

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



NENGYUAN YU DONGLI
GONGCHENG GAILUN

能源与动力工程 概论

田 瑞 闫素英 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

TK
2

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI

TK
2

NENGYUAN YU DONGLI
GONGCHENG GAILUN

能源与动力工程 概论

主 编 田 瑞 闫素英
编 写 林丽华 东雪青
主 审 杜广生



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。本书涵盖了能源与动力工程领域的主要分支学科,以为读者提供更多的能源与动力知识为目标。全书共分七个部分:能源的基础知识、常规能源、可再生能源、能源与动力、能源与环境以及能源与交通、节能技术,书中附录还给出了能源与动力工程常用科技英文专业词汇。本书有较强的实用性和知识性,高等院校热能与动力工程专业的本科生和研究生可根据其选修方向有针对性地学习相关单元。

本书可作为高校跨学科课程、公选课程的教材,也可供从事热能与动力工程专业工程技术人员学习、参考。

图书在版编目(CIP)数据

能源与动力工程概论/田瑞,闫素英主编. —北京:中国电力出版社,2008

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-7266-2

I. 能… II. ①田…②闫… III. ①能源—高等学校—教材
②动力工程—高等学校—教材 IV. TK

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第077308号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2008年12月第一版 2008年12月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 14印张 340千字

定价 25.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神，加强教材建设，确保教材质量，中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校，满足学科发展和人才培养的需求，坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

能源是国民经济的命脉，也是构成客观世界的三大基础之一。人类的一切活动都与能量及其使用紧密相关。能源的开发和合理利用是整个社会可持续发展的源泉，是现代生产和生活的基础。从18世纪蒸汽机的发明产生第一次工业革命，到现代能源动力科学技术的进步促进全球经济迅速发展，都说明了能源动力发展状态标志着当时社会与科学技术的水平。

能源与动力学研究能量热和功等形式在产生、转化、传递过程中的基本规律，并研究、开发、应用在能源与动力方面的相关装置。能源中消耗量最大、使用最广泛的是电能和热能，核电和其他形式发电（如风力发电等）正在发展中。火电、核电、地热发电等一般都是通过热能、机械能（功）而产生电能，水力发电、风力发电等是利用流体的机械功转换得到的。热能除太阳能、地热能等一次性热能外，大多是由燃料的化学能、核能转化而来的。热能转换为机械功后不都是用来发电，而是在许多情况下直接作为动力使用。热能和电能的产生以及热与功在转化、传递过程中所利用的机械、设备和由它们组成的装置，是能源动力工程中研究的主要内容之一。

进入21世纪，随着常规能源资源的日益枯竭以及大量利用化石能源带来的一系列环境问题，人类必须寻找可持续的能源道路，开发利用新能源是出路之一。新能源的理论研究和技术开发、新能源材料的探索、新能源经济的研究等无疑是当前众多研究热点中的亮点。本书编写目的是为广大读者系统地介绍有关能源科学的知识、面临的问题、解决的对策和发展的前景，全书对各类能源的生产、有效利用和节能问题以及各类能源状况、技术发展趋势，作了清晰的论述。书中不但涉及能源的基础知识、常规能源、可再生能源和节能技术，同时对能源与动力、能源与环境以及能源在交通领域中的应用作了详尽的讨论。鉴于能源、环境、生命、信息、材料、管理学科是新世纪高等院校科学素质系列教育的重要组成部分，本书以能源与动力学科的发展为契机，结合了多学科优势，力求兼顾科学素质教育的要求，理论上简单介绍，文字叙述通俗易懂，在取材上力求资料新颖、涉猎面广、叙述简洁，能使读者更好地了解当今世界正在走向一个可持续发展的、与环境友好的能源与动力新时代，以达到为读者提供更多新的能源与动力信息的目的。

本书第一章由田瑞编写，第二章、第三章由闫素英编写，第四章和第五章由东雪青编写，第六章和第七章由林丽华编写。田瑞和闫素英负责全书统稿并担任主编。山东大学杜广生教授审阅了稿件，并给书稿提出了许多宝贵意见和建议，对提高书稿质量大有裨益。

由于水平有限，书稿中难免有不足之处，恳请各位读者批评指正。

编者

2008年5月

目 录

前言	
第一章 绪论	1
第一节 能源的基本概念	1
第二节 能源与人类文明	5
第三节 能源资源	8
第四节 能量	21
第二章 常规能源	25
第一节 煤炭	25
第二节 石油	33
第三节 天然气	36
第三章 可再生能源	39
第一节 太阳能	39
第二节 风能	68
第三节 地热能	95
第四节 海洋能	103
第五节 生物质能	112
第六节 氢能	116
第七节 核能	120
第八节 水能	124
第四章 能源与动力	129
第一节 概述	129
第二节 内燃机	129
第三节 蒸汽轮机	134
第四节 燃气轮机	136
第五节 电站锅炉	140
第六节 火力发电厂	146
第五章 能源与环境	152
第一节 概述	152
第二节 环境保护与监测	157
第三节 环境污染	158
第四节 能源与环境	163
第六章 能源与交通	169
第一节 概述	169
第二节 汽车新能源特点	170

