



石油高等院校特色规划教材

非常规地质能源概论

汤达祯 许浩 陶树 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

石油教材出版基金资助项目

石油高等院校特色规划教材

非常规地质能源概论

汤达祯 许浩 陶树 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以非常规地质能源类型、分布及其地质成因的认识与分析为基本线索,系统阐述了煤层气、页岩气、油砂、油页岩、页岩油、甲烷水合物、地热能、核能等地质基础知识、勘探开发方法以及理论和技术进展,并在能源与环境可持续发展的思想指导下,分析了非常规地质能源发展战略。

本书是能源地质工程专业课教材,也可供地质类相关专业师生和相关科学技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

非常规地质能源概论/汤达祯,许浩,陶树主编.

北京:石油工业出版社,2016.7

石油高等院校特色规划教材

ISBN 978-7-5183-1300-6

I. 非…

II. ①汤… ②许… ③陶…

III. 地质—能源—高等学校—教材

IV. P5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 115818 号

出版发行:石油工业出版社

(北京市朝阳区安定门外安华里 2 区 1 号楼 100011)

网 址:www.petropub.com

编辑部:(010)64523697 发行部:(010)64523633

经 销:全国新华书店

排 版:北京苏冀博达科技有限公司

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2016 年 7 月第 1 版 2016 年 7 月第 1 次印刷

787 毫米×1092 毫米 开本:1/16 印张:18.25

字数:467 千字

定价:38.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

《非常规地质能源概论》

编写人员

(按姓氏笔画为序)

毛小平 伏海蛟 刘大锰 刘 玲

汤达禎 许 浩 李 松 肖建新

吴 双 冷 雪 张文忠 张松航

张 彪 罗 磊 赵俊龙 姚艳斌

耿昀光 唐书恒 唐淑玲 陶 树

前 言

珍惜地球上每一“滴”资源,不要将其变成人类最后一滴眼泪。

——(德)华莱士

能源是经济社会发展和提高人民生活水平的重要物质基础。必须坚持把能源作为经济发展的战略重点,提供稳定、经济、清洁、可靠、安全的能源保障,以能源的有效利用支持经济社会的可持续发展。

不同时期能源结构因自然、技术、经济条件的演变而发生转化。如一次能源的消费结构,在资本主义产业革命以前,曾长期以可再生能源——主要是木材为主,使能源布局分散、零星。18世纪中叶产业革命后,蒸汽机普遍使用,煤在消费结构中所占的比重逐步上升,于19世纪70年代占世界一次能源消费结构中的24%,于20世纪初占有60%的优势。这是世界能源消费结构的第一次大转化。20世纪以来,内燃机推广,石油逐渐取代煤的地位,1965年石油首次占消费结构中的第一位,到70年代后期已占消费结构中的一半左右。这是世界能源结构的第二次大转化。能源布局上也相应出现了专业性的大产区、加工区、消费区,以及重要的能源运输线和能源贸易的地区组合类型等新特点。经历20世纪70年代国际能源供应紧张和油价上涨的冲击后,许多国家都加强了煤炭、核电、水力的利用,重视新型接替能源的开发,力图降低石油在能源结构中的比重,开始进入第三次能源结构的转化时期。显而易见,今后必将出现世界综合能源新布局。

美国哥伦比亚大学德籍客座生物学教授华莱士研究亚马孙河流域热带雨林生态时发现,世界上最大的食蚁兽——蚁熊吃蚂蚁时从不“斩尽杀绝”,这是生物链的自然平衡现象。华莱士得到启示:人类要有节制地利用地球上的有限资源。未来20年我国对能源的需求将有明显增长,到2020年,我国对一次能源的需求将达到2000年的两倍,国内能源供应缺口将进一步扩大,而石油、天然气等重要能源对进口的需求也将大幅度提升。从根本上解决我国能源问题,必须牢固树立和认真贯彻科学发展观,切实转变经济增长方式,坚定不移走新型工业化道路。要大力调整产业结构、产品结构、技术结构和企业组织结构,依靠技术创新、体制创新和管理创新,在全国形成有利于节约能源的生产模式和消费模式,发展节能型经济,建设节能型社会;发展接替能源,开发新型能源。妥善处理当前与长远利益关系,把加快中长期能源发展与缓解当前能源供求紧张的矛盾结合起来,把能源规划纳入经济社会发展总体规划。

本书第一章由汤达祯、许浩、李松、吴双执笔;第二章由刘大锰、唐书恒、姚艳斌、张松航、陶树、唐淑玲、刘玲执笔;第三章、第四章由许浩、陶树、张文忠、罗磊执笔;第五章由汤达祯、李松、赵俊龙、伏海蛟执笔;第六章、第七章由汤达祯、肖建新、陶树、冷雪、耿昀光执笔;第八章由毛小平、李松、张彪执笔。全书由汤达祯、许浩、陶树编纂完成。

