

苏亚欣 毛玉如 赵敬德 编著

# 新能源与 可再生能源概论



**Chemical Industry Press**

 **化学工业出版社**  
环境·能源出版中心

# 新能源与可再生能源概论

苏亚欣 毛玉如 赵敬德 编著



化学工业出版社  
环境·能源出版中心

·北京·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

新能源与可再生能源概论/苏亚欣, 毛玉如, 赵敬德编著. —北京: 化学工业出版社, 2006. 2  
ISBN 7-5025-8293-2

I. 新… II. ①苏…②毛…③赵… III. ①能源-新技术-概论②再生资源: 能源-概论 IV. TK01-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 013138 号

---

### 新能源与可再生能源概论

苏亚欣 毛玉如 赵敬德 编著

责任编辑: 管德存

文字编辑: 郭 丽

责任校对: 郑 捷

封面设计: 关 飞

\*

化学工业出版社 出版发行  
环境·能源出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 15 字数 390 千字

2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8293-2

定 价: 38.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

# 前 言

我国的主要一次能源是煤炭。煤炭是不可再生的化石能源，其利用过程中一方面会形成 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{CO}_2$ 及粉尘等污染物，另一方面，以煤炭为主要的能源生产-消费结构使得我国的国民经济的发展和人民生活水平的提高对煤炭能源具有很强的依附性。近年来，煤炭短缺以及运输能力的限制使得很多地区的能源供应紧张。此外，我国的石油和天然气等优质化石能源相对短缺，而近年来我国对石油、天然气的需求急剧增长。国际石油市场的不稳定因素对我国能源安全问题（主要是石油安全）带来很大的不利影响。

我国经济的迅速发展使得对能源的需求增加，常规的化石能源供应不足的矛盾日益突出。能源安全成为我国必须解决的战略问题。发展新能源和可再生能源十分紧迫，也是世界各发达国家竞相研究的热点课题之一。新能源与可再生能源不仅有利于解决和补充我国化石能源供应不足的问题，而且有利于我国改善能源结构、保障能源安全、保护环境，走可持续发展之路。开发利用新能源与可再生能源也是构建资源节约型社会和环境友好型社会的必然选择。

本书将系统地介绍太阳能、生物质能、风能、海洋能、地热能等可再生能源以及氢能、核能等新能源的利用原理与工程应用技术，并介绍工业与生活垃圾等废弃物的能源资源化利用技术。其中，太阳能、生物质能和氢能是本书的重点内容。作者将用大量而详实的资料对近年来，特别是20世纪90年代以来国际上有关的研究成果进行系统整理，对实验室的基础研究成果与理论分析进行深入论述，并选择典型的实例对工业应用情况进行介绍。

全书分为6章，由苏亚欣（东华大学）、毛玉如（中国环境科学研究院）、赵敬德（东华大学）共同编著。其中苏亚欣撰写第1、4章及2.1、2.3节；毛玉如撰写第3、6章；赵敬德撰写第5章及2.2节。全书由苏亚欣统稿。

本书参阅了大量国内外同行发表的有关文献，在此向他们表示衷心感谢！本书部分内容的撰写得到了上海市高校优秀青年教师后备人选基金（NO.03YQHB076）的经费支持，化学工业出版社对本书的出版也给予了大力的支持和帮助，特此致谢！

作者虽然已经尽了最大的努力，但疏漏之处在所难免，因此作者诚挚地期望广大读者提出批评和建议。

作者  
2005.11

# 目 录

<b>1 我国能源消费现状及发展趋势</b> .....	1
1.1 常规能源储量及我国的能源需求变化 .....	1
1.1.1 煤炭 .....	1
1.1.2 石油和天然气 .....	3
1.1.3 我国能源的消费和需求的变化的和趋势 .....	5
1.2 化石能源与环境污染 .....	12
1.2.1 SO <sub>2</sub> 排放 .....	12
1.2.2 NO <sub>x</sub> 排放 .....	14
1.2.3 CO <sub>2</sub> 排放 .....	17
1.2.4 颗粒物排放 .....	18
1.3 新能源的分类及其对我国能源安全的战略意义 .....	19
1.3.1 新能源的分类和特点 .....	19
1.3.2 新能源的发展现状和趋势 .....	21
1.3.3 新能源的环境意义和能源安全战略意义 .....	24
参考文献 .....	25
<b>2 太阳能及其利用技术</b> .....	27
2.1 太阳能概述 .....	27
2.1.1 太阳辐射的基本概念 .....	27
2.1.2 我国太阳能的分布 .....	29
2.1.3 太阳能的利用方式 .....	30
2.2 太阳能的光-热利用 .....	31
2.2.1 太阳能的吸收与热转换 .....	31
2.2.2 太阳能的吸附式制冷与空调 .....	36
2.2.3 太阳能与建筑节能 .....	39
2.3 太阳能的光-电利用 .....	42
2.3.1 太阳能电池发电 .....	42
2.3.2 太阳能热动力发电 .....	50
2.3.3 空间太阳能发电与微波传输 .....	61
2.3.4 其他发电技术——太阳能烟囱 .....	64
2.3.5 太阳能发电的经济性和优点 .....	64
参考文献 .....	65
<b>3 生物质能及其利用</b> .....	68
3.1 生物质能概述 .....	68
3.1.1 生物质的能源特点 .....	68
3.1.2 生物质能开发利用的意义 .....	74
3.1.3 生物质能开发技术与现状 .....	75
3.2 生物质能的生物化学转化利用——沼	
气与酒精 .....	82
3.2.1 沼气 .....	82
3.2.2 酒精 .....	89
3.3 生物质热化学转化利用——热解与气化 .....	90
3.3.1 生物质热裂解技术 .....	90
3.3.2 气化 .....	94
参考文献 .....	103
<b>4 氢能及其利用——燃料电池技术</b> .....	105
4.1 氢能概述 .....	105
4.1.1 氢的分布 .....	105
4.1.2 氢的化学性质 .....	105
4.1.3 氢的同素异构体 .....	106
4.1.4 氢的形态 .....	106
4.1.5 氢的用途 .....	107
4.2 氢的制备与存储 .....	107
4.2.1 氢的实验室制备 .....	107
4.2.2 化石能源制氢 .....	108
4.2.3 生物制氢 .....	125
4.2.4 其他制氢工艺 .....	131
4.2.5 氢的存储 .....	136
4.3 燃料电池 .....	142
4.3.1 概述 .....	142
4.3.2 碱性燃料电池 .....	144
4.3.3 磷酸盐型燃料电池 .....	146
4.3.4 熔融碳酸盐型燃料电池 .....	149
4.3.5 固体氧化物型燃料电池 .....	152
4.3.6 固体聚合物燃料电池 .....	157
参考文献 .....	163
<b>5 其他新能源及其利用</b> .....	169
5.1 核能的利用 .....	169
5.1.1 核能分类及其反应原理 .....	169
5.1.2 核能利用现状 .....	174
5.1.3 核电站系统 .....	174
5.1.4 核电站的反应堆 .....	176
5.1.5 核能利用存在的主要问题 .....	181
5.2 风能的利用 .....	181
5.2.1 概述 .....	181
5.2.2 风力发电 .....	185
5.2.3 风能利用中的存在问题 .....	187

