

# 新能源与 节能技术

张志英 鲁嘉华 编著



清华大学出版社

---

# 新能源与 节能技术

---

张志英 鲁嘉华 编著

清华大学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书是关于新能源与节能技术的基本原理及实际应用的通用性教材。在较全面地分析中国能源资源的前提下,对利用新能源的基本方法进行了论述与探讨,介绍了核能、太阳能、风能、生物质能、地热能以及其他新能源,如天然气水合物(可燃冰)、海洋能、氢能等,阐述了节能的基本原理及其实际应用,涉及通用节能技术、工业锅炉和工业炉窑的节能技术、节约热能、建筑节能技术、交通运输系统节能减排等方面,注重节能技术的可行性与有效性。每章都附有相关案例或补充阅读材料,并列出了思考题,力求理论与工程实际相结合,帮助读者对基本原理的了解、掌握和运用。

本书可供能源、环境、化工、建筑等专业的相关技术人员阅读使用,也可供高等院校相关专业的大学生和研究生使用。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

新能源与节能技术 / 张志英, 鲁嘉华编著. --北京: 清华大学出版社, 2013  
ISBN 978-7-302-33908-3

I. ①新… II. ①张… ②鲁… III. ①新能源—基本知识 ②节能—基本知识 IV. ①TK01  
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 217401 号

责任编辑: 杨 倩  
封面设计: 常雪影  
责任校对: 赵丽敏  
责任印制: 何 芊

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175

邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈: 010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者: 三河市李旗庄少明印装厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm

印 张: 19.5

字 数: 470 千字

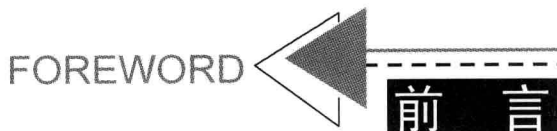
版 次: 2013 年 10 月第 1 版

印 次: 2013 年 10 月第 1 次印刷

印 数: 1~2400

定 价: 40.00 元





能源资源有限、供应紧张及温室效应加剧等,使人类社会的可持续发展面临着能源危机的严峻考验。中国的能源结构是富煤、缺油、少气,2020年中国非化石能源将占一次能源的15%,中国单位GDP的CO<sub>2</sub>排放量若要实现比2005年下降40%~45%的目标,“开源节流”是应对能源危机的唯一办法。

对于中国而言,“开源”就是要有序地走能源多元化道路,开发利用新能源,而“节流”则是节约能源,提高能源利用率,防止和减少能量贬值。目前世界各国已把节能视为除煤炭、石油、天然气和水力四大常规能源外的独立能源,称为第五大能源。节能是中国应对能源危机的最好办法之一。

节约能源,提高能源利用率,可在相同GDP的情况下,降低能源消耗的总量,减少CO<sub>2</sub>的排放量,对保护地球环境、建立和谐社会具有积极意义,同时节能还涉及国家战略安全的大问题,节能减排是中国的基本国策之一。

本书分为12章,分别是能量与能源概述、核能、太阳能、风能、生物质能、地热能、其他新能源、通用节能技术、工业锅炉和工业炉窑的节能技术、节约热能、建筑节能技术、交通运输节能减排,并结合相应的例题、案例、阅读材料、思考题,力争较全面地为读者介绍有关我国乃至世界能源资源的现状、节能的潜力、节能的基本方法、节能技术的评价指标、节能政策、节能规划及节能技术。本书在内容取舍上力求资料新颖、涉及面广,以较小的篇幅为读者提供较多的关于节能技术的较新信息,为各行各业的节能工作提供基本的技术支持和参考。

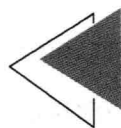
在多年的教学中,发现未经历工程实践的学生,对一些基本的工程应用及其系统布置缺乏感性认识,考虑到能源专业大学生及相关专业技术人员需要对理论知识深入了解,以及将理论与工程实际相联系等因素,本书除了理论探讨、学习外,尽可能地附以相应的原理、系统示意图和表格说明,并在每章之后均附有相关的案例或阅读材料。在案例学习部分,通过“问题与现象”、“节能技术应用”、“效果”、“讨论”等环节的学习,尤其在“讨论”中,以“一家之言”抛砖引玉,使读者将节能技术的理论基础、知识点与实际应用相联系,触类旁通、开发新思路。