本书得到石油教材出版基金专门资助,并得到国家自然科学基金重点项目

(41530314)、国家自然科学基金面上项目(41272175)和中国地质大学(北京)优秀教学团队建设项目部分资助。特别感谢业内众多专家的支持帮助,在此一并致谢。本书自2002年作为中国地质大学(北京)能源地质专业试用教材以来几易其稿,一方面因为近年非常规地质能源发展迅速,理论技术不断更新;另一方面非常规地质能源领域广阔,笔者知识盲区在所难免。加之书中引文理解及源处恐有偏差遗漏,敬请相关学者拨冗指正。

笔者谨识

2015年12月31日

目 录

第一章 绪论	1
第一节 能源及非常规能源	1
第二节 能源资源与能源安全	3
第三节 非常规能源展望	10
第二章 煤层(甲烷)气	11
第一节 煤层气成因及地球化学特征	11
第二节 煤层气储集层	19
第三节 煤层气赋存与富集机制	43
第四节 煤层气综合地质评价与勘探选区	60
第五节 煤层气运移与产出机制	75
第三章 页岩气	80
第一节 页岩气及气源岩	80
第二节 页岩气成因机制及成藏	85
第三节 页岩有机地球化学特征	89
第四节 页岩气储层地质特征	93
第五节 页岩气含气量及测量	99
第六节 页岩气的开发	104
第七节 页岩气的研究	110
第四章 油砂、油页岩、页岩油	115
第一节 油砂	115
第二节 油页岩	130
第三节 页岩油	144
第五章 天然气(甲烷)水合物	147
第一节 天然气水合物组成与类型	148
第二节 天然气水合物物理性质及赋存特征	150
第三节 天然气水合物成矿条件及成矿模式	151
第四节 天然气水合物地质分布与资源	161
第五节 天然气水合物综合勘探技术	164
第六节 天然气水合物资源评价方法	166
第七节 天然气水合物开采与环境效应	170
第六章 地热能	173
第一节 概述	173
第二节 地热资源	180
第三节 地热资源普查与勘探	188

第七章 核能.....	210
第一节 核能的利用.....	210
第二节 铀矿床类型与成因.....	216
第三节 铀矿勘探与开发.....	230
第四节 铀矿资源利用与环境经济效应.....	236
第八章 非常规地质能源发展战略.....	248
第一节 非常规地质能源发展面临的形势.....	248
第二节 国际非常规地质能源发展及启示.....	253
第三节 我国非常规地质能源发展现状分析.....	261
第四节 我国非常规地质能源发展战略.....	268
参考文献.....	274

内容提要：能源对社会的正常运转至关重要。能源的选择，成本不再是唯一的标准，竞争力来自对环境保护的考量，即所谓“绿色动力”的选择。

知识点：(1)非常规能源概念；(2)能源资源；(3)能源消耗；(4)能源安全；(5)能源接替。

第一节 能源及非常规能源

一、能源定义

能量是驱使运动的能力。能量超乎视觉，但能感悟其效应；能量不能产生，仅仅可被利用。能源是能量的来源或源泉，是可以从自然界直接取得的具有能量的物质，如煤炭、石油、核燃料、水、风、生物体等；或从这些物质中再经加工转化出的新物质，如焦炭、煤气、液化气、煤油、汽油、柴油、电、沼气等。可以说，能源是能够提供某种形式能量的物质，即能够产生机械能、热能、光能、电磁能、化学能等各种能量的资源。

能源是人类赖以生存的物质，是发展生产、改善生活的物质基础，是国民经济发展的制约因素。能源是现代文明社会主要组成部分。将资源转化成商品并服务于人类离不开能源。发展经济和改善生活是复杂的过程，需要共同的基础，即充足和可靠的能源保障。通过以化石燃料提供动力，建立在大量科学进步基础上的现代技术应用使西方从乡村社会到富足的城市现代化变成现实。从 1973 年的石油禁运到 1979 年的伊朗革命，再到 1991 年的海湾战争，政治事件使得许多人意识到能源对于社会正常运转的重要性。20 世纪 70 年代的能源危机在 80 年代几乎就被淡忘了。然而，那十年足以使人们的环境意识得到加强。今天，全球变暖、酸雨和辐射废料与人们的生活密切相关并受到普遍关注，这当中的每一个议题都与能源利用有关。

20 世纪 70 和 80 年代，不少国家对能源保障的关注激增。90 年代后半期，公众做出了另一种选择——电力供应。电力工业从一个传统的、循规蹈矩的产业变成了反常的和充满竞争的产业。1997 年始，用户选择电力供应商时，成本不再是唯一的标准，而更加决意选择环境侵害最少的商家，即“绿色动力”的选择。

能源遍及社会的各个部门——经济、劳务、环境、国际交往等,也渗透到日常生活的各个方面——起居、饮食、交通、娱乐等。能源资源的利用把人们从繁重的体力劳动中解脱出来并使劳动效率增高。人类曾经不得不依靠肌体的力量为从事的工作提供必要的能源。在现代工业社会中,依靠体能为所从事的工作提供的动力已经不足所需动力的百分之一。

