

MEI JIEJING ZHUANHUA GONG CHENG

煤 洁 净 转 化 工 程

—— 神华煤制燃料和合成材料技术探索与工程实践

张玉卓 编著

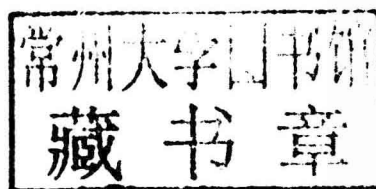


煤炭工业出版社

煤 洁 净 转 化 工 程

——神华煤制燃料和合成材料技术探索与工程实践

张玉卓 编著



煤 炭 工 业 出 版 社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

煤洁净转化工程: 神华煤制燃料和合成材料技术探索与工程实践 / 张玉卓编著. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2011

ISBN 978 - 7 - 5020 - 3786 - 4

I. ①煤… II. ①张… III. ①煤液化 - 化工工程
IV. ①TQ524

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 031672 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
北京时捷印刷有限公司 印刷
新华书店北京发行所 发行

*
开本 889mm × 1194mm¹/₁₆ 印张 21¹/₂
字数 542 千字 印数 1—2 200
2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷
社内编号 6596 定价 78.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

我国的能源赋存结构决定了煤炭在我国一次能源消费结构中的主体地位，这一地位在相当长时间内难以改变。随着中国经济社会的发展，能源需求将持续较快增加，石油对外依存度近年来上升很快。因此，发展煤洁净转化产业，开发高效、清洁的替代能源，对于保障我国石油能源持续、稳定供应，意义重大。

本书介绍了煤洁净转化产业目前在我国的发展情况，阐述了煤直接液化技术、煤制烯烃核心技术和煤制油化工二氧化碳捕集与封存（CCS）技术，对神华煤直接液化示范工程、神华包头煤制烯烃示范工程、神华 CCS 示范工程的建设运营作了系统介绍，为我国相关产业项目的建设和运营提供了参考。

本书可供煤转化专业技术人员和管理人员参考使用。

前言

《煤洁净转化工程——神华煤制燃料和合成材料技术探索与工程实践》，在各方面关心、支持下，终于付梓了。

本书既是对近年来煤炭洁净转化技术与工程的艰辛探索，又是对神华煤洁净转化产业发展的系统总结。欣然抚卷，感慨万端；白驹过隙，一晃十年。2001年2月神华煤直接液化项目经国务院批准立项，当年的下半年笔者调到神华集团负责组织实施煤直接液化工程及后来的一系列煤转化项目。十年来，恰逢国家经济社会大发展，现代煤洁净转化产业也迎来了发展的好机遇，国家重视，领导支持，多方合作，只争朝夕。在短短的十年里，在前人探索的基础上，神华煤制油、煤制烯烃工程从技术开发、中试到工业性试验，再到商业化生产，从酝酿谋划、规划设计到得到国家核准，再到建成现代化工厂，虽步履维艰，但历经困苦而不悔，几遇挫折而不馁，筚路蓝缕，披荆斩棘，通过不懈努力，开车运行十分平稳，业界给予了很多好评。这些进展无不体现了科技创新的力量，团队合作的作风和开拓进取的精神，能够置身和参与其中，奉献一份力量，做出一份贡献，并与大家一起分享探索和创新成果，深感自豪和荣幸。

本书以推动转变煤炭工业发展方式、促进煤的洁净转化为主线，以介绍煤洁净转化产业概况、煤直接液化技术、煤制烯烃核心技术为基本内容，以神华煤直接液化、包头煤制烯烃和神华二氧化碳捕集与封存三个示范工程为主要案例，力求理论与实践相结合、技术与工程相结合、继承与创新相结合。本书的基本架构和叙述方式主要基于以下两点考虑：一是我国是以煤为主要能源的国家，发展煤的清洁转化，实现煤炭资源利用从高碳向低碳的转换，是保持我国能源、经济、环境协调发展的重要途径；二是神华煤洁净转化项目已初见成效，所建设和运营的三个项目无疑是国家现代煤制洁净燃料和合成材料领域中的三朵奇葩，是三个具有里程碑意义的工程，对国家乃至世界发展现代煤洁净转化产业具有示范意义和引领作用。神华煤直接液化厂是世界上第一个百万吨级煤直接液化商业工厂，标志着我国具有自主知识产权的百万吨级煤直接液化技术取得重大突破；神华包头煤制烯烃项目是目前全球首个煤制烯烃商业示范工程，奠定了我国在煤基烯烃工业化生产的国际领先地位；建成的国内首个 CCS 试验工程，属当今世界研究的热点和前沿，对实现煤的低碳清洁转化、提高国家应对气候变化能力具有重要意义。

