

能源工程

陈学俊 袁旦庆 编著

西安交通大学出版社

本书出版受

华夏英才基金资助

内容提要

本书为中国科学院院士、第三世界科学院院士、第八届全国政协常委、九三学社中央名誉副主席、西安交通大学教授陈学俊先生和袁旦庆教授共同编写,主要阐述有关能源方面的问题。

能源是经济建设的战略重点,是实现四个现代化、巩固国防及提高人民生活文化水平的物质基础。本书论述了能源的重要性及其与发展经济的关系,综合分析了能源的现状及其发展前景,论述了新能源与可再生能源的基本原理,同时对影响经济可持续发展的环境保护问题进行了介绍和评价。本书可作为高等学校的参考教材,也可作为工矿企业、政府机关干部的工作参考中。

图书在版编目(CIP)数据

能源工程/陈学俊,袁旦庆编著. —西安:西安交通大学出版社,2002.8
ISBN 7-5605-1516-9

I. 能... II. ①陈...②袁... III. 能源-基本知识
IV. TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 024800 号

*

西安交通大学出版社出版发行
(西安市兴庆南路 25 号 邮政编码:710049 电话:(029)2668315)
陕西省轻工印刷厂印装
各地新华书店经销

*

开本 850 mm×1 168 mm 1/32 印张:11 字数:276 字
2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月第 1 次印刷
定价:16.00 元

发行科电话 (029) 2668357 2667874

序 言

能源是我国经济建设的战略重点,是实现四个现代化及提高人民生活水平的重要物质基础。在现代化生产中,能源是主要的动力来源,实现四个现代化必须大规模地开发和利用好能源。能源与国防的关系至为密切,如能源不足,国家安全将得不到可靠保障,经济建设也不能正常进行。能源和人民生活衣、食、住、行等密切相关,为了活跃人们的文化娱乐生活,也无一不需要能源。总之,能源问题关系到国民经济的持续发展和人民生活水平的提高,关系到物质文明和精神文明的建设,关系到稳定社会秩序和保障国家安全,必须予以高度重视。

本书叙述了能源的重要性和基本概念、能源的形势、特点及其与国民经济和人民生活之间的关系;综合分析了常规能源(煤炭、石油、天然气、水力资源)的现状、存在问题及其发展前景;同时从工程技术观点对常规能源(火电、水电、核电)以及新能源与可再生资源(太阳能、地热、风能、海洋能、氢能)的开发利用进行了论述和评价,并介绍它们的基本工作原理。再者,由于农村能源及节能工作的重要性,专门另设两章,系统地进行叙述和分析;同时由于能源开发利用与环境保护关系密切,影响到经济的可持续发展,因此也专设一章加以介绍。能源工程内容范围广,关系到各行各业,已成为人们必须了解的基本知识之一。作者写本书的目的,即是提供工矿企业、政府机关干部以及高等学校教师和学生等作为参考书;同时,出版本书也是为了迎接作者结婚 60 周年纪念。

本书共分 12 章,其中第 1 章至第 6 章为陈学俊同志所写,第

7 章至第 12 章为袁旦庆同志所写。在写作过程中 ,化工部第六设计院姜正明同志与西安交通大学陈永利同志协助作了不少工作 ; 本书出版受华夏英才基金资助 ,均在此表示感谢。

由于作者水平所限 ,且能源工程发展迅速 ,与时俱进 ,不断有所创新 ,内容如有不妥甚至错误之处 ,请读者批评指正。

陈学俊 袁旦庆

2002 年 8 月于西安

目 录

第 1 章 绪论.....	(1)
§ 1.1 能源的重要性	(1)
§ 1.2 能源的概念和分类	(3)
§ 1.3 能源的转化和利用	(6)
§ 1.4 能源的评价	(8)
§ 1.5 能源的选用.....	(10)
参考文献	(13)
第 2 章 能源的形势及其与国民经济的关系	(14)
§ 2.1 能源的形势.....	(14)
§ 2.2 能源开发、利用的特点	(28)
§ 2.3 能源和国民经济发展的关系.....	(35)
§ 2.4 能源弹性系数.....	(37)
参考文献	(39)
第 3 章 能源开发与环境保护	(41)
§ 3.1 能源开发对环境的影响.....	(41)
§ 3.2 我国面临的环境问题与环境保护的决策.....	(43)
§ 3.3 环境保护采取的措施.....	(44)
参考文献	(51)
第 4 章 常规能源	(53)
§ 4.1 煤炭.....	(54)
§ 4.2 石油.....	(59)
§ 4.3 天然气.....	(65)

