



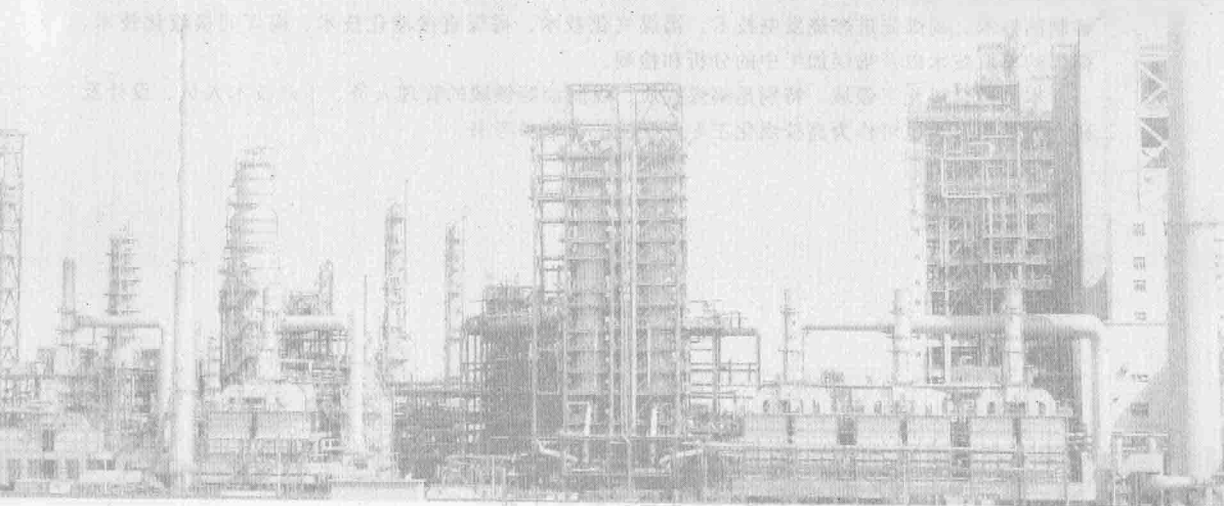
褐煤化工技术

Lignite Chemical Processes

李青松 主编



化学工业出版社



褐煤化工技术

李青松 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书阐述了褐煤的化工转化技术，结合国内外褐煤提质和煤制油的应用背景，详细介绍了各种褐煤加工技术的原理和典型工艺，包括工艺流程、产品收率、技术特点、工业应用以及产品的分析和检测。全书共九章，详细介绍了世界能源中褐煤利用现状、褐煤的物理加工技术、褐煤热解制油技术、褐煤先进燃烧发电技术、褐煤气化技术、褐煤直接液化技术、褐煤间接液化技术、褐煤的萃取技术以及褐煤加工中的分析和检测。

本书适合煤化工领域，特别是褐煤提质、煤制油等领域的管理人员、生产技术人员、设计及研究人员参考，也可作为高校煤化工专业学生的学习参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

褐煤化工技术/李青松主编. —北京: 化学工业出版社, 2014. 10
ISBN 978-7-122-21522-2

I. ①褐… II. ①李… III. ①褐煤-煤化工 IV. ①TQ53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 175117 号

责任编辑: 靳星瑞
责任校对: 吴 静

装帧设计: 韩 冰

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: 三河市胜利装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 24 字数 490 千字 2014 年 11 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

《褐煤化工技术》编委会

主任 李青松 陈宏刚
委员 李青松 陈宏刚 毕继诚 王永刚
王利斌 张 锴 梁 鹏 石 斌
于英民 张海鹏 林元奎 马名杰

《褐煤化工技术》编写人员名单

- | | | |
|-----|-------------|--|
| 第1章 | 世界能源中褐煤利用现状 | 中国石油大学(华东) 李青松
林元奎 |
| 第2章 | 褐煤的物理加工技术 | 中国石油大学(华东) 于英民
张海鹏 林元奎 |
| 第3章 | 褐煤热解制油技术 | 中国石油大学(华东) 李青松
李如英
山西煤炭化学研究所 毕继诚
华北电力大学 陈宏刚 |
| 第4章 | 褐煤先进燃烧发电技术 | 华北电力大学 陈宏刚 |
| 第5章 | 褐煤气化技术 | 华北电力大学 张锴 |
| 第6章 | 褐煤直接液化技术 | 中国石油大学(华东) 石斌 |
| 第7章 | 褐煤间接液化技术 | 山东科技大学 梁鹏 |
| 第8章 | 褐煤的萃取技术 | 中国矿业大学 王永刚 林雄超 |
| 第9章 | 褐煤加工中的分析和检测 | 北京煤化工研究分院 王利斌
河南理工大学 马名杰 |