本书的出版，是集体智慧的结晶，是团队劳动的成果。笔者衷心感谢神华三任董事长叶青、陈必亭、张喜武对示范工程的正确领导和一贯支持，感谢吴秀章、梁仕

普、陆正平、张继明、舒歌平、李红凯、姜利、彭晓春、张兆孔、王鹤鸣、崔民利、刘夏明、金嘉璐、赵金立、岳国、朱平、阎国春、任相坤等同事对示范工程作出的重要贡献，感谢顾大钊、杜铭华、李克健、武兴彬、朱伟平、步学鹏、徐会军、李全生、姜殿虹、高山松、蔡丽娟、孙延辉、陈茂山、申屠春田、贾润安、夏俊兵、崔永君、孙典文、李小春、冯兴凯、郭振东、龚斌、皮金林等同志在本书编写过程中提供的帮助。

我国是世界上用煤历史十分悠久的国家，是世界上目前用煤最多的国家，也是煤洁净转化事业发展最快的国家。面对低碳时代的到来和全球气候变化的挑战，煤洁净转化从来没有像今天这样迫切和重要，不仅大有可为，而且势在必行。期待着神华在煤洁净转化技术探索和工程实践中的总结，能够为我国能源发展方式的转变积累一些经验，为国家产业政策的制定提供一点参考，为广大同仁和学者提供一些有益的帮助。请广大读者对本书多提宝贵意见、不吝赐教，让我们携起手来一起履行我们共同的使命，以人文情怀、低碳理念、科学精神和务实作风，推动煤的洁净转化和高效利用，共同期待天蓝水碧、风清气爽、环境宜居、全球气候不变暖，并为之而不懈奋斗。

二〇一〇年十二月

目 录

第一章 煤洁净转化产业概述.....	1
第一节 煤炭是中国的主要能源.....	1
第二节 中国能源安全问题日趋严峻.....	5
第三节 煤洁净转化是我国石油替代战略的重要组成部分.....	9
第四节 煤洁净转化技术发展迅速	13
第五节 引领煤洁净转化产业的示范工程	18
第六节 煤洁净转化产业发展为 CCS 技术实施创造条件	22
第七节 煤洁净转化产业的发展前景	25
参考文献	27
第二章 煤直接液化技术	29
第一节 煤直接液化技术发展概况	29
第二节 中国煤直接液化技术的发展历程	33
第三节 现代煤直接液化工艺及其技术特征	37
第四节 神华煤直接液化工艺开发	46
第五节 煤直接液化高效催化剂	56
第六节 煤直接液化关键设备	61
第七节 煤直接液化技术体系	71
参考文献	73
第三章 神华煤直接液化示范工程建设	76
第一节 神华煤直接液化示范工程建设前期工作	76
第二节 神华煤直接液化示范工程工艺选择和优化	79
第三节 神华煤直接液化示范工程主要技术经济参数	84
第四节 神华煤直接液化示范工程核心设备工程化	84
第五节 神华煤直接液化示范工程重大建设技术风险防控	87
第六节 神华煤直接液化示范工程环境保护	91
第七节 神华煤直接液化示范工程项目管理	95
第八节 神华煤直接液化示范工程质量控制.....	101
第九节 神华煤直接液化示范工程产业化知识产权.....	106
参考文献.....	108

第四章 神华煤直接液化示范工程运营	110
第一节 神华煤直接液化示范工程试生产技术准备	110
第二节 神华煤直接液化示范工程试生产人力资源准备	111
第三节 神华煤直接液化示范工程试生产其他方面的准备	113
第四节 神华煤直接液化示范工程首次试运行	114
第五节 神华煤直接液化示范工程运营工艺技术优化	118
第六节 神华煤直接液化示范工程重大运营技术风险防控	119
第七节 神华煤直接液化示范工程“安稳长满优”运营管理	123
第八节 神华煤直接液化示范工程运营阶段总结	127
第九节 神华煤直接液化示范工程运营技术体系	128
参考文献	133
第五章 煤制烯烃核心技术	134
第一节 煤制烯烃技术开发的背景	134
第二节 中国煤制烯烃技术的发展历程	136
第三节 煤制烯烃催化剂	144
第四节 煤制烯烃工艺	148
第五节 烯烃分离技术	155
第六节 煤制烯烃其他关键技术	156
参考文献	159
第六章 神华包头煤制烯烃示范工程建设	165
第一节 神华煤制烯烃示范工程建设前期工作	165
第二节 神华煤制烯烃示范工程工艺选择和优化	166
第三节 神华煤制烯烃示范工程技术经济参数	172
第四节 神华煤制烯烃示范工程核心技术产业化	174
第五节 神华煤制烯烃示范工程重大核心设备工程化	176
第六节 神华煤制烯烃示范工程建设技术风险防控	180
第七节 神华煤制烯烃示范工程环境保护	185
第八节 神华煤制烯烃示范工程项目管理	188
第九节 神华煤制烯烃示范工程质量控制	198
参考文献	201
第七章 神华包头煤制烯烃示范工程运营	203
第一节 神华煤制烯烃示范工程试生产技术准备	203
第二节 神华煤制烯烃示范工程试生产人力资源准备	205
第三节 神华煤制烯烃示范工程其他方面的准备	206

