



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

能源工程概论

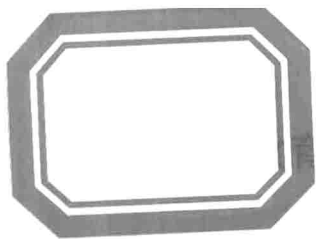
王家臣 仲淑姮 张 麟 唐龙海 编

NENGYUAN GONGCHENG GAILUN



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press



“十一五”国家级规划教材

能源工程概论

王家臣 仲淑姮 张 麟 唐龙海 编

中国矿业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

能源工程概论/王家臣等编. —徐州:中国矿业
大学出版社,2013.7

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1870 - 4

I. ①能… II. ①王… III. ①能源—概论 IV.
①TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 079984 号

书 名 能源工程概论
编 者 王家臣 仲淑姮 张 骢 唐龙海
责任编辑 姜志方
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 16 字数 400 千字
版次印次 2013 年 7 月第 1 版 2013 年 7 月第 1 次印刷
定 价 30.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

能源、空气、水、食物和阳光是人类赖以生存的五大要素,而且随着社会发展以及化石能源的不可再生性,能源问题越来越突出,其重要性也更加凸显。为了普及能源知识,针对高等院校地矿类学科专业特点,在中国矿业大学(北京)使用了多年讲义的基础上,编写了这本《能源工程概论》。本书也是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,内容主要包括能源和能源的利用史,煤炭开发与利用,石油与天然气开采,水能开发与利用和新能源等。

本书的参考学时是 48 学时,各院校可根据各自专业特点,选择不同的教学内容。

本书由王家臣、仲淑姮、张麟、唐龙海共同编写,其中王家臣任主编。具体编写人员分工如下:王家臣第一章、第二章 1~7 节,仲淑姮第二章 8~10 节、第三章、第五章,张麟、唐龙海第四章,全书由王家臣、仲淑姮进行统稿。

本书编写过程中,编者参考和引用了许多文献资料及他人研究成果,尽可能地列入了书后面的参考文献,在此表示感谢,若有个别遗漏,表示歉意。

由于编者知识水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者提出宝贵意见。

编者

2013 年 1 月

目录

1 能源和能源利用史	1
1.1 能源概念	1
1.2 能源分类与利用史	4
1.3 我国能源特点	8
2 煤炭开发与利用	10
2.1 概述	10
2.2 煤炭成因与工业用途	13
2.3 煤炭开采的基本概念	22
2.4 煤炭地下开采技术	24
2.5 煤炭露天开采技术	36
2.6 绿色矿山建设	42
2.7 煤层气开采	51
2.8 煤炭利用的洁净	60
2.9 煤炭的二次能源开发	76
2.10 煤的能源综合利用模式	117
3 石油与天然气开采	121
3.1 石油和天然气成因	121
3.2 石油和天然气开采	154
3.3 油气储运技术	166
4 水能开发与利用	187
4.1 水循环与水能资源	187
4.2 水电能资源利用原理	193
4.3 水电能资源开发的基本方式	199
4.4 我国水电能资源现状	201
4.5 三峡水电站介绍	205
4.6 小水电开发与利用	208

5 新能源开发	211
5.1 核能开发	211
5.2 太阳能开发	218
5.3 风能开发	221
5.4 海洋能开发	229
5.5 天然气水合物	231
5.6 地热能开发	234
5.7 生物质能开发	239
5.8 氢能开发	240
参考文献	246

1 能源和能源利用史

1.1 能源概念

1.1.1 能源定义

能源(Energy Source),亦称能量资源或能源资源,就是能量的来源,是向自然界提供能量转化的物质,是指为人类提供电能、热能、机械能、化学能等的物质资源。能源是在一定条件下可转换成人类所需的燃料或动力来源的物质。能源既包括煤、石油、天然气、煤层气、水能等常规能源,也包括太阳能、风能、生物质能、地热能、海洋能和核能等新能源。有些能源储量非常有限,如煤炭、石油等,不能再生;有些能源如水能、太阳能、风能、生物质能等,是可以再生的。随着人类社会生产和科学技术的发展,能源的范围也将不断扩大。

人类发展的历史进程与能源密切相关。回顾人类发展历史,每一次高效的新能源利用,都会使社会进入一个新时代,产生一次新飞跃。人类对能源的利用是从薪柴燃火开始的。火为原始人提供了温暖、光明和熟食,也是人们防御和围猎动物的工具。随着社会发展和需要,人类社会从古代的薪柴时代逐渐进入了煤炭时代和石油时代。

能源的计量通常以标准煤或油当量为单位,即按石油或煤的热当量值计算各种能源的能源计量单位。国际能源机构(IEA)规定,1 kg 油当量(1 kgoe)=10 000 kcal/kg=41 868 kJ/kg 或 41.9 GJ/t;1 kg 煤当量(1 kgce)=7 000 kcal/kg=29 307 kJ/kg 或 29.3 GJ/t。按照热值计算,1 油当量相当于 1.429 煤当量,此规定适用于经济合作与发展组织和联合国统计能源,因此世界通用。

