施办法，明确了项目管理制度、优先收购原则和相应的监管办法、调度运行管理、相关技术规范和标准等，对可再生能源的开发利用起到了规范和促进作用。

（1）项目管理政策

2006 年，国家发改委颁布《可再生能源发电有关管理规定》，对可再生能源发电的行政管理体制、项目管理和发电上网等作了进一步明确的规范。

2011 年，国家能源局颁布《风电开发建设管理暂行办法》，对风电场工程的建设规划、项目前期工作、项目核准、竣工验收、运行监督等环节提出管理要求，明确规定省级政府投资主管部门核准的风电场工程项目，须按照报国务院能源主管部门备案后的风电场工程建设规划和年度开发计划进行，有力推动地方规划及项目建设与国家规划的衔接。

（2）优先收购管理政策

2007 年，国家电监会下发了《电网企业全额收购可再生能源电量监管办法》，规定对于电网覆盖范围内的水力、风力、生物质、太阳能、海洋能和地热能发电 6 种可再生能源发电企业，今后电网企业必须优先全额收购其上网电量。除大中型水力发电外，可再生能源发电机组不必参与上网竞价，电网企业需优先收购并安排调度。

（3）调度运行管理政策

2010 年 12 月，国家能源局出台了《风电机组并网检测管理暂行办法》，暂行办法要求自 2011 年 1 月 1 日始，新核准的风电场项目安装并网风电机组，必须通过检测符合相关技术规定才能并网运行。

2011 年 6 月，国家能源局颁布《风电场功率预测预报管理暂行办法》，要求所有已并网运行的风电场必须建立风电预测预报体系和发电计划申报工作机制，未按要求报送风电预测预报结果的风电场不得运行并网。2012 年 2 月出台《风电功率预报与电网协调运行实施细则（试行）》，对风电场功率预测预报管理进行了详细规定和说明。

4.2 促进我国分散式风电有序发展的政策建议

4.2.1 存在的问题

从我国风电政策的实施效果来看，一方面，风电总量目标、收购制度、上网电价机制及配套的费用分摊、专项资金等政策极大地促进了我国风电的规模化发展，但另一方面，通过与国外相关政策的对比，结合我国分散式风电特点和布局，我国风电政策存在如下问题：

（1）考虑分散式风电开发的资源条件和装机容量，现有风电定价机制设计还比较粗放，无法反映分散式风电实际成本。

风电项目在资源条件、装机容量、风电技术、运行维护等方面的不同，将引起风电度电成本的差异。对于分散式风电，按照《国家能源局关于分散式接入风电开发的通知》（国能新能 [2011]226 号），风电发电量的电价补贴执行国家统一的分地区补贴标准。根据我国分散式风电开发的布局和单个项目建设规模，分散式风电将主要集中于中部和南部等风能资源一般的第四类风资源区。考虑到第四类风资源区覆盖范围广，不同地区风能资源差异仍然较大，且分散式风电单个项目规模较小（不超过 50MW），安装机组数量较少，风电开发单位成本相

对较高，因此现有电价可能无法反应风电实际成本，存在电价激励不足的问题。

从国外风电电价政策来看，虽然德国、西班牙等欧洲国家没有明确区分风电的集中和分散开发方式，也没有针对集中开发和分散开发的风电出台不同的政策，但其在风电上网电价机制中均精细化地体现了不同资源条件、装机容量等风电电价方面的差别。如在德国，几乎没有任何两台风电机组的上网电价是相同的。德国根据实际风电机组发电量及参考风电机组发电量的比值关系确定机组享受高初始电价的年限，比值越小，享受高初始电价的年限越长。此外，对率先使用新技术的发电项目给予额外补贴。这就鼓励了风电开发商在不同风能资源区因地制宜开发风电，且根据需要采用新的风电机组技术。

（2）针对分散式风电的全额收购制度还需要分散式风电开发总量以及配电网接纳能力进一步协调。

按照《国家能源局关于分散式接入风电开发的通知》（国能新能[2011]226号），电网企业对分散式多点接入系统的风电发电量应认真计量、全额收购。优先收购可再生能源电量是电网企业义不容辞的责任，电网企业应当千方百计最大限度地收购风电。同时，从现有大型集中风电场的并网消纳情况来看，电网接纳风电的能力与电源结构、运行灵活性、负荷水平等多种因素有关。由于我国大型风电开发规划与电网规划不协调、风电规划与常规电源规划不协调等因素，保障我国大型风电场的风电全额收购存在较大难度。这也是《可再生能源法》（修正案）将“全额收购”修改为“全额保障性收购制度”的原因。借鉴集中开发风电消纳的经验与教训，对于分散式风电的电量收购应当综合考虑分散式风电开发潜力以及配电网的分散式风电接纳能力，制定合理的分散式风电开发总量目标，保证全额收购制度切实可行。目前，我国尚未出台分散式风电开发的总量目标，而在全额收购制度的激励下，分散式风电开发的热情较高，因此，需要尽快完善总量目标及相关配套政策，保证分散式风电的规范有序开发。

从国外风电开发经验来看，一方面，国外普遍制定了总量目标与上网电价衔接的动态调整机制，根据开发情况，适时调整补贴情况，保证风电有序开发；另一方面，国外也已将风电发展初期的全额收购制度调整为“优先收购”，允许电网根据运行情况限制风电出力。

4.2.2 有关建议

（1）精细化制定分散式风电电价政策，体现不同项目在资源条件、开发容量、运行维护等方面的差异性引起成本差异。

根据分散式风电开发的资源条件、项目开发容量、运行维护等情况，在一定的投资回报水平下确定分散式风电合理的上网电价水平，进一步细化同一资源区风电项目定价机制，体现不同项目在资源条件、开发容量、运行维护等方面的差异性引起成本差异。

（2）综合考虑配电网接纳能力，制定合理的分散式风电开发总量目标与收购制度。

借鉴集中风电开发的经验与教训，综合考虑分散式风电发展与配电网规划、当地负荷水平、配电网运行安全水平等的协调，制定合理的分散式风电开发总量目标，并根据电网接纳能力，确定合理的电量收购制度。

5 结论

从我国风电政策的实施效果来看，一方面，风电总量目标、收购制度、上网电价机制及配套的费用分摊、专项资金等政策极大地促进了我国风电的规模化发展，但另一方面，结合我国分散式风电特点和布局，我国现有政策还存在定价机制设计比较粗放，可能无法反映分散式风电实际成本，以及针对分散式风电的全额收购制度还需要分散式风电开发总量以及配电网接纳能力进一步协调等问题。

为促进我国分散式风电科学有序发展，建议精细化制定分散式风电电价政策，体现不同项目在资源条件、开发容量、运行维护等方面的差异性引起成本差异。综合考虑配电网接纳能力，制定合理的分散式风电开发总量目标与收购制度。

参考文献

[1] 国家能源局，《国家能源局关于分散式接入风电开发的通知》（国能新能[2011]226号），2011.

[2] 国家能源局，《分散式接入风电项目开发建设指导意见》（国能新能[2011]374号），2011.

[3] Wind power to combat climate change: How to integrate wind energy into the power system. Energinet.dk. http://energinet.dk/SiteCollectionDocuments.

[4] Preben Maegaard. Danish Renewable Energy Policy. http://www.wcre.de/en/images/stories/pdf.

[5] 蒋丽萍，王乾坤．风电发展政策的国外实践与借鉴．中国电力，45(10): 7–11.

[6] 王乾坤，蒋丽萍，李琼慧．欧盟可再生能源发电上网电价机制及对我国的启示．可再生能源．2012, 30(12): 109–113.

收稿日期：2013–06–03。

作者简介：

王彩霞（1985– ），女，工学博士，研究方向为新能源并网分析，电力系统优化运行。

CSR 中国南车

专注技术 专业服务

江苏南车电机有限公司是中国南车旗下的南车株洲电机有限公司的全资子公司，是中国南车电机公司风力发电电机产能提升和市场开拓的战略支撑点。公司总投资10亿元，年销售收入近20亿元人民币，员工500余人，研究生以上学历人员占技术管理人员比例超过20%，是国内专业的永磁风力发电电机整机生产企业。

目前，公司已研发制造出直驱永磁同步风力发电机、风冷及水冷双馈风力发电机、高速永磁同步风力发电机、集成式半直驱永磁同步风力发电机、异步风力发电机等产品，具备年产各类型风力发电机2000台以上的生产能力。

江苏南车电机有限公司将秉承中国南车电机人“传承、创新、进取”的企业精神，遵循“现场就是市场”的管理理念，大力开拓风力发电电机领域，为用户提供性能优、质量好的产品，共同打造青山碧水、蓝天白云的绿色发展之路，以优良的业绩回报社会、回馈员工，以优质产品、超值服务答谢客户、成就客户。

直驱永磁同步风力发电机

高速永磁同步风力发电机

集成式半直驱永磁同步风力发电机

风冷双馈风力发电机

水冷双馈风力发电机

异步风力发电机

CSR 中国南车 江苏南车电机有限公司
JIANGSU CSR ELECTRIC MOTOR CO., LTD.

地址：江苏省大丰市经济开发区金海路111号　电　话：0515-69691511　传　真：0515-69691513
网　址：http://csrmotor.com.cn　邮　编：224100

河北省海上风电发展浅析

张清清

（河北建投新能源有限公司，石家庄 050000）

摘　要：海上风能是一种清洁、高效的绿色能源。开发利用海上风能对于减轻环境污染、解决能源危机有着重要意义。文章就河北省海上风能的特点、规划情况进行了分析介绍，并对河北省海上风电开发提出了一些建议与想法，以期为其海上风电的开发建设提供参考。

关键词：河北省；海上风力发电；规划；建议

中图分类号：TM614　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-9219（2013）09-0054-04

Initial Analysis on Offshore Wind Power Development in Hebei Province

Zhang Qingqing

（New Energy Corporation Limited of HCIG, Shi Jiazhuang 050000, China）

Abstract: Offshore wind as a clean, efficient green energy, its exploitation and utilization have important significance on reducing environmental pollution and solving energy crisis. This paper analyses and introduces its characteristics and planning of offshore wind power in Hebei Province, in order to provide reference for its offshore wind power's exploitation and construction.

Keywords: Hebei Province; offshore wind power generation; planning; suggestions

0 引言

随着经济的发展，发展可再生能源是大势所趋，并已成为各国实施可持续发展战略的重要选择。风能发电由于其在经济上比较成熟的优势，近几十年来得到了大力的发展。在全球大部分国家和地区，相对于陆地风能，海上风能资源丰富，发电产能大，经济性优势明显，且不占用土地资源，对环境影响较小，因此具有更加广阔的发展前景。据 BTM 咨询公司统计，截至 2012 年末，全球海上风电累计装机容量已达到 5117MW[1]。据全球风能理事会预计，到 2020 年，海上风电将达 70GW，其中亚洲的装机容量预计达到 30GW，欧洲的装机容量预计达到 40GW。

1 我国海上风电发展

我国海域面积辽阔，具备开发建设海上风电的良好条件。东部沿海地区经济发达，而化石能源资源短缺，海上风能在当地占有重要的资源优势，开发利用海上风能资源对于增加这些地区的电力供应、促进经济社会发展意义重大。根据中国气象局最新的风能资源详查结果，我国海上 5m — 25m 水深、50m 高度风电可装机容量约 200GW；5m — 50m 水深、70m 高度风电可装机容量约 500GW。

我国海上风电产业虽然刚刚起步，但随着经济的快速发展，海上风电产业也已经取得了不少进展。河北、山东、上海等沿海省份的海上风电规划取得了国家能源局的批复。江苏海上风电特许权项目、上海海上风电场示范项目、河北乐亭菩提岛海上风电示范项目等一批示范项目正在积极开展前期工作。国家能源局制定了到“十二五”末完成投产 5GW 海上风电机组的宏伟目标。截至 2012 年年底，我国海上风电装机容量已达到 389.58MW（逐年装机情况如表 1、图 1 所示）。

表1 我国海上风电逐年装机情况表

项目	2007	2008	2009	2010	2011	2012
新增 /MW	1.5	0	16	135.5	109.58	127
累计 /MW	1.5	1.5	17.5	153	262.58	389.58

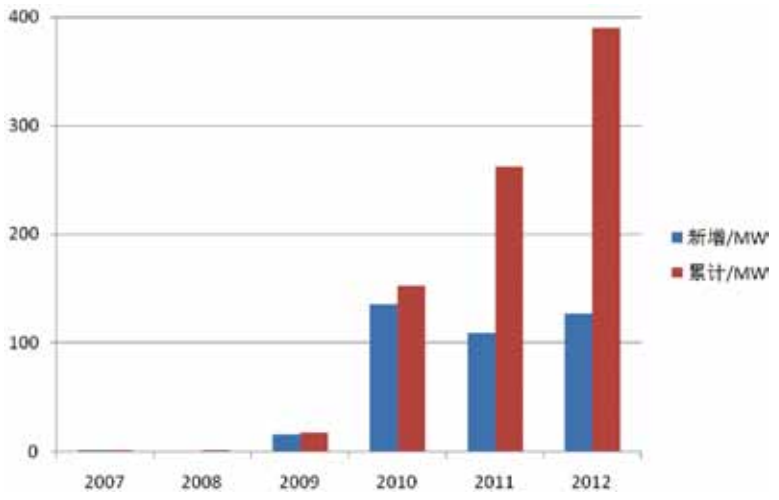


图1 我国海上风电历年新增和累计装机容量图

2 河北海上风能发展现状

河北省作为风能资源大省，紧跟国家步伐，风电产业呈现出蓬勃发展的趋势。截至 2012 年末，河北省风电累计并网容量 7065.4MW, 并网容量占全国比重为 11.27%，全国排名第三。在积极开发陆上风能资源的同时，河北省海上风能资源的开发工作也快速地推进。自 2007 年开始，河北启动了海上测风等前期工作，《河北省海上风电场规划报告》已获得国家能源局正式批复，批复后的规划报告将作为“十二五”期间河北省海上风电场开发的重要依据与指导文件。

河北省海域位于渤海西部，由南、北两部分组成。北部东起秦皇岛市山海关区张庄崔台子，与辽宁海域交界，西至唐山市丰南区涧河口西刘合庄，与天津海域交界；南部北起黄骅市南排河镇歧口，与天津海域交界，南至海兴县大口河口姬家堡子岛南，与山东海域交界，境内大陆海岸线长 487km。属温带半湿润大陆性季风气候。

从宏观上看，根据河北省风能资源分布情况并结合风能区划指标，河北省近海海域年有效风能密度一般可达 300W/m^2 — 350W/m^2，有效风时累积数大于 6000h，属于风能丰富区，具有良好的经济开发价值。

3 河北省发展海上风电的必要性

作为沿海用电大省，河北省所处地理位置较为特殊，全省电网分属冀北电网和河北南网，在电力供应上存在诸多问题。

3.1 电力供应缺口较大

综合上述两个电网公司数据，2012 年，河北省最大用电负荷达 45.71GWh，电力供应最大缺口接近 3GWh，用电形势十分紧张。且周边省份同样存在电力短缺问题，争取外部电力支援难度较大。

3.2 满足电力工业的可持续发展需求

河北省火电装机容量约占全省电力装机容量的 84%，能源结构不尽合理，能源消费居全国第二位，单位 GDP 能耗比全国水平高近 60%。这样的产业与能源结构，给了环境巨大的压力。而河北目前的大气污染还是以煤烟型、颗粒物为主要特征，大气污染物排放量巨大。其中，氮氧化物、烟（粉）尘排放量居全国第一位，二氧化硫排放量居全国第二位。环境问题已成为电力发展的主要制约因素之一。

3.3 其他新能源资源开发有限

河北省积极地寻求开发新能源与可再生能源资源以缓解能源供需矛盾。目前，河北省在全省范围内大规模地进行了核电站选址工作并初选了沧州盐山、承德隆化等几处初选厂址，但由于河北地处京畿要地，人口众多，加上苏联切尔诺贝利核电站与日本福岛核电站发生的严重泄漏事故对生态环境带来的破坏性影响，河北近期核电发展的可能性较小。河北省光伏发电、地热能资源短期内难以形成规模化开发，无法有效缓解其能源需求矛盾。而且由于近几年陆上风能资源开发速度远高于电网接纳能力的增长速度，目前河北省风能资源较为丰富的张家口、承德坝上地区风电接入已成过饱和状态。

因此，大力加快河北省海上风电

的开发步伐，对于调整河北省能源结构、减轻环境污染、解决能源危机、实现节能减排目标等方面有着非常重要的意义。

4 河北省海上风电规划

4.1 规划编制过程

河北省自 2007 年即启动了海上风能资源勘察及风电场初步选址工作，从建设第一座海洋水文与海上测风观测平台到海上风电场规划报告的编制、审查、修订前后共历时 5 年。于 2012 年 4 月获得国家能源局批复正式对外发布。

河北省海上风电规划涉及秦皇岛、唐山、沧州三个沿海城市。根据各个城市海域的情况，通过与海洋、海事、水务、规划、环保、电力、航道、渔政、军事等部门沟通，收集了地形、气象、测风资料，调查了沿岸岸线利用现状及规划、滩涂围垦、湿地现状及规划、电网现状及规划、海域利用现状及规划、航道现状及规划、海洋渔业分布及其他影响因素。综合考虑以上选址条件和限制因素，按照水深 5m 以下、水深 5m — 50m 的控制条件，进行大型海上风电场规划选址。

依据国家能源局最新批复的《河北省海上风电场工程规划报告》，河北省规划海上风电装机容量 5.6GW，分为唐山区域和沧州区域两部分。其中唐山区域规划 4.3GW，沧州区域规划 1.3GW。计划到“十二五”末将实现投产 500MW、在建 500MW 的海上风电装机规模（详见图 2）。河北省海上风电场选定场址统计表见表 2。

4.2 海上风电场开发序列

按照国家能源局制定的开发规划，到 2015 年末河北省要完成建成 500MW、在建 500MW 的海上风电场装机规模任务。按照这一目标，《河北省海上风电场工程规划报告》就河北省海上风电的开发序列进行了初步的安排。

按照优先开发风能资源条件好、建设条件良好、符合城市基础设施建设和城市总体规划的开发思路，初步拟定“十二五”优先开发唐山区域场址一（乐亭菩提岛示范项目）、场址三及场址五的 600MW，其装机规模达到 1.4GW；确保“十二五”末实现投产 500MW、在建 500MW 海上风电装机规模。“十三五”滚动开发唐山区域场址四及场址五剩下的 600MW，沧州区域场址Ⅰ、Ⅱ，其装机规模达到 1.8GW；确保到 2020 年末，实现建成 1.5GW、在建 1GW 的海上风电装机规模。

5 对河北省海上风电发展的一些建议

河北省海上风能资源丰富，海上风电在河北乃至全国都处于起步和摸索阶段，为确保河北省海上风电开发有序、合理、科学、快速健康的发展，河北省应从以下几个方面出发：

（1）政府成立专门的海上风电管理机构，与国家发改委、国家海洋局、交通部、国家海事局等部委对接，落实海上风电开发电价审批原则，协调海上风电与通航、养殖等行业用海矛盾，为海上风电与其他涉海行业和谐发展保驾护航；组织相关专家、企业成立海上风电开发指导小组，出台鼓励海上风电开发的产业政策，制定海上风电开发准入条件。

（2）“整体规划、分期开发”，杜

表2 河北省海上风电场选定场址统计表

区 域		场址名称	距岸距（km）	面积（km^2）	装 机（MW）
唐山市	近海风电场	场址一	16	75	300
		场址二	6	50	200
		场址三	15	125	500
		场址四	10	165	600
		场址五	32	300	1200
		场址六	35	300	1200
		合计	/	1015	4000
	潮间带风电场	场址七	3	50	200
		场址八	4	30	100
		合计	/	80	300
沧州市	近海风电场	场址Ⅰ	21	70	300
		场址Ⅱ	29	70	300
		场址Ⅲ	37	70	300
		场址Ⅳ	46	50	200
		合计	/	260	1100
	潮间带风电场	场址Ⅴ	14	60	200
总 计			/	560	5600

图2 河北省海上风电场场址位置示意图

绝海上风电开发企业“跑马占海”。由于海上测风与海洋水文观测等前期开发工作投入较大，且海上风电开发建设难度较高。因此，应从全省角度统筹安排海上测风等工作，制定完善的海上风电开发准入制度，合理地授予海上风电项目开发权，避免造成资金及风能资源的浪费；保障企业开发规模，降低企业开发成本。

（3）政府应鼓励海上风电产业的投资，增加海上风电技术研发投入。对海上风电示范项目开发给予更多关注，给予参与示范项目的开发企业更多政策优惠。例如，可以考虑帮助海上风电示范项目争取低息贷款或给予部分资金补助，降低增值税税率等，扶持一批参与示范项目开发的大型海上风电领域相关企业，培养这些企业在海上风电领域做大做强，协助这些企业通过项目的开发建设总结经验、开拓创新，为河北省后续海上风电项目开发、新的经济增长极快速成长奠定基础。

（4）组织行业相关人员对国内外成熟的海上风电场进行输入学习和研究，学习其施工、运行、维护、协调发展等方面的实际经验，如丹麦的Nysted风电场、上海东海大桥风电场等；设立科学基金等奖励企业在海上风电领域的创新与科研成果。

参考文献

[1] 苏晓 .2012 年全球海上风电发展统计与分析 [J]. 风能：2013,（5）：30-35.

[2] Jan Pettersson. The offshore Wind Farms have only a Small Impact on Migration Water fowl-a Swedish Study[M].Swedish Energy Agency, Department of Animal Ecology, Lunds University. The CoPenhagen Offshore Wind International Conferenee 2005.

[3] Simon-PhiliPPe Breto, GeirMoe.Status, Plans and technologies for offshore wind Turbines in Europe And north America[J].RENEWABLE ENERGY.2009(34):646-656.

[4] 上海勘测设计研究院 . 河北省海上风电场工程规划报告 [R]. 2012.04.

[5] 赵群，福莉 . 海上风力发电现状与发展趋势 [J]. 机电工程 .2009.12(26):5-8.

[6] 韩强，陈家旺，杨新利 . 浙江省海上风电的思考与建议 [J]. 风能 .2012(01):52-58.

[7] 张毅强，沈津 . 漳浦六鳌海上风电场建设可行性浅探 [J]. 能源开发 .2009.02 58-60.

收稿日期：2013-04-22。

作者简介：

张清清（1975-），男，本科，研究方向为风电、太阳能发电开发、建设与经营管理，现就职于河北建投新能源有限公司。

关于风电项目核准的总结

杨德清[1]，王景涛[2]，王强[2]

（1. 内蒙古电力勘测设计院，内蒙古 呼和浩特 010020；

2. 内蒙古华电巴音风力发电有限公司，内蒙古 呼和浩特 010020）

摘　要：在内蒙古自治区开发风电项目，政府对风电项目开发的企业准入条件、风能资源配置程序、风电项目的核准和新举措、风电项目的管理均制定了相关制度。本文重点对核准风电项目的关键程序及需要提交的文件材料进行总结，为开发风电项目的建设单位提供借鉴。

关键词：风电项目；核准制；关键程序；总结

中图分类号：TM614　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-9219（2013）09-0058-03

Summary of Wind Power Project Approval

Yang Deqing [1], Wang Jingtao[2], Wang Qiang[2]

（1. Inner Mongolia Power Exploration and Design Institute, Hohhot 010020, China;

2. Inner Mongolia Huadian Bayin Windpower Co.Ltd, Hohhot 010020, China）

Abstract: Government formulates systems related to entry criteria of enterprises, configuration program of wind resourse, approval and new measures of wind power projection, management of wind power project for developers. This paper mainly summarizes key procedures and submitted materials of approvaled wind power projects, as to provide some references for comstruction companies which develop wind power projects.

