

高等学校试用教材

能源经济

李植华 编著
连培生 主审
温鸿钧 审校

原子能出版社

内 容 简 介

全书分为两大部分：第一章至第五章是微观经济部分，分别介绍能源的基本概念、资金的时间价值、项目评价、核电站投资分析，以及核电站电力成本分析；第六章和第七章是能源宏观战略部分，分别介绍各种预测方法和有关我国能源的宏观战略中的一些问题。

本书适合于理工科大学本科生使用，也可供有关的能源经济研究人员和管理人员参考。

高等学校试用教材

能 源 经 济

李植华 编著

连培生 主审

温鸿钧 审校

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

重庆印制一厂印刷

新华书店总店科技发行所发行·新华书店经售

☆

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ ·印张8.375·字数 220 千字

1991年2月北京第一版·1991年2月北京第一次印刷

印数1—1500

ISBN7-5022-0379-6

F·2(课) 定价：2.60元

前 言

“能源经济”课是清华大学本科生的公共选修课，根据教学实践、同学们的意见和要求，在原讲义《能源经济》的基础上，编写成了这本教材《能源经济》。

在编写教材《能源经济》的过程中，作者始终遵循理论联系实际及科研和教学相结合的原则，力图将作者近年来最新的科研成果反映到本教材之中。

本书的内容可分为两大部分。第一部分从第一章到第五章，是微观经济部分，分别介绍了能源的基本概念、资金的时间价值、项目评价、核电站投资分析以及核电站电力成本分析；第二部分从第六章到第七章，是能源宏观战略部分，分别介绍了各种预测方法以及有关我国能源的宏观战略中的某些问题。

本书由连培生同志主审、温鸿钧同志审校，他们对本书的结构、各章内容以及公式、数据等都进行了详细、认真的审校，并提出许多宝贵的意见和建议。在此，作者表示衷心的感谢。

在本书编写过程中得到了中国核工业总公司教育培训部以及其他有关单位的大力支持和帮助。杨少中、郭星渠和吕应运等同志参加了本书初稿的讨论并提出许多宝贵意见。在此，作者表示深切的谢意。

由于作者水平有限，工程实践和教学经验不足，加之编写时间仓促，不足和错误之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

清华大学工程物理系 李植华

1989年6月28日

目 录

第一章 绪论	1
§ 1 能源的基本概念	1
§ 2 我国能源发展情况简介	4
§ 3 核能——未来能源的希望	12
§ 4 能源经济学的范围	15
第二章 资金的时间价值及投资环境因素	19
§ 1 资金时间价值的基本概念	19
§ 2 计算资金时间价值的普通复利公式	22
§ 3 普通复利六个系数之间的关系	32
§ 4 名义利率与实际利率	38
§ 5 投资环境因素	40
第三章 建设项目经济评价方法	47
§ 1 等值方案比较法	48
§ 2 投资收益率法	56
§ 3 投资偿还期(T)法	62
§ 4 项目评价中的灵敏性分析法	64
§ 5 建设项目的国民经济评价和综合评价法	66
§ 6 建设项目案例分析	75
第四章 核电站的投资分析方法	82
§ 1 投资概算	82
§ 2 核电站投资分析模型介绍	86
§ 3 国外核电站投资分析程序 Concept-5简介	95
§ 4 核电站的投资结构	104
第五章 核电站电力成本分析及核燃料循环费用	107
§ 1 我国压水堆型核电站经济参数的选择	107

§ 2	我国压水堆型核电站电力成本分析的经济模型·····	110
§ 3	压水堆型核电站电力成本分析的程序简介·····	122
§ 4	基准计算和灵敏性计算的结果分析·····	124
§ 5	核电站的平均贴现电力成本分析法·····	132
§ 6	核燃料循环费用·····	140
第六章	预测技术和预测方法·····	149
§ 1	预测的基本概念·····	149
§ 2	预测方法·····	152
§ 3	定性预测法——德尔菲法·····	154
§ 4	确定型时间序列预测法·····	162
§ 5	回归预测法·····	172
§ 6	新颖预测法——灰色预测法·····	177
第七章	预测技术在能源领域中的应用·····	185
§ 1	2000年中国能源预测·····	185
§ 2	我国东南沿海地区经济发展战略中的能源问题·····	198
§ 3	我国燃煤新技术的选择·····	209
参考文献 ·····		217
附录一	各种能源折算标准煤数据·····	219
附录二	普通复利公式计算表·····	220

