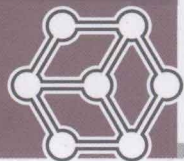


“十一五”
国家重点图书



现代煤化工技术丛书

谢克昌 主编

煤炭间接液化

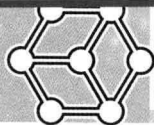
孙启文 编著

MEITAN JIANJIE YEHUA



化学工业出版社

“十一五”
国家重点图书



现代煤化工技术丛书

谢克昌 主编

煤炭间接液化

孙启文 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

MEITAN JIANJIE YE HUA

本书以煤炭间接液化基本理论为基础,详细介绍了煤间接液化技术的基本原理、关键技术、关键设备、主要工艺单元以及大型煤间接液化工业过程。全书共分七章,内容丰富全面,具有较强的实用性和新颖性,可供从事煤间接液化技术研究、设计和生产的技术人员参考,也可供大专院校煤化工专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤炭间接液化/孙启文编著. —北京:化学工业出版社, 2012.9

(现代煤化工技术丛书)

ISBN 978-7-122-14765-3

I. ①煤… II. ①孙… III. ①煤液化-间接法
IV. ①TQ529.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 147266 号

责任编辑:路金辉 靳星瑞 孙绥中

装帧设计:王晓宇

责任校对:边涛

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)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张31¼ 字数739千字 2012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:98.00 元

版权所有 违者必究

《现代煤化工技术丛书》编委会

主 任：谢克昌 中国工程院副院长，中国科协副主席，中国工程院院士
李勇武 中国石油和化学工业联合会会长

委 员（以姓氏汉语拼音排序）：

陈清如 中国工程院院士，中国矿业大学教授

房鼎业 华东理工大学教授

俸培宗 化学工业出版社社长

高晋生 华东理工大学教授

金 涌 中国工程院院士，清华大学教授

李大尚 赛鼎工程有限公司，国家级设计大师

李文英 太原理工大学教授，长江学者特聘教授

李永旺 中国科学院山西煤炭化学研究所研究员

李勇武 中国石油和化学工业联合会会长

李 忠 太原理工大学教授

倪维斗 中国工程院院士，清华大学教授

潘正安 化学工业出版社总编辑

邱介山 大连理工大学教授，长江学者特聘教授

孙启文 兖矿集团有限公司副总经理，煤液化及煤化工国家重点
实验室主任，研究员

王辅臣 华东理工大学教授，国家“973”项目首席科学家，长
江学者特聘教授

谢克昌 中国工程院副院长，中国科协副主席，中国工程院院士

应卫勇 华东理工大学教授

于遵宏 华东理工大学教授

张庆庚 赛鼎工程有限公司董事长兼总经理，教授级高级工程师

张玉卓 神华集团有限责任公司总经理，中国工程院院士

《现代煤化工技术丛书》编写人员

丛书主编：谢克昌

各分册编写人员：

《煤化工概论》 谢克昌 赵炜 编著

《煤炭气化技术》 于遵宏 王辅臣 等编著

《气体净化分离技术》 上官炬 常丽萍 苗茂谦 编著

《煤的等离子体转化》 吕永康 庞先勇 谢克昌 编著

《煤的热解、炼焦和煤焦油加工》 高晋生 主编

《煤炭直接液化》 吴春来 编著

《煤炭间接液化》 孙启文 编著

《煤基合成化学品》 应卫勇 编著

《煤基多联产系统技术及工艺过程分析》 李文英 冯杰 谢克昌 编著

《煤基醇醚燃料》 李忠 谢克昌 编著

《煤化工过程中的污染与控制》 高晋生 鲁军 王杰 编著

《煤化工设计基础》 张庆庚 李凡 李好管 编著

总 序

2008 年, 中国的煤炭产量高达 27.93 亿吨, 是 1978 年 6.18 亿吨的 4.52 倍, 占 2008 年世界煤产量的 42%, 而增量占世界的 80% 以上。

