

煤炭资源 及其开发利用前景

马学昌 尹善春 编著

07.21

地质出版社

95
F407.21
2
乙

煤炭资源及其开发利用前景

马学昌 尹善春 编著

XAH49/2/

地 质 出 版 社

(京)新登字085号

内 容 简 介

本书系统介绍了煤的成因,资源的勘探,储量计算和分类,煤田开发和煤炭的利用等全部过程,世界煤炭资源的分布、生产、消费与贸易简况等,并提出生产与利用的前景,还介绍了煤的共生和伴生矿产。

可供从事地质勘查、科学研究、计划、经济、开发利用、贸易方面的人员及地质院校师生参考。

煤炭资源及其开发利用前景

马学昌 尹善春 编著

*

责任编辑: 牟相欣

地质出版社出版发行

(北京和平里)

北京房山东兴印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本: 787×1092¹/16 印张: 8.625 字数: 200000

1994年12月北京第一版, 1994年12月北京第一次印刷

印数: 1—800册 定价: 8.80元

ISBN 7-116-001604-X/P. 1297



前言

人类文明的进步主要是靠科学技术推动的，能源和原材料是重要的物质基础。铁器的出现，把人类从奴隶社会推进到封建社会。蒸汽机的发明和煤炭的大量利用，又把人类推到了资本主义社会。50年代以后，内燃机、计算机和石油的大量应用，把我们带到了现代生活中来。

石油是当代世界的主要能源。由于其储量有限和地理分布的不均衡，将不能满足日益增长的需要，以致煤炭的消费量又在逐渐地增加，呈现即将取代石油的上升之势。煤炭已是公认的未来的主要能源。

经过长期地质调查，全球的煤炭资源情况已基本清楚，约有14—18万亿吨，可以说非常丰富，远远超过了石油资源，而且分布范围也比石油广泛得多。于是，有些人被这种现象所迷惑，误认为煤炭似乎是取之不竭的，可以放手大量开发利用，好像经济发展所需的能源已经解决了，不成问题了。因而不重视改进煤炭的利用技术，不重视节约能源。

产生这种不正确认识的原因是不了解现代煤炭资源的地质勘查、开采、贸易和利用的全部过程。有些人以为地下的煤炭资源是能够全部采出来予以利用的。例如在某地发现了一亿吨煤资源，计划年采100万吨，就认为可以开采100年。这个问题在于没有考虑开发的政治、经济条件等诸因素。开发煤田必须先有投入，如果收益不大，甚至抵不了投入，就不值得开发；如果造成环境的严重污染或破坏，也不能开发。因此，资源并非都是经济可采的。在市场经济中，资源的开发还受多种因素制约，如煤炭要与石油、天然气和核能竞争，其产量必须视销售量而定。如果在市场上没有竞争力，就不能开采。所以，资源中能够发挥作用的，只是具有市场竞争力的那一小部分（特殊的政治条件例外）。

有鉴于此，本书系统地概括地介绍了煤的成因，资源的勘查，储量计算和分类，煤田的开发及煤炭的利用等全部过程，以及世界煤炭资源的分布、生产、消费与贸易的简况，并提出其生产及利用的前景，还介绍了煤的共生和伴生矿产，以供从事与煤炭有关事业（诸如地质勘查、科学研究、计划、经济、开发利用、贸易、学校等）的人员参考。尤其是我国正在从计划经济转向市场经济，本书对试图经营煤炭的人员将会有所帮助。在计划经济体制中，经营煤炭的企、事业单位是分工的，从事勘查的不管开采，从事开采的不管勘查、销售和利用；转向社会主义市场经济，则要求探、采、销、用合成一个有机的整体，客观上要求人们必须具备有关所从事工作的全面知识，以便根据市场的变化，及时作出正确的决策。

全书由马学昌、尹善春负责编写，张冬、靳楠参加了收集资料及编图工作，黄小玲负责清绘图件，马学昌担任最后的审定。

由于本书涉及学科面广，作者水平有限，难免存在缺点和错误，欢迎批评指正，不胜感激。

本书在编写过程中，受到了许多专家的鼓励和支持，在此谨致谢意。

作者 1993年11月

目 录

前 言

第一章 煤炭在历史发展中的地位和作用.....	(1)
第一节 煤炭对世界文明进步的贡献.....	(1)
第二节 煤炭与其他能源.....	(2)
第三节 煤炭在未来经济中的作用.....	(7)
第二章 煤炭的形成和煤的分类.....	(9)
第一节 煤的形成.....	(9)
第二节 成煤的原始质料.....	(10)
第三节 成煤环境.....	(14)
第四节 煤变质作用.....	(16)
第五节 煤的分类.....	(24)
第三章 煤炭资源分类和分级.....	(31)
第一节 煤炭资源的分类.....	(31)
第二节 资源和储量的分级.....	(34)
第三节 中国煤炭资源的分类及各类资源的用途.....	(35)
第四章 世界煤炭资源及其分布概况.....	(37)
第一节 世界煤炭资源概况.....	(37)
第二节 世界煤炭资源的特点.....	(46)
第三节 世界主要煤炭资源国家.....	(49)
第五章 煤的利用.....	(69)
第一节 影响煤的利用因素和洁净煤技术.....	(69)
第二节 煤的加工.....	(71)
第三节 煤的利用方式.....	(73)
第六章 世界煤炭的生产和贸易.....	(90)
第七章 与煤(层)共生和伴生的矿产.....	(96)
第一节 调查研究与煤(层)共生和伴生矿产的重要意义.....	(99)
第二节 与煤(层)共生和伴生的几种主要矿产.....	(101)
第八章 结论.....	(130)
主要参考文献.....	(132)

第一章 煤炭在历史发展中的地位和作用

人类文明的进步主要依靠生产力的发展，包括能源的开拓和工具（各种机器和各种工程）的发明创造与使用。作为重要能源和工业原材料的煤炭，在人类文明发展的历史上，曾经立下了不朽的功勋；预计在今后，还会写下光辉的篇章。许多科学调查机构的报告指出，当今世界主要能源——石油的探明储量，大约再过40余年便会耗竭，公认煤炭将是石油之后的主要接替能源和未来的重要化工原料。所以，世界各国都非常重视煤炭资源的开发和利用。