第四节	神华煤制烯烃示范工程首次试运行	209
第五节	神华煤制烯烃示范工程运营工艺技术优化	213
第六节	神华煤制烯烃示范工程重大运营技术风险防控	219
第七节	神华煤制烯烃示范工程“安稳长满优”运营管理	223
第八节	神华煤制烯烃示范工程运营阶段总结	225
第九节	神华煤制烯烃示范工程运营技术体系	230
	参考文献	236
第八章	煤制油化工 CCS 技术	238
第一节	CCS 技术的发展背景	238
第二节	中国 CCS 技术的发展现状	246
第三节	CO ₂ 捕集技术	252
第四节	CO ₂ 封存技术	260
第五节	煤转化装置 CO ₂ 捕集特征	271
第六节	神华 CCS 技术研发进展	277
	参考文献	281
第九章	神华 CCS 示范工程建设	285
第一节	神华 CCS 示范工程概况	285
第二节	鄂尔多斯盆地可封存 CO ₂ 潜在地层勘察	287
第三节	神华 CCS 示范工程建设前期工作	293
第四节	神华 CCS 示范工程捕集工艺	294
第五节	神华 CCS 示范工程地质封存工艺技术	295
第六节	神华 CCS 示范工程重大技术风险防控	299
第七节	神华 CCS 示范工程环境保护	301
第八节	神华 CCS 示范工程项目管理	302
第九节	神华 CCS 示范工程质量控制	305
	参考文献	309
第十章	神华 CCS 示范工程运营	310
第一节	神华 CCS 示范工程运营目标	310
第二节	神华 CCS 示范工程运营方案	313
第三节	神华 CCS 示范工程运营参数监测	316
第四节	神华 CCS 示范工程运营经济指标分析	324
第五节	神华 CCS 示范工程运营环境保护	328
第六节	神华 CCS 产业化知识产权	330
	参考文献	332

第一章 煤洁净转化产业概述

我国的能源资源禀赋结构决定了煤炭在我国一次能源消费结构中的主体地位,这一地位在相当长时间内难以改变。2009 年我国煤炭产量超过 3 Gt, 约占世界煤炭总产量的 40%, 是全球最大的煤炭生产和消费国。同时, 我国也是石油生产和消费大国, 但石油对外依存度近年来上升很快。开发高效、清洁的替代能源已成为确保我国石油多元化供应的一个战略选择。

煤洁净转化技术是以煤为主要原料, 以生产洁净能源和石油化工替代品为主要目标的现代化大型煤转化技术。国外的煤制油化工产业起步较早, 20 世纪 20 年代以来, 德国、美国、日本等国家在煤制油、煤制烯烃、煤制二甲醚、煤制乙二醇、煤制天然气等领域先后开发了相关工艺技术, 但真正实现工业化的仅有南非萨索尔公司的煤间接液化工厂和美国大平原煤制天然气工厂。我国经过“九五”技术开发、“十五”中试和工业试验、“十一五”现代工业示范几个阶段的发展, 开发和建设了具有良好产业化前景的煤洁净转化技术和示范工程, 为我国煤洁净转化产业发展奠定了基础。

第一节 煤炭是中国的主要能源

煤炭是我国的主要能源, 我国煤炭资源的分布既广泛又集中。根据生产与消费格局, 通常将全国煤炭分布划分为三个区带, 即东部调入带(京广铁路线以东区域)、中部调出带(山西、陕西、内蒙古、宁夏等省区)和西部自给带(新疆、甘肃、青海、西藏四省区和西南地区)。中国煤炭储量主要集中在北部区域。北方煤炭地质储量占全国的 93.5%, 南方煤炭地质储量仅占全国的 6.5%。近年来, 我国煤炭产量随市场需求增加而大幅度增长, 平均每年增长 0.2 Gt 左右。根据国家统计局公布的《2009 年国民经济和社会发展统计公报》, 2009 年我国煤炭产量达到 3.05 Gt。

一、煤炭是我国的主要化石能源

1. 我国煤炭储量状况

据中国煤炭工业协会统计数据, 2010 年中国煤炭探明可采储量 260 Gt, 居世界第三位, 仅次于美国和俄罗斯; 探明资源储量 1020 Gt, 预测资源总量为 5570 Gt。

截至 2009 年, 我国探明的化石能源资源总量构成中, 煤炭资源占化石能源资源总量的 96.42%, 而石油为 1.71%, 天然气为 1.87%。

2. 我国煤炭资源的勘探和开发利用前景

据预测, 全国 1000 m 以浅煤炭资源总量为 2860 Gt。山西、陕西、内蒙古、宁夏四省区拥有占探明资源量 65% 以上的煤炭资源, 是未来我国煤炭大规模集中开发区域, 也是支撑东部经济发展的主要煤炭调出基地。在未来 20 年内, 全国约 60% 以上的煤炭将产自该区域。

