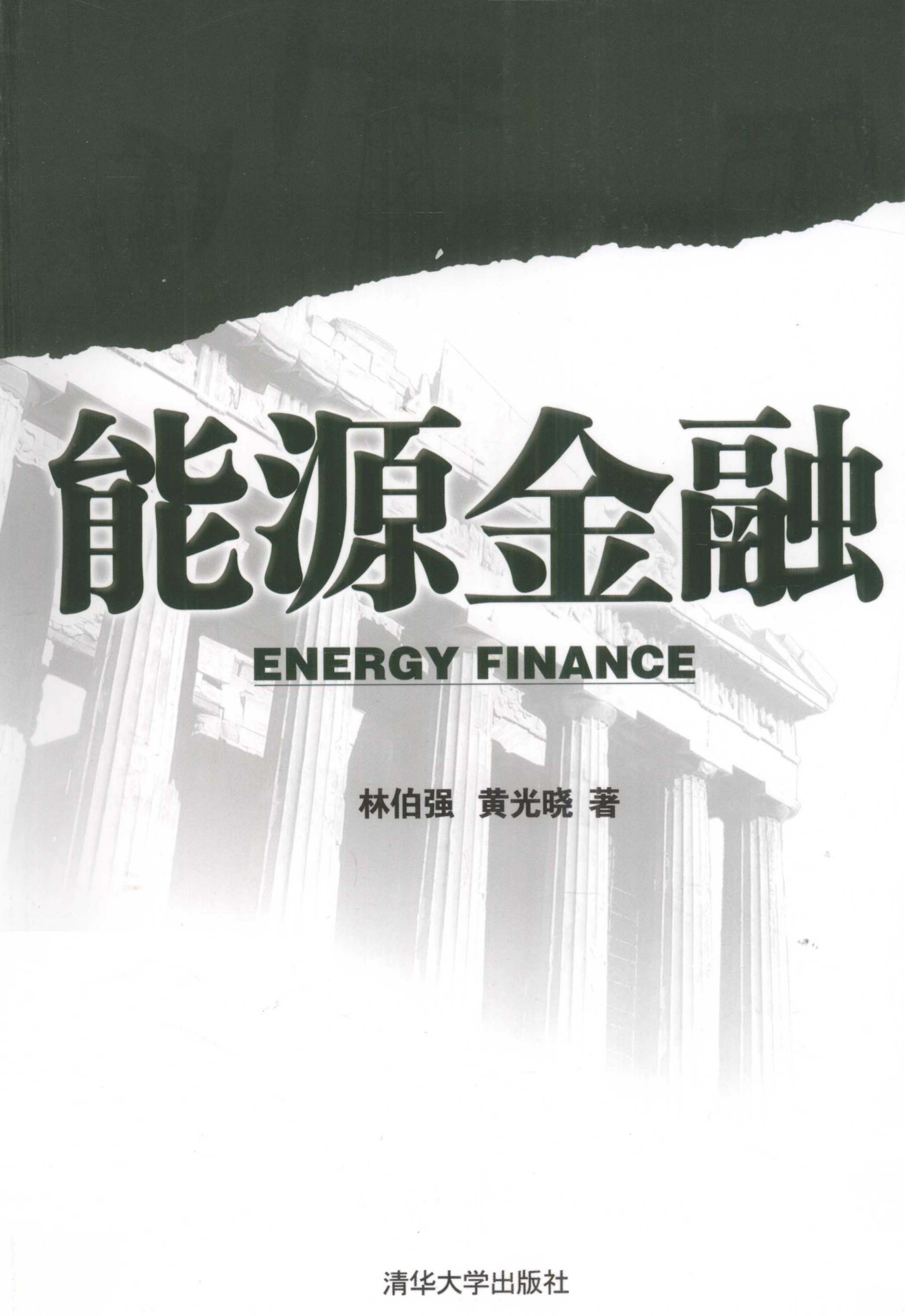


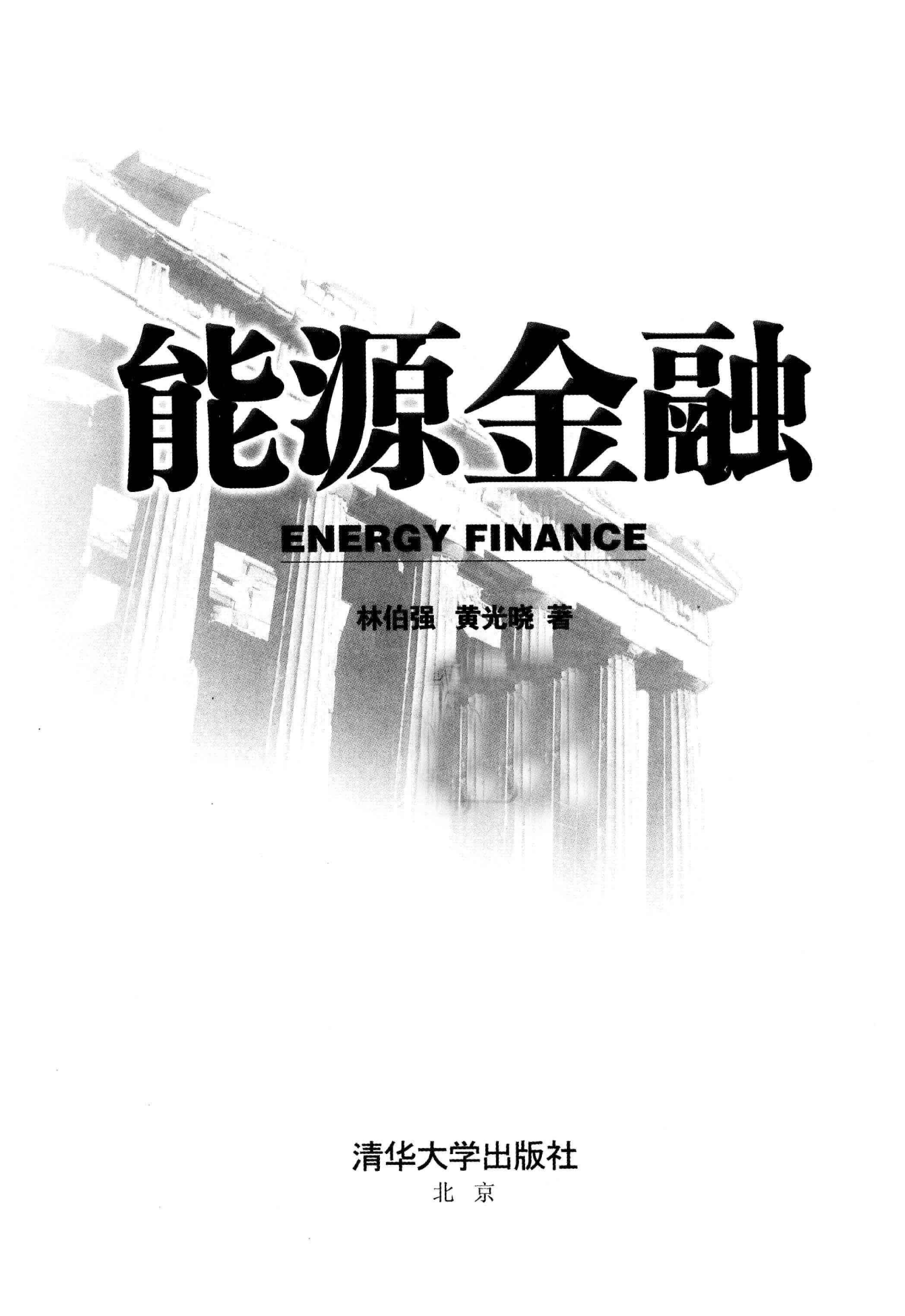
The background of the cover features a high-contrast, black and white photograph of a classical building with prominent columns, possibly a library or university building. The image is partially obscured by a dark, torn-paper-like border at the top.

