



普通高等教育“十二五”规划教材

能源监测与评价

黄素逸 闫金定 关欣 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

能源是国民经济的基础,节能是我国的基本国策,能源的监测与评价则是实现节能减排的重要手段。本书详细地阐述了有关能量与能源的基本概念、能源监测技术、能源有效利用的分析方法、能源建设项目的不确定性及能源方案的技术经济评价以及能源系统工程等。在此基础上重点介绍了高耗能企业的节能监测,包括冶金、建材、炼油、化工、电力、机械加工等诸多领域,取材新颖、内容丰富。

本书可作为高等学校能源动力类专业的教材,也可供有关企业工程技术人员及管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

能源监测与评价/黄素逸,闫金定,关欣编著. —北京:中国电力出版社,2013.7

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-4474-7

I. ①能… II. ①黄…②闫…③关… III. ①能源—监测—高等学校—教材②能源—评价—高等学校—教材 IV. ①TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 108475 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

*

2013 年 7 月第一版 2013 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16 印张 391 千字

定价 28.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
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。

“十二五”是我国建成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。主要表现在：消费需求不断增长，资源与环境约束日益加剧；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。

节能，从能源的角度顾名思义就是节约能源消费，即从能源生产开始，一直到最终消费为止，在开采、运输、加工、转换、使用等各个环节上都要减少损失和浪费，提高其有效利用程度。节能，从经济的角度则是指通过合理利用、科学管理、技术进步和经济结构合理化等途径，以最少的能耗取得最大的经济效益。同时节能还必须考虑环境和社会效益。

节能是我国的一项基本国策。能源的监测与评价既是能源建设中必须考虑的问题，也和节能休戚相关。目前国内还缺少一本有关能源监测与评价方面的教材。本书旨在为广大读者介绍有关能源监测与评价方面的知识。书中首先阐述了有关能量与能源的基本概念及评价的基本知识，然后对能源监测技术进行了比较详细地介绍，包括热工监测技术、燃料与燃烧的监测技术和电工监测技术。讨论了与能源评价和能源经济有关的问题，包括能源有效利用的分析方法、能源建设项目的不确定性及能源技术方案的经济评价，以及能源系统工程等。本书的重点是高耗能企业的节能监测，包括冶金、建材、炼油、化工、电力、机械加工等诸多领域，不但介绍了这些行业的基本状况，还较为详细地叙述了相关的节能技术和节能监测的项目，可为这些行业的节能降耗提供参考。

本书在取材上力求资料新颖、涉猎面广，文字表述力求简洁，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。

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在所难免，诚恳读者批评指正。

黄素逸 闫金定 关欣

2012年11月



目 录

前言	
第一章 能源概论	1
第一节 能量与能源	1
第二节 能源与环境	10
第二章 能源监测技术	16
第一节 热工监测技术	16
第二节 燃料与燃烧的监测技术	67
第三节 电工监测技术	78
第三章 能源有效利用的分析方法	86
第一节 能源有效利用的评价指标	86
第二节 热平衡分析法	88
第三节 焓分析法	93
第四节 热经济学分析法	95
第五节 总能系统分析	98
第四章 高耗能企业的节能监测	105
第一节 节能的技术经济分析	105
第二节 冶金工业的节能监测	108
第三节 建材企业的节能监测	131
第四节 石油化工企业的节能监测	150
第五节 电力企业的节能监测	162
第六节 轻纺企业的节能监测	190
第七节 机械加工企业的节能监测	202
第八节 产品能耗的节能监测	212
第五章 能源建设的不确定性及能源技术方案的评价	217
第一节 能源建设项目	217
第二节 能源建设项目的评价和分析	220
第三节 不确定性分析方法	224
第四节 能源技术方案的经济评价	227
第六章 能源系统工程	231
第一节 概述	231
第二节 能源系统工程的基本方法	234
第三节 能源系统的预测和规划	240
第四节 能源管理及信息系统	245
参考文献	249

第一章 能源概论

第一节 能量与能源

一、能量形式

能量是一切物质运动、变化和相互作用的度量。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6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,前者称为动能,后者称为势能。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 可以用式(1-1)计算,即

