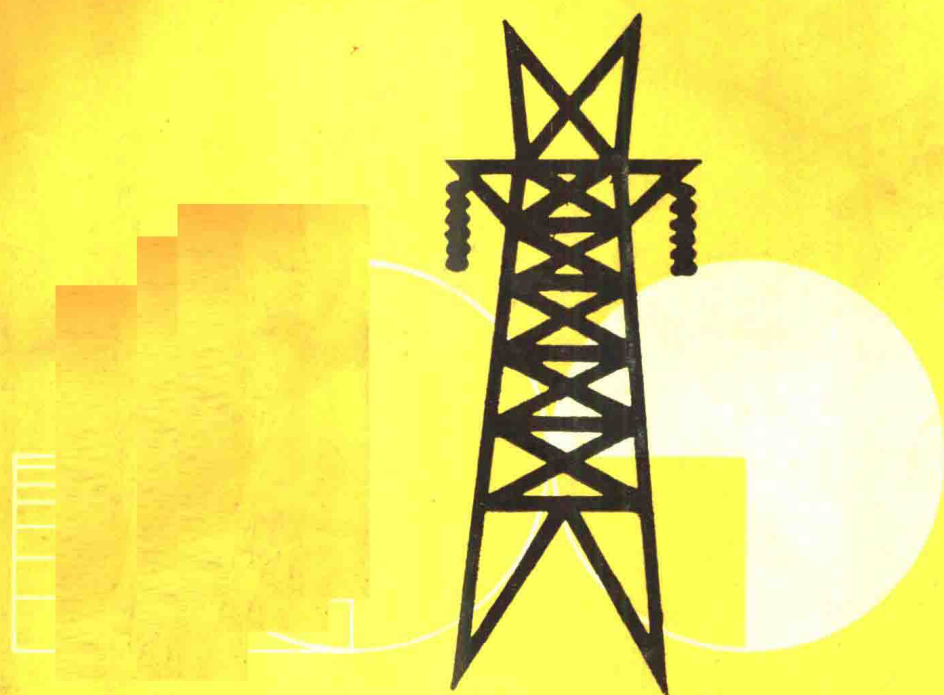


能源与电力

林家豪 编著



天津大学出版社

能 源 与 电 力

天 津 大 学 出 版 社

内 容 提 要

本书将能源与电力联系起来综合论述。全书共分十一章,分别论述各种发电能源的开发利用趋势;世界各国能源消费的概况和特点;能源消费中电能化的趋势;核电在本世纪内不可能成为主要发电能源,煤炭在可预见的将来不会从发电能源中被摒弃;非常规能源虽然前景诱人,但直到下世纪初也不可能成为举足轻重的发电能源等。

本书内容丰富,资料翔实,深入浅出,可作为高等学校能源、电力、经济、计划、管理等专业的选修课教材或主要参考书目,亦适于电力、能源、规划、经济部门工作者参考或自学进修之用。

能 源 与 电 力

林家豪 编著

天津大学出版社出版

(天津大学内)

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

开本: 787×1092毫米1/16 印张: 10¹/₄ 字数256千字

1989年12月第一版 1991年1月第二次印刷

印数: 501~2000

ISBN 7-5618-0173-4

TK·2

定价: 2.15元

序

能源者，国脉也。电能者，现代高技术社会之根基也。能源及电能消费水平与经济发展程度息息相关，未有能源供给匮乏或电能不足之国度能跻身于发达国家之列。而能源政策之正确与否又必将对国民经济产生长远之影响。本书全面介绍迄今国内外一、二次能源之开发与消费及其发展趋势。于叙述各种能源利用时，除着重介绍有关基本知识及常用技术外，尚荟萃引人注目之新技术或方向性之研究领域。其中若干论述，如世界性能源消费将日趋电气化；煤炭在未来半个世纪中仍将是主要发电能源；石油不可能全部被取代于发电能源之外；核电由于安全问题及经济性差，在本世纪内不可能成为主要能源；非常规能源虽然前景诱人，但除个别地区外，至本世纪末将无足轻重等见解，均有其独到之处。

