



THE EVOLUTION
AND
DEVELOPMENT
OF CHINA'S
WIND POWER INDUSTRY

中国

风电产业的演化与发展

王正明 著



本书由江苏大学专著出版基金资助

中国

风电产业的演化与发展

王正明 著

THE EVOLUTION
AND
DEVELOPMENT
OF CHINA'S
WIND POWER INDUSTRY



江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

中国风电产业的演化与发展/王正明著. —镇江:
江苏大学出版社, 2010. 11
ISBN 978-7-81130-192-2

I. ①中… II. ①王… III. ①风力发电—电力工业—
研究—中国 IV. ①F426.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 216449 号

中国风电产业的演化与发展

著 者/王正明

责任编辑/段学庆

出版发行/江苏大学出版社

地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)

电 话/0511-84440890

传 真/0511-84446464

排 版/镇江文苑制版印刷有限责任公司

印 刷/丹阳市兴华印刷厂

经 销/江苏省新华书店

开 本/890 mm×1 240 mm 1/32

印 张/7.25

字 数/188 千字

版 次/2010 年 12 月第 1 版 2010 年 12 月第 1 次印刷

书 号/ISBN 978-7-81130-192-2

定 价/22.00 元

如有印装质量问题请与本社发行部联系(电话:0511-84440882)

前 言

人类社会的发展正面临着日益严重的能源短缺和环境破坏等问题,可持续发展、清洁发展已成为时代的共识。与传统能源相比,风能作为一种在全球范围内广泛分布的清洁、永续能源,其有效利用不仅可以摆脱对不可再生的化石能源的依赖,化解常规电力燃料短缺风险,保证发电成本的稳定,而且可以从根本上解决常规能源发电所带来的硫、粉尘、碳排放等环境破坏问题。从技术角度来看,目前,风力发电已成为世界上公认的、除了水电之外最具有大规模商业开发价值的可再生能源利用技术。因此,风力发电作为有效减缓气候异常问题、提高国家能源安全性、促进低碳产业经济增长的有效方案,得到了各国决策部门、投融资机构、技术研发单位以及项目开发商的高度青睐,风力发电已经成为世界众多国家可持续发展能源战略的重要组成部分。

近年来,国内外风力发电的发展速度大大超出了人们的预期,增长惊人。据统计,在过去 10 年中风力发电装机容量年平均增长率达到 28%,2008 年底,全球风电装机容量累计达到 12 118.8 万千瓦,2009 年末,全球风电累计装机容量突破 1.5 亿千瓦,达到 15 921.3 万千瓦。我国具有丰富的风能资源,陆地及近海风能资源的技术可开发量保守估计在 10 亿千瓦。近年来,我国政府高度重视可再生能源产业的发展,相继出台了以《可再生能源法》为核心的一系列促进风电产业发展的政策法规,风电装机容量出现了“爆炸式”的增长。截至 2009 年底,我国累计风电装机容量在经过连续 4 年的翻番之后已达到 2 580.53 万千瓦,在世界各国的排名中提升到第 2 位。随着风电装机容量的扩张,

我国风电设备制造业的发展也是异军突起。到 2007 年底,我国风电制造及相关零部件企业已经达到 100 多家,2008 年国产风电设备累计装机容量占国内风电市场的份额已经超过了 60%。这些数据表明,我国风电产业已经开始进入规模化发展的新阶段,不仅风电市场容量得到极大扩展,形成了全球最大的风电市场,而且风电设备制造技术的引进、消化吸收和再创新的速度不断加快,全球重要风电设备制造基地的雏形已经形成。然而,我国风电产业发展也正面临着一些风险和挑战,其中风电设备制造业的国际竞争能力还十分薄弱,关键技术受制于人其缺乏竞争力的最主要的方面。因此,在中国风电市场已经打开,巨大的市场潜力正吸引国内外投资者展开激烈竞争和角逐的情况下,研究我国风电产业链培育、发展的路径与对策,特别是探索我国风电设备制造业如何建立强大国际竞争能力的机制和途径,就显得特别重要。

