

煤炭职业教育课程改革规划教材

MEITAN ZHIYE JIAOYU KECHENG GAIGE GUIHUA JIAOCAI

煤 化 学

M E I H U A X U E

● 主 编 徐 博 李岳姝 秦 华
副主编 刘美多 田成民 郎会荣

煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

煤化学/徐博, 李岳姝, 秦华主编. --北京: 煤炭工业出版社, 2010

煤炭职业教育课程改革规划教材

ISBN 978-7-5020-3771-0

I. ①煤… II. ①徐… ②李… ③秦… III. ①煤-应用化学-职业教育-教材 IV. ①TQ530

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 235798 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 12¹/₄

字数 284 千字 印数 1—3 000

2011 年 2 月第 1 版 2011 年 2 月第 1 次印刷

社内编号 6581 定价 25.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

全书共九章，主要包括煤的形成、煤的一般性质、煤样的采取与制备、煤的工业分析和元素分析、煤的有机质结构、煤的工艺性质、煤的分类及用途、各种工业用煤技术要求及质量分级标准及实验等内容。

本书可供煤炭职业院校师生及与煤炭有关的企事业单位人员参考使用，也可作为相关企业职工的培训教材。

前 言

为满足煤炭工业新形势对煤炭职业教育发展的需要，加快煤炭职业教育教材建设步伐，依据培养技术应用型专门人才的要求和煤炭行业的自身特点，在广泛调研和征求意见的基础上，本着科学性、实用性、先进性的编写指导思想，我们组织有关教师编写了本教材。本教材在编写过程中注重职业教育的特点，简化了理论体系，以实用、必需、够用为原则，力求使所讲内容尽可能与现场实践相结合。

本书由徐博、李岳姝、秦华任主编，刘美多、田成民、郎会荣任副主编。具体编写分工如下：鸡西大学徐博编写绪论，七台河职业学院郎会荣和黑龙江龙煤矿业集团股份有限公司七台河分公司新星选煤厂马仲涛编写第一章，黑龙江科技学院秦华编写第二章，鸡西大学黄薇薇和七台河职业学院肖伟丽编写第三章，鸡西大学李岳姝编写第四章，黑龙江科技学院秦华和黑龙江龙煤矿业集团股份有限公司鸡西分公司选煤煤质部金明编写第五章，鸡西大学刘美多编写第六章，云南能源职业技术学院吴文丽和七台河职业学院姚静编写第七章，黑龙江科技学院（高等职业技术学院）田成民编写第八章，鸡西大学刘美多和韩月娇共同编写第九章。全书由徐博负责统稿工作。

在本书的编写过程中，吸收和借鉴了同类教材和书籍的精华，在此谨对各位原作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请有关专家和广大读者提出宝贵意见，以便再版时修改。

编 者

2010年10月

目 次

绪论	1
第一章 煤及煤的形成	7
第一节 成煤的原始物质	7
第二节 煤的形成	9
第三节 煤的成因类型和成煤地质年代	15
第二章 煤的一般性质	24
第一节 煤的宏观特征和微观特征	24
第二节 煤的物理性质	31
第三节 煤的固态胶体性质	39
第四节 煤的化学性质	43
第三章 煤样的采取与制备	49
第一节 采样的基础知识	49
第二节 各种煤样的采取	54
第三节 煤样的制备方法	65
第四章 煤的工业分析和元素分析	72
第一节 化验基础知识	72
第二节 煤质分析一般规定	76
第三节 煤的工业分析	80
第四节 煤的元素分析	94
第五节 煤的全硫测定	100
第六节 煤炭发热量测定	102
第七节 煤质分析结果的基准换算	109
第五章 煤的有机质结构	115
第一节 煤结构单元核心部分的结构	115
第二节 煤结构单元外围部分的结构	116
第三节 煤的结构模型	116
第四节 煤分子结构的基本概念	118

第六章 煤的工艺性质	120
第一节 煤的热解.....	120
第二节 煤的黏结和成焦机理.....	125
第三节 煤的黏结性指标.....	128
第四节 煤的其他工艺性质.....	142
第七章 煤的分类及用途	147
第一节 煤的分类指标.....	147
第二节 煤的工业分类.....	148
第三节 煤的特性及用途.....	153
第四节 炼焦煤种和配煤原理.....	157
第八章 各种工业用煤技术要求及质量分级标准	160
第一节 各种工业用煤技术要求.....	160
第二节 中国煤炭质量分级标准.....	168
第三节 煤质评价.....	171
第九章 实验	176
实验一 空气干燥基煤样水分的测定.....	176
实验二 煤中全水分的测定.....	177
实验三 煤灰分产率的测定.....	179
实验四 煤挥发分产率的测定.....	181
实验五 煤中全硫的测定.....	183
实验六 煤的发热量测定.....	184
参考文献	187

