



国外炼油化工新技术丛书

生物燃料

——未来全球能源需求的保障

〔土〕艾汉·丹米尔巴斯 著

高雄厚 等译



BIOFUELS: SECURING THE PLANET'S FUTURE ENERGY NEEDS

石油工业出版社

国外炼油化工新技术丛书

生物燃料

——未来全球能源需求的保障

[土] 艾汉·丹米尔巴斯 著
高雄厚 等译

石油工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

生物燃料：未来全球能源需求的保障 / [土] 丹米尔巴斯著；高雄厚译.
北京：石油工业出版社，2011. 5

(国外炼油化工新技术丛书)

书名原文：Biofuels: Securing the Planet's Future Energy Needs

ISBN 978-7-5021-8072-0

I . 生…

II . ①丹… ②高…

III . 生物燃料

IV . TK6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 199353 号

Translation from the English language edition:

“Biofuels-Securing the Planet's Future Energy Needs” by Ayhan Demirbas

ISBN: 978-1-84882-010-4

Copyright©2008 Springer, The Netherlands as a part of Springer Science+Business
Media All Rights Reserved

本书经 Springer 授权翻译出版，中文版权归石油工业出版社所有，侵权必究。

著作权合同登记号图字：01-2010-3253

出版发行：石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址：www. petropub. com.cn

编辑部：(010) 64523735 发行部：(010) 64523620

经 销：全国新华书店

印 刷：石油工业出版社印刷厂

2011 年 5 月第 1 版 2011 年 5 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本：1/16 印张：16.5

字数：418 千字

定价：60.00 元

(如出现印装质量问题，我社发行部负责调换)

版权所有，翻印必究

翻 译 人 员

主 译：高雄厚

参加翻译人员（按姓氏笔划排序）：

丁秀琴 王建明 李 琰 李文乐 李艳丽
杨 爽 张忠东 张绍勇 周 兰 傅吉江
魏海国

组织翻译单位

中国石油天然气股份有限公司石油化工研究院

前 言

当今，世界面临的两大难题是高燃料价格和气候变化。专家指出，现有的油气储量只能维持几十年。众所周知，交通运输业几乎完全依赖化石燃料，特别是石油燃料（例如汽油、柴油、液化石油气和天然气）。机动车辆使用的液体燃料更受到重点关注。因此，越来越多的人开始关注如何从非化石资源获取液体燃料。油价攀升、能源安全问题、气候不稳定、污染以及农业和农村地区的贫困加剧等因素的综合考虑促使各国政府制定有关这些燃料使用的强有力刺激措施，这些措施反过来又刺激了投资。事实上，全球对生物燃料的生产和在运输上的使用达到了前所未有的热度。目前，用粮食生产乙醇和用植物油生产生物柴油正面临来自粮食供应方面的挑战。本书归纳了如何采用不同工艺、技术手段从生物质获取可用液体燃料的相关信息。

生物燃料似乎是化石燃料的潜在的“绿色”替代能源，可再生并且遍布全世界。由于生物质是可再生的并能保持碳中和，因此生物质可有助于可持续发展和全球环境保护。

这本关于生物燃料的书主要是为能源研究人员、化学工程师、化学工程系的学生、能源专家、工程师、农业学家、粮食生产者和其他希望能有一种有效途径来探索生物能源的人员编写的。本书的每一章都是以介绍适合一般读者的基本说明开始，以适合专业读者的详细而深奥的技术性论述结束。一般读者包括想要了解如何解决当前燃料和环境危机的办法的人员。专业读者包括化学家、化学工程师、燃料工程师、农业工程师、农业专家、生物学家、燃料加工人员、政策制定者、环境专家、环境工程师、汽车工程师、大学生、研究机构等。本书还可以作为大学可再生能源和 / 或可持续发展课程的教材。

简介部分占本书的 1/7，这部分内容的重点是详细介绍全球能源、化石燃料和再生能源，即生物质、水力发电、风能、太阳能、地热和海洋能。第二章的标题是“生物质原料”，包括主要的生物质、特性和价格因素。第三章介绍了生物燃料。另外，在后面的章节里，还简单讨论了加工条件，生物可再生原料的其他应用。第四章和第五章介绍了生物可再生液体和气体生物燃料，包括主要的液体和气体生物燃料，例如生物乙醇、生物柴油、生物沼气、生物制氢气，还详细介绍了采用 Fischer-Tropsch 合成法生产液体和气体燃料的方法。第六章是“热化学转化过程”，包括生物可再生能源在发动机燃料和化学品方面的应用。第七章和第八章分别是“生物燃料经济”和“生物燃料政策”。

