

中国矿业大学新世纪教材建设工程资助教材

煤 化 学

主编 张双全 副主编 吴国光

meihuaxue

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

煤 化 学

主 编 张双全
副主编 吴国光

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书系统地叙述了现代煤化学的主要内容,包括煤的生成、煤岩学基础、煤的结构、煤的工业分析和元素分析、煤的物理性质、煤的化学性质、煤的工艺性质、煤的分类和煤转化基础。

本书是高等学校教学用书,可作为矿物加工工程、化学工程与工艺、煤田地质、建筑环境与设备工程等专业的教材或教学参考书,也可供从事煤炭、电力、冶金、化肥、城市燃气、煤的焦化、煤的液化、煤基炭素材料、煤质化验以及其他从事煤炭加工利用相关工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤化学/张双全主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2004.6

ISBN 7-81070-816-3

I. 煤... II. 张... III. 煤化工

IV. TQ53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 106718 号

书 名 煤化学

主 编 张双全

责任编辑 褚建萍

责任校对 杜锦芝

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州新华印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 14.5 字数 352 千字

版次印次 2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月第 1 次印刷

定 价 17.50 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

本书是在钟蕴英等前辈编写的《煤化学》教材的基础上,收集大量煤化学领域最新研究成果和有关最新国家标准资料,并融合编者多年来的教学经验和体会精心编写而成的。煤化学是以煤质学为基础、以煤分子结构理论为核心、以煤的性质和应用基础为主要研究内容的课程,目的是为煤炭加工和转化利用提供理论基础。本教材在材料取舍上充分反映以上要求,力求将煤化学领域的最新研究成果充实到教材中。在内容安排上,本书与传统煤化学有很大的不同,主要体现在“煤的结构”一章在书中的位置以及与其他章节的关系上。本书将教材体系和结构重新安排,将煤分子结构理论提前到煤的工业分析和元素分析之前介绍,以煤的分子结构理论为主线,贯穿教材始终。这样,可以用煤分子结构理论的观点对煤的性质进行理论上的解释,也将煤化学的各个知识点串联起来成为一个相互联系的有机整体,不仅便于学生理解,而且有利于初学者从更高的层次上把握煤化学的精髓。

本书的第一章、第四章、第五章和第八章第一节由张双全执笔,第二章、第三章由唐跃刚执笔,第六章、第七章由武建军执笔,第八章、第九章由吴国光执笔,第十章由周敏执笔。桑树勋教授审阅了部分章节,并提出了许多宝贵意见。全书由张双全和吴国光负责最终修改和整理。

本书的编写得到中国矿业大学教务处、化工学院以及化工系的老师和同行们的大力支持,在本书付梓之际,谨向他们表示真诚的谢意!并向被引用资料的编著者表示感谢!

由于编者水平所限,书中疏漏和谬误之处在所难免,恳请读者批评指正!

编 者

2003.10

目 录

第一章 绪论	1
第一节 煤炭是中国的主要能源	1
第二节 煤化学的主要内容及其在煤炭加工利用中的作用	2
复习思考题	4
第二章 煤的生成	5
第一节 年代地层系统和主要聚煤期	5
第二节 成煤物质	9
第三节 成煤环境	14
第四节 成煤作用过程	18
复习思考题	25
第三章 煤岩学基础	26
第一节 煤的显微组分	26
第二节 煤中的矿物质	32
第三节 煤的岩石类型	34
复习思考题	40
第四章 煤的结构	42
第一节 煤的大分子结构	42
第二节 煤的结构模型	45
第三节 煤结构的研究方法简介	51
第四节 煤大分子结构的现代概念	52
复习思考题	53
第五章 煤的工业分析和元素分析	54
第一节 煤的工业分析	54
第二节 煤的元素分析	67
第三节 煤质分析中的基准及其相互换算	73
复习思考题	75
第六章 煤的物理性质和物理化学性质	76
第一节 煤的密度	76
第二节 煤的机械性质	78
第三节 煤的热性质	82
第四节 煤的电性质	84
第五节 煤的光学性质	84
第六节 煤的磁性质	88

