

普通高等教育“十二五”规划教材

新能源概论

XIN NENGYUAN GAILUN

● 杨天华 主 编
● 李延吉 刘 辉 副主编



化学工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

新能源概论

杨天华 主编

李延吉 刘 辉 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是普通高等教育“十二五”规划教材。

全书共分为9章,对各种新能源技术的理论、技术、产业现状及发展趋势进行了完整的介绍和分析,主要包括绪论、太阳能、生物质能、风能、水能、海洋能、地热能、核能、氢能等。本书可作为高等院校能源、环境等专业师生的教材,也可供相关领域的技术人员、管理人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

新能源概论/杨天华主编. —北京:化学工业出版社,
2013.7

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-17553-3

I. ①新… II. ①杨… 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(2013)第120460号

责任编辑:满悦芝

文字编辑:荣世芳

责任校对:蒋宇

装帧设计:刘丽华

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:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张16½ 字数417千字 2013年10月北京第1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: 35.00 元

版权所有 违者必究

前 言

能源是国民经济发展的重要支柱，也是人类赖以生存的基本条件。长期以来，我国能源构成以化石能源为主，大量消耗化石能源使我国面临严重的资源环境问题，寻求新的可替代、无污染、可再生能源是我国现阶段亟待解决的问题。从能源格局演变来看，新型能源取代传统能源是大势所趋，其在我国能源结构中所占比例也逐步提高。能源发展轨迹和规律是从高碳走向低碳，从低效走向高效，从污染走向清洁，逐步实现可持续发展。开发利用风能、太阳能、核能、生物质能等新能源符合能源发展的轨迹，对建立可持续的能源系统，促进国民经济发展和环境保护发挥着重大作用。发展新能源可以逐步改变传统能源消费结构，减小对能源进口的依赖度，提高能源安全性，减少温室气体排放，有效保护生态环境，促进社会经济又好又快发展。因此，大力开发和利用新能源已成为我国的基本国策。

本书面向广泛的读者对各种新能源技术进行了完整的介绍和分析。全书共分为9章，第1章绪论从能源的发展现状和存在的问题着手，进而引入新能源的重要意义、分类、发展现状以及宏观趋势。第2章着重介绍太阳能理论、技术及相关产业发展现状及趋势，特别介绍了新兴的光热发电技术及趋势。第3章对生物质能的转换、利用技术及趋势进行分析论述。第4章对风能利用技术及趋势进行阐述，特别介绍与风能匹配的储能技术。第5章重点分析水能利用原理、水能发电技术及趋势。第6章结合潮汐能、波浪能、温差能和盐差能四种新兴发电技术介绍海洋能利用技术及趋势。第7章讲解了地热能分布、利用技术、现状及趋势。第8章主要阐述核能利用的基础理论、原料、利用技术、安全性及发展趋势。第9章主要对氢能的制备、存储、运输、利用和安全性等环节进行系统论述，并特别介绍氢在燃料电池、内燃机和喷气发动机中的应用。本书取材上力求资料新颖、涉猎面广、内容细致、叙述简洁，为读者提供新能源领域更多的知识信息。

本书的编者都是长期从事新能源教学与科研的高校教师，根据自身科研经历总结经验和收集大量资料，共同编写完成本书。参加本书各章节编写的人员包括：杨天华（第1章，第3章，第5章）；李延吉（第2章，第7章）；开兴平（第3章）；徐杰（第4章）；孙洋（第5章，第6章）；刘辉（第8章）；贺业光（第9章）。杨天华教授负责全书的统稿工作。

由于本书涉及的内容广泛，编写时参考了国内外相关领域最新资料和成果，在此谨向有关文献作者表示谢意。

由于编者时间和水平有限，疏漏之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

编者
2013年8月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 能源含义、分类及发展现状	1
1.1.1 能源的含义	2
1.1.2 能源的分类	2
1.1.3 能源危机	3
1.1.4 世界及中国能源发展现状	3
1.2 新能源的分类及其发展	5
1.2.1 新能源的特征	5
1.2.2 太阳能	5
1.2.3 风能	6
1.2.4 生物质能	6
1.2.5 水能	7
1.2.6 地热能	8
1.2.7 海洋能	8
1.2.8 氢能	9
1.2.9 核能	9
1.3 新能源利用发展现状和趋势	10
思考题	11
参考文献	11
第2章 太阳能	12
2.1 概述	12
2.1.1 太阳能简介	12
2.1.2 太阳能的特点	14
2.1.3 太阳能利用形式	14
2.2 太阳能传热理论	16
2.2.1 经典黑体辐射基本定律	17
2.2.2 太阳能传输到达地面接收器的照射辐射强度理论	17
2.2.3 辐射接收器的辐射性质	18
2.2.4 太阳能利用中的其他基础理论知识	19
2.3 太阳能供暖技术	20
2.3.1 太阳能供暖利用研究	20
2.3.2 太阳能供暖的分类	21
2.3.3 太阳能供暖的原理	22
2.3.4 太阳能集热系统关键设计基础	22
2.3.5 太阳能集热器与供暖方式的搭配分析	25
2.4 太阳能光伏发电技术	26

