

普通高等院校能源动力类精品教材



节能概论

JIENENG GAILUN

黄素逸 王晓墨 编著

华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

节 能 概 论

黄素逸 王晓墨 编著

华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

节能概论/黄素逸 王晓墨 编著. —武汉:华中科技大学出版社,2008年3月
ISBN 978-7-5609-4398-5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 024040 号

节能概论

黄素逸 王晓墨 编著

责任编辑:姚 幸

封面设计:潘 群

责任校对:刘 竣

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉正风图文照排中心

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:850mm×1065mm 1/16

印张:16.5

字数:383 000

版次:2008年3月第1版

印次:2008年3月第1次印刷

定价:28.00元

ISBN 978-7-5609-4398-5/TK·47

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

节能减排在社会可持续发展中起着举足轻重的作用。本书在对能源科学的内涵进行阐述的基础上,详细地介绍了节能所涉及的诸多问题,包括节能的目标和途径、节能的技术经济评价、能源有效利用的分析方法、通用的节能技术、节约热能和电能、工业锅炉和窑炉的节能、建筑节能和交通节能等。书中深入地讨论了各种节能方法和措施,其取材新颖,内容丰富,既可作为高等学校能源动力类专业的教材,也可供有关政府部门工作人员和企业工程技术人员及管理干部参考。

前 言

能源是国民经济的命脉,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。经过几十年的努力,我国能源发展成就显著,基本满足了国民经济和社会发展的需要,特别是在“十五”时期,能源发展更为迅速,为“十一五”及今后更长时期的能源发展奠定了坚实基础。面向未来,我国能源工业已经站在新的历史起点上。

“十一五”是我国全面建设小康社会的关键时期,新时期、新阶段能源发展既有新的机遇,也面临更为严峻的挑战。其挑战主要表现在:消费需求不断增长,资源约束日益加剧;结构矛盾比较突出,可持续发展面临挑战;国际能源价格剧烈波动,安全隐患不断增加;能源效率亟待提高,节能降耗任务艰巨;科技水平相对落后,自主创新任重道远;体制约束依然严重,各项改革有待深化;农村能源问题突出,滞后面貌亟待改观。

节能,从能源的角度顾名思义就是节约能源,即从能源生产开始,一直到最终消费为止,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。显然,节能时必须考虑环境和社会的接受能力,因此,我国节约能源法给节能赋予了更科学的定义,即节能“是指加强用能管理,采取技术上可行、经济上合理以及环境和社会可以承受的措施,减少能源生产到消费各个环节中的损失和浪费,更加有效、合理地利用能源。”

我国是最大的发展中国家,节能对我国经济和社会发展更有着特殊的意义。概括而言:节能是实现我国经济持续、高速发展的保证;节能是调整国民经济结构、提高经济效益的重要途径;节能将缓解我国运输的压力;节能将有利于我国的环境保护。

节能已是我国的一项国策。节能工作应执行六个坚持: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;坚持依法管理与政策激励相结合;坚持突出重点、分类指导、全面推进;坚持全社会共同参与。

节能涉及各行各业,对节能工作还应采取以下保障措施:坚持和实施节能优先的方针;制定和实施统一协调、促进节能的能源和环境政策;制定和实施促进结构调整的产业政策;制定和实施强化节能的激励政策;加大依法实施节能管理的力度;加快节能技术的开发、示范和推广;推广以市场机制为基础的节能新机制;加强重点用能单位的节能管理;强化节能的宣传、教育和培训;加强组织领导,推动规划实施。

目前,国内还缺少有关节能的教材。本书的编写目的就是为广大读者介绍有关节能的知识。在对能源科学的内涵进行阐述的基础上,书中详细地介绍了节能所涉及的诸多问题,包括节能的目标和途径、节能的技术经济评价、能源有效利用的分析方法、通用的节能技术、节约热能和电能、工业锅炉和窑炉的节能、建筑节能和交通节能等。

