

含硫含酸 原油加工技术



张德义 主编

中国石化出版社
[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

含硫含酸原油加工技术

张德义 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

该书系统总结了国内外含硫含酸原油加工的主要技术,全面反映了国内外含硫含酸原油加工的新工艺、新设备、新材料、新经验。全书以实践为主,理论与实践相结合,技术与经济相结合。主要内容包括:世界能源及中国含硫含酸原油加工技术的开发和应用概况,含硫含酸原油的分布及生产贸易情况,含硫含酸原油硫与酸的分布及其转化,含硫含酸原油加工技术及新工艺,产品精制,设备腐蚀与防护以及环境保护等。

该书对含硫含酸原油加工的科研、设计及生产具有指导意义,主要读者对象为炼油行业从事生产、科研、设计的技术及管理人员。

图书在版编目(CIP)数据

含硫含酸原油加工技术 / 张德义主编. —北京:
中国石化出版社, 2012. 12
ISBN 978 - 7 - 5114 - 1901 - 9

I. ①含… II. ①张… III. ①含硫原油 - 石油炼制
②酸度 - 原油 - 石油炼制 IV. ①TE624. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 312583 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 70.25 印张 1738 千字

2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷

定价:298.00 元

《含硫含酸原油加工技术》编辑委员会

主 编：张德义

副主编：姚国欣

编 委：（按姓氏笔画排列）

王 京 李菁菁 张久顺 施 戈 胡长禄
胡尧良 贾鹏林 郭 蓉 夏国富 黄志华
蒋荣兴 曾榕辉 廖 健

《含硫含酸原油加工技术》编辑部

主 任：赵 怡

成 员：刘跃文 王瑾瑜 田 曦

《含硫含酸原油加工技术》撰稿人

第一章 张德义

第二章 廖 健

第三章 王 京 章群丹

第四章 姚国欣

第五章 楚喜丽

第六章 蒋荣兴

第七章 郭 蓉

第八章 第一、二、四节 张久顺 陈学峰 白风宇

第三节 曾榕辉

第九章 第一、三节 姚国欣 胡长禄

第二节 胡尧良 谢建峰

第四节 戴文松

第十章 夏国富 李洪宝

第十一章 施 戈

第十二章 刘小辉 谢守明

第十三章 李菁菁 闫振乾

前言

近年来,世界政治经济形势发生了巨大变化,地缘政治对世界能源尤其是原油的生产和流向的影响更加突出。由于新技术的开发和推广应用,世界能源结构发生了明显变化,特别是页岩气和页岩油的开发利用已经并将继续对美国的经济和能源政策产生重大影响,也将对世界的能源开发和利用以及贸易走向产生重大影响。深海原油和非常规原油开采与加工技术日臻成熟,已成为逐渐减少的常规原油的重要接替资源。近十年来,二氧化碳等温室气体排放越来越受到人们的关注,低碳经济、低碳生活、低碳消费和绿色能源已日益深入人心,对能源消费和能源结构将产生深刻影响。提高能源使用效率、降低经济增长对物质和能源消费的过度依赖,建设生态文明社会,已成为各国政府的共识。近十年来,对石油峰值何时到来一直争论不休,两种观点针锋相对。由于非常规油气资源的不断发现和开发利用,以及石油替代资源技术的日趋成熟和迅速推广应用,使得石油资源枯竭论的声音有所收敛。世界各国和石油公司越来越重视对重质、高硫、高酸、高沥青质和高金属含量原油的开采、加工和利用,新技术的开发应用层出不穷。世界各国无论是新装置建设,还是老装置改造,现在都考虑加工劣质原油,生产环境友好产品和减少污染物排放,炼油厂的装置结构发生了明显变化。近十年来,由于运输燃料特别是馏分油需求的增加,产品质量升级和标准更新换代的加快,世界大石油公司均加大了对新工艺、新技术、新设备和新材料的开发和应用,极大地提高了重质与劣质原油加工和市场需要的应变能力。

随着国民经济的快速发展,中国已成为原油加工能力和加工量增长最快的国家,原油加工能力由2000年的2.77亿吨/年增加到2010年的5.28亿吨/年,增长了90.6%;原油加工量由2.11亿吨增加到4.23亿吨,增长了100.5%,已成为世界第二炼油大国;已建成一批含硫(高硫)和含酸(高酸)原油加工基地,重质、高硫高酸原油的渣油加工能力迅速增长,重质、高硫、高酸、高沥青质和高金属的劣质原油的加工能力大幅度提高,已成为世界重质、高硫、高酸原油加工的主要国家之一。低硫、超低硫清洁燃料的生产技术开发和推广应用加快,现在大多数炼油企业已能根据市场需要生产符合国Ⅲ、国Ⅳ或欧Ⅴ排放标准的汽油和柴油,企业的环境保护意识和环保技术水平大幅度提高。

中国共产党第十八次全国代表大会提出,到2020年,在发展平衡性、协调性、可持续性明显增强的基础上,实现国内生产总值和城乡居民人均收入比2010年翻一番。同时,资源节约型、环境友好型社会建设取得重大进展。这是

一个宏伟而艰巨的目标，也是一个必须实现的目标。根据党的十八大提出的目标、任务，我国炼油工业面临的形势将更加艰巨和繁重。资源严重短缺，原油进口依存度进一步加大，进口原油的来源、渠道和种类更加复杂。如何利用好国内外有限而且愈来愈劣质的资源，生产满足社会经济发展和生态文明建设的产品要求更加迫切，这是我国炼油工作者必须考虑和回答的问题。