上海理工大学郁鸿凌教授、上海工业锅炉研究所高级工程师何心良、上海电气集团高级工程师张科、北京特种行业协会高级工程师范北岩、华中科技大学黄素逸教授和王晓墨教授等对本书的编著给予了大力支持和帮助,在此深表感谢。

本书在编写过程中,参考了大量的图书和文献,在此也向有关作者表示衷心的感谢。本书涉及知识面较广,加之编者水平所限,疏漏及欠妥之处在所难免,望同行及读者批评指正。

作者

2013年5月于上海



<b>第 1 章 能量与能源概述</b> .....	1
1.1 能量 .....	1
1.2 能源 .....	8
1.3 一般的节能方法.....	14
1.4 循环经济与节能减排.....	17
1.5 案例 中央空调废热回收.....	18
思考题 .....	19
<b>第 2 章 核能</b> .....	20
2.1 核能概述.....	20
2.2 核电技术.....	26
2.3 核供热.....	35
2.4 核废料与核安全.....	36
2.5 阅读材料 中国第三代核电站将装“水箱” 可紧急降温.....	38
思考题 .....	41
<b>第 3 章 太阳能</b> .....	42
3.1 太阳能概述.....	42
3.2 太阳能利用技术.....	44
3.3 太阳能应用前景.....	53
3.4 各国太阳能利用技术的发展方向.....	53
3.5 案例 太阳能与建筑一体化技术在北方新农村建设中的应用.....	54
思考题 .....	57
<b>第 4 章 风能</b> .....	58
4.1 风能概述.....	58
4.2 风能资源.....	59
4.3 风能利用.....	61
4.4 风电现状与发展.....	63
4.5 阅读材料 世界上 3 个依靠风力发电的小镇.....	64
思考题 .....	66



<b>第 5 章 生物质能</b> .....	67
5.1 生物质能概述 .....	67
5.2 生物质能利用技术 .....	69
5.3 生物质能利用技术的发展方向 .....	83
5.4 阅读材料 上海“低温炭化”变垃圾为能源 .....	84
思考题 .....	85
<b>第 6 章 地热能</b> .....	86
6.1 地热能概述 .....	86
6.2 地热能利用技术 .....	88
6.3 地热能利用技术发展方向 .....	93
6.4 案例 地温中央空调技术 .....	94
思考题 .....	95
<b>第 7 章 其他新能源</b> .....	96
7.1 天然气水合物 .....	96
7.2 海洋能 .....	99
7.3 氢能与燃料电池 .....	101
7.4 阅读材料 .....	104
思考题 .....	106
<b>第 8 章 通用节能技术</b> .....	107
8.1 强化传热技术 .....	107
8.2 余热余压利用技术 .....	117
8.3 隔热保温技术 .....	138
8.4 热泵技术 .....	155
8.5 热管及其应用技术 .....	161
8.6 空气冷却技术 .....	172
8.7 储能技术 .....	177
8.8 案例 .....	199
思考题 .....	206
<b>第 9 章 工业锅炉和工业炉窑的节能技术</b> .....	208
9.1 高效低污染燃烧技术 .....	208
9.2 工业锅炉节能技术 .....	220
9.3 工业炉窑节能技术 .....	227
9.4 案例 .....	235
思考题 .....	237



<b>第 10 章 节约热能</b> .....	239
10.1 节约热能概述 .....	239
10.2 提高热能转换效率 .....	242
10.3 提高热能的使用效率 .....	249
10.4 煤气-蒸汽-电力多联产系统 .....	256
10.5 采用新型高效换热器 .....	258
10.6 案例 .....	260
思考题 .....	264
<b>第 11 章 建筑节能技术</b> .....	265
11.1 建筑物的保温隔热 .....	266
11.2 墙体的节能 .....	266
11.3 门窗的节能 .....	267
11.4 隔热保温玻璃 .....	269
11.5 建筑工业化 .....	272
11.6 建筑的空调节能 .....	275
11.7 案例 .....	278
思考题 .....	281
<b>第 12 章 交通运输节能减排</b> .....	282
12.1 交通运输节能减排概述 .....	282
12.2 交通运输行业节能规划 .....	282
12.3 交通运输行业节能减排技术 .....	284
12.4 内燃机节能减排技术 .....	285
12.5 替代燃料油技术 .....	289
12.6 替代动力技术 .....	292
12.7 完善汽车燃料消耗量限值标准 .....	297
12.8 案例 SXL 高效机油净化滤芯在车辆上的应用 .....	298
思考题 .....	300
<b>参考文献</b> .....	301

