

绿色能源

LVSE NENGYUAN

高等学校“十二五”规划教材



市政与环境工程系列研究生教材

主 编 刘关君 李永峰 陈 红
主 审 史乃鉴



哈尔滨工业大学出版社

高等学校“十二五”规划教材·市政与环境工程系列研究生教材

绿色能源

主 编 刘关君 李永峰 陈 红
主 审 史乃鉴

哈尔滨工业大学出版社

内容提要

本书主要阐述绿色能源的基本理论及其在国内外的的发展情况,从能源的角度出发,介绍各种能源的特点以及利用前景。本书主要包括以下内容:从生物质能源的化学组成、能量生产到农作物燃料等角度出发介绍生物质能源的优越性;生物乙醇、生物柴油、生物炼制,以及生物气体的性质、利用现状、展望及生产原理工艺;从液化石油气、压缩天然气、电力、海洋能、生物可再生液体及氢气的角度出发介绍能量的转化过程;氢能的优越性和几种非传统制氢的方法;新型的制氢方法——微生物厌氧制氢、光合制氢、热化学制氢,并在此基础上详细介绍几种新型制氢方法的制氢机理,目前较新的热化学生物质制氢的方法——生物质热裂解制氢、生物质气化制氢、生物质超临界水气化制氢、光裂解水生物制氢、超临界水气化生物质制氢;储氢技术;燃料电池的工作原理、几种不同分类、与电机相比之下的优点以及在各个领域的应用,同时详细介绍质子交换膜燃料电池、直接甲醇燃料电池、磷酸燃料电池、固体氧化物燃料电池、熔融碳酸盐燃料电池以及特种燃料电池等不同燃料电池的原理、应用和发展;氢经济及氢政策。

本教材可作为高等学校环境科学、环境工程、能源工程、新能源和其他专业的高年级本科生、研究生的教学用书和科技人员的研究用书,也可作为大众的环境与能源教育用书。

图书在版编目(CIP)数据

绿色能源/刘关君,李永峰,陈红主编. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社,2012.7
ISBN 978-7-5603-3423-3

I. ①绿… II. ①刘… ②李… ③陈… III. ①无污染
能源 IV. ①TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 232207 号

策划编辑 贾学斌
责任编辑 费佳明
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 13 字数 338 千字
版 次 2012 年 7 月第 1 版 2012 年 7 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-3423-3
定 价 32.00 元



(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

《市政与环境工程系列研究生教材》编审委员会

名誉主任委员 任南琪 杨传平
主任委员 周 琪
执行主任委员 李永峰

委 员 (按姓氏笔画顺序排列)

马 放	毛宗强	王 鹏	汪大永	王文斗
王晓昌	王爱杰	冯玉杰	刘广民	刘鸣达
刘勇弟	孙德志	李文彬	李玉文	李盛贤
那东晨	陈兆波	吴晓芙	汪群慧	张 颖
张国财	季宇彬	周雪飞	赵 丹	赵庆良
赵晓祥	姜 霞	郑天凌	唐 利	徐春霞
徐菁利	黄民生	曾光明	楼国庭	蔡伟民
蔡体久	颜涌捷			

《绿色能源》编写人员

主 编	刘关君	李永峰	陈 红
主 审	史乃鉴		
参 编	王占青	刘方婧	张永娟

前 言

当今社会,能源已成为任何人都必须关注和面对的问题。本书详细介绍可再生能源种类、开发现状、资源潜力和前景预测。本书共分9章:第1章从能源的角度出发,简要介绍了各种能源的特点以及利用前景等,由李永峰编写;第2章从生物质能源的化学组成、能量生产以及农作物燃料等角度出发,阐述了生物质能源的优越性,由刘关君编写;第3章主要阐述生物乙醇、生物柴油、生物炼制,以及生物气体的性质、利用现状、展望及生产原理、工艺等,由李永峰、陈红编写;第4章从液化石油气、压缩天然气、电力、海洋能、生物可再生液体以及氢气的角度出发阐述了能量的转化过程,由刘关君编写;第5章阐述了氢气的发展历史,在当代能源短缺及可持续发展的要求下,对可再生清洁能源氢能的需求,描述了清洁能源——氢气的理化性质,并且对氢能的优越性做了对比分析,同时简要阐述了几种非传统制氢的方法,由李永峰、王占青编写;第6章介绍新型的制氢方法——微生物厌氧制氢、光合制氢、热化学制氢,并在此基础上详细阐述了几种新型制氢方法的制氢机理,介绍了目前较新的热化学生物质制氢的方法——生物质热裂解制氢、生物质气化制氢、生物质超临界水气化制氢、光裂解水生物制氢、超临界水气化生物质制氢,由刘关君编写;第7章介绍了几种常用的储氢技术,如加压气态储存、液化储存、金属氢化物储氢、非金属氢化物储存等的研究进展,并对储氢研究动向进行了简单介绍,由李永峰、刘方婧编写;第8章介绍了一种可以将贮存在燃料和氧化剂中的化学能直接转化为电能的发电装置——燃料电池,简单介绍了燃料电池的工作原理、几种不同分类、与电机相比的优点及在各个领域的应用,同时详细阐述了质子交换膜燃料电池、直接甲醇燃料电池、磷酸燃料电池、固体氧化物燃料电池、熔融碳酸盐燃料电池及特种燃料电池等不同燃料电池的原理、应用和发展,由李永峰、张永娟编写;第9章从氢经济、氢的经济成本、氢的安全以及氢政策的角度出发,阐述了氢能对汽车工业、能源工业及环境成本等方面的影响,以及各国政府对氢能政策的制定,由李永峰、刘关君编写。本书著作权代表是李永峰教授,由史乃鉴教授主审。采用本教材作为教学用书的学校和老师可以与本书著作权代表李永峰教授(mr_lyf@163.com)联系,免费提供电子课件。