中国科学院《应对挑战——构建可持续能源体系》研究报告, 提出了“化石能源消耗总量与

2005 年相比增加不超过 50%” 的 2050 年中国能源发展的战略目标，并强调实现这一目标必须继续发挥煤清洁利用的重要作用，开源节流，保障石油与天然气供应，充分发展水电与安全、可靠、先进的核电，大规模发展非水力可再生能源，大力支持未来新型能源利用技术的研发，这进一步明确了煤炭清洁利用在优化我国能源结构中的重要地位和作用。

二、煤炭在中国一次能源中占有主导地位

在中国，煤炭提供了 75% 的工业燃料、76% 的发电燃料、80% 的民用商品能源和 60% 的化工原料，是中国社会经济发展的重要物质基础。

1. 我国一次能源消费结构

煤炭在中国一次能源消费结构中一直占主要地位（表 1-1 和图 1-1），1990 年时为 76.2%，到 2000 年变化为 67.8%，近五年一直保持在 68% 以上。2009 年煤炭消费总量占一次能源消费总量的 69.6%；石油消费占第二位，为 17.5%；天然气占总比例较低，但有逐步上升趋势，2009 年为 3.8%；水电、核电、风电所占比例不断提高，2009 年为 9.1%（电力折算标准煤的系数根据当年平均发电耗煤计算）。

表 1-1 中国一次能源消费量及其比例

年 份	能源消费总量/ 百万吨标准煤	占一次能源消费总量的比重/%			
		煤 炭	石 油	天 然 气	水 电、核 电、风 电
1990	987.03	76.2	16.6	2.1	5.1
1991	1037.83	76.1	17.1	2.0	4.8
1992	1091.70	75.7	17.5	1.9	4.9
1993	1159.93	74.7	18.2	1.9	5.2
1994	1227.37	75.0	17.4	1.9	5.7
1995	1311.76	74.6	17.5	1.8	6.1
1996	1389.48	74.7	18.0	1.8	5.5
1997	1377.98	71.7	20.4	1.7	6.2
1998	1322.14	69.6	21.5	2.2	6.7
1999	1338.31	69.1	22.6	2.1	6.2
2000	1385.53	67.8	23.2	2.4	6.7
2001	1431.99	66.7	22.9	2.6	7.9
2002	1517.97	66.3	23.4	2.6	7.7
2003	1749.90	68.4	22.2	2.6	6.8
2004	2032.27	68.0	22.3	2.6	7.1
2005	2246.82	69.1	21.0	2.8	7.1
2006	2462.70	69.4	20.4	3.0	7.2
2007	2650.00	69.5	18.3	3.4	8.8
2008	2850.00	68.7	18.0	3.8	9.5
2009	3100.00	69.6	17.5	3.8	9.1

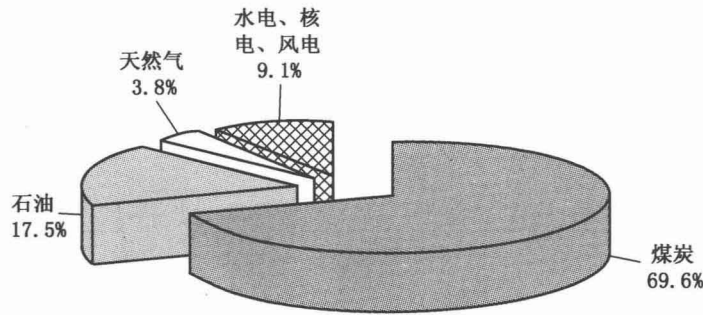


图 1-1 2009 年中国一次能源消费结构

从全球范围来看，化石能源在目前的一次能源消费中所占的比例达到 80% 以上。国际能源署（IEA）研究认为，全世界已探明石油、天然气、煤炭储量足以满足 2020 年后相当一段时间的能源需求。在中国，以煤为主的化石能源资源将是今后几十年一次能源消费中的主要构成部分。

2. 我国一次能源生产结构

“十一五”期间，我国煤炭产量快速增加，年均增长近 0.2 Gt。2009 年，我国煤炭产量已达到 3.05 Gt，比 2000 年增加了近 1.7 Gt，是 2000 年的 2.3 倍，煤炭产量的增长与一次能源的消费总量增长基本相当。在一次能源生产结构中，煤炭也占据了绝对重要的位置。我国石油产量相对比较稳定，截至 2009 年年底，中国石油产量达到 0.19 Gt，比 2000 年增加了约 28 Mt，提高了 17.4%。近十年来，我国天然气产量增长较快，2009 年达到 $8.299 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，是 2000 年的 3.17 倍，但是在一次能源中所占的比例依旧很低。我国煤炭、石油、天然气的产量与消费量的增长情况见表 1-2。我国煤炭生产与消费情况如图 1-2 所示。