Keywords: wind power projects; approval system; key procedure; summary

0 引言

根据我国工程项目投资建设管理程序，依据《政府核准的投资项目目录》，同时结合《内蒙古自治区风电项目管理办法》（试行）及《内蒙古自治区风能资源开发利用管理办法实施细则》，有必要对在内蒙古自治区开发风电项目的关键建设管理程序及风电项目核准所要提交的文件材料进行总结。这样可以为在内蒙古自治区开发风电项目的建设单位提供一些参考意见，以便提高建设单位核准风电项目的工作效率，少走一些弯路。

1 投资建设管理程序

工程项目投资建设管理程序，政府主管部门依据法律和有关法规对不同投资主体建设的工程项目实行分类管理，将工程项目划分为审批制项目、核准制项目和备案制项目[1]。依据《政府核准的投资项目目录》，风电项目实行核准制。实行核准制项目的建设管理程序如图 1 所示。

2 企业准入条件

在内蒙古自治区开发风电项目的建设单位，首先必须满足企业准入条件。根据内蒙古自治区发改委文件——《关于印发内蒙古自治区风电项目管理办法（试行）的通知》（简称《通知》）[2]，在内蒙古自治区开发风电项目的企业准入条件为：

（1）申请配置资源开发建设小型

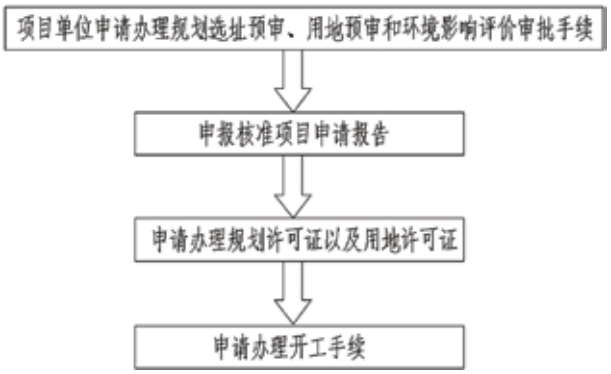


图1 核准制项目的建设管理程序图

风电场的企业，其净资产总额不低于10亿元人民币，或一年内可用于投资风电的自有资金不低于1亿元人民币。

（2）申请配置资源开发建设大型风电场的企业，其净资产总额不低于20亿元人民币，或一年内可用于投资风电的自有资金不低于2亿元人民币。

（3）净资产总额以有资质的审计机构出具的上一年度财务报表为准。

（4）企业申请资源配置时，需提供符合上述企业准入条件的证明文件。

3 风资源配置程序

在内蒙古自治区开发风电项目的建设单位，在满足企业准入条件后，建设单位需要委托有资质的咨询单位编制项目的《风资源配置申请报告》。根据《通知》，在内蒙古自治区开发风电项目的风资源配置程序如下所述。

3.1 小型风电场

（1）依据各盟市风电发展规划及总量，资源配置申请由项目所在地风电主管部门逐级上报，并附项目所在地盟市风电发展规划和电网送出规划。

（2）自治区发改委对申请资源配置项目进行审核，每月月底集中向相关电网公司致函征询项目接入意见，相关电网公司在确保电网安全稳定运行和优先保证国家或自治区规划的大型风电基地接入的前提下，根据风电电网送出规划，于次月10日前复函回馈自治区发改委。

（3）自治区发改委根据自治区风电发展规划要求和电网送出规划，对具备建设条件的项目配置风能资源。

3.2 大型风电基地

国家和自治区规划的大型风电基地，首先要编制风电基地建设规划和电网送出规划，在自治区发改委根据国家主管部门批复意见配置资源。项目建设业主采取竞争性方式确定。

4 风电项目核准权限及需提交的材料

在内蒙古自治区开发风电项目的建设单位，在提交项目的《风资源配置申请报告》并通过审核后开始进入核准程序。内蒙古自治区风电项目核准由项目所在地发改委逐级上报至自治区发改委申请核准，自治区发展改革委按照《企业投资项目核准暂行办法》(国家发改委2004年第19号令)，并结合自治区风电发展实际受理项目核准，风电项目核准所需材料（原件）如下（2012年前）。

4.1 50MW以下风电项目

50MW以下风电项目由内蒙古自治区发改委进行核准，需提交的资料如下：

（1）盟市发改委核准请示文件。

（2）项目申请报告。

（3）由具有甲级咨询资质单位编制的项目可行性研究报告。

（4）满12个月的70m或70m以上测风塔的原始测风数据。

（5）省级或省级以上电网公司出具的项目接入系统审查意见。

（6）自治区国土资源厅出具的建设项目用地预审意见。

（7）自治区国土资源厅出具的项目建设拟用地选址范围内未压覆已查明重要矿产资源的函。

（8）自治区环保局出具的环评审批意见。

（9）省级或省级以上银行机构出具的贷款承诺函。

（10）自治区经委出具的节能评估审批意见。

（11）自治区发改委委托的咨询公司出具的《项目可行性研究报告评审意见》。

（12）企业出具的开工承诺函。

4.2 50MW以上风电项目

50MW以上风电项目由国家发改委进行核准（2013年5月前），需提交的资料包含“50MW以下风电项目”所提供的资料，另外增加“地质灾害评价报告”一项。其中第11条，要求由国家能源局委托的咨询公司出具《项目可行性研究报告评审意见》。

4.3 风电项目核准权限下放

根据2013年5月15日中华人民

共和国国家发改委文件，《国务院关于取消和下放一批行政审批项目等事项的决定》（国发〔2013〕19号）[3]，国家发改委下放管理层级行政审批项目20项，其中第75条“企业投资风电站项目核准，下放地方政府投资主管部门”。因此在内蒙古自治区开发容量为50MW以上风电项目的权限，也已改为由内蒙古自治区发改委进行核准。

5 风电项目核准的新举措

根据内蒙古自治区发改委文件，《关于新能源建设项目可行性评估审查和节能评估审查有关问题的通知》（内发改规范字[2012]8号）[4]，风电项目核准所需提交的材料调整了两项内容如下：

5.1 项目可行性评估审查

（1）对于采用技术线路比较成熟的单机容量在3MW及以下、由自治区核准的风电项目，以及太阳能光伏发电项目，不再做可行性评估审查。

（2）单机容量在3MW及以上、由自治区核准的新能源项目，项目的可行性评估审查仍按原规定执行。

（3）国家核准的新能源项目，根据国家有关规定进行可行性评估审查。

5.2 项目节能评估审查

（1）自治区核准的5MW以下的风电项目和太阳能光伏项目，不做项目节能评估报告书（表），需填写节能登记表。

（2）上述规定以外由自治区核准的新能源项目，节能评估审查按照国家和自治区相关规定执行。

（3）按照管理权限由国家核准的新能源项目，根据国家有关规定，初审后报国家有关方面进行节能评估审查。

6 风电项目的管理

（1）对于获得资源配置批复的项目，盟市发展改革委要加强监督和管理，确保企业严格按照国家有关项目基本建设程序开展下一步工作。

（2）对于已经获得核准的项目，盟市发展改革委要定期跟踪项目建设情况，对超过核准有效期主体工程仍未开工建设的项目，原核准文件自动失效。

（3）未经自治区发展改革委同意，不得对项目擅自转让或变更投资方，一经查实，取消该企业在内蒙古再开发风电的资格。

7 总结

在内蒙古自治区开发风电项目，首先应做好前期准备工作，熟悉了解内蒙古自治区风电项目的行业准入条件、风能资源配置程序、风电项目核准需要提交的文件材料等，建议在开展前期工作的准备工作时，充分理解《内蒙古风能源开发利用管理办法实施细则》中关于测风管理、规划管理、准入条件、项目前期工作原则、项目前期工作要求、项目核准、项目监管、违规责任等条文说明[5]，做到有的放矢，把握申报程序，这样建设单位在开发风电项目时才能避免走弯路，有序高效地完成风电项目前期核准工作。

参考文献

[1] 全国注册咨询工程师（投资）资格考试参考教材编写委员会. 工程咨询概论（2012年版）[M]. 北京：中国计划出版社，2012.

[2] 内蒙古自治区发展和改革委员会文件. 关于印发内蒙古自治区风电项目管理办法（试行）的通知（内发改能源字[2009]215号）[R]，2009.

[3] 中华人民共和国国家发展和改革委员会文件. 国务院关于取消和下放一批行政审批项目等事项的决定（国发〔2013〕19号）[R],2013.

[4] 内蒙古自治区发展和改革委员会文件. 关于新能源建设项目可行性评估审查和节能评估审查有关问题的通知（内发改规范字[2012]8号）[R],2012.

[5] 内蒙古自治区发展和改革委员会文件. 内蒙古风能源开发利用管理办法实施细则[R],2011.4.

收稿日期：2013-05-29。

作者简介：

杨德清（1977-），男，本科，工程师，从事新能源（风能、太阳能）项目管理工作，现为内蒙古电力勘测设计院工程处设计总监。

摄影：敖亚新

中水恒信
能·源·工·程

CSIC
中国船舶重工集团公司第七一三研究所

预应力风电机组基础整体解决方案

·研发 ·设计 ·产品 ·方案 ·服务 ·总承包

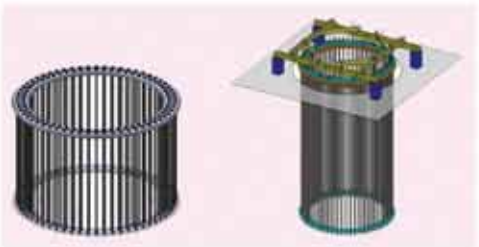
技术创造价值 质量重于生命

中船重工第七一三研究所以致力于推动中国风电机组基础行业的技术进步为己任，依托下属北京中水恒信环境科技发展有限公司推广的预应力风电机组基础整体解决方案是目前安全性能以及经济性能极优的基础方案，自2011年在国内正式推广以来，累计支持1.5MW、2.0MW、2.5MW共约五百台风电机组，凭借先进的技术、过硬的质量、优质的服务、创新的经营模式服务于众多的客户，累计降低工程造价约一亿元人民币，创造了可观的社会以及经济效益。

预应力风电机组基础方案

预应力基础配套产品

- 船级社认证、军工认证的预应力锚杆、锚栓组件（可订制长度与直径）
- 岩石微桩基础用高强锚杆组件
- 现场卷制波纹筒
- 一体化智能预应力张拉设备
- 预应力风电机组基础用固定底环
- 预应力风电机组基础用安装工装



网址：www.zshxet.com 电话：400-078-2010 QQ：507814678

区域风电场群统一调度系统的探索与实践

张菲菲

（大唐（赤峰）新能源有限公司，赤峰 024000）

摘　要：由于风资源分布的地理特点，风电场通常建在自然环境相对恶劣的区域，且分布范围广，不利于集中化管理，造成大量的人力资源浪费。区域风电场群统一调度系统的应用，对地理位置分散的风电场进行统一的生产管理发挥了重要作用。本文在对风电场群统一调度系统应用理念和技术手段进行实际应用后进行深度总结和提炼，阐述了风电场群统一调度系统在实际生产工作中的优点和成效。该系统的应用不仅实现了对各风电场实时运行工况和设备状态的监管，还便于管理人员统筹安排风电场的各项管理工作，真正实现了风电场群生产管理的专业化、信息化、智能化。

关键词：区域；风电场群；调度系统；探索；实践

中图分类号：TM614　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-9219（2013）09-0062-05

Exploration and Practice of Regional Wind Farm Cluster Dispatching System

Zhang Feifei

（China Datang (Chifeng) Renewable Power Co., Ltd., Chifeng 024000,China）

Abstract: Due to the geographical characteristics of the wind resource distribution, wind farms are usually built in the relatively poor environment, and the distribution range is wide, so it is not conducive to centralized management and wasted much resources. The application of regional wind farms unified dispatching system played an important role on unified management. This article carried out a summarization and refining of the wind farms unified dispatching system in practical application from both conceptual and technical perspective. Meanwhile it demonstrated the strong points and achievements of the unified scheduling system for wind farm cluster. With the application of the unified scheduling system, the real-time load of each wind farms was monitored and helped the managers to perform the comprehensive arrangement of the operation mode of the wind farm, therefore it made the production information collect system professional, networked and intelligent.

Keywords: regional; wind farm cluster; scheduling system; probing; practice

0 引言

对于我国风电发展较为集中的“三北”地区来说，由于风电装机容量迅速发展，其电网调度运行问题也越来越突出。为此，结合风电公司的生产特点和管理实际，以风电场群统一调度和现场少人值守为基础，确保安全生产和提升管理效率为目标，创新风电生产管理理念，在区域风电场群中的生产管理中逐步形成了“集中调度，分级管理”的管理模式，不仅有利于并网风电机组的安全稳定运行，也有利于风电公司对多个风电场进行统一集中管理。通过风力发电的调度策略优化，在受限条件下，最大限度实现提高风电机组的使用率和人力资源调配的最优化[1]。

1 区域风电场群统一调度系统的实施

1.1 突出风电场群统一调度的管控模式

长期以来，风电场生产管理基本参照了单元式的火电厂管理模式，生产管理人员分为运行人员和检修人员，并相应建立了班组，部分风电场实行“运检一体化”管理模式，在内部依然有运行和检修之分。同一风电公司拥有多个风电场时，这种生产管理模式的弊端就突显出来。一是在公司层面上生产管理不能实现统一指挥和调度，形成管理上的脱节；二是管理工作效率不高，不能保证对风电场管理的及时性和准确性；三是风电场单元式的生产管理不能较好地实现负荷调配，做到运行方式优化。基于以上管理弊端，对区域风电场群管理进行了探索和实践，创新性地应用了风电场统一调度系统并形成了几个特点。

1.1.1 突出以人为本的理念

由于风资源分布的地理特点，风电场通常建在自然环境相对恶劣的地方。风电场群统一调度系统的建立，将大大减少现场运行值班人员的数量，实现了少人值守，降低了人力资源成本，同时也改善了运行人员工作条件，体现了“以人为本”的管理理念。

1.1.2 突出风电公司生产管理的特点

风电公司区别于其它电力企业的一个显著的特点是风电场与风电公司办公地点相隔较远，为生产管理带来了诸多不便，极易造成管理脱节和生产指令不能很好地落实。区域风电场群实行统一调度后拉近了管理人员与风电场在空间和时间的距离，便于实施各种管理。

1.1.3 突出区域多个风电场生产统一管理的要求

风电场群统一调度系统可以最直接地实现风电场生产的统一管理，通过建立管理制度和规范生产流程，并利用统一调度系统，各个风电场的生产过程可以一览无余。所有生产运行数据均取自统一调度系统，提高了准确率，减少了运行人员工作负担。

1.2 创新管理手段和方法，更加适应生产现场管理的需要

风电场群统一调度系统可以实现对多个风电场变电站设备和风电机组运行状态进行集中监管，对变电站设备和多台风电机组进行远程控制，可以实现与就地控制室监控系统相同的功能，并可以自动生成各种统计报表。通过统一调度系统，不仅可以阅览各风电场的实时工况，便于管理人员统筹安排风电场运行方式，也为生产信息上报和生产指令下达搭建了平台，实现了风电场群生产信息采集、传输、应用的一体化管理[2]。

1.2.1 实现了管理信息的准确和快捷

风电场群统一调度系统中的电量信息直接取自集控系统的电量管理模块，无需运行人员进行手工统计，减少了人工计算中的差错。风电机组运行数据由统一调度系统进行自动采集和统计，可以进行任意条件的统计、分析和对标，真正实现了生产管理信息的快捷和准确[3]。

1.2.2 创新管理界面，突出了现场人员管理设备的作用

区域风电场群统一调度系统将大部分现场运行工作转移到调度中心，并以系统自动监控和调整为主，人工干预为辅助手段，现场少量留守人员主要为系统故障时的消缺或处理人员，在日常工作时，主要从事设备管理工作。可以想象，在调度中心正常运行时，现场人员工作量已减到最低，可以集中时间和精力进行风电场设备管理工作。

1.2.3 确定了两票执行流程，展现风电专业特色，保证生产安全

电力系统两票管理标准是电力企业多年生产实践的结晶，在保障电力生产安全方面发挥了重要作用。在风电场群统一调度系统中，以两票管理标准为基础，对两票执行流程进行了整合优化。

1.2.4 调度权限得到调整

按照国家电网公司的要求，220kV 变电所由调度部门直接调度。在推行集中监控以来，调度权限做了适当调整，对条件准许的部分风电场，直接将调度指令下达集中监控中心，由集中监控中心向各风电场下达调度指令。

1.3 管理职能得到较好体现

在风电场群统一调度的管控模式下，基于集控系统的功能，创新性地应用了多种管理功能[4]。具体创新点如下：（1）实现了风电场运行方式统一调度管理；（2）实现了风电场生产全过程的动态监督管理；（3）实现了风电场运行数据的深度分析和对标管理，利用风电场群统一调度系统的数据存贮与分析平台，可以进行多个风电场、多个机型生产指标的横、纵向对标分析。例如：公司日发电曲线分析、不同风电场同机型出力对比分析、同风电场风资源对比分析等，根据分析结果为生产精细化管理提供参考依据。公司日发电曲线对比情况见图 1、图 2。

2 系统的应用成效

2.1 提高了生产管理人员工作效率，降低了安全风险

在未实行风电场群统一调度系统管控模式之前，公司生产管理人员如果想了解几个风电场的运行情况，需逐一打电话到风电场向运行人员询问，费时费力，极易出现差错。特殊情况下生产管理人员需要乘车几个小时赶往现场，进行现场办公。采用风电场群统一调度系统管控模式后，生产管理人员在办公室采用 WEB 方式或在调度中心均可以看到各风电场实时运行情况，提高了生产管理人员的工作效率[5]。同时，风电场的所有生产工作，均在调度中心的监管之下，现场执行力大大提升。事故处理和倒闸操作由于有了调度中心的指导和参与，并在操作中起到了第二监护人的作用，大大降低了安全风险。

2.2 风电场实现少人值守，逐步实现无人值班，降低人力资源成本

统一调度系统控制功能投运前，每个风电场按照 8 个运行人员配置，8 个风电场需要 64 个运行人员。统一调度系统管控模式推行后，每个风电场按照 4 个运行人员配置，8 个风电场需要 32 个运行人员，调度中心按照“五班三倒”制配置，每个班 3 人，共计 15 人，调度中心和风电场总计运行人员 47 人。装机容量较小的风电场可以实行“运检合一”。同时，随着运行经验的积累和设备的稳定，部分风电场实现无人值守。与统一调度系统管控模式投运前相比约减少 20 人，大大降低了人力资源成本。

2.3 便于横向多参数对标管理，促进风电场纵向提升

从首台机组投运至今，累计安装 1164 台风电机组，共计 8 个机型、7 个厂家，各机型的运行工况存在很大差异，利用统一调度系统的数据存贮与分析平台，可以进行多个风电场、

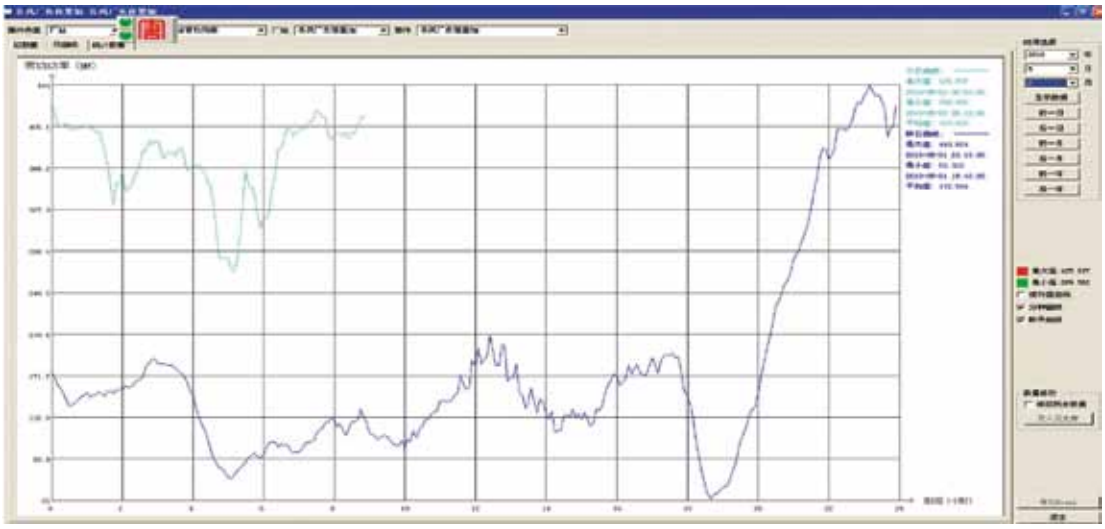


图1 公司日发电曲线对比图

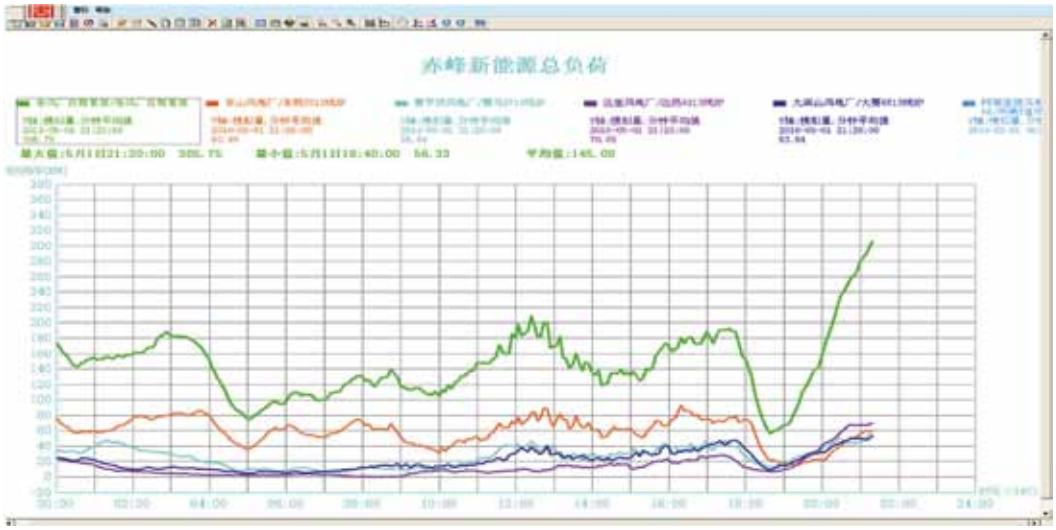


图2 公司日发电曲线对比图

多个机型生产指标的横向对标分析，在认真总结的基础上形成经验性的结论，用于指导风资源评估、微观选址、设备选型、运行方式等。通过对生产指标的横向对比、相互关联、综合分析，评价风电公司发电能力这一核心竞争力指标，从而促进风电场生产运营向低成本、高效益方向发展。

2.4 合理安排运行方式，适时调配负荷，拓展了电量增长空间

公司已投运 6 个风电场均并入东北电网，受网架结构影响，风电场限负荷情况较重，需随时根据调度要求调整送出负荷。采用统一调度系统管控模式以后，调度中心人员利用集控系统功能，可以根据调度指令合理安排各个风电场的运行方式，适时调配负荷，确保负荷的最大送出[6]。

以共用赛乌线输出的赛罕坝风电场和大黑山风电场为例，调度限负荷时仅按装机容量给风电场分配负荷送出上限，由于两风电场风资源情况不同，有时会出现一个风电场负荷送出达不到上限，而另一个风电场负荷送出又不满足要求的情况。在这种情况下，调度中心可以联系调度合理调配负荷，做到既保证电网运行安全，实现负荷最大送出，又拓展了电量增长空间。据统计，仅 2012 年 1 月至 12 月，通过调度中心调配负荷，增发电量累计超过 1900 万度，增发电量效果明显。某公司各风电场有功功率监视情况如图 3 所示。

2.5 实现了大型风电公司管理创新，企业的社会形象得到好评

在积极探索风电生产管理的客观规律的同时，积极致力于风电产业的应用，在风电场生产管理方面，积累了大量的运行、维护、管控经验，在行业内处于较好的管理业绩。风电场群统一调度系统的研究与应用，为大型风电公司的生产管理提供了新的思路。

3 结语

本文对风电场群统一调度系统的实施及预期的效果进行了研究，论证了该系统在实际工作中的优点和创新之处，通过统一调度系统的应用，对各风电场实时负荷监控和管理人员统筹安排风电场生产工作发挥了作用，是目前风电领域建设集中控制中心的典范。主要成果有以下几点：

