



普通高等教育“十二五”规划教材

电厂燃料

汪红梅 张敬生 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

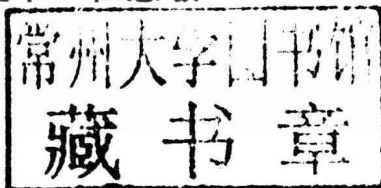


普通高等教育“十二五”规划教材

电厂燃料

编著 汪红梅 张敬生

主审 杜惠敏



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。

本书以理论与实践相结合的形式,深入浅出地阐明了燃料采制化的测试原理、方法、技术问题、测量性能评价等内容。全书共分为八章,主要介绍燃料的基础知识、火力发电厂燃料监督与管理、燃料的采样与制样、燃料的工业分析、燃料的元素分析、燃料发热量的测定、燃料的物理性能及工艺特性、煤质检测中的数理统计应用。书中安排了大量实用简图和典型例题,每章配备一定数量的复习题,注重学习的便利性和有效性。

本书可作为普通高等院校应用化学(电厂化学方向)、能源与动力工程、电气工程与自动化等相关专业的本科学生、研究生的专业教材,也可作为电力、煤炭、化工、冶金、轻工等行业中从事燃料检测人员的上岗、考核培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电厂燃料/汪红梅,张敬生编著. —北京:中国电力出版社,
2011.12

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-2536-4

I. ①电… II. ①汪… ②张… III. ①火电厂—电厂燃料
系统—高等学校—教材 IV. ①TM621.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第278013号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012年2月第一版 2012年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 23.25印张 569千字

定价 45.00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

序

目前,煤炭、石油等常规能源构成了我国电厂燃料的主体,其中煤炭作为我国主要能源,在未来相当长的时期内占据电厂燃料的主要地位,不会改变。由于电厂燃料费用约占发电成本的70%,随着中国经济的增长,煤炭、石油等价格将受下游需求旺盛的支撑继续上涨,这无疑给火电厂带来了更大的成本压力。掌握电厂燃料采制化技术及其在电厂中的应用方法和要求,对加强电厂燃料管理和监督,确保入厂燃料质量,保证锅炉安全经济运行,以及降低发电成本都有着极其重要的意义。

近年来,我国电厂燃料的采制化技术取得了长足发展。一方面,标准和测试方法在数量、质量上,已经逐渐赶上或达到了国际先进水平;另一方面,采制样及测试分析仪器不断创新和发展,更加适应我国的国情和特点,进一步满足了燃料质量检测、监督以及燃料国际贸易的需要。优秀理论成果的推广及先进技术的应用,为我国实现清洁、高效地利用常规能源奠定了坚实的基础。

本书是根据21世纪高等教育发展的要求,以电厂燃料采制化国家标准和电力行业标准为依据,认真总结电厂燃料教学和培训中积累的理论成果,充分吸收煤质分析仪器研发的成功经验编写而成的,书中内容以理论与实践相结合的形式,深入浅出地阐明了燃料采制化的测试原理、方法、技术问题、测量性能评价等各个方面的内容。

希望此教材的出版,不但能帮助高等院校更快、更好地培养社会所需的技能型人才,也能为我国电厂燃料采制化工作提供有价值的经验。



前 言

本书以适应我国电厂燃料分析技能型紧缺人才培养目标为指导思想,根据教学大纲要求,以目前电厂燃料相关的国家标准和电力、煤炭行业的最新标准为依据,认真总结电厂燃料教学和培训中积累的理论成果,充分吸收煤质分析仪器研发的经验编写而成。

本书在编写过程中,紧密结合燃料采样、制样、试验方法的最新成果,既侧重专业知识的系统阐述,又突出现场操作的应用,内容具有较强的针对性。

本书由汪红梅主编。参加编写工作的有汪红梅(第一、二、七章),文胜和曾文华(第三章),张敬生、赵毅和易亚杰(第四、六、八章),刘江舟和徐开群(第五章)。

本书由西安热工研究院高级工程师杜惠敏仔细审阅。主审老师提供了许多宝贵意见和建议,在此表示衷心感谢。

本书在编写过程中得到了内蒙古东胜热电厂李大强、华电四川公司燃料管理分公司陈光林、长沙理工大学(郑焱、卢刚、吴远瞻、胡梦寒、游泳、朱怡琳和喻林平等)和长沙开元仪器股份有限公司等单位众多朋友的热情指导和帮助,在此一并表示感谢。

编写本书时,查阅和参考了众多文献资料,得到了许多教益和启发,在此向参考文献的作者致以诚挚的谢意。

汪红梅

2011年12月

目 录

序

前言

第一章 燃料的基础知识	1
第一节 能源概述	1
第二节 燃料的形成、组成和特性	17
第三节 燃料的分类	23
第四节 煤的基准及应用	36
复习题	40
第二章 火力发电厂燃料监督与管理	42
第一节 燃料数量和质量验收	43
第二节 燃料合理储备	53
第三节 燃料盘点和混配	62
第四节 电力生产过程中的煤质监督	66
第五节 电厂燃料信息管理系统	70
复习题	81
第三章 燃料的采样与制样	83
第一节 概述	83
第二节 煤炭机械化采样	88
第三节 火电厂燃煤人工采样	102
第四节 煤样的制备方法	113
第五节 电厂入炉煤粉与灰渣采制	134
第六节 燃料油的采制样	137
复习题	143
第四章 燃料的工业分析	144
第一节 燃料中水分的测定	144
第二节 燃料中灰分的测定	153
第三节 煤中挥发分的测定和固定碳的计算	160
第四节 煤工业分析测试仪器	166
第五节 煤工业分析的在线检测	173
复习题	180
第五章 燃料的元素分析	182
第一节 概述	182
第二节 煤中碳和氢的测定	188
第三节 煤中氮的测定	201