十年前中国石化出版社出版的《含硫原油加工技术》许多内容已经过时，一些论述也已经不适合当前的形势。为此，中国石化出版社邀请张德义、姚国欣等同志牵头，于2011年初组织编委会，编撰《含硫含酸原油加工技术》。由于《含硫原油加工技术》一书的撰稿人员大部分年事已高，并已长期远离生产、科研和设计第一线工作，所以此次只邀请了张德义、姚国欣和李菁菁三位参与编写工作，其余作者均遴选自各领域的专家或技术骨干。本书编委会成员和撰稿人大多在科研、设计和生产第一线担负重要工作，经验丰富、知识面广，是所从事工作领域的专家和技术骨干。这些同志在繁重的业务工作情况下，查阅了大量国内外有关资料，对撰写的每一章节都进行了反复修改完善，有的甚至五易其稿；先后召开了三次编写工作会议，对编写大纲和稿件内容进行了逐章逐节审阅和修改；两位主编也是不遗余力地对本书进行了阅读，并逐段逐句斟酌，反复几次提出修改意见。可以说，编撰工作是认真而严谨的。

本书编写过程中，得到了中国石化股份有限公司科技开发部、石油化工科学研究院、抚顺石油化工研究院、中国石化工程建设公司、中国石化经济技术研究院、洛阳石化工程公司、中国石油石油化工研究院、中国石化镇海炼化分公司、金陵石化分公司等单位的大力支持，在此一并表示谢意。

本书编写过程中，力求搜集最新数据，反映最新技术和最高水平，但由于形势变化很快，不同石油公司、不同咨询部门和不同出版物对未来形势和 market 分析往往出入很大，炼油技术年年都有新的发展，再加上撰稿人接触面有限，为此，书中难免有不足和疏漏之处，敬请读者不吝指教。

《含硫含酸原油加工技术》编委会

2012年12月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 世界能源消费形势	(1)
第二节 中国能源消费形势与石油产品需求预测	(16)
第三节 中国原油供求形势	(29)
第四节 世界原油质量变化趋势	(39)
第五节 中国已具备大规模加工劣质原油条件	(47)
第二章 含硫含酸原油资源与贸易流向	(68)
第一节 世界石油资源	(68)
第二节 世界石油供需预测与贸易流向	(84)
第三节 世界含硫含酸原油分布	(98)
第四节 生产和出口含硫含酸原油的主要地区和国家	(109)
第五节 中国含硫含酸原油生产	(133)
第三章 含硫含酸原油硫与酸分布及其转化	(143)
第一节 含硫原油一般特性	(143)
第二节 含酸原油一般特性	(151)
第三节 含硫含酸原油一般特性	(156)
第四节 含硫含酸原油中的硫与氧化合物	(158)
第五节 加工过程中硫转化规律	(173)
第六节 加工过程中有机酸转化规律	(190)
第四章 含硫含酸原油加工流程	(197)
第一节 国内外炼油厂含硫含酸原油加工的简要情况	(199)
第二节 含硫含酸原油加工流程的重要性和复杂性	(206)
第三节 含硫/高硫原油加工流程	(224)
第四节 含酸/高酸原油加工流程	(249)
第五节 高硫高酸委内瑞拉超重原油加工流程	(261)
第六节 高硫高酸加拿大油砂沥青加工流程	(268)
第七节 加工高硫高酸重原油多产汽油和多产柴油的优化流程	(278)
第八节 高硫高酸重原油不同加工流程的 CO ₂ 排放量和减排对策	(281)
第五章 含硫含酸原油电脱盐技术	(291)
第一节 原油电脱盐的作用及意义	(291)
第二节 原油电脱盐工艺	(296)
第三节 原油电脱盐装备	(315)
第四节 原油破乳剂	(326)
第五节 原油电脱盐技术的发展	(333)

第六章 含硫含酸原油的常减压蒸馏技术	(349)
第一节 工艺流程的选择	(349)
第二节 轻烃回收	(367)
第三节 减压深拔技术	(375)
第四节 蒸馏装置的硫分布与酸分布	(379)
第五节 蒸馏装置的腐蚀与防腐	(383)
第七章 清洁燃料生产技术	(409)
第一节 低硫和超低硫清洁燃料发展趋势	(409)
第二节 低硫和超低硫清洁汽油生产技术	(416)
第三节 煤油脱硫技术	(442)
第四节 低硫和超低硫清洁柴油生产技术	(445)
第八章 含硫含酸原油馏分油加工技术	(494)
第一节 馏分油特性	(494)
第二节 含硫原油馏分油的催化裂化	(499)
第三节 含硫原油馏分油加氢裂化	(538)
第四节 含酸原油直接催化裂化加工技术	(602)
第九章 含硫原油渣油加工技术	(617)
第一节 含硫含酸原油渣油的性质	(617)
第二节 含硫含酸原油渣油的热加工	(637)
第三节 渣油加氢	(677)
第四节 IGCC 在炼油厂的应用	(736)
第十章 含硫含酸原油生产润滑油基础油技术	(764)
第一节 润滑油基础油分类	(764)
第二节 传统工艺与加氢工艺相结合的工艺技术	(770)
第三节 全加氢工艺	(779)
第四节 环烷基基础油	(798)
第五节 GTL 基础油	(823)
第十一章 含硫含酸原油沥青生产	(828)
第一节 沥青分类与产品标准	(828)
第二节 渣油组成与道路沥青的生产	(845)
第三节 沥青生产工艺	(866)
第四节 氧化沥青工艺	(889)
第五节 改性沥青	(895)
第六节 乳化沥青	(905)
第七节 改性乳化沥青	(917)
第十二章 设备腐蚀与防护技术	(926)
第一节 设备腐蚀与防腐状况概述	(926)
第二节 炼制高硫高酸原油对设备的腐蚀	(930)
第三节 抑制高硫高酸原油腐蚀的措施	(945)