多年来, 在中国的能源消费结构中, 煤约占 70%, 另外两种化石能源石油和天然气分别约占 20% 和 3.5%; 中国的电力结构中, 燃煤发电一直占主导地位, 比例约为 77%; 中国的化工原料结构中, 煤炭占一半以上。中国煤炭工业协会预计到 2010 年全国煤炭需求量在 30 亿吨以上, 而中国科学院和中国工程院通过战略研究预计, 到 2050 年, 煤在中国的能源消费结构比例中仍将高居首位, 占 40% 以上, 这一比例对应的煤量为 37.8 亿吨, 比 2010 年的需求量多 26%。由此可见, 无论是比例还是数量, 在较长的时期内以煤为主的能源结构和化工原料结构很难改变。

事实上, 根据 2008 年 BP 公司的报告, 在化石能源中, 无论是中国还是世界, 煤的储采比 (中国 45, 世界 133) 都是石油的 2 倍左右。因此, 尽管煤在世界的能源消费结构中仅占 28%, 低于石油的 36%, 但“煤炭在未来 50 年将继续是世界的主要能源之一” (英国皇家学会主席 Martin Rees, 路透社 2008 年 6 月 10 日); “越来越多的化学制品公司正在将煤作为主要原料” (美国《化工新闻》高级编辑 A. H. Tullo, 2008 年 3 月 17 日)。

但是, 由于煤的高碳性和目前利用技术的落后, 煤在作为主要能源和化工原料的同时也是环境的主要污染源。据中国工程院的资料, 2006 年, 我国排放的 SO_2 和 NO_x 的总量达 4000 万吨以上, 源于燃煤的比例分别为 85% 和 60%, 燃煤排放的 CO_2 和烟尘也分别占到总排放量的 85% 和 70%。至于以煤为原料的焦炭、电石等传统煤化工生产过程, 除对大气污染外, 其废水、废渣对环境的影响也十分严重。据荷兰环境署统计, 2006 年中国的 CO_2 排放量为 6.2Gt, 而 2007 年又增加了 8%。虽然我国的人均 CO_2 排放量远低于美国等发达国家, 但由于化石能源的碳强度系数高 [据日本能源统计年鉴, 按吨 (煤) 计算: 煤排放 2.66t CO_2 , 石油排放 2.02t CO_2 , 天然气排放 1.47t CO_2] 和我国较长时期仍以化石能源为主 (中国科学院数据, 到 2050 年, 化石能源在中国能源结构中占 70%, 其中煤 40%、石油 20%、天然气 10%), 和其他污染物一样, CO_2 的排放与治理也必须高度重视并采取有效措施。

煤炭的上述地位和影响, 对世界, 特别是对中国, 无疑是一种两难选择。可喜的是, “发展煤化工, 开发和推广洁净煤技术是解决两难的现实选择” 已成为人们的共识并取得重要进展。遗憾的是, 在石油价格一度不断飙升的情况下, 由于缺乏政策引导、科学规划, 煤化工出现了不顾原料资源、市场需求、技术优劣等客观条件盲目发展的势头。为此, 笔者将 20 余年来对煤化工科学发展积累的知识、实践、认识和理解编撰成《煤化工发展与规划》一书, 于 2005 年 9 月由化学工业出版社出版发行。与此同时, 作为我国化学化工类图书出版之“旗舰”和科技图书出版之

