



Introduction to New Energy

新能源概论

王革华 主编 艾德生 副主编

Second Edition

第2版



化学工业出版社

新 能 源 概 论

第 2 版

Introduction To New Energy
Second Edition

王革华 主 编

艾德生 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

新能源概论/王革华主编. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 2011. 8

ISBN 978-7-122-11798-4

I. ①新… II. ①王… III. ①新能源-高等学校-教材 IV. ①TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 136413 号

责任编辑: 赵玉清

文字编辑: 颜克俭

责任校对: 蒋宇

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 13 $\frac{1}{4}$ 字数 323 千字 2012 年 1 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

新能源又称非常规能源，是指传统能源之外的各种能源形式。指刚开始开发利用或正在积极研究、有待推广的能源，如太阳能、地热能、风能、海洋能、生物质能和核聚变能等。当前，随着常规能源资源的日益枯竭以及大量利用化石能源带来的一系列环境问题，人类必须寻找可持续的能源道路，开发利用新能源特别是可再生能源无疑是重要的解决方案。作为相关领域的科学工作者和教育工作者，系统阐释新能源学科是我们义不容辞的责任。

化学工业出版社于2006年出版的《新能源概论》，是我们为广大读者系统地介绍有关新能源科学的基本理论、基本技术、新能源经济与政策以及新能源学科和技术的发展趋势而编写的。经过5年多的教学实践，也经过这些阶段的科研探索，结合国际上对新能源领域的研究进展，我们重新整理了该书。

鉴于新能源学科的交叉性、实践性，结合教学与科研实践经验，我们在原来的基础上强化了概念和基础应用方面的介绍，力求兼顾科学素质教育的要求，理论上做简单介绍，不求深入研讨，文字叙述上通俗易懂。本书适合于高等院校与新能源领域相关的研究生、大学本科高年级学生作为新能源概论方面的教材，也适合于相关的科研与管理工作者参考。

为求内容的连续性，本书编写组与第一版相同。王革华教授为主编，参加编写的作者均为在清华大学核能与新能源技术研究院从事新能源技术与开发的专家学者。具体的写作分工为：第1、8、9章由王革华教授执笔；第2章由邓长生教授与艾德生副教授执笔；第3章由张建安副教授执笔；第5章由谢晓峰副教授执笔；第6章由周志伟教授执笔，第7章由艾德生副教授执笔；第4章由原鲲鹏副教授执笔。全书由王革华与艾德生统稿。

化学工业出版社对本书的出版给予了大力的支持，尤其是教育分社的赵玉清老师对本书的出版做了大量工作。清华大学核能与新能源技术研究院的同事尤其是从事新能源领域的理论、技术、管理与政策研究的同事提供了大量的最新研究成果，在此一并致谢。

由于新能源科学涉及面广、发展迅速，本书作者水平有限，书中难免有不当之处，欢迎读者批评指正。

本书编写组

2011年6月于清华大学

第一版前言

能源是国民经济的命脉，也是构成客观世界的三大基础之一。随着常规能源资源的日益枯竭以及大量利用化石能源带来的一系列环境问题，人类必须寻找可持续的能源道路，开发利用新能源无疑是出路之一。新能源的理论研究、技术开发、新能源材料的探索、新能源经济的研究等无疑是当前众多研究热点中的亮点。新能源学科系统正逐步形成，系统阐释该学科是我们义不容辞的责任。

本书编写目的是为广大读者系统地介绍有关新能源科学的基本理论、技术进展、新能源经济与政策。鉴于能源、环境、生命、信息、材料、管理学科是新世纪高等院校科学素质系列教育的重要组成部分，本书以新能源学科的发展为契机，结合了多学科优势，力求兼顾科学素质教育的要求，理论上简单介绍，文字叙述上通俗易懂。本书适合于高等院校与新能源领域相关的研究生、大学本科高年级学生作为新能源概论方面的教材，也适合于相关的科研与管理工作者参考。

本书由王革华担任主编，由艾德生担任副主编，参加编写的作者均为在清华大学核能与新能源技术研究院从事新能源技术与开发的专家学者。编写分工为：第1章、第9章、第4章与第8章部分由王革华教授执笔；第2章由邓长生教授执笔；第3章由张建安副教授执笔；第5章由谢晓峰副教授执笔；第6章由周志伟教授执笔，第7章由艾德生副教授执笔；第4章、第8章部分由原颀副教授执笔。全书由王革华与艾德生统稿。