2.4.1	太阳能光伏发电利用研究	26
2.4.2	太阳能光伏发电系统分类	27
2.4.3	太阳能电池光伏发电原理	28
2.4.4	太阳能光伏发电系统设计原则	30
2.4.5	太阳能光伏发电系统设计程序	30
2.5	太阳能热发电技术	34
2.5.1	太阳能热发电利用研究	34
2.5.2	太阳能热发电系统分类	34
2.5.3	太阳能热发电系统原理	34
2.5.4	太阳能热发电系统技术	35
2.5.5	三种太阳能热发电系统技术比较	39
2.5.6	提高太阳能热发电系统效率的主要措施	39
2.5.7	规模化太阳能热发电的发展障碍与方向	41
2.6	太阳能利用发展现状和趋势	42
2.6.1	太阳能产业发展背景	42
2.6.2	太阳能利用技术的发展战略与趋势	42
2.6.3	太阳能发电利用“十二五”发展目标	44
	思考题	45
	参考文献	45
第3章	生物质能	46
3.1	概述	46
3.1.1	生物质及生物质能	46
3.1.2	生物质能分类	47
3.1.3	生物质能的特点	48
3.2	生物质能开发和能量转化技术	48
3.2.1	物理转换	48
3.2.2	化学转换	49
3.2.3	生物转换	50
3.3	生物质能热化学转化技术	50
3.3.1	生物质直接燃烧	50
3.3.2	生物质热解	53
3.3.3	生物质气化技术	57
3.4	生物质能生物转化技术	62
3.4.1	沼气技术	62
3.4.2	生物燃料乙醇技术	70
3.4.3	生物乙醇的制备方法	72
3.5	生物质能发电技术	74
3.5.1	直接燃烧发电技术	74
3.5.2	生物质气化发电技术	77
3.5.3	沼气发电技术	81
3.6	城市生活垃圾能源利用技术	82

3.6.1	城市生活垃圾分类收集	83
3.6.2	城市生活垃圾分选回收系统	83
3.6.3	垃圾衍生固体燃料	84
3.6.4	城市生活垃圾能源利用技术	85
3.7	生物质能利用发展现状和趋势	93
3.7.1	生物质能利用的发展现状	93
3.7.2	生物质能利用的发展趋势	96
	思考题	97
	参考文献	97
第4章	风能	99
4.1	概述	99
4.1.1	风能的特点	99
4.1.2	风能的基本特征	100
4.1.3	风能资源概况	101
4.2	风能利用原理	103
4.2.1	风力机简介	103
4.2.2	风力机工作原理	105
4.3	风力发电技术	108
4.3.1	风力发电技术简介	108
4.3.2	海上风力发电	109
4.3.3	高空风力发电	110
4.3.4	低风速风力发电技术	111
4.3.5	涡轮风力发电技术	111
4.4	风能存储技术	111
4.4.1	电池储能	111
4.4.2	水力蓄能	112
4.4.3	飞轮蓄能	112
4.4.4	压缩空气蓄能	113
4.4.5	热能存储	114
4.4.6	氢能存储	116
4.5	风能利用发展现状和趋势	117
4.5.1	风能利用现状	117
4.5.2	主要国家的支持政策和措施	119
4.5.3	风力发电的发展趋势	121
	思考题	122
	参考文献	122
第5章	水能	123
5.1	概述	123
5.1.1	我国水能资源概况	123
5.1.2	水能的地位与作用	123
5.1.3	中国水能资源的特点	124