土耳其特拉布宗，2008 年 7 月

Ayhan Demirbas

目 录

第一章 简介	1
1.1 能源介绍	1
1.2 化石燃料的短缺	3
1.2.1 世界石油	3
1.2.2 世界增长最快的主要能源——天然气	8
1.2.3 作为燃料和化学原料的煤炭	12
1.3 可再生能源及生物可再生能源简介	15
1.3.1 非可燃再生能源	16
1.3.2 生物可再生能源	24
参考文献	33
第二章 生物质原料	36
2.1 生物质原料介绍	36
2.1.1 定义	36
2.1.2 生物质原料分类	42
2.2 生物质的特性	46
2.2.1 生物质原料和产品特性	46
2.2.2 生物质过程设计及开发	47
2.3 生物质燃料分析	48
2.3.1 颗粒大小和相对密度	48
2.3.2 灰分含量	48
2.3.3 水含量	48
2.3.4 萃取物含量	48
2.3.5 元素含量	49
2.3.6 结构组分含量	49
2.3.7 生物质的能量值	49
2.4 生物质的优化和价值再利用	50
2.4.1 生物质生产的燃料	52
2.4.2 来自生物质的化学品	54
2.4.3 来自生物质的炭	55
2.4.4 从生物质中生产黏合剂	57
2.4.5 木材的利用价值	60
参考文献	62
第三章 生物燃料介绍	68
3.1 生物燃料的经济影响	70
3.2 生物燃料对环境的影响	73
参考文献	77

第四章 生物可再生液体燃料	81
4.1 生物可再生液体燃料简介	81
4.1.1 汽油—醇类混合物作为发动机燃料代用品的评估	81
4.1.2 植物油和柴油燃料混合物作为发动机燃料替代品的评估	82
4.2 生物醇类	82
4.3 生物乙醇	84
4.3.1 合成乙醇生产工艺	85
4.3.2 来自生物质的乙醇产品	85
4.3.3 来自生物质水解的糖	87
4.3.4 通过碳水化合物的发酵生产生物乙醇	90
4.3.5 生物乙醇原料	92
4.3.6 乙醇的燃料特性	94
4.4 生物甲醇	95
4.5 植物油	98
4.5.1 燃料油的代用品	102
4.5.2 植物油资源	104
4.5.3 植物油作柴油燃料	106
4.5.4 从植物油生产出新的生物可再生燃料	112
4.5.5 甘油三酸酯特性	119
4.5.6 甘油三酸酯的经济效益	121
4.6 生物柴油	121
4.6.1 生物柴油的历史	123
4.6.2 生物柴油定义	124
4.6.3 甘油三酸酯酯转移生产生物柴油	125
4.6.4 甘油的回收	132
4.6.5 酯转移反应的反应原理	133
4.6.6 目前生物柴油的生产技术	135
4.6.7 生物柴油生产工艺	139
4.6.8 生物柴油生产中使用的基本设备	143
4.6.9 生物柴油的燃料特性	143
4.6.10 生物柴油的优点	148
4.6.11 生物柴油作为机动车燃料所表现出来的缺点	151
4.6.12 发动机性能测试	152
4.7 从生物再生资源提取的生物油	161
4.8 其他替代液体燃料	167
4.8.1 生物柴油和柴油燃料掺混用的甘油基燃料氧化物	167
4.8.2 P—系列燃料	169
4.8.3 二甲醚 (DME)	170
4.8.4 用费托法 (FT) 从生物质制取的液体燃料	170