绪 论

一、煤炭在国民经济中的地位

人类的生产和生活离不开能源。所有的现代化生产过程几乎都与能源的消费同时进行。生产的发展在很大程度上依赖于能源工业的发展水平,取决于能源的科学开发、充分供应和合理利用。同时,能源与人民的生活也是息息相关的,现代社会的衣、食、住、行以及文教、娱乐等文明生活都离不开能源。因此,能源是发展生产和提高人民生活水平的重要物质基础。

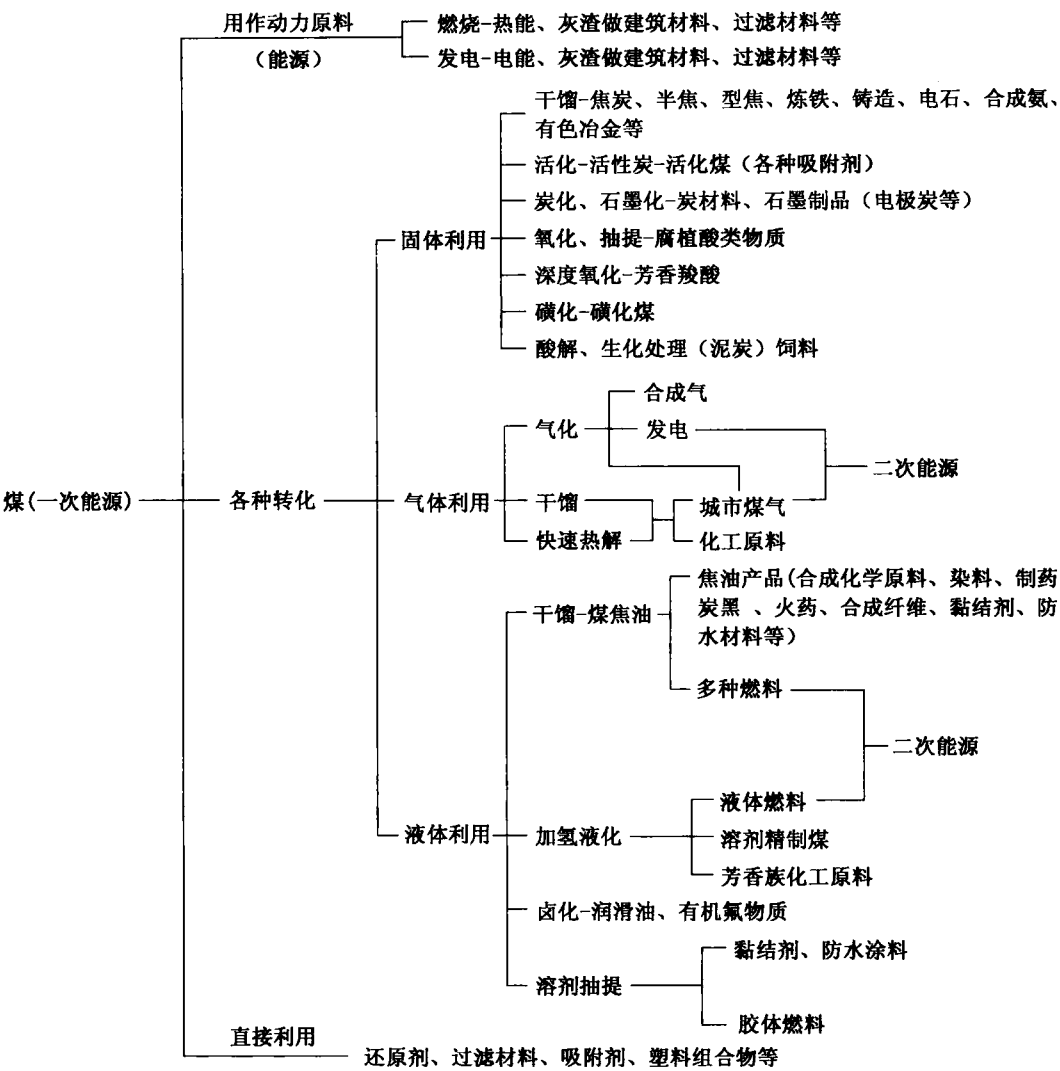
人类所拥有的能源包括煤炭、石油、天然气、有机物、风力、水力、太阳能、海洋能、核能等。其中,煤炭是世界上资源最丰富的能源。作为能量和动力的源泉,它为人类文明和生产的发展作出了重要贡献。正如革命导师列宁所说:“没有煤炭工业,任何现代化工业和任何工厂都是不可设想的,煤炭是工业的真正粮食”。18 世纪的产业革命正是以煤炭为能源完成的。直到 20 世纪 50 年代,煤炭在世界能源的消费构成中一直处于主导地位。但 20 世纪 50 年代末和 60 年代,煤炭在世界能源中的优势地位逐渐被石油和天然气所取代,按标准燃料(发热量为 29.3 MJ/kg 的燃料)计算,煤炭的产量和消费量仅次于石油而居第二位。但从长远的观点看,由于煤炭资源丰富、分布广、价格低,因而在今后相当长的时期内,煤炭将是更可靠、更有前途的能源。

