



煤炭高级技工学校“十一五”规划教材

中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会 编

煤 化 学

MEI HUA XUE

煤炭工业出版社

煤炭高级技工学校“十一五”规划教材

煤 化 学

中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会 编

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

煤炭高级技工学校“十一五”规划教材

煤 化 学

中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会 编

*

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

北京密云春雷印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 12

字数 278 千字 印数 1—5,000

2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5020-2993-7/TD926.1

社内编号 5792

定价 24.00 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

本书简单地叙述了煤的特征和生成、煤的有机质结构、煤炭分类及煤质评价、煤的综合利用等内容。重点编写了煤的工业分析、元素分析中硫的分析、工艺性质和实验部分,以及选煤厂在实际生产中在煤质化验方面遇到的一些问题。突出应用能力和综合素质的培养,重在培养学生的实际操作能力,反映选煤专业特色。为了便于读者自学,在文字上尽量做到通俗易懂,并且在每章后附有复习思考题和本章小结。同时还增加了知识拓展和技能拓展,以便进一步提高学生的实际操作能力。

本书适用于煤炭技工学校学生、煤矿技术人员及工人。

中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会

名誉主任	朱德仁						
主任	邱江						
常务副主任	刘富						
副主任	刘爱菊	吕一中	肖仁政	张西月	郝临山	魏焕成	
	曹允伟	仵自连	桂和荣	雷家鹏	张贵金	韩文东	
	李传涛	孙怀湘	程建业				
秘书长	刘富(兼)						
委员	牛宪民	王枕	王明生	王树明	王朗辉	甘志国	
	白文富	仵自连	任秀志	刘爱菊	刘富	吕一中	
	孙怀湘	孙茂林	齐福全	何富贤	余传栋	吴丁良	
	张久援	张先民	张延刚	张西月	张贵金	张瑞清	
	李传涛	肖仁政	辛洪波	邱江	邹京生	陈季言	
	屈新安	林木生	范洪春	侯印浩	赵杰	赵俊谦	
	郝临山	夏金平	桂和荣	涂国志	曹中林	梁茂庆	
	曾现周	温永康	程光岭	程建业	董礼	谢宗东	
	谢明荣	韩文东	雷家鹏	题正义	魏焕成		
主编	姜晓霞						

前 言

为贯彻落实《中共中央办公厅、国务院办公厅印发〈关于进一步加强高技能人才工作的意见〉的通知》(中办发〔2006〕15号)精神,推动煤炭高级技工学校、技师学院和高等职业学校加快煤炭行业高技能人才培养工作,适应煤炭工业发展对高技能人才的需求,中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会于2005~2006年召开了多次会议,对煤炭行业高技能人才培养教材建设工作进行了深入的研究,并按专业开展了教学计划、教学大纲的研究和教材开发工作。经过一年多的工作,煤炭行业高技能人才培养教材建设工作进展顺利,一套“结构科学,特色突出、专业配套、质量优良”的煤炭高级技工学校通用教材将陆续出版发行,为煤炭行业高技能人才培养提供有力的技术支持。

这套教材主要适用于煤炭高级技工学校、技师学院、高等职业学校教学,也适合具有高中文化程度的工人自学和工程技术人员参考。

《煤化学》是这套教材中的一种,是根据经劳动和社会保障部批准的全国煤矿技工学校统一教学计划、教学大纲的规定编写的,经中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会审定,并认定为合格教材,是全国煤炭高级技工学校教学,高等职业学校开展高技能人才培养的统一教材。

本教材由大同煤炭高级技工学校姜晓霞同志主编。另外,在本教材的编写过程中,得到了有关煤炭高级技工学校的广大教师和煤矿企业有关工程技术人员的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