第七节 煤的润湿性	90
第八节 煤的孔隙度和比表面积	91
复习思考题	93
第七章 煤的化学性质	94
第一节 煤的氧化性质	94
第二节 煤的加氢	98
第三节 煤的溶剂抽提	103
第四节 煤的磺化	106
复习思考题	107
第八章 煤的工艺性质	108
第一节 煤的发热量	108
第二节 煤的热解和粘结成焦性质	111
第三节 煤的粘结性和结焦性及其评定方法	128
第四节 煤炭气化与燃烧工艺性质	136
第五节 煤的可选性	140
复习思考题	144
第九章 煤的分类和煤质评价	145
第一节 煤炭分类意义和分类指标	145
第二节 中国煤炭分类	147
第三节 国际煤炭分类	162
第四节 煤质评价	167
第五节 各种工业用煤对煤质的要求	169
复习思考题	174
第十章 煤炭转化	175
第一节 煤炭炼焦	175
第二节 炼焦化学产品的回收与煤气的净化	188
第三节 煤炭气化	195
第四节 煤炭液化	213
复习思考题	221
附录 图版说明	222
主要参考文献	225

第一章 绪 论

第一节 煤炭是中国的主要能源

一、中国的能源构成

中国富煤少油,是世界上少数几个以煤炭为主要能源的国家。自从1989年煤炭产量超过10亿t后,一直稳居世界第一,煤炭消费始终占一次能源的70%以上。表1-1是世界主要国家一次能源消费结构对比数据。

表 1-1 世界上主要国家一次能源消费结构

国 别	石油/%	天然气/%	煤炭/%	核能/%	水电/%	总计/Mt 油当量
美 国	39.80	26.30	24.30	8.50	2.10	2 028.6
加拿大	35.70	28.50	11.20	12.50	12.10	222.50
丹 麦	49.00	12.10	38.90	—	—	20.60
法 国	39.00	11.90	6.00	40.00	3.10	232.00
德 国	40.50	18.30	28.90	11.70	0.60	333.20
英 国	38.10	28.00	23.00	10.50	0.40	217.80
俄罗斯	24.50	50.40	19.00	3.90	2.20	644.60
中 国	19.20	2.00	76.40	0.50	1.90	748.70
日 本	56.10	11.40	17.10	14.00	1.40	478.50
总 计	40.00	23.00	27.20	7.20	2.60	4 926.50

近20年来,煤炭在中国的能源消费结构中占70%以上。随着国家能源战略的调整,煤炭在一次能源中的比例将逐步下降。据预测,2005年,煤炭在能源结构中的比例为63%~64%,2010年为59%~60%。

二、中国煤炭资源储量及分布

根据中国煤田地质总局第三次全国煤田预测资料:我国2 000 m以浅的煤炭资源总量为5.57万亿t,其中已发现保有储量1.02万亿t,预测资源量4.55万亿t。

我国煤炭资源总量大,但探明程度低,开采条件差,可供建井的储量严重不足。根据全国矿产储量表和实际情况汇总,截至1996年底全国未利用的经过普查以上的煤产地共2 092处,保有储量3 827.43亿t。其中有可能利用的1 219处,储量2 411.5亿t;暂难利用和极难利用的873处,储量1 415.93亿t。达到详查程度的储量有1 679亿t,达到精查程度的储量有646.8亿t,其中可供建井的储量仅有365.2亿t。按矿井生产能力与后备储量1:200的比例,仅能提供建设1.8亿t的矿井生产能力。此外,在这些储量中尚包括远离消费地、严重

缺水,以及地质及资源条件差所造成的非经济开发储量。可见,煤炭后备资源严重不足,难以满足国民经济发展对煤炭的需求。

从总量看,我国的煤炭资源丰富,但煤炭产地多且远离经济发达地区和煤炭主要消费地。全国第三次煤炭资源分布统计如表 1-2 所列。

表 1-2 煤炭资源分布统计表

赋煤区	已发现资源量/亿 t	占全国比例/%	资源总量/亿 t	占全国比例/%
东北	1 311.7	12.88	3 940.01	7.07
华北	6 656.16	65.39	28 114.93	50.47
华南	981.3	9.65	3 786.44	6.80
西北	1 223.57	12.02	19 786.0	35.52
滇藏	6.63	0.06	76.32	0.14
全国	10 179.36	100	55 703.7	100