第四节	煤中碳、氢、氮的自动测定	207
第五节	煤中硫存在的形态及测定	213
第六节	煤中全硫的测定	219
复习题		234
第六章	燃料发热量的测定	235
第一节	概述	235
第二节	氧弹热量计	241
第三节	量热温度计的校正	248
第四节	冷却校正	253
第五节	热容量和仪器常数的标定	259
第六节	煤发热量的测定	265
第七节	燃油发热量的测定	272
复习题		276
第七章	燃料的物理性能及工艺特性	279
第一节	燃料的密度	279
第二节	燃料的着火性能	286
第三节	煤粉的细度	291
第四节	煤的可磨性	294
第五节	煤的磨损性	300
第六节	煤灰熔融性	305
第七节	煤的结渣和沾污特性	310
复习题		319
第八章	煤质检测中的数理统计应用	320
第一节	基本概念	320
第二节	有效检测数据的获取	327
第三节	煤质检测结果质量的评价方法	338
第四节	标准煤样及其应用	356
复习题		361
附录	电厂燃料中常用的标准	362
参考文献		363

第一章 燃料的基础知识

本章重点介绍燃料的基础知识,包括能源概述,燃料的形成、组成和特性,燃料的分类和基准及有关分类。

第一节 能源概述

能源是人类社会赖以生存和发展的重要物质基础,是人类从事各种经济活动的原动力,也是人类社会经济发展水平的重要标志。能源、材料和信息被称为人类社会发展的三大支柱,已成为人类文明进步的先决条件。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进了世界经济和人类社会的发展。

一、能源含义、分类及转化

1. 能源含义

什么是能源?目前有很多种说法。如《科学技术百科全书》所记载:“能源是可从其获得热、光和动力之类能量的资源”;《大英百科全书》说到:“能源是一个包括所有燃料、流水、阳光和风的术语,人类用适当的转换手段便可让它为自己提供所需的能量”;中国《能源百科全书》写到:“能源是可以直接或经转换提供人类所需的光、热、动力等任一形式能量的载能体资源”。可见,能源是一种多种形式的,且可以相互转换的能量的源泉。确切而简单地说,能源是自然界中能为人类提供某种形式能量的物质资源。

2. 能源分类与转化

能源品种繁多,按其来源可以分为三大类:第一类是来自地球以外的太阳能,除太阳的辐射能之外,煤炭、石油、天然气、水能、风能等都间接来自太阳能;第二类来自地球本身,如地热能、原子核能(核燃料铀、钍等存在于地球自然界);第三类则是由月球、太阳等天体对地球的引力而产生的能量,如潮汐能。

人们通常按能源的形态特征或转换与应用的层次对它进行分类。世界能源委员会推荐的能源类型分为:固体燃料、液体燃料、气体燃料、水能、电能、太阳能、生物质能、风能、核能、海洋能和地热能。

另外,能源可根据形态分为一次能源和二次能源。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,它包括原煤、原油、天然气、油页岩、核能、太阳能、水力、风力、波浪能、潮汐能、地热、生物质能和海洋能等。一次能源可以进一步分为再生能源和非再生能源两大类。

二次能源是指由一次能源经过加工转换后得到的能源,包括电能、汽油、柴油、液化石油气、氢能等。二次能源又可以分为“过程性能源”和“含能体能源”,电能就是应用最广的过程性能源,而汽油和柴油是目前应用最广的含能体能源。能源的分类与转化及利用如图1-1所示。