5.3 海洋能的利用 .....	188	6 废弃物资源化利用 .....	205
5.3.1 概述 .....	188	6.1 废弃物资源化利用技术概述 .....	205
5.3.2 我国的海洋能 .....	189	6.1.1 城市垃圾的特性 .....	205
5.3.3 潮汐能 .....	190	6.1.2 资源化利用方法 .....	206
5.3.4 波浪能 .....	191	6.1.3 垃圾中无机成分的无害化处置 方法 .....	211
5.3.5 温差能 .....	191	6.2 生活垃圾热解/焚烧 .....	212
5.3.6 盐差能 .....	192	6.2.1 生活垃圾热解 .....	212
5.3.7 海流能 .....	192	6.2.2 生活垃圾焚烧 .....	214
5.4 地热能的利用 .....	193	6.3 废轮胎的循环利用 .....	215
5.4.1 概述 .....	193	6.3.1 废轮胎的组成 .....	215
5.4.2 地热资源 .....	193	6.3.2 常用的废轮胎处理和利用方法 .....	215
5.4.3 地热资源的利用 .....	195	6.3.3 废轮胎热解技术 .....	219
5.5 天然气水合物 .....	199	6.4 废塑料的循环利用 .....	222
5.5.1 概述 .....	199	6.4.1 废塑料的组成 .....	222
5.5.2 天然气水合物的形成及分布 .....	201	6.4.2 废塑料的回收 .....	223
5.5.3 天然气水合物的研究现状 .....	201	6.4.3 废塑料的再生循环利用技术 .....	225
5.5.4 天然气水合物可能带来的环境 问题 .....	203	参考文献 .....	231
参考文献 .....	203		

# 1 我国能源消费现状及发展趋势

我国是世界排名第二的一次能源消费国，也是世界能源市场的重要参与者，占世界一次能源需求总量的10%以上。在未来一段时期内，我国经济的强劲增长将继续拉动我国能源需求的快速增长和进口。

总体上说，我国的能源蕴藏量十分丰富，但是由于我国人口众多和能源利用效率比较低，我国的人均能源消费量远远低于发达国家和世界平均水平。此外，我国一次能源消费构成中，煤炭一直占很高的比重，大约在70%左右，近年来稍有下降。研究表明，未来30~50年内，煤炭在我国一次能源的生产和消费中还将保持50%以上的比例。我国石油和天然气等优质能源的储量相对不足，我国油气消费构成很低，与国际以油气等优质能源消费为主的格局不符。从1992年起我国成为石油进口国以来，我国石油的消费逐年增加，对石油进口的依赖程度也逐年提高。这就不得不引起我国有关政府和研究部分对我国能源战略安全进行思考。

化石能源一方面面临着逐渐枯竭的问题，另一方面化石能源利用过程中排放出大量的污染物。新能源与可再生能源在国际能源消费构成中的比例正在以较快的速度增加，研究和开发新能源是发达国家的能源战略重点。新能源对于实现我国能源结构多元化配置，从而最终解决我国的能源需求问题意义重大。本章将简要介绍有关我国能源消费的现状和发展趋势。

## 1.1 常规能源储量及我国的能源需求变化

### 1.1.1 煤炭

我国国土面积辽阔，蕴藏的能源资源十分丰富。目前，我国已探明的能源总量为8320亿吨标准煤，其中原煤87.4%、原油2.8%、天然气0.3%、水能9.5%；探明剩余可采储量为1392亿吨标准煤，其中原煤58.8%、原油3.45%、天然气1.3%、水能36.5%。这些统计数据随着每年的勘探情况有所变化，但大体上比例是稳定的。据《2001年中国能源发展报告》，我国能源资源储量和结构如表1-1所示。

我国煤炭资源比较丰富，截至2000年底，煤炭的探明保有储量为10077亿吨，剩余可开发储量1145亿吨，按2000年煤炭产量计算资源保证年限只有114年。然而，在现有探明储量中可供开发利用作为规模矿井规划设计的工业储量并不多，地质勘探程度较低，煤炭精查储量不到15%，在煤炭精查储量中，生产矿井和在建井占有的储量占68%，尚未利用可供建井的储量只有32%，可供建设重点煤矿的储量大约为300亿~400亿吨。据预测，2010年煤炭精查储量缺口大约100亿吨，2015年缺口大约260亿吨。

