

能源工程

李业发 杨廷柱 编著

NENGYUAN
GONGCHENG DAOLUN

导论

中国科学技术大学出版社

TK01
L38

能源工程导论

李业发 杨廷柱 编著

中国科学技术大学出版社

1999·合肥

图书在版编目(CIP)数据

能源工程导论/李业发,杨廷柱编著. —合肥:中国科学技术大学出版社,1999. 12

ISBN 7-312-00993-X

I. 能…

Ⅱ. ①李… ②杨…

Ⅲ. ①能源-高等学校-教材 ②工程热力学-高等学校-教材

Ⅳ. TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 03942 号

中国科学技术大学出版社出版发行

(安徽省合肥市金寨路 96 号,230026)

中国科学技术大学印刷厂印刷

全国新华书店经销



开本: 850×1168/32 印张: 16.25 字数: 422 千

1999 年 12 月第 1 版 1999 年 12 月第 1 次印刷

印数: 1—2000 册

定价: 22.00 元

DZ 12 / 25

内 容 提 要

本书较详细地给出了工程热力学的一些基本概念,系统地阐述了能量的热平衡、焓平衡、熵平衡理论以及各种效率的计算方法,介绍了各种节能技术的应用理论及方法.同时,本书也用一定的篇幅对太阳能、风能、地热能、沼气能等新能源的应用理论及技术作了翔实的介绍,并对能源与环境污染、洁净煤燃烧技术及能源的科学管理方法进行了介绍,概述了能源的现状及前景.

本书可作为高等院校相关专业教材.

前 言

人类的生存、社会的发展都离不开能源,所以能源一直是困扰着人们的一个大问题.随着常规能源的日益减少,怎样更有效、更合理地利用常规能源,开发利用新能源,特别是可再生能源,是关系到全人类的大事.

本书阐述了能源工程学领域的基本问题,以工程热力学的基本定律为基础,以传热学和燃烧学的基本原理为指导,详细地论述了能(热能)的量与质之间的关系,并深入地探讨了能源的转换和有效利用的内在联系.本书重点论述了能源合理利用和提高能源有效利用率的基本原理、主要途径和技术措施,并给出了一般常规的热能利用系统(设备)的分析计算和评价方法.本书还用较大的篇幅对太阳能、地热能、风能及其他可再生能源的形成、应用原理、能量转换及其应用技术、方法进行了详细的论述及分析.

本书可作为高等院校工程热物理专业及有关工科专业的本科生教材,也可供热能类专业的师生、各级能源管理机构及工业企业中具有大专以上文化程度的节能干部和工程技术人员参考.

本书由李业发组织和统稿,并编写了第一章、第二章、第四章、第六章、第七章及附录,杨廷柱编写了第三章、第五章和第八章.

本书由王永堂教授主审.在本书编写过程中,还得到了葛新石教授的关心和指导,作者对此深表感谢.

编著者

1998年7月20日

目 次

前 言	(1)
第一章 能源概论	(1)
第一节 能量及其种类	(1)
第二节 能源的分类和应用	(3)
一、能源	(4)
二、能源(能量)的转换、输送和储存	(6)
三、能源在国民经济发展中的作用	(8)
第三节 我国的能源资源和能源构成	(11)
一、能源资源	(11)
二、能源构成	(13)
第四节 世界能源的现状 & 前景	(17)
一、资源问题	(17)
二、新能源的前景 & 展望	(20)
第五节 能源需求的预测	(22)
一、能源消费弹性系数法	(23)
二、部门分析综合预测法	(25)
第二章 能源开发利用中的热力学制约 & 能量平衡	(30)
第一节 热力学第一定律 & 能量守恒	(30)
第二节 典型体系的热平衡分析 & 其效率表达式	(32)
一、热平衡分析的基本参数	(32)
二、典型热平衡体系的效率计算	(36)
三、具有余热回收的体系	(42)
四、具有重热利用的体系	(51)