我国风电产业的发展面临着风电投资成本与收益不对称的矛盾。运用成本收益分析方法建模分析表明,目前制约我国风电产业持续健康发展的经济问题主要有两个方面:一是风电投资成本相对较高,制约着风电投资价值的提高;二是风电价格相对较低,不能吸引社会资金的广泛参与。在风电投资成本构成因素中,风电设备价格和融资费用影响最大,是成本控制的主要因素。因此,要解决风电投资成本高的问题,就要从提高风电设备国产化水平,完善风电投融资体制等方面进行扶持,并有效整合风电产业链资源、提升风电产业价值层次。只有加强风电产业链的培育和支持,才能降低风电设备价格和风电投资的成本。而解决风电价格相对较低的问题,则要以解决常规电力外部效应内部化为核心,逐步完善风电价格形成机制,提高风电投资的价值。

我国风电产业链的发展空间巨大,具有充分发挥风电设备制造规模效应的潜在优势。基于 Logistic 模型和学习曲线构造的风电产业演化模型仿真分析表明,我国风电产业链的发展前景广

阔:一是在今后几十年(2030年之前),我国风电装机容量都将保持较高的综合增长速度,风电市场持续扩张能力很强;二是风电设备制造业发展潜力巨大,如果仅满足国内风电市场的需求,那么我国风电设备制造业在短期内就有条件形成规模效应,大幅降低风电设备价格;三是随着学习效应的发挥,我国风电投资成本还有很大的降低空间,从而大大增强风电产业的市场竞争力。

促进我国风电设备制造业的发展,需要加强保护和选择恰当的培育模式。与世界先进水平相比,我国目前的风电产业,特别是风电设备制造业,其技术水平还处在相对落后的地位。面对风电设备制造大国激烈的竞争,以适度关税措施为例的风电设备制造业保护的博弈分析模型表明,对于风电设备制造业这样一个新兴的幼稚产业,建立必要的和适度的产业保护措施是十分重要的。在风电设备制造业发展模式的选择上,恰当的产业链培育模式对我国风电设备制造业的发展影响很大,我们应在发展中更加注重提升产业创新能力,坚持引进消化与自主创新的有机结合,避免走“用市场换不来先进技术”的老路。

合理的风电价格应能准确反映风电成本构成与需求变动情况。通过对风电价格形成机制的分析可以发现,实质上风电价格的形成更具有市场化的基础,但现实中又不具备完全市场化的条件,关键是与风电形成竞争关系的常规电力在现实中尚未将外部成本内部化。从优化我国风电价格形成机制上看,常规电力外部成本内部化是形成合理风电价格的关键,价格补贴是现行合理风电价格形成的现实途径,市场化管制比直接行政管制更具有优越性。风电价格形成机制的优化,应变“招标定价”为“招标定商”,继续完善特许权招标规则,统一风电项目优惠政策,建立与化石能源稀缺程度相联系的长期的电价联动机制,并继续完善影响风电价格形成的配套政策和措施。这不仅需要从国家战略、产业政策的高度作出科学规划,而且需要从配套制度、服务体系以及市场制度等方面不断进行完善;这不仅需要理清风电产业链发展的

纵向和横向关系,及时解决产业发展中存在的问题,还需要把握风电产业演化的规律,建立起有利于风电产业链成长和发展的强有力的保障机制。

由于风电产业链之间技术关联程度大,资产专用性强,因此风电产业链的线性结构明显,一个环节的负外部性都有可能危害整个产业链,再加上处在快速扩张时期的风电产业规模经济性明显,风电产业链的整合势在必行,尤其是在风电产业分化发展到一定程度以后,前瞻性地建立与产业整合相适应的机制和经济规制政策就显得十分重要。