# 能量与能源概述

## 1.1 能量

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。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创造和消灭。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,见式(1-1)。

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

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。

式(1-1)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 600MW 的燃煤发电厂,不停地工作,每小时耗煤约 220t,每年耗煤约 2Mt,而一个 600MW 的核电站,也不停地工作,每年仅耗 1t 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 640g 左右。因此无论是化学反应或核反应,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,简称焦;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[特](W),简称瓦。因为在能量的转换和使用中焦[耳]和瓦[特]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。有关的国际单位制的词头见表 1-1。

表 1-1 能源中常用的国际单位制词头

幂	词 头	英文代号	中文简称
$10^{18}$	艾[可萨](exa)	E	艾
$10^{15}$	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(cal)、大卡(kcal)、标准煤当量(coal equivalent, ce)、标准油当量(oil equivalent, oe)、桶(石油)、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 千克标准煤当量(kgce)(=7000 大卡)=29306 千焦;1 千克标准油当量(kgoe)(=10000 大卡)=41860 千焦;1 桶原油(世界平均比重)=0.136 吨原油=0.159 千升原油=42 美制加仑原油。据此即可对有关不同单位的数据进行换算。

### 1.1.1 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。从实质上讲,利用能量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)由于作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(1-2)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做功能力。若物体的质量为  $m$ ,重力加速度为  $g$ ,该物体在  $H$  高度时具有的重力势能  $E_p$  可以用式(1-3)计算;某物体的弹性系数为  $k$ ,物体的变形量为  $x$ ,其弹性势能  $E_r$  的计算式为式(1-4);对表面张力系数为  $\sigma$ ,相界面的面积为  $S$  的表面能  $E_s$  可由式(1-5)计算。

$$E_p = mgH \quad (1-3)$$

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

$$E_s = \sigma S \quad (1-5)$$

## 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。若系统的温度为  $T$ ,熵的变化为  $ds$ ,则热能  $E_q$  可由式(1-6)表示。

$$E_q = \int Tds \quad (1-6)$$

## 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  $E_e$  可由式(1-7)表示。

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

## 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,例如地球表面所接收的太阳能就是最重要的热辐射能。物体的发射率为  $\epsilon$ ;黑体辐射系数为  $c_0$ ;物体的绝对温度为  $T$ ;物体的辐射能  $E_r$  可由式(1-8)计算。

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

## 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称为化学能。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。

工程计算中规定,单位质量(固体、液体燃料)或体积(气体燃料)的燃料完全燃烧后所放出的燃烧热量称为燃料的发热量(发热值或热值),单位为  $\text{kJ/kg}$  或  $\text{kJ/m}^3$ 。它是评价燃料质量的一个重要指标,也是计算燃烧温度和燃料耗量时不可缺少的依据。在应用中又将发热量分为高位发热量和低位发热量。高位发热量是单位量燃料完全燃烧时所放出的热量,包括燃烧产物中的全部水蒸气凝结成水所放出的汽化潜热;低位发热量是指高位发热量中扣除水的汽化潜热所剩的热量。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

