



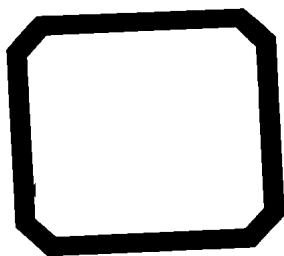
普通高等教育“十二五”规划教材

能源科学导论

黄素逸 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

能源科学导论

编著 黄素逸
主审 郑楚光



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。

本书阐述了能源的基本知识,内容包括能量与能源的概念、能源的作用和地位、能源与环境、能源的可持续发展及能量的转换与储存,重点介绍了常规能源(煤炭、石油、天然气和水能)和新能源(核能、太阳能、风能、地热能、生物质能、海洋能、氢能)、节能(节能的目标和领域、节能的法规和措施、技术节能的途径、节能的技术经济评价和主要的节能技术)、能源经济(能源有效利用的分析方法、能源建设项目不确定性分析、能源市场)等知识。

本书取材新颖、内容丰富,既可作为高等学校能源动力类专业本科生和研究生的教材,也可作为大学生自然科学素质教育课的教科书,还可供有关工程技术人员和管理干部参考。

图书在版编目(CIP)数据

能源科学导论/黄素逸编著. —北京:中国电力出版社,
2012.2

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-2629-3

I. ①能… II. ①黄… III. ①能源—高等学校—教材
IV. ①TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 014633 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 4 月第一版 2012 年 4 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.75 印张 405 千字

定价 29.80 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

能源是国民经济的命脉,与人民生活和人类的生存环境休戚相关,在社会可持续发展中起着举足轻重的作用。经过几十年的努力,我国能源发展成就显著,基本满足了国民经济和社会发展的需要,为“十二五”及今后更长时期的能源发展奠定了坚实基础。面向未来,我国能源工业已经站在新的历史起点上。

1998年,中央教育工作会议提出要加强高等学校学生人文素养和科学素质教育,为了贯彻会议精神和适应21世纪对高素质创造性人才的需求,作者和中国电力出版社一起组织编写了一套高等学校科学素质教育丛书。该丛书包括六本书,即能源科学导论、环境科学导论、生命科学导论、信息科学导论、材料科学导论和管理科学导论。其中,能源科学导论于1999年由中国电力出版社出版。该丛书的初衷是定位于21世纪复合型人才入门读物,使读者终生受益的基础教材。丛书曾多次重印,获得了读者的认可。能源科学导论一书实际上是一本高级的科普教材,在普及能源知识方面起到了一定的作用。

十多年过去了,中国经济发生了巨大的变化,人民的生活也有了显著的改善,其中,能源的作用功不可没。然而,煤炭、石油、天然气这类化石燃料总有耗尽之日,它们给环境造成的污染也日益严重。能源、环境、人口、粮食、资源也仍然是困扰当今中国乃至全人类的共同问题。如何使经济、社会、环境协调和可持续发展是全世界面临的共同挑战。

“十二五”是我国全面建设小康社会的关键时期,新时期新阶段能源发展既有新的机遇,也面临更为严峻的挑战。其挑战主要表现在:消费需求不断增长,资源约束日益加剧;结构矛盾比较突出,可持续发展面临挑战;国际市场剧烈波动,安全隐患不断增加;能源效率亟待提高,节能降耗任务艰巨;科技水平相对落后,自主创新任重道远;体制约束依然严重,各项改革有待深化;农村能源问题突出,滞后面貌亟待改观。

此次重写能源科学导论一书,有关能源的基础知识部分基本保留其框架,但对有关资料和数据进行了全面更新。全书重点是常规能源、新能源和节能。由于节能工作与各行各业紧密相关,而且在今后的节能减排中其重要性日益凸现,因此,在节能一章中增加了许多内容,包括节能应遵循的原则、节能相关的术语、节能的类型、技术和工艺节能的一般途径、节能的技术经济分析和先进的节能技术等。

为了让广大读者全面了解能源与经济之间的密切关系,并能运用经济学的观点来解决能源开发利用中所面临的问题,进一步提高能源利用开发的经济性,在书中特别增加了能源经济一章。本章主要介绍能源有效利用的分析方法(热平衡分析法、焓分析法、总能系统分析等)、能源建设的不确定性分析及能源市场等。

