

现代能源经济学

MODERN
ENERGY ECONOMICS

林伯强 主 编

魏巍贤 任 力 副主编

F416.5/4

2007

现代能源经济学

林伯强 主 编

魏巍贤 任 力 副主编

中国财政经济出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

现代能源经济学/林伯强主编. —北京: 中国财政经济出版社, 2007.9

ISBN 978-7-5095-0216-7

I. 现… II. 林… III. 能源经济学 IV. F407.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 142914 号

中国财政经济出版社出版

URL: <http://www.cfeph.cn>

E-mail: cfeph@cfeph.cn

(版权所有 翻印必究)

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮政编码: 100036

发行处电话: 88190406 财经书店电话: 64033436

北京财经印刷厂印刷 各地新华书店经销

787×1092 毫米 16 开 23.25 印张 566 000 字

2007 年 10 月第 1 版 2007 年 10 月北京第 1 次印刷

印数: 1—2 000 定价: 45.00 元

ISBN 978-7-5095-0216-7/F·0179

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

前 言

21 世纪的头 20 年是我国全面建设小康社会, 加快推进现代化建设的关键时期。我国经济转型过程中的工业化、城市化与结构调整将对能源产生极大的依赖性, 同时也暴露出种种问题: 能源消费需求的迅速增加与供给约束的矛盾更加突出; 以煤为主的能源消费结构, 短期内难以改变; 环境污染引发种种问题, 影响社会可持续发展; 能源效率低下, 节能降耗任务艰巨; 国际能源市场变化莫测, 能源安全形势愈发严峻; 适应社会主义市场经济的能源体制尚未建立起来。考虑到我国人口众多和人均资源占有量不足的基本国情, 我国面对的能源形势与挑战比发达国家曾经历的时期要复杂得多, 能源问题远远超出了能源本身, 它成为国际政治、外交等领域引人瞩目的热点问题。

以上这些问题迫切需要加强对能源经济的研究, 特别是对能源和经济增长、社会发展的关系、能源资源的合理利用、能源的供求平衡、能源价格和税收、投资和筹资、能源效率与节能、能源贸易等问题的研究。事实上, 能源经济学的研究在国外方兴未艾, 但是近年来越来越受到重视, 除了主流的权威期刊发表了大量的能源经济研究论文以外, 还定期出版 *Energy Economics*、*Resources and Energy Economics*、*Environmental and Resources Economics* 等刊物。

本书是我国进入 21 世纪以来, 综合性大学推出的第一本现代能源经济学著作。它依托厦门大学中国能源经济研究中心近年来的科研工作, 在借鉴国内外众多著作的基础上, 对原有能源经济学教材作了更新。该书与国内外有关著作相比, 具有以下特点:

1. 立足于能源市场在资源配置中的作用来研究能源, 对每一种能源着力于从市场的角度, 阐述其在国内外市场的供求关系, 以及价格机制的作用。

2. 强调能源的经济学方面, 侧重于能源与宏观经济运行、能源的需求与供给、能源与环境等方面, 对能源技术经济问题不做较多涉及。

3. 结构全面、时代感强。既涉及主要能源, 又涉及非主要能源, 并对能源与循环经济、节能、能源金融等前沿的热点内容做了新的阐述, 具有很强的时代感。

4. 世界眼光。书中贯彻了比较的研究方法, 对中国的各种能源政策, 以及其他国家的能源政策做了较多的比较分析。

本书可供工科、石油、地质、财经院校的本科生、研究生作为教材, 也可供能源经济研究的学者, 能源企业的经营管理人员、技术人员学习参考使用。

本书由林伯强教授(厦门大学中国能源经济研究中心主任)任主编, 魏巍贤教授(厦门大学中国能源经济研究中心副主任)及任力讲师任副主编。编写过程中博士生李丕东、陈智文, 硕士生连升、谢春、雍艳、刘权辉、王超、李阳等参与了资料的收集、整理与分析, 特

此致谢。写作过程中，我们参考了大量的著作，在此，谨向他们表示感谢。

本书的出版得到了厦门大学经济学院金融系的大力支持，在此向金融系有关领导致以诚挚的感谢。

尽管我们力图使本书的写作具有新意，但由于种种原因，本书还有很多不足之处，欢迎读者给出宝贵意见。

作者

2007 年 6 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 能源与能源经济	(1)
第二节 能源经济学中的常用单位	(4)
第三节 能源市场、价格与效率	(8)
第四节 能源与经济活动	(12)
第二章 石油市场	(19)
第一节 石油资源简介	(19)
第二节 世界石油资源的分布与生产	(24)
第三节 石油产量理论	(30)
第四节 石油贸易与运输	(39)
第五节 石油市场与价格	(42)
第六节 世界大国的石油政策	(55)
第三章 煤炭市场	(64)
第一节 煤及煤炭资源	(64)
第二节 煤炭市场概况	(70)
第三节 煤炭供求	(83)
第四节 煤炭价格	(90)
第五节 煤炭贸易	(99)
第六节 煤炭政策	(106)
第四章 天然气市场	(111)
第一节 天然气以及天然气资源概述	(111)
第二节 天然气供需分析	(121)
第三节 天然气价格	(129)
第四节 天然气的生产、输送与储存	(137)