第一节 煤炭对世界文明进步的贡献

中国是世界上最早利用煤炭的国家。考古发现，在中国新石器时代的遗物中，就有用煤炭（煤精）制成的工艺品。其年代距今约7000年。在西汉（公元前206年—公元25年），人们已开始地下采煤，并用于冶铁。至宋朝（公元960—1127年），汴京（今开封市）居民已普遍用煤作燃料。至元朝（公元1206—1368年），意大利人马可勃罗来中国时，煤的使用更是普遍了，而那时欧洲尚不知用煤。

18世纪后期，由于蒸汽机的出现，煤炭的用量大幅度上升。至19世纪末期，煤炭的世界消耗量迅速超过了木柴。因为煤炭和木柴相比，成本低，体积小，发热量大，便于在以蒸汽机作动力的火车和轮船上使用。作为在大型高炉中炼铁的还原剂，焦炭也更优于木炭。公元1860年，世界商品能耗量为1.4亿吨标准煤，其中煤炭约占1/4，木柴约占3/4；至公元1900年，木柴在商品能耗中便降至40%以下，而煤炭的用量大大超过了木柴，占到了57.6%，跃上冠军之位。当时，石油和天然气只占3.2%。煤炭的大量开发和应用，加快了资本主义的发展，使社会生产力大幅度提高。可以说，煤炭为18世纪的工业革命立下了汗马功劳。

19世纪后期，内燃机的发明，使石油的使用量开始大增。第二次世界大战期间，石油倍受重视，它是飞机、坦克、舰艇和汽车的“血液”，石油资源便成了争夺的重要对象。战后，石油工业又得到了突飞猛进的发展。由于在中东和加勒比海地区发现了丰富的石油资源，促进了内燃机的大量使用和电力的迅猛发展，使社会的发展又上了一个新的台阶。1950年，石油在世界能源消费结构中还只占27%，同期煤炭则占61.5%；而至1965年，石油在世界能源结构中的比重便上升到39.4%，而煤炭则下降为38.7%。石油在世界能源消费中的比重超过了煤炭。1970年，石油在世界能源消费结构中的比重增长到43%，煤只占35%；此时，天然气所占的比重显著增加，达到了10%左右。石油和天然气的大量应用，使社会生产力大幅度地提高，改善了人们的生活条件。

石油能够取代煤炭的原因，是由于它有众多的优点，如：①开采成本低，一般不及煤炭的1/3，而劳动生产率则超过煤炭8倍；②发热量高，约为同重量原煤的两倍；③运输方便，可以用管道输送或大型油轮运载；④污染少，没有废渣；⑤在蒸汽机和内燃机中均能使用；⑥携带方便，可广泛应用于飞机、汽车和舰艇等机动的机器中。从50年代到70年代初期，因为有了廉价的石油，使世界经济得到了迅速的发展。大量的汽车和飞机的使用和充足的电

力供应，使发达的资本主义国家的生产和生活方式发生了巨大的变化。

天然气也是易于开采、输送、而且使用方便和清洁的优质能源。一般而言，其生产成本比石油更低，只及煤炭的1/10，劳动生产率为煤炭的55倍。因它在使用上不及石油便利，发展较迟，60年代才广泛应用，到70年代后期在世界能源结构中所占比例达到约20%，一直持续至今。石油和天然气两者比例之和，大约为煤炭的两倍。此期间，煤炭的开发和使用进展不快，在世界若干地区内，呈现出萎缩之势；只在缺少石油而煤炭蕴藏丰富的国家，才持续缓慢地增长。

鉴于石油的储量有限，其地理分布又很不均衡（60%以上的石油资源集中在中东），主要产油国家为了自身的利益，于70年代中期，成立了石油输出国家组织（欧佩克），采取了限制石油生产、提高石油价格的政策。这一政策导致了当时资本主义世界的经济危机，迫使它降低了石油的消费，转而应用煤炭和天然气，并发展了核电站。70年代中期至80年代中期，世界石油年产量由31.14亿吨（占当年能源消费量的49.1%）减至年产量约26.5亿吨，在1985年之后，才又开始缓慢回升。此期间，煤炭产量却增长较快，由1975年的27.88亿吨增至1985年的43.37亿吨（指商品煤，中国和前苏联为原煤）。80年代中期，世界能源消费结构大致为石油占40%，煤炭占30%，天然气占20%，水电与核电约各占5%。至1990年，此消费结构则变为石油占38%，煤炭占30%，天然气占20%，核电占5%，水电占7%。核电的发展比原先预计得要慢。这是因为在美国三哩岛核电站和前苏联切尔诺贝利核电站事故之后，人们普遍关心核电站的安全问题，再加上核电站建设时间长和核电的成本高之故。据最近一些能源研究机构预计，到2000年，在世界能源消费结构中，煤和石油将大致持平，各占30%左右。之后，煤炭将超过石油，再次占世界能耗的首位。至2020年，煤炭将占35%以上，石油降至30%以下，但煤炭作为化工原料的作用将大大增强。煤炭的第二个大显身手的时代即将来临。

第二节 煤炭与其他能源

现在世界的主要能源是石油、煤炭、天然气、水能和核能。此外，还有太阳能、风能、地热、海洋能、生物能和低热值矿物能源（如油页岩、泥炭和石煤等），它们在能源构成中所占的比重很小。随着人类对能源的需求不断增长和科学技术的进步，以及主要能源的日益消耗，它们将会逐渐受到应有的重视，并取得相应的发展。

人们总是优先开发最适于利用和成本最低廉的能源和各种资源，而其次才考虑它们的天然贮藏的数量。某种资源是否能得到开发和利用，取决于其本身的特性和各种经济与政治因素。下面将比较各种能源资源及其特点。