第一章 绪 论

§1 能源的基本概念

能源是指能提供能量的自然资源。利用它可以提供人们所需要的电能、热能、机械能、光能、声能等，如煤炭、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。一次能源中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；另一重意义是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。能源分类表见表1.1.1。

由于各种能源的单位质量含热量不同，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29308千焦/公斤。石油的平均发热量为41868千焦/公斤。因此，1吨石油相当于1.42吨标准煤；1000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。

从能源分类表1.1.1可见，在一次能源的再生能源中，有一、二和四三类不同的再生能源。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

表1.1.1 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	地 热 能		潮 汐 能
	非再生能源	煤 炭 石 油 天 然 气 油 页 岩		原 子 能	
二次能源		焦 煤 电 力 蒸 汽 沼 气 酒 精 汽 油 柴 油 煤 油 重 油 液 化 气 其 它			

0.135 瓦。因此太阳辐射到地球的总热功率为0.172 艾* 焦/秒 或 5.438×10^6 艾焦/年。可利用的太阳能估计每年有 2.55×10^6 兆焦，折成标准煤有87太吨，只要利用很少一部分就能得到很大的能量。

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相同的。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 太瓦。折合成标准煤为每年0.37 太吨。但因风能和海洋能很

* “艾”及后边的“拍”、“太”、“吉”、“兆”分别表示 10^{18} 、 10^{15} 、 10^{12} 、 10^9 、 10^6 。

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，加热变为水汽，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 2.8 太瓦。水能高度集中，较容易被转化为电能。目前约有 10% 的水能资源被利用。水能资源不算丰富，每年可利用的经济性能好的水电大约只有 4.4 太千瓦时。折算成标准煤仅 540 兆吨。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 太吨生物质，折合成标准煤 0.115 太吨。

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 太瓦。

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 3 太瓦，实际上可利用的只是浅海区的那部分。其功率约为 60 吉瓦。可利用的潮汐能比地热能还小。

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。世界上煤的地质储量约为 10 太吨标准煤，探明储量累计约为 3 太吨标准煤，经济可采储量约为 0.76 太吨标准煤。世界石油资源探明可采储量约为 0.16 太吨，已经开采 60 吉吨，尚有 100 吉吨可开采。世界天然气探明可采储藏量累计为 95 太立方米，已开采 24 太立方米，尚剩 71 太立方米。

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。世界上已探明的铀储量约为 4.9 兆吨，钍储量约为 2.75 兆吨。聚变核燃料有氘和锂，海水中的 $1/6000$ 为氘，故全世界有氘约 40 多太吨，锂-6 的储量约为 0.074 兆吨。这些核聚变材料所能释放的能量比全世界现有总能源大千万倍，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，称之为常规能源。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。其它是正处在研究阶段，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，故把核裂变能也称作新能源。

§2 我国能源发展情况简介

我国能源资源的地区分布列在表1.2.1中。根据表1.2.1，全

表1.2.1 我国能源资源的地区分布

地 区	能 源 相 对 储 量 (%)			
	煤 炭	石 油	天 然 气	水 力
华北区	64.0	16.1	8.4	1.2
西北区	12.0	12.3	4.6	9.9
西南区	10.7		67.5	67.9
华东区	6.5	16.2	3.0	3.6
中南区	3.7	4.6	3.9	15.4
东北区	3.1	50.8	12.6	2.0
合 计	100.0	100.0	100.0	100.0

国煤炭资源的64%集中在华北区，其中的一半以上又集中在山西省。石油资源主要分布在黑龙江省、山东省和河北省。西南地区拥有的天然气资源和水力资源均占全国三分之二以上。而经济比较发达的东南沿海地区，其煤、石油、天然气和水力资源均很少。因此，能源资源分布的不平衡性对我国的经济发展形成了一定的制约作用。