第五节 世界天然气市场·····	(144)
第六节 中国的天然气市场·····	(156)
第五章 电力市场·····	(166)
第一节 电力市场概述·····	(166)
第二节 电力需求·····	(169)
第三节 电力供给·····	(178)
第四节 电价·····	(191)
第五节 电力市场改革·····	(194)
第六章 新能源和可再生能源·····	(204)
第一节 核能·····	(204)
第二节 太阳能·····	(211)
第三节 风能·····	(219)
第四节 生物质能·····	(224)
第五节 我国的可再生能源·····	(227)
第七章 能源与金融·····	(237)
第一节 能源期货市场简介·····	(237)
第二节 能源期货·····	(240)
第三节 能源期权·····	(245)
第四节 能源互换·····	(250)
第五节 能源项目投资决策·····	(253)
第六节 能源风险管理·····	(258)
第八章 能源、环境与循环经济·····	(262)
第一节 能源与环境·····	(262)
第二节 能源与可持续发展·····	(279)
第三节 循环经济·····	(281)
第四节 环境污染的经济分析与政策·····	(290)
第九章 能源效率与节能·····	(299)
第一节 基本概念·····	(299)
第二节 能源效率与节能的技术经济指标·····	(303)
第三节 国外节能政策·····	(307)
第四节 我国的节能政策·····	(315)

第十章 能源安全的理论与政策·····	(326)
第一节 能源安全理论和能源安全形势·····	(326)
第二节 世界主要地区的能源安全政策·····	(336)
第三节 中国的能源安全形势·····	(347)
第四节 中国的能源安全政策·····	(350)
主要参考文献·····	(359)

第一章 绪 论

第一节 能源与能源经济

一、能源的基本概念

能源是指能提供能量的自然资源。它可以给人们提供所需要的电能、热能、机械能、光能、声能等。煤炭、石油、天然气、水力、风力、原子能、太阳能和地热能等均属于能源的范围。根据能源的性质，一般可分为一次能源和二次能源。一次能源是可直接利用的自然界的能源；二次能源是将自然界提供的直接资源加工以后所得到的能源。一次能源又分为再生能源和非再生能源。再生能源是指不需要经过人工方法再生就能够重复取得的能源；非再生能源有两重意义，一是指消耗后短期内不能再生的能源，如煤、石油和天然气等；二是指除非用人工方法再生，否则消耗后也不能再生的能源，如原子能。能源分类见表 1-1。

表 1-1 能源分类表

能源类别		一	二	三	四
一次能源	再生能源	太阳能、风能、水能、生物质能、 海洋能			
	非再生能源	煤炭、石油、天然气、油页岩			
二次能源		地热能			
		原子能			
		焦煤、煤气、电力、蒸汽、沼气、酒精、 汽油、柴油、煤油、重油、液化气			

由于各种能源的单位质量所含热量不同，在计算各种能源的消耗时，均须折算成标准煤。标准煤的发热量为 29 308 千焦/公斤。石油的平均发热量为 41 868 千焦/公斤。因此，1 吨石油相当于 1.42 吨标准煤；1 000 立方米天然气相当于 1.33 吨标准煤；1 吨很干的干柴相当于 0.60 吨标准煤。

从表 1-1 可见，在一次能源的再生能源中，有一类、二类 and 四类三种不同的可再生能源。第一类是太阳能及由太阳能间接形成的再生能源，第二类是地热能，第四类是潮汐能。现分别介绍如下。

太阳能是地球上可再生能源的主要来源。在无大气影响下，与太阳光垂直的每平方厘米

的地表面上,所接受的太阳辐射功率为 0.135 瓦。因此,太阳辐射到地球的总功率为 0.172×10^{18} 焦/秒或 5.438×10^{24} 焦/年。可利用的太阳能估计每年有 2.55×10^{12} 焦,折合成标准煤有 87×10^{12} 吨。