4.8.5 其他生物氧化的液体燃料	171
参考文献	172
第五章 生物再生气体燃料	175
5.1 生物再生气体燃料介绍	175
5.2 生物气体	175
5.2.1 好氧转化工艺	176
5.2.2 厌氧转化工艺	176
5.2.3 生物气体处理	178
5.2.4 厌氧消化的反应器技术	183
5.3 填埋气	185
5.4 生物质热解和气化生成的原煤气	187
5.5 生物再生原料生成的生物氢	188
5.5.1 用生物再生原料经过热化学转换工艺生产氢气	188
5.5.2 用生物再生原料生产生物氢	191
5.6 用生物质费托合成法生产气体燃料	192
参考文献	194
第六章 热化学转换工艺	199
6.1 热化学转换工艺介绍	199
6.2 生物再生物质的热分解机理	201
6.3 生物再生原料的水热液化	202
6.3.1 HTL (水热液化) 工艺中水的作用	205
6.3.2 HTU (水热提纯) 应用	206
6.4 生物质直接燃烧	206
6.5 直接液化	209
6.6 热解工艺	210
6.7 气化研究和发展	214
6.7.1 生物质气化	215
6.7.2 生物质气化系统	217
6.7.3 热电厂生物质热电联产发电	221
6.7.4 费托合成 (FTS)	223
6.7.5 超临界蒸汽气化	225
参考文献	227
第七章 生物燃料经济	230
7.1 生物燃料经济简介	230
7.2 生物燃料经济	231
7.2.1 生物燃料价格的估算	232
7.2.2 生物柴油经济	233
7.2.3 生物乙醇经济	236
7.2.4 生物可再生能源成本和生物氢经济效应	237

参考文献..... 238

第八章 生物燃料政策..... 241

8.1 生物燃料政策简介 241

8.2 生物燃料政策 241

8.3 全球生物燃料展望 245

参考文献..... 247

第一章 简介

1.1 能源介绍

能源在我们的日常生活中扮演了很重要的角色。能源是一个国家社会发展的重要投入之一。我们周围的能源可以以不同的方式进行储存、转化和使用。能源生产一直以来就是研究人员和决策者考虑的一个问题。

能源可以分为三类：化石能源、可再生能源和核能（核裂变）。化石燃料是在早期的地质年代形成的且不可再生。化石能源包括石油、煤炭、沥青、天然气、油页岩和沥青砂。现如今，燃料和化学品主要来自于不可持续的矿产资源——石油和煤炭，这些导致了环境污染、温室气体的排放以及能源安全问题的产生。可再生能源包括生物质、水力、风能、太阳能（热能和光伏发电）、地热能和海洋能。主要的核裂变能是铀和钍（Demirbas, 2008）。世界能源储量见表 1.1（Demirbas, 2006）。

表 1.1 世界能源储备

气	铀	煤炭	油页岩	原油	天然气	沥青砂
7.5×10^9	1.2×10^5	320.0	79.0	37.0	19.6	6.1

注：表中每单位 = 1×10^{15} MJ = 1.67×10^{11} bbl 原油。

资料来源：Demirbas, 2006。

当今世界面临着化石燃料日益短缺和环境日益恶化两大危机。近年来，为了解决这些问题，可再生能源因其可再生性和环保优势受到越来越多的关注。例如，从初榨植物油或熟植物油提取（食用和非食用两种）的燃料油。由于世界对能源的过度需求，石油危机和油价的持续攀升导致各国开始探寻新的可再生替代燃料。太阳能、风能、地热能、水能、核能、氢气和生物体等能源开始进入人们的考虑范围（Karaosmanoglu 和 Aksoy, 1988）。

核裂变物质是指那些可以被中子以零动能裂变的物质。在核工程学中，核裂变物质是指能够进行核裂变连锁反应的物质。核电站反应器主要是以铀为主要燃料，铀是自然界最重的元素，但量很少。用于核裂变的主要原料是铀-235、铀-233 和钍-232。

石油是全世界消耗最大的单一能源，超过了煤炭、天然气、核能和可再生能源，如表 1.2 显示了 2005 年的状况。实际上，当今我们所使用的能源 80% 来源于三种化石燃料：石油、煤炭和天然气。虽然化石燃料仍然还在通过地下热量和压力生成，但是它们消耗的速度远大于生成的速度。因此，化石燃料被认为是不可再生的，即它们再生的速度没有消耗的速度快。更加严重的是，石油的供应变得日益短缺。因此，将来的趋势是使用替代能源，而且技术的发展使得两种能源的转换变得可行。

大约 98% 的碳排放来自于化石燃料的燃烧。降低化石燃料的使用将极大地降低二氧化碳及其他污染物的产生。实现这一目标可以通过总体使用较少能量，或者用可再生能源代

替化石燃料。因此，当前需要做的是提高技术、减少碳排放（例如提高燃烧效率）或者无碳排放，例如核能、氢气、太阳能、风能、地热能的技术，高效利用能源技术以及研究回收化石燃料燃烧释放的二氧化碳。