煤炭作为我国的主要一次能源，在国民经济中占有十分重要的地位。然而，我国各地的煤炭储量分布很不均匀，大体上是北多南少、西多东少，煤炭资源的分布和地区的经济发展水平和能源需要水平是很不均衡的。以太行山—秦岭为界，以西的八省区的煤炭资源占全国总储量的93.6%；以南的西南、华东、中南广大地区仅占9.4%。以华东地区为例，华东地区的煤炭地质储量仅占全国的2%，煤炭产量占全国产量的11%，而消费量却占全国的近1/3。此外，煤种的分布也很不均匀，瘦煤、焦煤、肥煤等有大约一半分布在山西省，而华东、中南、东北等地区的大型钢铁企业众多，所需要的炼焦煤很少。表1-2和表1-3是我国

表 1-1 我国能源资源储量和结构<sup>[1]</sup>

项 目	能源总量	原 煤	原 油	天然气	水 能
总资源量	40446.4 亿吨标准煤	50592.2 亿吨	1000 亿吨	381400.0 亿立方米	59221.8 亿千瓦时
结构/%	100	89.3	3.5	1.3	5.9
世界总量	1048809.7 亿吨标准煤	1195748.4 亿吨	51172.8 亿吨	79330827.1 亿立方米	413095.0 亿千瓦时
我国占世界/%	3.9	4.2	2.0	0.5	14.3
探明总储量(技术可开发)	8231.0 亿吨标准煤	10077.0 亿吨	160.0 亿吨	20606.0 亿立方米	19233.0 亿千瓦时
结构/%	100	87.4	2.8	0.3	9.5
世界总量	329697.5 亿吨标准煤	352749.6 亿吨	25674.6 亿吨	26630075.2 亿立方米	117549.0 亿千瓦时
我国占世界/%	2.5	2.9	0.6	0.1	16.4
资源探明率/%	20.3	19.9	16.0	5.4	
资源保证年限/年	766.8	1007.7	98.2	74.3	
剩余可采储量(技术可开发)	1391.9 亿吨标准煤	1145.0 亿吨	32.7 亿吨	13668.9 亿立方米	12600.0 亿千瓦时
结构/%	100	58.8	3.4	1.3	36.5
世界总量	13832.9 亿吨标准煤	9842.1 亿吨	1402.8 亿吨	1493811.0 亿立方米	73053.0 亿千瓦时
我国占世界/%	10.1	11.6	2.3	0.9	17.2
资源保证年限/年	129.7	114.5	20.1	49.3	

2002年主要煤炭品种生产地区分布和1996~2002年我国各地区的煤炭消费情况。因此，大运量、长距离的煤炭运输及我国目前运输能力之间的矛盾成为煤炭能源供应环节的一个主要矛盾。据1999~2002年的统计数据，我国铁路货物运输量中煤炭占运输总量的40%以上<sup>[2]</sup>。

表 1-2 我国 2002 年主要煤炭品种生产地区分布<sup>[2]</sup>

单位：亿吨

地 区	无 烟 煤		烟 煤		褐 煤		合 计	
	数量	比重/%	数量	比重/%	数量	比重/%	数量	比重/%
全国	2.03	100	8.61	100	0.92	100	11.56	100
华北地区	0.87	42.86	2.83	32.87	0.61	66.31	4.31	37.28
东北地区	0.05	2.46	1.17	13.59	0.05	5.43	1.27	10.99
华东地区	0.20	9.85	2.15	24.97	0.04	4.35	2.39	20.68
中南地区	0.53	26.11	0.74	8.59	0.02	2.17	1.29	11.16
西南地区	0.33	16.26	0.62	7.20	0.07	7.61	1.02	8.82
西北地区	0.05	2.46	1.10	12.78	0.13	14.13	1.28	11.07



表 1-3 1996~2002 年我国各地区的煤炭消费情况<sup>[2]</sup>

单位: %

地 区	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
全国	100	100	100	100	100	100	100
华北地区	24.47	25.00	25.26	25.10	26.24	26.52	27
东北地区	13.63	14.01	12.86	12.87	13.87	12.45	12
华东地区	24.91	24.81	25.22	26.31	23.21	27.04	28
中南地区	18.18	17.56	17.84	17.84	18.71	18.23	18
西南地区	11.41	11.71	11.91	11.13	11.08	9.98	9
西北地区	7.40	6.91	6.91	6.75	6.89	5.78	6

### 1.1.2 石油和天然气

据 BP (英国石油) 公司世界能源统计报告, 现在全球剩余的石油探明储量截至 2002 年底仅有 1427 亿吨, 如表 1-4 所示。其中 OPEC (欧佩克, 即石油输出国组织) 国家占 78.2%; OECD (经济合作发展组织国家) 占 6.9%; 中东地区约 934 亿吨, 占 65.4%; 亚太地区 52 亿吨, 占 3.7%; 北美地区 64 亿吨, 占 4.5%。按 2002 年产量 (34 亿吨) 计算, 世界石油储采比为 40 年, 而我国石油的储采比仅为 15 年, 如表 1-5 所示。