（1）该系统的应用对区域集群风电场的集中运行、统一调度、故障分析、应急处理发挥了一定的作用，不仅提高了管理人员的工作效率，而且还降低了安全风险和人力资源成本；

（2）风电场群统一调度系统的研究与应用有利于多个风电场的统一管理，提升了现场人员的执行力，大大降低了风电公司安全风险；

（3）该系统的应用对地理位置分散的风电场进行统一生产管理发挥了重要作用。风电场群统一调度系统是未来区域风电公司进行生产管理的发展方向；

（4）区域风电场群统一调度系统提炼了三个典型的优点：一是改变了运行人员的工作环境，体现了以人为本的现代管理理念；二是实现了生产的统一管理，提高了人员效率；三是

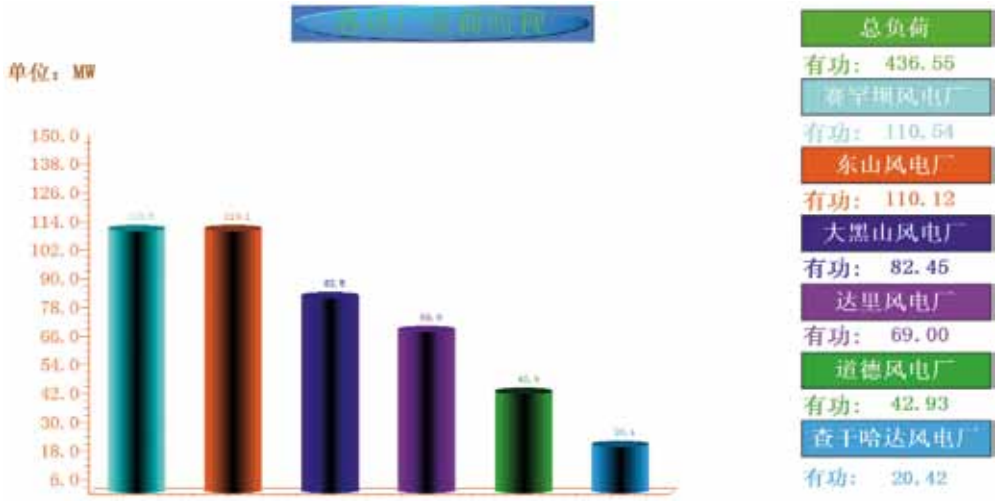


图3 某公司各风电场有功功率监视情况对比图

将生产与管理紧密结合，缩短了空间的距离，提高了现场的管控水平。

4 展望

随着我国风电行业的迅猛发展及大型风电公司的形成，风电场群统一调度必将成为风电场运行管理的一种趋势。本文认为，风电场群统一调度将向以下几个方面发展：

在技术发展方面，风电场群统一调度系统将逐步采用大型实时数据库，并将多个变电站和多种不同类型风电机组运行数据进行集中存贮和分析，这样可以实现风电机组的运行记录、数据比较、缺陷分析和预警功能，并能自动生成符合要求的数据报表，减轻运行人员的工作量，同时系统可以与电网调度正在推行的风电功率预测和 AGC 系统做到结合和补充 [7]；

在功能定位方面，风电场群统一调度系统可以将集中控制与生产调度统一为一个整体，集控中心的作用可以代替现场运行人员值班，实现风电场的无人值守运行或少人值守运行，该系统要有很高的安全性和稳定性，通常用于区域性风电公司的运行监控；生产调度中心的作用是可以监控所属风电场运行情况，但不进行直接控制，由生产调度人员将相应调度指令发送给相关风电场或区域集控中心，所以系统的稳定性要求相对低一些，可通过 VPN 链路来实现。此模式适用于集团公司级的风电生产调度管理。如果同时具有上述两种功能，则成为风电场群统一调度系统，同样要求有较高的安全性和稳定性 [8]；

在系统安全方面，风电场群统一调度系统将严格遵循电力行业相关信息安全标准，包括国网公司的信息安全标准。

基于以上功能的综合利用和发展方向，风电场群统一调度系统进一步完善后，逐步融入故障诊断分析功能、风电机组基础沉降观测功能、远程诊断功能、风功率预测上传等功能，将区域风电场群采用“连锁店”式的建设模式进行推广，一定会推动风电行业更好、更快地适应市场需求并快速发展。

参考文献

[1] 欧洲风能协会，中国风能协会译 . 欧洲大规模风电并网研究：分析问题和建议 [M]. 北京：中国科学技术出版社 ,2010.
[2] 中华人民共和国电力工业部 . 电网调度自动化系统运行管理规程 DL516–93[S]. 北京：中国电力出版社 ,1996.
[3] 苏绍禹 . 风力发电机设计与运行维护 [M]. 北京：中国电力出版社 ,2002.
[4] 叶杭冶 . 风力发电机组的控制技术 [M]. 北京：机械工业出版社 ,2002.
[5]〔美〕S.M. 欣内尔斯，李育才译 . 现代控制理论及应用 [M]. 北京：机械工业出版社 ,1980.
[6] 张志英，赵萍，李银凤，刘万琨 . 风能与风力发电技术 [M]. 北京：化学工业出版社，2010.
[7] 顾卫东 . 中国风电产业发展新战略与风电非并网理论 [M]. 北京：化学工业出版社 ,2006.
[8] 王军，徐成栋 . 风电场区域集中化运行管理方法研究 [J]. 风能 ,2012(11):70–74.

收稿日期：2013–07–25。

作者简介：

张菲菲（1978–），女，本科，助理工程师，主要从事新能源产品生产工作。

股票代码：600290

HEAG
华仪风能

环境 · 能源 · 生活
Environment · Energy · Life

- ◆自主成功研发HW1(780kW)系列机组;
- ◆引进德国技术,联合开发了HW2(1.5MW/2.0MW), HW3(2.5MW/3.0MW);
- ◆HW6(6MW)海上风力发电机组的开发, 完成样机初设;
- ◆维护成本低,发电效率高,质量可靠;
- ◆技术先进,适应环境广。

HW2/S2000(110)
机组成功并网

凭借华仪多年的风电机组设计及运行经验，同时吸收欧洲先进的风机设计理念，华仪风能与英国GL Garrad Hassan合作研发了2.0MW低风速型风力发电机组。目前已成功并网运行，运行状况稳定。

采用三叶片、上风向、水平轴、双馈异步电机的典型结构，叶片长度约54m，是目前国内市场上为数不多的风轮直径达到110m的2.0MW机型。该机组技术可靠，性能稳定，安全性高，特别适用于风速不高的Ⅳ类风场，即使在风资源相对较差的情况下仍可以获得较高的经济效益。

销售中心
地址: 北京丰台区南四环西路188号5区12号楼
电话: +86 10 67806565
网站：www.hewind.com

无线以太网通信系统在风电场的应用

戴建军[1]，赵国群[1]，邵科[1]，蔡璐璐[2]

（1. 浙江运达风电股份有限公司，杭州 310000；2. 安徽工程大学 机电学院，芜湖 241000）

摘　要：目前风电场内的监控系统是通过在风电机组间铺设光缆，机舱内安装工业以太网交换机的方式将机组运行数据上传到 SCADA 上位机来实现的。为了适应海上风电场的建设，文章介绍一种能在风电机组内进行快速布置、灵活组网的无线局域网技术的应用，并重点探讨了机组偏航导致天线间相对位置变化带来的天线方向图的不均匀问题和风电机组桨叶运转对无线信号的动态阻挡形成衍射效应导致的多径衰落问题及解决途径。

关键词：风力发电；海上风电；无线以太网；SCADA

中图分类号：TM614　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-9219（2013）09-0068-05

Application of Wireless Ethernet Communication System in Wind Farm

Dai Jianjun[1], Zhao Guoqun[1], Shao Ke[1], Cai Lulu[2]

（1. ZheJiang Windey Co., Ltd., Hangzhou 310000, China;

2. College of Mechanical & Electrical Engineering, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China）

Abstract: Nowadays, the monitoring system of wind farm is operated by the installation of optical cable among turbines and industrial Ethernet switch in cabin to upload the operation data to SCADA upper computer. In order to adapt to the construction of offshore wind farm, this paper introduced an application of wireless LAN technology which capable of rapid deployment and flexible networking among turbines. The focus of the paper is on the problem of the unevenness of antenna pattern caused by the relative position change between the antennas by unit yaw and its solution. Moreover, the multipath fading problem formed by the diffraction effect because of the dynamic blocking to wireless signal by the operation of fan blade and its solution are another emphasis of the paper.

Keywords: wind power; offshore wind power; wireless Ethernet; SCADA

0 引言

在全球化石能源紧缺而需求又激增的历史背景下，各国纷纷提出发展新能源技术。中国政府也已在最新的“十二五”规划中提出了第一个绿色发展规划，要求不断提高可再生能源的比例，风电发展将迎来新一轮的建设高潮。风力发电是门新兴的综合性技术，涉及空气动力学、材料学、机械学、电子学、自动化和通信等学科。

为了对风电场进行数据采集和监控，需要部署现场通信网络。目前采用的传统传输方式为单 / 多模通信光缆在风电机组之间铺设，塔筒控制柜内设置工业以太网交换机。存在的主要问题是光缆铺设和光纤熔接工期长、施工量大，光缆容易受外力损坏。另外，未来风电机组将被大量安装到海上风电场，采用有线通讯系统施工和运维的难度和成本大幅增加。

随着无线通信技术的出现，在许多 IP 联网技术中，无线网（Wireless Network）以其无需布线、维护方便、运行费用低廉等优点，在许多这些应用场合发挥着其他联网技术不可替代的作用。对于风力发电监控系统而言，也是具有一定创新性的方案。

风电场主要考虑如何使用无线设备更方便、快捷、稳定地把每个风电

机组的控制信息、变电站数据，远距离传输给升压站，通过升压站 SCADA 系统把数据汇总、分析并报告，及至支持大流量的实时视频监控数据传输。由于每一座风电场的风电机组数量、风电机组位置、面积等均不相同，因此需要针对每一个风电场来专门设计实施方案，要求系统拥有高性价比，可扩展性。

1 无线技术的适用性比较

工业场所应用的无线技术包含 WWAN 广域网（如 GPRS、EDGE、WCDMA、CDMA2OOO、TD-SCDMA、LTE 等技术）和 WLAN 局域网（WAPI、WIFI、ZIGBEE 等技术）等，由于 WWAN 要依赖于电信运营商的网络支撑，存在三个现实和潜在问题：一是风电场偏远地区网络覆盖不佳；二是长期付费使用成本高；三是后续运维存在不确定性（如撤基站或运营商网络调整）。因此，我们倾向于使用 WLAN 局域网系统，比较各种技术后采用目前最成熟、稳定的 WIFI（全称 Wireless Fidelity）技术[1]。WIFI 采用 IEEE 802.11a/b/g/n 协议，最新版本是 802.11n。各种无线技术数据传输速率比较如图 1 所示。

1.1 覆盖范围比较

在覆盖范围方面，802.11n 采用智能天线技术，通过多组独立天线组成的天线阵列，可以动态调整波束，保证网桥接收到稳定的信号，并可以减少其它信号的干扰。因此，其覆盖范围可以扩大到好几平方公里，目前主流设备点对点最大可达 8KM，使 WLAN 覆盖性能极大提高。

1.2 传输速率比较

在传输速率方面，802.11n 可以将 WLAN 的传输速率提供到 300Mbps 甚至高达 600Mbps。得益于将 MIMO（多入多出）与 OFDM（正交频分复用）技术相结合而应用的 MIMO OFDM 技术，提高了无线传输质量，也使传输速率得到极大提升[2]。

1.3 其它关键技术

802.11n 是一组协议的总称，其中定义了 MAC 协议、路由协议、能量管理机制、QoS 保证技术、数据融合技术、安全机制、同步管理机制等关键技术。由于篇幅所限，在此不予展开。仅对本方案有所关联的几个关键技术做简单阐述。

1.3.1 MESH 组网

顾名思义，无线 MESH 组网的意义可以理解为各无线节点（AP 或网桥）之间非简单的点对点连接，而是点对多点混合组网以形成一张网状网络结构。具体的连接方式由现场环境（距离、天线发射和接收功率）来动态变化并自动组网。在无线 Mesh 网络中，任何无线设备节点都可以同时作为 AP 或网桥，网络中的每个节点都可以发送和接收信号，每个节点都可以与一个或者多个对等节点进行直接通信。这种结构的最大好处在于：如果最近的节点由于流量过大而导致拥塞的话，那么数据可以自动重新路由到一个通信流量较小的邻近节点进行传输。依此类推，数据包还可以根据网络的情况，继续路由到与之最近的下一个节点进行传输，直到到达最终目的地为止。这样的访问方式就是多跳访问。

1.3.2 MIMO 天线

MIMO 天线技术可以理解为多进多出（MIMO：Multiple Input Multiple Output）技术，是 20 世纪 90 年代末美国的贝尔实验室提出的多天线通信系统，在发射端和接收端均采用多天线（或阵列天线）和多通道。无线信号同时被不同的天线经过不同的路径传送，由于无线信号在传送的过程当中，为了避免发生干扰起见，会走不同的反射或穿透路径，到达接收端的时间也会不一致。为了避免数据不一致而无法获得准确结果，接收端会同时具备多重天线接收，利用 DSP 重新计算的方式，根据时间差的因素，将分开的数据重新计算，然后得到正确且快速的数据流。

2 系统体系结构和功能

2.1 组网结构

我们以河北省张北县某风电场中

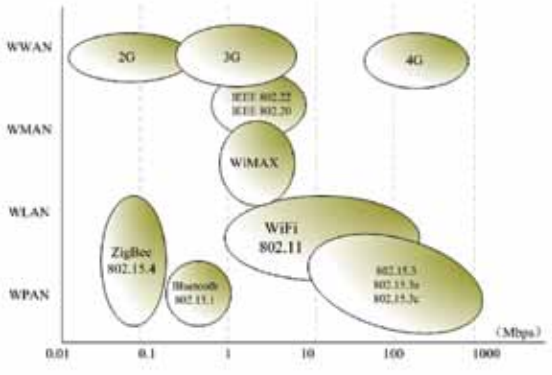


图1 各种无线技术数据传输速率比较

的一组 15 台风电机组为例制定实际方案并进行测试。15 台风电机组以不规则的形态分布在长 2 公里宽 5 公里的区域内，升压站控制室距离风电机组约 2 公里。

根据风电机组特点，本方案采用点对多点 + 点对点混合的 MESH 无线互联模式，保证整个风力发电厂数据采集传输的安全稳定。由于风电机组间相隔大致会有 400m 至 1000m，机舱和塔筒金属物较多，无线信道衰落较大，采用某品牌 MP8100 系列网桥外接全向天线模式来设计风电场网络架构，并采用某品牌 QB-8150-LNK 系列网桥进行数据的采集汇聚工作，拓扑图如图 2 所示。

区域内每一台网桥都安装到机舱上的控制柜内(控制柜提供 24V 电源)，通过馈线方式引出全向天线，全向天线安装在吊舱顶部的风标固定架上。无线网桥通过高质量的屏蔽网线连接到光电转换器，塔上塔下之间已经有多模光缆进行连接。并通过光电转换器连接到风电机组的控制器 (PLC)，如图 3 所示。

区域内每一台无线网桥都与周围距离最近的无线网桥进行连接，每台无线网桥可同时与 3 台以上的相邻节点建立通信。随着风电机组的偏航和叶片规律性的扫风造成的无线环境的变换，进行动态微调并重新计算路由。

2.2 网络安全

安全性是无线以太网须考虑的一个重要部分，风电场是重要的工业环境，任何未知的网络侵入都将对整个系统造成严重影响。所谓无线网络的不安全性，在一定程度上可以理解为接入方式促成了连接的方便性。如果设备已经接入系统，无论有线或是无线安全性都是一样的。因此，我们特别关注无线侧的网络安全。在风电场的无线网络系统中，我们将采取如下安全机制：

（1）风电机组之间无线系统内部连接，在 802.11n 基础上可选设备私有协议以保证只有同品牌设备才能互联互通；

（2）采用 3 种信息过滤机制：SSID 隐藏并过滤、MAC 地址过滤和端口过滤；

（3）隐藏 SSID，并有限开放客户端，建立访问控制列表。如此，只有授信用户才能通过主动添加的方式接入系统。普通笔记本电脑将搜索不到任何无线信号；

（4）多种访问认证机制，包含 802.11n 最新的开放式验证、共享密钥验证机制；

（5）数据加密机制，WEP 使用 RSA 数据安全公司的使用伪随机数生

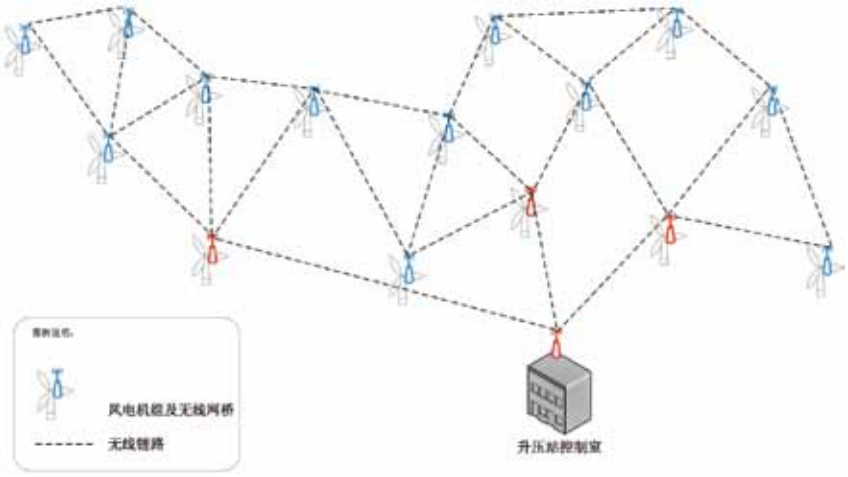


图2 MESH网络组网拓扑图

图3 风电机组内逻辑图

成器（PRNG）RC4 对称加密算法。

3 关键技术问题

与其它无线通信不同，风电机组间无线通信信道的时变性有其自身的特征，主要表现在三个方面：一是风向变化引起的经常性机组偏航导致网桥间全向天线相对位置变化而带来的无线环境变化，进而带来数据丢包；二是机组运行过程中，风电机组桨叶运转对无线信号的动态阻挡形成类似衍射效应的多径衰落；三是考虑恶劣天气情况对无线信道造成的影响程度，确保在极端恶劣天气情况下的通信稳定，这一问题实际是对大尺度衰落信道根据气象条件的修正问题。

3.1 机组偏航与天线方向图

针对机组偏航导致天线位置变化带来的无线环境变化，我们从两个方面进行讨论。

（1）研究所使用的全向天线的方向图特征，分析偏航导致的无线环境变化是否由天线方向图的不均匀造成的。

全向天线的方向图特征图中，一个相当重要的参量就是等效全向辐射功率（EIRP）。EIRP 定义为功率增益与输入功率的乘积：$EIRP=GP_{rad}$。当各向同性天线的辐射强度等于所讨论的实际天线的最大辐射强度时，EIRP 是各向同性天线所辐射的总功率：$EIRP=4\pi U_{max}$。

根据 Friis 方程：

$P_{RX}=P_{TX}G_{TX}G_{RX}(\frac{\lambda}{4\pi r})^2$，如果知道天线的发射功率以及功率增益，那么就可以通过 Friis 方程计算出任意距离上任意天线对的接收功率（假设两个天线的连接处在它们最大方向增益的方向上）。另外，在 WLAN 应用中，交叉极化通常只有很小的影响（40dB 或 60dB 的线路损耗预算中只占几个分贝），而且在风电场一般不能预见或者控制它，所以在天线方向图问题上我们选择忽略；

（2）提高天线的可靠性。工程应用上，因天线方向图不均匀造成，考虑使用设计更为合理方向图更为均匀的天线，使用多天线（MIMO）并通过选择性合并的方法在尽可能减少性能额外复杂度的情况下提高可靠性 [3]。

在一个典型的 MIMO OFDM 系统中，具有 Nt 根天线发射和 Nr 根接收天线的多天线系统，在频率选择性 MIMO 信道上传输，每根天线使用 OFDM（解）调制，如图 4 所示。

在 OFDM 调制器输入端的每个符号 $x_n^u(p)$ 由 3 个变量索引：指定发射天线的空间变量 $\mu\in[1,N_t]$，表示 OFDM 符号的时间变量 n（分组索引），频率变量 $p\in[0,\ N_c-1]$，表示子载波，索引第 n 个普通分组中的在 OFDM 调制的相应符号。

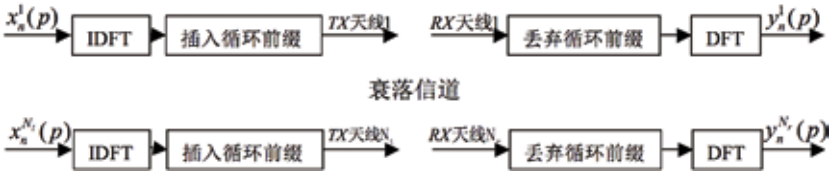


图4 多天线空时OFDM系统

3.2 桨叶运转形成的多径衰落

（1）桨叶对无线信道动态阻挡引起的信道变化是一种小尺度衰落。对这一问题，采用的基于时域有限差分法（FDTD）电磁场计算方法，对桨叶运转对电磁波的动态阻挡造成电磁波传播特性的影响进行仿真。电磁波的传播遵循麦克斯韦方程，将天线发射信号建模成电磁波的平面波源，使用 FDTD 方法将麦克斯韦微分方程转化为差分方程，模拟电磁波在空气中的传播及其遇到桨叶时候造成的电波的散射、折射以及损耗特性，并根据桨叶的不同物理尺寸以及转动速度等参数，得到不同情况下桨叶转动引起信道变化的时变信道特性和统计信道特征，给出信道修正曲线或图表。由于天线与桨叶之间的距离一般不会太远，使用这方法进行计算的计算量是可以接受的 [4]。

（2）在无线系统设计中，抗衰落技术可归结为三种基本方法。最常见的方法是采用分集天线。两个天线间距足够远，假如一个天线位于深度阴影内的话，另一个天线绝不会出现这种情况；第二种方法是将发射信号的频谱扩展到足够大，使其包含有不被衰落的频率；第三种方法是采用方向性更强的天线，这样就能排除掉导致破坏性干涉的那些路径。但是由于风电机组的偏航特性，我们暂不考虑第三种方法。

关于分集天线上部分已略作阐述，以下对于发射信号扩频调制稍作分析。下面是一个直达波与反射波的简单例子。如果改变频率，则传播常数也随之改变，将路程差与传播常数的变化量 $\delta\kappa$ 相乘以后，这两条路径的相对相位就会发生变化。当天线对某一个频率产生衰落时，一般不会对该频率附

近的其它频率也产生衰落。

$$k=\frac{\omega}{c}=\frac{2\pi f}{c}\rightarrow\delta k=\frac{2\pi}{c}\delta f$$

如果 k 的变化量与路程差的乘积小于 π/8(45°)，则频率的该变量就不能再增加了。假设在低于某个路程差时，天线仍然处于衰落状，则我们可以建立频率的该变量和路程差之间的关系式：

$$\delta k\cdot\delta\gamma=\frac{2\pi}{c}\delta f\cdot\delta\gamma<\frac{\pi}{8}\rightarrow\delta\gamma<\frac{c}{16}\frac{1}{\delta f}$$

3.3 恶劣天气的影响

在海面无线信道基本建模的基础上，研究各种恶劣天气情况（如台风、暴雨）不同空气湿度、温度等情况无线信号传输特性，将各种情况下海面空气的湿度、温度等特性映射到波导中介质的介电常数、磁导率、电导率等介质材料特性参数，即可通过电磁场仿真得到电磁波传播的能量分布与衰减情况随不同气象条件的变化。实际风电场环境中，相邻两台风电机组的机舱位置（即全向天线安装位置）大多为视距可达，并无城市环境或者室内环境内的阻挡物。但是尽管无建筑物的阻挡，对于如果存在的远距离的室外传播链路仍需考虑风、雨和雪等气候条件，对大气湿度和温度的梯度变化可能导致不同的直达波束产生折射效应[5]。

雨是水，而水的折射系数和对 WLAN 的频率的时候强度很高，所以会有额外的衰减，然而在空气中雨水的实际密度非常小，并且相对于 ISM 波长来说是很小的，因此散射是在可接受范围内。结论是雨的衰减仅在大雨和 5GHz 波段时是比较明显的，实测结合相关文献得出表 1。

表1 不同频率WLAN的衰减与降雨的关系

频率（GHz）	降雨（mm/h）	衰减（dB/mm）
2.45	25	<<0.01
	100	0.02
5.5	25	0.04
	100	0.3

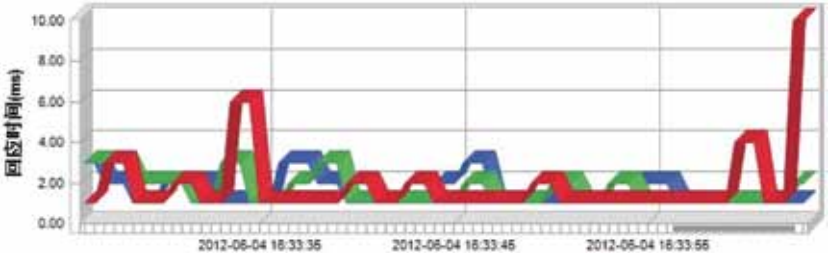


图5 短时实测Ping包结果

4 结语

本系统进行了 24 小时 *3 个月的连续测试，测试计算机长期进行 Ping 大包实验。并每周获取结果数据，以检验在实际环境中风电机组震动、下雨对无线环境的干扰，得出实际使用效果的结论：

（1）系统建立初期多台控制器经常失联，经查为丢包严重导致时断时续。经过网络优化（天线功率调整、工作频段调整、更换天馈线）后，问题基本解决。满足连续 2 小时 Ping 1024bps 大包丢包率在 2% 以内、系统平均时延在 30ms 以内的要求，见图 5。

（2）系统实际效果基本符合预期，系统部署方便，操作维护成本低。难点在于无线网络的优化。鉴于此，我们认为可以进行推广，但需要无线通信经验丰富的工程师进行部署和定期维护。

参考文献

[1] 王刚，译 . 宽带无线通信中的空时编码 [M]. 北京：机械工业出版社 ,2009.