本书的出版得到“上海市科委重点科技攻关项目(No. 071605122)”技术成果和资金的支持,分别由东北林业大学、上海工程技术大学、青海省生态环境遥感监测中心的专家编写,特此感谢!由于作者水平有限,书中难免存在疏漏和不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2012年3月

目 录

第1章 引 言	1
1.1 全球能源来源与能源现状	1
1.2 传统化石能源	4
1.3 非传统化石能源	9
1.4 可再生能源	11
第2章 生物质能源	23
2.1 概 述	23
2.2 生物质的化学性质	27
2.3 木质中的能量生产	29
2.4 农作物中生产的燃料	33
第3章 生物燃料	38
3.1 生物乙醇	39
3.2 生物柴油	45
3.3 生物炼制	49
3.4 生物气体	53
3.5 其他生物醇类	59
第4章 能量的转化	61
4.1 液化石油气	62
4.2 压缩天然气	66
4.3 电 力	69
4.4 海 洋 能	73
4.5 生物可再生液体	76
4.6 氢 气	82
第5章 氢 气	86
5.1 概述及氢气的历史	86
5.2 氢气的性能	95
5.3 氢能的优越性	97
5.4 传统制氢过程	100
5.5 非传统制氢过程	109
第6章 生物氢的制备	111
6.1 生物氢的概述及历史	111

6.2	厌氧发酵法制氢	115
6.3	光合作用制氢	118
6.4	热化学制氢	121
第7章	氢气的储存	135
7.1	氢能工业对储氢的要求	136
7.2	目前储氢技术	138
7.3	碳材质储氢	144
7.4	储氢研究动向	153
第8章	燃料电池	161
8.1	概 述	161
8.2	燃料电池的不同种类	164
第9章	氢经济以及氢政策	180
9.1	氢 经 济	180
9.2	氢气的经济成本	181
9.3	氢能政策	185
9.4	氢的安全	188
9.5	中国稳步走向氢能经济——中国的氢能路线图	192
参考文献		196

第1章 引言

本章提要 能源分为传统化石能源、非传统能源以及可再生能源。化石能源包括石油、煤、沥青、天然气、焦油砂等,形成化石能源的地质年龄非常早,而且化石能源是不可再生型能源。人类目前对石油等化石能源的开采方式还不能达到最大限度的利用,这造成了极大的资源浪费。同时传统的能源使用方式已造成了环境问题以及人类健康问题。可再生能源包括风能、海洋能、生物质能以及氢能等。本章从能源的角度出发,介绍了各种能源的特点以及利用前景等。

1.1 全球能源来源与能源现状

1.1.1 全球能源来源

能源是人类社会赖以生存和发展的重要物质基础。纵观人类社会发展的历史,人类文明的每一次重大进步都伴随着能源的改进和更替。能源的开发利用极大地推动了世界经济和人类社会的发展。能源在我们的日常生活中有着重要作用,影响了现代生活的方方面面。能源系统包括能源供应部门和能源终端使用技术。由于世界人口迅速增长,人们对能源的需求正在以指数速度增长。能源系统的目标是为消费者提供服务,能源的使用包括提供照明、舒适的室内温度、制冷、电信、教育和交通运输等。

能源消费有两种形式。一种是一次性直接消费,又称终端消费;另一种是加工转换消费,又称为中间消费。终端消费是指能源不用于中间加工转换,而是直接投入到各种加热、动力设备中,用于生产和非生产活动的消费,主要包括:

(1)作为原料使用的能源,指在工业生产活动中,把能源作为原料投入使用,经过一系列化学反应逐步转化为另一种新的非能源产品,如:化肥厂生产的合成氨;化工厂生产的合成橡胶等产品所消耗的天然气;煤炭、焦炭,生产染料、塑料、轻纺产品所消耗的原料油等。

(2)作为燃料、动力使用的能源,指将能源投入到各种加热、动力等设备,产生光、热、功所消费的能源。

(3)作为材料使用的能源,指一些能源的使用,只起辅助作用的消费而并不构成产品的实体,如洗涤用的汽油、柴油、煤油以及各种设备所使用的润滑油等。

(4)工艺用能,指在生产过程中既不作为原料使用,也不作为燃料、动力使用的工艺用能,如生产电石用电、电解用电等。

能源作为热、电、车用燃料的能源,是人们使用的主要形式。先进适用的节能技术,可以减少提供能源服务所需消耗的能源,从而减少能源的使用,降低环境和国家安全的成本,潜在地增加了其可靠性。

