



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

中国战略性新兴产业 研究与发展

R&D of
China's Strategic
New Industries

风能

Wind Energy

国家发展和改革委员会能源研究所 组编

王仲颖 主编



机械工业出版社
China Machine Press



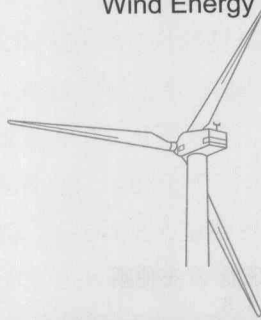
013060028

中国战略性新兴产业 研究与发展

R&D of China's Strategic New Industries

风能

Wind Energy



国家发展和改革委员会能源研究所 组编

王仲颖 主编

F121.3
98
V1



北航

C1667694

F121.3
98
V1

机械工业出版社
China Machine Press

850020210

本书概述了人类开发利用风能的历史，回顾了全球风电产业发展现状，从经济环境效益（能源安全、社会经济发展、环境保护）等方面论述了开发利用风能的重要意义。书中着重揭示了风力与电力系统的特点，全面总结了欧洲和美国等风电发展较好的国家和地区的高比例风电接入经验，提出了解决我国风电并网瓶颈的建议和措施。同时，本书还梳理总结了主要风能开发国家的风电发展经验及对我国的启示。全书最后回顾了我国风电的开发历史和政策框架现状，分析了当前风电行业面临的挑战，提出未来我国风电开发的主要任务，并描绘了 2050 年我国风能开发利用的宏伟蓝图。

本书适合政府官员、企业经营管理者、科研院所的研究人员，以及对风能开发利用感兴趣的人士阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国战略性新兴产业研究与发展. 风能 / 王仲颖
主编. —北京: 机械工业出版社, 2013. 6
ISBN 978-7-111-42594-6

I. ①中… II. ①王… III. ①新兴产业-产业发展-研究-中国②风力能源-产业发展-研究-中国 IV.
① F121.3 ② F426.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 107194 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 刘世博 程足芬 责任校对: 陈延翔

北京宝昌彩色印刷有限公司印制

2013 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

170mm×242mm • 13.75 印张 • 240 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-42594-6

定价: 150.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066

易览网: <http://www.mepfair.com>

销售一部: (010)68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010)88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010)68326643

封面无防伪标均为盗版

《中国战略性新兴产业研究与发展》

编委会

- 主任** 路甬祥 全国人大常委会副委员长、中国科学院院士
- 副主任** 苏波 工业和信息化部副部长
- 王文斌 中国机械工业联合会副会长、机械工业信息研究院院长、机械工业出版社社长

委员 (按姓氏笔画排序)

- 王仲颖 国家发展和改革委员会能源研究所副所长
- 石勇 机械工业信息研究院战略与规划研究所所长
- 付于武 中国汽车工程学会理事长
- 刘忠明 郑州机械研究所副总工程师兼研发中心主任
- 祁俊 中国工程机械工业协会会长
- 李树君 中国农业机械化科学研究院院长
- 李俊峰 国家应对气候变化战略研究和国际合作中心主任
- 肖立业 中国科学院电工研究所所长
- 吴筠 中国机械通用零部件工业协会原理事长
- 何加群 中国轴承工业协会专务委员
- 汪鸣 国家发展和改革委员会综合运输研究所副所长
- 宋天虎 中国机械工程学会常务副理事长
- 张进华 中国汽车工程学会常务副理事长兼秘书长
- 张志英 中国液压气动密封件工业协会原理事长
- 陆力 中国水利水电科学研究院水力机电研究所所长
- 茅仲文 中国工程机械工业协会副秘书长
- 徐和谊 北京汽车集团有限公司董事长
- 徐洪泉 中国水利水电科学研究院水力机电研究所总工程师
- 郭锐 机械工业信息研究院副院长、机械工业出版社副社长
- 盛伯浩 北京机床研究所副总工程师
- 韩文科 国家发展和改革委员会能源研究所所长
- 景晓波 工业和信息化部运行监测协调局副巡视员
- 谢三明 工业和信息化部运行监测协调局监测预测处处长

