

普通高等教育“十二五”规划教材

# 可再生能源

汪建文 主编

机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

# 可 再 生 能 源

主 编 汪建文  
副主编 李永华 武文斐 鄢晓忠  
参 编 高志鹰 张立茹 东雪青  
主 审 李惟毅



机械工业出版社

本书阐述了可再生能源的理论知识及工程技术应用。本着精简篇幅、扩大读者范围的精神,本书主要介绍了可再生能源的国内外资源状况、分布及应用,一般技术原理等知识,同时,还介绍了当今国内外的新技术、新发展状况。

本书共分九章,内容包括可再生能源、太阳能、风能、生物质能、海洋能、地热能、水能、氢能和多能互补。

本书可作为高等院校能源动力类专业的必修课教材,也可作为高等院校各类专业“可再生能源”公共选修课教材,还可作为企业、研究院所从事可再生能源方面的广大技术人员、管理人员的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

可再生能源/汪建文主编. —北京:机械工业出版社,2011.9

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-35750-6

I. ①可… II. ①汪… III. ①再生能源-高等学校-教材  
IV. ①TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 177552 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:蔡开颖 责任编辑:蔡开颖 周璐婷

版式设计:张世琴 责任校对:纪 敬

封面设计:张 静 责任印制:乔 宇

北京汇林印务有限公司印刷

2012 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm 13.75 印张·339 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-35750-6

定价:28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

封面无防伪标均为盗版

读者购书热线:(010)88379203

# 教材编审委员会

(按姓氏笔画排列)

|      |     |          |     |            |
|------|-----|----------|-----|------------|
| 主任：  | 郭烈锦 | 西安交通大学   |     |            |
| 副主任： | 王立  | 北京科技大学   | 张华  | 上海理工大学     |
|      | 王如竹 | 上海交通大学   | 沈胜强 | 大连理工大学     |
|      | 邓海平 | 机械工业出版社  | 高翔  | 浙江大学       |
|      | 张力  | 重庆大学     |     |            |
| 委员：  | 王军  | 华中科技大学   | 杨茉  | 上海理工大学     |
|      | 王丽  | 北京石油化工学院 | 杨昭  | 天津大学       |
|      | 王灵梅 | 山西大学     | 汪建文 | 内蒙古工业大学    |
|      | 冉景煜 | 重庆大学     | 陆靓燕 | 武汉工程大学     |
|      | 刘永峰 | 北京建筑工程学院 | 周玉明 | 重庆科技学院     |
|      | 刘忠宝 | 北京工业大学   | 周静伟 | 中国计量学院     |
|      | 吕太  | 东北电力大学   | 金苏敏 | 南京工业大学     |
|      | 孙奉仲 | 山东大学     | 姜水生 | 南昌大学       |
|      | 朱天宇 | 河海大学     | 闻建龙 | 江苏大学       |
|      | 齐学义 | 兰州理工大学   | 徐斌  | 河南科技大学     |
|      | 何伯述 | 北京交通大学   | 袁文华 | 邵阳学院       |
|      | 何宏舟 | 集美大学     | 袁镇福 | 浙江大学宁波理工学院 |
|      | 吴锋  | 浙江大学     | 郭培红 | 河南理工大学     |
|      | 吴静怡 | 上海交通大学   | 高青  | 吉林大学       |
|      | 张卫正 | 北京理工大学   | 崔海亭 | 河北科技大学     |
|      | 张文孝 | 大连水产学院   | 章学来 | 上海海事大学     |
|      | 李人宪 | 西南交通大学   | 程有凯 | 大连水产学院     |
|      | 李仁年 | 兰州理工大学   | 舒水明 | 华中科技大学     |
|      | 李明海 | 大连交通大学   | 谢晶  | 上海海洋大学     |
|      | 李惟毅 | 天津大学     | 谢诞梅 | 武汉大学       |
|      | 杜小泽 | 华北电力大学   | 颜伏伍 | 武汉理工大学     |
|      | 杨历  | 河北工业大学   | 黎苏  | 河北工业大学     |
| 秘书：  | 蔡开颖 | 机械工业出版社  |     |            |

# 前 言

长期以来,我国能源供应建立在不可再生的矿物燃料基础上,这样会导致能源资源逐步耗竭。可再生能源则可以不断被开发利用,对于环境没有或很少有污染,它是未来能源的基础,是实施可持续发展能源战略的必由之路。随着可再生能源开发利用越来越受到重视,向高校师生和广大读者(尤其是在校大学生、技术与管理人员等)介绍可再生能源的理论知识及工程技术应用是非常必要的。

本书的特色主要为:在系统性方面,基本遵循可再生能源的国内外资源状况、分布及应用,一般技术原理等知识的介绍;在先进性方面,着重介绍当今国内外的新技术、新发展状况。譬如:太阳能热水系统、太阳能供热采暖和制冷系统、太阳能光伏发电系统、太阳能利用系统与建筑结合,离网型风力发电技术和并网风力发电技术(风电场的选址、安装、并网发电技术),生物质能中的垃圾发电技术,氢能利用技术及燃料电池、可再生能源的多能互补等。

