

● 汤学忠 主编

热能

RENENG ZHUANHUAN YU LIYONG

转换与利用

(第2版)

冶金工业出版社

热能转换与利用

(第2版)

北京科技大学 汤学忠 主编

北 京
冶金工业出版社
2004

内 容 提 要

本书主要讲述热能转换与利用的基本原理和分析方法,介绍实际转换设备与转换系统的特点和设计计算,以及用系统工程观点评价能源系统的基本方法。

全书共分六章,各章内容主要有能源及其利用的基本知识,能量转换的基础理论,热力系统分析,工业企业中的热能利用,热能回收所用的换热设备以及能源管理与能源系统模型。各章均附有习题与思考题。

本书体系新颖,实用性强,可作为动力、能源等类专业学生的教材,也可供从事相关专业工作的工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

热能转换与利用/汤学忠主编. - 2版. - 北京:冶金工业出版社,2002.3(2004.1重印)

ISBN 7-5024-2931-X

I. 热… II. 汤… III. ①热能-能量转换②热能-应用 IV. TK11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 004383 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 方茹娟 美术编辑 李 心 责任校对 朱 翔 责任印制 李玉山
北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1989 年 5 月第 1 版,2002 年 3 月第 2 版,2004 年 1 月第 4 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 17.5 印张; 423 千字; 268 页; 8001~11000

32.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

第1版前言

本书是根据热能工程专业教学计划和“热能转换与利用”教学要求编写的，在北京科技大学热能系所用讲义的基础上，经广泛征求意见修改而成。

冶金工业是耗能大户，占全国总能耗的12%左右。我国的能耗指标与先进国家相比要高得多，因此，要发展冶金工业，节约能源消耗，提高能源利用率是一个重要环节。

在能源的利用中，绝大部分是通过热能这一形态加以利用的，或由热能转换成其他形式的能量后再加以利用。在未被充分利用的余能中，绝大部分也是以余热的形式存在。对各种余热的回收与利用，也离不开热能转换与利用的知识。本课程是要介绍有关热能转换与利用的基本原理、分析方法，以及实际转换设备与系统的特点和设计计算方法；还要阐述用系统的观点评价能源系统的方法。热能工程专业的学生通过本课程的学习，可掌握热能转换的基本原理，并具备一定的分析研究和解决热能利用中的具体问题的能力，为今后在实际工作中，管好、用好能源，降低企业的能源消耗，提高能源利用率打下基础。

本书共分6章。第1章是能源概述。在介绍有关能源的一些基本概念的基础上，认识能源的重要性，了解能源利用现状，明确能源工作者的任务。第2章是能量转换的基本理论。重点介绍能量的质量分析——焓分析的方法。详细叙述了不同条件下的焓、焓损失的计算方法及其影响因素，并介绍实际热工设备的焓平衡、焓效率的分析方法。第3章是用焓分析方法具体分析热力循环和热力系统，弄清影响效率的因素和提高效率的途径。重点分析动力循环、热电联产系统和热泵系统。第4章是企业中的余热资源及其利用方法。以钢铁企业为例，分析企业的能源平衡、能耗指标以及余热资源情况。还介绍各种不同的余热资源的回收方法，回收系统对节能效果的影响。叙述了高炉炉顶余压发电、干熄焦、烧结矿余热回收系统等成功的实例，以及余热制冷和蒸汽蓄热器等节能设备的工作原理。第5章叙述余热回收用的各种换热器的的工作原理及设计计算方法，包括热管换热器、流化床换热器等新型换热器和换热器的发展趋向。第6章以能源系统模型为中心，介绍与能源管理、能源规划及决策分析有关的内容，包括统计模型、网络模型、线性规划方法及投入产出方法在能源系统分析中的应用。

本书的体系新颖，内容的实用性强，可作为热能工程专业的教材，对从事

热能工作的工程技术人员和设计人员也有参考价值。

本书由北京科技大学热能系徐业鹏教授主审。东北工学院、重庆大学、马鞍山钢铁学院以及昆明工学院等院校的同行们对教材提出了许多宝贵的意见，在编写过程中，引用了有关书刊中的数据和图表，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限，难免会有不当之处，希望广大读者和专家批评指正。