第三节	电动汽车	171
第四节	替代能源汽车	181
第五节	氢内燃机	191
第六节	太阳能汽车	194
第七节	生物质能汽车	195
第七章	节能	196
第一节	节能概述	196
第二节	节约热能	197
第三节	节约煤炭	201
第四节	节约用油	204
第五节	节约电能	205
第六节	变频调速节能技术	207
第七节	等离子点火节油技术	208
第八节	城市垃圾的资源化利用技术	208
附录	常用科技英文专业词汇	210
参考文献		217

第一章 绪 论

第一节 能源的基本概念

一、能源的定义

自然资源中以拥有某种形式存在的能量,在一定条件下,能够转换成人们可以利用的某种形式的能量,这些自然资源称为能源,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其成为符合使用条件的能量来源,如煤气、电力、沼气和氢能等也称为能源,它们同样为人类提供所需的能量。能源是指人类取得能量的来源,是指能够直接或经过转换而提供能量的自然资源。尚未开采出来的能量资源称为自然资源,不列入“能源”的范畴,应予以区别。目前可提供人类利用的能源很多,如薪柴、煤炭、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。

核聚变和核裂变、放射性源以及天体间的引力,是世界上一切能源的初始能源。太阳的热核反应释放出巨大的能量,地球大气层所接收的辐射能量每年达 5.3×10^{15} MJ,这种辐射能为地球提供了取之不尽的能源。太阳能的热效应在大气、土地与海洋三者之间的界面,产生风能、水能、波浪能和洋流的动能,谓之天然能。植物通过光合作用吸收太阳能,动物以植物为食或靠弱肉强食间接吸收太阳能,形成所谓的生物质能。动物和植物在特殊的地质条件下经过亿万年演变成为煤炭、石油和天然气等化石燃料;地球心部的热核反应产生地热,地热通过热传导进入大气和海洋,火山或活动的地热田的地热能通过对流作用进入周围环境;地壳内的放射性元素蕴藏着巨大的核能资源;太阳系行星的运行产生潮汐能。下面对初始能源进行归类。

第一类是来自地球以外的天体的能量,其中最主要的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。

直接的太阳能:辐射能。

间接的太阳能:①天然能,如水能、风能、波浪能等;②生物质能,如木柴、秸秆、动物粪便等;③化石燃料,如煤炭、石油、天然气等。

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。①以热能形式储存的能(地热能),如地热水、地热蒸汽等;②以核能形式储存的能,如铀、钍等。

第三类是太阳、月球等天体对地球的引力,如潮汐能等。

二、能源的分类

能源的分类方法很多,有按照能源存在和产生的形式、能源本身的性质、能源利用的时间和普及程度等几种分类方法。

1. 一次能源与二次能源

由自然界中直接取得而又不改变其基本形态的能源,称为一次能源,如煤炭、石油、天

然气、风能、地热等；由一次能源经过加工转换成另一种形态的能源产品叫做二次能源，如电力、煤气、蒸汽及各种石油制品等。

大部分一次能源都转换成容易输送、分配和使用的二次能源，以适应消费者的需要。二次能源经过输送和分配，在各种设备中使用，故称为终端能源。终端能源最后变成有效能源为人类所利用。

2. 再生能源与非再生能源

在自然界中可以不断再生而得到补充的能源，称为再生能源，如太阳能、水力能、风能、生物能等，它们都可以在短期内再生，不会因长期使用而减少；经过几亿年形成的、短期内无法补充的能源，称为非再生能源，如煤炭、石油、天然气、核燃料等，随着大规模的开采和利用，其储量越来越少，总有枯竭之时。

3. 常规能源与新能源

在当前的科学技术水平下，已经被人类在相当长的历史时期中广泛利用的能源，不但为人们所熟悉，而且也是当前应用范围很广泛的主要能源，称为常规能源，如煤炭、天然气、水力、电力等。一些虽属古老的能源，但只有在采用当前先进的方法时才能加以利用，或采用最新的科学技术才能开发利用的能源，以及有些仅仅是最近才被人们所重视而研究开发出的能源，称为新能源，或称替代能源，如太阳能、地热能、潮汐能等。常规能源与新能源就其时间性是相对而言的。

4. 燃料能源和非燃料能源

从能源性质来看，能源又可分为燃料能源和非燃料能源。属于燃料能源的有矿物燃料（煤炭、石油、天然气）、生物质燃料、化工燃料（甲醇、酒精、丙烷以及可燃原料铝、镁等）、核燃料（铀、钍、氘等）四类。非燃料能源多数具有机械能，如水能、风能等；有的具有热能，如地热能、海洋热能等；有的具有光能，如太阳能、激光等。

5. 清洁能源和非清洁能源

从使用能源时对环境污染的大小，又可以把无污染或污染小的能源称为清洁能源，如太阳能、水能、氢能等。对环境污染较大的能源称为非清洁能源，如煤炭、油页岩等。石油的污染比煤炭小一些，但也会产生氧化氮、氧化硫等有害物质，所以清洁与非清洁能源的划分也是相对而言的。通过技术进步使非清洁能源在能量转换中尽可能少地对环境产生污染，也是能源与动力工作者的研究目的，如洁净煤燃烧技术。

