

天津大学 南京工学院 编
重庆大学 华中工学院
魏保太 主编

NENGYUAN
GONGCHENG

华中工学院出版社

能源工程

内 容 提 要

能量转换和有效利用是能源科学的重要组成部分。

本书立足于常规能源(热能)的转换理论和应用技术,深入讨论工业企业热平衡分析法和实用焓分析法。从能的数量和质量两个方面全面分析和评价各种节能技术,以推动和配合“技术节能”的发展。

本书着重阐述工业窑炉节能技术、化工过程热回收、余热动力回收、热泵和热管等典型节能技术。并对各种新能源(太阳能、地热能、生物质能、风能及海洋能等)的能量转换和利用技术作了较深入的分析。书末还对能源系统工程作了介绍(第八章)。

本书可作高等工科院校工程热物理专业的试用教材,亦可供热能类专业师生和从事能源技术工作的工程技术人员参考。

能 源 工 程

天津大学 南京工学院
重庆大学 华中工学院 编著
魏保太 主编
责任编辑 韩瑞根

*

华中工学院出版社出版

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所发行

武汉大学印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 15.75 字数: 384,000

1985年11月第一版 1985年11月第一次印刷

印数: 1—1,500

统一书号: 15255—049 定价: 3.40元



前 言

本书是根据1982年5月教育部直属高等工科院校工程热物理专业协作会议审订的《能源工程》教学大纲编写的试用教材。

书中阐述了能源工程学的基本领域和问题；立足于常规能源（热能）的转换和有效利用，着重论述工业企业合理利用能源，提高能源有效利用率的基本理论、主要途径和技术措施；详细讨论工业企业热能利用系统或设备的评价和分析计算方法；对各种新能源（太阳能、地热能及其它可再生能源）的能量转换和利用技术及其热工问题也作了较深入的分析。适当反映了近年国内外的新成果和发展动向。

全书共分能源概论、热平衡分析法、焓分析法、节能技术（工业窑炉的节能；化工过程热回收；余热动力回收；热泵技术；热管技术；节能措施的技术经济评价）、太阳能、地热能利用、其它可再生能源和能源系统工程等八章。

本书可作为高等工科院校工程热物理专业本科生的试用教材，亦可供热能类专业师生和能源科技工作者参考。

本书由天津大学、南京工学院、华中工学院、重庆大学等院校合编。参加编写工作的有：天津大学魏保太（第一章，第三章，第六章及§4-2，§4-6）、寇纪淞（第八章），南京工学院陆晓初（第二章和§4-1），华中工学院王崇琦（§4-3，§4-4，§7-2，§7-3），重庆大学刘启香（第五章）、辛明道（§4-5）、黄文琮（§7-1）等同志。全书由天津大学魏保太主编。

本书编写过程中曾得到天津大学吕灿仁教授和华中工学院程尚模教授的热心指导，并提出许多宝贵意见，编者对此深表谢意。

由于编写时间仓促和编者水平所限，书中难免存在错误和缺点，恳请读者批评指正。

编 者

1984年6月

目 录

第一章 能源概论	1
§1-1 能量及能源.....	1
1. 能量的种类.....	1
2. 能源.....	3
3. 能量的转换、输送和储存.....	5
§1-2 我国的能源资源.....	9
§1-3 能源在国民经济发展中的作用.....	10
§1-4 我国的能源构成及能源有效利用率.....	12
§1-5 能源问题的现状和前景.....	15
1. 资源问题.....	15
2. 新能源的开发前景.....	17
3. 我国能源事业的发展和问题.....	18
§1-6 节能的潜力和途径.....	19
1. 节能潜力的分析.....	19
2. 节能的途径.....	20
§1-7 能源与环境污染.....	21
1. 热污染.....	21
2. 二氧化碳问题.....	22
3. 硫化物问题.....	23
4. 氮化物问题.....	24
5. 放射性污染.....	24
6. 其它污染.....	25
参考文献.....	25
第二章 热平衡分析法	26
§2-1 能源有效利用的评价指标.....	26
1. 能源消费系数.....	26
2. 单位产品能耗.....	26
3. 能源利用效率.....	26
§2-2 热平衡分析法的基本概念.....	27
§2-3 典型热平衡体系.....	29
1. 能源转换设备和用能设备组成的体系.....	29
2. 能源在一组设备中被逐级利用的体系.....	30
3. 具有余热利用的体系.....	31
4. 具有重热利用的体系.....	34
5. 余热和重热利用甚为复杂的体系.....	36
§2-4 热流图的应用.....	37
参考文献.....	40
第三章 焓分析法	41
§3-1 焓及其计算.....	41