《中国战略性新兴产业研究与发展·风能》

执行编委会

主 编 王仲颖
副主编 秦海岩 高 虎
撰稿人 刘明亮 时璟丽 赵勇强 袁婧婷
陶 冶 樊丽娟

《中国战略性新兴产业研究与发展》

编委会办公室

主 任 郭 锐（兼）
副主任 李卫玲
成 员 赵 敏 张珂玲 李 晶

序言

全球金融危机和经济衰退发生以来，美欧日俄等各国为应对危机、复苏经济、抢占未来发展的先机和制高点，都在重新审视发展战略，不断加快推进“再工业化”，培育发展以新能源、节能环保低碳、生物医药、新材料与高端制造、新一代信息网络、智能电网、海洋空天等技术为支撑的战略性新兴产业，在全球范围内构建以战略性新兴产业为主导的新产业体系。力图通过新一轮的技术革命引领，重新回归实体经济，创造新的经济增长点。这已成为很多国家摆脱危机、实现增长、提升综合国力的根本出路。可以预计，未来的二三十年将是世界大创新、大变革、大调整的历史时期，人类将进入一个以绿色、智能、可持续发展为特征的知识文明时代。那些更多掌握绿色、智能技术，主导战略性新兴产业方向的国家和民族将在未来全球竞争合作中占据主导地位，赢得全球竞争合作，共享持续繁荣进程中的主动权和优势地位。

为应对金融危机和全球性经济衰退以及日趋强化的能源、资源和生态环境约束，以实现中国经济社会的科学发展、和谐发展、持续发展，党中央、国务院提出加快调整产业结构、转变经济发展方式，加快培育和促进战略性新兴产业发展的方针，出台了《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》以及相关政策举措。可以肯定，未来5~10年将是我国结构调整与改革创新发展的一个新的战略机遇期，将通过继续深化改革，扩大开放，提升自主创新能力，建设创新型国家，实现我国科技、产业、经济由大变强的历史性跨越，我国经济社会发展将走出一条依靠创新驱动，绿色智能，科学发展、和谐发展、持续发展之路，实现中华民族的伟大复兴。

展望未来，高端装备制造、新能源汽车、节能环保、新一代信息技术、生物医药、新能源、新材料、绿色运载工具、海洋空天、公共安全等全球战略性新兴产业将形成十数万亿美元规模的宏大产业，成为发展速度最快，采用高新技术最为密集，最具持续增长潜力的产业群落。战略性

新兴产业的发展需求也将拉动技术的创新突破和产业结构的调整，为包括我国在内的全球经济发展注入新的强大动力。

在世界各国高度重视培育和发展战略性新兴产业的新形势下，编著一套《中国战略性新兴产业研究与发展》图书，借鉴国外相关产业发展的成功经验，对行业发展思路、发展目标、发展战略、发展重点、投资方向、政策建议等方面进行全面、系统研究，凝聚对战略性新兴产业内涵和发展重点的认识，为国家战略性新兴产业发展规划的顺利实施，以及政府和有关部门制定促进战略性新兴产业发展的相关政策和法规提供参考，具有十分重要的现实意义。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书一期包括 12 个分册，对相应产业的阐述、分析均注重强调战略性新兴产业的六个主要特点：

一是**绿色**。战略性新兴产业属于能耗低、排放少、零部件可再生循环的“环保型”“绿色型”产业，无论从产品的设计、制造、使用，还是回收、再利用等整个生命周期的各个环节，对资源的利用效率与对环境的承载压力均要求达到最理想水平。

