

30
NENGYUAN
GONGCHENG
JICHU

能源工程基础

ALBERT THUMANN, P.E., C.E.M. 著

卫景彬 高季洪 黎 军 译

刘才铨 校

能源出版社

能源工程基础

ALBERT THUMANN, P.E., C.E.M. 著

卫景彬 高季洪 黎军 译
刘才铨 校

能源出版社

内 容 介 绍

《能源工程基础》是一本有关能源工程管理和能源工程技术与新能源方面的参考书。全书包括十五章和一组图表。目录为：①能源状况；②能源经济分析；③能源审计与计算；④电力系统最优化；⑤余热回收；⑥公用事业系统最优化；⑦采暖、通风、空调和建筑物系统最优化；⑧采暖、通风及空调设备；⑨热电联产：理论与实践；⑩被动式太阳能系统；⑪风能技术；⑫主动式太阳能系统；⑬生物质能技术；⑭合成燃料技术；⑮能源管理；附录。全书不但对能源工程知识论述面广，而且都有较高的实用价值。本书可供从事节能及开辟新能源应用工作的工程技术人员、领导和管理干部以及大专院校师生参考。也可供关心能源事业的各类人员阅读。

能源工作基础

卫景彬 高季洪 黎军 译

刘才铨 校

能源出版社 出版 新华书店 经销

北京北七家 印刷厂印刷

850×1168 1/32 开本 12.69印张 325 字

1989年11月第一版 1989年11月第一次印刷

印数1——1,500册

ISBN7-80018-163-4/FB·4 定价 9.80元

目 录

第一章	能源状况	(1)
第二章	能源经济分析	(25)
第三章	能源审计与计算	(40)
第四章	电力系统最优化	(65)
第五章	余热回收	(93)
第六章	公用事业系统最优化	(122)
第七章	采暖, 通风, 空调和建筑物系统最优化	(173)
第八章	采暖, 通风及空调设备	(208)
第九章	热电联产: 理论与实践	(218)
第十章	被动式太阳能系统	(228)
第十一章	风能技术	(243)
第十二章	主动式太阳能系统	(252)
第十三章	生物质能技术	(275)
第十四章	合成燃料技术	(289)
第十五章	能源管理	(326)
第十六章	附录	(339)
	参考文献	(399)

第一章 能源状况

引言

能源工程是应用科学知识来提高能源总体利用效益的一门专业。它综合了有关工程技术和能源问题的知识。能源工程师必须有能力去发现能源利用中的问题，创造性地设计解决方案，并且实现这个方案。

为了发展有益于人类的、利用现有资源的经济而又受社会欢迎的方法，能源工程师寻求一种较好的方法以便把广博的知识和经验结合起来。

能源工程需要一种“系统方法”，它实质上是一门多学科知识。因此，一个能源工程师必须同时具备工程技术知识，例如电气工程、机械工程、工艺技术等，以及良好的管理知识。

有些问题，例如能源的高费用、资源的缺乏和环境的破坏，都不是短时间内可以解决的，但是，这些问题将在今后数十年内给人类带来麻烦。从事能源工程的专业人员正在用一种系统的、有效费用的方法来解决这些难题以及其它难题

能量换算系数

为了沟通能源工程的研究对象，也为了分析研究这个领域里的文献，重要的是要了解在能源工程中使用的换算系数以及如何运用这些换算系数。

每种燃料都有一个热值。热值是用英国热量单位Btu表示的，Btu就是一磅水温度升高 1°F 所需要的热量。表1-1列出了各种燃料的热值。为了比较各种燃料的热效率，最好用Btu这个单位来换算燃料用量。表1-2列出了在能源工程计算中应用的换

表1-1

不同燃料的热值

燃 料	平 均 热 值
燃料油	
煤油	134000 Btu/gal
No.2 喷嘴燃料油	140000 Btu/gal
No.4 重质燃料油	144000 Btu/gal
No.5 重质燃料油	150000 Btu/gal
No.6 重质燃料油 (含硫2.7%)	152000 Btu/gal
No.6 重质燃料油 (含硫0.3%)	143000 Btu/gal
煤	
无烟煤	13900 Btu/lb
烟 煤	14000 Btu/lb
次烟煤	12600 Btu/lb
褐 煤	11000 Btu/lb
燃气	
天然气	1000 Btu/ft ³
液化丁烷	103300 Btu/gal
液化丙烷	91600 Btu/gal

(来源: Brick & Clay Record, October 1972.)