本书具有资料新颖、涉猎面广、叙述简洁的特点,以达到既为读者提供更多新的能源信息,又通俗易懂的目的。

感谢华中科技大学郑楚光教授对书稿的认真审阅,感谢同行、同事们为本书提供的宝贵建议。

黄素逸

2012年2月于华中科技大学

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 能量与能源	1
第二节 能源的作用和地位	8
第三节 能源与环境	13
第四节 能源的可持续发展	22
第二章 能量的转换与储存	30
第一节 能量的基本性质	30
第二节 能量转换的基本原理	33
第三节 主要的能量转换过程	39
第四节 能量的储存	49
第三章 常规能源	56
第一节 煤炭	56
第二节 石油及其制品	74
第三节 天然气及其他气体燃料	84
第四节 水能	92
第四章 新能源	106
第一节 核能	106
第二节 太阳能	125
第三节 风能	141
第四节 地热能	149
第五节 生物质能	154
第六节 海洋能	161
第七节 氢能	167
第五章 节能	177
第一节 节能的目标和领域	177
第二节 节能的法规和措施	180
第三节 节能术语与技术节能的途径	185
第四节 节能的技术经济评价	188
第五节 先进的节能技术	197
第六章 能源经济	221
第一节 概述	221
第二节 能源有效利用的分析方法	225
第三节 能源建设项目不确定性分析	239
参考文献	258

第一章 概 述

第一节 能量与能源

一、能量

物质、能量和信息是构成客观世界的基础。科学史观认为,世界是由物质构成的,没有物质,世界便虚无缥缈。运动是物质存在的形式,是物质固有的属性。没有运动的物质正如没有物质的运动一样是不可思议的,能量则是物质运动的度量。由于物质存在各种不同的运动形态,因此,能量也就具有不同形式。信息则是客观事物和主观认识相结合的产物,没有信息,物质和能量既无从认识,也毫无用处。

宇宙间一切运动着的物体都有能量的存在和转化。人类一切活动都与能量及其使用紧密相关。所谓能量,广义地说,就是“产生某种效果(变化)的能力”。反过来说,产生某种效果(变化)的过程必然伴随着能量的消耗或转化。例如,要使物体沿某一方向移动一定的距离 $S(m)$,就需要消耗一定的功,若推动物体的力为 $F(N)$,则所消耗的功为 $W = F \cdot S(J)$,也就是说需要消耗 $W = F \cdot S$ 的能量才能产生上述效果。又如,要使质量为 $m \text{ [kg]}$ 的物体从静止状态加速到速度为 $v \text{ [m/s]}$,则要消耗 $\frac{1}{2}mv^2(J)$ 的能量;加热质量为 $m \text{ [kg]}$ 的水,使其温度由 T_1 升高到 T_2 ,则耗能为 $mc(T_2 - T_1)$ [c 为水的比热容, $J/(kg \cdot ^\circ C)$];同样,移动 $q(C)$ 电荷跨越电位差 $U(V)$ 时,也要消耗 $qU(J)$ 能量。

科学史观还认为,物质是某种既定的东西,既不能被创造也不能被消灭,因此,作为物质属性的能量也一样不能创造和消灭。能量和物质质量之间的关系是爱因斯坦于 1922 年揭示的,即

$$E = mc^2 \quad (1-1)$$

式中: E 为物质释放的能量, J ; m 为转变为能量的物质的质量, kg ; c 为光速, $3 \times 10^8 m/s$ 。

式(1-1)表示的是一个可逆过程,其前提是质量和能量的总和在任何能量的转换过程中都必须保持不变。

在国际单位制中,能量的单位、功及热量的单位通常都用焦(J)表示,而单位时间内所做的功或吸收(释放)的热量则称之为功率,单位为瓦(W)。因为在能量的转换和使用中,焦和瓦的单位都太小,因此,更多的是用千焦(kJ)和千瓦(kW),或兆焦(MJ)或兆瓦(MW)。在能源研究中,还会用到更大的单位,如 GW 、 TW 等。能源利用中,常用的国际制的词冠见表 1-1。

表 1-1

能源中常用的国际制词冠

幂	词冠	国际代号	中文代号	幂	词冠	国际代号	中文代号
10^{18}	艾可萨(exa)	E	爱	10^6	兆(mega)	M	兆
10^{15}	拍它(peta)	P	拍	10^3	千(kilo)	K	千
10^{12}	太拉(tera)	T	太	10^2	百(hecto)	h	百
10^9	吉珈(giga)	G	吉	10	十(deca)	da	十

在工程应用和一些有关能源的文献中,还会见到其他一些单位,如卡、大卡、标准煤当量、标准油当量、百万吨煤当量(Mtce)、百万吨油当量(Mtoe)等。它们与国际单位之间的关系是:1卡=4.186 8焦;1公斤标准煤当量(kgce)=7000大卡;1公斤标准油当量(kgoe)=10 000大卡。