常规能源也叫传统能源,就是指已经大规模生产和广泛利用的能源。如煤炭、石油、天

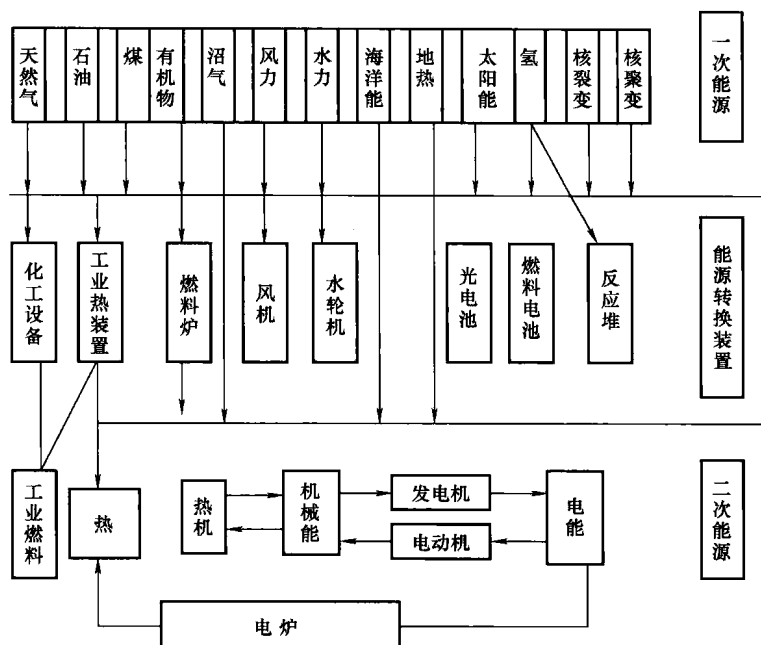


图 1-1 能源的分类及其转化和利用

然气、核能等都属一次性非再生的常规能源。煤、石油和天然气在地壳中是经上亿年形成的，这些能源短期内不可能再生，属于非再生能源；而水电则属于再生能源，如葛洲坝水电站和三峡水电站，只要长江水位达到要求，发电也就不会停止。

新能源又称非常规能源，是指刚开发利用或正在积极研究、有待推广的能源。如太阳能、风能、生物质能、地热能、海洋能和核聚变能等。相对于传统能源，新能源普遍具有污染少、储量大的特点，对于解决当今世界严重的环境污染问题和资源（特别是化石能源）枯竭问题具有重要意义。新能源中最引人注目的是太阳能的利用。据估计，太阳辐射到地球表面的能量是目前全世界能量消费的 1.3 万倍。植物的光合作用是自然界“利用”太阳能极为成功的范例。它不仅为大地带来了郁郁葱葱的森林和养育万物的粮菜瓜果，且地球蕴藏的煤、石油、天然气的起源也与此有关。寻找有效的光合作用的模拟体系、利用太阳能使水分解为氢气和氧气及直接将太阳能转变为电能等都是当今科学技术的重要课题，一直受到各国政府和工业界的支持与鼓励。

以上是从能源的使用进行分类的方法，若从物质运动的形式看，不同的运动形式，各有对应的能量，如机械能（包括动能和势能）、热能、电能、光能等。各种形式的能量可以互相转化，如动能可与势能互相转化，化学能可与电能互相转化（化学电池和电解就是实现这种转化的两种过程）。在能量相互转化过程中，尽管做功的效率因所用工具或技术不同而有差别，但是折算成同种能量时，其总值是不变的，这就是能量转化和能量守恒定律，这是自然界中一条极为基本的定律。在能量转化过程中，未能做有用功的部分称为“无用功”，通常以热的形式表现。

能源的利用，其实就是能量的转化过程。如煤燃烧放热使蒸汽温度升高的过程就是化学能转化为蒸汽热力学能的过程；高温蒸汽推动发电机发电的过程是热力学能转化为电能的过程。

程；电能通过电动机可转化为机械能；电能通过白炽灯泡或荧光灯管可转化为光能；电能通过电解槽可转化为化学能等。柴草、煤炭、石油和天然气等常用能源所提供的能量都是随化学变化而产生的，多种新能源的利用也与化学变化有关。

二、能源的重要性

人类从学会使用火开始，经过石器、铁器时代，直到近代工业化革命，各种技术发明使人类文明到达了一个前所未有的高度。同时，人类消耗的能源也日益增长，能源成为人类社会赖以生存和发展的物质基础，在国民经济中具有特别重要的战略地位。能源相当于城市的血液，它驱动着城市的运转：照明、交通、餐饮、供暖、降温、自动化管理系统等。

目前，常用的能源主要来自化石燃料，但这种资源在地球上的存量是有限的，并正日渐枯竭。因此，我们需要开发其他种类的能源，如果我们不改变目前使用能源的某些习惯，各类有限的主要化石能源都会很快用尽。照此发展，在缺乏能源的情况下，日常生活及社会经济的发展会受到极大的影响。因此，我们必须更加珍惜和充分地利用现有的能源资源。

三、世界能源现状与发展趋势

1. 世界能源的储量状况

表 1-1 为全球化石能源分布情况。

表 1-1 全球化石能源分布情况（截至 2006 年底）

地 区	石 油			天 然 气			煤 炭		
	储备 (10^9 桶)	占全球 比例 (%)	储采比	储备 (10^{12} m ³)	占全球 比例 (%)	储采比	储备 (10^6 t)	占全球 比例 (%)	储采比
北美	59.9	5.0	12.0	7.98	4.4	10.6	254 432	28.0	226
美国	29.9	2.5	11.9	5.93	3.3	11.3	246 643	27.1	234
南美及中美洲	103.5	8.6	41.2	6.88	3.8	47.6	19 893	2.2	246
欧洲及欧亚地区	144.4	12.0	22.5	64.13	35.3	59.8	287 095	31.6	237
中东地区	742.7	61.5	79.5	73.47	40.5	大于 100	50 755	5.6	194
非洲	117.2	9.7	32.1	14.18	7.8	78.6			
亚太地区	40.5	3.4	14.0	14.82	8.2	39.3	296 889	32.7	85
中国	16.3	1.3	12.1	2.45	1.3	41.8	114 500	12.6	48
全球合计	1208.2	100.0	40.5	181.46	100.0	63.3	909 064	100.0	147