表 1.2 世界能源消耗 (2005)

能源	比例 (%)
石油	40
天然气	23
煤炭	23
核能	8
可再生能源	6

资料来源：Demirbas, 2008。

石油燃料的另一个问题是在全球分布不均。例如，中东占有全世界石油储量的 63%，是主要的石油供应方。由于石油分布的不平衡以及环境保护问题、经济、地理政治等诸多复杂问题至今没有解决，因而这种能源体系是不可持续的。而另一个有趣的现象是，可再生能源比化石能源或核能源的分布要均匀。另外，可再生能源的能量流比现今全球的能量需求高三个数量级。由于石油分布的不平衡以及环境保护问题、经济、地缘政治等诸多影响深远的复杂问题，因而今天这种能源体系是不可持续的。因此，可持续再生能源如生物质，氢气，风能，太阳能（热能和光伏发电），地热能和海洋能在将来的世界能源供应中将占据重要地位。例如，预计到 2040 年全球约有一半的能源来自可再生能源。可再生能源的发电量将超过全球发电量的 80%。表 1.3 给出了到 2040 年全球可再生能源使用的估算情况。

表 1.3 2040 年全球可再生能源使用情况预测

年份	2001	2010	2020	2030	2040
总消耗 (10 ⁶ t 油当量)	10038	10549	11425	12352	13310
生物质	1080	1313	1791	2483	3271
大型水利	22.7	266	309	341	358
地热	43.2	86	186	333	493
小型水利	9.5	19	49	106	189
风能	4.7	44	266	542	688
太阳热能	4.1	15	66	244	480
光电	0.2	24	2	221	784
太阳热电能	0.1	0.4	3	16	68
海运 (潮汐 / 波 / 海洋)	0.05	0.1	0.4	3	20
总可再生能源	1365.5	1745.5	2694.4	4289	6351
可再生能源比例 (%)	13.6	16.6	23.6	34.7	47.7

资料来源：Demirbas, 2008。

近年来，从生物可再生原料中生产适合运输的液体生物燃料已成为将来一项很有前景的方法。生物可再生原料和石油原料之间最大的区别就是氧含量。生物可再生能源的氧含量在 10% ~ 44%，而石油原料基本上不含氧，使得可再生能源的化学特性和石油大不相同，如生物可再生产品通常是极性较大，容易夹带水分，因而呈酸性。

根据国际能源署（IEA）的消息，鉴于现有的耕地情况及常规生物燃料的情况，美国 and 欧盟（EU）制定的近期目标是用可再生生物燃料取代 6% 的石油燃料，这一目标是可行的。在 EU，用可再生生物燃料取代 5% 的汽油需要现有耕地的 5% 来生产乙醇，而在美国则需要 8%。在美国，用可再生生物燃料取代 5% 的柴油需要现有农耕地的 13%，而在 EU 则需要 15%（IEA，2004）。

1.2 化石燃料的短缺

我们现代的生活方式非常依赖化石燃料，特别是碳氢化合物，包括石油、煤炭和天然气。例如，键盘和计算机上的塑料就来自于原油或天然气原料。今天我们最重要的能源之一就是化石燃料。化石燃料被发现沉积在岩层中，是一种不可再生的相对稀少的资源。更重要的是，化石燃料提供了主要的能源需求。现今，石油和天然气是世界经济的重要驱动力，而石油和天然气均储存在沉积岩层中。

化石燃料或矿物燃料是在地壳的顶层发现的矿物源燃料，也就是碳氢化合物。一般认为，化石燃料是由于死去的植物和动物的残骸在热和压力的作用下经过数亿年而形成的。

1.2.1 世界石油

石油 [来自希腊语 “petra (岩石)” 和 “elaion (油)” 或拉丁语 “oleum (油)”] 或原油，有时俗称黑色金子或 “得克萨斯的茶”，是一种黏稠、暗褐色或绿色的液体。它用于描述在地表下发现的气体、液体和固体大范围的烃类。两种最普通的形式是天然气和原油。石油由各种复杂的烃类组成，主要成分是烷烃和芳香烃，但它们在外观和组成上有很大的不同。石油的物理特性也变化很大。颜色从浅黄到棕红色到黑色或墨绿色，在大多数情况下，通过反射光看是浅绿色的。石油是一种化石燃料，因为它的形成来自于数百万年前死去的小海生植物和动物的残骸，并沉到了海的底部。这种有机混合物受到了巨大的液压和地热。随着时间的推移，这些混合物变化了，通过还原反应分解成由烃组成的组分。这就形成了油饱和岩。油就产生了，并圈闭在用盐或黏土层密封的无孔岩石中。