由于时间仓促,书中难免有不当之处,恳请广大读者批评指正。

中国煤炭教育协会职业教育教材
编审委员会

目 录

绪 论	1
第一章 煤的形成	4
第一节 成煤物质和成煤过程	4
第二节 煤的成因类型和成煤地质年代	11
本章小结	15
复习思考题	16
第二章 煤的岩石组成	17
第一节 煤岩学的研究方法和应用	17
第二节 煤的宏观岩石组成	20
第三节 煤岩显微组分	22
本章小结	24
复习思考题	25
第三章 煤的工业分析和元素分析	27
第一节 煤的化学组成和工业分析	27
第二节 煤的元素组成和元素分析	48
第三节 煤质分析结果的表示和各种基准间的换算	59
本章小结	64
复习思考题	66
第四章 煤的物理性质和化学性质	70
第一节 煤的物理性质	70
第二节 煤的化学性质	79
第三节 煤的固态胶体性质	86
第四节* 煤的分子结构概述	89
本章小结	94
复习思考题	96
第五章 煤的工艺性质	99
第一节 煤的发热量	99
第二节 煤的粘结性和结焦性	108
第三节 煤的其他工艺性质	121
本章小结	125
复习思考题	126
第六章 煤的分类	129
第一节 煤炭分类的意义和指标	129
第二节 煤的工业分类	130
本章小结	140

复习思考题.....	141
第七章 煤炭的综合利用和煤质评价	143
第一节 煤炭的综合利用途径.....	143
第二节 煤质评价.....	152
本章小结.....	156
复习思考题.....	156
实验部分	158
实验一 电子天平的构造和使用.....	158
实验二 空气干燥煤样水分和全水分的测定.....	160
实验三 煤灰分产率的测定.....	165
实验四 煤挥发分产率的测定.....	168
实验五 煤中全硫含量的测定.....	171
实验六 煤的发热量的测定.....	177
参考文献	183

绪 论

煤炭被人们誉为黑色的金子，工业的食粮。它在国民经济中占有非常重要的地位。煤除了可作燃料和冶金工业的重要原料外，通过不同的加工方法，还能把它转化为气体燃料和液体燃料，转化为生产化肥、塑料、合成橡胶、合成纤维、炸药、染料和医药等多种重要的化工原料，所以随着科学技术的飞速发展，煤炭必将得到广泛的应用。

一、中国煤炭资源

中国煤炭资源分布面广，除上海市和香港特别行政区外，全国 30 个省、市、自治区都有不同数量的煤炭资源。在全国 2100 多个县中，1200 多个县有预测储量，已有煤矿进行开采的县有 1100 多个，占 60% 左右。中国煤炭资源的地理分布极不平衡。中国煤炭资源北多南少，西多东少。华北地区最多，占全国保有储量的 49.25%；其次为西北地区，占全国的 30.39%。其他依次为西南地区，占 8.64%；华东地区，占 5.7%；中南地区，占 3.06%；东北地区，占 2.97%。按省、市、自治区计算，新疆、内蒙古、山西、陕西等省（自治区）煤炭资源丰富，贵州、云南、宁夏、安徽、山东、河南、河北等省（自治区）次之，台湾地区也有煤炭资源产出。从探明储量看，则以山西、内蒙古、陕西等省（自治区）为最，新疆、贵州等省（自治区）次之。从煤炭形成的地质年代看，在寒武纪、石炭纪、二叠纪、三叠纪、侏罗纪、第三纪均有煤炭形成，但以侏罗纪、石炭纪和二叠纪的煤最为丰富，尤以侏罗纪的煤为多，保有储量占煤总保有储量的 46.2%。此外，在浙江、江西、湖南、湖北等省还有含炭量很低的石煤分布。

煤炭资源的分布与消费区分布也极不协调。从各大行政区内部看，煤炭资源分布也不平衡，如华东地区的煤炭资源储量的 87% 集中在安徽省、山东省，而工业用煤主要在以上海市为中心的长江三角洲地区；中南地区煤炭资源的 72% 集中在河南省，而工业用煤主要在武汉市和珠江三角洲地区；西南煤炭资源的 67% 集中在贵州省，而工业用煤主要在四川省；东北地区相对好一些，但也有 52% 的煤炭资源集中在北部黑龙江省，而工业用煤集中在辽宁省。

我国煤炭不仅储量丰富，而且品种繁多、质地优良。在保有储量中，烟煤占 75%，无烟煤占 12%，褐煤占 13%。各地区煤炭品种和质量变化较大，分布也不理想。我国炼焦煤在地区上分布不平衡，在 4 种主要炼焦煤种中，瘦煤、焦煤、肥煤有一半左右集中在山西省，而拥有大型钢铁企业的华东、中南、东北地区炼焦煤很少。在东北地区，钢铁工业在辽宁省，炼焦煤大多在黑龙江省；西南地区，钢铁工业在四川省，而炼焦煤主要集中在贵州省。