当今世界能源供应与经济增长相互依存的关系突出,充足可靠的能源供应是经济增长的首要任务。全球大约 40% 的能源供应来自于石油,而这 40% 之中的很大部分是出口到工业化国家。例如,日本三分之二的石油、美国五分之一的石油、法国三分之一的石油供应均来自波斯湾地区。如果这些工业化国家在石油来源方面受到严格限制,如减少供应或油价大幅度上涨,经济将蒙受惨重损失。

认识能量意味着对能源资源及其相关的限制以及利用它们的环境后果的理解。能源和环境以及经济发展紧密相连。在过去的 20 年,全球能源消耗大约增长了 25%,而大部分是由发展中国家的能耗增长所造成的。后续的 20 年,估计发展中国家的能耗将增加 100%,以这样的增长速度,可能引发土地退化、水质下降、空气质量下降等一系列负面问题。化石燃料几乎占全球能耗的 90%,CO₂ 排放量持续增加,这将对全球气候造成不可挽回的影响。能源的合理利用既要考虑技术因素,更要考虑社会效应。事实上,持续的经济增长,加上人类生活质量的提高,都应归功于有限能源资源有计划的和有效的利用以及新型能源的发展。

二、能源分类

按能量的原始来源划分:第一类,来自地球以外天体的能量,其中最主要的是太阳辐射能。第二类,来自地球自身的能量,一种是以热能形式储藏于地球内部的热能和重力能,包括火山、地震、地下蒸汽、热岩层、地下热水等;另一种是海洋和地壳中储藏的核燃料所包含的原子能。第三类,来自地球及其他天体的相互作用所产生的能量,地球—月亮—太阳系统由于相互引力的作用,使海水涨落所形成的潮汐能。

按能源的成因划分:分为一次能源(也称天然能源)和二次能源(也称人工能源)。一次能源指在自然界现实存在,不改变其形态就可直接取用的能源,又称原生能源,如石油、天然气、煤炭、水能、太阳能、生物能以及风能等。二次能源指由一次能源经加工转换成另一种形态的能源,又称次生能源,如电力、蒸汽、石油制品、煤气等。二次能源又可分为“过程性能源”和“含能体能源”,当今电能就是使用最广的“过程性能源”;柴油、汽油则是使用最广的“含能体能源”。“过程性能源”目前尚不能大量地贮存,汽车、轮船、飞机等机动性强的现代交通运输工具就无法普遍直接使用从发电厂输出的电能,只能采用像柴油、汽油这一类“含能体能源”。

能源不同于食物和住房,不能以自身来衡量其价值,而要看利用的目的和效果。能源种类很多,如风、流水和存储在物质中的形式(化石燃料——石油、煤和天然气——燃烧提供动力),能源的鉴别最好依据能源的利用目的对其进行描述。自然界能源的总量是恒定的,能源既不会凭空产生也不会凭空消失,只是从一种形式到另一种形式的转化或再分布,例如从风能到电能或从化学能到热能。按能源使用性质可分为燃料性能源和非燃料性能源。按能源的形成和再生性可分为再生能源和非再生性能源。按能源的实物形态可分为固体能源、液体能源和气体能源。按能源的商品性可分为商品能源和非商品能源。按能源对环境的污染程度可分为清洁能源和非清洁能源。按能源载体同地球构成关系划分为地质能源和非地质能源。

依据能源的技术开发程度可分为常规能源和非常规能源。常规能源是指在当前已为

人类社会广泛应用的能源,有时又被称作传统能源,如煤炭、石油、水力等;非常规能源是指在当前限于技术、经济水平,尚未广泛应用的能源,如太阳能、风能、潮汐能等,它们又被称为新能源。

地质体中除煤炭、石油、天然气之外,还赋存有地热能、核能乃至起源于生物母质的其他化石能源如煤层气、油页岩、页岩气、甲烷水合物等,这些在地球演化过程中形成的能源资源有的已被一定程度地开发利用,有的尚缺乏技术、经济竞争力,未成为社会主流能源,被统称为非常规地质能源。

第二节 能源资源与能源安全

人们可能为能源资源量、可持续利用时间而困惑。要进行预测就必须了解能源资源及其有限性和用途,必须考虑未来的能源资源开发技术、燃料价格变化以及能源消耗的增长率。

化石燃料资源中,煤是最容易做出估计的,因为煤矿床通常在一定区域内大面积展布,且常常出露于地表。对石油和天然气的估计比较困难,因为油气藏分散且保存在地面以下数百米到数千米的深度,只有通过勘探才能发现。以现今的技术可以有效开发利用的资源被称为储量。储量不是一个静态的数字,通过发现新资源和提高利用资源的技术方法可以增加储量。

一、资源术语

用于描述化石燃料资源状况的术语很多是模糊的。例如,储量、证实储量和未发现资源等术语被频繁使用,而在很多场合被不恰当采用,因此有必要对这些术语加以区别。地下某一种未被利用或未被发现的资源量很难预测。由于资源预测通常基于尚未完成的探查活动,所以,一些资源经常被遗漏。即使一定数量的某种资源被确认存在,但是经济和技术因素经常会影响其采出量。