二、能量的形式

作为一个哲学上的概念,能量是一切物质运动、变化和相互作用的度量。具体而言,能量反映了一个由诸多物质构成的系统同外界交换功和热的能力的大小。利用能量,从实质上讲就是利用自然界的某一自发变化的过程来推动另一人为的过程。例如,水力发电就是利用水会自发地从高处流往低处的这一自发过程,使水的势能转化为动能,再推动水轮机转动,水轮机又带动发电机,通过发电机将机械能转换为电能供人类利用。显然,能量利用的优劣,利用效率的高低与具体过程密切相关。而且利用能量的结果,必然和能量系统的始末状态相联系,例如,水力发电系统通过消耗一部分水能来获得电能,系统的始末状态(如水位、流量等)都发生了变化。

对能量的分类方法没有统一的标准,到目前为止,人类认识的能量有六种形式。

1. 机械能

机械能是与物体宏观机械运动或空间状态相关的能量,前者称之为动能,后者称之为势能。它们都是人类最早认识的能量形式。具体而言,动能是指系统(或物体)由于做机械运动而具有的做功能力。如果质量为 m 的物体的运动速度为 v ,则该物体的动能 E_k 可以用下式计算:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1-2)$$

势能与物体的状态有关,除了受重力作用的物体因其位置高度不同而具有所谓重力势能外,还有弹性势能,即物体由于弹性变形而具有的做功本领;所谓表面能,即不同类物质或同类物质不同相的分界面上,由于表面张力的存在而具有的做功能力。重力势能 E_p 可以用下式计算:

$$E_p = mgH \quad (1-3)$$

式中: m 为物体的质量; g 为重力加速度; H 为高度。

弹性势能 E_r 的计算式为

$$E_r = \frac{1}{2}kx^2 \quad (1-4)$$

式中: k 为物体的弹性系数; x 为物体的变形量。

表面能 E_s 可用下式计算:

$$E_s = \sigma S \quad (1-5)$$

式中: σ 为表面张力系数; S 为相界面的面积。

2. 热能

热能是能量的一种基本形式,所有其他形式的能量都可以完全转换为热能,而且绝大多数的一次能源都是首先经过热能形式而被利用的,因此,热能在能量利用中有重要意义。构成物质的微观分子运动的动能和势能总和称之为热能。这种能量的宏观表现是温度的高低,它反映了分子运动的激烈程度。通常,热能 E_q 可表述成如下:

$$E_q = \int T ds \quad (1-6)$$

式中: T 为温度; ds 为熵增。

3. 电能

电能是和电子流动与积累有关的一种能量, 通常是由电池中的化学能转换而来, 或是通过发电机由机械能转换得到; 反之, 电能也可以通过电动机转换为机械能, 从而显示出电做功的本领。如果驱动电子流动的电动势为 U , 电流强度为 I , 则其电能 E_e 可表示为

$$E_e = UI \quad (1-7)$$

4. 辐射能

辐射能是物体以电磁波形式发射的能量。物体会因各种原因发出辐射能, 其中, 从能量利用的角度而言, 因热的原因而发出的辐射能 (又称热辐射能) 是最有意义的。例如, 地球表面所接受的太阳能就是最重要的热辐射能。物体的辐射能 E_r 可由下式计算:

$$E_r = \epsilon c_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (1-8)$$

式中: ϵ 为物体的发射率; c_0 为黑体辐射系数; T 为物体的绝对温度。

5. 化学能

化学能是物质结构能的一种, 即原子核外进行化学变化时放出的能量。按化学热力学定义, 物质或物系在化学反应过程中以热能形式释放的内能称为化学能。人类利用最普遍的化学能是燃烧碳和氢, 而这两种元素正是煤、石油、天然气、薪柴等燃料中最主要的可燃元素。燃料燃烧时的化学能通常用燃料的发热值表示。

单位质量 (对固体、液体燃料) 或体积 (气体燃料) 在完全燃烧, 且燃烧产物冷却到燃烧前的温度时所放出的热量称为燃料的发热量 (发热值或热值), 单位为 kJ/kg 或 kJ/m^3 。应用时又将发热量分为高位发热量和低位发热量。高位发热量是指燃料完全燃烧, 且燃烧产物中的水蒸气全部凝结成水时所放出的热量; 低位发热量是燃料完全燃烧, 而燃料产物中的水蒸气仍以气态存在时所放出的热量。显然, 低位发热量在数值上等于高位发热量减去水的汽化潜热。由于燃烧设备, 如锅炉中燃料燃烧时, 燃料中原有的水分及氢燃烧后生成的水均呈蒸汽状态随烟气排出, 因此, 低位发热量接近实际可利用的燃料发热量, 所以, 在热力计算中均以低位发热量作为计算依据。表 1-2 所示为各种不同燃料低位发热量的概略值。