西河林瑞新谨识于香江

1989年春月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 人类利用能源的历史.....	(1)
第二节 能源与社会.....	(2)
第三节 能源的概念与分类.....	(3)
第四节 常用的能源及能量的度量单位.....	(4)
第五节 能的各种转换形式.....	(5)
第六节 地球的能源潮流图.....	(6)
第二章 能源的消费及预测	(8)
第一节 能源消费与国民生产总值的关系.....	(8)
第二节 能源消费量的预测方法.....	(11)
第三节 某些能源消费增长的极限.....	(15)
第四节 世界的能源消费.....	(16)
第五节 美国能源消费概况和开发趋势.....	(19)
第六节 中国能源开发及消费概况.....	(24)
第三章 煤炭	(31)
第一节 煤炭发电简介.....	(31)
第二节 煤炭资源.....	(33)
第三节 煤炭链.....	(33)
第四节 煤炭的开采方法.....	(35)
第五节 煤炭的运输.....	(37)
第六节 煤炭在开发和利用过程中的环境污染问题.....	(38)
第七节 煤炭利用技术的发展.....	(40)
第八节 美国煤炭的开发和消费.....	(44)
第九节 中国煤炭的开发和消费.....	(45)
第四章 水力发电	(48)
第一节 水力发电的基本原理.....	(48)
第二节 世界水电资源的开发状况.....	(49)
第三节 水力发电的优缺点.....	(51)
第四节 优先发展水电的能源战略.....	(53)
第五节 水电站对环境的影响.....	(54)
第六节 抽水蓄能电站.....	(55)
第七节 美国的水力发电.....	(56)
第八节 中国的水力发电.....	(59)
附 录 长江三峡工程简介.....	(63)
第五章 核能	(65)

第一节	裂变过程	(65)
第二节	核反应堆	(66)
第三节	铀资源	(71)
第四节	核电的经济性	(72)
第五节	世界核电发展概况	(74)
第六节	反应堆净能量	(78)
第七节	核电站的环境安全问题	(78)
第八节	核聚变	(82)
第六章	石油	(87)
第一节	世界的石油消费	(87)
第二节	石油的生成和开采	(89)
第三节	石油的生产、运输和消费对环境的影响	(91)
第四节	石油输出国组织 (OPEC) 和世界油价	(91)
第五节	石油作为发电能源的变化	(93)
第六节	美国的石油消费和开发	(94)
第七节	中国石油的开发和消费	(96)
第八节	其它石油资源	(98)
第七章	天然气	(101)
第一节	天然气的成因	(101)
第二节	世界天然气的生产和消费	(101)
第三节	天然气的输送问题	(103)
第四节	天然气的合理使用与天然气发电	(104)
第五节	美国天然气的消费和开发	(106)
第六节	中国天然气的消费和开发	(108)
第八章	非常规发电能源	(110)
第一节	可再生能源的开发和利用	(110)
第二节	太阳能发电	(111)
第三节	风能发电	(117)
第四节	海洋能发电	(120)
第五节	地热能发电	(122)
第六节	开发非常规能源发电对生态环境的影响	(123)
第九章	电能	(125)
第一节	能源消费的电能化趋势	(125)
第二节	世界电能消费及发电能源构成	(128)
第三节	美国的电能消费和开发	(132)
第四节	中国电力工业概况	(134)
附 录	中国台湾省电力工业近况	(138)
第十章	能源与生态环境	(139)
第一节	简介	(139)
第二节	矿物燃料燃烧后污染物对环境的影响	(140)

第三节	由矿物燃料生产电力的其它环境影响·····	(144)
第四节	中国烧煤造成的环境污染·····	(144)
第十一章	能源政策·····	(146)
第一节	制订能源政策的依据·····	(146)
第二节	发达国家的能源政策·····	(148)
第三节	发展中国家的能源政策·····	(151)
第四节	中国的能源政策·····	(152)
第五节	环境保护与能源政策·····	(153)
插页 1 , 2	·····	(157)

第一章 绪 论

第一节 人类利用能源的历史

能源是生活最重要的先决条件之一。

从史前开始，人类就已逐渐懂得利用可以获得的能源为人类服务。当人类开始学会用火取暖时，可以说是迈出了能源利用的第一步。

人类最初的渔猎乃至耕作活动所依赖的只是来自其本身的能量，更准确地说，是本身肌肉的能量。这个能源很小，对于成年男子来说，大约只有 $1/10$ 马力。因此，当时人类的生产活动是非常简单、原始和不完善的。直到人类能够利用植物的能源和懂得驯服动物作各种用途之后，人类才开始获得更多的能源。

在发现核能以前，人类消费的绝大多数能源均来自太阳。太阳能通过光合作用被吸收和储存于植物之中作为柴草或食物而被利用。煤炭和石油的能源也是来自阳光，这些矿物是由生活在亿万年前植物腐解变化而来。来自太阳的能量也使地球的大气层产生了许多年来一直驱动风车工作的风能以及充满江河湖泊推动水车转动的雨量。

风力最早的应用是人类历史初期的帆船。公元前250年，风车即已被用于碾磨谷物和提水。直到十二世纪荷兰式的水平轴风车出现在西欧之前，风车仍保持其原来的基本结构。十八世纪中叶，荷兰殖民者才把它带到美国。

中国是利用风能最早的国家。早在两千多年前，利用风力驱动的帆船就已经在水面航行。从明代开始应用风力水车灌溉农田，并出现了用于农副产品加工的风力机械。

公元前一世纪出现的卧式水车功率只有300瓦左右，公元四世纪时的立式水车功率也只有2000瓦。这些水车主要用来碾磨谷物和用于机械性工作。直到十六世纪时，水车仍是各种早期机械的主要原动机。