1. 能的“质量”(品位)概念	41
2. 焓的定义及其表达式	41
3. 气体的焓	43
4. 低温物质的焓	49
5. 混合气体的焓	49
6. 非压缩性流体的压力焓	50
7. 燃料焓	50
8. 未完全燃烧烟气的化学焓	54
9. 化学反应焓	54
10. 炉内喷入水蒸汽的焓	56
§3-2 焓平衡及焓效率	57
1. 稳流系统焓平衡方程	57
2. 焓效率 η_{ex}	59
§3-3 炉内燃烧焓损失	66
§3-4 热交换系统的焓损失	70
1. 传热过程的理论焓损失	70
2. 传热过程的实际焓损失	71
3. 散热焓和排热焓	71
§3-5 蒸汽动力循环的焓分析	76
1. 焓损失	77
2. 循环的焓效率	77
3. 蒸汽动力装置的总热效率和焓效率	97
参考文献	81
第四章 节能技术	82
§4-1 工业窑炉节能	82
1. 概述	82
2. 窑炉本体的能量损失	83
3. 加强绝热,减少各类散热损失	87
4. 烟气余热的回收利用	91
5. 工业窑炉的综合节能	94
§4-2 化工生产过程热回收	95
1. 概述	95
2. 热焓图	96
3. 热焓线的复合	96
4. 热回收系统的组合	97
5. 系统的焓损失	98
§4-3 余热动力回收	105
1. 余热源及其利用	105
2. 余热动力回收的热力学分析	106
3. 余热动力回收系统工质的选择	111
4. 余热发电系统	113
§4-4 热泵技术	118
1. 概述	118

2. 热泵原理·····	119
3. 热泵与节能·····	125
§4-5 热管技术·····	128
1. 概述·····	128
2. 热管的工作原理·····	128
3. 热管结构与材料·····	129
4. 热管的传热性能·····	130
5. 余热回收中采用的热管换热器·····	135
§4-6 节能措施的技术经济评价·····	137
1. 节能经济效果的评价标准·····	138
2. 节能投资经济效果计算方法·····	139
3. 余热动力回收方案的评价指标·····	141
4. 节能技术经济计算中应注意的两个问题·····	142
参考文献·····	142
第五章 太阳能 ·····	144
§5-1 太阳辐射能·····	144
1. 太阳常数·····	144
2. 太阳辐射的几何关系·····	145
3. 到达地面的太阳辐射·····	147
4. 倾斜面上的入射辐射·····	148
5. 倾斜面与水平面直接辐射的比值·····	149
§5-2 太阳能集热器的热性能和光学性能·····	149
1. 平板集热器·····	150
2. 聚光集热器·····	159
§5-3 太阳能热利用·····	169
1. 太阳能热水系统·····	169
2. 太阳能供暖与制冷·····	172
3. 工业过程的太阳能热利用·····	175
4. 太阳能热力发电·····	176
参考文献·····	177
第六章 地热能利用 ·····	179
§6-1 地热资源·····	179
1. 地热的来源·····	179
2. 地热资源的类型·····	180
3. 地热流体·····	181
§6-2 地热发电系统·····	182
1. 分离系统·····	182
2. 闪蒸系统·····	182
3. 双循环系统·····	183
4. 全流系统·····	183
§6-3 地热发电双循环的热力学分析·····	184
§6-4 提高地热发电转换效率的途径·····	186
1. 多级闪蒸系统·····	187

2. 多级蒸发双循环系统.....	188
3. 超临界循环.....	190
4. 地热流体为汽-水混合物的高效率转换系统.....	191
§6-5 地热发电的进展.....	192
§6-6 地热发电的经济性.....	194
§6-7 综合利用地热能.....	194
参考文献.....	195
第七章 其它可再生能源	196
§7-1 生物质能.....	196
1. 沼气.....	196
2. 沼气产生的原理.....	197
3. 厌氧分解的基本条件.....	198
4. 沼气发酵池的构造和工作原理.....	199
5. 沼气利用及其经济效益.....	202
§7-2 风能及其利用.....	205
1. 风能利用原理.....	205
2. 我国的风力资源.....	209
3. 风力发动机.....	210
4. 风能利用的现状与远景.....	213
§7-3 海洋能.....	213
1. 概述.....	213
2. 潮汐发电.....	214
3. 海水温差发电.....	218
4. 波浪发电.....	221
参考文献.....	222
第八章 能源系统工程	223
§8-1 导言.....	223
§8-2 能源系统工程的常用方法.....	224
1. 回归分析法.....	225
2. 投入产出分析法.....	227
3. 线性规划方法.....	231
§8-3 能源预测与能源规划.....	233
1. 能源需求预测.....	233
2. 能源供应预测.....	236
3. 能源规划与计划.....	236
§8-4 能源系统的能流分析.....	238
§8-5 净能源分析.....	241
参考文献.....	243
附录	244
附表1 常用单位换算表.....	244
附表2 能量单位换算表.....	244

第一章 能 源 概 论

§1-1 能量及能源

宇宙间一切运动着的物体，都有能量的存在和转化。人类的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）的过程必然要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，那么这种创造首先是从能量的使用开始的。

物理学把能量定义为作功的本领。例如，用 $\vec{F}$ 牛顿的力推动物体沿某一方向移动 $\vec{S}$ 米的距离，则所作的功为 $W = \vec{F} \cdot \vec{S}$ [J]，也就是要消耗 $W = \vec{F} \cdot \vec{S}$ 的能量才能产生上述的效果。又如质量为 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 m [kg] 水，由温度 T_1 到 T_2 ，耗能为 $mc(T_2 - T_1)$ [J]（ c 为水的比热容 [J/kg·°C]）；同样，移动 q 库仑电荷跨越电位差 V 伏特时，要消耗 qV [J] 能量。