能源金融

ENERGY FINANCE

林伯强 黄光晓 著

清华大学出版社



能源金融

ENERGY FINANCE

林伯强 黄光晓 著

清华大学出版社

北 京

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。
版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

能源金融/林柏强，黄光晓 著. —北京：清华大学出版社，2011.7
ISBN 978-7-302-25732-5

I. ①能… II. ①林… ②黄… III. ①能源—关系—金融—研究 IV. ①TK01 ②F830

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 111104 号

责任编辑：陈 莉 高 岫

封面设计：倪春昊

版式设计：高新特公司

责任校对：成凤进

责任印制：何 芊

出版发行：清华大学出版社

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编：100084

社 总 机：010-62770175

邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者：北京四季青印刷厂

装 订 者：三河市新茂装订有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185×260 印 张：33.5 字 数：857 千字

版 次：2011 年 7 月第 1 版 印 次：2011 年 7 月第 1 次印刷

印 数：1~4000

定 价：68.00 元



序 言

也许你对“能源金融”这个词还很陌生,但是对于石油美元、原油期货这些词语,或许早已耳熟能详;也许你觉得“能源金融”离你很遥远,但是油价飙升、电价上涨、天然气涨价等却无一不牵动你的神经。

能源金融,源之已久。早在 1886 年,世界最早的煤炭交易所就已开始运用远期合约等金融工具对煤炭交易进行风险管理和市场运作。20 世纪 70 年代两次石油危机的爆发,又直接导致了石油期货的产生,并在随后的 20 多年中发展成为全球交易量和交易额最大的商品期货交易品种。当然,能源金融也不仅仅局限于石油、煤炭等传统能源领域,随着与能源领域相关的诸如全球气候变化等环境问题的日益凸显,旨在应对各种环境风险的能源金融衍生品也应运而生,能源金融的范围拓展至了碳金融、能效市场、新能源投融资等新领域。

能源金融作为一种金融形态,是国际能源市场和国际金融市场不断相互渗透与融合的产物,也是以西方发达国家尤其是美国能源战略体系不断演变发展的产物。能源金融不仅被视为国际能源市场的一个重要手段和工具,还被欧美发达国家作为保障国家能源安全的能源战略的一个重要组成部分。它不仅涵盖了整个能源产业的各个环节,还涉及国际金融体系的各个层面,包括利用金融市场来完善能源市场价格信号的形成与传递,管理和规避能源市场风险,解决能源开发利用的融资问题,优化能源产业的结构,促进节能减排,提高能源效率和新能源开发利用等。

虽然,能源金融已经是国际金融市场和国际能源市场的重要组成部分,但是目前国内关于这方面的研究却仍处于起步阶段。在清华大学出版社的帮助下,我们出版了《能源金融》一书,希望其作为国内该领域教科书的开篇之作,能起到抛砖引玉的作用。本书内容不仅涵盖了石油、天然气、煤炭和电力等传统能源金融领域,还涉足了碳交易市场与碳金融、能源税与碳税、能源效率市场、新能源与可再生能源投融资等国际能源领域最新发展动向。书中各章节采用逐步推进、逐层深入的方法,在全面介绍能源及其相关市场的现状和发展方向的基础上,深入剖析了能源及其相关价格的形成机制、相关金融市场的发展演化、衍生金融产品的结构设计及在风险管理中的应用,并由此对未来我国能源金融的发展提出构想。

虽然随着经济全球化的发展,能源金融的边界与内涵也在不断扩展,但是应该认识到,能源金融的核心仍是能源的市场化定价机制,其焦点则是世界各主要国家围绕能源商品尤其是石油的定价权的争夺。本书对国际石油定价体系的演变过程进行了详细阐述,对演变过程中金融场所扮演的重要角色进行了深入剖析,特别突出了西方发达国家尤其是美国通过其在国际货币体系中的优势地位,加上其成熟的金融市场体系,逐渐形成以石油商品期货市场为主导的石油金融市场,强化其对国际石油市场控制的手段与途径,相信本书对广大读者会有一定的启发作用。

中国作为目前世界上第二大石油消费国,半数以上的石油依靠进口,但遗憾的是,在国际石油市场上,只有“中国需求”却没有“中国价格”。中国不但要承受能源安全的巨大压力,而

且在国际石油市场上处于严重的、被动的价格接受者的地位。由于能源市场化改革严重滞后于中国经济发展的进程,能源金融体系迟迟未能建立,加上亚太地区目前还没有成熟的原油期货市场,缺乏一个权威的竞价基准,导致中东国家可以对销往亚太和欧美地区的原油采取不同的计价公式,即所谓的“亚洲溢价”。中国进口原油的成本要比欧美国家高出 1~3 美元/桶,按目前日均 400 多万桶的进口量来算,每年就要多付出 30 亿~40 亿美元。需要特别指出的是,由于上海燃料油期货市场的成功运行,逐渐形成了国际燃料油市场的“中国价格”,因此在燃料油方面,中国目前已经初步掌握了话语权。这对未来中国能源市场化改革和能源金融体系的建立无疑提供了一个很好的示范和参照。

此外,由于能源的开发利用是温室气体产生的重要来源,而随着全球气候变暖带来的生态环境危机,能源金融创新也就成为解决全球气候问题的重要手段。《京都议定书》的签订,催生了国际碳交易市场,而随着碳交易市场规模的扩大,碳排放额度的“金融属性”也日益突显,逐步演化成为具有投资价值和流动性的资产,即“碳信用”(carbon credit)。围绕碳排放权交易,形成了碳期货期权等一系列金融工具支撑的碳金融体系,其核心就是对碳排放额度定价权的争夺。本书对京都机制下两个不同但又相关的碳排放交易体系进行了全面深入的介绍,试图为广大读者描绘一个完整的碳排放交易市场体系框架,并指出其中存在的认识误区和国际气候谈判中相关争端的焦点。

中国是世界上最大的碳排放国家,但是在国际碳交易市场中,中国仍处于价值链的低端,只能通过清洁发展机制(CDM)为欧美国家提供廉价的碳排放额度。由于对碳排放交易认识的不足和目前社会经济发展阶段的客观限制,虽然中国是目前全球 CDM 最大的碳排放额度提供者,但是在国际碳交易市场上却毫无话语权。国内金融机构对与碳交易相关的金融产品开发不足,相关的服务产业发展缓慢,整个碳减排行业参与国际碳交易市场程度相当低。未来,中国碳金融的发展方向主要为发展自己的碳交易市场,建立具有中国特色的涵盖现货、远期和期货的碳金融体系,推出包括各类碳排放额度的碳金融衍生产品,并通过这些碳金融衍生产品的交易来影响国际碳交易市场的价格形成,掌握国际碳交易市场定价的主动权,引导全球碳减排活动向有利于中国的方向发展。