5.2	水能开发利用原理	125
5.2.1	水能利用的原理	125
5.2.2	水资源综合利用的原则	128
5.3	径流调节与水能计算	128
5.3.1	径流调节	128
5.3.2	水能计算	132
5.4	水力发电技术	134
5.4.1	水力发电基本知识	134
5.4.2	水能开发方式与水电站基本类型	136
5.4.3	水电站的水工建筑物	143
5.4.4	水电站的机电设备	150
5.5	水能利用发展现状和趋势	157
5.5.1	我国水电建设成就	157
5.5.2	我国水电建设技术成就	158
5.5.3	我国水能资源的应用发展前景	160
	思考题	160
	参考文献	160
第6章	海洋能	162
6.1	概述	162
6.1.1	海洋资源及海洋能	162
6.1.2	海洋能分类	163
6.1.3	海洋能资源的特点	164
6.1.4	海洋能开发利用及其意义	165
6.2	海洋能的开发技术	165
6.2.1	潮汐能发电技术	165
6.2.2	波浪能发电技术	172
6.2.3	温差能发电技术	177
6.2.4	盐差能发电技术	179
6.3	海洋能利用发展现状和趋势	180
6.3.1	国外发展现状和趋势	180
6.3.2	我国发展现状和趋势	182
	思考题	182
	参考文献	182
第7章	地热能	184
7.1	概述	184
7.1.1	地球内部的结构	184
7.1.2	地球内部的能源	185
7.2	地热的分类及分布	186
7.2.1	地热的分类	186
7.2.2	地热的分布	187
7.3	地热的开发及应用	191

7.3.1	地热发电	191
7.3.2	地热直接利用	193
7.4	地热能利用发展现状和趋势	195
7.4.1	地热能利用发展现状	195
7.4.2	地热能利用发展趋势	198
	思考题	202
	参考文献	202
第8章	核能	203
8.1	概述	203
8.1.1	核能的应用历史	203
8.1.2	核能发电	203
8.1.3	核能发电的原理	204
8.1.4	核能应用的优劣	205
8.1.5	海洋的核资源	205
8.1.6	月球的核应用	206
8.2	原子核物理基础	206
8.2.1	原子核物理发展介绍	206
8.2.2	原子核物理基础理论	208
2.2.3	核衰变	211
8.3	核反应堆及核燃料	211
8.3.1	核反应堆	211
8.3.2	核燃料	214
8.4	核能利用技术	217
8.4.1	核能发电	217
8.4.2	核武器及核动力	218
8.4.3	核技术的广泛应用	218
8.4.4	核能的发展前景	218
8.5	核废物处理与核安全	219
8.5.1	核废物处理	219
8.5.2	核安全	220
8.6	核能利用发展现状和趋势	222
8.6.1	能源危机与发展核能的必然性	222
8.6.2	核能的发展历程与开发利用现状	222
8.6.3	核能的利用对环境造成的影响	223
8.6.4	核能发展的前景	223
	思考题	223
	参考文献	224
第9章	氢能	225
9.1	概述	225
9.1.1	氢的分布	225
9.1.2	氢气的性质	225

9.1.3 氢能的特点	228
9.2 氢的制备方法和储运	229
9.2.1 氢的制备	229
9.2.2 氢气的纯化	237
9.2.3 氢的储存和运输	237
9.3 氢能应用技术	239
9.3.1 燃料电池技术	240
9.3.2 氢在内燃机中的应用	245
9.4 氢能安全	247
9.4.1 氢的安全性	247
9.4.2 氢的安全排放技术	248
9.5 氢能利用发展现状和趋势	249
9.5.1 氢能燃料电池利用现状	249
9.5.2 氢能利用的发展趋势	251
思考题	254
参考文献	254

第 1 章

绪论

能源是社会进步和经济发展的重要基础，安全可靠的能源供应体系和高效、清洁、经济的能源利用，是支撑经济和社会持续发展的基本保证。能源的供应方式和技术水平决定了经济发展的水平，每次能源革命都伴随着经济结构调整。世界各国的经济腾飞和工业化必须以大量的能源消费作为支撑，由于各国历史背景不同，发展程度不同，经济积累不同，且地域各异，故展现出各国对能源的消费和需求是极不均衡的。当今世界新技术、新产业迅猛发展，孕育着新一轮产业革命，新兴产业正在成为引领未来经济社会发展的重要力量，世界主要国家纷纷调整发展战略，大力培育新兴产业，抢占未来经济科技竞争的制高点。

欧盟最新出台的能源规划中提出了到 2050 年构建完全可持续能源系统的构想，届时将使用可再生能源满足全部能源需求。为积极应对气候变化、调整能源结构、保障能源安全、实现可持续发展，我国政府提出争取到 2020 年非化石能源占一次能源消耗比重达到 15% 左右，单位国内生产总值的 CO₂ 排放比 2005 年下降 40%~45%，并作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划。我国能源资源的格局是富煤、贫油、少气、可再生能源丰富，大力发展可再生能源，形成多种能源互补均衡发展的能源结构可以显著提高能源转化效率，是实现可持续发展的重要途径。我国“十一五”期间确立了新能源等七大战略新兴产业，是以重大技术突破和重大发展需求为基础，对经济社会全局和长远发展具有重大引领带动作用，知识技术密集、物质资源消耗少、成长潜力大、综合效益好的产业。2012 年 10 月 24 日，《能源发展“十二五”规划》确定了“十二五”时期新能源的发展目标，并再次夯实了新能源地位的重要性。