美国地质调查局关于石油资源的分类可通过 McKelvey 图解简单表达(图 1-1)。矩形表示某个地区所拥有的石油资源。纵轴表示资源消耗量,横轴表示资源的不确定性。储量处于矩形的左上角,它被定义为通过地质勘探已经确认,并且在现有经济和技术条件下可供开采的资源。未发现的资源位于图的右侧,而左下角则表示那些已经存在,但由于现阶段成本太高而不能开采的资源。随着新的储量被发现,开采成本的降低,这些数量关系将不断发生变化,同时储量的规模也将改变。储量有时被分为地质储量、探明储量和可采储量。地质储量是指在某一确定区域内,没有经过证实而预期的资源量。探明储量是指在已知地区内,由勘探工程控制的那部分储量。可采储量是指在现有的经济技术条件下,能够从已知的油藏中采出的那部分储量。

许多资源分析家认为,地质勘探不可替代,可利用资源的预测不能或者不应该凭借主观臆测。地质问题应该用地质数据来回答。资源的发现和开发过程会伴随技术进步,资源的年产量不仅取决于生产成本和市场需求,还取决于生产技术革命。

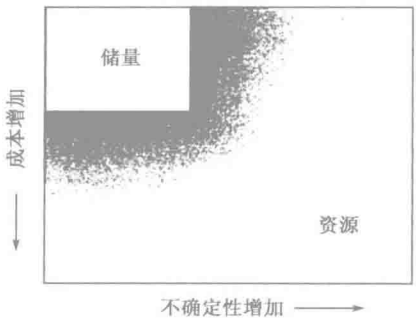


图 1-1 McKelvey 图:根据地质可靠性和经济可行性对储量和资源量的分类

二、能源资源

目前,世界能源消费仍旧主要以化石能源为主,其中以石油消费所占比重最大(图 1-2)。2006 年世界一次能源消费总量为 $155.76 \times 10^8 \text{ t}$ 标准煤,不同能源品种和不同地区存在较大差异。三大化石能源石油、天然气、煤炭消费量分别为 56×10^8 、 38×10^8 、 $43 \times 10^8 \text{ t}$ 标准煤,分别占一次能源消费的 35.7%、24.3%、27.8%。核能、水电两者尽管近年呈上升趋势,但是在能源总消费中的比重仍然不高,分别只占 5.8%和 6.3%。能源消费受资源禀赋和能源生产结构的影响。中东地区油气资源最为丰富、开采成本极低,能源消费几乎全部为石油和天然气;亚太地区煤炭资源丰富,煤炭在生产结构中占 70.6%,使煤炭在能源消费结构中所占比例也相对较高,而石油和天然气比例明显低于世界平均水平;欧洲地区天然气生产略高于石油,达 40.6%,欧洲国家以天然气消费最多,达到 41.3%。

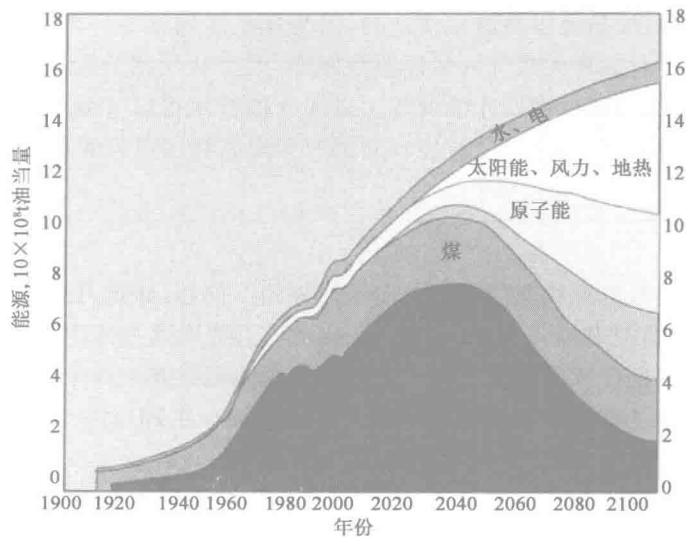
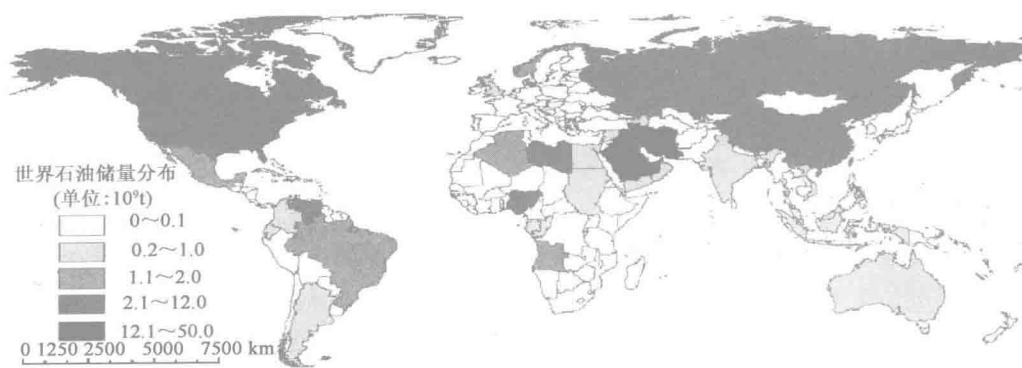