第四节	重点装置腐蚀实例	(990)
第十三章	含硫含酸原油加工技术的环境保护技术	(1000)
第一节	胺法脱硫	(1000)
第二节	酸性水汽提技术	(1017)
第三节	克劳斯硫黄回收工艺	(1033)
第四节	H ₂ S 制硫酸	(1056)
第五节	硫黄回收尾气处理	(1062)
第六节	烟气脱硫	(1088)
附录		(1097)

第一章 绪 论

第一节 世界能源消费形势

一、经济发展与能源需求

能源是人类社会赖以生存和发展的重要物质基础。纵观人类社会发展的历史,人类文化的每一次重大进步都伴随着能源的改进和更替。大约在一万年以前,人类进入旧石器时代,人们学会了用火,以秸秆和薪柴作燃料,人类依靠这种原始的生物质能源渡过了漫长的石器时代、奴隶时代和农业社会时代。到了18世纪60年代,英国詹姆斯·瓦特发明了蒸汽机,从英国工业革命开始,人类社会从薪柴转向了煤炭能源时代,这是人类社会能源消费的第一次转变。这一转变大约经历了100多年时间。自1859年美国宾夕法尼亚州梯士维尔城附近的石油溪旁的世界第一口油井涌出油以来,石油工业得到了迅速发展。到20世纪20年代世界能源结构开始了第二次转变,即从煤炭转向石油和天然气,这一转变首先在美国出现。第二次世界大战后,几乎所有发达国家能源消费都转向了石油和天然气,到1959年工业发达国家基本完成了这种能源消费结构的转变,其标志是石油和天然气在一次能源消费构成中的比例超过50%,煤炭比例下降至48%以下,基本不再使用传统的生物质能。石油替代煤炭成为主要能源的第二次能源消费结构变革大约经历了60年左右时间。

工业社会本质上是一个高碳社会。由于化石能源,如石油、天然气和煤炭等的能量密度高,使用方便,开采、利用化石能源的规模和水平,成为现代农业、现代工业和现代社会发展的标志。随着经济的发展,人们生活水平的提高,能源需求亦在不断增长。尽管由于经济结构的调整和能源消费效率的提高,能源消费强度(能源需求与实际GDP之比)将会进一步降低,特别是对石油和煤炭的依赖程度将有所下降。然而,经济愈发展,社会愈进步,对能源的依赖程度也愈高,因此有人说,能源是现代社会文明和经济发展的生命线。

进入21世纪以来,世界能源消费仍在不断增长,据英国石油公司(BP)统计,2000年世界一次能源消费量为9.40Gt石油当量,2005年为9.80Gt石油当量,2010年达到12.00Gt石油当量(相当于16.00Gt以上标准煤),详见图1-1-1^[1]。

中国已成为世界第一能源消费大国,2010年消费一次能源2.43Gt石油当量;第二位是美国,消费一次能源2.29Gt石油当量,两国合计一次能源消费量占世界总消费量的39.3%。中国、美国、俄罗斯、印度、日本、德国、加拿大、韩国、巴西和法国等10个国家一次能源消费量占世界总消费量的65.3%。经济合作与发展组织(简称经合组织,OECD)国家一次能源消费占世界总消费量的46.4%。详见表1-1-1^[2]。

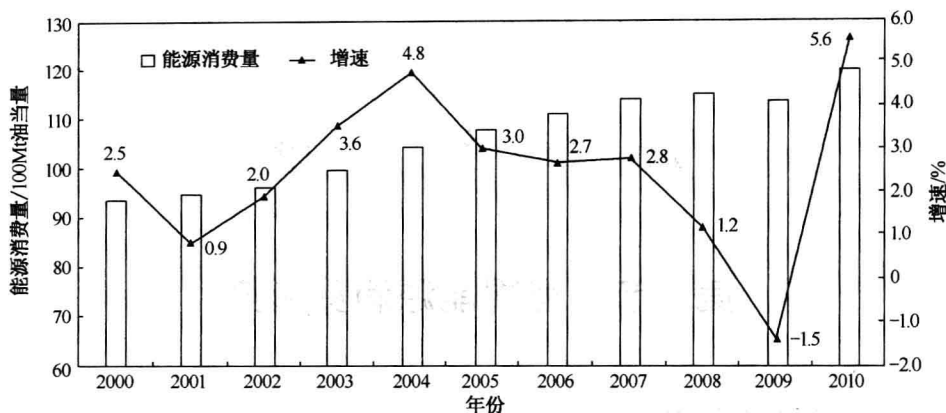


图 1-1-1 2000~2010 年世界一次能源消费量及增速

表 1-1-1 2010 年世界主要国家一次能源消费情况

100Mt 油当量

国 家	消费量	同比增长/%	占世界比例/%
中国	24.32	11.2	20.3
美国	22.86	3.7	19.0
俄罗斯	6.91	5.5	5.8
印度	5.24	9.2	4.4
日本	5.01	5.9	4.2
德国	3.19	3.9	2.7
加拿大	3.17	1.3	2.6
韩国	2.55	7.7	2.1
巴西	2.54	8.5	2.1
法国	2.52	3.4	2.1
世界合计	120.02	5.6	100.0
欧盟	17.33	3.2	14.4
OECD	55.68	3.5	46.4