能量消费多少是衡量人民物质文化生活水平、经济建设发展程度的重要指标。古代，约在一万年以前，每人每天消耗的能量很少，除食物外，其它的能耗仅为 8000 [kJ]。于七千年前，人类开始利用火和畜力，每人每天约耗能 33000 [kJ]，而享受高度物质生活的现代人，如美国平均已达到 960000 [kJ/人·日]，两者之间相差几十倍。一个国家要发展生产，改善人民生活就意味着提高机械化、电气化和自动化的水平，就意味着更多的能量消耗。因此，提供充足的能源是我国社会主义现代化建设的重要物质基础。

1. 能量的种类

到目前为止，人类所认识的能量有如下六种形式：

(1) 机械能 机械能包括固体和流体的动能、势能、弹性能及表面张力能等等。其中对人类社会最重要的是动能和势能。动能和势能统称为宏观机械能，是人类认识最早的能量。

(2) 热能 构成物体微观分子运动的动能表现为热能。这种能量的宏观表现是温度的高低，它反映了分子运动的强度。

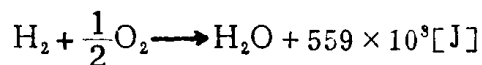
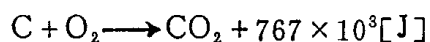
(3) 电能 人们日常利用的电能是通过电池中的化学能转化而产生的，或者是通过发电机由机械能使导线切割磁力线而产生电流。荷电物体所产生的吸力（斥力）或电流通过电动机而转化成机械能，显示出电的作功本领。

(4) 辐射能 物体以电磁波形式发射的能量称辐射能。地球表面所接收的太阳能就是辐射能的一种，物体会因各种原因发出辐射能，因热的原因而发出的电磁波称为热辐射，温度为 T 的任何物体所发射的辐射能为 $E_r = \sigma T^4$ ， σ 为斯蒂芬-波尔兹曼常数， $\sigma = 5.69 \times 10^{-8}$ [Jm⁻²K⁻⁴·S⁻¹]。原子核分裂时产生的氦原子核 α 射线，高速电子 β 射线以及波长在 10^{-12} [m] 以下的电磁波—— γ 射线等。电磁波在真空中以光速 $c \cong 3 \times 10^8$ [m/s] 传播。

地球上的能量，除原子能以外，几乎所有的能量都直接或间接来源于太阳辐射。

(5) 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。涉及释放

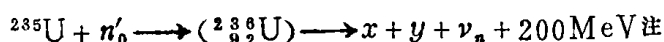
能量的化学过程，除了特殊反应以外，仅有两种情况，即电池起电和具有正反应热的过程。按化学热力学的定义，物质或物系在化学反应过程中以热能形式释放的内能称为化学能（或称内部化学能）。当今人类最普遍利用的化学能是燃烧碳和氢两大类。其化学反应及放出的能量如下式：



煤，石油和木柴等燃料中的主要可燃元素是碳和氢。氢是燃料中一种有利的元素。从上述二式的比较看，似乎碳燃烧反应放出的热能大于氢燃烧的能量。但是，如果以单位质量物质所放出的反应热计算，氢的燃烧反应热要比碳的高 ~ 4 倍。燃料含氢越多，越容易着火，燃烧性能愈好。燃料中碳和氢的含量之比叫做碳氢比，用符号 K_{CH} 表示， $K_{\text{CH}} = \text{C}/\text{H}$ 。燃料油的 $K_{\text{CH}} = 6 \sim 9$ ，而煤炭的 K_{CH} 要高得多，无烟煤的 K_{CH} 可超过 20。由反应生成物可见，氢是一种清洁能源，是今后很有前途的燃料。

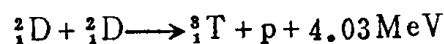
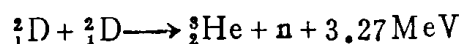
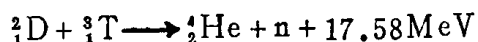
（6）核能 核能（原子能）也是物质的结构能，由于它是蕴藏在原子核内部的能量，又称为核内能。可以大量释放能量的核反应有两种：

①核裂变反应，即利用重原子堆裂变产生能量。所谓重原子是指质量数 $A > 182$ 的重原子核元素。在中子的轰击下，几乎所有的重元素都可以发生核反应。但从能量利用角度，最重要的还是 ^{235}U （铀）和 ^{239}Pu （钚）。 ^{235}U 在慢中子轰击下产生如下反应：