总之，能源有各种各样的分类方法，但归纳起来，主要有以下几种。

(1) 按来源分为：①来自于太阳；②来自于地球本身；③来自于地球和其他星体的相互作用。

(2) 按成因分为：①一次能源；②二次能源。

(3) 按性质分为：①燃料能源；②非燃料能源。

(4) 按使用状况分为：①常规能源；②新能源。

(5) 按对环境有无污染分为：①清洁能源；②非清洁能源。

三、能源评价

能源的现实性、可用性和经济性，可以从以下几方面进行分析评价。

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和功率。显然，如

果某种能源能流密度很小,就很难用作主要能源。一般说来,各种常规能源的能流密度都比较大,如1kg标准煤发热量为29307kJ,而1kg石油发热量为41860kJ。核燃料的能流密度更大,1kg铀235裂变时将释放出 687×10^{18} kJ(686.6亿kJ)的热量。在当前的技术条件下,太阳能和风能的能流密度很小,约为 $160\text{W}/\text{m}^2$ 。

2. 资源储量

作为能源的一个必要条件是储量足够丰富。我国煤炭、水力资源非常丰富,其他常规能源和新能源的储量也不少。与储量有关的评价还要看可再生性和地理分布情况,能源的地理分布与它们的使用有很大关系,例如,我国的煤炭资源多位于西北,水力资源多位于西南,这对其在全国范围内的使用产生了很大影响。

储量可分为探明储量(既不考虑可采率,也不扣除已采出量)、可采储量(按现在或近期技术水平可以开采的储量)和经济可采储量(在最近或不远的将来不仅技术上可开采,而且经济上也合理的储量),其关系为:可采储量=探明储量 \times 可采率-已采出量,其中,在20世纪末国际平均水平的可采率,对石油为0.3,对天然气为0.6,对煤炭为0.4~0.5。

3. 供能连续性与能量可储性

能源的供能连续性是指我们要求它按照需要的多少与快慢连续不断地供应能量。而能量可储性则是说当能源不用时可以储存起来,需要时又能立即供给所需,这对于各种化石燃料和核燃料来说是比较容易做到的,而对于太阳能、风能等目前还不易实现。

4. 能源开发费用和用能设备费用

各种化石燃料与核燃料,从勘探、开采、加工到利用,都需要大量人力和物力的投入(燃烧石油和天然气的设备价格,初投资较为便宜),而且有的工序还有一定的危害性和危险性。太阳能、风能资源等可不做任何投资就能得到,但按目前的技术水平,太阳能、风能、海洋能等发电设备价格,初投资大,投资的回收也慢。

5. 能源运输费用与损耗

煤炭的运输困难一些,而且损耗也大;石油和天然气可以比较方便地从产地输送给用户;核燃料的运输要特别重视安全问题,但由于它的能流密度很大,获得同样电能,所占的体积与重量都很小,为运输提供了方便。太阳能、风能和地热能等能源,无需运输,只要因地制宜、合理利用即可。

6. 能源品位

在使用能源时,要合理利用不同品位的能源。在热机原理中,热源温度愈高,冷源温度愈低,则循环热效率就愈高。因此,作为热源,温度高的能源称为高品位能源。水能可直接转变为机械能和电能,其品位要比必须先经过热转换过程的矿物燃料高。

7. 环境保护

使用能源时,要考虑到环境保护与生态平衡。在开发利用水力资源时,应综合考虑其对生态平衡、灌溉与航运等多方面的影响。煤炭在燃烧时所造成的环境污染危害极大。原子能可能出现的危害,人们都很重视,应用时一定要采取各种安全措施。

四、能源的单位

能源的种类很多,各种能源的品位都不一样,规范能源的量度单位就显得十分必要。除了能源的基本单位之外,还广泛地采用当量单位(煤当量、油当量)。中国、德国、奥地利和前苏联等国采用煤当量,多数西方国家采用油当量。

1. 能源的基本单位

能源的基本单位实际上也是能量的单位, 主要有 J (焦耳)、kW·h (千瓦时)、卡 (cal)、英热单位 (Btu), 它们之间的换算关系见表 1-1。

表 1-1 能源单位换算

	GJ	kW·h	kcal	Btu
GJ (10 ⁹ J)	1	277.77	2.389×10 ⁶	947.8×10 ³
kW·h	3.6×10 ⁻³	1	860	3.412
kcal(10 ³ cal)	4.183×10 ⁻⁶	1.17×10 ⁻³	1	3.968
Btu	1.055×10 ⁻⁶	2.93×10 ⁻⁴	0.252	1

按照《中华人民共和国法定计量单位》的规定, J 和 kW·h 是许用单位, kcal 和 Btu 不允许使用。许多国家和一些国际组织采用煤当量或油当量作为各种能源的统一计量单位。

2. 单位产量能耗

单位产量能耗指生产单位产品单位产量所需的能源耗量, 即

$$g = G/N$$

式中: g 为单位产量能耗; G 为能源消耗量; N 为产品产量。

不同产品、不同场合, 采用不同的单位。

3. 资源量

资源量是不受当前开采技术和经济条件限制的数量, 例如, 硬煤 (烟煤、无烟煤) 埋藏深度在 2000m 以内, 褐煤埋藏深度在 1500m 以内的煤层, 均计算为煤炭的资源量。