能源安全是一个国家或地区实现经济持续发展和社会进步所必需的保障。狭义的能源安全指的是液体燃料的供应安全,主要指石油供应安全。在20世纪的社会发展史中,以石油为

主的化石能源占据着举足轻重的地位。石油的供应与一个国家的外交、军事和经济等领域息息相关。

自 19 世纪 70 年代产业革命以来,化石燃料的消费量急剧增长,初期主要是以煤炭为主,进入 20 世纪以后,特别是第二次世界大战以来,石油和天然气的生产与消费持续上升。石油的消费量于 20 世纪 60 年代首次超过煤炭,占居一次能源的主导地位。尽管 20 世纪 70 年代世界经历了两次石油危机,但世界石油消费量却没有丝毫减少的趋势。此后,石油、煤炭所占比例缓慢下降,天然气的比例上升。同时,核能、风能、水力、地热等其他形式的新能源逐渐被开发和利用,形成了目前以化石燃料为主和可再生能源、新能源并存的能源结构格局。到 2003 年底,化石能源仍是世界的主要能源,在世界一次能源供应中约占 87.7%,其中石油占 37.3%、煤炭占 26.5%、天然气占 23.9%。非化石能源和可再生能源虽然增长很快,但仍保持较低的比例,约为 12.3%。

据统计,人类每年消耗掉的能源已经超过 87 亿 t 石油当量,而且这一数字正以惊人的速度(1.6%~2.0%)增长,预计到 2015 年将达到 112 亿~172 亿吨石油当量。资料表明,1991 年全球石油储量为 1 330 亿吨,按每年 30 亿吨消费计算,全球石油仅能维持到 2050 年。

过去的 200 多年中,建立在石油、煤炭、天然气等化石燃料基础上的能源体系,极大地推动了人类社会的发展。经济社会的发展以能源为重要动力,经济越发展,能源消耗越多,尤其是化石燃料消费的增加。这就有两个突出问题摆在我们面前:一是其造成的环境污染日益严重;二是地球上现存的化石燃料总有一天要枯竭。由于过快、过早地消耗了这些有限的资源,释放了大量的多余能量和碳素,直接导致了自然界的能量浪费和臭氧层被破坏、碳平衡被打破、温室效应增强、全球气候变暖和酸雨等灾难性后果。化石燃料日益枯竭和环境问题的日趋严重,使人们对不可再生的化石燃料储量的有限性和使用的局限性有了深刻的认识。

能源问题是当今世界各国都面临的、关系着国家安全和经济社会可持续发展的中心议题,已经成为全球关注的焦点。因此,人们开始把目光转移到有利于社会可持续发展的可再生能源体系方面。目前,世界能源发展已经步入一个崭新的时期,能源结构将呈现多元化的发展趋势,即世界能源结构正在经历由化石能源消耗为主向可再生能源为主的变革。在未来的能源结构中,将大力发展可再生能源的微生物转化技术,石油和煤炭的比例将逐渐下降,天然气、核能和可再生能源比例将逐渐上升。

1.1.2 全球能源现状

1.1.2.1 国内外能源消费结构比较

根据美国《油气杂志》发布的 2009 年世界油气资源储量年终统计显示,全球原油估算探明储量为 1 855.04 亿吨,而我国石油剩余可采储量为 27.9 亿吨,占世界总量的 1.5%;全球天然气探明储量 187.16 万亿立方米,其中我国占 3.11 万亿立方米,占世界天然气可采储量总量的 1.67%。就质量而言,我国能源资源以煤炭为主,按各种燃料的热值计算,在目前的探明储量下,世界能源资源中,固体燃料和液体、气体燃料的比例为 4:1,而我国则远远低于这一比值。目前,在世界能源产量中,高质量的液、气体能源所占比例为 60.8%,而我国仅为 19.1%。

2000 年,煤炭占我国能源总消费量的 70.06%,如图 1.1 所示。2004 年,中国一次能源消费总量 19.7 亿吨标准煤,比上年增长 15.2%。其中,煤炭消费量 18.7 亿吨,原油 2.9 亿吨,天然气 415 亿立方米。从人均水平来看,2004 年中国人均一次能源消费量 1.08 t 石油当量,为世

界平均水平1.63 t石油当量的66%，是美国人均8.02 t石油当量的13.4%，是日本人均3.82 t石油当量的28.1%。从能源结构来看，2004年一次能源消费中，煤炭占67.7%，石油占22.7%，天然气占2.6%，水电等占7.0%。

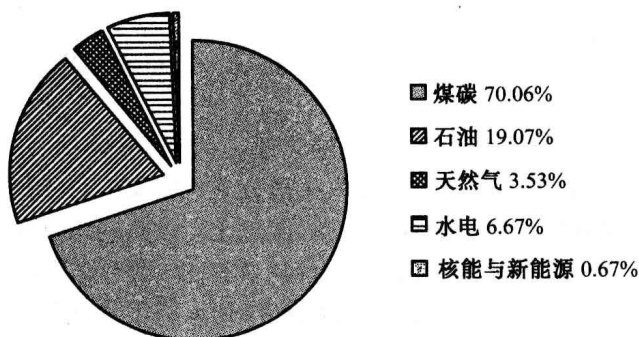


图 1.1 2000 年我国一次能源的消费结构

1.1.2.2 我国的能源现状

中国的能源蕴藏量位居世界前列，同时也是目前世界上第二位能源生产国和消费国。能源供应持续增长，为经济社会发展提供了重要的支撑。能源消费的快速增长，为世界能源市场创造了广阔的发展空间。中国已经成为世界能源市场不可或缺的重要组成部分，对维护全球能源安全，发挥着越来越重要的作用。