1.1 能源含义、分类及发展现状

历史经验表明，每一次能源科学技术的突破，都会带来生产力的飞跃和社会的发展。世界能源环境科学技术研究正趋向于取代 20 世纪的传统能源技术，这将在能源和环境交叉方面带来革命性的突破。同时，大量使用化石能源也给地球环境造成了严重危害，使人类赖以生存的地球空间受到了空前的威胁。

人类从 19 世纪开始工业化进程以来，已经经历了两次能源构成的转型。第一次转型开始于 19 世纪，由蒸汽机的发明和推广应用所促成的以薪柴为主的可再生能源向煤的转化。第二次始于 20 世纪前 20 年，从煤转向石油，推动力是汽车和飞机的普遍使用。进入 21 世纪以来，人类将开始第三次能源大转型，即重点转向可再生能源，并且化石能源内部结构将

进行重组。

1.1.1 能源的含义

能源是在自然界中能够为人类提供某种形式能量的物质资源，也被称为能量资源或能源资源。它是可产生各种能量（如热能、电能、光能和机械能等）或可做功的物质的统称，或者是能够直接取得以及通过加工、转换而取得有用能的各种资源。能源主要包括煤炭、石油、天然气、煤层气、水能、核能、风能、太阳能、生物质能、地热能等一次能源以及电力、热力、成品油等二次能源，还包括其他新能源和可再生能源。尚未开采的能量资源只称为资源，不能列入“能源”的范畴。能源是人类活动的物质基础，是社会发展和经济增长的基本驱动力。

1.1.2 能源的分类

人类可利用的能源多种多样，可从不同角度对其加以分类。按能源的形成条件、可否再生、利用历史状况与技术水平以及对环境的污染程度将其分为以下几种。

1.1.2.1 一次能源与二次能源

一次能源是指自然界中存在的天然能源，如煤炭、石油、天然气、核燃料、太阳能、水力、风能、地热能、海洋能、生物质能等。2011年世界一次能源结构如图1-1所示。

一次能源的一部分是来自天体的“吸入能量”，因此，其主要来自于太阳能和月球能，另一部分存在于地面或地球内部。来自太阳的能量除太阳能外，还包括用之不尽的水力、风能、

生物质能、海洋流动动能等其他能源；月球能主要表现为潮汐能。目前被大量开发和利用的地球能源是化石燃料的化学能、核燃料和原子能（核能）以及地热能。

二次能源是指由一次能源直接或间接加工转换而成的人工能源，如热能、机械能、电能等。

1.1.2.2 化石能源与非化石能源

化石能源指在漫长的地质年代里，由于海、陆相沉积和多次的构造运动以及温度和压力作用大而促使深部地层中长期保存下来的有机和无机物质转化为不可再生能源，如石油、天然气和煤炭。

非化石能源指除化石能源外，其他一切可供利用的能源。

1.1.2.3 可再生能源与非可再生能源

可重复产生的一次能源称为可再生能源，如太阳能、水能、风能、海洋能、生物质能等。有些能源的形成必须经过亿万年的时间，短时间无法得到补充，被称为非可再生能源，如化石燃料、核燃料、地热能等。

1.1.2.4 常规能源与新能源

常规能源是指技术上已经成熟、已大量生产并广泛利用的能源，如化石燃料、水能等。

新能源是指技术上正在开发、尚未大量生产并广泛利用的能源，如太阳能、风能、海洋能、生物质能等。核燃料及地热能也常被看作新能源。

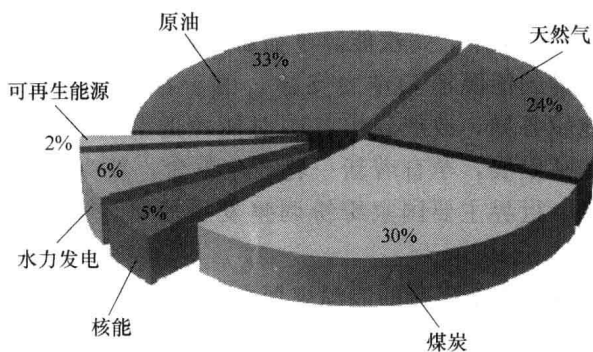


图 1-1 2011 年世界一次能源结构

1.1.2.5 清洁能源与非清洁能源

在开发和利用中对环境无污染或污染程度很轻的能源叫作清洁能源，否则称为非清洁能源。清洁能源主要有太阳能、水能、核能、风能、生物质能、海洋能等。气体燃料中氢是一种清洁能源。