五、具有余热和重热利用的体系	(56)
第三节 热力学第二定律与能量的品位概念	(58)
一、热力学第二定律的表达方式	(58)
二、卡诺循环及其效率	(60)
三、内燃机及其热力循环	(63)
四、朗肯循环和电力生产的效率	(69)
五、焓和有效能	(76)
第四节 典型系统的熵及其表达式	(86)
一、热量熵和冷量熵	(86)
二、闭口系统的熵	(89)
三、(稳定流动)开口系统的熵	(92)
四、气体的熵	(94)
五、化学熵和燃料熵	(98)
第五节 熵效率和熵损失	(111)
一、熵效率的定义	(111)
二、熵效率的表达式	(113)
三、常用热工设备或装置的熵效率	(115)
四、热交换系统的熵损失	(117)
五、炉内燃烧的熵损失	(121)
六、蒸汽动力循环的熵分析	(126)
 第三章 太阳能的热转换及其应用	 (131)
第一节 地球的自转与公转	(131)
第二节 地理坐标与天球坐标	(133)
一、地理坐标	(133)
二、天球坐标	(135)
第三节 太阳角的计算	(139)
一、太阳高度角	(140)
二、太阳方位角	(141)

三、日出、日没的时角及日照时数	(142)
四、日出、日没的方位角	(144)
第四节 斜面上的太阳光线入射角及日照起止时间	(144)
一、入射角	(144)
二、斜面上的日照起止时间	(147)
第五节 太阳时与钟时的换算	(149)
第六节 太阳的跟踪	(151)
一、双轴跟踪	(152)
二、单轴跟踪	(155)
第七节 平板型太阳集热器	(155)
一、概述	(155)
二、结构	(156)
三、平板型集热器的能量平衡方程	(157)
四、总热损系数	(160)
五、通过半透明介质的辐射传递	(163)
六、平板型集热器的稳态模型	(168)
七、平板型集热器的效率方程	(176)
八、平板型集热器的设计考虑	(179)
九、几种特殊形式的平板型集热器	(184)
第八节 太阳能热水系统	(194)
第九节 聚光型太阳集热器	(201)
一、结构	(201)
二、聚光器的类型及聚光比	(201)
三、真实条件下的焦面宽度	(208)
四、复合抛物面聚光器(CPC)	(209)
第十节 太阳能空气集热器	(212)
一、空气集热器的类型	(212)
二、典型的空气集热器的性能比较	(214)
第十一节 太阳能干燥	(219)

一、自然对流型太阳能干燥器	(220)
二、利用风机送风的太阳能干燥器	(224)
三、温室型干燥器	(228)
第十二节 太阳能的其他主要应用	(229)
一、太阳能采暖	(229)
二、空调致冷	(232)
三、太阳能热发电	(233)
四、太阳能光电转换	(236)
第四章 地热能的利用	(242)
第一节 概述	(242)
第二节 地热基础知识及地热的分类	(246)
一、地球的构造	(246)
二、地热资源	(247)
第三节 地热发电系统	(251)
第四节 地热动力循环的热力学分析	(263)
一、炯和炯效率	(263)
二、循环参数变化的影响	(265)
三、冷凝温度	(269)
四、热交换器中的不可逆损失	(270)
第五节 地热的其他用途	(272)
一、地热采暖空调	(273)
二、地热养殖	(273)
三、地热疗养	(275)
第五章 风能、海洋能及沼气的利用	(276)
第一节 风能	(276)
一、概述	(276)
二、风轮机的基本原理	(279)

三、风力发动机	(290)
四、风能致热	(294)
第二节 海洋能	(296)
一、潮汐能	(297)
二、波浪能	(305)
三、海洋温差发电	(309)
四、咸淡渗透浓度能	(312)
五、海流能发电	(313)
第三节 沼气	(315)
一、沼气发酵的微生物原理	(315)
二、沼气发酵的影响因素	(322)
三、沼气池的构造和类型	(332)
四、各种沼气池的几何特征计算	(335)
 第六章 节能技术与工程应用	 (341)
第一节 节能概论	(341)
一、节能的基本概念	(341)
二、节能是长期任务	(342)
三、节能量的计算	(343)
四、节能工作的关键	(347)
第二节 锅炉的技术改造及经济运行	(348)
一、对工业锅炉的基本要求	(349)
二、改造锅炉的原则	(350)
三、提高锅炉效率的途径	(351)
四、锅炉改造的基本方法	(352)
五、固定排锅炉的经济运行	(356)
六、移动排锅炉的经济运行	(357)
七、沸腾炉的经济运行	(361)
第三节 工业窑炉节能	(363)