编 者

1988年4月

第2版前言

《热能转换与利用》(第1版)出版至今已有10余年的历史,编写初衷是供冶金系统高校的热能工程专业教学使用,后来国内一些重点大学也相继采用本书作为热能工程专业的教材。但令我深感遗憾的是,原书过分强调结合冶金行业实际,所举的实例都是与钢铁企业相关,其局限性影响了本书的使用价值。近年来,随着高等教育改革的深入,教育部对大学的专业设置做了大幅度的调整,拓宽了专业范围,将原先所有的有关能源、动力的专业均合并成一个“热能与动力工程”专业,强调在大学的学习主要是要打好扎实的基础,有宽厚的知识面,着重培养学生能力的指导思想,这更使我感到原书的不足,也就是在第二版中所要弥补的主要之处。

本书基本保持原有的特色和系统性,即在专业课中突出对专业基础理论的应用,着重让学生掌握运用基本理论解决实际问题的方法;在课程中包含较宽的知识面,归纳具有普遍性意义的材料;不就事论事,避免专业课成为单纯叙述性的内容。这正是拓宽专业面后的专业课所必需的。

新版仍分为6章,章节的编排也基本与第1版相同。第2版的主要修改之处在于:(1)根据多年的教学经验,完善原有的文字叙述,使得更便于自学;(2)删减有关冶金企业的实例,增加其他行业与热能利用相关的实例,进一步拓宽专业适应面;(3)删除已陈旧的数据,补充新的数据资料;(4)补充已颁布的能源国家标准中的规定及数据;(5)增加多年来积累的思考题与习题。

目前全国设置有“热能与动力工程”专业的高等学校有98所,在教学计划中安排的专业课各不相同,类似于本课程的有“节能原理与技术”、“能源利用与开发”、“能源管理”等。虽然课程名称不同,但是本教材基本涵盖了相关的内容,可作为专业课的参考教材,对从事相关工作的工程技术人员也有参考价值。

在本教材的修订中,北京科技大学热能工程系的姜泽毅负责第5章的修订工作。

最后向参考文献中所列的各著作的作者表示谢意,这些文献为本教材的编写提供了有价值的数据、资料,有些内容还在本书中被引用。

虽然第2版纠正了第1版中的印刷错误或不当之处,难免还有不足之处,欢迎广大读者批评指正。

编 者

2001年5月

目 录

1 概述	(1)
1.1 能源及其分类	(1)
1.2 热能资源	(3)
1.2.1 燃料化学能	(3)
1.2.2 太阳能	(3)
1.2.3 核能	(5)
1.2.4 地热能	(5)
1.2.5 海洋热能	(6)
1.3 能源与社会发展	(6)
1.4 能源结构	(8)
1.5 能耗指标与能源利用率	(9)
1.6 能源工作者的任务	(12)
思考题与习题	(14)
2 能量转换基础	(15)
2.1 能量转换	(15)
2.2 能量平衡	(17)
2.3 焓 (可用能)	(18)
2.3.1 热量焓	(19)
2.3.2 能级	(20)
2.3.3 开口体系工质的焓	(21)
2.4 焓的计算	(22)
2.4.1 温度焓	(22)
2.4.2 潜热焓	(25)
2.4.3 水及水蒸气的焓	(26)
2.4.4 压力焓	(26)
2.4.5 混合气体的焓	(28)
2.4.6 化学焓	(30)
2.5 焓平衡	(37)
2.5.1 流动过程的焓平衡	(38)
2.5.2 混合过程	(39)
2.5.3 分离过程	(40)

