

普通高等教育“十五”国家级规划教材

# 能源概论

黄素逸 高伟 编著

高等教育出版社

## 内容提要

能源是国民经济的命脉,能源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。本书以能源科学为介绍对象,对能源与社会发展的关系、能源资源、能源与环境、能量的转换与储存、常规能源、新能源、节能与能源系统工程以及计算机和控制技术在能源工程中的应用均作了较为深入的讨论。本书取材新颖,内容丰富,对当代能源科学各分支的现状、技术特征和发展趋势作了比较完整的介绍。本书既可作为高等院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的教科书,亦可供有关工程技术人员和管理干部学习、参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

能源概论/黄素逸,高伟编著. —北京:高等教育出版社, 2004. 8

ISBN 7-04-015434-X

I. 能... II. ①黄... ②高... III. 能源-高等学校-教材 IV. TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 063644 号

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010-82028899		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷			
开 本	787×960 1/16	版 次	年 月第 1 版
印 张	28.25	印 次	年 月第 次印刷
字 数	490 000	定 价	39.00 元(含光盘)

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

策划编辑 宋 晓  
责任编辑 陈海柳  
封面设计 刘晓翔  
责任绘图 杜晓丹  
版式设计 范晓红  
责任校对 俞声佳  
责任印制

# 前 言

构成客观世界的三大基础是物质、能量和信息。

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竭之日;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、资源已经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、面临的问题、解决的对策和发展的前景。书中不但涉及能源的基础知识、常规能源和新能源,而且还对节能、能源系统工程及计算机和控制技术在能源中的应用作了详尽的讨论。在取材上力求资料新颖、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。

教育部热工课程教学指导委员会在面向21世纪热工课程改革的研究中,明确提出了设置能源概论课作为热工课程改革的一个主要内容。本书也被列为热工课程系列教材之一。鉴于能源、环境、生命、信息、材料、管理等学科是新世纪高等院校大学生科学素质系列教育的主要组成部分,本书在编写上也力求兼顾文科大学生科学素质教育的要求,即理论上不作深入探讨,文字叙述上通俗易懂,可读性强。

教育部热工课程教学指导委员会委员赵镇南教授对书稿进行了认真的审阅,谨致衷心的感谢。同时也要感谢教育部热工课程教学指导委员会各位委员对本书的支持和帮助,感谢同行、同事们为本书提供的宝贵资料和建议,也感谢作者的研究生为本书所作的资料整理工作。

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

黄素逸、高伟

2004年1月于华中科技大学

# 目 录

## 第一章 能量与能源

1

第一节 能量 .....	1
一、概述 .....	1
二、能量的形式 .....	3
三、能量的性质 .....	6
四、能量的转换 .....	7
五、能量的传递 .....	9
第二节 能源的分类与评价 .....	11
一、能源的分类 .....	11
二、能源的评价 .....	14
第三节 能源与人类文明 .....	16
一、能源的更迭与社会发展 .....	16
二、能源与国民经济 .....	17
三、能源与人民生活 .....	19
四、20 世纪世界能源大事回顾 .....	19
第四节 能源资源生产与消费 .....	23
一、能源资源 .....	23
二、能源消费 .....	30
三、能源的需求预测 .....	34
第五节 能源与环境 .....	35
一、环境问题 .....	35
二、温室效应 .....	37
三、酸雨 .....	40
四、臭氧层破坏 .....	43
五、热污染 .....	44
六、放射性污染 .....	45

七、能源对人体健康的影响 .....	45
第六节 能源的可持续发展 .....	48
一、可持续发展的概念 .....	48
二、能源问题 .....	50
三、中国能源可持续发展的对策 .....	54
<b>第二章 能量的转换与储存</b> .....	<b>57</b>
第一节 能量转换的基本原理 .....	57
一、概述 .....	57
二、能量守恒与转换定律 .....	57
三、能量贬值原理 .....	58
四、能量转换的效率 .....	62
第二节 化学能转换为热能 .....	65
一、概述 .....	65
二、燃料的燃烧 .....	67
三、气体燃料的燃烧技术 .....	71
四、油的燃烧技术 .....	73
五、煤的燃烧技术 .....	77
六、燃烧设备 .....	79
第三节 热能转换为机械能或电能 .....	83
一、概述 .....	83
二、蒸汽轮机 .....	83
三、燃气轮机 .....	85
四、内燃机 .....	86
五、火力发电厂 .....	88
六、先进的发电技术 .....	94
第四节 能量的传输 .....	102
一、概述 .....	102
二、电能的输送 .....	104
三、煤炭的输运 .....	107
四、石油和天然气的输运 .....	110
第五节 能量的储存 .....	115
一、概述 .....	115
二、机械能的储存 .....	116
三、电能的储存 .....	117