“先锋”的化学工业出版社，在原化工部副部长谭竹洲、李勇武的指导下，极具战略眼光，决定在全国范围内组织编写《现代煤化工技术丛书》（以下简称《丛书》），出版社诚邀笔者担任该《丛书》主编，成立了由笔者和李勇武会长（中国石油和化学工业联合会）为主任的编委会，并于2006年4月18日在太原召开《丛书》第一次编写会议。就在编委会紧锣密鼓地组织、协调、推荐作者、确定内容、审定大纲的不到两年间，国内的煤化工又有了强势的发展和规划。据有关方面的粗略统计，2007年全国煤制甲醇生产、在建、计划产能总计达6000万吨，2008年实际产量1126.3万吨；2008年二甲醚产能约410万吨，实际产量200万吨；直接和间接液化法“煤制油”的在建和计划产能也超过千万吨；技术尚未成熟的煤制低碳烯烃、醇、醚等化工原料在建和计划项目也此起彼伏，层出不穷。煤化工这种强势的发展与规划不仅面临着市场需求和技术成熟度的有力挑战，而且还受到原料煤、水资源、环境容量等条件很大限制，其中尤以水资源为甚。美国淡水研究权威、太平洋研究所所长称：“当水资源受到限制和污染，或者经济活动不受限制而且缺乏恰当的管理时，严重的社会问题就可能发生。而在中国，这些因素的积聚将产生更为严重、复杂的水资源挑战。”按现有技术，煤制甲醇、二甲醚、油（间接液化）的单位产品水耗（t/t）分别为15、22、16。虽然，大量的温室气体排放来源于化石能源无节制的使用，特别是燃煤发电和工业锅炉，但目前的煤化工产品生产工艺过程排放的温室气体也不容忽视，英国《卫报》网站说“用煤生产液体燃料的过程所产生的温室气体是常规石油燃料的两倍以上”。至于传统的煤化工产品生产技术，还对原料煤有苛刻的要求，如固定床造气需要无烟块煤或焦炭，而焦化和电石生产的原料煤是焦煤和肥煤，但这些优质煤种的保有储量仅占煤炭资源保有总量的16.9%（无烟煤）和3.7%（焦煤和肥煤）。

针对上述情况，2009年2月19日，国务院提出“停止审批单纯扩大产能的焦炭、电石等煤化工项目，坚决遏制煤化工盲目发展的势头”，并要求石化产业的调整振兴必须“技术创新、产业升级、节能减排”。这使得煤化工的发展必须要以提高能效、减少能耗、降低排放为目标进行科学规划、优化选择、合理布局。但是，由于成煤物质和成煤年代等差异所导致的煤的复杂性和煤化学工程的学科特性，煤化工具有基础研究学科交叉、工程开发技术复杂、规模生产投资巨大的显著特点。这些特点对以煤气化为基础，以一碳化学为主线，以优化集成为途径，生产各种替代燃料和化工产品的现代煤化工尤其突出。要做到煤化工产业的科学规划、健康发展就必须全面了解、充分把握这些特点。

应运而生的《现代煤化工技术丛书》正是为满足这一需求，力求通过分册组成合理、学术实用并举、集成精粹结合、内容形式统一的编撰，体现现代煤化工的特点；希冀通过对新技术、新工艺、新产品的研究、开发、应用的指导作用，促进煤化工产业的技术进步；期望通过提供基础性、战略性、前瞻性的原理数据、可靠信息、科学思路推进煤化工产业的健康发展。为此，在选择《丛书》编撰者时，优先考虑的是理论基础扎实、学术思想活跃、资料掌握充分、实践经验丰富的分领域技术领军人或精英。在要求《丛书》分册编写时，突出体现“新、特、深、精”。新，

是指四新，即新思路、新结构、新内容和新文献；特，是有特色，即写法和内容都要有特色，与同类著作相比，特色明显；深，是说深度，即基础论述要深，阐述规律要准；精，是要成为精品，即《丛书》不成“传世”之作，也要成业界人士的“案头”之作。