根据已被广泛接受的有机生油理论，原油与煤炭和天然气一样是古代的动植物残骸经过数个地质时代的挤压和受热而形成的产物。根据此理论，有机物是由史前海洋动物和陆地植物腐烂的残骸形成的。经过数世纪后，这些有机物与泥土混合，被埋在了厚厚的沉积层下。高压和热量使这些残骸物转化，首先转化为蜡制物，如油母质，然后转化成液态和气态的烃类。然后，这些流体移动到相邻的岩层中，直到它们聚集在称为油藏的多孔岩石里，形成了油田，在这里这些液体可通过钻井和泵被抽出。油藏在世界不同的地方有不同的深度，但典型的深度是 4 ~ 5km。油层的厚度大约为 150m，通常称为 “油窗”。油藏三个重要的因素是：富油源岩、运移通道和形成油藏的储油构造（密封）。

根据还未被广泛接受的无机生油理论，石油的起源是天然烃类。该理论指出大量的碳以碳氢化合物的形式自然存在于地球上。由于比水性的孔隙溶液的密度低，碳氢化合物能

够通过深层的裂缝网络向上移动。

中国钻第一口油井是在四世纪或更早期。此油井深 243m，用固定在竹杆上钻头进行钻井。油燃烧产生盐水蒸发生产盐所需的热量。到了 10 世纪，大量的竹管道将油井和盐泉连接起来。古代波斯的碑文显示在其社会上流阶层曾将石油用于医学和照明。

八世纪，巴格达新建的街道是用该区域天然油田中很容易得到的石油中的焦油铺设的。九世纪，阿塞拜疆的巴库开采的油田生产了石脑油。10 世纪的地理学家 Masudi 曾描述过这些油田，并且马克波罗在 13 世纪曾描述过其产量增加到数百船的载货量。

石油的现代史始于 1846 年，由加拿大的 Abraham Pineo Gesner 发现了从煤炭中提炼煤油。1852 年，波兰 Ignacy Lukasiewicz 发现了一种从更易得到的“岩石油”（石油）中提炼煤油的方法，并且在次年在波兰南部 Krosno 的 Bobrka 建起了第一个岩石油矿。此发现迅速传遍了全世界，Meerzoeff 于 1861 年在巴库的成熟油田建立了第一个俄罗斯炼油厂，其产量占世界总量的 90%。实际上，斯大林格勒之战就在巴库（现在是阿塞拜疆共和国的首都）。

1858 年，Jame Miller Willians 在加拿大安大略湖的油泉中钻出了北美的第一口商业化油井。次年，Edwin Drake 在靠近宾夕法尼亚州的蒂图斯维尔发现了石油，并开创了从地上生产石油的新方法，他用管子钻井以防止钻孔倒塌，允许钻头穿入更深的地下。以前采集石油的方法却有欠缺。例如，地面采油是从它自然产生的地方将其收集，如从挖入地面的油渗漏或浅孔处。挖掘大型竖井的方法也失败了，因为水渗漏造成的坍塌几乎总是发生。Drake 所做的重要改进是将一根 10m 的铁管钻入地下进入基岩以下。这使 Drake 在管内钻井，而没有因为水渗漏造成孔坍塌。此理念的原理现今仍然被许多石油钻井公司所采用。Drake 的井是 23m 深，与今天的 1000 ~ 4000m 深的井相比是非常浅的。尽管自 Edwin Drake 时代，技术已经提高了石油开采的成功几率，但是，石油勘探现今仍然是一种赌博。例如，在每 100 口开采的油井中仅有大约 33 口井有油，其余 67 口井是“干”的。

大约有几十年，宾夕法尼亚州曾是世界一个重要的石油生产地，但是自从 1870 年，此工业已扩展到全球。从巴库油田完成了第一口自流井开始，俄罗斯已成为第二大石油生产国，同时西班牙的加利西亚省和罗马尼亚分别于 1878 年和 1880 年成为主要的石油生产国。分别于 1883 年、1886 年、1890 年和 1896 年开始积极发展石油工业的苏门答腊岛、爪哇、缅甸和婆罗洲都有希望在世界主要的石油供给中位于前列。