注：图 1-1-1 和表 1-1-1 均来源于《BP 世界能源统计 2011》资料，两者数据略有差异。

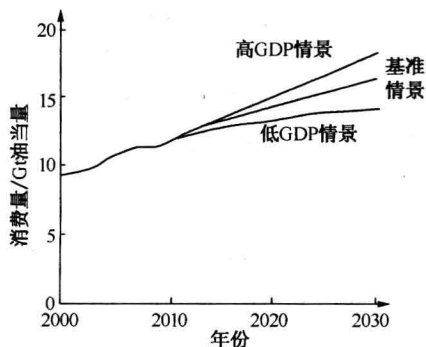


图 1-1-2 世界一次能源需求增长趋势

对于未来的能源需求，不论哪种能源机构预测，在 21 世纪中叶以前，世界能源总需求仍会进一步增长，BP 公司预测见图 1-1-2^[3]。

美国能源信息署(EIA)和英荷皇家壳牌集团(Shell)对更长远一点的世界能源需求预测见图 1-1-3^[4]和表 1-1-2^[5]。

世界人口的增长亦将促进能源需求的增长，据 BP《2030 年世界能源展望》报告，1900 年以来，世界人口翻了两番以上，实际收入增长了 25 倍，一次能源消费增长了 22.5 倍。BP 公司罗伯特·杜德利讲，1970 年以来，世界人口大约增加了 1 倍，GDP 增加了 2 倍以上，一次能源消费则增加了 1.5 倍。近 20 年(1990~2010 年)中，世界人口增加了 16 亿，预计 2010~2030 年世界人口将增加 14 亿。埃克森美孚公司(ExxonMobil)最近发布的《能源展望：2030 年展望》预测，世界人口的增加将推动能源需求增长约 35%。1970 年 OECD 国

家消耗全球 70% 的能源, 2009 年能源消耗则全球的 47%。今后经济和能源需求的增长主要是发展中国家, 见图 1-1-4^[3]。

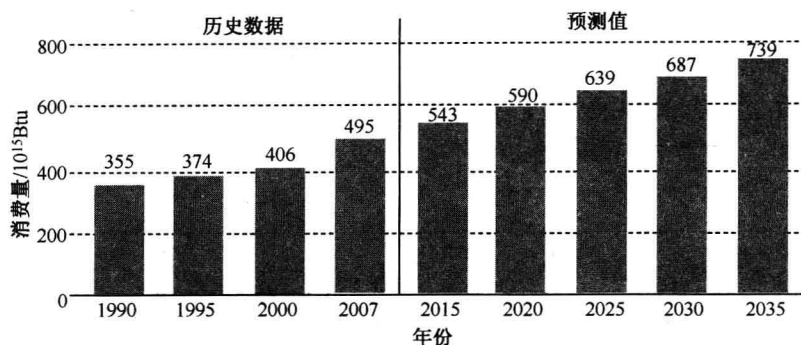


图 1-1-3 1990~2035 年世界市场销售的能源消费量

注: 1Btu = 1055. 056J。

表 1-1-2 2050 年前两种世界能源发展远景的能源需求预测 100Mt 油当量

项 目	无序世界						有序世界				
	2000	2010	2020	2030	2040	2050	2010	2020	2030	2040	2050
石 油	35.1	42.0	44.4	42.7	38.2	33.7	42.3	45.6	45.8	44.7	37.5
天然气	21.0	26.3	31.8	32.0	29.6	25.8	26.0	33.2	34.1	32.2	29.1
煤 炭	23.2	34.4	47.5	50.1	58.7	62.8	32.7	41.1	44.4	48.2	49.7
核 能	6.7	7.4	8.1	8.6	9.1	10.3	7.2	7.2	8.1	9.8	11.9
生物质	10.5	11.5	14.1	22.0	25.3	31.3	11.9	12.4	14.1	12.9	13.6
太阳能	0.0	0.0	0.5	6.2	14.8	22.4	0.2	1.7	5.3	10.0	17.7
风 能	0.0	0.5	2.1	4.3	6.4	8.6	0.2	2.1	4.1	6.7	9.3
其他可再生能源	3.1	4.5	6.7	9.1	12.2	15.5	4.3	6.9	9.6	11.9	14.8
一次能源需求总量	99.6	126.8	155.2	175.3	194.6	210.1	125.1	150.0	165.2	176.2	183.6