只是到了近代，人类才开始充分利用化石燃料作为主要的能源。马可·波罗（公元十三世纪）的中国游记中记述了当时中国人烧用黑石头（煤炭），但煤炭在世界范围内的大量使用还是工业革命以后的事。十八世纪中叶，煤炭是英国工业的主要燃料。

直到十九世纪中叶，石油才被全面开发利用。1859年美国在宾州打成了深度为69英尺的第一口油井。1882年，美国当时的原油生产占全世界的85%。到二十世纪，随着内燃机的广泛应用，石油的利用才更普遍深入。从60年代起，它已成为世界第一能源。

从煤炭中蒸馏得出的煤气在1760年已用于苏格兰的柏油炉中作为燃料，以后煤气灯广泛用于实验室和街道照明。十九世纪可以说是煤气灯的时代。

中国早在公元前三世纪的秦汉时期就已有人把天然气用作燃料和熬制井盐。而在美国则是随着石油的开发而被发现的。最初由于它不易储存和运输而无法充分利用。天然气被大量利用作为能源是十九世纪末才开始。今天它在世界的能源消费中已约占 $1/5$ 。

十九世纪后期电能出现，因它具有能很方便地转变为热、光和机械能，易于传输的特点，使得电能的应用突飞猛进。也使水力资源的大规模利用成为可能。差不多所有的先进工

业国家都把水力资源的开发放在优先的地位，积极发展水电。为了获得电能，煤炭、石油和天然气等也先后被普遍用作发电能源。

迟至本世纪50年代核能才开始被用作能源。从50年代中期世界第一座核电厂向人类提供电能以来，核电发展迅速，1987年全世界已有16%的发电量来自核能。

目前由于核能本身存在着不安全性和废料的处理问题，以及由于过分使用矿物燃料造成了环境污染，破坏了生态平衡，人们回过头来对过去一度利用或尚未充分开发的太阳热能和光能、风能、水力、潮汐能、波能、地热乃至畜力、木柴等又有了新的兴趣，希望在新技术的基础上利用这些能源以替代目前造成地球污染的能源。历史当然不会机械重复，能源利用的技术也将日新月异，对下一世纪能源的开发和利用，人类必将创造新的奇迹。

第二节 能源与社会

能源的取得是人类社会得以生存下去和继续发展的重要因素。如果没有能源，我们的整个文明——运输、工业生产、商业活动、食物生产、科学技术、文化生活、政治活动等等都会停顿下来。只有在一定数量的能源前提下，社会的文明和经济才能得到一定程度的发展，而人类历史上的每次飞跃，包括人口的大量增长，可以说都反映了能源开发和利用的不同技术阶段。只有当食物有了剩余和有足够的能源，人口才有可能增加。并从而使复杂的社会组织和政治机构得到发展，乃至形成强大的军队。巨大的公共工程，例如灌溉系统、运河、金字塔、万里长城等才得以着手建造。许多前所未有的工具和技术也就随着需要而陆续出现和不断完善。

人类的生活水平和能源的利用程度息息相关。能源的利用有赖于资源的开发以及利用它们的熟练技术。当人类只能利用柴草等低热量能源时，只能产生古代的生活水平。风车和水车则代表了中世纪的生活水准。随着矿物燃料的开发，才使人类开始了现代化的生活。人类近代史上的三次技术革命，是和能源本身三次变革或转变同时发生的：第一次由薪柴到煤炭，亦即以蒸汽机为代表的十八世纪工业革命；第二次由煤炭到石油，也就是内燃机时代的开始（十九世纪末）；第三次则是二次世界大战后的电子技术时代，随着对电能的需要量急剧增长，能源的使用也由日渐枯竭的化石燃料逐渐转移到核能和可以再生的能源。

我们当代的社会是依赖于大量能源的生产和使用。当前世界上的许多问题都与能源的分布，化石燃料的日趋短缺，以及能源的生产和不同的消费方式对环境造成的影响紧密相连。今天，每个国家所面临的经济增长速度、通货膨胀、人民的生活标准以至整个国家的安全等问题都与能源的来源、价格、结构等有关。国与国之间的纠纷，许多也是由于能源问题而产生。

1973~1974年间阿拉伯国家对西欧、日本和美国的石油禁运政策和随之而来的石油涨价，从当年平均每桶2美元涨至最高峰1981年的每桶35美元，严重震撼了以进口廉价能源为基础的西方经济，这个冲击造成的严重后果至今尚未完全消失。