算值。

当我们比较燃料价格时,通常是:用每热量单位(10^5 Btu)价值多少美分或美元。

我们有时用高热值(HHV)或低热值(LHV)来表示储存在燃料里的化学能。

高热值是通过在氧气环境中燃烧一小块的燃料样品并且把传递到燃料四周的水中的热量记录下来而获得的。这个试验包含了冷凝蒸汽的汽化潜热。

因为实际上这种汽化潜热量一般是不能利用的,所以低热值将其扣除不计。

欧洲国家往往采用低热值,而美国却用高热值。由于采用的热值标准不同,因此,一台加热装置在欧洲试验比在美国试验,其效率大约高10%。

〔例题1-1〕

表1-2

换算系数表

1 US bbl	= 42美加仑
1 大气压 (std. atm)	= 14.7 lbf/in ² 绝对压强 (psia)
1 大气压 (std. atm)	= 760mm (29.92in) 汞柱 〔比重为13.6g/cm ³ 〕
1 lbf/in ²	= 2.04in汞柱
	= 2.31ft水柱
1 in水柱	= 5.20lbf/ft ²
1 ft 水柱	= 4.33lbf/ft ²
1 Btu	= 1磅水温度升高1°所需热量
1 therm	= 100000Btu
1 kW	= 1.341ph (马力)
1 kWh	= 1.34hp·h (马力·小时)
1 hp	= 0.746kW
1 hp·h	= 0.746kWh
1 hp·h	= 2545Btu
1kWh	= 3412 Btu
产生1kwh的动力需要在一般设备中燃烧掉燃料的10900Btu热量	
1 冷吨	= 12000Btu/h
1 冷吨需要大约1kw或1.34hp的动力 (商用空气调节中)	
1 标准立方英尺是指在60°F和14.7psia的标准状态下	
1 度日	= 65°F减去当天的平均温度(°F)
1 年	= 8760小时
1 年	= 365天
1 MBtu	= 10 ⁶ Btu
1 kW	= 1000W
1 T-bbl	= 10 ³ bbl
1 kCSF	= 1000标准立方英尺
1 Quad	= 10 ¹⁵ Btu

注：在这些换算中，测量英尺和英寸水柱是在62°F(16.7°C)条件下，而测量英寸和毫米汞柱是在32°F(0°C)的条件下。

燃料油供应量为每天 11.5×10^6 bbl，假定燃料油的平均热值为140000Btu/gal，那么，每年热供应量是多少Btu？

〔解〕

$$\begin{aligned} \text{燃料供应量} &= 140000 \text{ Btu/gal} \times 11.5 \times 10^6 \text{ bbl/day} \\ &\quad \times 42 \text{ gal/bbl} \times 365 \text{ day/yer} \end{aligned}$$

$$= 24.7 \times 10^{18} \text{ Btu/year}$$

〔例题1-2〕

某工厂的仓库晚上需要最低限度的供热，有两种供暖方法可以考虑：一种是用电热器；另一种是启动烧油的锅炉（用2号燃料油），使暖气片整夜保持温暖。不考虑其他所需费用，每度电的电费是10美分；而2号燃料油的价格是每加仑1美元。假定锅炉的效率为70%，又假定水泵和风机运行所占用热能的费用可以不予考虑。试问，用电力和用燃油锅炉给建筑物供热，其相应的费用各为多少？

解：

为了比较燃料的费用，用（美元/热量单位）作为共用的基准单位。

电费

$$1\text{kWh} = 3412 \text{ Btu}$$

$$\text{费用} = \frac{100000}{3412} \times 0.10 = 2.93 \text{ 美元/热量单位}$$

2号燃料油

$$\text{热值} = 140000 \text{ Btu/gal}$$

$$\text{费用} = \frac{100000}{140000} \times 1.00 \text{ 美元} = 71 \text{ 美分/热量单位}$$

考虑到燃烧效率为0.7，相应的费用则变成：

$$\text{费用} = \frac{71}{0.7} = 1.02 \text{ 美元/热量单位}$$

全世界的能源消费

各个工业国家正在全世界的市场上展开竞争，每个国家的工业区的能源消费量给出了每个国家如何利用能源的很好的比较指标。

为了比较能源消费量，我们采用每单位国内生产总值(GDP)的所消耗的能量，而不用每单位国民生产总值(GNP)的所消耗的能量。这是因为来自国外投资的收入没有用去国内能源，所以不

