

中国工程院重大咨询项目



中国可再生能源 发展战略研究丛书 综合卷

中国可再生能源发展战略研究项目组



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

中国工程院重大咨询项目

中国可再生能源发展战略研究丛书

综合卷

主 编 杜祥琬
副主编 黄其励 汪燮卿 尹伟伦 李俊峰



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

图书在版编目 (CIP) 数据

中国可再生能源发展战略研究丛书. 综合卷/中国可再生能源发展战略研究项目组编. —北京: 中国电力出版社, 2008

ISBN 978-7-5083-8077-3

I. 中… II. 中… III. 再生资源-能源经济-经济发展-研究-中国 IV. F426.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 170461 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 11 月第一版 2008 年 11 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 27 印张 477 千字 5 彩页
印数 0001—2000 册 定价 75.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

《中国可再生能源发展战略研究丛书》

编 委 会

主 编 杜祥琬

副 主 编 黄其励 汪燮卿 尹伟伦 李俊峰

编 委 石元春 贺德馨 殷志强 邴凤山 倪维斗
朱俊生 朱培林 赵士和 程回洲 李泽椿
杨裕生 王仲颖 戴慧珠 赵玉文 孔 力
许洪华 李十中 高 虎 赵勇强 胡润清
马玲娟 时璟丽 杨伟国 王斯永 秦海岩
陶树旺 王月冬 朱 蓉 赵 颖 周小雯
蒋福康 吴创之 翟明普 王振海

编委会办公室 王振海 左家和

总 前 言



可再生能源是国际关注的主要研究领域，事关能源发展的方向与国家战略。随着我国社会经济的快速发展及技术进步，特别是能源与环境问题的日益突出，可再生能源受到国家及社会各界乃至世界各国越来越多的关注。为促进我国可再生能源的健康发展，中国工程院于2005年组织有关院士、专家启动了“中国可再生能源发展战略研究”咨询研究项目。根据研究工作的需要，项目分设水能、风能、太阳能、生物质能4个课题组和项目综合组，开展了一系列的研究。

2006年10月，国家能源领导小组办公室委托本项目综合组承担单位国家发展改革委能源研究所牵头组织“我国可再生能源发展若干重大问题研究”课题。鉴于两者研究内容相近、主要专家队伍相似，经协商决定将两项研究合二为一，但根据要求形成两份研究报告，一个是不包括水能部分的简本，作为“我国可再生能源发展若干重大问题研究”课题成果报国家能源领导小组；另一个是包括水能部分的全本，作为“中国可再生能源发展战略研究”项目成果，报国务院。同时，根据研究工作需要，又增加了相关专家参与了项目的研究。

本丛书是“中国可再生能源发展战略研究”项目系列成果，内容包括项目综合报告和4个课题报告及相关研究成果，并以综合卷、风能卷、水能卷、生物质能卷和太阳能卷的形式由中国工程院统一组织出版。

在项目研究过程中，财政部给予经费支持，同时得到了国家发展改革委、科技部、国家林业局、中国气象局以及相关科研院所、高校等单位的大力支持；参加研究和报告编写工作的各位院士、专家为此付出大量的心血和劳动，在此一并表示感谢。

可再生能源是一个发展中的领域，还有许多看不准的问题。本丛书是一个初步研究，有待继续深入，诚望各界专家和广大读者提出各种意见和建议。同时，由于种种因素，书中难免有疏漏或错误之处，敬请读者批评指正。

杜祥琬

二〇〇八年九月十二日

前言



能源与环境问题是目前制约我国经济社会可持续发展中两个重要的问题。积极发展可再生能源，节约和替代部分化石能源，促进能源结构的调整、减轻环境压力，是保障国家能源与环境安全、建设社会主义新农村、促进我国经济社会可持续发展必然的战略选择。

中国工程院非常重视可再生能源研究，于 2005 年 10 月正式启动了“中国可再生能源发展战略研究”重大咨询项目，组织了中国工程院能源与矿业工程，农业，环境与轻纺工程，土木、水利与建筑工程，工程管理等相关学部和中国科学院的 20 余位院士，以及来自清华大学、浙江大学、中国农业大学、北京林业大学、南开大学、中山大学、四川大学、华北电力大学、沈阳工业大学、中国气象科学院、国家气候中心、国家发展改革委能源研究所、中国电力科学研究院、中国科学院电工研究所、中国科学院广州能源研究所、中国可再生能源学会、中国水力发电工程学会、中国资源综合利用协会可再生能源专业委员会、中国建筑科学研究院、中国建筑设计研究院、中国石化集团公司石油化工科学研究院、国家电网公司、中国华能集团公司、中国国际工程咨询公司、北京鉴衡认证中心、新疆金风科技股份有限公司、山东皇明太阳能公司、尚德太阳能电力有限公司等高校、科研院所、学会和企业的 100 多位专家参加了该项目的研究。国家能源领导小组办公室、国家发展改革委能源局、财政部经济建设司、科技部高新技术司、水利部农村电气化局等政府部门对本项研究提供了支持和帮助。