此外，能源利用的各种不同方式对环境又会造成不同程度的影响，因为能源在开发和消费过程中总会产生某种程度的污染。

中国自1949年以来，能源的开发和利用取得了显著的成绩，国民经济有了很大程度的发展，人民生活也有相当大的提高。但在能源的供求和利用方面仍存在着不少的问题。必须进一步合理开发和利用能源，促进国民经济的迅速发展，提高人民的生活水平。

第三节 能源的概念与分类

自然界中存在而可能为人类利用来获取能量的自然资源称为能量资源。它的范围随着科学技术的发展而扩大。

能量资源按其来源大致可以分为四类：第一类是来自地球以外的太阳能。除了直接的太阳辐射能之外，化石资源（煤、石油、天然气等）、生物质能、水能、风能、海洋能等资源都间接来自太阳能；第二类是以热能形式储藏于地球内部的地热能，如地下热水、地下蒸汽、干热岩体；第三类是地球上的铀、钍等核裂变资源和氘、氚、锂等核聚变资源；第四类是月球和太阳等星体对地球的引力而以月球引力为主所产生的能量，如潮汐能。

能源指人类取得能量的来源，包括已开采出来可供使用的自然资源与经过加工或转换的能量的来源。尚未开采出的能量资源只称为资源，不列入“能源”的范畴，以免混淆。

能源可按如下分类。

一次能源与二次能源。自然界现成存在、可直接取得又不改变其基本形态的能源称为一次能源，或称初次能源。如煤炭、石油、天然气、水能、生物质能、地热能、风能、太阳能等等。由一次能源经过加工转换成另一种形态的能源产品叫二次能源，如电力、蒸汽、焦炭、煤气以及各种石油制品等。在生产过程中排出来的余能、余热，如高温烟气、可燃废气、废蒸汽、排放的有压流体等也属于二次能源。一次能源无论经过转换多少次所得到的另一种能源，都称做二次能源。

常规能源与新能源。在一定历史时期和科学技术水平下，已经被人们广泛应用的能源，称为常规能源。现阶段的常规能源包括煤炭、石油、天然气、水力和核裂变能五种。目前世界上消费的能源几乎全靠这五种常规能源。

许多古老的能源若采用先进的方法加以广泛利用，以及用新发展的先进技术利用的能源，称之为新能源，或非常规能源。如太阳能、生物质能、地热能、风能、海洋能、核聚变能等，有些可以采用与古代不同的技术加以开发利用，有些尚未被大规模利用，有些还处在研究阶段。

可再生能源与非再生能源。在自然界中可以不断再生并有规律地得到补充的能源，例如水能、太阳能、生物质能、风能、海洋能、地热能等。

经过亿万年形成的、短期内无法恢复的能源，如煤炭、石油、天然气、核裂变燃料等，称为非再生能源。随着大规模地开采，其储量越来越少，总有枯竭之时。

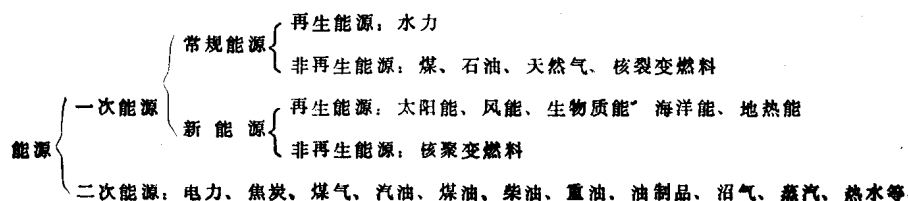
化石燃料是指亿万年前因地壳变动，植物遗体演化或其它原因形成的燃料，如煤炭、石油、天然气等。

核燃料是指通过变革原子核（裂变或聚变）而得到能量的燃料。核裂变燃料有铀、钍等；核聚变燃料有氘、氚等。

表 1-1 是能源的概念和分类。

表 1-1

能源的概念和分类



第四节 常用的能源及能量的度量单位

能源的种类很多,各种能源的品位、质量均不相同,因而统一能源和能量单位非常重要。

能量的最基本单位是卡。卡的定义为:1克纯水在标准气压下,温度升高摄氏1度所需要的热量。1000卡称为千卡。有时标明为20°C千卡,即1千克纯水,在标准气压下温度从19.5°C升高至20.5°C所需要的热量。

国际单位制推行委员会规定,热、功、能量的单位采用焦耳。其定义为:1牛顿的力作用于质点,使它沿力的方向移动1米距离所作的功,称为1焦耳。焦耳也可由电学单位来定义:即1安培电流在1欧姆电阻上1秒钟内所消耗的电能,称为1焦耳。

$$1 \text{ 焦耳} = 2.39 \times 10^{-4} \quad 20^{\circ}\text{C 千卡}$$

中国采用吨标准煤为能源的度量单位,每公升标准煤的发热量为29.271兆焦耳(7000千卡)。原煤、石油、天然气等一次能源的热值,随品种的不同而不同。若原煤热值平均按5000千卡/公斤计算,换算成标准煤的比率为0.714;原油热值按10000千卡/公斤计算,换算比率为1.429;天然气的热值按9310千卡/米³计算,换算比率为1.33;水电量有两种算法,一种以火力发电当年平均每度电的实际煤耗计算;另一种以电的热功当量计算,每度电(即千瓦·小时)为860千卡,等于0.1229公斤标准煤的热值。表1-2为各种能源折算为标准煤的系数。