根据上述指导思想和编写原则，《丛书》由以下分册组成。

1. 《煤化工概论》(谢克昌、赵炜编著)：以煤的转化反应为主线，以煤的转化技术分章节，阐述煤化工的基本原理，提供煤化工的总体轮廓。

2. 《煤炭气化技术》(于遵宏、王辅臣等编著)：在工艺过程分析、气化过程原理论述的基础上，比较各种气化过程的优劣，给出自主创新的煤炭气化实例。

3. 《气体净化分离技术》(上官炬、常丽萍、苗茂谦编著)：以气化煤气净化与分离的科学和技术问题为基础，比较各种净化工艺与技术，以解决现存问题，提供最佳技术选择。

4. 《煤的等离子体转化》(吕永康、庞先勇、谢克昌编著)：作为煤的非常规转化的重要组成，以多年的实验工作为基础，介绍等离子体应用于煤转化的主要技术。

5. 《煤的热解、炼焦和煤焦油加工》(高晋生主编)：以煤的热解为主线，将热解、炼焦和煤焦油加工有机结合，通过新技术的阐述，推动传统煤化工的革新。

6. 《煤炭直接液化》(吴春来编著)：以扎实的理论知识和丰富的实践经验为基础，提出直接液化用煤、生产工艺的优选原则，实现理论性和应用性的并重。

7. 《煤炭间接液化》(孙启文编著)：在介绍费托合成反应基础理论、技术发展的基础上，重点对核心问题——催化剂和反应器的研发做详细阐述。

8. 《煤基合成化学品》(应卫勇编著)：开发煤基合成化学品的新产品、新技术是现代煤化工的重要组成。面向企业，以阐述煤基化学品的生产技术、工艺和应用为主。

9. 《煤基多联产系统技术及工艺过程分析》(李文英、冯杰、谢克昌编著)：以煤气化为基础的多联产是公认的煤洁净高效利用的主要技术途径，通过非多联产和多联产过程的分析给出多联产的创新优化实例。

10. 《煤基醇醚燃料》(李忠、谢克昌编著)：作为重要的车用替代燃料，结合国内外的实践，重点介绍甲醇、二甲醚和乙醇燃料的性质、制备和应用。

11. 《煤化工过程中的污染与控制》(高晋生、鲁军、王杰编著)：在客观分析煤化工过程对环境污染的基础上，通过该过程中有害元素的迁移与控制论述，介绍主要污染物的净化、减排和利用技术。

12. 《煤化工设计基础》(张庆庚、李凡、李好管编著)：煤化工新技术、新工艺的产业化离不开整体考虑和合理设计，而设计基础来源于全面的知识和成功的实践。

由以上《丛书》各分册的简介可以看出，各分册独立成册，却内涵相连，各分册既非学术专著，又非设计手册，但发挥之作用却不仅在于科研、教学之参考，更在于应用、实践之指导。鉴于中国石油和化学工业联合会、化学工业出版社对这套

《丛书》寄予厚望，国家新闻出版总署将其列为国家“十一五”重点图书，身居煤化工“冷热不均”却舍之不得，仍拼搏奋斗在第一线的诸位作者深感责任重大，均表示要写成精品之作，以飨读者。但因分册内容不同，作者情况有别，《丛书》难以整体同时问世，敬请读者原谅。“纵浪大化中，不喜亦不惧”，煤化工的发展道路可能有起有伏，坎坷不平，但其在中国的地位与作用如同其理论基础和基本原理一样难以撼动，在通过洁净煤技术，实现高碳性的煤炭低碳化利用，并与可再生能源一起，促进低碳经济发展的进程中，现代煤化工必将发挥不可替代的作用。诚望这套立意虽高远、内容难全面、力求成经典、水平限心愿的《丛书》能在煤化工界同仁的“不喜亦不惧”中，成为读者为事业不懈追求的忠实伙伴。



2009年9月9日

前言

煤炭间接液化是指将煤炭经气化、液化和产品深加工转化为汽油、柴油、煤油、燃料油、液化石油气和其它化学品等液体产品的工艺过程，是碳一化工重要的发展方向。煤炭间接液化合成油具有清洁、环保、燃烧性能优异等优点，可作为化石液体燃料的直接替代品，对保障我国能源安全具有重要意义。煤炭间接液化在生产油品的同时副产大量化工产品，不但延长了产品链，而且增强了市场适应性，从而成为当前洁净煤技术的发展热点。

我国的能源结构特点是“富煤、贫油、少气”，这就决定了我国经济发展依赖的一次能源仍以煤炭为主。目前，我国石油对外依存度已高达 50% 以上，在国际局势复杂多变的形势下，采用煤炭间接液化技术将我国丰富的煤炭资源转化成高品质的油品和化工产品，是实现我国石油替代和能源多元化战略、降低对进口石油依存度的重要和有效途径之一。

为了有效推动以煤为基础的油品、电力、化工产品多联产系统技术的应用和产业化发展，使更多的煤化工工作者熟悉煤炭间接液化的基本理论和工艺过程，特编著本书，供读者参考。

本书力求内容全面，着力突出先进性、实用性和新颖性。全书共分 7 章，第 1 章简要介绍煤间接液化技术的发展历史及我国发展煤间接液化的必要性；第 2 章介绍费托合成反应的基本原理；第 3 章、第 4 章分别介绍了费托合成催化剂及费托合成的关键设备——费托合成反应器及内构件；第 5 章介绍了费托合成原料气的要求、生产工艺及气体净化技术；第 6 章介绍了费托合成产品精细化加工技术；第 7 章介绍了大型工业化费托合成工艺过程及发展趋势。