表 1-2 各种不同燃料低位发热量的概略值

燃 料 种 类			发 热 量
固体燃料 (MJ/kg)	天然固体燃料	木材	13.80
		泥煤	15.89
		褐煤	18.82
		烟煤	27.18
	加工的固体燃料	木炭	29.27
		焦炭	28.43
		焦块	26.34

续表

燃 料 种 类			发 热 量
液体燃料 (MJ/kg)	天然液体燃料	石油 (原油)	41.82
	加工成的液体燃料	汽油	45.99
		液化石油气	50.18
		煤油	45.15
		重油	43.91
		焦油	37.22
		甲苯	40.56
		苯	40.14
		酒精	26.76
气体燃料 (MJ/m³)	天然气	天然气	37.63
	加工成的气体燃料	焦炉煤气	18.82
		高炉煤气	3.76
		发生炉煤气	5.85
		水煤气	10.45
		油气	37.65
		丁烷气	125.45

6. 核能

核能是蕴藏在原子核内部的物质结构能。轻质量的原子核（氘、氚等）和重质量的原子核（铀等）其核子之间的结合力比中等质量原子核的结合力小，这两类原子核在一定的条件下可以通过核聚变和核裂变转变为在自然界更稳定的中等质量原子核，同时释放出巨大的结合能，这种结合能就是核能。由于原子核内部的运动非常复杂，目前还不能给出核力的完全描述，但在核裂变和核聚变反应中都有所谓的“质量亏损”，这种质量和能量之间的转换完全可以用式（1-1）来描述。

三、能源的分类

能源可简单地理解为含有能量的资源。对于能源常常有不同的表述。例如，《大英百科全书》对能源一词的解释为“能源是一个包括所有燃料、流水、阳光和风的术语，人类采用适当的转换手段，给人类自己提供所需的能量”。在现代汉语词典中，对能源的注解是“能产生能量的物质，如燃料、水力、风力等”。总之，不论何种表述，其内涵都是基本相同的，即能源就是能量的来源，是提供能量的资源，这些来源或资源，要么来自物质，要么是来自物质的运动，前者如煤炭、石油、天然气等化石燃料（又称矿物燃料），后者如水流、风流、海浪、潮汐等。

从广义上讲，在自然界里有一些自然资源本身就拥有某种形式的能量，它们在一定条件下能够转换成人们所需要的能量形式，这种自然资源显然就是能源，如煤、石油、天然气、太阳能、风能、水能、地热能、核能等。但生产和生活过程中由于需要或为便于运输和使用，常将上述能源经过一定的加工、转换使之成为更符合使用要求的能量来源，如煤气、电力、焦炭、蒸汽、沼气、氢能等，它们也称为能源，因为它们同样能为人们提供所需的能量。

由于能源形式多样，因此，通常有多种不同的分类方法，它们或按能源的来源、形成、

使用分类,或从技术、环保角度进行分类。不同的分类方法都是从不同的侧重面来反映各种能源的特征。

1. 按地球上的能量来源分

地球上能源的成因有三方面。

(1) 地球本身蕴藏的能源,如核能、地热能等。

(2) 来自地球外天体的能源,如宇宙射线及太阳能,以及由太阳能引起的水能、风能、波浪能、海洋温差能、生物质能、光合作用、化石燃料(如煤、石油、天然气等,它们是一亿年前由积存下来的有机物质转化而来的)等。

(3) 地球与其他天体相互作用的能源,如潮汐能。

2. 按被利用的程度分

从被开发利用的程度、生产技术水平 and 经济效益等方面对能源进行分类。

(1) 常规能源,其开发利用时间长、技术成熟、能大量生产并广泛使用,如煤炭、石油、天然气、薪柴燃料,水能等,常规能源有时又称为传统能源。

(2) 新能源,其开发利用较少或正在研究开发之中,如太阳能、地热能、潮汐能、生物质能等,核能通常也被看着新能源,尽管核燃料提供的核能在世界一次能源的消费中已占15%,但从被利用的程度看还远不能和已有的常规能源比。另外,核能利用的技术非常复杂,可控核聚变反应至今未能实现,这也是将核能仍视为新能源的主要原因之一。不过也有不少学者认为应将核裂变作为常规能源,核聚变作为新能源。新能源有时又称为非常规能源或替代能源。