物态	燃料来源	燃料种类	低位发热量
固体燃料	天然固体燃料	木材	13.8MJ/kg
		泥煤	15.89MJ/kg
		褐煤	18.82MJ/kg
		烟煤	27.18MJ/kg
	人工固体燃料	木炭	29.27MJ/kg
		焦炭	28.43MJ/kg
焦炭		26.34MJ/kg	
液体燃料	天然液体燃料	石油(原油)	41.82MJ/kg
	人工液体燃料	汽油	45.99MJ/kg
		液化石油气	50.18MJ/kg
		煤油	45.15MJ/kg
		重油	43.91MJ/kg
		焦油	37.22MJ/kg
		甲苯	40.56MJ/kg
		苯	40.14MJ/kg
		酒精	26.76MJ/kg
		气体燃料	天然气
人工气体燃料	焦炉煤气		18.82MJ/m <sup>3</sup>
	高炉气		3.76MJ/m <sup>3</sup>
	发生炉煤气		5.85MJ/m <sup>3</sup>
	水煤气		10.45MJ/m <sup>3</sup>
	油气		37.65MJ/m <sup>3</sup>
	丁烷气		125.45MJ/m <sup>3</sup>

## 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。

### 1.1.2 能量的性质

能量的性质主要有: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)。对于热力系统而言,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,例如温度、压力、速度、电势和化学势等;另一类与物质的量相关,具有可加性,称为广延量,例如体积、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:  $E = f(p, T)$  或  $E = f(p, V)$  等。

#### 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亦可相加,即一个体系所获得的总能量为输入该体系多种能量  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_n$  之和,故能量的可加性可由式(1-9)表示。

$$E = E_1 + E_2 + \cdots + E_n \quad (1-9)$$

#### 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,传递的热量为  $Q$ 、传热系数为  $K$ 、传热面积为  $A$ 、传热的平均温差为  $\Delta t$ ,则能量热量的传递性可用式(1-10)表示。

$$Q = KA\Delta t \quad (1-10)$$

#### 4. 转换性

各种形式的能量可以互相转换,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,其核心的任务就是如何提高能量转换的效率。

#### 5. 做功性

利用能量做功,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。通常按其转换程度可以把能量分为无限制转换(全部转换)能、有限制转换(部分转换)能和不转换(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。能量的做功性,通常也以式(1-11)表示为能级  $\epsilon$ 。

$$\epsilon = \frac{E_x}{E} \quad (1-11)$$

式中  $E_x$  称之为焓。焓是一种在给定环境条件下的能量,它可以连续地完全转换为任何一种其他形式的能量;所以焓又称为可用能或有效能。

## 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位的降低,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,这就是能的质量贬值。例如,最常见的有温差的传热与有摩擦的做功,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,即能量的质量损失(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。若环境温度为  $T_0$ ,系统的熵增为  $\Delta S$ ,则能量传递与转换过程中的贬值能量  $E_0$  可由式(1-12)表示。

$$E_0 = T_0 \Delta S \quad (1-12)$$

### 1.1.3 能量转换及效率

#### 1. 焓和炆的概念

根据能量贬值原理,不是每一种能量都可以连续地、完全地转换为任何一种其他的能量形式。从转换的角度而言,可以把能量分为“焓”(exergie)和“炆”(anergie)两部分。焓是一种在给定的环境条件下的能量,它可以连续地完全转换为任何一种其他形式的能量;所以焓又称为可用能或有效能。炆则是一种不可以转换的能量,称之为无用能或无效能。由此,对于一切形式的能量都可以由式(1-13)、式(1-14)表示。

$$\text{能量} = \text{焓} + \text{炆} \quad (1-13)$$

$$E = E_x + A_n \quad (1-14)$$

#### 2. 能量品质

正如在 1.1.1 节中所述的,能量有各种不同的形式。按其转换能力可分为三大类:

(1) 无限转换能(全部转换能)。它可以完全转换为功,称为“高质能”。高质能全部是“焓”,即  $E = E_x, A_n = 0$ ,因此它的数量和质量是统一的,如电能、机械能、化学能等。从本质上讲高质能是有序运动所具有的能量,而且各种高质能理论上可以无限地相互转换。

(2) 有限转换能(部分转换能)。它只能部分地转换为功,称为“低质能”,其  $E_x < E, A_n > 0$ ,因此它的数量和质量是不统一的。如热能、流动体系的总能(通常用焓表示总能的大小)等。

(3) 非转换能(废能)。它受环境限制不能转换为功,称为“废能”。如处于环境条件下的介质的内能、焓等。根据能量贬值原理,尽管废能有相当的数量,但从技术上讲,无法使之转换为功,所以对废能而言,  $E_x = 0, E = A_n$ 。