中国拥有丰富的化石能源资源，其中煤炭占主导地位。2006年，煤炭保有资源量为10 345亿吨，探明剩余可采储量约占世界的13%，列世界第三位。但是人均能源资源占有量和消费量远低于世界平均水平，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。由于中国能源资源具有分布广泛但不均衡的特点，使我国能源资源开发难度较大，大部分储量需要井工开采，仅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，远离使用负荷中心，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。

中国能源开发利用呈现出以下主要特点：

(1) 能源以煤炭为主，可再生资源开发利用程度较低，环境压力较大。煤炭是中国的主要能源，已探明的煤炭资源占煤炭、石油、天然气、水能和核能等一次能源总量的90%以上，煤炭在中国能源生产与消费中占支配地位，而且以煤为主的能源结构在未来相当长时期内难以改变。在世界能源由煤炭为主向油气为主的结构转变过程中，中国仍是世界上极少数几个能源以煤为主的国家之一。煤炭消费是造成煤烟型大气污染的主要原因，同时也是温室气体排放的主要来源。

(2) 能源消费总量不断增长，能源利用效率较低。随着经济规模的不断扩大，中国的能源消费呈持续上升趋势。但是中国能源资源分布不均，也增加了持续稳定供应的难度；优质能源资源相对不足，制约了供应能力的提高；经济增长方式粗放、能源结构不合理、能源技术装备水平低和管理水平相对落后，导致国内生产总值能耗和主要耗能产品能耗高于主要能源消费国家平均水平，进一步加剧了能源供需矛盾。单纯依靠增加能源供应，难以满足持续增长的消费需求。

(3) 能源消费以国内供应为主，环境污染状况加剧，优质能源供应不足。中国经济发展主要建立在国产能源生产与供应基础之上，能源技术装备也主要依靠国内供应。随着能源消费量的持续上升，以煤炭为主的能源结构造成城市大气污染，过度消耗生物质能引起生态破坏，生态环境压力越来越大。世界银行认为，中国空气和水污染所造成的经济损失，大体占国内生产总值的3%~8%。

1.2 传统化石能源

传统能源通常指的是石油和煤炭(包括褐煤)。以石油和煤炭为基础的传统能源加快了世界经济的发展,我们的现代生活方式也密切依赖于燃料,但在经济快速增长的同时,环境遭到了破坏和人类健康受到威胁,源自化石燃料的排放约占全球温室气体排放量的2/3,是迄今为止对气候变化影响最大的因素。现有能源的利用模式将导致绝对排放量的增加,这不仅增加了气候变化影响导致的成本,还会使人类很难将气候变化不可控的风险控制在可接受的范围之内。

1.2.1 石油

石油在国民经济中的地位和作用是十分重要的,有人誉它为“黑色黄金”、“工业的血液”等,它是自然界中以气态、液态或固态广泛存在的碳氢化合物,主要以烷烃和芳香烃化合物为主。石油是现代文明的神经动脉,没有石油,维持这个文明的一切工具便陷入瘫痪;我国石油工业本身就是国家综合国力的重要组成部分。这些都说明,石油对于任何一个国家都是一种生命线,它对于经济、政治、军事和人民生活的影 响极大。世界石油资源主要分布在中东、拉丁美洲、北美洲、西欧、非洲、东南亚和中国,最大的油田是沙特阿拉伯的加沃尔油田,可采石油储量达104亿吨。

1.2.1.1 石油的形成

石油的原料是生物的尸体,生物的细胞体内含有脂肪和油脂,脂肪和油脂则是由碳、氢、氧三种元素组成的。生物遗体在海底或湖底并被淤泥覆盖之后,氧元素分离,碳和氢组成碳氢化合物。大量产生碳氢化合物的岩石即成为“石油源岩”,埋没于地壳中的石油源岩受到地热和压力的影响,再加上其他多种化学反应之后就产生石油,而石油积存于岩石间隙之间便形成油田。

由于石油的原料是生物的遗骸,因此调查石油的性质便可以得知古老时期的生物演化过程和地球环境历史。生命于38亿年前诞生,并逐渐地进行演化,到了距今5亿5000万年前的古生代寒武纪时期,爆发性的演化才开始,大约4亿4500万年前,生命登上了陆地。

因此4亿4000万年至4亿年前时期,石油源岩的主要成分是当时繁茂的浮游植物所形成的碳氢化合物。同一时期,羊齿类植物在此时期繁茂生长于海岸近处,因此以路上植物为原料的石油源岩也出现了。