[2] 黄标，彭木根 . 无线网络规划与优化导论 [M]. 北京：北京邮电大学出版社 ,2011.

[3] 李晋文等，译 . 无线网络射频工程 – 硬件、天线和电波传播 [M]. 北京：人民邮电出版社 ,2008.

[4] 张洪欣，吕英华，黄永明 . 基于 FDTD 方法的无线信道衰落特性模拟研究 [J]. 电路与系统学报 ,2004,9(3):127–131.

[5] 叶伟，丁桂林，颜毅斌，胡凯凯 .UDP 协议在风电机组通信系统中的实现 [J]. 风能，2013(6):86–91.

收稿日期：2013–06–14。

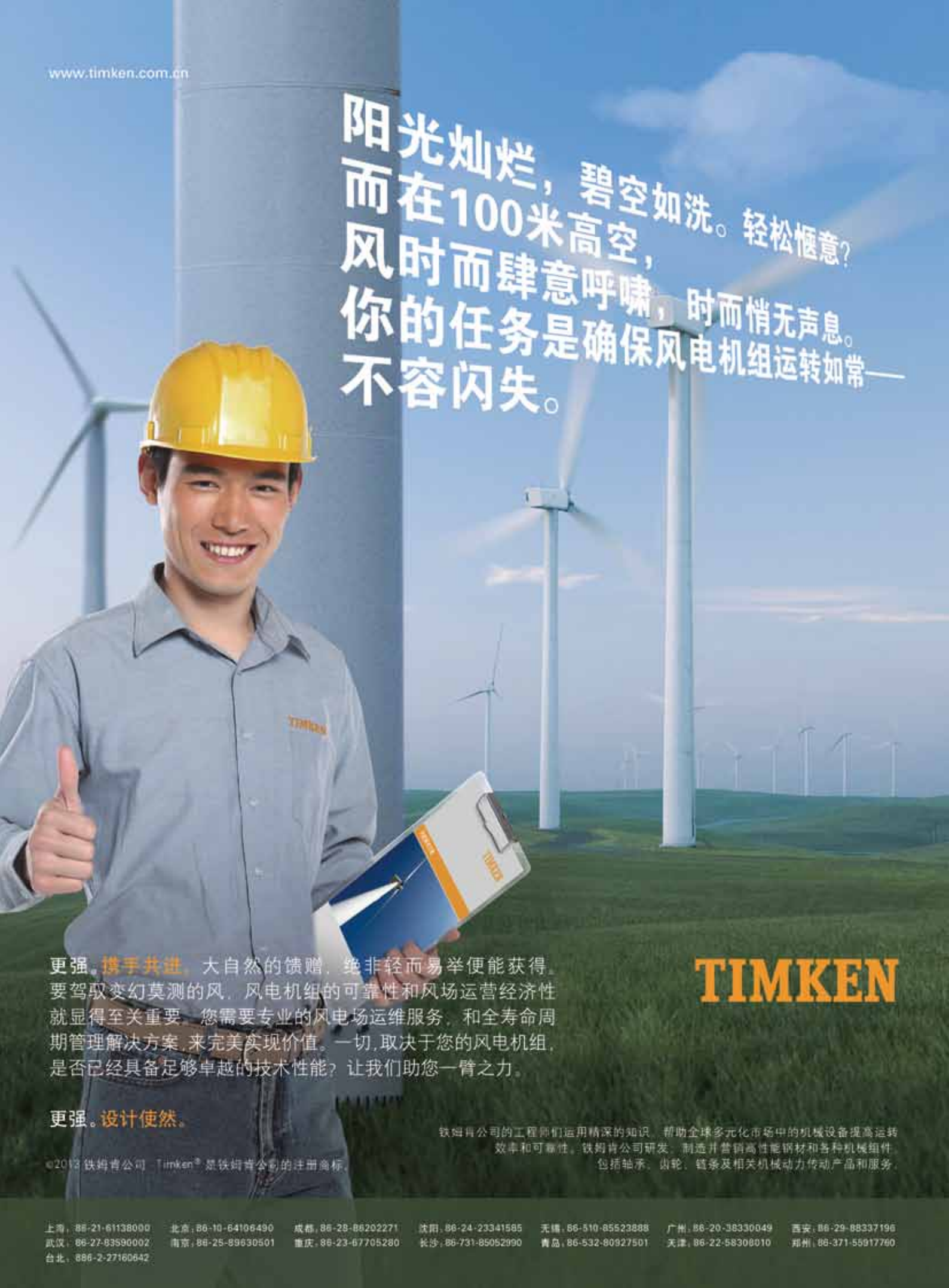
作者简介：

戴建军（1981–），男，本科，工程师，主要从事风电领域通信系统设计工作。

赵国群（1969–），男，本科，工程师，主要从事风电领域控制系统设计工作。

邵科（1974–），男，本科，工程师，主要从事风电领域电控系统设计工作。

蔡璐璐（1991–），女，本科，就读安徽工程大学电气工程自动化专业。


www.timken.com.cn
阳光灿烂，碧空如洗。轻松惬意？
而在100米高空，
风时而肆意呼啸，时而悄无声息。
你的任务是确保风电机组运转如常——
不容闪失。
更强。携手共进。大自然的馈赠，绝非轻而易举便能获得。要驾驭变幻莫测的风，风电机组的可靠性和风场运营经济性就显得至关重要。您需要专业的风电场运维服务，和全寿命周期管理解决方案，来完美实现价值。一切，取决于您的风电机组，是否已经具备足够卓越的技术性能？让我们助您一臂之力。
更强。设计使然。
TIMKEN
铁姆肯公司的工程师们运用精深的知识，帮助全球多元化市场中的机械设备提高运转效率和可靠性。铁姆肯公司研发、制造并营销高性能钢材和各种机械组件，包括轴承、齿轮、链条及相关机械动力传动产品和服务。
©2013 铁姆肯公司 Timken® 是铁姆肯公司的注册商标。
上海：86-21-61138000 北京：86-10-64106490 成都：86-28-86202271 沈阳：86-24-23341585 无锡：86-510-85523888 广州：86-20-38330049 西安：86-29-88337196
武汉：86-27-83590002 南京：86-25-89630501 重庆：86-23-67705280 长沙：86-731-85052990 青岛：86-532-80927501 天津：86-22-58308010 郑州：86-371-55917760
台北：886-2-27160642

全国极端最低气温时空分布特征研究*

朱玲[1]，柳艳香[2]，龚强[1]，黄凤新[2]，兰海波[2]，晁华[1]，蔺娜[1]，王刚[3]，尚敏帅[4]

（1. 沈阳区域气候中心，沈阳 110016；2. 中国气象局公共气象服务中心，北京 100081；
3. 辽宁省电力有限公司电力科学研究院，辽宁 110016；4. 辽宁电力勘测设计院，辽宁 110016）

摘　要：根据1961–2009年冬半年（11月—翌年3月）的气温定时观测资料，本文分析了我国极端低温的时空分布以及不同低温时段的变化特征。我国极端最低气温由南至北呈现明显的带状分布，近49年我国北方大范围区域极端低温低于−30℃，局部地区低于−45℃，极端低温的累积时间逐渐较少。近10年来，东北、新疆北部和青藏高原西部地区极端低温低于不同温度段（−30℃、−35℃，−40℃和−45℃）的累积时间基本大于100小时、50小时、10小时和1小时，大部分地区持续时间基本在4—5小时之间，气温的回升时间因地而异，新疆北部地区从低于−40℃回升至−35℃需要最长时间约6小时，回升至−30℃需要约40小时，从−35℃回升至−30℃需要50小时左右。

关键词：极端低温；不同低温时段；累积时间；最大持续时间；温度回升时间

中图分类号：TM614　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-9219(2013)09-0074-05

Study on the Temporal and Spatial Distribution of the Extreme Low Temperature

Zhu Ling[1], Liu Yanxiang[2], Gong Qiang[1], Huang Fengxin[2], Lan Haibo[2], Chao Hua[1], Lin Na[1], Wang Gang[3], Shang Minshuai[4]

(1. Shenyang Regional Climate Center, Shenyang 110016,China; 2. CMA Public Meteorological Service Center, Beijing 100081, China;
3. Liaoning Province Power Co., Ltd., Electric Power Research Institute, Liaoning 110016, China;
4. Liaoning Electric Power Survey and Design Institute, Liaoning 110016, China)

Abstract: According to the winter year (November to next March) timing observations of temperature from 1961 to 2009, this paper analyzed the temporal and spatial distribution of extreme low temperature (ELT) and variation characteristics of different low temperature periods. ELT showed obvious zonal distribution from south to north in China. In recent 49 years, ELT of a wide range of North region in China below -30 ℃, and the partial area is lower than -45 ℃. The accumulation time of ELT gradually diminished. In the past 10 years, the cumulative time of ELT which in Northeast China, the northern Xinjiang and the western region of Qinghai-Tibet Plateau below 100, 50，10 and 1 hours in different temperatures (-30 ℃, -35 ℃, -40 ℃ and -45 ℃). The duration in most areas is between 4 to 5 hours. The rise time of temperature is different, the northern Xinjiang from below -40 ℃ to -35 ℃ needs the longest time about 6 hours, back up to -30 ℃ about 40 hours, from -35 ℃ to -30 ℃ needs about 50 hours.

Keywords: extreme low temperature (ELT); low temperature period; cumulative time; the maximum duration time; rise time of temperature

0 引言

根据国际电工委IEC 61400 — 1 — 2005风电机组设计要求标准，规定风电机组的运行环境温度为— 20℃，生存环境温度为— 30℃[1]。我国北方风能资源丰富的地区，冬半年的极端最低气温（以下简称极端低温）均低于— 20℃，大部分地区低于— 30℃[2]。为了避免低温对风电机组的叶片、液压系统以及电子元器件等造成损害[3-5]，也为

* 基金项目：公益性行业（气象）科研专项（GYHY201206054）和分散式风电接入技术及工程示范项目共同资助。

了能合理高效地开发利用风能资源，在我国风能资源丰富的北方地区采用低温型风电机组是必要的。如果根据我国北方地区极端低温的分布变化特征来选择风电机组，可以有效降低企业成本。

1 资料来源及说明

本文采用全国 756 个气象观测站 49 年（1961 — 2009 年）冬半年（11 月—翌年 3 月）气温定时观测资料（2005 年以前为一日四次，之后为逐小时观测），对极端低温的变化特征进行分析。计算中将一日四次的定时观测插值到逐时整点，可以得到全国 49 年冬半年逐日逐时气温的资料序列。

按 GB/T 4797.1—2005 规定的气候类型划分区域，将风电机组适用的低温环境划分为寒温环境和寒冷环境 [6]。

表1 规定低温环境下风电机组机型适用的温度范围

	低温型风电机组	超低温型风电机组
运行环境温度范围	−30℃ −+40℃	−40℃ −+40℃
生存环境温度范围	−40℃ −+40℃	−45℃ −+40℃
设计年平均温度	0℃	0℃

为了更好地了解我国极端低温的变化特征，本文将极端低温分为— 45℃、— 40℃、— 35℃、和— 30℃四个阶段来进行分析。

2 极端低温变化

2.1 极端低温时空分布特征

图 1 显示了我国 1961 — 2009 年冬季极端低温的分布特征。我国极端低温呈现从南向北逐渐降低的纬向分布，最低温度主要分布在东北和新疆等地区，自有器测以来的极端最低气温— 50.8℃出现在 1969 年的漠河地区。低于— 45℃的区域主要集中分布在我国黑龙江和内蒙古的最北端，— 40℃的范围向南扩展到内蒙古和黑龙江的北部地区，新疆北部地区也出现了极端低温低于— 40℃的区域。— 35℃的区域范围几乎包括了东北大部地区、内蒙古中东部以及北疆的北部地区。东北、内蒙古、新疆北部、甘肃和青藏高原部分地区的极端低温都可以达到— 30℃。— 20℃的极端低温范围覆盖了我国的北方地区。

采用世界气象组织（WMO）推荐的 1971 — 2000 年 30 年平均态为参考，给出了 1961 — 2009 年全国冬季极端低温的年代际变化，如图 2 所示。以 20 世纪 80 年代为界，之前的极端低温基本在— 45℃以下波动变化，最低值— 50.8℃出现在 1969 年，之后全球开始增暖，极端低温也开始逐渐升高，其 5 年滑动平均值基本高于— 45℃，20 世纪 90 年代较高，1992 年是极端低温最高的一年，达到— 39.8℃。

2.2 各低温段的累积小时数变化趋势

在每个温度段内，将每年低于每个极端低温的小时数分别累加得到 49 年各低温段的累积小时数，见图 3。各温度段累积小时数的年代际变化特征相似，在 60 年代年波动增大，60 年代中期和 70 年代末期，极端低温累积小时数明显偏大，60 年代末至 70 年代前期略有减少。80 年代中期开始减小，到 90 年代最小，之后一直在平衡态下波动。其中，累积小时数最大值均出现在 1969 年，和极端低温最低值出现时间一致。

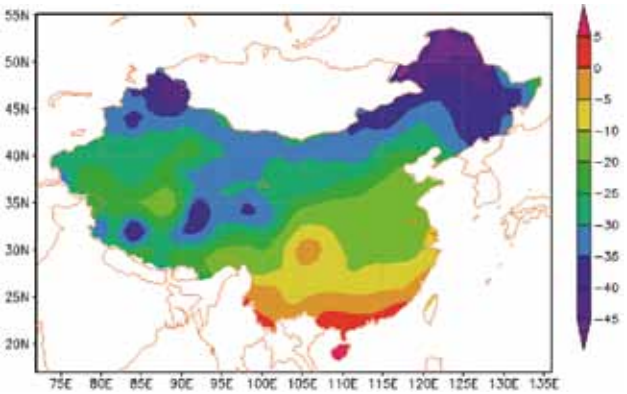


图1 1961–2009年全国极端最低气温分布

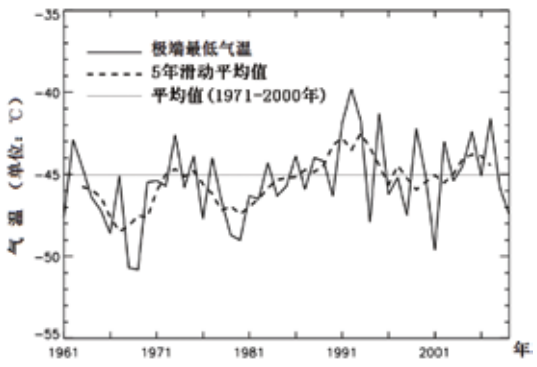


图2 1961–2009年逐年全国极端最低气温年代际变化特征

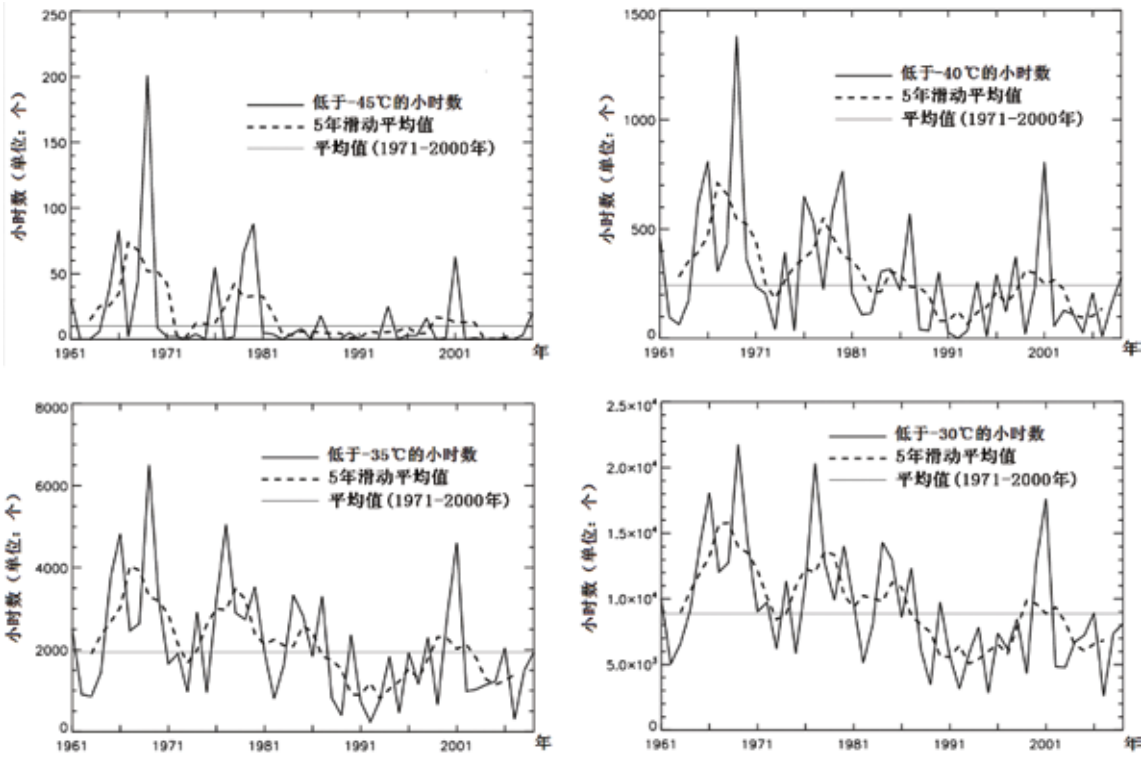


图3 全国低于各温度段的累积小时数

在全球气候变暖的影响下，我国低温的分布情况也有了很大的变化，为了更好地服务于风电行业，下面给出更为接近当前气候平均状况的低温分布特征，仅对近 10 年的极端低温特征进行分析。

3 近10年极端低温变化特征

3.1 各低温段累计时间

近年来，我国极端低温分布特征见文献 [6]。2000-2009 年以来，我国极端低温累积时数分布见图 4。北方大部分地区极端低温低于－ 30℃的累计小时数在 100 小时以下，新疆北部和青藏高原西部介于 100 － 1000 小时之间，东北地区基本大于 100 小时，其中漠河地区的最长累积时间可超过 7000 小时。低于－ 35℃的累计时长范围向北收缩，东北、内蒙古中东部、新疆北部以及青藏高原中西部地区小于 50 小时，黑龙江和内蒙古北部大于 100 小时，漠河地区的最大累积时长可以达到 1800 小时。低于－ 40℃的区域只出现在黑龙江和内蒙古北部、新疆北部及西藏西南部地区，累积时长小于 10 小时，最大时长依然出现在黑龙江和内蒙古北部可超过 400 小时。极端低温低于－ 45℃的出现概率较小，仅出现在图里河及漠河地区且最大累积时长只有 30 小时左右。

3.2 各低温段持续最长时间

在风电场运营中，极端低温持续时间的长短更为重要。图 5 给出了近 10 年低于－ 30、－ 35、－ 40 和－ 45℃的最大持续时间的分布。北方大范围地区极端低温低于－ 30℃的最大持续时间达到 5 小时，东北和北疆大部地区超过 10 小时，东北中北部、内蒙古中东部以及北疆北部和西南部地区可持续 20 － 40 小时，内蒙古新巴尔虎左旗地区最长持续时间可达 166 小时。持续时间至少 5 小时的低于－ 35℃范围明显减小，只出现在东北、内蒙古中东部、新疆北部和西藏西南部，其中黑龙江中北部和内蒙古东部以及新疆北部地区的最大持续时间介于 10 － 15 小时，最长的持续时间 46 小时出现在内蒙古额尔古纳右旗地区。极端低温低于－ 40℃的最大持续时间较短，出现区域较小，只有黑龙江北部和内蒙古东部地区最大持续时间大于 4 小时，而最长持续时间 16 小时出现在漠河地区。另外，新疆北部和东北部分地区的持续时间小于 4 小时。低于－ 45℃的极