#### 3. 焓和炆的热力学意义

根据“焓”和“炆”的概念,热力学第一定律也可表述为:“在孤立系统的任何过程中,‘焓’和‘炆’的总和保持不变。”热力学第二定律则可表述为:“一切实际过程均朝着总‘焓’减少的方向进行,也就是说,由‘炆’转换为‘焓’是不可能的。”

热力学的这两个基本定律实质就是欲节约能源,必须综合考虑能的量和质两个方面。

对于能源利用中最重要的热能利用而言,可用能焓可理解为,处于某一状态的体系可逆地变化到与基准态(周围环境状态)相平衡时,理论上能对外界所作出的最大有用功。采用周围环境作为基准态是因为它是所有能量相关过程的最终冷源。

然而实际上由于各种过程都不可避免地存在各种损失,都是不可逆过程,因此即使对高品质能量而言,其传递和转换的效率也不可能是100%。例如在机械能的传递过程中,由于传动机构(如变速箱)或支撑件(如轴和轴承)之间的摩擦必然会损失一部分能量,即部分机械能被转换成热能。这部分热能不但毫无用处,而且还需设置专门的冷却装置以带走变速箱和轴承中的热量。在机械能转换成电能的装置(如汽轮发电机组、水轮发电机组)中,由于摩擦、电阻和磁耗等因素,发电的效率也不是100%。

#### 4. 热设备的能量损失

对热能利用而言,热设备存在的能量损失更多,它通常包括:

- (1) 从设备的壁面,由于辐射、对流、导热而损失的能量;
- (2) 被从设备排出的物质带走的能量;
- (3) 设备内由于发生不可逆过程所损失的可用能。

对第一类损失,其引起的原因有:设备的保温性能不好,密封不严,有空隙;设备内的温度和压力波动,设备的频繁启动、停车等。对第二类损失,有烟气、冷却水、炉渣等带走的热量;以及燃烧不完全,漏入的空气过多,传热不好,设备设计不完善,烟气旁通等原因。

第三类损失通常是没有注意到的,其特点是热量完全没有损失,而是发生了可用能质的降低。例如燃料具有的化学可用能,通过燃烧转换为燃烧气体的热可用能时,一部分可用能发生了损失,这相当于传热时由于温度降低而引起的可用能减少一样。此外因冷空气侵入而产生的炉内温度降低,并不表现为热量的损失,而是可用能减少了。蒸汽由于节流作用而产生的压力损失,也不是热量损失,而是可用能损失。下面为几种可用能的损失情况。

- (1) 热量从高温传向低温,直至接近环境温度;
- (2) 流体从压力高处流向压力低处,直至接近与环境相平衡的压力;
- (3) 物质从浓度高处扩散转移到浓度低处,直至接近与环境相平衡的浓度;
- (4) 物体从高的位置降落到稳定的位置;
- (5) 电荷从高电位迁移到接近于环境的电位。

#### 5. 能量利用效率

在能量利用中热效率和经济性是非常重要的两个指标。由于存在着耗散作用、不可逆过程以及可用能损失,在能量转换和传递过程中,各种热力循环、热力设备和能量利用装置,其效率都不可能是100%的。根据热力学原理,对于一切热工设备的经济性可用式(1-15)表示。