2亿9000万年前,广大的陆地普遍出现由裸子植物组成的森林,形成了被沼泽地包围的湖沼,藻类便在湖沼中开始繁殖,由此也产生了以藻类为原料的新种石油源岩。

9000万年前,被子植物和针叶树林开始逐渐扩张到高纬度地区和高地,因而出现以陆地木材为原料的石油源岩,针叶树林的增加使得木材取代了藻类,成为石油源岩的主要原料。

大约1亿7000万年前到200万年前所发生的全球性规模“阿尔卑斯造山运动期”也造出了巨油田,在此时期,分布于大范围的1亿年前前后形成的石油源岩都没入地中。现有的石油和天然气大约2/3就是此时期形成的。

1.2.1.2 石油的使用历史

最早钻井并使用石油的是中国人,在4世纪或者更早时期,古代中国人用固定在竹竿一端

的钻头进行钻井,深度可达1 000 m,取出的石油经焚烧以蒸发盐卤制食盐,10世纪时人们使用竹竿制成的管道连接油井和盐井。

8世纪新建的巴格达的街道上铺有从当地附近的自然露天油矿中获得的沥青。9世纪在阿塞拜疆巴库(Baku)的油田中开采出来的石油被用来生产轻石油。10世纪地理学家阿布·哈桑·阿里·麦斯欧迪和13世纪马可·波罗都曾描述过巴库的油田,根据他们的描述,这些油田每日可以开采数百船石油。

现代石油历史始于1846年,当时生活在加拿大大西洋省区的Abraham Pineo Gesner发明了从煤中提取煤油的方法。1852年波兰的Ignacy Lukasiewicz发明了利用石油进行煤油的提取方法,次年在波兰南部克洛斯诺附近开辟了第一座现代的油矿。这些发明很快就在全世界普及开来,1861年在巴库建立了世界上第一座炼油厂,当时巴库出产世界上90%的石油。后来斯大林格勒战役就是为夺取巴库油田而开战的。

19世纪石油工业的发展缓慢,提炼的石油主要是用于油灯的燃料。直到19世纪50年代中期为止,煤依然是世界上最重要的燃料,但石油的消耗量增长迅速。1973年能源危机和1979年能源危机爆发后媒体开始关注石油的提供程度并对其进行报道,这使人们意识到石油是一种有限的资料,最后会耗尽。不过至今为止,所有有关石油即将用尽的预言都没有实现,所以也有人对这个讨论表示不以为然,但大部分人认为,由于石油的总量是有限的,因此20世纪70年代预言的“耗尽”今天虽然没有发生,但是这不过是被迟缓而已。也有人认为地球上还有大量焦油砂、沥青和油母页岩等石油储藏,它们足以提供未来的石油来源。目前已经发现的加拿大的焦油砂和美国的油母页岩就含有相当于所有目前已知的油田的石油贮量。随着技术的发展,人类总是能够找到充足的、便宜的碳氢化合物作为替代能源。

今天90%的运输能量是依靠石油获得的。石油运输方便、能量密度高,因此是最重要的运输驱动能源。此外它是许多工业化学产品的原料,因此它又是目前世界上最重要的商品之一。许多军事冲突(包括第二次世界大战和海湾战争)的重要因素就是占据石油来源。今天约64%可以开采的石油储藏位于中东,见表1.1,其中大部分位于沙特阿拉伯、阿拉伯联合酋长国、伊拉克、卡塔尔和科威特等,世界主要产油国储量情况见表1.2。

表1.1 已探明的石油储存分布表

单位:%

中东	拉丁美洲	东欧	南美	亚洲和太平洋	非洲	西欧
64	12	6	3	4	9	2

表1.2 2010年世界石油储量情况

	已探明储量/亿桶	每日总产/万桶	日消费/万桶	出口到美国(2007年)/万桶
沙特阿拉伯	2 667	1 070	229	149
加拿大	1 785.9	335	226	245
伊朗	1 384	417	180	—
伊拉克	1 150	239	63.8	48.4
科威特	1 040	274	32.5	18.1

续表 1.2

	已探明储量/亿桶	每日总产/万桶	日消费/万桶	出口到美国(2007年)/万桶
阿联酋	978	305	46.3	1
委内瑞拉	870.3	264	76	136
俄罗斯	600	979	290	41.4
利比亚	415	188	27.3	11.7
尼日利亚	362	216.8	28.6	113

1.2.2 石化产品与能源

石油的一个很重要的功能就是生产化学原材料,其主要的石化产品为石蜡(包括乙烯和丙烯)及芳烃(包括苯和二甲苯异构体)。石蜡采用水蒸气或催化剂经化学裂解的过程制造,而芳烃用催化重整的过程制得。以这两大类基本产品为原料,可以生产多种类型的化合物和原材料,例如单体、聚合物以及黏合剂等,这些单体、聚合物或低聚物都用来生产塑料、树脂、纤维、人造橡胶、润滑剂以及凝胶等。

组成汽油的主要成分分别为石蜡、芳烃、煤油和环烷环烃。判断汽油优劣程度的主要指标包括密度、蒸汽压、蒸馏范围和化学组成。

柴油是由从基岩中提炼的原油经过蒸馏后得到的产物,也是化石燃料的一种。它的主要成分是含 9 到 18 个碳原子的链烷、环烷或芳烃,也包括少部分的硫、氮、氧元素和金属化合物。除此之外,在柴油中添加一些物质可以增强柴油的物理性质,其沸点范围为 445 ~ 640 K。质量好的柴油其中硫和芳烃化合物含量较低,燃烧时所释放出的污染物较少,并且具有良好的着火性、黏性和沸点。