风能、水能、生物质能和海洋能是太阳能的一种间接形式。在地球和大气中,各处接受到的太阳辐射能是不同的。各处空气温度的不同,造成气压不同,进而形成空气流动,空气流动就是风,风中蕴藏的能量就是风能。海洋中由于太阳辐射造成的运动叫海流,海流中包含的能量为海洋能。风能和海洋能的总功率约为 370×10^{12} 瓦,折合成标准煤为每年 0.37×10^{12} 吨。但因风能和海洋能很分散,所以利用率比较低。水能是水的动能。海洋中的水在太阳辐射下,加热变成水汽,再迁移到地球的高处,变为水,在重力作用下产生动能。全世界潜在的水能功率仅为 2.8×10^{12} 瓦,目前约有 10% 的水能资源被利用。每年可利用的经济性能好的水电大约只有 4.4×10^{12} 千瓦时,折算成标准煤仅 540×10^6 吨。生物质能是通过光合作用将部分太阳辐射能贮存于生物质中的能量。全世界每年总共约生成 0.162×10^{12} 吨生物质,折合成标准煤为 0.115×10^{12} 吨。

地热能是地球内部的热能释放到地表的能量。由于地热能的温度较低,所以能量质量较差。地热能的总功率约为 0.3×10^{12} 瓦。

潮汐能是由于地球、月球、太阳的引力相互作用,引起海水作周期性涨落运动所形成的能量。全世界潮汐能的总功率约为 0.3×10^{12} 瓦。

综上所述,在一次能源的再生能源中,太阳能是最主要的能源。

煤、石油、天然气和油页岩等在短期内无法产生的非再生能源,实际上是很久以前的太阳辐射能形成的,因此,也属于第一类。煤炭是地球上蕴藏量最丰富、分布地域最广的化石燃料。据 2004 年 BP (英国石油公司) 世界能源统计,世界煤炭证实储量(能够经济回收的资源量)已从 1978 年的 6 364 亿吨增长到 2003 年的 9 845 亿吨,增长了 54%,按现在的生产能力可采近 200 年。根据美国《油气杂志》统计,截止到 2004 年 1 月,世界石油剩余探明储量为 1 733.99 亿吨。另据 BP 统计,世界天然气剩余探明储量由 1983 年的 92.68 亿立方米增至 2003 年的 175.75 万亿立方米,20 年间增加了近一倍。^①

属于第三类的非再生能源是原子能。原子能实际上指的是核能。核能可分为两类,一类是核裂变能,另一类是核聚变能。核电生产所需的铀等资源探明储量很丰富,在可预见的将来不存在短缺问题。核聚变材料所能释放的能量比全世界现有总能量大千万倍,因此,核聚变的能量可看作取之不尽的能量。

从上面的介绍可以看到:第一类能源是与太阳能有关的能源;第二类是与地球内部的热能有关的能源;第三类是与核能反应有关的能源;第四类是与地球、月球、太阳相互联系有关的能源。

如果按科学技术发展水平来划分,则可分为常规能源和新能源。在不同历史时期的科学技术水平下,已经被人们广泛应用的能源,称为常规能源。现阶段常规能源包括煤、石油、天然气,以及核裂变能和水能五种。其他正处在研究阶段,尚未大规模利用的能源,如太阳能、风能、海洋能、核聚变能等称为新能源。在我国,由于核裂变能尚处于起步阶段,故把核裂变能也称为新能源。

^① BP (英国石油公司) 2004 Statistical Review of World Energy, p.20。

二、能源经济学的研究对象与范围

能源经济学作为经济学一个新的分支,起始于20世纪70年代的石油冲击。在此之前,人们对生产要素投入的认识一直笼统地局限于劳动力、资本和土地,能源通常被看作是原材料的一部分,没有引起经济学家必要的注意,更谈不上对能源经济的研究。1973年开始的石油冲击,使商品能源的消费增长率由1970年的4.8%降为1973年的3.4%。能源消费增长率的下降引起了经济增长率的大幅度下降,这一现象使经济学家们把目光转移到能源上来,开始了能源经济的研究。国内,大量事实表明我国的能源增长不能满足我国国民经济发展的需求,能源严重短缺与高能耗的粗放增长方式成为国民经济发展的“瓶颈”。因此,从80年代起国内经济学者开始了能源经济的研究,并逐步建立起能源经济学这门新兴的经济学科。

由于能源经济学这门学科兴起不久,国内学者对能源经济学这门学科的内容有不同的看法。我们认为能源经济学是一门典型的软科学,它包括以下八方面的研究课题:

1. 能源和经济增长、社会发展的关系。在国外存在着两种不同的意见,一种认为经济增长与能源供应有着固定的联系,另一种意见则相反。一般来说,对发展中国家而言,能源供应和经济增长是正相关的,而对于技术较发达的国家而言,可以通过技术进步的方法来减少能源的需求。