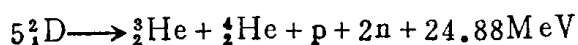
式中， x, y 表示产生的两个裂变碎片； ν_n 表示每次裂变反应产生的中子数（对慢中子 ^{235}U 反应， $\nu_n = 2.47$ ）；反应释放的能量为 200 MeV，相当于 $3.204 \times 10^{-10} [\text{J}]$ 。这一能量的大部分（ $\sim 85\%$ ）变成裂片的动能，其余则分布于其它裂变产物之中。而当一个碳原子和两个氧原子结合成 CO_2 时，只能释放约 4 个电子伏特的能量，这只是 200 MeV 的五千万分之一。

②核聚变反应 聚变反应是两个氢原子核结合并释放出能量。已经提出许多物质可以作为核聚变反应堆的燃料，其中最有可能实现的是氢的两个同位素氘（ ^2_1D ）和氚（ ^3_1T ）。其一次反应过程如下：



式中，He 为氦；n 为中子；p 为质子。

也可以将上述三个反应合成一个方程



反应副产物 ^3_2He 是一个稳定的同位素。表面上看，每个氘核平均放出的能量是 4.976 MeV，似乎比 ^{235}U 每次裂变反应释放的 200 MeV 要小得多，但是按单位质量计算，氘核子放出的聚变能差不多是 ^{235}U 或 ^{239}Pu 的裂变能的三倍。

注：在原子能领域中，一般用电子伏特（eV）或兆电子伏特（MeV）作为能量的单位 $1 \text{ MeV} \cong 1.602 \times 10^{-13} [\text{J}]$ 。

对上述各种能量,除核能以外,可以将质量守恒定律和能量守恒定律分别作为独立规律来处理。但是,对原子核能则要把质量 M 和能量 E 连系起来。因为裂变和聚变反应释放的能量是由核元素的一部分质量转化而来的结构能,转化过程是按著名的爱因斯坦质能联系方程进行的:

$$E = Mc^2$$

式中, c 为光速。由上式可计算出每 1 [kg] 质量的物质转化的能量相当于发热值为 40000 [kJ/kg] 的石油 205 万吨。这是人类憧憬的最大潜在能量。

2. 能源

凡是能够直接或者经过转换而获取某种能量的自然资源称为能源。地球表面和内部存在着各种各样的能源,如木材、煤炭、石油、天然气、水力以及太阳能、核燃料、地热能、海洋能、潮汐能等等。这许多能源可以按它们的形成和来源分成三大类:

第一类是以太阳能为源泉的能源。上述的能源中,除核能、地热能和潮汐能之外,其他所有能源均来源于太阳辐射。

投射到地球表面的太阳辐射能全年按昼夜平均大约为每平方米 160 [W],按整个地球表面计算,其总能量相当于目前全人类能量消耗量的一万倍以上。太阳能进入和离开地表面的能流如图 1.1 所示。太阳光球向宇宙发出的辐射能(包括紫外线、可见光和红外线等),其主要能量集中在 0.3~3.0 μm 波长范围内。投向地球的辐射能,大约有 30% 的能量又以短波辐射的形式直接反射和散射到宇宙空间。大部分被地球的大气层和地球表面所吸收,使大气、陆地、海洋和生物等温度升高,然后又在环境温度下以长波辐射的形式离开地球。约有 23% 的能量用来使地球表面的水蒸发,形成每年全球约 50×10^4 [(km)³] 的降雨量,大部分落入海洋。少部分落在陆地上,其中有些成为大陆上的水力资源。太阳辐射能中还有一部分能量(约 0.2%)形成了风能、波浪能和海流能。有更小一部分太阳能(约 0.02%)供植物生长进行光合作用,以碳水化合物的形式被储存起来。人类今天使用的煤炭、石油、天然气等矿物燃料就是大约在一亿年前由这些积存下来的有机物质(植物和动物)转化而来的。总之,地球上的矿物燃料(煤炭、石油、天然气)、水能、风能、海流能、波浪能和海洋热能等资源都直接或间接来源于太阳辐射能。

地热能和核能是来源于地球本身的能量,属第二类能源。可以认为地热和核燃料是地球本身固有的东西,也许它们与太阳也有某种联系,至少可以说在地球形成时就存在(参见 §6-1)。

以热能形式存在的“地热能”主要有岩浆、地下热水(热泉)、地热蒸汽、干热岩以及地震能等等。作为一种潜在的能源,地热能的贮存量是十分引人注目的。如果把地球上储存的全部煤炭燃烧时放出的热量作为 100,那么地下热能的总量则相当于煤炭的 1.7 亿倍。不过,由于地热能的开发、利用手段和技术水平的限制,目前能够利用的地热能还只限于地下热水和地热蒸汽,干热岩的开发正在研究,而火山爆发能、人工开发岩浆能和地震能等能量的利用尚处在方案设想阶段。

地壳内和海洋中蕴藏着各种核燃料,要确切地估计铀、钍的储量是困难的,目前已勘测到的铀、钍等核燃料的能量大约相当于煤炭藏量的几十倍。如果人们寄希望的核聚变发电能够付诸实现,对人类未来能源的解决,将是任何一种能源都无法比拟的,因为核聚变的燃料——重氢(氘)可以从海水中提炼出来。