3. 按获得的方法分

(1) 一次能源,即自然界现实存在,可供直接利用的能源,如煤、石油、天然气、风能、水能等。

(2) 二次能源,即由一次能源直接或间接加工、转换而来的能源,如电、蒸汽、焦炭、煤气、氢等,它们使用方便,易于利用,是高品质的能源。

4. 按能否再生分

(1) 可再生能源,它不会随其本身的转化或人类的利用而日益减少,如水能、风能、潮汐能、太阳能等。

(2) 非再生能源,它随人类的利用而越来越少,如石油、煤、天然气、核燃料等。

5. 按能源本身的性质分

(1) 含能体能源,其本身就是可提供能量的物质,如石油、煤、天然气、氢等,它们可以直接储存,因此,便于运输和传输,含能体能源又称为载体能源。

(2) 过程性能源,它们是指由可提供能量的物质的运动所产生的能源,如水能、风能、潮汐能、电能等,其特点是无法直接储存。

6. 按是否能作为燃料分

(1) 燃料能源,它们可以作为燃料使用,如各种矿物燃料,生物质燃料以及二次能源中的汽油、柴油、煤气等。

(2) 非燃料能源,它们是不可作为燃料使用的能源,其含义仅指其不能燃烧,而非不能起燃料的某些作用,如加热等。

7. 按对环境的污染情况分

(1) 清洁能源, 即对环境无污染或污染很小的能源, 如太阳能、水能、海洋能等。

(2) 非清洁能源, 即对环境污染较大的能源, 如煤、石油等。

此外, 在一些参考资料中还常常看到另外一些有关能源的术语或名词, 如商品能源、非商品能源、农村能源、绿色能源、终端能源等。它们也都是从某一方面来反映能源的特征的。例如, 商品能源是指流通环节大量消费的能源, 如煤炭、石油、天然气、电力等; 而非商品能源则指不经流通环节而自产自用的能源, 如农户自产自用的薪柴、秸秆, 牧民自用的牲畜粪便等。表 1-3 所示为能源的分类。

表 1-3 能源的分类

按使用状况分	按性质分	按一、二次能源分	
		一次能源	二次能源
常规能源	燃料能源	泥煤 (化学能) 褐煤 (化学能) 烟煤 (化学能) 无烟煤 (化学能) 石煤 (化学能) 油页岩 (化学能) 油砂 (化学能) 原油 (化学能、机械能) 天然气 (化学能、机械能) 生物燃料 (化学能) 天然气水合物 (化学能)	煤气 (化学能) 余热 (化学能) 焦炭 (化学能) 汽油 (化学能) 煤油 (化学能) 柴油 (化学能) 重油 (化学能) 液化石油气 (化学能) 丙烷 (化学能) 甲醇 (化学能) 酒精 (化学能) 苯胺 (化学能) 火药 (化学能)
	非燃料能源	水能 (机械能)	电 (电能) 蒸汽 (热能、机械能) 热水 (热能) 余热 (热能、机械能)
新能源	燃料能源	核燃料 (核能)	沼气 (化学能) 氢 (化学能)
	非燃料能源	太阳能 (辐射能) 风能 (机械能) 地热能 (热能) 潮汐能 (机械能) 海水热能 (热能、机械能) 海流、波浪动能 (机械能)	激光 (光能)

四、能源的评价

能源多种多样, 各有优缺点。为了正确地选择和使用能源, 必须对各种能源进行正确的评价。能源评价通常包括以下几方面。

1. 储量

储量是能源评价中的一个非常重要的指标。作为能源的一个必要条件是储量要足够丰富。人们对储量常有不同的理解。一种理解认为,对煤和石油等化石燃料而言,储量是指地质资源量;对太阳能、风能、地热能等新能源而言则是指资源总量。而另一种理解是,储量是指有经济价值的可开采的资源量或技术上可利用的资源量。在有经济价值的可开采的资源量中又分为普查量、详查量和精查量等几种情况。在油气开采中,通常又将累计探明的可采储量与可采资源量之比称之为可采储资比,用以说明资源的探明程度。储量丰富且探明程度高的能源才有可能被广泛的应用。

2. 能量密度

能量密度是指在一定的质量、空间或面积内,从某种能源中所能得到的能量。显然,如果能量密度很小,就很难用作主要能源。太阳能和风能的能量密度就很小,各种常规能源的能量密度都比较大,核燃料的能量密度最大。几种能源的能量密度见表 1-4。