一、石油

石油是当代的主要能源，在世界能源消费结构中约占38%。它是由地史上有机物质转化而成，富集于长期接受沉积的稳定的地壳部位，如中东的阿拉伯地台、俄罗斯的西伯利亚地台、北美地台南部、巴西地台北部和北非地台北部等。而在地壳不稳定地区，如太平洋沿岸和地中海一带，皆未发现大油田，这是与它的赋存条件不佳有关。因此，世界石油储量的分布是不均衡的。据美国《油气杂志》1991年年终号报道，至1991年底，世界石油探明储量约为1357.55亿吨，其中65%—70%赋存在中东地区，15%—20%赋存在北美及拉丁美洲，西伯利亚地区约赋存6%。近40年来，许多石油公司竞相在全球进行了大量的石油勘查工作，

在50年代和60年代，发现了大批的油田，每年平均探明30—40亿吨储量；而到了80年代，除了在中东地区探到较多的储量外，在其他地区皆未获大的发现。数年以来，世界探明保有石油储量呈连年下降之势，增加的抵不过消耗的。按1990年产量计算，全球石油储量还可供开采40年左右。由于资源分布不均衡和各地产量大小不同，中东地区的石油资源可供开采100年以上，北美的石油资源仅可供再采9年，欧洲的石油资源还可采15年。以此预计，公元2000年至2020年之间，许多地区的石油储量将趋于枯竭，全世界的石油供给将越来越依靠中东地区。那时，石油的价格必将迅速上升，迫使人们开发利用其他能源。而石油的产量将逐渐下降，最终落在煤炭之后。

石油还是十分重要的化工原料，用石油制造化工产品所创造的价值，比用作能源的价值高得多。无疑，今后必将有越来越多的石油转作化工原料，它在能源中所占的比例，将会较快地下降。

二、天然气

天然气是易于开采和输送的洁净能源，近20年间，在世界能源消费结构中所占的比重迅速上升，达到了20%左右。1970年，世界天然气的产量还不到1万亿立方米（占能耗比重的10%）；到1990年，产量已上升到近2.2万亿立方米。天然气的探明储量，也由1970年的37万亿立方米增加到1991年的123.9万亿立方米（据美国《油气杂志》1991年年终号）。其中，前苏联的储量最多，保有量为49.5万亿立方米，大部集中在靠近北极区的乌连戈依气田。

和石油一样，天然气也是由古代的有机物转化而成，有油型气和煤成气之分，而以煤成气为主。它的地理分布也很不均衡，但分布范围比石油广泛。由于它容易逸失于大气中，比石油更难以在地下保存，不易集中成大型矿床。所以世界上天然气矿床一般规模都不大，储量大于1000亿立方米的就很少见了。有关机构估计，世界天然气尚有待发现的资源为250—300万亿立方米，大体与石油的情况相当。预计至2000年，产量将达2.5万亿立方米以上；下世纪初，可能还会有较大的增长。

天然气的主要用途依次是发电、供热和作化工原料。在这些领域里，它比石油和煤炭都更优越，而生产成本更低。所以，开发得快，消耗得也快。因资源有限，和石油一样，将来产气国很快就会限产抬价，将天然气转用于生产获利丰厚的化工产品，而用于能源方面的数量将迅速下降。天然气将比石油更快地退出能源领域。

三、煤炭

世界煤炭资源丰富，地理分布范围也比石油和天然气广得多。据1989年14届国际能源会议资料，世界煤炭总资源量约为15万亿吨，其中经过地质勘查获得的储量（identified reserves）约为5万亿吨，主要分布在俄罗斯独联体、中国、美国、澳大利亚和加拿大。

煤炭的开采，需要预先掘进大量巷道或剥离大量岩石，所以其生产成本比石油和天然气大得多；其运输费用，也比石油和天然气大得多，而且使用也不如后者方便。正因如此，其资源量虽大，而能经济地开采利用的，现在仅为一小部分。在上述经地质勘查而获得的大约5万亿吨储量中，因开发条件好而进行了详细勘探并获得可供开采作业的储量（称作确认储量或证实储量proved reserve）只有约2万亿吨，扣除开采过程中的各种损失，预计从其中可能经济地采出的储量（称为确认可采储量）大约为1万亿吨左右。1990年，世界原煤总产量已达50亿吨以上。若假定今后世界煤产量保持50亿吨，并假定1万亿吨的可采储量均能被采出，则平均可支持生产200年之久。对煤炭开发而言，关键不在资源的数量，而在于有多少煤炭能够与石油、天然气、核能、水电等能源相竞争。如果失去竞争能力，矿山就要亏损，虽还

有许多可采储量，实际上已不可开采，矿山就要关闭。如日本和德国的一些矿山，就是如此。如果 2000 年以前石油和天然气的价格不发生大的变化，核能的利用技术也没有重大进展，预计今后煤炭的产量势必迅速增长，以满足越来越大的能源需求。有关机构和专家估计，至 2000 年，煤炭的产量将达 80—100 亿吨（折合标准煤 65—85 万吨，即世界能耗的 1/3 左右）。以后煤炭产量将上升更快。那么，现有的证实可采储量将在 100 年内消耗殆尽。考虑到尚有 2/3 的煤炭资源未经勘查，未来尚有很大的开发潜力，前景是乐观的。若能改进煤炭的开发利用技术，提高其利用效率，无疑将更扩大煤炭资源的潜力。有鉴于此，工业发达国家都在努力研究更有效地开发利用煤炭的技术，如尽快研究和采用适于本国煤炭资源的开采技术和设备，提高工效和回采率，减少资源的损失；建立坑口和港口电站，减少煤炭的运输及运输中的损失；制作水煤浆，利用管道输送，降低运输成本；将煤深加工，制成人造气和人造油（气化和液化），或生产各种高价值的化工产品；改进煤的燃烧方式，如流化床的应用，不仅能提高煤的利用效率 50% 以上，还可用劣质煤，减少污染。这些先进技术，有的已投入生产，有的正在试验中。由此可知，煤炭的利用大有潜力可挖，而且煤炭也可以加工成和石油、天然气一样清洁方便的能源。