我国是开发、利用煤炭最早的国家之一。早在公元前,我国劳动人民就已开始开采和使用煤炭,两千年前的西汉时期,就已开始用煤炭来炼铁。明朝名著《天工开物》中有专门的章节来阐述煤的性能、用途和开采方法。新中国成立后,我国的煤炭工业得到迅速的恢复和发展,尤其是 20 世纪 80 年代,建成了许多现代化的大矿区,原煤产量迅速增长。目前,煤炭在我国的一次能源总构成中占 70% 以上,因而煤炭在我国被称为“第一能源”,而且在今后相当长的时期内仍将是主要能源。我国的能源消费构成情况见表 1。

表 1 我国近年的能源消费构成情况

年 份	构成(能源消费总量=100)			
	煤 炭	石 油	天 然 气	水电和核电
2000	67.8	23.2	2.4	6.6
2001	66.7	22.9	2.6	7.8
2002	66.3	23.4	2.6	7.7
2003	68.4	22.2	2.6	6.8
2004	68.0	22.3	2.6	7.1
2005	69.1	21.0	2.8	7.1
2006	69.4	20.4	3.0	7.2
2007	69.5	19.7	3.5	7.3
2008	70.2	18.8	3.6	7.4

煤炭也是重要的工业原料，广泛地用于炼焦、气化、化工等国民经济各个部门。煤的综合利用途径如图 1 所示。



除了图 1 所列的煤的综合利用途径之外，利用煤的伴生矿物硫铁矿可以生产硫和硫酸；煤矸石可作为沸腾炉燃料，烧砖的燃料和原料，制取氧化铝、锆、钛及建筑轻骨料等。煤的综合利用可以生产出多种多样的产品，做到物尽其用，提高经济效益和社会效益。

综上所述，煤炭在现代化建设和提高人民的物质文化生活方面起着重要的作用，在国民经济中占有重要的地位。

二、中国能源概况及煤炭资源

我国幅员辽阔，人口众多，能源消耗总量大。同时，我国又是一个以煤炭为主要能源

的国家,煤炭在能源生产和消费中的比例一直在 70% 以上,而且这种格局短期内不会发生根本改变。为节约和保护资源,实现国民经济和社会可持续发展,正确认识我国煤炭资源基本特征是非常必要的。

1. 中国能源

中国能源蕴藏量位居世界前列,同时也是世界第二大能源生产国与消费国。

中国远景一次能源资源总储量估计为 4×10^{12} t 标准煤。但是,人均能源资源占有量和消费量远低于世界平均水平。

中国能源开发利用的主要特点:①能源以煤炭为主,可再生资源开发利用程度很低;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;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。20 世纪 90 年代中期以前,中国能源供应的自给率达 98% 以上。随着能源消费量的持续上升,以煤炭为主的能源结构不断造成城市大气污染,生态环境压力越来越大。

2. 中国煤炭资源

根据第三次全国煤田预测资料,除台湾省外,我国垂深 2000 m 以浅的煤炭资源总量为 55697.49×10^8 t,其中探明保有资源量为 10176.45×10^8 t,预测资源量为 45521.04×10^8 t。在探明保有资源量中,生产、在建井占用资源量为 1916.04×10^8 t,尚未利用资源量为 8260.41×10^8 t。

1) 我国煤炭资源的地域分布

(1) 我国煤炭资源主要分布于昆仑—秦岭—大别山以北地区,其探明保有资源量占全国探明保有资源量的 90% 以上。而这一线以南探明保有资源量不足全国探明保有资源量的 10%。显然,我国煤炭资源在地域分布上存在北多南少的特点。

(2) 我国煤炭资源主要分布于大兴安岭—太行山—雪峰山以西地区。其探明保有资源量占全国探明保有资源量的 89%。而这一线以东地区,探明保有资源量仅占全国探明保有资源量的 11%。显然,我国煤炭资源在地域分布上存在西多东少的特点。

我国煤炭资源地域分布上的北多南少、西多东少的特点,决定了我国的西煤东运、北煤南运的基本生产格局。

2) 我国主要省区煤炭资源分布

我国煤炭资源丰富,除上海以外其他各省区均有分布,但分布极不均衡。煤炭资源量最多的新疆维吾尔自治区煤炭资源量多达 19193.53×10^8 t,而煤炭资源量最少的浙江省仅为 0.50×10^8 t。我国煤炭资源量大于 1000×10^8 t 以上的省区是新疆、内蒙古、山西、陕西、河南、宁夏、甘肃、贵州 8 个省区,除这 8 个省外,煤炭资源量在 500×10^8 t 以上的还有安徽、云南、河北、山东 4 个省。