前 言

世界上煤炭资源储量比石油、天然气更为丰富，但煤炭资源超过一半以上是低阶的次烟煤和褐煤。世界煤炭剩余可采储量排名前三位的国家分别是美国、俄罗斯、中国，中国低阶煤约占中国煤炭剩余可采储量的45%。随着煤炭大量开采，我国优质煤炭资源逐渐减少，而褐煤资源储量丰富却利用不足。从工业能源价格和国家能源安全角度出发，高效利用储量丰富的褐煤资源，具有很高的社会和经济价值。

由于煤炭资源的高碳性和国内煤炭利用技术的落后，煤炭在作为最主要能源和化工原料的同时，也是造成环境污染的主要物质来源。目前，我国大气污染状况十分严重，已成为全球PM2.5污染较为严重的地区。在世界石油价格长期上涨的情况下，煤炭资源在我国经济社会发展中的作用和影响成为一种两难的选择。因此，发展煤化工，开发和推广洁净煤技术就成为“兴利除弊”的必然道路。

中国富煤贫油少气，是煤炭消费第一大国，煤炭生产和消费大约占到全球的一半。多年来国内能源消费结构中，煤炭约占70%，在未来很长时间内将会继续保持主导地位。2012年我国原煤产量约36.5亿吨，煤炭消费量约35.4亿吨，连续多年居世界首位。随着国内硬煤资源的大量开采利用，褐煤资源的开发和利用越来越受到人们的重视。

我国褐煤资源丰富，埋深2000m以内资源总量3194亿吨；探明储量1291亿吨，占全国探明储量的13%；预测褐煤资源量1903亿吨。现已探明的褐煤主要分布在华北和西南地区，华北区的褐煤绝大多数为侏罗纪的年老褐煤，但西南区的褐煤几乎全部是第三纪较年轻褐煤。内蒙古东部地区约占全国褐煤地质储量的3/4以上，云南省境内储量约占全国褐煤的1/8，大型褐煤盆地群有海拉尔盆地群、二连盆地群和昭通盆地群。我国褐煤具有“两高三低”特点：挥发分高、水分高、灰熔点低、密度低、热值低。直接燃烧褐煤的热效率较低，温室气体排放量大。另外，褐煤易风化碎裂、易氧化自燃、难以洗涤和储存，造成单位能量的运输成本较高，不适合长距离运输和贮存。褐煤作为一种低阶燃料，在产地附近燃烧发电，经济性较差，褐煤提质是褐煤开发利用的重要一环。我国褐煤埋藏浅，含煤面积大，煤层厚，很多都是露天矿，开采利用廉价的褐煤有着巨大的成本优势，前景广阔。另一方面，我国目前对褐煤的开发和利用水平很低，和国外比还有相当的差距，相关研究工作也较少，技术数据和资料比较匮乏，因此，需要重视褐煤的发展，加强综合利用。

煤化工先于石油化工的发展，第二次世界大战以后石油工业兴起后，煤化工被冷落了一段时间。进入新世纪，随着石油资源的减少和油价不断上涨，我们逐渐进

入“后石油时代”，煤化工又重新受到重视。可以预见，今后的化工发展必然是油煤一体化（工），液体燃料和化学工业的主要原料趋于多元化。同时，不同来源的化工产品相互融合、补充和竞争，成为油气煤化工的新格局。本书力求反映“后石油时代”现代煤化工中，褐煤提质的发展及前景，侧重国内也系统介绍国际先进技术，涵盖了褐煤作为能源和化工原料的应用等各个方面，力求对褐煤提质技术的研究现状和发展进行全面、系统的描述。在格式和风格上力求深入浅出，通俗易懂，多用图表，简洁流畅。本书侧重工业应用，重点为普及技术和让读者了解生产工艺，可以为该领域（褐煤提质、煤化工、煤制油新能源）广大的管理人员、生产技术人员、研究人员、大专院校相关专业学生提供参考。