化学工业出版社对本书的出版给予了大力的支持，清华大学核能与新能源技术研究院的同事提供了大量的研究成果，在此一并致谢。

由于新能源科学涉及面广、发展迅速，本书作者水平有限，书中错误和不足之处，欢迎读者批评指正。

编者

2006年5月于清华大学

目 录

第 1 章 绪论	1	3.1.1 生物质	37
1.1 能源的概念及分类	1	3.1.2 生物质能	37
1.1.1 能量与能源	1	3.1.3 生物质的组成与结构	37
1.1.2 能源的分类	2	3.1.4 生物质转化利用技术	38
1.1.3 能源的评价	4	3.2 生物质燃烧	39
1.1.4 能源的开发利用	4	3.2.1 生物质燃烧及特点	39
1.2 新能源及其在能源供应中的作用	6	3.2.2 生物质燃烧原理	40
1.2.1 新能源的概念	6	3.2.3 生物质燃烧技术	40
1.2.2 新能源在能源供应中的作用	6	3.2.4 生物质燃烧直接热发电	42
1.2.3 新能源的未来	10	3.2.5 生物质与煤的混合燃烧	43
1.3 新能源技术的发展	11	3.3 生物质气化	44
1.3.1 太阳能	11	3.3.1 生物质气化及其特点	44
1.3.2 风能	12	3.3.2 生物质气化原理	44
1.3.3 生物质能	13	3.3.3 生物质气化工艺	45
1.3.4 地热能	14	3.3.4 生物质气化发电技术	46
1.3.5 海洋能	15	3.4 生物质热解技术	47
思考题	16	3.4.1 生物质热解及其特点	47
参考文献	16	3.4.2 生物质热解原理	47
第 2 章 太阳能	18	3.4.3 生物质热解工艺	48
2.1 太阳能资源与太阳辐射	18	3.4.4 生物质热解反应器	48
2.2 中国的太阳能资源	21	3.4.5 影响生物质热解的因素	48
2.3 太阳能-热利用	21	3.4.6 生物质热解产物及应用	49
2.3.1 基本原理	21	3.5 生物质直接液化	49
2.3.2 平板型集热器	22	3.5.1 生物质直接液化及其特点	49
2.3.3 聚光型集热器	23	3.5.2 生物质直接液化工艺	50
2.3.4 集热器的性能	24	3.5.3 生物质直接液化产物及应用	50
2.3.5 太阳能热利用系统	26	3.5.4 生物质的共液化	51
2.4 太阳光伏	28	3.6 生物燃料乙醇	51
2.4.1 太阳光伏基本原理	28	3.6.1 生物燃料乙醇及其特点	51
2.4.2 太阳电池的制造	29	3.6.2 淀粉质原料制备生物燃料乙醇	51
2.4.3 太阳能电池检测	31	3.6.3 乙醇发酵工艺	52
2.4.4 太阳能电池发电系统	32	3.6.4 纤维素原料制备生物燃料乙醇	53
2.5 太阳能其他应用	32	3.6.5 生物燃料乙醇的应用	54
2.6 太阳能利用的发展趋势	33	3.7 生物柴油	54
思考题	35	3.7.1 生物柴油及其特点	54
参考文献	36	3.7.2 化学法转酯化制备生物柴油	55
第 3 章 生物质能源	37	3.7.3 生物酶催化法生产生物柴油	56
3.1 概述	37	3.7.4 超临界法制备生物柴油	56

3.7.5 制备生物柴油的油脂原料	56	5.4 氢的利用	88
3.7.6 生物柴油的应用	57	5.4.1 燃料电池技术	88
3.8 生物丁醇	58	5.4.2 氢内燃机	98
3.8.1 生物燃料丁醇及其特点	58	5.5 氢能安全	99
3.8.2 丁醇发酵微生物及发酵机制	58	5.5.1 燃料电池汽车的安全	99
3.8.3 丁醇发酵技术	59	5.5.2 加氢站的安全	100
3.9 沼气技术	59	5.6 氢能应用展望	100
3.9.1 沼气的成分和性质	59	思考题	100
3.9.2 沼气发酵微生物学原理	60	参考文献	101
3.9.3 影响沼气发酵的主要因素	60	第6章 新型核能	102
3.9.4 大中型沼气工程	61	6.1 概述	102
3.9.5 沼气的用途	61	6.2 原子核物理基础	104
思考题	62	6.2.1 原子与原子核的结构与性质	104
参考文献	62	6.2.2 放射性与核的稳定性	105
第4章 风能	64	6.2.3 射线与物质的相互作用	108
4.1 风能资源	65	6.2.4 原子核反应	109
4.1.1 风能资源的表征	65	6.3 商用核电技术	111
4.1.2 中国风能资源	66	6.3.1 核能发电的基础知识	111
4.2 风力发电系统	67	6.3.2 商用核电站的工作原理	119
4.2.1 系统组成	67	6.3.3 商用核电站的安全性	120
4.2.2 运行方式	71	6.4 核能的新纪元	122
4.3 我国风能发展概况及展望	74	6.4.1 核裂变发电技术的选择	122
4.3.1 产业发展概况	74	6.4.2 Gen-IV的研发目标与原则	125
4.3.2 我国风能展望	76	6.4.3 选定的 Gen-IV 反应堆	125
思考题	77	6.5 未来的新型核能	129
参考文献	78	6.5.1 核裂变能园区	129
第5章 氢能	79	6.5.2 加速器驱动的次临界洁净核能 系统	130
5.1 概述	79	6.5.3 核聚变点火与约束	131
5.2 氢的制取	79	6.5.4 聚变-裂变混合堆系统	131
5.2.1 天然气制氢	80	6.5.5 磁约束聚变能系统 (MFE)	132
5.2.2 煤制氢	80	6.5.6 惯性约束聚变能系统 (IFE)	133
5.2.3 水电解制氢	81	思考题	134
5.2.4 生物质制氢	82	参考文献	135
5.2.5 太阳能制氢	83	第7章 新能源材料——基础与 应用	136
5.2.6 核能制氢	84	7.1 新能源材料基础	136
5.2.7 等离子化学法制氢	84	7.1.1 概念	136
5.2.8 液体原料醇类制氢	85	7.1.2 新能源材料的应用现状	136
5.3 氢的储存	85	7.2 新型储能材料	137
5.3.1 高压气态储氢	85	7.2.1 储能、储能技术与应用	137
5.3.2 液化储氢	85	7.2.2 新型相变储能材料制备基础及应 用的研究进展	138
5.3.3 金属氢化物储氢	86	7.3 锂离子电池材料	140
5.3.4 吸附储氢	87		
5.3.5 有机化合物储氢	87		
5.3.6 其他的储氢方式	88		