本书在写作过程中得到清华大学出版社的大力帮助,在此深表感谢。此外,在初稿完成后,厦门大学中国能源经济研究中心的李雪慧、王婷、张立和吴亚等四位博士研究生对本书进行了细致的校对,在此也表示感谢。

总之,本书为开辟中国能源金融领域的研究提供了一个切入点,并试图构建一个较为完整的理论框架体系,为今后相关研究活动的开展提供参考借鉴。因此,本书可作为硕士研究生和博士研究生相关专业课程的教材,对国内能源界、金融界专业人士也有很好的借鉴意义。

林伯强 黄光晓

2011 年 5 月 31 日于厦门

目 录

绪论	1
第一章 能源金融与能源战略	19
第一节 能源安全与能源战略	20
第二节 世界主要能源消费国的能源战略	27
第三节 世界主要能源供应国的能源战略	42
第四节 能源金融	46
第五节 中国的能源战略与能源金融	49
参考文献	58
第二章 石油市场与石油金融	60
第一节 石油市场	60
第二节 石油价格	72
第三节 石油金融	89
第四节 中国的石油市场与石油金融	113
参考文献	120
附录	124
第三章 天然气市场与天然气金融	129
第一节 天然气市场	129
第二节 天然气价格	146
第三节 天然气金融	165
第四节 中国的天然气市场和天然气金融	177
参考文献	184
附录	187
第四章 煤炭市场与煤炭金融	189
第一节 煤炭市场	189
第二节 煤炭价格	199
第三节 煤炭金融	207
第四节 中国的煤炭市场和煤炭金融	211
参考文献	218
附录	220
第五章 电力市场与电力金融	221
第一节 电力市场	221
第二节 电力价格	240

IV 能源金融

第三节 电力金融	258
第四节 中国的电力市场和电力金融	270
参考文献	279
附录	283
第六章 环境金融与节能减排	285
第一节 环境金融	285
第二节 节能减排	300
第三节 中国的环境金融与节能减排	321
参考文献	328
第七章 碳交易市场与碳金融	330
第一节 温室气体减排的市场机制	330
第二节 基于配额的碳交易市场	351
第三节 基于项目的碳交易市场	368
第四节 碳金融体系	380
第五节 中国碳交易市场和碳金融的发展	388
参考文献	393
附录	397
第八章 能源税与碳税	399
第一节 环境税	399
第二节 能源税	408
第三节 碳税	415
第四节 中国实施能源税/碳税的构想	436
参考文献	445
第九章 能源效率市场	449
第一节 能效管理体系	449
第二节 需求侧管理	456
第三节 合同能源管理	464
第四节 白色证书交易	471
第五节 中国能源效率市场的发展	480
参考文献	488
第十章 新能源和可再生能源开发	490
第一节 新能源和可再生能源的发展状况	490
第二节 新能源和可再生能源投融资体系	503
第三节 新能源和可再生能源价格机制	508
第四节 可交易绿色证书机制	515
第五节 中国新能源和可再生能源发展	522
参考文献	528

绪 论

一、能源

(一) 能源与能量

“能源”的本质是指能量的来源。例如：辐射到地球表面上的太阳光，就是地球上许多能量的主要来源。“能源”的第二层含义是能量资源。例如：存在于自然界中的煤、石油、天然气等化石燃料，铀、钍等核燃料，以及生物质、风力、太阳能、潮汐等都属于能源；由这些物质加工而成的焦炭、煤气、液化气、煤油、电、沼气等也是能源，前者是自然存在或由自然界经过长期演化而形成的，为一次能源，后者则是由一次能源直接或者间接转换而来的人工能源，为二次能源。

能源的实质就是物质与能量的转化，受三条物理学定律的支配：① 物质守恒定律：物质可以从一种形式转化成为另一种形式，但它既不能创造也不能消灭。② 能量守恒定律：能量既不会凭空产生，也不会凭空消失，它只能从一种形式转化为另一种形式，或者从一个物体转移到另一个物体，在转化或转移的过程中其总量不变。③ 熵(entropy)增加原理^①：人类利用能源的过程，实际上是一个能量的转化过程，集中表现在能源系统中熵值的急剧增加。而熵值增加意味着系统的能量从数量上来讲虽然守恒，“品质”却越来越差，可用于做功的程度越来越低，就是能量的“退化”，从宏观上看，就是所谓的“能源枯竭”。同时，被转化成了无效状态的能量就构成了我们所说的污染。许多人以为污染是生产的副产品，但实际上它只是世界上转化成无效能量的全部有效能量的总和。耗散了的能量就是污染。既然根据热力学第一定律，能量既不能被产生也不能被消灭，而根据热力学第二定律，能量只能沿着一个方向(即耗散的方向)转化，那么环境污染、废弃物排放就是熵的同义词。

到目前为止，人类对所认识的能量可以分为如下六种形式：① 机械能：与物体宏观机械运动或空间状态相关的能量，它包括固体和流体的动能、势能、弹性能和表面张力能等；② 热能：构成物质的微观分子运动的动能和势能总和称之为热能，从微观水平上讲，它反映了分子运动的强度，从宏观水平上，它表现的是物体温度的高低；③ 电能：与电子流动和积累有关的一种能量，通常是由化学能或者机械能转换得到的；④ 辐射能：它是物体以电磁波形式发射的能量，例如地球表面所接受的太阳能就是辐射能的一种；⑤ 化学能：化学能是物质结构能

^① 熵(读 shāng)，是反映物质内部状态的一个物理量，它反映的是系统无序的程度(熵越大，系统越无序)。熵的概念由鲁道夫·克劳修斯(Rudolf Clausius)在 1850 年首次提出，并应用在热力学中，通常用符号 S 表示熵，单位为 J/(mol·K)或 kJ/(kmol·K)。目前熵在系统科学、控制论、概率论、数论、天体物理、生命科学、社会学等领域都有重要应用，在不同的学科中有更为具体的定义。熵增加原理则是根据热力学第二定律推导出来的热传导的不可逆过程。熵的增加，表明能量从一个较高的集中程度转化到一个较低的集中程度，这个过程需要做功，也意味着能量水平的降低，一定的能量就被转化成了不能再做功的无效能量。熵增加的幅度越小，说明能量损失越小，效率越高。物体不断与外界交换物质与能量的实质是为了减缓内部熵值的增加。

的一种,即原子核外进行化学变化时放出的能量,煤炭、石油等化石燃料中储存的可燃物质就是人类利用最普遍的化学能;⑥ 核能:蕴藏在原子核内部的物质结构能,对原子核进行裂变或聚变时可以获得巨大的核能。

(二) 能源的利用

人类利用能源的历史,也就是人类认识和征服自然的历史。人类利用能源的历史可分为五大阶段:① 火的发现和利用;② 畜力、风力、水力等自然动力的利用;③ 化石燃料的开发和热的利用;④ 电的发现及开发利用;⑤ 原子核能的发现及开发利用。人类对能源的利用经历了三次转换:第一次是煤炭取代木材等成为主要能源;第二次是石油取代煤炭而居主导地位;第三次是 20 世纪后半叶开始出现的能源结构多元化趋势。