从表 1-1 列出的数据可以看出，截至 2006 年底，石油已探明的经济可开采量为 1208.2 亿桶（1 桶为 128~142kg），而煤则为 9090 亿 t。石油的平均储采比为 40.5 年，而煤炭的平均储采比为 147 年。因此，石油不可能长期占据能源消耗中的第一位，预计在 21 世纪中叶，如果无法找到大规模的替代能源，人类又将重新依赖煤炭作为最主要的能源。

从以上的数据中，可以得到以下结论：第一，就目前而言，煤炭资源是储量最大、也是最可靠的能源，在世界能源结构中占有不可动摇的重要地位；第二，石油和煤炭资源分布在世界范围内极不平衡，各个国家应该根据自己国家及周边地区的资源特点来考虑能源的发展战略；第三，能源与各个国家社会经济发展水平密切相关，发达国家已经占据了世界能源消耗中的极大部分，这已经成为制约发展中国家经济社会发展的重要因素，同时也是影响国际政治关系的重要因素。

2. 世界能源生产情况

表 1-2 为 1995~2007 年世界一次能源生产量。

表 1-2 1995~2007 年世界一次能源生产量 (百万吨油当量, Mtoe)

	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007		
							产量	占世界比例 (%)	人均 (t/人)
美国	1602.1	1660.8	1633.1	1631.8	1609.7	1637.5	1647.0	14.9	5.46
中国	897.3	897.9	1143.5	1314.9	1446.8	1552.5	1662.2	15.1	1.26
俄罗斯	991.7	996.7	1138.5	1195.9	1220.4	1251.5	1262.9	11.5	8.92
加拿大	394.5	425.6	434.3	445.2	452.3	459.9	465.5	4.2	14.11
印度	191.3	213.0	227.7	242.6	250.8	263.0	277.2	2.5	0.25
澳大利亚	185.3	233.3	250.3	258.9	267.9	273.2	279.0	2.5	13.27
墨西哥	186.6	218.5	232.9	237.1	236.0	236.5	229.0	2.1	2.18
印尼	158.5	180.3	194.8	202.3	211.1	226.1	217.0	2.0	0.96
委内瑞拉	192.0	212.4	172.9	197.4	199.2	193.3	184.4	1.7	6.71
英国	246.9	263.8	237.3	217.2	196.9	178.9	168.6	1.5	2.76
巴西	99.9	142.9	160.0	163.6	175.5	183.6	189.7	1.7	0.99
世界总计	8545.4	9247.0	9794.1	10 306.5	10 583.9	10 873.7	11 026.8	100.0	1.67

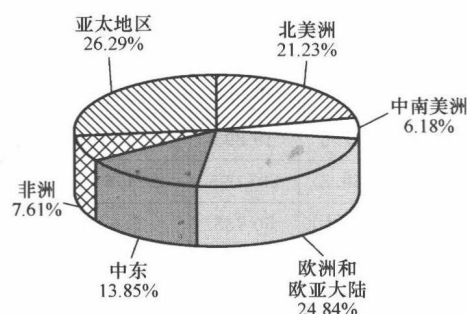


图 1-2 2007 年世界一次能源产量地区分布

2003 年以来,世界一次能源产量持续快速增长,煤炭产量增速尤为明显。2007 年世界一次能源产量 110 亿 t, 比上年增长 1.1%, 欧洲和欧亚大陆、亚太、北美的能源产量接近世界一次能源总产量的 3/4。中国人均能源产量 1.26t, 是世界平均水平的 75%。2007 年世界一次能源产量地区分布如图 1-2 所示。

表 1-3 列出 1995~2007 年世界石油产量。从表中可知: 1999 年以来, 世界原油产量一直保持稳步上升趋势, 但 2007 年有所下降。2007 年世界石油产量比 2006 年下降了 0.2%, 沙特阿拉伯、俄罗斯、美国、伊朗、中国、墨西哥、加拿大、委内瑞拉、阿联酋、科威特是世界上原油产量最大的十个国家, 占世界原油总产量的 62%。

表 1-3 1995~2007 年世界石油产量 (Mt)

	1995	2000	2002	2003	2004	2005	2006	2007		
								产量	占世界比例 (%)	人均 (t/人)
沙特阿拉伯	438.4	456.3	425.3	485.1	506.0	526.8	514.3	493.1	12.6	20.4
俄罗斯	310.7	323.3	379.6	421.4	458.8	470.0	480.5	491.3	12.6	3.5
美国	383.6	352.6	346.8	338.4	329.2	313.3	310.2	311.5	8.0	1.0
伊朗	185.5	189.4	172.7	203.7	209.7	210.1	211.3	212.1	5.4	3.0