一、工业窑炉的用途及分类	(363)
二、工业窑炉的主要经济指标	(365)
三、工业窑炉的热平衡	(368)
四、窑炉本体的各项能量损失	(370)
五、提高工业窑炉热效率的途径	(377)
第四节 热工设备与热力管道保温	(388)
一、保温与节能	(388)
二、保温层厚度的确定	(390)
三、保温材料及其保温结构	(398)
第五节 工业余热的动力利用	(402)
一、余热动力利用的热力学分析	(403)
二、余热动力利用的方式	(408)
第六节 热泵的工作原理及其应用	(416)
一、热泵的工作原理	(416)
二、压缩式热泵	(416)
三、吸收式热泵	(423)
第七节 化工生产中热回收系统的设计	(427)
一、热焓图	(428)
二、热焓线的复合	(429)
三、热回收系统的热焓线组合	(432)
四、系统的焓损失	(435)
五、热焓图的作用	(437)
第八节 热管的工作原理及其应用	(437)
一、热管的工作原理及其种类	(438)
二、热管的结构与形状	(439)
三、热管传输能量的限制条件	(441)
四、热管的传热热阻	(450)
五、热管的应用	(452)
第九节 节能技术措施的经济评价方法	(459)

一、评价标准	(460)
二、投资经济效益的计算方法	(462)
第七章 能源的环境污染与燃煤烟气治理技术	(466)
第一节 能源与环境污染	(466)
一、热污染	(467)
二、二氧化碳污染	(468)
三、硫化物污染	(469)
四、氮化物污染	(469)
五、放射性污染	(470)
六、其他污染	(471)
第二节 燃煤烟气治理技术	(472)
一、电厂燃煤和烟气的特点	(472)
二、烟尘治理技术	(474)
三、烟气脱硫技术	(476)
四、NO _x 控制技术	(478)
第八章 能源管理	(483)
第一节 能源管理概述	(483)
一、能源管理的目的和范围	(483)
二、能源科学管理的特点	(484)
三、能源管理和企业管理的关系	(485)
第二节 能源管理的基本内容	(486)
一、建立能源管理体系	(486)
二、能源的综合平衡	(487)
三、加强燃料热能管理	(489)
四、加强计量管理	(492)
五、加强能源经济管理	(492)
六、合理组织生产,有效利用能源	(494)

七、搞好能源标准化工作	(494)
八、节能宣传和培训	(494)
九、加强能源法制管理	(495)

附 录 常用单位换算表	(496)
一、长度、面积、容积、重量、压强单位换算	(496)
二、比重单位换算	(500)
三、比容单位换算	(500)
四、温度单位换算	(500)
五、压强单位换算	(501)
六、功率单位换算	(501)
七、功、能、热单位换算	(501)
八、冷量单位换算	(502)
九、热工单位换算	(502)
十、速度单位换算	(502)
十一、粘滞系数单位换算	(503)
十二、运动粘滞系数单位换算	(503)
十三、阻力单位换算	(503)
十四、比热、热容量单位换算	(504)
十五、导热系数单位换算	(504)

第一章 能源概论

第一节 能量及其种类

每当吃到一桌美味佳肴时,我们往往都对掌勺者赞不绝口.因为经过他的处理,将生的变成了熟的,将不能吃的东西变成了香甜可口的美食.这是一个变化的过程,在这个过程中,除了掌勺者的技术外,还有一个重要的“角色”——能量(热能),它是由燃料的燃烧释放出来的,如果没有能量,什么人也做不出美味佳肴来.在人类生活中,不仅炊事离不开能量,其他一切变化都离不开能量.无论是物理变化还是化学变化,以及形态、位置等等的任何一个微小改变,都伴随着能量的变化过程.人类从原始社会发展到今天文明发达、五彩缤纷的世界,是在消耗了大量能量的条件下取得的变化.