§ 4.4	水力.....	(70)
§ 4.5	对常规能源资源的评价.....	(75)
参考文献		(79)
第5章 火电与水电		(81)
§ 5.1	能量的转化与利用.....	(81)
§ 5.2	世界电力工业.....	(88)
§ 5.3	我国电力工业.....	(95)
§ 5.4	电力工业发展中的新技术	(118)
参考文献.....		(123)
第6章 核电.....		(124)
§ 6.1	概述	(124)
§ 6.2	核电站基本工作原理及系统	(133)
§ 6.3	世界核电的发展	(137)
§ 6.4	核电发展的途径	(143)
§ 6.5	核热电站的地位和前景	(145)
§ 6.6	核电发展的优越性及开发途径	(148)
§ 6.7	核电站的安全性、可靠性与经济性.....	(153)
§ 6.8	我国核电事业的发展	(160)
参考文献.....		(167)
第7章 太阳能.....		(169)
§ 7.1	概述	(169)
§ 7.2	集热器	(174)
§ 7.3	太阳能热水器	(177)
§ 7.4	太阳能采暖与制冷	(179)
§ 7.5	太阳能发电	(186)
§ 7.6	太阳能事业在我国的发展	(192)

参考文献.....	(201)
第 8 章 风 能	(203)
§ 8.1 概述	(203)
§ 8.2 风能资源	(205)
§ 8.3 风力机	(206)
§ 8.4 风能的利用	(209)
§ 8.5 我国风力发电事业的进展	(210)
参考文献.....	(217)
第 9 章 地热能与海洋能	(219)
§ 9.1 地热能	(219)
§ 9.2 海洋能	(228)
参考文献.....	(238)
第 10 章 氢 能	(239)
§ 10.1 概述.....	(239)
§ 10.2 氢的制取和储存.....	(241)
§ 10.3 氢的应用领域和发展前景.....	(248)
§ 10.4 燃料电池.....	(252)
§ 10.5 我国在氢能方面的研究工作概况.....	(259)
参考文献.....	(262)
第 11 章 农村能源	(264)
§ 11.1 农村能源与生物质能.....	(264)
§ 11.2 沼气.....	(270)
§ 11.3 薪柴.....	(284)
§ 11.4 小水电.....	(288)
参考文献.....	(295)

第 12 章 节约能源	(297)
§ 12.1 节能的涵义.....	(298)
§ 12.2 节能的任务与能源利用效率.....	(299)
§ 12.3 节能的组织管理措施.....	(303)
§ 12.4 节约煤炭.....	(306)
§ 12.5 节约用油.....	(308)
§ 12.6 节约用电.....	(312)
§ 12.7 工业余热的利用.....	(320)
§ 12.8 蒸汽管网系统节能.....	(322)
§ 12.9 建筑工业节能.....	(325)
§ 12.10 水泥工业节能	(328)
§ 12.11 蓄冷技术	(330)
§ 12.12 节能规划与节能产品认证制度	(333)
参考文献.....	(338)

第 1 章 绪论

§ 1.1 能源的重要性

能源是人类进行生产和赖以生存的重要物质基础,是经济发展和社会发展的物质基础,也是实现四个现代化以提高我国人民生活水平的先决条件。能源是经济发展的战略重点之一,如果能源的供应赶不上经济建设发展的需要,将影响到我国四个现代化建设的进程。

在现代化生产中,能源是主要动力来源,一些发达国家之所以能够在短短几十年的时间内实现现代化,其中一个重要原因,就是它们都致力于大规模地开发和利用能源。大家都知道,早期的人类社会主要是依靠人力来从事生产活动的。由于人的体力毕竟有限,所以,那时的生产水平是很低的。自从瓦特发明了蒸汽机以及以后使用了汽轮发电机、内燃机和电动机以后,社会生产力才有了大幅度的增长。但这些动力机械都需要消耗一定数量的能源,例如蒸汽机车和火力发电厂需要消耗煤炭,汽车、拖拉机需要消耗汽油、柴油,机床需要消耗电力等等。现代社会生产的不断发展,机械化、电气化、自动化程度的不断提高,生产上对能源的需求量越来越大。一般说来,一个国家的国民生产总值和它的能源消费量大致是成正比的。能源的消费量越大,产品的产量就越多,整个社会也就越富裕。例如,美国、俄罗斯、日本、德国、英国、法国、意大利等工业发达国家的人口总和占世界人口的 $1/5$,而能源消费量却占世界能源总消费量的 $2/3$ 左右。