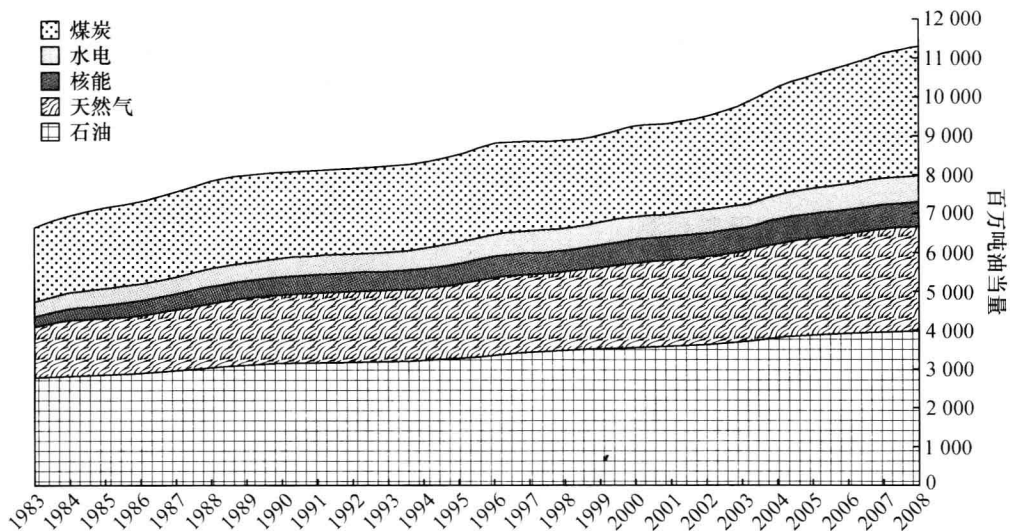
18 世纪前,人类只限于对风力、水力、畜力、木材等天然能源的直接利用,尤其是木材,在世界一次能源消费结构中中长期占据首位。蒸汽机的出现加速了 18 世纪开始的工业革命,促进了煤炭的大规模开采。到 19 世纪下半叶,出现了人类历史上第一次能源转换。1860 年,煤炭在世界一次能源消费结构中占 24%,1920 年上升为 62%,即所谓的“煤炭时代”。19 世纪 60 年代,内燃机代替了蒸汽机,重化工业的迅速发展使得煤炭在世界能源消费结构中的比重逐渐下降。1965 年,石油首次取代煤炭成为主要能源,由此进入“石油时代”,石油取代煤炭完成了能源利用的第二次转换。石油、煤炭等化石燃料的储量是有限的,可耗竭的,不具有可持续性。因此,世界能源开发利用向石油、煤炭等化石燃料以外的能源物质转移已势在必行。世界能源结构的变化正面临一个新的转折点,将逐渐从“石油时代”向多元化、低碳的方向发展。不仅天然气等清洁能源的比重将逐步增加,而且新能源和可再生能源(如风能、太阳能、生物质能和海洋能等)也开始进入蓬勃发展的阶段,多元、低碳、高效和清洁是未来全球能源利用的发展趋势。

(三) 能源结构

能源结构是一次能源总量中各种能源的构成及其比例关系,也分为能源生产结构和能源消费结构。影响能源生产结构的主要因素有:资源品种,储量丰度,空间分布及地域组合特点,可开发程度,能源开发及利用的技术水平。在能源生产基本稳定、能源供应基本自给的基础上,能源生产结构决定着能源消费结构。一次能源资源贫乏,能源产品依赖进口或输入的地区和国家,其能源消费结构则取决于获取能源的便利性、安全性及不同能源之间相互替代的经济性。

根据英国石油公司^①(BP)的统计数据(见图 0-1),自 20 世纪 80 年代以来全球一次能源消费量的趋势表现为:石油增速趋缓,在全球能源消费量的比重开始逐年下降;天然气由于更为清洁、热值高清洁,在全球能源消费量中的比重迅速上升;由于原油价格的高涨,作为一种替代,煤炭消费量增长显著,连续 6 年增幅为各类能源之首。核能的增速有所下降,这主要是由于发达国家(德国等)开始逐渐淘汰核电厂。水电由于受制于资源和气候原因,增长缓慢;其他可再生能源在目前占全球能源消费中的比重虽然仍较小,但发展潜力巨大、增速较快。

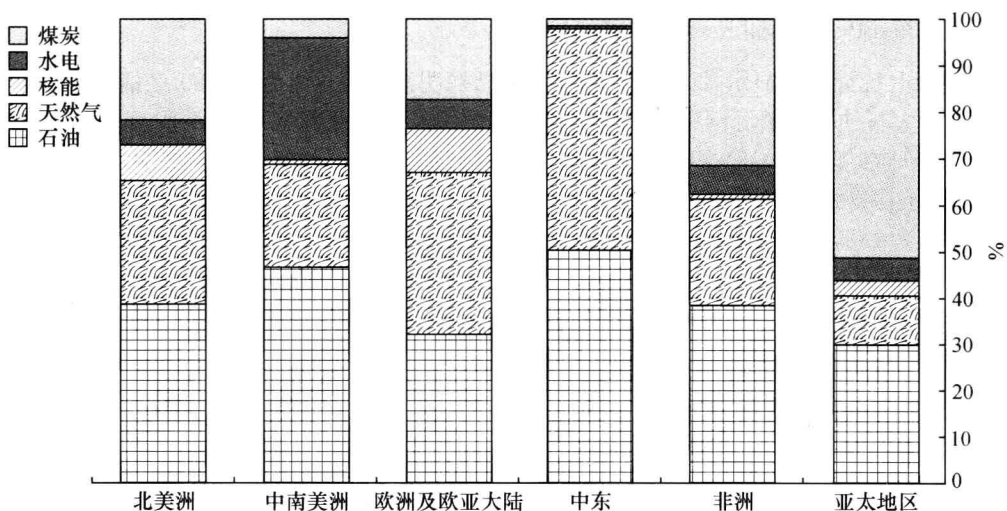
^① 英国石油公司(BP)全称是英国石油阿莫科公司,其前身是 1909 年成立的英波(波斯)石油公司和 1935 年的英伊(伊朗)石油公司,1954 年改为英国石油阿莫科公司。后英国石油公司与阿莫科(Amoco)、阿科(Arco)和嘉实多(Castol)等公司通过多次并购重组,形成了世界上最大的石油和石化集团。



数据来源:BP Statistical Review of World Energy 2009。

图 0-1 全球能源消费量和构成(1983—2008 年)(单位:百万吨油当量^①)

由于区域资源禀赋、社会经济发展、技术水平都存在很大的差异,所以各地区能源消费结构也有很大的不同。在图 0-2 中,我们可以对全球各区域的能源消费结构有一个较为清楚的认识。虽然 2008 年经合组织国家^②(OECD)的石油消费连续 3 年都呈下降趋势,仍未改变油气为主的结构,但新能源和可再生能源的比重不断上升,呈现多元化的趋势。而亚太地区作为新兴市场经济体,虽然是目前经济发展最快的地区,但是能源消费结构仍以煤炭为主。



数据来源:BP Statistical Review of World Energy 2009。

图 0-2 2008 年全球各地区能源消费量和构成(单位:%)

^① 吨油当量(ton of oil equivalent, toe),是对煤炭、石油、天然气等所有能源都适用的能源单位,其含义是 1 吨原油的发热量为 107 卡路里(kcal),相当于 1 吨油当量(toe)。