本书的编写得到了谢克昌院士的鼓励和支持。上海兖矿能源科技研发有限公司的张宗森、吴建民、孙燕、杨正伟、岳建平、李志等参与了部分章节材料的收集工作，张宗森帮助对全书进行了打印和编排。在此一并致谢。

由于编者水平和学识有限，加之时间仓促，书中不妥之处在所难免，恳请同行和读者批评指正。

编 者

2012 年 5 月

目 录

1 概 论

1.1 发展煤炭间接液化技术的意义	1
1.1.1 能源构成	1
1.1.2 煤炭资源与有效利用	2
1.1.3 煤炭资源对能源安全的影响	4
1.2 煤间接液化核心技术费托合成的基本概念及发展历史	6
1.2.1 费托合成 (Fischer-Tropsch Synthesis) 技术	6
1.2.2 发展历史	8
1.3 我国煤间接液化技术发展现状	10
参考文献	11

2 费托合成反应基本原理

2.1 费托合成反应	12
2.2 转化率与选择性	13
2.2.1 转化率	13
2.2.2 选择性	13
2.3 反应热力学	14
2.3.1 反应热	14
2.3.2 反应的吉布斯自由能	17
2.3.3 反应的平衡常数	20
2.3.4 二次反应的热力学分析	24
2.4 反应机理	26
2.4.1 活性吸附过程	26
2.4.2 费托合成反应机理	29
2.4.3 费托合成中水煤气变换反应机理	38
2.5 反应动力学	39
2.5.1 基于反应物消耗速率的反应动力学方程	39
2.5.2 基于烃类产物生成速率的反应动力学方程	46
2.5.3 水煤气变换反应动力学方程	51
2.6 费托合成产物选择性与 ASF(Anderson-Schulz-Flory)分布	52

2.6.1 费托合成产物选择性的特点	52
2.6.2 费托合成反应产物的 ASF (Anderson-Schulz-Flory) 分布模型	55
2.6.3 费托合成产物分布与操作条件的关系	57
2.6.4 催化剂对费托合成产物分布的影响	62
2.6.5 实际产物分布与 ASF 模型的偏离	66
主要符号说明	82
参考文献	83

3

费托合成反应催化剂

3.1 发展历史	90
3.2 铁基催化剂	92
3.2.1 低温铁基催化剂	92
3.2.2 高温铁基催化剂	107
3.3 钴基催化剂	120
3.3.1 催化剂制备方法	121
3.3.2 催化剂物理性质	122
3.3.3 催化剂还原与使用	126
3.3.4 催化剂反应性能	129
3.3.5 催化剂失活	139
3.4 钴基催化剂与铁基催化剂比较	143
主要符号说明	144
参考文献	145

4

费托合成反应器

4.1 发展历史	150
4.2 固定床反应器	152
4.2.1 反应器结构	152
4.2.2 固定床反应器特点	155
4.3 浆态床反应器	155
4.3.1 反应器结构及内构件	156
4.3.2 浆态床反应器特点	164
4.3.3 浆态床反应器放大设计基础	164
4.4 流化床反应器	183
4.4.1 循环流化床反应器	183
4.4.2 固定流化床反应器	184
4.4.3 流化床反应器放大设计基础	190

4.5 反应器数学模拟	214
4.5.1 固定床反应器数学模拟	214
4.5.2 浆态床反应器数学模拟	217
4.5.3 固定流化床反应器数学模拟	234
主要符号说明	249
参考文献	251