本书既有国内外可再生能源的最新发展动态、技术发展水平等内容,又有体现新兴学科、交叉学科的内容。本书可作为高等院校能源动力类、材料科学类、机械类专业教材,也可作为高等院校“可再生能源”公共选修课教材。

参加本书编写工作的有:内蒙古工业大学汪建文、高志鹰、张立茹、东雪青,华北电力大学李永华,内蒙古科技大学武文斐,长沙理工大学鄢晓忠。本书由汪建文任主编,由李永华、武文斐、鄢晓忠任副主编,由天津大学李惟毅教授任主审。

恳切希望使用本书的高校师生和广大读者对书中存在的问题和错误提出批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| <b>第一章 可再生能源</b> .....  | 1   |
| 第一节 能源概述 .....          | 1   |
| 第二节 可再生能源概述 .....       | 9   |
| 第三节 可再生能源发展趋势 .....     | 10  |
| 思考题与习题 .....            | 15  |
| <b>第二章 太阳能</b> .....    | 16  |
| 第一节 太阳能概述 .....         | 16  |
| 第二节 太阳能资源分布状况 .....     | 18  |
| 第三节 太阳能光电技术 .....       | 20  |
| 第四节 太阳能光热技术 .....       | 27  |
| 第五节 太阳能其他利用技术 .....     | 52  |
| 思考题与习题 .....            | 53  |
| <b>第三章 风能</b> .....     | 54  |
| 第一节 风能概述 .....          | 54  |
| 第二节 风能资源分布状况 .....      | 58  |
| 第三节 风能发电技术 .....        | 62  |
| 第四节 风能其他利用技术 .....      | 87  |
| 思考题与习题 .....            | 95  |
| <b>第四章 生物质能</b> .....   | 96  |
| 第一节 生物质能概述 .....        | 96  |
| 第二节 生物质能资源的生产与再生产 ..... | 99  |
| 第三节 沼气技术 .....          | 102 |
| 第四节 生物质燃烧技术及生物燃料 .....  | 106 |
| 第五节 生物质能其他利用技术 .....    | 121 |
| 思考题与习题 .....            | 132 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| <b>第五章 海洋能</b> .....     | 133 |
| 第一节 海洋能概述 .....          | 133 |
| 第二节 海洋能的类型 .....         | 134 |
| 第三节 海洋能利用技术 .....        | 138 |
| 思考题与习题 .....             | 152 |
| <b>第六章 地热能</b> .....     | 153 |
| 第一节 地热能概述 .....          | 153 |
| 第二节 地热资源类型及地热资源的分布 ..... | 158 |
| 第三节 地热能的利用 .....         | 161 |
| 思考题与习题 .....             | 175 |
| <b>第七章 水能</b> .....      | 176 |
| 第一节 水能概述 .....           | 176 |
| 第二节 水能资源分布状况 .....       | 178 |
| 第三节 水力发电技术 .....         | 180 |
| 思考题与习题 .....             | 187 |
| <b>第八章 氢能</b> .....      | 188 |
| 第一节 氢能概述 .....           | 188 |
| 第二节 氢能的制备储运技术 .....      | 191 |
| 第三节 氢能利用技术 .....         | 195 |
| 思考题与习题 .....             | 203 |
| <b>第九章 多能互补</b> .....    | 204 |
| 第一节 多能互补系统概述 .....       | 204 |
| 第二节 风光互补系统 .....         | 205 |
| 第三节 风光柴互补系统 .....        | 207 |
| 第四节 其他多能互补系统 .....       | 210 |
| 思考题与习题 .....             | 213 |
| <b>参考文献</b> .....        | 214 |

# 第一章 可再生能源

## 第一节 能源概述

能源是社会存在与运动的基础,任何生产活动与生活过程都离不开能源。

### 一、能源的定义

#### 1. 能量

什么是能量?按照物理学的定义,能量即物体(或系统)对外做功的能力。广义地讲,能量是产生某种效果(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。

#### 2. 能源

凡是能直接或者经过转换而获取某种能量的自然资源统称为能源。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,因为它们同样为人们提供所需的能量。

#### 3. 能量形式

目前,人类认识的能量有如下六种形式。

(1)机械能 它包括固体和流体(能够流动的物体)的动能、势能、弹性能及表面张力能。动能和势能统称为宏观机械能,是人类最早认识的能量。

在牛顿力学中,机械能表现为平动动能  $E_k$ 、转动动能  $E_r$  和重力势能  $E_p$ 。

可再生能源中的水能、波浪能、风能也属于上述能量形式。

(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,热能在能量利用中有着重要的意义。根据能量守恒原理,对于封闭系统,  $\Delta U = Q - W$ , 其中,  $\Delta U$  为系统热力学能的变化,  $Q$  为热能,  $W$  为功。热能的本质是微观粒子随机热运动的动能和势能的总和,这种能量的宏观表现是温度的高低,它反映了分子运动的剧烈程度。由于分子运动速度越快,物体的温度越高,因此在热力学中,热能也可以表示为由温差传递的能量。在实际中,绝大多数化石能源的利用,都是先将燃料的化学能转变为热能,然后再转变成其他形式的能量。