目前国际上通常采用油当量。煤炭、原油和天然气换算成油当量或煤当量的系数,各国都不相同,而且按品种和用途细分,并随时间变化。例如,据以计算换算系数的发电用煤的热值,2005 年加拿大为 7 127 kcal/kg(29.79 MJ/kg),澳大利亚为 6 600 kcal/kg(27.59 MJ/kg),日本为 5 795 kcal/kg(24.22 MJ/kg),美国为 5 556 kcal/kg(23.22 MJ/kg)。

我国仍采用标准煤(即煤当量)作为计算各种能源的计量单位。1 kg 标准煤=29.3 MJ/kg。国标中原煤换算成标准煤时,换算系数为 0.714;原油的换算系数为 1.429;天然气换算系数为 1.33。

能源效率是指单位能源所带来的经济效益多少,也就是能源利用效率,可用单位产值能耗、单位产品能耗、单位建筑面积能耗等指标来度量。

1.1.2 能源重要性

在当今世界,能源的发展、能源和环境是全世界、全人类共同关心的问题,也是我国社会

经济发展的重要问题。近 20 a 来,引起国际社会争端的基本诱因主要是能源,或者说,大部分国际社会争端和战争的诱因是争夺能源。可以预见,能源将成为制约社会发展的最关键因素之一,未来国家命运取决于对能源的掌控。能源的开发和有效利用程度以及人均消费量是生产技术和生活水平的重要标志。

能源是国民经济发展的基础,是人类赖以生存的五大要素之一(阳光、空气、水、食物、能源),也是 21 世纪的热门话题。社会的进步和发展离不开能源。过去的 200 多年,建立在煤炭、石油、天然气等化石能源基础上的能源体系极大地推动了人类社会的发展。然而,近些年来,人们也看到了化石能源开采过程中所带来的一些不良后果,如资源日益枯竭,环境不断恶化,水资源遭到破坏等,因此进入 21 世纪后,全球范围内都在广泛开展新能源研究,努力寻求一种清洁、安全、可靠的可持续能源系统,这也是全球的未来能源发展战略。然而新的可再生能源系统的建立是一个长期的过程,要想使其成为能源开发与消费的主体,至少需要数十年,甚至上百年的时间。目前世界范围内仍然以化石能源为主,其在能源消费总量构成中占 90% 以上。因此在今后一个相当长的时间内,化石能源的开采与利用仍然是能源开发与消费的主体,并占有统治地位。世界范围内一次能源消费中,石油 40%,煤炭 27%,天然气 23%,核电 7%,水电 3%。我国的一次能源消费结构见表 1-1 所列。

表 1-1 我国一次能源消费结构(%)

年份	原油	天然气	煤	核能	水力发电	再生能源	能源消费总量(油当量)/Mt
2003	22.1	2.4	69.3	0.8	5.3		1 204.2
2004	22.4	2.5	68.7	0.8	5.6		1 423.5
2005	20.9	2.6	69.9	0.8	5.7		1 566.7
2006	20.4	2.9	70.2	0.7	5.7		1 729.8
2007	19.5	3.4	70.5	0.8	5.9		1 862.8
2008	18.8	3.6	70.2	0.8	6.6		2 002.5
2009	17.7	3.7	71.2	0.7	6.4	0.3	2 187.7
2010	17.6	4.0	70.5	0.7	6.7	0.5	2 432.2

据 BP(英国石油公司)发布的《世界能源统计回顾 2011》。

我国是世界上能源生产与消费大国,2010 年能源消费量已经超过美国,跃居世界第一位。一次能源消费总量排名世界前十位的国家依次是中国、美国、俄罗斯、印度、日本、德国、加拿大、韩国、巴西、法国,见表 1-2。2010 年,我国一次能源消费量为 24.32×10^8 t 油当量,同比增长 11.2%,占世界总消费量的 20.3%。美国一次能源消费量为 22.86×10^8 t 油当量,同比增长 3.7%,占世界总消费量的 19.0%。中、美这两个世界最大的能源消费国消费的能源占世界消费总量的 39.3%。

分区域来看,亚太地区能源消费量居各区域之首,达到 45.74×10^8 t 油当量,占世界消费总量的 38.1%,同比增长 8.5%,增速也居各区域之首,显示了亚太地区是世界经济最活跃的地区。欧洲和欧亚大陆居第二位,能源消费总量为 29.72×10^8 t 油当量,占世界的 24.8%,同比增长 4.1%。北美地区能源消费量为 27.72×10^8 t 油当量,占世界的 23.1%,同比增长 3.3%。这三大区域消费的能源就占了世界总量的 86%。

表 1-2 2005~2010 年世界一次能源消费量(油当量)排行(单位: Mt)