我国一次能源的生产量及其构成列在表 1.2.2 中。从表中可见，原煤生产占我国一次能源生产量的 70% 以上；原油生产占 20% 左右；天然气和水电的生产量均很少。我国的能源生产构成与世界上某些发达国家相比有较大的差别。一般，发达国家原煤生产量占 30% 左右；石油加上天然气的生产量占 50% 以上；另外还有一定数量的核电生产。我国以原煤生产为主的能源结构势必给铁路运输带来很大的压力。因此，我国的能源生产必须逐步改变结构。

“六五”时期，在调整、改革、开放、搞活方针的指导下，我国能源生产由停滞转向持续增长，消费构成发生新的变化，能源利用效益不断提高。下面分别加以简要的介绍。

表 1.2.2 我国一次能源生产量及其构成

年份	一次能源产量 (兆吨标煤)					相对比例 (%)			
	合计	原煤	原油	天然气	水电	原煤	原油	天然气	水电
1952	48.71	47.14	0.62	0.01	0.94	96.8	1.3		1.9
1957	98.60	93.57	2.04	0.09	2.90	94.9	2.1	0.1	2.9
1962	171.74	151.14	8.05	1.61	4.94	91.5	4.7	0.9	2.9
1965	187.96	165.71	15.83	1.46	4.96	88.2	8.4	0.8	2.6
1970	309.08	252.86	42.91	3.82	9.49	81.8	13.9	1.2	3.1
1975	485.37	344.29	107.88	11.77	21.43	70.9	22.3	2.4	4.4
1977	561.33	392.86	131.10	16.12	21.25	70.0	23.3	2.9	3.8
1979	646.05	453.82	151.79	19.30	21.14	70.2	23.5	3.0	3.3
1980	637.35	442.97	151.36	18.98	24.04	69.6	23.7	3.0	3.7
1981	632.27	444.04	144.61	16.94	26.68	70.2	22.9	2.7	4.2
1982	667.78	475.96	145.89	15.87	30.06	71.2	21.9	2.4	4.5
1983	712.70	510.39	151.53	16.24	34.54	71.6	21.3	2.3	4.8
1984	778.81	563.75	163.74	16.78	34.54	72.4	21.1	2.1	4.4
1985	855.46	623.07	178.43	17.20	36.76	72.8	20.9	2.0	4.3

一 能源生产由停滞转向持续增长

“六五”时期，全国共生产一次能源 3650 兆吨（以标煤计，下同），比“五五”时期增长 670 兆吨，平均每年递增 6.1%。“六

五”时期每年能源生产增长情况见表1.2.3.从表1.2.3可见,“六五”时期后四年能源生产持续增长,1985年一次能源生产量达到868兆吨,比1980年增长34.2%。

表1.2.3 “六五”时期能源生产增长率

年 份	1981	1982	1983	1984	1985
比上年增长率(%)	-0.8	5.6	6.7	9.3	9.8

(1) 原煤生产发展很快,提前两年完成了“六五”计划指标。“六五”时期,对煤炭生产和建设实行“两条腿走路,大中小并举,国家、集体、个人一齐上”的方针,使我国原煤产量后四年大幅度增长.1985年生产原煤870兆吨,比1980年增长40.7%。

“六五”时期乡镇煤矿蓬勃发展,1985年生产原煤267兆吨,比1980年增长一倍多,为缓解我国能源供需矛盾起到了积极作用。

(2) 原油生产结束了多年徘徊不前的局面,进入新的发展时期。1978年我国原油生产首次突破100兆吨大关,以后六年产量徘徊在100兆吨上,1980、1981两年产量连续下降。为扭转下降局面,对原油生产实行了一亿吨包干政策。1984年原油生产量比上年增长了8.1%,1985年产量达到125兆吨,比上年增长9%,比1980年增长17.9%。

(3) 电力生产持续增长。“六五”时期由于不断增加对电力工业的投资,同时提倡集资办电、多家办电、积极发展小水电,促进了电力生产持续增长。五年共发电1.7761太千瓦时,比1980年增长36.6%,平均每年递增6.4%。