本书全面介绍了各类褐煤加工工艺，在简单介绍技术原理的基础上，结合国内外同类技术的工业应用现状，详细阐述了各类技术中典型工艺的工艺流程、产品收率、技术特点、工业应用及其发展前景等。全书共分九章，第1章主要介绍了当今国内外能源发展以及国内外褐煤资源利用现状，并且简述了褐煤开发利用的物理提质和化学转化的技术。第2章阐述了褐煤的物理加工技术，主要包括筛分、洗选、干燥、脱硫、成型及水煤浆的制备和燃烧等，同时也涉及近年来发展迅速的新型加工处理技术，如微波辐射脱硫等。第3章详细论述了褐煤的热解原理和国内外褐煤热解提质的现状，并且重点介绍了国内外褐煤热解工艺的工艺流程、产品收率及其应用情况。第4章阐述了褐煤燃烧基本理论，重点介绍了褐煤先进燃烧的发电技术、设备的特点和发展前景。第5章阐述了褐煤气化的基础理论，详细介绍了各种褐煤气化工艺的技术特点和发展。第6章简述了褐煤直接液化原理，重点介绍了几种直接液化工艺。第7章论述了褐煤间接液化的基本理论，重点介绍了几种间接液化技术的现状及其发展前景。第8章总结了萃取技术在褐煤开发利用中的技术发展成果，在阐述褐煤萃取原理的基础上，分别对普通萃取、热解萃取、加氢萃取以及超临界萃取进行了详细介绍。第9章介绍了褐煤加工过程中煤质和加工产品检测的常规手段和方法。

本书由十几名作者共同编写完成，正是这些作者们的辛勤劳动，才使得本书能和广大读者见面，在此向他们表示衷心的感谢。在本书的编写过程中，还得到了许多同仁的帮助和鼓励，如西北大学马晓讯提供了第1章的部分数据表，中国石油大学多位研究生参与部分内容的编写工作，在此一并表示感谢。

书中参考了国内外一些专家学者的宝贵经验和研究成果，对他们的卓越工作，致以深切的敬意。本书的出版也得到了化学工业出版社的大力支持，在此表示诚挚的感谢！

在本书的编撰过程中，力求准确地体现诸多褐煤开发利用技术中涉及的理论、工艺技术和研究成果。鉴于编者水平和学识所限，加上内容繁杂、资料众多且观点不一，书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

主 编

2014年6月

目 录

1 世界能源中褐煤利用现状	1
1.1 能源发展现状	1
1.1.1 世界能源结构与需求预测	1
1.1.2 中国能源利用现状	19
1.1.3 世界煤化工产业简介	21
1.1.4 中国煤化工产业现状	23
1.2 褐煤资源	26
1.2.1 世界褐煤资源及生产概况	27
1.2.2 中国褐煤资源的形成及特征	28
1.2.3 褐煤作为能源的重要性	34
1.3 褐煤利用的现状	37
1.3.1 褐煤利用现状及提质的必要性	37
1.3.2 褐煤物理提质的方法	38
1.3.3 褐煤化学转化的方法	40
参考文献	45
2 褐煤的物理加工技术	46
2.1 褐煤筛分	46
2.1.1 筛分理论及设备	46
2.1.2 筛分的影响因素	49
2.2 褐煤干燥	50
2.2.1 干燥技术总述	51
2.2.2 蒸发干燥技术	52
2.2.3 非蒸发干燥技术	56
2.3 褐煤脱硫	58
2.3.1 化学脱硫方法	59
2.3.2 微生物脱硫方法	59
2.3.3 物理脱硫方法	60
2.4 褐煤成型	70
2.4.1 影响褐煤成型的因素	71
2.4.2 褐煤的成型方法	72

2.4.3 褐煤的成型设备	72
2.5 褐煤制水煤浆	74
2.5.1 水煤浆的技术指标、制备技术及制备工艺	75
2.5.2 水煤浆的应用	78
2.5.3 褐煤的成浆性	79
参考文献	80
3 褐煤热解制油技术	82
3.1 概述	82
3.1.1 褐煤热解技术研究进展	82
3.1.2 褐煤热解技术在我国的重要性	83
3.2 褐煤热解原理	83
3.2.1 煤的热解过程	84
3.2.2 煤热解动力学和模型	85
3.2.3 煤热解的影响因素	94
3.2.4 褐煤热解产品	99
3.3 褐煤热解提质联产油技术	100
3.3.1 重要的或工业化的九种热解工艺	102
3.3.2 其他热解提质工艺	140
3.4 褐煤特殊热解技术	158
3.4.1 褐煤加氢热解	158
3.4.2 褐煤与其他各物质的共热解	161
3.4.3 褐煤在非常规条件下的热解	168
3.5 中低温煤焦油的加工利用	170
3.5.1 中低温煤焦油的性质和用途	171
3.5.2 煤焦油的预处理	175
3.5.3 化工产品的分离	176
3.5.4 生产液体燃料的加氢工艺	180
3.5.5 油品精制的其他加工工艺	186
参考文献	189
4 褐煤先进燃烧发电技术	192
4.1 概述	192
4.2 褐煤燃烧基础	193
4.2.1 褐煤燃烧过程	193
4.2.2 煤焦的燃烧	197
4.3 燃用褐煤粉煤锅炉燃烧发电技术	205

