



“十三五”普通高等教育本科规划教材

节能技术及案例分析

关欣 黄素逸 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材

节能技术及案例分析

编著 关欣 黄素逸
主审 靳世平



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,在社会可持续发展中起着举足轻重的作用。本书的重点是介绍已经成熟的节能技术,包括通用的节能技术和高能耗行业的节能技术。前者包括高效低污染燃烧技术、强化传热技术、余热回收技术、隔热保温技术、热泵技术、热管及其在节能中的应用、新型高效换热器、空冷技术等;后者主要涉及钢铁、建材、石油化工、电力、热力系统等高能耗行业行之有效的节能技术,如干熄焦、余热余压发电、浮法玻璃、内燃烧砖工艺等。书中还通过诸多的节能案例介绍了高能耗行业的节能及水泵、风机、空气压缩机、工厂照明系统、中央空调与制冷系统的节能技术。

本书既可作为高等学校能源动力类专业本科生和研究生的教材,也可供有关工程技术人员和管理干部参考。

图书在版编目(CIP)数据

节能技术及案例分析/关欣,黄素逸编著. —北京:中国电力出版社, 2016.8

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5123-9432-2

I. ①节… II. ①关… ②黄… III. ①节能-高等学校-教材 IV. ①TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 127500 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>)

北京天宇星印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 8 月第一版 2016 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12 印张 291 千字

定价 25.00 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

能源是国家的基础工业，是国民经济和社会发展的重要物质基础，是提高和改善人民生活的必要条件。它的开发和利用是衡量一个国家经济发展和科学技术水平的重要标志。

随着能源问题的日益突出，节能已成为解决当代能源问题的一个公认的重要途径。有科学家把“节能”称为开发“第五大能源”，与煤、石油和天然气、水能、核能等四大能源相并列，由此可见节能的重要意义。

节能，从能源的角度顾名思义就是指节约能源消费，即从能源生产开始，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。

节能已是我国的一项国策。在节能方面我国已取得巨大的成绩，并有许多成功的经验，例如，坚持把节能作为转变经济增长方式的重要内容；坚持节能与结构调整、技术进步和加强管理相结合；坚持发挥市场机制作用与政府宏观调控相结合等。

本书的重点是介绍已经成熟的节能技术，包括通用的节能技术和高能耗行业的节能技术。前者包括高效低污染燃烧技术、强化传热技术、余热回收技术、隔热保温技术、热泵技术、热管及其在节能中的应用、新型高效换热器、空冷技术等；后者主要涉及钢铁、建材、石油化工、电力、热力系统等高能耗行业行之有效的节能技术，如干熄焦、余热余压发电、浮法玻璃、内燃烧砖工艺等。

书中通过作者参与的诸多节能工作，对钢铁、建材、石油化工、电力等高能耗行业介绍了一些成功的节能案例。同时作者还通过诸多案例介绍了水泵、风机、空气压缩机、工厂照明系统、中央空调与制冷系统的节能技术。

在取材上，本书力求资料新颖、涉猎面广、叙述简洁，以达到既为读者提供更多节能技术方面的知识，又通俗易懂的目的。

感谢华中科技大学靳世平教授对书稿的认真审阅，感谢同行、同事们为本书提供的宝贵建议。还要特别感谢节能案例中涉及的诸多单位在节能工作中给予作者的支持。

限于作者水平，且能源科学发展迅速，创新不断，书中难免存在疏漏和不妥之处，诚恳欢迎读者批评指正。

关欣 黄素逸

2016年5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 能量的转换与储存.....	8
第三节 能源与环境	24
第四节 能源的可持续发展	30
第二章 通用的节能技术	35
第一节 高效低污染燃烧技术	35
第二节 强化传热技术	45
第三节 余热回收技术	57
第四节 隔热保温技术	63
第五节 热泵技术	71
第六节 热管及其在节能中的应用	76
第七节 新型高效换热器	82
第八节 空冷技术	92
第三章 高能耗行业的节能技术	99
第一节 钢铁行业的节能技术	99
第二节 建材行业的节能技术.....	107
第三节 石油化工行业的节能技术.....	117
第四节 电力行业的节能技术.....	118
第五节 热力系统的节能技术.....	126
第四章 高能耗行业的节能案例	130
第一节 钢铁行业的节能案例.....	130
第二节 建材行业的节能案例.....	135
第三节 石油化工行业的节能案例.....	141
第四节 电力行业的节能案例.....	145
第五章 典型节能案例分析	152
第一节 泵与风机系统的节能案例分析.....	152
第二节 空气压缩机的节能案例分析.....	157
第三节 照明系统的节能案例分析.....	165
第四节 中央空调与制冷系统的节能案例分析.....	171
参考文献	186