二 能源进出口贸易不断发展,石油出口大量增加

“六五”时期净出口能源187兆吨,年均递增23.8%。在能源出口量中,石油增长最快。五年共出口石油126兆吨,年均递增15.2%,占同期原油生产量的23%。“六五”时期仅原油和成品油就换取外汇260.5亿元。

表1.2.4 能源转换参数

类 别	火力发电 电站供热	炼 焦	炼 油	制 气
投 入	616 兆吨能源	330 兆吨煤炭	400 兆吨原油	9.305 兆吨标煤
产 出	1.3706 太千瓦时 1.71 艾 焦	210 兆吨焦炭 69200 兆立方米煤气 12.73 千吨焦化品	565 兆吨标煤 石油制品	7500 兆立方米煤气 4.52 兆吨焦炭
年递增率(%)	4.8	1.8	1.8	5.1
转换效率(%)	36.84	90.68	99.13	

三 用于加工转换的能源数量逐年有所增加

“六五”时期，全国用于加工转换的能源达到1370兆吨，占同期一次能源生产量的37.5%。二次产出量为950兆吨，加工转换效率为69.5%。表1.2.4中列出了各种类别的能源转换参数。

四 能源消费稳步增长，构成发生新的变化

“六五”时期，全国共消费能源3360兆吨，比“五五”时期增加600兆吨，年均递增5%。这个时期由于贯彻执行了压缩烧油的方针，能源结构发生了新的变化。

(1) 在能源消费品种的构成中，煤炭所占比重提高，石油所占比重下降 表1.2.5显示了这种变化。

表1.2.5 1980年和1985年的能源消费构成(%)

年 份	煤 炭	石 油	天然气
1980年	72.10	20.85	3.06
1985年	75.92	17.02	2.23

(2) 能源消费的部门构成出现新的变化，物质生产部门消费比重逐渐下降，生活消费比重逐年上升 “六五”时期物质生

产部门共消费能源2600兆吨，年均递增4.1%，占同期能源消费总量的77.3%，比1980年下降了3.6%。生活消费能源695兆吨，年均递增8.8%，占同期能源消费总量的20.7%，比1980年提高了3.6%。

(3) 工业部门内部消费构成朝着省能型结构变化 “六五”时期，我国工业部门消费能源2090兆吨，占同期全国能源消费总量的62.3%。轻工业的消费比重由1980年的17.4%上升到1985年的20.1%，重工业消费比重从82.6%下降到79.9%。同期轻重工业的产值比例基本不变，这说明我国工业的能源消费结构朝着省能型方向发展。

五 能源利用效益显著提高，节能取得重大成绩

“六五”时期，由于各地区、各部门积极贯彻执行“开发与节约并重”的方针，通过调整经济结构，加强能源管理和节能技术改造工作等，大大提高了能源的利用效益。表1.2.6列出了表示能源利用效益的有关参数。

表1.2.6 能源利用效益和节能情况

	国民收入	能 耗	工业产值	能 耗
	吨能源	万元国民收入	吨能源	万元工业产值
1980	612元	16.34吨	1275元	7.83吨
1985	761元	13.14吨	1758元	5.69吨
增减率	+24.3%	-19.6%	+37.9%	-27.4%

六 能源平衡

1. 能源平衡中存在的问题

(1) 电力生产仍不能适应国民经济和社会发展的需要，供需矛盾突出 “六五”时期，我国国民收入以年均9.7%的速度增长，而电力生产年均增长仅6.4%，电力生产弹性系数为0.66。全国每年缺电45000至50000兆千瓦时。缺发电装机容量12000兆

瓦以上。

(2) 石油出口过多，扩大了国内需求的缺口 “六五”时期，我国出口石油已达到同期原油产量的1/4，1985年达到29%，这样，虽换取了外汇，但影响着国民经济的发展。

(3) 用于加工转换的能源数量不多 “六五”时期，全国用于加工转换二次能源净投入量为1370兆吨，占同期一次能源生产量的37.5%，但转换的百分比从1980年以来一直下降，1985年比1980年下降了4.9%。