(3)电能 它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化而来,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化为机械能,从而显示出电做功的本领。

(4)辐射能 物体以电磁波形式发射的能量称为辐射能,如地球表面所接受的太阳能就是辐射能的一种。

辐射能被物体吸收时产生热效应,物体吸收的辐射能不同,所表现的温度也不同。因此,辐射是能量转换为热量的重要方式。地球表面所接受的太阳能就是最重要的辐射能。

(5)化学能 它是一种原子核外进行化学反应时放出的能量。人类利用最普遍的化学能是通过燃烧碳和氢而获得的,而这两种元素正是煤、石油、天然气、薪柴等燃料中最重要的可燃元素。

同时在光化学反应中,涉及的能量包括化学键能、热能与辐射能等。当燃料燃烧时,内部的化学键能转变成为分子热运动的热能和辐射能。无论是吸热反应或放热反应,由于原子需要重新组合,首先必须由外界提供能量,如热能或辐射能,使构成分子的原子的化学键打开,此能量即活化能,然后原子重新组合成为新分子,释放出多余的化学能。干电池和蓄电池都是利用了化学能。

(6)核能 核能是蕴藏在原子核内部的物质结构能。释放巨大核能的核反应有两种,即核裂变反应和核聚变反应。

## 二、能源的分类

由于能源形式多样,因此,不同的认识角度具有不同的分类方法。

### 1. 按地球上的能量来源分类

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量,如宇宙射线和太阳能,以及太阳能引起的水能、风能、波浪能、海洋温差能、生物质能、光合作用、化石燃料(煤、石油、天然气等,是一亿年前由积存下来的有机物质转化而来的)。

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

1) 常规能源,如煤炭、石油、天然气、薪柴燃料、水能等。

2) 新能源,如太阳能、地热能、风能、潮汐能、生物质能等,核能通常也被看做新能源。

### 3. 按获取途径的方法分类

1) 一次能源,即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转化而来的能源,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,不会随它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,随人类的利用越来越少,如石油、天然气、核燃料等。

### 5. 按能源本身的性质分类

1) 含能体能源,可以直接储存,如石油、煤、天然气、地热、氢等。

2) 过程性能源,无法直接储存,如水能、风能、潮汐能、电能等。

### 6. 按对环境的污染情况分类

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。

有关能源分类见表 1-1。

表 1-1 能源分类

| 分类类别 | 分类依据               |     | 分类细则及举例                                                              |
|------|--------------------|-----|----------------------------------------------------------------------|
| 按来源分 | 第一类能源<br>(来自地球之外)  | 太阳能 | 经生物质转化:煤、石油、天然气、油岩、草木、沼气<br>经空气和水转化:风、流水、海流、波浪<br>经热转化:海洋热<br>太阳直接辐射 |
|      | 第二类能源<br>(来自地球内部)  | 地热  | 地震火山活动<br>地热水或地热汽<br>热岩层                                             |
|      |                    | 核能  | 铀、钍、氘(氢的同位素之一,质量数是 2,用于热核反应)                                         |
|      | 第三类能源<br>(与其他天体作用) | 潮汐  | 它是利用月球和太阳引潮力作用所发生的海水周期性涨落运动产生的一种能量                                   |
| 按性质分 | 含能体能源              |     | 化石燃料(煤、石油、天然气)、草木燃料、核燃料<br>地热水或地热汽<br>高水位水库<br>氢能(氢燃料)               |
|      | 过程性能源              |     | 风、流水、海洋流、潮汐<br>地震<br>电<br>太阳直接辐射                                     |

综上所述,能量能够以多种形式存在。可以简单地把能量分为两类:与运动相联系的能量称为动能,与物体的相对位置或内部结构有关的能量统称为势能。目前人类使用的能源可以认为全部来自以下若干类型的势能:

(1)重力势能 重力势能由距离地球表面的垂直高度决定。水能即是利用水的位差产生的重力势能。

(2)弹性势能 弹性势能可存储在弹性物体内部,如弹簧、压缩空气等。

(3)温度差能 温度差能储存在海水和空气的温度差中,风能可以认为是来自空气的温度差能。

(4)化学势能(化学键能) 该能量是在化学反应中被释放出来的(分子重新组合),如煤、石油、天然气等化石能源。燃料电池就是利用了化学势能的装置。

(5)电磁能 该能量是指带电体或导磁体在电磁场中所具有的电磁能量。如电容器、超导线圈,都可以储存大量的电磁能。电磁能也可通过辐射的形式放出,即光能。

(6)原子核能 原子核能是指由于原子核内部粒子间相互作用而储存在原子核内部的能量。当原子发生某种重新组合时释放出来。此能量非常巨大,当其发生不可控的连锁反应时,则为原子弹或氢弹爆炸,因此人类和平利用原子能的目标是实现可控的核裂变和核聚变。太阳其实就是一座天然的核聚变反应堆,氢同位素的核聚变放出能量,产物为水,因而是最理想的能源。原子核能释放时,以热能、辐射能的形式放出能量。不同学科遇到的各种能量形式及表达式见表 1-2。