二是**智能**。新型工业化要求坚持以信息化带动工业化、以工业化促进信息化，即要实现“两化融合”。而“两化融合”决定了智能是未来产业尤其是战略性新兴产业的发展方向。所谓智能，是指制造过程的智能化、产品本身的智能化、服务方式的智能化。这些均是智能的最基本层次，它还具有其他更为丰富的内涵。如：智能电网，通过先进的传感和测量技术、先进的设备技术、先进的控制方法以及先进的决策支持系统技术的应用，可实现电网的可靠、安全、经济、高效、环境友好和系统安全等方面的智能；智能汽车不只是安全智能，还包括节能、减排、故障预警等方面的智能。

三是**全球制造**。随着全球化趋势不断深化，战略性新兴产业的发展成果也必将是由全人类共创共享。新产品的研制开发，不再由一个企业独自完成，需要集成各方面优势资源共同解决。例如 iPhone 在中国完成装配，但它的设计、研发以及许多零部件的供应都是在美国、日本、欧洲等国实现的，其本身就是一个全球化的产品。因而，未来的制造必

然是全球化制造、网络化制造。

四是**满足个性化需求与为更多人分享相结合**。目前中国有 13 亿人口，印度有 12 亿人口，还有巴西、印度尼西亚等新兴国家、发展中国家也都要实现现代化。在全球如此规模庞大的人群中，既存在富裕阶层、高消费阶层，他们的消费需求是个性化、多样化的；又有占比较大的中产阶层、贫困人口，他们的消费需求是基本层次的，但也不能被忽视。两种类型的消费需求必须同时被满足，这不仅是构建和谐社会的需要，而且是构建和谐世界的需要。因此，我国发展战略性新兴产业，应该既要满足中高端个性化的需求，同时又要满足我国与其他发展中国家广大普通消费者的需求。要把个性化的设计、个性化的产品生产，与规模化、工业化的传统生产结合起来，不能完全抛弃传统的规模化生产方式。

五是**可持续**。要使有限的自然资源得以有效、可持续利用，发展利用可再生资源、能源，强调发展再制造、循环经济。无论是原材料使用，还是零部件制造，从研发、设计之初就考虑到了生产中的废料、使用后的遗骸的回收处置，使其能够重新得到循环利用。

六是**增值服务**。培育发展战略性新兴产业需要注意在设计制造过程中与产品售后、使用过程中提供相关增值服务。不应再局限于传统的观念，只注重制造本身，而不注重服务的价值。例如，发展电动汽车产业，必须首先解决好商业模式问题，包括充电桩建设、电池更换、废旧电池回收等服务方面，否则将无法广泛推广。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书内容丰富，资料翔实，观点鲜明，立意高远，并力求充分体现“四性”，即科学性、前瞻性、指导性和基础性。

第一，体现**科学性**。所谓科学性，就是指以科学发展观为指导。科学发展观的核心是以人为本，总体目标是全面、协调、可持续，基本方法是统筹兼顾，符合客观规律。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书既要能够为党中央、国务院提出的加快发展战略性新兴产业的总体战略服务，又不应受到行业、部门的局限，更不能写成规划或某些部门规划的解读材料，而应能够立足于事物客观规律、立足于全局。各分

册编写组同志重视调查、研究，力求对国情、科技、产业及全球相关产业的发展态势有比较准确的把握，努力为我国战略性新兴产业的发展提供一本基于科学基础的好素材。这套图书立足基于我国国情，而不是简单地把发达国家的相关产业信息进行综合、编译，照搬照抄。当然，我国发展战略性新兴产业不能“闭门造车”，而是要坚持开放性，积极参与国际分工合作，充分利用全球优势资源，提高发展的起点和水平。因而，有必要参照国际成功经验与最新发展趋势，但一定要以我国国情和产业特点为根本出发点，加快培育和发展有中国特色的、竞争能力强的战略性新兴产业。