现在世界煤炭产量的大部分都是用于火力发电。在工业发达的国家里，全国耗煤量的 80% 以上都用于发电，少量才用于冶金、化工、窑炉供热和民用等。中国的情况则不同，现发电用煤只占煤耗总量的 23% 左右。大部用于窑炉供热及民用。当前，在国际上，燃煤电站正与核电站开展竞争。在不大量增加运输费用的情况下，如燃煤电站位于煤产地附近，或靠近输煤港口，煤电站才能胜过核电站。煤炭在化工方面的应用，也正在逐渐增长。

四、核能

核能是指原子核发生结构变化时放出的能量，但在这里是指核电站所发出的电能。在当今世界能耗中，核能约占 5% 的比重。现在人类能够直接控制并能经济地使用的核能只有铀-235 的裂变能，通过核电站将裂变能转变为电能。1951 年第一座核电站问世，到 1990 年末，全世界运行中的核电站已有 424 座，总装机容量为 32450 万千瓦，年发电量占世界总发电量的 17% 左右。核电站在 70 年代发展很快，当时有人预计到 1990 年核电总装机容量可能达 10 亿千瓦，而至今实际上与当初预计的相差很大。后来核电发展缓慢的原因是：①人们对核电站安全的担心；②成本高；③建设时间长。今天专家们预计，到 2000 年，核电总装机容量约为 4 亿千瓦。

核电站与燃煤电站相比，建造技术要复杂得多，所以其建造成本也高得多，但建成后所用的燃料就少得多。一座装机容量 100 万千瓦的燃煤电站，一年要消耗约 300 万吨煤；而同样装机容量的核电站，一年只需几十吨核燃料就够了。

煤炭一经采出，便可直接送电站使用。而核燃料的制备，则复杂和昂贵得多。从地下采出的铀矿石含铀量很低，一般是万分之几到千分之几，要经过选矿、粉碎、水冶、精炼、浓缩等多道工序，才能制成核燃料元件，送到反应堆中使用。

核废料的处理，比煤渣的处理更困难。确切地说，目前尚未找到理想的处理办法。正因如此，只有在缺少其他能源的国家和地区，如日本、法国、意大利、韩国和中国的台湾等地，才大量使用核能。但从长远看，常规化石能源（石油、天然气和煤炭）的储量是有限的，而且越来越多地被用作化工原料，核能的开发，则是必然之路。

对铀矿资源的研究，远不如对其他常规能源研究得详细，只能初步估计，铀资源是比较丰富的。目前，世界上已探明的天然铀储量约为 200 多万吨（成本价格不超过 130 美元/kg），

另有远景储量约与此数相当。据估计，全球海水中尚含有40亿吨铀，只是回收成本太高，现在无法经济地利用。近几年，世界氧化铀的年产量约为3.5—4.0万吨。

铀的各种同位素中能用作核燃料的，只有铀-235，约占铀金属的0.7%，其余99.2%为铀-238。现在已研制成新的核反应堆——快堆。在快堆中可以使铀-238裂变，并生成钚-239，而钚-239又能用作核燃料。这样就可以使核燃料一下子增加上百倍。但快堆的制造成本太高，目前还不能投入商业运行，而它的前景确是十分美好的。

另一种最可能的后备核资源是钍。它的元素丰度比铀大得多，因而也有诱人的远景。

五、水能

水能在当今世界能耗中约占5%。水能是可再生的能源，不同于前述各种能源；又是清洁的能源，没有污染。水电站建成后，运行的费用低。因此，各国都优先发展水电。

全世界水电的理论储量每年大约为44.28万亿度，可以利用的为19.39万亿度，可以经济开发的只有6.4万亿度，目前已经开发的约为2万亿度，即只开发了可以经济开发的1/3。这是因为水能资源的地理分布与经济发展地区不相吻合，大多数资源集中在河流上游，远离人口密集的经济中心区；大型水电站的建设都是投资大，周期长，在上游荒僻地区建设就更困难了；建造水库要淹没大片土地，迁移大量居民，有时还会破坏生态环境，而且水电受气候的限制大，枯水季节，发电量减少，还需用火电来调节。权衡利弊之后，现实可开发的水能资源就不多了。人们把经济效益最好的水能资源开发了以后，便转而优先发展火电了。1900年，水电在电力工业中所占的比重为53%，火电占47%；而1980年，水电在电力工业中的比重便降为23%，火电和核电的比重则上升到77%。在70年代中期，由于石油提价而引起了经济危机之后，小水电及南美的大型水电又加速了发展。1990年，水电在电力工业中的比重又略有上升，达到26%。但世界上水能资源毕竟有限，即使全部开发，在能源中也占不了主要地位。

六、地热

地热是由地球深部上来的热能。关于这些热能的起源，众说不一。现在一般主张是来自核能。

人类利用地热，最先是利用温泉的热能。从1904年起，开始用地热发电。据1989年14届世界能源大会统计，1988年底全世界地热电站发电功率达513.6万千瓦，相当于1820万吨标准煤，不到世界总能耗的0.2%。

根据近年来大地热流测量资料，计算出地球每年通过地表流失到空中去的热量约为 10.05×10^{20} J，大致相当于300多亿吨标准煤燃烧所发出的热量（相当于现在世界每年能源消费量的三倍）。此外，据不完全统计，平均每年由火山喷发从地球内部释出的热量为 3.3×10^{19} J，由地震活动释放出的能量为 7.3×10^{17} J，由温泉携出的热量为 2.1×10^{18} J。这些热量只是地球内部热量的一小部分。如果人类能有效地利用深处的地热，将会带来更美好的前景。