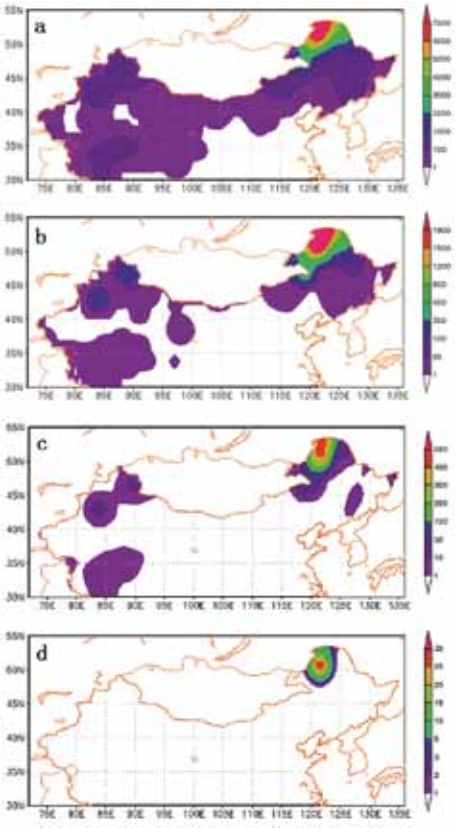


图4 2000–2009年气温低于极端低温的累计小时数

（注： a: −30℃；b: −35℃；c: −40℃；d: −45℃ ）

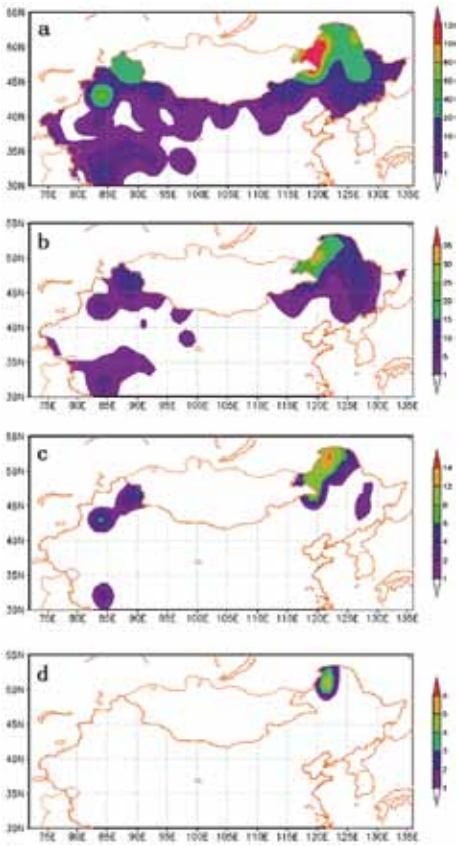


图5 不同极端低温时段的最大持续时间（单位：小时）

（注： a: −30℃；b: −35℃；c: −40℃；d: −45℃ ）

端低温持续时间出现概率较小，仅出现在黑龙江和内蒙古北部地区，其中图里河地区的最长持续时间可以达到 9 小时。

3.3 温度回升时间

当气温低于风电机组生存环境温度时，风电机组就会强制停机，等待环境气温回升至安全温度后重新开机，而气温回升时间的长短会直接影响到风电场的发电效率。

内蒙古和黑龙江北部地区的极端低温最显著。内蒙古北部图里河地区气温从低于－ 45℃回升至－ 40℃需要的最长时间为 13 小时，回升至 -35℃需要 14 小时，而回升至－ 30℃需要 102 小时。黑龙江北部漠河地区从低于－ 45℃回升至－ 40℃需要 7 小时，回升至－ 35℃需要 8 小时，回升至－ 30℃需要 9 小时。额尔古纳右旗地区从低于－ 40℃回升至－ 35℃需要 36 小时，而额尔古纳右旗、图里河、新巴尔虎左旗和阿尔山地区从低于－ 40℃回升至－ 30℃需要 100 小时以上。内蒙古和黑龙江北部部分地区从低于－ 35℃回升至－ 30℃的时间均可达到 50 小时以上。

新疆北部地区，从低于－ 40℃回升至－ 35℃需要最长时间约 6 小时，回升至－ 30℃需要约 40 小时，而从－ 35℃回升至－ 30℃最长需要 50 小时左右。

青藏高原西部地区，从低于－ 40℃回升至－ 35℃，最长需要 6 小时左右，从－ 40℃回升至 -30℃，最长需要 10 小时，而从－ 35℃回升至－ 30℃最长同样也需要 10 小时左右。

4 结语

我国地域广阔气候复杂，冬季的北方地区处于西风急流控制之下，强劲的冷空气会造成气温剧降，极端最低气温会对风电场的安全运行带来潜在的威胁。本文给出了我国出现的极端低温的分布和变化特征、不同低温阶段的出现地域、累积时间、持续时间以及温度回升所需要的时间，旨在为风电场开发选择适合的风电机组类型，降低成本以及降低极端低温对风电机组造成的风险提供科学依据 [7]。

另外，随着温度的降低，单位体积的空气质量相应增大，空气密度随之增大，当极端最低温度低于－ 30℃时，大于 1.225 kg/m^3 的区域主要分布在我国东北和内蒙古中东部以及新疆的北部地区，空气密度最大可以达到 1.4 kg/m^3。如果有较好的风况，则会极大提高风电机组的出力水平。所以，选择合适的风电机组、合理利用气候资源既可以降低成本又能获取更大的经济效益。

参考文献

[1] 国际电工委员会 . 风力发电机组设计要求 IEC 61400-1-2005 [S],2005.
[2] 张宁 , 孙照渤 , 曾刚 .1955-2005 年中国极端气温的变化 [J]. 南京气象学院学报，2008，31（1）:123-128.
[3] 孙鹏 , 王峰 , 康智俊 . 低温对风力发电机组运行影响分析 [J]. 内蒙古电力技术，2008，26（5）：8-17.
[4] 王凤玲 , 李亚滨 , 刘春生 . 黑龙江省极端最低气温对风电工程的影响 [J]. 黑龙江气象，2012，29（2）：23-26.
[5] 王相明 . 低温环境对风力发电机组的影响初探 .[2006-05-22].http://www.newenergy.org.cn/html/0065/2006522_10095_1.html.
[6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 , 中国国家标准化管理委员会 . 电工电子产品自然环境条件 湿度和温度（GB/T 4797.1-2005）[S]. 北京 : 中国标准出版社 ,2005.
[7] 柳艳香 , 袁春红 , 朱玲 , 等 . 近 12 年来影响风电场安全运行的气象灾害因子分布特征 [J]. 风能，2013(5):70-74.

收稿日期：2013-07-25。

作者简介：
朱玲（1985-），女，硕士，助理工程师，主要从事应用气象研究工作。
柳艳香（1966-），女，博士，研究员，主要从事气候资源变化及预测研究。

阳光电源

——以核心科技和坚定信念成就卓越品牌

风能变流器

国内率先通过CE认证
风能变流器国家标准制定单位

全功率：850KW 、1.5MW、2.0MW、
2.5MW、3.0MW
双　馈：1.5MW 、2.0MW、2.5MW、3.0MW

- 额定功率时能量转换效率>97%；
- 支持低电压穿越，满足国标及Eon06；
- 独立温控单元，冷启动加热逻辑，适应较宽温度范围；
- 丰富的对外接口，多种通讯方案；
- 热流仿真设计，确保系统热稳定；
- 三维模块化设计，易于安装维护；
- 长期风场运行考验，适应严酷的工作环境；
- 采用德国品牌机柜和新一代智能功率模块，高可靠、长寿命，尺寸兼容性好。

阳光电源股份有限公司
SUNGROW POWER SUPPLY CO., LTD.
地址：安徽省合肥市高新区习友路 1699 号(230088)　电话: 0551 6532 7801/6532 7876 传真 0551 6532 7873
E-mail windysale@sungrowpower.com　网址 www.sungrowpower.com

SUNGROW
阳光电源

ISO9001 ISO14001 OHSAS18001 QC080000

致力于清洁高效

大型风电机组仿真实验台研究*

王宁[1]，段振云[1]，赵文辉[1]，邢作霞[2]

（1. 沈阳工业大学 机械工程学院，沈阳 110870；2. 沈阳工业大学 新能源工程学院，沈阳 110023）

摘　要：大型风电机组的运行与维护是风能与动力工程及相关专业学生必须进行的实践环节。针对风电场环境恶劣，且风险性大的问题，在实验室构建大型风电机组仿真实验台就变得很有必要。论文以兆瓦级双馈式风电机组为仿真对象，缩比设计大型风电机组仿真实验台，使其满足启停、偏航、变桨、并网、安全链等仿真功能。通过机械装配过程仿真、运动仿真及电气仿真，使学生熟悉风电机组的机械结构和电气结构，并且更加深刻地理解风电机组的工作过程，解决了以往实习和实验不方便的问题。

关键词：大型风电机组；仿真实验台；运动仿真；电气仿真

中图分类号：TM614　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-9219(2013)09-0080-03

Study on Simulation Experimental Platform of Large-scale Wind Turbine

Wang Ning[1], Duan Zhenyun[1], Zhao Wenhui[1], Xing Zuoxia[2]

(1. School of Mechanical Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China;
2. School of New Energy Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110023, China)

Abstract: The students major in wind energy and power engineering and related majors must make practice on operation and maintenance of the large-scale wind turbine. For the harsh conditions and high risk of wind, building simulation experimental platform of large-scale wind turbine in the lab becomes necessary. This paper made megawatt doubly-fed wind turbine as simulation object, design a simulation experimental platform of large-scale wind turbine, which satisfying the simulation functions as start-stop, yawing, variable pitch，grid-connected，safety chain and so on. Through the simulation of mechanical assembly, motion simulation and electrical simulation, making the students be familiar with mechanical structure and electrical structure of wind turbine, and profoundly understand of working process of the wind turbine, it has solved the problem of practice and experiment inconvenient previously.

Keywords: large-scale wind turbine; simulation experimental platform; motion simulation; electrical simulation

0 引言

在化石能源日益枯竭并造成环境严重恶化的今天，风能作为一种可再生能源备受关注，风电成为世界研究的热点，风能与动力工程专业的学生也成为紧缺人才[1-2]。风电场是培养学生进行风电机组的运营与维护的重要实习场所，但由于其多位于沙漠、草原、海边等边远地区，自然条件恶劣，交通、食宿条件差，且学生登塔需要登高证，危险性大，这些因素都给现场实习与实验带来许多困难。因此，在实验室构建大型风电机组的仿真平台就变得很有必要。在仿真平台上开设相关实验，对于学生掌握大型风电机组的结构组成、工作特性等具有重要意义。

以往的实验台只能完成一种发电系统的相关实验，并未对风电机组的整体模型进行模拟实验，没有全面的实验

* 基金项目：辽宁省高等教育本科教改研究项目。

仿真模拟系统用于实验教学。由于双馈式风电机组是目前大型风电机组的主流机型[3]，本文将沈阳工业大学设计的某型号双馈式大型风电机组作为仿真对象设计大型风电机组仿真实验台。

1 大型风电机组仿真实验台概述

大型风电机组仿真实验台是根据风力发电的原理[4-6]，结合教学需要而研发的风电教学设备，目的是使学生深刻理解风电原理。它用于仿真 MW 级风电机组的结构和工作过程，使学生对风电机组的整体结构和工作原理有一定的认识。模拟变速恒频风电机组的运行模式，包括变桨距系统、传动系统、液压系统、制动系统及偏航系统等，具有以实验为目的的模拟机组待机、同步、并网、发电、脱网等分步运行控制的功能。

大型风电机组仿真实验台满足如下实验功能：

（1）进行机组启动、运行、正常停机、紧急停机时桨距角的变化状态实验；

（2）对机组的启动、空载运行、停机、超速、能量转换等过程进行形象演示；

（3）仿真发电机组偏航时的所有过程，包括机组自动偏航对风、手动偏航、自动解缆、手动解缆等；

（4）进行机组安全链保护实验。

仿真实验台是一套开放式的实验系统，具有演示要求的各项功能，内部有嵌入的功能模块，使用人员可以进行二次程序开发。

2 仿真实验台的装配及运动仿真

2.1 仿真实验台的三维建模

大型风电机组仿真实验台结构包括：轮毂、叶片、独立电动变桨系统、主轴及支撑、模拟增速齿轮箱、模拟风力原动机、高速轴联轴器、双馈异步发电机、主动偏航系统、液压站及刹车系统、机舱演示控制柜、塔筒、底座支撑结构、疏雷布线、传感器等。

与真实风电机组比较，大型风电机组仿真实验台主要有以下特点：

（1）仿真实验台的主传动链采用模拟增速齿轮箱，内含拖动电机，通过联轴器直接驱动发电机，同时通过减速机和齿轮减速，驱动风轮旋转，如图 1 所示；

（2）仿真实验台的变桨系统根据模拟风况，三个伺服电机分别通过减速器、减速齿轮驱动变桨轴承，改变桨距角；将风速风向仪作为执行元件，由步进电机驱动，模拟风速风向等风况；

（3）根据大型风电机组的结构组成，按照一定的缩比关系，采用 UG 软件完成仿真实验台各零件的三维实体模型，再根据装配关系组装成组件部件，最后装配成风电机组仿真实验台总成。

2.2 仿真实验台的装配

大型风电机组的装配过程是本专业学生实习的重要内容，而仿真实验台又不允许进行多次拆装。基于此，本仿真实验台设计了虚拟实验，依据真实风电机组各零部件的装配关系和装配顺序，进行了基于 UG 的装配过程仿真。运用模块化的思想，通过装配模块将零部件组装成产品，在装配中建立零部件之间的链接关系。通过约束条件在零部件之间建立约束关系来确定零部件在产品中的空间关系。零件的几何体被装配引用后，无论如何编辑零件，整个装配部件都保持着关联性，即当零件被修改后，引用它的装配部件会自动更新。在装配过程中，可以采用自底向上（Bottom-Up Assembly）、自顶向下（Top — Down Assembly）或者混合装配的装配法[7]。在装配体生成后，UG 还可以隐藏及显示任意结构，使学生更容易看到风电机组的内部结构。由于风电机组零部件很多，零件模型建好后要进行分类，然后进行部件装配，最后进行总装。大型风电机组仿真实验台三维实体模型如图 2 所示。

2.3 仿真实验台装配过程和运动仿真

通过动画演示，可以将大型风电机组的装配过程及运动情况生动地展现在学生面前，降低学生的学习困难，便于学生更好地理解风电机组的装配工艺及工作过程，激发了学生对专业知识的学习兴趣，提高教学效果。

在大型风电机组三维建模的基础上，根据其真实装配过程，实现基于 UG 的大型风电机组装配过程仿真。

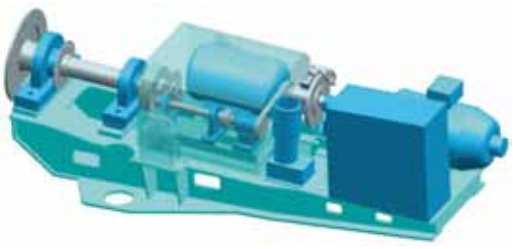


图1 仿真实验台主传动系统三维实体模型

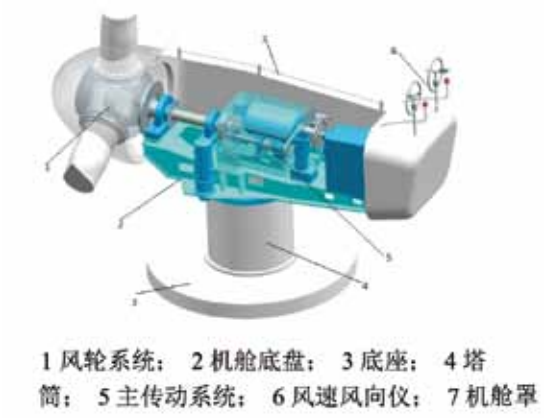


图2 仿真实验台三维实体模型

采用 UG 软件中的运动仿真模块，进行风电机组仿真实验台变桨、偏航、刹车等动作的仿真，生成动画，以模拟风电机组的工作过程。

3 仿真实验台电气仿真

主控系统主要体现在是对整个系统的逻辑性控制。其中，主控柜由拖动电机变频器、偏航电机驱动器、UPS 电源、230 供电、安全链、供电电源等，它是整个系统电源提供处。模拟风速时，由上位机发送适当的命令给变频器，驱动电动机带动发电机发电。整个系统的安全链控制要通过主控柜完成上电工作。当紧急停电时，主控柜的 UPS 能给提供暂时电源。

并网柜由背靠背变频器调制并网过程，通过电压测量板和电流计算板测量转子网侧、定子网侧和定子侧的能量提供给变频器，通过网侧变频器调制直流母线电压，符合并网条件时，发出并网命令，实时并网。模型电机上的双馈发电机处于亚同步状态时，定子输出能量送入电网，当双馈电机处于同步状态时定子和转子同时向电网供电。

操作台的主要功能是启动和实验模式的选择，手动演示风电机组发电的过程。其中，HMI 界面主要是显示 IPC 的内部运行逻辑，各实验项目的人机交互界面；安全链状态显示区显示安全链各环节动作情况；各参数数码仪表显示功能，包括机组运行流程显示区。

为了让学生对风电机组仿真实验台的电气结构有一定的认知，制作电气部件拆装演示动画，便于学生理解风电机组仿真实验台的电气结构。大型风电机组仿真实验台电气演示界面如图 3 所示。

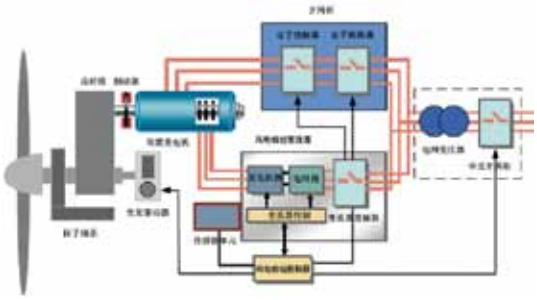


图3 仿真实验台电气演示界面

4 结论

大型风电机组仿真实验台可以对风电机组的结构、装配过程、各种运动以及故障进行模拟，同时通过拖动电机与偏航的控制完全模拟自然风，使仿真效果更加接近实际的风电机组[8]。通过动画演示，学生可以直观地了解风电机组的结构及装配过程，并且深刻地理解风电机组偏航、变桨、主传动和刹车的过程，解决了学生对风电机组工作原理理解困难的问题，激发了学生对专业知识的学习兴趣，可以用于风力发电相关专业的实验教学。

参考文献

[1] 关伟 . 国内外风力发电概况及发展方向 [J]. 吉林电力 , 2008, 36(1): 49—50.
[2] Janet L S.Rewewables 2012 Global Status Report[R].Paris:REN21Secretariat, 2012:6—13.
[3] 芮晓明 , 柳亦兵 , 马志明 . 风力发电机组设计 [M]. 北京 : 机械工业出版社 ,2010.
[4] Erich Hau. Wind Turbines[M]. Berlin: Springer–Verlag, 2006.
[5] Peter Jamieson. Innovation in Wind Turbine Design[M]. New York: John Wiley & Sons, Ltd, 2011.
[6] 姚兴佳 , 宋俊 . 风电发电机组原理与应用 [M]. 北京 : 机械工业出版社 , 2011.
[7] 张幼军 , 王世杰 . NX CAD/CAM 基础教程 [M]. 北京 : 清华大学出版社 , 2011.
[8] 俞黎萍 . 风电机组动态仿真平台设计方法研究 [J]. 风能 ,2013(5):92–98.

收稿日期：2013–06–05。

作者简介：

王宁（1991 —），女，本科，主要研究方向为机械设计与制造。

段振云（1971 —），男，教授，博士生导师，主要研究方向为机械设计与制造，风电机组设计。

无惧风浪，为您领航

赢创的异佛尔酮和异佛尔酮二胺即将在上海本地化生产

vestasol
vestamin
vestanat
vestagon

作为异佛尔酮化学品的发明者与领先者，
赢创致力于通过完美的服务和专业的技术，
以优质的产品为您提供全方位的支持。
作为您的理想伙伴，赢创将与您一路携手同行。

赢创服务全球市场——其位于上海的VESTASOL® IP（异佛尔酮）和VESTAMIN® IPD（异佛尔酮二胺）工厂将于2014年初正式投产。

VESTA - 优势尽在掌控

欲了解更多详情，请联系
赢创特种化学（上海）有限公司
上海市莘庄工业区春东路55号，201108

交联剂业务线
马睿 小姐
电话 +86 21 6119-1853
merry.ma@evonik.com
www.evonik.cn/crosslinkers

赢创，创新原动力。

EVONIK INDUSTRIES

针对微风发电的城市风场特性初步研究*

李登君，韦雅文，季丰

（三江学院机械工程学院，南京 210012）

摘　要：近年来，风电行业在全球都获得了快速发展。但传统风电机组在城市环境中却难以正常工作。为了实现在城市中进行微风发电，就需要探究其原因，对城市风场特性进行分析和研究。本研究以南京作为代表城市，使用便携式风速仪和固定式气象站对城市环境中的风场特性进行了观测和分析。根据结果，总结出影响风力发电效果的城市风场特性主要有三大方面：低风速、频变风向和湍流。最后对照传统风力发电选址的技术标准提出城市风力发电的发展方向。

关键词：城市风场特性；风力数据采集；低风速；频变风向；湍流

中图分类号：TK81　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-9219(2013)09-0084-06

A Preliminary Research of Urban Wind Farm Characteristics for the Breeze Power Generation

Li Dengjun, WeiYawen, Ji Feng

(Department of Mechanical Engineering, Sanjiang University, Nanjing 210012, China)

Abstract: In recent years, the wind power industry in the world has achieved rapid growth. But traditional wind turbine is difficult to work properly in an urban environment. A preliminary study of urban wind farm characteristics was made in order to find out the reason and make the generation breeze in urban area to become reality. In this study, portable anemometer and fixed weather station were used to observe and analysis for the characteristics of urban wind farm in Nanjing city, which was made as representative. According to the measurement results, the three mainly influencing factors of urban wind farm characteristics that impact the effect of wind power generation are: low wind velocity, frequent changing wind direction and turbulence. At last, the direction of development for urban wind power generation was put forward according to the technical standards of address selection for traditional wind power generation.

Keywords: characteristics of urban wind farm; collection data for wind; low wind velocity; frequent changing wind direction; turbulence

0 引 言

当今世界环境污染问题日益严重，使得人们越来越重视清洁能源的应用。风能作为可再生能源，获得了人类的广泛利用。现在，全球风力发电容量每年都在快速增长，风电所占电网容量的比例也在逐年提高[1]。但是，获得成功应用的风电场几乎都在偏远地区，在能量消耗非常集中的城市地区，却极少见到风电机组的身影。目前风电需要从偏远的风电场远距离传输至城市地区，会导致大量电能损失，并消耗大量的人力和物力资源。事实上，目前风电

* 基金项目：国家级大学生创新创业训练计划（201211122009）。

的成本超过了传统的火力发电和水力发电[2-3]。高成本意味着有高的间接能源消耗，因此风电并不“清洁”。虽然在城市中进行风力发电可有效提高“清洁度”，但是传统风电机组直接安装在城市环境中却很少能够正常运转工作。

许多机构和个人都曾致力于微风发电机的研究工作，期望在城市中能够直接获取清洁的风能进行发电，并产生了很多专利和发明。然而，我们并未在城市中见到大量使用风电机组的场景。阻碍风力发电技术在城市中推广应用的原因是什么？仅仅是众所周知的低风速吗？是否还有其他重要的因素？为了让后续的微风发电技术研究能够顺利进行并获得成功，本文对微风发电的主要应用环境——城市风场进行了观测、分析和初步研究，总结出城市风场的特性，以及发展城市微风发电所必须解决的问题。

1 城市风场研究方法

目前，对于城市风场特性的研究大多针对城市建筑，很少有资料涉及针对风力发电的城市风场研究。为了有针对性地进行微风发电系统的开发，本文提出了针对微风发电的城市风场研究方法。

1.1传统风力发电选址要求

通常风力发电选址有以下几点技术标准[4]：

（1）风能资源丰富区，指年平均风速 6m/s 以上，年平均有效风功率密度大于 300W/m^2，风速为 3 — 25m/s 的小时数在 5000 小时以上；

（2）容量系数较大地区；

（3）风向稳定地区；

（4）风速年变化较小地区；

（5）气象灾害较少地区；

（6）湍流强度小的地区。

1.2 城市风场研究方法

从以上标准来看，城市风场条件除了可能满足第 5 项以外，其他项都难以满足。但这个技术标准可作为确定城市风场研究方法的参考依据。城市风场的基础数据可通过以下两个方法来获取：

一是天气预报，可长期收集国家气象局发布的各大城市的风力数据。此方式最方便的方法是查阅专业气象网站。本文主要参考 www.weather.com.cn 网站发布的天气数据。

二是在城市各个区域进行长期观测。可通过便携式风速仪或固定式风速仪进行数据采集。

第一种方法得到的信息实际是每个城市范围内若干个固定气象观测点的加权平均数据，可显示整个城市的总体风力状态，但不能代表城市内部具体地点的实际风力。方法二可以观测到具体地点的风力状态，通常和第一种方法得到的数据不尽相同，但二者的相关性很强。这两个方法得到的数据互为补充，可共同作为分析城市风场特性的重要基础数据。数据采集的具体实施方案如下：

方法一：定期登录 www.weather.com.cn 中国天气网站查询记录即可；

方法二：要根据城市地形地貌和建筑物特点从多角度进行观测。

（1）根据地形，对山丘、河流、湖泊和平地等地形分别观测；

（2）根据建筑物，对楼群、商务区、居民区、道路、桥梁、广场、天桥、高架桥、地铁沿线等分别观测；

（3）根据日出日落时间，分早、中、晚三个甚至更多时间段进行观测；

（4）根据不同季节分别进行观测；

（5）对于具体建筑物，要根据高低位置和东南西北多个方位进行观测，并注意观测附近树木和建筑物的影响。

本次研究以南京作为代表城市进行风力数据采集。数据收集到一定程度后进行汇总整理，参照传统风力发电选址的六条标准进行总结分析，得出城市风场的共性特点及其数据，作为研发微风发电设备的基础数据。

