

中国风力发电经济 激励政策 研究

张正敏 主编

*The Incentive Policy Research of Economy
on Wind Power Generation in China*

中国环境科学出版社



中国风力发电经济激励 政策研究

主 编：张正敏

副主编：李宝山 许洪华 李俊峰

中国环境科学出版社·北 京

图书在版编目(CIP)数据

中国风力发电经济激励政策研究 / 张正敏主编. -北京:
中国环境科学出版社, 2002. 11

ISBN 7-80163-419-5

I. 中… II. 张… III. 风力发电 - 经济政策 -
研究 - 中国 IV. F426. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 079510 号

出 版 中国环境科学出版社
(100036 北京海淀区普惠南里 14 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子信箱: cesp@95777.com
印 刷 北京联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2002 年 11 月第 1 版 2002 年 11 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 18
字 数 370 千字

定 价 50.00 元

主 编 张正敏

副主编 李宝山 许洪华 李俊峰

参加本书部分章节撰写的人员

顾树华 施鹏飞 杨校生 陈振斌 胡润青

梁志鹏 易跃春 谢宏文 王白羽 刘志华

序

人类社会发展的历史与能源开发和利用的水平密切相关，每一次新型能源的开发都使人类经济的发展产生一次飞跃。在我们进入 21 世纪的今天，世界能源结构也正在孕育着重大的转变，即由矿物能源系统向以可再生能源为基础的可持续能源系统转变。

目前正在使用的矿物能源，在 21 世纪都将逐步走向枯竭；同时，矿物能源的大量开发和利用，也是造成大气和其他多种类型环境污染与生态破坏的主要原因。如何在开发利用能源资源的同时保护好我们赖以生存的地球生态环境，已经成为一个全球性的重大课题。在常规能源日渐短缺，生态环保要求迫在眉睫之际，发展可再生能源是解决上述问题的重要途径之一。可再生能源的开发，不仅可以解决能源的枯竭，而且可为保护环境做出贡献。

众所周知，可再生能源包括太阳能、风能、生物质能、地热能、海洋能等。在这众多的可再生能源中，目前发展最快、商业化最广泛、经济上最适用的，当数风力发电。据统计，世界风力发电装机容量已由 1990 年的 200 万 kW 增加到 2000 年的 1750 多万 kW，年平均增长 150 万 kW，年平均增长速率在 30% 左右。中国并网大型风力发电的技术和产业虽然起步较晚，但也发展很快，已经具备制造单机容量 600 kW 的大型商业化风电机组的能力，目前正在组织兆瓦级风电机组的攻关。我国风力发电装机容量 2000 年底已达 34.4 万 kW，居世界第九位。特别是 1996 年至 1998 年我国风电场的建设发展得很快，这主要得益于政府的重视和政策的支持。近几年来，由于国家管理体制和电力体制的改革和变化，原来鼓励风电发展的政策遇到了新的问题，导致近一二年风力发电发展迟缓。总之，我国的风电产业在世界上还相对落后，比如，我国可利用的风能资源为德国的 11.3 倍，而风电总装机只为德国的 5.63%；即使同印度相比，我国的总装机容量尚不及它的 1/3。因此，研究我国风电发展迟缓的原因，提出相应的激励政策已成当务之急。从国外经验看，政府支持、政策激励是发展风电的关键。

为了激励和促进我国风电事业的发展，在美国能源基金会的支持下，在科技部、国家计委、国家经贸委的主持下，我国风电专家历时一年的调查研究、分析论证，将其成果形成《中国风力发电经济激励政策研究》一书。该书系统地阐述了发

展风力发电的必要性；详细介绍了国内外风电技术和产业的发展；指出了中国风力发电商业化面临的主要障碍和问题，强调了高强度的激励政策是克服现存障碍和加速发展的关键；有针对性地提出了各种激励政策的构想，并对相关政策进行了详尽的成本效益分析，以供政府部门决策参考；最后，对价格优惠政策提出了具体的实施方案和建议。

通读全书，我认为这是第一部全面论述如何加速我国风电产业的发展及如何制定相关激励政策的专著。它的出版将积极地推动我国风电商业化、产业化发展，为能源的可持续发展和环境保护做出贡献，为子孙万代造福。