(4) 生活用能源中煤炭比重过大 1985年生活用能源中煤炭占90.5%，气体能源仅占2.9%。因此，我国生活用能源结构不合理。

针对以上问题，可提出以下四条能源发展的对策：

- a 增加电力建设投资，进一步加快电力发展；
- b 适当控制石油出口，积极扩大煤炭出口；
- c 提高能源加工转换的广度和深度，大力减少直接烧用；
- d 深入开展节能工作，重点抓好节电节油。

我国的能源在“六五”时期获得较大发展的基础上，又提高了一步。1987年全国一次能源总产量为910兆吨标煤，比上年增长了3.3%。一次能源的构成列在表1.2.7中。

表1.2.7 1987年一次能源的构成

种 类	原 煤	原 油	天 然 气	发 电 量
产 量	920兆吨	134兆吨	13.8吉立方米	496吉千瓦时
百分比(%)	72.4	21.1	2.1	
比上年增长(%)	3.5	2.6	0.8	

1987年一次能源的总消费量为860兆吨标煤，比上年增长6.2%，但低于同期国民收入增长9.3%的速度。其中煤炭占76.1%，石油占17.0%，天然气占2.2%，水电占4.7%。

1987年原油和成品油出口量为32兆吨，比上年出口有所下降，煤炭出口量为13.5兆吨，比上年增长了37.6%。

1987年节能率为5.2%，节能和少用能源20兆吨标煤。

1987年我国能源事业虽然取得了较大的成绩，但能源供需矛盾依然存在；电力和石油产品供应仍很紧张；煤炭供应虽有所缓和，但“后劲”不足，前景不容乐观；煤炭运输仍很紧张；初级能源加工转换成优质能源比重偏低；能源终端消费结构不尽合理等问题依然存在。因此，能源工业还必须进一步挖掘潜力，以求发展。

2. 衡量能源发展和利用效益的指标

在国民经济总体中，能源的发展既由国民经济发展所决定，也对国民经济发展起制约作用。为了研究国民经济发展和能源消费量之间的相互关系，常采用能源消费弹性系数和单位产值能耗两个参数作为衡量能源发展和利用效益的指标。在上面的介绍中我们已经用到了这两个指标，下面分别加以介绍。

(1) 能源消费弹性系数 根据本世纪前五六十年的统计，一般地说，经济发展越快，能源的消费就越多，能源消费增长速度与国民经济增长速度之间形成按比例发展的关系。其比值为能源消费弹性系数。

$$\text{能源消费弹性系数} = \frac{\text{能源消费年平均增长率}}{\text{国民经济年平均增长率}}$$

在这个公式中，分子项的能源消费量是指能源的消费总量，既包括商品能源也包括非商品能源。一般发达国家的非商品能源在总能源中所占的比例很小，所以只计算商品能源消费量。我国目前也是这样计算的。公式中的分母项，是表示一个国家国民经济发展情况。在资本主义国家，广泛使用国民生产总值，我国一直以工农业总产值来表示国民经济的发展。表1.2.8中列出了我国1954至1985年历年的能源消费弹性系数。

弹性系数大于1，表示能源消费增长速度比国民经济增长速度快；小于1，则反之。工业发达国家的能源弹性系数在0.8左右，发展中国家在1.0左右。

从表1.2.8中可以看到，在1985年以前的32个年份中，我国

表1.2.8 我国历年能源消费弹性系数

年份	能源消费弹性系数	年份	能源消费弹性系数	年份	能源消费弹性系数	年份	能源消费弹性系数
1954	1.59	1962	1.87	1970	1.12	1978	0.74
1955	1.79	1963	-0.62	1971	1.52	1979	0.35
1956	1.60	1964	0.39	1972	1.78	1980	0.40
1957	1.12	1965	0.66	1973	0.46	1981	
1958	2.57	1966	0.42	1974	1.19	1982	0.65
1959	1.85	1967	1.00	1975	1.19	1983	0.55
1960	4.82	1968	-0.09	1976	3.14	1984	0.55
1961	1.05	1969	0.98	1977	0.88	1985	0.70