^② 经济合作与发展组织(Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD)成立于 1961 年,其前身是欧洲经济合作组织(OEEC),是在二战后美国与加拿大协助欧洲实施重建经济的马歇尔计划的基础上逐步发展起来的,目前有 30 个成员国,其国民生产总值占全世界的 2/3。

全球能源消费结构的变化反映出全球能源供应结构朝多元化方向发展的趋势。由于化石燃料的可耗竭性及其对环境的影响(污染、温室气体排放等),世界各国积极发展新能源和可再生能源,促使能源供应更加高效、低碳。各国的能源生产结构受制于种种客观因素,但考虑到能源安全问题,各国能源战略都会争取减少能源对外依存度(能源产品净进口量与总消费量之比),充分发挥本国资源、技术优势,尽量扩大能源自给比例。

二、能源供求现状及其预测

(一) 能源的资源储量及分布

世界各国的能源生产结构取决于资源储量及全球分布。全球化石燃料的资源储量及分布相对集中,十大资源国占有大部分的资源储量(见表 0-1)。

表 0-1 2008 年全球能源已探明储量及分布

资源	国家资源储量排名及占世界总储量的比重(%)	前十大国家合计(%)
石油	1. 沙特(21.0);2. 伊朗(10.9);3. 伊拉克(9.1);4. 科威特(8.1);5. 委内瑞拉(7.9);6. 阿联酋(7.8);7. 俄罗斯(6.3);8. 利比亚(3.5);9. 哈萨克斯坦(3.2);10. 尼日利亚(2.9)	80.7
天然气	1. 俄罗斯(23.4);2. 伊朗(16.0);3. 卡塔尔(13.8);4. 土库曼斯坦(4.3);5. 沙特(4.1);6. 美国(3.6);7. 阿联酋(3.5);8. 尼日利亚(2.8);9. 委内瑞拉(2.6);10. 阿尔及利亚(2.4)	75.4
煤炭	1. 美国(28.9);2. 俄罗斯(19.0);3. 中国(13.9);4. 澳大利亚(9.2);5. 印度(7.1);6. 乌克兰(4.1);7. 哈萨克斯坦(3.8);8. 南非(3.7);9. 波兰(0.9);10. 巴西(0.9)	91.5

数据来源:BP Statistical Review of World Energy 2009。

根据 BP 统计数据显示,2008 年,全球石油已探明总储量^①约为 12 580 亿桶,储采比^②为 42,其中十大石油主要资源国中有 8 个是石油输出国组织欧佩克(OPEC)^③成员国,占总储量的 71%;全球常规天然气已探明总储量为 185.02 万亿立方米,储采比为 60.4,其中十大天然气资源国有 7 个是欧佩克成员国,占总储量的 46.2%;全球煤炭已探明总储量约为 8 260 亿吨,储采比为 122,煤炭资源区域分布较为均衡,但各国开发潜力差距较大。比如中国的煤炭储量虽然居世界第三位,但是如果以目前的速度进行开采的话,储采比(41)远低于澳大利亚(190)、印度(114)等国。中国煤炭资源的开发利用不仅要面临未来资源枯竭的问题,而且还存在由此带来的巨大的环境问题。

(二) 能源的供求现状

1. 能源供应

虽然全球石油、天然气和煤炭已探明储量仍足以满足未来数十年的能源需求,但是全球

① 已探明储量通常是指通过地质与工程信息以合理的肯定性表明,在现有的经济与作业条件下,将来可从已知储层采出的资源储量。

② 储采比又称回采率或回采比,即储量/产量(R/P)的比率,是指年末资源剩余储量除以当年产量得出剩余储量按当前生产水平尚可开采的年数。储采比越大,资源利用越充分,在同样的开采规模下,资源可用的年限越长。影响储采比的主要因素有:资源开发条件、开采利用方式、开采技术等等。

③ 1960 年 9 月,由伊朗、伊拉克、科威特、沙特和委内瑞拉的代表在巴格达召开会议,决定联合起来共同对付西方石油公司,维护石油收入。会后五国宣告成立石油输出国组织欧佩克(Organization of Petroleum Exporting Countries,OPEC),协调各国的石油政策,维护各自和共同的利益。

能源的可持续发展状况令人担忧。而随着资源的不断开采和消耗,世界能源的资源剩余储量向主要资源国集中的趋势越来越明显(见表 0-2)。虽然近年来俄罗斯和非欧佩克的油气产量不断增长,但其总体储量却在不断下降,影响了其在国际能源市场中对欧佩克的制衡能力,而且随着时间的推移,欧佩克成员国的资源优势会越来越明显。

表 0-2 2008 年全球一次能源的生产情况

资源	国家能源生产排名及占世界总产量的比重(%)	前十大国家合计(%)
石油	1. 沙特(13.1);2. 俄罗斯(12.4);3. 美国(7.8);4. 伊朗(5.4);5. 中国(4.8);6. 加拿大(4.0);7. 墨西哥(4.0);8. 阿联酋(3.6);9. 科威特(3.5);10. 委内瑞拉(3.4)	62
天然气	1. 俄罗斯(19.6);2. 美国(19.3);3. 加拿大(5.7);4. 伊朗(3.8);5. 挪威(3.2);6. 阿尔及利亚(2.8);7. 中国(2.5);8. 卡塔尔(2.5);9. 沙特(2.5);10. 印尼(2.3)	65.1
煤炭	1. 中国(42.5);2. 美国(18.0);3. 澳大利亚(6.6);4. 印度(5.8);5. 俄罗斯(4.6);6. 印尼(4.2);7. 哈萨克斯坦(1.8);8. 波兰(1.8);9. 哥伦比亚(1.4);10. 德国(1.4)	88.8

数据来源:BP Statistical Review of World Energy 2009。

(1) 石油

2008 年,全球石油日平均产量为 8 182 万桶,全球十大石油资源国产量占了全球石油总产量的 49.3%。其中,欧佩克石油产量占了 44.6%,增幅为 2.7%;俄罗斯及前苏联地区石油产量占了 16%,略增 0.2%;非欧佩克国家(13.9)和 OECD 国家(7.1%)的产量都有所下降。虽然国际石油价格连续暴涨,欧佩克调高了其成员国生产配额,但其占全球石油总产量的份额一直比较稳定。国际石油产区构成与剩余可采储量的地区构成之间存在差异,如非 OECD 国家的剩余可采储量只占世界份额的 7.1%,产量却占到 22%,平均储采比仅为 13.2;尽管欧佩克成员国的剩余可采储量占到世界份额 76%,产量却只占 44.8%,储采比达到 77.1,这意味着欧佩克成员国仍将控制着未来大部分的石油供应。

此外,非常规石油资源^①(主要是油页岩^②、重油^③和油砂^④等)正在全球能源结构中扮演着重要的角色,成为常规油气资源的战略性补充。预计 2010 年全球油砂的产油量将达到 200 万桶/日。其中加拿大油砂资源最丰富,如果把油砂资源计入,那么其石油储量将位居世界第二,占全球石油储量的 14%,目前加拿大油砂产油量已占总产量的 50%以上。委内瑞拉作为重油资源最丰富的国家,其重油储量达到 48 亿吨,目前重油产量为 60 万桶/日,占其产油量的 20%左右。美国的油页岩资源储量最丰富,约占全球总储量的 77%。虽然目前仍处于初级阶段,但是据美国能源署(EIA)的估计,2020 年油页岩的产油量可以达到 200 万桶/日,2040 年可以达到 300 万桶/日。