注: 此表为 Shell 2007 年发表的数据。

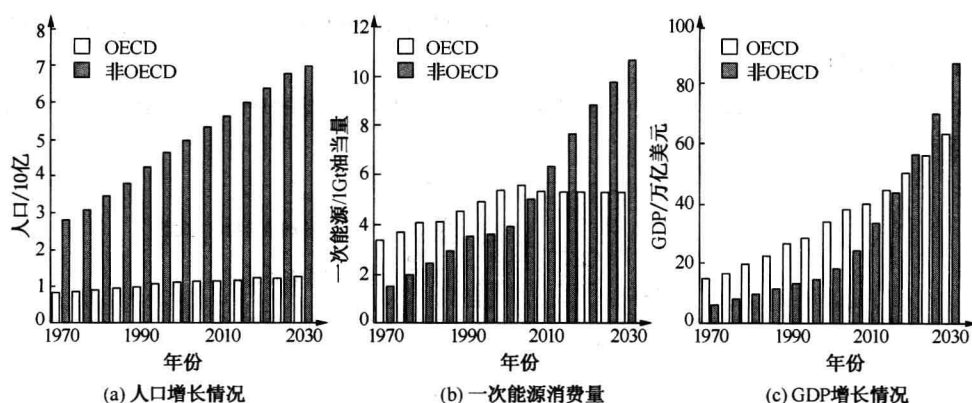


图 1-1-4 世界人口和 GDP 的增长是能源需求增长的主要动力

BP 公司预测, 到 2030 年全球能源需求将增长 39%, 年均增长 1.6%, 非 OECD 国家的能源消费将提高 68%, 年均提高 2.6%, 占全球能源增长量的 93%。而 OECD 国家到 2030 年能源消费量仅比今天增长 6%, 平均每年增长 0.3%。EIA 对于 OECD 与非 OECD 能源消费趋势亦有类似的预测, 见图 1-1-5 和图 1-1-6。

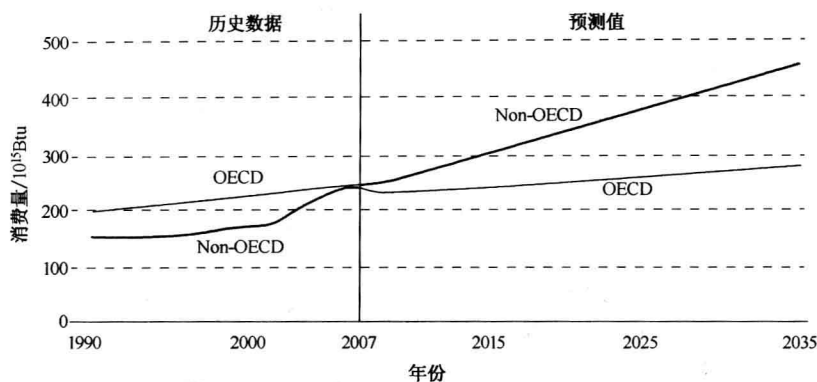


图 1-1-5 1990~2035 年 OECD 与非 OECD 能源消费量

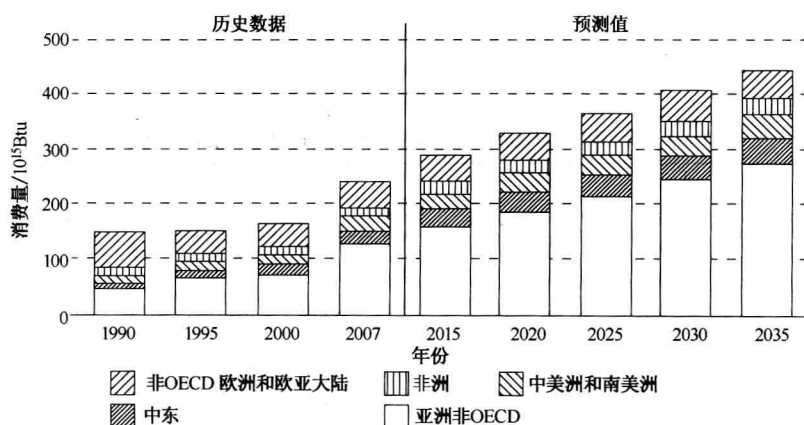


图 1-1-6 1990~2035 年非 OECD 经济体各地区能源消费量

国际能源机构(IEA)发布的“世界能源展望”报告认为,2008~2035 年预计世界能源消费年均增长 1.6%,非 OECD 国家年均增长 2.3%,OECD 国家仅增长 0.6%。到 2035 年世界能源消费量将增加 53%,其中一半来自中国和印度,届时这两个国家的能源消费量将占世界总消费量的 31%。