1.2.3 煤

1998 年全世界范围内煤的产量和消耗量分别为 5 043 百万吨和 5 014 百万吨。据 1999 年的报道,全世界范围内煤的储量为 10 870 亿吨(AER, 1999; IEA, 2000)。煤在世界上的储量分布较平均:美国 25%,俄国 16%,中国 11.5%。尽管在全球范围内煤的储量比石油和天然气都丰富,但是煤田仍然会耗尽。据 1999 年统计世界上可供使用的煤的储量为 9 890 亿吨。

1.2.3.1 煤的形成

有文献报道,最古老的燃料是煤。在所有的能源储备中,煤的储量是世界上最大的。煤主要由碳、氢、氧、氮、硫和磷等元素组成,而碳、氢、氧三者总和约占有有机质的 95% 以上,它是非常重要的能源,也是冶金、化学工业的重要原料。表 1.3 列出了典型煤矿样品的化学组成。

表 1.3 典型煤样品的化学组成

成分	低级煤	高挥发煤	高级煤
碳/%	75.2	82.5	90.5
氢/%	6.0	5.5	4.5

续表 1.3

成分	低级煤	高挥发煤	高级煤
氧/%	17.0	9.6	2.6
氮/%	1.2	1.7	1.9
硫/%	0.6	0.7	0.5
水分/%	10.8	7.8	6.5
能量值/(MJ · kg ⁻¹)	31.4	35.0	36.0

煤主要由埋藏于地下的植物遗体经微生物生物化学作用,再经地质作用转变而成。煤形成的过程大致可分为三步:第一步是形成泥炭,在地表常温、常压下,由堆积在停滞水体中的植物遗体经泥炭化作用或腐泥化作用,转变成泥炭或腐泥;第二步是形成褐煤或棕煤,泥炭或腐泥被埋藏后,由于盆地基底下降而沉至地下深部,经成岩作用而转变成褐煤;第三步,当温度和压力逐渐增高,再经变质作用转变成烟煤或无烟煤。泥炭化作用是指高等植物遗体在沼泽中堆积经生物化学变化转变成泥炭的过程。腐泥是一种富含水和沥青质的淤泥状物质,腐泥化作用是指低等生物遗体在沼泽中经生物化学变化转变成腐泥的过程。

在整个地质年代中,全球范围内有三个主要的成煤期:

(1)古生代的石炭纪和二叠纪,成煤植物主要是孢子植物,此时期的主要煤种为烟煤和无烟煤。

(2)中生代的侏罗纪和白垩纪,成煤植物主要是裸子植物,此时期的主要煤种为褐煤和烟煤。

(3)新生代的第三纪,成煤植物主要是被子植物,此时期的主要煤种为褐煤,其次为泥炭,也有部分年轻烟煤。

全世界范围内煤的产量仅次于石油的产量,并且与天然气的产量几乎相同。煤的挖掘分为深度挖掘(硬煤、无烟煤)和表面挖掘(褐煤)。煤炭是有机化学药品中最主要的组成部分,同时也是主要的一次能源。煤占世界主要能量消耗的26%,世界上用于发电的能源37%都来源于煤。

1.2.3.2 煤的分类

煤的种类繁多,质量相差也悬殊,不同类型的煤有不同的用途。为了合理利用煤炭,需把煤划分不同类别,按其加工方法和质量规格可分为精煤、粒级煤、洗选煤、原煤、低质煤五大类;按其煤质构成划分可分为烟煤、无烟煤、焦煤、成型煤和动力配煤;按其用途划分可分为动力用煤、冶金用煤和化工用煤三大类等。以下对几种常用煤分别进行介绍。

(1) 无烟煤

俗称白煤或红煤,是煤化程度最大的煤。其具有高固定碳含量,高着火点(约360~420℃),高相对密度,低挥发分产量和低氢含量等特点,发热值很高。除了发电外,无烟煤主要作为汽化原料(固定床汽化发生炉)用于合成氨、民用燃料及型煤的生产、陶瓷、制造锻造等行业。

(2) 褐煤

褐煤又名柴煤,是所有煤中煤化程度最低的煤,是一种介于泥炭与沥青煤之间的棕黑色、

无光泽的低级煤,其特征是化学反应强、高水分、高氧含量(约15%~30%)等,并含有一些腐植酸。主要用于发电厂的燃料,也可作化工原料、催化剂载体、吸附剂、净化污水和回收金属等。

(3) 贫煤

贫煤是煤烟中煤级最高的煤,其特征是较高的着火点(350~360℃),高发热量,弱黏结性或不黏结。除一般锅炉用煤外,还可发电和民用。使用贫煤时,将其与其他一些高挥发分煤配合使用也不失为一个好的途径。