续表

	1995	2000	2002	2003	2004	2005	2006	2007		
								产量	占世界比例 (%)	人均 (t/人)
墨西哥	150.5	171.2	178.4	188.8	190.7	187.1	183.1	173.0	4.4	1.6
中国	149.0	162.6	166.9	169.6	174.1	180.8	183.7	186.7	4.8	0.1
委内瑞拉	152.4	167.3	148.8	131.4	150.0	151.0	144.2	133.9	3.4	4.9
加拿大	111.9	126.9	135.0	142.6	147.6	144.9	153.4	158.9	4.1	4.8
挪威	138.4	160.2	157.3	153.0	149.9	138.2	128.7	118.8	3.0	25.2
科威特	104.9	109.1	98.2	114.8	122.3	129.3	132.4	129.6	3.3	48.7
阿联酋	111.1	123.1	108.4	122.2	124.7	129.0	139.0	135.9	3.5	31.2
尼日利亚	97.5	105.4	102.3	110.3	121.9	125.4	120.0	114.2	2.9	0.8
伊拉克	26.0	128.8	104.0	66.1	100.0	90.0	98.1	105.3	2.7	3.5
阿尔及利亚	56.6	66.8	70.9	79.0	83.6	86.4	86.2	86.1	2.2	2.5
巴西	35.5	63.2	74.4	77.0	76.5	84.6	89.2	90.4	2.3	0.5
英国	129.9	126.2	115.9	106.1	95.4	84.7	76.6	76.8	2.0	1.3
利比亚	67.9	69.5	64.6	69.8	76.6	82.1	85.6	86.0	2.2	14.0
哈萨克斯坦	20.6	35.3	48.2	52.4	60.6	62.6	66.1	68.7	1.8	4.4
安哥拉	31.2	36.9	44.6	42.5	48.2	61.2	69.7	84.1	2.2	4.9
印尼	76.5	71.5	63.0	57.7	55.2	53.0	49.9	47.4	1.2	0.2
卡塔尔	21.8	36.1	35.2	40.8	46.0	47.3	50.9	53.6	1.4	63.8
阿曼	42.8	47.6	44.5	40.7	37.5	38.9	37.2	35.5	0.9	13.7
马来西亚	35.6	33.7	34.5	35.6	36.5	33.9	33.8	34.2	0.9	1.3
印度	37.8	36.1	37.0	36.9	37.8	36.0	37.0	37.3	1.0	0.03
世界总计	3281.3	3614.1	3575.3	3701.1	3866.7	3897.0	3914.3	3905.9	100.0	0.6

注 石油产量包括原油、页岩油、油砂与 NGLs (从天然气田中获得的液体), 不包括其他来源的液化燃料。

表 1-4 列出 1995~2007 年世界煤炭产量。从表中可知: 2003 年以来世界煤炭产量增速较快。中国是煤炭生产第一大国, 2007 年产量占世界煤炭生产总量的 41.1%。排名前十位的中国、美国、澳大利亚、印度、南非、俄罗斯、印尼、波兰、哈萨克斯坦、哥伦比亚煤炭生产量占世界煤炭生产总量的 90% 以上。

表 1-4

1995~2007 年世界煤发生产量

(百万吨油当量, Mtoe)

	1995	2000	2002	2003	2004	2005	2006	2007		
								产量	占世界比例 (%)	人均 (t/人)
中国	686.3	656.7	733.7	868.4	1012.1	1119.8	1205.1	1289.6	41.1	0.97
美国	555.1	570.1	570.1	553.6	572.4	580.2	595.1	587.2	18.7	1.95
印度	117.7	132.2	138.5	144.4	155.7	162.1	170.2	181.0	5.8	0.16
澳大利亚	129.4	166.3	184.5	190.1	198.8	206.5	211.0	215.4	6.9	10.25
俄罗斯	118.5	116.0	117.3	127.1	131.7	139.2	145.1	148.2	4.7	1.05

续表

	1995	2000	2002	2003	2004	2005	2006	2007		
								产量	占世界比例 (%)	人均(t/人)
南非	116.9	126.6	124.1	134.1	137.2	137.7	144.7	151.8	4.8	3.19
德国	74.6	56.5	55.0	54.1	54.7	53.2	50.3	51.5	1.6	0.63
波兰	91.1	71.3	71.3	71.4	70.5	68.7	67.0	62.3	2.0	1.64
印尼	25.7	47.4	63.6	69.5	79.4	93.9	111.4	107.5	3.4	0.48
乌克兰	43.2	42.0	42.8	41.7	42.2	40.9	41.7	39.6	1.3	0.85
希腊	7.5	8.2	9.1	9.5	9.6	9.4	8.6	8.2	0.3	0.73
加拿大	40.8	37.1	34.9	32.2	34.7	35.6	34.5	36.9	1.2	1.12
捷克	27.3	25.0	24.3	24.2	23.5	23.5	23.7	23.6	0.8	2.28
土耳其	12.1	13.9	11.5	10.5	10.5	12.8	13.4	15.8	0.5	0.21
哥伦比亚	16.7	24.9	25.7	32.5	34.9	39.4	43.7	46.6	1.5	1.01
越南	3.9	6.5	9.2	10.8	14.7	18.3	21.8	23.1	0.7	0.27
罗马尼亚	9.3	6.4	6.6	7.0	6.7	6.6	7.3	7.4	0.2	0.34
保加利亚	5.2	4.4	4.4	4.6	4.5	4.4	4.6	5.1	0.2	0.67
泰国	5.5	5.1	5.7	5.3	5.6	5.8	5.3	5.1	0.2	0.08
英国	31.8	19.0	18.2	17.2	15.3	12.5	11.3	10.4	0.3	0.17
西班牙	10.2	8.0	7.2	6.8	6.7	6.4	6.2	6.0	0.2	0.13
墨西哥	4.1	5.4	5.3	4.6	4.7	5.2	5.5	5.9	0.2	0.06
匈牙利	2.6	2.9	2.7	2.8	2.4	2.0	2.1	2.0	0.1	0.20
委内瑞拉	3.2	5.8	5.9	5.1	5.9	5.3	5.4	5.9	0.2	0.21
巴西	2.0	2.9	1.9	1.8	2.0	2.4	2.2	2.2	0.1	0.01
世界总计	2239.1	2247.1	2357.8	2520.2	2729.0	2883.5	3034.5	3135.6	100.0	0.47