1.1.3 能源危机

随着农业生产的发展和人民生活水平的提高，要消耗的燃料和电力越来越多。如果能源的开发和建设跟不上需求，就会造成能源危机。这种危机可能出现在一个地区、一个国家，甚至整个世界范围内。一个地区和国家能源储量匮乏，能源技术落后，或能源政策失误，都有可能造成能源危机。能否解决能源危机关系到整个地区或国家的兴衰，甚至关系到整个人类的命运。这种由于石油、煤炭等目前使用的传统化石能源枯竭，同时新的能源生产供应体系又未能建立而在交通运输、金融业、工商业等方面造成的一系列问题统称能源危机。

从能源本身来讲，我们目前所使用的能源，特别是常规能源其储量往往是有限的。因为它们是在亿万年前动植物的残骸在地壳演变中，经高温高压的作用而逐渐形成的。这种能源不可能在短期内重新产生出来，具有不可再生性。风能、水能、生物质能、太阳能等可再生能源的利用则在技术或商业上尚未成熟，所以无论是不可再生能源还是可再生能源，都存在着潜在的危机。

目前，世界人口已经突破 70 亿，比 19 世纪末期增加了两倍多，而能源消费据统计却增加了 16 倍多。能源的供应始终跟不上人类对能源的需求。当前世界能源消费以化石资源为主，其中我国等少数国家是以煤炭为主，其他国家大部分则是以石油和天然气为主。按目前的消耗量，专家预测石油、天然气最多只能维持不到半个世纪，煤炭也只能维持一个多世纪。所以不管是哪一种常规能源结构，人类面临的能源危机都日趋严重。除了能源自身的储量以及开发利用上存在的问题，能源所引发的诸多问题更是不容小觑。

两次世界大战中，能源跃升为影响战争结局、决定国家和地区命运的重要因素。20 世纪 70 年代爆发的两次石油危机使能源安全的内涵得到极大拓展，特别是 1974 年成立的国际能源署正式提出了以稳定石油供应和价格为中心的能源安全概念，西方国家也据此制定了以能源供应安全为核心的能源政策。在此后的二十多年里，在稳定能源供应的支持下，世界经济规模取得了较大的增长。但是，人类在享受能源带来的经济发展、科技进步等利益的同时，也遇到了一系列无法避免的能源安全挑战。能源短缺、资源争夺以及过度使用能源造成的环境污染等问题威胁着人类的生存与发展。

据估计，到 21 世纪中叶，石油资源将会开采殆尽，其价格将升得很高，不适于大众化普及使用，如果新的能源体系尚未建立，能源危机将席卷全球，尤以欧美极大依赖于石油资源的发达国家和地区受害严重。能源危机的后果，将导致工业大幅萎缩，或甚至因为抢占剩余的石油资源而引发战争。

1.1.4 世界及中国能源发展现状

目前，全球每年一次能源的消耗量超过 5×10^{20} J，其中化石燃料约占 80%，可再生能源仅为 14%。但据世界能源理事会（World Energy Council）预测分析，至 2050 年，随着一次能源消耗量的几何式递增，可再生能源占世界能源消耗量的比例将上升至 20%~40%；到 2100 年，这一数字将达到 30%~80%。因此，寻找新型的、可再生清洁能源成为世界各国在今后数十年间的首要发展难题。

近年来英国能源消费趋于下降。法国化石能源极度匮乏，在 20 世纪 70 年代以后突出发

展核能体系，成为世界上唯一以核能为主要能源的国家（占一次能源的40%以上）。美国是化石能源消费第一大国，每年耗油量达9亿吨，人均3t左右。日本则能源极为缺乏，对外依存度达95%。韩国为能源高消费国家，2007年为2.4亿吨，人均均为4.9t油当量，其人均消费量和强度均高于英、法、德、日等国家，趋于世界平均水平。

俄罗斯为能源生产大国，探明剩余石油储量为109亿吨，占世界总量的6.4%，天然气储量44.65万亿立方米，占世界总量的25.2%，而且其煤炭资源、铀矿资源、地热资源和电力资源均十分丰富，不仅能自给，而且有一定量的资源可以出口。