表 1-2 中国煤炭、石油和天然气的产量与消费量

分 类	年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
煤炭/ ($10^8 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$)	产量	13	13.8	14.5	16.67	19.56	21.9	23.8	25.36	27.93	30.5
	消费量	13.2	13.5	14.16	15.79	18.7	21.4	23.7	25.8	27.4	30.2
石油/ ($10^8 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$)	产量	1.61	1.63	1.69	1.70	1.74	1.81	1.84	1.86	1.90	1.89
	消费量	2.21	2.15	2.31	2.53	2.92	3.00	3.35	3.57	3.64	3.88
天然气/ ($10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)	产量	262.0	302.7	326.3	341.3	409.8	499.5	593.8	694.0	774.7	829.9
	消费量	245	274	292	339	397	468	561	695	807	874.5

数据来源：2010 年 World Petrochemicals（简称 WP，世界石油化学品）。

3. 煤炭依然是中国未来的主要能源

中国能源生产供应的总发展趋势是：

- (1) 在未来 20 ~ 30 年，中国能源生产供应量随消费需求将有显著增长。
- (2) 作为世界能源生产与消费大国，中国能源供应将以立足国内为主，国际能源贸易作为重要补充。

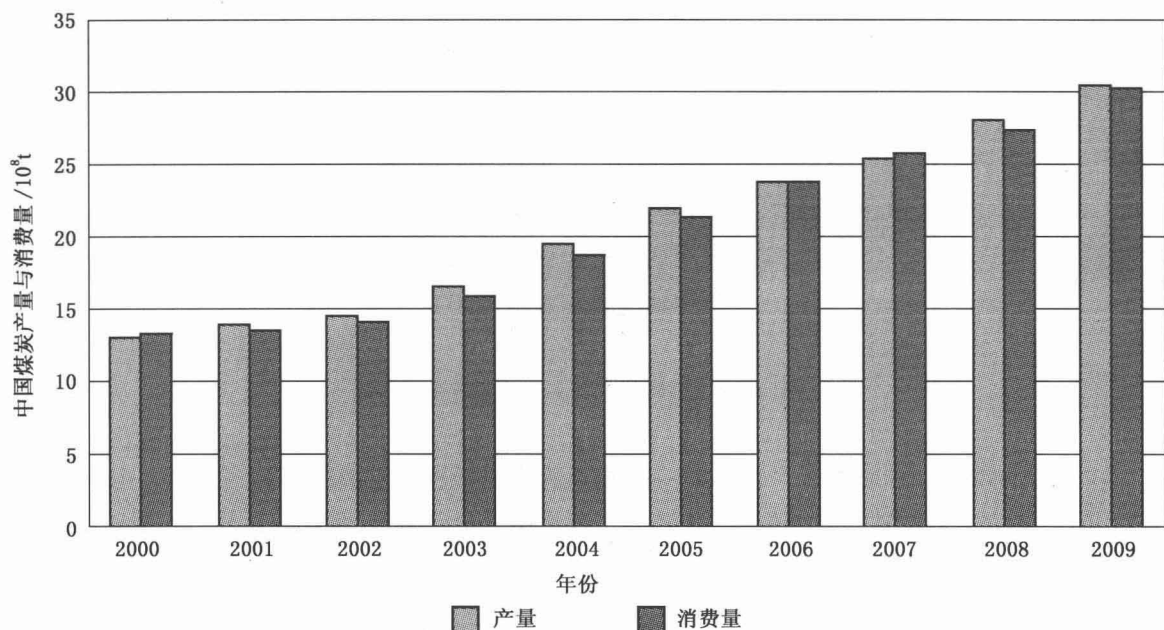


图 1-2 近年来我国煤炭生产与消费情况

(3) 煤炭在未来几十年一次能源结构中仍将占有主要比重和地位。

(4) 水能、风能、太阳能、生物能等可再生能源，以及核能等新能源将得到较快发展。

国家大力支持低碳和无碳能源的开发利用。到“十二五”末，争取非化石能源在一次能源消费中的比重达到 11.4%，到 2020 年实现非化石能源占一次能源消费比重达到 15% 左右，也就是说，化石能源消费在一次能源消费中的比重将由 2008 年的 92.6% 下降到 2015 年的 88.6% 和 2020 年的 85%。

4. 影响我国煤炭工业发展的几个问题

从人均能源消费量角度分析，2009 年，中国人均能源消费量为 2.4 t 标准煤，如果达到发达国家水平，能源消费总量应是目前的 3 倍左右，总量将达到 7~8 Gt 标准煤。由于中国目前正处于工业化、城镇化发展阶段，能源消费处在快速增长时期，因此能源需求必然增加。