2. 能源资源的合理利用。能源作为重要的资源,必须研究如何使它的消费代价最小,同时求得国民收入最大。这是因为资源的消费和开发本身不是目的,而是提高国民收入和人民生活水平的手段。因此,应该注意使资源开发速度和国民收入增长速度相适应。

3. 能源的供求平衡。能源的供求平衡不光是指国内能源平衡,而且要注意利用能源的进出口达到能源平衡。能源的供应量和需求量都是价格的函数,价格是调整供求达到平衡的有效手段,无论国内市场还是国际市场均是如此。

4. 能源价格和税收。能源价格应该成为最有活力的经济杠杆,而税收则是一种行政性的调节手段,两者是有区别的,不可相互替代。价格除了起到价值尺度的作用之外,还应起到信息载体、分配手段和调节能力的作用。

5. 能源投资和筹资。能源工业是我国的短缺工业,扩大再生产需要大量的投资,而能源工业的投资周期长、资金产出率低,需要政府采取倾斜的产业政策加以扶植。

6. 节能。能源资源不同于其他自然资源。首先是需求的普遍性,几乎任何生产和服务都需要能源。其次是难以替代,不同种类能源间可实行某种替代,但很难用资金在短期内替代能源。第三是不可重复使用,这是热力学第二定律已经证明了的。这三个特点都加强了节能的重要性。从经济学角度看节能,能源价格的合理化是节能的首要条件和动力。我国工业是用能第一大户,节能潜力很大,应努力降低单位产值能耗。

7. 能源的内部替代和外部替代。商品能源的最佳内部结构、非商品能源的合理比重、电能与一次能源的合理比例、新能源与可再生能源的地位和发展前景等等都属于能源的内部替代问题。能源与资金、能源与劳动力之间属于外部替代性关系。需要研究这种替代的客观规律和在什么范围、什么程度上是合理的。

8. 能源的国际贸易。对外贸易一般应遵守比较优势原则,即出口具有优势的物品。要在对外贸易中获取经济效益,原则上应出口有高附加值的加工品,进口初级产品。这和国内

产业结构的调整、农业劳动力向工业和服务行业转移有着密切的联系。目前我国交通运输业是国民经济制约因素，公路和航空运输正待高速发展，石油产品用于国内，经济效益高于出口。

从上面介绍可见，能源经济学包含着极其丰富的内容。而且随着社会经济的发展，能源经济学的研究范围与对象也在不断扩大。

第二节 能源经济学中的常用单位

一、单位与热量等价物

首先，我们需要知道一公吨（one metric ton = 1t）等于 2 205 磅，2.2 磅等于 1 公斤。（类似的，1 英寸 = 2.54 厘米）。在日常生活中，我们通常使用的吨是短吨，或者被称为是简吨（simply ton），它等于 2 000 磅。因此，1 公吨 = 1.1023 短吨。此外还有一种单位叫“长吨”，它等于 2 240 磅。

现在让我们看一些能源的符号和转换因数（见表 1-2）。

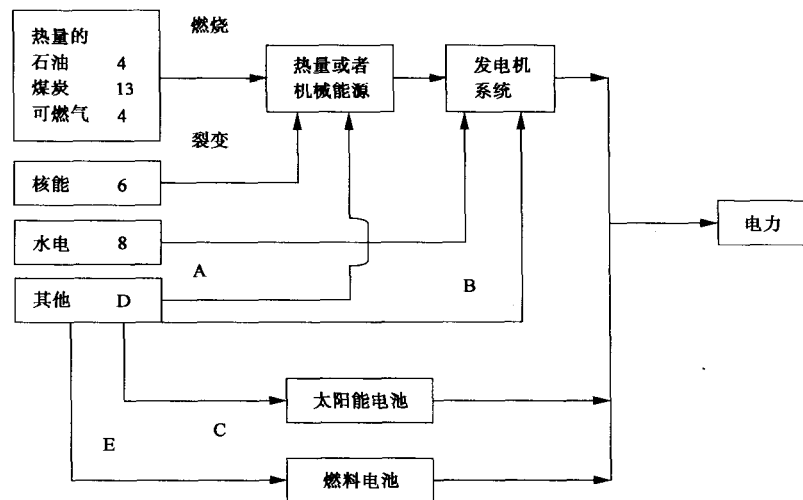
表 1-2 能源的符号和转换因数

称谓	符号	幂	含义	举例
Kilo	k	10^3	千	kW（千瓦）
Mega	M	10^6	百万	MW（百万瓦）
Giga	G	10^9	十亿	GW（十亿瓦）
Tera	T	10^{12}	万亿	TW（万亿瓦）
Peta	P	10^{15}	千万亿	PW（千万亿瓦）
Exa	E	10^{18}	百亿亿	EW（百亿亿瓦）