(2) 天然气

2008 年,全球天然气产量为 3.065 万亿立方米,其中传统的天然气生产大国俄罗斯的产量就占了 19.6%。中东地区的产油国也开始看好天然气市场,虽然目前中东地区的天然气产

① 非常规油气资源是指不能用常规的方法和技术手段进行勘探开发的另一类油气资源,其埋藏、储存状态与常规油气资源有较大的差别,开发难度大,费用高。非常规石油资源主要是油页岩、重油和油砂矿等。

② 油页岩(oil shale)是一种含有碳氢化合物的可燃泥质岩,可提炼出以液态碳氢化合物为主的人造石油。

③ 重油(heavy oil)也称为重质油,是一种比重超过 0.91 的稠油,除了粘度高外,硫含量、金属含量、酸含量和氮含量也较高。

④ 油砂(oil sand)也称为焦油砂、重油砂或沥青砂,是已露出或近地表的重质残余石油浸染的砂岩,系沥青基原油在运移过程中失掉轻质组分后的产物。

量不是很大,但是增长很快,是所有地区里面增速最快的(6.3%)。随着对油田伴生天然气的回收利用,减少燃烧空放,中东地区的天然气产量还会进一步提升。中东地区的天然气生产能力也较强,其出口量占了全球天然气贸易量的 23.5%。其中,卡塔尔的液化天然气^①(LNG)出口量世界第一,占了全球天然气贸易量的 14.7%。新兴的天然气生产国特立尼达和多哥、玻利维亚、缅甸、埃及和传统的产油国阿尔及利亚、尼日利亚、利比亚等的天然气产量增长也很迅速,但潜力受储量制约(约占全球总储量 15%左右),未来的生产潜力仍有待观察。此外,全球非常规天然气资源(主要是天然气水合物^②、页岩气^③、煤层气^④、致密气^⑤等)也非常丰富,主要分布在加拿大、俄罗斯、美国、中国和欧洲地区。目前,非常规天然气资源利用面临的重大问题仍是开采技术有待提高,通过进一步降低开采成本,形成商业化和规模化。2009 年,美国的非常规天然气产量已经超过天然气总产量的 50%。根据 IEA 的估计,世界范围内的非常规天然气产量将会从 2007 年的 3 670 亿立方米,增长到 2030 年的 6 290 亿立方米,增长量主要来自美国和加拿大。

(3) 煤炭

煤炭资源丰富,价格也较为稳定,而且随着清洁煤技术^⑥的发展,其在全球能源供应中的作用也被逐渐重新认识。2008 年,全球煤炭产量为 67.81 亿吨,约合 33.24 亿吨油当量(toe)。全球共有 10 个国家煤炭产量超亿吨,10 国产量合计为 60.22 亿吨,占全球产量的 88.8%,其中中国的煤炭产量占全球产量的比重为 42.5%。受需求的驱动,全球煤炭产量持续增长,国际煤炭交易量大增,并形成了太平洋和大西洋两大国际煤炭贸易市场。太平洋市场主要是澳大利亚和印尼的优质低硫动力煤对日本、中国、韩国、中国台湾等国家和地区的出口,大西洋市场主要是南非、波兰、美国对欧洲国家的出口。此外,低成本的哥伦比亚和委内瑞拉原煤也开始替代美国原煤对欧洲市场出口。国际煤炭贸易量快速攀升的原因在于,一方面,欧洲和日本、韩国出于对可耗竭性资源未来前景的风险预期,不愿意首先开采本国储量不多的煤炭资源;另一方面,新兴市场国家对煤炭需求量日增,如传统的煤炭大国中国在 2009 年就成了净煤炭进口国。

(4) 核能

世界核电发展历程大致可分为四个阶段:实验示范阶段(1954—1965 年)、高速发展阶段

① 液化天然气(Liquefied Natural Gas, LNG)是天然气经过净化(脱水、脱烃、脱酸性气体)后,经压缩、冷却,在-160℃下液化而成的,其主要成分为占摩尔体积 70%~95% 的甲烷,其余为乙烷、丙烷、丁烷和少量的极氮、二氧化碳、硫化氢等,无色、无味、无毒且无腐蚀性,燃点较高(接近 600℃),燃烧速度不快,其燃烧排放的二氧化碳比石油少 25%,其体积约为同量气态天然气体积的 1/610,重量仅为同体积水的 45%左右。LNG 通过专用船或罐车进行运输,使用时重新气化。

② 天然气水合物(natural gas hydrate)也称为可燃冰,是天然气与水在高压低温条件下形成的类冰状结晶物质,广泛分布在大陆架边缘、极地大陆架及深海中。目前,其仍处于开发研究阶段,未进行商业化开采。

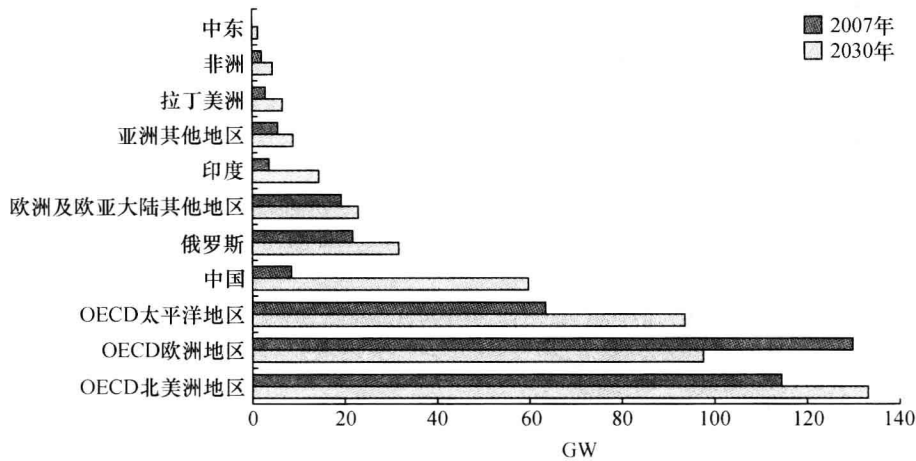
③ 页岩气(shale gas)是从页岩层中开采出来的非常规天然气,具有开采寿命长和生产周期长的优点。大部分产气页岩分布范围广、厚度大,且普遍含气,这使得页岩气并能够长期地以稳定的速率产气。

④ 煤层气(Coal Bed Methane, CBM),俗称瓦斯,是指赋存在煤层中以甲烷为主要成分、吸附在煤基质颗粒表面、部分游离于煤孔隙中或溶解于煤层水中的烃类气体。1 立方米纯煤层气的热值相当于 1.13kg 汽油、1.21kg 标准煤,可与天然气混输混用,且燃烧后几乎不产生任何废气,是洁净、优质能源和化工原料。

⑤ 致密气(tight gas)又称为致密砂岩天然气,是从低渗透的致密砂岩气藏采出的天然气。由于需要进行压裂、酸化及其他工艺处理,才能从低渗透储层中采出,故开采费用高。