由于中国人均油气资源占有量远远低于世界平均水平，在石油、天然气开采和供应方面难以满足日益增长的消费需求，近年来石油进口量不断增加。

虽然中国煤炭资源相对丰富，但随着今后能源需求总量不断增加以及现代社会清洁发展的需要，以提高煤炭开采量满足能源保障所引发的也会日益突出。

资源探明程度较低是影响煤炭持续增长的主要因素之一。目前，煤炭探明储量大约为资源总量的 20% 左右；在探明保有储量中，可供工业开发利用的精查储量约为 12%，可供建设大型重点煤矿的储量大约是 40 Gt。

运输是影响煤炭保障供应的重要制约因素。中国煤炭资源绝大部分分布在华北、西北地区，而经济发达、能源需求量大的地区以东部和东南沿海地区为主。目前，华北、西北几条主力运煤铁路运能基本饱和，公路运输压力很大，保障煤炭供应的运输环节制约严重。

煤炭的粗放式开发利用对环境的影响越来越严重。开发应用煤炭现代开采和洁净转化技术,实现资源的安全、高效开采与利用,推动煤炭工业的可持续发展,为国民经济和社会发展提供清洁、可靠的能源保障,任重而道远。

第二节 中国能源安全问题日趋严峻

能源是人类生存和发展的重要物质基础,是国民经济的基本支撑,也是当今国际政治、经济、军事、外交关注的焦点,能源安全可靠供应是一个全球性的问题。随着中国经济规模的进一步扩大,能源需求持续增加,能源对外依存度大幅攀升,从而对我国的能源安全产生较大影响。

一、我国能源生产和消费特点

近年来,我国能源需求强劲增长,特别是交通运输燃料和石化产品需求大幅增长,使得油气资源紧缺矛盾更加突出。

1. 能源消费总量快速增长

随着我国工业化和城市化不断推进,推动了能源消费量逐年攀升。从表 1-1 中的数据可以看到,2000 年至 2009 年间,我国能源消费总量从 1.385 Gt 标准煤上升至 3.1 Gt 标准煤,总量上升了 2.24 倍。

2. 石油进口逐年增加

2000—2009 年的 10 年间,我国石油产量保持在 $1.61 \times 10^8 \sim 1.89 \times 10^8$ t,而石油消费量却由 2.21×10^8 t 升至 3.89×10^8 t,石油的净进口量由 0.7×10^8 t/a 升至 2×10^8 t/a。

二、我国油气对外依存度日益提高

从 1993 年我国成为石油进口国以来,能源对外依存度逐年提高,到 2006 年突破 45%,其后每年均以 2% 左右的速度增加,2007 年为 47%,2008 年为 49%。2009 年中国原油产量 1.89×10^8 t,进口原油 2.04×10^8 t,进口依存度达 52%。

我国原油的生产、消费和进出口情况详见表 1-3、图 1-3 和图 1-4。

表 1-3 中国原油生产、消费和进出口情况

10^8 t/a

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
加工量	2.11	2.10	2.20	2.44	2.73	2.86	3.07	3.27	3.42	3.75
产量	1.61	1.63	1.69	1.70	1.74	1.81	1.84	1.86	1.90	1.89
进口量	0.70	0.60	0.69	0.91	1.23	1.27	1.45	1.75	1.78	2.04
出口量	0.10	0.08	0.07	0.08	0.05	0.08	0.06	0.04	0.04	0.05
消费量	2.21	2.15	2.31	2.53	2.92	3.00	3.35	3.57	3.64	3.88
对外依存度/%	31.7	27.9	29.9	36.0	42.1	42.3	43.3	49.0	48.9	52.6