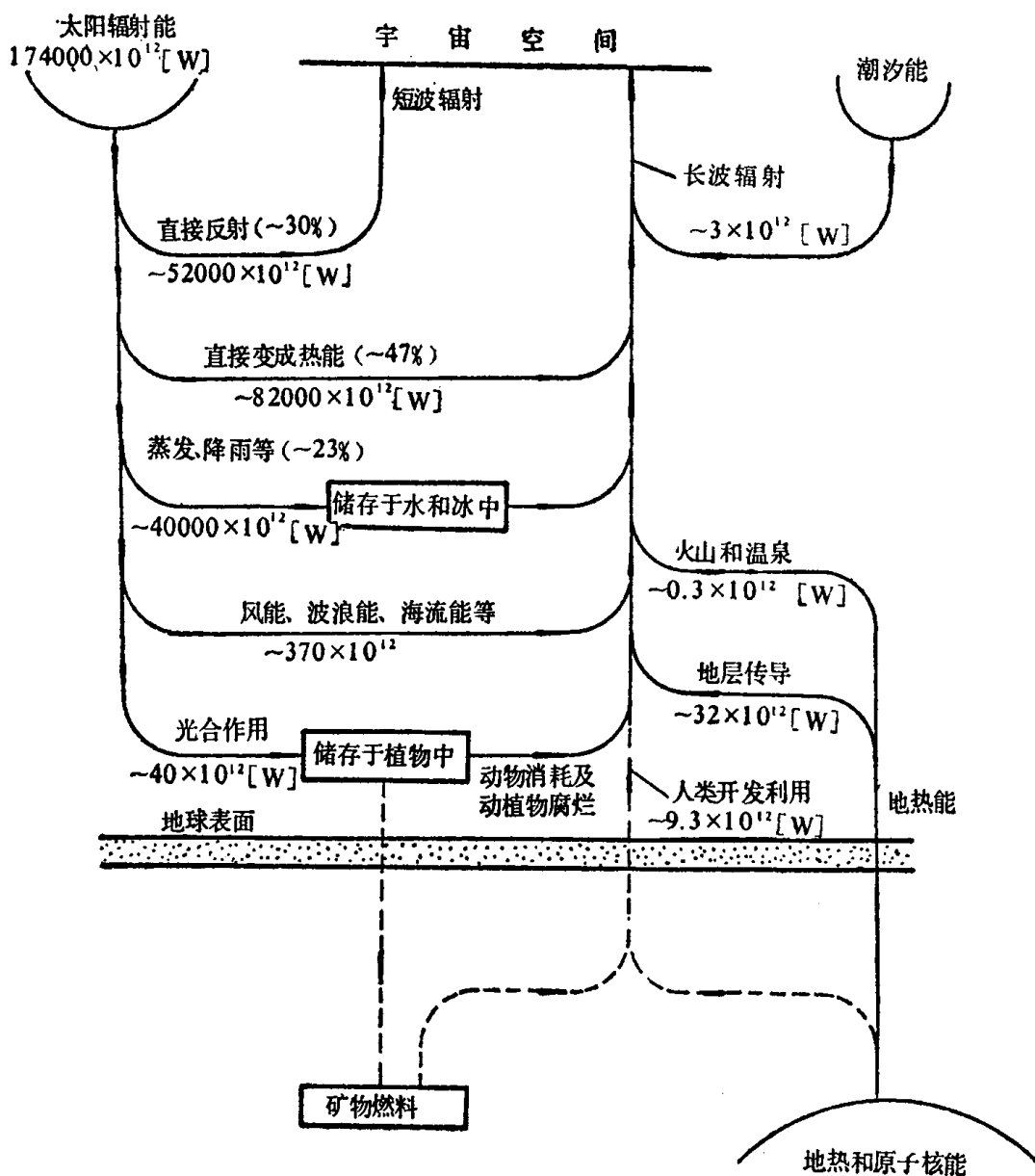


图1.1 地球表面的能流

第三类是地球和其它天体相互作用而产生的能量——潮汐能。潮汐能是地球、月球和太阳绕各自轨道运行和转动时的动能和势能引起的。只要这些天体星球不停的相对运动，地球上的海水就会由于引力作用的变化而升高和下降，从而提供可为人们利用的能量。

生产和民用中往往同时消费多种形式的能量（如煤炭、焦炭、电能、机械能、蒸汽及汽油等等），所以又可按提供能量的种类把能源分成“一次能源”和“二次能源”。凡是自然界已存在的，即没有经过人类加工或转换的能源，称为一次能源或称天然能源。如木材、煤炭、石油、天然气、核燃料、水能、风能、太阳能、潮汐能、波浪能、地热能、海洋能以及生物质能等等都属于一次能源。而由一次能源经过加工或转换而得到不同形式的产品能源称为二次能源。如木炭、焦炭、液化石油气、氢气、石油炼制品、甲醇、苯胺、火药、电能、蒸汽、热水、压缩空气等等。