中国是新崛起的能源大国，处于经济快速发展阶段，对能源的需求不仅日益增长，而且需求十分迫切。

保证能源供给是人类社会赖以生存和发展的重要条件之一，但由于化石能源的地理分布极不均匀，供应的地区性和结构性矛盾将会长期存在。以中东为例，中东地区的人口不足世界人口的3%，仅占全球陆地面积的4.21%，而其石油探明剩余可采储量为1022亿吨，占世界储量的60.5%，是亚太地区的8.4倍，是欧洲及欧亚大陆的近8倍，为此能源供应的地区性短缺将长期存在。当今全球范围内，欧洲（不含俄罗斯）的化石能源产量为7.5亿吨油当量，消费量则达到了16.7亿吨油当量，进口量达近10亿吨油当量；亚洲（不含中东）化石能源产量为26.4亿吨油当量，消费则接近36亿吨油当量，进口量近10亿吨油当量；北美化石能源进口约5亿吨油当量，与此呈现出明显反差的是，中东地区、俄罗斯、非洲和拉丁美洲则扮演着能源供应者的角色，如欧洲能源进口量的一半，天然气进口量的40%来自前苏联地区，并且主要是俄罗斯，亚洲石油进口主要来自中东地区，其数量超过中东地区石油出口量的64%。

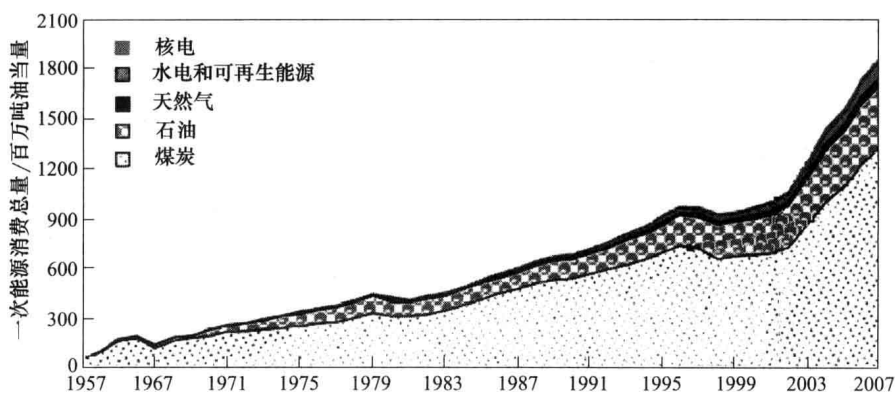


图 1-2 中国一次能源消费总量趋势

作为世界上最大的发展中国家，中国是一个能源生产和消费大国，能源生产量仅次于美国和俄罗斯，居世界第三位。20世纪中、下叶，中国由一个能源自给自足的国家一跃成为能源进口国，进入21世纪以来，中国已成为世界上能源消费增长最快的国家之一，基本能源消费占世界总消费量的约1/10，仅次于美国，居世界第二位。图1-2为中国一次能源消费总量趋势。过去的100年间，中国一次能源累计消费量不足300亿吨油当量，只有美国同期能源消费量（1300亿吨）的22%，而且其中的60%乃是近15年来消费的，这进一步预示着中国未来能源消费的巨大增长潜力（表1-1）。

表 1-1 中国一次能源消费趋势预测 (不含非商品生物质能) 单位: 亿吨油当量

预测机构及时间	基准年份	基准值	预测值			年增长率 /%
			2015 年	2020 年	2030 年	
EIA (2006)	2003	11.43	23.1	26.8	34.9	4.2
EIA (2007)	2004	12.48	24.4	28.3	36.5	4.2
IEA (2007)	2005	15.15	26.3	31.2	35.9	3.5
国家发改委能源所, 2004	2000	9.7	17.5~23.3			
中国工程院, 2004	2000	9.7	24.5~27			
中国地质科学院战略中心, 2002	2000	9.7	14.7~15.2			

注: EIA (国际能源组织) 预测基于中国经济未来 25 年的平均增速为 6.5% 的假定; IEA 依据的经济平均增速为 6%。

1.2 新能源的分类及其发展

1.2.1 新能源的特征

新能源是相对于常规能源, 特别是相对于石油、天然气和煤炭化石能源而言的。在广义上它们通常应具有以下特征。

- ① 尚未大规模作为能源开发利用, 有的甚至还处于初期研发阶段。
- ② 资源赋存条件和物理化学特征与常规能源有明显区别。
- ③ 可以再生与持续发展, 但开发利用或转化技术较复杂, 成本尚较高的能源。
- ④ 清洁环保, 可实现二氧化碳等污染物零排放或低排放的各类节约型能源。