第一章 能源概论

第一节 能量与能源

一、能量

物质、能量和信息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。信息则是客观事物和主观认识相结合的产物,没有信息,物质和能量既无从认识,也毫无用处。

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。从广义上说,能量就是“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。例如,要使物体沿某一方向移动一定的距离 S (m),就需要消耗一定的功,若推动物体的力为 F (N),则所消耗的功为 $W=F \cdot S$ (J),也就是说需要消耗 $W=F \cdot S$ 的能量才能产生上述效果。又如,要使质量为 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;加热质量为 m (kg)的水,使其温度由 T_1 升高到 T_2 ,则耗能为 $mc(T_2-T_1)$,其中, c 为水的比热容 [$J/(kg \cdot ^\circ C)$];同样,移动 q (C)电荷跨越电位差 U (V)时,也要消耗 qU (J)能量。

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。能量和物质质量之间的关系是爱因斯坦于1922年揭示的,即

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

式中: E 为物质释放的能量, J; m 为转变为能量的物质的质量, kg; c 为光速, 3×10^8 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。

在国际单位制中,能量、功及热量的单位通常都用焦(J)表示,而单位时间内所做的功或吸收(释放)的热量则称之为功率,单位为瓦(W)。因为在能量的转换和使用中J和W的单位都太小,因此更多的是用千焦(kJ)和千瓦(kW),或兆焦(MJ)和兆瓦(MW)。在能源研究中还会用到更大的单位,如GW、TW等。有关的国际制的词头见表1-1。

表 1-1

能源中常用的国际制词头

因数	词头名称		符号
	英文	中文	
10^{18}	exa	艾 [可萨]	E
10^{15}	peta	拍 [它]	P
10^{12}	tera	太 [拉]	T
10^9	giga	吉 [咖]	G
10^6	mega	兆	M
10^3	kilo	千	k
10^2	hecto	百	h
10^1	deca	十	da

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)、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:1cal=4.186J;1kg标准煤当量=7000kcal;1kg标准油当量=10000kcal。

二、能量的形式

能量是一切物质运动、变化和相互作用的度量。实质上,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。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 的计算式为

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

势能与物体的状态有关,其包括三种形式:重力势能、弹性势能、表面能。其中,重力势能是受重力作用的物体因其位置高度的不同而具有的能量;弹性势能是物体由于弹性变形而具有的能量;表面能是不同类物质或同类物质的不同相的分界面上,由于表面张力的存在而具有的做功能力。

重力势能 E_p 的计算式为

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

式中: m 为物体的质量; g 为重力加速度; H 为高度。

弹性势能 E_e 的计算式为

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

式中： k 为物体的弹性系数； x 为物体的变形量。

表面能 E_s 的计算式为

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

式中： σ 为表面张力系数； S 为相界面的面积。

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

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

式中： T 为温度； ds 为熵增。

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 可由式（1-8）计算，即

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

式中： ϵ 为物体的发射率； c_0 为黑体辐射系数； T 为物体的绝对温度。

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。

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^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，而燃料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 (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
液体燃料	天然液体燃料 (MJ/kg)	石油（原油）	41.82
	加工的液体燃料 (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 (MJ/m³)	天然气	37.63
	加工的气体燃料 (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。

三、能源的分类

能源可简单地理解为含有能量的资源。能源就是能量的来源，是提供能量的资源，这些来源或资源，要么来自物质（如煤炭、石油、天然气等矿物燃料），要么是来自物质的运动（如水流、风流、海浪、潮汐等）。

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,它们或按能源的来源、形成、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重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 经济效益等方面对能源进行分类,即:

(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。即自然界存在的,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。即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,含能体能源又称为载体能源。

(2) 过程性能源。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. 按是否能作为燃料分类

(1) 燃料能源。它们可以作为燃料使用,如各种矿物燃料,生物质燃料及二次能源中的汽油、柴油、煤气等。

(2) 非燃料能源。它们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。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。