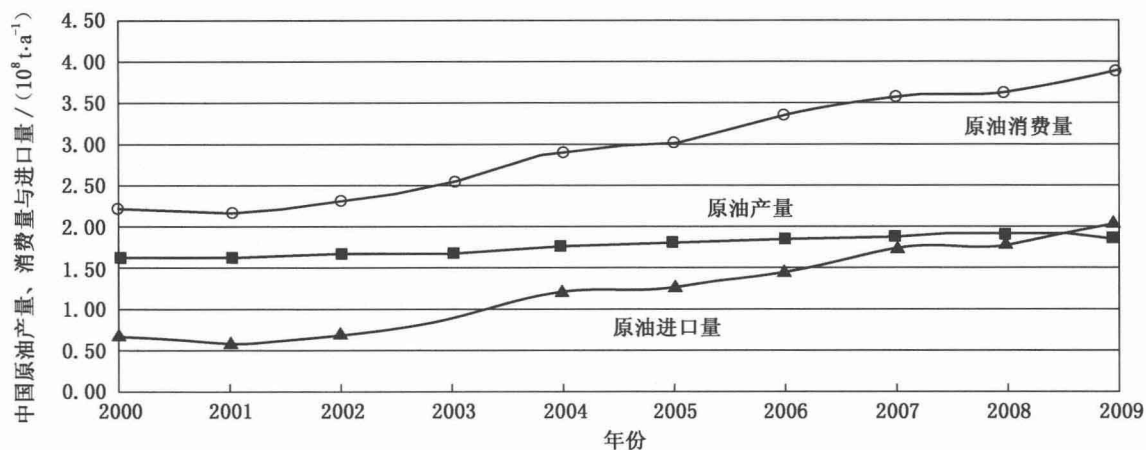
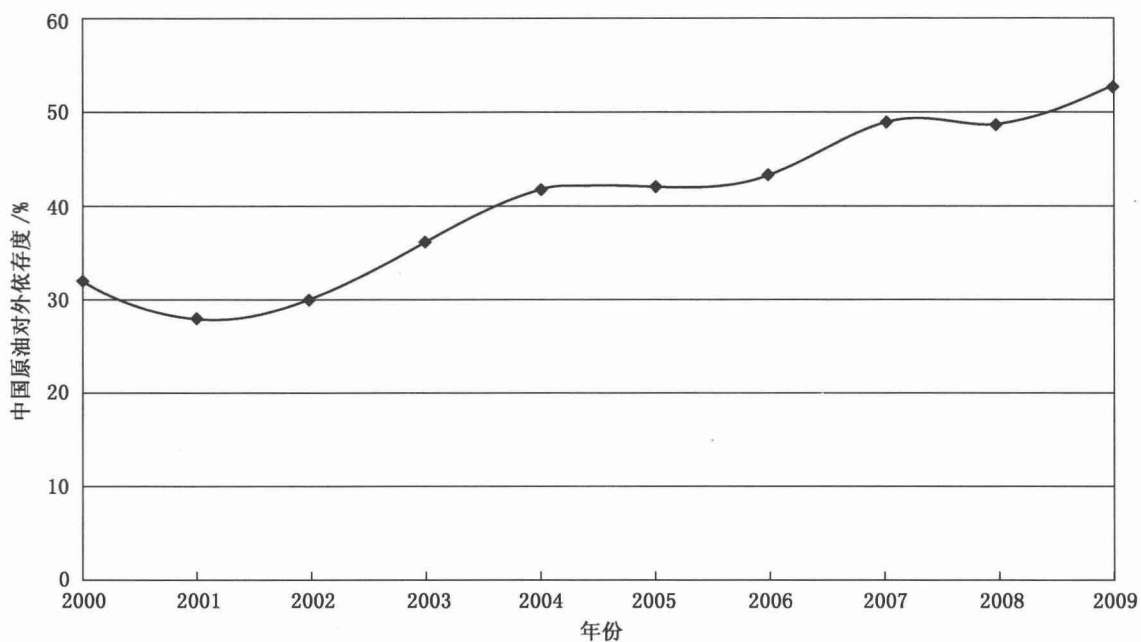


图 1-3 中国原油生产与消费情况



数据来源: 2010 年 World Petrochemicals (缩写 WP, 即世界石油化学品)

图 1-4 中国原油对外依存度

目前, 我国石油估算探明可采储量为 2.09 Gt , 天然气估算探明储量为 $2.46 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。预计未来 20 年内, 我国石油消费将以 3.1% 的速度增长, 高于过去 20 年的平均增长水平。2020 年, 预计我国石油消费量将超过 0.5 Gt , 进口量约 0.26 Gt , 供需矛盾会日益突出。据预测, 到 2020 年我国的天然气需求将达到 $2 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 供需缺口将达到 $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。我国天然气生产和消费状况见表 1-4。

表 1-4 中国天然气生产和消费状况

 $\times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$

年 份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
产 量	262.0	302.7	326.3	341.3	409.8	499.5	593.8	694.0	774.7	829.9
进口量	0	0	8	6	63	51	27	97	0	76.9
净进口	-27	-29	-35	-11	-18	-25	-25	3	46	44.5
消费量	245	274	292	339	397	468	561	695	807	874.5
对外依存度/%	—	—	—	—	—	—	—	0.43	5.70	5.09

作为一个发展中大国,我国对能源的需求还将不断上升,根据 2008 年《全国矿产资源规划(2008—2015 年)》作出的预测,至 2020 年,我国原油对外依存度将达到 60%。而 2009 年年中发布的《能源蓝皮书》则预测,到 2020 年我国的原油对外依存度将达到 64.5%。按照一般国际标准,如果一个国家的石油进口依存度达到或者超过 50%,就表明该国已经进入了能源预警期。在缺乏国际定价权的背景下,我国能源进口成本也会越来越高。

三、我国石油安全供应的不确定性

我国的原油进口来源地分别是中东、非洲、中南美和亚太地区及加拿大、挪威和独联体等国家。近几年,我国从中东、非洲和中南美地区及独联体国家进口的原油大幅增加,而从亚太地区进口的原油大幅减少(图 1-5)。目前我国的主要进口地区是中东和非洲,二者合计占中国原油进口总量的 78%。

