

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2015.01.020

# 中国风电产业发展分析

王长路<sup>1</sup>, 王伟功<sup>1</sup>, 张立勇<sup>2</sup>, 乔雪涛<sup>1</sup>

(1. 郑州机械研究所, 郑州 450052; 2. 郑州高端装备与信息产业技术研究院有限公司, 郑州 450001)

**摘要:**分 6 个阶段回顾了我国风电产业的发展历程, 并从法律法规规划、财税电价政策两方面简述了国家风电产业的相关政策, 指出这些政策对产业发展起到了重要的支撑和调节作用。用风电装机及增长率、发电量及增长率数据分析了中国风电产业发展现状, 用 2013 年大陆企业国内市场占有率、进入世界风电设备 15 强的国内 8 家企业的全球新增装机容量等数据, 说明国内风机制造商已经发展壮大起来。分析指出了缺乏顶层设计、弃风限电严重、自主研发能力不足、部分主要零部件依赖进口和风电设备存在质保“困局”五个亟待解决的主要问题。最后分析了风电产业发展前景。

**关键词:**风电; 风力机; 装机容量; 产业政策; 发展现状

**中图分类号:** TH132

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-582X(2015)01-0148-07

## The analysis of China wind power industry

WANG Changlu<sup>1</sup>, WANG Weigong<sup>1</sup>, ZHANG Liyong<sup>2</sup>, QIAO Xuetao<sup>1</sup>

(1. Zhengzhou Research Institute of Mechanical Engineering, Zhengzhou 450052, P.R.China;

2. Zhengzhou Research Institute of Advanced Equipment & Information Industry Technology Co., Ltd., Zhengzhou 450001, P.R.China)

**Abstract:** The development course of China wind power industry is reviewed by six stages. National policies on wind power industry are elaborated from the aspects of laws & regulations, planning, finance & taxation and electrovalence policy. And these policies have played an important supporting and regulating role in the development of wind power industry. The development status of China wind power industry is analyzed based on wind turbine installed capacity, wind power output and their growth rate. It is explained that national wind turbine manufacturers have kept developing and become strong by the data of new global installed capacity share of mainland wind turbine manufacturers in 2013 and the new global market share of 8 domestic enterprises among the world top 15 wind turbine manufacturers. But there are still 5 key problems which influence the development of national wind turbine need to be solved, including lack of top-level design, abandon and restriction wind power seriously, lack of R&D abilities, some of the key parts relying on imports and wind turbine facing a quality guarantee dilemma. Taking Sinovel Wind Group Co. Ltd. and Xinjiang Goldwind Sci & Tech Co. Ltd., the two leading companies as an example, their performance is analyzed and it's pointed out that the wind industry must keep vigilant after the overspeed development. The enterprises should try to avoid neglecting cultivating their inner core competitive ability, including technology advancements and products reliability. Occupying the market with low price

**收稿日期:** 2014-11-09

**基金项目:** 国家 2014 年工业转型升级强基工程专项资助项目。

Supported by the Foundation-consolidating Project of Industrial Transformation and Upgrading.

**作者简介:** 王长路(1958-), 研究员, 博士生导师, 主要从事风电设备研究, (E-mail)15137119805@163.com.

competition and expanding blindly is also not desirable. At last, the development prospects of our country's wind power industry are analyzed and three proposals are put forward.

**Key words:** wind power; wind turbine; installed capacity; industrial policy; development status

中国风电产业经历了从无到有、从规模小到装机容量位居世界第一、从快速发展到调整洗牌、从技术和设备引进仿制到基本自主设计制造的曲折发展历程。笔者在分析中国风电产业发展现状以及国家相关政策及其对产业发展的推动和调节作用的基础上,指出产业发展亟待解决和警醒的问题,从国家和行业角度提出有益的建议,旨在为政府决策规划、企业投资和学者研究等提供参考。

## 1 中国风电产业发展历程

中国风力发电始于 20 世纪 50 年代后期,主要是解决海岛和偏远地区供电难的问题,重点是非并网小型风电机组的建设。70 年代末期,中国开始进行并网风电的研究,主要是通过引进国外风机建设示范电场。1981 年,中国可再生能源学会风能专业委员会成立。1986 年,中国第一座“引进机组,商业示范性”风电场——马兰风力发电场在山东荣成并网发电,标志着中国并网风电产业揭开了大幕,并从此走向发展<sup>[1]</sup>。从中国建成第一个风力发电场至今已近 30 年,中国并网型风电产业发展大致分为以下 6 个阶段。