一次能源还可按它们是否能够“再生”分为两类。第一类是可再生能源，是指能够重复产生的自然能源，如太阳能、水能、风能、海洋能、生物燃料、潮汐能、地热能等等。这类能源可以说是人类取之不尽，用之不竭的。第二类是非再生能源，是指那些不能重复再生的自然能源，如煤炭、石油、天然气、油页岩以及核燃料铀、钍等等。这类能源用一点就少一点，总有一天会被人类用尽。

从能源性质看，无论一次能源或二次能源都可以分燃料能源和非燃料能源两种。属于燃料能源的有矿物燃料（煤炭、石油、天然气等）；生物燃料（柴草、沼气、有机废物等）；化工燃料（甲醇、丙烷、酒精、苯胺以及可燃原料硝、铝、镁等）；核燃料（铀、钍、氦等）共四类。除核燃料含有原子能以外，其他燃料都包含化学能。

非燃料能源多数具有机械能，例如风能、水能、潮汐能、海流能和波浪能等；有的含有热能，如地热能、海洋热能、工业余热等；有的包含光能，如太阳能、激光等；还有的包含有电能，如由其它能源转换而来的电能和自然界的闪电。

当今人类使用最多的能源是煤炭、石油、天然气和水力，称它们为常规能源。把正在兴起的核电和有待进一步研究、开发使用的太阳能、地热能、潮汐能、波浪能和海洋能等称为新能源。

根据能源使用中对环境的情况，又把无污染或污染小的能源称为清洁能源，如太阳能、水能和海洋能等；对环境污染较大的能源称为非清洁能源。煤炭、裂变核燃料等如处理不当会产生严重污染。液体燃料石油比固体燃料好些，但也含产生氧化硫等有害气体。气体燃料的污染最小。

能源的各种分类方法可归纳如表1-1-1和表1-1-2。

3. 能量的转换、输送和储存

人类利用的各种形式的能量都是由一次能源转换而来的，通常所说的能量转换是指能量形态的转换，如燃料的化学能通过燃烧转化成热能，热能通过热机再转换成机械能等等。然而，广义地说，能量转换应包含三项内容：

- ①能量形态的转换，即通常所谓的能量转换；
- ②能量的空间转换，即能量的传输；
- ③能量的时间转换，即能量的储存。

任何转换过程都必然遵守普遍性的自然规律——能量转换和守恒定律：

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

对热能转换系统来说，如果输入系统的热量是 Q ，系统输出的能量或机械功为 W ，系统内能的变化为 ΔU ，根据能量守恒定律，可以表示成：

$$Q = \Delta U + W$$

这就是人们熟悉的热力学第一定律表达式。基于长期的生产斗争和科学实验，人类还认识到各种形式能量的相互转换是在一定条件下通过某种特定的过程实现的。图1.2示出了来自各类一次能源的能量，相互间可能进行的转换关系。图中还示出了哪些形态的能量可以输送、传递和储存。为了表明转换的条件及转换所需要的设备（或系统），将图1.2的内容又列成表1-1-3。其中除当今世界已经使用的能源和能量转换方法外，还列出了各种新能源以及正在开发研究中新的转换技术。

表1-1-1 能源分类

按使用 状况分	按性 质分	按 成 因 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)	煤气(化学能)余能(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(光能) 风 能(机械能) 地热能(热能、机械能) 潮汐能(机械能) 海水热能(热能) 海流、波浪动能(机械能)	激 光(光 能)

表1-1-2 一次能源分类

按来源分	按再生性分	
	再生能源	非再生能源
第一类能源 (来自地球以外)	太阳能 水能 风能 海洋热能 海流动能 波浪动能 生物质能 (雷电能) (宇宙射线能)	无烟煤 烟煤 褐煤 泥煤 石煤 原油 天然气 油页岩 油砂
第二类能源 (来自地球内部)	地热能 (火山能) (地震能)	核燃料
第三类能源(来自地球和其他天体的作用)	潮汐能	

注：括号中的能源现在尚未被人们利用

表1-1-3 能量转换过程及设备(系统)

能源	能量形态转换过程	转换机械或系统
石油, 煤炭, 天然气等矿物燃料。	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, EGD 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	热电发电, 热电子发电 燃料电池
水力, 风力, 潮汐, 海流, 波浪	机械能→机械能 机械能→机械能→电能	水车, 风车, 水轮机—发电机, 波力发电, 风力发电, 潮汐发电, 海流发电
太阳能	光能→热能 光能→热能→机械能 光能→热能→机械能→电能 光能→热能→电能 光能→电能 光能→化学能 光能→生物能 电磁波→电能	热水器, 采暖, 制冷, 光化学反应, 集热烧饭 太阳热发动机 太阳热发电 热电发电, 热电子发电 光电池, 光化学电池 光化学反应(水分解) 光合成

续表

能 源	能量形态转换过程	转 换 机 械 或 系 统
海 洋 热 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	热力发动机—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 热电发电, 热电子发电 光电池 核聚变发电