3. 世界能源消费

人类的生产和生活离不开能源，一个国家的能源消费和生产情况在一定程度上反映了国家的经济发展水平。表 1-5 为 1995~2007 年世界主要国家能源消费情况。可以看出，世界

能源消费平稳增长，世界能源消费的增长与世界经济的发展趋势是完全一致的。例如，2007 年世界能源总消费量 110.99 亿 t，比 2006 年增长 2.4%。图 1-3 表明了 2007 年世界能源消费地区分布，从图中可知，能源消费集中在人口比较集中、经济比较发达的地区。美国是能源消费最多的国家，2007 年能源消费量达 23.6 亿 t，超过世界能源消费总量的五分之一，人均消费量接近世界平均水平的 5 倍。中国能源消费总量居世界第二位，但人均消费量只有世界平均水平的 82%。

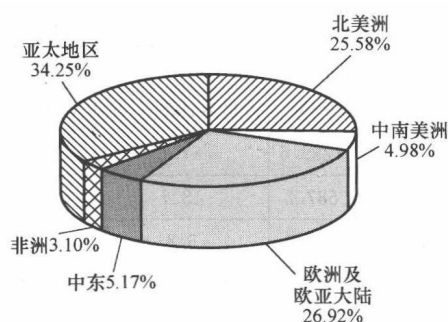


图 1-3 2007 年世界能源消费地区分布

表 1-5

1995~2007 年世界主要国家能源消费情况

(百万吨油当量, Mtoe)

	1995	2000	2002	2003	2004	2005	2006	2007		
								消费量	占世界比例 (%)	人均 (t/人)
美国	2116.7	2309.5	2289.2	2296.7	2341.9	2342.7	2322.3	2361.4	21.3	7.8
中国	916.7	967.3	1058.3	1229.3	1429.0	1560.5	1729.8	1863.4	16.8	1.4
俄罗斯	668.1	635.2	645.8	650.2	658.0	653.7	687.7	692.0	6.2	4.9
日本	490.9	512.4	507.9	508.3	519.0	521.9	522.3	517.5	4.7	4.1
印度	236.0	295.1	307.8	316.2	343.9	362.2	378.5	404.4	3.6	0.4
德国	333.1	330.5	330.1	332.1	330.7	325.2	329.5	311.0	2.8	3.8
加拿大	277.3	300.9	301.4	310.5	313.7	323.4	320.2	321.7	2.9	9.8
法国	235.7	254.9	256.7	259.8	263.4	262.8	260.6	255.1	2.3	4.1
英国	214.4	224.2	221.8	225.6	227.0	227.3	224.4	215.9	1.9	3.5
韩国	148.6	191.1	205.0	211.8	217.3	224.9	227.2	234.0	2.1	4.8
巴西	149.3	182.8	183.6	186.0	193.2	198.8	204.3	216.8	2.0	1.1
意大利	162.4	176.4	175.9	181.5	184.5	184.6	183.4	179.6	1.6	3.0
伊朗	93.4	121.0	141.4	148.9	161.4	171.0	179.6	182.9	1.6	2.6
沙特	97.2	116.4	123.7	131.7	142.8	151.4	158.8	167.6	1.5	6.9
西班牙	100.5	129.2	134.7	141.2	145.5	147.3	147.2	150.3	1.4	3.3
墨西哥	111.7	135.6	134.2	139.2	142.4	147.0	151.5	155.5	1.4	1.5
乌克兰	147.8	136.7	134.1	134.0	141.3	140.0	138.5	136.0	1.2	2.9
南非	100.5	108.4	110.9	117.3	123.6	120.4	122.4	127.8	1.2	2.7
澳大利亚	96.8	106.3	113.1	112.6	116.1	118.0	123.7	121.8	1.1	5.8
荷兰	82.7	86.4	89.0	90.4	93.1	94.7	92.7	91.8	0.8	5.6
波兰	96.4	88.4	87.1	88.5	90.9	90.7	94.4	94.4	0.9	2.5
土耳其	60.0	76.6	75.1	79.9	85.3	89.3	96.9	101.7	0.9	1.4
世界总计	8564.9	9293.3	9524.2	9828.9	10289.4	10557.6	10843.0	11099.3	100.0	1.7

图 1-4 和图 1-5 为 1995~2007 年世界煤炭和石油消费趋势。从图中可知, 2002 年以来, 世界煤炭消费量保持快速增长。2007 年世界煤炭消费量比 2006 年增长 4.5%, 明显高于总能源消费的增长率。亚太地区是使用煤炭资源最多的地区。中国是最大的煤炭消费国, 煤炭消费量占世界总消费量的 40% 以上, 人均消费量是世界平均水平的两倍。