第二，体现**前瞻性**。一是能够前瞻战略性新兴产业的发展，因为这套图书是战略性新兴产业的发展指导书。二是能够前瞻战略性新兴产业技术的发展。为了做好这两个前瞻，必须要适当地前瞻全球经济、我国经济与战略性新兴产业发展的趋势。只讲发展现状是不够的，因为关于现状的资料很多，通过简单地网络搜索即可查到；也不能只罗列国外的某些规划和发展战略。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书的编写注重有深度的科学分析与前瞻性的研究。

第三，体现**指导性**。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书本身就是指导书，能够对产业、对技术、对国家制定政策，甚至在未来国家发展战略与规划的制定等方面发挥一定的引导作用与影响。虽然不能说这套图书可以指导国家战略与规划的制定，但是应该努力发挥其积极的引导作用。

第四，体现**基础性**。所谓基础性，就是指要能够提供战略性新兴产业的基础信息、基础知识，以及我国和有关国家在相关产业发展方面的基本战略，主要的法规、政策和举措，并尽可能提供一些基本的技术路线图。比如在轴承分册，就描述了一个轴承产业发展的路线图。唯有如此，《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书才能满足原来立项的宗旨——不仅要为工程技术界、大学教师、大学生与研究生提供学习参考书，为产业界的技术人员、管理人员提供决策参照，而且要为政府部门的政策法规制定者提供参考。

机械工业出版社是具有 60 年历史的专业性综合型出版机构，改革开放后，随着市场经济的发展，机械工业出版社不断改革转型，不但形成了完善的编辑出版工作流程和质量保证体系，而且编辑人员作风严谨，工作创新。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书不仅是一套科技普及书，更是一套产业发展参考书，必须既要介绍国内外战略性新兴产业的发展情况，又要阐述相关政策、法规、扶植措施等内容。因此，这套图书的组编单位、编写负责人和编写工作人员必须要有相关积累和优势。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书所选的分册主编和作者主要是精力充沛的业内中青年专家，并由资深专家负责相应的编审、校审工作。现在看来大多数工作由中青年同志担当，是完全符合实际的。此外，这套图书的编著还充分发挥了有关科研院所、行业学会和协会的作用，他们的优势在于对行业比较熟悉，并掌握了较为丰富的资料。

最后，特别感谢国家出版基金对《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书的大力支持！感谢全体编写出版人员的辛勤劳动！

期望《中国战略性新兴产业研究与发展》为社会各界了解战略性新兴产业提供帮助，期待中国战略性新兴产业培育和发展尽快取得重大突破，祝愿我国在不久的将来实现由经济大国向经济强国的历史性跨越！

是为序。

浩南祥

2012年2月6日于北京

前言

在全球生态环境恶化和传统化石能源紧缺的双重压力下，寻找并使用环境友好的替代能源已日趋迫切。在可再生能源领域，风力发电因技术相对成熟、最具大规模商业开发条件、成本相对较低而受到各国重视。为实现节能减排目标，很多国家构建了一系列有利于风电发展的政策体系，并大规模开发利用风电，取得了巨大成就。有统计显示，2011年全球风电领域投资达749亿美元，累计装机容量237.7GW，年发电量4739亿kW·h，就业人数达到67万人，帮助CO₂减排2.8亿t。风电行业的快速发展在减缓全球变暖、降低污染排放、调整能源结构、促进社会就业等方面作出了巨大贡献。

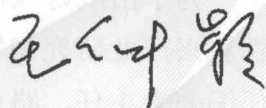
作为全球最大的新兴经济体之一，中国已展现出积极应对气候变化、促进经济可持续发展的坚定决心，并在“十二五”规划中确立了减少对化石能源的依赖、降低能源消耗和减少二氧化碳排放等多个颇具雄心的战略目标。为实现这些目标，在可再生能源领域内，风能的开发利用无疑是最重要的力量。