表 1-2 各种能源折算为标准煤的系数

能源名称	平均低位发热量	折算标准煤系数
原煤	5000千卡/公斤	0.7143公斤标准煤/公斤
洗精煤	6300千卡/公斤	0.9000公斤标准煤/公斤
洗中煤	2000千卡/公斤	0.2857公斤标准煤/公斤
焦炭	6800千卡/公斤	0.9714公斤标准煤/公斤
原油	10000千卡/公斤	1.4286公斤标准煤/公斤
汽油	10300千卡/公斤	1.4714公斤标准煤/公斤
煤油	10300千卡/公斤	1.4714公斤标准煤/公斤
柴油	10000千卡/公斤	1.4571公斤标准煤/公斤
重油	10000千卡/公斤	1.4286公斤标准煤/公斤
液化石油气	12000千卡/公斤	1.7143公斤标准煤/公斤
天然气	9310千卡/立方米	1.3300公斤标准煤/立方米
焦炉煤气	4300千卡/立方米	0.6143公斤标准煤/立方米
城市煤气		0.5714公斤标准煤/立方米
电能	(当量)860千卡/度	0.1229公斤标准煤/度
其它石油制品	9158千卡/公斤	1.3083公斤标准煤/公斤

国际上常用油当量为计算标准,各种能源换算成标准油的比率为:原油为1;原煤为0.6~0.65;天然气为0.85~0.9。水电量和核电量也有两种算法,一种是按火电当年实际煤耗;另一种为每度电等于0.086公斤标准油。

国际通常还使用一些单位如:英热单位(Btu)、夸特(Quad)等。

英热单位的定义为1磅纯水在标准气压下,温度升高华氏1度所需的热量。

$$1 \text{ 英热单位} = 252 \text{ 卡}$$

1 Quad = 10^{16} Btu

1 千瓦小时 (kwh) = 3.6×10^6 焦耳

1 桶当量油 = 140 万千卡 (热)

1 吨油 = 7.33 桶油

1 吨氘 (聚变时) = 1200 万吨标准煤

1 吨铀 235 (裂变时) = 280 万吨标准煤 (吨标准煤简称吨标煤)

Mt 百万吨

Gt 10 亿吨

Mtce 百万吨煤当量或百万吨标准煤

MW 万千瓦

GW 百万千瓦

TW 10 亿千瓦

表 1-3 为吨标煤、吨油与其它常用单位的关系。

表 1-3

各种能量的转换关系

	焦 尔	千 卡	英热单位	千瓦小时	马力小时	吨 标 煤	吨 标 油
吨 标 煤	2.931×10^{10}	7×10^6	2.777×10^7	8.142×10^3	1.107×10^4	1	0.7
吨 标 油	4.187×10^{10}	1×10^7	3.966×10^7	1.163×10^4	1.581×10^4	1.4286	1

第五节 能的各种转换形式

能可以动能、位能、电能、磁能、热能、化学能、核能、声能、光能、质量能等形式表现出来，它们之间又可以互相转换。例如，当太阳在不断地进行从氢到氦的热核反应时，核能得到释放。这些能量起先表现为核的动能，然后其中部分能量以光子和电磁能束的形式逸出太阳进入地球。光子的能量通过目前仍不完全清楚的光合作用过程储存于植物中，通过食用植物或食用吃动植物的动物，人类获得了这种化学能再转变为另一种化学能来启动脑子和肌肉的能量，以及变成热能来维持生命。

质量也是一种能的形式，它直到本世纪初才被认识到。质量能可以认为是能的本质，物质拥有的能量可以从直觉中感到它的存在。物质颗粒正是高度集中和固定的能量束，静止不动

表 1-4

能量形式的转换

由	转 换 为				
	机 械 能	电 能	热 能	化 学 能	核 能
机 械 能	齿轮装置，活塞	扩音器，发电机	摩 擦		
电 能	喇叭，继电器	变压器，变流器	电 热 器	电解，蓄电池	粒子加速器
热 能	汽轮机	热电偶	热 交 换 器		
化 学 能	火箭，内燃机	蓄电池，燃料电池	火，锅炉	化学过程	
核 能			核反应堆		
太 阳 能		太阳能电池	热收集器	光合作用	