5

费托合成原料气体的生产

5.1 费托合成对原料气的要求	260
5.1.1 费托合成反应计量化学及对合成气组成的要求	260
5.1.2 费托合成反应对气体含硫量的要求	262
5.2 煤的气化	262
5.2.1 煤在气化过程中的变化	263
5.2.2 煤气化过程的热力学平衡模型	266
5.2.3 煤气化反应动力学	273
5.2.4 煤的气化性质	286
5.2.5 气化炉及气化工艺	291
5.2.6 不同气化工艺比较	313
5.3 CO变换	315
5.3.1 反应方程式	316
5.3.2 反应热力学	316
5.3.3 反应动力学	316
5.3.4 工艺流程和主要设备	317
5.3.5 变换催化剂	319
5.4 合成气脱硫技术	319
5.4.1 低温甲醇洗 (Rectisol) 技术	320
5.4.2 NHD (Selexol) 技术	322
5.4.3 其它技术	324
5.5 CO ₂ 脱除	326
5.5.1 改良热钾碱法	326
5.5.2 甲基二乙醇胺法	327
5.6 硫回收技术	329
5.6.1 克劳斯 (Claus) 工艺	329
5.6.2 斯考特 (Scot) 工艺	331
主要符号说明	332
参考文献	333

6.1 费托合成尾气处理	337
6.1.1 费托合成尾气的特点	337
6.1.2 尾气加工单元	338
6.1.3 费托合成尾气加工分离流程	343
6.2 费托合成油深加工	345
6.2.1 费托合成油组成特点	345
6.2.2 费托合成油适合加工的目标产品	348
6.2.3 费托合成油加工方法	349
6.2.4 传统炼油工艺对费托合成油品加工过程的适应性及环境影响 评估	389
6.2.5 费托合成油加工工艺流程	390
6.3 费托合成反应水的加工处理	407
6.3.1 费托合成反应水的特点	408
6.3.2 不同组分的分离过程	409
6.3.3 费托合成反应水加工分离工艺	410
6.3.4 费托合成反应水加工分离过程分析	417
参考文献	419

7.1 费托合成工艺	431
7.1.1 低温费托合成工艺	432
7.1.2 高温费托合成工艺	440
7.2 大型煤间接液化工艺过程	445
7.3 煤间接液化过程分析	449
7.3.1 费托合成过程分析	449
7.3.2 兖矿榆林百万吨级煤间接液化示范装置分析	464
7.4 其它应用	476
7.4.1 联产电力的分析	476
7.4.2 与甲醇过程的联合生产	478
7.4.3 与直接液化的联合生产	481
7.5 发展趋势	485
参考文献	486

1.1 发展煤炭间接液化技术的意义

1.1.1 能源构成

能源是人类赖以生存和发展的重要物质基础,是一个国家经济和社会发展的动力。我国能源资源储量的总体状况是:常规能源(包括煤炭、原油、天然气和水能,水能按使用100年计算)探明(技术可开发)总资源量超过8230亿吨标准煤。探明(经济可开发)剩余可采储量1392亿吨标准煤,约占世界总量的10.1%。在探明的能源资源总量构成中,煤炭占87.4%,石油占2.8%,天然气占0.3%,水能占9.5%。能源剩余可采总储量的结构为:原煤58.8%,原油3.4%,天然气1.3%,水能36.5%。

煤炭是古代植物埋藏在地下经历了复杂的生物化学和物理化学变化逐渐形成的固体可燃性矿物。它是18世纪以来人类使用的主要能源之一。中国煤炭资源丰富,除上海以外其它各省区均有分布,但分布极不均衡。在中国北方的大兴安岭-太行山、贺兰山之间的地区,地理范围包括煤炭资源量大于1000亿吨以上的内蒙古、山西、陕西、宁夏、甘肃、河南6省区的全部或大部,是中国煤炭资源集中分布的地区,其资源量占全国煤炭资源量的50%左右,占中国北方地区煤炭资源量的55%以上。在中国南方,煤炭资源量主要集中于贵州、云南、四川三省,这三省煤炭资源量之和为3525.74亿吨,占中国南方煤炭资源量的91.47%,探明保有资源量^①占中国南方探明保有资源量的90%以上。截至到2009年底,我国煤炭基础储量为3189.6亿吨^[1]。