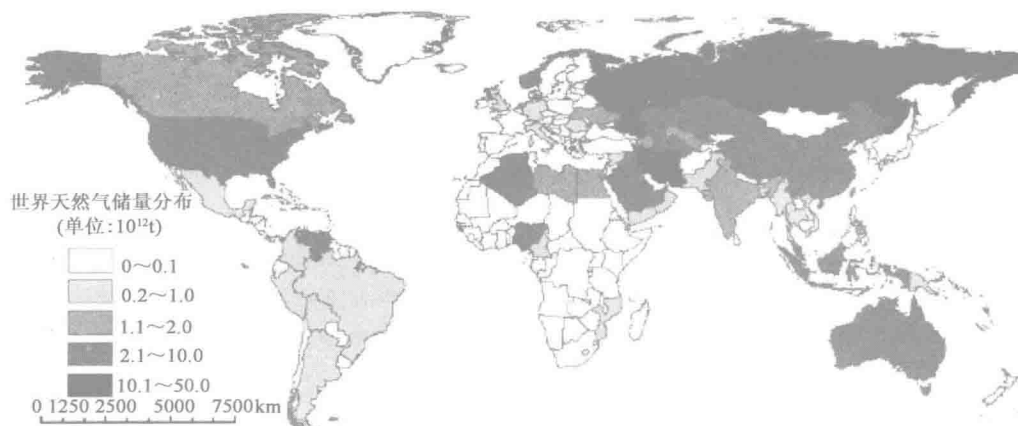
图 1-2 20 世纪、21 世纪世界能源构成(据 Edwards,2001)

石油、天然气和煤炭三大化石能源的全球分布很不均衡。全球石油资源分布差异明显(图 1-3)。从东西半球看,约 3/4 的石油资源量集中于东半球;从南北半球看,石油资源主要集中在北半球。从纬度上看,全球油气资源主要集中在两大纬度带:北纬 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 油区,拥有波斯湾及墨西哥湾两大油区和北非产油区,集中了世界 51.3% 石油储量;北纬 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 油区,内有北海油区、伏尔加及西伯利亚油区和阿拉斯加湾油区。从具体国家分布而论,石油探明储量集中分布在少数几个国家。其中储量最多的国家是沙特阿拉伯,达 $363 \times 10^8 \text{ t}$,占全球的 21.9%。储量前 10 位国家的石油探明储量就占了全球的 83%。中国以 $60 \times 10^8 \text{ t}$ 石油储量列第 9 位。从区域角度看,石油分布主要集中在中东地区,储量前 5 名国家全在中东,包揽了全球 61.5% 的储量,为“世界油库”。其余产油区按储量依次为:欧洲和前苏联、非洲、中南美、北美和亚太地区。

石油的供应基本上决定于世界少数石油富集的国家,产地分布最主要集中在中东地区,几乎占了世界石油产量的三成。其次是欧洲和前苏联地区,以及北美地区。此外南美洲、北非也是重要的石油生产地。而亚太地区、非洲大部则是相对的“贫油区”。产量排前 10 位的国家主



(a)



(b)



(c)

图 1-3 2006 年世界石油(a)、天然气(b)和煤炭(c)资源分布格局
(据朱孟珏等, 2008)

要是沙特阿拉伯、俄罗斯、美国、伊朗、中国、墨西哥、加拿大、委内瑞拉、阿拉伯联合酋长国和科威特,仅此 10 个国家的石油产量就占世界的 63%。与石油产量布局相比,石油消费的空间布局不同,石油生产消费地区失衡严重。石油生产量仅占世界 9.7%的亚太地区,石油消费量竟占世界消费量的 29.5%。其次是北美地区(占 28.9%)和欧洲与前苏联地区(占 24.9%)。这三个地区的消费量总和占世界总量的 83.3%。亚太、北美、欧洲是全球最大的三个石油消费地区。

天然气的地域分布主要集中在中东、欧洲和前苏联,这两个地区占了世界 75.8%的天然气储量。其次是亚太地区、北美和北非地区分布较为集中。其他地区储量很少。俄罗斯储量最多,达 $47.65 \times 10^{12} \text{ m}^3$,占世界的 26.3%,其次是伊朗和卡塔尔。这 3 个国家占世界天然气总量的 55.8%。储量前 10 位的国家占 76%。天然气产量最丰富的地域主要分布在欧洲和前苏联,2006 年达 $10729 \times 10^8 \text{ m}^3$,占世界总产量的 37.3%;北美地区占世界总量的 26.5%;随后是亚太地区和中东地区;中南美洲、非洲产量极少。天然气消费的布局与生产布局相似。欧洲和前苏联地区拥有丰富天然气资源,2006 年天然气消费量占世界的 40%。