此外在书籍和报章中还常常看到另外一些有关能源的术语或名词，如商品能源、非商品能源、农村能源、绿色能源、终端能源等。其中，商品能源指流通环节大量消费的能源，如煤炭、石油、天然气、电力等；非商品能源指不经流通环节而自产自用的能源，如农户自产自用的薪柴、秸秆，牧民自用的牲畜粪便等。表 1-3 给出了能源分类的情况。

表 1-3 能源的分类

按使用状况分类	按性质分类	按一、二次能源分类	
		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） 天然气水合物（化学能）	煤气（化学能）、余热（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（辐射能） 风能（机械能） 地热能（热能） 潮汐能（机械能） 海洋温差能（热能、机械能） 海流、波浪动能（机械能）	激光（光能）

四、能源的评价

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。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。另一种理解认为，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地应用。

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。几种能源的能量密度见表 1-4。

表 1-4 几种能源的能量密度

能源类别	能量密度
风能 (风速 3m/s)	0.02 (kW/m ²)
水能 (流速 3m/s)	20 (kW/m ²)
波浪能 (波高 2m)	30 (kW/m ²)
潮汐能 (潮差 10m)	100 (kW/m ²)
太阳能 (晴天平均)	1 (kW/m ²)
太阳能 (昼夜平均)	0.16 (kW/m ²)
天然铀	5.0×10^8 (kJ/kg)
铀 235 (核裂变)	7.0×10^{10} (kJ/kg)
氘 (核聚变)	3.5×10^{11} (kJ/kg)
氢	1.2×10^5 (kJ/kg)
甲烷	5.0×10^4 (kJ/kg)
汽油	4.4×10^4 (kJ/kg)

由表 1-4 可以看出,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。

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,而太阳能、风能则比较困难。由于大多数情况下,用能是不均衡的,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的增加。例如,我国煤炭资源多在西北,水能资源多在西南,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。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按每千瓦计远高于利用化石燃料的设备费。核电站的核燃料费远低于燃油电站,但其设备费却高得多。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、油等化石燃料却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,而煤、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,它的品位要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采取各种措施防止对环境的污染。

第二节 能量的转换与储存

一、能量的基本性质

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,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,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之和,故能量的可加性可表示为

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

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，能量的传递性可表示为

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

式中： Q 为传递的热量； K 为传热系数； A 为传热面积； Δt 为传热的平均温差。

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，但我们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。能的做功性，通常也以能级 ϵ 来表示，即

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

式中： E_x 为“焔”。

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”。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。即能的贬值性 E_0 可表示为

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

式中： T_0 为环境温度； ΔS 为系统的熵增。

二、能量的转换

能量转换是能量最重要的属性，也是能量利用中的最重要的环节。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 1-5 给出了能量转换过程及实现转换所需的设备或系统。对不同能源与热能的转换及热能的利用情况如图 1-1 所示。

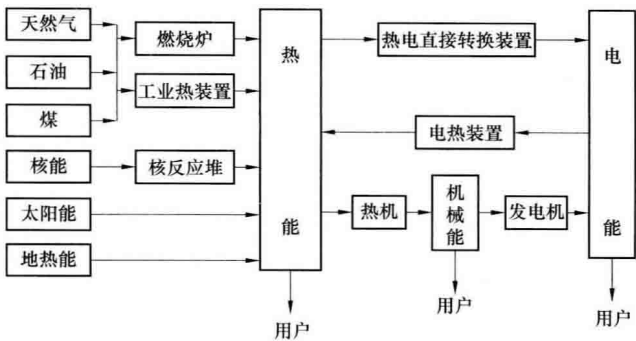


图 1-1 不同能源与热能的转换及利用情况

表 1-5 能量转换过程及实现转换所需的设备或系统

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	炉子、燃烧器
	化学能→热能→机械能	各种热力发动机
	化学能→热能→机械能→电能	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	热力发电、热电子发电
	化学能→电能	燃料电池
水能、风能、潮汐能、海流能、波浪能	机械能→机械能	水车、水轮机、风力机
	机械能→机械能→电能	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	热水器、采暖、制冷、太阳灶、光化学反应
	辐射能→热能→机械能	太阳热发动机
	辐射能→热能→机械能→电能	太阳热发电
	辐射能→热能→电能	热力发电、热电子发电
	辐射能→电能	太阳能电池、光化学电池
	辐射能→化学能	光化学反应（水分解）
	辐射能→生物能	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	浓度发电
	化学能→机械能→电能	渗透压发电
	化学能→热能→机械能→电能	浓度差发电
地热能	热能→机械能→电能	热力发电机
	热能→电能	热电发电
核能	核分裂→热能→机械能→电能	核发电、磁流体发电
	核分裂→热能	核能炼钢
	核分裂→热能→电能	热力发电、热电子发电
	核分裂→电磁能→电能	光电池
	核聚变→热能→机械能→电能	核聚变发电