第一阶段是早期的示范阶段(1986—1993)。此阶段主要是利用国外赠款及丹麦、德国、西班牙政府贷款建设小型示范风电场。此阶段国家“七五”“八五”投入扶持资金,设立了国产风机攻关项目,支持风电场建设及风电机组研制。经过此阶段,中国建成了山东荣成风电场、福建平潭岛风电场、新疆达坂城风电一场与二场、内蒙古朱日和风场等并网风电场,使得中国在风电场选址与设计、风电设备维护等方面都积累了一些经验。

第二阶段是产业化探索阶段(1994—2003)。此阶段主要通过引进、消化、吸收国外技术进行风电装备产业化研究。科技部通过科技攻关和国家 863 项目促进风电技术的提升,原经贸委、计委通过双加工程、国债项目、乘风计划的实施,促进风电产业的持续发展<sup>[2]</sup>。此阶段首次探索建立了强制性收购、还本付息电价和成本分摊制度,保障了投资者的利益,促使贷款建设风电场开始发展。此阶段国产风电设备实现了商业化销售,中国风电年新增装机容量开始不断扩大,新的风电场不断出现。

第三阶段是快速成长阶段(2004—2007)。此阶段国家出台并实施了一系列鼓励风电开发的政策及法律法规,解决了风电产业发展中的部分障碍,从而迅速提高了风电开发规模和本土设备制造能力,促使国内风电产业快速发展。经过此阶段的发展,中国 200~750 kW 风电设备国产化率已超过 95%,兆瓦级风电机组也研制成功且并网发电<sup>[3]</sup>。中国 2007 年新增装机容量 3 311 MW,同比增长 157.1%;内资企业产品市场占比 55.9%,内资企业新增市场份额首次超过外资企业。

第四阶段是高速发展阶段(2008—2010)。此阶段中国风电相关政策及法律法规进一步完善,风电整机制造能力大幅提升,部分企业 3 MW 以上大型风电机组也实现了规模化生产。此阶段提出建设 8 个千万千瓦级风电基地,启动建设海上风电示范项目,是前所未有的高速发展阶段。2010 年中国风电新增装机容量超过 18.9 GW,以占全球新增装机 48% 的态势领跑全球风电市场,累计装机超过美国,跃居世界第一<sup>[5]</sup>。由于发展过快,此阶段风电产业出现了电网建设滞后、国产风电机组质量难以保证、风电设备产能严重过剩等问题。

第五阶段是调整阶段(2011—2013)。中国风电产业在超高速发展过程中,存在的问题逐步凸显出来,使行业调整洗牌在所难免。一是恶性竞争加剧,许多企业亏损;二是风电并网难和消纳难的问题日渐突出,弃风现象严重;三是风电设备质量问题频发。在此阶段,许多开发商甚至国企退出风电产业,使大家认识到风电设备制造不能再追求低价“优势”,不能盲目上项目,应该更加重视“度电成本”以及完善的售后和运维。

第六阶段是稳步增长阶段(2014—)。调整洗牌后,中国风电产业基本遏制了过热,发展模式基本实现了从重规模、重速度、重装机到重效益、重质量、重电量的转变。中国风电产业已经步入稳步增长阶段,风电新增装机未来几年将会维持 20% 左右的增长。

## 2 国家产业政策及作用

### 2.1 法律法规与规划方面

1995 年,原电力工业部制定了《风力发电场并网运行管理规定(试行)》,出台了电网公司应允许风电场就近上网,全额收购风电场上网电量,对高于电网平均电价部分实行全网分摊的鼓励政策。

2005 年 2 月 28 日,中国通过了《可再生能源法》,后续又出台了《促进风电产业发展实施意见》《可再生能源中长期发展规划》《电网企业全额收购可再生能源电量监管办法》和《可再生能源十一五规划》。

2008 年 8 月,财政部发布《风力发电设备产业化专项资金管理暂行办法》,对满足支持条件的风电设备生产制造企业的首 50 台风电机组,中央财政将按 600 元/kW 的标准予以补助,这一补助相当于成本的 10%。