从当今社会来看,一个国家要发展,提高电气化、机械化和自动化水平,改善人民的物质文化生活条件,就意味着要消耗更多的能量.换句话说,一个国家人均能耗的多少,可直接反映出这个国家人民生活水平的高低.

综上所述,“能量”就是“产生某种变化(效果)的能力”.反过来说,产生某种变化(效果)必然要伴随能量的消耗或转换.

目前,人类利用的能量有多种形式,但归纳起来有以下几种:

(1) 机械能.机械能在物理学中已经学过,它包括宏观的动能和势能.机械能是人类最早认识和利用的能量,如风能、水能等.

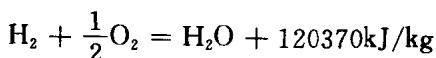
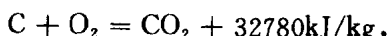
(2) 热能.从微观上看,热能为分子运动中移动动能的平均值,分子运动包括分子的移动、转动和振动.热能宏观上表现为温

度.地球上最大的热能资源应为地热能.

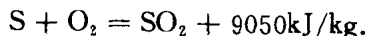
(3) 电能. 电能是由带电荷物体的吸力(或斥力)引发的能量. 目前使用的电能主要是由化学能或机械能转换来的. 另外, 电能也可由光电能转换, 或由热能直接转换(磁流体发电). 在自然界中, 还有雷电等电能.

(4) 辐射能. 物体以电磁波的形式发射出的能量称为辐射能. 物体单位表面积发射能量的大小为 $Q = \delta \cdot \epsilon \cdot T^4$, 其中, δ 为斯蒂芬-波尔兹曼常数 ($\delta = 5.67 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$), ϵ 为物体表面的热发射率. 此外, 还有裂变物质所发射的电磁波射线, 如 α, β, γ 等. 太阳是最大的辐射源.

(5) 化学能. 化学能是在原子核外进行化学变化时释放出来的一种能量. 目前我们所利用的化学能有电池起电或具有正反应热的过程. 世界上所消耗的能量目前主要依靠的是放热反应, 即



和少量的



从以上式子可以看出, 燃烧同样质量的氢所释放的能量为碳的 3.66 倍. 所以, 一种矿物燃料的热值高低可以从其碳氢比 K_{CH} 看出, 碳氢比越高, 其热值越低. 例如, 燃油的 $K_{\text{CH}} = 6 \sim 9$, 烟煤的 $K_{\text{CH}} = 12 \sim 14$, 无烟煤的 $K_{\text{CH}} > 20$, 所以燃油的热值比无烟煤要高得多.

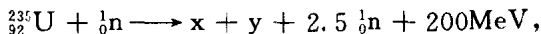
(6) 核能. 核能是由于物质原子核内结构发生变化而释放出来的巨大能量, 又称核内能. 与前述的 5 种能量不同的是, 核能不遵守质量守恒和能量守恒定律, 它所遵守的是爱因斯坦定律:

$$Q = \Delta m \cdot c^2.$$

其中, Q 为释放出的能量, Δm 是质量的变化量, c 为光速.

核能可从两种不同的反应中得到:

① 核裂变反应. 目前, 核电站中主要依靠的反应是



其中, x 为氙气 ${}_{54}^{140}\text{X}$, y 为锶 ${}_{38}^{94}\text{Sr}$. 每次反应损失的质量为

$$\Delta m = 3.57 \times 10^{-25}(\text{g}),$$

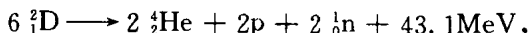
每千克 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 有 2.6×10^{21} 个原子, 所以每千克 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 完全反应后释放出的能量为

$$\begin{aligned} Q &= 2.6 \times 10^{21} \times 200 \times 1.602 \times 10^{-3} \\ &= 8.33 \times 10^{10}(\text{kJ/kg}), \end{aligned}$$

约相当于 2800t 标准煤完全燃烧后释放出来的能量.