据现代物理勘查资料，地球上构造活动带下常发现有若干个低速层，这些低速层又常常是高导层，推测它们应是高温的可塑性的或熔融的物质。其上部的岩层则常是地震源的所在。这些低速层又常位于不同密度的壳层之间，它们之间又常有深大断裂相连。所以可以推测，地球深部的热能，是由高温的物质沿断裂向上运移的。这些物质按密度在较大密度的壳层中上升，并沿同密度壳层的顶部展布，形成低速层。低速层中的热能传给上覆壳层，使它变成流体，又沿断裂上升。如此逐层传导，将热能送到地球表面，使地表产生构造运动。只

要我们能掌握热能外导的规律，就能够设法利用它。这样，不但可以获得丰富的能源，还可防止自然灾害。

七、太阳能

太阳能早已在日常生活中作为热源利用，因其量小而分散，又随晴雨昼夜的变化而影响使用，所以不能作为工业的主要能源。现在人们利用太阳能的方式有三：①直接利用阳光，如热水器，晒烤物品等；②发电，利用透镜将阳光聚焦，将热能转换为电能；③太阳能电池，还在试验阶段，未投入工业生产。当前最大的太阳能电站是美国加州莫赫夫沙漠电站，有七套系统，总装机容量为19.5万千瓦。现在全世界生产的太阳能，还占不到世界能耗的万分之一。估计以后在干旱地区或沙漠地区的分散居民中可获得广泛的应用。

八、风能

全世界的风能是水能的七倍，可算不小，但风能和太阳能一样，能流密度低，且不稳定。风力发电的风轮要做得很大，又要能够自动调向，制造成本较高。风力发电适于风速大而且经常刮风的地区。如果能够有条件把风能贮存起来，例如用风能把水汲到高处的水库中，再用水来发电或灌溉，则更是有效利用风能的一种形式。据1989年世界能源大会的不完全统计，目前世界风力发电的装机容量不到核电的0.2%。风能的开发，只是很小一部分，还有很大的潜力。

九、海洋能

海洋能包括潮汐能和波浪能。据第14届能源大会（1989年）估计，世界的潮汐能每年可发电22万亿度，有可能开发利用的资源大约每年2.5—3万亿度，其中可以经济开发的只有0.2万亿度。目前已开发的不到6亿度，即不到世界总发电量的0.02%。预计至2000年，全世界耗电量将接近18万亿度。即使把所有可以经济开发的潮汐能都利用起来，其所占比重也不过略大于世界总耗电量的1%。

潮汐发电是一个大型综合工程，会影响到港口、水产、生态环境及旅游事业等诸多方面，所以潮汐电站的造价比火电要贵几倍，而且海水对机器的腐蚀性大。由于这些原因，潮汐电站目前发展不快。

波浪能虽说早已被人们利用了，但其成本很高。波浪发电的成本比火电要贵10倍。它比潮汐能更难利用。

十、生物能

生物能中作为商品能源的，主要是薪柴。在蒸汽机问世之前，薪柴曾是主要商品能源。现在，除了发展中国家还有较大的用量外，工业发达国家已基本不用了。

在农业发展之前，森林大量存在，以后逐渐减少。据专家们估计，在19世纪，已减至0.55亿平方公里；至1985年，减至0.39亿平方公里，减少了大约30%。如今森林的砍伐仍然过快，新增和减少相抵，世界森林面积每年要缩小10余万平方公里。

森林对环境保护的效益比它作为能源的效益要大得多。它不仅防止水土流失和土地沙漠化，而且能减少空气中的CO₂和调节气候。面对地球因CO₂的大量增加而引起的温室效应，森林的保护已是人类的迫切需要。今后薪柴在世界能源中的比重将越来越小。

十一、低热值矿产能源

在缺乏上述诸能源的地区，人们还开发利用低热值矿产能源。现已知低热值矿产能源有油页岩、泥炭和石煤等。

油页岩曾经被用来提炼石油，一时开采较盛。后来发现更多天然石油，其生产成本比油

页岩炼制的石油便宜，油页岩的开发便转向衰落，目前产量很少。但一些国家仍保留了研究机构，在寻找更有效的利用技术。

泥炭是尚未转化成煤的植物，含水分高，用于做肥料，饲料或化工原料，比用作能源的效益高，一般不作能源利用。

石煤是含碳或碳氢化合物较高的页岩，发热量在800kcal/kg^①以上，比煤炭的分布更广，量更大。它可以烧饭、取暖，并可在流化床中燃烧发电。其炉渣可以视其成分予以综合利用。这种矿产，因热值低，不能长途运输出售，现只在当地利用。

综上所述，可以看出，各种能源都有其不同的特性，而且其地理分布也是不均衡的。仅仅根据它们的储量或它们的某一特性，来预测它们在未来能源结构中的地位是不科学的。某种能源的开发，取决于技术的进步和市场需求。在某地是不经济的能源，在另一地便可能是经济的；在现在是不经济的能源，在将来便可能是经济的；反之亦然。

现在世界商品能源以石油为首，不久，它将被煤炭所取代；而未来再和煤炭争雄的则是核能。煤炭的能源冠军地位能维持多久，则视核能利用技术发展的速度而定。碳及碳氢化合物将逐渐转而用作化工原料，其价格也将逐步上升。

第三节 煤炭在未来经济中的作用

当前煤炭的主要用途是作为能源。其产量的大部分用作火力发电站的燃料，小部分用于冶金、供热和作为化工原料。由于煤炭作为化工原料深加工后的产值比用作能源的产值大得多，如果核能及其他能源的利用技术再取得较大的进展，则煤炭将与石油和天然气一样，转向化工领域去大显身手。

石油是目前最方便和清洁的能源，占世界商品能源消费的38%。它的主要用途是供现代交通工具（机动车、飞机、船只等）使用。例如美国，石油消费的2/3用于这个方面。其次则用于化工及电站。天然气也是比煤炭使用方便和清洁的能源，现占世界商品能源消费的20%。但它不便于携带和贮存，所以主要用于发电、供热和化工领域。由于石油和天然气的资源量有限，而且地理分布很不均衡，如照当前的消费状况，除中东及少数其他地区外，世界大部地区的储量将在10余年内耗尽，那时其价格将迅速上升，人们将不得不靠便宜的和资源量大的能源，这主要是煤炭和核能。石油和天然气将转而用于化工方面，以获取更大的产值效益。