2012 年,国务院出台了《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》。

2013 年,国家能源局连续发布若干通知,要求相关部门要以引导、监管等方式提高风电的消纳能力。

2014 年 5 月,国家发改委、国家能源局和国家环保部联合制定并印发《能源行业加强大气污染防治工作方案》,指出了建设 12 条电力外输通道的规划,明确了到 2015 年非化石能源消费比重提高到 11.4%的目标和 2015 年和 2017 年全国风电装机容量分别达到 100 GW 和 150 GW 的目标。

2014 年 9 月,国家能源局发布相关通知,要求加强监测认证,规范设备质量验收工作,构建合理的招标采购市场以及加强风电设备市场的信息披露和监管。

### 2.2 财税与电价政策方面

2007 年初,国家四部委联合发布《关于落实国务院加快振兴装备制造业的若干意见有关进口税收政策的通知》,支持 1.2 MW 以上的风电机组的开发。

2008 年,发布的《关于公布公共基础设施项目企业所得税优惠目录(2008 年版)的通知》指出,风电企业享受所得税三免三减半的优惠;发布的《关于资源综合利用及其他产品增值税政策的通知》指出,对利用风力生产的电力实现的增值税实行即征即退 50%的政策。

2009 年,国家发改委发布了《关于完善风力发电上网电价政策的通知》,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,并相应制定风电标杆上网电价。

2013 年,国家发改委发布了《关于海上风电上网电价政策的通知》,明确 2017 年以前投运的近海风电项目含税上网电价为 0.85 元/(kW·h),潮间带风电项目含税上网电价为 0.75 元/(kW·h)。

2013 年,财政部发布了《关于调整可再生能源电价附加征收标准的通知》,明确可再生能源的附加征收标准由原来的 0.8 分/(kW·h)提高至 1.5 分/(kW·h)。

2014 年 9 月,国家发改委价格司下发了调整风电上网电价的征求意见稿,并开会征求各方意见。

### 2.3 促进与调节作用

总体来讲,国家发布的有关法律、法规、发展规划以及各项财税与电价政策强力支撑了中国风电产业的繁荣与发展,对风电产业创新能力的提升和产业体系的建立具有重要意义。中国风电新增装机容量和累计装机容量占全球的份额分别从 2000 年的 2.0%和 1.99%提高到 2013 年的 46.0%和 28.74%,国家产业政策功不可没。

另一方面,国家产业政策和项目审批起到了双向调节的作用。例如,2011 年 5 月,主管部门收紧了风电项目的审批权,有助于风电产业降温;到 2013 年 5 月和 7 月,主管部门又将企业投资风电场项目核准权和电力业务许可证核发权下放至地方,放松了对风电项目的审批,又让风电产业适度回暖。

## 3 风电产业发展现状

### 3.1 风电装机及发电规模持续提升

图 1 是 2007—2013 年中国风电装机及增长率图。由图 1 可知,2007—2013 年中国风电产业走过了快速发展及调整的历程。2013 年,中国风电新增装机容量 16 088 MW,同比增长 24.1%,新增装机容量占世界新增容量的 45.6%;累计装机 91 413 MW,同比增长 21.4%,累计装机容量占世界累计装机容量的 28.74%<sup>[6]</sup>。新增装机和累计装机两项指标均居世界第一。

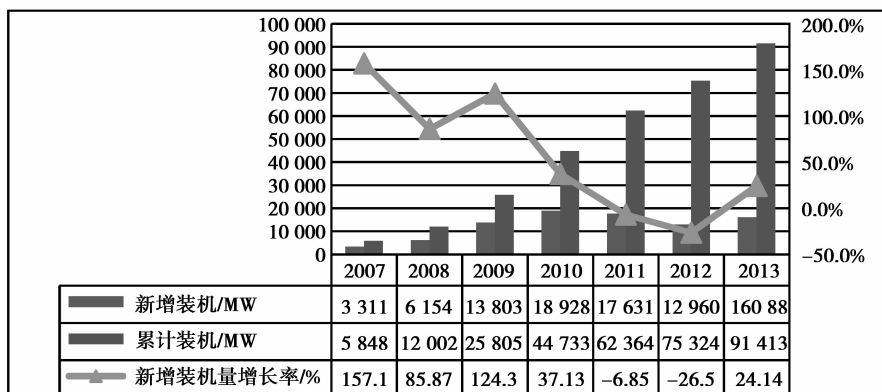


图 1 2007—2013 年中国风电装机量

Fig.1 Installed wind power capacity of China from 2007 to 2013

图 2 是 2010—2013 年中国大陆各区域风电新增装机及累计装机图。由图 2 可知,中国风电开发区域主要集中在华北、西北、东北和华东地区,这些区域风电装机容量占中国风电总装机量的 90% 以上。随着低风速、高原及海上风电技术的不断成熟,中国中南、西南及华东地区的风电装机容量将会持续增加。