3) 我国主要煤炭工业基地

在我国北方的大兴安岭—太行山、贺兰山之间的地区,地理范围包括煤炭资源量大于 1000×10^8 t 以上的内蒙古、山西、陕西、宁夏、甘肃、河南 6 个省区的全部或大部,是我国煤炭资源集中分布的地区。这一地区不仅煤炭资源丰富,煤质优良,而且这一地区地理位置距我国东部、东南部缺煤地区相对较近,是我国最重要的煤炭工业基地。在我国南方,煤炭资源量主要集中于贵州、云南、四川 3 个省,特别是贵州西部、四川南部和云南东部地区是我国南方煤炭资源最为丰富的地区。这一地区是我国南方最重要的煤炭工业基地。

三、煤的利用及存在的环境问题

煤是不洁净能源，在给人类带来光明和温暖的同时，也给人类赖以生存的环境造成了破坏。

煤所造成的污染贯穿于开采、运输、储存、利用和转化等全过程。但就目前情况看，煤矿开采造成的生态破坏和环境污染仍十分严重，一是井工开采造成地表塌陷，露天开采挖损土地；二是造成水资源的流失与污染；三是污染大气环境。

煤在燃烧过程中造成的污染主要有烟尘、烟气和炉渣等。烟尘含有由煤中矿物质、伴生元素转化而来的飞灰和未燃烧的炭粒，形成大量的烟尘。烟气含有 SO_2 、 CO_2 、 CO 、 NO_x 等有害气体，其中 CO_2 在大气中含量增多会造成“温室效应”，使气候变暖； CO 是窒息性气体，量大时能在很短时间内使人的大脑缺氧而死亡； SO_2 对人体健康和植物的生长都有危害，它刺激黏膜，引起呼吸道疾病并能使植物枯死；排放到大气中的 SO_2 、 SO_3 和 NO_2 与水蒸气化合生成硫酸和硝酸，与水分子结合生成硫酸物，与烟尘接触形成硫酸尘，与降水接触形成酸雨。会使土壤酸化，建筑物受到腐蚀，并妨碍植物生长。炉渣内含有多种有害物质，全国每年排出的炉渣高达 2×10^8 多吨，不仅占去大面积土地，而且在堆放过程中流出含有多种重金属离子的酸性废水污染环境。

四、煤化学的发展

煤化学作为一门学科诞生于 18 世纪产业革命之后。起初，煤炭的应用只限于用作燃料，煤化学的研究也主要是在煤的工业分析、元素分析和发热量等简单数据的测定方面。随着煤炭应用的广泛，煤化学的研究已经深入到煤的化学组成、煤岩组成、结构及工艺过程机理等一些本质问题及煤炭深加工的新方法和新用途等方面。整个煤化学的发展可分为以下 4 个阶段。

1. 萌芽阶段（1780—1830 年）

在这一时期，人们争论的主要问题是煤的起源。其主要论点有：①煤是由岩石转化而来的；②煤是和地球一起形成的，有地球就有煤的出现和存在；③煤是由植物转变而成的。

人们通过长期的生产实践，从不同的角度证明：煤是由植物转变而成的。例如，常常可以看到煤层顶板有植物叶部化石，有时还能看到由直立树干变成的煤，并保留了原来断裂树干的形状；从元素分析得知，煤和植物的主要元素组成相同。1831 年是煤炭科学研究的诞辰，至今已有 160 多年。

2. 开创阶段（启蒙阶段）（1831—1912 年）

19 世纪 30 年代，人们逐渐接受煤是由植物转变而来的观念，解决了煤的起源问题。19 世纪 40 年代，英国和德国差不多同时开展了用显微镜对煤进行系统研究，并开始研究煤的热解、溶剂分离和氧化及煤的可塑性。1873 年，法国对煤开展了较系统的化学研究，根据大量元素分析结果提出了煤的分类等。至此，人们开创了新的煤化学学科。

3. 鼎盛阶段（经典阶段）（1913—1963 年）

在这个时期，煤在热源和能源中处于垄断地位，煤炭广泛用于机车、航行、炼焦、汽化和发电等领域。煤的研究工作蓬勃开展，美、德、英、法等国相继建立了高水平的煤炭

研究机构，并在大学中设置了相应的学科。

4. 煤炭研究的衰落和复兴阶段（1963 年以后）

20 世纪 60 年代中期，由于廉价石油和天然气的大量开发与应用，煤炭工业逐渐衰落，煤的研究几乎停滞不前。到 20 世纪 70 年代中期，由于几次石油危机的发生，石油价格的猛涨使煤在能源结构中的地位得以恢复。在煤的气化、液化和制取洁净燃料方面，开发了一批新的加工工艺，特别是 1993 年在美国匹兹堡召开的国际煤炭会议，标志着人们对煤利用观念的转变，更多关注了煤作为原材料的深层次开发和合理利用，由煤制取高附加值的化学、化工原料和高碳材料，并通过对煤液的分离利用，将形成煤化学学科的一个新分支。随着科技的发展，应用先进的仪器设备和计算机技术对煤炭的研究，提供煤结构和性质方面更详细与准确的信息，也会对煤化学的发展和煤炭资源合理有效利用带来历史性的转折、希望与机遇。