为收集城市风场的实际数据，使用便携风轮式风速仪和便携风杯式风速仪进行移动测量，并在居民楼上安装了小型气象站进行定点数据的收集。

2 城市风场特性分析

2.1 天气预报数据分析

天气预报中的风力和风向通常是根据离地面 10m 高度的很多个观测点的多个时间段的测量数据进行统计和平均得出的。无论是广播电视中的天气预报，还是网络发布的天气预报，每个城市的风力等级和风向在每一天中几乎都是预报一个固定的值。这个值代表了该地区的平均风力等级，但不代表城市中所有地区和所有时段都是这样一个风力等级。因此，该观测值有一定的参考价值，但不能作为微风发电研究的基础数据。

经过较长时间的跟踪查阅后发现，南京地区的常见风力等级为 3 — 4 级。根据蒲福风力等级表，风速范围 3.4m/s — 7.9m/s。图 1 为风力范围变化较大的中国天气网发布

图1 中国天气网发布的7天天气预报示例

的 7 天天气预报，其中多数风力等级为 3 — 4 级。在实际查阅中，多数预报几乎都是 3 — 4 级。低于 3 级和高于 4 级的风力出现概率都比较低。由此看来，南京地区是适合进行微风发电的。

2.2 城市中移动观测数据分析

城市中地貌和建筑外形复杂，导致风场的差异性很大，因而数据采集需要广泛布点。但这样工作量将非常巨大，难以完成。实际观测时先根据研究方法二的要求针对各种各样的地形特点进行初步测量，然后根据测量结果筛选出适合进行微风发电的地点进一步测量分析。由于手工测量能够获取的数据量非常少，在测量过程中还需要观察这些采集点的风力特点，并进行对比分析，为微风发电选址提供更多的参考依据。

图 2 是经过筛选后的部分采集点的最大风速图。其中有 5 个地面采集点，2 个楼顶采集点。楼顶采集点都是附近范围内的最高点。从图中可以看出，各个采集点在相同的时间段内测量到的风速差异性很大。实际采集过程中同一地点在不同时间段的风速差异性也很大。在这样的情况下，零散的数据很难全面反映每个采集点的具体风力状况。这些数据只能用来粗略判断采集点的风力等级高低。另外，从图 2 中可以看出，所有采集点中最大风力能达到 3 级（3.4m/s）以上的情况并不多，说明城市内部的实际风速是明显低于天气预报等级的。天气预报的风力等级不能作为城市微风发电研究的依据。但在测量过程中发现，实测风速的大小是随着天气预报等级同步变化的。

根据图 2，地面采集点 1 的风速值最大。在有风的时间段，其风速和楼顶采集点相当。在无风的时间段，包括楼顶在内的采集点都很难采集到风速，而采集点 1 依然可以采集到较大的风速。可以看出，采集点 1 是一个非常适于进行风力发电的地点。图 3 是采集点 1 的环境照片。采集位置位于照片中的道路交叉口。参考文献 [5] 的论述，经过观察分析，该地点具有两个提高风速的地形特点：一是位于大面积坡道的下方，冷空气会沿着坡道下流而产生局部循环风；二是路口西侧有一个空旷的广场，该路口就成为了广场的一个出入口，在建筑物的遮挡下形成狭管效应而提高风速。经过对比，采集点 1 不仅风速不低于空旷的楼顶采集点，而且持续有风的时间段要多于楼顶点。采集点 1 的地形特征可以作为城市微风发电中和楼顶同等重要的研究方向。

在采集点 1 周围观测时还发现一个现象：楼顶旗帜飘

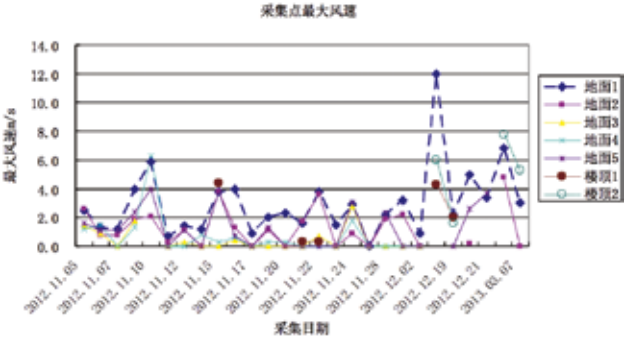


图2 部分采集点的人工测量最大风速图

图3 采集点1的照片

扬的方向和地面观测到的风向会出现相反的情况，在风力比较大的天气中也会出现这样的现象。这说明存在局部循环风。在很多地点也经常可以观测到旋风。因此，可以判断城市风场的方向性是比较紊乱的。对于风电机组而言，在同一个迎风面出现多个风向将无法形成方向一致的驱动力，从而不能旋转工作。相比低风速，紊乱的风向可能是导致风电机组在城市中难以正常工作的更重要的因素。对于传统风电机组而言，迎风面尺寸越大，遇到紊乱风向的可能性也越大。因此,在城市中不宜使用大尺寸的风电机组。

通过一段时间的观测和数据分析，初步总结出明显影响城市微风发电的地形特点。

以下为城市中风速相对较高的场所：

（1）高楼的顶部和外墙面。此部位接近城市冠层的顶部，空气流动相对顺畅；

（2）宽敞道路的两侧及道路交叉口。空气容易沿道路方向流动，在交叉口更可以多向流动；

（3）宽阔的广场或湖面周围，因障碍物较少有利于风的运动。在这些空旷地带周边的进出口，会产生相对较高的风速；

（4）建筑物之间狭缝的两端。狭缝中会有狭管效应，产生定向风。狭缝两端可利用风向会更多一些；

（5）特定的地形会产生沿地势上下流动的坡道风；

（6）高架桥、地铁站台。高架桥和地铁的地面站台通常和周围建筑物间距较大，有便于风运动的空间。对于地铁的地下站台，会因为地铁的运行而产生较大的空气流动，可以适当回收利用这些能量。

以下是一些不宜使用风力发电的场所：

（1）周围有高大树木遮挡的房屋；

（2）建筑群中低矮的房屋；

（3）地势明显低于周边的区域。

2.3 居民楼定点采集数据分析

风电机组在实际应用中总是固定在一个地点工作的，而每个具体地点的风力数据往往和天气预报是不一致的。为了了解城市中固定地点的空气流场特性，获得比较接近

实际工作状态时的风力数据，在南京市区选择密集建筑群中某七层居民楼顶层阳台处安装气象设备连续采集风力数据。气象设备选用美国 Ambient 公司的 WS-1090 小型无线气象站（以下简称 WS — 1090）。该气象站采用三杯式风速计测量风速，采用尾翼式风向标测量风向。其中风力测量的相关参数如下：

（1）风速测量范围 0 — 112mph（0—50m/s），测量误差 ±10%；

（2）风向测量范围 0 — 360°，共 16 个位置点，测量精度 22.5°；

（3）测量周期为 48s，记录周期平均风速、周期最大阵风风速和风速等级；

（4）主机采用无线方式接收数据，最远距离 100m。连续工作时间取决于电池，通常超过半年时间；

（5）可连续记录 4080 组数据，每组数据最短间隔时间为 min。数据可导入计算机中分析；

（6）另可测量并记录温度、湿度、雨量和大气压等。

WS — 1090 采集的风力数据包括平均风速（Wind Velocity）、阵风风速（Gust Velocity）、平均风级（Wind Level）、阵风风级（Gust Level）和风向。其中，风速的采集精度高于风级。因此，分析数据时统计风速即可。风向数据可用于分析风频。采集的数据可输入计算机并导出为文本格式，便于后期分析处理。

传统风电技术规定风速低于 3m/s 时为不可利用风能。本研究的目的是开发低速微风发电系统，根据前期对微风发电技术的研究和试验，可将风能利用极限下延至 2m/s。在对 WS-1090 采集的数据进行分析时，低于 2m/s 的风速定义为不可利用风能，只统计分析 2m/s 以上的风力数据。在实际采集过程中发生信号故障时会产生空白记录。因此，在数据分析前需要先去除无效数据记录，避免影响统计结果。

图 4 为 WS — 1090 采集的某一天风速折线图。可以看出，风速范围 0 — 10m/s，变化很大，很频繁，且阵风风速明显大于平均风速。这说明了城市风场中的风速是不连续不稳定的。

经过一段时间采集数据分析后发现，在居民楼采集点周围的风力状况和天气预报有很大的差异。以图 5 所示一组连续 30 天采集的数据为例：每天最多采集 289 条数据，以最低可利用风速 2m/s 为统计界限，统计风电机组可能的工作时间。经统计，其中最大日平均风速 1.83m/s，30 天平均风速 0.47m/s，30 天平均阵风风速 1.25m/s。这个结果明显低于天气预报的风力等级，也证实了一个现象：传统风电机组安装在城市中很少能够启动工作。经统计，该 30 天内风力持续达到 2m/s 以上的时间占总时间的 5.27%，而阵风可以达到 2m/s 以上占总时间的 21.83%。据此可以推算出全年约有 460 小时具有可连续利用的风能，约 2000 小时内具有可利用的风能。其余时间段内最大风速都低于 2m/s，能量难以采集利用。由此可见，城市中风能的容量系数是很低的。因此，城市型微风发电机必须具有良好的低速工作特性，并且能适应更大的工作风速范围，以尽量多地利用有限的城市风能。

在对风向数据采集和分析过程中发现，风向变化非常频繁，几乎每秒钟风向都会发生变化。而 WS — 1090 最快 5min 才记录一次数据，采集精度达不到实际使用需求。通过肉眼直接观察后发现，无论风速大小，风向都会频繁变化，最快 2s 内变化幅度超过 360° 。这个现象给需要对风后才能工作的水平轴式风电机组带来极大的困难。即使在风速较高的条件下，如此快速变化的风向也会造成风电机组无法正常对风工作。

另外，观测中发现三杯式风速计在高速转动时会发生

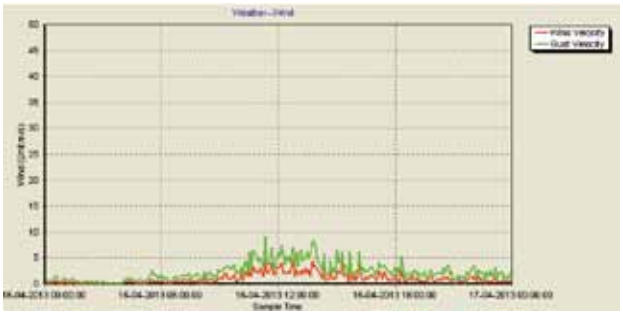


图4 WS-1090型气象站软件的24小时风速折线图

图5 连续30天的日平均风速

突然趋于停止的现象，这说明风向在快速向风速计旋转的反方向变化。虽然多数垂直轴式风电机组是万向受风型，无需对风装置，但是其工作原理和三杯式风速计是相似的，在这种状态下工作能力也会受到影响。

风速和风向的频繁变化都表明城市风场中充斥着大量的湍流。传统风电机组在大量的湍流中是难以正常工作的。因此，要在城市中利用微风进行发电就必须实现风电机组在湍流状态下能够正常工作。

3 城市风场特性总结

在城市中利用高空风能是很危险且受到限制的，大量开发利用城市风能应针对近地面风场。经过较长时间的观察和大量数据的分析后，总结出直接影响风电机组工作能力的城市风场特性：

（1）城市边界层内部风速明显低于外部风速，尤其是在大量建筑群中间，绝大多数地点的风速要比天气预报的风速低很多；

（2）城市内部风场风速主要受外部风场影响，虽风速偏低，但大小变化基本与外部风场同步。近地风场受地形和建筑物的影响很大。多数情况下是降低风速，但局部地区反而会增加风速；

（3）城市风场既不稳定也不连续，风向变化非常频繁，经常会出现旋转风；

（4）受大量建筑群的影响，城市中近地风充斥着大量湍流，属于紊流流场；

（5）城市中不同地点风力差异性很大。即便是很近的距离，比如同一个楼顶平台，东西南北位置测量出来的数据差别也可能会很大。

4 结 论

根据观测与分析的结果，对城市风力发电影响程度最大的因素有：低风速、频变风向和湍流。城市风场特性与野外自然风场有很大的不同[9]。对照传统风力发电选址的技术标准，得出以下结论：

（1）城市属于风能资源贫乏区，城市风力发电应针对低速微风发电；

（2）城市风能的容量系数很低，应尽量扩大风电机组的工作风速范围，可增加容量系数；

（3）城市风方向性变化很快很频繁，非常不利于需要对风工作的水平轴风电机组。城市型风电机组宜采用万向受风的类型；

（4）受建筑物影响，城市风速变化范围很大，也很频繁。城市型风电机组应设计为在大范围风速内都具有较高的效率；

（5）总体上来说，大量建筑物的存在降低了城市风速，减少了风灾害可能性，但局部地区可能会出现更强的极端阵风。所以，城市型风电机组应具有更高的安全系数。

（6）城市风场中充斥着大量湍流，严重影响传统风电机组的工作性能。城市型风电机组应开发出新的结构来适应湍流流场特性。风电机组尺寸应考虑常见的城市湍流尺度，不宜过大。

以上结论主要基于在南京市观测到的数据和结果，对于大部分其他城市也可适用。

参考文献

[1]WWEA Head Office. World wind energy report 2010[R]. Germany: World Wind Energy Association WWEA 2011.

[2] 苏绍禹 . 风力发电机设计与运行维护 [M]. 北京 : 中国电力出版社 , 2003.

[3]Vaughn Nelson. Wind Energy: Renewable Energy and the Environment[M]. NewYork: CRC Press, 2009: 245–264.

[4] 张志英 , 赵萍 , 李银凤 , 刘万琨 . 风能与风力发电技术第二版 [M]. 北京 : 化学工业出版社 , 2010: 24–25.

[5] 陈飞 . 高层建筑风环境研究 [J]. 建筑学报 , 2008(2):72–77.

[6] 刘辉志 , 姜瑜君 , 梁彬 , 等 . 城市高大建筑群周围风环境研究 [J]. 中国科学 D 辑 (地球科学), 2005, 35 (增刊 Ⅰ): 84–96.

[7]Dan chiras, Mick Sagrillo, Ian Woofenden. Power from the Wind[M]. Canada: New Society Publishers, 2009.

[8] 徐刚 , 刘宏昭 , 穆安乐 , 等 . 基于实测风数据的风力机设计与改进研究 [J]. 太阳能学报 , 2012, 33(4): 564–570.

[9] 呼津华 . 低风速风电项目风资源分析的几点体会 [J]. 风能 ,2012(4):79–81.

收稿日期：2013–07–15。

作者简介：

李登君（1991–），男，本科在校生，学习材料成型与控制专业。

韦雅文（1992–），女，本科在校生，学习机械设计制造及其自动化专业。

季丰（1973–），男，本科，工程师，主要从事机械专业教学和微风发电方面的研究。

风电机组疲劳载荷影响因素分析（二）

许移庆

（上海电气风电设备有限公司，上海 200241）

摘　要：风电机组设计主要由疲劳载荷和极限载荷决定，而风电机组运行环境的不确定性和不稳定性使得疲劳载荷对一些部件的设计尤为重要。影响疲劳载荷的因素很多，本文主要从不同设计运行风速范围和不同设计湍流强度等级两个方面进行比较，分析了两者各自对疲劳载荷影响的程度。

关键词：风电机组；等效疲劳载荷；运行风速范围；湍流强度

中图分类号：TM614　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-9219(2013)09-0090-03

Analysis of Impact Factors on Wind Turbine Fatigue Loads (Ⅱ)

Xu Yiqing

(Shanghai Electric Windpower Equipment Co., Ltd., Shanghai 200241, China)

Abstract: Wind turbine design is mainly dominated by fatigue loads and extreme loads. Fatigue loads are especially important for some components design because of uncertainty and instability of wind turbine operation environment. There are many impact factors for wind turbine fatigue loads. This paper mostly compared two impact factors, namely different design operation wind speed range and different design turbulence intensity classes, and analyzed their effect extent for fatigue loads.

Keywords: wind turbine; equivalent fatigue load; operation wind speed range; turbulence intensity

0 引言

风电机组的载荷主要分疲劳载荷和极限载荷两种。风电机组的运行环境状况比较恶劣，要使其在恶劣的环境下运行 20 年，须对疲劳提出较高的要求。另外，风的不确定性也会影响疲劳载荷分析的精确性。各种因素对疲劳载荷的影响程度不尽相同，为了更好地了解这些因素对风电机组疲劳载荷设计的影响，本文通过大量的计算数据对这些可能的影响因素进行了比较分析。

1 等效疲劳载荷

风电机组疲劳载荷分析形式主要有三种：实时的时间序列、载荷持续分布（LDD）和等效疲劳载荷。不同的部件设计要求使用不同的疲劳载荷形式，其中等效疲劳载荷是最简单的一种，在初步设计时用此方法比较方便，可以比较快地知道疲劳载荷是否满足要求。

在风电机组中，等效疲劳载荷是根据实时的仿真时间序列（其中有几个是根据 GL（德国船级社）规范 [1] 或 IEC 标准 [2] 直接进行计算的），通过雨流计数法（RFC）和瑞利（Rayleigh）分布得到的，本文主要对比分析等效疲劳载荷。

2 不同设计运行风速范围对疲劳载荷的影响

目前，风电机组设计的正常运行风速范围一般在 3m/s — 25m/s 之间，对一些低风速区的风电机组，也有在 3m/s — 20m/s、3m/s — 22m/s 等范围内的。针对这种情况，本文主要对比了两台不同设计等级的多兆瓦级风电机组在 3m/s—25m/s 正常运行风速范围和 3m/s—20m/s 正常运行风速范围之间的等效疲劳载荷的差异，分析了不同正常运行风速范围对等效疲劳载荷的影响，如表 1、表 2 所示。

从两种不同机型的对比中可以看出，正常运行风速范围的变化对等效疲劳载荷影响不大，但不同的设计等级也有不同的变化。对低风速区的风电机组，如 IEC III 类及以下风区，当风速范围从 3m/s — 25m/s 改为 3m/s — 20m/s 时，等效疲劳载荷仅降低了 1%— 2%，几乎没有什么变化。对高风速区的风电机组，如 II 类及以上风区，当风速范围从 3m/s — 25m/s 改为 3m/s — 20m/s 时，等效疲劳载荷降低得多一些，但大部分也在 1%— 3%之间，变化也不是很大。其原因主要是根据瑞利分布，风速在 20m/s — 25m/s 之间所占的时间比较少，而风区越低，所占的时间会更少。

3 不同湍流强度对疲劳载荷的影响

根据 GL 规范 [1] 或 IEC 标准 [2]，风电机组的湍流强度等级一般有 A、B 两种，新的 IEC 版本中也有 C 等级的湍流强度等级。在风电机组设计中，起控制作用的载荷主要是疲劳载荷，而湍流强度等级对疲劳载荷的影响比较大，因此通过分析不同的湍流强度等级的疲劳载荷，对风电机组的优化设计帮助比较大。本文主要对比了两台不同设计等级的多兆级瓦风电机组在 A、B 不同湍流强度等级时的等效疲劳载荷，分析了不同湍流强度等级对等效疲劳的影响，如表 3、表 4 所示。

从两款不同标准 IEC 设计等级的风电机组 A、B 类湍流强度的对比可以发现，湍流强度降一个等级，等效疲劳载荷基本降低 10%左右。因此，湍流强度对等效疲劳载荷的影响非常大 [3]。另外，由于 IEC II 类风电机组的风轮比 IEC III 类风电机组的风轮要小，从对比的结果中还可以看

表1 标准IEC III类设计等级不同正常运行风速范围的比较

A2/A1之比值				
		m=4	m=7	m=10
叶根处的载荷	Fx	0.9993	0.9996	0.9999
	Fy	0.9994	0.9996	0.9997
	Fz	0.9908	0.9852	0.9786
	Mx	0.9985	0.9974	0.9919
	My	0.9898	0.9842	0.9783
	Mz	0.9992	0.9994	0.9992
轮毂与主轴连接处的载荷(旋转)	Fx	0.9994	0.9997	0.9998
	Fy	0.9994	0.9997	0.9998
	Fz	0.9924	0.9915	0.9935
	Mx	0.9954	0.9903	0.9805
	My	0.9954	0.9896	0.9763
	Mz	0.9958	0.9995	1.0000
轮毂与主轴连接处的载荷(不旋转)	Fx	0.9883	0.9638	0.9280
	Fy	0.9857	0.9606	0.9277
	Fz	0.9924	0.9915	0.9935
	Mx	0.9926	0.9858	0.9767
	My	0.9935	0.9895	0.9849
	Mz	0.9958	0.9995	1.0000
塔顶处的载荷	Fx	0.9874	0.9664	0.9426
	Fy	0.9665	0.9327	0.9111
	Fz	0.9826	0.9661	0.9489
	Mx	0.9925	0.9850	0.9738
	My	0.9929	0.9879	0.9823
	Mz	0.9935	0.9972	0.9994

表2 标准IEC II类设计等级不同正常运行风速范围的比较

B2/B1之比值				
		m=4	m=7	m=10
叶根处的载荷	Fx	0.9975	0.9986	0.9995
	Fy	0.9980	0.9989	0.9992
	Fz	0.9776	0.9702	0.9645
	Mx	0.9989	0.9996	0.9997
	My	0.9761	0.9673	0.9595
	Mz	0.9978	0.9986	0.9988
轮毂与主轴连接处的载荷(旋转)	Fx	0.9979	0.9989	0.9993
	Fy	0.9980	0.9990	0.9993
	Fz	0.9862	0.9916	0.9987
	Mx	0.9866	0.9758	0.9581
	My	0.9868	0.9765	0.9589
	Mz	0.9778	0.9904	0.9995
轮毂与主轴连接处的载荷(不旋转)	Fx	0.9946	0.9940	0.9910
	Fy	0.9860	0.9679	0.9492
	Fz	0.9862	0.9916	0.9987
	Mx	0.9832	0.9767	0.9708
	My	0.9835	0.9721	0.9596
	Mz	0.9778	0.9904	0.9995
塔顶处的载荷	Fx	0.9941	0.9926	0.9883
	Fy	0.9372	0.9477	0.9771
	Fz	0.9804	0.9806	0.9927
	Mx	0.9827	0.9748	0.9673
	My	0.9835	0.9717	0.9569
	Mz	0.9759	0.9773	0.9936

注：A1代表IEC III类设计等级，正常运行风速范围为3m/s—25m/s；
A2代表IEC III类设计等级，正常运行风速范围为3m/s—20m/s；
B1代表IEC II 类设计等级，正常运行风速范围为3m/—25m/s；
B2代表IEC II 类设计等级，正常运行风速范围3m/s—20m/s。

表3 标准IEC II类设计等级不同湍流等级的比较

C2/C1之比值				
		m=4	m=7	m=10
叶根处的载荷	Fx	1.0338	1.0428	1.0818
	Fy	1.0333	1.0351	1.0355
	Fz	0.8946	0.9071	0.9362
	Mx	0.8688	0.8458	0.8918
	My	0.8924	0.9029	0.9214
	Mz	1.0299	1.0307	1.0299
轮毂与主轴连接处的载荷(旋转)	Fx	1.0348	1.0373	1.0383
	Fy	1.0348	1.0373	1.0383
	Fz	0.9029	0.9349	0.9815
	Mx	0.9492	0.9315	0.9202
	My	0.9535	0.9409	0.9372
	Mz	1.0049	1.0774	1.0777
轮毂与主轴连接处的载荷(不旋转)	Fx	0.9604	0.8775	0.7750
	Fy	0.9304	0.8144	0.7368
	Fz	0.9029	0.9349	0.9815
	Mx	0.9075	0.9072	0.9150
	My	0.9078	0.9052	0.9093
	Mz	1.0049	1.0774	1.0777
塔顶处的载荷	Fx	0.9500	0.8677	0.7737
	Fy	0.8361	0.7295	0.7093
	Fz	0.9011	0.9293	0.9664
	Mx	0.9117	0.9093	0.9149
	My	0.9080	0.9064	0.9120
	Mz	0.9691	1.0545	1.0885

表4 标准IEC III类设计等级不同湍流等级的比较

D2/D1之比值				
		m=4	m=7	m=10
叶根处的载荷	Fx	0.9917	0.9789	0.9602
	Fy	0.9902	0.9895	0.9883
	Fz	0.9005	0.9171	0.9281
	Mx	0.9645	0.9615	0.9571
	My	0.9056	0.9211	0.9329
	Mz	0.9797	0.9768	0.9729
轮毂与主轴连接处的载荷(旋转)	Fx	0.9963	0.9966	0.9966
	Fy	0.9962	0.9965	0.9964
	Fz	0.8988	0.9044	0.8772
	Mx	0.9099	0.9116	0.9209
	My	0.9117	0.9142	0.9288
	Mz	0.8869	0.7911	0.6643
轮毂与主轴连接处的载荷(不旋转)	Fx	0.8821	0.8846	0.8875
	Fy	0.8857	0.9004	0.9322
	Fz	0.8988	0.9044	0.8772
	Mx	0.9000	0.9132	0.9206
	My	0.8928	0.8968	0.8998
	Mz	0.8869	0.7911	0.6643
塔顶处的载荷	Fx	0.8823	0.8868	0.8939
	Fy	0.9138	0.9517	0.9778
	Fz	0.8988	0.9141	0.9151
	Mx	0.8999	0.9129	0.9199
	My	0.8936	0.8969	0.8971
	Mz	0.8920	0.8509	0.7192

注：C1代表标准IEC II类设计等级 A类湍流等级，湍流强度为18％；
C2代表标准IEC II类设计等级 B类湍流等级，湍流强度为16％；
D1代表标准IEC III类设计等级 A类湍流等级，湍流强度为18％；
D2代表标准IEC III类设计等级 B类湍流等级，湍流强度为16％。

出同样是降低一个湍流强度等级，但风轮直径小的相比风轮直径大的等效疲劳载荷降低要小一些。因此，风轮直径越大，同样前提条件下，等效疲劳载荷降低要多一些。

4 结论

本文主要从不同设计正常运行风速范围和不同设计湍流强度等级两个方面对等效疲劳载荷的影响进行了分析比较。不同设计的正常运行风速范围对等效疲劳载荷的影响相对来说比较小，基本在 3%以内，大部分在 1%左右。不同设计湍流强度等级对等效疲劳载荷的影响相对来说要大很多，基本上降一个湍流强度等级，等效疲劳载荷就会相应的降低 10%。另外，风轮直径越大，降低湍流强度等级对降低等效疲劳载荷的作用越明显。

参考文献

[1] Germanischer Lloyd WindEnergic GmbH. Guideline for the Certification of Wind Turbines Edition 2003 with Suppl 2004[M].Heydorn Druckerei und Vetersen/Germany,2003.