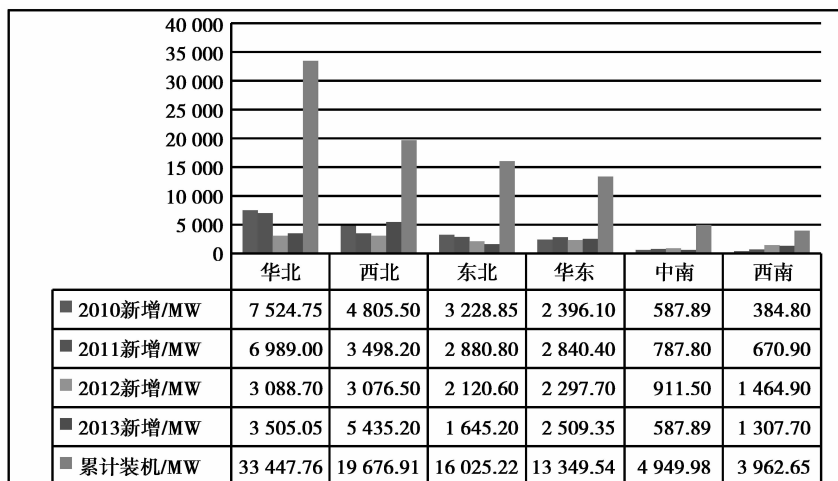


图 2 2010—2013 年中国大陆各区域风电装机

Fig.2 Wind power installed of China mainland from 2010 to 2013

图 3 为 2010—2013 年中国风电发电量及增长率图。由图 3 可知,近几年中国风电发电量保持较高速增长,2013 年发电量达到 1 349 亿 kW·h,同比增长 34%, 占有所有发电量的 2.5%。预计未来几年,随着风电装机容量的不断增长及电网建设的不断推进,中国风电规模将进一步扩大。

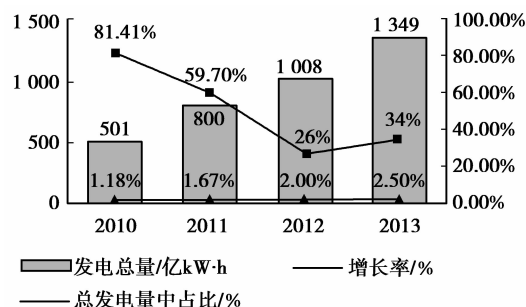


图 3 2010—2013 年中国风电发电量及增长率  
Fig.3 Wind power generating capacity and the growth rate of China from 2010 to 2013

### 3.2 国内风机制造商不断发展壮大

随着风电产业的发展,中国风机制造商不断壮大起来,国产风电设备不仅占据了国内市场,而且已经走向国门。2003 年,外资风机制造商占中国市场份额的 86%,10 年后的 2013 年,国内风机制造商的市场份额已上升至 94.16%,大陆风电新增装机排名前 10 位的制造商全部是国内企业。2013

年,中国已有8家风机制造商进入世界前15强,这8家企业的全球装机容量达11 718.7 MW,占2013年全球新增装机的36.8%,其中金风科技全球名列第二,占2013年全球新增装机的12.9%,已接近维斯塔斯全球第一的15.35%<sup>[6]</sup>。随着国内市场的复苏和国际市场的进一步开拓,中国风机制造商的世界地位和装机份额将进一步提升。

#### 4 亟待解决的问题

1) 缺乏顶层设计和路线指引。在快速成长的同时,中国风电产业也面临着多重挑战和诸多掣肘。首先是缺乏顶层设计和路线指引,存在规划不完善、资源摸底不详尽、区域格局规划不明朗问题,需要国家尽早解决。