4. 储量

储量是与开采的技术和经济条件密切相关的数量, 例如, 硬煤埋藏深度在 1500m 以内, 厚度 0.6m 以上; 褐煤埋藏深度在 600m 以内, 厚度 2m 以上的煤层才算储量。

5. 地质储量

地质储量是根据已掌握的资料, 按能源储藏的形成与分布规律进行地质推算而得出的储量。

6. 探明储量

探明储量是指已经做过不同程度的勘探工作, 并提出相应的地质勘探阶段报告所计算获得的储量。

7. 可采储量

某种能源的可采储量指探明储量与可采率之积。在探明储量中, 按当前技术经济条件可以开采的储量, 称为可采储量, 即可供使用量。

8. 储产比

能源的储产比指剩余可采储量与当年原油产量之比。它等于剩余可采储量可开采的年限。

9. 原油

原油又称石油原油, 指储存在地下储集层中, 在通过地面分离设施后仍保持液态的各种液态烃的混合物, 包括油层凝析液, 以及由焦油砂、天然沥青和油页岩产生的液态烃。

10. 石油

石油是石油原油和所有石油制品的通称,包括原油、经初加工的油、各种石油制品、天然气处理厂回收的液体产品,以及掺入成品油中的非烃类组分。

第二节 能源与人类文明

一、能源与社会

任何物质形态的变化都离不开能源的变化,人类社会的一切生活和生产活动都要消费能源,人类社会的发展引起了能源消费的增长。人类社会的发展史,从火的利用开始就一直是能源利用的发展史。随着社会的不断进步,人类开发和利用能源的方式也逐步演进。特别是工业革命以来,伴随着机械化大生产的推广和普及,能源在人类经济社会活动中的地位逐步提高,以能源为主要产业的地区在许多国家都成为先行发展起来的地区。20世纪50年代,随着对资本主义工商业改造的完成和156项重大工业项目的上马,中国经济社会发展受制于能源短缺的局面直接催生了大庆油田。而始于20世纪70年代末期的改革开放,引发了生产力的大发展和能源需求的大增长,与之相应的能源基地建设进入了新的历史阶段,而后“西电东送”、“西气东输”等成为跨世纪的伟大工程。所有这些都充分说明能源在中国国民经济和社会发展过程中起到越来越重要的作用,也反映了现代经济社会发展离不开能源生产和消费支撑这一基本的发展规律。

无论是人类社会的生产发展过程,还是当今世界各国的经济发展,都充分说明能源是社会和经济发展的必要条件。古代,人类的主要能源来自于人力和畜力,辅以柴薪,这时利用的能源主要是生物质能、风能和太阳能等可再生能源;公元前500年左右,中国就开始利用煤炭作为燃料;18世纪末,瓦特发明了蒸汽机,大量以煤炭为能源的动力机械生产方式逐渐替代了小作坊式的手工业生产方式,交通运输业迅速发展,煤炭与资本主义社会化大生产相结合,使世界能源结构发生了重大变革。1895年,美国开始了石油勘探开发工作,这种液体燃料开始显示出比煤炭更大的吸引力;1876年,德国人奥托创制了内燃机,进而形成了以内燃机技术为核心的汽车工业,带动了机械制造业的发展;19世纪末,以电力为主导的能源结构大变革开始了,从法拉第发现电磁感应开始,人们认识到电和磁是统一的电磁现象,之后又发明了电动机、发电机和各种电器,使电力作为二次能源获得了广泛应用。

电力是人类利用能源的一个重要里程碑。产生电力的方法由最初的火力发电,发展到水力发电,以及后来的核能发电、太阳能发电及风能发电,人类在不断探索采用不同的能源形式来产生电力,以满足社会不断提高的能源需求量。据统计,现在世界上大约3/4的能源是在发电厂中转化为电力为人类使用的。能源的利用过程与环境密切相关,因此,为了满足社会发展日益增长的能源需求和可持续发展,我们必须寻找除化石燃料以外的新能源,来解决人类面临的能源问题。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,就是他们都致力于大规模开发和利用能源。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

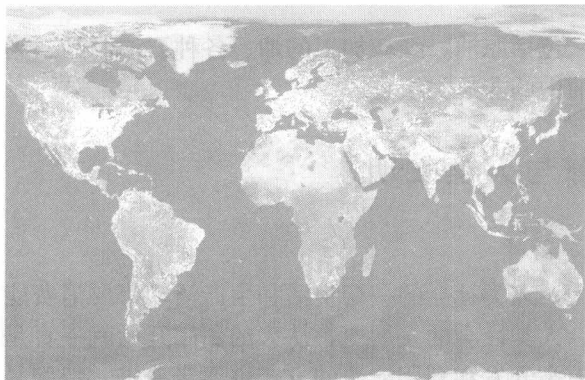


图 1-1 全世界夜晚灯光景色图

源总消费的 2/3 左右。图 1-1 所示是通过卫星拍摄的全世界夜晚灯光景色图，从图中可以看出，美国和日本等国家夜晚的灯光明亮，这从另一个侧面反映了他们的经济比较发达。