7.3.1	锂离子电池材料的应用基础	140
7.3.2	锂离子电池的正极材料	142
7.3.3	锂离子电池的负极材料	144
7.4	燃料电池材料应用基础	145
7.4.1	氢气利用	145
7.4.2	燃料电池技术的发展、材料技术基础与应用	146
7.5	太阳能电池材料基础与应用	148
7.5.1	概述	148
7.5.2	光伏效应与太阳能电池	149
7.5.3	太阳能电池材料基础	149
7.5.4	太阳能电池材料范例	150
7.6	其他新能源材料	155
7.6.1	核能关键材料与应用	155
7.6.2	镍氢电池材料基础与应用	156
7.6.3	生物质能材料基础与应用	157
7.6.4	风能与其材料基础	158
7.6.5	地热能	160
	思考题	161
	参考文献	161
第8章	其他新能源	164
8.1	地热能	164
8.1.1	地热资源及其特点	164
8.1.2	地热的热利用	165
8.1.3	地热发电	166
8.2	海洋能	168
8.2.1	潮汐能及其开发利用	169
8.2.2	波浪能及其开发利用	170
8.2.3	海流能及其开发利用	172

8.2.4	海洋温差能及其开发利用	173
8.2.5	海洋盐度差能及其开发利用	176
8.3	可燃冰	176
8.3.1	可燃冰资源及其特点	176
8.3.2	国际上可燃冰的勘探和开发动态	177
8.3.3	我国的相关活动和资源量估计	178
8.3.4	可燃冰的开采技术现状	178
	思考题	179
	参考文献	179
第9章	新能源发展政策	181
9.1	新能源的发展障碍	181
9.1.1	成本障碍	181
9.1.2	技术障碍	185
9.1.3	产业障碍	185
9.1.4	融资障碍	185
9.1.5	政策障碍	186
9.1.6	体制障碍	186
9.2	国外促进新能源发展的政策措施	186
9.2.1	国外新能源技术发展的政策经验	186
9.2.2	国外的主要政策工具	188
9.3	我国《可再生能源法》及新能源政策	195
9.3.1	《可再生能源法》的主要原则和内容	196
9.3.2	与《可再生能源法》配套的政策措施	202
	思考题	202
	参考文献	202

人类文明和进步的历史，始终是伴随着能源领域的开拓以及能源转换方式的发展而进行的。能源为人类提供了生存和进化的物质基础，同时人类也在不断同大自然的斗争中开拓新的能源领域，推动着人类文明不断前进。

从结束“茹毛饮血”时代，人类用钻木取火食用熟食、取暖和照明以及炼制锻造青铜器和铁器，人类物质文明掀起了不断飞跃的新篇章，并开始和能源使用密切相关。随着蒸汽机的发明和工业革命的风潮，人类实现了在前一阶段机械能转化成热能的基础上，进一步将热能转化为机械能的理想，而这也意味着人类历史上的又一次重大变革。

随着科技日新月异的发展，发电机的应用实现机械能向电能的转换同时宣告了现代人类物质文明的诞生。而近代原子能的利用，引起了人们对能源高度的关注，标志着人类在能源利用方面突飞猛进的飞跃。

在注重生存环境和生态和谐的今天，我们同样注意到因为能源某些不合理利用导致的一些负面效应，随着哥本哈根会议的召开，短短几天就把气候变化的话题再次摆在全球关注的焦点位置。在当代大能源环境下，人们开始深刻反思并积极探寻新的能源利用方式，也意味着人类文明的从反思自身角度更深层次的进步。

1.1 能源的概念及分类

1.1.1 能量与能源

什么是能量？从物理学的观点看，能量可以简单地定义为做功的能力。物体对外界做功 W ，则外界的能量增加 W ，而物体本身能量则减少 W 。这就是能量的最重要特征：能量既不能被创造也不能被消灭，它只能从一种形式转变为另一种形式，能量能够以多种形式存在。

那么什么是能源呢？《大英百科全书》对能源的解释为：“能源是一个包括所有燃料、流水、阳光和风的术语，人类用适当的转换手段，给人类自己提供所需的能量。”广义而言，任何物质都可以转化为能量，但是转化的数量及转化的难易程度是不同的。简言之，比较集中而又较易转化的含能物质称为能源。

由于科学技术的进步，人类对物质性质的认识及掌握能量转化方法也在深化，因此并没有一个很确切的能源的定义。但对于工程技术人员而言，在一定的工业发展阶段，能源的定义还是明确的。还有另一类型的能源即物质在宏观运动过程中所转化的能量即所谓能量过程，例如水的势能落差运动产生的水能及空气运动所产生的风能等。因此，能源的定义可描述为：比较集中的含能体或能量过程称为能源。可以直接或经转换提供人类所需的光、热、动力等任何形式能量的载能体资源。这里要注意能源和资源的区别。能源是人类取得能量的来源，包括已开采出来的可使用的自然资源以及经过加工或转换的能量的来源。而尚未开采

出来的能量资源只能称为资源。

能量的单位与功的单位一致。常用的单位是卡、焦耳、千瓦时等，和功的单位相同。能源的单位也就是能量的单位。在实际工作中，能源还用煤当量（标准煤）和油当量（标准油）来衡量，1kg 标准煤的发热量为 29.3kJ，1kg 标准油的发热量为 41.8kJ。千克标准煤用符号 kgce 表示，千克标准油用符号 kgoe 表示。也可以用吨标煤（tce）或吨标油（toe）及更大的单位计量能源。表 1-1 中列出了能量单位的换算。