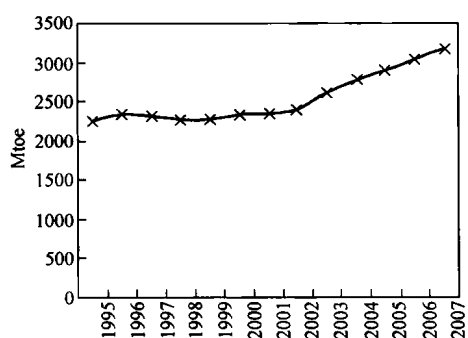


图 1-4 1995~2007 年世界煤炭消费趋势

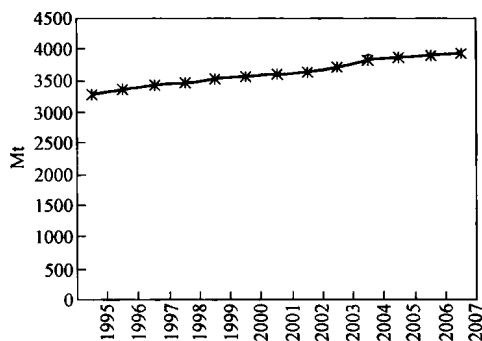


图 1-5 1995~2007 年世界石油消费趋势

四、中国能源现状、发展趋势及对策

1. 中国能源现状

中国地大物博、资源丰富，自然资源总量排世界第七位，能源资源总量约 4 万亿 t 标准煤，居世界第三位。据 2007 年统计，我国煤炭保有储量为 11 800 亿 t，经查可采储量 1145 亿 t；石油的资源量为 930 亿 t，天然气的资源量为 38 万亿 m³，现已探明的石油和天然气储量只占资源量的约 20%和约 3%；水力的可开发装机容量为 5.42 亿 kW，居世界首位；新能源与可再生能源资源丰富，风能资源量约为 16 亿 kW，可开发利用的风能资源约 2.5 亿 kW，地热资源的探明储量为 33 亿 t 标准煤，太阳能、生物质能、海洋能等储量更是属于世界领先地位。但因我国人口众多，能源资源相对匮乏。我国人口占世界总人口 21%，已采煤炭储量仅占世界储量的 12.6%、石油占 1.3%、天然气仅占 1.3%。人均能源资源占有量不到世界平均水平的一半，石油仅为十分之一。表 1-6 和表 1-7 为 2007 年中国能源资源量，表 1-8 为 1995~2010 年中国能源消费总量及构成。从中国能源资源赋存及利用现状看，主要能源结构是煤炭和石油，两者占能源总消耗的 90%左右，在我国能源消费结构中具有支柱性地位。中国可再生能源资源较为丰富。随着《可再生能源法》及配套政策的出台和实施，可再生能源的发展将进一步加快。但由于中国耕地资源不足，人均不到世界平均水平的 30%，生物质能源开发受到制约。

表 1-6 2007 年中国主要能源基础储量及人均储量

能源种类	基础储量	人均储量
石油 (万 t)	283 253.77	2.14
天然气 (亿 m ³)	32 123.63	2431.23
煤炭 (万 t)	32 612 600	246.82

表 1-7 2007 年中国可再生能源资源量

可再生能源种类	资源量	可再生能源种类	资源量
水力资源蕴藏量 (亿 kW)	6.94	太阳能 (亿 kW)	10.9
可开发量	5.42	地热能 (亿 t)	33
小水电可开发量	1.25	生物质能资源量 (亿 t)	
风能资源量 (亿 kW)	10	秸秆	7
陆地可开发量	2.5	薪柴	2.2
近海可开发量	7.5		

1952~2010 年，我国煤炭在能源消费总量中所占比重从 95%下降到 66.7%，下降了 28.3 个百分点；石油比重上升了 12.3 个百分点；水电、核电、风电和天然气等优质能源比重提高了 11.7 个百分点。我国水电装机达到 1.72 亿 kW，位居世界第一。风电装机容量连续三年翻番增长，达到 1217 万 kW，位居世界第四。太阳能热水器集热面积超过 1.25 亿 m²，年产能 4000 万 m²，均居世界第一。

表 1-8

1995~2010 年中国能源消费总量及构成

年份	能源消费总量 (万 t)	占能源消费总量的比重 (%)			
		煤炭	石油	天然气	水电、核电、风电
1995	131 176	74.6	17.5	1.8	6.1
1996	138 948	74.7	18.0	1.8	5.5
1997	137 798	71.7	20.4	1.7	6.2
1998	132 214	69.6	21.5	2.2	6.7
1999	133 831	69.1	22.6	2.1	6.2
2000	138 553	67.8	23.2	2.4	6.7
2001	143 199	66.7	22.9	2.6	7.9
2002	151 797	66.3	23.4	2.6	7.7
2003	174 990	68.4	22.2	2.6	6.8
2004	203 227	68.0	22.3	2.6	7.1
2005	224 682	69.1	21.0	2.8	7.1
2006	246 270	69.4	20.4	3.0	7.2
2007	265 583	69.5	19.7	3.5	7.3
2008	285 000	68.7	18.0	3.8	9.5
2009	305 805	67.5	16.8	4.4	11.3
2010	327 823	66.7	15.7	4.9	12.7