表 1-2 不同学科遇到的各种能量形式及表达式

| 学科   | 能量          | 表达式                                             | 符号意义                                                                 |
|------|-------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 牛顿力学 | 平动动能        | $E_k = \frac{1}{2}mv^2$                         | $m$ 为物体的质量; $v$ 为物体的平动速度                                             |
|      | 转动动能        | $E_r = \frac{1}{2}I\omega^2$                    | $I$ 为转动惯量; $\omega$ 为物体的转动角速度                                        |
|      | 重力势能        | $E_p = mgh$                                     | $g$ 为重力加速度; $h$ 为物体的相对高度                                             |
| 热力学  | 热能、热力学能     | $\Delta U = Q - W$                              | $\Delta U$ 为系统热力学能的变化; $Q$ 为热能; $W$ 为功                               |
| 电磁场  | 电场能         | $E_e = \frac{1}{2}CV^2$                         | $C$ 为电容; $V$ 为电压                                                     |
|      | 磁场能         | $E_e = \frac{1}{2}LI^2$                         | $L$ 为电感; $I$ 为电流                                                     |
| 核物理学 | 核能          | $\epsilon = h\nu$<br>$E = mc^2$                 | $\epsilon$ 为单个粒子或光子的最小能量; $h$ 为普朗克常数; $\nu$ 为振动频率; $m$ 为质量; $c$ 为光速  |
| 化学能  | 化学键能、热能、辐射能 | 化学反应方程式                                         | 在化学反应中,首先由外界提供能量,如热能或辐射能,使连接原子之间的化学键断开,此能量即活化能;然后,原子发生重新组合,释放出多余的化学能 |
| 生物学  | 光合作用        | $6H_2O + 6CO_2 \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ | 植物利用阳光将空气中的水和二氧化碳转变为葡萄糖                                              |
|      | 无氧发酵产生的热量   |                                                 | 利用微生物将碳水化合物转变为酶,此即酿酒过程                                               |
|      | 酶催化或消化作用    |                                                 | 能量以葡萄糖的形式储存在体内,呼吸时与氧气作用,反应释放出 $H_2O$ 和 $CO_2$                        |

### 三、能量的各种形式与转换

能量在使用过程中会发生转换。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。然而广义地说,能量转换还应当包含以下两项内容:

- 1) 能量的空间转换,即能量的传输。
- 2) 能量的时间转换,即能量的储存。

任何能量的转换过程都必须遵循自然界的普遍规律——能量转换和能量守恒定律,即

$$\text{输入的能量} - \text{输出的能量} = \text{储存能量的变化}$$

使用最多、最普遍的能量形式是热能、机械能、电能。它们都可以由其他形态的能量转换而来,它们之间也可以相互转换。然而任何能量的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才能实现。表 1-3 为能量转换过程及转换设备和系统。

表 1-3 能量转换过程及转换设备和系统

| 能源              | 能量形式转换过程                              | 转换机械或系统                                        |
|-----------------|---------------------------------------|------------------------------------------------|
| 石油、煤炭,天然气等矿物质燃料 | 化学能→热能<br>化学能→热能→机械能<br>化学能→热能→机械能→电能 | 炉子,燃烧器<br>各种热力发动机<br>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<br>化学能→电能                   | 热力发电机,热电子发电<br>燃料电池                            |

(续)

| 能源                    | 能量形式转换过程                                                                                         | 转换机械或系统                                                                                                   |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 水能, 风能, 潮汐能, 海流能, 波浪能 | 机械能→机械能<br>机械能→机械能→电能                                                                            | 水车, 风车, 水力发电机, 波力发电, 风力发电, 潮汐发电, 海流发电                                                                     |
| 太阳能                   | 辐射能→热能<br><br>辐射能→热能→机械能<br>辐射能→热能→机械能→电能<br>辐射能→热能→电能<br>辐射能→电能<br>辐射能→化学能<br>辐射能→生物能<br>电磁波→电能 | 热水器, 采暖, 制冷, 光化学反应, 太阳灶<br><br>太阳热发动机<br>太阳热发电<br>热力发电, 热电子发电<br>光电池, 光化学电池<br>光化学反应(水分解)<br>光合成<br>充电转换器 |
| 海洋热能                  | 热能→机械能→电能                                                                                        | 海洋温度差发电(热力发动机)                                                                                            |
| 海洋盐差(能)               | 化学能→电能<br>化学能→机械能→电能<br>化学能→热能→机械能→电能                                                            | 浓度发电<br>渗透压发电<br>浓度差发电                                                                                    |
| 地热能                   | 热能→机械能→电能<br>热能→电能                                                                               | 热力发电机<br>热能发电                                                                                             |
| 核能                    | 核分裂→热能→机械能→电能<br>核分裂→热能<br>核分裂→热能→电能<br>核分裂→电磁能→电能<br>核聚裂→热能→机械能→电能                              | 核发电, 磁流体发电<br>核能炼钢<br>热力发电, 热电子发电<br>光电池<br>核聚变发电                                                         |