排名	国家与地区	2005	2006	2007	2008	2009	2010	比 2009 增长/%	占世界比重/%
1	中国	1 691.5	1 858.1	1 996.8	2 079.9	2 187.7	2 432.2	11.2	20.30
2	美国	2 351.2	2 332.7	2 372.7	2 320.2	2 204.1	2 285.7	3.7	19.00
3	俄罗斯	657.4	675.3	685.8	691.0	654.7	690.9	5.5	5.80
4	印度	364.0	381.4	414.5	444.6	480.0	524.2	9.2	4.40
5	日本	527.2	528.3	523.6	516.2	473.0	500.9	5.9	4.20
6	德国	333.2	339.5	324.2	326.8	307.4	319.5	3.9	2.70
7	加拿大	325.3	323.6	329.0	326.6	312.5	316.7	1.3	2.60
8	韩国	220.6	222.7	231.3	235.3	236.7	255.0	7.7	2.10
9	巴西	207.2	212.7	225.4	235.1	234.1	253.9	8.5	2.10
10	法国	261.2	259.2	256.7	257.8	244.0	252.4	3.4	2.10
11	伊朗	177.0	185.7	189.6	197.4	205.9	212.5	3.2	1.80
12	英国	228.3	225.6	218.4	214.9	203.6	209.1	2.7	1.70
13	沙特阿拉伯	152.3	158.5	165.2	179.6	187.8	201.0	7.0	1.70
14	意大利	186.2	185.4	182.4	180.7	168.3	172.0	2.3	1.40
15	墨西哥	159.0	164.9	166.2	171.2	167.1	169.1	1.2	1.40
16	西班牙	153.4	154.1	158.6	157.1	146.1	149.7	2.5	1.20
17	印度尼西亚	120.5	122.0	129.6	123.6	132.2	140.0	5.9	1.20
18	非洲其他地区	115.9	114.2	120.1	126.2	125.2	129.5	3.4	1.10
19	南非	113.5	115.4	118.0	116.2	118.8	120.9	1.7	1.00
20	中东其他地区	89.0	97.0	100.3	107.3	112.7	120.7	7.1	1.00
21	澳大利亚	117.7	124.3	125.2	124.3	125.6	118.2	-5.8	1.00
22	乌克兰	136.1	137.5	135.2	131.9	112.0	118.0	5.4	1.00

据 BP 发布的《世界能源统计回顾 2011》，占世界比重 1.00% 以上的国家和地区。

其他三个区域消费的能源仅占世界总量的 14%。其中，中东消费 7.01×10^8 t 油当量，占世界的 5.8%，同比增长 5.4%；中南美洲消费 6.12×10^8 t 油当量，占世界的 5.1%，同比增长 4.6%；非洲消费 3.73×10^8 t 油当量，仅占世界的 3.1%，同比增长 3.4%。

分区域组织来看，2010 年，OECD(经济合作与发展组织)成员国共消费了 55.68×10^8 t 油当量，占世界总量的 46.5%，同比增长 3.5%；非 OECD 成员国消费了 64.34×10^8 t 油当量，占世界总量的 53.6%，同比增长 7.5%；欧盟 27 国消费了 17.33×10^8 t 油当量，占世界总量的 14.4%，同比增长 3.2%；前苏联加盟共和国消费了 10.23×10^8 t 油当量，占世界总量的 8.5%，同比增长 5.3%。

虽然我国能源消费总量跃居世界第一位，但人均能源消费甚低，还没达到世界的平均值，约为美国的 1/5。近 30 a 来我国经济一直保持持续的高速增长，必然以消耗大量的能源来支撑。近年来，我国在提高能源效率、淘汰高能耗产业和企业等方面取得了长足进步，但是我国的能源效率与先进国家相比仍有很大差距，能源消费的增长速率仍然高于经济增长

速率。在未来,即使降低能耗,充分发挥能源效率,走节约化发展的道路,但我国经济总量巨大,已经排在世界第二位,未来经济的高速增长,也必然对能源的需求呈现强劲的增长趋势。

能源服务于生产与生活的各个行业,但是由于行业差异,对能源的消费有很大不同,表 1-3 是我国不同行业 2007 年所消费的能源比例。

表 1-3 2007 年我国各行业的能源消费量

排 名	行 业	消费量(标准煤)/Mt	比例/%
1	制造业	1 562.188 0	58.83
2	生活消费	267.897 1	10.09
3	交通运输、仓储和邮政业	206.433 7	7.77
4	电力、煤气及水生产和供应业	198.927 2	7.49
5	采掘业	140.557 7	5.29
6	农、林、牧、渔、水利业	82.445 7	3.10
7	批发、零售业和住宿、餐饮业	59.621 1	2.24
8	建筑业	40.314 4	1.52
9	其他行业	97.444 0	3.67