中国是世界第一产煤大国，也是头号燃煤大国。在我国已探明的可燃矿产资源的地质储量中，煤炭占 95.5%，石油占 4%，天然气占 0.5%。客观的资源状况决定了我国的能源格局仍不得不以煤炭为主。近几年来，在国民经济快速增长的拉动下，我国能源需求增长较快，煤炭年消耗量已达 13 亿 t 以上，不久将达 20 亿 t。一些地区出现了不同程度的

能源紧张局面。中国能源综合发展战略与政策研究课题小组发布的《国家能源战略的基本构想》中再次提到,我国的能源现状是多煤、少油、缺气,未来 20 年中国将面临比较严峻的能源问题。煤炭生产和使用中如何运用新技术已成为突出问题。因此,我国的能源政策将坚持以煤为基础,多元发展,形成煤炭为主体,电力为中心,油气、新能源全面发展的能源结构。能源发展战略定位于“煤—焦—化、煤—电—化、煤—油—化”的方向。利用自我核心技术,开发石油替代产品,是保证我国能源安全的重要组成部分。

二、选煤专业学习煤化学的意义和目的

煤炭质量的高低,不仅关系到用煤单位的使用效果和产品质量,而且也关系到煤炭企业的声誉和经济效益,甚至也影响到国民经济的发展规模和水平。煤炭企业生产的煤炭产品不仅要在数量上满足国民经济各物质生产部门的生产和人民群众的生活需要,而且也要在质量上满足不同用户的使用要求。只有实现了质量和数量上的有机协调和统一,才算真正实现了煤炭企业的生产目的,满足了社会的需求。在一定意义上讲,质量上的保证比数量上的满足更重要。

随着我国采煤机械化程度的提高和煤炭开采深度的增加,原煤质量呈下降趋势。与此同时,用户对煤质的要求确越来越高,利用途径越来越广泛,利用方式越来越多样化。因此,在煤炭质量问题上,产需矛盾日益尖锐,供求差距越趋加大。要解决这一问题,就需要对煤炭进行洗选,即选煤。选煤是合理利用煤炭资源、保护环境的最经济和最有效的技术,是煤炭加工、转化为洁净煤燃料必不可少的基础和关键环节。通过选煤可以优化产品结构,提高利用效率。因此,国际上公认选煤是实现煤炭高效、洁净利用的首选方案。加快发展选煤技术对于实现煤炭资源的综合利用、节约能源、减少环境污染具有十分重要的意义。通过加强选煤厂的建设,增加原煤入选能力,改进洗选工艺,增加洗选品种,同时重视和加强动力用煤的洗选(我国煤炭利用以燃料和动力为主),煤炭质量必将大大提高,使用户得到的煤炭在质量上能最大限度地满足生产的要求。

煤化学是研究煤的成因、组成、性质、结构、分类和反应,以及它们之间的关系,阐明煤作为燃料和原料利用中的一些化学问题的一门学科。它是一门涉及多个学科领域的综合性学科,是煤化工的理论基础;它也是一门实践性很强的学科,借助于一些先进的仪器和设备,煤化学基础理论的研究取得了一些重大突破,为实用技术的推广奠定了坚实的基础。因此,只有我们熟练掌握煤化学研究的主要内容,才能进一步了解煤的特性,认识煤加工过程中的变化规律,从而指导生产,合理利用煤炭资源;才能进一步拓宽知识面,提高实际分析和解决煤炭洗选的技能,以适应新世纪选煤专业的需求,成为选煤专业高级技术技能型人才。具体目的如下:

首先,能够进一步熟悉入选原煤的成因、组成、性质、结构、分类和合理的加工利用途径,从而选择合理的选煤工艺条件,确定合理的工艺指标,提高选煤的技术经济效果,并探索新的选煤方法和工艺。

其次,在选煤厂的技术检查工作中,能够正确理解技术检查数据所表示的意义或实质,正确判断选煤生产中出现的各种问题,并能采取有效的措施,及时调整和改善操作,保证产品质量。