表 1-4 世界历年探明的石油储量<sup>①</sup>

单位: 亿吨

国家或地区	1980 年	1985 年	1990 年	1994 年	1998 年	2000 年	2001 年	2002 年
美国	52.1	51.3	48.3	43.0	43.0	43.0	42.9	43.4
独联体	—	—	—	70.1	69.4	69.4	69.4	85.7
英国	21.1	18.6	5.5	6.5	7.4	7.1	7.0	6.7
中国	29.3	26.3	34.3	34.3	34.3	34.3	34.3	26.1
欧洲	127.1	127.7	104.8	108.2	123.1	120.7	120.1	139.2
中东合计	517.1	568.6	956.6	943.3	962.4	976.5	979.4	979.5
亚太合计	57.3	53.3	71.8	63.5	61.5	62.8	62.5	55.3
OECD 合计	162.5	174.0	157.8	152.0	152.6	121.8	120.7	102.9
OPEC 合计	618.3	675.8	1102.4	1098.4	1143.5	1163.4	1169.8	1170.0
世界总计	942.7	1014.3	1441.5	1441.2	1503.0	1494.6	1500.4	1496.7

① 来源于 BP 公司世界能源统计报告, 2003。

表 1-5 世界化石能源储采比<sup>①</sup>

单位: 年

国家或地区	储 采 比		
	石 油	煤 炭	天 然 气
中国	15	82	46.3
OECD 国家	9.7	217	14.1
世界平均	40	204	60

① 来源于 BP 公司世界能源统计报告, 2003。

据美国《油气杂志》2004 年 12 月公布的统计数据, 2004 年世界油气探明储量及石油产量的估计值及其地区构成见表 1-6 和表 1-7。从统计数据可以看到, 我国的石油、天然气等的储量相比中东等地区是很少的。而近年来随着我国经济的迅猛发展, 我国对石油、天然气等优质能源的消费量增长很快, 从 1996 年起我国成为石油净进口国, 而且对进口石油的依赖程度越来越高。在目前国际政治形式下, 中东地区的不稳定因素对我国的石油进口造成严重的威胁, 我国的能源安全问题主要就是石油的安全, 因此, 积极寻求石油来源, 包括进口、国内开发以及开发高效节能技术和替代能源技术是我国目前面临的重要课题。

表 1-6 2004 年世界油气探明储量及石油产量的估计值 (部分)<sup>[4]</sup>

名次	国家和地区	石油探明储量/万吨	名次	国家和地区	天然气探明储量/亿立方米	名次	国家和地区	石油产量/万吨
1	沙特阿拉伯	3538216	1	俄罗斯	475440	1	俄罗斯	44750
2	加拿大	2438832	2	伊朗	266020	2	沙特阿拉伯	43750
3	伊朗	1715912	3	卡塔尔	257530	3	美国	27000
4	伊拉克	1568600	4	沙特阿拉伯	66364	4	伊朗	19700
5	科威特	1350360	5	阿联酋	60024	5	中国 <sup>①</sup>	<b>17470</b>
6	阿联酋	1333992	6	美国	53499	6	墨西哥	17050
7	委内瑞拉	1053363	7	尼日利亚	49808	7	挪威	14700
8	俄罗斯	818400	8	阿尔及利亚	45422	8	加拿大	12200
9	利比亚	531960	9	委内瑞拉	42733	9	阿联酋	11769
10	尼日利亚	480878	10	伊拉克	31130	10	尼日利亚	11750
11	美国	298593	11	印度尼西亚	25555	11	委内瑞拉	11050
12	中国 <sup>①</sup>	<b>248930</b>	12	马来西亚	21225	12	伊拉克	10350
13	卡塔尔	207423	13	挪威	20836	13	科威特	10250
14	墨西哥	199144	14	土库曼斯坦	20093	14	英国	9150
15	阿尔及利亚	160952	15	乌兹别克斯坦	18735	15	利比亚	7750
16	巴西	144584	16	哈萨克斯坦	18395	16	巴西	7450
17	哈萨克斯坦	122760	17	荷兰	17546	17	阿尔及利亚	6025
18	挪威	115940	18	埃及	1556	18	哈萨克斯坦	4930
19	阿塞拜疆	95480	19	加拿大	16018	19	安哥拉	4900
20	阿曼	75102	20	科威特	15565	20	印度尼西亚	4865
21	安哥拉	73820	21	中国	<b>15091</b>	21	马来西亚	4275
22	印度	73263	22	利比亚	14716	22	卡塔尔	3910
23	中立区	68200	23	乌克兰	11207	23	阿曼	3835
24	印度尼西亚	64108	24	印度	8530	24	埃及	3560
25	厄瓜多尔	63148	25	阿塞拜疆	8490	25	印度	3425
26	英国	61203	26	阿曼	8286	26	阿根廷	3400
27	也门	54560	27	澳大利亚	8207	27	中立区	2985
28	埃及	50468	28	巴基斯坦	7593	28	哥伦比亚	2650
29	马来西亚	40920	29	特立尼达和多巴哥	7326	29	厄瓜多尔	2590
30	阿根廷	36480	30	玻利维亚	6792	30	叙利亚	2520

① 中国的实际数据高于此值。

表 1-7 2004 年世界油气探明储量及石油产量的估计值地区构成<sup>[4]</sup>

地区总计	石油探明储量/万吨	天然气探明储量/亿立方米	石油产量/万吨
亚太	494398(2.84%)	108647(6.36%)	36489.5(10.28%)
西欧	219634(1.26%)	50917(2.98%)	27408.5(7.72%)
东欧和前苏联	1082242(6.21%)	556585(32.56%)	54482(15.35%)
中东	9948205(57.08%)	713761(41.76%)	110989(31.27%)
非洲	1374692(7.89%)	134852(7.89%)	40566(11.43%)
美洲	4308684(24.72%)	144617(8.45%)	85031.5(23.95%)
世界合计	17427855(100%)	1709379(100%)	354966.5(100%)
OPEC 合计	12073964(69.28%)	875149(51.20%)	144155(40.61%)