能源和人民的衣食住行等密切相关。为了解决吃、穿问题,要大力发展农业生产,实现农业的机械化、电气化、水利化和化学化,这些都需要消耗大量的能源。为了进一步提高农产品的产量,在农业上还需要投入大量的能源,因此,在一定程度上可以说粮食和棉花是用能源换来的。市场上出现的许多色彩鲜艳的尼龙、的确良、人造毛等合成纤维制品,也都是用能源(煤炭、石油、天然气)作为原料和动力制造出来的。至于居住方面,房屋用的木材本身就是一种能源,其地砖瓦、玻璃、钢材和水泥等建筑材料,在生产过程中都要用掉不少能源。为了保持适宜的室内温度,冬季需要取暖,夏季需要降温;为了学习和工作,室内需要照明,这些都需要消耗能源。至于近代化的家庭设备如计算机、空调、电冰箱、洗衣机、电灶、电热器等更离不开能源。此外,为了活跃人们的文化娱乐生活,如看电视、电影、收听广播、录音放唱片等,无一不需要能源。关于行的问题,除了步行以外,都离不开能源。汽车、电车、火车、轮船、飞机以及高科技产业化等等,一旦没有能源,则将寸步难行。

能源与国防的关系至为密切,不仅在生产各种武器上需用大量能源,而且在使用各种武器时也离不开能源,如空中飞机、陆地坦克、海上舰船、海下潜艇以及中远程导弹等。如能源不足,国家安全将得不到可靠保障,经济建设也不能正常进行。

总之,能源问题直接关系到国民经济的发展和人民生活水平的提高。社会总是不断在前进,生产也总是要继续增长,人们则需要更高的物质文明和精神文明,因此,对于我国正在致力于四个现代化建设来说,能源就显得格外重要,必需把解决好能源问题当作发展国民经济、提高人民生活水平、稳定社会秩序和保障国家安全等方面的头等大事。

§ 1.2 能源的概念和分类

什么是能源？顾名思义，能源是能量的来源或源泉。在自然界里，有一些自然资源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某种形式的能量，这样一些自然资源称之为能源，如煤炭、石油、天然气、太阳能、风能、水力、地热、核能等。在生产和生活中，由于工作需要或是便于输送和使用等原因，把上述能源经过一定的加工使成为符合使用条件的能量来源，如煤气、电力、沼气和氢能等亦称作能源，它们同样为人们提供所需的能量。

自然界存在的这种能源有很多种，除了人们熟悉的煤炭、石油、天然气等以外，还有来自太阳的阳光，大气中的风，河里流的水，涨落的潮汐，起伏的波浪，地下的热水以及原子核反应时释放出来的核能等等。能源的种类虽然很多，但按照它们的来源，可以分为以下四类：

1. 太阳能

人类所需能量的绝大部分，都是直接或间接来源于太阳能。各种植物通过光合作用，把太阳能转变成化学能，在植物体内贮存下来。煤炭、石油、天然气等是由于古代埋在地下的动植物，经过漫长的年代形成的，实质上是由古代生物固定下来的太阳能。风能、波浪能、海洋温差、水力也都是由太阳能转换得来的。地球表面各地不均匀的接受太阳辐射热，使各处大气中气温和压力不同而导致空气流动，形成了风能；同时由于刮起的风力使海洋表面的水形成了波浪能；由于海洋各处接受太阳辐射热强度的不同而形成了海洋能；同时海洋表面与内部温度的不同形成了海洋温差；江河、湖泊、海洋以及土壤表面水分的蒸发，上升到高空中的水汽，最终又凝结成水，以雨雪形式返回地面，在高山地区的雨水通过江河流向大海，形成了巨大的水力资源。