2006 年 10 月，受国家能源领导小组办公室的委托，由国家发展改革委能源研究所牵头承担了“我国可再生能源发展若干重大问题研究”课题。鉴于该课题与“中国可再生能源发展战略研究”咨询项目的研究内容相近，且后者已经开展了大量的研究工作，经国家发展改革委能源研究所与项目组协商，决定将两项研究合二为一，最后以一个成果两个版本分别上报。同时，根据工作需要，在原项目研究成员的基础上，又增加了国务院发展研究中心、中国农业工程设计研究院、中国林业科学院、中节蓝天、北京计科能源新技术公司等

单位的专家参加，进行了项目的研究工作。

本项目研究的内容主要包括风能、太阳能、生物质能、水能。院士、专家们通过近两年的紧张工作，在调研与分析、学术交流与专业论坛以及各课题研究成果的基础上，经十余次反复讨论与修改，形成了项目研究综合报告。报告内容主要包括：发展可再生能源的战略意义、资源条件及发展潜力、合理开发和利用方向、发展目标和技术路线图、发展可再生能源面临的问题和保障措施，以及对发展可再生能源的重要建议等。

在项目的研究中，以科学发展观统领全局，从可持续发展的战略高度研究和分析问题，提出了使可再生能源尽快从补充能源到替代能源进而到战略能源发展的观点；采用全生命周期分析方法，通过全过程能源平衡分析，体现环境友好的观点；充分考虑我国可再生能源技术和产业基础，提出了以技术创新为核心，培育产业体系的观点；认真总结国内外经验，提出了政策扶持、市场拉动、技术支撑、产业发展和人才培养等一系列有效措施，通过可再生能源这一新型产业的兴起、发展和强大，达到工农、城乡协调发展的目标，实现建设社会主义新农村，全面推进能源环境可持续发展的观点。

本书力图达到下述目的，即：

（1）尽可能把握可再生能源发展战略方向，定性和定量相结合，描述可再生能源从补充能源向替代能源、主导能源和主流能源过渡的全部过程。

（2）在现有条件的基础上，用定量描述，摸清可再生能源的资源家底，尽可能准确和客观地反映我国可再生能源的资源保障条件。

（3）尽可能提出科学、合理的技术发展路线，明晰不同时期，应该大力发展的、积极推进的、努力研究的可再生能源技术和产业。

（4）在分析现实与长远需求、资源保障、技术发展和产业支撑条件的基础上提出不同时期我国可再生能源的具体发展目标，以及为实现发展目标必须采取的保障措施等。

通过上述工作，以期对我国有关部门的工作提供重要参考，对发展我国可再生能源事业作出实实在在的贡献。

编者

二〇〇八年九月十二日

目 录



总前言

前言

摘 要

一、世界可再生能源发展现状和趋势·····	3
二、我国发展可再生能源的重要意义和战略目标·····	4
三、我国可再生能源发展的基本原则和方向·····	6
四、发展可再生能源的保障措施·····	7
五、战略思考和建议·····	8

综合报告

一、发展可再生能源的战略意义 ·····	11
(一) 世界可再生能源的发展趋势·····	11
1. 各国政府高度重视发展可再生能源 ·····	11
2. 可再生能源技术研发和装备制造水平取得重大进步 ·····	12
3. 可再生能源投资呈现多元化的趋势 ·····	14
4. 可再生能源开发利用呈现规模化发展趋势 ·····	15
5. 政策扶持仍然是可再生能源发展的主要推动力 ·····	15
6. 可再生能源在未来全球能源供应中的地位愈加突出 ·····	16
(二) 我国经济和社会可持续发展面临的能源形势·····	18
1. 能源需求高速增长 ·····	18
2. 能源供应形势严峻 ·····	19
3. 环境压力日益增大 ·····	19
4. 我国能源发展对可再生能源的战略需求 ·····	20
(三) 我国发展可再生能源的紧迫性和长期战略意义·····	21
1. 建设资源节约型社会的需要 ·····	21
2. 调整能源结构和保障能源安全的需要 ·····	22