#### 四、能源品质评价

能源的种类很多, 各有优劣。通过对能源进行品质评价, 可以了解各种能源利用的难易程度以及对环境的影响程度。评价各种能源的计算指标主要有以下几个方面:

##### 1. 储量

作为能源的一个必要条件是储量要足够丰富。在考察储量的同时还要对能源的可再生性和地理分布作出评价。比如太阳能、风能、水能等都是可再生能源, 而煤、石油、天然气则是不可再生的能源。能源的地理分布和使用关系密切, 例如我国煤炭资源多在西北, 水能资源多在西南, 而工业区却分布在东南沿海, 因此能源的地理分布对能源的使用起决定性作用。

##### 2. 储能的可能性与供能的连续性

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。供能的连续性是指能否按需要和所需的速度连续不断地提供能量。

##### 3. 能量密度和能流密度

能量密度是指单位质量的物质释放的能量。煤的能量密度为  $2.74\text{J/kg}$ , 石油的能量密度为  $4.32\text{J/kg}$ , 裂变物质的能量密度要比常规燃料大百万倍, 如铀 235 的能量密度为

$7.49 \times 10^{13} \text{ J/kg}$ 。能流密度是单位时间内通过单位面积的能量,主要用来评价可直接利用的能源,如太阳能、风能等。风的能流密度从每平方米几十瓦到几百瓦,太阳能的能流密度用年辐射总量表示,范围在  $300 \sim 800 \text{ kJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$ 。

#### 4. 开发费用和利用能源的设备费用

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、开采到加工都需要大量投资。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。

#### 5. 运输费用与损耗

太阳能、风能和地热能等很难输送出去,但化石燃料却很容易从产地输送至用户。核电站核燃料的运输费用极低,因为核燃料的能量密度是煤的几百万倍,而燃煤电站的输煤费用就是一笔很可观的费用。

#### 6. 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,它的品位要比由化学能转变为热能,再由热能转换为机械能的化石燃料的品位要高些。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。

理想热机的效率的表达式为

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (1-1)$$

式中, $W$  为热机对外做的功(J); $Q_1$  为从高温热源的吸热量(J); $Q_2$  为向低温热源的放热量(J); $T_1$  为高温热源温度(K); $T_2$  为低温热源温度(K)。

因此,温度高的热源品位比温度低的热源品位要高。在使用能源时,要适当安排不同品位的能源。可是,在实际生活中,大量的低品位能源未被利用,白白浪费掉。如工业的废热、太阳的热能等。

#### 7. 对环境的影响

对环境的影响不仅是指对环境的污染,还包括开采和开发过程中对生态平衡方面的影响。优良的能源是干净、安全、不破坏生态平衡的能源。

### 五、能源与经济

能源贯彻在具体的生产与生活的每一个环节中。正因为如此,能源的形式也决定了国家的经济实力、发展模式和发展前途。因此,人类社会发展的每个阶段都与那个阶段能源生产与消费水平有关。

#### 1. 能源与生产

任何生产过程必须有一定的投入。以往人们往往只以原材料、资金和劳动力作为生产的必要条件。随着工业生产的进步与扩大,人们越来越认识到,不投入必要的能源,生产过程是绝对不能实现的。

任何工农业产品的生产都离不开能源,它的需求量不仅表现在生产过程中直接消耗掉的能源,还包括生产设备本身及所耗能源的生产所必需的能源。以矿井采煤为例,勘探、建矿、井下开拓、采掘、通风、提升至地面、传输乃至洗煤,每一步骤都需消耗能源。能够把地下初级资源转变为可满足最终需要的燃料过程,称为能量转化系统,如煤的转化效率为 95.3%,也有的

能量转化系统的转化效率极低。

1) 2000 年,世界人均一次能源消费量折算标准油 1.50t,其中,美国人均消费 8.17t,英国人均消费 3.89t。

2) 亚洲人均消费标准油最高的国家是新加坡,为 6.12t。韩国和日本的人均消费大致相同,分别为 4.10t 和 4.14t。

3) 我国人均消费量为 0.735t,不到世界平均水平的 1/2,不足美国的 1/12。

4) 广大的农村仍在使用传统的生物质能源,其标准煤消费总量达 2.5 亿 t 以上。

5) 人均能源消费量的差异,反映了我国经济发展和人民生活水平同国外一些发达国家的差距。

## 2. 能源与经济

任何产品(包括精神产品、软件等在内)都离不开能源,所以能源发展水平在一定程度上代表了国家的经济发展水平。

两个指标反映出能源和经济的关系:

1) 人年平均产值越高,人年平均能耗就越大。

2) 人年平均能源消耗量越高,人年平均国民生产总值就越大。

## 3. 能源与生活水平

为了估计能源消耗水平与生活水平之间的关系,定义了一个生活质量指数,以它来作为数量评估的基础。

包含平均寿命、文化指数及婴儿死亡率三大类综合成一个 1~100 分的指数,称为生活质量指数。

不论是哪个国家,人均能耗量越多,生活质量指数就越高。人均能耗量达到 1.6t,以后的生活质量指数就趋于平坦。表 1-4 给出的是现代文明社会人均能耗量最低需要估计。

表 1-4 现代文明社会人均能耗量最低需要估计(每年)

| 项目 | 所需能耗/MJ <sup>①</sup> | 所需一次能源标准煤/kg <sup>②</sup> |
|----|----------------------|---------------------------|
| 衣  | 8.65                 | 108                       |
| 食  | 25.98                | 323                       |
| 住  | 25.98                | 323                       |
| 行  | 17.30                | 215                       |
| 其他 | 51.96                | 646                       |
| 总计 | 129.87               | 1615                      |

①1MJ=10<sup>6</sup>J。

②标准煤热值为 29.33kJ/kg,kJ/kg 是热值单位。

现代社会,能源在国民经济中的地位和作用是相当高的。国家越发达,现代化程度越高,人们依赖能源的程度也就越大。

## 六、能源与环境

世界经济的发展和人类赖以生存的环境是不协调的,经济发展和人口增长给环境造成了巨大的压力,对发展中国家这种情况尤为突出。从引起环境问题的源头考虑,环境问题可分为两类:由自然力引起的原生环境问题和由人类活动引起的次生环境问题。第一类环境问题,主要是指地震、洪涝、干旱、滑坡等自然灾害所引起的环境问题,对于这类环境问

题,目前人类的抵御能力还很薄弱。第二类环境问题,又可分为环境污染和生态破坏两大类型。能源的大量开发和利用,是造成生态破坏和环境污染的主要原因之一,它属于第二类环境问题。

环境问题是全球性问题。因为相当数量的污染物可以在生物圈中停留相当长时间,并且通过扩散和漂移输送到离污染源很远的地方。联合国环境规划署的报告表明,整个地球的环境正在全面恶化,其主要表现在:

1) 南极的臭氧空洞正以每年一个美国陆地面积的速度扩大,受臭氧空洞的影响,太阳紫外线辐射使人类皮肤癌的发病率不断上升。

2) 空气质量严重恶化,全球有 1.25 亿人口生活在污浊的空气中。

3) 温室气体的过度释放造成全球气候变暖,沿海低地和一些岛屿国家正面临海水上涨的威胁。

4) 全球有 12 亿人口生活在缺水地区,14 亿人口的生活环境中没有生活污水排放装置。

5) 全球每年的土壤流失达 20Gt(即  $2 \times 10^{10}$  t),全世界的森林正以每年  $4.6 \times 10^6$  ha<sup>2</sup> (ha 表示公顷的国际通用符号,1ha<sup>2</sup>=10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>)的速度从地球上消失。

6) 全球有 12% 的哺乳动物和 11% 的鸟类濒临灭绝;每 24h 就有 150~200 种生物从地球上消失;由于过度捕捞,有超过 40 种鱼类也濒临灭绝。

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很大;太阳能、风能、氢能对环境基本上没有污染。

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,并对生态系统产生各种影响,成为环境污染的主要根源。因此,有必要学习、了解对人类基本没有污染的、不会随其本身的转化或人类的利用而日益减少的一种能源——可再生能源。

图 1-1 展示了在不久的将来,利用风能、太阳能、地热能为住宅提供能量的新型住宅模型。

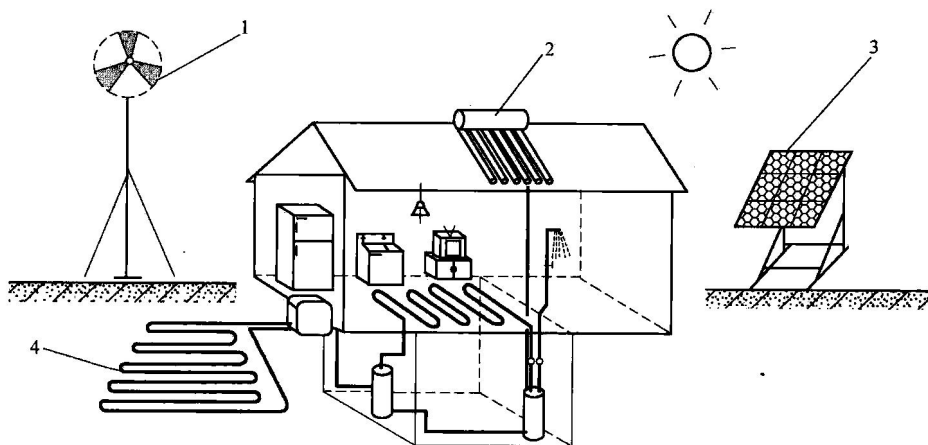


图 1-1 可再生能源住宅

1—风力机 2—太阳能热水器 3—太阳能光电板 4—地热埋管

## 七、问题和挑战

我国能源与可持续发展面临的问题与挑战:

### 1. 面临的问题

- 1) 总量不足。
- 2) 结构失衡。
- 3) 效率低下。
- 4) 污染严重。
- 5) 效益不佳。

### 2. 面临的挑战

- 1) 面临能源需求增长和环境保护的双重压力。
- 2) 人均资源不足,煤的储量为世界平均值的 50%,油为 10%。
- 3) 资源勘探程度低,资源分布不均,煤炭集中分布在西北,水电资源集中分布在西南。
- 4) 人均能耗低,约为世界平均值的 50%。
- 5) 产值能耗高,约为其他发展中国家的两倍。
- 6) 农村能源短缺,生活用能主要靠柴薪。

## 第二节 可再生能源概述

### 一、可再生能源的定义

所谓可再生能源,是指不会随其本身的转化或人类的利用而日益减少的一种能量资源。也就是说,这种能源与传统能源的最大不同点在于,取之不尽、用之不竭且对环境没有污染,可以实现持续发展,有利于生态的良性循环。

注意,上述的“取之不尽”、“用之不竭”是相对概念,它是相对于常规的化石能源而言。同理,所述“对环境没有污染,可以实现持续发展,有利于生态的良性循环”,也是相对于常规的化石能源而言。

### 二、可再生能源的特点

可再生能源共同的特点主要有:

- 1) 能流密度较低,并且高度分散。
- 2) 资源丰富,可以再生。
- 3) 清洁干净,使用中几乎没有损害生态环境的污染物排放。
- 4) 部分可再生能源具有间歇性和随机性,如太阳能、风能、潮汐能等资源。
- 5) 开发利用的技术难度大。

### 三、可再生能源的种类

- 1) 联合国开发计划署(简称 UNDP)把可再生能源分为三大类:

- ① 大中型水电。
- ② 新兴可再生能源,包括小水电、太阳能、风能、现代生物质能、地热能 and 海洋能等。
- ③ 传统生物能。

2) 《中华人民共和国可再生能源法》第 2 条定义:本法所称可再生能源,是指风能、太阳能、水能、生物质能、地热能、海洋能等非化石能源。同时又指出,水力发电对本法的适用,由国务院能源主管部门规定,报国务院批准。并且还指出,通过低效率炉灶直接燃烧方式利用秸秆、薪柴、粪便等,不适用本法。

### 第三节 可再生能源发展趋势

#### 一、能源消费现状与趋势

图 1-2 所示为 2006 年世界与我国的一次能源消费构成图。在 1995 年我国的煤炭消费曾占一次能源的 74.6%，同世界能源消费结构相比，我国属低质型能源消费结构。这种以煤为主的能源消费结构，是客观上造成我国与国外相比，能源经济利用效率低、污染严重、产品能源成本高、市场竞争能力差的根本原因。

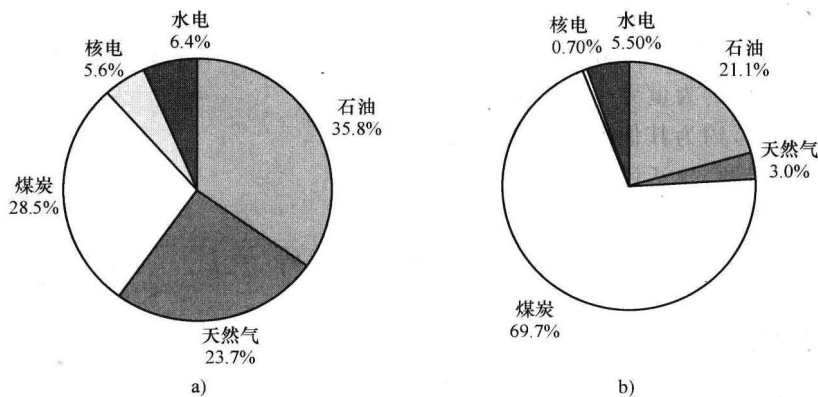


图 1-2 一次能源消费构成图

a) 2006 年世界一次能源消费构成 b) 2006 年中国一次能源消费构成

#### 二、世界可再生能源利用状况

世界一次能源使用中可再生能源比例达到 17%，其中包括传统生物质、大型水力发电及新兴可再生能源(图 1-3)。传统生物质能主要用于家庭炊事和取暖，其在全球一次能源使用中比例为 9%。由于出现了更高效的使用方式或新的能源形式，传统生物质能所占比例增长缓慢，甚至在某些地区呈下降趋势。大型水力发电多见于发展中国家，所占比例接近 6%，也同样增长缓慢。新兴可再生能源所占比例为 2%，但它在发达国家和部分发展中国家保持飞速增长。显然，这三种形式的可再生能源具有各自的特点和发展趋势。