最后，掌握不同用途对煤的质量的要求，能够采用不同的选煤工艺，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，为煤的合理利用、综合利用创造条件。

第一章 煤 的 形 成

煤是一种特殊的沉积岩，是由许多有机化合物和无机化合物组成的混合物。不仅不同的煤的组成、结构、性质存在着差异，即使来自同一矿区、同一煤层的煤样也有明显的差别。为了了解煤的千变万化的特征及变化规律，提高对煤的勘探、开发、煤质评价和加工利用途径，有必要掌握煤的形成的基本知识，包括成煤的原始物质、成煤的环境和成煤的作用等。

第一节 成煤物质和成煤过程

一、成煤的原始物质——植物

人们在长期的生产实践中，常常可以见到在与煤层相间的岩石中或在煤层顶底板的岩石中保留有植物的枝、叶、根基的遗迹——化石。有时还可看到由树干变成的煤仍保留了原来断裂树干的形状。19世纪后，人们应用显微镜来研究成煤的原始物质。将年轻煤制成薄片，放在显微镜下观察，这种薄片忽然透明起来，出现黄的、橙的、褐的美丽颜色。其中看到的黄色的扁平小环，就是植物的孢子。在显微镜下还可以看到细长的纤维和条纹，这些东西是植物叶子表皮外层的遗骸；还有植物的木质组织和表皮层的碎块，以及树脂等植物的痕迹。通过以上这些现象，证明煤是由从前的树木、野草和叶子变成的，从而揭开了成煤原始物质之谜。由元素分析得知，各种煤的化学成分和现代植物所含的化学成分相同，这进一步证明成煤的原始物质主要是植物。

1. 植物的演化

根据有机体构造的完善程度，植物一般可分为低等植物和高等植物两大类。低等植物指单细胞或多细胞的叶状体，不具备多细胞构成的各种器官，通常生活在水中，它们是地球上最早的生物之一；高等植物具有由多细胞构成的各种器官，有根、茎、叶的分化，基本生活在陆地上。现在生存在地球上的植物，已经知道的有50多万种，这个数字还不包括那些地史时期繁衍过的种类。

在漫长的地质历史时期，出现过千姿百态的植物，这些植物，有的已经绝灭了，成为地史上的过客；有的延续至今，一直为我们的地球披着浓重的绿装。

植物的演化是一个连续发展的过程，即从最简单、最原始的原核生物一直到年轻的被子植物，每一阶段都有化石为证。古生物学家把植物的演化和发展划分成5个阶段，其中菌藻植物阶段形成的植物属低等植物，其余为高等植物。

(1) 菌藻植物阶段 在泥盆纪以前的几十亿年间，地球上没有成形的生物体，细菌和蓝藻是最早出现的有细胞结构的原核生物，它们生存在原始海洋中。经过10亿~20亿年的漫长时间，才进化为真核生物。由于营养方式的不同，真核生物发生了分化，单细胞动物体出现了。在菌藻植物阶段，各种丝状藻类生活在海洋中，除细菌外，蓝藻最为繁盛，叠

层石化石的形成是藻类活动的结果，在我国北方震旦纪地层中就产有极其丰富的藻叠层石。

(2) 早期维管植物阶段 志留纪末至泥盆纪初，植物开始登陆。这一时期，由于植物的生存环境发生了很大变化，致使植物体的形态和结构也发生了各种适应性改变，有了根、茎、叶的分化，输导系统维管束也出现了。但此时的植物仍很低级，植物体矮小，仅适宜生存在滨海潮湿低地，代表性的化石有瑞尼蕨、库逊蕨、工蕨等。过去，早期维管植物统称为裸蕨，因此这一阶段也称为裸蕨植物阶段。

(3) 蕨类植物阶段 自晚泥盆世至早二叠世，裸蕨植物的后代壮大发展，出现了石松植物、真蕨植物等，它们开始有明显的根、茎、叶的分化，输导系统进一步发展为管状中柱和网状中柱。有些植物（如种子蕨）具有大型叶，从而扩大了光合作用的面积。晚泥盆世地球上已出现大面积的植物群，乔木型植物比较普遍。石炭纪全球出现了不同的植物地理区，地层中还可发现苏铁、银杏、松柏等裸子植物化石。中石炭世至早二叠世是全球最重要的成煤时期。