3. 建设社会主义新农村的需要	22
4. 保护生态环境和减少温室气体排放的需要	23
5. 开拓新的经济增长领域的需要	23
(四) 可再生能源发展的战略地位	24
1. 可以在能源供应中逐渐发挥重要作用	24
2. 在减排温室气体和保护环境方面做出重要贡献	25
(五) 小结	25
二、可再生能源的资源条件及发展潜力	27
(一) 风能资源	27
1. 风能资源储量	27
2. 风能资源区划	29
3. 风能资源特点	29
4. 风能资源评估的结论	30
(二) 太阳能资源	30
1. 太阳能资源储量	30
2. 太阳能资源区划	30
3. 太阳能利用面积评估	31
4. 太阳能资源开发的经济性	31
5. 太阳能资源评价结论	32
(三) 生物质能资源	32
1. 现有的生物质能资源	32
2. 新增生物质能源资源	33
3. 我国生物质能源资源潜力及评价	34
(四) 水能资源	35
1. 水能资源蕴藏量	35
2. 水能资源分布	35
3. 水能资源评价结论	36
(五) 地热能资源	36
1. 地热资源储量和分布	36
2. 地热资源分布	36
3. 地热资源利用的经济性	37
(六) 海洋能资源	37
1. 海洋能资源储量	37
2. 海洋能资源利用的经济性	38
(七) 小结	39
三、可再生能源资源的合理开发和利用	41
(一) 合理开发利用选择的原则和依据	41

1. 符合我国能源发展的战略需求, 可以大规模地替代化石能源, 降低石油进口依存度	41
2. 资源相对丰富, 有可靠的资源保障能力	41
3. 技术成熟或有成熟发展的趋势	42
4. 符合经济、合理的原则	42
5. 符合资源节约、环境友好的原则	42
(二) 可再生能源热利用	43
1. 太阳能热利用	43
2. 生物质能	44
3. 地热能	45
4. 小结	45
(三) 可再生能源发电	46
1. 风电	46
2. 太阳能发电	47
3. 生物质发电	49
4. 水力发电	51
5. 地热发电和海洋能发电	51
6. 各类可再生能源发电技术比较	52
(四) 生物质交通燃料和生物基工业制品	53
1. 燃料乙醇	54
2. 生物柴油	54
3. 沼气与车用甲烷	54
4. 第 2 代生物燃料	55
5. 生物交通燃料的能量平衡与经济性	56
6. 生物基工业制品	57
7. 小结	57
(五) 小结	57
四、可再生能源发展目标	59
(一) 总体发展目标	59
(二) 太阳能热利用与农村能源	62
1. 太阳能热水器	62
2. 太阳房和太阳灶	62
3. 沼气	63
4. 生物质致密成型燃料	63
(三) 可再生能源发电	63
1. 风能	63
2. 光伏发电	64

3. 太阳能热发电	65
4. 生物质能发电	65
5. 水力发电	65
6. 地热和海洋能发电	66
7. 可再生能源发电目标汇总	67
8. 资源保障分析	68
(四) 生物质交通燃料和生物基工业制品	69
1. 生物质交通燃料	69
2. 生物基工业制品	69
(五) 小结	70
五、可再生能源技术发展路线图	71
(一) 可再生能源热利用技术	71
1. 太阳能热利用技术路线	71
2. 生物质能热利用技术路线	72
3. 地热能热利用技术路线	72
(二) 可再生能源发电技术	73
1. 风力发电	73
2. 太阳能发电技术路线	76
3. 水力发电技术路线	78
4. 生物质发电技术路线	79
5. 地热发电和海洋能发电技术路线	80
(三) 生物质交通燃料技术和非能源石油替代	80
1. 燃料乙醇	80
2. 生物柴油	81
3. 沼气和车用甲烷	81
4. 生物基工业制品替代石油技术	81
六、可再生能源发展所面临的问题和保障措施	82
(一) 资源评估	82
1. 面临的问题	82
2. 政策保障措施	82
(二) 技术研发和创新能力	83
1. 面临的问题	83
2. 政策保障措施	83
(三) 自主技术的产业体系	84
1. 面临的问题	84
2. 政策保障措施	85
(四) 市场保障	85