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

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)和表面能(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 可以用式(1-2)计算,即

$$E_p = mgH \quad (1-2)$$

式中 m ——物体的质量;

g ——重力加速度;

H ——高度。

弹性势能 E_r 的计算式为

$$E_r = \frac{1}{2}kx^2 \quad (1-3)$$

式中 k ——物体的弹性系数;

x ——物体的变形量。

表面能 E_s 的计算式为

$$E_s = \sigma S \quad (1-4)$$

式中 σ ——表面张力系数;

S ——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

数的一次能源都是先经过热能形式而被利用的，因此热能在能量利用中具有重要意义。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。若系统熵的变化为 ds ，则热能 E_q 可表示成

$$E_q = \int T ds \quad (1-5)$$

3. 电能

电能是和电子流动与积累有关的一种能量，通常由电池中的化学能转换而来，或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，从而显示出电能做功的本领。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

$$E_e = UI \quad (1-6)$$

4. 辐射能

辐射能是指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 计算式为

$$E_r = \epsilon c_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (1-7)$$

式中 ϵ ——物体的发射率；

c_0 ——黑体辐射系数；

T ——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。

单位质量（对固体、液体燃料）或体积（气体燃料）的燃料在完全燃烧，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，而燃烧产物中的水蒸气仍以汽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，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 1-1 为各种不同燃料低位发热量的概略值。

表 1-1 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	13.8
		泥煤	15.89
		褐煤	18.82
		烟煤	27.18
	加工的固体燃料 (MJ/kg)	木炭	29.27
		焦炭	28.43
		焦块	26.34

续表

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	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	天然气体燃料 (MJ/m³)	天然气	37.63
	加工成的气体燃料 (MJ/m³)	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。轻质量原子核（氘、氚等）和重质量原子核（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中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。

二、能量性质

能量性质主要有状态性、可加性、传递性、转换性、做功性和贬值性。

1. 状态性

能量取决于物质所处的状态，物质的状态不同，所具有的能量也不同（包括数量和质量）。其基本状态参数可以分为两类：一类与物质的量无关，不具有可加性，称为强度量，如温度、压力、速度、电动势和化学势等；另一类与物质的量相关，具有可加性，称为广延量，如体积、动量、电荷量和物质的量等。对能量利用中常用的工质，其状态参数为温度 T 、压力 p 和体积 V ，因此它的能量 E 的状态可表示为

$$E = f(p, T) \text{ 或 } E = f(p, V)$$

2. 可加性

物质的量不同，所具有的能量也不同，即可相加；不同物质所具有的能量也可相加，即一个体系所获得的总能量为输入该体系多种能量之和，故能量的可加性可表示为

$$E = E_1 + E_2 + \cdots + E_n = \sum E_i \tag{1 - 8}$$

3. 传递性

能量可以从一个地方传递到另一个地方，也可以从一种物质传递到另一种物质。例如，对传热来讲，能的传递性可表示为

$$Q = KA\Delta t \quad (1-9)$$

式中 Q ——传递的热量；

K ——传热系数；

A ——传热面积；

Δt ——传热的平均温差。

4. 转换性

各种形式的能可以互相转换，其转换方式、转换数量、难易程度均不尽相同，即它们之间的转换效率是不一样的。研究能量转换方式和规律的科学是热力学，其核心任务就是如何提高能量转换的效率。

5. 做功性

利用能量来做功，是利用能量的基本手段和主要目的。这里所说的功是广义功，但通常主要是针对机械功而言的。各种能量转换为机械功的本领是不一样的，转换程度也不相同。通常按转换程度，可以把能分为无限制转换（全部转换）能、有限制转换（部分转换）能和不可转换（废）能，又分别称为高质能、低质能和废能，显然这一分类也是以转换为功的程度来衡量的。能的做功性，通常也以能级 ξ 来表示，即

$$\xi = \frac{E_x}{E} \quad (1-10)$$

式中 E_x ——烟。

6. 贬值性

根据热力学第二定律，能量不仅有量的多少，还有质的高低之分。能量在传递与转换等过程中，由于多种不可逆因素的存在，总伴随着能量的损失，表现为能量质量和品质的降低，即做功能力的下降，直至达到与环境状态平衡而失去做功本领，成为废能，这就是能量质量贬值。例如，最常见的温差传热与有摩擦做功，就是两个典型的不可逆过程，在这两个不可逆过程中，能量都会贬值。能量的贬值性，即能的质量损失（或称内部损失、不可逆损失），其贬值程度可用参与能量交换的所有物体熵的变化（熵增）来反映，即能的贬值 E_0 可表示为