借此机会，我向美国能源基金会表示衷心的感谢，感谢他们对我们工作的支持，感谢他们对风力发电的扶持和对能源环保事业的钟爱！同时感谢我国风电专家对完成此项专著所做出的贡献以及各有关部门所给予的支持。

中华人民共和国科学技术部秘书长
石定环

出版说明

本书实际上是“中国风力发电技术商业化促进政策评价与设计”研究课题的总结。在该课题研究过程中，得到了国家计委陈和平处长和周篁高工、国家经贸委刘鸿鹏处长和刘文强博士、财政部王刚副处长、国家电力公司张源处长、原国家经贸委副司长朱俊生和中国风电协会秘书长祁和声高工的帮助和指导；同时，还得到河北张北风电场、新疆达坂城风电场二厂、内蒙古赤峰达里风电场、浙江苍南鹤顶山风电场和一拖美德（洛阳）风电设备有限公司、航空航天部保定螺旋桨制造厂、上海玻璃钢研究所、浙江省机电设计研究院、杭州前进齿轮箱集团公司、上海申新风力发电设备有限公司、青岛风力发电设备厂、西安维德风电设备有限公司以及中国农机工业协会风力机械分会的大力支持与合作，如果没有他们热情的帮助与支持，此项研究和本书的出版都是不可设想的。借此机会我们谨向他们表示衷心的感谢。

此外，美国大卫与露·派克德基金会和能源基金会对该项研究和本书的出版给予了积极的支持，特别是 Jan Hamrin 博士、Daniella Gould 女士和杨富强博士不仅对研究工作提供了许多建议和大量资料，而且对书稿的修改也做出了积极的贡献。在此，一并表示衷心的感谢。

考虑到本书主要面向中国广大的新能源和可再生能源科技工作者和从事政策研究的学者，书中内容中、英文版不是一一对应的，特此说明，请读者注意，并予以谅解。

作 者

目 录

第一章 风力发电是实施可持续能源战略的一种重要选择	1
1. 风力发电是调整能源结构的迫切要求	1
2. 风电是改善能源供应安全，促进经济发展的需要	2
3. 风电是减少排放，防止全球气候变暖的一项主要措施	2
第二章 风力发电系统生命周期评价	4
1. 概论	4
2. 方法	4
3. 系统简述与基本假定	5
4. 系统边界与数据	7
1) 系统边界确定	7
2) 数据的来源	7
5. 系统能量回收期	9
1) 指标描述	9
2) 风力发电机组制造和总装直接能耗计算	9
3) 风力发电机组原材料综合能耗计算	10
4) 风力发电机组运输耗能	11
5) 风电场的年上网电量	11
6) 计算结果	12
6. 其他指标与说明	12
1) 能耗分类统计	12
2) 未统计部分能耗	13
7. 结论	14
第三章 国内外风电技术的发展和评价	16
1. 世界风电技术的发展	16
1) 装机容量迅速增加，风电产业不断扩大	16
2) 风电技术不断改进，机组性能逐步提高	18

3) 发电成本不断下降.....	18
2. 中国风电的发展.....	20
1) 开发规模达到新的水平.....	20
2) 本地化进程加快, 主要部件国内已能制造.....	23
3) 产业发展初现端倪, 初步形成了一批专业生产厂.....	23
第四章 中国风力发电面临的主要障碍和问题	27
1. 资源评价问题	27
2. 设备制造问题	27
1) 进口机组占统治地位的局面没有发生根本性变化.....	27
2) 设备批量小, 缺乏实际考验是当前本地化风电设备又一主要问题	28
3) 产品价格高是当前本地化机组面临的一个共同问题	28
3. 风电场建设问题.....	28
1) 布局分散, 以致单个风电场规模过小	28
2) 缺乏有经验的开发商	28
4. 发电成本、上网电价问题.....	29
5. 政策和机制问题.....	30
1) 缺少清晰的发展目标	30
2) 没有明确的优惠激励政策	31
3) 资金渠道不畅, 缺乏适合于风电的长期贷款.....	32
4) 缺乏商业化运作机制	32
5) 问题的结论.....	34
第五章 高强度激励政策是克服障碍、促进发展的关键	35
1. 国外成功的经验.....	35
1) 美国	35
2) 英国	36
3) 德国	38
4) 丹麦	40
5) 荷兰	42
6) 印度	43
2. 国内的实践	44
1) 在立法方面.....	44
2) 在经济激励政策方面	44
3) 在研究开发方面.....	45