2.6 烟损失计算	(41)
2.6.1 燃烧烟损失	(41)
2.6.2 传热烟损失	(43)
2.6.3 散热等烟损失	(46)
2.6.4 燃烧产物带走的烟损失	(48)
2.7 烟分析与烟效率	(49)
2.7.1 烟分析的方法	(49)
2.7.2 烟效率的一般定义	(50)
2.7.3 各种热工设备的烟效率	(51)
2.8 烟分析举例	(55)
2.8.1 锅炉的热平衡与烟平衡	(56)
2.8.2 钢材连续加热炉的热平衡与烟平衡	(58)
2.9 烟分析的意义	(59)
2.9.1 烟的性质	(59)
2.9.2 烟分析的作用	(60)
2.9.3 烟分析的发展	(63)
思考题与习题	(64)
3 热力系统分析	(69)
3.1 蒸汽动力循环的烟分析	(69)
3.1.1 朗肯循环的烟分析	(69)
3.1.2 提高蒸汽动力装置烟效率的主要途径	(74)
3.1.3 凝汽式发电厂的能耗指标	(79)
3.2 燃气-蒸汽联合循环	(80)
3.3 热电联产系统分析	(82)
3.3.1 热能和电能联合生产的概念	(83)
3.3.2 热电联产的热经济性分析	(84)
3.3.3 热电联产总热耗的分配	(85)
3.3.4 热电联产的节能效果	(88)
3.3.5 热电联产的热平衡与烟平衡计算实例	(90)
3.3.6 热电联产的实际应用	(93)
3.4 中低温余热动力回收的热力系统分析	(95)
3.4.1 变温热源的动力回收效率	(95)
3.4.2 闪蒸发电系统	(97)
3.4.3 低沸点工质发电系统	(100)
3.5 热泵系统分析	(105)
3.5.1 热泵的工作原理	(105)
3.5.2 热泵的应用	(110)
3.5.3 热泵系统的经济性分析	(113)

思考题与习题	(116)
4 工业企业中的热能利用	(118)
4.1 企业能量平衡	(118)
4.1.1 能源的计量与统计	(118)
4.1.2 能量平衡关系	(119)
4.1.3 企业能量平衡体系模型	(120)
4.1.4 能源消耗指标	(122)
4.1.5 能源利用效率	(124)
4.1.6 能量平衡结果分析	(127)
4.2 余能资源的回收利用途径	(127)
4.2.1 余热资源及其质量	(128)
4.2.2 余热利用的途径	(130)
4.2.3 余热(能)资源的回收利用指标	(133)
4.3 气体余压能的回收	(133)
4.4 工业炉烟气余热回收系统	(136)
4.4.1 工业炉烟气余热回收量	(136)
4.4.2 余热回收系统	(137)
4.4.3 预热器回收系统分析	(138)
4.4.4 余热锅炉蒸汽利用系统分析	(139)
4.5 冷却介质余热回收系统	(143)
4.5.1 汽化冷却系统	(143)
4.5.2 干熄焦余热回收系统	(146)
4.5.3 热媒式余热回收系统	(147)
4.6 余热制冷系统	(150)
4.7 热能的贮存系统	(153)
4.7.1 热用户的热负荷	(153)
4.7.2 蒸汽蓄热系统	(154)
4.7.3 蓄热器的热力设计	(156)
4.7.4 蓄热器的应用	(157)
思考题与习题	(158)
5 热回收用换热设备	(160)
5.1 热回收用换热设备概述	(160)
5.1.1 热回收用换热设备的分类	(160)
5.1.2 换热器设计基础	(161)
5.1.3 换热器设计的制约因素	(163)
5.2 高温余热回收装置	(166)
5.2.1 高温换热器的形式	(166)

5.2.2	高温换热器的选择	(168)
5.2.3	高温换热器在使用中的问题	(169)
5.3	余热锅炉	(170)
5.3.1	余热锅炉的特点	(170)
5.3.2	余热锅炉的结构型式	(173)
5.4	回转式换热器	(176)
5.5	热管换热器	(181)
5.5.1	热管的工作原理	(182)
5.5.2	热管的材质	(184)
5.5.3	热管的工作极限	(186)
5.5.4	热管换热器	(187)
5.5.5	热管换热器的设计计算	(192)
5.6	流化床式换热器	(196)
5.6.1	流化床的工作原理	(196)
5.6.2	流化床层内的传热	(197)
5.6.3	流化床式换热器	(199)
5.7	热交换器的发展趋势	(201)
5.7.1	强化传热的目的与任务	(201)
5.7.2	强化传热的途径	(202)
5.7.3	强化传热技术效果评价	(206)
5.8	换热器的优化设计	(206)
5.8.1	换热器优化设计简介	(206)
5.8.2	余热回收用的换热器的最佳回收条件	(208)
5.8.3	换热器的最佳工作条件	(209)
	思考题与习题	(210)