五、煤化学研究的内容

煤化学是随着煤炭的开采和加工利用技术而形成的一门科学。人们的生产实践促进了人们对煤的认识，而人们对煤的进一步认识又促进了生产的发展。例如在 19 世纪，煤通常仅作为燃料直接燃烧，只需要掌握一些煤的工业分析、元素分析和发热量等简单数据及外部特征就足以解决生产实践问题了。20 世纪 30 年代以来，随着煤化（主要是焦化、气化、液化、低温干馏等）工业的进一步发展，使煤化学在对煤的外部特征和个别性质研究的基础上，逐步深入对煤的组成、岩相、结构及工艺过程机理等一些本质问题的研究，并且以煤的生成过程来解释引起煤的性质和组成多样性的原因，力求把外部特征和性质与内在的组成、岩相、结构紧密联系起来。到 20 世纪 50 年代，在有关煤的最根本的理论问题上（例如煤岩学、煤的生成、煤的黏结成焦机理和煤的结构模型等方面）产生了一些学说，这些学说不仅能解释许多现象，还给加工工艺指出了新的方向，如关于扩大炼焦用煤资源、型焦方面的研究和开发。20 世纪 70 年代，由于石油价格的飞涨及一些国家和地区石油资源的日趋枯竭，使得人们对煤化学和煤化工的研究更进一步重视起来，并采用一些先进的科研手段，在煤化学基础理论的研究方面和煤的焦化、气化、液化等新技术、新工艺、新产品的研究方面都取得了一些重大突破。由此可见，煤化学是一门实践性很强的学科。

煤化学是研究煤的生成、组成、结构及其基本性质之间的变化规律的一门科学。煤化学研究的主要内容是：关于煤的生成、组成、结构、性质、分类等方面的问题；关于煤的热加工和化学加工及其机理方面的问题；关于煤的加工产物的组成和性质方面的问题；关于煤的各种性质与煤化程度的关系以及不同煤种的加工利用途径问题。

研究这些问题的目的在于认识煤的特性，了解煤加工利用的理论依据，指导生产实践，探索新的加工利用途径，更合理、充分、广泛和有效地利用煤炭资源。

由于成煤原始物质的复杂性和成煤过程中客观条件的多样性，造成了煤的组成、结构、性质的复杂性和多样性。煤是一种含有多种有机、无机化合物的混合物，不同的煤在组成、结构、性质上差别又很大，因而不可能写出一个能代表所有煤（甚至某一煤种）的分子式和化学结构式。在许多方面目前还仅有定性的描述，而无定量的测定，有许多理论问题尚无定论，甚至至今还没有一个理想的煤的分类方法。因此，在煤化学学科内还有

着广阔的有待开发的领域。

六、学习煤化学的目的和意义

煤炭工作者的任务是：贯彻“高品质、多品种、适销对路、合理利用”的方针，用机械加工的方法除去煤中的矿物杂质，提高煤炭品质；根据不同原煤的性质和用途，选择不同的选煤工艺，将原煤分选加工成为不同品质规格的多种产品，适销对路地供应不同用户，以适合不同用煤单位对煤质的不同要求，达到合理利用煤炭资源、提高煤炭的使用价值、提高用户及煤炭企业自身的技术经济指标的目的。

学习煤化学的目的在于以下几点：

(1) 了解自己的工作对象——煤炭的生成、组成、结构、性质和合理的加工利用途径，从而选择合理的煤炭加工工艺条件，确定合理的工艺指标、提高煤炭加工的技术经济效益，并探索新的煤炭加工方法和工艺。

(2) 煤炭加工企业的技术检查是检查、分析煤炭加工生产过程是否正常的一项经常性的工作。学习了煤化学的知识，才能使你正确理解技术检查数据所表示的意义及其所反映的问题的实质，正确判断煤炭加工生产的各个环节操作是否正常，正确选择使生产恢复正常并达到最佳状态应采取的措施，以便及时调整和改善操作、保证产品品质。

(3) 了解各种煤的工艺性质及各种加工利用方法对煤质的不同要求，在煤炭加工生产中做到心中有数，主动地生产出适合不同用户的优质产品，满足不同用户的要求，为煤的合理利用、综合利用创造条件。