近几年由于技术的进步,世界各地包括我国,新的石油、天然气的储量探测和实际生产量都有所增加。但这并不能解决化石能源储量不可再生的根本问题。在化石能源枯竭之前,

人类必须要寻找新的可替代能源。

### 1.1.3 我国能源的消费和需求的变化的趋势

#### 1.1.3.1 我国能源生产和消费的特点

(1) 我国主要一次能源是煤炭 我国是世界上能源生产和消费大国，而且我国化石能源的储藏特点决定了我国是世界上少数以煤炭为主要一次能源的国家，煤炭一直占我国一次能源生产和消费总量的70%左右。据专家预测，在未来的30~50年内煤炭在我国的能源构成中仍然将超过50%。

我国以煤炭为主要一次能源的消费结构和国际上能源的消费状况有很大不同。图1-1(a)是2002年世界一次能源的消费结构，其中石油为37.45%、煤炭仅为25.50%、天然气为24.26%。图1-1(b)是2002年我国一次能源的消费结构，其中石油为23.40%、煤炭为66.10%、天然气为2.70%。国际上的能源消费结构是优质能源(石油和天然气)逐渐增加的。据世界能源专家的预测，在未来10年，天然气的消费量将进一步快速增加，石油和煤的消费则缓慢增加，但它们在一次能源中的比例逐年下降，天然气在一次能源中将逐渐取代石油。而煤炭在一次能源中仍将是主要的能源消费对象。

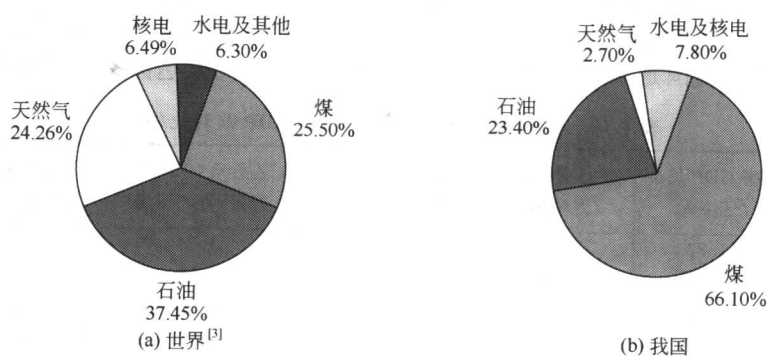


图 1-1 2002 年世界及我国一次能源的消费结构

(2) 我国人均能源占有率低 我国能源总的产量在世界居前位，但是由于我国人口众多，我国目前人均能源消费大约在1吨标准煤左右，不到国际平均水平的50%，更远远低于发达国家和欧洲工业化程度高的国家。表1-8为世界主要能源消费国人均商品能源消费量。随着我国能源生产的增加，人均能源消费量增长得比较快，但和发达国家相比还是比较少的。今后随着我国经济社会发展水平的提高，能源消费需求将进一步增加。表1-9为我国主要矿产能源人均占有量，同样可以看出，常规化石能源的人均拥有率低于世界平均水平，优质能源石油和天然气的人均占有率则更低。除煤炭外，石油、天然气都不能满足我国目前和长远发展的需要。

表 1-8 世界主要能源消费国人均商品能源消费量<sup>①</sup>

指 标		中国	日本	德国	法国	美国
人均商品能耗/(kg 标准煤/人)	1980 年	863.5	4243.2	6581.5	4983.4	11401.3
	1990 年	1099.2	5079.6	6400.6	5698.0	11039.1
	1999 年	1241.5	5819.9	5847.1	6221.6	11666.9
相对发展速度/%	1990 年/1980 年	127.3	119.7	97.3	114.3	96.8
	1999 年/1990 年	112.9	114.6	91.8	109.2	105.7
	1999 年/1980 年	143.8	137.2	89.3	124.8	102.3

<sup>①</sup> 世界银行统计资料，转引自文献 [6]。

表 1-9 我国主要矿产能源人均占有量<sup>①</sup>

种 类	世界人均	中国人均	中国/世界
煤炭/t	162.48	90.45	55.67%
石油/t	23.25	2.59	11.14%
天然气/m <sup>3</sup>	24661.32	1079.90	4.38%

① 2003 年 BP 公司世界能源统计资料，转引自文献 [3]。

(3) 我国的能源利用率比较低 评价能源效率的指标包括能源经济效率指标和能源技术效率指标。能源经济效率是指单位经济量（或实物量、服务量）所消耗的能源量，也称能源强度<sup>[10]</sup>。能源经济效率指标通常用宏观经济领域的单位 GDP 能耗和微观经济领域的单位产品能耗来表示。2001 年世界主要国家单位 GDP 能耗比较如表 1-10 所示。单位 GDP 能耗是利用外汇汇率折算的单位 GDP 能耗对能源使用效率进行比较的基本指标，是一国发展阶段、经济结构、能源结构和设备技术及管理水平等多种因素形成的能耗水平和经济产出间的比例关系。从该表的数据看到，我国 1 亿美元 GDP 消耗的能源是日本的 6.58 倍、德国的 4.49 倍、美国的 3.65 倍、巴西的 2.35 倍、印度的 1.24 倍。而国际上，如世界银行数据库采用购买力平价（PPP）换算国际有关国家的能耗强度，其得出的结论表明我国的能耗强度和发达国家，如日本、美国等相差不大<sup>[9]</sup>，有学者认为<sup>[10]</sup>，各国市场经济条件并不全满足 PPP 理论的前提条件，我国是发展中国家，并不适用于 PPP 法与发达国家进行能耗对比。