2005年，随着《中华人民共和国可再生能源法》的颁布，以及“2020年非化石能源在一次能源消费中的比例达15%左右”“单位国内生产总值二氧化碳排放量比2005年下降40%~45%”两个目标的确定，中国的风电产业发展迅速，并连续多年保持快速增长。短短数年时间内，中国风电取得了世人瞩目的成绩，风电新增和累计装机容量双居全球第一，一个涵盖风电开发建设、设备制造、技术研发、检测认证、配套服务的产业链已建立完善，中国正式步入世界风电大国行列。

基于能源“十二五”规划中明确提出的风电发展目标，本书对风能开发利用进行了系统和全面的介绍。

全书共分为7章，第1章回顾了人类开发利用风能的历史，并对全球风电产业的发展现状和未来趋势进行了阐述；第2章从经济环境效益（能源安全、社会经济发展、环境保护）等方面论述了开发利用风能的重要意义；第3章介绍了风力发电的基础知识，从风资源测量和评估，到风电设备的类型和技术发展，再到风电场开发的相关情况，进行了较为详细的阐述；第4章着重揭示了风力与电力系统的特点，全面总结了欧洲和美国等风电发展较好的国家和地区的高比例风电接入经验，并提出了解决我国风电并网瓶颈的建议和措施；第5章对全球主要风能开发利用国家的风电发展经验进行了梳理，总结了对我国风电发展的启示；第6章回顾了我国风电的开发历史、政策框架以及现状，分析了风电行业面临的挑战；第7章提出了未来我国风电开发路线图，描绘了2050年我国风能开发利用的宏伟蓝图。

本书适合政府官员、企业经营管理者、科研院所的研究人员，以及对风能开发利用感兴趣的人士阅读。



2013年3月6日

编写说明

《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》确定了我国未来经济社会发展的战略重点和方向是战略性新兴产业，并且根据我国国情和科技、产业基础，又制定出现阶段重点发展节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料、新能源汽车七大新兴产业。可见，未来5~10年七大战略性新兴产业将是国家重点支持、大力推广的产业。

为了使大家全面理解、准确把握、深刻领会国家这一战略决定的精神实质，了解其发展内涵，推动产业结构升级和经济发展方式转变，增强国际竞争优势，抢占新一轮经济和科技制高点，机械工业出版社在国家出版基金的支持下，组织各领域权威专家编写了一套《中国战略性新兴产业研究与发展》（以下简称《研究与发展》）图书。

《研究与发展》以国家相关发展政策和规划为基础，借鉴国外相关产业发展的成功经验，对产业发展思路、发展目标、发展战略、发展重点、投资方向、政策建议等方面进行了全面、系统的研究；对前瞻性、基础性和目前产业上有瓶颈限制的问题提出了有针对性的对策。

《研究与发展》采用分期分批的出版方式陆续出版发行，第一期出版的分册包括太阳能、风能、生物质能、智能电网、新能源汽车、轨道交通、工程机械、水电设备、农业机械、数控机床、轴承和齿轮。今后根据国家产业政策要求及各行业的发展情况还将陆续推出其他分册。

为了出版好《研究与发展》，机械工业出版社成立了《中国战略性新兴产业研究与发展》编委会，全国人大常委会路甬祥副委员长担任编委会主任。路甬祥副委员长对该套图书的编写高度重视，亲自参加编委研讨会，多次提出重要指导意见。他从图书的定位、内容选材、作者队伍建设和运作流程等方面都给予了全面和具体的指导，并提出

了“六个特点”和“四性”的具体要求。

机械工业出版社还建立了完善的项目管理、编写组织、出版规范和网络支撑四个方面的工作体系来保证图书质量。各组编单位投入了大量的精力组织行业权威专家规划内容结构、研讨内容特色；参与图书编写的主创人员也不计报酬，自觉自愿地把自己的聪明才智和研究成果奉献给社会，奉献给国家。他们都担负着繁重的科研、教学、行业管理或生产任务，为了使此书能够早日与大家见面，他们不辞辛苦、加班加点。因为他们都有一个共同心愿——帮助企业快速成长，使中国由大变强。