第一章 煤及煤的形成

煤是由多种有机高分子化合物和无机矿物质组成的复杂混合物。煤与煤之间的性质千差万别，不仅不同煤田之间的煤质差别很大，即使同一煤田中不同煤层的煤质差别也很大；在同一煤田同一煤层的不同地点采的煤样，其煤质也有较大差别，甚至在同一煤田同一煤层的同一地点，而将煤层从上到下分成若干分层采样，各分层的煤质也有差异。引起煤质千差万别的原因是成煤的原始物质和成煤条件的不同。因此，只有深入地了解煤的成因，才能更好地了解煤的组成、结构、性质及其变化规律。

第一节 成煤的原始物质

一、煤是由植物生成的

19 世纪以前，煤是由什么物质形成的，一直没有明确的认识。有人认为，煤和地壳中的其他岩石一样，是同地球一起形成的，一有地球就存在煤；有人认为，煤是由岩石变化而来的；还有人认为煤是由植物变化而来的。这些猜想，当时都缺乏科学根据，直到 19 世纪，人们有了显微镜这一科学研究的工具，才开始揭开了煤的形成之谜，证实了煤是由植物变化而来的。

人们在采煤过程中，在煤层中常发现有保存完好的古代植物化石和由树干变成的煤，有的甚至还保留了原来断裂树干的形状；在煤层底板的黏土类岩石中找到了植物根部的化石；在显微镜下观察由煤磨成的薄片更可直接看到原始植物的残体如孢子、花粉、树脂、角质层和木栓质等，还可看到植物的木质细胞结构等。这些事实足以证明，煤是由植物，而且主要是由高等植物生成的。

二、成煤植物的有机组成和成煤性质

在生物史上，植物是经历了由低级到高级逐步演化、发展而来的。根据其进化的顺序可分为菌藻类植物、裸蕨类植物、蕨类植物、裸子植物和被子植物。其中菌藻类植物为低等植物，其余为高等植物。

植物的种类繁多，结构组成各异，从化学观点看，其有机化学组成可归纳为四大类：碳水化合物、木质素、蛋白质和脂类化合物。各类植物的有机组成不同，而且同一种植物各部分的有机组成也不同，具体见表 1-1。

由表 1-1 可见，低等植物主要由蛋白质和碳水化合物组成，脂类化合物含量也较高，而高等植物的化学组成则以碳水化合物和木质素为主。植物细胞中的原生质主要由蛋白质组成；根、茎、叶以碳水化合物和木质素为主；而角质层、木栓层、孢子和花粉则含有大量的脂类化合物。植物在有机组成上的差异，直接影响其在成煤过程中的分解和转化，影响煤的性质和用途。

表 1-1 植物的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
细菌		12 ~ 18	0	50 ~ 80	5 ~ 20
绿藻		30 ~ 40	0	40 ~ 50	10 ~ 20
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	58
	木栓	60	10	2	25 ~ 30
	孢粉质	5	0	5	90
	原生质	20	0	70	10

1. 碳水化合物

碳水化合物包括纤维素、半纤维素及果胶质。纤维素是构成植物细胞壁的主要成分。纤维素的分子式是 $(C_6H_{10}O_5)_n$ ，如图 1-1 所示。

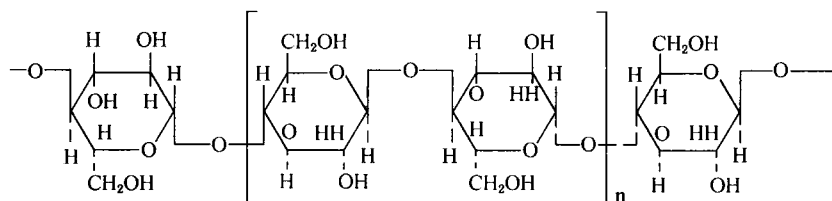


图 1-1 纤维素的分子结构

纤维素一般不溶于水，在溶液中能生成胶体，容易水解。在活的植物中，纤维素对于微生物作用很稳定。但当植物死亡后，在酸性介质中，在氧化条件下易受喜氧细菌、霉菌等微生物的作用而分解成二氧化碳和水。在缺氧环境中，碳水化合物又可在厌氧细菌（即在缺氧或无氧的情况下能够生活的细菌）作用下产生发酵作用，生成丁酸、醋酸、甲烷、二氧化碳等，并参与成煤。

2. 木质素

木质素也是植物细胞壁的主要成分，常分布在植物的根、茎部的细胞壁中，与纤维素、半纤维素等紧密结合，以增强其坚固性。木质素是具有芳香结构的高分子聚合物，含甲氧基、羟基等官能团。木质素的组成因植物种类不同而异，有 3 种不同类型的单体，如图 1-2 所示。

木质素的单体以不同的链连接成三度空间的大分子，比纤维素稳定，不易水解，较易氧化分解成芳香酸和脂肪酸，易于保存下来。在成煤过程中，木质素在微生物的作用下发生分解，并和其他物质合成与腐植酸相类似的物质。所以，木质素是植物转变为煤的原始物质中最重要的有机组分。