表 1-10 2001 年世界主要国家单位 GDP 能耗比较<sup>[10]</sup>

国 家	汇率 GDP 总量 /亿美元	能源消耗总量 /万吨标煤	每吨标煤产出 GDP/美元	1 亿美元 GDP 消耗 能源/万吨标煤	能耗强度 (中国 100)	中/外能耗 强度倍数
中国	11587	134914	859	11.64	100	
德国	18551	47958	3868	2.59	22	4.49
印度	4796	44887	1068	9.36	80	1.24
日本	41649	73544	5663	1.77	15	6.58
俄罗斯	3100	91245	340	29.43	252	0.40
美国	100822	321564	3135	3.19	27	3.65
澳大利亚	3581	16086	3226	4.49	39	2.59
巴西	5040	24929	2022	4.95	43	2.35

表 1-11 是我国主要高耗能产品的国际比较。我国主要工业领域能效偏低，能耗水平比国外先进水平平均高 1.4 倍。

表 1-11 我国主要高耗能产品的国际比较<sup>[10]</sup>

主 要 产 品	时间/年	国内 平均值	国际先进值 (国家)	能耗强度 (倍数)	备 注
原煤耗电/(kW·h/t)	1994	31.2	17.0(美)	1.84	国内为重点煤矿
发电厂自用电率/%	1998	6.66	5.1(欧盟)	1.31	国内为 6MW 及以上机组
乙烯综合能耗/(kgce/t)	2000	1212.0	714.0(日)	1.70	
火电厂供电标准煤耗/[gce/(kW·h)]	2001	385.0	314.0(日)	1.23	国内为 6MW 及以上机组
吨钢可比能耗/(kgce/t)	2000	781.0	646.0(日)	1.21	国内为重点企业
水泥综合能耗/(kgce/t)	2000	181.0	125.7(日)	1.44	国内为大中型企业
大型合成氨能耗/(kgce/t)	2000	1200.0	970.0(美)	1.24	
铁路货运综合能耗/[kgce/(10000t·km)]	2000	72.5	90.0(日)	0.81	
载货汽车油耗/[L/(100t·km)]	1995	5.94	3.54(美)	1.68	

注：ce 为煤当量 (coal equivalent)，又称标准煤，我国采用的煤当量的热值为 29.3MJ/kg。

能源技术效率也称为能源系统效率，是指使用能源过程中（不包括开采）所得有效能源与实际输入能源的比。目前，国际上用于比较分析的能源效率有能源生产、中间环节的效率和终端使用效率的乘积，其可比性强又比较准确。表 1-12 给出了我国 1980~2000 年间的能源效率。过去 20 年间，我国能源效率虽然不断提高，但目前比欧洲国家还是低 1%~8%。

表 1-12 我国 1980~2000 年间的能源效率<sup>[10]</sup>

单位：%

效 率	1980 年	1989 年	1997 年	2000 年	ECE 地区 <sup>①</sup>
中间环节效率	74.0	72.4	68.7	67.8	67~75
终端环节效率	34.4	38.7	45.3	49.2	51~55
能源效率	25.9	28.0	31.2	33.4	34~41

① ECE 地区包括西欧、东欧和前苏联地区。

### 1.1.3.2 我国近年来的能源生产和消费的统计结果

表 1-13 和表 1-14 是我国近 20 年来的能源生产和消费统计数据<sup>[2]</sup>。表中统计数据表明，自 20 世纪 90 年代后我国的能源生产总量已逐渐不能满足我国的能源消费总量，而且其差值逐年拉大。在能源消耗和生产构成中，煤炭一直是我国主要的能源，在一次常规化石能源的生产和消费中，石油和天然气等优质能源是不足的。随着近年来我国经济的快速发展，石油和天然气等优质能源在能源消费中的比例逐渐增加，其供需矛盾日益突出。

表 1-13 我国能源生产总量和结构<sup>[2,7]</sup>

年 份	能源生产总量 /万吨标准煤	占能源生产总量的比例/%			
		原 煤	原 油	天 然 气	水 电
1978	62770	70.3	23.7	2.9	3.1
1980	63735	69.4	23.8	3.0	3.8
1985	85546	72.8	20.9	2.0	4.3
1989	101639	74.1	19.3	2.0	4.6
1990	103922	74.2	19.0	2.0	4.8
1991	104844	74.1	19.2	2.0	4.7
1992	107256	74.3	18.9	2.0	4.8
1993	111059	74.0	18.7	2.0	5.3
1994	118729	74.6	17.6	1.9	5.9
1995	129034	75.3	16.6	1.9	6.2
1996	132616	75.2	17.0	2.0	5.8
1997	132410	74.1	17.3	2.1	6.5
1998	124250	71.9	18.5	2.5	7.1
1999	109126	68.3	21.0	3.1	7.6
2000	106988	66.6	21.8	3.4	8.2
2001	120900	68.6	19.4	3.3	8.7
2002	138369	71.2	17.3	3.1	8.4
2003	160300	74.2	15.2	2.9	7.7

表 1-14 我国能源消费总量和结构<sup>[2,7]</sup>

年 份	能源消费总量 /万吨标准煤	占能源生产总量的比例/%			
		原 煤	原 油	天 然 气	水 电
1978	57144	70.7	22.7	3.2	3.4
1980	60275	72.2	20.7	3.1	4.0
1985	76682	75.8	17.1	2.2	4.9
1989	96934	76.1	17.1	2.1	4.7
1990	98703	76.2	16.6	2.1	5.1
1991	103783	76.1	17.1	2.0	4.8
1992	109170	75.7	17.5	1.9	4.9
1993	115993	74.7	18.2	1.9	5.2
1994	122737	75.0	17.4	1.9	5.7
1995	131176	74.6	17.5	1.8	6.1
1996	138948	74.7	18.0	1.8	5.5
1997	137798	71.7	20.4	1.7	6.2
1998	132214	69.6	21.5	2.2	6.7
1999	130119	68.0	23.2	2.2	6.6
2000	130297	66.1	24.6	2.5	6.8
2001	134914	65.3	24.3	2.7	7.7
2002	148000	66.1	23.4	2.7	7.8
2003	167800	67.1	22.7	2.8	7.4