表 1-1 能量单位的换算

单位	千焦 kJ	千瓦时 kWh	千卡 kcal	马力时 hph	公斤力·米 kgf·m	英热单位 B. t. u.	英尺·磅力 ft·lbf
kJ	1	2.77778×10^{-4}	2.38846×10^{-1}	3.776726×10^{-4}	1.01927×10^2	9.47817×10^{-1}	7.37562×10^2
kWh	3600	1	859.846	1.359621	3.67098×10^5	3412.14	2.65522×10^6
kcal	4.1868	1.163×10^{-3}	1	1.58124×10^{-3}	426.936	3.96832	3088.03
hph	2.647796×10^3	735.499×10^{-3}	632.415	1	270000	2509.63	1952913
kgf·m	9.80665×10^{-3}	2.724069×10^{-6}	2.34228×10^{-3}	3.703704×10^{-6}	1	9.29487×10	7.23301
B. t. u.	1.05506	2.93071×10^{-4}	2.51996×10^{-1}	3.98466×10^{-4}	1.075862×10^2	1	778.169
ft·lbf	1.35582	3.76616×10^{-7}	3.23832×10^{-4}	5.12056×10^{-7}	1.38255×10^{-1}	1.28507×10^{-3}	1

我国常用的计量单位是标准煤，各种燃料可按平均发热量热算成标准煤。中国各种燃料折算成标准煤的比率是：原煤为 0.714，石油为 1.429，天然气为 1.33，生物燃料、柴草约 0.6。水电每千瓦时电力，一般都按照当年火力发电的实际耗煤量折算成标准煤。

1.1.2 能源的分类

对能源有多种分类方法。以能量根本蕴藏方式，即来源的不同，可将能源分为三大类。

第一类能源是来自地球以外的太阳能。人类现在使用的能量主要来自太阳能，故太阳有“能源之母”的说法。现在，人们除了直接利用太阳辐射能之外，还大量间接地使用太阳能。例如目前使用最多的煤、石油、天然气等化石资源，就是千百万年前绿色植物在阳光照射下经光合作用形成有机质进而长成的根茎及食用这些植物的动物遗骸，在漫长的地质变迁中所形成的。此外如生物质能、流水能、风能、海洋能、雷电等，也都是由太阳能经过某些方式转换而形成的。

第二类能源是地球自身蕴藏的能量。这里主要指地热能资源以及原子能燃料，还包括地震、火山喷发和温泉等自然呈现出的能量。据估算，地球以地下热水和地热蒸汽形式储存的能量，是煤储能的 1.7 亿倍。原子能是地球内放射性元素衰变辐射的粒子或射线所携带的能量。此外，地球上的核裂变燃料（铀、钍）和核聚变燃料（氘、氚）是原子能的储存体。即使将来每年耗能比现在多 1000 倍，这些核燃料也足够人类用 100 亿年。

第三类能源是地球和其他天体引力相互作用而形成的。这主要指地球和太阳、月球等天体有规律运动而形成的潮汐能。地球是太阳系的八大行星之一。月球是地球的卫星。由于太阳系其他七颗行星或者距地球较远，或者质量相对较小，结果只有太阳和月亮对地球有较大的引力作用，导致地球上出现潮汐现象。海水每日潮起潮落各两次，这是引力对海水做功的结果。潮汐能蕴藏着极大的机械能，潮差常达十几米，非常壮观，是雄厚的发电原动力。

能源还可按相对比较的方法来分类如下。

(1) 按照是否经过加工转换，能源可分为：一次能源与二次能源。在自然界中天然存在的、可直接取得而又不改变其基本形态的能源，称之为一次能源，如煤炭、石油、天然气、风能、地热能等。为了满足生产和生活的需要，有些能源通常需要经过加工以后再加以使

用。由一次能源经过加工转换成另一种形态的能源产品叫做二次能源，如电力、煤气、蒸汽及各种石油制品等。大部分一次能源都转换成容易输送、分配和使用的二次能源，以适应消费者的需要。二次能源经过输送和分配，在各种设备中使用，即终端能源。终端能源最后变成有效能。

(2) 按照能否反复使用，能源可分为：可再生能源与非再生能源。在自然界中可以不断再生并有规律地得到补充的能源，称为可再生能源。如太阳能和由太阳能转换而成的水力、风能、生物质能等。它们都可以循环再生，不会因长期使用而减少。经过亿万年形成的、短期内无法恢复的能源，称为非再生能源，如煤炭、石油、天然气、核燃料等。它们随着大规模的开采利用，其储量会越来越来少，总有一天会枯竭。

(3) 按照人们开发和使用的程度，能源可分为：常规能源与新能源。在相当长的历史时期和一定的科学技术水平下，已经被人类长期广泛利用的能源，不但为人们所熟悉，而且也是当前主要能源和应用范围很广的能源，称为常规能源，如煤炭、石油、天然气、水力、电力等。一些虽然属于古老的能源，但只有采用先进方法才能加以利用，或采用新近开发的科学技术才能开发利用的能源；或者有些能源近一二十年来才被人们所重视，新近才开发利用，而且在目前使用的能源中所占的比例很小，但很有发展前途的能源，称它们为新能源，或称替代能源，如太阳能、地热能、潮汐能等。常规能源与新能源是相对而言的，现在的常规能源过去也曾是新能源，今天的新能源将来又成为常规能源。