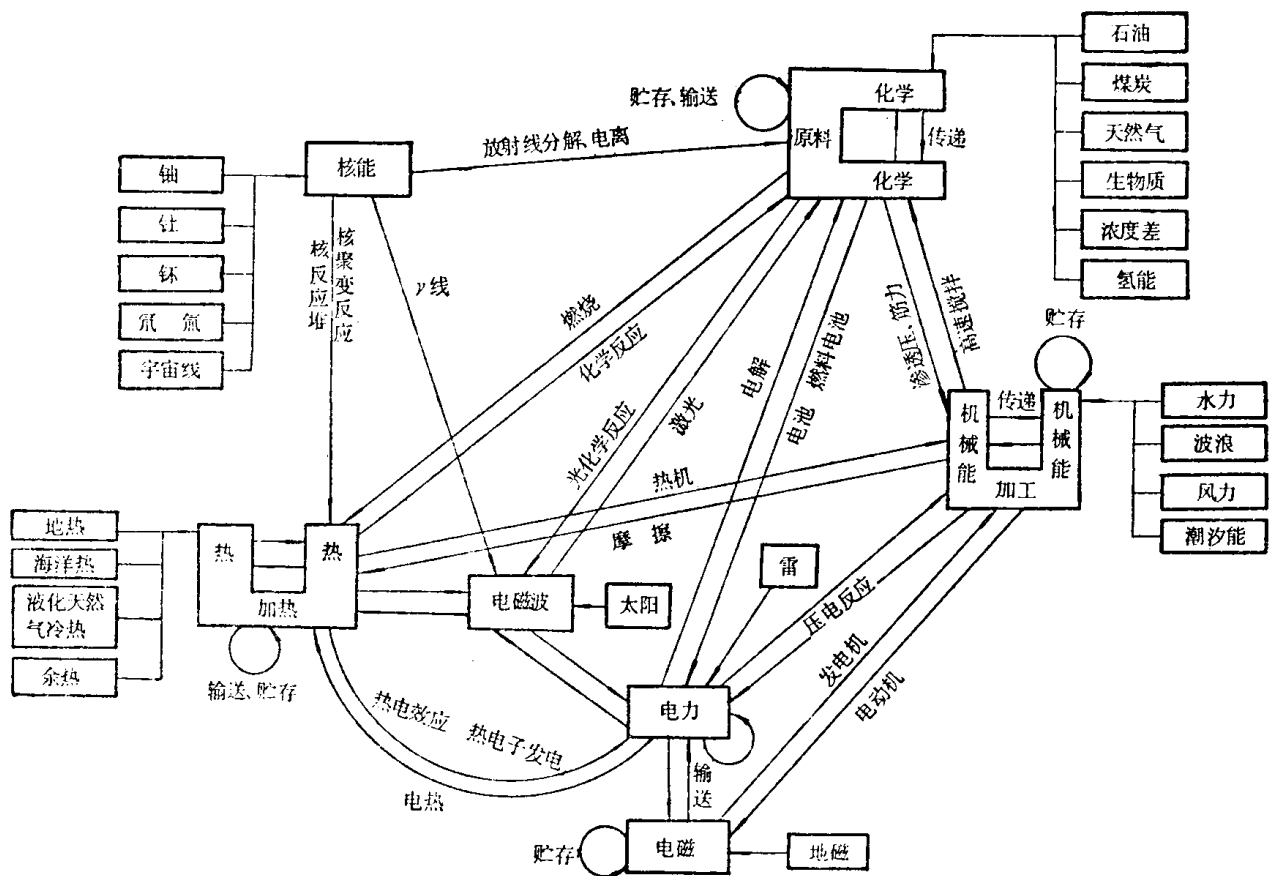


图1.2 能量转换过程

§1-2 我国的能源资源

前述的各种能源资源我国都有。从已探明的煤炭、石油、天然气、水力等常规能源的资源蕴藏量看，我国可称是世界上能源资源丰富的国家之一。

(1) 煤炭

煤炭是我国的主要能源，蕴藏量大约占地球煤炭资源的三分之一。1980年底全国煤炭探明储量为6425亿吨，年产量6亿多吨，探明储量和产量分别占世界第二位和第三位。

我国煤炭资源不仅储量丰富，而且具有煤种齐全、分布普遍和开发条件良好等重要优点。在已探明的储量中，炼焦用煤占36%，化工用无烟煤占17%，动力用煤占45%，石煤占2%。

我国煤炭资源的地理分布很广。从东北的黑龙江畔到南端的海南岛，从西南的青藏高原和西北的天山脚下，一直到台湾和东海之滨，几乎到处都有煤田分布。中国的北部地区，包括华北、西北和东北，是煤田大量集中的地区。华北地区煤炭资源特别丰富，而且地理位置适中与其它各大区交通方便，是理想的全国性能源基地。山西省煤炭储量最丰富，被誉为“煤炭之乡”。全省煤炭探明储量相当于全国探明储量的30%，我国的工业用煤主要由这里供给。其次为内蒙古自治区，已探明的储量达1900多亿吨。