四、热能的储存 .....	119
<b>第三章 常规能源</b> .....	<b>128</b>
<b>第一节 煤炭</b> .....	<b>128</b>
一、有关煤炭的知识 .....	128
二、煤炭资源与开采 .....	134
三、煤炭消费 .....	140
四、洁净煤技术 .....	142
五、煤的气化与液化 .....	148
<b>第二节 石油</b> .....	<b>154</b>
一、有关石油的知识 .....	154
二、石油资源 .....	156
三、石油生产与消费 .....	159
四、油田的开发 .....	161
五、石油的加工 .....	163
六、主要石油产品及油品结构 .....	165
<b>第三节 天然气</b> .....	<b>169</b>
一、天然气的特性 .....	169
二、天然气资源与生产 .....	170
三、天然气市场 .....	174
四、煤层气 .....	175
五、天然气水合物 .....	177
<b>第四节 水能</b> .....	<b>179</b>
一、水能资源 .....	179
二、水能利用概述 .....	181
三、水电站 .....	185
四、小水电 .....	194
<b>第五节 二次能源</b> .....	<b>195</b>
一、概述 .....	195
二、燃料型二次能源 .....	196
三、非燃料型二次能源 .....	200
<b>第四章 新能源</b> .....	<b>215</b>
<b>第一节 核能</b> .....	<b>215</b>
一、核能的来源 .....	215

二、核燃料 .....	218
三、世界核能利用的现状 .....	220
四、反应堆 .....	221
五、核电站 .....	226
六、可控核聚变 .....	232
<b>第二节 太阳能 .....</b>	<b>236</b>
一、概述 .....	236
二、太阳辐射 .....	238
三、太阳能热利用 .....	242
四、太阳能光利用 .....	258
<b>第三节 风能 .....</b>	<b>259</b>
一、有关风的知识 .....	259
二、风能资源 .....	265
三、风能利用 .....	269
四、风力机 .....	274
五、风能利用中的问题 .....	277
<b>第四节 地热能 .....</b>	<b>278</b>
一、地球的内部构造 .....	278
二、地热资源 .....	279
三、地热能的利用 .....	282
四、地热能利用中的环境问题 .....	287
<b>第五节 海洋能 .....</b>	<b>288</b>
一、潮汐能 .....	288
二、波浪能 .....	292
三、温差能 .....	295
四、盐差能 .....	297
五、海流能 .....	298
<b>第六节 生物质能 .....</b>	<b>300</b>
一、生物质资源 .....	300
二、生物质能的转换技术 .....	302
三、薪柴 .....	303
四、醇能 .....	304
五、沼气 .....	306
<b>第七节 氢能 .....</b>	<b>310</b>
一、概述 .....	310

二、氢的制取 .....	312
三、氢的储存和运输 .....	313
四、氢能的应用 .....	315
五、燃料电池 .....	315
六、氢经济 .....	317

**第五章****节能**

319

<b>第一节 节能概述</b> .....	319
一、节约能源法 .....	319
二、能源的利用效率 .....	321
三、节能潜力 .....	323
四、技术和工艺节能的途径 .....	324
五、结构和管理节能措施 .....	325
六、节能经济评价 .....	326
<b>第二节 节约热能</b> .....	328
一、热能的主要用途 .....	328
二、按质使用热能 .....	330
三、余热回收和利用 .....	332
四、热能节约中的新设备和新技术 .....	332
<b>第三节 节约煤炭</b> .....	337
一、提高燃煤设备和装置的效率 .....	337
二、集中供热 .....	343
三、热电联产 .....	344
四、发展各种先进的发电技术 .....	345
五、城市垃圾的能源化利用 .....	346
<b>第四节 节约用油</b> .....	347
一、内燃机节油 .....	349
二、工业炉窑和工业锅炉的节油 .....	354
三、交通运输节油 .....	356
四、利用新技术从废物中提取石油 .....	357
<b>第五节 节约用电</b> .....	357
一、概述 .....	357
二、提高发电效率 .....	358
三、输配电节电 .....	358
四、电动机节电 .....	361

五、电热和电炉类设备的节电 .....	363
六、金属弧焊机节电 .....	364
七、照明节电 .....	365
八、家用电器及办公设备的节电 .....	368
<b>第六章 能源系统工程</b> .....	<b>369</b>
<b>第一节 概述</b> .....	<b>369</b>
一、基本概念 .....	369
二、能源系统工程的任务 .....	370
<b>第二节 能源系统工程的基本方法</b> .....	<b>373</b>
一、能源投入产出分析法 .....	374
二、线性规划方法 .....	376
三、层次分析法 .....	379
<b>第三节 能源系统的预测和规划</b> .....	<b>381</b>
一、能源系统预测 .....	381
二、能源系统规划 .....	386
<b>第四节 能源管理及信息系统</b> .....	<b>389</b>
一、管理信息系统 .....	389
二、能源管理信息系统 .....	391
<b>第七章 计算机和控制技术在能源工程中的应用</b> .....	<b>394</b>
<b>第一节 概述</b> .....	<b>394</b>
一、控制技术在能源工程中的运用 .....	394
二、计算机技术在能源工程中的运用 .....	395
<b>第二节 火电厂中的计算机和控制技术</b> .....	<b>395</b>
一、计算机在火电厂输出过程自动化中的应用 .....	395
二、计算机过程控制功能和特点 .....	397
三、过程控制方式和类型 .....	398
四、计算机仿真在火电厂中的应用 .....	405
<b>第三节 水电站中的计算机及控制技术</b> .....	<b>408</b>
一、水电站中的计算机控制发展概况 .....	408
二、计算机控制系统的基本组成 .....	409
三、水电站计算机控制的主要任务 .....	411
四、水电站计算机控制发展的趋势 .....	414
<b>第四节 核电站中的计算机及控制技术</b> .....	<b>418</b>