(4) 贫瘦煤

贫瘦煤是一种具有弱黏性的炼焦用煤,在配煤炼焦中能起瘦煤的瘦化作用。当与其他适合炼焦的煤种混合时,贫瘦煤的掺入将使焦炭产品的块度增大。贫瘦煤也可用于发电、电站锅炉和民用燃料等方面。典型的贫瘦煤产于山西省西山煤电公司。

(5) 瘦煤

瘦煤是煤化程度最高的炼焦煤,中度的挥发分和黏结性,主要用于炼焦。在炼焦过程中可能会产生一些胶质物,胶质层的厚度为6~10 mm。由瘦煤单独炼焦产生的焦炭,能得到块度大、裂纹少、抗碎强度较好的焦炭,但耐磨强度相对较差。除了部分高灰高硫的瘦煤,瘦煤经常与其他煤种混合炼焦。

(6) 焦煤

焦煤是一种结焦性最好的炼焦用煤,它的碳化程度高、黏结性好,加热时能产生热稳定性很高的胶质体。焦煤是国内主要用于炼焦的煤种。但单独炼焦时,由于膨胀压力大,易造成推焦困难,一般都用焦煤炼焦配煤,效果较好。焦煤主要产于山西省和河北省。

(7) 肥煤

肥煤是黏结性最强、中等煤化程度的煤,加热时能产生大量胶质体。用肥煤单独炼焦能产生熔融性好、强度高的焦炭,但焦炭的横裂纹多,气孔率高,易碎,因此多与黏结性较弱的气煤、瘦煤或弱黏煤等配合炼焦。肥煤是配煤炼焦中的基础煤,能起骨架作用。

除此之外,还有1/3焦煤、气肥煤、气煤、1/2中黏煤、弱黏煤、不黏煤、长焰煤、粒级煤、选煤、洗精煤等,在此不赘述。

1.2.3.3 煤的综合利用

作为主要的能源物质,煤在各方面都发挥着极其重要的作用。煤是一种复杂的、多样化的物质,其综合利用包括:煤的干馏——干馏过程是将煤隔绝空气加强热,干馏出焦炭、煤焦油、焦炉气、粗氨水、粗苯等,以至充分利用;煤的汽化——汽化是把煤中有机物转化为可燃气体的过程,主要反应是碳和水蒸气的反应;煤的液化——液化是把煤转化成液体燃料的过程,是在高温高压下煤和氢气作用生成液体燃料的过程,液化过程分为直接液化和间接液化,直接液化是指煤在高温高压下加氢催化裂化,转变成油料产品,而间接液化就是先使煤转化为一氧化碳和氢气,然后在高温、高压以及催化剂的作用下生成液态烃、甲醇等有机物。图1.2显示了煤炭综合利用的系统图。