应计入。

图1-1说明了各国在能源利用方面的比较情况。由图可以清楚地看出：给定的生产量，美国要比英国、联邦德国、瑞典、荷兰、法国或者意大利利用去更多的能源。

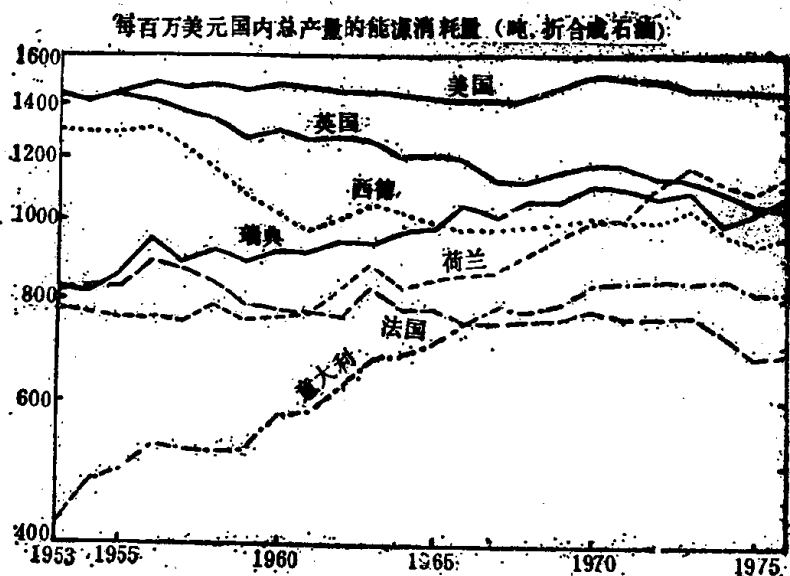


图1-1 工业国家中的能源
(来源: EPRI EA 1471, Aug. 1980)

世界能源形势

根据1960年12月14日在巴黎签订的一个国际协定建立了经济合作与开发组织 (OECD)。这个组织的成员国有澳大利亚、比利时、加拿大、芬兰、法国、德意志联邦共和国、希腊、冰岛、爱尔兰、挪威、葡萄牙、西班牙、瑞典、瑞士、土耳其、英国和美国。

在OECD*出版的1982年《世界能源形势》中，对一些发展趋势作过讨论，已经得出的一些结论是：

1. 在20世纪80年代中期，能源和石油市场将保持稳定状态。但是，在这之后，会变得日益紧张起来。

2. 能源的需要量在20世纪80年代前五年中将以0.6%至0.8%的幅度递增，到90年代将以每年1.7%至2.6%的幅度递增。

3. 到90年代，电能的消耗量将以2—3%的更快速度增加，而且在这以后，年递增速度可达3—4%。

4. 可以预计：OECD组织的成员国会继续高度依赖进口原油。

5. 天然气不可能增加到占整个OECD组织的目前能源用量的20%以上。为了保持使用天然气的目前的比例，就必须把天然气的进口量增加5—6倍。

6. 由于煤的价格优势，可以预计：煤的使用量的增长会超过石油。

7. 可以预计：到2000年以前，核能将会增加到占OECD组织总能源的10—11%。

在《世界能源形势》所做的总结中，得出的结论是：

总之，尽管作为价格机制作用的结果，可以预计，在能源经济中会发生减少对石油依赖的结构上的变化。但是，世界经济的根本致命伤——石油供应中断，还远远没有被消除。恰恰相反，随着能源需要的压力的增加，存在着一种持续性的危险：由于中东的政治事件，使得紧密的需求与供应的平衡状态可能再次被破坏。

能源消耗量的资料来源

美国能源部能源情报局能源资料管理处根据能源部、其它政

* 来源：World Energy Outlook, OECD 1982, International Energy Agency 2Rue, Andre-Pascal, 75775 ParisCedex 16, France.