1. 面临的问题	85
2. 政策保障措施	86
(五) 政策和制度建设	86
1. 面临的问题	86
2. 政策保障措施	87
(六) 各类可再生能源技术存在的具体问题和应对措施	87
1. 风力发电	87
2. 太阳能光伏发电	88
3. 太阳能热利用	88
4. 生物质能	89
5. 水能	89
6. 地热能和海洋能	90
(七) 可再生能源战略布局的建议	90
(八) 小结	91
七、关于发展我国可再生能源的战略思考与建议	92
(一) 思考与建议	92
(二) 结束语	93
1. 科学发展, 分类指导	93
2. 重视研发, 夯实基础	94
3. 循序渐进, 持之以恒	94
4. 集中力量, 统一部署	94
参考文献	95
附件: 项目主要成员名单	97

风能综合报告

一、风能资源评估	105
(一) 风能资源评估方法	105
1. 统计分析方法	105
2. 数值模拟方法	106
(二) 风能资源评估结果	110
1. 风能资源储量	110
2. 风能资源区划	111
3. 风能资源特点	111
(三) 风能资源总体评价	112
1. 风能资源可开发量	112
2. 风能资源可利用区	112

二、风能发展基本情况	113
(一) 风能市场基本情况	113
1. 全球风能市场基本情况	113
2. 我国风能市场基本情况	115
3. 风电场效益分析	119
(二) 风能产业基本情况	120
1. 全球风能产业基本情况	120
2. 我国风能产业基本情况	125
3. 风能产业风险分析	127
(三) 风能技术基本情况	128
1. 全球风能技术基本情况	128
2. 我国风能技术基本情况	130
3. 风能技术发展方向	131
4. 风能应用技术	136
5. 海上风电技术	138
三、风能发展目标与发展路线	140
(一) 风能发展目标	140
1. 风能总体发展目标	140
2. 风电装机容量目标	140
3. 风电发电量目标	141
(二) 风能发展路线	141
1. 风能发展基本路线	141
2. 风能发展实施战略	141
(三) 风能发展效益	141
1. 增加能源供应, 调整能源结构, 保障能源安全	141
2. 保护生态环境, 减排温室气体	142
3. 发展新兴产业, 扩大就业机会	142
4. 建设社会主义新农村, 构建和谐社会	143
四、风能发展面临问题与保障措施	144
(一) 资源评估	144
(二) 技术创新	144
(三) 产业体系	145
(四) 市场培育	145
(五) 接入电网	145
(六) 政策措施	146
1. 落实完善价格分摊制度	146
2. 通过电价确定稳定的市场	146

3. 完善相关财税优惠政策	147
4. 提供稳定的资金保障	147
(七) 能力建设	147
1. 加强机构建设	147
2. 加快人才培养	148
3. 促进资源整合	149
五、风能发展思考与建议	150
(一) 风能资源与风能开发的关系	150
1. 风能开发与生态保护的协调	150
2. 风能开发与工业、农业、交通发展布局的协调	150
3. 风能开发与气候环境的协调	150
(二) 陆地风电与海上风电的关系	151
(三) 离网风电与并网风电的关系	151
(四) 风能与其他能源的关系	152
(五) 风电场与电网的关系	152
(六) 风电设备整机与部件的关系	153
(七) 外资、合资与内资企业的关系	153
(八) 技术引进与自主创新的关系	154

水能综合报告

一、加快我国水能资源开发的必要性和可行性	157
(一) 开发我国的水能资源的必要性	157
1. 水电开发是提高国家能源安全保障的需要	159
2. 水电开发是发挥我国水能资源的“比较优势”的需要	160
3. 水电开发是改善和保护生态环境的需要	160
4. 水电开发是优化我国能源供应结构的需要	161
5. 水电开发是促进西部大开发振兴西部地区经济的需要	162
6. 水电开发是缓解我国运输压力的需要	162
7. 水电开发是水资源综合利用的需要	163
(二) 大力开发我国水能资源的可行性(现实性)	163
1. 可开发的水能资源数据可靠	163
2. 我国水能资源总量	164
3. 我国水能资源分布	177
4. 我国水电开发的大型基地	178
(三) 水能资源在能源结构中的地位	207
(四) 水能开发现状	209