⑥ 清洁煤技术是指在煤炭从开发到利用全过程中,旨在减少污染排放与提高利用效率的加工、燃烧、转化和污染控制等新技术的总称。清洁煤技术主要包括两个方面,一是直接烧煤洁净技术。这是在直接烧煤的情况下,需要采用相应的技术措施:(1) 燃烧前的净化加工技术,主要是洗选、型煤加工和水煤浆技术。(2) 燃烧中的净化燃烧技术,主要是流化床燃烧技术和先进燃烧器技术。(3) 燃烧后的净化处理技术,主要是消烟除尘和脱硫脱氮技术。二是煤转化为洁净燃料技术,主要是煤的气化以及液化技术、煤气化联合循环发电技术和燃煤磁流体发电技术。

(1966—1980 年)、滞缓发展阶段(1981—2000 年)、复苏阶段(21 世纪以来)。因受到 1979 年美国三哩岛核电厂事故和 1986 年苏联切尔诺贝利核事故的影响,从 20 世纪 80 年代中期以后,全球核电发电量在总发电量中所占的比例一直停滞在 16%左右。沉寂了多年后,核电发展开始重新受到各国关注,尤其是美国、法国、英国、日本、加拿大开发的第三代核电技术取得了重大进展,核电站安全性有了保证,而核电对于减少碳排放,缓和世界能源紧张的前景凸显。全球核电站主要分布在北美、欧洲、日本和韩国,中国和印度等国近年来也提出了庞大的核电发展计划。2008 年,全球共有核电机组 441 座在运行,在建核电机组 52 座,核发电占世界总发电的 16%。在沉寂了 20 年之后,世界核电产业将进入复苏期。未来 10 年,美国计划增加 60GW 核电装机容量,而法国计划更新目前运行的 58 台核电机组,印度也计划将核电装机容量提高近 18GW,中国计划新增的核电装机容量更是高达 60~90GW。全球将迎来核电发展的第二个高峰期,根据国际原子能机构^①(IEAE)的估计,到 2030 年,全球运行核电站将增加到约 300 座,具体见图 0-3 所示。



数据来源:IEA, World Energy Outlook 2009。
图 0-3 目前和 2030 年全球各地区核电发展状况比较

(5) 新能源和可再生能源

传统水电发电量在逐年增加,其中增长幅度较大的地区是亚太地区和中南美洲,欧洲和北美自 20 世纪 80 年代起,水电发展就进入平稳期。目前已有 49 个国家颁布了支持新能源和可再生能源发展的法律,推动新能源和可再生能源的发展成为许多国家的能源战略的重要组成部分。2008 年,新能源和可再生能源的装机容量达到 280GW,占全球总装机容量的 6.2%,供电量的 4.4%;新增发电能力占全球新增发电能力的 25%,供电量占新增供电量的 23%。其中,欧盟国家在风能、光伏发电方面占据优势,尤其是在海上风电项目方面,欧盟国家的技术处于全球绝对领先的地位。在生物质能方面,美国和巴西在生物燃料领域处于领先地位,欧盟国家则是主要在生物质发电领域占据优势。

2. 能源消费

近几年全球能源消费的增长趋势有所放缓,能源消费格局也出现新的变化。欧美发达国

^① 国际原子能机构(International Atomic Energy Agency, IAEA)成立于 1957 年 10 月,是隶属于联合国的一个国际组织,旨在监督和管理国际间核能的和平利用。总部设在奥地利的维也纳,截至 2006 年 2 月,国际原子能机构共有 139 个成员国。

家由于社会经济发展水平较高,且经济增长日渐趋缓,能源消耗水平也较为稳定;而以中国和印度为代表的发展中国家,正处于经济高速发展阶段,工业化和城市化进程的推进对能源需求极为强烈,能源消耗增长速度非常快,具体见表 0-3 所示。

表 0-3 2008 年全球一次能源消费格局

资源	国家能源消费排名及占世界总消费量的比重(%)	前十大国家合计(%)
一次能源	1. 美国(20.4);2. 中国(17.7);3. 俄罗斯(6.1);4. 日本(4.5);5. 印度(3.8);6. 加拿大(2.9);7. 德国(2.8);8. 法国(2.3);9. 韩国(2.1);10. 巴西(2.0)	64.6
石油	1. 美国(22.5);2. 中国(9.6);3. 日本(5.6);4. 印度(3.4);5. 俄罗斯(3.3);6. 德国(3.0);7. 巴西(2.7);8. 加拿大(2.6);9. 韩国(2.6);10. 法国(2.3)	57.6
天然气	1. 美国(22.0);2. 俄罗斯(13.9);3. 伊朗(3.9);4. 加拿大(3.3);5. 日本(3.1);6. 英国(3.1);7. 中国(2.7);8. 德国(2.7);9. 意大利(2.6);10. 沙特(2.6)	59.9
煤炭	1. 中国(42.6);2. 美国(17.1);3. 印度(7.0);4. 日本(3.9);5. 俄罗斯(3.1);6. 南非(3.1);7. 德国(2.4);8. 韩国(2.0);9. 波兰(1.8);10. 澳大利亚(1.6)	84.6
核能	1. 美国(31);2. 法国(16.1);3. 日本(9.2);4. 俄罗斯(6.0);5. 韩国(5.5);6. 德国(5.4);7. 加拿大(3.4);8. 乌克兰(3.3);9. 中国(2.5);10. 英国(1.9)	84.3
水电	1. 中国(18.5);2. 加拿大(11.7);3. 巴西(11.5);4. 美国(7.9);5. 俄罗斯(5.3);6. 挪威(4.4);7. 印度(3.6);8. 委内瑞拉(2.7);9. 日本(2.2);10. 瑞典(2.1)	69.9

数据来源:BP Statistical Review of World Energy 2009。

2008 年,非 OECD 国家的一次能源消费总量首次超过 OECD 国家。从地区来看,亚太地区一次能源消费增长了 4.1%,为 39.82 亿吨油当量,占全球能源消费增长的 87.1%;其中,中国的一次能源消费增长连续第五年放缓,但仍较上年增长了 7.2%,为 20.02 亿吨油当量,占全球一次能源消费增长的 73.3%。能源主要产区——中东和非洲的消费也保持了强劲的增长势头,其一次能源消费增长均高于平均水平。OECD 国家的一次能源消费持续下降,其中美国一次能源消费降至 23 亿吨油当量,下降幅度为 2.8%,是自 1982 年以来的最大减幅。

2008 年,全球石油消费量出现了自 1993 年以来的首次下降,比 2007 年的 8487.8 万桶/日下降了 0.6%,这也是自 1982 年以来最大的下降量。石油消费下降主要是由 OECD 国家的消费下降引起的。2008 年,OECD 国家石油消费下降了 3.2%,美国的石油消费量就下降了 6.4%,这一方面是高油价对石油需求产生了抑制作用,另一方面新能源和可再生能源的开发利用也对减轻了发达国家对石油需求。但是发展中国家所处的发展阶段是无法跨越的,其对石油的需求仍将不断增加。

2008 年,世界天然气消费增长率为 2.5%,低于过去 10 年平均 3.3%的年增幅。非 OECD 国家天然气消费量第一次超过 OECD 国家,天然气也成为在非 OECD 国家的需求加速增长的唯一化石燃料。其中,中国天然气消费量达到 807 亿立方米,比上年增长 15.8%,远远高于全球平均水平。中东地区由于各产气国强劲的国内需求,天然气消费量的增长也达到 7.6%。由于受到经济衰退的影响,2008 年美国天然气消费量仅增长了 0.6%,除英国天然气