② 核聚变反应. 目前世界上所用的核聚变反应的原料为氢的两种同位素, 即氘和氚. 主要有两种聚变反应: 氘—氘反应和氘—氚反应. 前者的点火温度为 $2 \times 10^8 \text{ }^\circ\text{C}$, 维持运行温度为 $5 \times 10^8 \text{ }^\circ\text{C}$; 后者的点火温度为 $4.4 \times 10^7 \text{ }^\circ\text{C}$, 维持运行温度为 $1 \times 10^8 \text{ }^\circ\text{C}$.

我国 1952 年的氢弹爆炸试验, 先是发生裂变反应, 其反应时间为几百万分之一秒, 产生巨大的热能, 使之达到聚变反应所需的温度, 从而引发聚变反应. 其反应为



反应中损失的质量为

$$\Delta m = 7.64 \times 10^{-26}(\text{g}),$$

聚变反应所释放出的能量和裂变反应所释放出的能量相比为

$$\frac{Q_{\text{聚}}}{Q_{\text{裂}}} = \frac{43.1}{200} \cdot \frac{235}{12} \approx 4.22(\text{倍}).$$

上式说明, 消耗同样质量的原料, 核聚变反应所释放的能量为核裂变反应的 4.22 倍. 即每消耗 1kg 核聚变原料, 产生约相当于 11816t 标准煤完全燃烧后所释放出的热能.

第二节 能源的分类和利用

所谓能源, 是指能够直接或经过转换而提供能量的自然资源.

一、能源

目前可提供人类利用的能源很多,如薪柴、煤、石油、天然气、水能、太阳能、风能、地热能、波浪能、潮汐能、海流能、核能等。

在以上各种能源中,太阳的能量最大,它每年投射到地球表面上的能量是我们每年所消耗的能量上万倍,而且它是无污染、可再生的能源。太阳能进入和离开地面的能流如图 1-2-1 所示。

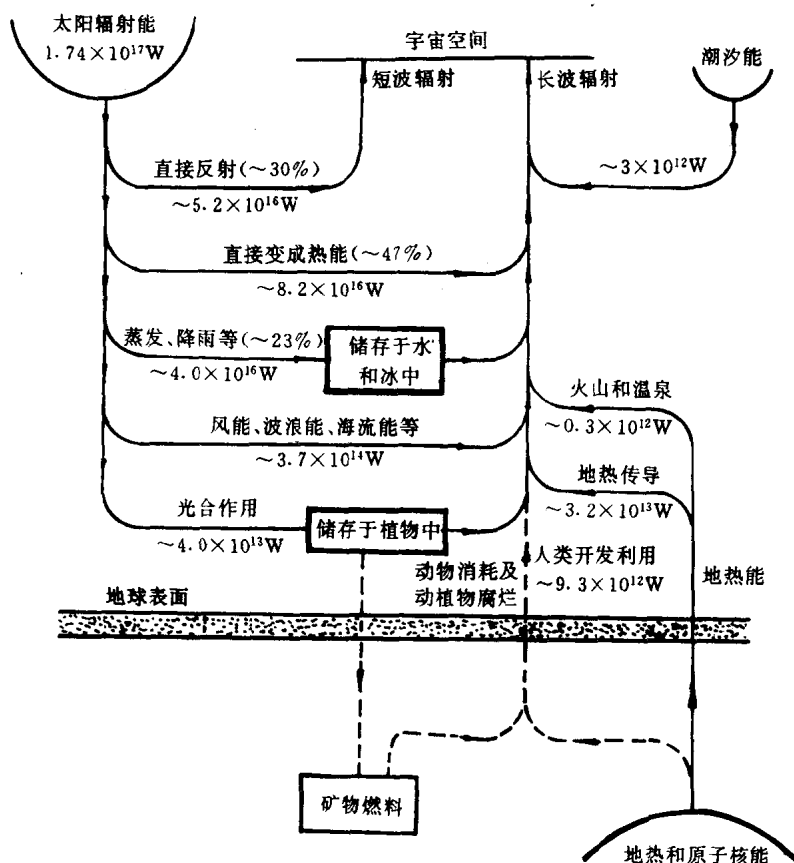


图 1-2-1 地球表面的能流