无论是能源生产作为人类生产活动的组成部分之一，还是能源工业作为现代经济的重要产业部门之一，其发展都离不开人类社会自身的发展。社会一方面对能源的发展提出需求，提供市场，另一方面为能源的发展提供人力资源、科学技术、组织

保证、制度保障、配套服务等。同时，能源的发展还需要不断发展的宏观经济和社会文化为其创造良好的环境条件，指明正确的开发和利用方向；需要科学的思想、理性的思维以及和谐的社会引导，以保证能源资源的合理利用以及能源经济的可持续发展。

二、能源与国民经济

能源是发展社会生产和提高人民生活水平的必要条件，是推动国民经济发展的基本保证，是现代化生产的主要动力来源。现代工业和现代农业都离不开能源动力。工业方面，各种锅炉、窑炉都要用油、煤和天然气作燃料；钢铁冶炼要用焦炭和电力；机械加工、起重、物料传送、气动液压机械、各种电机、生产过程的控制和管理都要用电力；交通运输需要动力、油和煤；国防工业也需要大量的电力和石油。能源原料还是珍贵的化工原料，从石油中可以提炼出五千多种有机合成原料，其中最重要的基本原料有乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯、二甲苯、乙炔、萘等。对这些原料加工就可以得到塑料、合成纤维、人造橡胶、化肥、人造革、染料、炸药、医药、农药、香料、糖精等各种工业制品。

在现代化农业生产中，农产品产量的大幅度提高，也是和使用大量能源联系在一起的。例如，耕种、收割、烘干、冷藏、运输等都需要直接消耗能源；化肥、农药、除草剂又都要间接消耗能源。美国在 1945~1975 年的 30 年间，平均每吨谷类作物的总能源消耗量由 20kg 标准煤增加到 67kg 标准煤，而产量也由 204kg 增加到 486kg。也就是说，单位面积耕地产量增加了 1.4 倍，能源消耗量则增加了 2.4 倍。

为了研究分析国民经济发展和能源消费量之间的相互关系，常常使用能源弹性系数和能源消费系数这两个指标。能源弹性系数是反映单位国民经济产值增长率的变化所引起能源消费增长率变化的状况。这个数值愈大，说明国民经济产值每增加 1%，能源消费的增长率愈高，这个数值愈小，则能源消费增长率愈低。这个数值大于 1，说明国民经济产值每增加 1%，需要增加的能源消费量大于 1%；这个数值小于 1，说明国民经济产值每增加 1%，需要增加的能源消费量小于 1%。能源弹性系数的大小与国民经济结构、能源利用效率、生产产品的质量、原材料消耗、运输以及人民生活需要等因素有关。

能源消费系数是指某一年或某个时期，实现单位国民经济产值的平均能源消费量。能源消费系数可以用来对比分析能源的利用状况，在排除价格因素的情况下，可以在一定程度上说明节能潜力的大小。例如，我国 1977 年每 1 元人民币国民生产总值的能源消费量为 1.03kg 标准煤，工业发达国家 1977 年实现 1 美元国民生产总值的能源消费量分别为：美国

1.3kg 标准煤, 英国 1.17kg 标准煤, 西德 0.69kg 标准煤, 法国 0.61kg 标准煤, 日本 0.63kg 标准煤。

世界经济和能源发展的历史显示, 处于工业化初期的国家, 经济的增长主要依靠能源密集工业的发展, 能源效率也较低, 因此能源弹性系数通常大于 1, 见表 1-2。例如, 发达国家工业化初期, 能源增长率比工业产值增长率高 1 倍以上。到工业化后期, 一方面经济结构转向服务业, 另一方面技术进步促使能源效率提高, 能源消费结构日益合理, 因此能源弹性系数通常小于 1。尽管各国的实际条件不同, 但只要处于类似的经济发展阶段, 它们就有大致相近的能源弹性系数。发展中国家的能源弹性系数一般大于 1, 工业化国家能源弹性系数大多小于 1; 人均收入越高, 弹性系数越低。我国的能源弹性系数见表 1-3。

表 1-2 几个发达国家工业化初期的能源弹性系数

国家	产业革命开始年份	初步实现工业化年份	工业化初期能源弹性系数	初步实现工业化时人均能耗 (以标准煤计)/t	能源效率/%	
					1860 年	1950 年
英国	1760	1860	1.96(1810~1860)	2.93	8	24
美国	1810	1900	2.76(1850~1900)	4.85	8	30
法国	1825	1900	—	1.37	12	20
德国	1840	1900	2.87(1860~1900)	2.65	10	20

表 1-3 我国能源弹性系数

年份	能源生产比上年增长/%	电力生产比上年增长/%	国内生产总值比上年增长/%	能源弹性系数
1985	9.9	8.9	13.5	0.73
1990	2.2	6.2	3.8	0.58
1991	0.9	9.1	9.2	0.10
1992	2.3	11.3	14.2	0.16
1993	3.6	15.3	13.5	0.31
1994	6.9	10.7	12.6	0.55
1995	8.7	8.6	10.5	0.83
1996	2.8	7.2	9.6	0.29
1997	-0.2	5.0	8.8	—
1998	-6.2	2.9	7.8	—
1999	-12.2	6.3	7.1	—
2000	-2.0	9.4	8	—
2001	13.0	9.2	7.3	1.78