6	能源管理与能源系统模型	(212)
6.1	能源管理概述	(212)
6.2	企业的节能	(214)
6.2.1	节能的概念	(214)
6.2.2	企业节能量的计算	(214)
6.2.3	企业节能量与宏观节能量的关系	(218)
6.2.4	节能率	(219)
6.3	能源技术经济	(221)
6.3.1	热能利用的技术经济比较原则	(221)
6.3.2	热能利用方案技术经济比较的基本方法	(223)
6.3.3	节能措施的经济评价	(225)
6.4	能源系统模型概述	(228)
6.5	能源统计模型	(230)

6.5.1	基本统计量	(230)
6.5.2	回归分析	(231)
6.5.3	时间序列分析	(235)
6.5.4	单位能耗的统计分析	(237)
6.6	能源系统网络模型	(240)
6.6.1	能源系统网络图的结构	(241)
6.6.2	能流网络图内过程的效率	(242)
6.6.3	能流平衡分析	(242)
6.7	能源系统线性规划模型	(243)
6.7.1	热能供应系统线性规划模型	(244)
6.7.2	线性规划问题的求解	(247)
6.7.3	能源供应系统的多目标决策分析	(249)
6.8	能源投入产出模型	(250)
6.8.1	投入产出分析的基本原理	(251)
6.8.2	完全消耗系数	(252)
6.8.3	能源投入产出分析	(254)
6.8.4	载能值的计算	(256)
6.9	能源预测技术概述	(261)
6.9.1	弹性系数法	(262)
6.9.2	部门分析法	(264)
	思考题与习题	(265)
	参考文献	(267)

1 概 述

1.1 能源及其分类

能量是指物质做功的本领。广义而言,任何物质都可以转化为能量,但其转化的难易程度有很大的差别。比较集中又较易转化的**含能物质**称为**能源**,例如燃料。另一种是在宏观运动中所转化的能量,例如水能和风能,这种**能量过程**也称为能源。因此,能源可定义为:比较集中的含能体或能量过程。

一次能源是指存在于自然界,未经加工或转换的能源。有煤炭、石油、天然气、植物燃料、水能、风能以及太阳能、核能、地热能、海洋能、潮汐能等等。

由一次能源经过人工加工转换而成的能源产品,例如煤气、石油制品、焦炭、电能、蒸汽、沼气、酒精、氢气等,叫做**二次能源**。这些产品都是为了给生产或生活提供使用更方便的能源,或是为了满足生产工艺的要求。

另外一些能源物质在生产中不是为了利用它的能量,而是因为生产工艺的需要,例如氧气、压缩空气、鼓风、压力水(生活水,工业水)等,因为得到这些物质需要消耗能量,因此使用这些物质也就间接地消耗了能量,通称**耗能工质**。广义上说,它也属于二次能源的范围。

地球上的能源来自三个方面,如图 1-1 所示。

1) 来自太阳的辐射能。它除了直接向地球提供光和热之外,还成为其他一次能源的来源。例如,靠太阳的光合作用促使植物生长,形成植物燃料;煤炭、石油、天然气、油页岩等矿物燃料都是古代生物接受太阳能后生长,又长期积沉在地下形成的;至于水能、风能、海洋能等,归根到底也都来源于太阳辐射能。

2) 地球本身蕴藏的能源。主要是以热能形式存在的“地热能”,它包括已被利用的地下热水、地下蒸汽和热岩层,以及目前还无法利用的火山爆发能、地震能等。此外,地壳内和海洋中蕴藏的各种核燃料也属于地球本身可提供的能源,它经过核反应可以释放出能量来。

3) 地球与其他天体的相互作用。例如,太阳和月球对地球表面海水的吸引作用而产生的潮汐能就属于此列。

一次能源还可以根据它们能否“再生”分为两类。**可再生能源**是指每年能重复产生的自然能源,例如太阳能、水能、风能、海洋能、潮汐能、植物燃料等。它们是人类取之不尽、用之不尽的能源。**不可再生能源**是指那些随着不断被开采和使用将会枯竭的能源,例如煤炭、石油、天然气、油页岩,以及核燃料铀、钍、钷等。

从能源性质来看,还可以分为**燃料能源**和**非燃料能源**两类。燃料能源有矿物燃料、生物燃料(柴草,沼气等)、化工燃料(丙烷、甲醇、酒精等)、核燃料四种。非燃料能源中有机械能(风能、水能、潮汐能等)、热能(地热能,海水热能等)和光能(太阳光能)三种。