府机构和私人机构提供的资料，出版了《能源评论月刊》。今后除非另外注明资料来源，否则，相继引用的资料皆出于此。

美国的能源生产

1980年能源生产量总计达 64.8×10^{15} Btu，比1979年的产量提高1.4%。如果按日生产率来计量(即扣除闰年的影响)，则这个增长量相当于1.2%。石油和煤的产量增加了。石油产量增加0.3%，煤增加6—7%(全是按日生产效率计量的)。天然气产量减少2.1%。主要是由于核电站的发电量减少的原因，因此使得全部其它类型的能源的总产量减少了1.3%。

图1-2给出了美国的各类能源的产量。

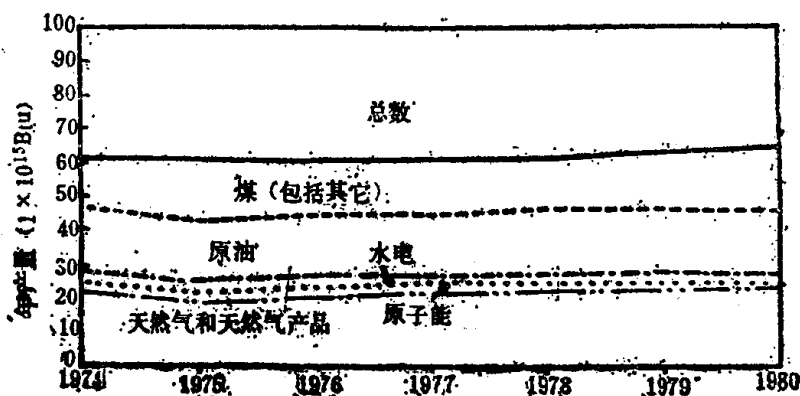


图1-2 美国各类能源产量(1)

美国的能源消耗量

1980年美国能源总消耗量减少到 76.3×10^{15} Btu，比1979年低3.4%，比1978年的消耗水平也减少了2—4%。图1-3列出了各类能源的消耗量。图1-4列出了美国的各类使用部门的能源消耗量。图1-5列出了国民生产总值中每美元的能源消耗量。

1980年民用和商业部门的能源消耗量为 27.3×10^{15} Btu，比上一年能源消耗量减少0.5%，比1978年减少2.9%。1980年民用和商业部门用掉了全部能源消耗量的35.8%，比1979年的34.8%。