十九世纪五十年代之前，美国人经常将鲸油用于家庭或商业照明。Drake 将井中的原油提炼成为煤油用于照明，这种方法一直使用到电灯泡出现以后。在炼油期间生产的汽油和其他产品由于无处使用被废弃了。直到 1892 年，因为“汽车”需要汽油，汽油才被利用。到 1920 年，美国有九百万辆机动车，有许多加油站给这些汽车供给汽油。

石油的特性、原油炼制和世界石油储藏。原油是一种碳氢化合物含量在 50% ~ 95%（质量分数）之间的复杂混合物。原油炼制的第一步是将原油通过蒸馏作用分离成不同的碳氢化合物馏分。炼油厂将原油处理净化和分离成各种燃料和副产品，包括汽油和柴油燃料、取暖用油和喷气发动机燃料。主要的原油馏分如表 1.4 所示。由于不同组分的沸点不同，炼油厂采用蒸馏工艺分离各种组分。例如，汽油的沸点比煤油低，通过加热到不同的温度可使这两种组分分离。炼油厂另一个重要的工作是去除原油中的杂质。例如，去除汽油或柴油中的硫以减少汽车排放中的空气污染物。在炼油厂加工处理后，汽油或其他液体产品通常通过管道运输，这是陆地上大规模输送石油最安全和最经济的方法。

表 1.4 主要的原油组分

组分	馏程 (K)	碳原子数
天然气	< 293	$C_1 \sim C_4$
液化气	293 ~ 333	$C_3 \sim C_6$
轻质油 (轻石脑油)	333 ~ 374	$C_6 \sim C_7$
汽油	313 ~ 478	$C_5 \sim C_{12}$ 和环烷
航空燃料	378 ~ 538	$C_8 \sim C_{14}$ 和芳烃
煤油	423 ~ 588	$C_{10} \sim C_{16}$ 和芳烃
2# 柴油燃料	448 ~ 638	$C_{10} \sim C_{20}$ 和芳烃
燃料油	> 548	$C_{20} \sim C_{70}$ 和芳烃
润滑油	> 673	> C_{20}
沥青或石油焦	非挥发性渣油	多环结构

石油的一个重要的非燃料用途是生产化学原料。两类主要的是石化原料烯烃（包括乙烯和丙烯）和芳烃（包括苯和二甲苯异构体），它们的产量都较大。石化产品的一个非常重要的方面就是它们的规模极其巨大。烯烃的生产是通过使用蒸汽或催化剂进行化学裂解，芳烃的生产是通过催化变换进行的。这两种化学品作为原料可生产各种各样的化学品和原材料，包括单体、溶剂和黏合剂。作为单体，可生产聚合物或低聚物用作塑料、树脂、纤维、人造橡胶、特定的润滑剂和凝胶。

石油工业根据其生产地点（如“西得克萨斯中间产品 WTI”或“Brent”）、相对密度（API 重力）、黏度（“轻”、“中等”或“重”）和硫含量（“甜”用于低硫，“酸”用于高硫）来划分原油。表 1.5 列出了常规或非常规原油的其他分类。

表 1.5 油品分类

分类	油黏度 (按 API 测量)
轻质原油	> 31.1
中质油	22.3 ~ 31.1
重油	< 22.3
超过水深 500m 的深海油	—
以下为超重油 (包括油砂)	< 10
油页岩	—
油砂中的沥青	—

油页岩是一种水成岩，它是在紧紧压缩的石灰泥和黏土中含有固体蜡制的油母质。油母质在高温 (723K) 下会分解，从而使油适合炼油厂加工处理 (Dorf, 1977)。油页岩层的

热度不足以产生石油。最后的步骤是油母质必须加热到 775K，并且分子与增加的氢气混合形成石油。这个最后过程必须在炼油厂完成，并且需要大量的能量，而这些能量在石油形成期间本应由地质环境提供 (Demirbas, 2000)。油母质仍然在石油源岩中，并不能积聚在油田中。典型的油母质和废料之比非常低，使油页岩的矿采并不吸引人。因此，虽然在某些地方油页岩已少量使用，但是考虑到环境和经济方面的因素，永久大规模地进行油页岩的开采是不可能的。世界油页岩的储藏比原油或天然气的储藏要多，如表 1.1 所示。