的物质颗粒所集中的能量和它的质量成正比。当物质颗粒移动时，它还具有更多的能量即它的动能。无质量的颗粒，例如光子，则只有运动能而无质量能。

颗粒的质量 m 和能量 E 的关系就是著名的爱因斯坦方程：

$$E=mc^2 \text{ 焦耳}$$

式中 $c=3 \times 10^8$ 米/秒（即光速），质量的单位为公斤。

表1-4 列出了一些能量形式间的转换。

第六节 地球的能源潮流图

我们可以把地球和它的大气层看成是一个系统来研究它的能源潮流，如图1.1所示。能源的输入是来自太阳的辐射以及太阳—地球—月球系统的机械能、动能和位能所造成的海洋潮汐和海流能。

来自太阳的辐射能据计算是 1.73×10^{17} 瓦，而潮汐能则为 3×10^{12} 瓦，可见基本上是由太阳提供了输送到地球的能源。地球内部逸出的能源约为 3.2×10^{13} 瓦，约10倍于潮汐能。

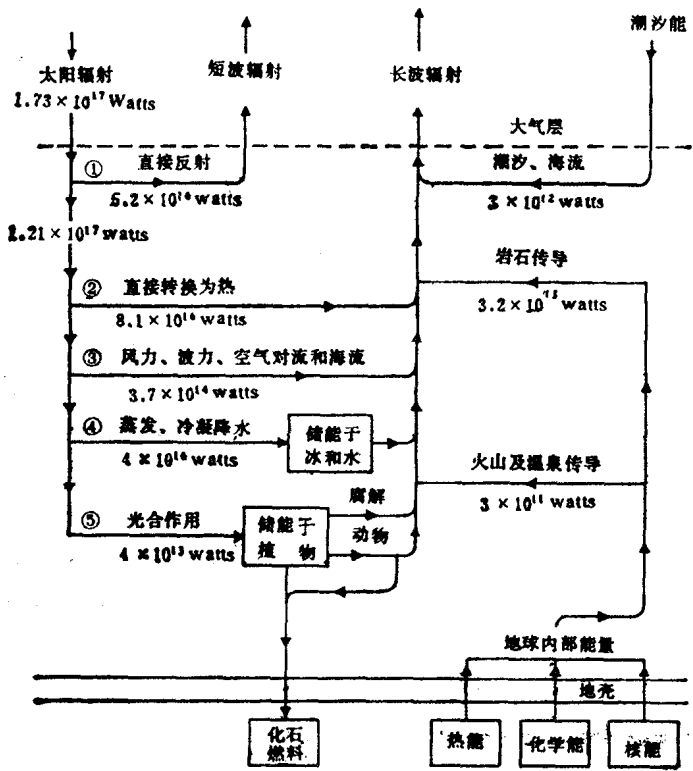


图 1.1 地球能源潮流图

进入地球的太阳能中约有30%以短辐射波的形式辐射或反射回太空中(图中①)。其余的能量一部分直接转变成长辐射波再次辐射出去(图中②)，另一部分则在大气层和海洋产生温度差使得热度对流而形成风，海流如波浪(图中③)。这种机械能最终以热和辐射的形式散逸至空间。

但尚有另一部分能量存在于水分的蒸发、冷凝和形成地面径流的水的循环(图中④)。

水在蒸发时吸收了热量，当它冷凝降水时又将热量释出。然而，作为大气一部分的水蒸汽，通过上述的能量传递而被迁移至高海拔上。当在这些海拔上冷凝降水时，水就拥有位能，这些能量在水从高海拔降至海平面时亦以低温度热量散逸至空中。这部分能量就是造成地面降水以及江河湖泊的水具有位能和动能的原因。

入射到地球的太阳能的最后部分通过光合作用过程为植物的叶子所吸收（图中⑤）。在此过程中太阳能被作为化学能而储存下来，倘若能源可以永远储存于植物（例如柴薪）之中，则能源存储的总量将会急骤增加，然而，自然界终会发生腐解，而此时释放出来的能量几乎相当于光合作用的速度。在某些特殊的地区，例如沼泽和泥炭地带，植物性物质由于浸入水中使得腐烂过程大大减缓，从而使一小部分由光合作用而来的能量得以保存。在过去的五亿年中，这种能源的储存和腐解过程形成了地壳内目前蕴藏的煤炭、石油、天然气以及其它有关的物质。

第二章 能源的消费及预测

第一节 能源消费与国民生产总值的关系

国民生产总值(GNP)亦称“国民收入总值”，是综合反映一个国家经济发展水平的最概括的重要经济指标之一，指一国在一定时期（通常是一年）内所生产的最终产品和劳务市场价值的总和。通常由国民经济各物质生产部门的净产值、固定资产折旧、非物质生产部门的纯收入三部分组成。