将核能作为能源的前景，比煤炭更吸引人。但核反应堆是庞然大物，不能安装在轻便的、可移动的工具上；核废料迄今尚未找到理想的处理办法。核废料越多，保管和处理的费用就越大。核电站的建造成本高于燃煤的电站，建造技术复杂，需要很长的时间；而且人们更关心它在运行中的安全问题。由于这些原因，煤炭就占了上风，预计不久其地位将超过石油，再次成为世界能源的“冠军”。

煤炭的“冠军”地位受到核能的激烈竞争。如果核能的利用技术获得较大的进步，解决了建造成本高和安全问题，便可以取代煤炭而登上“王座”了。从另一方面说，煤炭资源虽比石油和天然气多数十倍，但因开采和运输困难，能经济开采的可采储量并不很多，不太可能大规模（年产百亿吨以上）开采数百年之久。如果它的易采储量耗尽，其开采成本必然上升，在市场上不但难与核能竞争，又会受到低热值矿物能源的挑战。后者的资源量比煤大，

① kcal=4186.8J.

地理分布范围也比煤广。只是因为它们的利用效益现不如常规能源，便未受到人们的重视。只要常规能源价格上涨至一定程度，低热值矿物原料的综合利用工业就会迅速地发展起来。它们不但可以提供热能和电能，还能提供人造石油和天然气。各种能源的相互竞争，便使煤炭的产量受到了限制。

地球的生态环境保护，是当前国际上关注的焦点之一。煤燃烧时，会放出对人类有害的物质，如 SO_2 、 NO_x 、苯并芘、粉尘、各种有毒金属和非金属化合物等等，会造成环境的污染。酸雨使农作物和森林受害，使土壤退化；有毒物质使人畜患病，对人类生活和生产构成很大威胁。为治理污染，许多国家都花费了大量人力和财力。70年代，美国为改善环境，即投资4500亿美元；80年代，又成倍增加了投资。环境污染得不到妥善解决，煤炭就不能大量利用，否则就得不偿失。

另一个限制煤炭大量使用的重要原因是温室效应。使用化石能源（煤炭、石油、天然气）会放出大量 CO_2 ，烧煤时产生的 CO_2 尤其多。二氧化碳的增加会导致地球表面温度增高，引起冰雪大量融化，海面上升，淹没人类文明最盛的大片土地，改变地表的生态环境。据报道，世界各地沿海地区都在缓慢下沉。不少科学家研究证明，这种普遍的下沉是温室效应导致海面上升的结果。因此，有关机构倡议要制定一项限制 CO_2 排放量的国际公约。目前，美国是 CO_2 排放量最多的国家，占世界 CO_2 总排放量的23%左右；前苏联第二，占18%左右；中国居第三，约占11%。这项公约如能签订，则煤炭作为能源的利用，也必将受到限制。

煤炭在冶金和化工领域将发挥越来越大的作用。炼焦用煤的资源不多，将变得越来越昂贵。更多的煤炭将不会再用作燃料，而是用来制成贵重的化工产品，如人造石油和煤气、焦炭、肥料、塑料、人造纤维、多种药品以及尖端工业技术所需的新型材料等等。煤炭经过深加工，其价值将增加数十倍，甚至上百倍。碳和碳氢化合物是与人类生活密切相关的物质，衣、食、住、行都离不开它们。显然，煤炭是取得这些物质的最合适的资源，不可大量付之一炬。

总之，由于煤炭本身的特殊功能，在未来的经济活动中，其身价将迅速提高。因而今后在能源领域中，它先是升上“冠军”的宝座，然后再逐渐退后。这表明，煤炭资源将越加宝贵。谁对煤炭资源利用得越好，谁就会获得越大的利益。今后人类利用煤炭的技术，将会有迅猛的发展。煤炭将继续对人类作出巨大的贡献。

第二章 煤炭的形成和煤的分类

煤又称煤炭，是地质历史时期堆积的植物遗体，经过复杂的生物化学作用、物理化学作用转变而成的固体燃料矿产。它是多种有机化合物和矿物质的复杂混合物。

煤是重要的燃料矿产，被称为“工业的粮食”。在冶金工业中，煤是重要的原料之一，有煤和铁矿石才能生产钢铁。煤也是重要的能源，可以带动蒸气机发电，驱动火车、轮船等等；又是烧制水泥、瓷器、玻璃和砖瓦的主要燃料；日常烧饭取暖也大量使用煤。在我国它是主要能源。在化学工业中，通过对煤的加工，可获得许多重要的化工原料和化工产品，如煤气、煤焦油、氮肥、药品、染料、塑料、合成纤维、合成橡胶等等上百种产品；含油率较高的煤，还可用来作为制造液体燃料的原料。此外，煤燃烧后的灰渣和煤矸石，可制一般建筑用砖或耐火砖，也可用作水泥的掺合原料。

第一节 煤的形成

煤是由泥炭或腐泥转变来的。泥炭主要是高等植物遗体在沼泽中经过生物化学作用而形成的一种松软有机质的堆积物。影响泥炭生成的主要因素是气候因素、地质地貌因素和水文因素。在地质历史中，只有这三者获得有利的配合，泥炭才得以长期积聚。

研究表明，潮湿的气候，平坦或起伏和缓的地形，排水不良的水文条件，繁茂的植被，以及稳定而持久的地质构造条件等诸因素的相互配合，是有利于泥炭聚积的自然条件。

泥炭的形成是一个复杂的生物化学变化过程。通常在低洼积水的沼泽里，植物得到长期大量的繁殖。这里水文条件对植物的生长发育十分重要。一代代植物死亡后，堆积于沼泽底部。一方面，在需氧细菌的作用下，植物遗体受到了不完全的氧化作用，形成了各种较简单的有机化合物及其残余物。煤地质学家把这一氧化分解的过程，称作腐殖化作用。另一方面，随着新的植物质料的不断堆积，原先受到分解的植物遗体被上覆堆积物所覆盖，并逐渐转至沼泽较深部位，从而由氧化环境转入弱氧化甚至还原环境中。在缺氧条件下，原先形成的有机化合物发生复杂的化学合成作用，转变为腐殖酸及其它新的合成物质，从而使植物遗体形成了一种松软有机质的堆积物——泥炭。这个过程也称为合成化作用，它的实质是一个缓慢进展的还原作用，得到的是一般富氢的产物。