$$E_0 = T_0 \Delta S \quad (1-11)$$

式中 T_0 ——环境温度；

ΔS ——系统的熵增。

三、能量转换

能量转换是能量最重要的属性，也是能量利用中的最重要环节。人们通常所说的能量转换是指能量形态上的转换，如燃料的化学能通过燃烧转换成热能，热能通过热机再转换成机械能等。然而广义地说，能量转换还应当包括以下两项内容：

(1) 能量在空间上的转移，即能量的传输。

(2) 能量在时间上的转移，即能量的储存。

任何能量转换过程都必须遵守自然界的普遍规律——能量守恒定律，即

$$\text{输入能量} - \text{输出能量} = \text{储存能量的变化}$$

在国民经济和日常生活中用得最多、最普遍的能量形式是热能、机械能和电能。它们都可以由其他形态的能量转换而来，它们之间也可以互相转换。显然，任何能量转换过程都需要一定的转换条件，并在一定的设备或系统中实现。表 1-2 给出了能量转换过程及实现转

换所需的设备或系统。不同能源与热能的转换及利用情况如图 1-1 所示。

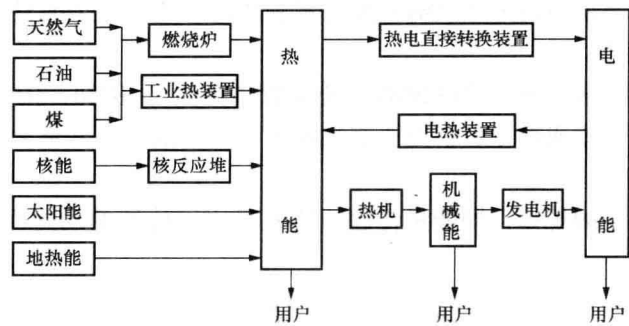


图 1-1 不同能源与热能的转换及利用情况

能源	能量形态转换过程	转换设备或系统
石油、煤炭、天然气 等化石燃料	化学能→热能 化学能→热能→机械能 化学能→热能→机械能→电能	炉子、燃烧器 各种热力发动机 热机、发电机、磁流体发电、压电效应
氢和酒精等 二次能源	化学能→热能→电能 化学能→电能	热力发电、热电子发电 燃料电池
水能、风能 潮汐能、海流能、 波浪能	机械能→机械能 机械能→机械能→电能	水车、水轮机、风力机 水轮发电机组、风力发电机组、潮汐发电装置、 海流能发电装置、波浪能发电装置
太阳能	辐射能→热能 辐射能→热能→机械能 辐射能→热能→机械能→电能 辐射能→热能→电能 辐射能→电能 辐射能→化学能 辐射能→生物能 辐射能→电能	热水器、采暖、制冷、太阳灶、光化学反应 太阳热发动机 太阳热发电 热力发电、热电子发电 太阳电池、光化学电池 光化学反应（水分解） 光合成
海洋温差能	热能→机械能→电能	海洋温度差发电（热力发动机）
海洋盐分（能）	化学能→电能 化学能→机械能→电能 化学能→热能→机械能→电能	浓度发电 渗透压发电 浓度差发电
地热能	热能→机械能→电能 热能→电能	热力发电机—发电机 热电发电
核能	核分裂→热能→机械能→电能 核分裂→热能 核分裂→热能→电能 核分裂→电磁能→电能 核聚变→热能→机械能→电能	核发电、磁流体发电 核能炼钢 热力发电、热电子发电 光电池 核聚变发电