由于节能和其他工程项目一样,都需要从技术和经济两方面来进行分析和评价,其目的是要求和技术可行的前提下,获得经济上的合理性。为此,书中花了一定的篇幅来介绍技术经济分析以及能源有效利用的分析方法。又由于节能涉及的面太广,限于篇幅书中仅介绍了带共性的节能技术,如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、热管技术等,以及主要耗能领域的节能问题。此外,在取材上,本书力求资料新颖、涉猎面广、叙述简洁,以达到为读者提供更多新的节能信息。

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

黄素逸 王晓墨

2007年9月于华中科技大学

目 录

第 1 章 能源概述	(1)
1.1 能量与能源	(1)
1.1.1 能量	(1)
1.1.2 能量的形式	(2)
1.1.3 能量的性质	(4)
1.1.4 能源的分类	(5)
1.1.5 能源的评价	(8)
1.2 能量转换原理	(10)
1.2.1 能量的转换	(10)
1.2.2 能量的传递	(11)
1.2.3 能量守恒与转换定律	(13)
1.2.4 能量贬值原理	(13)
1.2.5 能量转换的效率	(16)
1.3 能量的储存	(18)
1.3.1 概述	(18)
1.3.2 机械能的储存	(19)
1.3.3 热能的储存	(20)
1.3.4 电能的储存	(24)
1.4 常规能源	(26)
1.4.1 煤炭	(26)
1.4.2 石油	(31)
1.4.3 天然气	(34)
1.4.4 水能	(35)
1.5 新能源	(36)
1.5.1 核能	(36)
1.5.2 太阳能	(40)
1.5.3 风能	(41)
1.5.4 地热能	(42)
1.5.5 生物质能	(43)
1.5.6 海洋能	(45)
1.6 能源的可持续发展	(48)

1.6.1 能源问题	(48)
1.6.2 可持续发展的概念	(50)
1.6.3 中国能源可持续发展的对策	(52)
第2章 节能的目标和途径	(54)
2.1 节能的意义和目标	(54)
2.1.1 我国能源发展的基本情况	(54)
2.1.2 “十一五”我国能源发展的目标和建设的重点	(56)
2.1.3 节能的意义	(58)
2.1.4 节能的目标	(59)
2.1.5 节能的主要领域	(61)
2.2 节能的法规和措施	(62)
2.2.1 节约能源法	(62)
2.2.2 节能应遵循的原则	(63)
2.2.3 节能措施	(64)
2.3 节能术语与技术节能的途径	(67)
2.3.1 节能相关的术语	(67)
2.3.2 节能的类型	(69)
2.3.3 技术和工艺节能的一般途径	(69)
第3章 节能的技术经济评价	(71)
3.1 技术经济分析的基本要素	(71)
3.2 资金的时间价值及其等值计算	(73)
3.2.1 资金的时间价值	(73)
3.2.2 利息和利率	(73)
3.2.3 现金流量图和资金等值概念	(73)
3.2.4 资金等值的计算	(74)
3.3 技术经济的可比性	(78)
3.4 节能经济评价的常用方法	(78)
3.5 节能技术改造项目的技术经济评价	(79)
3.6 设备更新项目的技术经济评价	(80)
第4章 能源有效利用的分析方法	(83)
4.1 热平衡分析法	(83)
4.1.1 能量平衡和热平衡	(83)
4.1.2 企业能量平衡	(84)
4.1.3 企业能量平衡表	(85)
4.1.4 能流图	(86)
4.2 焓分析法	(89)
4.2.1 焓的含义及其表达式	(89)