除上海市外其他省(市、区)都有探明煤炭储量,但规模和储量丰度差异很大。仅晋、陕、蒙、新、黔、宁、皖、滇、豫、鲁、冀 11 省(区)普查以上的保有储量就有 5 395.9 亿 t,占全国的 92.8%,其中晋、陕、蒙 3 省(区)达到 3 774.4 亿 t,占全国的 64.9%。以秦岭、淮河为界,北方地区普查以上的保有储量 5 182.9 亿 t,占全国的 89.1%;南方各省仅有 634.6 亿 t,占 10.9%。中西部普查以上的保有储量有 5 360.5 亿 t,占全国的 92.1%;而经济发达的东部沿海辽、京、冀、鲁、苏、浙、闽、粤、琼、桂等省区普查以上的保有储量仅有 457.0 亿 t,占全国的 7.9%。我国煤炭资源的分布呈明显的北多南少、西多东少的特点。

第二节 煤化学的主要内容及其在煤炭加工利用中的作用

煤化学是研究煤的生成、组成(包括化学组成和岩相组成)、结构(包括分子结构和孔隙结构)、性质、分类以及它们之间的相互关系的科学。广义煤化学的研究内容还包括煤炭转化工艺及其过程机理等问题。

煤化学起源于工业革命的 18 世纪末。工业革命对于煤炭的需求,客观上需要了解煤炭的来源、性质等基本问题。大约在 19 世纪 30 年代至 20 世纪初,以元素化学为研究手段,对煤的性质进行了系统的研究。此后,科学家将研究岩石的技术又应用于煤的研究,诞生了煤岩学。煤岩学技术的发展,促进了对煤的生成、组成、性质以及煤炭应用的深入研究。现在,煤岩学已经成为煤化学不可或缺的重要组成部分。基本化学手段和显微镜技术的联合应用,在煤炭研究和指导煤炭应用方面发挥着重要的作用。

煤的组成和结构十分复杂,而且极不均匀。从组成上来说,它是由上千种有机物和几十种无机物组成的复杂混合物。有机物是煤炭利用和研究的主体,无机物对于煤的利用基本上是不利的甚至是有害的。迄今为止,对于煤中的有机物种类及其分子结构还不十分清楚。煤的组成和性质受多种因素的影响,主要有成煤原始植物的种类、植物遗体堆积和积聚的环境(气候、水质、水流、水深、地质、土壤、地理位置等)、埋藏深度、沉积时间、地壳运动、地下水水质

及水流,等等。由此可见,煤的组成和性质的复杂性不是偶然的,人类对于煤的认知还有很长的路要走。

虽然煤化学的发展已经有 200 多年的历史,但对于煤的许多问题还不明了,特别是煤的分子结构问题是目前困扰科学家的最大难题。虽然遇到了很大困难,但对于煤的分子结构的研究和认识也有很大的进展,特别是大量先进的科学仪器,如:小角 X 射线散射(SAXS)、计算机断层扫描(CT)、电子透射/扫描显微镜(TEM/SEM)、扫描隧道显微镜(STM)、原子力显微镜(AFM)、X 射线衍射(XRD)、紫外—可见光谱(UV-Vis)、红外光谱、核磁共振谱(NMR)、顺磁共振谱(ESR)、电子能谱(XPS)等的应用,大大深化了煤分子结构的研究,取得了大量的研究成果。相信在不久的将来,人类一定能够揭开煤分子结构之谜。

煤化学是一门涉及多个学科领域的综合性学科,它以化学为基础,利用地球化学、地理学、沼泽学、微生物学、地质学、高分子化学、胶体化学、电化学、表面化学、煤岩学等学科的知识 and 手段,对煤的基础科学问题 and 应用问题进行交叉分析和研究。