三、能源与人民生活

人们的日常生活处处离不开能源, 不仅是衣、食、住、行, 而且文化娱乐、医疗卫生等都与能源密切相关。随着生活水平的提高, 所需的能源也愈多。

为了估量能源消耗水平与生活水平之间的关系, 定义了一个生活质量指数, 以它作为评估的基础。所谓生活质量指数是指将平均寿命、文化指数及婴儿死亡率三大类指标综合成一个 1~100 分的指数, 称为生活质量指数。不论是哪种类型的国家, 人均耗能量越多, 生活质量指数就越高。人均能耗达到 1.6t, 以后的生活质量指数就趋于平坦。表 1-4 所示为现代文明社会人均能耗最低需要估计。

表 1-4

现代文明社会人均能耗最低需要估计

项目	所需能耗 /MJ/(人·年)	所需一次能源 /kg 标煤/(人·年)	项目	所需能耗 /MJ/(人·年)	所需一次能源 /kg 标煤/(人·年)
衣	8.65	108	行	17.30	215
食	25.98	323	其他	51.96	646
住	25.98	323	总计	129.87	1615

1973年第五次中东战争后，阿拉伯产油国对欧美一些国家采取的石油禁运以及后来几年内石油的大幅度涨价，引起世界主要资本主义国家经济倒退与停滞及生活水平的巨大变化，这也是能源对生产与生活水平影响重大的一个佐证。

目前，我国一次能源消费量已超过俄罗斯，居世界第二位，但由于人口过多，人均能耗水平仍然很低。

第三节 能源资源

一、世界能源资源

世界的能源构成有一个发展过程。18世纪60年代，始于英国的产业革命，使世界能源结构从木柴转向煤炭，发生了第一次大转变。1860~1920年，世界煤炭产量由136Mtce（百万吨煤当量）增至1250Mtce，增加了8.2倍。1920年煤炭占世界能源构成的87%，跃居第一位。从20世纪20年代开始，世界能源构成发生第二次大转变，即从煤炭向石油和天然气的转变。到1959年，石油和天然气在世界能源构成中的比重，由1920年的11%上升到50%，首次超过煤炭而占第一位，煤炭的比重则由87%下降到48%。1986年，世界一次能源总消费量为10810Mtce，其中石油占38%，天然气占20%，煤炭占30%，水电占7%，核电占5%。20世纪70年代以来，世界能源结构开始第三次大转变，即从以油、气为主向以再生能源为基础的持久、稳定的能源系统方向发展。这个转变将经历漫长的过程，从现在起，大约需要100年时间，太阳能发电、核能发电以及其他新能源，将为全球约150亿人口提供充足的能源，而煤炭、石油和天然气则主要用作化工原料。图1-2所示为1973年和2001年世界能源终端总消费量的构成。

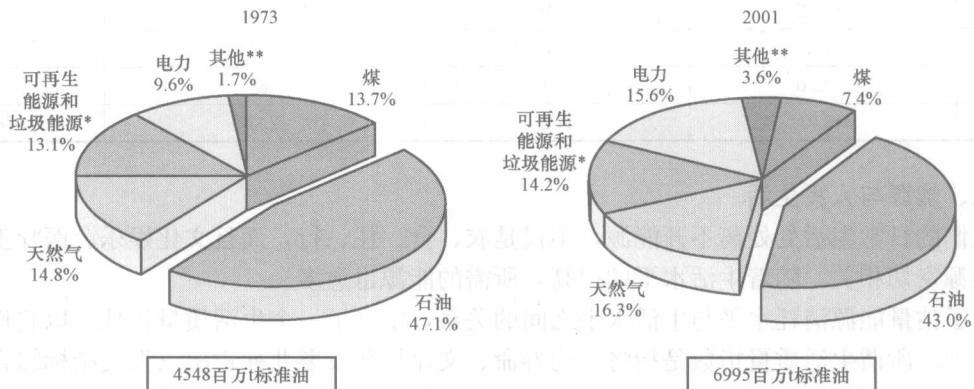


图 1-2 1973年和2001年世界能源终端总消费量的构成

* 1974年以前可再生能源和垃圾能源的终端消费量根据一次能源供应量估算得出；

** 其他包括地热能、太阳能、风能和热能等。

从长远的角度看,世界能源储量最多的是太阳能,在再生能源中占 99.44%,而水能、风能、地热能、生物能等不到 1%。在非再生能源中,利用海水中的氘资源产生的所谓人造太阳能(聚变核能)几乎占 100%,煤炭、石油、天然气、裂变核燃料加起来也不足千万分之一。所以,人类使用的能源归根到底要依靠太阳能。太阳能是人类永恒发展的能源保证。仅目前人类使用的能源最主要的还是非可再生能源,如石油、天然气、煤炭和裂变核燃料等,它们约占能源总消费量的 90%左右,再生能源如水力、植物燃料等只占 10%左右。