表 1-4 几种能源的能量密度

能源类别	能量密度 (kW/m ²)	能源类别	能量密度 (kJ/kg)
风能 (风速 3m/s)	0.02	天然铀	5.0×10^8
水能 (流速 3m/s)	20	²³⁵ U (核裂变)	7.0×10^{10}
波浪能 (波高 2m)	30	氘 (核聚变)	3.5×10^{11}
潮汐能 (潮差 10m)	100	氢	1.2×10^5
太阳能 (晴天平均)	1	甲烷	5.0×10^4
太阳能 (昼夜平均)	0.16	汽油	4.4×10^4

3. 储能的可能性

储能的可能性是指能源不用时是否可以储存起来,需要时是否又能立即供应。在这方面,化石燃料容易做到,而太阳能、风能则比较困难。由于大多数情况下,用能是不均衡的,比如白天用电多,深夜用电少;冬天需要热,夏天却需要冷。因此,在能量的利用中,储能是很重要的一环。

4. 供能的连续性

供能的连续性是指能否按需要和所需的速度连续不断地供给能量。显然,太阳能和风能就很难做到供能的连续性。太阳能白天有,夜晚无;风力则时大时小,且随季节变化大。因此,常常需要有储能装置来保证供能的连续性。

5. 能源的地理分布

能源的地理分布和能源的使用关系密切。能源的地理分布不合理,则开发、运输、基本建设等费用都会大幅度的增加。例如,我国煤炭资源多在西北,水能资源多在西南,工业区却在东部沿海,因此,能源的地理分布对使用很不利。带来“北煤南运”、“西电东送”等诸多问题。

6. 开发费用和利用能源的设备费用

各种能源的开发费用以及利用该种能源的设备费用相差悬殊。例如,太阳能、风能不需要任何成本即可得到。各种化石燃料从勘探、开采到加工却需要大量投资。但利用能源的设

备费用则正好相反,太阳能、风能、海洋能的利用设备费按每千瓦计远高于利用化石燃料的设备费。核电厂的核燃料费远低于燃油电厂,但其设备费却高得多。因此,在对能源进行评价时,开发费用和利用能源的设备费用是必须考虑的重要因素,并需进行经济分析和评估。

7. 运输费用与损耗

运输费用与损耗是能源利用中必须考虑的一个问题。例如,太阳能、风能和地热能都很难输送出去,但煤、油等化石燃料却很容易从产地输送至用户。核电厂的核燃料运输费用极少,因为核燃料的能量密度是煤的几百万倍,而燃煤电厂的输煤就是一笔很大的费用。此外,运输中的损耗也不可忽视。

8. 能源的可再生性

在能源日益匮乏的今天,评价能源时不能不考虑能源的可再生性。比如,太阳能、风能、水能等都可再生,而煤、石油、天然气则不能再生。在条件许可和经济上基本可行的情况下,应尽可能地采用可再生能源。

9. 能源的品位

能源的品位有高低之分,例如,水能够直接转变为机械能和电能,它的品位要比先由化学能转变为热能,再由热能转换为机械能的化石燃料必然要高些。另外,热机中,热源的温度越高,冷源的温度越低,则循环的热效率就越高,因此,温度高的热源品位比温度低的热源高。在使用能源时,特别要防止高品位能源降级使用,并根据需要使用适当安排不同品位能源。

10. 对环境的影响

使用能源一定要考虑对环境的影响。化石燃料对环境的污染大,太阳能、氢能、风能对环境基本上没有污染。在使用能源时应尽可能采取各种措施防止对环境的污染。

第二节 能源的作用和地位

一、能源更迭与社会发展

回顾人类的历史,可以明显地看出能源和人类社会发间的密切关系。人类社会已经经历了三个能源时期,即薪柴时期、煤炭时期和石油时期。

古代从人类学会利用“火”开始,就以薪柴、秸秆和动物的排泄物等生物质燃料来烧饭和取暖,同时,以人力、畜力和一小部分简单的风力和水力机械作动力,从事生产活动。这个以薪柴等生物质燃料为主要能源的时代,延续了很长时间,当时生产和生活水平都很低,社会发展迟缓。

18 世纪的产业革命,以煤炭取代薪柴作为主要能源,蒸汽机成为生产的主要动力,于是工业得到迅速发展,劳动生产力有了很大的增长。特别是 19 世纪末,电力开始进入社会的各领域,电动机代替了蒸汽机,电灯代替了油灯和蜡烛,电力成为工矿企业的主要动力,成为生产动力和生活照明的主要来源。出现了电话、电影,不但社会生产力有了大幅度的增长,而且人类的生活水平和文化水平也有极大的提高,从根本上改变了人类社会的面貌。这时的电力工业主要是依靠煤炭作为主要燃料。