4.3.1	锅炉整体布置	205
4.3.2	褐煤制粉系统与磨煤机	207
4.3.3	锅炉燃烧方式及对煤种的适应性影响	209
4.3.4	炉膛热负荷参数变化	211
4.4	褐煤循环流化床锅炉燃烧发电技术	214
4.4.1	循环流化床锅炉燃烧室中的气固流态分析	214
4.4.2	循环流化床锅炉中煤粒的燃烧过程	216
4.4.3	影响流化床燃烧的主要因素	218
4.4.4	循环流化床锅炉的特点	221
4.4.5	循环流化床锅炉技术的发展	223
	参考文献	225
5	褐煤气化技术	226
5.1	概述	226
5.2	褐煤气化原理	228
5.2.1	基本化学反应	228
5.2.2	气化过程物料衡算	231
5.2.3	煤焦性质	232
5.2.4	气化剂种类	233
5.2.5	煤气化炉分类	234
5.2.6	煤气化炉工程基础	235
5.3	褐煤气化技术进展	238
5.3.1	固定床	238
5.3.2	流化床	241
5.3.3	气流床	244
5.4	国内气化技术现状	249
5.4.1	加压固定床	249
5.4.2	流化床	250
5.4.3	气流床	251
5.5	小结	253
	参考文献	254
6	褐煤直接液化技术	256
6.1	概述	256
6.2	褐煤直接液化原理	257
6.2.1	煤(褐煤)直接液化的简史	257
6.2.2	褐煤直接液化的化学原理	258

6.2.3	褐煤原料性质对直接液化效果的影响	262
6.2.4	工艺条件对褐煤液化反应的影响	263
6.2.5	液化循环溶剂	265
6.2.6	液化催化剂	266
6.2.7	预处理对褐煤液化的影响	270
6.2.8	褐煤采用 CO-H ₂ O、CO-H ₂ 作反应剂的液化	270
6.3	褐煤直接液化工艺	272
6.3.1	直接液化工艺的分类	272
6.3.2	非催化直接液化工艺	273
6.3.3	单段催化液化工艺	274
6.3.4	两段催化液化工艺	279
6.3.5	褐煤热溶催化液化工艺	280
6.3.6	几种褐煤直接液化工艺的比较	282
6.3.7	褐煤与其他有机质的共同液化	284
6.4	结语	286
	参考文献	286
7	褐煤间接液化技术	289
7.1	概述	289
7.2	间接液化原理	290
7.2.1	F-T 合成的化学反应	290
7.2.2	F-T 合成的反应机理	291
7.2.3	F-T 合成的转化率与选择性	295
7.2.4	F-T 合成的产物分布特征	297
7.3	国外间接液化工艺	301
7.3.1	南非 Sasol 的间接液化工艺	301
7.3.2	美国 Mobil 公司的 MTG 工艺	307
7.3.3	荷兰 Shell 公司的 SMDS 工艺	308
7.3.4	不同间接液化工艺对比	311
7.4	国内间接液化工艺	313
7.4.1	中科院山西煤化所的 MFT 和 SMFT 工艺	313
7.4.2	兖矿能源科技研发有限公司的高温 F-T 工艺	314
7.5	我国煤炭间接液化技术发展前景	315
	参考文献	316
8	褐煤的萃取技术	318
8.1	褐煤的萃取原理	318

8.1.1	纯溶剂的萃取机理	318
8.1.2	混合溶剂的萃取机理	319
8.1.3	添加物的增溶机理	320
8.2	影响褐煤萃取率的因素	321
8.2.1	褐煤的结构特征的影响	321
8.2.2	萃取溶液的影响	322
8.2.3	纯溶剂萃取的影响	322
8.2.4	混合溶剂萃取的影响	322
8.2.5	添加剂的影响	323
8.2.6	褐煤萃取的辅助手段	323
8.3	褐煤的萃取技术	324
8.3.1	普通萃取	324
8.3.2	热解萃取	326
8.3.3	加氢萃取	329
8.3.4	超临界萃取	336
8.4	国内褐煤萃取技术的现状与前景	346
	参考文献	347
9	褐煤加工中的分析和检测	351
9.1	煤质分析试验方法	351
9.1.1	工业分析	351
9.1.2	元素分析	355
9.1.3	硫分测定	358
9.1.4	发热量测定	359
9.1.5	灰熔融性测定	360
9.1.6	可磨性测定	361
9.1.7	热稳定性测定	362
9.1.8	抗碎强度测定	363
9.1.9	低煤阶煤的透光率测定	363
9.1.10	褐煤葛金焦型测定	364
9.2	褐煤产品应用及检测	365
9.2.1	焦炭	365
9.2.2	煤焦油	367
9.2.3	煤气成分分析	369
9.2.4	甲醇	371
9.2.5	二甲醚	372
	参考文献	372