世界能源资源分布是不均衡的。例如,石油储量最多地区是中东,占 56.8%;天然气和煤炭储量最多的是欧洲,各占 54.6%和 45%。亚洲、大洋洲除煤炭稍多(占 18%)以外,石油、天然气都只有 5%多一点。这种能源资源分布的不均衡,对世界的政治、经济格局产生了重大的影响。

(一) 能源开采

能源是社会发展、人类生活中不可缺少的资源。现在人类已经认识到,利用可燃的矿物燃料来供应人类所需能量的历史不会长久了。面对这样的事实,世界各国为解决自身乃至于世界的能源供应问题而在千方百计地寻找出路,多方采取措施。

1994年,世界上大约消费了 1.132×10^{10} t 标准煤的能源,其中煤约占 27.2%,石油约占 40.1%,天然气占 23.0%,水电、核电约占 9.7%。从这些数据来看,非再生的矿物燃料占绝大部分,所以其储藏量的多少,决定了能源状况的前景。

矿物燃料的开采寿命是难以估计的。这是因为随着勘探技术的发展与完善,今天发现不了的资源,也许明天就可以发现。此外是开采问题,有的矿藏,虽然发现了,但在今天的科学技术水平下可能开采不了,或开采出来在经济上不合算。但过一段时间以后,随着技术的发展,就可能成为可开采的矿藏,而且在经济上来说也是合算的。还有就是可采率问题,探明了有若干能源矿藏,但开采出来能有多大比例,在开采中要消耗掉多大比例,也是很难估计的。但由于今天的科学技术已相当先进了,估计未发现的矿物燃料也不会太多,所以根据目前所发现的蕴藏量和近年来世界能源消费的情况,对矿物燃料的开采寿命是可以进行估计的。

(二) 煤炭资源

煤炭是地球上最重要的能源,是世界上储量最多、分布最广的化石能源。截至 1999 年底,世界煤炭探明可采储量为 9860 亿 t,占化石能源的 62.8%。煤炭分布于 76 个国家和地区,60 多个国家进行了规模性开采。20 世纪 90 年代以来,世界煤炭年产量在 44 亿~48 亿 t 之间,在世界一次能源生产和消费总量中占 25%~30%。煤炭是世界经济发展的重要支柱。表 1-5 所示为 1996 年世界前七位国家的煤炭储量。图 1-3 所示为 1973 年和 2002 年世界硬煤产量的地区分布图。

表 1-5 1996 年世界前七位国家的煤炭储量

国家	储量/Mt	占世界比/%	国家	储量/Mt	占世界比/%
美国	240558	23.3	德国	67300	6.5
中国	114500	11.1	南非	55333	5.4
澳大利亚	90940	8.8	波兰	42100	1.1
印度	69947	6.8	全世界合计	1031610	100

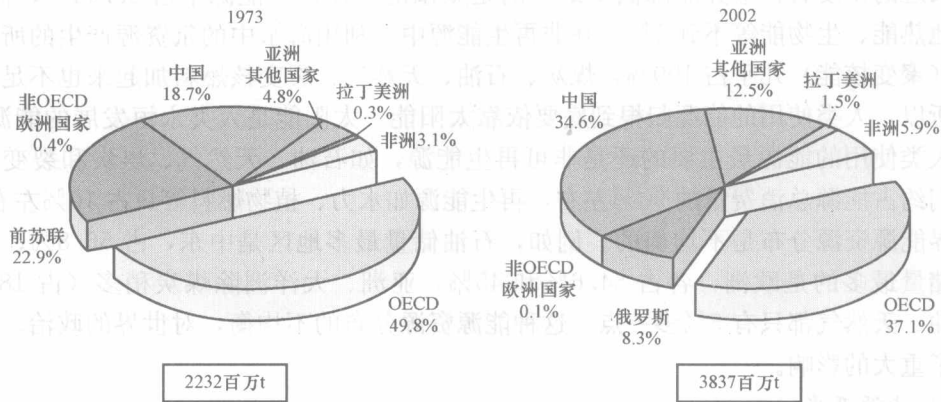


图 1-3 1973 年和 2002 年世界硬煤产量的地区分布图

过去的 30 多年中,世界煤炭的分布也发生了较大变化,全球煤炭证实储量的区域分配出现了从欧洲的世界经合组织(OECD)国家向经济转型国家和南亚国家转移的现象。值得注意的是,煤炭证实储量的增长多发生在煤炭产量增长强劲的国家 and 地区,特别是在煤炭行业具有世界级竞争水平的国家和地区。这是因为这些国家和地区能够不断进行勘探以增长其煤炭证实储量。澳大利亚、印度尼西亚、美国、加拿大、哥伦比亚、委内瑞拉、中国和印度都是如此,相反在欧洲煤炭证实储量却连续下降。随着煤炭产量和消费量的增长以及运输基础设施的加强,将会有更多的煤炭资源成为可经济开发的资源。按不同的储量和年开采增长率 3.65% 来计算,煤炭的开采量与时间的关系如图 1-4 所示。