油砂是在地壳的深度不足以发生地质转化为常规原油的油圈闭。这种油没有加热到足以完成为降低黏度的分子断裂过程的温度，它具有沥青的特性；由于接近地球表面，它与大量的沙子混合在一起。沥青砂被开采，用水冲洗以分离较重的沙子，然后在特定的炼油厂加工以降低其硫含量（通常最初油的硫含量为 3% ~ 5%）和其他组分。此过程需要消耗大量的能量和水。只有在 75m 以下深层中的油砂矿床可在现场开采 (COSO, 2007)。

石油输出国组织 (OPEC) 目前的成员是伊朗、伊拉克、科威特、沙特阿拉伯、委内瑞拉、卡塔尔、印度尼西亚、利比亚、阿拉伯联合酋长国、阿尔及利亚、尼日利亚、厄瓜多尔和加蓬。OPEC 成员试图控制石油的产量以使其收入最大化。根据供需经济学，他们生产的石油越少，世界市场的油价就越高；他们生产的石油越多，则石油的价格越低。但是，OPEC 国家并不是总能达成一致意见。有些 OPEC 成员想生产较少的石油以提高价格，而其他 OPEC 成员想要市场石油泛滥以获得立即的回报。另外，石油供应也受政治因素的控制。例如，1973 年，OPEC 的原油禁运就是反对美国在赎罪日战争 (the Yom Kippur war) 中支持以色列的政治申明。这种禁运或产量缩减造成了原油价格的大幅攀升。现今，美国原油进口的大部分是来自加拿大和墨西哥，这样更可靠，并且船运费较低。但是，由于其国内法律的规定，墨西哥只能给美国输出其生产原油的一半。

美国是经济合作和发展组织 (OECD) 的成员，这个组织是一个 30 个国家组成的国际组织，他们推行代表民主和自由经济的原则。在 20 世纪 70 年代，作为对 OPEC 的抗衡，OECD 建立了国际能源署 (IEA)，它被认为是西方世界的“能源监督机构”，致力于避免未来的危机。国际能源署在其每年的世界能源展望 (WEO) 报告中提供供需预测，并在其月刊中提供原油市场目前的形势。世界能源展望包括了对未来 20 多年的预测，该报告受到与能源工业相关人员的高度重视。

每桶原油 (42gal 或 159L) 的价格主要取决于它的等级（如相对密度、硫含量、黏度）和地点，其价格受需求、目前的供给和未来供给预测的影响，供给和需求很大程度上取决于全球宏观经济和政治条件。OPEC 因制定较高的油价而经常受到指责，而中东地区原油生产实际的成本仅为每桶 2 美元。这些成本估算忽略了寻找和开发油田的成本。实际上，油价并不是由生产普通油的成本，而是由生产边际油的成本确定的。例如，通过限制生产，OPEC 已开始在更昂贵区域的生产开发，如北海。另一方面，在闲置产能的投资是昂贵的，并且 1990 年的低油价环境已导致了投资的减少。因此，自从 2003 年油价回升期间，OPEC 的闲置产能还不足以使油价稳定。

石油是最重要的能源，世界一次能源需求中原油占 35%，煤炭占 25%，天然气占 21%，如表 1.6 所示 (IEA, 2007)。运输行业（如汽车、轮船和飞机）对原油的依赖高于 90%。实际上，工业化国家的经济和生活方式主要依赖于低成本下供给足够的原油。

表 1.6 1973 年和 2005 年总计主要能源供应 (TPES) 的燃料份额 (不包括电力和热能交易)

名称	世界		OECD	
	1973 年	2005 年	1973 年	2005 年
油	46.2	35.0	53.0	40.6
煤	24.4	25.3	22.4	20.4
天然气	16.0	20.7	18.8	21.8
可燃再生物和废物	10.6	10.0	2.3	3.5
核能	0.9	6.3	1.3	11.0
水力	1.8	2.2	2.1	2.0
其他 (地热、太阳能、风能、热能等)	0.1	0.5	0.1	0.7
合计 (10 ⁶ t 油当量)	6128	11435	3762	5546