第六章 激励政策的分类和新政策的构想	46
1. 政策的类型和特点	46
1) 以法律为基础的强制性(或指令性)政策	46
2) 引导性经济激励政策	46
3) 研究开发政策	46
4) 管理政策与运行机制	47
2. 政策可实施性分析和评价	48
1) 以法律为基础的强制性政策	48
2) 经济激励政策	48
3) 研究开发政策	51
4) 管理政策与运行机制	51
3. 新政策的构想	51
1) 政策的基本目标	51
2) 新激励政策及其方案构想	52
第七章 激励政策对风电电价的影响和作用	54
1. 中国风电电价的组成和影响因素	54
2. 风力发电目标电价及其确定	55
1) 目标电价的概念	55
2) 目标电价的确定	55
3. 风电基准电价的确定	63
1) 基准电价的含意	63
2) 基准方案及其参数的设定	63
3) 测算结果	65
4. 激励政策对风电成本、电价的影响分析	68
1) 发电量变化对风电电价的影响	68
2) 系统造价变化对风电电价的影响	69
3) 发电时间和系统造价同时变化对风电电价的影响	70
4) 计算方法对风电电价的影响	70
5) 政策因素对风电电价的影响	72
第八章 激励政策的成本效益分析和评价	76
1. 评价准则	76
2. 政策的成本和效益	76
1) 成本	76

2) 效益	77
3. 评价指标	80
1) 净收益 (NPV)	80
2) 益本比	81
4. 贴息 3 年政策的成本和效益	81
1) 成本	81
2) 效益	82
3) 费用效益分析	85
5. 延长还贷期 (即 15 年还贷) 政策的成本和效益	85
1) 成本	85
2) 效益	86
3) 成本效益分析	87
6. 增值税全额抵扣政策的成本和效益	87
1) 成本	88
2) 效益	88
3) 费用效益分析	89
7. 贴息 3 年、15 年还贷的成本和效益	89
1) 成本	89
2) 效益	89
3) 费用效益分析	90
8. S3.9 政策方案的成本和效益	90
1) 成本	90
2) 效益	91
3) 费用效益分析	91
9. S3.12 政策方案的成本和效益	92
10. S3.14 政策方案的成本和效益	93
1) 成本	93
2) 效益	93
3) 费用效益分析	94
11. S3.16 政策方案的成本和效益	94
1) 成本	94
2) 效益	95
3) 费用效益分析	96
12. 电价补贴政策的成本和效益	97
1) 成本	97

2) 效益	97
3) 费用效益分析	98
13. 各种政策方案成本、效益小结	98
第九章 激励政策对风电商业化促进作用的分析和评估	100
1. 风电发展的一般过程	100
1) 研发阶段	101
2) 示范阶段	101
3) 规模化降低成本阶段	101
4) 推广阶段	102
2. 风力发电规模与生产成本之间的关系	103
3. 中国风电成本下降的条件	105
4. 我国风电成本下降趋势推测	105
1) 起始规模和起始成本的确定	106
2) 我国风电成本(或电价)下降极限的预测	106
3) 偏移量指数的确定	108
4) 中国风电学习曲线(电价表示)	108
5. 我国风电实现商业化需要增加的规模总量和投入总量	109
1) 我国风电实现商业化需要增加的规模	109
2) 我国风电商业化所需要的总社会费用投入	110
6. 小结	111
第十章 政策的综合比较和抉择	112
第十一章 电价优惠政策的实施与建议	114
1. 一些必不可少的规定	114
2. 电价和差价的确定	114
3. 差价的处理	115
4. 建立科学合理的运作机制	116
5. 组织和机构	116
第十二章 结束语	117
参考文献	119