世界煤炭资源非常丰富,同其他资源一样,在地区分布上也不均衡。其分布集中于北半球,以亚太地区、欧洲及前苏联地区最为丰富,在全球储量中分别占 32.7%和 31.6%。其次是北美,占 28%。而非洲、中东和中南美洲则储量极少。以国家论,则以美国、俄罗斯、中国探明储量最多,占世界的 57%。储量前 10 位的国家占世界的 91%。相对于石油与天然气,煤炭由于运输条件的限制,大部分是自产自消,生产和消费的地域空间分布基本相同。生产和消费重心集中在亚太地区,产量和消费量都占世界总量的近 60%,中国煤炭产量和消费量就占到世界总量的 40%、亚太地区的近 70%。其次是北美,产量、消费量都占到世界总量的 1/5 强。欧洲和前苏联地区的产量和消费量也分别达到了世界总量的 15%和 18%。而中南美洲、非洲、中东地区由于煤炭已探明储量少,因而生产和消费量有限。

世界核能与水电的生产消费主要以自产自消为主,2006 年消费总量分别相当于 $688 \times 10^6 \text{ t}$ 油当量。核能消费空间分布几乎集中在经济发达的欧美地区。北美、欧洲和前苏联地区占世界总量 78.7%。其次是亚太地区,占世界总量的 20.2%。消费最多的是美国,达 $188 \times 10^6 \text{ t}$ 油当量,占世界 30%的份额;其次是法国和日本。水电消费分布较为均衡,除非洲和中东地区很少消费量以外,欧洲和前苏联地区最多,占世界的 26.8%;其余依次为亚太(25.9%)、北美(22.1%)以及中南美洲(21.5%)。

三、能源消耗

一种特定资源的利用不会持续以指数增长直到其消耗殆尽。一般地,一种资源的开发或利用有一个初始增长阶段;进入矿产资源开发成熟期,产率逐渐达到最大;随后开始下降,直至资源耗尽。产量曲线一般呈钟形(图 1-4 至图 1-6)。当一种资源开始衰竭时,发现和生产变得更加困难,价格上涨,其他资源开始取代其地位。

这些钟形的产量曲线能用作对资源可利用周期进行估计,还能对最大产量年份进行预测。图 1-4 是世界煤产量的曲线。图中曲线预示煤炭资源足够丰富,可以持续 500 年以上,在距初始点 200 年左右尚未达到产量的最高峰。但是对石油和天然气来说,形势完全不同。图 1-5 表明了美国的石油产量变化,预示在 20 年之内美国的石油产量将只有目前的 1/3,还表明美国石油产量的最高峰大致在 1970 年已经出现过,事实也确实如此。图 1-6 天然气产

量曲线也可得出类似的结论,美国天然气产量在1973年达到了高峰。天然气产量没有像Hubbert曲线所预测得下降得快。先进的勘探技术、海上矿床以及电力利用和对天然气产业的需求使天然气产量由预测曲线向上偏离。然而,消费量超过产量,进口量一直攀升以至今达到目前天然气消费量的1/5。

受经济发展和人口增长的影响,世界一次能源消费量不断增加。世界能源消费总量与人口几乎呈正相关,亚太地区人口规模和消费量都最大。能源消费还与经济发展水平相关,像非洲等地区虽然人口众多,但能源消费量却很小。人均能源消费量高的国家多是相对经济发展水平高的发达国家,而发展中国家人均能源消费量相对较低。这些国家大体分为四类:第一类是高消费的发达国家,如美国、加拿大、澳大利亚;第二类是中低消费的发达国家,如英国、法国等;第三类是中低消费的发展中国家,大部分国家是这种状况;第四类是像中国、印度、巴西这些能源消费总量虽然位于世界前列,但是人均GDP和人均消费量均低于世界平均水平。

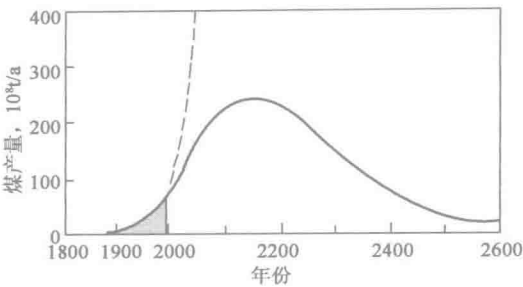


图 1-4 世界煤年产量变化曲线(据 Hubbert,1962)