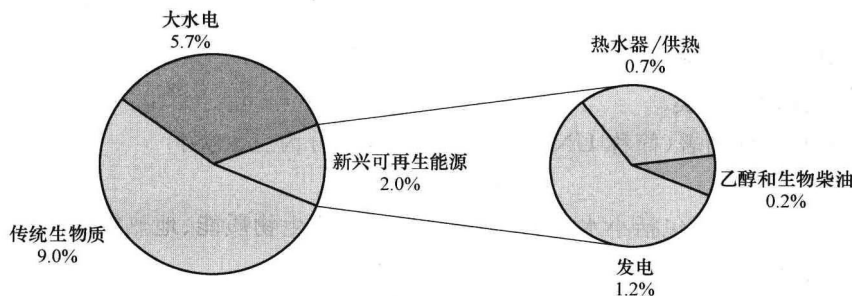


图 1-3 2004 年可再生能源占一次能源份额

表 1-5~表 1-8 为国外几种应用最广的可再生能源技术的成本数据，仅供参考。

表 1-5 可再生能源发电技术的特点与成本

| 技术名称      | 特点                                          | 成本/[美分/(kW·h)] | 成本走向及降低情况                                                                                       |
|-----------|---------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 大水电       | 电站容量:10~18000MW                             | 3~4            | 稳定                                                                                              |
| 小水电       | 电站容量:1~10MW                                 | 4~7            | 稳定                                                                                              |
| 陆地风能      | 风机功率:1~3MW<br>叶片尺寸:60~100m                  | 4~6            | 全球装机容量每翻一番,成本降低12%~18%,现已降至1990年的一半。风机功率相对于10年前的600~800kW亦有较大提升。未来将通过优选风场、改良叶片/电机设计和电子控制设备来降低成本 |
| 近海风能      | 风机功率:1.5~5MW<br>叶片尺寸:70~125m                | 6~10           | 市场依然较小。未来将通过培育市场及改良技术来降低成本                                                                      |
| 生物质发电     | 电站容量:1~20MW                                 | 5~12           | 稳定                                                                                              |
| 地热发电      | 电站容量:1~100MW<br>类型:双流式、单闪蒸式、<br>双闪蒸式、自然蒸汽式  | 4~7            | 成本从19世纪70年代开始降低。通过先进的勘探技术、低廉的钻井手段和高效的热利用,成本可进一步降低                                               |
| 太阳能光伏(组件) | 电池类型及效率<br>单晶硅:17%<br>多晶硅:15%<br>薄膜:10%~12% | —              | 全球装机容量每翻一番,成本降低20%,每年约降低5%。2004年由于市场的影响,成本有所提高。未来将通过在材料、设计、工艺、效率和规模等方面作出改进来降低成本                 |
| 屋顶光伏      | 峰值功率:2~5kW                                  | 20~40          | 由于光伏组件价格降低、逆变器及系统平衡部件的改进,成本持续走低                                                                 |
| 太阳能热发电    | 电站容量:1~100MW<br>类型:塔式、碟式和槽式                 | 12~18<br>(槽式)  | 相对19世纪80年代第一座电站的44美分/(kW·h),成本已有所降低。通过扩大规模、改进技术,成本将进一步降低                                        |

表 1-6 可再生能源农村(离网)能源技术的特点与成本

| 技术名称      | 特点                             | 成本/[美分/(kW·h)] | 成本走向及降低可能              |
|-----------|--------------------------------|----------------|------------------------|
| 微小水电      | 电站容量:100~1000kW                | 5~10           | 稳定                     |
| 超小水电      | 电站容量:1~100kW                   | 7~20           | 因效率提升,成本稳步小幅走低         |
| 极小水电      | 电站容量:0.1~1kW                   | 20~40          | 因效率提升,成本稳步小幅走低         |
| 沼气池       | 尺寸:6~8m <sup>3</sup>           | —              | 因建造成本及产出结构的变化,成本稳步小幅走低 |
| 生物质汽化器    | 功率:20~5000kW                   | 8~12           | 通过技术改良,成本将可能大幅降低       |
| 小风机       | 风机功率:3~100kW                   | 15~30          | 技术进步可小幅降低成本            |
| 户用风机      | 风机功率:0.1~1kW                   | 20~40          | 技术进步可小幅降低成本            |
| 乡镇规模小电网   | 系统功率:10~1000kW<br>后备系统:蓄电池或柴油机 | 25~100         | 随太阳能及风能系统部件价格降低,成本也将降低 |
| 户用太阳能光伏系统 | 系统功率:20~100W                   | 40~60          | 随太阳能系统部件价格降低,成本也将降低    |