⑤ 这类能源通常资源量大、分布广泛, 但大多具有能量密度低和发热量小的缺点, 根据技术发展水平和开发利用程度, 不同历史时期以及不同国家和地区对新能源的界定也会有所区别。

1.2.2 太阳能

太阳能是指地球所接受的来自太阳的辐射能量。每年到达地球表面的太阳辐射能约为 1.8×10^{14} t 标准煤, 即约为目前全世界所消费的各种能量总和的 1 万倍。因地理位置以及季节和气候条件的不同, 不同地点和在不同时间里所接受到的太阳能有所差异, 北回归线附近夏季晴天中午的太阳辐射强度最大, 平均为 $1.1 \sim 1.2 \text{ kW/m}^2$, 冬季大约只有其一半, 而阴天则往往只有其 $1/5$ 左右。北欧地区约为每平方米 2 kW/h , 大部分沙漠地带和大部分热带地区以及阳光充足的干旱地区约为每平方米 6 kW/h 。目前人类所利用的太阳能尚不及能源总消耗量的 1%。

中国太阳能资源大致在 $930 \sim 2330 \text{ MJ/m}^2$ 之间, 以 1630 MJ/m^2 为等值线, 自大兴安岭南麓至滇藏交界处, 把中国分为两大部分。大体上说, 我国有三分之二的地域太阳能资源较好, 特别是青藏高原和新疆、甘肃、内蒙古一带, 利用太阳能的条件尤其有利。

太阳辐射能与煤炭、石油、天然气等相比, 有其独特的优点: ① 普遍。阳光普照大地, 处处都有太阳能, 可以就地利用, 不需到处寻找。② 无害。利用太阳能做能源, 没有废渣、废料、废水、废气排出, 没有噪声, 不产生对人体有害的物质, 因而不会污染环境。③ 长久。只要太阳存在, 就有太阳辐射。因此利用太阳能做能源, 可以说是取之不尽, 用之不竭。④ 巨大。一年内到达地面的太阳辐射能的总量, 要比地球上现在每年消耗的各种能源的

总量大几万倍。

但太阳能存在两个缺点，一是能流密度低，二是受昼夜和天气条件的限制较强，因而产生收集和利用的不稳定性和不连续性。人类早在数千年前就已对太阳能进行了最初级的利用，在第二次世界大战之后，对太阳能的大规模开发和利用才真正开始。鉴于太阳能上述特点，研究太阳能的收集、转换、储存以及输送等技术问题，已成为太阳能研究领域的热点。

目前太阳能利用技术主要包括太阳能热利用技术、太阳能光伏发电技术、太阳能制冷与热泵技术等。

1.2.3 风能

当太阳照射到地球表面，地球表面各处受热不同，产生温差，从而引起大气的对流运动形成风，而这种空气流动产生的动能称为风能。风能是一种可再生能源，究其产生的原因是由于太阳辐射引起的，实际上是太阳能的一种能量转换形式。风能的大小取决于风速和空气密度。据估计到达地球的太阳能中虽然只有大约2%转化为风能，但其总量仍十分可观。全球的风能总量约为 2.74×10^9 MW，其中可利用风能为 2×10^7 MW。1981年，在为世界气象组织（WMO）所进行的一项研究中，太平洋西北实验室（PNL）绘制了一份世界范围的风能资源图。据估计，地球陆地表面 1.06×10^8 km²中约有27%的地区年平均风速高于5m/s（距地面10m处）。

风力发电是世界上公认的最接近商业化的可再生能源技术之一，是可再生能源的发展重点，也是最有可能大规模发展的能源资源之一。全球风电发展正在进入一个迅速扩张的阶段，风能产业将保持每年20%以上的增速，风能的利用主要是以风能作为动力和风力发电两种形式，其中以风力发电为主。风力发电机从19世纪开始提出，到20世纪80年代开始飞速发展。近20余年，风机功率增大了100倍，成本也大幅下降。风能发电主要有三种形式：一是独立运行；二是风力发电与其他发电方式（如柴油机发电）相结合；三是风力并网发电。小型独立风力发电系统一般不并网发电，只能独立使用，单台装机容量为100W~5kW，通常不超过10kW。

1.2.4 生物质能

生物质一般是指源于动物或植物，积累到一定量的有机类资源，包括地球上所有动物、植物和微生物。作为一种能量可以利用的生物质，90%来源于植物。植物的成长通过光合作用，绿色植物的叶绿素吸收的阳光与植物吸收的CO₂和水合成碳水化合物，把太阳能转变成生物质的化学能固定下来。因此，生物质能在本质上是来源于太阳，即为太阳能的有机储存。生物质能的突出特点为：①生物质能蕴藏量巨大，是可再生能源。②生物质能具有普遍性、易取性。③可再生能源中，生物质能是唯一可以储存与运输的能源，这给其加工转换与连续使用带来一定的方便。④与矿物能源相比，生物质能在燃用过程中，对环境污染小。⑤生物质挥发组分高，炭活性高，易燃。在400℃左右的温度下，可释放出大部分挥发组分。

