

普通高等教育“十五”规划教材



ENERGY SOURCES & ENERGY-SAVING
TECHNOLOGIES

能源与节能技术

黄素逸 编 著



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十五”规划教材



ENERGY SOURCES & ENERGY-SAVING
TECHNOLOGIES

能源与节能技术

黄素逸 编著
郑楚光 主审



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

能源是国民经济的基础,在社会可持续发展中起着举足轻重的作用。本书详细地阐述了能源科学的内涵,对能量与能源的概念、能源资源、能源与社会发展的关系、能源与环境、能量的转换与储存、各种燃料、电能、核能、可再生能源、氢能、能源管理和能源系统工程等,均作了较为深入的讨论,特别是对各种节能技术进行了详尽的介绍。

书中取材新颖、内容丰富,既可作为高等学校能源动力类专业的教材,也可作为大学生自然科学素质教育课的教科书,亦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

能源与节能技术/黄素逸编著. —北京:中国电力出版社, 2004.8

普通高等教育“十五”规划教材

ISBN 7-5083-2511-7

I. 能… II. 黄… III. ①能源-管理-高等学校-教材②节能-技术-高等学校-教材 IV. TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 080179 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004年8月第一版 2004年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 23印张 533千字

印数 0001—3000 定价 34.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

序

由中国电力教育协会组织的普通高等教育“十五”规划教材，经过各方的努力与协作，现在陆续出版发行了。这些教材既是有关高等院校教学改革成果的体现，也是各位专家教授丰富的教学经验的结晶。这些教材的出版，必将对培养和造就我国 21 世纪高级专门人才发挥十分重要的作用。

自 1978 年以来，原水利电力部、原能源部、原电力工业部相继规划了一至四轮统编教材，共计出版了各类教材 1000 余种。这些教材在改革开放以来的社会主义经济建设中，为深化教育教学改革，全面推进素质教育，为培养一批批优秀的专业人才，提供了重要保证。原全国高等学校电力、热动、水电类专业教学指导委员会在此间的教材建设工作中，发挥了极其重要的历史性作用。

特别需要指出的是，“九五”期间出版的很多高等学校教材，经过多年的教学实践检验，现在已经成为广泛使用的精品教材。这批教材的出版，对于高等教育教材建设起到了很好的指导和推动作用。同时，我们也应该看到，现用教材中有不少内容陈旧，未能反映当前科技发展的最新成果，不能满足按新的专业目录修订的教学计划和课程设置的需要，而且一些课程的教材可供选择的品种太少。此外，随着电力体制的改革和电力工业的快速发展，对于高级专门人才的需求格局和素质要求也发生了很大变化，新的学科门类也在不断发展。所有这些，都要求我们的高等教育教材建设必须与时俱进，开拓创新，要求我们尽快出版一批内容新、体系新、方法新、手段新，在内容质量上、出版质量上有突破的高水平教材。

根据教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的精神，“十五”期间普通高等教育教材建设的工作任务就是通过多层次的教材建设，逐步建立起多学科、多类型、多层次、多品种系列配套的教材体系。为此，中国电力教育协会在充分发挥各有关高校学科优势的基础上，组织制订了反映电力行业特点的“十五”教材规划。“十五”规划教材包括修订教材和新编教材。对于原能源部、电力工业部组织原全国高等学校电力、热动、水电类专业教学指导委员会编写出版的第一至四轮全国统编教材、“九五”国家重点教材和其他已出版各类教材，根据教学需要进行修订。对于新编教材，要求体现电力及相关行业发展对人才素质的要求，反映相关专业科技发展的最新成就和教学内容、课程体系的改革成果，在教材内容和编写体系的选择上不仅要有本学科（专业）的特色，而且注意体现素质教育和创新能力与实践能力的培养，为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。考虑到各校办学特色和培养目标不同，同一门课程可以有多种教材供选择使用。上述教材经中国电力教育协会电气工程学科教学委员会、能源动力工程学科教学委员会、电力经济管理学科教学委员会的有关专家评审，推