1 世界能源中褐煤利用现状

能源是可产生热量、电能、光能和机械能等各种能量或可做功物质的统称，包括煤炭、原油、天然气、煤层气、水能、核能、风能、太阳能、地热能、生物质能等一次能源和电力、热力、成品油等二次能源，以及其他新能源和可再生能源。每次能源结构的演变都会推动经济的发展和社会的进步。工业革命以来，煤炭、石油、天然气、水电、核能等相继大规模地投入使用，带来科技水平的提高和人类生存方式的改善，同时也对全球气候产生了很大影响，例如，二氧化碳的高排放就主要来自于对化石能源的利用。

当今世界占支配地位的能源是煤、石油和天然气等化石燃料，水能和核能仅仅在一些国家有重要地位。而在某些发展中国家，生物质燃料为主要能源。“富煤贫油少气”是我国能源结构最显著的特点，以煤为原料，生产各种燃料及化工原料的煤化工引起了各方面的关注。通过煤化工的途径制备汽油、柴油等液体燃料，以及烯烃、甲醇、醋酸、乙二醇等化工产品的工艺逐渐成熟。由于国际原油供应日益紧张，液体燃料和化学工业的主要原料将趋于多元化，国内化工行业已经出现了向煤化工倾斜的趋势。煤化工与石油及天然气化工在技术上互相借鉴，在产品上也相互补充、竞争和融合，将呈现一体化的趋势。随着煤化工的进一步扩大，煤制油、煤制天然气、煤制芳烃、醇醚燃料等以生产洁净能源和替代石油化工品为导向的新型煤化工产业的发展，煤化工与石油化工的技术和产业加速融合，今后的化工发展，一条崭新的油气煤化工的道路会逐渐形成。实现能源的全面高效利用和高碳能源的低碳利用，也将成为未来能源领域的重点。

1.1 能源发展现状

1.1.1 世界能源结构与需求预测

1.1.1.1 储量状况

(1) 石油 到 2011 年年末，世界探明的石油储量为 2343 亿吨，其中中东地区 1127 亿吨，约占世界总量的 48.1%（数据出自于《2012 年 BP 世界能源统计年鉴》，按照其允许，本章一部分数表也引自该文献）^[1]。近几年，随着几个大型油田的发现，中南美石油储量增加较快，约占世界总量的 19.7%。欧洲和欧亚大陆总共占世界总储量的 8.5%，北美洲石油储量占世界总量的 13.2%，其他地区储量均不到世界总储量的 10%。表 1-1 是近 30 年储量状况对比。

表 1-1 近 30 年石油储量对比

项目		北美	中南美	欧洲	中东	非洲	亚太	总量/亿吨
占世界总量/%	1991 年	11.0	7.2	7.4	64.0	5.8	3.6	0.1408
	2001 年	18.2	7.8	8.1	55.1	7.6	3.2	0.1729
占世界总量/%	2011 年	13.2	19.7	8.5	48.1	8.0	2.5	0.2254

到 2011 年,世界石油储量排名前 10 位国家的总储量为 0.1913 万亿吨,占世界总量的 84.9% (表 1-2)。石油剩余可采储量最多的是委内瑞拉,为 0.0403 万亿吨,占世界总量的 17.9%,中国石油剩余可采储量为 2.0×10^9 吨,占世界的 1.1%,列世界第 14 位。

表 1-2 世界石油储量前 10 个国家

国家	储量/万亿吨	占世界/%	国家	储量/万亿吨	占世界/%
委内瑞拉	0.0403	17.9	阿联酋	0.0133	5.9
沙特阿拉伯	0.0363	16.1	俄罗斯	0.0119	5.3
加拿大	0.0239	10.6	利比亚	0.0065	2.9
伊朗	0.0205	9.1	尼日利亚	0.0052	2.3
伊拉克	0.0196	8.7	合计	0.1913	84.9
科威特	0.0137	6.1			