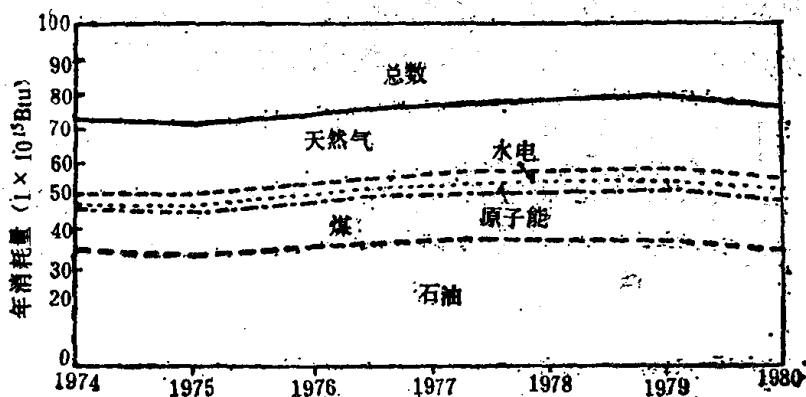


图1-3 美国的各类能源消耗量⁽¹⁾

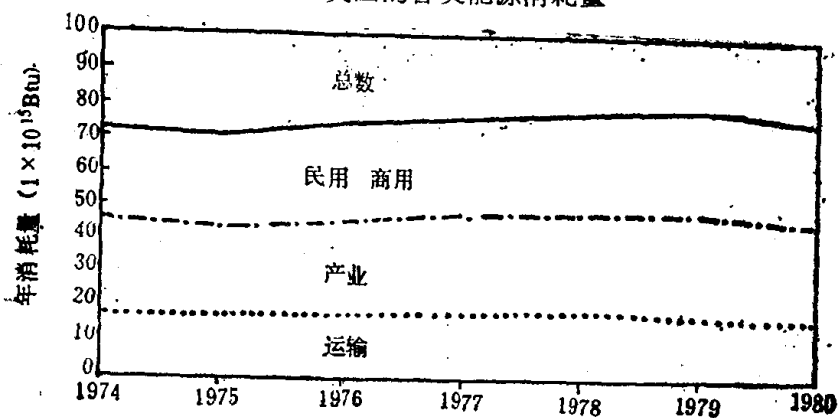


图1-4 美国用能部门能源消耗量⁽¹⁾

总能源消耗量, 民用和商业、工业交通运输

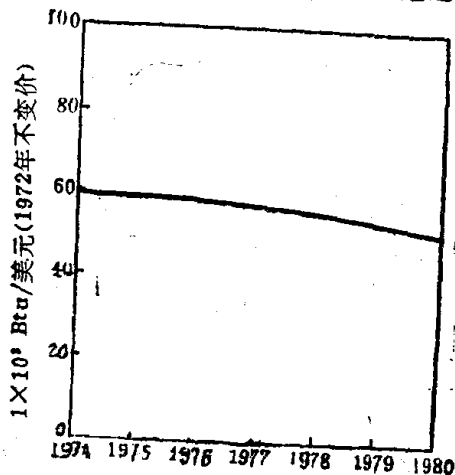


图1-5 每美元国民生产总值 (GNP) 的能源消耗量⁽¹⁾

有所上升。表1-3列出了民用与商业部门的能源消耗量。

1980年产业部门的能源消耗量为 30.3×10^{15} Btu,比1979年减少4.0%,但比1978年上升3.2%。1980年产业部门用掉了全部能源消耗量的39.7%,而1979年为40.0%,表1-4列出了产业部门的能源消耗量。

1980年交通运输部门的能源消耗量为 18.6×10^{15} Btu,比1979年下降6.6%,比1978年下降9.6%。1980年这个部门用掉了总能源消耗量的24.4%,而1979年为25.3%表1-5列出了交通运输部门的石油(能量)消耗数量。

1980年电力事业的能源消耗量大约为 24.8×10^{15} Btu,比上一年高2.5%,比1978年的能源消耗高6.0%。在1980年,电力事业所消耗的能源中,煤占48.8%,天然气占15.3%,水电占12.5%,石油占12.1%,核能占10.9%,地热、木材和废物占0.5%。表1-6列出了电力事业的能源消耗量。

表 1-3 民用和商业部门的能源消耗量^{*(1)}

	煤	干天然气	石 油	电力销售量	电能损失 ⁺	消耗的总 能 量
10^{15} Btu						
1973	0.291	7.626	6.741	3.495	8.460	26.613
1974	0.293	7.518	6.141	3.475	8.548	25.974
1975	0.239	7.581	5.792	3.588	8.814	26.014
1976	0.227	7.866	6.302	3.729	9.039	27.213
1977	0.225	7.461	6.245	3.936	9.702	27.539
1978	0.250	7.624	6.268	4.100	9.918	28.159
1979	0.210	7.891	5.027	4.184	10.150	27.462
1980	0.194	7.637	4.389	4.354	10.762	27.337

* 民用和商业部门包括住宅单元、非生产性的企业部门(例如批发和零售商业)、卫生和教育机构及政府机关的建筑物。在参考文献1的原始资料及注释中提供了用于部门统计的分类方法。

+ 在电能生产和输送过程中,电能损失部分本身加上厂用电,不考虑该部门的电能损失。

表1-4

产业部门的能源消耗量⁽¹⁾

	煤	天然气	石油	水电	焦煤的净 进口额 ⁺	电力销售量	电能损失 ^{**}	消耗的总 能量
10 ¹⁵ Btu								
1973	4.350	10.397	6.683	0.035	(0.008)	2.341	5.676	29.474
1974	4.057	10.012	6.506	0.033	0.059	2.337	5.751	28.755
1975	3.801	8.531	6.160	0.032	0.014	2.304	5.669	26.512
1976	3.792	8.768	6.951	0.033	0.000	2.525	6.162	28.230
1977	3.494	8.642	7.692	0.033	0.015	2.635	6.513	29.024
1978	3.462	8.540	7.840	0.032	0.131	2.732	6.637	29.373
1979	3.641	8.554	9.401	0.034	0.066	2.873	6.983	31.551
1980	3.354	8.407	8.876	0.033	(0.037)	2.781	6.886	30.300