1.2 能源分类与利用史

1.2.1 能源分类

能源种类繁多,经过人类不断的开发与研究,更多新型能源已经开始能够满足人类需求。根据不同的划分方式,能源也可分为不同的类型。以能源根本蕴藏方式的不同,可将能源分为三大类:

第一类能源是来自地球外部天体的能源(主要是指太阳能)。人类现在使用的能量主要来自太阳能,故太阳有“能源之母”的说法。现在,除了直接利用太阳的辐射能之外,还大量间接地使用太阳能。例如目前使用最多的煤、石油、天然气等化石资源,就是千百万年前绿色植物在阳光照射下经光合作用形成有机质而长成的根茎及食用它们的动物遗骸,在漫长的地质变迁中所形成的。此外如生物质能、风能、海洋能等,也都是太阳能经过某些方式转换而形成的。

第二类能源是地球自身蕴藏的能量。这里主要指地热能资源以及原子能燃料,还包括地震、火山喷发和温泉等自然呈现出的能量。据估算,地球以地下热水和地热蒸汽形成储存的能量,是煤储能的 1.7×10^8 倍。地热能是地球内放射性元素衰变辐射的粒子或射线所携带的能量。此外,地球上的核裂变燃料(铀、钍)和核聚变燃料(氘、氚)是原子能的储存体。即使将来每年耗能比现在多 1 000 倍,这些核燃料也足够人类用 100×10^8 a。

第三类能源是地球和其他天体引力相互作用而形成的。这主要指地球和太阳、月球等天体间有规律运动而形成的潮汐能。地球是太阳系的八大行星之一。月球是地球的卫星。由于太阳系其他七颗行星或距地球较远,或质量相对较小,结果只有太阳和月亮对地球有较

大的引力作用,导致地球出现潮汐现象。海水每日潮起潮落各两次,这是引力对海水做功的结果。潮汐能蕴藏着极大的机械能,潮差常达十几米,是雄厚的发电原动力。

能源还可按相对比较方法进行分类,可分为一次能源和二次能源、可再生能源和非可再生能源、传统能源和新能源、燃料能源与非燃料能源等。

1.2.1.1 一次能源与二次能源

一次能源是指直接取自自然界,没有经过加工转换的各种能量和资源,包括原煤、原油、煤层气、天然气、油页岩、页岩气、核能、太阳能、水能、风能、波浪能、潮汐能、地热、生物质能和海洋温差能等。

二次能源是指无法从自然界直接获取,由一次能源加工转化而便于人类使用的能源。二次能源包括电能、氢能(也可以将其列为新能源)、汽油、煤油、柴油、煤气(地下气化生成的也可列为新能源)、液化气、人工 CH_4 、火药、酒精、硝酸甘油等。

二次能源是联系一次能源和能源用户的中间纽带。二次能源又可分为“过程性能源”和“含能体能源”。当今电能就是应用最广的“过程性能源”;柴油、汽油则是应用最广的“含能体能源”。由于目前“过程性能源”尚不能大量地直接贮存,因此汽车、轮船、飞机等机动性强的现代交通运输工具就无法直接使用从发电厂输出来的电能,只能采用像柴油、汽油这一类“含能体能源”。可见,过程性能源和含能体能源是不能互相替代的,各有自己的应用范围。随着传统能源的短缺,人们就将目光投向寻求新的“含能体能源”。

1.2.1.2 可再生能源和非可再生能源

在自然界中可以不断再生并有规律地得到补充的能源,称之为可再生能源。可再生能源包括太阳能、水能、风能、生物质能、波浪能、潮汐能、海洋温差能等,它们在自然界可以循环再生,不会因长期使用而减少。经过亿万年形成的、短期内无法恢复的能源,称之为非可再生能源。非可再生能源包括原煤、原油、天然气、煤层气、油页岩、页岩气、核能等,它们是不能再生的。其中,煤炭、石油和天然气是千百百万年前埋在地下的动植物遗骸经过漫长的地质年代形成的,又称为化石能源。它们是当今世界一次能源的三大支柱,构成了全球能源家族结构的基本框架。它们随着大规模开采利用,其储量越来越少,总有枯竭之时。

1.2.1.3 传统能源与新能源

传统能源又称为常规能源。它是指在相当长的历史时期和一定的科学技术水平下,已经被人类大规模生产和广泛利用的能源,如煤炭、石油、天然气、水能、电能、核裂变能等。

新能源是指传统能源之外的各种能源形式,指刚开始开发利用或正在积极研究、有待推广的能源,如太阳能、地热能、风能、海洋能、生物质能和核聚变能等。相对于常规能源而言,在不同的历史时期和科技水平情况下,新能源有不同的内容。

根据上述分类,将各种能源简单列表于表 1-4。

1.2.2 能源利用史

人类社会的发展史也是一部对能源的利用史,对能源的利用程度也反映了人类社会的进步与文明程度。一般说来,对能源的认识和开发利用过程可分为四个时期,即薪柴时期、煤炭时期、石油时期、多种能源并存时期。顾名思义,不同的能源时期反映了不同时期的主导能源开发和使用情况。