四、能量传递

能量利用是通过能量传递来实现的，故能量利用过程通常也是能量传递的过程。

1. 能量传递的条件

能量传递是有条件的，其传递的推动力是所谓“势差”。例如，传热要有温差、导电要有电位差、流动要有压差或势差、扩散要有浓度差、化学反应要有化学势差等。

2. 能量传递的规律

能量传递遵循一定的规律，即能量传递的速率正比于传递的动力而反比于传递的阻力，由此有

$$\text{传递速率} = \frac{\text{传递动力}}{\text{传递阻力}} \quad (1-12)$$

例如，对导电有 $I = \frac{U}{R}$ ；对于传热则有 $Q = \frac{\Delta t}{R_t}$ ；其中， I 为电流强度； R 为电阻； R_t 为热阻。

3. 能量传递的形式

能量传递包括转移与转换两种形式。转移是某种形态的能，从一地到另一地，从一物到另一物；转换则是由一种形态变为另一形态。这两种形式往往是一起或交替存在共同完成能量传递。

4. 能量传递的途径

能量传递的途径基本有两条：由物质交换和质量迁移而携带的能量称为携带能，在体系边界面上的能量交换称为交换能。对开口系这两种途径同时存在，对封闭系则主要靠交换。

5. 能量传递的方法

在体系边界面上的能量交换，通常主要以两种方法进行：传热，由温差引起的能量交换，这是能量传递的微观形式；做功，由非温差引起的能量交换，这是能量传递的宏观形式。

6. 能量传递的方式

通过能量交换而实现的能量传递，即传热和做功。传热的三种基本方式是热传导、热对流和热辐射；做功（这里指机械功）的三种基本方式是容积功、转动轴功和流动功（推动功）。

7. 能量传递的结果

能量传递的结果主要体现在两方面，即能量使用过程中所起的作用以及能量传递的最终去向。例如，以生产为例，能量在使用过程中的作用主要是用于物料并最终成为产品的一部分；或用于某一过程，包括工艺过程、运输过程和动力过程，并成为过程的推动力，使过程能够进行、生产得以实现。能量传递的最终去向通常转移到产品，或散失于环境，包括直接损失和用于过程后再进入环境这两种情况。

8. 能量传递的实质

能量传递的实质实际上就是能量利用的实质。如果把产品的使用也包括在内，能量的最终去向只能是唯一的，即最终进入环境，也就是，能量的利用是通过能量的传递，使能量由能源最终进入环境。其结果是能量被利用了，能源被消耗了。作为能量而言，它是守恒的，不会消失；故就能量利用的本质而言，人类利用的不是能量的数量而是能量的质量（品质、

品位), 即能的质量急剧降低, 直至进入环境, 最终成为废能。

五、能源分类

能源可简单地理解为含有能量的资源。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, 或按能源的来源、形成、使用分类, 或从技术、环境保护角度进行分类。不同的分类方法都是从不同的侧面来反映各种能源的特征。

1. 按地球上的能量来源分类

地球上能源的成因不外乎以下三方面:

(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)等。

(3) 地球与其他天体相互作用的能源, 如潮汐能。

2. 按被利用的程度分类

从被开发利用的程度、生产技术水平 and 经济效果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, 核能通常也被看成新能源, 尽管核燃料提供的核能在世界一次能源的消费中已占15%, 但从被利用的程度上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。新能源有时又被称为非常规能源或替代能源。

3. 按获得的方法分类

(1) 一次能源。自然界存在的, 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。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. 按能否再生分类

(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类

(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, 含能体能源又被称为载体能源。

(2) 过程性能源。它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. 按是否能否作为燃料分类

(1) 燃料能源。它可以作为燃料使用，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类

(1) 清洁能源。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。对环境污染较大的能源，如煤、石油等。

六、能源评价

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。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。例如，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 1-3。

表 1-3 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，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地增加。例如，我国煤炭资源多在西北地区，水能资源多在西南地区，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，利用太阳能、风能、海洋能的设备费用按每千瓦计远高于利用化石燃料的设备费用。核电站的核燃料费用远低于燃油电站，但其设备费用却高得多。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。例如，太阳能、风能、水能等都可再生，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，在热机中，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品位高。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地采取各种措施防止对环境的污染。

在对各种能源进行选择、评价时还必须考虑国情，例如，我国能源结构以煤为主的格局；我国经济发展不平衡、人口众多的实际情况。此外，也应依据国家的有关政策、法规，例如，我国能源开发与节约并重的基本方针；同时充分考虑技术与设备的难易程度，只有这样才能对能源进行正确的评价和选择。