我国能源消费以自给能源为主，2002年我国一次能源的自给率为98%。其中煤炭占了重要的比重，而石油和天然气的供应相对不足，1992年我国成为产品油净进口国，1993年成为石油（原油加产品油）净进口国，1996年成为原油净进口国。2001年我国石油进口达70Mt。图1-2为20世纪90年代我国石油生产和消费量的统计数据<sup>[5]</sup>。据BP公司世界能源统计报告（2003）的数据，2002年世界主要国家石油消费和生产情况如表1-15所示。在2002年我国的石油进口依赖率已超过30%。

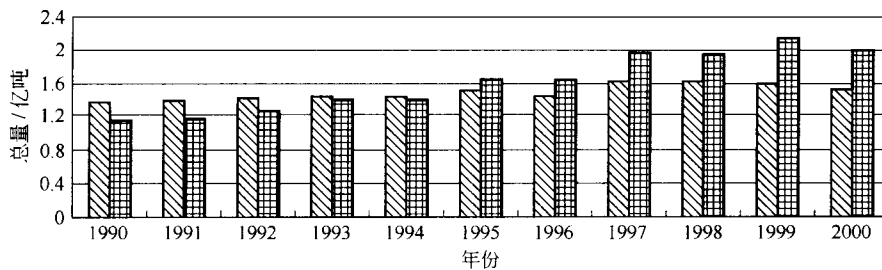


图 1-2 我国石油生产和消费总量的统计数据<sup>[5]</sup>

▨ 生产量；▩ 消费量

表 1-15 2002 世界主要国家石油消费和石油自给情况<sup>[6]</sup>

国 家	石 油 消 费		石 油 生 产		净进口	进口依赖率
	百万吨	占世界/%	百万吨	占世界/%	百万吨	%
美国	894.3	25.4	350.4	9.9	544	60.8
中国	245.7	7.0	168.9	4.8	77	31.3
日本	242.6	6.9			243	100
德国	127.2	3.6			127	100
俄罗斯	122.9	3.5	379.6	10.7		
韩国	105.0	3.0			105	100
印度	97.7	2.8	36.7	1.0	61	62.4
意大利	92.9	2.6	5.4	0.2	88	94.2
法国	92.8	2.6			93	100
加拿大	89.7	2.5	135.6	3.8		
巴西	85.4	2.4	74.4	2.1	11	12.9
墨西哥	80.9	2.3	178.4	5.0		
英国	77.2	2.2	115.9	3.3		
西班牙	73.5	2.1			74	100
合计	2427.8	68.9	1445.3	40.6	1421	69.1

表 1-16 给出了 1990~2002 年我国石油的生产和消费情况。虽然每年石油的供需平衡稍有平衡余额，但其余额却远远不能达到保证能源安全的战略储备作用。今后一段时间内，如果在勘探上没有大的发现和重大技术突破，我国的原油产量将保持缓慢增长，预计 2015 年形成长达 20 年的产量高峰阶段，年产量大约 1.65 亿~1.7 亿吨。而我国的经济对石油的需求增长却很快，据国外有关机构在 2000 年基础上、按今后我国石油消费年增长 4% 计，对我国石油消费的预测结果表明，2010 年和 2015 年我国原油缺口分别为 1.28 亿吨和 1.9 亿吨，2015 年国内石油产量只能满足石油需求的 47%。

表 1-16 1990~2002 年我国石油的生产和消费情况<sup>[7]</sup>

单位：万吨

项 目	1990	1995	2000	2001	2002
消费总量	11485.6	16064.9	22439.3	22838.3	24779.8
可供量	11435.0	16072.7	22631.8	23204.7	24925.1
生产总量	13830.6	15005.0	16300.0	16395.9	16700.0
进口	755.6	3673.2	9748.5	9118.2	10269.3
出口(-)	3110.4	2454.5	2172.1	2046.7	2139.2
年初年末库存差额	-40.8	-151.0	-1244.6	-262.7	94.9
平衡差额	-50.6	7.8	192.5	366.4	145.3

表 1-17 给出了 1990~2002 年我国煤炭的生产和消费情况。2002 年全国拥有煤矿企业 3.4 万家，生产原煤 13.8 亿吨。其中原国有煤矿生产 7.1 亿吨、地方国有煤矿生产 2.6 亿吨、乡镇煤矿生产 4.1 亿吨<sup>[2]</sup>。估计 2005 年的原煤产量将达到 15 亿吨。

“八五”以来，我国煤矿开采量连续上升，到 1996 年达到高峰 13.7 亿吨。但由于市场需求下降，1996~2000 年煤炭生产连续下降。到 2001 年随着需求的回升，煤炭生产开始快速回升。我国煤矿生产主要存在两方面的问题：一是产业集中度低，原国有重点煤矿的生产能力与发达国家相比差距很大，仅是发达国家平均矿井生产能力的 50%~65%；二是技术装备差，手工采煤、爆破采煤和简单机械采煤占 40% 以上，大中型矿井的机械化采煤设备

表 1-17 1990~2002 年我国煤炭的生产和消费情况<sup>[7]</sup>

单位：万吨

项 目	1990	1995	2000	2001	2002
消费总量	105523.0	137676.5	124537.4	126211.3	136605.5
可供量	102221.0	133461.7	98176.1	108480.0	129604.8
生产总量	107988.3	136073.1	99800.0	116078.0	138000.0
进口	200.3	163.5	217.9	266.0	1125.8
出口(-)	1729.0	2861.7	5506.5	9012.9	8389.6
年初年末库存差额	-4238.5	86.8	3664.7	1148.9	-1131.4
平衡差额	-3302.0	-4214.8	-26361.3	-17731.3	-7000.8