在绝大多数情形下，能源可以被定义为任何使物体可能工作的事物——例如，产生克服阻力的运动等。能源有许多种形式，它最有趣的特征之一是：运动的所有物理过程都包括了从一种形式到另一种形式的能源的转化。例如，煤炭中的化学能够转化为活跃的热能。热能和 水相结合，就能够产生锅炉里的水蒸汽。水蒸汽再被用来推动涡轮，涡轮推动发电机的轴旋转，从而产生了电力。类似的，食物中的化学能能被转化为机械能，也就是说，有做物理功的能力，或者化学能将转化为这个人比较擅长做的“功”。图 1-1 展示了其中的一些概念，同时也介绍了一些以后用得着的信息。

正如图 1-1 所示，1985 年每天发电平均需要投入等价于 3 500 万桶原油的能源，记为 35Mboe/d，而每天产出的电力相当于等价的 1 100 万桶原油的能量，记为 11Mboe/d。这意味着电力生产和传输的效率大约为 31.5%：大概略高于三分之二的投入能量在到达消费者手中之前就被损耗掉了。下面我们介绍一种重要的计算“等价物”的入门方法。但是需要注意

的是，考虑到“约等”的使用，可能会引起一定的小差异。



投入：3 500万桶原油/天

产出：1 100万桶原油/天=6 825万亿千瓦时/年

A: 燃料用生物质、地热能、太阳能

B: 风力、潮汐、波浪

C: 太阳能

D: 可以忽略

E: 氢氧作用

图 1-1

资料来源：壳牌简报服务，1986 年。

让我们先看看功率与能源这两个概念的意义。功率是能量转化的时间比率。国际单位制（SI）中功率的单位是瓦特，然而瓦特比通常我们使用的千瓦（=1 000 瓦特）小得多。现在我们把它作适当的变形。一磅煤炭（=0.4545 公斤）平均包含 12 500 英制热力单位（Btu）的热量。按照定义，一个英制热力单位是指一磅水（大约 1 品脱）升高一华氏度所需的能量数量。因为 1 吨等于 2 205 磅，它平均包括 $12\,500 \times 2\,205 = 27\,563\,000$ 英制热力单位，四舍五入后约等于 27.6Mbtu。（记住：1 吨 = 1 公吨。你还应该特别注意“平均”这一表达的使用。）

现在让我们介绍两种电灯。一种产生大量的光亮，大约有 500 瓦特的功率。而另一盏相当微弱，大概只有 50 瓦特。如果煤炭中的热能完全转化为电能（也就是说其效率为 100%），那么 3 412Btu 可以产生 1 千瓦时（kWh）的电能（在这里，kWh 是衡量电能的单位，而不是功率的单位）。500 瓦特和 50 瓦特的灯泡功率，分别告诉了我们煤炭潜在的能量消耗速度。如果一吨煤炭中的 27 600 000Btu 的能量能够在一个完美的系统中全部被转化为电力，那么它能够提供大致 $27\,600\,000 / 3\,412 = 8\,090$ 千瓦时的电能。换句话说，在这个完美的系统中，两个灯泡中功率比较大的那个灯泡，它以每小时 500 瓦特的速率消耗电力，一吨煤炭所产生的能量能够供其使用 $8\,090 / 0.5 = 16\,180$ 小时。另一个灯泡需要 $8\,090 / 0.05 = 161\,800$ 小时才能耗光一吨煤炭燃烧所产生的能量。现实中，矿物燃料转化为电能的效率远低于 100%。在大多数情况下，32% 的效率比例较具普遍意义，所以平均而言，它需要 10 662（= $3\,412 / 0.32$ ）

Btu 的热能来获取 1 千瓦时 (kWh) 的电能。此外还有另外一种处理方法: $1\text{kWh}(\text{电能}) = 3.12\text{kWh}(\text{矿物燃料})$ 。举例来说, 联合国和经济合作与发展组织 (OECD) 采用如下的比率进行计算: $1\text{kWh}(\text{电能}) = 2.6\text{kWh}(\text{石油})$ 。

如上所述, 一吨煤炭平均蕴含着 27 600 000Btu 的能量。类似的, 一桶石油平均含有 5 800 000Btu 的能量。这些都是平均数, 我们可以以石油为等价量来讨论图 1-1 中的煤炭用量。例如, $1\text{吨煤炭} = 27\,600\,000/5\,800\,000 = 4.75\text{桶等价石油}$ 。在图 1-1 中, 我们每天有 1 100 万桶 (11Mboe/d) 等价石油的产出, 相当于 $11 \times 10^6 \times 5.8 \times 10^6 = 63.8 \times 10^{12}\text{Btu}$ 。它可以转化为千瓦时 ($= 63.8 \times 10^{12}/3\,412 = 1.869 \times 10^{10}\text{kWh/d}$)。由于这些数字显得相当大, 所以使用另一个单位——万亿瓦时 (TWh)——变得更有用。1TWh = 1 万亿瓦时。相应地, 上面的数字变为图 1-1 所表示的 18.65 万亿瓦/天 (TWh/d), 或者 6 825 万亿瓦/年 (TWh/y)。通过同样的方法, 如果我们需要的话我们可以使用百万瓦时 (MWh), 或者十亿瓦时 (GWh)。