(五) 水电发展规划	210
1. 2020~2050 年水电开发展望与“藏电外送”	212
2. 抽水蓄能电站规划发展目标	212
(六) 新世纪水电开发的战略工程行动指南	213
1. 以提高水电开发程度为目标	214
2. 以建设 15 个大型水电基地为中心	214
3. 以建设百万千瓦级水电站为重点	215
4. 中型水电站成为各省(区)的开发重点	221
5. 小型水电站是各省(区)推进农村电气化的基础设施	221
二、当前水能开发面临的困难和问题	222
(一) 我们水电开发管理体制的制约	222
1. 政府职能划分不清制约了水电的开发	222
2. 水电项目相关各方之间存在利益冲突	223
3. 我国投资体制的改革对水电开发的制约	225
4. 现行税收、电价制度制约了水电开发	226
(二) 水电工程移民的安稳致富难制约水电发展	227
1. 前期补偿补助标准低	228
2. 后期扶持政策的可持续性差	229
3. 移民就业安置渠道狭窄	230
(三) 水电开发中生态环境影响的制约	230
1. 水电开发工程缺乏战略环境影响评价	230
2. 水电建设可能的生态环境影响	231
3. 水电开发生态环境保护仍然存在问题	231
三、水能开发政策建议和措施	233
(一) 建议政策	233
1. 成立水电开发及移民、环保工作的高层管理协调机构	233
2. 确保大水电基地开发的负荷市场空间	233
3. 调整不利于水电优先发展的现行税收政策	233
4. 执行公正的水电电价政策	234
5. 调整水电开发审批程序	234
6. 制订合理的水电移民资金的分配结构	234
7. 制订流域水资源开发的综合发展规划	235
8. 制定我国重点流域战略环境影响评价	235
(二) 措施建议	235
1. 财税措施	235
2. 投资融资措施	236
3. 电价措施	236

4. 法规和体制措施	236
------------------	-----

生物质能综合报告

一、生物质能源产业发展的国外动向	239
(一) 标志性事件	239
(二) 生物质能源产业现状	241
1. 美国	241
2. 巴西	242
3. 欧盟	243
4. 瑞典	243
5. 印度	244
(三) 质疑与答疑	244
1. 能效问题	244
2. 影响粮食安全问题	246
3. 生物多样性与生态安全问题	246
二、主要产品与技术前沿	248
(一) 固体生物燃料	248
1. 直接燃烧和与煤混燃	248
2. 成型燃料	248
3. “热电联产”	249
(二) 液体生物燃料——燃料乙醇	249
1. 原料选择	249
2. 加工工艺	250
(三) 液体生物燃料——生物柴油	251
1. 互溶剂的强化酯交换技术	252
2. 超临界反应的强化酯交换技术	252
3. 固体碱(酸)催化酯交换技术	252
4. 酶催化酯交换技术	253
5. 直接加氢技术	253
(四) 第二代生物燃料	253
1. 纤维素乙醇	253
2. 生物质汽化生产 F-T 柴油	255
3. 生物质液化生产生物柴油	256
4. 燃料丁醇	257
(五) 气体生物燃料	257
1. 沼气替代天然气	258

2. 生物质汽化	259
3. 生物质制氢	260
(六) 可生物降解塑料	261
(七) 生物质化工产品	263
1. 生物质制烯烃 BtO	263
2. 糠醛及替代 C4 化工产品	264
三、我国的生物质原料资源	265
(一) 生物质原料资源研究概述	265
(二) 我国生物质原料资源的研究思路和方法	266
1. 思路与原则	266
2. 工作方法与路线	267
(三) 有机废弃物资源	268
1. 农作物秸秆	268
2. 畜禽粪便	270
3. 林业剩余物	272
4. 工业有机废弃物	274
5. 城市有机生活垃圾	275
6. 有机废弃物原料资源汇总及评价	275
(四) 边际性土地资源	277
1. 边际性土地	277
2. 可利用而尚未利用的土地	279
3. 可垦或可农用的后备土地 (B1)	279
4. 宜林后备土地 (B2)	281
5. 现能源林地 (B3、B4、B5)	283
6. 边际性农地 (B6)	284
7. 边际性土地资源汇总及评价	284
(五) 生物质原料植物资源	285
1. 甜高粱	286
2. 木薯	287
3. 甘薯	287
4. 甘蔗	288
5. 油料作物	288
6. 木本油料植物	288
7. 木本能源植物	289
8. 灌木能源植物	290
(六) 我国生物质原料资源潜力及评价	291
四、发展战略与目标	295
(一) 发展生物质产业的战略需求	295