经过长期的植物堆积——不完全的氧化分解——缺氧条件下的合成作用(形成泥炭)的持续过程，就可能聚积成泥炭层。图2—1大致地表示了堆积成泥炭层的各种物质作用及其产物。

腐泥的形成过程与泥炭不同。低等植物和浮游生物在沼泽深水地带或湖泊、泻湖和海湾等水面上生长繁殖。它们死亡后，遗体堆积至缺氧的水盆地的底部，主要是在厌氧细菌参与下进行分解，经过聚合作用和缩合作用便形成

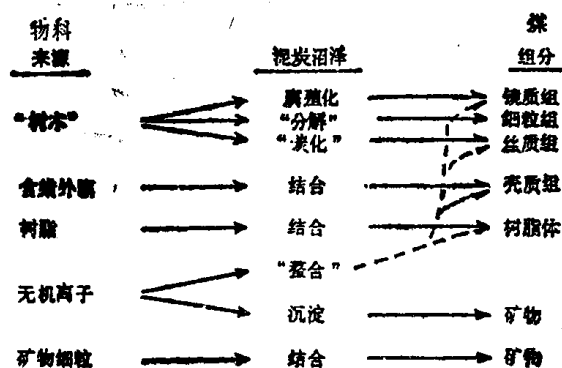


图2—1 泥炭沼泽中的各种物质、作用及其产物 (据(美) M·A·埃利奥特, 1981)

了暗褐色和黑灰色有机软泥——腐泥。泥炭和腐泥有明显的区别（表2—1）。

表 2—1 泥炭和腐泥的主要区别

类 区 别	泥 炭	腐 泥
原 始 质 料	高等植物	低等植物和浮游生物
宏 观 特 征	褐色、黑褐色松软有机质堆积物	暗褐色和黑灰色有机软泥
元素组成特征	氢含量较低，碳含量较高，H/C比值低	氢含量高，氧含量低，H/C比值高
有机组成特点	富含腐殖酸	富含沥青质
工 艺 性 质	焦油产率较低	焦油产率高
形 成 过 程	先受到氧化分解，后在厌氧条件下由合成作用形成	在厌氧细菌作用下，经过分解、聚合与缩合作用形成

其后，泥炭或腐泥不断被上覆沉积物覆盖，并逐渐埋藏至一定的深度，经受温度、压力等作用，发生了新的一系列的物理化学变化。在这个过程的早期阶段进行的是成岩作用，它使泥炭转变成褐煤，腐泥转变成腐泥褐煤；后期则受变质作用的影响，使褐煤转变成烟煤或无烟煤；腐泥褐煤转变成腐泥烟煤或腐泥无烟煤。

由此可见，从植物死亡、堆积、埋藏到转变成煤要经过一个演变过程，这个过程称为成煤过程。在成煤过程中，影响煤质的主要因素是：成煤的原始质料、成煤环境（包括覆水情况及其化学性质）和变质作用等。煤的许多性质（包括化学性质、物理性质、煤岩特性、工艺性能等）之所以不同，渊源于不同条件下这些因素的差异。

第二节 成煤的原始质料

煤是由植物遗体经过复杂的生物化学和物理化学作用转变而成的。地史上成煤的原始质料主要是各个时期有关的成煤植物（表2—2）。

在整个地史时期，维管植物（具维管束系统）有三次重要的发展。第一次是以孢子繁殖的无种子维管植物为主，通常是指蕨类；第二次包括称为裸子植物（种子裸露）的以种子繁殖的植物为主；第三次则是植物中最高级的、具高度适应性的被子植物（种子有外皮）的演化（图2—2）。

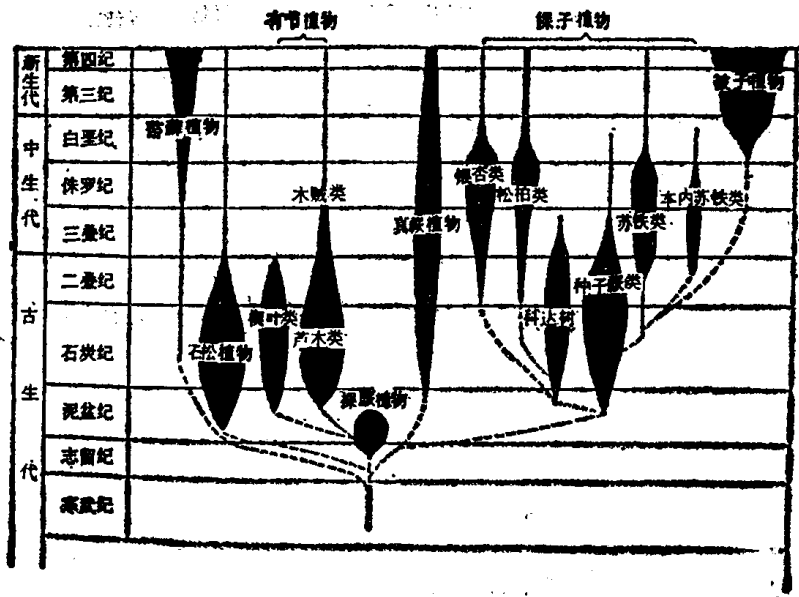


图 2—2 各高等植物的演化
(据方大钧等, 1979, 简化)