当电能被定义为一个“比率”的时候, 它并没有直接和时间相联系。例如, 一座发电站的“额定功率”可能是百万瓦。然而, 在灯泡的例子中, 我们看到大灯泡“吸取”一吨煤炭中潜藏着的能量的速度比小灯泡快得多。这有力地说明功率是按照单位时间的能量划分的。正是如此, 我们看到 1 瓦特就是相当于 1 焦耳每秒 (J/s), 或者 3 600 焦耳每小时 (J/h)。由于 1 055 焦耳相当于 1 英制热力单位 (Btu), 所以 1 瓦特相当于 3.412 英制热力单位每小时 (Btu/h) (对于习惯了用 Btu 计算的人来说, 这是一种更加简单易行的辨识方法)。1kW = 1 000J/s, 在这里 J 代表焦耳。

这个例子可以进行如下扩展: 将功率类比为速度, 将能量类比为距离。总的旅行距离是速度 (公里每小时) 乘以时间 (小时), 总的转化能量也就等于功率 (焦耳/时间, 或者千瓦) 乘以时间。在条件不变的情况下, 车辆的额定功率决定了车辆的速度; 而灯泡的额定功率决定了它的亮度。在这两个案例都表明, 功率等级越高, 那么做功的能力越强, 也就能够做更多的功。更简单地说, 能量的主要用途是为了做功或发热: 当能量流发挥力的作用的时候, 它被称为功; 除此之外, 它也可以产生热。功和热是能量流的两种表现形式。

让我们进一步深入讨论。汽车油箱里的燃料在一个小时的驾驶时间内可以产生 1 000 万 Btu ($= 10\text{MBtu}$) 的热量。这些能量的一部分, 比如大约 3.5MBtu, 可以以推动轴承旋转带动汽车车轮的形式转化为做功。剩下的能量以热的形式散发到空气中 (或者, 可能散发到冷却液中)。在这个例子中, 燃料的效率只有 35%, 这就是燃料中事实上转换为有用功的百分比。随着无用功所产生的温度的下降, 我们也永远失去它做功的可能性。发热温度降低的过程, 也是能量无法利用的部分增加的过程。这就是物理学中“熵”的含义: 能量永久性降低了。

在我们继续新的内容前, 还有一个内容需要继续深入阐述。在前面的讨论中, 本书使用了 Btu 作为基本的热能单位。此外, 还有其他基本的热能单位。“克卡” (therm, $= 100\,000\text{Btu}$) 在澳大利亚是一个非常重要的单位。热力单位“夸德” (Quad, $= 10^{15}\text{Btu}$) 在美国占据着类似的重要地位。在世界的许多地方基本的单位是焦耳 (J), 而且作为一种严肃的科学使用方法, 焦耳在每个地方都更受青睐。这些单位之间的换算非常容易: 10 亿焦耳 ($= 1\text{GJ}$) 等于 $947.8 \times 10^3\text{Btu}$, 或者反过来, $1\text{Btu} = 1\,055\text{J}$; 1 大卡 (kilocalorie, 简写为 kcal) $= 3.968\text{Btu}$, 所以 $1\text{J} = 2.4 \times 10^{-4}\text{kcal}$ 。

在前面的讨论中, “效率”这一表达式用于讨论在真实系统中, 需要多少英制热力单位

(Btu) 才能够获得 1kWh 的能量。在实际中, 我们有的时候使用“热量比率”(heat rate)。热量比率可以定义为 3 412 (Btu) 除以一个系统或者一个装置的效率。知道了燃料的成本以及热量比率, 我们就可以计算出每千瓦小时燃料的成本。

现在考虑一种情形: 发电站的煤炭成本是 36.3 美元/吨。我们再次假设煤炭中所含的平均能量为 12 500 英制热力单位/磅。这样, 我们从 1 吨煤炭中可以得到 $12\,500 \times 2\,205 = 27\,562\,500 \approx 27\,600\,000$ Btu。假设转化效率为 32.5% ($=0.325$), 电力燃料成本可以写作:

$$\frac{36.3 \left(\frac{\text{美元}}{\text{公吨}} \right) \times 100 \frac{\text{美分}}{\text{美元}}}{27\,600\,000 / 3\,412 / 0.3250} = 1.381 \text{ 美分/千瓦时}$$