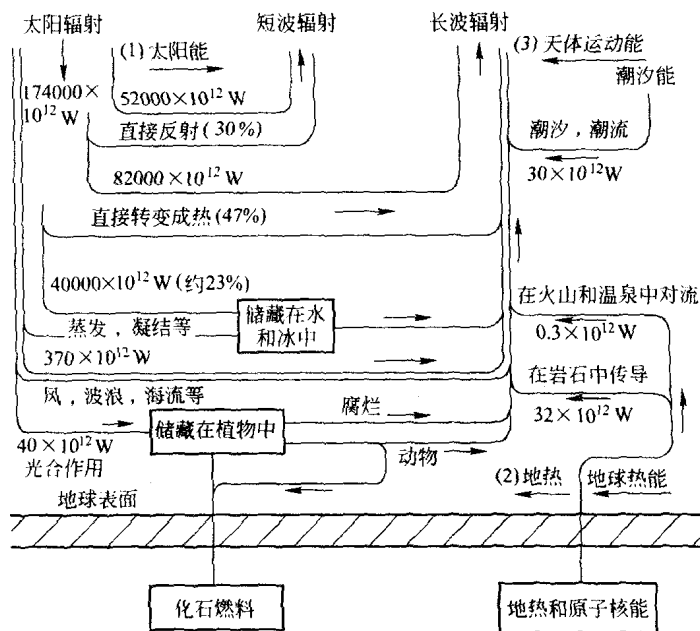


图 1-1 进入和离开地球表面的能量

从能源的应用广泛程度来看,可分为常规能源和新能源;根据对环境的影响又可分为清洁能源和不清洁能源(例如矿物燃料及核燃料)。

综上所述,能源的分类可归纳如表 1-1 所示。

表 1-1 能源分类表

类 别		第 一 类		第 二 类	第 三 类
		常 规 能 源	新 能 源		
一次能源	再生能源	水能 植物燃料	太阳能 风能 生物质能 海水温差 海洋波浪 海水动力 (雷电能)	地热能 (火山能) (地震能)	潮汐能
	非再生能源	各种煤 石油 天然气	油页岩	核燃料—铀 钍、钚、氚 氘	
二次能源		焦炭 煤气 汽油 柴油 煤油 石油液化气 电能 蒸汽		酒精 沼气 氢能	

1.2 热能资源

热能是人类使用最为广泛的一种能量形式,约有85%~90%的能源是转换成热能后再加以利用的。在一次能源中,热能资源也占了绝大部分。最主要的常规能源为燃料热能,新能源有太阳能、核能、地热能和海洋热能等。

1.2.1 燃料化学能

煤炭、石油、天然气是世界上使用量最大的、最主要的常规能源,约占总能耗的90%。

化石燃料是不可再生能源,目前探明的经济可采储量以及年开采速度见表1-2。估计可开采年限多则数百年,少则只有几十年。对人类来说,如何节约使用这些宝贵的财富是重大的共同课题,能源新技术是新技术革命的三大支柱之一。

表 1-2 燃料的经济可采储量以及年开采速度

		煤 炭		石 油		天 然 气	
		Mt	%	Mt	%	万亿 m ³	%
可采 储量	中国	114500	11.0	3900	2.8	1.7	1.2
	全世界	1043864	100	137300	100	141.0	100
1995 年 产量	中国	1298.0	28.6	149.0	4.85	0.17198	0.77
	全世界	4530.4	100	3072.2	100	2.22066	100
预计可采年限		200~500 年		40~50 年		50~100 年	

相对来说,煤炭的储量最大,但是,它的开采、运输、储存不如油、气方便,并且在燃烧时易造成对环境的污染,因此,对燃料进行改质和改进燃烧过程,以保证完全燃烧,减少对环境的污染,是燃料利用过程中的重要研究课题。

燃料的改质措施有:

- 1) 煤的气化与液化,包括新的气化方法及煤的地下气化的研究;
- 2) 煤水浆(CWM)的制备、运输储存、燃烧的研究;
- 3) 煤油混合燃料(COM);
- 4) 油页岩中油的提取;
- 5) 油的掺水乳化等。