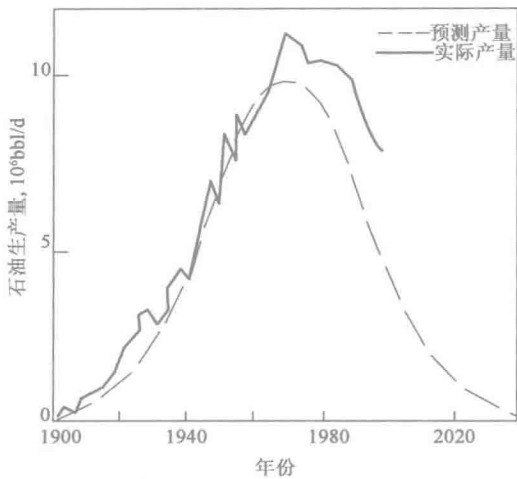


图 1-5 美国石油预测产量和实际产量的对比(据 Hubbert,1962)

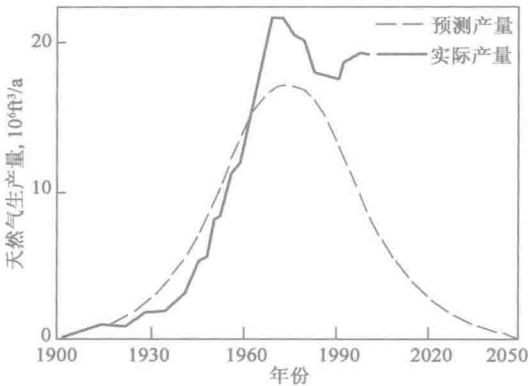


图 1-6 美国天然气预测产量和实际产量的对比(据 Hubbert,1962)

四、节能和环境保护

行为能源需求(强度)是完成一次行为所需要的能量;行为发生频率是行为在一定时间内的动作次数。消耗同样数量的能源,行为强度高(每次活动需要更多的能源)而频率低。节约能源的途径通常是对其中因素进行调整。任何行为造成的能耗是两个因素的乘积:

$$\text{总能耗} = \text{行为能源需求(强度)} \times \text{行为发生频率}$$

提升技术意味着更加有效地使用燃料来执行同样的任务。技术提升是节能最有效的方法,它受物理定律(如热力学第一和第二定律)的制约。通过技术提升节能仍然存在很大挖潜空间,尤其是针对特定作业改善能源利用效率方面。

改变生活方式意指有意识地通过减少活动频率使能耗降低。节能不是单纯的技术问题,能源消耗也取决于“行为的频率”。对于可采取的措施,存在许多障碍,诸如市场限制(比如不同国家的基本消费状况)。高度强调整能的有力依据是:

(1)相对于其他能源供给技术的研发,节能技术在投资方面最划算。也就是说,多数情况下节约一桶油的成本比另外开采一桶油来替代的成本要低。1987年,国际能源机构指出:“在能源节约方面的投资相对于在供给方面的投资所获得的回报更好”。

(2)节约将延长地球上有限的能源资源的使用寿命。目前全世界有超过一半的欠发达国家依靠进口石油来满足其75%或更高的能源需求。节能将为开发可能的可持续性资源如太阳能和核能赢得时间。

(3)节能可减少环境污染。使用更少的能源,空气污染、水污染、辐射污染、热污染、全球变暖和酸雨都会减少。

(4)节能技术比增加供给效果更为快捷。开发一个新煤矿需要2~4年,建设一个汽轮电站需要2~3年,建设一个燃煤火力发电厂需要5~7年,建设一个核电站要用9~11年时间。许多现成的节能技术简单易行,现在就可采用,例如建筑物隔热技术。

(5)化石燃料资源的节约对未来尤其重要,因为其作为化工原料(如制药和塑料)的用途与价值远远超出其作为燃料以产生动力的做法。

五、能源安全

传统的能源安全观,强调以能源供应的充足、持续和价格合理为基本内容,反映的是石油、煤等高碳经济的时代特征。直到今天,世界各国仍普遍将高碳能源的供应、需求、价格、运输和使用等问题的合理安排和实施效果作为本国能源安全的评价标准。二战以来,石油在全球能源需求增长中充当着主角。1950年,石油在世界能源消费量中占有的比率不到三分之一,而今天几乎已经占到一半。石油低廉的成本和广泛的用途使其在扩张的经济领域成为首选燃料。过去石油给世界能源和经济格局带来的变化极为迅速。对石油价格按时间序列进行考察,这些国际变化事件就会突显出来(图1-7)。

假定货币稳定,那么油价真正的下跌发生在20世纪50到60年代,这激发了石油消费的快速增长。在这种扩张的早期,大部分的石油生产被大型跨国公司所垄断,然而,产油国逐渐取得了对石油操纵的更多控制权。1960年,产油国联合组织——欧佩克(OPEC)成立,由于世界范围的政局变动和石油需求增长,欧佩克的影响力日益扩大。20世纪70年代早期,欧佩克国家在石油销售市场份额增加,他们开始制定出口油价并且从外国公司手中夺回了对石油的控制权。到70和80年代早期,多起政治事件引起油价连续攀升,政治背景下的油价上涨效应仍然存在。1973年10月,阿拉伯—以色列战争(第四次中东战争)爆发,欧佩克中的阿拉伯成员国减少了产量并对包括美国在内的一些西方国家采取了石油禁运。石油供应的中断导致世界市场油价增至原来的3倍,从8\$/bbl上升到25\$/bbl以上(据1985年美元面值计算)。1978年和1979年的伊朗革命中断了这个国家几乎每天 6×10^6 bbl的石油生产。即使其他国家提高产量并采取了一些平抑措施,仍然造成了世界石油市场大约 2×10^6 bbl/d(MBPD)的短缺,同期油价翻了一番,从大约22\$/bbl上升到44\$/bbl。