注 电力折算标准煤的系数根据当年平均发电煤耗计算。

2. 中国能源发展趋势

2002 年煤炭在我国一次能源消费构成中占 66.1% (消费煤炭 13.1 亿 t), 预计五十年内仍将保持在 50% 以上。因此, 在未来能源的利用中, 煤炭仍将是支持我国能源供应的主要来源, 表 1-9 列出了我国一次能源需求及构成状况。值得注意的是, 尽管未来节能力度较大, 但到 2050 年, 我国一次能源的消费量仍是相当惊人的, 接近 53 亿 t 标准煤。其中煤在终端能源消费中的比重降到了 25.83%; 但在一次能源需求中的比重仍高达 66.13%, 与目前水平持平。

表 1-9

我国一次能源需求及构成状况

(百万吨标准煤当量, Mtce)

年份	1995		2010		2030		2050	
燃料	能源消费量	所占百分比 (%)	能源消费量	所占百分比 (%)	能源消费量	所占百分比 (%)	能源消费量	所占百分比 (%)
煤	925	74.02	1362	66.73	2277	66.78	3494	66.13
油	230	17.88	300	14.70	395	11.57	588	11.13
气	24	1.87	100	4.9	241	1.07	492	9.30
核能	5	0.39	104	5.08	211	6.18	344	6.51
水电	75	5.83	157	7.70	244	7.17	297	5.62
新能源	0.13	0.01	18	0.90	42	1.23	69	1.31
合计	1286	100	2041	100	3409	100	5283	100

同其他能源形式相比,由于煤的可获得性好,资源相对充足,因此是最为可靠的能源,也是相对廉价的能源。通常相同热值下,国际天然气、油的价格是煤的 2~3 倍。

从以上表格可以得出以下结论:

(1) 我国能源资源并不十分丰富,供应相对紧张。在各种能源资源中,最具有实际意义的是煤炭、石油与天然气、水能和核能资源。由于我国人口众多,能源的人均资源占有量是世界人均资源量的 1/2, 仅及美国人均资源量的 1/10。

(2) 从我国能源资源的储量、当前能源生产和消费角度看,煤炭是我国最主要的一次性能源。煤炭在目前以至未来几十年中都将是支持我国能源供应的主要来源。

(3) 电力工业是原煤消耗量的最大部门。燃煤火力发电是电力生产的最主要形式,火力发电原煤消耗量占我国原煤产量的百分数在 1986 年之前为 20% 左右,2000 年已超过 35%。某些工业化国家的这一比例为 50%~70%, 最高达到 85% 左右。随着我国国民经济的发展与人民生活水平的提高,以及不断采用先进的能源利用技术,增大发电用煤的比例是必然的趋势。

(4) 煤炭不仅是我国最重要的能源,而且也是重要的化工原料。以煤为原料生产的合成氨占总产量的 64%, 以煤为原料生产的甲醇占总产量的 70%, 煤化工在我国化学工业中占有十分重要的地位。

(5) 煤炭消费构成复杂,能耗高、利用率低、浪费严重。

3. 中国能源发展对策

在未来数十至数百年内,地球上石油、天然气和煤炭资源将陆续趋于枯竭,取而代之的是以核能、太阳能及生物质能为代表的新能源。世界各国越来越加大新能源的研究和开发力度,以保证人类社会经济的可持续发展。

根据世界能源发展趋势,中国在 20 世纪六七十年代就开始了能源结构的战略性规划与调整。在合理利用传统能源的基础上,大力推进新能源的开发与利用。以核电站为例,目前全世界已有核电站 400 多座,装机容量约 3.8 亿 kW, 占世界总发电能力的 18%。我国在 20 世纪 80 年代建造的第一座装机容量 30 万 kW 的秦山核电站并网发电,之后又建造 90 万 kW 的深圳大亚湾核电站,目前正在研制 100 万 kW 级的国产核电机组。2010 年核电装机容量已达到 2000 万 kW, 计划到 2020 年达到 4600 万 kW, 届时核电占全国总发电量的 3% 左右。

21 世纪中国能源发展战略是:贯彻开发与节约并重,改善能源结构与布局;能源工业的发展以煤炭为基础,以电力为中心;大力发展水电,积极开发石油、天然气,适当发展核电,因地制宜地开发新能源和可再生能源;依靠科技进步,提高能源效率,合理利用能源资源,减少环境污染。未来 20 年,中国应实行“节能优先、结构多元、环境友好”的可持续发展战略。依靠体制创新和技术进步,实行能源国际化战略,到 2020 年力争实现 GDP 翻两番,能源消耗翻一番的目标。

能源生产不同于其他工业部门,牵涉环节多,开发周期长,尤其是新能源的开发利用需更大量的人力和财力,短期内难以成为世界能源的主角。因此,我国近期能源工业的发展方针是:节约与开发并举,把节约放在首位。

五、发电能源

目前世界上用于发电的能源主要有煤炭、石油、天然气、核能、水能、还有少量的风能、太阳能和地热等。发电能源的构成随科学技术的发展而变化。如核能作为发电能源,是在核技术被人类掌控,并在发电力领域中成熟应用的结果。随着科学技术的发展,可用于发