(4) 按照能源性质，能源又可分为燃料能源和非燃料能源。属于燃料能源的有矿物燃料（煤炭、石油、天然气），生物燃料（薪柴、沼气、有机废弃物等），化工燃料（甲醇、酒精、丙烷以及可燃原料铝、镁等），核燃料（铀、钍、氘等）共四类。非燃料能源多数具有机械能，如水能、风能等；有的含有热能，如地热能、海洋热能等；有的含有光能，如太阳能、激光等。

从使用能源时对环境的大小，又把无污染或污染小的能源称为清洁能源，如太阳能、水能、氢能等；对环境污染较大的能源称为非清洁能源，如煤炭、油页岩等。石油的污染比煤炭小些，但也产生氧化氮、氧化硫等有害物质，所以，清洁与非清洁能源的划分也是相对比较而言，不是绝对的。能源的分类见表 1-2 所列。

表 1-2 能源的分类

		可再生能源	不可再生能源
一次能源	商品能源	水力(大型) 核能(增殖堆) 地热 生物质能(薪材秸秆、粪便等)	化石燃料(煤、油、天然气等) 核能
	传统能源(非商品能源)	太阳能(自然干燥等) 水力(水车等) 风力(风车、风帆等) 畜力	
	新能源	生物质能(燃料作物制沼气、酒精等) 太阳能(收集器、光电池等) 水力(小水电) 风力(风力机等) 海洋能 地热	
二次能源		电力、煤炭、沼气、汽油、柴油、煤油、重油等油制品、蒸汽、热水、压缩空气、氢能等	

注：人力计入劳动力，不计入能源。

1.1.3 能源的评价

能源的种类很多，各有优缺点，那么如何对能源进行品质评价呢？从目前技术水平来看，主要有以下几类技术指标。

(1) 能流密度 即在单位体积或单位面积内从能源获得的功率。新能源如太阳能和风能的能流密度较小，大约 $100\text{W}/\text{m}^2$ 左右；常规能源和核能的能流密度大。能流密度小是可再生能源的共性。

(2) 开发能源所需要的费用和设备价格 对能源的使用，必须对它的开发费用以及使用过程中的设备价格进行评价。太阳能、风能等可再生资源，由大自然提供，不需要能源费用，主要花费是一次性投资，但是目前可再生能源设备的一次性投资仍然比较贵。各类矿物燃料，从勘探、开采，到加工运输等，都需要人力和物力的投资。

(3) 能源供应的连续性和储存的可能性 要求能源能够连续供应，而且不用的时候可以存储起来，需要时能立刻发出能量。一般常规能源容易存储，可再生资源如太阳能、风能就很难储存，也很难连续供应。而采用矿物燃料和核燃料，则比较容易做到。

(4) 运输费用和损耗 能源需要从产地运输到使用地，但运输本身需要消耗能量，也是需要投资的。太阳能、风能、地热能是难以运输的，石油和天然气就很容易运输。水电站可以将水能转化为电能，通过高压电线运送到使用端，但是其损失和基础建设投资都会比较大，如果是远距离运送，输电损失也会比较大。

(5) 对环境的影响 环境污染已经成为影响全球的重大问题。随着能源消费量的增加，污染程度也会增加。一般而言，常规能源对环境污染的程度较为严重，而新能源多数较为洁净、污染较小。

(6) 存储量 为了保证能源持久的使用，能源保有量是非常重要的。我国煤炭储量居世界第三位，水力资源居世界第一位。但是这些能源的地理分布会影响运输，开发利用程度高低也是非常重要的。

(7) 能源品位 能源品位也就是能源转换为电能的难易程度。较难转化为电能的为低品位能源，较易转化为电能的为高品位能源，也是相对而言的。应合理安排使用不同品位的能源，不能因为一些能源品位低就白白浪费掉。

1.1.4 能源的开发利用

(1) 煤炭 煤炭是埋在地壳中亿万年以上的树木和其他植物，由于地壳变动等原因，经受一定的压力和温度作用而形成的含碳量很高的可燃物质，又称作原煤。由于各种煤的形成年代不同，碳化程度深浅不同，可将其分类为无烟煤、烟煤、褐煤、泥煤等几种类型，并以其挥发物含量和焦结性为主要依据。烟煤又可以分为贫煤、瘦煤、焦煤、肥煤、漆煤、弱粘煤、不粘煤、长焰煤等。

煤炭既是重要的燃料，又是珍贵的化工原料。20 世纪以来，煤炭主要用于电力生产和在钢铁工业中供炼焦，某些国家蒸汽机车用煤比例也很大。电力工业多用较低品质煤（灰分大于 30%）；蒸汽机车用煤则要求质量较高，灰分需要低于 25%，挥发分含量要求大于 25%，易燃并具有较长的火焰。另外，由煤转化的液体和气体合成燃料，对补充石油和天然气的使用也具有重要意义。

中国煤炭资源丰富，除上海以外其他各省区均有分布，但分布极不均衡。国家“十一五”规划建议中进一步确立了“煤为基础、多元发展”的基本方略，为中国煤炭工业的兴旺

发展奠定了基础。

(2) 石油 石油是一种用途极为广泛的宝贵矿藏，是天然的能源物资。对于石油是如何形成的这个问题，科学家一直在争论。目前大部分的科学家都认同的一个理论是：石油是由沉积岩中的有机物质变成的。因为在已经发现的油田中，99%以上都是分布在沉积岩区。另外，人们还发现了现代的海底、湖底的近代沉积物中的有机物正在向石油慢慢转化。