$$\text{经济性指标} = \frac{\text{获得的收益}}{\text{花费的代价}} \quad (1-15)$$

热设备的能量利用热效率可用式(1-16)表示。

$$\text{热效率 } \eta = \frac{\text{有效利用热}}{\text{供给热}} \quad (1-16)$$

动力循环的能量利用热效率可用式(1-17)表示。

$$\text{热效率 } \eta = \frac{\text{输出功}}{\text{供给热}} \quad (1-17)$$

若  $T_2$  为低温热源的温度,  $T_1$  为高温热源的温度,则理想的卡诺循环的能量利用热效率可用式(1-18)表示。

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (1-18)$$

制冷循环的能量利用热效率可用式(1-19)表示。

$$\text{制冷系数 } \epsilon_c = \frac{\text{从低温热源“抽”走的热}}{\text{消耗功}} \quad (1-19)$$

若  $T_0$ 、 $T_2$  分别为高温热源(如大气)、低温热源(如冷库)的温度,则理想的逆向卡诺制冷循环的能量利用热效率可用式(1-20)表示。

$$\epsilon_c = \frac{T_2}{T_0 - T_2} \quad (1-20)$$

对供热循环的能量利用热效率可用式(1-21)表示。

$$\text{供暖系数 } \epsilon_n = \frac{\text{供给高温热源的热}}{\text{消耗功}} \quad (1-21)$$

若  $T_1$ 、 $T_0$  分别为高温热源(如室温)和低温热源(如大气)的温度,则理想的逆向卡诺热泵循环的能量利用热效率可用式(1-22)表示。

$$\epsilon_n = \frac{T_1}{T_1 - T_0} \quad (1-22)$$

以上  $\eta$ 、 $\epsilon_c$ 、 $\epsilon_n$  不仅指出了在同样温度范围内实际的动力循环、制冷循环和供暖循环的经济指标的极限值,同时也指明了提高其经济性指标的途径。

## 1.2 能源

能源亦称能量资源或能源资源,是指可产生各种能量(如热量、电能、光能和机械能等)或可做功的物质的统称。是指能够直接取得或者通过加工、转换而取得有用能的各种资源,包括煤炭、原油、天然气、煤层气、水能、核能、风能、太阳能、地热能、生物质能等一次能源和电力、热力、成品油等二次能源,以及其他新能源和可再生能源。

能源是人类活动的物质基础。在某种意义上讲,人类社会的发展离不开优质能源的出现和先进能源技术的使用。在当今世界,能源的发展、能源和环境,是全世界、全人类共同关心的问题,也是社会经济发展的重要问题。

### 1.2.1 能源定义

关于能源的定义,约有 20 种。例如,《科学技术百科全书》说:“能源是可从其获得热、光和动力之类能量的资源”;《大英百科全书》说:“能源是一个包括所有燃料、流水、阳光和风的术语,人类用适当的转换手段便可让它为自己提供所需的能量”;《日本大百科全书》说:“在各种生产活动中,我们利用热能、机械能、光能、电能等来做功,可利用来作为这些能量源泉的自然界中的各种载体,称为能源”;中国的《能源百科全书》说:“能源是可以直接或经转换提供人类所需的光、热、动力等任一形式能量的载能体资源。”可见,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,能源是一种呈多种形式的,且可以相互转换的能量的源泉。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。

### 1.2.2 能源分类

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。世界上的能源有化石能源(煤炭、石油、天然气)、水能、核能、电能、太阳能、风能、生物质能、地热能、海洋能、氢能等。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,它们或按能源的来源、形成、形态、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面来反映各种能源的特征。

#### 1. 按来源分类

(1) 来自地球外部天体的能源(主要是太阳能)。除直接辐射外,并为风能、水能、生物能和矿物能源等的产生提供基础。人类所需能量的绝大部分都直接或间接地来自太阳。正是各种植物通过光合作用把太阳能转变成化学能在植物体内储存下来。煤炭、石油、天然气等化石燃料也是由古代理在地下的动植物经过漫长的地质年代形成的。它们实质上是由古代生物固定下来的太阳能。此外,水能、风能、波浪能、海流能等也都是由太阳能转换来的。

(2) 地球本身蕴藏的能量。如原子核能、地热能等。温泉和火山爆发喷出的岩浆就是地热的表现。地球可分为地壳、地幔和地核三层,它是一个大热库。地壳就是地球表面的一层,一般厚度为几千米至70km不等。地壳下面是地幔,它大部分是熔融状的岩浆,厚度为2900km。火山爆发一般是这部分岩浆喷出。地球内部为地核,地核中心温度为2000℃以上。可见,地球上的地热资源储量也很大。