第二节 能源与环境

一、环境问题

全球环境恶化主要表现在大气和江海污染加剧、大面积土地退化、森林面积急剧减少、淡水资源日益短缺、大气层臭氧空洞扩大、生物多样性受到威胁等多方面,同时温室气体的过量排放导致全球气候变暖,使自然灾害发生的频率和烈度大幅度增加。

能源作为人类赖以生存的基础,在其开采、输送、加工、转换、利用和消费过程中,都直接或间接地改变着地球上的物质平衡和能量平衡,必然对生态系统产生各种影响,成为环境污染的主要根源。能源对环境的污染主要表现在温室效应、酸雨、破坏臭氧层、热污染、放射性污染等。

能源对环境的影响是一种综合的影响。表 1-4 给出了各种能源在生产、加工和利用中对环境的影响。

二、能源问题

能源是国民经济的命脉,在社会可持续发展中起着举足轻重的作用。从 20 世纪 70 年代以来,能源就与人口、粮食、环境、资源被列为世界上的五大问题。

1. 世界能源所面临的问题

世界经济的现代化,得益于化石能源,如石油、天然气、煤炭与核裂变能的广泛应用。因而它是建筑在化石能源基础之上的一种经济。然而,由于这一经济的资源载体将在 21 世纪上半叶迅速地接近枯竭。例如,按石油储量的综合估算,可支配的化石能源的极限,大约为 1180 亿~1510 亿 t,以 1995 年世界石油的年开采量 33.2 亿 t 计算,石油储量在 2050 年左右宣告枯竭。天然气储备估计在 131 800~152 900 Mm³。年开采量维持在 2300 Mm³,将在 57~65 年内枯竭。煤的储量约为 5600 亿 t。1995 年煤炭开采量为 33 亿 t,可以供应 169 年。铀的年开采量目前为每年 6 万 t,根据 1993 年世界能源委员会的估计可维持到 21 世纪 30 年代中期。

世界性的能源问题主要反映在能源短缺及供需矛盾所造成的能源危机。第一次能源危机是 20 世纪 70 年代世界上的一次经济大危机,它使此前 20 年靠廉价石油发家的西方发达国家受到极大的冲击,严重地影响了这些国家的政治、经济和人民生活。例如,1973 年中东战争期间,由于阿拉伯国家的石油禁运,当年美国由于缺少 1.16 亿 t 标准煤的能源,致使经济损失达 930 亿美元;日本由于缺少 0.6 亿 t 标准煤的能源,使生产损失达 485 亿美元,致使 1974 年日本国民经济总产值不但没有增长,而且下降了,此前日本的生产总值每年递增 10%。由此可见,20 世纪 70 年代的能源危机,实质上是石油危机。

石油燃烧效率高、污染低,便于携带、使用、储存,又是多种化工产品的重要原料,特别在交通运输方面又是不可替代的燃料。20 世纪 50 年代以来长期的低油价更使石油主宰了以后的能源市场。由于政治和经济等多方面原因,70 年代中期,石油经两次提价,廉价石油已成为珍贵石油。由于石油是一种非再生能源,储量有限。一方面石油生产国为保持长期油价优势,采取限量生产的政策;另一方面发达的用油国,由于受到石油危机的冲击和价格的压力,多方面采取了节油政策并研究石油代用技术。与此同时天然气工业也迅速崛起。尽管在近期内世界上大多数国家还能依靠石油输出国供应石油,并更多地使用天然气,但需求