---

一、概述 .....	418
二、电厂先进主控制室的发展 .....	418
三、电站仪表控制与计算机化的发展 .....	424
四、核电站仿真分析系统 .....	427
五、分散集控系统在常规岛上的应用 .....	428
第五节 能源系统及设备的监测与故障诊断 .....	429
一、基本状况 .....	429
二、相关监测诊断系统 .....	429
三、典型系统构成 .....	431
四、监测诊断系统的关键技术 .....	432
五、状态监测、故障诊断系统的功能要求 .....	433

**主要参考书目**

435

# 第一章 能量与能源

## 第一节 能量

### 一、概述

物质和能量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。运动是物质存在的方式,是物质固有的根本属性。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。物质存在着各种不同的运动形态,因此能量也就具有不同形式。众所周知,各种运动形态是可以互相转化的,所以各种形式的能量之间也能够相互转换。各种能量相互转换是人类在实践中的最伟大的发现之一。也正是不同形式的能量利用和转换促进了人类的文明。

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。倘若任何效果和变化都没有,那么世界也就不存在了。如果说劳动创造了世界,那么这种创造首先就是从能量的使用开始的。

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被创造和被消灭。试想,如果我们创造或消灭了任何能量,岂不意味着与之相伴的某种物质也被创造或消灭了吗。能量守恒定律正是反映了物质世界中运动不灭这一事实。这个定律告诉我们:“自然界一切物质都具有能量。能量不可能被创造,也不可能被消灭,而只能在一定条件下从一种形式转变为另一种形式,在转换中能量总量恒定不变。”

1922年爱因斯坦揭示了能量和物质质量之间的关系,即

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

式中  $E$ ——物质释放的能量 J ;

$m$ ——转变为能量的物质的质量 kg ;

$c$ ——光速  $3 \times 10^8$  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。

从式(1-1)可以看出 ,一个很小的质量消失后 ,都能够产生巨大的能量。例如 ,一个功率为 600 MW 的燃煤发电厂 ,不停地工作 ,每小时耗煤约 220 t ,每年耗煤约  $2 \times 10^6$  t ,而一个 600 MW 的核电站 ,也不停地工作 ,每年仅耗 1 t 燃料铀。但从能量转换的角度而言 ,在上述两个不同的发电设备中 ,实际转变为能量的燃料质量 ,每年仅为 640 g 左右。因此无论是化学反应还是核反应 ,在产生或释放能量的过程中 ,质量一定会相应减少。即反应物的质量的一部分能够在某种类型的能量转换过程中 ,转换为另一种形式的能量。

在国际单位制中 ,能量的单位 ,功及热量的单位通常都用焦耳(J)表示 ,而单位时间内所做的功或吸收(释放)的热量则称为功率 ,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。有关的国际制的词冠见表 1-1。

表 1-1 能源中常用的国际单位制词头

幂	词冠	国际代号	中文代号
$10^{18}$	艾可萨( exa )	E	爱
$10^{15}$	拍它( peta )	P	拍
$10^{12}$	太拉( tera )	T	太
$10^9$	吉珈( giga )	G	吉
$10^6$	兆( mega )	M	兆
$10^3$	千( kilo )	k	千
$10^2$	百( hecto )	h	百
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 J ;1 kg 标准煤当量( kgce ) = 7 000 大卡 ;1 kg 标准油当量( kgoe ) = 10 000 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。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从高处流往低处的这一自发过程,使水的势能转换为动能,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;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  $m$ ——物体的质量;

$g$ ——重力加速度;

$H$ ——高度。

弹性势能  $E_\tau$  的计算式为:

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

式中  $k$ ——物体的劲度系数;

$x$ ——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  $\sigma$ ——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。若系统的熵的变化为  $dS$ ,则热能  $E_q$  可表述成如下的形式:

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

## 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:

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

式中  $\varepsilon$ ——物体的发射率;

$c_0$ ——黑体辐射系数;

$T$ ——物体的热力学温度(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<sup>3</sup>。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 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/(10 <sup>3</sup> kJ·kg <sup>-1</sup> )	木 材	13.8
		泥 煤	15.89
		褐 煤	18.82
		烟 煤	27.18
	加工的固体燃料/(10 <sup>3</sup> kJ·kg <sup>-1</sup> )	木 炭	29.27
		焦 炭	28.43
焦 块		26.34	
液 体 燃 料	天然液体燃料/(10 <sup>3</sup> kJ·m <sup>-3</sup> )	石油(原油)	41.82
	加工成的液体燃料/(10 <sup>3</sup> kJ·kg <sup>-1</sup> )	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	天然气气体燃料/(10 <sup>3</sup> kJ·m <sup>-3</sup> )	天然气	37.63
	加工成的气体燃料/(10 <sup>3</sup> kJ·m <sup>-3</sup> )	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