2) 弃风限电严重。由于中国电网建设滞后于风电场建设、当地风电负荷水平较低、灵活调节电源少、跨省跨区市场不成熟等原因,使得风电消纳问题凸显,弃风限电问题严峻。2013年,中国有多达162亿kW·h风电因无法并网外送或当地消纳而被迫放弃,占风力发电总量(1 349亿kW·h)的12%,其中甘肃省2013年弃风电量31.02亿kW·h,占全国弃风电量的19.11%,弃风率达20.65%<sup>[8]</sup>。弃风限电是困扰风电产业发展的一大难题,也是亟待解决的问题。

3) 自主研发能力不足。风力发电火爆时,国内许多企业为了快速具备风机生产能力,购买国外厂商的许可证,本身自主研发能力十分薄弱,缺乏基础研究积累和人才,导致产品质量与可靠性同国外主流产品的差距很大,曾一度出现高装机容量、低发电量的尴尬局面。近几年这种情况有较大改观,但是自主研发能力仍然严重不足,整机及零部件一些关键设计制造技术仍然依赖国外,低层次技术的同质化竞争还很严重。

4) 部分重要零部件依赖进口。中国风电机组的增速齿轮箱、电机等重要零部件已经实现国产化,但是仍有一些重要零部件,如兆瓦级增速齿轮箱轴承、变流器、控制系统严重依赖进口。兆瓦以上增速齿轮箱轴承几乎全部依赖进口,主要厂商有瑞典SKF、德国FAG等。这种重要零部件依赖进口的局面不改变,中国就很难成为风电设备制造强国。

5) 风电设备存在质保“困局”。截至2013年12月31日,中国并网运行的风电机组已达6.2万台,其中2012年以前安装的机组约4.6万台。按照以往市场上机组供应合同的约定,2012年前安装的风电机组应有74%左右已出或接近出质保期<sup>[8]</sup>。实际上,仍有将近3.4万台机组中的质保金被押而没有回到风电制造商手中,涉及金额超过200亿元。质保金被押已经严重影响制造商运营,甚至让一些制造商处于无法生存的境地。例如,某知名企业2012年之前的质保金占款超过20亿元,是其2013年全年利润的5倍。这种状况不仅让该企业在质保期间的机组维护“缺血”,而且影响了改进产品质量和新技术研发,几乎动摇了企业生产经营的基础。

#### 5 超速发展后的警醒

表1给出了国内风机制造龙头企业华锐风电和金风科技2010—2013年的业绩情况。从表1可以看出,两家公司发展战略不同,业绩截然不同,调整期过后的结果也截然不同。金风科技走稳步发展的道路,因此,在重点调整期的2011年和2012年,虽然营业收入和净利润均有较大幅度下降,但净利润一直为正,而且2013年就走出了困境。华锐风电实施扩张型战略,其“三三五一”计划要三年进入世界前三,五年位居世界第一。盲目扩张使华锐风电营业收入从2010年的203.25亿元降至2012年的40.18亿元,净利润从2010年的28.56亿元到2012年亏损5.83亿元,2013年又巨亏34.46亿元,2014年不仅受到了退市警示,目前还面临着公司债可能违约的窘境。

2011年以来,中国许多风电设备制造企业在巨额亏损,许多企业难以生存不得不倒闭。中国风电产业超速发展过程中凸显的问题值得深思和警醒。企业忽视技术进步、产品可靠性等内在核心竞争力的培育,以低价竞争方式占领市场,盲目扩张是行不通的。

表 1 2010—2013 年华锐风电与金风科技业绩

Tab.1 Achievement of Sinovel Wind and Goldwind Science and Technology from 2010 to 2013

年度 公司	2010 年		2011 年		2012 年		2013 年	
	华锐	金风	华锐	金风	华锐	金风	华锐	金风
营业收入/亿元	203.25	175.95	104.36	128.43	40.18	113.24	36.61	123.08
营收同比增长/%	48.03	63.86	-48.66	-27.01	-61.5	-11.83	-8.87	8.69
净利润/亿元	28.56	22.89	5.99	6.07	-5.83	1.53	-34.46	4.28
净利润同比增长/%	50.87	31.16	-72.84	-73.5	-197.31	-74.77	-491.45	179.41
每股收益/元	3.17	0.98	0.39	0.225 2	-0.14	0.056 8	-0.86	0.158 7
新增装机/MW	4 386	3 739.5	2 945	3 600	1 500	2 800	896	2 200