荐作为高等学校教材。

在“十五”教材规划的组织实施过程中，得到了教育部、国家经贸委、国家电力公司、中国电力企业联合会、有关高等院校和广大教师的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

教材建设是一项长期而艰巨的任务，不可能一蹴而就，需要不断完善。因此，在教材的使用过程中，请大家随时提出宝贵的意见和建议，以便今后修订或增补。（联系方式：100761 北京市宣武区白广路二条1号综合楼9层 中国电力教育协会教材建设办公室 010-63416222）

中国电力教育协会

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。

人类的一切活动都与能量及其使用紧密相关。当人类使用薪柴作为主要能源时，社会发展迟缓，生产和生活水平都极低。当煤炭作为主要能源时，不但社会生产力有了大幅度的增长，而且生活水平也有了很大的提高。20世纪50年代，由于巨大油气田的相继开发，人类迎来了石油时代。近50年来，世界上许多国家，特别是发达国家，依靠石油和天然气创造了人类历史上空前的物质文明。

然而，事物的发展总有相反的一面。一方面，煤炭、石油、天然气这类化石燃料总有耗尽之日；另一方面，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，也就成为困扰当今全人类的共同问题。因此，在新世纪，如何使经济、社会、环境协调和可持续发展仍是全世界面临的共同挑战。

科学技术的进步是对人类历史起推动作用的主导力量，是第一生产力。它不但通过不断创造、发明、创新，为人类创造财富，而且还为可持续发展的综合决策提供依据和手段，是实现社会可持续发展的保证。本书的编写目的就是为广大读者介绍有关能源科学的知识、世界和中国面临的能源问题、解决的对策和发展的前景。书中不但涉及到能源的基础知识，包括能量与能源的概念、能源资源、能源与社会发展的关系、能源与环境、能量的转换与储存、各种燃料、电能、核能、可再生能源、氢能、能源管理和能源系统工程等，而且还特别对目前广泛采用的节能技术，如高效低污染燃烧技术、强化传热技术、余热回收技术、隔热保温技术、热泵技术、热管技术、建筑节能技术和工业窑炉节能技术等作了详尽的介绍。在取材上，本书力求资料新颖、涉猎面广、叙述简洁，以达到为读者提供更多新的能源信息的目的。

感谢教育部热工课程教育指导委员会各位委员对本书的支持和帮助，特别要感谢煤燃烧国家重点实验室主任郑楚光教授，他对书稿进行了认真的审阅。感谢同行、同事们为本书提供的宝贵资料和建议，也感谢学生们为本书所作的资料整理工作。

由于作者水平有限，且能源科学发展迅速，创新不断，书中错误和不妥之处，诚恳欢迎读者批评指正。

进入21世纪，由于科学技术的发展，一个清洁能源时代将随之到来，世界将变得更加美好。

黄素逸

2004年3月于华中科技大学

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 能量与能源	1
第二节 能源资源、供应与消费	8
第三节 能源与环境保护	20
第四节 能源与可持续发展	31
第二章 能量的转换	41
第一节 能量的基本性质	41
第二节 能量转换的基本原理	44
第三节 主要的能量转换过程	51
第四节 能源利用分析	61
第五节 能量的储存	68
第三章 燃料	76
第一节 煤炭	76
第二节 石油及其制品	94
第三节 天然气及其他气体燃料	105
第四节 核燃料	112
第四章 电能	120
第一节 概述	120
第二节 火力发电	135
第三节 水力发电	141
第四节 先进发电技术	155
第五章 核能	165
第一节 核能的概述	165
第二节 反应堆	170
第三节 核电站	175
第四节 核电站的安全性	179
第五节 21 世纪的核能	181
第六章 可再生能源	186
第一节 太阳能	186
第二节 风能	200
第三节 地热能	208
第四节 生物质能	214