表 1-4

能源分类简表

类 别		来自地壳内部的能源	来自地壳外部的能源
一次能源	可再生能源	地热能	太阳能、风能、水能、生物质能、海水温差能、海洋波浪能、海水盐差能
	非可再生能源	核能、煤炭、石油、天然气、油页岩、煤层气	
二次能源	焦炭、煤气、电力、氢、蒸汽、酒精、汽油、柴油、煤油、电石、液化气		

1.2.2.1 薪柴时期

薪柴时期,即以“薪柴”作为主导能源的时期。作为可直接利用的燃料,薪柴的利用贯穿着整个人类的文明发展史。人类从原始穴居开始,以树枝、杂草等生物能源作为原料,用于熟食和取暖,并以人力、畜力和一些简单的水力、风力机械等自然资源取得动力,从事日常的生产活动。以生物质能为主要能源的薪柴时期延续了漫长的时间,利用薪柴使人们摆脱了完全依附自然生存的状态,开拓了物质文明的新局面。薪柴的广泛使用,适应了以刀耕火种为特征的早期农耕文明发展的需要。在漫长的岁月里,人类一直以柴草作为能量的主要来源。几千年来,能源利用上没有什么突破,人类社会的进步也不大。从世界范围来说,19世纪末以前,许多国家都处于薪柴时期。1860年,在世界能源消费中,薪柴和农作物秸秆占世界能源总消费的73.8%,而煤炭仅占25.3%。

薪柴主要来自于对森林资源的砍伐。薪柴时期的能源消耗主要依靠燃烧木本或草本植物来获得,而这种消耗主要是用来满足人们最基本的生存需要,如熟食、取暖和照明等。

薪柴时期对森林的乱砍滥伐,对现有森林资源造成了极大的影响,在一定程度上造成了对环境的破坏。我们可以想象,由于受劳动条件制约,当时砍伐的主要是一些树苗,而且这种连续的砍伐没有给森林资源以再生的时间,导致了森林面积减少和严重的水土流失等,使大自然遭到破坏。

18世纪以后,人类对煤炭资源的发现和利用,使社会经济步入了新的历史阶段,但这并不能说明薪柴时期结束,即使在科学技术高度发达的今天,薪柴的利用还是相当广泛的。在第三世界国家的农村,薪柴依然为农村经济默默地贡献着。在能源相对枯竭的地区,薪柴的作用更是不容忽视。在我国广大农村中,节柴改灶的措施正在广泛展开,对森林资源的合理采伐、对水力资源的充分利用等,都是薪柴时期在现时代的延续。

1.2.2.2 煤炭时期

人类开发利用煤炭资源的历史悠久。早在2500多年前的我国东周时期,就已经有了利用煤炭的记载,西汉时期出现利用煤炭炼铁,600a前就有用焦炭炼铁的记载。18世纪60年代,产业革命从英国开始爆发,使能源结构发生了第一次革命性变化,能源消费开始进入煤炭时代。1881年美国的爱迪生建成了世界上第一个发电站,同时还研制成功了实用的发电机和电灯,电力被广泛应用,人类社会进入了电气化时代,极大地促进了煤炭的应用。在1860~1910年的半个世纪里,煤炭的消费总量增加了37.3倍,由占全世界能源的25.3%增长到63.5%,而柴草却由占73.8%下降到31.7%。煤炭的广泛应用象征人类进入工业化的时代。至今,煤炭仍是人类利用的重要能源之一。

煤炭既可以作为动力燃料,又是化工和制焦炼铁的原料,故有“工业粮食”之称。工业界

和民间常用煤炭作为燃料以获取生产和生活所需的热量或动力。世界历史上,揭开工业文明篇章的瓦特蒸汽机,便是以煤炭作为燃料驱动的。煤炭燃烧产生的热能转化为电能,通过输电设备进行长途输运,输送到厂矿企业及家庭,为生产、生活提供更高品质的能源。以煤炭为原料的火力发电,占我国电力结构的比重很大,同时也是世界电能的主要来源之一。在世界电力生产中,燃煤发电高居首位。我国煤炭产量的 1/3 以上用于发电,美国煤炭产量的 70% 用于发电。

我国的能源消费结构长期以来一直以煤炭为主,这是能源消费的一大特征。近几年,在我国一次能源的产量、消费量及构成中,尽管煤炭生产与消费量的比例有所下降,但煤炭消费的主导地位没有改变。预计到 2050 年煤炭在一次能源消费中的比例仍将在 50% 以上,因此在一定的时期内,煤炭在我国一次能源中仍将占有重要地位。