能源消费弹性系数大于1.0的有16个年份，其中的多数年份经济发展比较正常；其余一半年份的能源消费弹性系数小于1.0，这要分两种情况：一种是能源增长接近于0（在1968年）和大批小土群下马（1963年至1966年），另一种是由于提高了对能源的认识，开展了节能工作，调整了产业结构（1977年以后）。虽然1977年以后的能源弹性系数小于1.0，但要达到至2000年全国工农业总产值翻两番、能源生产翻一番的目标，能源弹性系数只能在0.5左右。实际上，1980年以后的平均弹性系数比0.5还大，这样，可能引起能源缺口。

（2）单位产值能耗 单位产值能耗是指能源消费总量与国民生产总值的比值。

$$\text{单位产值能耗} = \frac{\text{能源消费量(吨标煤)}}{\text{国民生产总值(万元)}}$$

$$\text{单位国民收入能耗} = \frac{\text{能源消耗量(吨标煤)}}{\text{国民收入(万元)}}$$

单位产值能耗指标可以用来分析能源利用状况，在一定条件下它反映节能潜力的大小。表1.2.9给出了我国“六五”期间单

表1.2.9 每万元国民收入能耗

年 份	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
万元国民收入 能耗(吨标煤)	15.36	14.95	14.36	13.58	13.14	12.58	12.20

位国民收入能耗。

1987年万元国民收入能耗比1981年下降了26%。

§3 核能——未来能源的希望

首先让我们来介绍一下国际应用系统分析研究所 (IIASA) 进行的世界能源替换规律的研究。该研究所从1973年起到1981年止, 总共花费了七年多的时间, 先后有30多个国家 120 多位科学家参加此项工作。他们对全世界一次能源系统作了 300 个方案的系统分析, 用30多个国家从1860年至1975年 100 多年的60多种历史统计资料作了拟合, 揭示了一种能源替代另一种能源的规律。图1.3.1表示了这种替代过程。

从图 1.3.1 可见: 19世纪初, 世界能源以木材为主; 到20世纪初, 煤替代了木材成为主要能源; 随着世界石油工业的发展, 到20世纪末叶, 石油将替代煤; 到21世纪初, 天然气的发展又将超过石油。另一方面, 从20世纪六十年代开始, 核能就已发展起来, 主要是以核裂变作为能量释放形式的核电站。随着时间的推移, 核能将逐步替代石油和天然气。一旦核聚变能达到商用, 核能将成为取之不尽的最终能源。能源替代规律揭示了世界能源朝

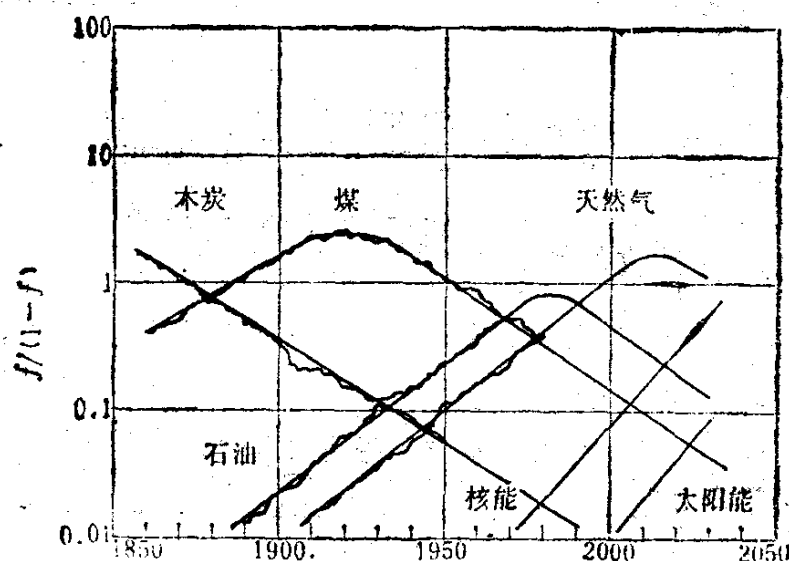


图1.3.1 1860至2030年全世界一次能源替代过程