第五节 海洋能	221
第七章 氢能	228
第一节 概述	228
第二节 氢的制取与贮运	230
第三节 燃料电池	233
第八章 节能技术	238
第一节 节能概述	238
第二节 节能的技术经济评价	244
第三节 高效低污染燃烧技术	250
第四节 强化传热技术	262
第五节 余热回收技术	274
第六节 隔热保温技术	280
第七节 热泵技术	289
第八节 热管及其在节能中的应用	294
第九节 建筑节能	300
第十节 工业窑炉的节能	309
第九章 能源管理与能源系统工程	318
第一节 能源管理	318
第二节 能源的输送	329
第三节 能源经济	338
第四节 能源系统工程	347
参考文献	356

第一章 绪 论

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，世界便虚无飘渺。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 \vec{S} [m]，就需要消耗一定的功，若推动物体的力为 \vec{F} [N]，则所消耗的功为 $\vec{W} = \vec{F} \cdot \vec{S}$ [J]，也就是说需要消耗 $\vec{W} = \vec{F} \cdot \vec{S}$ 的能量才能产生上述效果。又如要使质量为 m [kg] 的物体从静止状态加速到速度为 v [m/s]，则要消耗 $\frac{1}{2}mv^2$ [J] 的能量；加热质量为 m [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·°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 表示物质释放的能量，J； m 为转变为能量的物质的质量，kg； c 为光速， 3×10^8 m/s。

上述公式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	吉伽 (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 焦；1 公斤标准煤当量 (kgce) = 7000 大卡；1 公斤标准油当量 (kgoe) = 10000 大卡。据此即可对有关数据进行换算。

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，人类认识的能量有如下六种形式：

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）由于作机械运动而具有的作功能力。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作功本领；以及所谓表面能，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作功能力。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, 也是本书讨论的重点。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 可表述成如下的形式:

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

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 可表述为

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

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成为化学能。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。

单位重量 (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 。应用上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, 燃料中原油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 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

固体燃料	天然固体燃料 (MJ/kg)	木材 泥煤 褐煤 烟煤	13.8 15.89 18.82 27.18
	加工的固体燃料 (MJ/kg)	木炭 焦炭 焦炭块	29.27 28.43 26.34
液体燃料	天然液体燃料 (MJ/kg)	石油 (原油)	41.82
	加工成的液体燃料 (MJ/kg)	汽油 液化石油气 煤油 重油 焦油 甲苯 酒精	45.99 50.18 45.15 43.91 37.22 40.56 40.14 26.76
气体燃料	天然气体燃料 (MJ/m ³)	天然气	37.63
	加工成的气体燃料 (MJ/m ³)	焦炉煤气 高炉煤气 发生炉煤气 水煤气 油气 丁烷气	18.82 3.76 5.85 10.45 37.65 125.45

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”。在现代汉语辞典中，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、天然气等矿物燃料（又称化石燃料），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。但在生产和生活过程中，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、蒸气、沼气、氢能等，它们也称之为能源，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

地球上能源的成因不外乎以下三方面，即

(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，则有：

(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，常规能源有时又称之为传统能源。

(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，核能通常也被看作新能源，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、蒸气、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。含能体能源又称之为载体能源。

(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。

此外在书籍和报章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。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 给出了能源分类的情况。

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) 蒸气 (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。通常能源评价包括以下几方面:

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

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。核电站的核燃料费远低于燃油电站，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。核电站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，而燃煤电站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，并根据使用需要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 能源资源、供应与消费

一、概述

人类使用的能源最主要是非再生能源，如石油、天然气、煤炭和裂变核燃料约占能源总消费量的90%左右，再生能源如水力、植物燃料等只占10%左右。世界能源储量最多的是太阳能，在再生能源中占99.44%，而水能、风能、地热能、生物能等不到1%。在非再生能源中，利用海水中的氘资源产生的人造太阳能（聚变核能）几乎占100%，煤炭、石油、天然气、裂变核燃料加起来也不足千万分之一。所以，人类使用的能源归根结底要依靠太阳能，太阳能是人类永恒发展的能源保证。

世界能源资源分布是不均衡的。例如石油储量最多的地区是中东，占56.8%；天然气和煤炭储量最多的是欧洲，各占54.6%和45%。亚洲、大洋洲除煤炭稍多（占18%）以外，