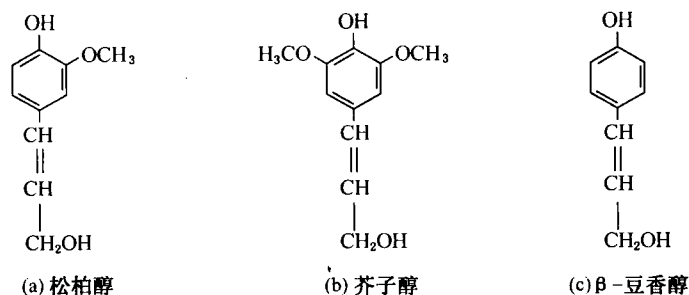


图 1-2 木质素不同类型的单体

3. 蛋白质

一般高等植物体内蛋白质含量不多。它是由若干个氨基酸按一定键结合而成的结构复杂的高分子化合物，含羧基和羟基，具有酸性和碱性官能团，是一种具有强烈亲水性的胶体。低等植物中蛋白质含量高，如藻类和细菌。植物死亡后，若氧化条件充分，蛋白质可全部分解为气态产物而逸去。在泥炭沼泽和湖泊的水中，蛋白质可以分解或转变为氨基酸、喹啉等含氮化合物，参与成煤作用，但对煤的性质没有决定性的影响。蛋白质的元素组成除了碳、氢和氧之外，还有少量氮和硫。煤中的氮和有机硫可能与植物的蛋白质有关。

4. 脂类化合物

脂类化合物一般指不溶于水而溶于醚、苯、氯仿等有机溶剂的有机化合物，包括脂肪、树蜡、树脂、角质、木栓质和孢粉质等。

脂肪属于长链脂肪酸的甘油酯。高等植物中含量少（1% ~ 2%），低等植物含量高（20% 左右）。在生物化学作用过程中，能被水解，生成脂肪酸和甘油，参与成煤作用。脂肪酸具有一定的稳定性，因此，从泥炭或褐煤抽提出来的沥青中能发现脂肪酸。

树蜡的成分比较复杂，在植物中成薄膜状覆盖在茎、叶及果实外皮上，防止水分蒸发和避免遭受伤害，其化学性质稳定，不易受细菌分解。在泥炭和褐煤中常发现树蜡。

树脂是植物生长过程中的分泌物。当植物受伤时，胶状的树脂不断分泌出来保护伤口。针状植物含树脂最多，低等植物不含树脂。树脂的化学性质十分稳定，不溶于有机酸，不易氧化，微生物也不能破坏它，因此能很好地保存在煤中。我国抚顺第三纪煤中的“琥珀”就是由树脂变成的。

角质、木栓质、孢粉质分别存在于植物的角质膜、木栓层、孢子和花粉中。它们的化学性质稳定，能在煤中保存下来。

第二节 煤 的 形 成

煤是怎样由古代的植物转变成的呢？从植物的死亡、堆积到转变成煤的过程大体可分为由植物遗体转变为泥炭（腐泥）的泥炭（腐泥）化作用及由泥炭（腐泥）转变成煤的煤化作用两个阶段。煤炭的生成，必须有气候、生物、地理、地质等条件的相互配合，才能生成具有工业利用价值的煤炭矿藏。

一、成煤的必要条件

1. 适宜的气候条件和植物的大量生长繁殖

成煤首先要有温暖、潮湿而且稳定的气候条件，另外再辅之以肥沃的土壤和充足的水分，使得植物能一代又一代持续、繁茂地生长繁殖，形成植物遗体长期持续的堆积。根据实验研究，植物遗体能形成1 m厚的泥炭，时间约400~500年，5~10 m厚的泥炭层才能形成1 m厚的褐煤层，时间约需上万年。可见，必须有植物的大量生长繁殖，为成煤提供充足的物质基础。



图1-3 泥炭层的堆积示意图

2. 适宜的地理环境

植物死亡后，遗体如果暴露在空气中，它会逐渐被氧化、分解，最后完全消失掉而无法形成煤。要想使植物遗体在堆积过程中不致被彻底氧化分解而使其一部分分解产物能保存下来并最终变成煤，必须具备适宜的地理环境。地形的起伏形成广大的沼泽地带，有利于植物群落的发展及植物残骸浸没水中，受厌氧细菌作用，发生变化并保存下来，以促使植物遗体向煤的转化。图1-3所示为泥炭层的堆积示意图。

3. 要有适宜的地质作用的配合

堆积的植物遗体在有沼泽的环境中，也不一定就能形成煤，如果沼泽的基底不下降，整个沼泽会很快被植物遗体填满，会造成后来死亡的植物遗体逐渐露出水面，暴露在空气中被细菌分解破坏而不能保存下来，不能继续堆积形成较厚的泥炭层。致使泥炭层不能被保存下来。