计算方法有三种：

(1) 生产法 或称部门法。由物质生产部门的增加值（即附加价值），加上提供服务的公用事业、通讯、贸易、金融、教育、卫生、生活服务、政府等部门的增加值而求得。

(2) 支出法，或称最终产品法。把个人消费支出、政府消费支出、用作固定资本投资和增添设备的国内私人总投资以及商品与劳务的净出口额等加以汇总而求得。

(3) 收入法，或称成本法。把生产全部产品和提供服务所支出的工资、薪金、间接税净额（即间接税减去政府津贴后的差额）、固定资产折旧以及利息、利润、租金收入等总加而求得。

一般采用支出法，其它两种方法计算所得的数据作参考。计算时要剔除通货膨胀因素，以便各国之间或不同时期之间进行比较。在我国，长期以来一直以国民收入指标作为衡量国民经济发展的综合指标，近年来也参考西方国家计算方法，估算我国国民生产总值。其计算方法是：在国民收入的基础上，加上非物质生产部门（主要是服务部门）的职工工资、利润、

利息、税金和国民经济各部门的固定资产折旧费。

一个国家的富足程度往往以它的国民生产总值来衡量，按人口平均的国民生产总值更是该国人民生活水平高低的标志。而国民生产总值又和能源消费的方式和数量紧密相关。一个国家的能源消费水平，直接关系到国民经济发展的水平和速度。例如美、苏、日和西欧几个发达国家，人口仅占世界总人口的1/5，但能源消费量却占世界能源总消费量的2/3。尽管世界各国的经济结构，生产水平、地理环境和自然资源条件各不相同，但在

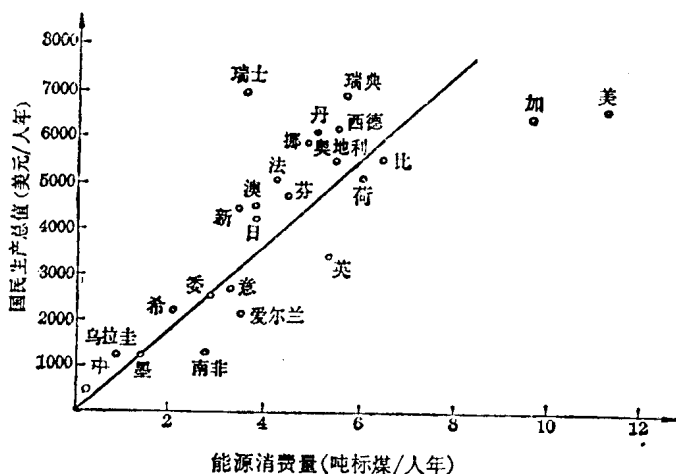


图 2.1 1974年一些国家的国民生产总值与能源消费量的关系

能源消费和国民生产总值之间，却存在着一定的内在联系（图2.1）。

工业化的国家按人口平均的能源消费一直在增长。图2.2表示1850至1985年间美国人口

和能源消费的增长变化。图2.3为美国1920~1975年间的能源消费和国民生产总值（以1958年不变美元计算）的变化曲线，表明两者关系十分紧密。

表2-1为一些国家1985年人均国民收入和人均能耗水平。

表 2-1 一些国家1985年人均国民收入和能耗水平

国 家	人 均 收 入 (1985年美元)	人 均 能 耗 (公斤)	人 均 耗 电 量 (千瓦·小时)
美 国	16185	7613	10888
日 本	10830	3247	5466
联邦德国	10041	4451	6286
法 国	9119	3525	5492
英 国	7730	3611	4851
意 大 利	6194	2546	3417
中 国	250	731	368