表 目 录

表 1-1	中国风力发电系统生命周期分析结果	3
表 1-2	各种发电方式的碳排放生命周期分析结果.....	3
表 2-1	风电场基本参数.....	5
表 2-2	能量回收期指标定义.....	9
表 2-3	风力发电机组直接能耗表	10
表 2-4	风力发电机组主要物耗列表	10
表 2-5	部分工业原料综合能耗表	11
表 2-6	风力发电机组运输耗能表	11
表 2-7	能量回收期计算结果.....	12
表 2-8	形成每千瓦装机容量所需能耗分类统计	13
表 3-1	2000 年末世界并网型风力发电机组装机总容量.....	17
表 3-2	美国风电机组造价变化.....	19
表 3-3	中国风电场的地区分布	22
表 4-1	风力、煤炭发电成本构成对比 (%)	29
表 4-2	风电、煤电上网电价构成对比 (%)	30
表 5-1	NFFO1、NFFO2、NFFO3 和 NFFO4 的最高合同电价比较.....	37
表 5-2	NFFO 实施效果分析.....	38
表 5-3	德国政府关于可再生能源发电电价的规定.....	39
表 6-1	经济激励政策及其方案设定	52
表 7-1	2×30 万 kW 国产机组（无脱硫设施）的投资分配	57
表 7-2	2×30 万 kW 国产机组（有脱硫设施）的投资分配	57
表 7-3	2×35 万 kW 进口机组（无脱硫设施）的投资分配	57
表 7-4	2×35 万 kW 进口机组（有脱硫设施）的投资分配	58
表 7-5	有无脱硫装置的煤电成本和上网电价	59
表 7-6	2×30 万 kW 新建煤电厂的发电成本与上网电价	60
表 7-7	2×35 万 kW 新建煤电厂的发电成本与上网电价	61
表 7-8	煤电厂发电成本构成 (%)	62

表 7-9	煤电厂上网电价构成 (%)	62
表 7-10	中国部分省区新建煤电厂平均上网电价 (2000 年)	63
表 7-11	10 万 kW 规模风电场技术经济参数	64
表 7-12	基础方案总成本费用表	66
表 7-13	基础方案损益表	67
表 7-14	年利用小时数变化对电价的影响	68
表 7-15	发电时间、系统造价同时变化时对风电成本的影响	71
表 7-16	发电时间、系统造价同时变化时对风电电价的影响	71
表 7-17	不同激励政策对风电场发电成本、上网电价的影响	72
表 7-18	高强度优惠政策及其影响	75
表 8-1	各种主要污染物引起的环境破坏或经济损失	77
表 8-2	燃煤炉窑大气污染物排放收费标准	78
表 8-3	水污染排放收费标准	78
表 8-4	废渣污染排放收费标准	78
表 8-5	1999 年大型火电机组的耗水指标	79
表 8-6	部分城市工业用水价格	80
表 8-7	银行的贴息投入	82
表 8-8	减排烟尘的效益	82
表 8-9	减排 SO ₂ 的效益	82
表 8-10	减排 NO _x 的效益	83
表 8-11	减排 CO ₂ 的效益	83
表 8-12	减排灰渣的效益	83
表 8-13	减排废水的效益	83
表 8-14	总的环境效益	84
表 8-15	风电和煤电实际缴纳的增值税	84
表 8-16	税收效益	84
表 8-17	煤资源贫化过程减缓效益	85
表 8-18	贴息 3 年的费用-效益分析	85
表 8-19	银行现金流量 (基准方案)	86
表 8-20	银行现金流量 (15 年还贷方案)	86
表 8-21	15 年还贷政策方案的费用-效益分析	87
表 8-22	增值税抵扣方案的数据	87
表 8-23	增值税抵扣	88
表 8-24	增值税抵扣方案的费用-效益分析	89