展望我国风电产业的发展,其成长空间和市场潜力是十分巨大的,我国风电产业在未来几十年中还将保持较快的增长速度,完全有可能成为新的世界风电龙头。但是,一个新兴产业的发展会受到种种不确定性因素的制约,从发生概率上虽然可以预测其成长和发展趋势,但谁也无法准确预知其未来。因此,本书的研究只能说是为以后的深入探索做了一些基础性的工作,许多风电产业链发展中的新问题,尤其是风电产业链进一步整合和演化问题,都非常值得我们继续深入研究探讨。

目 录

1	导 论	001
1.1	大型并网风力发电系统简介	003
1.1.1	风力发电机组	004
1.1.2	风电控制系统	006
1.1.3	风电配套系统	008
1.2	主要内容与结构安排	010
1.2.1	研究思路	010
1.2.2	主要研究内容	011
1.3	本章小结	012
2	风电产业链发展问题研究概况	015
2.1	相关重要概念的界定	015
2.1.1	风电产业链	015
2.1.2	垂直与水平一体化	016
2.1.3	产业链整合	017
2.1.4	经济规制	017
2.2	风电产业发展前景和战略	018
2.3	风电投资成本构成及变动	021
2.4	风力发电的运行价值	023
2.5	风电价格形成机制	024
2.6	本章小结	025

3 产业链的控制、整合与规制 027

3.1 产业链垂直控制的结构与效率 027

3.1.1 产业链垂直控制的市场结构 027

3.1.2 产业链垂直控制的策略选择 028

3.1.3 产业链垂直控制的效率 029

3.2 产业链垂直控制的主要动机 031

3.2.1 技术因素 032

3.2.2 市场不完全因素 032

3.2.3 交易成本节约因素 034

3.3 产业链整合理论 035

3.3.1 产业组织理论的研究 035

3.3.2 交易费用理论的研究 037

3.3.3 企业能力理论的研究 039

3.4 经济规制理论 040

3.4.1 垄断的效率损失与规制 040

3.4.2 外部性的效率损失与规制 042

3.4.3 不完全信息的效率损失与规制 046

3.5 本章小结 047

4 全球风电产业链的发展现状 052

4.1 世界风电装机容量发展概况 053

4.2 我国风能资源分布及利用现状 059

4.2.1 我国风能资源分布状况 059

4.2.2 我国风能资源利用的现状 061

4.3 世界风电设备制造业发展概况 064

4.4 我国风电设备制造业发展现状 067

4.4.1 我国风电整机生产厂商的发展情况 067

4.4.2 我国风电零部件厂商的发展情况 074

- 4.4.3 目前我国风电设备制造业面临的突出问题 077
- 4.5 本章小结 080
- 5 风力发电的成本与收益 082**
 - 5.1 风电投资成本构成 082
 - 5.1.1 风电项目投资总成本 082
 - 5.1.2 风电项目投资单位成本 083
 - 5.2 风电投资的经济性考量 084
 - 5.3 风电项目运行的成本构成 088
 - 5.3.1 风电项目运行成本的特点 088
 - 5.3.2 风电项目运行成本模型 089
 - 5.4 风电节能减排贡献的测算 091
 - 5.4.1 节能贡献的测算 091
 - 5.4.2 减排贡献的测算 093
 - 5.5 本章小结 094
- 6 中国风电产业链的演化 096**
 - 6.1 风电产业链演化模型的构建 096
 - 6.1.1 将 Logistic 模型应用于风电产业链演化分析 097
 - 6.1.2 将学习曲线应用于风电产业链演化分析 103
 - 6.2 模型参数的确定及计算流程 104
 - 6.2.1 Logistic 模型经验参数的确定 105
 - 6.2.2 风电产业演化的 Logistic 模型计算流程 108
 - 6.3 Logistic 方程模型仿真结果分析 109
 - 6.3.1 无激励的风电产业链演化仿真分析 111
 - 6.3.2 有激励的风电产业链演化仿真分析 113
 - 6.4 本章小结 118