目前,全球石油产量的年增长幅度为 1.3%,即 110 万桶/日。石油产量的净增长几乎全部来自石油输出国组织,其中沙特阿拉伯、阿联酋、科威特和伊拉克的产量大幅增加,完全弥补了利比亚停产所带来的缺口。沙特阿拉伯、阿联酋和卡塔尔的石油产量均创下历史新高。非石油输出国组织的石油产量大致保持稳定,美国、加拿大、俄罗斯和哥伦比亚的产量增长弥补了英国和挪威等老产油区域产量的持续衰减,以及其他某些国家所出现的意外停产。美国的石油产量涨幅连续三年在非石油输出国组织产油国中雄踞榜首。随着陆上页岩油产量持续强劲增长,美国的石油产量达到了 1998 年以来的最高水平。

(2) 天然气 到 2011 年末,世界天然气剩余可采储量为 $208.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ^[2],主要分布在前苏联和中东地区。这两个地区的剩余可采储量占世界总量的 70% 以上,其他地区均不足 10% (表 1-3)。

表 1-3 世界天然气储量地区分布

地区		北美	中南美	欧洲	中东	非洲	亚太	总量/ 10^{12} m^3
占总量/%	1991 年	7.2	4.0	41.8	32.6	7.2	7.1	131.2
	2001 年	4.6	4.2	33.7	42.1	7.8	7.7	168.5
	2011 年	5.2	3.5	37.8	38.4	7.0	8.0	208.4

世界排名前 10 位国家天然气储量为 $165.3 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，占世界总量的 79.3%（表 1-4）。俄罗斯排名世界第一，它的剩余可采储量占世界总量的 21.4% 以上。伊朗、卡塔尔分列第二、第三，均占世界总量的 12% 以上。中国天然气剩余可采储量为 1.3 万亿立方米，占世界的 0.6%。

表 1-4 世界天然气储量前 10 名国家

国家	储量/ 10^{12} m^3	占世界/%	国家	储量/ 10^{12} m^3	占世界/%
俄罗斯	44.6	21.4	沙特阿拉伯	8.1	3.9
伊朗	33.1	15.9	阿联酋	6.0	2.9
卡塔尔	25.0	12.0	委内瑞拉	5.6	2.7
土库曼斯坦	24.4	11.7	尼日利亚	5.2	2.5
美国	8.5	4.1	阿尔及利亚	4.6	2.2

表 1-5 是世界前 20 位国家天然气产量，从 2001—2011 年，美国、俄罗斯的天然气产量年均递增分别为 1.18% 和 1.09%，而我国天然气产量增加了 2.56 倍，年均递增 13.53%，列世界第六位。

(3) 煤炭 到 2011 年末，世界煤炭剩余可采储量为 8609.38 亿吨^[2]，但值得注意的是其中超过一半以上是低阶的次烟煤和褐煤。煤炭主要分布在亚太、北美和前苏联地区，这三个地区煤炭剩余可采储量约占世界总量的 80% 以上，但同样差不多有一半的低阶煤（次烟煤和褐煤）。中南美地区储量最少，仅占世界总量的 1.5%。中东和非洲两地区总共也仅占世界的 3.8%（表 1-6），但几乎全部是优质的无烟煤和烟煤。

到 2011 年底，世界排名前 9 位国家煤炭剩余可采储量为 $7.834 \times 10^{11} \text{ t}$ ，占世界总量的 91%（表 1-7）。排名第一的是美国，它的剩余可采储量占世界总量的 27% 以上。排名第二的是俄罗斯，它的剩余可采储量占世界总量的 18% 以上。中国煤炭剩余可采储量为 $1.145 \times 10^{11} \text{ t}$ ，占世界总量的 13.3%，列世界第三位，其中低阶煤高达 $5.23 \times 10^{10} \text{ t}$ ，占中国煤炭剩余可采储量的 45.7%。

俄罗斯不仅具有丰富的油气资源，同时煤炭资源也相当可观，然而其每年对煤炭的开采量并不大，因此煤炭资源的开采前景非常大。

美国作为世界上火力发电的领头羊，丰富的煤炭资源是其必不可少的保障。但是随着对环境保护的日益重视以及环保法律的日趋严格，一大批美国各州的发电厂开始用天然气代替煤做燃料。近年来，美国政府积极鼓励一些大公司和研究机构探索研究煤制油、煤制气的工业试验，从而减少石油对外的依存度。

中国也有丰富的煤炭资源，在中国一次能源消费比例中煤炭占 75% 以上，其比例超过全球平均水平的 2 倍。随着重化工业高速发展以及产品原材料涨价，这几年中国煤炭生产增速加快，2007 年上半年中国已经成为煤炭的净进口国。虽然煤炭储量绝对数位列全球前茅，但每年开采量和消费量巨大，中国煤炭资源的储采比低于 50 年，小于全球的平均水平。