(2) 石油

我国是世界上石油工业发展最快的国家之一。就原油生产来说，我国仅用20几年时间所达到的产量，美国和苏联都用了三倍以上的时间。

我国拥有丰富的石油资源。从50年代初期开始，中国的地质工作者在全国范围内进行了大规模的地球物理勘探，钻了几千口井，发现了300多个含油气盆地，1400多个储油气构造。继新疆的克拉玛依油田和青海的冷湖油田之后，1959年在东北松辽盆地发现了大型陆相沉积油田——大庆油田。著名的大庆油田会战，仅用一年多的时间，胜利地攻下了这个大型油田，一举改变了我国石油工业的落后面貌，实现了我国石油基本自给，这是我国石油勘探和石油工业发展历史上走向高速发展的一个转折点。著名地质学家李四光对此作出了重大贡献。此后又相继开发了山东胜利，天津大港，河北冀中，辽宁辽河和江苏、河南、湖北等一系列油田。1973年，我国开始出口原油。1978年，中国原油产量突破一亿吨，成为世界主要产油国之一。

海洋石油地质调查也取得了重要进展，先后在渤海、黄海、东海、南海的珠江口外、北部湾和莺歌海诸海域探出了六个大型油气盆地，其中渤海、珠江口外和北部湾海区都分别钻出高产油流。

我国的石油资源尚处在勘探开发阶段，目前还不能作出全面确切的评价。

(3) 天然气

随着石油、煤炭地质勘探工作的发展，天然气资源的探明储量也在逐年增长。目前，我国天然气产量在能源构成中占3.0%，1978年天然气生产量为137亿米³。

油系天然气包括气田气和油田气。气田气主要分布于四川和贵州两省，储量约占全国总量的70%。仅四川省已发现的储气构造就有200处以上。油田气是采油的伴生气，分布于辽河、大港、南阳、胜利和大庆等油田。

煤矿开采过程中产生的瓦斯气的主要成分是甲烷，称煤系天然气。据研究，一吨褐煤、

肥煤、瘦煤、无烟煤形成过程中所产生的甲烷气分别为68、230、330、400米³左右，这些可燃气体聚集在煤层上部便可形成煤系气田。我国煤炭储量丰富，煤系天然气资源也相当可观。

(4) 水力资源

据统计，世界的水力资源约为20亿千瓦以上，我国约为6.8亿千瓦，其中可开发储量为3.7亿千瓦，占世界第一位。但是，已开发利用的还很少，仅占可开发量的3.0%，目前水力发电量占全国总能耗的比重为3.0%左右。

水力不仅是廉价的可再生性清洁能源，而且还能实现防洪，灌溉，航运及发展渔业综合利用。因此，世界各国都尽先开发水电。我国的水力资源，在全国各省均有分布，但主要集中在西南地区，约占总资源量的68%。其次是中南占15%，西北占10%，华东占4%，东北占2%。华北地区水力资源最少，占1%。由于水力资源的开发和利用涉及到水坝对水中生态的影响，必须采取相应的对策。此外，投资大，建设周期长也是水力开发的缺点，预计到本世纪末我国水电在总发电量中的比重只能达到25%左右，不会有更大的增长。

(5) 核能资源

通常所说的核燃料是指裂变反应堆用的铀-235。从世界范围看，铀资源尽管储量比较丰富，但按现在的开采速度，到本世纪末也将被开采殆尽。所以，一些工业化国家近年来正大力研究开发快中子增殖反应堆，提高铀资源的利用效率，以延长铀资源的开采寿命。

我国铀矿资源的勘探是50年代开始的，大部分省（区）都有铀异常和铀矿现象存在，而且铀矿分布具有成带性、成群性。已探明的铀矿储量也相当可观，相当于成百亿吨标准煤。

§1-3 能源在国民经济发展中的作用

能源是发展社会生产和提高人民生活水平的重要物质基础，是推动国民经济发展的强大动力。

瓦特发明了蒸汽机，为人类提供了大量生产动力的可能，其结果出现了资本主义的工业革命，煤炭的大规模开采就是从那时发展起来的。十九世纪70年代开始，电的发明和应用，第二次引起了社会经济的巨大发展，人类的社会生产和生活开始进入电气化的新时代。二十世纪50年代开始，由于石油、天然气的大规模开发，世界能源构成从以煤炭为主，转向以石油为主，促成了西方经济的繁荣。这是世界能源发展的三次重大转折。回顾世界能源发展历史，可以说，人类认识、开发和利用能源的历史，就是人类认识和征服自然的历史。每当一种能源被发现，并推广使用，就伴随着生产技术的重大变革，引起社会生产方式的变化，从而推动社会经济迅速发展。

世界各国经济发展的实践证明，在经济正常发展情况下，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。因此世界各国普遍采用能源消费弹性系数，即能源消费年增长率与国民经济年增长率之比值 ϵ 来分析研究能源消费与国民经济发展之间的关系（参见§8-3）。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。尽管各国的实际条件不同，但只要处于类似的经济发展阶段，它们就具有大致相近的能源弹性系数，发展中国家弹性系数一般大于1，工业化国家弹性系数大多小于1，人均收入越高，弹性系数越低。1949~1980年期间我国按商品能源消费和工农业总产值增长率计算的能源消费弹性系