从数量上看,太阳能有非常巨大的能量。按理论计算,在1秒钟内太阳照射到地球上的能量,就相当于500多万吨的煤燃烧放出的热量,一年就相当于170万亿吨煤的热量,现在全世界一年消耗的能量还不到它的1/10 000。但是,到达地球表面的太阳辐射能量,只有1/1 000左右被植物所吸收,其余绝大部分都转换成热量,又辐射回到宇宙空间中去。

2. 地热

地球内部有大量热源,在45亿年以前地球形成以来逐步冷却,至今地球的核心部分仍具有5 000℃的高温,而且地球内部由于某些放射性元素在蜕变时,不断放出大量的热,使地球成为一个大热库。从地面向下,随着深度的增加,温度不断提高。从地下喷出地面的温泉和火山爆发喷出的岩浆,就是地热的表现。地球上地热资源储量很大,据估计,仅地表面以下10公里范围内的地热储量,就相当于现在世界能源年消费量的400多万倍。

3. 核能

它是某些物质(如铀、钍、氘和氚等)的原子核在发生裂变或聚变反应时释放出来的巨大能量。现在许多国家建设的原子能电站,就是使用铀原子裂变时放出来的能量。原子核聚变放出来的能量更多,海洋里可供原子核聚变的氘和氚,能够释放出来的能量,按目前的能量消耗水平,可以供给全世界使用1 000亿年。

4. 潮汐能

地球和月亮、太阳之间有规律的运动,造成相对位置周期性的变化,它们之间的引力,使海水涨落形成了潮汐能。这一类能源和上述三类相比,数量少得多,大约相当于32亿吨标准煤所含的能量。

地球上的能源按照其来源也可概括成三类:第一类是来自地球以外天体的能量,其中最主要的如上所述是来自太阳的辐射能,此外,还有其他恒星或天体发射到地球上的各种宇宙射线的能量。

第二类是地球本身蕴藏的能量,如地球内部的热能以及海洋和地壳中储存的原子核能。第三类是由于地球和其他天体相互作用而产生的能量,如潮汐能。

在自然界中天然存在的,没有经过加工或者转换的能量称之为一次能源,如煤炭、石油、天然气、太阳能、风能、地热、核能等。为了满足生产和生活的特定需要,为了便于输送和使用,为了提高劳动生产率和能源利用效率,自然界现成的能源,除有些也可直接使用外,通常需要经过加工以后再加以使用。由一次能源加工转换而成的能源产品,一般称为二次能源,如电力、煤气、蒸汽及各种石油制品等等。表1-1列出了一次能源与二次能源的范围。

表1-1 一次能源与二次能源

一次能源			二次能源		
煤炭	风能	海洋能	电力	蒸汽	柴油
石油	太阳能	波浪能	焦炭	沼气	重油
天然气	水力	核能	煤气	酒精	煤油
油页岩	生物能	地热	氢能	汽油	液化气

在自然界中有一些能源能够再生,如太阳能和由太阳能转换而成的水力、风能、生物能等等,它们都可以循环再生,不会因长期使用而减少,所以称它们为再生能源。还有一些能源是不能循环再生的,如煤炭、石油、天然气、核燃料等等,用一些就少一些,所以称其为非再生能源。再生能源与非再生能源如表1-2所示。

表1-2 再生能源与非再生能源

再生能源			非再生能源	
太阳能	波浪能	地热	煤炭	油页岩
生物能	风能	潮汐能	石油	核能
海洋能	水力	草木燃料	天然气	

有一些能源为人类所利用的时间已很长,为人们所熟悉,而且也是当前主要能源和应用范围广的能源,这些能源称它们为常规能源,如煤炭、石油、天然气、水力、电力等等。有一些能源近二三十年才逐渐为人们所重视,新近才开始利用,在目前使用的能源中所占的比例很小,但很有发展前途,今后将愈来愈重要,我们称它们为新能源(即非常规能源,有时亦称做替代能源)。常规能源与新能源是相对而言,现在的常规能源在过去也曾是新能源,今天的新能源将来又要成为常规能源。例如核裂变能应用于核电站,在我国已有数座核电站,核能是新能源,但在国外除快中子反应堆与核聚变外,许多国家已把核能作为常规能源。即使对于常规能源,目前也正在研究新的利用技术,如磁流体发电,就是利用煤炭、石油、天然气作燃料,使气体加热成高温等离子体,在通过强磁场时直接发电。又如风能、生物能以及某些地方的地热水(如温泉),使用已有多年历史,但过去未被重视作为一种能源看待,近年来又开始加以利用,很有发展前途,因此各国现在一般把它们作为新能源,或称之为代替常规能源的替代能源。常规能源与新能源的分类列于表 1-3 中。