燃料燃烧的研究有:

- 1) 固体燃料的沸腾燃烧、旋风燃烧;
- 2) 液体燃料的雾化燃烧、分层燃烧;
- 3) 新型燃烧装置的开发等等。

1.2.2 太阳能

太阳的表面温度为6000℃左右,不断以电磁波方式向宇宙空间辐射能量。虽然只有二十亿分之一到达地球大气层,但是也有174万亿kW的功率;到达地球表面的约为47%,功率为81万亿kW,其中到达陆地上的有17万亿kW。一年内地球接受太阳辐射的总能量约有 10^{18} kW·h,相当于地球上全部化石燃料能的十倍,全世界年耗能量的三万倍。太阳能是最丰富的、对环境又无污染的清洁能源,是最有潜力的新能源。我国国土面积的2/3年日

照时间超过 2000h, 年均辐射量约为 $5.9\text{GJ}/\text{m}^2$, 主要分布在西部地区。

太阳之所以未作为常规能源而广泛地被利用, 是由于它的能流密度低, 并随季节、昼夜、气候及地区不同而变化很大。表示太阳辐射强度的物理量是太阳常数。它是指在中无中间反射及吸收的情况下 (大气层外), 在与光线垂直的单位黑体表面所获得的能量, 约为 $1350\text{W}/\text{m}^2$ 。实际上, 在地球表面很少有超过 $1\text{kW}/\text{m}^2$ 的, 夜间则降为 0。因此, 要大规模地、广泛地、经济地利用太阳能, 尚需解决一系列的技术问题。例如, 如何自动跟踪太阳光线, 并有效地把它集中起来, 以增大能流密度; 如何增加集热表面的吸收率, 使更多的辐射能有效地转变为热能; 如何经济地利用多变的太阳能, 解决太阳能的储存问题; 如何提高光-电的转换效率等。

目前, 太阳能的利用有四种方式:

- 1) 光-热转换;
- 2) 光-热-电转换;
- 3) 光-电转换;
- 4) 光-化学转换。

光-热转换是将太阳能转换成热能加以利用。分低温利用和高温利用两种。最方便的低温利用系统是太阳能温室、太阳能供暖系统——太阳房以及太阳能干燥器。另一种是通过集热器将太阳能收集起来的太阳能热水系统, 为生活提供热水。集热器有许多类型, 它的效率 (实际得到的热与投射能量之比) 取决于吸热体的吸收率的高低、向外散射的能量大小等。目前公认的效率较高的是玻璃真空管集热器, 由于真空绝热, 散失的热量少, 在冬季也不会冻结, 常年可以使用。一般 1m^2 的集热面积每天可提供 $100\text{kg}60^\circ\text{C}$ 左右的热水, 每年可节约 $100\sim150\text{kg}$ 标准煤。它适合于家庭及公共浴室用。据不完全统计, 全国使用太阳能热水器达 $5\times10^6\text{m}^2$, 被动式太阳房 $1.8\times10^6\text{m}^2$, 太阳能干燥器 13200m^2 。

高温利用需通过反射率高的聚光镜片将太阳能集中起来, 提高能流密度, 可以达到很高的温度。例如, 用直径为 $1.3\sim1.6\text{m}$ 的聚光反射镜构成的太阳灶, 可将锅底加热到 $400\sim650^\circ\text{C}$ 的温度, 功率达 $700\sim1000\text{W}$, 可作生活炊事用。全国约有太阳灶 14 万台, 每台每年可节约柴草 $500\sim700\text{kg}$ 。设计完善的大型旋转抛物面反射镜, 在焦点处可达 3000°C 的高温, 称为太阳炉, 可用于熔炼高熔点的金属。

光-热-电转换是首先将太阳能集中起来, 加热水而产生蒸汽, 然后通过蒸汽动力装置转换成电能。由于太阳的能流密度低, 产生一定规模电能, 需要很大的集热面积。欧洲的一套 1MW 的太阳能试验电站, 使用了 182 个总面积为 6200m^2 的定日镜, 产生压力为 6.4MPa 、温度为 512°C 的蒸汽, 发电效率为 16% 。这种发电方式占地大, 投资高。美国的一座 10MW 的太阳能电站占地 600 亩, 投资 1.2 亿美元。目前难以与其他发电方式相匹敌。