但是，如果泥炭沼泽地区的地壳是缓慢下降的，并且地壳的下降速度与泥炭层的积累速度（大约每年2~5 mm）大致相等，使沼泽中一直保持一定的积水深度，那么植物遗体的堆积和泥炭层的积累就会长期持续进行下去。这种状况持续的时间越长，形成的泥炭层就越厚。如果上述状况持续一个时期以后，地壳的下降速度加快，超过了泥炭的积累速度，沼泽渐渐变为湖泊。由于水深超过一定限度（一般认为是2 m），不能再生长植物，那么植物遗体的堆积和泥炭层的积累也即随之停止。从相邻陆地上被水冲刷下来的泥沙开始向泥炭层上面淤积，逐渐把泥炭层覆盖起来。这层覆盖物就成为以后煤层的顶板或夹矸层，如图1-4所示。地壳的升降运动使得有可能保存植物残骸，并使之转变到沉积状态。由于地壳的上升和下降运动可能是反复进行的，所以在同一地区就可能出现多次的泥炭层积累，这就是一般煤田都有多层煤的原因。

许多沼泽环境是由湖泊环境演变而来的，湖、沼的演变过程，也同时伴随着泥炭的积累过程。在地质历史中，湖泊的生命一般是短暂的，浩瀚



图1-4 泥炭层被覆盖后的情形示意图

的湖泊会被流水携带的泥砂逐渐堆积而淤浅，或者由于地下水位的下降以及湖边浅水带植物的生长繁殖和死亡植物遗体的不断堆积并泥炭化迫使湖泊范围逐渐缩小，随着湖边泥炭层逐渐向湖心推进，湖泊逐渐沼泽化并形成一定范围和厚度的泥炭层，如图 1-5 所示。

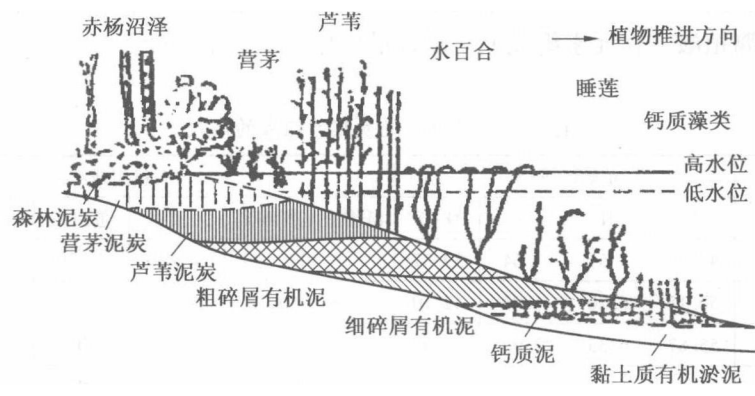


图 1-5 湖—沼演化的示意图

由此可见，植物转变成煤还必须有适宜的地质作用的配合。主要是指适宜的地壳沉降运动，使植物遗体能连续不断地逐渐堆积并将泥炭保存下来。另外，当泥炭随地壳的继续沉降被埋入地层深处时，还需要地壳深处压力和温度的作用，以促成泥炭向煤的转化及煤的变质作用。

二、煤的形成过程

1. 泥炭化作用与腐泥化作用

1) 泥炭化作用

高等植物死亡后，在生物化学作用下变成泥炭的过程叫做泥炭化作用。

近代研究资料表明，植物所有的有机组分都参与成煤作用。在泥炭化过程中，有机组分的变化是十分复杂的，一般认为，泥炭化过程中的生物化学作用大致分两步进行：

第一步：植物遗体中的有机质经氧化分解和水解作用，转化为较简单的化学性质较活泼的低分子化合物。植物遗体没入沼泽水中后，开始时处于泥炭沼泽的表层，由于表层覆水浅、空气流通、温度高，又有大量有机质，有利于微生物的生存，含有大量的喜氧细菌。植物遗体在喜氧细菌作用下进行氧化分解和水解作用，转化成结构简单、化学性质活泼的低分子化合物。例如把纤维素水解成单糖，将木质素氧化分解成芳香酸和脂肪酸，从脂肪中分解出脂肪酸，把蛋白质分解为氨基酸等。

第二步：分解产物又相互作用，合成新的、复杂的、较稳定的有机物。随着地壳的下沉、上部植物遗体的不断堆积和覆水的逐渐加深，使正在分解或未分解的植物遗体与空气的隔绝程度不断加深，环境逐渐缺氧，喜氧细菌逐渐减少，厌氧细菌逐渐增多，氧化环境逐渐被还原环境所取代。这时，氧化分解作用逐渐减弱，但仍有一些有机质被分解，如纤维素、果胶质在厌氧细菌的作用下产生发酵作用，生成甲烷、二氧化碳、氢气、丁酸、醋酸等中间产物。但此时，在厌氧细菌的参与下，分解产物之间的合成作用及分解产物与植