生物质能一直是人类赖以生存的重要能源之一。人类从发现火开始就以生物质能的形式利用太阳能来做饭和取暖。在世界能源消费中，它仅次于煤炭、石油和天然气，居于世界能源消费总量的第四位，约占14%，生物质能极有可能成为未来可持续能源系统的重要组成部分。到21世纪中叶，采用新技术生产的各种生物质替代燃料将占全球总能耗的40%以上。

生物质能来源于植物，地球上植物的光合作用每年生产大约2200亿吨生物质（干基），相当于全球能源消费总量的10倍左右。可作为能源开发利用的有：农业生产副产物（如秸秆、玉米芯、稻壳等），原木采伐及木材加工剩余物（如枝杈、树皮、锯末、树叶等）、农副

产品加工的废弃物和废水、人畜粪便、城镇有机垃圾与污水、水生植物等。

虽然地球上的生物质资源量丰富，然而每年新产生的生物质不可能全部用于生物质能的生产，人类能够开发利用的只是其中一小部分。根据有关研究表明：到 2050 年全球生物质能资源潜力为 10 亿~262 亿吨油当量，即平均为 60 亿~119 亿吨油当量，相当于生物质每年产生量的 10%~20%。在理论上，如果把生物质的最大潜力充分发挥，能够满足人类对能源的全部需求，但受生态环境、可获得性、开发成本、粮食安全等多种因素的制约，可被利用的生物质资源也许只能达到表 1-2 的下限。

表 1-2 2050 年全球生物质能开发潜力

单位：亿吨油当量

现有耕地	边际性土地	农业废弃物	林业废弃物	畜禽粪便	有机废弃物	总计
0~167 (平均:24~72)	14~36	4~17	7~36	1~13	1~10	10~262 (平均:60~119)

在生物质能源中，有 3 种最重要的生物质原料的生物燃料生产率分别为：玉米 1.4 吨油当量/(公顷·年)，甘蔗 4.8 吨油当量/(公顷·年)，油菜子 1 吨油当量/(公顷·年)。如果把这 3 种农作物全部用于生物燃料的生产，每年的产量加起来仅为 3.3 亿吨油当量，相当于 2007 年全球原油产量的 8%，或全球一次能源供应量的 2.7%。人类所生产的粮、油首先应该满足食用的需要，真正可供人类作为能源开发利用的粮食和油料是非常有限的。因此，充分利用森林资源、宜林宜农边际土地资源及海洋水域资源等非耕地土地资源，开发纤维素乙醇等新一代生物燃料技术是生物质能未来的发展方向。

1.2.5 水能

水能是指水体的动能、势能和压力能等所具有的能量资源。广义的水能资源包括水能、潮汐能、波浪能和海洋能等能量资源；狭义的水能资源指河流的水能资源。本书水能指狭义水能资源。

表 1-3 世界各大洲的水能资源

分类及地区	理论蕴藏量 /($\times 10^{12}$ kW·h)	技术可开发量 /($\times 10^{12}$ kW·h)	经济可开发量 /($\times 10^{12}$ kW·h)	经济可开发比重 /%
亚洲	19.400	6.800	3.600	44.55
非洲	4.000	1.750	1.000	12.37
拉丁美洲	6.766	2.665	1.600	19.8
北美、中美洲	6.310	1.660	1.000	12.37
大洋洲	0.600	0.270	0.107	1.32
欧洲	3.220	1.225	0.775	9.59
全世界合计	40.296	14.370	8.082	100

注：前苏联各国的水能资源分别计入亚洲和欧洲，俄罗斯的水能资源全部计入亚洲。

世界各大洲的水能资源见表 1-3。其中理论蕴藏量没有考虑河流分段长短、水文数据选择、地形地貌及淹没损失条件等因素的影响，也没有考虑转变为电能的各种效率和损失。理论蕴藏量是按全年平均出力计算，平均出力乘以 8760h 便为理论的年发电量。技术上可开发的水能资源是根据河流的地形、地质条件进行河流的梯级开发规划，将各种技术上可能开发的水电厂装机容量和年发电量总计而得。

世界各国水能资源理论蕴藏量和可开发的水能资源见表 1-4。