石油资源的发展,开始了能源利用的新时期。特别是 20 世纪 50 年代,美国、中东、北非相继发现了巨大的油田和气田,于是,西方发达国家很快地从以煤为主要能源转换到以石

油和天然气为主要能源。汽车、飞机、内燃机车和远洋客货轮的迅猛发展，不但极大地缩短了地区和国家之间的距离，也大大地促进了世界经济的繁荣。近 50 年来，世界上许多国家依靠石油和天然气，创造了人类历史上空前的物质文明。

煤、石油和天然气等化石能源的大规模应用虽然极大地创造了人类历史上空前的繁荣，但也给全球环境带来严重的污染（关于能源对环境的具体影响见本章第三节）。为了解决能源对环境的污染以及化石能源日益枯竭的问题，人类不得不大力开发和发展太阳能、地热能、风能、海洋能、生物质能和核聚变能等新能源。

相对于传统常规能源，新能源普遍具有污染少、储量丰富的特点，不但对解决当今世界严重的环境污染问题和资源（特别是化石能源）枯竭问题具有重要意义，同时，由于很多新能源分布均匀，对于解决由能源引发的战争也有着重要意义。

显然，如果新能源取代了传统的常规能源，那么也意味着人们的生活将发生根本性的变革。传统常规能源的相对廉价、成熟以及其长时间形成的惯性力量，是新能源无法短时间内取代传统常规能源的根本制约。当然，这也表明新能源具有一些与生俱来的缺陷，还需要在技术层面上取得突破，从而大幅度降低成本。

当前，新能源和传统常规能源的角逐实际上也是一场能源的革命。而能源的革命，不仅带来能源的更迭，它还伴随着人类社会的向前迈进，以及与新能源相适应的人类新文明。例如，以新能源发电为主的分布式发电格局和以清洁生产为核心的“小循环”的循环经济模式将成为发展的新的驱动力，并构成和谐社会的一个有机部分。

二、能源与国民经济

能源是国民经济发展不可或缺的重要基础，是现代化生产的主要动力来源。现代工业和现代农业都离不开能源动力。

工业方面，各种锅炉、窑炉都要用油、煤和天然气作燃料；钢铁冶炼要用焦炭和电力；机械加工、起重、物料传送、气动液压机械、各种电机、生产过程的控制和管理都要用电力；交通运输需要动力、油和煤；国防工业也需要大量的电力和石油。能源还是珍贵的化工原料，从石油中可以提炼出五千多种有机合成原料，其中，最重要的基本原料有乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯、二甲苯、乙炔、萘等。由这些原料加工就可以得到塑料、合成纤维、人造橡胶、化肥、人造革、染料、炸药、医药、农药、香料、糖精等各种工业制品。

在现代化农业生产中，农产品产量的大幅度提高，也是和使用大量能源联系在一起的。例如，耕种、收割、烘干、冷藏、运输等都需要直接消耗能源；化肥、农药、除草剂又都要间接消耗能源。例如，美国 1945~1975 年的 30 年间，平均每吨谷类作物的总能源消耗量由 20kg 标准煤增加到 67kg 标准煤，而产量也由 204kg 增加到 486kg。也就是说，每亩耕地产量增加 1.4 倍，能源消耗量则增加 2.4 倍。

世界各国经济发展的实践证明，在经济正常发展的情况下，能源消耗总量和能源消耗增长速度与国民经济生产总值和国民经济生产总值增长率成正比例关系。这个比例关系通常用能源消费弹性系数来表示。能源消费弹性系数是能源消费的年增长率与国民经济年增长率之比。这个数值越大，说明国民经济产值每增加 1%，能源消费的增长率越高；这个数值越小，则能源消费增长率越低。能源弹性系数的大小与国民经济结构、能源利用效率、生产产品的质量、原材料消耗、运输以及人民生活需要等因素有关。

世界经济和能源发展的历史显示，处于工业化初期的国家，经济的增长主要依靠能源密

国民生产总值的能耗是衡量一个国家能量利用效率的一个重要指标。表 1-7 所示为世界各国国内生产总值的能耗。从表中可以看出,整体而言,世界大多数国家其单位产值的能耗是逐年降低的,但高、中、低收入国家其单位产值的能耗相差很大。对高收入国家而言,其经济发达,第三产业发展迅速,加之能源利用效率高,故单位产值的能耗约为低收入国家的 1/6。我国单位产值的能耗不但远高于发达国家,如日、美、英、德等,而且与发展中的大国如巴西、墨西哥相比,也差距很大,甚至高于印度。目前,我国一次能源消费量已超过俄罗斯,居世界第二位,但人均能耗水平低,单位产值的能耗高,因此,大力发展经济,提高能源利用率,全面建设小康社会仍然是我国人民面临的重要任务。