7 风电产业链的培育与发展模式选择 120

7.1 风电产业链保护的博弈分析模型 121

7.1.1 问题的提出 121

7.1.2 建立模型 123

7.1.3 求解模型的均衡解 124

7.1.4 结果分析 128

7.2 我国风电产业链培育模式的选择 129

7.2.1 一体化与有限联合模式 129

7.2.2 自主开发模式与引进改造模式 130

7.2.3 产业发展模式的比较 131

7.3 我国风电设备制造业的培育与发展思路 132

7.3.1 加强对我国风电设备制造业有效保护 132

7.3.2 不断拓宽我国风电设备制造业培育和发展之路 134

7.4 本章小结 137

8 风电价格形成机制优化 139

8.1 我国风电上网价格形成机制分析 139

8.1.1 我国风电上网价格制度的演变 139

8.1.2 我国现行风电上网价格水平 140

8.1.3 我国现行风电上网价格形成机制分析 142

8.2 风电上网价格形成机理分析 145

8.2.1 合理的风电价格能准确反映风电成本构成与需求变动 145

8.2.2 常规电力外部成本内部化是形成合理风电价格的关键 146

8.2.3 价格补贴是现行合理风电价格形成的实质内容 146

8.2.4	市场化管制比直接行政价格管制具有更多的优越性	147
8.3	完善我国风电价格形成机制	147
8.3.1	近期措施	147
8.3.2	长效措施	149
8.4	本章小结	151
9	风电产业链的有效整合与发展	153
9.1	风电产业链的类型结构、整合形式与整合动机	153
9.1.1	产业链的类型与结构	153
9.1.2	传统产业链整合的主要方式	157
9.1.3	风电产业链整合的主要动机	159
9.2	我国风电产业链的有效整合	161
9.2.1	风电产业链整合的趋势与路径	161
9.2.2	我国风电产业链有效整合的制度创新	164
附录 1	世界主要风电大国装机容量排名	168
附录 2	世界主要风电大国历年装机情况	169
附录 3	2000—2009 年中国风电装机容量	171
附录 4	2002—2009 年中国风电设备市场新增份额	173
附录 5	2002—2009 年中国风电设备市场累计份额	175
附录 6	中国风电场分布及装机情况一览	177
附录 7	全国风电设备总装企业基本情况(含合资、独资企业)	197
参考文献		204
后 记		216

随着低碳经济发展模式的进一步推广和可持续发展理念的逐步形成,开发可再生能源已成为人类社会缓解能源与环境压力的大势所趋。风力发电所依赖的风能资源是一种广泛分布的清洁、永续能源。与传统能源相比,风力发电不需要外部矿石资源的支持,既没有燃料价格风险,又没有碳排放等环境成本,发电成本稳定,是一种典型的环境友好型能源利用方式。近年来,随着风力发电技术的不断进步,特别是大型并网风电技术的成功推广,风力发电已经成为在所有可再生能源中除了水力发电之外,世界公认的、最具有大规模商业开发价值的可再生能源利用项目之一。因此,风力发电作为全球目前最有效的减缓气候变化、提高能源安全、促进低碳产业经济增长的方案,得到各国政策制定机构、投融资机构、技术研发机构、项目开发商的高度重视。目前,世界主要发达国家以及许多发展中国家都已经将发展风能、太阳能等可再生能源利用作为应对新世纪能源和气候变化双重挑战的重要手段。

近年来,风力发电的发展速度大大超过了人们的预期,其增长速度惊人。根据全球风能理事会(GWEC)的统计,过去10年中大型风电装机容量平均年增长率达到28%,2009年底,全球装机总量累计达到15 921.3万千瓦,平均每年新增超过2 000万千瓦,每年在该领域的投资额达到了200亿欧元。

我国风能资源储量居世界首位,保守估计的可开发装机容量就达到10亿千瓦。同时,中国政府也十分重视风力发电产业的培育和发展,在“十一五”发展规划部署中就将开发新能源作为重