我们把这个数字乘以 10, 将其转换为“密尔”(mill)——它等于 0.001 美元, 只作为记账货币。这样, 我们得到 1.381 美分/千瓦时 (cents/kWh) $= 13.81$ 密尔/千瓦时 (mills/kWh)。运用下面的方法对代数式子进行计算, 我们可以得到很有意义的启发。

$$\frac{\left(\frac{\text{美元}}{\text{公吨}} \right) \times \frac{\text{美分}}{\text{美元}}}{\text{英制热力单位/公吨/英制热力单位/千瓦时}} = \frac{\frac{\text{美元}}{\text{公吨}} \times \frac{\text{美分}}{\text{美元}}}{\frac{\text{英制热力单位}}{\text{公吨}} / \frac{\text{英制热力单位}}{\text{千瓦时}}} = \frac{\text{美分}}{\text{千瓦时}}$$

读者应该观察到, 在计算 Btu/kWh 的过程中, 我们使用了转化效率。如果转化效率为 32.5%, 那么 Btu/kWh 就变为 $3\,412 / 0.325 = 10\,498$ 。这就是热量比率。

二、能源枯竭时间的计算

当世界总的石油消费量是每年 18.25 亿桶, 即约合每天 5 000 万桶的时候, 每年 1.75% 的增长率并没有对价格带来过度的压力, 调整供给扩张能够满足这个增长的需要。但现在, 每年消费为 27 亿桶的时候, 每年 1.75% 的消费增长速度要求一年供应量增加 $27 \times 0.0175 = 0.472$ 亿桶才能够和需求增长速度保持一致。考虑到地质、经济, 以及政治上的真实情况等诸多因素, 要满足日益增长的需求有更多的困难。

人们对高储备积累下的低消费增长率有一些严重的误解。让我们考虑如下的近似方程 (为精确起见, 使用了连续复利):

$$T_c = \frac{1}{g} \ln \left(\frac{g\bar{X}}{X_0} + 1 \right) \quad (g \neq 0) \quad (1.1)$$

表达式 1.1 中, T_c 表示一定数量某种资源 $\bar{X}$ 枯竭的时间, 其消费速度为 g , X_0 是初始消费量。Ln 表示自然对数。在这个例子中对括号里的值取自然对数。现在让我们假设年消费速度为 $g = 2.5\%$, $X_0 = 100$, $\bar{X} = 23\,500$ 。我们得到:

$$T_c = \frac{1}{0.025} \ln \left(\frac{0.025 \times 23\,500}{100} + 1 \right) = 77.1 \text{ (年)}$$

可见, 如果将这个问题“动态化”, 使用最保守的资源消费速度——每年 2.5%, 那么生命长度仅为 77.1 年。

下面假设我们可以获得的资源量加倍, 从 23 500 增加到 47 000 个单位。我们使用公式 1.1 的计算结果为:

$$T_c = \frac{1}{0.025} \ln \left(\frac{0.025 \times 47\,000}{100} + 1 \right) = 101.82 \text{ (年)}$$

注意发生了什么！我们将资源数量增加了 100%，但动态的生命长度 (T_e) 只增加了 $(101.82 - 77.1) / 77.1 = 0.32 = 32\%$ 。

上面进行的演算不但适用于石油或者天然气，同样也适用于煤炭。公式 1.1 表明，即使石油勘探开发能够找到一些巨大的甚至是超级巨大的油田，但这些发现几年内并不能改变石油生产低迷的状况。很明显，在 21 世纪，如果我们还想使电灯保持明亮，还希望能像在 20 世纪那样照常在公路上驾驶着汽车，那么，我们需要巨大的技术进步，同时这也需要政治家们的努力。

三、价格方程

我们知道，当实际产量接近所能达到的最大产量，或者达到饱和和生产量的时候，生产者倾向于提高价格。这一点适用于其他许多矿物燃料，核能的铀也属此类。这一行为可以从微观经济学的生产者理论中演绎出来：当成本曲线是“U”型的时候，高生产量容量将导致高成本。在绝大多数情况下，我们可以设定出反映价格变化的价格方程。这个方程如下所示：

$$P_t = P_{t-1} + \Phi (C_{ut} - \bar{C}_u) \quad (1.2)$$

P_t 代表当前的价格， P_{t-1} 是前期的价格， $\bar{C}_u$ 是期望的生产利用水平， C_{ut} 是在 t 期的真实生产利用水平， Φ 是一个正的常数 ($\Phi > 0$)。当 $C_{ut} = \bar{C}_u$ ，或者说是真实生产利用水平等于期望生产利用水平时，价格恒定： $P_t = P_{t-1}$ 。但当 $C_{ut} > \bar{C}_u$ 时，则 $P_t > P_{t-1}$ ，价格增长了。这个简单的表达式确实成功地把握了石油输出国组织 (OPEC) 自 1975 年以来的许多定价行为。如果这个公式继续有效，那么在 21 世纪第一个十年结束之前，世界石油市场将面临巨大的骚乱。因为石油输出国组织 (OPEC) 的真实生产利用水平已经从 1990 年的大约 80% 上升到 1996 年的大约 94%。