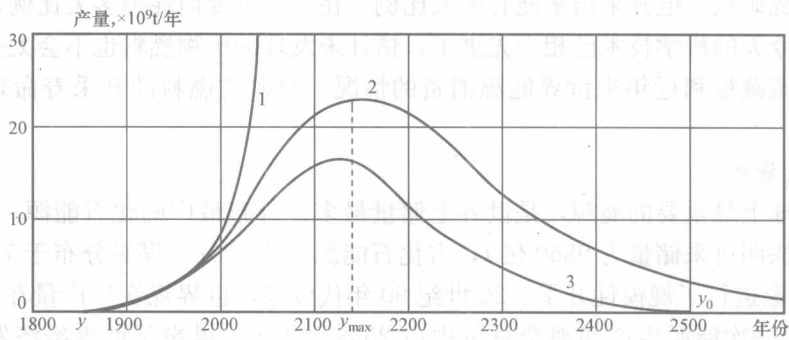


图 1-4 煤炭的开采量与时间的关系

1—按每年 3.65% 持续增长的曲线; 2—按 $7.6 \times 10^{12} \text{t}$ 的总储量估计;

3—按 $4.3 \times 10^{12} \text{t}$ 的总储量估计

从图中可以看出,煤炭开采量的峰值年代随储量的不同而略有不同。如按已知储量 $4.3 \times 10^{12} \text{t}$ 计算,其峰值在 2100 年;若按潜在储量 $7.6 \times 10^{12} \text{t}$ 计算,则峰值在 2140 年。煤炭主要分布在前苏联、中国、美国、德国等国家。

(三) 石油资源

石油是仅次于煤炭的化石燃料,石油的利用使得人类社会进入飞速发展的阶段,特别是

从石油消费超过煤炭成为世界第一大能源以来, 30年中世界经济得到迅猛发展, 科学技术也达到空前水平, 人类从工业社会进入信息社会。目前世界上已经找到近30000个油田和7500个气田, 这些油气田遍布于地壳上六大稳定板块及其周围的大陆架地区。图1-5所示为1973年和2002年世界石油产量的地区分布。

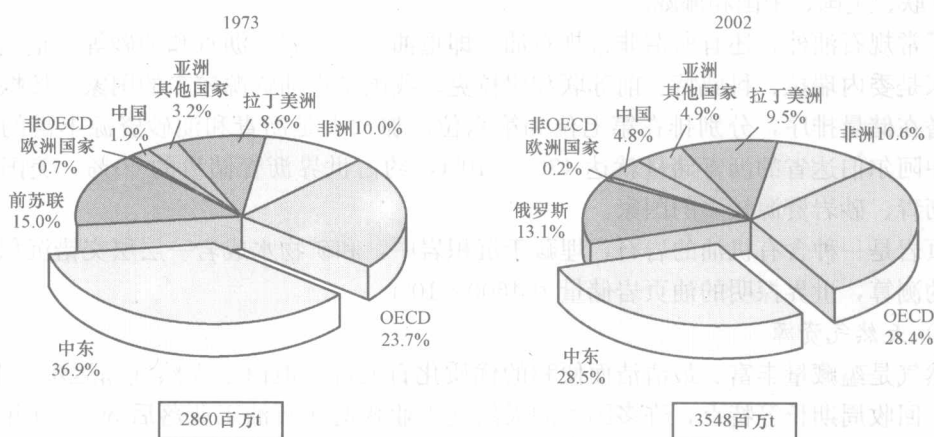


图1-5 1973年和2002年世界石油产量的地区分布图

在156个较大的盆地内几乎均有油气田发现, 但分布极不平衡。例如, 世界上石油储量超过10亿t和天然气储量超过10000亿 m^3 的特大油、气田共42个(我国除外), 它们仅分布于10个盆地内, 波斯湾盆地即占20个, 西伯利亚盆地占10个, 储量为650亿t, 约占世界总储量的一半。沙特阿拉伯的加瓦尔油田和科威特的布尔干油田, 两个油田的石油储量占目前世界储量的1/5。若按5%的年开采增长率, 按不同的储量(已知储量和潜在储量), 石油的开采量与年份的关系如图1-6所示。

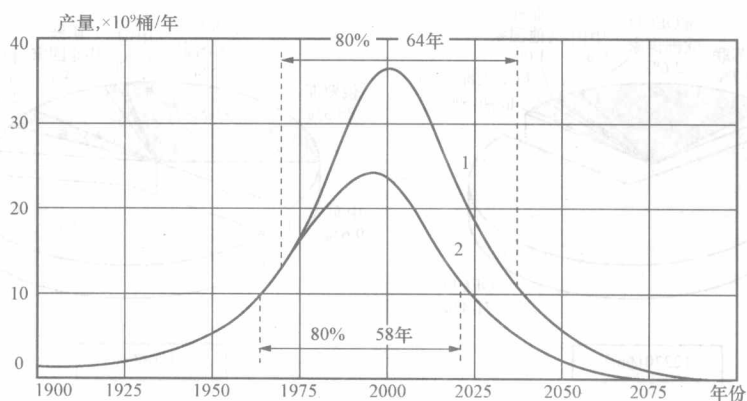


图1-6 石油的开采量与年份的关系

1—按 2.1×10^{12} 桶的总储量估计;

2—按 1.35×10^{12} 桶的总储量估计(每桶原油约137kg)

从图中可以看出, 如按储量 1.35×10^{12} 桶(合 1.85×10^{11} t)计算, 其产量的峰值在