要的战略环节,并将风力发电作为改善能源结构、应对气候变化和能源安全问题的重要技术予以扶持。2006年颁布并实施了我国历史上第一部《可再生能源法》,随后陆续出台了一系列与《可再生能源法》相配套的法规。这些政策措施的落实极大程度上推动了中国风电产业的发展。2006—2009年我国(除台湾省外)累计风电装机容量连续四年翻番,2008年超过1 000万千瓦大关,达到1 201.96万千瓦,2009年,我国(除台湾省外)新增风电装机10 129台,新增装机容量达1 380.32万千瓦,超过美国,排名世界第一。与2008年当年新增装机615.37万千瓦、累计装机1 201.96万千瓦相比,2009年新增装机增长率达124.3%,累计装机增长率达114.8%,连续第四年翻番。参照全球风能理事会对全球风电装机的统计数据,2009年底我国(除台湾省外)累计风电装机容量为2 580.53万千瓦,世界排名由2008年的第四位上升到第二位。中国已经进入风电产业大发展时期,成为全球最大的风电市场之一。

我国风电市场的扩大直接促进了国产风电设备制造业的发展。近年来,国产风电机组装备制造能力得到大幅提高。据不完全统计,至2007年底,我国风电制造及相关零部件企业达100多家,在当年风电的新增市场份额中国产设备占55%,比2006年提高了10个百分点;2008年国产风电设备的新增装机容量市场份额进一步提高,达到75.4%,累计装机容量市场份额首次过半,达到61.6%;2009年风电机组制造市场集中度更是明显提高,华锐、金风、东汽保持市场“三甲”位置,新增装机容量占市场的59.7%。同时风电设备制造规模效应开始显现,风机单位千瓦报价已从2007年6 800元降至5 000元左右。此外,2009年国产风机开始走出国门,总计出口20台,共287.5万千瓦。在风电开发建设方面,我国已经建成200多个风电场,掌握了风电场运行管理的技术和经验,培养和锻炼了一批风电设计和施工的技术人才,为风电的大规模开发和利用奠定了良好的基础。经过多年努

力,当前我国并网风电已经开始步入规模化发展的新阶段。

但是,中国风电产业的迅猛发展并不能掩盖产业自身发展所面临的巨大风险和挑战,特别表现在风电装机容量超高速增长与风电设备制造业的国际竞争力薄弱的矛盾将长期存在,并将严重制约我国风电产业链的延伸和产业带动效应的提高。中国风电市场已经打开,巨大的市场潜力吸引着国内外投资激烈竞争、相互角逐,如何在开放的经济格局下培育、建立和完善我国的风电产业链,特别是建立起具有强大国际竞争力的风电设备制造行业,这就要求我们既要国家从战略、产业政策的高度作出科学规划,又要从配套制度、服务体系以及市场制度等方面填补空白,加强管理;既要立足于理清目前风电产业发展中的各种关系,及时解决发展中存在的问题,又要从长计议,建立起有利于风电产业链成长和发展的强有力的保障机制。这不仅仅是风力发电技术层面上的问题,也不完全是国家决策的问题,更是一个新兴产业发展过程中必须面对的、系统性的、涉及众多学科和领域的科学管理问题,需要管理科学为之作出贡献。本书将风电产业链作为一个整体,从产业链的成长、培育、发展角度来研究我国风电产业链的培育和发展问题,并分别对风力发电场建设、风电机组制造及其零部件生产、风电产业服务体系等产业链环节进行研究,以便体现管理科学的综合性、系统性和实际应用价值。

1.1 大型并网风力发电系统简介

风力发电是指利用风力发电机组直接将风能资源转化为电能资源利用方式。从风力发电规模和电力传输、利用方式上看,目前的风力发电有小型离网式风电和大型并网式风电之分。小型离网式风电是由单个小型风力发电机组与蓄电池、逆变装置等组成的独立的供电系统。大型并网式风电则是由多个大功率(兆瓦级)风力发电机组,通过电力控制设备将所发电力输入电网