用能源消费弹性系数和单位产值能耗的概念更能说明它们之间的关系。

能源消费弹性系数（C）是能源消费年增长率与国民生产总值（计划经济国家常用国民收入）年增长率之比，即

$$C = \frac{dE/E}{dP/P} \quad (2-1)$$

式中 E——年能源消费量；

dE——年能源消费增加量；

P——年国民生产总值；

dP——年国民生产总值增长值。

设Q为相应于单位国民生产总值的能耗，

即

$$Q = E/P$$

$$E = QP \quad (2-2)$$

Q同C也有关

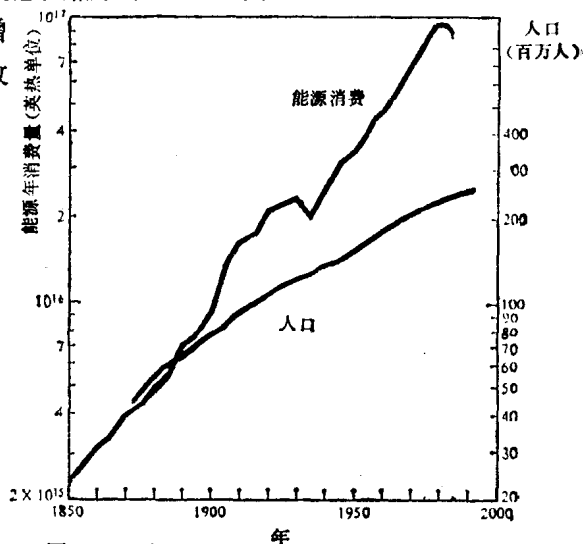


图 2.2 美国1850~1985年间人口和能源消费的增长变化

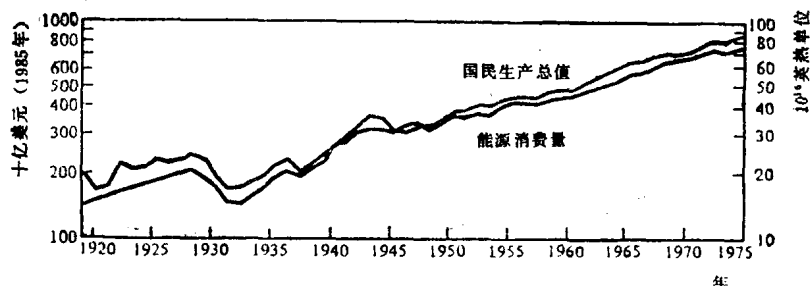


图 2.3 1920~1975年美国能源消费与国民生产总值的变化

$$C = \frac{QdP + PdQ}{QP \cdot \frac{dP}{P}} = \frac{(dP/P) + (dQ/Q)}{dP/P} = 1 + \frac{dQ/Q}{dP/P} \quad (2-3)$$

当dQ=0时，C=1，即当每单位国民生产总值的能耗不变化时，弹性系数等于1。

在这个公式中，能源消费量指的是能源的总消费量，应该包括商品能源和非商品能源。一

般发达国家在能源总消费量中非商品能源所占比例很小，而发展中国家非商品能源的消费量却占有很大的比例。分析能源消费弹性系数之目的，主要是研究国民经济发展与商品能源消费之间的关系。因此，一般只计算商品能源的消费量。

弹性系数同下列因素有关：(1)经济结构；(2)能源利用效率；(3)生产模式；(4)人民生活水平；(5)政策。一个国家处于工业化初期时，冶金等重工业增长较快，能源消费增长率高， $C > 1$ 。例如，我国第一个五年计划时期(1953~1958)， $C = 1.39$ 。当工业化到一定程度时，由于精细工业增加，能源利用技术提高，生产模式改善， C 将会下降至小于1(见图2.4)。然而，随着工业化程度的提高，人民生活水平也逐步提高，民用电将会很快增长，故电能消费弹性系数仍 > 1 。当采取节能措施，调整经济和产品结构，重工业和轻工业比例下降时，能源消费弹性系数 C 也可成为负值，见表2-2。

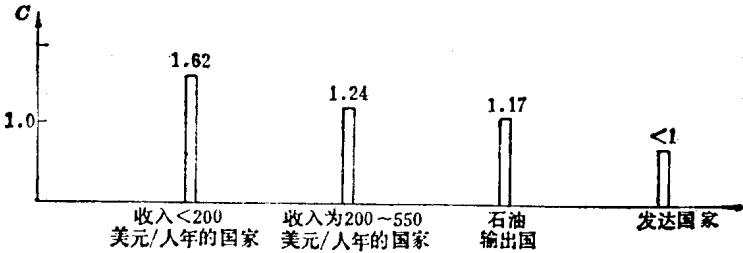


图 2.4 不同类型国家的能源弹性系数

表 2-2 1980年一些国家能源产值增长率和弹性系数

1979~1980年	能源消费增长率(%)	国民生产总值增长率(%)	弹性系数
日本	-2.7	+5.3	-0.51
西德	-4.6	+2.0	-2.3
法国	-1.3	+1.8	-0.72
英国	-7.5	-3.3	+2.27
意大利	-1.2	+4.0	-0.3

一般而言，随着技术的发展及更有效地利用能源，可以消费更少的能源而创造更大的国民生产总值。图2.5为1920~1975年间美国每美元的国民生产总值(以1958年不变美元计算)所消耗的能源曲线。

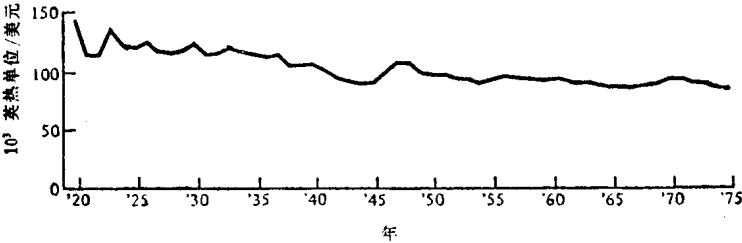


图 2.5 1920~1975年间美国每美元国民生产总值消费的能源

能源效益是指单位国民生产总值的能耗。它是衡量该国经济发展和生产技术水平，以至环境生态条件的一个基本指标。它也决定了一个国家的经济竞争力。