1.2.2.3 石油时期

19 世纪末 20 世纪初的第二次科技革命,使内燃机开始走上了历史舞台,以内燃机为动力设备的机车开始大规模地进入人类社会,20 世纪汽车和飞机的普遍使用,极大地促进了石油工业的迅速发展,石油在整个能源结构中所占的比重也在不断上升。1859 年美国打出第一口油井。第二次世界大战后的十几年间,发达国家基本完成了石油代替煤炭成为首要能源的历史性变革。1967 年石油在一次能源中的比例达到 40.4%,超过了煤炭(38.8%),从此能源的消费步入了石油时期。石油的广泛利用,人类创造了伟大的文明。

石油时期大体可以概括为三个阶段:

① 煤油时代:近代石油工业从 19 世纪 50 年代开始缓慢发展起来,当时人们仅从石油中提炼煤油,用来点灯照明。煤油灯成为昔日世界上最时髦、最明亮的灯。至于石油中比煤油轻的汽油组分和比煤油重的其他组分,则被当做易燃易爆的危险品或者是脏、臭的废品而弃之。

② 汽油时代:1878 年内燃机研制取得成功,1885 年第一台汽车问世,而最初的汽车被称为自动车,因为汽车的发动机是通过燃烧汽油或柴油产生动力的,所以简称为汽车。大量的汽车需要汽油燃料,汽车问世之后相继出现的摩托车、螺旋桨飞机、汽艇等同样也是使用内燃机提供动力,它们也需要汽油作为燃料。但石油组分中汽油的含量有限,于是把别的组分加热裂化成汽油组分的裂化工艺应运而生,从而促进了石油工业的发展。1900~1940 年,石油主要用来提炼汽油,因此称为汽油时代。

③ 燃料和化工原料时代:1940 年以后,以石油产品作为优质原料,化学工业逐渐形成了新兴的以石油和天然气为原料的石油化学工业。1951~1967 年,美国等发达国家基本完成了石油代替煤炭成为首要能源的历史性变革;近代喷气式飞机和航天事业的发展,要求更高质量的石油产品作为燃料,在这样的背景下,石油工业发展到了燃料和化工原料时代。

一般认为,在今后的几十年内,随着世界探明石油天然气储量的增加,以及石油天然气田采收率的提高,石油天然气作为主要能源的地位不会改变。从世界石油天然气能源的发展趋势看,待发现的常规石油资源仍有很大的潜力,未来的能源结构中,以煤炭、石油和天然气等为支柱能源的局面很可能发生改变。常规原油、重油和超重油、天然气等油气烃类资源,以及核能、太阳能等新能源,将各自成为一大能源支柱。但这种变化不仅不会削弱石油在能源结构中的地位,反而恰恰证明石油时期将得以延续。

1.2.2.4 多种能源并存时期

随着社会的发展,对能源的需求持续增长,家庭生活水平提高,人均能源消费量逐步提高,传统的化石能源难以持续地满足人类社会对能源的需求,同时化石能源的开采过程中对环境的破坏和扰动严重,因此从长远来看,能源发展必须逐渐过渡到可持续的轨道上来。事实上,在经济高速增长的今天,整个社会面临着经济增长和环境保护的双重压力,采用洁净能源和可持续能源是必然和被迫的选择。

各国的能源消耗都是多元化发展的,其中风力发电和太阳能发电增长比较迅速,而煤炭和石油几乎处于停滞状态。能源发展的趋势正向着洁净能源和可持续能源发展的方向,建立多种能源并存的能源体系,发挥每种能源自身的优势服务于不同的行业是目前和未来的能源系统的根本框架。

1.3 我国能源特点

1.3.1 能源结构特点

在当今的世界能源结构中,煤炭资源储量丰富,而石油、天然气相对贫乏。中国更是一个相对富煤、贫油、少气的国家。在 21 世纪前 50 a 内,世界能源的发展趋势仍将以化石燃料为主。随着石油、天然气资源的日渐短缺和洁净煤技术的进一步发展,煤炭的重要地位和地位还会逐渐提升。根据我国资源状况和煤炭在能源生产及消费结构中的比例,以煤炭为主体的能源结构在相当长一段时间内不会改变。我国能源资源的基本特点(富煤、贫油、少气)决定了煤炭在一次能源中的重要地位。我国煤炭资源总量为 5.6×10^{12} t,其中已探明储量为 1×10^{12} t,占世界总储量的 11%(石油占 2.4%,天然气占 1.2%)。我国常规能源(包括煤、油、气和水能,按使用 100 a 计算)探明总资源量中,煤炭占 87.4%,石油占 2.8%,天然气占 0.3%,水能占 9.5%。煤炭在我国能源资源中占绝对优势,油气资源量很少。

新中国成立以来,煤炭在全国一次能源生产和消费中的比例长期占 70% 左右,见表 1-1 和表 1-5。

表 1-5 我国“十一五”期间的主要能源生产结构

能源类别	年 份				
	2006	2007	2008	2009	2010
煤 炭/%	77.8	77.7	76.8	77.3	77.2
石 油/%	11.3	10.8	10.3	9.9	9.6
天 然 气/%	3.4	3.7	4.1	4.1	4.1
水 电 + 核 能/%	7.5	7.8	8.6	8.7	8.8