(4) 裸子植物阶段 晚二叠世至早白垩世，裸子植物获得空前发展。由于地壳运动加剧，古气候、古地理环境发生明显变化，蕨类植物和早期裸子植物衰减，新生的裸子植物逐渐繁荣起来。它们一般都具有大型羽状复叶，树干高大。在所发现的松柏类化石中，科达树高度可达20~30m，树顶浓密的枝叶组成茂盛、庞大的树冠。这一时期也成为地史上重要的聚煤阶段。

(5) 被子植物阶段 在植物界的家族中，被子植物是出现较晚的成员。可靠的被子植物化石见于早白垩世的晚期；到晚白垩世时，被子植物化石已很普遍，说明它们对陆地环境有很强的适应能力；以后，被子植物逐渐开始排挤裸子植物，进入第三纪就占有了绝对统治地位。被子植物具有完善的输导组织和支持组织，生理机能大大提高。今天的被子植物分布极其广泛，无论是寒带还是热带，到处都可以找到被子植物的踪迹，被子植物约有27万多种，数量占整个植物界的一半还多。

2. 植物的有机组成

低等植物和高等植物都是由细胞组成的，植物细胞由细胞壁和原生质构成。组成细胞壁的主要成分是纤维素、半纤维素、木质素、果胶等；原生质主要由蛋白质和脂类化合物（脂肪、树脂、树蜡、角质、木栓质、孢粉质等）组成。如高等植物的表皮部由木栓细胞组成，新的枝芽和所有叶子均为角质所包覆。叶子上的茸毛、厚膜等由树脂和树蜡组成。种子、孢子内含有脂肪。研究表明，不同种类植物的有机组成并不相同，而且同一种植物的不同部位其有机组成也存在差异，见表1-1。

表1-1 植物的有机组成

植 物	糖类物质/%	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

续表

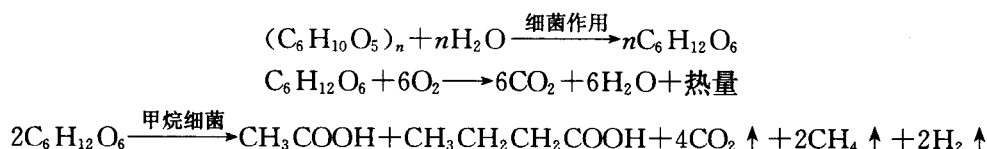
植 物		糖类物质/%	木质素/%	蛋白质/%	脂类化合物%
木本植物的 不同部分	木质部	60~75	20~30	1	2~3
	叶	65	20	8	5~8
	木 栓	60	10	2	25~30
	孢粉质	5	0	5	90
	原生质	20	0	70	10

低等植物主要由蛋白质和糖类物质组成,脂类化合物含量也较高。高等植物的有机组成以糖类物质和木质素为主。在木本植物的各部分中,根、茎、叶子以糖类和木质素为主;孢子、花粉和角质层主要由脂类化合物组成;原生质则含有大量的蛋白质。植物有机组成的差异,直接影响它们在成煤过程中的分解与转化,并且影响煤的性质和煤的用途。从化学的观点看,植物的有机组成可以分为4类,即糖类及其衍生物、木质素、蛋白质和脂类化合物。

1) 糖类及其衍生物

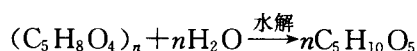
糖类及其衍生物含有碳、氢、氧3种元素,常用通式 $C_n(H_2O)_m$ 表示,所以这类化合物常被称为碳水化合物。这类化合物包括纤维素、半纤维素和果胶等。

(1) 纤维素 是植物细胞壁的主要成分,是高分子化合物,分子式可用 $(C_6H_{10}O_5)_n$ 来表示,它属于多糖,是一种无色、无味、无臭的固体,不溶于水、稀酸、稀碱和醇、醚等溶剂,在浓酸中可水解成葡萄糖。纤维素在活着的植物体内是很稳定的,但当植物死亡后,易被真菌、喜氧细菌、霉菌等微生物分解。在腐植化作用过程中,需氧性细菌通过纤维素酶的催化作用,可把纤维素水解成单糖类。在氧化环境中,如果单糖进一步氧化分解为 CO_2 和 H_2O ,不能参与成煤。如果被分解出大量的脂肪酸类物质,则参与成煤。其反应方程式如下:



当环境缺氧时,厌氧细菌使纤维素发酵生成 CH_4 , CO_2 , C_3H_7COOH 等中间产物,参与成煤作用。不论是水解产物还是发酵产物,它们都可与植物的其他分解产物缩合形成更复杂的物质,参与成煤作用,或成为微生物的营养来源。

(2) 半纤维素 也是植物细胞壁的组成部分,属多糖,主要是多缩戊糖 $(C_5H_8O_4)_n$ 及 $(C_6H_{10}O_5)_n$,其分子量小于纤维素。半纤维素的性质与纤维素相似,不溶于水,但能溶于稀酸、稀碱,易水解,稳定性小。若被完全氧化,可形成 CO_2 和 H_2O ,不能参与成煤;若在细菌作用下分解成脂肪酸类混合物,则参与成煤。如木聚糖水解反应方程式如下:



(3) 果胶 果胶存在于植物的木质部或集中于植物的果实中,呈果冻状,是糖类的一种衍生物,主要由半乳糖醛酸与其甲酯缩合而成。

果胶在微生物作用下不稳定,可以水解成为一系列的单糖和糖醛酸,进而分解成脂肪酸类物质而参与成煤。

2) 木质素

木质素是一种分子很大的、具有三维结构的芳香族高聚物，带有侧链，并含有甲氧基 ($-\text{OCH}_3$)、羟基 ($-\text{OH}$)、醚氧基 ($-\text{O}-$) 和醛基等多种官能团，由对-香豆醇、松柏醇和芥子醇 3 种不同类型的单体聚合而成。因植物年龄和种类不同，这 3 种组分的相对量变化也很大，所以木质素不是一种，而是有多种。它主要存在于木质部中，是木质部中各部分细胞壁，特别是次生壁的组分，填充在细胞壁的微纤丝周围的基质中，增加机械强度。它是木材的主要成分。用间苯三酚和盐酸染色时，呈现鲜红色。正常状况下为棕色。木质素比纤维素稳定，很难水解，但在多氧的泥炭沼泽中，经微生物作用被氧化成芳香酸和脂肪酸及类似腐植酸的物质而参与成煤。所以，木质素是植物转变成煤的原始物质中很重要的有机组分。

3) 蛋白质

蛋白质是植物细胞原生质的主要组成，在木本植物中蛋白质含量不高，而在低等植物

中蛋白质含量较高。蛋白质由若干个氨基酸分子脱水形成，并通过酰胺键 ($-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{NH}-$) 相互连接成结构复杂的高分子化合物，其元素组成有碳、氢、氧、氮、硫等，少数蛋白质中还含有磷。蛋白质是无色透明半流动状的胶体，具有强烈的亲水性，是有机体生命起源最重要的物质。由于蛋白质分子结构中有氨基 ($-\text{NH}_2$) 和羧基 ($-\text{COOH}$)，故有两性，并具有亲液胶体的一般性质。植物死亡后，若处在氧化条件下，其中的蛋白质经微生物作用可完全分解成气态产物 (NH_3 , CO_2 , H_2O , H_2S 等) 而逸出，不能参与成煤；若植物死亡后处在泥炭沼泽的水中，则蛋白质可水解为若干简单的氨基酸，并参与成煤作用。煤中的氮和有机硫可能与成煤植物的蛋白质有关。

4) 脂类化合物

脂类化合物一般是指不溶于水，而溶于醚、苯、氯仿等有机溶剂的有机化合物，主要有以下 6 种类型。

(1) 脂肪 脂肪属于长链脂肪酸的甘油酯。低等植物含脂肪较多，在藻类中含量可达 20%；高等植物一般含 1%~2%，且大多集中在植物的孢子和种子中。在生物化学作用过程中，脂肪在酸性或碱性溶液中被水解，生成脂肪酸和甘油，脂肪酸参与成煤作用。