现将各发展阶段及主要成煤植物概述如下：

表 2—2 成煤地质时期及有关的主要成煤植物类型

代	纪	距今年代 (Ma)	持续时间 (Ma)	植物群 ^a	煤沉积
Kz	Q	2.0	2.0	A***G*P	
	Tr	65.0	63.0	A***G*P	次要
Mz	K	144.0	79.0	A**G*P	主要
	J	213.0	69.0	A*G***P*	次要
	T	248.0	35.0	G***P*	最少
Pz	P	286.0	38.0	G**P*	主要 ^b
	C ₃	320.0	34.0	G*P***	主要
	C ₁	360.0	40.0	G*P*	次要
	D	408.0	48.0	Pzrt	次要
	S	438.0	30.0	r	未发现
	O	505.0	67.0		
	ε	590.0	85.0		

(据S. L. Bend, 1992)

a: A—被子植物; G—裸子植物; P—蕨类植物; z—工蕨; r—雷尼蕨; t—三枝蕨; *—表示占优势程度。

b: 二叠纪是南半球主要的成煤期

注: 侏罗纪是北半球主要的成煤期——作者

一、中志留世以前

太古代、元古代至早古生代地层中的化石证明, 这个时代植物界是以水生的菌藻类发育为主的时期, 因而统称之菌藻植物时期。我国南方各地早古生代生成的石煤, 就是由这种菌藻类转变而成的。因此, 菌藻类植物是那时的成煤原始质料。

陆生植物最早出现的时代, 多数人认为是早志留世, 这可由已发现的裸蕨类化石证实。

二、晚志留世至中泥盆世

植物由水生转为陆生, 产生了最古老的陆生植物群——裸蕨植物为主的植物群。原始的节蕨植物(楔叶类、芦木类)开始出现。

裸蕨类植物构成了早、中泥盆世煤层的主要成煤原始质料。

三、晚泥盆世至早二叠世

自泥盆纪以后, 北半球气候向着更为温暖、潮湿的气候变化。原始裸蕨植物被石松类和真蕨类植物所代替, 节蕨类也重趋繁盛。同时, 在各种蕨类植物的演化中, 又形成了新的类群, 如裸子植物门的科达树和种子蕨类(如脉羊齿等)的形成, 它们都得到盛极一时的发展。

由此, 节蕨类(芦木等)、石松类(鳞木等)、真蕨类(栉羊齿等)、种子蕨类(脉羊齿、楔羊齿等)及科达树类(科达树)等植物是石炭—二叠纪时的主要成煤原始资料。

石炭—二叠纪时, 南半球属古冈瓦那大陆, 植物群与北半球不同。成煤植物主要是舌羊齿(*Glossopteris*)、恒河羊齿(*Gangamopteris*)以及匙叶(*Neggerathiopepsis*)、裂鞘叶(*Schizoneurina*)等。这类植物矮小, 一般认为是气温较低条件下的产物。

四、晚二叠世至早白垩世

二叠纪晚期, 海西运动使大陆面积获得很大的扩展, 气候变为干旱。原来适于温暖、潮湿生活的各种蕨类, 除真蕨类植物还能适应这一变化外, 其它各类(纲)植物均大大地衰退了。这一时期以裸子植物的苏铁类、银杏类和松柏类为主。它们在三叠纪晚期至侏罗纪时,

得到了大量繁殖并形成森林。

苏铁类及本内苏铁类的侧羽叶、尼桑羽叶等，银杏类的银杏、裂银杏等，松柏类的苏铁杉等，真蕨类的类丹尼蕨、支脉蕨、锥叶蕨、格子蕨等以及节蕨类的新芦木等构成这一时期的主要成煤植物。

五、晚白垩世至现代

被子植物得到很大发展，成为优势的植物群。被子植物主要为双子叶植物，代表属如温带植物中的柳、杨，热带和亚热带植物中的桦、赤杨、榕树等等。

这一时期，裸子植物已退居了次要地位。至新生代，裸子植物则尚有银杏、红杉、水杉、云杉等植物。杉、桦木、榆、椴、栎、桤木等是新生代的主要成煤植物。

成煤的植物门、类虽然很多，但从它们的有机组分看，只有四大类：（1）碳水化合物，包括纤维素、半纤维素及果胶质等；（2）木质素；（3）蛋白质；（4）脂类化合物，包括脂、蜡、树脂、角质、木栓质和孢粉质等。

据测试资料，各类植物组分的组成是不同的，同一种植物不同部分的有机组分的组成也是不同的（表2—3）。低等植物主要由蛋白质和碳水化合物所组成，脂肪含量也较高，而高等植物的有机组分则以碳水化合物的纤维素、半纤维素和木质素为主。木本植物各部分的组成差别较大。植物有机组分的组成上的差异，直接影响其分解和转化，从而影响煤的性质和用途。

表 2—3 植物主要有机组分的组成（%）

植 物		碳水化合物	木 质 素	蛋 白 质	脂类化合物
低等植物	细 菌	12—18	0	50—80	5—20
	绿 藻	30—40	0	40—50	10—20
高等植物	苔 藓	30—50	10	15—20	8—10
	蕨 类	50—60	20—30	10—15	3—5
	草 类	50—70	20—30	5—10	5—10
	松柏、阔叶树	60—70	20—30	1—7	1—3
木本植物的不同部分	木 质 部	60—75	20—30	1	2—3
	叶	65	20	8	5—8
	木 栓	60	10	2	25—30
	孢 粉 质	5	0	5	90
	原 生 质	20	0	70	10

（据杨起等，1979）

从成因上看，泥炭主要是高等植物遗体经过复杂的生物化学作用转变而成的。需要说明的是，在泥炭沼泽中，植物的有机组分可能发生的变化是很复杂的。

1. 碳水化合物

包括纤维素、半纤维素及果胶质。纤维素的分子式是 $(C_6H_{10}O_5)_n$ ，它是构成植物细胞壁的主要成分。在活的植物中，纤维素对于微生物的作用很稳定。但当植物死亡后，在沼泽中氧化条件下易受喜氧细菌、霉菌等微生物的作用而分解成单糖：