截至 2005 年底,世界和我国主要化石能源的探明储量见表 1-6。表 1-6 表明,我国能源总体形势不容乐观,与世界相比,资源量偏少,尤其是人均能源资源量更少,煤炭、石油和天然气人均剩余可采量分别只有世界平均水平的 58.6%、7.69% 和 7.05%,但相对而言,煤炭是我国最安全、最经济、最可靠的能源。我国煤炭资源总量远远超过石油和天然气资源;随

着高新技术的推广应用,煤炭生产成本正在并将继续降低;洁净煤技术已取得重大突破。这都将使煤炭成为廉价、洁净、可靠的能源。目前,世界石油价格居高不下,煤炭的成本优势更加明显。

表 1-6 世界和我国化石能源探明储量

能源类别	详查储量		储采比		中国占世界储量/%
	世界	中国	世界	中国	
煤 炭	$9\ 090 \times 10^8\ \text{t}$	$1\ 145 \times 10^8\ \text{t}$	155	52	12.6
石 油	$1\ 635 \times 10^8\ \text{t}$	$21.8 \times 10^8\ \text{t}$	40.6	12	1.3
天然气	$179 \times 10^{12}\ \text{m}^3$	$2.35 \times 10^{12}\ \text{m}^3$	65	47	1.3

1.3.2 能源储量与分布特点

① 我国能源资源总量比较丰富。中国拥有较为丰富的化石能源资源。其中,煤炭占主导地位。2006年,煤炭保有资源量 $10\ 345 \times 10^8\ \text{t}$, 剩余探明可采储量约占世界的 13%, 列世界第三位。已探明的石油、天然气资源储量相对不足, 油页岩、页岩气、煤层气等非常规化石能源储量潜力较大。中国拥有较为丰富的可再生能源资源。水力资源理论蕴藏量折合年发电量为 $6.19 \times 10^{12}\ \text{kW} \cdot \text{h}$, 经济可开发年发电量约 $1.76 \times 10^{12}\ \text{kW} \cdot \text{h}$, 相当于世界水力资源量的 12%, 列世界首位。

② 人均能源资源拥有量较低。中国人口众多, 人均能源资源拥有量在世界上处于较低水平。煤炭和水力资源人均拥有量相当于世界平均水平的 50%, 石油、天然气人均资源量仅为世界平均水平的 1/15 左右。耕地资源不足世界人均水平的 30%, 制约了生物质能源的开发。

③ 能源资源赋存分布不均衡。中国能源资源分布广泛但不均衡。煤炭资源主要赋存在华北、西北地区, 水力资源主要分布在西南地区, 石油、天然气资源主要赋存在东、中、西部地区 and 海域。中国主要的能源消费地区集中在东南沿海经济发达地区, 资源赋存与能源消费地域存在明显差别, 形成了逆向分布。大规模、长距离的北煤南运、北油南运、西气东输、西电东送, 是中国能源流向的显著特征和能源运输的基本格局。

④ 能源资源开发难度较大。与世界相比, 中国煤炭资源地质开采条件较差, 大部分储量需要井工开采, 极少量可供露天开采。石油天然气资源地质条件复杂, 埋藏深, 勘探开发技术要求较高。未开发的水力资源多集中在西南部的高山深谷, 远离负荷中心, 开发难度和成本较大。非常规能源资源勘探程度低, 经济性较差, 缺乏竞争力。

2 煤炭开发与利用

2.1 概述

2.1.1 煤炭的重要性

煤炭是世界上储量最多、分布最广的常规能源,也是最廉价的能源。据世界能源委员会的评估,煤炭占世界化石燃料可采资源量的 66.8%。在国际上,按同等热值计算,燃用天然气、石油的运行成本一般为燃用动力煤的 2~3 倍。煤炭储量最大的十个国家依次为美国、俄罗斯、中国、印度、澳大利亚、南非、乌克兰、哈萨克斯坦、波兰和巴西,见表 2-1[来自《中国能源产业图册(2006—2007)》]。

表 2-1 截至 2005 年底世界煤炭探明储量排名(前十名)

排 名	国 家	探明储量/Mt	所占世界总量份额/%	储采比/a
1	美 国	246 643	27.1	234
2	俄 罗 斯	157 010	17.3	>500
3	中 国	114 500	12.6	52
4	印 度	92 445	10.2	207
5	澳 大 利 亚	78 500	8.6	210
6	南 非	48 750	5.4	190
7	乌 克 兰	34 153	3.8	424
8	哈 萨 克 斯 坦	31 279	3.4	325
9	波 兰	14 000	1.5	90
10	巴 西	10 113	1.1	>500