石油同煤相比有很多的优点。首先，它释放的热量比煤大得多。每千克煤燃烧释放的热量为5000kcal，而每千克的石油燃烧释放的热量为10000多千卡。就发热而言，石油大约是煤的2~3倍。石油使用方便，它易燃又不留灰烬，是理想的相对清洁的燃料。石油也是许多化学工业产品如溶剂、化肥、杀虫剂和塑料等的原料。今天88%开采的石油被用做燃料，其他的12%作为化工原料。由于石油是一种不可更新原料，许多人担心石油用尽可能对人类带来的不良后果。

从已探明的石油储量看，世界总储量为1043亿吨。目前世界有七大储油区，第一大储油区是中东地区，第二是拉丁美洲地区，第三是俄罗斯，第四是非洲，第五是北美洲，第六是西欧，第七是东南亚。这七大油区占世界石油总量的95%。

(3) 天然气 天然气是地下岩层中以碳氢化合物为主要成分的气体混合物的总称。天然气是一种重要能源，燃烧时有很高的发热值，对环境的污染也较小，而且还是一种重要的化工原料。天然气的生成过程同石油类似，但比石油更容易生成。天然气主要由甲烷、乙烷、丙烷和丁烷等烃类组成，其中甲烷占80%~90%。天然气有两种不同类型。一是伴生气，由原油中的挥发性组分组成。约有40%的天然气与石油一起伴生，称油气田。它溶解在石油中或是形成石油构造中的气帽，并对石油储藏提供气压。二是非伴生气，与液体油的积聚无关，可能是一些植物的衍生物。60%的天然气为非伴生气，即气田气，它埋藏更深。

最近十年液化天然气技术有了很大发展，液化后的天然气体积仅为原来体积的1/600。因此可以用冷藏油轮运输，运到使用地后再予以气化。另外，天然气液化后，可为汽车提供方便的污染小的天然气燃料。天然气是较为安全的燃气之一，不易积聚形成爆炸性气体，安全性较高。此外，采用天然气作为能源，可减少煤和石油的用量，因而也可以较大改善环境污染问题。

(4) 水能 水能资源最显著的特点是可再生、无污染。开发水能对江河的综合治理和综合利用具有积极作用，对促进国民经济发展，改善能源消费结构，缓解由于消耗煤炭、石油资源所带来的环境污染有重要意义，因此世界各国都把开发水能放在能源发展战略的优先地位。

世界河流水能资源理论蕴藏量为40.3万亿千瓦时，技术可开发水能资源为14.3万亿千瓦时，约为理论蕴藏量的35.6%；经济可开发水能资源为8.08万亿千瓦时，约为技术可开发的56.22%，为理论蕴藏量的20%。发达国家拥有技术可开发水能资源4.82万亿千瓦时，经济可开发水能资源2.51万亿千瓦时，分别占世界总量的33.5%和31.1%。发展中国家拥有技术可开发水能资源共计9.56万亿千瓦时，经济可开发水能资源5.57万亿千瓦时，分别占世界总量的66.5%和68.9%。可见，世界开发水能资源主要蕴藏量在发展中国家，而且发达国家可开发水能资源到1998年已经开发了60%，而发展中国家到1998年才开发20%，所以今后大规模的水电开发主要集中在发展中国家。

中国水能资源理论蕴藏量、技术可开发和经济可开发水能资源均居世界一位，其次为俄罗斯、巴西和加拿大。但在中国，水能资源也存在分布不均和资源开发程度低的问题。

(5) 新能源 人类社会经济的发展需要大量能源的支持。随着常规能源资源的日益枯竭以及由于大量利用矿物能源而产生的一系列环境问题,人类必须寻找可持续的能源道路,开发利用新能源和可再生能源无疑是重要出路之一,下面的章节将详细介绍新能源的利用与前景。

1.2 新能源及其在能源供应中的作用

1.2.1 新能源的概念

什么是新能源?新能源是相对于常规能源而言的一个概念。以采用新技术和新材料而获得的,在新技术基础上系统地开发利用的能源,如太阳能、风能、海洋能等,就称为新能源。与常规能源相比,新能源生产规模较小,使用范围较窄。

常规能源与新能源的划分是相对的。以核裂变能为例,20世纪50年代初开始把它用来生产电力和作为动力使用时,被认为是一种新能源。到80年代世界上不少国家已把它列为常规能源。太阳能和风能被利用的历史比核裂变能要早许多世纪,由于还需要通过系统研究和开发才能提高利用效率、扩大使用范围,所以还是把它们列入新能源。

按1978年12月20日联合国第三十三届大会第148号决议,新能源和可再生能源共包括以下14种能源:太阳能、地热能、风能、潮汐能、海水温差能、波浪能、木柴、木炭、泥炭、生物质转化、畜力、油页岩、焦油砂以及水能。1981年8月10~21日联合国新能源和可再生能源会议之后,各国对这类能源的称谓有所不同,但是共同的认识是,除常规的化石能源和核能之外,其他能源都可称为新能源和可再生能源,主要为太阳能、地热能、风能、海洋能、生物质能、氢能和水电。

由于化石能源燃烧时带来严重的环境污染,且其资源有限,所以从人类长远的能源需求看,新能源和可再生能源将是理想的持久能源,已引起人们的特别关注,许多国家投入了大量研究与开发工作,并列为高新技术的发展范畴。我国是化石能源相对不足的国家,因此能源配置多元化是解决我国能源问题的必由之路,新能源的研究与利用将是多元化中重要途径之一。由不可再生能源逐渐向新能源和可再生能源过渡,是当代能源利用的一个重要特点。