石油又称原油,主要是各种烷烃、环烷烃、芳香烃的混合物。它是古代海洋或湖泊中的生物经过漫长的演化形成的混合物,与煤一样属于化石燃料。石油主要被用来加工液体燃料,是目前世界上最重要的一次能源之一。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。我国主要产油区有大庆油田、胜利油田、长庆油田、辽河油田、克拉玛依油田、四川油田、华北油田、大港油田、中原油田、吉林油田等。截止到2009年,我国原油剩余技术可采储量^②为29.49亿吨^[1]。

天然气是一种多组分的混合气体,主要成分是烷烃,其中甲烷占绝大多数,另有少量的乙烷、丙烷和丁烷,此外一般还含有硫化氢、二氧化碳、氮气和氢气,以及微量的惰性气体,如氦和氩等。在标准状况下,甲烷至丁烷以气体状态存在,戊烷以上为液体。

① 探明保有资源量:指探明的资源储量,包括工业储量和远景储量,扣除已开采部分和地下损失量后的年末实有储量。

② 剩余技术可采储量:是指某一种资源投入开发后,并达到某一开发阶段,该资源技术可采储量减去该阶段累计采出量的剩余值。技术可采储量是指依靠现在的工业技术条件可能采出,但未经过经济评价的可采储量。

相较于煤炭、石油等能源，天然气具有使用安全、热值高、洁净等优势。中国天然气探明储量集中在 10 个大型盆地，依次为：渤海湾、四川、松辽、准噶尔、莺歌海-琼东南、柴达木、吐-哈、塔里木、渤海、鄂尔多斯。截止到 2009 年底，我国天然气剩余技术可采储量为 37074.2 亿立方米^[1]。

水电是清洁能源，可再生、无污染、运行费用低，便于进行电力调峰，有利于提高资源利用率和经济社会的综合效益。中国不论是水能资源蕴藏量，还是可能开发的水能资源，都居世界第一位。截至 2008 年，中国水电总装机容量已达到 1.72 亿千瓦，占全国发电装机容量的 21.7%，年发电量为 5633 亿千瓦时，占全国总发电量的 16.3%^[2]。

不难看出，我国能源资源较为丰富，但先天结构失衡，分布不均匀，呈现出“富煤、贫油、少气”的特点。煤炭在我国一次能源生产中约占 70%，占一次能源总消费量的 63%，远高于世界平均水平，而以石油为基础的汽油、柴油等供应紧张，石油依赖进口严重，这些能源问题成为长期制约我国经济社会发展的瓶颈。

1.1.2 煤炭资源与有效利用

煤炭作为我国重要的基础能源，在国民经济发展中长期具有重要的战略地位。我国是世界上煤炭资源最丰富的国家之一，我国煤炭查明资源储量排在俄罗斯和美国之后，居世界第三位。但是由于勘察程度较低，且人口众多，人均剩余可采储量仅为 134 吨。截止到 2007 年底，全国煤炭保有查明资源储量^①为 11800 亿吨，其中：基础储量 3260 亿吨，资源量 8540 亿吨。在基础储量中，剩余探明可采储量^②为 1768 亿吨。内蒙古、山西、新疆、陕西、贵州五省（区）保有查明资源储量^③为 9561 亿吨，占全国的 81%。近年来，查明资源储量增长主要集中在内蒙古和新疆。2007 年全国煤炭保有查明资源储量比 2002 年增加 1610 亿吨，其中内蒙古和新疆增加 1497 亿吨，占全国增加量的 93%^[2]。2007 年底全国查明煤炭资源储量地区分布情况见图 1-1。

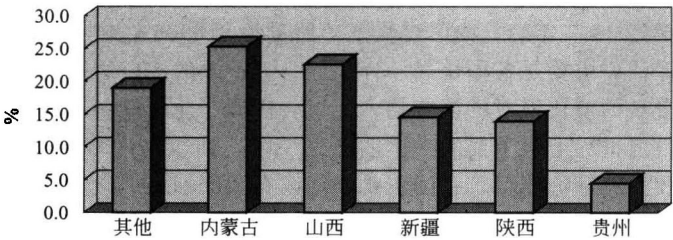


图 1-1 2007 年底全国查明煤炭资源储量地区分布情况

从我国各地区煤炭资源分布情况来看，远景储量主要分布在山西、陕西、内蒙古、新疆等地，占全国的 94.9%，探明储量的 80.5%分布在以上四省区。山西、陕西、内

① 保有查明资源储量：是指某种资源探明储量减去动用储量所剩余的储量。
② 剩余探明可采储量：是指某一种资源投入开发后，并达到某一开发阶段，该资源探明可采储量减去该阶段累计采出量的剩余值。
③ 查明资源储量：是指经过地质勘探手段，查明埋藏地下的资源数量，是矿产资源储量中探明程度最差的一级储量。