表 1-4 各种能源在生产、加工和利用中对环境的影响

能源	对土地资源的影响			对水资源的影响			对空气资源的影响		
	生产	加工	利用	生产	加工	利用	生产	加工	利用
煤	地面破坏、侵蚀、沉降	固体废物	飞灰、渣的排放	酸性矿水、淤泥排出	废水、污染物排出	提高水温			氧化硫、氧化氮、颗粒物
油	废水排放			油泄漏、漏气、废水	油泄漏、漏气	提高水温	蒸发损失	蒸发损失	氧化硫、一氧化硫、氧化氮、烃类
天然气	废水排放					提高水温	泄漏	杂质	一氧化碳、氧化氮
铀	地面破坏、少量放射性固体废物	固体废物	放射性废物排放	排出物中很少量的放射性	放射性废物排放	提高水温、释放少量短半衰期核素	排放很少量的放射性		释放少量短半衰期核素
水电			淹没损失						
地热			地面沉降、地震活动			废水排出、提高水温			硫化氢、氧化硫
油页岩	地面破坏、沉降	大批的废物			需要大量水，排放有机、无机污染物	提高水温		硫化氢	氧化氮、一氧化碳、烃类
煤的气化	地面破坏、侵蚀、沉降	固体废物	飞灰、渣的排放	酸性矿水、淤泥排出		提高水温			氧化氮、一氧化碳

的增加反过来又会刺激油价上涨；因此从长远的角度看，无论如何依靠大量采用廉价石油作为主要能源，来促进国民经济迅速增长的情况将不会出现，而且继续依靠石油来满足不断增长的能源需求的日子也不会持续太长。这正是世界能源所面临的主要问题之一。

世界能源面临的另一问题是，随着经济的发展和生活水平的提高，人们对环境质量的要求也越来越高，相应的环境保护标准和法规也越来越严格。由于能源是环境的主要污染源，因此为了保护环境，世界各国不得不在能源开发、运输、转换、利用的各个环节上投入更多的资金和科技力量，从而使能源消费的费用迅速增加。

随着化石燃料资源的消耗，易于探明和开采的燃料，特别是石油和天然气，已逐渐减少。因此能源资源的勘探、开采也越来越难，投入资金多，建设周期长、科技含量高，既是今后能源开发的特点，也是世界性的能源问题。

2. 我国能源面临的问题

我国的能源问题主要反映在以下几方面：

(1) 人均能源资源相对不足，资源质量较差，探明程度低。我国常规能源资源的总储量就其绝对量而言，是较为丰富的，然而，由于我国人口众多，就可采储量而言，人均能源资源占有量仅相当于世界平均水平的 $1/2$ ，且化石能源勘探程度低，资源不足，例如，人均煤炭探明可采储量仅为世界人均平均值的 $1/2$ ，石油仅为 $1/10$ 左右。有关专家估计，若按目前的开采水平，我国石油资源和东部的煤炭资源将在 2030 年耗尽，水力资源的开发也将达到极限。按各种燃料的热值计算，在目前的探明储量下，世界能源资源中，固体燃料和液、气体燃料的比例为 $4:1$ ，我国则远远落后于这一比值。目前，在世界能源产量中，高质量的液、气体能源所占比例为 60.8% ，而我国仅为 19.1% 。

(2) 能源生产消费以煤为主。例如 1998 年，原煤在一次能源生产中所占比重为 74.2% ，在能源消费结构中，所占比重为 75.6% ，从而给环境保护带来极大的压力。

(3) 能源工业技术水平低下，劳动生产率较低。以煤炭和电力工业为例，1998 年我国煤炭工业职工总数约占世界煤炭职工人数的 52% ，而煤炭产量仅占世界总产量的 21.5% ，人均年产煤量仅为 200t，而世界其他采煤国总计的人均年产煤量为 1017t。全国 4600 套火力发电机组中，5 万 kW 以下的机组 3370 台占到 73% ，其装机总容量仅为 4350 万 kW，仅占总容量的 16% 。

(4) 能源资源分布不均，交通运力不足，制约了能源工业发展。我国能源资源西富东贫，大多远离人口集中、经济发达的东南沿海地区。这种格局大大增加了能源输运的压力，形成了西电东送、北煤南运的输送格局。多年来，由于运力不足造成了大量的煤炭积压，严重制约了煤炭工业的发展，也造成了电力供应的紧张。

(5) 能源供需形势依然紧张。我国的能源生产经过 50 年的努力，取得了十分显著的成绩，能源紧张的矛盾明显缓解。然而与经济的长远发展需要相比，仍存在着较大的差距，特别是洁净高效能源，缺口依然很大。2003 年，拉闸限电、成品油价格大幅上涨、煤炭供应不足，三大能源供应同时出现紧张局面就是证明。