消费量增长 3% 以外, 欧洲大部分国家增长幅度均低于全球平均水平。

2008 年, 全球煤炭消费量为 33.04 亿吨油当量(折合原煤约为 67.38 亿吨), 同比增长 3.1%, 占全球一次能源消费量的 29.25%。其中, 中国煤炭消费量占全球消费量的比重为 42.6%。但是如果去掉中国和印度的增长量, 全球煤炭消费量是下降的。2008 年, OECD 国家煤炭消费量下降了 1.9%, 是自 1992 年以来的最大下降幅度, 在欧盟国家, 煤炭消费更是大幅下降了 5.4%, 部分原因是由于 2008 年欧盟排放交易体系(EU ETS)中碳排放权的交易价格不断提升, 增加了使用煤炭发电的成本, 所以欧盟国家转而使用天然气发电。

此外, 近 10 年来, 全球的核电和水电在一次能源消费总量中的比重一直都比较稳定。2008 年美国核电发电量达到了 192 百万吨油当量, 占全球核能利用的 31%, 法国紧随其后达到 99.6 百万吨油当量, 占全球核能利用的 16.1%。2008 年中国水电发电量达到 132.4 百万吨油当量, 占全球水电利用的 18.6%, 加拿大和巴西水力资源丰富, 水电利用率也较高, 占全球水电利用比率均超过了 11%。

(三) 能源的供求预测

根据国际能源署^①(International Energy Agency, IEA)采用世界能源模型(World Energy Model, WEM)估计, 在基准情景下(假设各国政府政策不改变, 而未来 20 年世界经济将以 3.5% 的平均速度增长, 中国和印度的平均经济增长速度设定在 6.4% 和 5.6%), 世界能源需求将稳步增加, 年均增长 1.5%, 2030 年世界一次能源需求将达 169.79 亿吨油当量, 比 2007 年增长 43.6%, 其中非 OECD 国家的能源需求年均增长 2.3%, OECD 国家为 0.6%, 具体见表 0-4 所示。

表 0-4 未来 20 年全球各地区能源需求预测(单位: 百万吨油当量)

	1980 年	2000 年	2007 年	2015 年	2030 年	2007—2030 年
OECD 国家	4 050	5 249	5 496	5 458	5 811	0.2%
北美洲	2 092	2 682	2 793	2 778	2 974	0.3%
美国	1 802	2 280	2 337	2 291	2 396	0.1%
欧洲	1 493	1 735	1 826	1 788	1 894	0.2%
太平洋地区	464	832	877	892	943	0.3%
日本	345	518	514	489	488	-0.2%
非 OECD 国家	3 003	4 507	6 187	7 679	10 529	2.3%
欧洲及欧亚大陆	1 242	1 008	1 114	1 161	1 354	0.9%
俄罗斯	n.a.	611	665	700	812	0.9%
亚洲	1 068	2 164	3 346	4 468	6 456	2.9%
中国	603	1 105	1 970	2 783	3 827	2.9%
印度	207	457	595	764	1 287	3.4%
东盟	149	389	513	612	903	2.5%
中东	128	378	546	702	1 030	2.8%
非洲	274	499	630	716	873	1.4%
拉丁美洲	292	457	551	633	816	1.7%
世界	7 228	10 018	12 013	13 488	16 790	1.5%
欧盟	n.a.	1 684	1 757	1 711	1 781	0.1%

数据来源: IEA, World Energy Outlook 2009。

^① 国际能源署(International Energy Agency, IEA)成立于 1974 年 11 月, 旨在协调 OECD 国家政府之间的国际能源合作, 合作范围包括: 石油战略储备体系; 节能和替代能源政策; 国际石油市场的信息系统等。

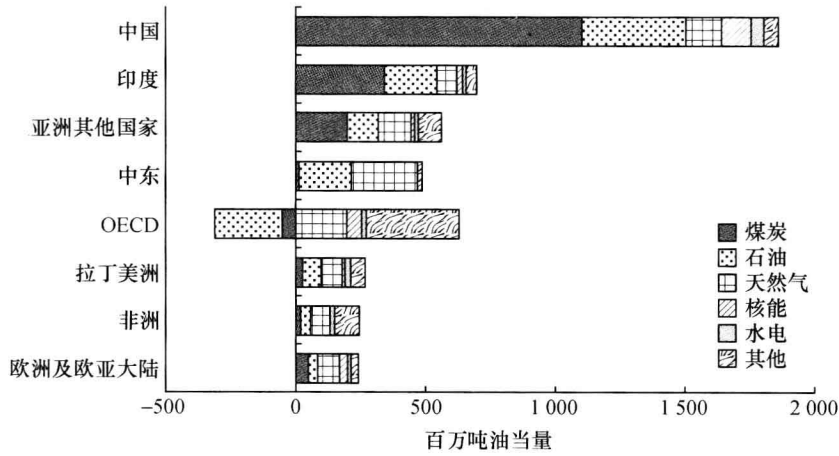
石油仍将是未来最主要的能源,但其在能源消费结构中的比例将有所下降,由 2007 年的 36.5%下降至 2030 年的 31.8%,煤炭在世界一次能源消费结构中的比例将呈增长趋势,将由 2007 年的 27.0%增至 2030 年的 28.0%。天然气在世界一次能源消费结构中的比例将稳步提高,由 2007 年的 22.9%增至 2030 年的 23.3%。核电在世界一次能源消费结构中的比例基本保持原状,其他如水能、风能等新能源的比例将由 2007 年的 7.8%增至 2030 年的 10.9%。关于未来 20 年全球各类能源的需求预测,可见表 0-5。

表 0-5 未来 20 年全球各类能源需求预测(单位:百万吨油当量)

	1980 年	2000 年	2007 年	2015 年	2030 年	2007—2030 年
煤炭	1 792	2 292	3 184	3 828	4 887	1.9%
石油	3 107	3 655	4 093	4 234	5 009	0.9%
天然气	1 234	2 085	2 512	2 801	3 561	1.5%
核能	186	676	709	810	956	1.3%
水电	148	225	265	317	402	1.8%
生物质废弃物	749	1 031	1 176	1 338	1 604	1.4%
其他可再生能源	12	55	74	160	370	7.3%
总计	7 228	10 018	12 013	13 488	16 790	1.5%

数据来源:IEA, World Energy Outlook 2009。

但是,应该指出的是,非 OECD 国家的能源消费结构仍不合理,对化石燃料的依赖程度过高,新能源和可再生能源的比例偏低,不仅不利于国家能源供应安全,而且对减少环境污染和温室气体排放不利。从图 0-4 中可以看出,OECD 国家将在未来 20 年中逐渐减少石油、煤炭的消费,新增能源需求主要通过天然气、新能源和可再生能源来满足。而在亚太地区,尤其是中国和印度,对煤炭、石油的需求仍处于高峰期,保证能源安全的压力将会越来越大。



数据来源:IEA, World Energy Outlook 2009。

图 0-4 2030 年全球各地区新增能源消费量及其构成(单位:百万吨油当量)

三、能源与环境

(一) 能源与环境污染

如表 0-6 所示,能源的开发利用对于环境的影响是多方面的,不仅与能源结构的变化有关,而且与能源产业中的开采、提炼加工、运输、消费等各个环节都有非常密切的关系。