表 1-7 世界各国国内生产总值能耗比较 (t 标准油/万美元)

国家和地区	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年
世界	3.08	3.12	3.06	2.82	2.62	2.49
低收入国家	13.09	13.32	12.53	11.83	10.58	9.42
中等收入国家	7.13	7.11	7.22	6.79	6.15	5.42
高收入国家	2.08	2.10	2.04	1.83	1.68	1.61
中国	9.22	8.33	8.22	8.29	8.19	7.65
中国香港	0.94	1.00	1.03	1.06	1.06	1.02
孟加拉国	3.97	4.35	4.41	4.23	4.03	4.01
文莱	4.24	4.23	3.98	4.09	3.42	2.77
印度	9.99	9.76	9.44	8.19	7.43	6.64
印度尼西亚	9.25	9.98	8.35	7.11	6.78	6.26
伊朗	11.71	10.77	11.19	10.28	9.24	8.46
以色列	1.59	1.69	1.83	1.79	1.69	1.49
日本	1.13	1.27	1.33	1.22	1.16	1.17
哈萨克斯坦	21.12	17.21	16.94	14.69	11.22	9.18
韩国	3.72	4.00	3.71	3.41	3.13	2.70
马来西亚	5.68	6.14	5.78	5.59	4.46	4.47
巴基斯坦	8.65	9.06	9.13	8.32	7.59	6.97
菲律宾	5.59	5.85	5.51	5.28	5.07	4.53
新加坡	2.40	2.68	2.77	2.37	2.33	2.51
斯里兰卡	4.95	5.03	4.66	4.58	4.52	3.84
泰国	6.08	6.77	6.57	6.22	6.02	5.67
越南	12.01	12.14	12.14	11.19	11.05	9.66
埃及	4.55	4.81	5.92	6.67	7.18	6.84
尼日利亚	19.41	19.21	16.15	14.42	11.30	9.25

续表

国家和地区	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年
南非	8.36	9.21	9.49	7.09	5.97	5.27
加拿大	3.44	3.44	3.40	3.03	2.71	2.40
墨西哥	2.59	2.44	2.40	2.50	2.42	2.30
美国	2.36	2.24	2.20	2.09	2.00	1.89
阿根廷	2.18	2.18	5.50	4.61	4.13	3.48
巴西	2.88	3.38	3.78	3.51	3.09	2.37
委内瑞拉	4.84	4.73	6.22	6.36	5.08	4.19
白俄罗斯	19.31	19.99	17.28	14.58	11.59	8.80
捷克	7.12	6.69	5.57	4.88	4.18	3.62
法国	1.95	1.99	1.83	1.51	1.33	1.29
德国	1.81	1.87	1.71	1.42	1.27	1.24
意大利	1.58	1.55	1.42	1.20	1.06	1.05
荷兰	1.97	1.95	1.80	1.50	1.35	1.30
波兰	5.22	4.73	4.50	4.22	3.63	3.06
俄罗斯联邦	23.64	20.26	17.88	14.82	10.84	8.46
西班牙	2.15	2.10	1.92	1.54	1.36	1.29
土耳其	2.88	3.62	3.23	2.59	2.08	1.76
乌克兰	42.89	35.34	32.04	28.91	22.23	16.63
英国	1.62	1.63	1.45	1.28	1.08	1.05
澳大利亚	2.73	2.93	2.91	2.48	1.90	1.81
新西兰	3.53	3.46	2.73	2.02	1.75	1.57

资料来源：世界银行数据库。

值得注意的是，传统工业文明比农耕文明的发展程度高，但持续性差。随着世界人口的增加，经济的飞速发展，能源消费量持续增长，能源给环境带来的污染也日益严重。与此同时，由于人类的活动地球生态系统也受到破坏，森林锐减、物种毁灭、气候变暖、荒漠扩大、灾害频发。因此，如何使能源和环境协调，使社会可持续发展是摆在全人类面前的共同任务。

三、能源与人民生活

能源还与人民生活休戚相关。不但人们的衣、食、住、行处处离不开能源，而且文化娱乐、医疗卫生都与能源有着密切的关系。随着人们生活水平的提高，所需的能源也就越多。因此，从一个国家人民的能耗量就可以看出一个国家人民的生活水平。例如，生活最富裕的北美地区比贫穷的南亚地区每年每人的平均能耗要高出 55 倍。表 1-8 所示为美国家庭每户每年的能源消费概况，从表中可以看出能源与人民生活的关系是多么密切。