石油、天然气都只有 5% 多一点。这种能源资源分布的不均衡，给世界的政治、经济格局带来重大的影响。

最近 30 年来，全球能源生产发展非常迅速。图 1-1 为 1971~2001 年世界一次能源供应的变化情况。图 1-2 为 1973 年和 2001 年世界一次能源量供应的地区分布图。图 1-3 则为 1971~2001 年世界终端能源总消费量构成的变化情况。图 1-4 表示 1973 年和 2001 年世界能

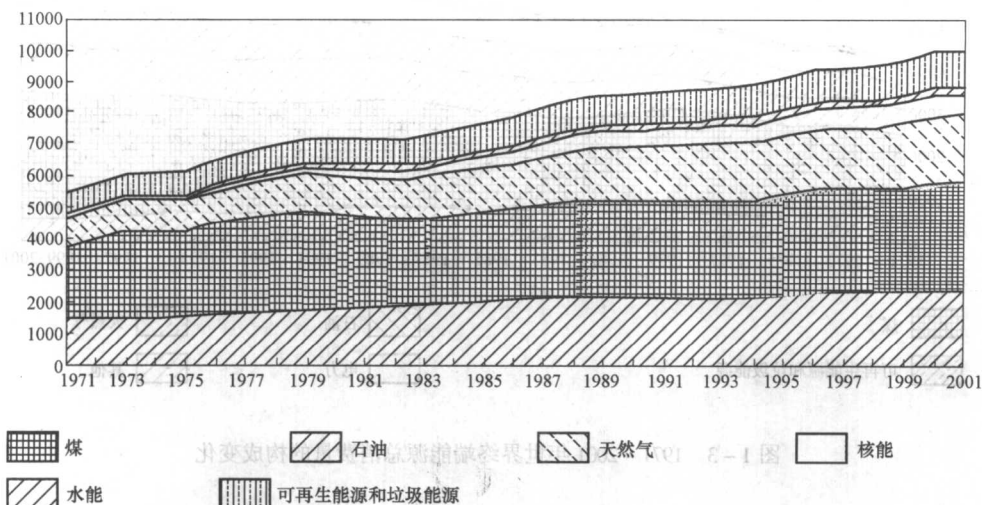
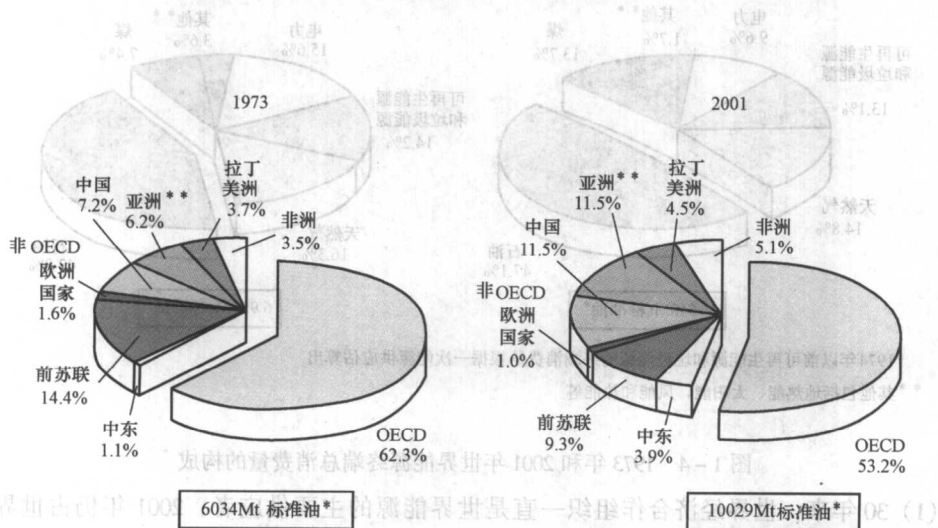


图 1-1 1971~2001 年世界一次能源供应的变化



* 不包括国际性船用燃料和电力贸易
 ** 亚洲不包括中国

图 1-2 1973 年和 2001 年世界一次能源量供应的地区分布