世界能源经济对高油价的反应就是减少能源消费,更有效地利用能源以及寻求发展替代能源。美国于1981年对油价解除管制,产量增加,钻探速度创下空前纪录。作为对高油价的

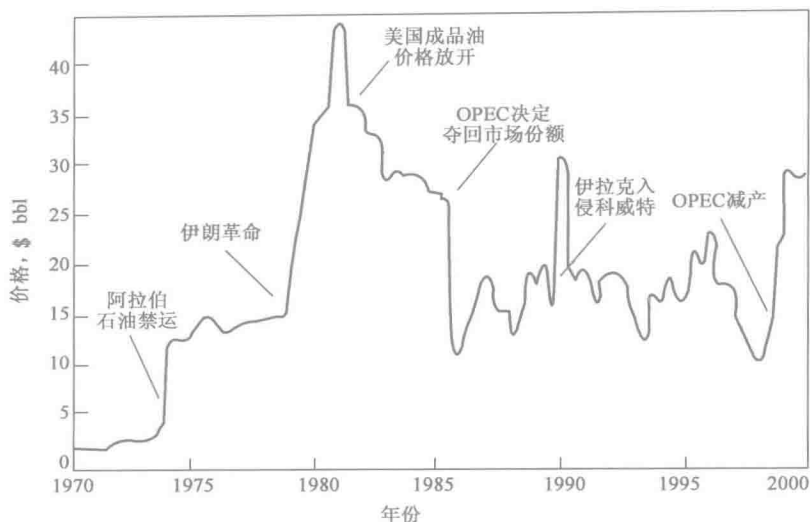


图 1-7 1970—2000 年反映国际政治事件的世界石油价格变化(据美国能源信息中心,US EIA)

市场反应结果之一是世界对欧佩克的依赖,由 1980 年的大约 28MBPD 下降到 1985 年的大约 17MBPD。那段时间,世界石油消费下降了 14%。1981 年油价开始下跌。1986 年油价几乎降低到原来的三分之一,因为欧佩克试图通过增产和降低油价夺回他们在世界石油市场中失去的份额。在不到一年的时间内,沙特阿拉伯将其石油日产量增至 3 倍,几乎达到 6MBPD。1990 年 8 月,伊拉克攻打科威特使得石油价格突然上涨,达到了 8 年来的最高点。此后由于其他国家如沙特阿拉伯石油产量开始大幅提高,油价再次开始下降。1991 年 1 月伊—科战后油价再次大幅下降。

世界范围内,石油进口增加以防备可能出现的能源危机。1988 年以来,油价在 1994 年曾降到最低点,因为世界市场石油供应量过饱和。由于欧佩克削减产量以及大多数国家正在经历能源需求的增长期,油价在 21 世纪初又上涨到了 1990 年以来的最高点(超过 30 \$/bbl)。接下来的若干年中,能源需求方面的大部分增长极可能来自于东欧和中国,在能源供应方面的增长将主要来自于沙特阿拉伯、科威特和阿拉伯联合酋长国。

在经济全球化背景下,围绕能源的国际竞争与合作都在上升。虽然越来越多的国家重视参与国际能源合作,但能源出口国与消费国之间、能源消费大国之间仍存在复杂的利益与矛盾,国际竞争也在不断加剧。加上国际油价长期居高不下、高位震荡,从长远看,产油国和消费国都将面临巨大压力。唯有国际社会进一步对话与合作,才有可能对其加以综合解决。

能源安全是一个老命题,但经济全球化的发展和维护能源安全的实践却总是不断地赋予它新的内涵。为保障全球能源安全,应该树立和落实互利合作、多元发展、协同保障的非常规能源安全观。新的能源安全观是以可持续发展为出发点,强调环境安全是能源安全战略中的重要组成部分,维护能源安全需要超越高碳能源极限,不断进行多元化发展。新型能源安全观不仅需要战略的新高度、新思维,更需要关注新现象,解决新问题。能源安全问题是一个全球性问题。基于人口、发展和环境综合考虑,只有各国政府、民间组织、企业、研究机构携手合作,才有可能应对 30 年、50 年后全人类不断面临的挑战。这种合作首先应该是共同努力提高能源消费效率,降低能源使用量。同时,要在新技术、非常规能源的研究上从国家间的合作扩大到企业间的合作,要扩大对非常规能源、可替代能源、可再生能源的研究和实质性投入。