光-电转换是利用半导体材料直接将太阳光能转换成电能, 也叫太阳能电池。它的转换效率取决于半导体材料的性能, 一般的单晶硅电池组件的转换效率在 $5\%\sim10\%$, 高的达 14% , 1m^2 的面积约可产生 150W 的电功率。采用砷化镓新型半导体材料, 最高效率已可达 30% 。由于半导体材料的成本较高, 光电转换主要适用于微型电源 (例如计算器、手表等的电源), 和供电困难的灯塔、草原、航天器等电源。目前, 最大的太阳能电池发电设备的功率为 1000kW 。由于在空间的光电转换效率高, 曾有建设同步轨道太阳能光电系统电站的 SSPS 计划, 将数万吨材料送至空间, 建立 50km^2 的太阳能电池板, 产生 $5000\sim10000\text{MW}$

的电能，再用微波方式送回地球。这是一个耗资巨大的宏伟设想。

光-化学转换由植物的光合作用完成。人工的光合作用的研究是生物工程的重大研究课题，不属于本课程的范围之列。

1.2.3 核能

利用核反应释放的热能是新能源利用的一条重要途径。核反应分核裂变和核聚变两种，目前技术成熟的是利用核裂变的能量。1kg U^{235} 核裂变反应可释放出 $69.5 \times 10^{10} \text{kJ}$ 的热能，即使只利用其中的 10%，也已相当于 2400t 标准煤的发热量。

核能利用主要是用来发电。将反应堆内产生的热能通过冷却介质取出，再在蒸汽发生器中将热传给水，产生的蒸汽供汽轮发电机组发电。反应堆有沸水堆、压水堆、石墨气冷堆、快中子增殖堆等多种型式，但是蒸汽动力循环与一般的火电厂无原则区别。

核电站从 20 世纪 50 年代开始试运行，至 1995 年底，全世界已有核电站 437 座，容量 3.44 亿 kW，占总发电能力的 17%。正在计划兴建的有 55 座，4500 万 kW。我国在 20 世纪 80 年代在浙江秦山兴建第一座 30 万 kW 的核电站，又在深圳大亚湾兴建第二座 90 万 kW 的核电站，揭开我国核电事业发展的序幕。核反应堆的堆型采用压水堆，以 60 万 kW 机组作为主力机型，研究开发 100 万 kW 级的机组并实现国产化。计划到 2010 年核电装机达 2000 万 kW，到 2020 年总容量在 4600 万 kW 以上，届时发电量能占总发电量的 10%。

核电站的投资较高，目前每 1kW 的造价约为 2000 多美元，为火电站的 1.5~2 倍，但是发电成本只有火电站的 50%~90%。随着燃料价格的上涨，大型核电站在经济性方面已可与火电站相匹敌。

但是，作为核裂变的主要核燃料 U^{235} 、Th（钍）等也是不可再生能源。在估计的铀矿储量 4Mt 中，只有 0.7% 是 U^{235} ，其余为半衰期很长的 U^{238} ，只有在快中子增殖堆中才有可能得到利用。

核聚变的原料是重氢（氘），它的氧化物是重水。1g 氘聚变反应能放出的能量是 1g 普通化学燃料的 100 万倍。而在 1t 水中就有 140g 重水。1 桶水中重水含有的能量相当于 400 桶石油。因此，如果能利用核聚变的能量，对人类可以说已是用之不竭。但是，聚变反应要求几千万度的高温，反应区达 $40 \times 10^6 \text{K}$ 的温度。低温核聚变研究，以及高温下热能回收利用问题还未成熟，远未到实用化的程度，还不能把氘等元素列入核能资源。

1.2.4 地热能

地球本身是一个巨大的热库。距地球表面 6370km 的地心深处有 4500°C 的高温。地壳厚度 26~50km，温度在 $200 \sim 1000^\circ\text{C}$ 的范围，温度梯度为 $20 \sim 30^\circ\text{C}/\text{km}$ 。在地层 10km 内的储热量有 $10.5 \times 10^{23} \text{kJ}$ ，相当于 $3.57 \times 10^{16} \text{t}$ 标准煤，大致为储煤量的 2000 倍。