4.2.2 烟平衡和烟效率	(90)
4.3 总能系统分析	(92)
第5章 通用的节能技术	(98)
5.1 高效低污染燃烧技术	(98)
5.1.1 燃烧概述	(98)
5.1.2 气体燃料的燃烧技术	(99)
5.1.3 油的燃烧技术	(101)
5.1.4 煤粉燃烧稳定技术	(103)
5.1.5 煤粉低氮氧化物燃烧技术	(105)
5.1.6 高浓度煤粉燃烧技术	(106)
5.1.7 流化床燃烧技术	(107)
5.2 强化传热技术	(109)
5.2.1 概述	(109)
5.2.2 强化传热的原则	(110)
5.2.3 单相介质管内对流换热的强化	(112)
5.2.4 单相介质管束外对流换热的强化	(115)
5.2.5 单相介质对流换热的耗功强化技术	(117)
5.2.6 沸腾换热的强化	(119)
5.2.7 凝结换热的强化	(120)
5.3 余热回收技术	(122)
5.3.1 余热资源	(122)
5.3.2 余热利用的途径	(123)
5.3.3 余热的动力回收	(123)
5.3.4 凝结水回收系统	(126)
5.4 隔热保温技术	(128)
5.4.1 隔热保温与节能	(128)
5.4.2 隔热保温的目的	(128)
5.4.3 保温材料	(129)
5.4.4 管道保温计算	(131)
5.4.5 隔热保温技术的进展	(136)
5.5 热泵技术	(137)
5.5.1 概述	(137)
5.5.2 热泵的分类	(138)
5.5.3 电动热泵及其应用	(139)
5.5.4 吸收式热泵	(142)
5.6 热管及其在节能中的应用	(143)
5.6.1 热管的基本原理	(143)

5.6.2	热管的特性	(144)
5.6.3	热管的类型	(145)
5.6.4	热管的传热极限	(147)
5.6.5	热管换热器及其应用	(148)
5.7	空气冷却技术	(150)
5.7.1	概述	(150)
5.7.2	空冷系统	(151)
5.7.3	空冷器	(152)
第6章	节约热能	(157)
6.1	概述	(157)
6.1.1	热能的主要用途	(157)
6.1.2	节约热能的主要途径	(158)
6.1.3	重工业的节能措施	(159)
6.2	提高热能转换效率	(160)
6.2.1	发展高参数的大机组	(161)
6.2.2	采用燃气-蒸汽联合循环机组	(163)
6.2.3	整体煤气化联合循环发电	(164)
6.2.4	增压流化床燃气-蒸汽联合循环	(165)
6.2.5	燃料电池和 IGCC 组合的联合循环	(167)
6.3	提高热能的使用效率	(168)
6.3.1	集中供热和热电联产	(168)
6.3.2	发展分布式能源系统	(171)
6.3.3	城市垃圾的能源化利用	(175)
6.4	煤气-蒸汽-电力多联产系统	(176)
6.4.1	煤化工和洁净煤技术	(176)
6.4.2	以煤气化为核心的多联产系统	(177)
6.5	采用新型、高效的换热器	(179)
6.5.1	换热器的作用和分类	(179)
6.5.2	换热器的传热系数和污垢热阻	(180)
6.5.3	折流杆管壳式换热器	(182)
6.5.4	异形管和异形翅片管换热器	(186)
6.5.5	弹性管束换热器	(190)
第7章	节约电能	(192)
7.1	概述	(192)
7.1.1	电能的重要性	(192)
7.1.2	电能的产生	(192)
7.1.3	电能的输送与分配	(193)

7.1.4 我国电力工业存在的问题	(196)
7.1.5 我国电力发展应坚持的原则	(196)
7.2 发电系统节能	(197)
7.2.1 提高发电系统效率	(197)
7.2.2 电力系统经济运行	(197)
7.2.3 可再生能源发电	(198)
7.2.4 分布式供电	(200)
7.3 输配电系统节能	(201)
7.3.1 概述	(201)
7.3.2 降低输配电电能消耗的主要措施	(202)
7.4 用电终端节能	(204)
7.4.1 电动机节能	(204)
7.4.2 电炉和电热类设备的节电	(205)
7.4.3 金属弧焊机节电	(207)
7.4.4 家用电器与办公设备的节电	(207)
第8章 工业窑炉和锅炉的节能	(209)
8.1 概述	(209)
8.1.1 燃煤工业锅炉和窑炉的现状和问题	(209)
8.1.2 燃煤工业锅炉和窑炉节能改造的主要内容	(209)
8.1.3 燃煤工业锅炉和窑炉节能改造的配套措施	(210)
8.2 工业窑炉的节能	(210)
8.2.1 工业窑炉节能改造	(210)
8.2.2 工业窑炉节能技术	(211)
8.2.3 采用先进的炉型和先进的工艺	(215)
8.3 工业锅炉的节能	(217)
8.3.1 工业锅炉节能监测	(217)
8.3.2 工业锅炉节能改造的原则与措施	(219)
8.3.3 推广先进的炉型	(221)
第9章 建筑节能	(223)
9.1 概述	(223)
9.1.1 我国建筑节能的现状和问题	(223)
9.1.2 节能建筑和绿色建筑概念	(224)
9.1.3 建筑节能的设计标准	(225)
9.2 建筑围护结构的节能	(227)
9.2.1 建筑能耗	(227)
9.2.2 建筑围护结构节能	(228)
9.3 建筑物的采暖空调节能	(228)