表 1-5 2001—2011 年世界前 20 位国家天然气产量 单位:十亿立方米

项目	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2010~2011 年变化情况	2011 年占 总量比例
美国	555.5	536.0	540.8	526.4	511.1	524.0	545.6	570.8	584.0	604.1	651.3	7.70%	20.00%
俄罗斯	526.2	538.8	561.5	573.3	580.1	595.2	592.0	601.7	527.7	588.9	607.0	3.10%	18.50%
加拿大	186.5	187.9	184.7	183.7	187.1	188.4	182.7	176.6	164.0	159.9	160.5	0.30%	4.90%
伊朗	66.0	75.0	81.5	84.9	103.5	108.6	111.9	116.3	131.2	146.2	151.8	3.90%	4.60%
卡塔尔	27.0	29.5	31.4	39.2	45.8	50.7	63.2	77.0	89.3	116.7	146.8	25.80%	4.50%
挪威	53.9	65.5	73.1	78.5	85.0	87.6	89.7	99.3	103.7	106.4	101.4	-4.60%	3.10%
中国	30.3	32.7	35.0	41.5	49.3	58.6	69.2	80.3	85.3	94.8	102.5	8.10%	3.10%
沙特阿拉伯	53.7	56.7	60.1	65.7	71.2	73.5	74.4	80.4	78.5	87.7	99.2	13.20%	3.00%
阿尔及利亚	78.2	80.4	82.8	82.0	88.2	84.5	84.8	85.8	79.6	80.4	78.0	-3.00%	2.40%
印度尼西亚	63.3	69.7	73.2	70.3	71.2	70.3	67.6	69.7	71.9	82.0	75.6	-7.80%	2.30%
荷兰	62.4	60.3	58.1	68.5	62.5	61.6	60.5	66.6	62.7	70.5	64.2	-9.00%	2.00%
埃及	25.2	27.3	30.1	33.0	42.5	54.7	55.7	59.0	62.7	61.3	61.3	-0.10%	1.90%
马来西亚	46.9	48.3	51.8	53.9	61.1	63.3	64.6	64.7	64.1	62.6	61.8	-1.30%	1.90%
土库曼斯坦	46.4	48.4	53.5	52.8	57.0	60.4	65.4	66.1	36.4	42.4	59.5	40.60%	1.80%
乌兹别克斯坦	52.0	51.9	52.0	54.2	54.0	54.5	59.1	62.2	60.0	59.6	57.0	-4.40%	1.70%
墨西哥	38.3	39.6	41.4	45.0	47.2	51.5	54.0	53.9	54.6	55.1	52.5	-4.70%	1.60%
阿联酋	44.9	43.4	44.8	46.3	47.8	49.0	50.3	50.2	48.8	51.3	51.7	0.90%	1.60%
英国	105.8	103.6	102.9	96.4	88.2	80.0	72.1	69.6	59.7	57.1	45.2	-20.80%	1.40%
印度	26.4	27.6	29.5	29.2	29.6	29.3	30.1	30.5	39.2	50.8	46.1	-9.30%	1.40%
澳大利亚	32.5	32.6	33.2	35.3	37.1	38.9	40.0	38.3	42.3	45.6	45.0	-1.30%	1.40%
世界总计	2477.2	2518.9	2616.6	2688.5	2770.4	2869.4	2939.3	3047.2	2955.9	3178.2	3276.2	3.10%	100.00%

表 1-6 2011 年世界煤炭储量地区分布

地区	北美	中南美	欧洲 ^①	中东及非洲	亚太	总量/亿吨
无烟煤和烟煤/10 ⁶ t	1128.35	68.90	929.90	327.21	1593.26	4047.62
次烟煤和褐煤/10 ⁶ t	1322.53	56.18	2116.14	1.74	1065.17	4561.76
合计储量/10 ⁶ t	2450.88	125.08	3046.04	328.95	2658.43	8609.38
占世界/%	28.5	1.5	35.4	3.8	30.9	100