* 产业部门是由建筑业、制造业、农业和采矿企业构成的。在参考文献1的原始资料和注释中，提供了用于部门统计的分类方法。

+ 净进口额即减去出口额后的进口额，括弧表示出口额大于进口额。

** 在电能生产与输送过程中电能损失本身加上厂用电，不考虑该部门的电能损失。

表1-5 交通运输部门的石油（能量）消耗⁽¹⁾ (10¹⁵Btu)

年代	10 ¹⁵ Btu
1973	17.74
1974	17.31
1975	17.55
1976	18.47
1977	19.16
1978	20.04
1979	19.30
1980	17.98

进口与出口

1980年，能源的净进口量总计达 12×10^{15} Btu，比1979年低28.3%。如果按照日生产率（即扣除闰年的影响）来衡量，这个减少量相当于28.5%。按照能源来源逐个分析，净进口的减少

表1-6

电力事业的能源消耗量

	煤*	干天然气	石油	水电能源†	核能发电	其它**	消耗的 总能量
10 ¹⁵ Btu							
1973	8.655	3.746	3.671	2.975	0.910	0.046	20.004
1974	8.524	3.518	3.499	3.276	1.272	0.056	20.144
1975	3.783	3.241	3.231	3.187	1.900	0.072	20.414
1976	9.714	3.153	3.454	3.032	2.111	0.081	21.544
1977	10.245	3.285	4.028	2.482	2.702	0.082	22.825
1978	10.134	3.297	3.813	3.132	2.977	0.068	23.421
1979	11.253	3.110	3.392	3.132	2.743	0.089	24.229
1980	12.125	3.789	2.998	3.093	2.704	0.114	24.823