在此，衷心地感谢为此项工作付出大量心血的组编单位、各位专家、各位撰稿人、编辑出版及工作人员！

尽管我们做了大量工作，付出了巨大努力，但仍难免有疏漏或错误之处，敬请读者批评指正！

《中国战略性新兴产业研究与发展》编辑部

2012年6月

目录 CONTENTS

序言

前言

编写说明

第1章 概述.....	1
1.1 风能开发利用的历史.....	2
1.1.1 人类早期的风能利用	2
1.1.2 风力发电利用历史	3
1.2 全球风电产业发展现状及发展趋势.....	4
1.2.1 产业发展现状	4
1.2.2 技术现状	7
1.2.3 全球风电发展趋势	9
第2章 风电开发与经济环境效益.....	11
2.1 风电开发与能源安全	12
2.1.1 全球面临的能源安全问题	12
2.1.2 风电与其他能源的技术经济性对比	13
2.1.3 风电成为主流电源	16
2.2 风电开发与社会经济	17
2.2.1 风电开发对经济发展的贡献	17
2.2.2 风电开发对就业的贡献	17
2.2.3 风电开发对其他经济活动的贡献	19
2.3 风电开发与环境保护	20
2.3.1 减少常规能源开发带来的环境影响	20
2.3.2 风电开发与温室气体减排	21
2.3.3 风电开发与环境保护	23

第3章 风力发电基础知识	27
3.1 风与风能资源	28
3.1.1 风的形成	28
3.1.2 风特性及其测量	31
3.1.3 风能资源及其评估	33
3.1.4 全球风能资源概况	34
3.1.5 我国风能资源概况	35
3.2 风电设备	38
3.2.1 风力发电机组的种类与特征	38
3.2.2 风力发电机组总体设计和布局	43
3.2.3 风力发电机组设计基础	47
3.2.4 风力发电机组部件	49
3.2.5 海上风力发电机组技术	63
3.2.6 风力发电机组技术发展趋势	69
3.3 风电场开发	70
3.3.1 风电场开发前期工作	70
3.3.2 风电场选址、设计及施工	71
3.3.3 风电场电气系统设计	77
3.3.4 风电场运行管理和维护	80
3.3.5 风电场项目评估	83
3.3.6 海上风电开发	90
3.3.7 风电场开发及技术发展趋势	97
第4章 风电与电力系统	101
4.1 风力发电的特点	102
4.2 电力系统的特点	103
4.3 风电与电力接入系统	107
4.3.1 欧洲、美国风电并网现状及管理经验	107
4.3.2 我国部分地区的高比例风电接入电网实际经验	112
4.3.3 非并网风电海水淡化系统	117
4.4 风电与电力体制改革	119
4.4.1 风电并网面临的主要问题	119

4.4.2	电力体制改革和电网发展规划	121
第5章	风电开发国际经验	127
5.1	丹麦	128
5.1.1	开发状况	128
5.1.2	支持风电开发的主要做法	130
5.1.3	未来规划	131
5.2	德国	131
5.2.1	开发状况	131
5.2.2	支持风电开发的主要做法	133
5.2.3	未来规划	134
5.3	西班牙	134
5.3.1	开发状况	134
5.3.2	支持风电开发的主要做法	135
5.3.3	未来规划	136
5.4	英国	136
5.4.1	开发状况	136
5.4.2	支持风电开发的主要做法	137
5.5	美国	138
5.5.1	开发状况	138
5.5.2	支持风电开发的主要做法	139
5.5.3	未来规划	139
5.6	印度	139
5.6.1	开发状况	139
5.6.2	支持风电开发的主要做法	140
5.6.3	未来规划	141
5.7	其他国家	141
5.7.1	欧洲其他国家	141
5.7.2	南美洲国家	145
5.7.3	亚洲其他国家	147
5.8	发展风电的经验总结及对我国的启示	150
5.8.1	稳定的政策环境保障风电产业的可持续发展	150