9.4 照明节能	(232)
9.4.1 绿色照明工程	(232)
9.4.2 照明节能	(233)
9.5 建筑物分布式能量系统	(235)
9.5.1 传统建筑物能量供给模式面临的问题	(235)
9.5.2 建筑物分布式能量系统	(235)
第10章 交通运输系统节能	(237)
10.1 节约和替代石油工程	(237)
10.1.1 我国石油面临的问题	(237)
10.1.2 “十一五”节油规划的主要内容	(237)
10.1.3 “十一五”节油的配套措施	(238)
10.2 内燃机节油技术	(239)
10.2.1 概述	(239)
10.2.2 内燃机节油技术	(241)
10.3 替代燃料油技术	(245)
10.3.1 燃用劣质油	(245)
10.3.2 燃用替代的气体燃料	(246)
10.3.3 燃用替代的液体燃料	(247)
10.3.4 替代动力汽车	(250)
参考文献	(253)

第1章 能源概述

1.1 能量与能源

1.1.1 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,在转换中能量的总量恒定不变。”

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 表示物质释放的能量,单位为J; m 表示转变为能量的物质的质量,单位为kg; c 为光速,其值为 3×10^8 m/s。

式(1-1)表示一个可逆过程,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。例如功率为600 MW的燃煤发电厂,不停地工作,每小时耗煤约220 t,则每年耗煤约2 Mt;而功率为600 MW的核电站,也不停地工作,每年仅耗1 t燃料铀。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J(焦)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 W(瓦)。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 kJ(千焦)和 kW(千瓦),或 MJ(兆焦)或 MW(兆瓦)。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

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	deca	十	da

1.1.2 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,实质上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 6 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 可以用下式计算,即

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

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。重力势能 E_p 可以用下式计算,即

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

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_r 的计算式为

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

式中: k 为物体的弹性系数; x 为物体的变形量。

表面能 E_s 可用下式计算,即

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

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的总和称为热能。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。若系统的温度为 T ,熵的变化为 ds ,则热能 E_q 可用下式表示,即

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

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 可表示为

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

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,地球表面所接收的太阳光就是最重要的热辐射能。物体的辐射能 E_r 可由下式表示,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 为黑体的辐射系数; 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(固体、液体)或体积(气体)的燃料在完全燃烧时,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,所以在热力学计算中均以低位发热量作为计算依据。表 1-2 所示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
	加工成的固体燃料 /(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
	加工成的液体燃料 /(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	天然气气体燃料 /(MJ/m ³)	天然气	37.63
	加工成的气体燃料 /(MJ/m ³)	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的原子核,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,目前还不能给出原子核结合力的完全描述,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。

1.1.3 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

$$E = f(P, T) \quad \text{或} \quad E = f(P, V)$$

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也可相加,即一个体系所获得的总能量为输入该体系的多种能量之和,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、转换难易程度也不尽相同,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,但通常主要是针对机械功而言的。各种能量转换为机械功的方法是不一样的,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;又可分别称为高能、低能和废能,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,通常也以能级 ϵ 来表示,即

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

式中: E_x 称为“烟”。

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,表现为能量的质量和品位的降低,即做功能力的下降,直至达到与环境状态平衡而失去做功的本领,成为废能,这就是能量的质量贬值。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。即能量的贬值 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。

1.1.4 能源的分类

能源可简单地理解为含有能量的资源。对于能源常常有不同的表述。例如,《大英百科全