多数已经老化，只有少数大型矿井的生产设备处于正常运行状态。大多数的小煤矿开采技术十分落后，甚至使用手镐落煤、人工搬运等原始生产方式，不仅造成资源的极大浪费，同时十分危险，这也是近几年来频繁发生煤矿事故的主要原因。此外，我国对煤产品的加工转换不足。2002 年原煤入洗比仅为 35%~40%，洁净煤技术和煤炭行业的产业链还比较欠缺，使得煤炭的附加值有待提高。

2002 年全国煤炭消费结构的特点是动力用煤仍占煤炭消费的主要部分<sup>[2]</sup>。动力煤的供应在未来 2~3 年将大体上保持平衡，无烟煤和炼焦煤的供应则相对偏紧。

#### 1.1.3.3 有关机构对我国能源未来需求的预测

我国有关部门以及国际很多研究机构对包括我国在内的国际未来 10~20 年的能源消费进行了预测。我国中科院国情分析小组、原国家计委能源研究所、国家开发银行等都对我国未来的能源需求做过预测。表 1-18 和表 1-19 是国务院发展中心《国家能源战略框架》做出的预测。

表 1-18 一次能源需求总量及其结构比较

单位：百万吨标准煤

情景	品 种	能源需求总量			年均增长率/%	构 成/%		
		2000 年	2010 年	2020 年	2000~2020 年	2000 年	2010 年	2020 年
A	煤炭	907	1425	2074	4.22	69.9	66.7	63.2
	石油	324	538	877	5.10	25.0	25.2	26.7
	天然气	36	112	220	9.44	2.8	5.2	6.7
	一次电力	29	63	109	6.77	2.3	2.9	3.3
	合计	1297	2137	3280	4.75	100.0	100.0	100.0
B	煤炭	907	1365	1788	3.45	69.9	66.0	61.7
	石油	324	524	795	4.58	25.0	25.3	27.5
	天然气	36	108	193	8.74	2.8	5.2	6.7
	一次电力	29	70	120	7.28	2.3	3.4	4.1
	合计	1297	2068	2896	4.10	100.0	100.0	100.0
C	煤炭	907	1205	1466	2.43	69.9	64.8	59.4
	石油	324	460	638	3.44	25.0	24.7	25.9
	天然气	36	115	219	9.41	2.8	6.2	8.9
	一次电力	29	79	144	8.26	2.3	4.3	5.8
	合计	1297	1859	2466	3.26	100.0	100.0	100.0

表 1-20 和表 1-21 是国际能源署 (IEA) 对未来世界石油需求的预测结果。2020 年我国大约有 70% 以上的石油消费依赖于进口。据 IEA 的预测，我国 2010 年、2020 年石油需求量将达到 3.36 亿吨、4.52 亿吨。



表 1-19 三种情景下煤炭、石油和天然气的需求量

品 种	情 景	2000 年	2005 年	2010 年	2020 年
煤炭/亿吨	A	12.7	16.2	20.0	29.0
	B	12.7	16.2	19.1	25.0
	C	12.7	15.2	16.9	20.5
石油/亿吨	A	2.3	2.9	3.8	6.1
	B	2.3	2.9	3.7	5.6
	C	2.3	2.7	3.2	4.5
天然气/亿立方米	A	272	399	840	1654
	B	272	406	811	1453
	C	272	445	863	1645

表 1-20 世界各地区石油需求、生产和净进口<sup>①</sup> 单位：万桶/日

地区与国家	2010 年			2020 年		
	需 求	产 量	净进口	需 求	产 量	净进口
OECD 北美	2340	860	1480	2410	890	1510
OECD 欧洲	1700	450	1250	1870	280	1590
OECD 亚太	770	30	740	790	30	760
OECD 合计	4810	1340	3470	5070	1200	2870
非洲	330	780	-460	400	630	-220
中国	710	320	390	1010	200	810
亚洲其他	1420	290	1133	1950	240	1720
中南美洲	900	1040	-140	1100	860	250
中东	490	4470	-3970	630	4920	-4290
非 OECD	4600	7930	-3340	5990	7790	-1800
世界	9480	9480	0	11150	9240	1910

① 来源于 World Energy Outlook 1998, International Energy Agency, 转引自文献 [8]。

表 1-21 石油进口依赖度预测<sup>①</sup> 单位：%

国 家	1997	2010	2020	国 家	1997	2010	2020
OECD	54.3	63.0	70.03	中国	22.3	61.0	76.9
北美洲	44.6	52.4	58.0	印度	57.4	85.2	91.6
欧洲	52.5	67.2	79.0	南亚其他国家	87.2	95.1	96.1
亚太	88.8	91.5	92.4	东亚	53.7	61.0	80.7

① 来源于 World Energy Outlook 2000, International Energy Agency, 转引自文献 [8]。

此外，国内有关专家结合石油资源、储量、产量和消费量等，对未来 50 年的石油供需情况进行了预测。国内石油产量在 2010~2020 年将达到高峰，2020 年后将逐渐减少，国内石油自给率将逐年下降，如表 1-22 所示。我国天然气的生产和消费都将持续增长，但天然

表 1-22 国内石油预测结果<sup>[11]</sup> 单位：亿吨/年

项 目	2010 年	2020 年	2030 年	2040 年	2050 年
需求量	3.2	4.2	5.0	5.8	6.3
国内产量	1.93	1.85	1.63	1.36	1.08
缺口	1.27	2.35	3.37	4.44	5.22
自给率/%	60	44	33	23	17