三、能量的传递

能量的利用是通过能量传递来实现的,故能量的利用过程通常也是一个能量的传递过程。能量的传递过程有如下一些特点:

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的“势差”。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

$$\text{传递速率} = \frac{\text{传递动力}}{\text{传递阻力}} \quad (1-13)$$

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

能量的传递,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的传递。

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。这里的功是指广义功。

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。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只有两条: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(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。而作为能量而言,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。

四、能量转换的基本原理

研究能量属性及其转换规律的科学是热力学。从热力学的角度看,能量是物质运动的度量,运动是物质存在的形式,因此一切物质都有能量。物质的运动可以分为宏观运动和微观运动。度量物质宏观运动能量的是宏观动能和位能;度量物质微观运动能量的是“热力学能”。热力学能包括分子热运动形成的内动能、分子间相互作用所形成的内位能、维持一定分子结构的化学能和原子核内部的核能。温度越高,分子的内动能越大;内位能取决于分子之间的距离,距离越小,内位能越大。在没有化学反应和核反应的物理过程中,化学能和核能都不变,所以热力学能的变化只包括内动能和内位能的变化。只要物质运动状态一定,物质拥有的能量就一定。所以物质的能量仅仅取决于物质的状态,是状态参数。

尽管物质的运动多种多样,但就其形态而论只有有序(有规则)运动和无序(无规则)运动两类。人们常将量度有序运动的能量称为有序能,量度无序运动的能量称为无序能。显然,一切宏观整体运动的能量和大量电子定向运动的电能都是有序能;物质内部分子杂乱无章的热运动则是无序能。大量事实证明,有序能可以完全、无条件地转换为无序能;相反的转换却是有条件的、不完全的。能量和能量转换这一特性,导致能量不仅有“量”的多少,而且有“质”的高低,而这正是能量转换中两个最重要的方面。

(一) 能量守恒与转换定律

众所周知,能量在量方面的变化,遵循自然界最普遍、最基本的规律,即能量守恒与转换定律。能量守恒和转换定律指出:自然界的一切物质都具有能量;能量既不能创造,也不能消灭,而只能从一种形式转换成另一种形式,从一个物体传递到另一个物体;在能量转换与传递过程中能量的总量恒定不变。

热能是自然界广泛存在的一种能量,其他形式的能量(机械能、电能、化学能)都很容易转换成热能。热能与其他形式能量之间的转换也必然遵循能量守恒和转换定律——热力学第一定律。热力学第一定律指出:热能作为能量,可以与其他形式的能量相互转换,在转换过程中能量总量保持不变。在热力学第一定律提出前,许多人曾幻想制造一种不消耗任何能量却能连续获得机械能的永动机。热力学第一定律发现后,制造这种违背热力学第一定律的永动机(后人就称之为第一类永动机)的企图最终被科学理论所否定。因此热力学第一定律也常表述为“第一类永动机是不可能制成的”。

(二) 能量贬值原理

能量不仅有量的多少,还有质的高低。热力学第一定律只说明了能量在量上要守恒,并没有说明能量在“质”方面的高低。事实上能量具有品质上的差别。例如,一大桶温水的热量很多,却不足以煮熟一个鸡蛋,而一勺沸水所含热量相对很少,却可以烫伤人。所以一样的两个热量,如果它们的温度不同,产生的客观效果也不同,因此有加以区分的必要。

另外,热力学第一定律只说明了某一个变化过程中的能量关系,并没有说明这个变化过程进行的方向。例如,在两个不同温度的物体所组成的孤立系统中,热力学第一定律只说明,如果它们之间有热交换的话,则一个所得的热量必然等于另一个所失的热量,但没有说明哪一个物体失去热量或哪一个物体得到热量。事实上我们都知道,温度高的物体失去热