从地区看,今后能源需求的增长主要来自亚洲和大洋洲发展中国家,其次是中东和北非以及拉丁美洲,如图 1-1-7^[5]。

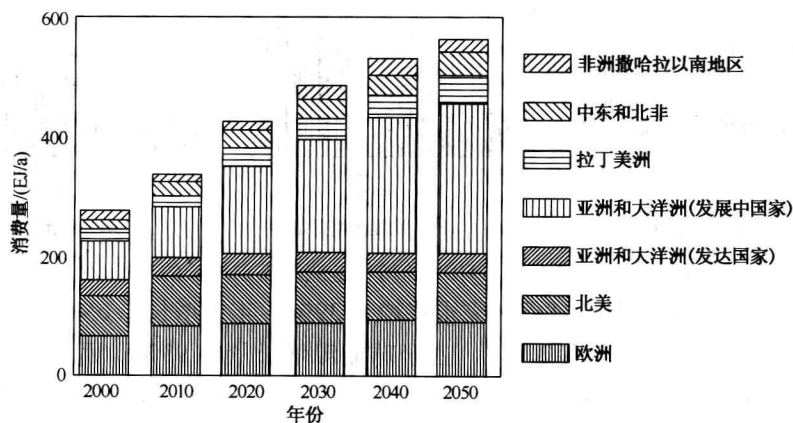


图 1-1-7 按地区划分终端能源消费增长趋势

在亚太非 OECD 国家中,能源消费增长最快的是中国和印度,2015 年前后中国一次能源消费量将超过美国,见图 1-1-8^[4]。

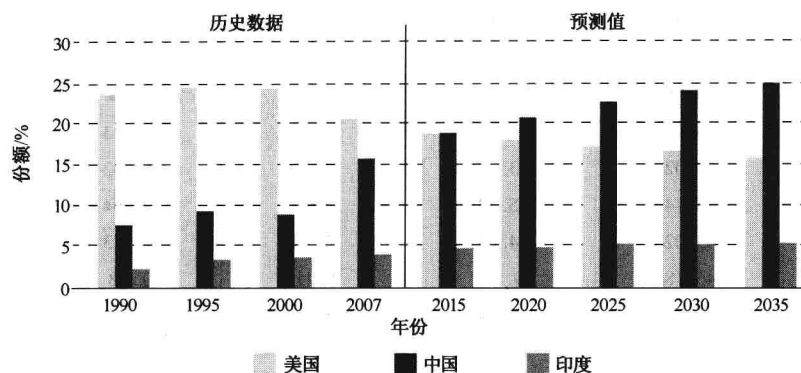


图 1-1-8 1990~2035 年美国、中国和印度能源消费份额

二、能源消费构成与展望

进入本世纪以来,世界各种主要能源消费均有所增长,但在一次能源消费构成中,煤炭和天然气所占比例上升,尤其是煤炭所占比例明显增加,石油和一次电力(主要是核能)所占比例有所下降,见表 1-1-3^[2]、图 1-1-9^[2]。

表 1-1-3 2000 年和 2010 年世界一次能源消费量及其构成变化

年 份	石油		天然气		煤炭		一次电力		一次能源消费量 Mt 油当量
	Mt 油当量	%	Mt 油当量	%	Mt 油当量	%	Mt 油当量	%	
2000	3519.0	38.69	2157.5	23.72	2216.8	24.37	1201.9	13.22	9095.6
2005	3836.8	36.41	2474.7	23.49	2929.8	27.80	1295.9	12.30	10537.1
2008	3927.9	34.80	2726.1	24.10	3303.7	29.20	1337.2	11.90	11294.9
2010	4028.1	34.00	2858.1	24.00	3555.8	30.00	1401.8	12.00	11843.8

注:这里未包括生物质、风能和太阳能等可再生能源。

不同的国家一次能源消费结构差异很大,如巴西、日本、韩国石油在一次能源消费中所占比例均超过了 40%,而俄罗斯、南非和中国石油消费所占比例还不到 20%;俄罗斯和前苏联地区的天然气在一次能源消费中所占比例高达 50% 以上,英国也达到 39.94%,南非、中国、印度和巴西还不到 10%;南非、中国、波兰和印度的煤炭在一次能源消费中所占比例都在 50% 以上,特别是南非和中国高达 70% 以上,法国、巴西煤炭消费比例不到 10%,加拿大、俄罗斯、英国和前苏联地区煤炭消费比例亦在 20% 以下;法国核电

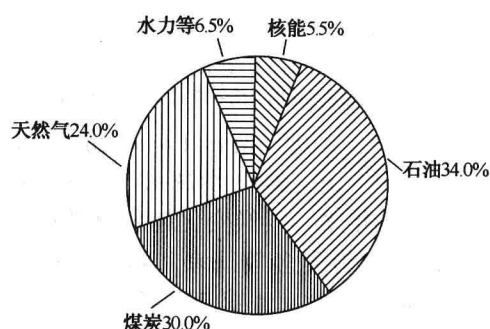


图 1-1-9 2010 年世界一次能源消费构成

注:这里未包括生物质等可再生能源。

在一次能源消费比例中高达 38.64%,是核能发展最快的国家,韩国、日本和德国核能所占比例也在 10% 以上;巴西和加拿大是水电发展最快的国家,在一次能源消费中所占比例分别为 36.09% 和 25.35%,详见表 1-1-4、图 1-1-10^[2]。

表 1-1-4 2008 年世界和主要国家一次常规能源消费结构

%

国家和地区	石油	天然气	煤炭	核电	水电
美国	38.48	26.13	24.58	8.35	2.47
前苏联地区	18.41	53.32	17.19	5.83	5.24
俄罗斯	19.05	55.25	14.79	5.39	5.52
日本	43.71	16.63	25.35	11.23	3.09
德国	38.02	23.73	26.00	10.82	1.43
法国	35.74	15.43	4.63	38.64	5.56
韩国	43.02	14.88	27.51	14.23	0.36
巴西	46.18	9.95	6.41	1.38	36.09
英国	37.18	39.94	16.74	5.61	0.54
南非	19.87	0.00	77.72	2.28	0.13
中国	18.76	3.63	70.23	0.77	6.61
波兰	25.54	12.84	60.96	0.00	0.66
印度	31.16	8.59	53.40	0.81	6.04
世界总计	34.78	24.14	29.25	5.49	6.35