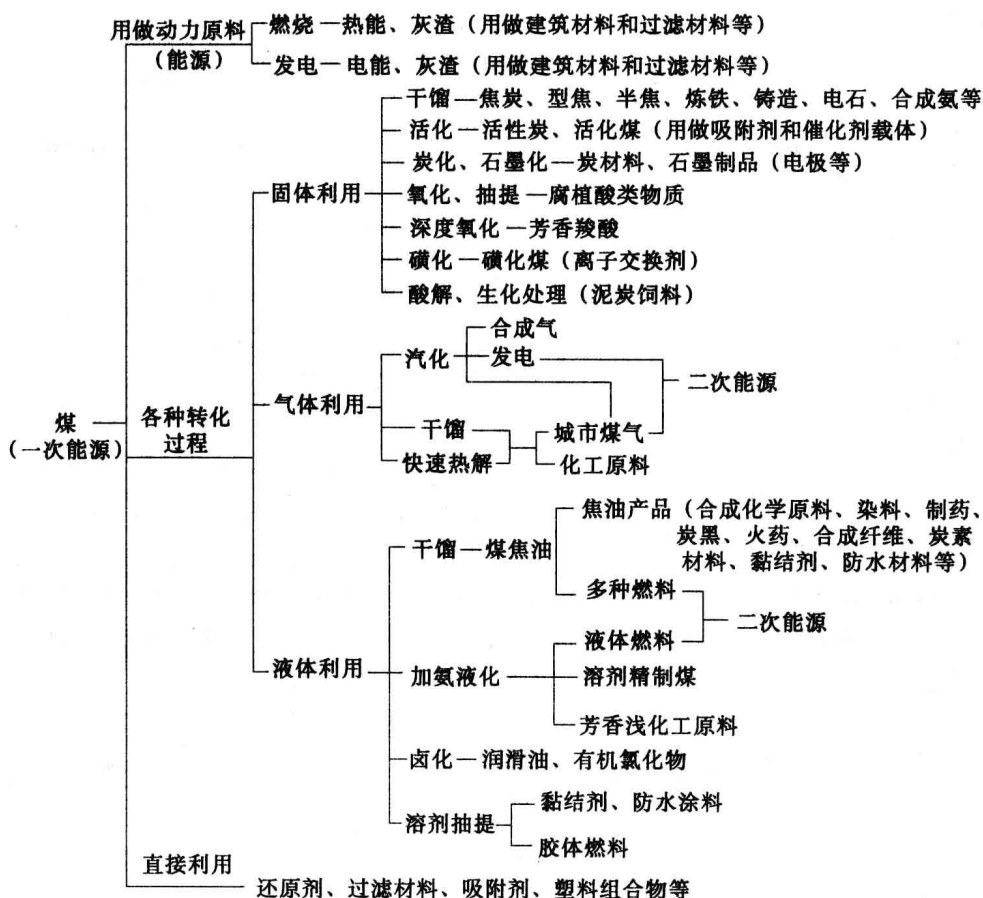


图 1.2 煤炭综合利用的系统图

1.3 非传统化石能源

1.3.1 天然气

天然气于 1659 年就开始使用,直到第二次世界大战以后才逐渐取代煤成为主要能源。广义上说,天然气是指自然界中天然存在的一切气体,包括大气圈、水圈、生物圈和岩石圈中各种自然过程形成的气体。而人们长期以来通用的“天然气”的定义,则是从能量角度出发的狭义定义,指天然蕴藏于地层中的烃类和非烃类气体的混合物,主要存在于油田气、气田气、煤层气、泥火山气和生物生成气中。中国人几千年前就开始使用天然气,早期天然气被用于点街灯,以及贵族的府邸。在全球主要能源消耗中天然气的增长速度最快。从 2001 年至 2025 年,预计天然气消耗的年平均增长率为 2.8%,而石油和煤分别为 1.8% 和 1.5%。

天然气是多组分的混合气体,主要成分是烷烃,其中甲烷占绝大多数(80%),另有少量的乙烷(7%)、丙烷(6%)、丁烷(4%)和戊烷(3%),此外一般还含有硫化氢、二氧化碳、氮和水汽,以及微量的惰性气体,如氦和氩等。天然气普遍存在于全世界,已探明的天然气储量在全世界范围内呈不规则分布,储量最丰富的是中东(41%)和前苏联(27%),全球天然气储量分

布如表 1.4。

表 1.4 世界各国的天然气储量

国家	储备/ (10^{13} m^3)	世界总数的 百分比/%	国家	储备/ (10^{13} m^3)	世界总数的 百分比/%
俄罗斯	48.1	33.0	尼日利亚	3.5	2.4
伊朗	23.0	15.8	伊拉克	3.1	2.1
卡塔尔	8.5	5.8	土库曼斯坦	2.9	2.0
阿拉伯联合酋长国	6.0	4.1	马来西亚	2.3	1.6
沙特阿拉伯	5.8	4.0	印尼	2.0	1.4
美国	4.7	3.3	乌兹别克斯坦	1.9	1.3
委内瑞拉	4.0	2.8	哈萨克斯坦	1.8	1.3
阿尔及利亚	3.7	2.5	世界其他地方	23.8	16.5

在全球范围内,天然气的使用越来越普遍,这其中有很多原因,包括价格、环境问题、能源多样化、能源使用安全以及总体的经济增长等。图 1.3 显示了 1990~2002 年天然气产量与消耗量的关系。

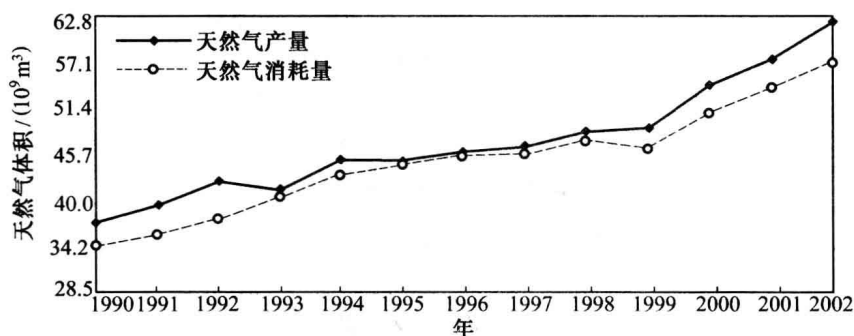


图 1.3 1990~2002 年天然气产量与消耗量的关系

如今天然气广泛应用于民用及商业燃气灶具、热水器、采暖及制冷,以及造纸、冶金、采石、陶瓷、玻璃等行业,也用于发电、废料焚烧及干燥脱水处理。高效能的天然气燃烧炉可以将 90% 的天然气转化为热量。天然气汽车的 CO 、 NO_x 和碳氢化合物排放水平都大大低于汽油、柴油发动机汽车,不积碳,不磨损,是一种环保型汽车。

无论是从改善公众健康情况和环境问题角度考虑,还是加快能源型汽车的转变,天然气汽车(Natural Gas Vehicles, NGVs)都是首选。与传统的柴油型汽车和石油型汽车相比,天然气汽车所释放出来的有害气体(如氮氧化合物、颗粒物质和其他致癌物质等)较少,天然气汽车同样能减少 CO_2 的释放量。氢能燃料汽车会是将来汽车市场的主导,天然气汽车的研究与一些基础设施的发展会加速此转变过程,使之更为便利的实现。尽管石油和压缩天然气(Compressed Natural Gas, CNG)的单位体积能量密度相差甚大,但是这并不影响压缩天然气的使用,天然气汽车的优点如下:

(1) CNG 性能良好,辛烷值高,抗爆性好,在汽油机上应用时可适当增加发动机压缩比和