表 1.7 显示了各地区的原油生产数据 (IEA, 2007)。中东生产了世界原油的 32% (表 1.8), 但是更重要的是, 它占有世界已探明原油总储量的 64% (表 1.9)。而且, 它的储量损耗率比世界上其他任何地区都要低。尽管 OPEC 生产的原油在世界占不到一半, 但中东提供了 OPEC 石油总输出量的一半多, 并对全球原油价格具有重要的影响。

小储量的石油储备处在即将枯竭的边缘, 按照目前的消耗量计算, 较大的储量预计将在未来 50 年内枯竭。因此, 世界正面临着石油供应短缺的惨淡未来。图 1.1 说明按照目前石油产量的全球石油产量状况。全球石油生产的高峰可能会在 2015 年, 其后产量将会以每年百分之几的速度开始下降。到 2030 年, 全球石油供应量将会非常低, 这将会造成供应缺口, 即使是未来持续增长的其他化石能源, 核能或者其他代用能源也许很难填补这个供应缺口。

表 1.7 1973 年和 2006 年原油生产地区份额 单位: %

区域	1973 年	2006 年
中东	37.0	31.1
OECD	23.6	23.2
前苏联	15.0	15.2
非洲	10.0	12.1
拉丁美洲	8.6	9.0
亚洲 (不包括中国)	3.2	4.5
中国	1.9	4.7
非 OECD 欧洲	0.7	0.2
合计 (10 ⁶ t)	2867	3936

表 1.8 区域石油产量比例

单位：%

区域	中东	拉丁美洲	东欧	北美	亚太	非洲	西欧
比例	32	14	13	11	11	10	9

表 1.9 区域石油总勘探储量比例

单位：%

区域	中东	拉丁美洲	东欧	北美	亚太	非洲	西欧
比例	64	12	6	3	4	9	2

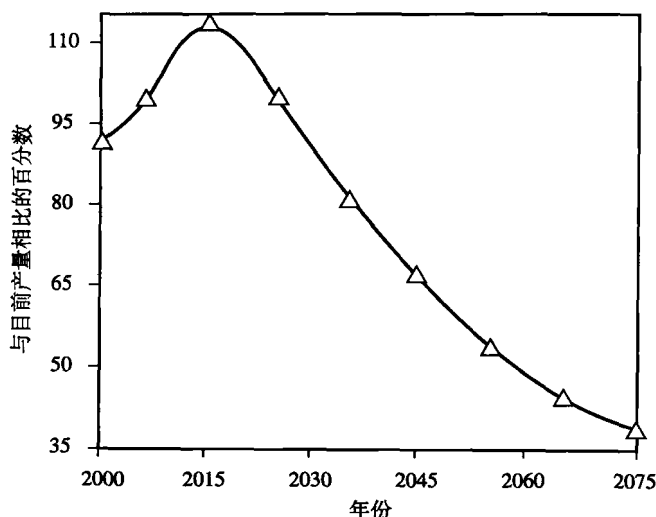


图 1.1 按照当前产量的全球石油产量状况（信息来源：Demirbas, 2008）

1.2.2 世界增长最快的主要能源——天然气

早在 1659 年，人类就在英格兰发现了天然气，但是，第二次世界大战以前天然气并没有代替煤气作为世界主要能源。人类使用天然气已经有几百年历史。例如，中国人使用天然气加热水。早期，人们还将天然气用于路灯照明和室内照明。

天然气是一种轻烃混合物，天然气内含有甲烷（ CH_4 ）、乙烷（ C_2H_6 ）、丙烷（ C_3H_8 ）、丁烷和异丁烷（ C_4H_{10} ）、戊烷（ C_5H_{12} ）。天然气销售之前已经脱除了 C_3 、 C_4 和 C_5 烃组分。因此，送给用户的商品天然气主要是甲烷和乙烷混合物。从天然气中脱除的丙烷和丁烷通常会被加压液化，作为液化石油气销售。研究发现天然气主要含有低碳烷烃和不同数量的二氧化碳、一氧化碳、氢、氮和氧，有时还含有硫化氢，还有可能含有氨。天然气的化学组分见表 1.10。

表 1.10 天然气化学组分

组分	典型分析 [% (体积分数)]	范围 [% (体积分数)]
甲烷	94.9	87.0 ~ 96.0
乙烷	2.5	1.8 ~ 5.1
丙烷	0.2	0.1 ~ 1.5
异丁烷	0.03	0.01 ~ 0.3