[2] IEC -61400-1: Wind turbine generator systems-Part 1: Safety requirements[S].1998.

[3] 高学海，王华．风电机组转盘轴承的加速疲劳寿命试验 [J]. 风能，2012(11):76-80.

收稿日期：2012-12-27。

作者简介：

许移庆（1978-），男，硕士，工程师，长期从事风力发电方面的工作。

安捷伦—世界领先的测试测量公司

Agilent U1273AX OLED手持式数字万用表

无惧严寒和恶劣天气的挑战

当您在冬季外出执行维护或故障诊断任务时，您的测量工具应当准备就绪，能够随时与您一起出发。U1273AX是一款能够在极低-40° C 的温度下工作的OLED手持式数字万用表(DMM)。即便是在寒冷的温度下，U1273AX手持式数字万用表也无需进行预热，能够立即提供精确的测量结果。

当在昏暗的环境中执行测量任务时，高达160度显示视角让您可以清晰地看到内置OLED显示屏上的读数。凭借所有这些增强特性，无论您何时需要在极限条件下执行测量，U1273AX都能立即投入使用。

特性（新产品）

- OLED显示屏具有2000:1 的对比度和160°视角
- 30, 000计数分辨率(位)及模拟条形显示
- 0.05%DCV基准精度
- 可测量高达1000V交流和直流电压
- 可测量高达10A电流（电流高达20A时，测量时间为30秒）
- 电阻 、二极管测试 、温度 、电容和导通
- 内置低通滤波器和低阻抗电压测量
- 极低达到-40° C的工作温度（同步实时温度显示）
- 高达3000米的工作海拔高度
- 防水防尘(符合IP54等级)
- CATIII1000V/CAT IV 600V
- 蓝牙连通性（需要使用选件U1177A蓝牙适配器）
- 随机提供低温下测试校准报告

能够在-40°C的低温下进行工作 无需预热便可立即提供精确的测量结果。

可用PC、PDA、手机通过蓝牙技术进行远程测量和记录（可同时连接三台同步显示，显示提供算术计算功能）

确保基站即便是在寒冷的冬天也不会出现停机时间。

Agilent Technologies 北京千聚科技发展有限公司
安捷伦电力及公共事业合作伙伴 Authorized distributor
客服电话：4000 139 055
TEL(FAX)：+86(10)82482978

珠海桂山200MW海上示范风场风电机组导管架基础方案设计

朱荣华，李少清，张美阳

（广东明阳风电产业集团，中山 528437）

摘　要：本文针对广东省第一个海上示范风场，也是中国目前最大的海上示范风场——珠海桂山200MW海上风场的海况和地质条件，并充分考虑了在中国制造的可行性和经济性以及海上安装施工和后续运营维护的便捷性，在中国首次提出了一种海上风电机组导管架基础方案。经过专家多次评审，该方案被确认为适合该项目的最优方案。

关键词：海上风场；基础；导管架

中图分类号：TM614　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-9219(2013)09-0094-05

Jacket Foundation Design for 200MW offshore Demonstration Wind Farm Project of Zhuhai Guishan

Zhu Ronghua, Li Shaoqing, Zhang Meiyang

(Guangdong Ming Yang Wind Power Industry Group Co., Ltd., Zhongshan 528437, China)

Abstract: This paper has designed an offshore wind turbine jacket foundation, which has been confirmed to apply to Zhuhai Guishan demonstration project (200 MW). The application of this type of foundation has been studied comprehensively and systematically. Local sea bed conditions, feasibility of installation, convenience of operation and maintenance and reasonable price of manufacturing in China have been carefully considered and analyzed. This design has been assessed and approved by expert committee as the best option.

Keywords: offshore wind farm; foundation; jacket

0 引言

在目前气候变化压力不断加大，陆上风资源利用饱和的情况下，发展以海上风电为代表的清洁能源，已成为各国应对未来能源和气候变化的长期策略。中国大陆海岸线长，沿海风能资源优秀。目前国内海上风电发展处于起步阶段，我国近海风电场可开发风能资源储量是陆上实际可开发风能资源储量的3倍，其风能储量远高于陆上，未来发展空间巨大。海上风力资源远远优于陆地风力资源。随着大型兆瓦级风电机组研制成功，风能的开发逐渐由陆地转向海上。

目前限制海上风场大规模发展的瓶颈除了海上风电机组本身外，海上风电工程装备价格高昂以及现有安装技术不够成熟亦对其造成影响。由于海上风电机组安装设备和安装方法以及海上风电机组支撑结构在全世界范围内刚刚起步，具有很大的技术提升空间和成本降价空间。因此，进行新型、可靠、低成本海上风电机组基础的研究与开发意义深远。

1 国内外发展现状

海上风电发展最早始于欧洲。欧洲海上风电场项目始

于 20 世纪 90 年代初。1991 年，世界上第一个海上风电场建于丹麦波罗的海 Vindeby 附近 [1]。海上风电机组基础形式主要取决于水深和海底地质条件，同时与风电机组的安装方式有关。可选择的基础种类较多，目前世界上使用的海上风电机组基础主要为重力式基础 [2]、单桩基础 [3]、水下三桩基础 [4]、水上三桩基础 [5]、四桩导管架基础 [6] 几种，其中单桩基础和四桩导管架基础应用较广。重力式基础适用于浅水海域，造价低不受海床影响。单桩式基础自重轻、构造简单但是不适合海床有岩层的海域。水上三桩基础结构调平困难，不适合海床有岩层的海域。水下三桩基础、导管架基础可借鉴以往石油平台施工经验，但设计方面与石油平台不同。海上风电机组结构水平荷载和倾覆力矩远远大于海洋石油平台结构，而竖向荷载较之要小。因此，海上风电机组基础结构承载形式和特点不同于传统海洋石油平台设计 [7]，要考虑侧向荷载的影响。

2 珠海桂山200MW海上示范风场地质和海况介绍

珠海桂山 200MW 海上风电场属于近海风电场，位于珠江河口的伶仃洋水域，风电场区内分布有 6 个岛屿，以低丘为主。场区内地形地貌形态简单，水下地形较平坦，海底泥面标高为－ 6m—— 12m。风场区域软土分布范围广、厚度大，其稳定性极差，在Ⅶ度地震作用下海床浅部分布的淤泥存在震陷的可能；场区基岩风化差异显著，风化层厚度大，但厚薄不均，地基均匀性总体较差，场地属于抗震不利地段。场区 20m 深度范围内存在饱和、松散的砾沙层，存在轻微中等液化的可能。风场区上覆淤泥、淤泥质土、粉质粘土、粉细沙等土层地基承载力均较低，压缩性较高，不适宜作为风电机组基础持力层。

风电场所在的珠海市位于广东省南部，属于亚热带海洋性季风气候。冬季盛行东北季风，夏季多西南季风，春秋为过渡期。夏秋季 4 — 9 月份为热带风暴的活跃季节，尤以 7 — 9 月份最为活跃。极端高潮位为 3.41m，设计高潮位为 1.8m。工程海域表层最大流速为 2.1m/s，桂山场址所在海域海浪以涌浪为主，长浪向为 SE 出现频率为 40.4%，珠江口 NE-SE 方向的持续大风，易产生灾害性大浪。

3 海上风电机组基础介绍

海上风电机组基础主要为单桩式基础、水下三桩基础、水上三桩基础、四桩导管架基础及重力式基础几种，如图 1 所示。下面对这几种基础形式的特点分别进行介绍。

3.1重力式基础

重力式基础一般为混凝土预制件适合水深较浅的区域（小于 10m），但在过浅的区域可能会受到波浪的影响。重力式基础可在陆上制作完成，安装时填充压载物无需打桩，成本低廉。混凝土重力式基础的制作工艺简单，完全靠自身重量放入海底，适合各种类型的海床。但是混凝土重力式基础重量过大（单个重量在 1200t 左右），给海上运输带来巨大挑战。

3.2 单桩基础

单桩基础又称为单根钢管桩基础，适用于水深小于 30m 的海域。其结构特点是自重轻、构造简单、受力明确。单桩基础由一个直径 3m — 4.5m 之间的钢桩构成。钢桩打入海底 18m — 25m，打入深度由海床地面类型确定。这种基础的优点是不用整理海床，但是需要设置防冲刷保护，而且不适用于海床内有岩石的海域。由于大直径钢桩结构受波浪荷载影响较小，目前此种基础结构在欧洲风电场应用较广。

3.3 水下三桩基础

水下三桩基础，适用于水深小于 30m 的海域。采用对称三腿支撑结构，整个基础通过打入海底的三根钢桩连接。钢管桩通过灌浆与上部结构相连。此种基础结构由单塔架结构演化形成，目前该基础形式已在德国 Alpha Ventus 风场使用。与单桩基础相比，水下三桩基础降低了桩的直径，减少了施工难度，但在淤泥质海床中易发生倾斜，且纠偏难度大。此种基础形式对焊接工艺要求较高，生产制造困难。

3.4 水上三桩基础

水上三桩基础（Tripile）为德国 BARD 海上风场业主持有专利的三桩基础形式，插入海底桩长 3m。此基础结构打桩施工难度小，重量轻，与其它基础相比造价更低。但是此种基础形式也存在很多问题，如上部装套调平困难，三根桩在风电机组侧向荷载作用下易发生扭动等。因此，水上三桩基础没有在全世界范围内大规模推广。

3.5 导管架基础

导管架式基础（Jacket）是深海海域风电场未来发展趋势，目前欧洲已有许多风场采用此种基础形式。该基础结构强度高、安装噪音小、重量轻、运输安装方便，可作为大型风电机组支撑结构。导管架基础受波浪荷载影响较小，适用水深范围为 5m — 50m 的海域，而且安装速度快，现场施工简单，与其它基础形式相比较造价低廉，而且可

借鉴以往石油平台的设计施工经验，是一种成熟的海上风电机组基础结构。

4 导管架基础经济性分析

导管架基础相对于其他基础形式，重量轻但焊接工作量大。欧洲很多项目推荐采用单桩或水下三桩基础，目的是为了尽可能降低加工过程中高昂的人工费用。但在中国不同基础的加工费相差不大，制造成本完全由用钢量的多少决定，即由基础结构的重量决定。应用于珠海桂山200MW海上示范风场的导管架基础，与目前欧洲所使用的传统单桩或多桩海上风电机组基础相比用钢量节约近40%，而且中国近几年蓬勃发展的船舶和海工结构制造业，无论在加工技术方面还是在制造成本方面均为导管架基础的建造创造了条件。

5 珠海桂山海上风电机组基础设计

本文提出一种适合中国海况的海上风电平台基础结构，如图2所示。

此基础形式为外挑平台式海上风电基础结构。该结构为导管架基础结构的改进型，由四条支腿支撑，支腿间有加强斜撑连接，支腿上部设置平台。平台下部设置钢梁外挑，以增大结构平台面积。风电机组塔筒通过法兰连接于基础上部的塔筒过渡段上，塔筒过渡段由四个斜撑支撑，并且设计有塔架门可供工作人员通过塔筒进入风电机组内部进行维修、养护。外挑平台上放置电器房间，内部可放置配套电器设备。平台及基础结构均为钢结构构件，支腿、斜撑、塔筒过渡段均由钢板卷制而成。

与世界上其他基础形式相比，此种形式的基础结构重量更轻、结构传力性能优越，可有效将风电机组引起的侧

单桩
（照片来源：Lincs风场）

水下三桩
（照片来源：Alpha ventus风场）

水上三桩
（照片来源：BARD风场）

四桩导管架
（照片来源：Beatrice风场）

重力式基础
（照片来源：Middelgrunden风场）

图1 海上风电机组基础图示

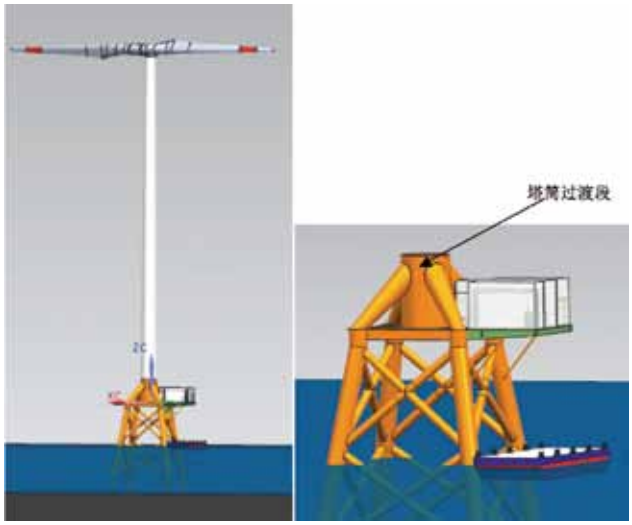


图2 海上风电平台基础结构

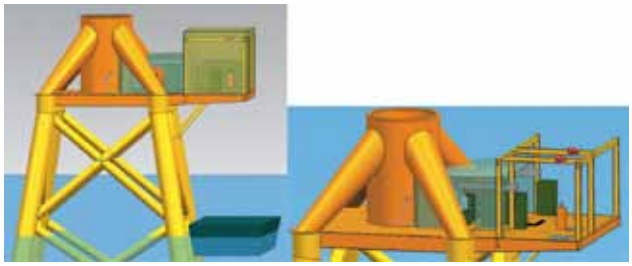


图3 维护示意图

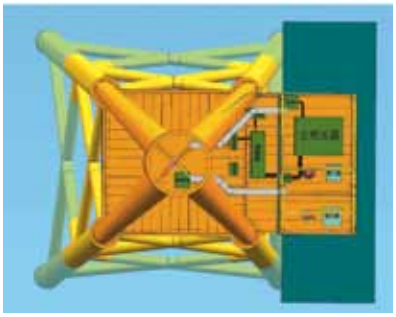


图4 外挑平台俯视图

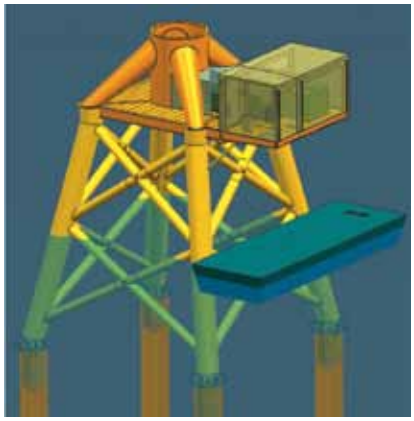


图5 桩与导管架支腿链接细部

向弯矩和侧向力传递至支腿。对于传统的海上风电，电器设备如变压器、变频柜等电器件往往放置于塔筒内部。由于塔筒内部空间狭小而且散热困难，电器设备出现故障后拆卸维护困难，因此会增加运维成本。本文所介绍的基础形式，提供了足够大的空间供放置电器设备，解决了传统处理方式中的散热和维护问题，如图 3 所示。

海上施工与陆上施工不同，海上施工难度大而且船舶及海上工作人员的人力成本高昂。外挑平台式海上风电基础结构可使用较小的船舶进行运维施工，可有效降低维护运营成本。当电器房间内电器件设备出故障需要更换时，可将小型维护船舶停靠于外挑式平台下部，通过打开电器外挑平台部分甲板，利用预先悬挂于电器房间顶部的葫芦吊或其它小型起重装置，将故障设备吊至平台下方小型维护船上,运回码头进行维修更换。电器房间内设置空调系统，可有效过滤空气中的水分和盐分，防止盐雾腐蚀对电器设备造成影响。

6 关键技术

由于受海上风浪影响，海上风电机组及基础安装将变得非常困难。外挑平台式基础结构安装所采用的方法是先在海底打四根桩（桩头在泥面以上），然后通过拖轮将在船厂制造完成的外挑平台式基础运输至指定位置，通过自升式平台等安装船舶对基础结构进行吊装，将外挑平台式基础支腿插入桩中。然后在平台甲板上通过灌浆导管向海底钢桩与基础支腿间灌浆，确保基础支腿与钢桩稳固连接。桩与基础支腿间链接方式见图 5。风电机组对基础结构所造成的侧向荷载和侧向弯矩可通过支腿、钢桩传递至海底岩层。外挑平台基础部分处于泥面以上，且下部设置挡泥板。

此种基础连接方式及结构特点不但可以有效确保风电机组抵抗波浪荷载、风荷载等恶劣天气的影响，而且针对于中国部分海域淤泥层厚度大的问题使用钢桩与基础连接

的方式，有效解决了淤泥层过厚对施工造成的影响。结构重量较传统导管架基础更轻造价更低，上部甲板平台空间更大，方便电器设备的排布。安装维护方便，有效降低了安装施工成本，而且可用于淤泥层较厚的海域，可抵抗台风等恶劣天气的影响。

7 结语

上述海上风电机组基础结构，适用于中国大多数海域的地质条件和海况。涉及海洋工程、船舶工程、结构工程、流体力学、结构动力学等多学科领域，在研发过程中大多数问题都可采用当前这几个领域内的研究手段得以解决[8]。此种基础方案在国内海上风场基础选型及方案评审中得到各方专家的一致好评，被指定为最适合中国当地海域的海上风电基础形式。20世纪以来，世界各国大力发展海上风电，在海上风电关键性技术及难点的研究，商业运营，资源的可持续发展，环境保护等方面取得了重大进展。目前中国海上风电正处于起步阶段，预测未来5－10年内会有极大的发展空间。研发适用于中国海域的海上风电机组基础结构任重道远。

参考文献

[1]Jorn.H.Thomsen, TorbenForsberg, Robert Bittner P.E. Offshore wind turbine foundation–The cowi experience. Proceedings of the 26th international conference on offshore mechanics and arctic engineering OMAE2007.

[2]Per Volund. Concrete is the future for offshore foundation. ENERGI E,2004.

[3]Van Wingerde A M, Van Delft DRV, Packer J A, et al. Survey of support structures for offshore wind turbines[J]. Welding in the World, 2006, 50(SPEC): 49–55.

[4]Trunars J M V. The effect of wave modelling on offshore wind turbine fatigue loads[A]. Proceedings of the Offshore Energy Conference[C]. Copenhagen:COW,2005.

[5]Richter, T.,Kirsch, F.and Rucker, W.(2010): Pile Foundation for Offshore Wind Turbines–Does Cyclic Soil Behaviour Matter: in: Proceedings of DEWEK,Bremen.

[6]Seidel, M. v. Mutius, M.;Integrated analysis of wind and wave loading for complex support structures of Offshore Wind Turbines. Conference Proceedings Offshore Wind 2005,Copenhagen 2005.

[7] 黄维平，刘建军，赵战华．海上风电基础结构研究现状及发展趋势．海洋工程，2009.

[8] 张超，王金亮．有限单元法在风电机组基础设计中的应用分析 [J]. 风能，2012(6):96–99.

收稿日期：2013–07–02。

作者简介：

朱荣华（1977–），男，中国明阳风电产业集团副总裁，首席科学家，目前在明阳风电产业集团负责海上风电技术的研发和领导工作。

李少清（1986–），男，工程师，主要从事海上风电机组基础设计，力学分析工作。

张美阳（1981–），女，主任工程师，主要从事海上风电机组基础设计计算工作。

摄影：陈波

中航惠腾风电设备股份有限公司
AVIC HUITENG WINDPOWER EQUIPMENT CO., LTD.

为人类提供清洁能源 保护我们共有的家园

中航惠腾风电设备股份有限公司（中航工业惠腾）自2001年成立以来，始终专注于风轮叶片研发，凝聚十余年发展经验，拥有12个系列，40余种叶片产品，单机容量从65kW到3.0MW。

凭借强大的研发能力，中航工业惠腾可以为客户提供量身定制的各类产品解决方案，更好的满足客户多元化需求。尤其近年来针对低风速区研发量产的1.5MW-HT43/45.3、2.0MW-HT50/51及2.5MW-HT52.3/54等型号，有很强的技术先进性和适用性。目前中航工业惠腾正在试制5MW-HT63.5叶片，年底将在国内风场挂机。

目前，中航工业惠腾产品销量逾万副，遍及国内27个省、市、自治区的200余个风场，远销美国、俄罗斯、日本、南非、印度、巴基斯坦、智利、古巴、泰国、哈萨克斯坦、厄瓜多尔等十多个国家，在更广阔的国际市场上乘风破浪，扬帆远航。

产品特点：

多年大型风电叶片研制经验，生产工艺先进

结构化设计，与国际行业权威荷兰CTC联合研发

适应能力强，满足不同环境下机组配套需求

风能利用系数高，发电量高

重量轻，机组运行载荷小

更多详情请登录www.htwind.cn

地址：河北省保定市高开区风能街111号

邮编：071051

电话：+86（312）5903393

传真：+86（312）5903372

邮箱：scghb@htwind.cn

行星差动齿轮箱速比及功率分配计算

陈华平，冯仲，刘小刚，杨胜，郭宗礼
（陕西秦川机床工具集团有限公司，陕西 宝鸡 721009）

摘　要：本文以 Maag DPPV 风电行星差动齿轮机构为例，使用 Romax 软件建立了此行星差动齿轮机构的虚拟样机模型，验证了行星差动机构传动比与功率分流的内在规律，同时建立的 Romax 模型为后续系统分析齿轮箱的可靠性提供了基础，这也为行星差动齿轮机构的分析提供了一条新途径。

关键词：行星差动齿轮箱；传动比；功率分流；Romax

中图分类号：TM614　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-9219(2013)09-0100-04

The Differential Planet Gear Box Speed Ratio and Power Allocation Calculation

Chen Huaping, Feng Zhong, Liu Xiaogang, Yang Sheng, Guo Zongli
(Shaanxi Qinchuan Machine Tool Group Co.,Ltd.,Baoji Shaanxi 721009,China)

Abstract: Trough an example of Maag DPPV wind power planetary differential gear unit, this paper set up the virtual prototype model of planetary differential by Romax software ,verfying inherent law of transmission ratio and power flow in planetary differential gear unit. It also provided the basis for system analysis of the reliability of gearbox by setting up Romax model, also provided a new method for analysis of the planetary differential gear unit.