系统,从而被终端用户所利用的大型电力系统。由于小型风电系统本身的限制,在解决能源替代问题上小型离网式风电系统只能作为一种补充形式,大型并网式风电系统才是今后发展的方向。

从技术角度看,大型并网式风力发电系统主要包括三个部分:风力发电机组(包括风力发电机、机舱、塔架、控制器等),风电控制系统(包括主控系统、监控系统、变桨控制系统和变频控制系统等),风电配套系统(包括安装风力发电机组以及辅助设备的基础、厂房、道路等)。风力发电机的构成如图 1-1 所示。

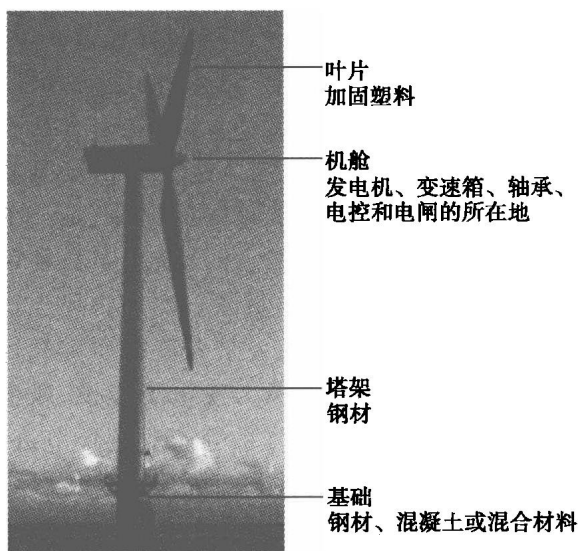


图 1-1 风力发电机构成

1.1.1 风力发电机组

虽然风力发电辅助设备和其他配套设施是风电系统不可缺少的重要组成部分,但风力发电机组始终是风电系统的核心。风力发电机组作为风电系统的核心部分,一般占风电场初始建设投资的比例为 60%~80%。

从结构上看,风电机组大致包括以下子系统:风轮、增速齿轮

箱、发电机、塔架控制设备、电缆、地面支撑设备、各子系统连接设备等。

风轮是将风能转换为机械能的装置,它由气动性能优异的叶片(目前商业机组一般为三个叶片)装在轮毂上所组成。低速转动的风轮通过传动系统由增速齿轮箱增速,将动力传递给发电机,发电机最终将传递过来的动力转变成电能。所有这些部件都安装在机舱中,并由高大的塔架举起。由于风向经常发生变化,为了有效地利用风能,风电机组还必须配备迎风装置。迎风装置的作用是根据风向传感器测得的风向信号,由控制器控制偏航电机来驱动与塔架上大齿轮咬合的小齿轮转动,从而使机舱始终迎风而立。

风力发电机组及其零部件的设计和生产涉及多学科交叉和配合,需要综合运用空气动力学、电机制造、液压传动和计算机自动控制等理论和技术。其中,机组的整体设计、叶片材料和加工技术、自动化控制系统、液压和传感技术等都是关键技术。

按主轴装置形式,风力发电机组一般可分两大类:一类是垂直轴风力机,其转轴与来风方向垂直,这种类型的风力发电机组目前在商用机市场上不多见。另一类是水平轴风力机,其转轴与来风方向平行,它是目前大型风电机组中最为常见的类型。

按调节类型来划分,风力发电机组又可分为定桨距失速调节型和变桨距调节型两大类。

(1) 定桨距失速调节型风力发电机

定桨距是指叶片被固定安装在轮毂上,其桨距角(叶片上某一点的弦线与转子平面间的夹角)固定不变;失速调节是指桨叶翼本身具有的失速特性,当风速高于额定值时,气流的攻角增大到失速状态,使桨叶的表面产生涡流,效率降低,从而达到限制转速和输出功率的目的。

这种技术是丹麦风电制造技术的核心,其优点是调节简单、可靠,可以大大简化控制系统,但缺点是叶片重量大(与变桨距风