(2) 树蜡 在植物中树蜡成薄膜覆盖在茎、叶和果实外皮上，防止水分蒸发和避免遭受伤害。树蜡的化学成分比较复杂，主要是长链脂肪酸与含 24~36 个碳原子的高级一元醇形成的酯类，其化学性质稳定，不易分解。在泥炭和褐煤中常常发现有树蜡。

(3) 树脂 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。针叶植物含树脂最多，低等植物没有。树脂是混合物，为黄色或褐色的无定形固体，化学性质稳定，不溶于有机酸，不易被微生物破坏，能直接参与成煤，并可很好地保存在煤中。我国抚顺第三纪煤中的“琥珀”就是由植物的树脂转变成的。

(4) 角质 植物的叶、嫩枝、幼芽和果实的表皮，常覆盖着角质膜（角质层）。角质膜具有保护植物、防止过度蒸发和防御病菌侵袭的作用。角质是角质膜的主要成分，它是脂肪酸脱水或聚合作用的产物，或是高分子脂肪酸。角质的化学性质稳定，在煤中不易被分解而保存下来。

(5) 木栓质 木栓质能将植物的木栓组织浸透以提高其抵抗腐烂的能力。木栓质的主

要组成是脂肪醇及二元羧酸，其化学性质稳定，在煤中常保存有植物的木栓层。

(6) 孢粉质 孢粉质是构成孢粉、花粉外壁的主要有机组分。孢子中孢粉质的含量一般为 20%，孢粉质具有脂肪族—芳香族碳网结构，化学性质非常稳定，能耐一定的温度和酸碱，也不溶于有机溶剂。在晚古生代的煤中常保存有较多的孢子。

综上所述，不论是高等植物还是低等植物，包括微生物，都是成煤的原始物质，它们的各种有机组成都可能通过不同途径参与成煤，这是煤具有高度复杂性的重要原因之一。

二、煤的形成过程

从植物死亡、堆积到转变为煤经过了一系列复杂的演变过程，这个过程称为成煤作用。成煤作用大致可以分为两个阶段：第一阶段为泥炭化阶段或腐泥化阶段，高等植物形成泥炭，低等植物形成腐泥，这一阶段起主导作用的是生物地球化学作用；第二阶段为煤化作用阶段，它包括在温度和压力的影响下，泥炭进一步变为褐煤的成岩作用，再由褐煤变为烟煤和无烟煤的变质作用，这一阶段起主导作用的是物理化学作用。

(一) 成煤条件

1. 适宜的气候条件和植物的大量生长繁殖

成煤首先要有适宜的气候条件，即地球上必须有非常温暖、潮湿而且稳定的气候条件，这样，地球表面到处长满了各种各样的绿色植物，尤其在肥沃的土壤和有充足水分的环境里。如沼泽、盆地等低洼地带，封印木、鳞木等古代蕨类植物生长得特别茂盛，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。有实验证明，5~10m 厚的泥炭层才能形成 1m 厚的煤层。可见，只有植物大量生长繁殖，才能为成煤提供充足的物质基础。

2. 适宜的地理环境

是否所有的植物死亡后都能转变成煤呢？不是的。如果植物残体堆积在空气畅通的地方，则受喜氧细菌的作用而被完全氧化，分解成 CO_2 和 H_2O 而不能成煤。但在有水和隔绝空气的地方，则不能完全氧化，而在自然界中，只有泥炭沼泽具备这种条件。因为沼泽是地表常年积浅水，气候非常湿润的洼地，所以沼泽环境很适宜植物的生长、繁殖。当植物死亡后，又能及时被沼泽中的水掩盖，避免植物全部氧化分解，而其中一部分分解产物能保存下来并最终变成煤。所以，泥炭沼泽是发生聚煤作用的良好地理环境。

3. 适宜的地质作用的配合

是不是所有的沼泽地区都可以形成煤层呢？也不是的。在植物遗体的堆积过程中，如果沼泽的基底不下降，整个沼泽会很快被植物遗体堆满，后续植物死亡后不能被水掩盖，遭受氧化而破坏，无法形成较厚的泥炭层。因此地壳运动对煤的形成有着重要的影响。