① 包括欧洲和欧亚大陆。

表 1-7 2011 年世界煤炭探明储量

单位：百万吨

序号	国家地区	无烟煤和烟煤	亚烟煤和褐煤	总计	所占份额/%	储/采比
1	美国	108501	128794	237295	27.6	241
2	俄罗斯	49088	107922	157010	18.2	495
3	中国	62200	52300	114500	13.3	35
4	澳大利亚	37100	39300	76400	8.9	180
5	印度	56100	4500	60600	7.0	106
6	德国	99	40600	40699	407	223
7	乌克兰	15351	18522	33873	3.9	462
8	哈萨克斯坦	21500	12100	33600	3.9	303
9	南非	30156		30156	3.5	119
10	哥伦比亚	6366	380	6746	0.8	91
11	加拿大	3474	3108	6582	0.8	97
12	波兰	4338	1371	5709	0.7	43
13	印度尼西亚	1520	4009	5529	0.6	18
14	巴西	—	4559	4559	0.5	—
15	希腊	—	3020	3020	0.4	44
16	保加利亚	2	2364	2366	0.3	82
17	土耳其	529	1814	2343	0.3	27
18	巴基斯坦	—	2070	2070	0.2	—
19	匈牙利	13	1647	1660	0.2	183
20	泰国	—	1239	1239	0.1	69
世界总计		404762	456176	860938	100.0	118

虽然印度的煤炭储量略低于中国，但其储采比却大于 200 年，一旦清洁煤和煤烃化有突破性进展，印度的煤资源前景将远胜于中国。

1.1.1.2 消费状况

人类能源主要是石油、煤、天然气、核能、可再生能源等，其中以油、煤、天然气等化石燃料为主。图 1-1 给出了 1986—2011 年全球能源消耗中各种能源的比

例。2011年，世界一次能源消费量增加了2.5%，还不到2010年增幅的一半，但接近历史平均水平。全球所有区域和所有燃料类型的消费量增速已放缓。石油仍然是世界主导燃料，占全球能源消费量的33.1%。煤炭的份额为30.3%，达到1969年以来最高的水平。

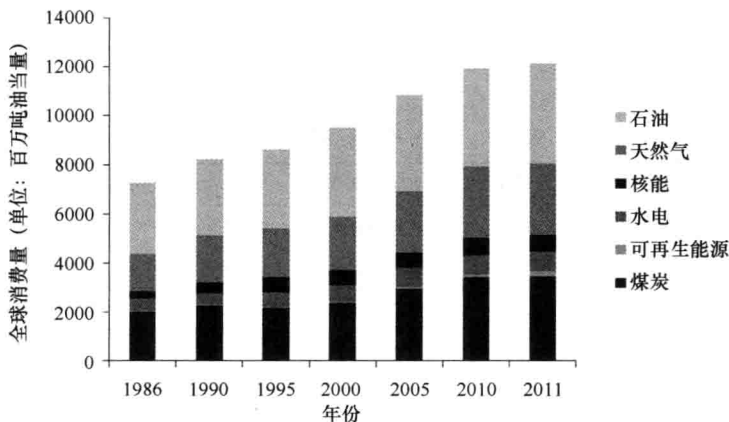


图 1-1 世界各种能源消费结构图

表 1-8 是 2001—2011 年世界基础能源消费量，从中可知 2001—2011 年，美、日、德、法、意的基础能源消费量均有减少，而我国的基础能源消费量近乎翻番，年均递增 8.89%，列世界第一位。

(1) 石油消费 2011 年，全球石油消耗量为 4.059×10^9 t，北美、亚太和欧洲（包括俄罗斯）仍然是主要消费区，它们消费量为 3.24×10^9 t，约占世界石油消耗总量的 79.8%（表 1-9）。2001 年，世界石油消费量为 3.51×10^9 t。2011 年全球石油消耗总量比 2001 年增加 26.8%，其中石油储量最多的中东地区增幅高达 49.6%，发展中国家居多的中南美、非洲和亚太地区增幅均在 30% 左右。而北美和欧洲地区，发达国家较多，随着人们环保意识的增强，经济发展的疲软以及金融危机影响，对石油的消费波动不大，2011 年的消耗量比 2001 年出现不同程度的减少。

图 1-2 是世界各区域石油消费状况，可以看出增幅最大的是亚太地区，其次是中东。北美洲和欧洲变化不是很大。

2011 年，世界排名前 20 名国家的石油消费量为 3.013×10^9 t，占世界消费总量的 74.1%。石油消费量最多国家是美国，占世界消费总量 20.5%。中国石油消费量为 4.618×10^8 t，占世界消费总量的 11.4%，排在世界第二位（表 1-10）。而 2001 年世界排名前 20 名国家的石油消费量为 2.73×10^9 t，占世界的 80%。石油消费量最多国家是美国，占世界总量的近 1/4。中国石油消费量为 2.475×10^8 t，占世界消费总量的 10%，排在世界第三位。其中发达国家像美国、日本、俄罗斯等的消耗量基本保持在一定数值，波动较小；一些发展中国家像中国、印度、巴西等。对石油的消费量增幅较大，中国 2011 年比 2001 年增幅 90%，印度增幅 50.1%。