* 包括烟煤、褐煤和无烟煤。

† 包括净进口电力。

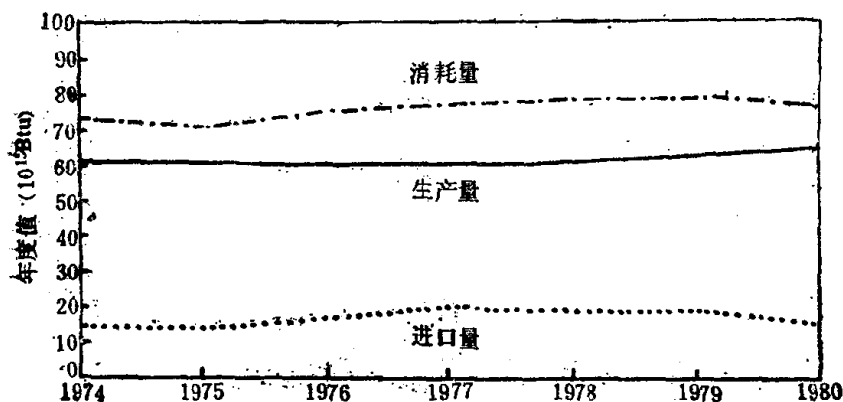
** 包括地热能和利用木材、垃圾生产的电能。

量,石油为21.8%;天然气为21.7%;电力和焦炭合计为37.1%。
1980年,煤的净出口量比1979年增加41.0%。

图1-6表示在1974年到1980年期间,每年美国能源的进口数量。为了便于对照,还给出了每年生产和消费的数量。

图1-7和图1-8表示了在这七年期间内,美国每年的能源总进口量和总出口量。图中的数据表明,1980年进口量减少,出口量增加。

图1-9表示了美国对石油进口的依赖性。

图1-6 美国能源的消耗量、生产量和进口量⁽¹⁾

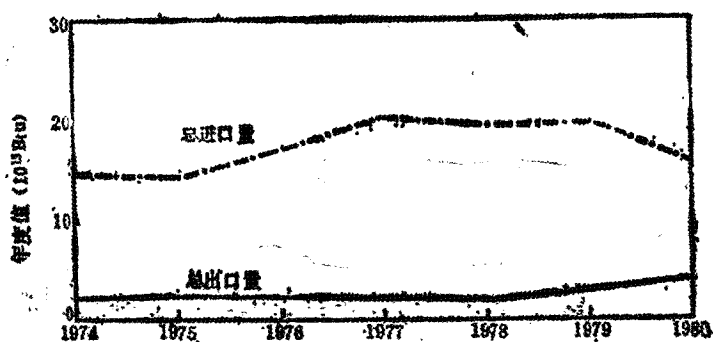


图1-7 美国能源的进口量和出口量⁽¹⁾

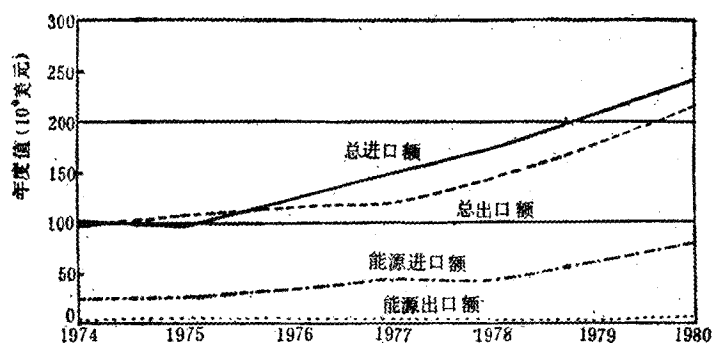


图1-8 美国的商品贸易额（包括能源贸易额）⁽¹⁾

能源价格

根据美国能源部的资料，图1-10按照1972年每Btu的不变价格，向用户提供了燃料的平均价格。

表1-7和表1-8列出了五年的石油价格。表1-9列出了1973年至1980年期间天然气的价格。表1-10则给出了同一时期电的价格。可以看出，电力事业的价格结构在全国有较大的不同，表1-11给出了全美国的主要城市常用电费表。

蒸汽价格

在1981年，购买蒸汽的工业买方收到的付款通知是，每1000

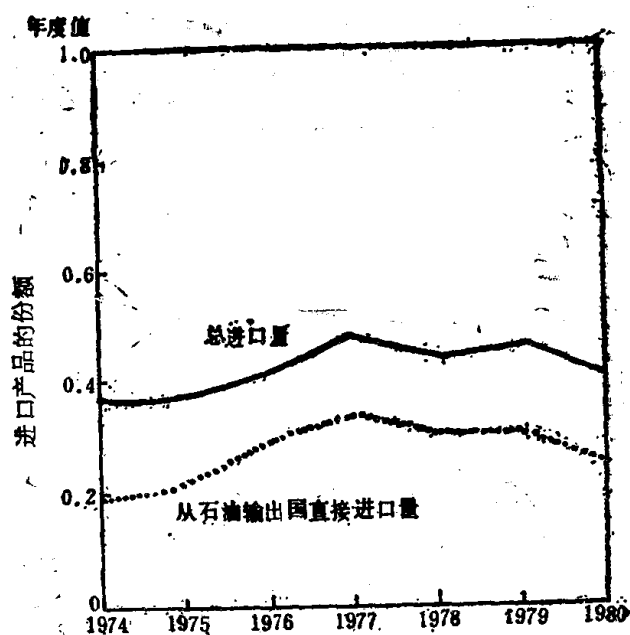


图1-9 美国对石油进口的依赖关系

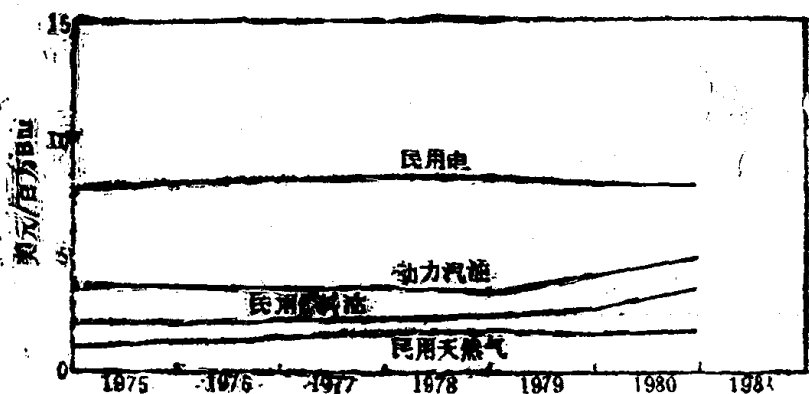


图1-10 用户使用的燃料平均价格 (1972年不变价)

磅蒸汽价格在13美元 (纽约联合爱迪生公司) 到 8—8 美元 (加利福尼亚爱迪生公司) 之间浮动。而在10年前, 每1000磅蒸汽的一般价格是在1.50美元至2.00美元之间浮动。