当地壳发生沉降运动，其沉降速度与植物遗体的堆积速度大致相等时，沼泽基底沉降的空间恰好被植物遗体的堆积所充填，沼泽中积水的深度基本保持不变，继续维持沼泽环境，这种平衡持续时间越长，泥炭层的堆积厚度就越大。当地壳沉降速度小于植物遗体堆积速度时，沼泽基底沉降的空间不足以充填植物遗体，相当于沼泽中积水的深度变浅，这种状况持续一段时间后，沼泽被植物遗体填满，后续植物死亡后不能被水掩盖，遭受氧化而破坏，无法形成较厚的泥炭层。当地壳沉降速度大于植物遗体堆积速度时，沼泽基底沉降的空间不能被植物遗体填满，相当于沼泽中积水的深度增大，这种状况持续一段时间

后，沼泽逐渐演变为湖泊。由于水深超过一定限度（一般认为是 2m），植物的生长繁殖受到限制，泥炭层的沉积中断，不能形成较厚的泥炭层，转而沉积泥砂物质，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。

一座煤矿的煤层厚薄与这地区的地壳下降速度及植物遗骸堆积的多少有关。地壳下降的速度快，植物遗骸堆积得厚，这座煤矿的煤层就厚；反之，地壳下降的速度缓慢，植物遗骸堆积的薄，这座煤矿的煤层就薄。又由于地壳的构造运动使原来水平的煤层发生褶皱和断裂，有一些煤层埋到地下更深的地方，有的又被排挤到地表，甚至露出地面，比较容易被人们发现。还有一些煤层相对比较薄，而且面积也不大，所以没有开采价值。

此外，由于地壳的上升和下降运动可能是反复进行的，因此在同一地区就可能出现多次的泥炭层积累，这就是形成一般煤田都有多层煤的原因，如图 1-1 所示。

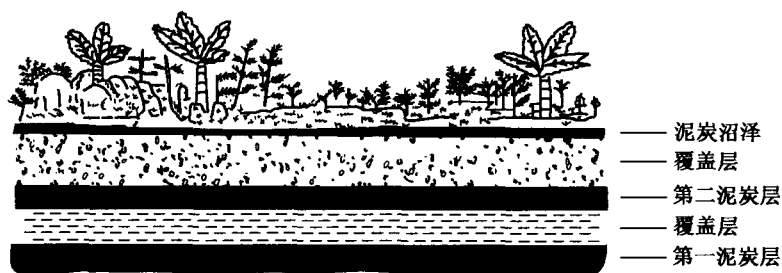


图 1-1 泥炭层被覆盖后的情形

综上所述，在地质历史时期，聚煤盆地只有同时具备气候、植物、地理环境和地质作用这几个条件的相互配合，且持续时间长，才能形成煤层多、储量大的重要煤田。

（二）成煤过程

植物死亡后，遗体堆积在沼泽中，经过复杂的生物化学变化转变为泥炭或腐泥，随着地壳沉降运动，泥炭、腐泥被埋到地下深部，经过物理化学作用、地质作用，逐渐演变成腐植煤或腐泥煤。根据成煤过程中影响因素和结果的不同，成煤过程可分为泥炭化作用（或腐泥化作用）和煤化作用两个阶段。

1. 泥炭化作用与腐泥化作用阶段

1) 泥炭化作用

泥炭化作用是指高等植物的遗体经过复杂的生物化学变化和物理化学变化转变成泥炭的过程。在这个过程中，植物有机组分的变化非常复杂，根据引起变化的微生物类型又可分为以下两个阶段。

（1）第一阶段 植物遗体被沼泽中的水掩盖后，最初是处于泥炭沼泽的表层，由于表层覆水浅、阳光充足、空气流通，又有大量的有机质提供养料，很适宜微生物的生存，水中含有大量的喜氧细菌，植物遗体在喜氧细菌的作用下发生氧化分解和水解作用，转化成结构简单、化学性质活泼的有机化合物。例如，纤维素经喜氧细菌水解后形成单糖，本质素被氧化分解成芳香酸和脂肪酸，蛋白质被分解为氨基酸。

（2）第二阶段 随着地壳的沉降和植物遗体堆积，分解产物和未分解的植物遗体被埋到泥炭沼泽的中层和底层，氧化环境逐渐被还原环境取代，这时喜氧细菌的数量不断减