第三节 能源市场、价格与效率

在这一节中，我们将简单介绍经济效率的概念，以及价格在能源分配过程中所扮演的角色，并解释实际能源价格不能引导能源进行有效分配的原因。最后，我们将谈谈净能源分析 (net energy analysis, NEA)。

一、经济效率概述

经济效率是我们学习的核心内容之一。绝大多数微观经济学理论和福利经济学理论都很关注效率问题。我们不可能把所有信息浓缩到几个段落当中，只能进行简要介绍。

经济效率问题的核心是人类的行为。人类的投入并不是用时间来衡量的，而是用机会成本来衡量。劳动和资本、自然资源紧密地结合在一起，它们的市场价格取决于个人的偏好，而经济的产出是主观的，因为效用和快乐是从商品消费和服务消费中产生的，我们可以把完美的经济机制比喻成实现福利最大化的巨大机器。关于经济效率的讨论本质上是关于现实经

济与福利最大化之间有多少差距的讨论。

不幸的是，实际上我们无法精确得到有无效用，我们能够得到的数据都是关于投入产出的成本和收益，以及产品的价格和数量。投资者、经理和消费者依靠价格进行决策，把握资源在商品、服务和闲暇三者中的权衡。分析家必须判断真实价格是否能够为决策者提供引导经济实现福利最大化的信息。

这个要求是很苛刻的，但是更苛刻的还在后面。如果实现福利最大化存在障碍，分析家自然而然就会要求政府采取行动来改变现状。然而，就像我们在西方经济学里已经学过的那样，政府的行为会导致其自身的失败。我们必须清楚现存福利损失的数量，以及政府为改善现状可能会采取的行动，否则，我们还是很难判断政府行为能否真正改善社会福利。

如果产品的价格和数量是可观测的，那么它们能告诉我们什么呢？图 1-2 是单一消费者对汽油的需求曲线。我们假设这个消费者是价格的接受者，也就是说，无论他买多少汽油都不会对汽油价格构成直接的影响。我们可以看到，这个消费者在价格是 1.25 美元的时候每个月购买 50 加仑汽油。由于需求曲线向下倾斜，我们可以判断出这个消费者购买的最后 1 加仑汽油刚好是 1.25 美元。同样的，对应于 40 加仑的情形，最后 1 加仑的价格会比 1.25 美元高。相反的，第 60 加仑汽油的价格会比 1.25 美元低。

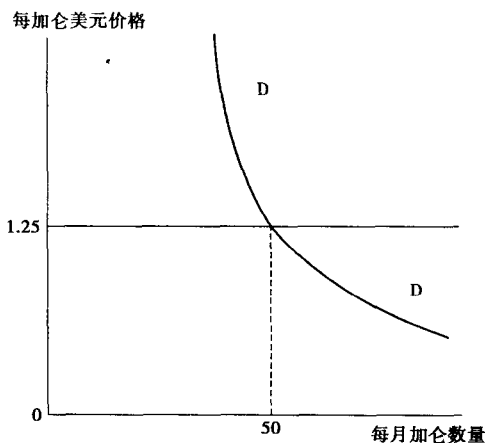


图 1-2 单一消费者的需求曲线

更具有普遍意义的是，对于某种商品的消费者而言，价格代表了商品的边际效用。不同的消费者每个月购买不同数量的汽油，而某些人从中获得的效用和快乐会比另外一些人多，但每一个人购买的最后 1 加仑汽油的价值都刚好为 1.25 美元。

下面我们介绍市场的供给和需求。图 1-3 是市场的供给与需求曲线，曲线的交点决定了均衡时的价格和数量。需求曲线可以由市场中不同价位上的每一个消费者的需求数量累加获得，而要获得供给曲线就没有这么容易了。

在最简单的情形下，厂商可以被假设为价格的接受者，就像前面例子中的消费者那样。根据定义，完全竞争的厂商相对于整个市场来说是相当小的单位，其产出变化对价格并不会产生直接的影响。而且它并不需要考虑竞争对手的反应（如图 1-4）。