1.2.2 新能源在能源供应中的作用

能源是国民经济和社会发展的重要战略物资,但能源活动同样是现实中的重要污染源。我国是一个人口大国,同时又是一个经济迅速崛起的国家。随着国民经济的日益发展以及加入WTO目标的实现,作为一个以煤炭为主的能源消费大国,我国不仅面临着经济增长及环境保护的双重压力,同时能源安全、国际竞争等问题也日益突出。

太阳能、风能、生物质能和水能等新能源和可再生能源由于其清洁、无污染和可持续开发利用等特性,既是未来能源系统的基础,对中国来说又是目前亟须的补充能源。因此在能源、气候、环境问题日益严重的今天,大力发展新能源和可再生能源不仅是适宜、必要的,更是符合国际发展趋势的。

(1) 发展新能源和可再生能源是建立可持续能源系统的必然选择 煤炭、石油、天然气等传统能源都是资源有限的化石能源,化石能源的大量开发和利用,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之一。如何解决长期的用能问题以及在开发和利用资源的同时保护好人类赖以生存的地球环境及生态系统,已经成为全球关注的问题。从世界共同

发展的角度以及人们对保护环境、保护资源的认识进程来看,开发利用清洁的新能源和可再生能源,是可持续发展的必然选择,并越来越得到人们的认同。

人类社会的可持续发展必须以能源的可持续发展为基础。那么,什么是可持续发展的能源系统呢?根据可持续发展的定义和要求,它必须同时满足以下三个条件:一是从资源来说是丰富的、可持续利用的、能够长期支持社会经济发展对于能源的需要的;二是在品质上是清洁的、低排放或零排放的、不会对环境构成威胁的;三是在技术经济上它是人类社会可以接受的、能带来实际经济效益的。总而言之,一个真正意义上的可持续发展的能源系统应是一个有利于改善和保护人类美好生活,并能促进社会、经济和生态环境协调发展的系统。

到目前为止,石油、天然气和煤炭等化石能源系统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作出了不可磨灭的贡献;然而,实践证明,这些能源资源同时存在着一些难以克服的缺陷,并且日益显著地威胁着人类社会的发展和安。首先是资源的有限性。据专家们的研究和分析,几乎得出一致的结论:这些非再生能源资源的耗尽只是时间问题,是不可避免的。表 1-3 是法国专家 20 多年前所作出的分析,现在看来他的结论依然是正确的。表 1-4 则是中国主要能源与世界对比情况。从中可以看出,我国能源形势面临着更严峻的挑战。

表 1-3 世界非再生能源开采年限估计

能源情况种类	已探明的储量(PR)和推测出的潜在储量(AR)	消耗期(公历年)
煤	900(PR) 2700(AR)	2200 年左右
石油	100(PR) 36(AR)	2020 年以前
天然气	74(PR) 60(AR)	2040 年左右
铀	按热反应堆计 60(PR+AR) 按增值反应堆计 1300(PR) 1600(AR)	按热反应堆计 2073 年; 按增值反应堆计 2110~2120 年
所有不可再生能源	1100(PR) 300(AR)	2200 年左右

注:资料来源, J. R. Frisch, 未来的资源危机, 法国, 1982 年。

表 1-4 2004 年中国主要能源与世界的对比

项 目	煤炭	石油	天然气
世界总可采储量	9842 亿吨	1434 亿吨	146.4 万亿立方米
中国可采储量	1145 亿吨	38 亿吨	1.37 万亿立方米
中国所占比例	11.6%	2.6%	0.9%
世界储采比	218	41	63
中国储采比	92	24	58
中国产量名次	1	5	19

注:资料来源, 中国能源网, 2009。

其次是化石能源对环境的危害性。化石能源特别是煤炭被称为肮脏的能源,从开采、运

输到最终的使用都会带来严重的污染。大量研究证明，80%以上的大气污染和95%的温室气体都是由于燃烧化石燃料引起的，同时还会对水体和土壤带来一系列污染。这些污染及其对人体健康的影响是极其严重的，不可小视。表1-5给出了全球生态环境恶化的一些具体表现，令人触目惊心。由于大量使用化石能源以及化学排放，人类正面临着严峻的生态与环境危机。比如温室效应、大气污染、水污染、森林砍伐、固体废弃物污染以及臭氧空洞等。从而迫使人们不得不重新寻求新的、可持续使用而又不危害环境的能源资源。

表 1-5 全球生态环境恶化的具体表现

项 目	恶化表现	项 目	恶化表现
土地沙漠化	10 公顷/分钟	二氧化碳排放	1500 万吨/天
森林减少	21 公顷/分钟	垃圾产生	2700 万吨/天
草地减少	25 公顷/分钟	由于环境污染造成死亡人数	10 万人/天
耕地减少	40 公顷/分钟	各种废水、污水排放	60000 亿吨/年
物种灭绝	2 个/小时	各种自然灾害造成的损失	1200 亿美元/年
土壤流失	300 万吨/小时		

注：资料来源，张无敌，“生物质能利用”，太阳能，2000年第1期。

新能源和可再生能源的利用符合可持续发展的基本要求，它们具有如下特点。

① 资源丰富，分布广泛，具备替代化石能源的良好条件 以中国为例，仅太阳能、风能、水能和生物质能等资源，在现有科学技术水平下，一年可以获得的资源量即达7330Mtce（表1-6），大约是2000年中国全国能源消费量1300Mtce的5.6倍、煤炭消费量的8.3倍。而且这些资源绝大多数是可再生的、洁净的能源，既可以长期、永续利用，又不会对环境造成污染。尽管从全生命周期的观点来看，新能源在其开发利用过程中因为消耗一定数量的燃料、动力和一定数量的钢材、水泥等物质，而间接排放一些污染物，但排放量相对来说微不足道。