(3) 地球和其他天体相互作用而产生的能量。如潮汐能。

#### 2. 按能源的基本形态分类

按能源的基本形态分类,有一次能源和二次能源。前者即天然能源,指在自然界现成存在的能源,如煤炭、石油、天然气、水能等。后者指由一次能源加工转换而成的能源产品,如电力、煤气、蒸汽及各种石油制品等。一次能源又分为可再生能源(水能、风能及生物质能)和非再生能源(煤炭、石油、天然气、油页岩等)。根据产生的方式可分为一次能源(天然能源)和二次能源(人工能源)。一次能源是指自然界中以天然形式存在并没有经过加工或转换的能量资源,一次能源包括可再生的水力资源和不可再生的煤炭、石油、天然气资源,其中包括水、石油和天然气在内的三种能源是一次能源的核心,它们成为全球能源的基础;除此以外,太阳能、风能、地热能、海洋能、生物能以及核能等可再生能源也被包括在一次能源的范围内;二次能源则是指由一次能源直接或间接转换成其他种类和形式的能量资源,例如:电力、煤气、汽油、柴油、焦炭、洁净煤、激光和沼气等能源都属于二次能源。

#### 3. 按能源性质分类

按能源性质分类有燃料型能源(煤炭、石油、天然气、泥炭、木材)和非燃料型能源(水能、风能、地热能、海洋能)。人类利用自己体力以外的能源是从用火开始的,最早的燃料是木



材,以后用各种化石燃料,如煤炭、石油、天然气、泥炭等。现正研究利用太阳能、地热能、风能、潮汐能等新能源。当前化石燃料消耗量很大,而地球上这些燃料的储量有限。未来铀和钍将提供世界所需的大部分能量。一旦控制核聚变的技术问题得到解决,人类实际上将获得无尽的能源。

#### 4. 按能源消耗后的污染性分类

根据能源消耗后是否造成环境污染分为污染型能源和清洁型能源。污染型能源包括煤炭、石油等,清洁型能源包括水力、电力、太阳能、风能以及核能等。

#### 5. 按能源使用的类型分类

根据能源使用的类型分为常规能源和新型能源。常规能源包括一次能源中的可再生的水力资源和不可再生的煤炭、石油、天然气等资源。新型能源是相对于常规能源而言的,包括太阳能、风能、地热能、海洋能、生物能以及用于核能发电的核燃料等能源。由于新能源的能量密度较小,或品位较低,或有间歇性,按已有的技术条件转换利用的经济性尚差,还处于研究、发展阶段,只能因地制宜地开发和利用;但新能源大多数是再生能源,资源丰富,分布广阔,是未来的主要能源之一。

#### 6. 按能源的物态分类

根据能源的物态分为固体燃料、液体燃料、气体燃料,如煤、炭为固体燃料,石油、柴油为液体燃料,天然气、高炉煤气为气体燃料。

#### 7. 按能源是否交易分类

根据能源是否进入能源市场交易分为商品能源和非商品能源。凡进入能源市场作为商品销售的如煤、石油、天然气和电等能源均称为商品能源;否则属于非商品能源。国际上的统计数字均限于商品能源。非商品能源主要指自用的薪柴和农作物残余(秸秆等)。

#### 8. 按能源是否再生分类

人们对一次能源又进一步加以分类。凡是可以不断得到补充或能在较短周期内再产生的能源称为可再生能源,反之称为非再生能源。风能、水能、海洋能、潮汐能、太阳能和生物质能等是可再生能源;煤、石油和天然气等是非再生能源。地热能基本上是非再生能源,但从地球内部巨大的蕴藏量来看,又具有再生的性质。核能的新发展将使核燃料循环而具有增殖的性质。核聚变的能比核裂变的能可高出5~10倍,核聚变最合适的燃料重氢(氘)又大量地存在于海水中,可谓“取之不尽,用之不竭”。核能是未来能源系统的支柱之一。

#### 9. 其他分类

人们通常按能源的形态特征或转换与应用的层次对它进行分类。世界能源委员会推荐的能源类型分为:水能、电能、太阳能、生物质能、风能、核能、海洋能和地热能。已被人类认识的上述能源,在一定条件下可以转换为人们所需的某种形式的能量。比如薪柴和煤炭,把它们加热到一定温度,它们能和空气中的氧气发生氧化反应并放出大量的热能。人们可以用其产热取暖、做饭或制冷;也可以用其放热生产蒸汽,用蒸汽推动汽轮机,使热能变成机械能;也可以用汽轮机带动发电机,使机械能变成电能;如果把电送到工厂、企业、机关、农牧林区和住户,它又可以转换成机械能、光能或热能。