资料来源:《BP 世界能源统计 2009》。

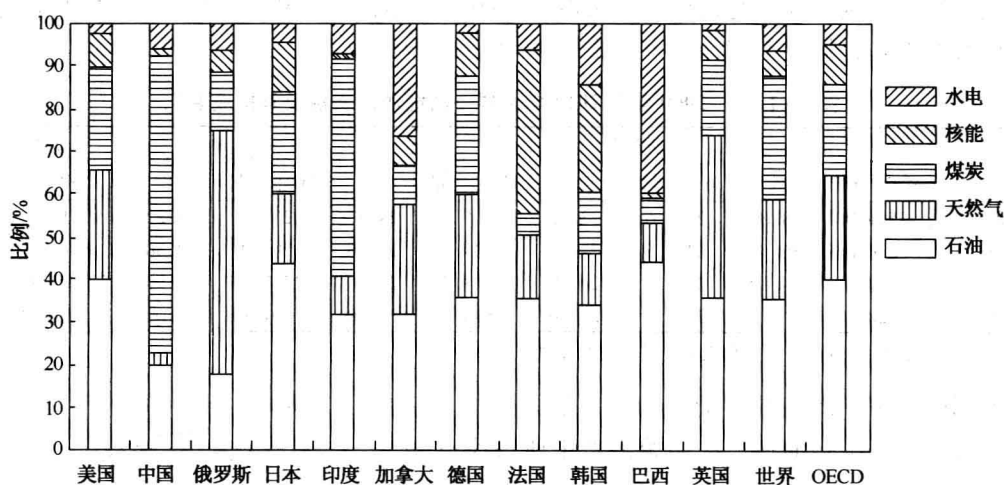


图 1-1-10 2010 年世界主要能源消费国一次能源消费结构

注:全球水力以外的可再生能源在一次能源消费比例中还不到 2%,这里统计未包括。

近 20 年来,气候变化越来越引起人们的关注,大气中二氧化碳浓度的增加致使地球气候变暖已成为大多数国家和科学家的共识。2003 年,英国政府发表了《能源白皮书》(UK Government),首次提出了“低碳经济”(Low carbon Economy)的概念,引起了国际社会的广泛关注。这就要求人们在考虑经济发展方式时必须改变能源消费方式,它将全方位地改造建立在化石能源基础上的现代工业文明,这将是人类生活方式的一次新变革,从而由工业文明转向生态经济和生态文明。

目前,水电和核能仍是最大的非化石能源,两者合计在一次能源消费中的比例约为 12%。BP 公司首席经济学家克里斯多夫·鲁尔指出,2009 年世界风能、太阳能和地热资源大约贡献了全球 1.7% 的发电量,占一次能源消费量的 0.7%。燃料乙醇的年产量相当于全

球石油产量的1%。尽管风能、太阳能、生物质能等来势迅猛,但毕竟基数很小,在本世纪前半叶化石能源仍居主导地位。沙特阿美石油公司 M. M. Saggaf 预测 2030 年前各种能源需求的增长趋势,天然气和煤炭将获得更大的发展,如图 1-1-11^[3]。

石油替代燃料的研究受到普遍重视,目前研究的四大类石油替代燃料领域有:①气体燃料——天然气、液化气、氢气;②合成燃料——煤制油、天然气合成油;③醇醚类燃料——甲醇、乙醇、二甲醚;④生物质燃料——生物柴油、生物气化、生物颗粒等。但 IEA 领导人 Claude Mandil 指出,生物燃料对能源总供应贡献仍然不大,至 2030 年,石油、煤炭和天然气合计仍然占世界一次能源的 80% 左右,见图 1-1-12。

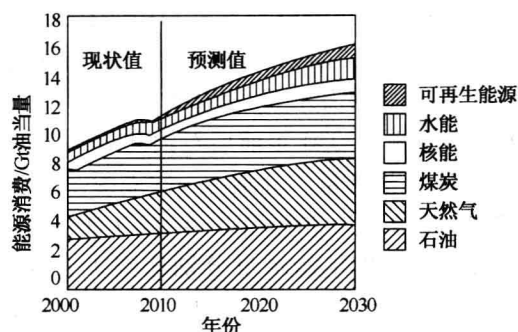


图 1-1-11 世界能源消费构成现状与预测

注:可再生能源包括生物燃料。

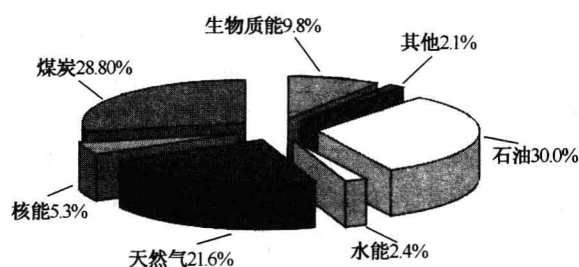


图 1-1-12 2030 年世界一次能源消费结构预测

由于煤层气、页岩气的勘探、开发技术日趋成熟,使得天然气(包括非常规天然气)储量和产量迅速增长。特别是美国,页岩气探明资源量达到 $(14.2 \sim 19.8) \times 10^{12} \text{ m}^3$, 2000 年页岩气产量约 $122 \times 10^8 \text{ m}^3$, 2009 年产量已超过 $900 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占全美天然气总产量的 12%, 使美国一跃成为世界第一天然气生产大国,详见表 1-1-5。

表 1-1-5 世界天然气前十名生产国(2010 年)