表 1-6 中国新能源和可再生能源资源可获得量估计

单位：Mtce

项 目	中国	备 注
太阳能	4800	按1%陆地面积、转换效率20%计算
生物质能	700	包括农村废弃物和城市有机垃圾等生物质能
水能	130	所有可能的坝址(含微水电)
风能	1700	按海陆风能资源可开发量、2300h、0.36kgce/kWh计
潮汐能		
地热能		
总计	7330	

注：资料来源，张正敏。

新能源和可再生能源资源分布的广泛性，为建立分散型能源提供了十分便利的条件。这一点相对于化石能源来说具有不可比拟的优势。

② 技术逐步趋于成熟，作用日益突出 我国部分可再生能源和新能源利用技术已经取得了长足的发展，并且形成了一定的规模。目前，生物质能、太阳能、风能以及水力发电、地热能等的利用技术已经得到了应用。目前新能源技术主要特征是：能量转换效率不断提高；技术可靠性进一步改善；技术系统日益完善，稳定性和连续性不断提高；产业化不断发展，已涌现出一批商业化技术；规模逐渐增大，成本有进一步走低的趋势。

③ 经济可行性不断改善 应当说目前大多数新能源和可再生能源技术还不是廉价的技

术,如果仅就其能源经济效益而论,目前许多技术都达不到常规能源技术的水平,在经济上缺乏竞争能力;但在某些特定的地区和应用领域已出现不同情况,并表现出一定程度的市场竞争能力,如小水电、地热发电、太阳热水器、地热采暖技术和微型光伏系统等。

上述事实表明,新能源和可再生能源技术不仅应该成为可持续发展能源系统的组成部分,而且在实际上已成为现实能源系统中的一个不可缺少的部分。

(2) 发展新能源和可再生能源对维护我国能源安全意义重大 我国目前处于经济高速发展的时期,尤其是在全面建设小康社会的目标指引下,我国的能源建设任重道远。但是长期以来,我国的能源结构以煤为主,这是造成我国能源效率较低、环境污染严重的重要原因之一。优化能源结构、改善能源布局已成为我国能源发展的重要目标之一。开发利用清洁的新能源和可再生能源无疑是促进我国能源结构多元化的一条重要途径。尤其是在具有丰富可再生资源的地区,可以充分发挥资源优势,如利用西部和东南沿海的风能资源,既可以较显著地改善这些地区的能源结构,还可以缓解经济发展给环境带来的压力。

在优化能源结构过程中,提高优质能源如石油、天然气在能源消费中的比重无疑是十分必要的,但这样做同时也带来了能源安全问题。我国从1993年和1996年分别成为油品和原油的净进口国。2000年我国石油进口依存度达到20%。随着国民经济的持续增长,石油进口量占整体石油需求量中的份额会随之增长,将由2001年的34%增加到2030年的82%。过度依赖石油进口将严重威胁我国的能源安全。今后国际石油市场的不稳定以及油价波动都将会严重影响我国石油的供给,对经济社会造成很大的影响和冲击。石油是战略物质,石油引发的各种争端层出不穷。伊拉克战争、阿富汗战争过后,中东乃至中亚不稳定因素依然存在,世界恐怖主义也威胁着包括俄罗斯、印度尼西亚、拉美等石油储量丰富的国家。天然气在中国有着广阔的发展前景,但2000年进口依存度也达到6%,2010年达到12.8%。在进口依存度逐渐增加的情况下,我国能源供应的稳定性不可能不受到国际风云变幻的影响。

可再生能源属于本地资源,其开发和利用过程都在国内开展,不会受到外界因素的影响;新能源和可再生能源通过一定的工艺技术,不仅可转换为电力,还可以直接或间接地转换为液体燃料,如乙醇燃料、生物柴油和氢燃料等,可为各种移动设备提供能源。因此开发国内丰富的可再生能源,建立多元化的能源结构,不仅可以满足经济增长对能源的需求,而且有利于丰富能源供应、提高能源供应安全。

(3) 发展新能源和可再生能源是减少温室气体排放的一个重要手段 随着哥本哈根会议的召开,温室气体的减排再一次引起全球的重视。我国也对2020年的远景规划制定了一系列目标计划。发展可再生能源有巨大的效益,其中重要一点就是可再生能源的开发利用很少或几乎不会产生对大气环境有危害的气体,这对减少二氧化碳等温室气体的排放是十分有利的。

以风电和水电为例,它们的全生命周期碳排放强度仅为6g/kWh和20g/kWh,远远低于燃煤发电的强度275g/kWh。在“京都议定书”对发达国家作出减排的严格要求下,欧盟国家已经将可再生能源的开发利用作为温室气体减排的重要措施,他们计划到2020年风力发电装机要占整个欧盟发电装机的15%以上,到2050年可再生能源技术提供的能源要在整个能源构成中占据50%的比例,足见其对新能源和可再生能源在减排问题上所起作用的重视。

温室气体减排是全球环境保护和可持续发展的一个主题。我国作为一个经济快速发展的大国,努力降低化石能源在能源消费结构中的比重,尽量减少温室气体的排放,树立良好的国家形象是必要的。水电、核电、新能源和可再生能源是最能有效减少温室气体排放的技术