Keywords: differential planet gear box; transmission ratio; power flow; Romax

0 引言

行星差动齿轮机构广泛应用于石油化工、工程机械、造纸、污水处理、风电和航空航天等领域，其速比计算、功率分配是设计的重要内容，但是现存的手册、文献对其计算资料很少。根据相关论文论述[1-2]，行星差动机构传动比与功率分流的内在规律为：行星差动机构的传动比等于各功率流单独流经路线上行星机构的传动比之和；功率流的百分比为该支路传动比与总传动比的比值。此论述的计算方法简单快捷，从而缩短了布置概念方案设计的时间，提高了设计效率。本文以 Maag DPPV 风电行星差动齿轮箱为例，利用论文论述很容易列出了此机构的传动比及功率分流公式；然后利用 Romax 软件建立虚拟样机模型，通过仿真分析，求得齿轮装置的输出转速与传动比，以及功率分流比例，验证了此论述的正确性；同时建立的 Romax 模型也为后续系统分析整个齿轮箱提供了基础。

1 Maag DPPV行星差动齿轮机构结构简述

Maag DPPV 行星差动齿轮机结构如图 1 所示。

z_{a1}：第一级太阳轮齿数；z_{b1}：第一级行星轮齿数；z_{c1}：第一级内齿圈齿数；

z_{a2}：第二级太阳轮齿数；z_{b2}：第二级行星轮齿数；z_{c2}：第二级内齿圈齿数；

z_1：平行级小齿轮轮齿数；z_2：平行级大齿轮轮齿数。

一级行星架、二级齿圈同时输入，二级行星架固定，

一级齿圈与二级太阳轮固联，一级太阳轮输出后与平行级大齿轮固联，平行级小齿轮总输出。

2 Maag DPPV行星差动齿轮机构传动比、功率分流比例计算

2.1 传动比和功率分流公式

根据相关论文论述[1-2]，Maag DPPV 行星差动齿轮机构行星级可以等效成如图 2 所示的行星轮系。

行星系速比和功率流百分比公式为：

$$i_{行星}=\frac{z_{c1}+z_{a1}}{z_{a1}}+(-\frac{z_{c2}}{z_{a2}})\times(-\frac{z_{c1}}{z_{a1}}) \quad (1)$$

$$一级行星系功率流百分比=\frac{z_{c1}+z_{a1}}{z_{a1}}/i \quad (2)$$

$$二级行星系功率流百分比=(-\frac{z_{c2}}{z_{a2}})\times(-\frac{z_{c1}}{z_{a1}})/i \quad (3)$$

2.2 实例计算

已知：齿轮箱输入转速 n=15.7rpm，P=3299.71KW

Z_{a1}=28，Z_{b1}=48，Z_{c1}=125；Z_{a2}=33，Z_{b2}=37，Z_{c2}=107，Z_1=34，Z_2=130。

将数值代入公式（1）（2）（3）中，得：

$$i_{行星}=19.9394$$

一级行星系功率流百分比 =27.404%

二级行星系功率流百分比 =72.596%

其中，平行级速比[3]

$$i_{平行}=-\frac{z_2}{z_1}=-\frac{130}{34}=-3.8235$$

此行星差动齿轮机构总速比$i=i_{行星}\times i_{平行}=-76.24$

输出转速=$n\times i=-1196.95rpm$

3 行星差动齿轮机构建模及仿真分析

3.1 RomaxDesigner软件介绍

RomaxDesigner 是目前较完整的轴承、齿轮、齿轮箱和机械传动系统仿真机产品设计与分析软件，目前已成为齿轮传动领域的行业标准。广泛应用于汽车、船舶、风力

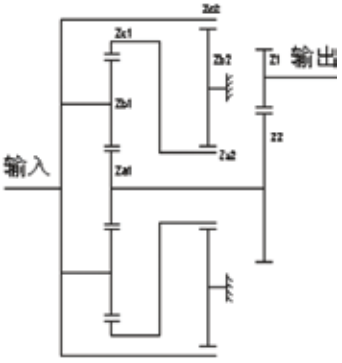


图1 Maag DPPV行星差动齿轮机结构简图

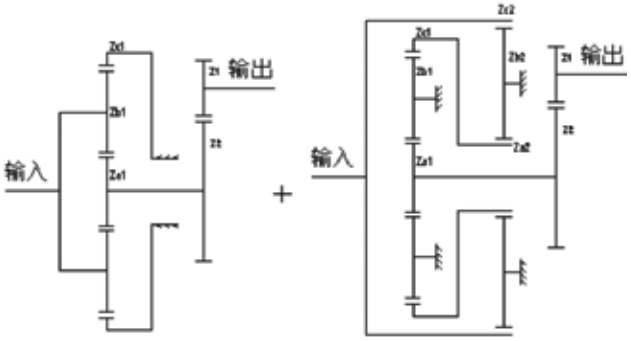


图2 等效结构图

发电、工程机械、轴承设计以及航空航天等领域的齿轮传动系统设计。

3.2 齿轮机构建模

图 3 所示为根据 Maag DPPV 行星差动齿轮机构结构简图建立的 Romax 虚拟样机模型，模型中建立了两级行星和一级平行轴。

Maag DPPV 行星差动齿轮机构的运行工况的初始工况为：输入转速为 15.7rpm，输入功率为 3299.71kw，动力输入为一级行星架。在 RomaxDesigner 软件中将初始工况作为一个载荷谱，运行虚拟样机模型，分析后完成的界面如图 4 所示。

从图 4 运行完成界面可以很方便地看到，输出的转速为－ 1196.95rpm，方向与输入方向相反。由于输入转速为 15.7rpm，所以传动比$i=\frac{-1196.95}{15.7}=-76.24$。

4 仿真结果分析

从图 5 中可以看出：一级传递功率 =1st carrier shaft DW+1st carrier shaft UW；

二级传递功率 =1st carrier rigid link left+1st carrier rigid link right。

相关论文论述计算的速比及功率分流百分比与 Romax 仿真数值比较如表 1 所示。

从表 1 中可以清楚得出，相关论文所推导的转速计算值、功率分流百分比与仿真分析值是一致的，并且转向结果与实际情况是符合的。

5 结论

（1）通过实例计算，论文论述与 Romax 软件仿真在转速和传动比，以及功率分流百分比完全一致，从而验证了论文论述是完全正确的；

（2）利用论文论述中的公式计算速比和功率分流，非常简单明了，具有很好的实用性。根据笔者的经验，可以利用相关论述的公式，对概念设计方案排布、齿轮参数的

表1 相关论文论述计算的速比及功率分流百分比与Romax仿真数值比较

	论文公式及结果	仿真结果
传动比	$i=i_{行星}\times i_{平行}=-76.24$	$i=\frac{-1196.95}{15.7}=-76.24$
功率分流百分比	$\frac{z_{c1}+z_{a1}}{z_{a1}}/i=27.404\%$ $(-\frac{z_{c2}}{z_{a2}})\times(-\frac{z_{c1}}{z_{a1}})/i=72.596\%$	$\frac{904.27}{3299.71}\times100\%=27.404\%$ $\frac{2395.44}{3299.71}\times100\%=72.596\%$

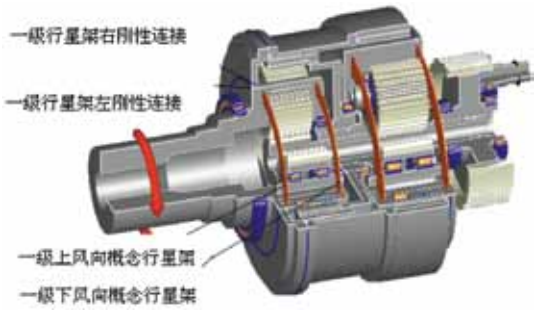


图3 虚拟样机仿真模型

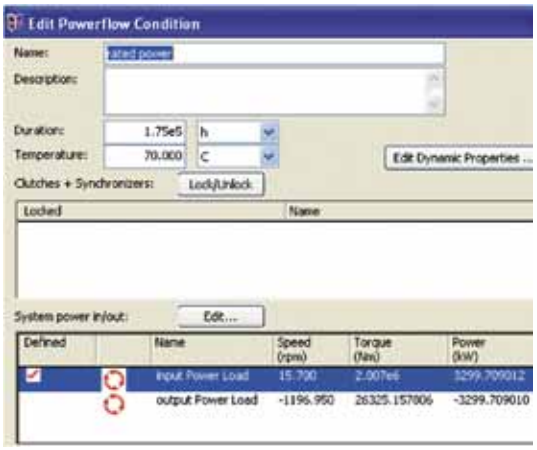


图4 工况运行完成界面

分配等能起到事半功倍的效果[4]；

（3）利用 RomaxDesigner 软件建立的虚拟仿真分析，各齿轮的运动情况十分清楚，比理论分析更容易判断工作状况，可为后续系统分析整个齿轮箱提供计算基础，这也为行星齿轮机构的分析提供了一条新途径。

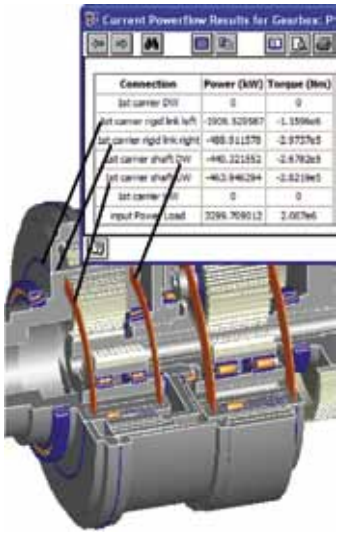


图5 功率分流计算报告图

参考文献

[1] 冯仲，等 . 复杂行星轮系传动比计算的简化法 [J]. 机械传动 ,2012（3）:95–96.

[2] 冯仲 . 行星差动轮系功率分流和传动比的内在规律及速算法 [J]. 机械传动 ,2012（12）:111–113.

[3] 孙恒，陈作模 . 机械原理 [M]. 北京 : 高等教育出版社 ,1995.

[4] 陈甲虎，冯仲，高进，陈华平 . 行星差动结构风电增速箱传动比及功率分流计算分析 [J]. 风能 ,2012(6):100–102.

收稿日期：2013–07–24。

作者简介：

陈华平（1981–），男，硕士，陕西秦川机床工具集团江苏风电分公司技术员，主要从事齿轮箱设计工作。

风电机组使用铝电缆替代铜电缆的可行性分析

陈志刚[1]，秦本才[2]

（1. 上海交通大学电气工程系，上海 200241；2. 上海电气风能有限公司，上海 200241）

摘　要：本文介绍了风电场使用的电缆种类及性能要求，分析了在铜电缆的价格不断攀升的情况下，在风电机组中使用铝电缆替代铜电缆的可行性，并通过案例介绍对铝电缆在技术、工艺、成本等方面进行了可行性分析。

关键词：风电；铝电缆；载流导体；电化学腐蚀

中图分类号：TM614　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-9219(2013)09-0104-04

Feasibility Analysis of Using Aluminum Cable Instead of Copper Cable in Wind Turbine

Chen Zhigang[1], Qin Bencai[2]

(1. Shanghai Jiao Tong University Department of Electrical Engineering, Shanghai 200241, China;
2. Shanghai Electric Wind Energy Co., Ltd., Shanghai 200241, China)

Abstract: This paper introduced the requirements of cable types and properties of wind turbines. It also analyzed the background of copper cable prices and the feasibility of using aluminum cable in a wind turbine instead of copper cable. Through a case, this paper carried out the feasibility analysis of aluminum cable in terms of technology, process, cost ,etc.

Keywords: wind power; aluminum cable; current-carrying conductor; electrochemical corrosion

0 引言

随着煤炭、石油等传统能源价格的不断上涨，人们日益把希望转向新能源的发展，而风电是近几年发展最为迅速的绿色能源。

新兴的风电市场为竞争激烈、日趋饱和的电缆行业提供了难得的机会。在风电机组中，有用于机舱内的软电线、控制电缆，有用于塔架内的塔架电缆等。以一台 1.25MW 的风电机组为例（塔架和机舱内），塔架高度一般为 90m 左右，仅电力电缆就需要约 1km 左右。以 1 个 50MW 的风场计算，则需要电力电缆 40km[1]。《新兴能源产业发展规划》中预计，到 2020 年，风电装机接近 150GW 的规划，风电用电缆市场需求巨大 [2]。

但是随着国际铜价的不断攀升，传统以铜为主要材料的铜电缆（铜在整个电缆中占的成本达到 70% 以上）价格也水涨船高。在可实现同样电气性能的前提下，寻找价格比等品质铜电缆低的载流导体有助于大幅降低风电场的建设成本。

1 风电机组使用的电缆种类及性能要求

1.1 风电机组使用的电缆种类

(1) 连接机舱和塔筒部位的抗扭转型电缆

该种电缆通常称为扭缆。电缆能随风电机组偏航不断正反向旋转，对电缆的柔软性、抗张强度、抗扭转、耐低温、耐紫外线（耐候性）、耐盐雾腐蚀、阻燃等众多技术指标都

有较高要求[3]（具体根据风电机组运行要求和环境而定）。

(2) 机舱中连接用的耐高温电缆；

(3) 设备、仪器、仪表用屏蔽型控制电缆；

(4) 数据连接线；

(5) 低压柔性电缆；

(6) 中、高压电缆等。

1.2 风电场用电缆性能要求

1.2.1 满足常规电缆的性能要求

(1) 电气性能（耐电压、导体电阻和绝缘电阻等）；

(2) 绝缘和护套机械物理性能；

(3) 结构尺寸；

(4) 导体（一般为 5 类导体）。

1.2.2 特殊性能要求

(1) 电缆的寿命要求（一般要求 20 年）；

(2) 护套耐油性能要求；

(3) 护套耐紫外线（耐日光）要求；

(4) 护套耐海水要求等。

2 风电载流导体使用铝材的可行性分析

长期以来，人们在导体的选择上，通常是以铜为主。认为铜导体在电气性能及可靠程度上都高于其他导体。但随着技术的进步，包括铜铝连接、铝铝连接技术工艺的提高，以及铝合金等新材料的研发，铝导体类电缆的使用已经越来越广泛。铝合金电缆材质较软、牢固性和抗压性很高，在电缆相对重要的衰减率方面也仅比铜电缆略逊 2% — 4%。

对于风电场的电力线缆系统建设，也已具备选用铝材质线缆的条件。可根据布线方式（架空或地埋）的不同，选用不同规格和型号铝材线缆；对于架空电缆，铝特有的防腐性能来自铝表面与空气接触自然形成的氧化层，这种氧化层能耐受多种腐蚀。从单纯的金属特性看，铝的抗腐蚀性能优于铜。铝在空气中很快形成一层厚度约为 2×10^{-4}mm 的致密氧化膜，防止内部的金属被进一步腐蚀；对于地埋电缆，可根据风电场的土壤性质，碱性土壤和某些类型的酸性土壤环境对金属有较大的腐蚀性，可以有针对性地选择铠装的铝材多芯电缆。

3 风电机组中铝电缆替代铜电缆选型分析

3.1 铝电缆载流量分析、线径对比和固定要求

3.1.1 国内某风电机组厂家 2MW 机型概况

发电机容量 2100kW，发电机定子额定线电流为 1458A(690V)，转子额定线电流为 533A(0-750V), 系统供电额定电流为 66A(400V), 变流器位于塔底，塔筒内直线段电缆包括三部分：

（1）发电机定子（三角接法）线电流为 1458A；

（2）发电机转子（三角接法）线电流为 533A；

（3）系统供电额定单根电流为 66A。

3.1.2 铜电缆和铝电缆选型参数对比及载流量核算[4]

该 2MW 机型目前使用的铜电缆为国内某电缆厂家生

表1 国内某风电机组厂家2MW机型理论核算过程

国内某厂家2MW机型								
线电流 1454A	原用铜芯电缆				铝芯替代方案			
	铜芯	A	KA	4 组	铝芯	A	KA	4 组
	截面	电流	短路电流	电流	截面	电流	短路电流	电流
	185	461	19.1	1660	240	432.6	16.5	1557
					300	505.9	20.5	1821
线电流 533A	原用铜芯电缆				铝芯替代方案			
	铜芯	A	KA	4 组	铝芯	A	KA	4 组
	截面	电流	短路电流	电流	截面	电流	短路电流	电流
	120	338.3	12.5	643	150	304.8	10.4	579
					240	357.9	16.5	680
辅助供电 66A	5G70	178.3	7.3		5G95	175.7	6.6	
					5G120	206.7	8.3	

表2 铜电缆选型规格（按照垂直品字形空气中敷设方式）

	目前使用的铜电缆数量	单根对应的额定电流(A) (供应商提供)	电力工程设计规范(GB50217)中的要求载流量(A)(同等情况) DIN VDE0298
定子	$14\times1\times185mm^2$	385	340
转子	$7\times1\times120mm^2$	265	240
系统供电	$1\times5G70mm^2$	160	140

表3 铝电缆选型规格（按照垂直品字形空气中敷设方式）

	替换使用的铝电缆数量	单根对应的额定电流(A) (供应商提供)	电力工程设计规范(GB50217)中的要求载流量(A)(同等情况) DIN VDE0298
定子	$14\times1\times300mm^2$	375	320
转子	$7\times1\times150mm^2$	278	220
系统供电	$1\times5G95mm^2$	160(五芯线单芯载流量)	140

表4 铝电缆型号及安装要求

铜、铝电缆均为国内同一电缆厂家						
序号	原用铜芯电缆方案			铝芯电缆替代方案		
	铜电缆	电缆外径	弯曲半径	铝电缆	电缆外径	弯曲半径
1	$1\times185mm^2$	27.0–31.0mm	6D	$1\times300mm^2$	30.0–34.0mm	20D
2	$1\times120mm^2$	23.0–27.0mm	6D	$1\times150mm^2$	25.0–29.0mm	20D
3	$5G70mm^2$	48.0–52.0mm	6D	$5G95mm^2$	52.0–56.0mm	20D

产的交联聚乙烯电缆，在 40° 空气中敷设，单芯电缆品字形排列（表 1 为核算过程，表 2、表 3 为折算后理论值，表 4 为铝电缆型号及安装要求）。

由于塔筒直线段电缆 90% 直线固定敷设，夹块固定，只承受较小的重力拉力，10% 弯曲进入柜体部分，原电缆托架按照 15D 外径设计（一般设计要求为 20D),现略放大，即增加电缆托架的弯角半径，完全可满足铝电缆的弯曲半径要求。

3.2 铝电缆接头及抗电化学腐蚀解决方案

3.2.1 铜铝连接的接头技术解决方案

风电机组内部电缆接头主要有扭缆处的铜铝电缆连接及塔底铝电缆至柜体铜排的连接，主要克服铜、铝导体直接接触时的电化学腐蚀问题。(电化学腐蚀的概念：铜、铝直接接触面在空气中水分、二氧化碳和其他杂质的作用下极易形成电解液，从而形成的以铝为负极、铜为正极的原电池，接触电阻增大。)

解决措施：选用进口过渡接头，过渡段采用高温摩擦焊固态焊接技术，原子充分融合，性能稳定，电阻接近铝线电阻，选用压接工具进行压接，接头处可靠稳定，外层绝缘处理采用密封绕包加填充剂的方式，压接及密封效果见图 1。

3.2.2 铝电缆的抗氧化及膨胀问题

铜铝材料特性对比如表 5 所示。铝铝之间，即铝电缆之间是同材质铝材连接器，膨胀系数一致，线性膨胀系数微米级别，与铜的膨胀系数相差不大，加之电缆弯曲段存在余量，线性膨胀不影响系统运行。

铜和铝比较，铝在空气中更抗氧化。虽然铝比铜活泼，但铝有固有特性。

（1）铝表面与空气接触时形成薄而坚固的氧化层，这种氧化层（ Al2O3 ）阻止内部金属继续被氧化，特别耐受

图1 铝电缆接头处理

表5 铜铝材料特性对比

铜铝材料特性					
	电阻率	电阻温度系数	热膨胀系数	弹性模量	密度
铜	0.0172	3.93	17.7	11.7	8.9
铝	0.0282	3.9	23.2	7.16	2.7

表6 国内某风电机组厂家2MW机型塔筒电缆费用核算

国内某风电机组厂家2MW机型塔筒电缆（80m高塔筒）		
	整根敷设（元/台）	分段敷设（元/台）
铜电缆	190000	195000
铝电缆	101000	111000
铝电缆比铜电缆节省 %	47%	43%

各种形式的腐蚀；（注：氧化膜很薄，为 8-10 μm，铝电极两端加上电势差后，仍能激发铝内的电子作定向移动，氧化膜因为厚度小并不能提供很大的电阻，导电性没有太大变化。）

（2）电缆绝缘层和外护套均采用橡胶材料，接头处多层绝缘及热缩和密封剂处理，如图 1 所示。金属导体基本与外界隔绝，杜绝腐蚀；

（3）关于损耗 [5]

$P=I^2R$，取决于电阻 $R=\rho L/S$，电阻取决于截面、长度、电阻率，长度相等，则：172/185= 0.93；282/300= 0.94。

计算可知，铝电阻率略高，但截面积提高，损耗基本一致，不影响整个机组的供电系统。

4 铜、铝电缆经济性对比分析

同样以国内某风电机组厂家 2MW 机型为例，假设风电机组塔筒高度为 80m，分别按照当前风电机组塔筒内电缆分段敷设和整根敷设两种方案，对单台风电机组塔筒内电缆费用进行初步核算，如表 6 所示。

由分析可知，在风电机组中仅塔架电缆采用铝电缆一项，即可比原来的铜电缆方案节约成本 40% 以上，若在整个风电场中推广，带来的经济效益会更可观。铝电缆应用的技术条件已经成熟，加上铝电缆制造工艺水平的提高，铝电缆已经可以与传统铜电缆相媲美。

5 结论

通过上述分析，在风电机组中使用铝电缆替代铜电缆的方案是可行的，在实现同样的电气性能的前提下，铝质电缆比等品质铜质电缆具有更好的经济效益，这可大幅降低风电场建设成本。面对不断攀升的铜价，铝的价格相对稳定，且铝元素在地壳中的储量非常丰富，不仅在原材料供应方面存在优势，在质量上也有提高。随着铝电缆制造水平的不断提高及无缝焊接技术等先进工艺的运用，原先铝电缆应用中遇到的诸多难题得到了解决，使得铝电缆的推广应用成为了可能。

参考文献

[1] 国家电线电缆质量监督检验中心上海电缆研究所 . 风力发电机用电缆技术性能及其开发进展 [R].2001.

[2] 李俊峰 , 等 . 中国风电发展报告 2011[R]. 北京 : 中国环境科学出版社 ,2011.

[3] 朱永强 , 王伟胜 . 风电场电气工程 [M]. 北京 : 机械工业出版社 ,2012.

[4] 陈志刚 , 秦本才 . 风电电缆应用综合分析报告 [R]. 上海电气风电设备有限公司 ,2012.

[5] 电线电缆手册编委会 . 电线电缆手册 (第 2 册)[M]. 北京 : 机械工业出版社 ,2001.

收稿日期：2013–04–15。

作者简介：

陈志刚（1984–），男，硕士，工程师，主要从事大型风电机组电气工程研究工作。

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