蒙古将是我国中长期内稳定的煤炭供给来源，其次是西南地区及西北的新疆、甘肃、宁夏、青海等地区。这些地区煤炭储量丰富，但是由于地处西部内陆地区，煤炭运输是需要解决的问题。华东、中南、京津冀地区煤炭储量有限，不能满足本地区需求，东北地区作为传统煤炭生产基地，随着老旧煤矿的报废，短期煤炭资源供给潜力不足，新的煤炭资源接续能力出现问题，将面临资源枯竭和工业转型的挑战。

我国煤炭资源煤种比较齐全，但优质资源较少。尽管我国煤炭资源包括了从褐煤到无烟煤各种不同煤化阶段的煤种，但数量分布极不均匀。褐煤和低变质烟煤数量较大，占查明资源储量的 55%；中变质炼焦烟煤数量较少，占查明资源储量的 28%，且大多数为气煤，肥煤、焦煤、瘦煤仅占 15%；高变质的贫煤和无烟煤数量更少，仅占查明资源储量的 17%。褐煤资源主要分布在内蒙古东部和云南，由于其发热量低，水分含量高，不适于远距离长途运输，在一定程度上制约了这些地区煤炭资源的开发。另外，高硫煤查明资源储量约 1400 亿吨，占全部查明资源储量的 14%，主要分布在四川、重庆、贵州、山西等省（市）。

我国煤炭资源区域分布不均衡。总的来说，我国煤炭资源的总体分布格局是北富南贫，西多东少。昆仑山-秦岭-大别山以北的北方地区，查明资源储量占全国的 90%以上，且集中分布在内蒙古、山西、陕西、宁夏、新疆等省（区）（约占北方地区的 80%）；昆仑山-秦岭-大别山以南的南方地区，查明资源储量占全国的比重不足 10%。华东、中南是主要的煤炭消费地区，但资源贫乏，查明资源储量仅占全国的 7%。煤炭资源分布的不均匀特征决定了北煤南运、西煤东调的基本格局。截至 2009 年底我国各省（市、区）煤炭资源查明储量情况见表 1-1^[1]。

表 1-1 2009 年我国各省（市、区）煤炭资源查明储量情况

地 区	煤炭查明资源 储量/亿吨	占全国比重 /%	地 区	煤炭查明资源 储量/亿吨	占全国比重 /%
全 国	3189.6	100			
北 京	7.0	0.022	湖 北	3.3	0.10
天 津	3.0	0.094	湖 南	18.9	0.59
河 北	56.3	1.77	广 东	1.9	0.059
山 西	1055.5	33.09	广 西	7.7	0.24
内 蒙 古	772.7	24.23	海 南	0.9	0.028
辽 宁	43.8	1.37	重 庆	21.3	0.67
吉 林	12.8	0.40	四 川	52.3	1.64
黑 龙 江	69.0	2.16	贵 州	128.1	4.02
江 苏	14.5	0.45	云 南	77.5	2.43
浙 江	0.5	0.016	西 藏	0.1	0.0031
安 徽	83.7	2.62	陕 西	268.7	8.42
福 建	4.2	0.13	甘 肃	58.4	1.83
江 西	7.2	0.23	青 海	20.0	0.63
山 东	82.1	2.57	宁 夏	55.5	1.74
河 南	114.7	3.60	新 疆	148.0	4.64

我国煤田地质条件总体上是南方复杂、北方简单，东部复杂、西部简单，与世界主要产煤国家相比为中等偏下。地质构造简单的煤田主要分布在山西、陕西、内蒙古、宁夏、新疆五省（区），其它地区的煤田构造大多复杂。目前，中国多数煤炭的平均开采