注:表中 2011 年华锐净利润调减了约 1.68 亿元的虚假利润。

## 6 发展前景分析与建议

### 6.1 发展前景分析

1) 风电产业将稳步增长。目前风电核准项目储备充足。随着 2014 年“十二五”第四批拟核准风电项目计划的审批,中国风电累计核准容量达到约 165 GW,其中仍有约 90 GW 的风电项目在建,足可支撑未来数年内国内风电产业发展需求。另外,从洗牌后中国风电产业结构将逐渐趋于合理、越来越严重的雾霾天气将促使国家对新能源的投入力度不断增强以及海外市场将不断拓展这三方面考虑,预计中国风电产业将保持稳步增长的态势,增长率在 20%左右。

2) 直驱型机组市场份额逐渐增大。长期以来,非直驱风力发电机是并网型风电的主要机型。因直驱型风电机组具有效率高、故障率低、运维成本低等优点,近年来直驱发电机组装机呈现了增长的势头。2013 年,全球超过 15 个风机供应商为风电市场提供直驱风电机组,目前直驱机组所占整个风电机组 28.1%的份额<sup>[7]</sup>。2013 年,中国共有 8 家整机企业供应了 3 052 台无齿轮箱直驱式风电机组,已占总供应量的 32.6%<sup>[7]</sup>。

3) 中小型风力机将迎来发展新契机。近年来,中国中小型风机得到了较快的发展,应用范围不断扩大。中小型风机具有成本低、安装便利、维护方便等优点,被广泛应用于偏远地区发电,街道照明和移动通信供电等。另外,农业部“美丽乡村”建设工作积极支持小型风力发电系统在农村的应用,这也为中小型风机的发展带来了新的机遇。中小型风机与太阳能电池结合作为最合理的独立电源可开发更多的应用领域,包括风光互补便携式电源、风光互补泵水系统、风光互补增氧系统、风光互补供暖系统、风光互补海水淡化系统、风光互补景观照明系统等<sup>[9-12]</sup>。随着中小型风机产品的多样化,风光互补独立供电系统在市政项目、边防哨所、偏远地区会得到广泛应用。

4) 垂直轴风力机前景广阔。垂直轴风机具有结构简单、噪声低、维护方便、寿命长、适用范围广等优势,近年来研究越来越多<sup>[13-15]</sup>。目前,垂直轴风机的研究主要集中在提高风能利用率、提高风机的自启动性、提升风机零部件的抗疲劳强度等方面。例如,为提高风机的自启动性能,孙海平<sup>[16]</sup>发明了“大型磁悬浮圆轨道风力发电机”,唐山市拓又达公司开发了垂直轴无铁芯稀土永磁风力发电机<sup>[17]</sup>;为提高垂直轴风机的风能利用率,提出了变桨距垂直轴风机<sup>[18-19]</sup>等。随着技术的不断进步,垂直轴风机风能利用率和自启动性能会得到显著提升,垂直轴风机应用前景广阔。

总之,中国风电产业已经走过了一条曲折发展之路,以后仍将曲折前行。从环境治理、技术进步、低风速资源利用等方面来看,持续、稳步发展是必然的;从目前存在问题的复杂性、长期性以及市场引导的局限性、产业政策有时的不连续性等方面考虑,发展之路仍不可避免是曲折的。

### 6.2 几点建议

1) 做好顶层设计和规划。建议国家从可持续发展的高度,尽快研究制定新能源发展战略及路线图,编制出台新能源各领域“十三五”规划,着力从规划、审批层面解决弃风限电等突出问题,通过扩大资源配置范围、加快蓄能电站建设等手段实现电网跨区互补、多种电源互补,并抓紧研究以清洁能源供热的相关扶持政策,实现电力系统的优化。

2) 加强风电行业标准、规范和公共服务体系建设。建议国家加大对风电产业公共服务体系建设的投入, 积极制修订风电整机、零部件及相关材料的技术标准和规范, 建立健全检测与认证体系, 尽快建成若干个国家级风电行业创新与服务平台。

3) 研究推进电能替代战略。电能替代战略将会明显改善城市雾霾, 并提高能源开发和利用效率。研究表明: 电能占终端能源消费的比重每提高 1 个百分点, 单位 GDP 能耗可下降 4%。因此, 建议实施“以电代煤、以电代油”等电能替代战略, 以便通过提高用电而不是直接烧煤烧油, 减少城市大气污染物排放, 缓解雾霾困扰。