地热的形式分为：

- 1) 热水型 温度在 $50 \sim 200^\circ\text{C}$ ，约占 29.5%；
- 2) 蒸汽型 压力可达 3.5MPa，温度 250°C ，约占 0.5%；
- 3) 热岩 在 6km 深处，岩体温度可达 200°C ，约占 30%；
- 4) 熔岩 火山喷发出来的地心岩浆有 2000°C 以上的温度，约占 40%。

我国现已查明的热水型地热资源面积 10149.5km^2 ，可采量 $92.6 \times 10^{15} \text{kJ}$ 。推测资源面积 49809.5km^2 ，可采量 $341.8 \times 10^{15} \text{kJ}$ 。

地热最简单的利用方式是热利用。直接利用温泉或热水井的热水供温室或供暖用。但

这种利用受到地域的限制。建立地热电站将地热转换成电能是最灵活的利用方式。对蒸汽型可直接供汽轮发电系统发电。对高温、高压的热水，可用闪蒸法，让高压热水扩容降压蒸发，再由产生的蒸汽发电。对中温热水，可作为低沸点工质的热源，由产生的低沸点工质蒸气进行发电。对于热岩，可通过打深井，注入高压水，再将受热后产生的热水或蒸汽抽出加以利用。

我国温泉有 2000 多处，利用地热供暖的能力可达 2410MW。其中西藏羊八井有 1.6MPa、200℃左右的蒸汽型地热，现已安装 12 台 7000kW 以上的发电机组，总装机容量 125MW，占拉萨地区供电量的 50%，为世界第 12 大地热电站。据估计，我国西南地区可利用发电的地热资源为 200~500MW。日本的地热资源丰富，最大的发电机组在 50MW 以上，正在建立 200~300MW 的大型地热电站。目前世界地热发电的总容量有 325 万 kW，到 21 世纪初可达 700 万 kW。

1.2.5 海洋热能

海洋占地球表面积的 71%。估算海水数量有 $1.42 \times 10^{18} \text{t}$ 。根据热力学第二定律，单热源的热机是不可能的，环境温度下的海水热能不可能简单地加以利用。但是，海水的表面被太阳照射后，在 1m 深的海水范围内将被海水吸收掉 80% 的太阳辐射能，形成表面温度 (25~28℃) 与深处 (500~1000m, 4~7℃) 有 15~20℃ 的温差，构成两个热源。因此，利用海洋上、下的温差发电，在理论上是完全可行的。它可用表面的海水将低沸点工质（例如氨、氟利昂等）加热产生蒸气，通过汽轮机做功发电。深部低温海水作为膨胀做功后的低压蒸气冷凝的冷源。据估算，利用海水温差发电的潜在能力有 10^{10}kW ，为世界现有发电能力的五倍。国外已有 7500kW 的试验机组投入运行，目前尚不能推广的原因是发电成本过高。

1.3 能源与社会发展

人类社会发展的历史与能源的开发和利用水平密切相关，它是人类生存和发展的重要物质基础。

能源利用的每一个新发明，均给生产带来一次新的飞跃。蒸汽机的发明引起了产业革命。蒸汽机作为冶金炉鼓风的动力，也推动了冶金工业的发展。内燃机的发明，推动了交通运输技术的进步。电的发明引起生产工艺机械化、自动化的重大变革，使人类社会的生产和生活进入电气化新时代。原子能的发现为人类利用能源开辟了一条新的途径。

任何工农业产品的生产都离不开能源，他们对能源的需要量不仅表现在生产中直接消耗掉的能源，还包括生产设备本身及原材料在生产过程中间接消耗的能源。因此，每个国家的国民经济的发展与能源消费量增长之间有着密切的关系。一般用能源消耗弹性系数来表示，即一次能源的年增长率与国民生产总值年增长率的比值。表 1-3 是发达国家和发展中国家能源与经济增长的关系。

由表 1-3 可见，能源消费量基本上是随国民生产总值的增长而同步增加。任何一个国家，如果能源供应不足，将会直接影响到国民经济的发展。工业化初期，能源消耗弹性系数大于 1，而实现工业化后，随着能源利用率的提高以及工业在生产总值中的比重下降，使得能源消耗弹性系数降到 1 以下。优先发展能源工业，才能为国民经济各个部门的发展提供必要的条件。