排 名	国 家	产量/ 10^8 m^3	排 名	国 家	产量/ 10^8 m^3
1	美国	6385.61	6	挪威	1062.87
2	俄罗斯	6242.98	7	中国	936.53
3	加拿大	1440.75	8	阿尔及利亚	843.34
4	伊朗	1369.72	9	荷兰	805.14
5	卡塔尔	1098.04	10	印度尼西亚	800.32

天然气(含非常规天然气)探明储量亦由 2001 年的 $149.47 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 提高到 2010 年的 $188.12 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 10 年间储量提高了 26%。相应地,10 年来天然气产量也有了大幅度提高,见图 1-1-13。

2011 年 6 月 IEA 发布的报告称,2035 年天然气(含非常规天然气)可能占世界能源消费量的 25%,从而超过煤炭成为仅次于石油的第二大能源(此预测情形尚未被其他部门与专家认可)。2035 年世界天然气消费量将比 2010 年增加 50%,达到 $5.1 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 年均增长率为 2%。新兴市场在天然气需求增量中所占比例将达到 80%, 其中中国将达到 30%, 相当于 2035 年欧洲天然气总需求量。IEA 预测,未来世界天然气供给不会出现紧张,按当前消费水平计算,天然气储量可满足未来 250 年需求。报告称,超过 40% 的新供给来自非常规天

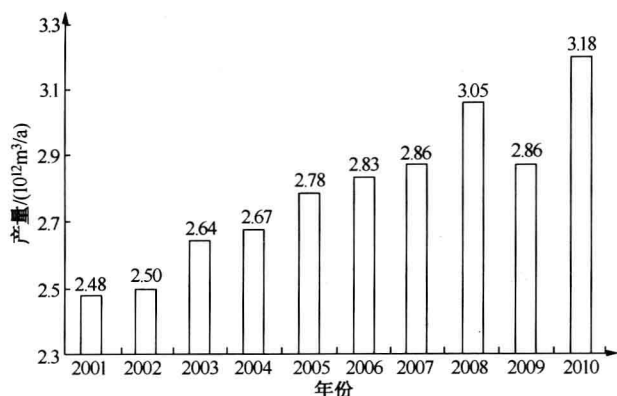


图 1-1-13 世界近十年天然气产量变化

然气，当前非常规天然气储量与常规天然气基本持平。

因此有人预测，人类无论对能源消耗和能源结构的认识和调整步调是否统一，至21世纪中叶，石油、天然气和煤炭等化石能源在需求和消费结构中仍然高居60%左右的地位。在无序世界中，2050年石油、天然气、煤炭、生物质和太阳能的需求量分别是3.37Gt、2.58Gt、6.28Gt、3.13Gt和2.24Gt油当量，分别占一次能源需求量的16.0%、12.3%、

29.9%、14.9%和10.7%。而在有序世界中，Shell公司预测，2030年前后石油和天然气需求将达到顶峰，2030年需求分别为4.58Gt油当量和3.41Gt油当量，分别占一次能源需求总量的27.7%和20.7%，而煤炭需求量从2000年的2.32Gt增长为2050年的4.97Gt油当量。核能、生物质、太阳能、风能等技术都实现了共享，在2050年需求量分别达到1.19Gt、1.36Gt、1.77Gt、0.93Gt油当量，其他可再生能源利用量达到1.48Gt。石油、天然气呈现倒“U”型消费曲线，预计在2020~2030年之间达到顶峰，详见表1-1-6和图1-1-14。

表 1-1-6 2050年前两种世界能源发展远景中一次能源构成比例

%

项 目	无序世界			有序世界	
	2000 年	2030 年	2050 年	2030 年	2050 年
石 油	35.3	24.4	16.0	27.7	20.4
天 然 气	21.1	18.3	12.3	20.7	15.9
煤 炭	23.3	28.6	29.9	26.9	27.0
核 能	6.7	4.9	4.9	4.9	6.5
生物质	10.6	12.5	14.9	8.5	7.4
太阳能	0.0	3.5	10.7	3.2	9.6
风 能	0.0	2.5	4.1	2.5	5.1
其他可再生能源	3.1	5.2	7.4	5.8	8.1

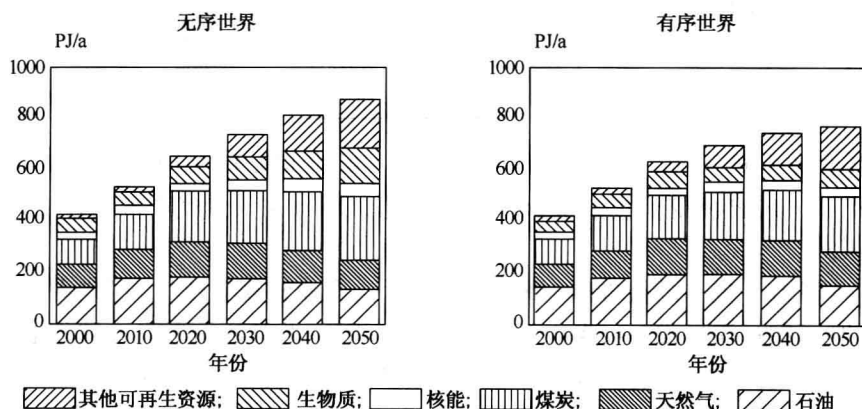


图 1-1-14 两种世界能源发展远景中一次能源需求结构比较