煤炭资源在地球上分布很不均匀,总的来讲,北半球多于南半球。最主要的煤带分布在北半球的欧亚大陆上,从我国的华北向西经新疆,横贯哈萨克斯坦、俄罗斯、乌克兰、波兰、德国、法国直到英国(如图 2-1 所示),北美洲的美国和加拿大也有一个煤带。这两个煤带储量占全球的 96%,为西欧和北美最初的工业化生产奠定了物质基础。南半球的三块大陆数量均较少,断续分布在澳大利亚和南非,但煤质好,也是世界上重要的煤炭出口国。表 2-2 为截至 2005 年底世界各地区的化石能源储量分布、占世界的百分比和可采年限,可采年限计算是基于 2005 年能源种类产量。

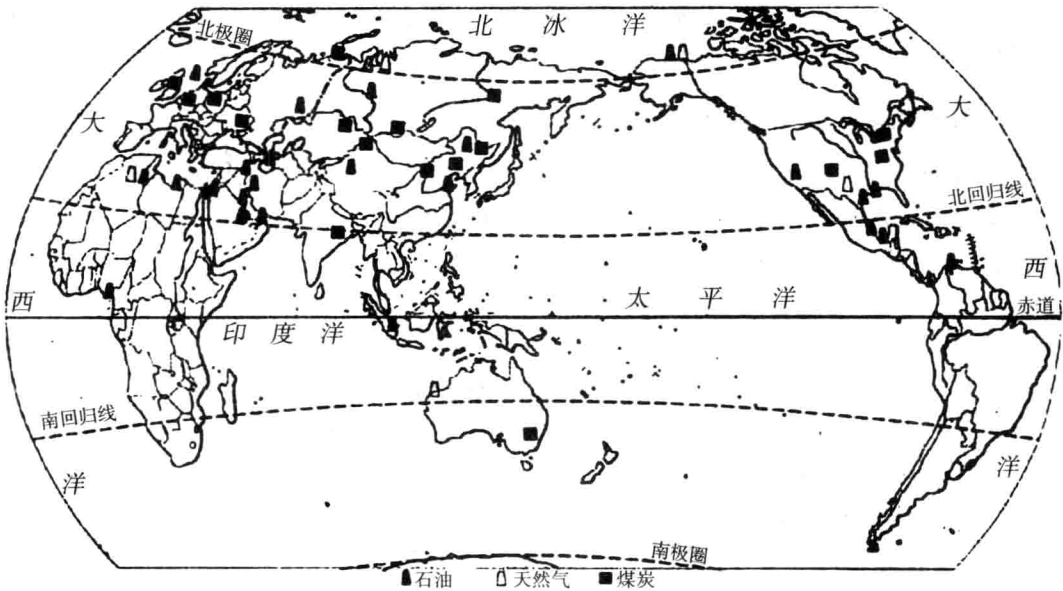


图 2-1 世界煤炭、石油、天然气分布图

表 2-2 世界各地的化石能源剩余探明储量与可采年限(截至 2005 年底)

地区	煤 炭			石 油			天 然 气		
	储 量 /Gt	占世界总 量比例/%	可采年限 /a	储 量 /Gt	占世界总 量比例/%	可采年限 /a	储 量 /Gt	占世界总 量比例/%	可采年限 /a
亚太地区	296.889	32.66	92	5.404	3.4	13.8	1.484	8.3	41.2
北美洲	254.432	27.99	231	7.807	5.0	11.9	0.746	4.1	19.9
前苏联地区	227.254	25.0	487	16.834	10.2	28.4	5.832	32.4	76.7
欧洲	59.841	6.58	82.5	2.373	1.4	8.3	0.569	3.2	18.9
非洲	50.336	5.54	200	15.202	9.5	31.8	1.439	8.0	88.3
拉丁美洲	19.893	2.19	269	14.78	8.6	40.7	0.702	3.9	51.8
中东	0.419	0.04	380.9	101.167	61.9	81	7.213	40.1	312

煤炭被人们誉为“黑色的金子”、“工业的食粮”，它是 18 世纪以来人类世界使用的主要能源之一。煤的用途非常广泛，我们的生产和生活都离不开它。由于煤的类型和用途不同，各种行业对煤的要求也不同。20 世纪以来，煤主要用于电力生产和钢铁工业中炼焦。《世界能源统计回顾 2011》报告数据显示，2010 年全球煤炭产量合计 72.73×10^8 t，较上年增长 6.3%。其中，中国煤炭产量为 32.40×10^8 t，同比增长 9.0%，占世界煤炭总产量的 48.3%。煤炭为我国提供了 70% 以上的能源生产和消费，是我国的基础能源。2012 年，我国煤炭产量达 37.5×10^8 t，占世界煤炭产量的一半以上。

虽然煤的重要位置已被石油所代替，但在今后相当长的一段时间内，由于石油日渐减少，而煤炭储量巨大，随着科学技术的飞速发展，煤炭液化、煤炭气化等新技术日趋成熟。因此，煤炭是人类生产生活中无法替代的能源之一。煤炭作为一种经济性的能源资源具有一