(6) 能耗水平高，能源利用率低下。据有关部门调查测算，我国能源系统的总效率不及发达国家的一半。工业产品单耗比工业发达国家高出 $30\% \sim 90\%$ 。例如火力发电标准煤耗，我国是国外先进水平的 1.25 倍，吨水泥煤耗是国外的 1.64 倍。目前我国第一产业能耗水平为 0.90t 标准煤，第二产业为 6.58t 标准煤，第三产业为 0.91t 标准煤。产业结构的不合理、

能源品质低下、管理落后等是造成能耗水平较高的重要原因。

(7) 农村能源问题日趋突出,影响越来越大,其主要表现在三个方面:①农村生活用能严重短缺。过度的燃烧薪柴造成大面积植被破坏,引起了水土流失和土壤有机质减少。据统计,目前全国农村生活用能短缺至少 20%。②随着农业生产机械化的发展,农业生产的能耗量急剧增长。③乡镇工业能耗直线上升,能源利用率严重低下。

(8) 能源环境问题日趋严重,制约了经济社会发展。以城市为中心的环境污染进一步加剧,并开始向农村蔓延,生态破坏的范围仍在继续扩大。目前,在污染环境的各因素中,70%以上的总悬浮颗粒物、90%以上的二氧化硫、60%以上的氮氧化合物、85%以上的化石燃料产生的二氧化碳均来自煤炭。

(9) 能源开发逐步西移,开发难度和费用增加。随着中部地区能源资源的日渐枯竭,开发条件的逐步恶化,我国能源开发呈现出逐步西移的态势,特别是水能资源开发和油气资源的勘察。

(10) 从能源安全角度考虑,面临严重挑战。能源安全是指保障能源可靠和合理的供应,特别是石油和天然气的供应。从 1993 年开始,我国成为石油净进口国。此后几年内,我国的石油进口量每年递增 1000 万 t 左右,而且逐年加大,2003 年递增量达到 2000 万 t。近几年,原油进口增幅更为明显。2004 年,我国原油进口达 1.227 亿 t,同比增长 34.8%,首次突破 1 亿 t 大关。2006 年,我国原油进口量达 1.452 亿 t,同比增长 14.2%;2007 年,我国原油产量仅增长了 1.6%,达到 1.8665 亿 t。在国际风云变幻的世界上,保障石油的可靠供应对国家安全至关重要,这是我国能源领域面临的一项重大挑战。

(11) 能源建设周期长,投资超预算。能源建设是一种基础设施建设,建设时间长,难度大,投资多。一个大型煤矿、一个相当规模的油田、一个大型水电站、一座核电站从勘探到投产,一般都要 8~10 年,这种建设周期拖长、投资超预算的情况,延缓了能源工业的发展。

(12) 能源价格未能反映其经济成本和能源资源的稀缺性。尽管我国能源较为紧张,资源相对贫乏,但能源价格却更类似于资源丰富的美国。例如,煤炭价格偏低,而且目前的市场价格还不能完全反映煤炭中硫分和灰分的含量;小煤矿因为不受安全法规和职工福利的制约,可以低价出售质量差的煤炭,影响了优质煤炭的价格。天然气的生产和销售目前还受到严格控制,化肥工业不仅有供气的优先权,还享受价格补贴。我国国内原油的价格也低于国际市场。此外,在一些能源使用部门中,能源占生产成本的比例很小,不利于节能和提高能源利用率。

三、我国能源可持续发展的对策

为了实现我国能源的可持续发展,应充分运用以下三方面的手段:加强政府的宏观管理和行政管理、运用市场机制的调节作用、利用经济增长的机遇。

政府行为在能源可持续发展中起着关键性的作用,它包括制定科学的能源政策和颁布相应的法规,采用行政手段进行能源管理。例如,根据国情制定开发与节约并重的能源工业的长期方针,确立优先发展水电、油气并举、大力开发天然气的能源政策,颁布《节约能源法》等。采用行政手段关闭能耗大、污染严重的小煤窑、土法炼油厂等。根据我国能源消费情况的变化,以及经济发展和当前的技术水平,对耗能越来越多的行业,如采暖行业、建筑行业、家电行业制定或完善能源效率标准。