表 1-3 常规能源与新能源

常规能源				新能源		
煤炭	水力	焦炭	煤油	太阳能	生物能	核裂变
石油	电力	蒸汽	重油	风能	波浪能	核聚变
天然气	酒精	汽油	液化气	地热	潮汐能	
油页岩	煤气	柴油		海洋温差	氢能	

§ 1.3 能源的转化和利用

能源在一定条件下能够转换成人们所需要的各种形式的能

量。例如煤炭,加热到一定的温度,就和空气中的氧气化合而燃烧,并放出大量的热量。我们可以直接利用热来取暖,也可用热来生产蒸汽,用蒸汽推动蒸汽机转变为机械能;也可推动汽轮发电机转变成电能,把电送到工厂、农村、城市;电能又可通过电动机、电灯或电灶等转换为机械能、光或热。又如太阳能,它照射到集热器中,使水加热可供取暖或供应热水,也可产生蒸汽以发电;太阳能还可以直接通过光电池转换为电能。流水推动水轮机可以产生机械能,也可以通过水轮发电机转换为电能。石油制品汽油、柴油,在内燃机中燃烧转换为机械能,是驾驶汽车和拖拉机的动力。风力驱动风力发动机,在农村中可以拖动水泵以抽水,也可以带动发电机发出电力。图1-1示出目前各种主要能源及其转化和应用的情况。

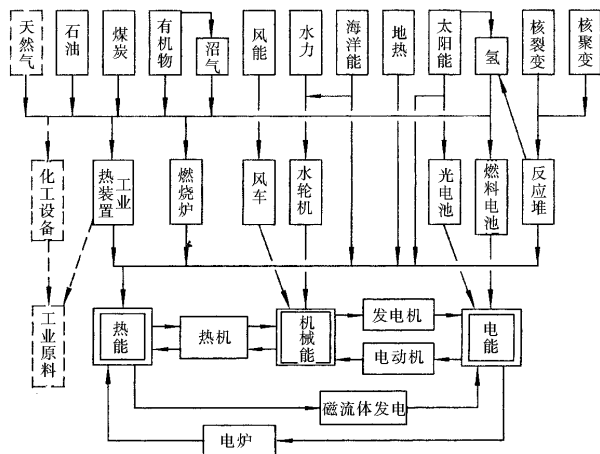


图 1-1 能源的转化和应用

图中最上面一排是直接来自自然界的能源,即一次能源;其中左边的三种能源(煤炭、石油、天然气)及水力是常规能源,右边的那些能源近年来才开始重视利用是新能源。常规能源中的天然气、石油和煤炭是由远古的动植物化石演变而成的燃料,所以有时也统称为化石燃料,它们是目前的主要能源。

天然气、石油、煤炭、有机物及由有机物产生的沼气、由太阳能和核裂变从水中产生的氢等,除一部分(图中虚线)作为原料使用外,绝大部分都在各种炉子和工业热装置中通过燃烧转化为热能。核能则通过反应堆转化为热能。此外还可以从地热、太阳能中直接得到热能。水力可以通过水轮机、风力可以通过风力发动机而直接转化成机械能。使用光电池或燃料电池,可以从太阳能或各种燃料得到电能。但是由于经济上的原因,实际上目前绝大多数电能都是通过发电机从机械能转化过来的。电比较容易通过电动机或电炉等再转化为机械能或热能,而且输送方便,因此电是使用最方便的能量方式。

目前实际用量最大的三种能量形式——热能、机械能、电能,都是可以通过一定的设备如热机等相互转化的。因为大多数一次能源都先经过热的形式,或直接使用,或通过热机转化为机械能和电能使用,因而在能量转换系统中,各种炉子和热机是中心部分。炉子主要是锅炉、工业窑炉,热机主要是蒸汽机、汽轮机、内燃机。

§ 1.4 能源的评价

能源有很多种,各有优缺点,应当具体分析和研究它们的现实性、可用性与经济性。对能源的评价可从以下几个方面来进行分析:

1. 能流密度

能流密度是指在一定空间或面积内,从某种能源实际所能得到的能量或功率。显然,如果能流密度很小,现在就很难用作主要