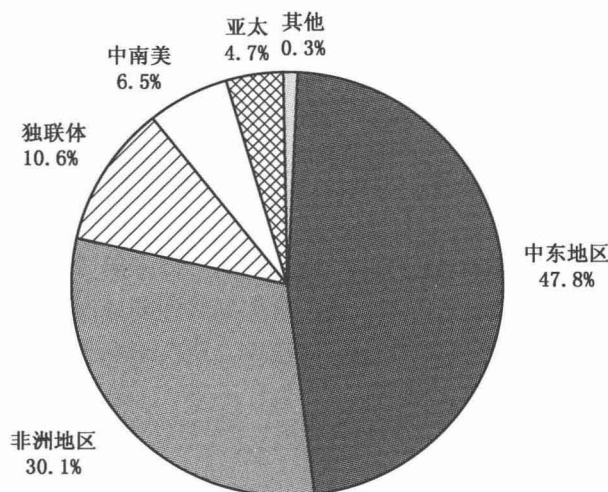


图 1-5 2009 年中国原油进口情况

国际油价上涨的趋势明显。据报道,目前世界常规石油资源发现率约为 78%。自 2003 年以来,国际油价一路飞涨,大大刺激了勘探开发活动的进行,但产量却增长缓慢,这也说明新发现的经济可开发石油资源越来越少。世界石油增产困难将使中国从国际市场获得原油的难度进一步

加大。

今后,无论是国际石油供需变化,还是油价波动,或是运输通道及其附近的安全形势,都将对中国石油供给以及经济社会运行产生越来越大的影响。中国海外能源战略面临着洲际资源战略合作、地缘政治资源利益、国际金融秩序、全球产业链、资源勘探开发等方面的诸多风险。随着世界石油勘探开发不断进行,石油资源的地域分布进一步集中,消费大国围绕这些聚集区的资源争夺也更为激烈,使这些地区的石油地缘政治地位进一步显现。未来随着世界原油进口量的进一步增长和消费大国之间资源竞争的加剧,这些不稳定地区的石油地缘政治地位还将进一步提升,这将对我国进口原油的可靠性产生不利影响。

四、我国原油进口路径较为单一

我国原油进口路径单一体现在两个方面:运输方式和运输路径单一。原油运输方式一般有海上油轮、陆地管道和陆上铁路3种,世界大多数国家采取海上油轮运输方式。我国是一个海陆国家,西是亚洲大陆,东是太平洋海域,因此可以通过以上3种运输方式进口原油。但由于我国连接境外完整的、全线投入使用的陆上运输管道十分缺少,铁路运量又十分有限,原油进口大部分采取海上运输方式,油轮运量占原油进口总量的比重不断上升。在运输路径方面,我国原油进口十分依赖西行航线。我国进口原油近80%来自于中东和非洲地区,从这两个地区到我国的海上原油运输通道较为固定,可供选择余地不大。从地理上看,马六甲海峡等航道狭窄,海盗、恐怖活动、突发事件等都可能造成航道中断,西行航线的顺畅与否严重影响我国能源安全。

五、我国天然气进口受运输条件限制突出

天然气受运输条件的限制尤为突出。世界天然气贸易多局限于管线可以达到的区域或液化天然气LNG(Liquefied Natural Gas)需求量大且有卸载再气化条件的地方。目前世界天然气贸易主要通过跨境管线输送和LNG输送两种方式进行。2009年世界天然气贸易总量达到 $8.765 \times 10^{11} \text{ m}^3$,同比增长7.7%,其中管输贸易量占72.3%,LNG贸易量占27.7%。

我国从2006年开始以LNG方式进口天然气。2009年,我国进口LNG达5.53 Mt($7.6 \times 10^9 \text{ m}^3$),比上年增长65.6%,占我国天然气消费量的比例从2006年的1.7%增加到2009年的8.6%。

尽管天然气缺口可通过进口天然气和液化石油气解决,但天然气储运比石油困难,运输成本较高。如果通过管道运输,不仅要建输气干线,还要建配气管网和调控的储气库。如果使用液化天然气,则需建设码头。而且天然气用气量受季节影响较大,用气高峰和低谷的用气量相差几倍,稳定供气运作和后勤服务系统较为复杂。

六、我国石油储备体系尚未完善

随着我国原油进口量大幅攀升,建立石油储备,保障国家能源安全变得越来越紧迫。

2007年12月18日,中国国家石油储备中心正式成立,旨在加强中国战略石油储备建设,健全石油储备管理体系。国家决定用15年时间,分三期完成石油储备基地建设。

尽管我国第一批石油储备基地部分已经建成完工,但构建石油储备体系还有一系列工作要做,如石油战略储备相关法律法规的制定、储备营运管理机构的设立、储备油品的来源、储备资金的来源、新储备基地的选址、符合中国需求的储备规模等都需要进一步研究。