#### 参考文献:

- [1] 中国风电行业发展历程回顾[EB/OL]. (2013-8-27) [2014-10-11]. <http://ind.chyxx.com/201308/217542.html>.
- [2] 孙瑜. 风电设备国产化之路[J]. 电力设备, 2005, 6(10): 111-112.  
SUN Yu. The road to home-made wind power equipment[J]. Electrical Equipment, 2005, 6(10): 111-112.
- [3] 杨尔庄. 液压技术在风力发电中的应用概况[J]. 液压气动与密封, 2006(2): 1-4.  
YANG Erzhuang. Application of hydraulic technology in the field of wind turbine[J]. Hydraulics Pneumatics & Seals, 2006(2): 1-4.
- [4] 李俊峰, 等. 2011 中国风力发展报告[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [5] 施鹏飞. 2013 中国风电产业总结[J]. 中华新能源, 2014: 5-13.
- [6] 郑方羽. 维斯塔斯节节败退[J]. 中外合资, 2014(9): 62-63.  
ZHENG Fayu. Vestas retreat[J]. Foreign Investment in China, 2014(9): 62-63.
- [7] 李俊峰, 蔡丰波, 乔黎明, 等. 2014 中国风力发展报告[R]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014: 1-70.
- [8] 陆宇. 风电机组 200 亿质保金困境待解[N]. 21 世纪经济报道, 2014-6-10.
- [9] 潘庭龙, 吴定会, 纪志成, 等. 便携式风光互补独立电源装置: 中国, 201010116422.7 [P]. 2010-6-16.
- [10] 孙彦君, 尹钢吉, 滕云, 等. 风光互补发电和提水两用机组的研究[J]. 水利水电技术, 2012, 43(2): 79-81, 93.  
SUN Yanjun, YIN Gangji, TENG Yun, et al. research on wind and solar powers mutually complemented generating-pumping dual purpose unit[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2012, 43(2): 79-81, 93.
- [11] 时剑. 一种风光互补自动增氧器: 中国, CN203896250U [P]. 2014-10-22.
- [12] 王志新, 刘立群, 张华强. 风光互补技术及应用新进展[J]. 电网与清洁能源, 2008, 24(5): 40-45.  
WANG Zhixin, LIU Liqun, ZHANG Huaqiang. New development of wind and pv hybrid technology and application[J]. Power System and Clean Energy, 2008, 24(5): 40-45.
- [13] 杨益飞, 潘伟, 朱焯秋. 垂直轴风力发电机技术综述及研究进展[J]. 机械工程学报, 2013, 24(5): 703-709.  
Yang Yifei, Pan Wei, Zhu Huangqiu. An overview and recent research progresses of vertical axis wind turbine[J]. China Mechanical Engineering, 2013, 24(5): 703-709.
- [14] 莫晓聃, 李涛. 垂直轴风力机概述及发展优势剖析[J]. 节能技术, 2010, 28(5): 450-453.  
MO Xiaodan, LI Tao. Types and Development Advantages of Vertical Axis Wind Turbine [J]. Energy Conservation Technology, 2010, 28(5): 450-453.
- [15] Dabiri JO. Potential order of magnitude enhancement of wind farm power density via counter rotating vertical axis wind turbine arrays[J]. Journal of Renewable and Sustainable Energy, 2011(4): 1-12.
- [16] 孔和平. 大型磁悬浮圆轨道风力发电机: 中国, ZL201010526558.5 [P]. 2010-10-19.
- [17] Islam M R, Mekhilef S, Saidur R. Progress and recent trends of wind energy technology [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 21: 456-468.
- [18] 严强. 垂直轴风力发电机大型化的可行性研究[J]. 风能产业, 2014(2): 12-14.  
YAN Qiang. feasibility study of large-scale vertical axis wind turbine[J]. wind energy industry, 2014(2): 12-14.
- [19] 张立勋, 梁迎彬, 等. 垂直轴风力机主动式变桨距控制规律[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2013, 44(6): 2561-2568.  
ZHANG Lixun, LIANG Yingbin, WEI Yuexiao, et al. Active variable-pitch control laws for vertical axis wind turbine[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2013, 44(6): 2561-2568.