表 8-25	贴息 3 年、15 年还贷政策方案的费用-效益分析	90
表 8-26	增值税抵扣	91
表 8-27	激励方案 S3.9 的费用-效益分析	92
表 8-28	激励方案 S3.12 的费用-效益分析	92
表 8-29	方案 S3.12 的所得税减免额	93
表 8-30	S3.14 方案的费用-效益分析	94
表 8-31	激励方案 S3.16 的发电差别成本	94
表 8-32	S3.16 方案少交的增值税税额	95
表 8-33	S3.16 方案减免的所得税税额	95
表 8-34	激励方案 S3.16 的环境效益	96
表 8-35	激励方案 S3.16 的资源效益	96
表 8-36	激励方案 S3.16 的税收效益	96
表 8-37	激励方案 S3.16 的费用-效益分析	96
表 8-38	电价补贴方案的激励成本	97
表 8-39	电价补贴方案的税收效益	97
表 8-40	电价补贴方案的费用-效益分析	98
表 8-41	各种激励方案费用效益列表	98
表 9-1	美国加州能源委员会对各种发电方式的经济成本比较（1996 年）	104
表 9-2	偏移量学习率为 35% 时风电电价的下降率	108
表 10-1	各类政策的综合比较	112

图 目 录

图 2-1	风力发电系统的组成.....	6
图 2-2	风力发电系统的形成过程和边界界定	8
图 2-3	形成每千瓦装机容量所需能耗分类统计	13
图 3-1	美国风电成本的变化趋势	19
图 3-2	丹麦风力发电成本的发展趋势	20
图 3-3	我国历年风力发电累积装机情况	21
图 5-1	绿卡技术及其管理流程	42
图 6-1	可再生能源扶持政策分类	47
图 7-1	年发电小时数变化对电价的影响	68
图 7-2	初始投资变化对电价的影响	69
图 9-1	新技术的研究、开发、示范和推广成长过程图	101
图 9-2	1981—2000 年美国风电累积装机规模和经济成本下降趋势	104
图 9-3	美国风电经济成本的学习曲线	107
图 9-4	预测的中国风电学习曲线	109
图 9-5	按照经济成本学习曲线估计的“规模化降低成本”过程的年社会费用	111

第一章 风力发电是实施可持续能源战略的一种重要选择

1. 风力发电是调整能源结构的迫切要求

就能源开发利用的历史而言,化石燃料是人类最早利用的能源之一。大约从 18 世纪开始,即随着英国产业革命的发生和发展,化石燃料(最先是煤炭,然后是石油和天然气)就逐步替代柴草进入人类社会生活的各个方面,并有力地推动着社会生产力的发展。到目前为止,石油、天然气和煤炭等化石能源仍然是世界经济的三大能源支柱。毫无疑问,这些化石能源在社会进步、物质财富生产方面已为人类做出了不可磨灭的贡献;然而,实践亦证明,这些能源资源同时存在着一些难以克服的缺陷,即资源的有限性和对环境的危害性,并且日益显著地威胁着人类社会的安全和发展,从而迫使人们不得不重新寻求新的、可持续使用的而又不危害环境的能源资源。风能等可再生能源就是其中可供选择的能源之一。

自 20 世纪 70 年代以来,已有不少的专家和学者对石油、天然气和煤炭的贮量、开采年限作过种种估算和推测,几乎得出一致的结论即:非再生的化石能源的耗尽是不可避免的,按目前的技术水平和开采量计算,在 2000 年预计世界石油剩余可采储量可开采 40 年,天然气可采 61 年,煤炭的可采年限虽然较长,在 220 年以上,但也会因为开采成本高和一系列严重的环境问题而失去开采价值。所以,许多发达国家出于自身能源安全需要,开始限制化石能源的消费,特别限制本国化石能源资源的开采。他们除大量进口石油、天然气等化石能源来满足国内能源市场的需求外,还重视风能、太阳能和生物质能的开发利用,并采取了一系列的鼓励政策和措施。

我国拥有比较丰富的化石能源资源,但是按人口计算,我国属于能源资源相对贫乏的国家,人均常规能源资源占有量不到世界平均水平的一半,石油仅为 1/10。目前我国人均能源消费量只有世界人均能源消费水平的一半。随着我国经济的快速发展和人民生活水平的不断提高,我国人均能源消费量将逐年增加,到 2050 年将逾 2t 标准煤,相当于目前世界的平均值,但仍远低于目前发达国家的水平。即使达到这样一个最低目标,只靠常规化石能源也是不行的。常规能源资源的不断减少,