煤的组成和性质是煤化学研究的核心,也是指导煤炭加工利用的基础。现代煤炭加工利用的各种工艺均离不开煤的组成和性质的分析,简要归纳如下。

(1) 煤炭分选:确定分选工艺必须要知道原煤的灰分、硫分、变质程度、密度、矿物质与煤的结合情况等基本指标。

(2) 粉煤成型:确定成型工艺和配方必须要知道原煤的灰分、挥发分、水分、硫分、密度、粒度组成等基本指标。

(3) 动力煤配煤:确定配煤工艺和配方必须要知道原料煤的灰分、挥发分、水分、硫分、发热量、灰熔点、密度、粒度组成等指标。

(4) 水煤浆:确定制浆工艺和添加剂的用量必须要知道原料煤的灰分、挥发分、水分、硫分、发热量、灰熔点、密度、粒度组成、表面性质等指标。

(5) 煤炭燃烧:选择合适的燃烧设备必须要知道原料煤的灰分、挥发分、水分、硫分、发热量、灰熔点、粘结性、粒度组成等指标。

(6) 煤炭气化:选择合适的气化工艺必须要知道原料煤的灰分、挥发分、水分、元素组成、发热量、灰熔点、灰粘度、粘结性、反应性、结渣性、粒度组成等指标。

(7) 煤炭液化:选择合适液化工艺必须要知道原料煤的灰分、挥发分、水分、元素组成、矿物组成、粘结性、反应性、粒度组成等指标。

(8) 煤炭焦化:制造优质冶金焦必须要知道原料煤的灰分、挥发分、水分、硫分、矿物组成、粘结性、粒度组成等指标。

(9) 煤基碳素耐火材料:制造优质碳素耐火材料必须要知道原料煤的灰分、挥发分、水分、硫分、矿物组成、粒度组成等指标。

(10) 电极糊:制造优质电极糊必须要知道原料煤的灰分、挥发分、水分、硫分、导电性、矿物组成、粒度组成等指标。

(11) 炭质吸附剂:制造优质炭质吸附剂(活性炭、炭分子筛)必须要知道原料煤的灰分、挥发分、水分、硫分、矿物组成、粒度组成等指标。

以上列举的是煤炭加工利用的常规工艺对煤的组成和性质的要求,对于特殊工艺来说,要求的性质可能更多,如煤的导电性、煤的磁性质、煤的岩相组成,等等。总之,煤化学是解决煤炭加工利用问题的理论基础。

复习思考题

1. 中国煤炭资源的储量及分布有何特点?
2. 中国能源构成有何特点? 其发展趋势是什么?
3. 煤化学涉及哪些学科领域, 有什么特点?

第二章 煤的生成

煤是植物遗体经过生物化学作用,又经过物理化学作用而转变成的沉积有机矿产,是多种高分子化合物和矿物质组成的混合物。它是极其重要的能源和工业原料。从植物死亡、堆积到转变为煤经过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:第一阶段是植物在泥炭沼泽、湖泊或浅海中不断繁殖,其遗体在微生物参与下不断分解、化合、聚积的过程。这个过程起主导作用的是生物地球化学作用。低等植物经过生物地球化学作用形成腐泥,高等植物形成泥炭,因此成煤第一阶段可称为腐泥化阶段或泥炭化阶段。当已形成的泥炭和腐泥由于地壳的下沉等原因而被上覆沉积物所掩埋时,成煤作用就转为第二阶段——煤化作用阶段,即泥炭、腐泥在以温度和压力为主的作用下变化为煤的过程。成煤第二阶段包括成岩作用和变质作用。在这一阶段中起主导作用的是物理化学作用。在温度和压力的影响下,泥炭进一步变为褐煤(成岩作用),再由褐煤变为烟煤和无烟煤(变质作用)。

煤与煤之间的性质千差万别,不仅不同煤田的煤质差别较大,即使是同一煤田中不同煤层的煤质,其差异也很大。在同一煤田同一煤层不同地点采的煤样,其煤质也有较大的差别;甚至是在同一煤田同一煤层同一地点采样,而采样时,将煤层从上到下分成若干个分层采样,各分层的煤质也有差别。引起煤质千差万别的原因,与成煤物质、成煤环境和成煤作用有关。

第一节 年代地层系统和主要聚煤期

一、地质年代

地球的年龄约有 60 亿年。地质年代就是地壳发展的时间表,它通过对地层生成次序的研究编制而成。根据地层生成的先后次序,由老到新排列的一个地层系统如表 2-1 所示。最先形成的地层代表的时间最老,最后形成的地层代表的时间最新。某地质年代内形成的岩层,称为该地质年代的地层。划分地层、确定地层生成次序的主要依据是古生物化石。生存于某一段地质历史时期的生物,称为古生物。而保存在地层中的古生物遗骸和遗迹,称为化石。其中演化快、生存时间短、而且分布又广泛的生物化石,称为标准化石。

在划分地层系统的基础上,依据地层中发现的古生物化石,可将地壳的发展历史相对地划分成若干级地质年代单位,即为宙、代、纪、世、期。现将常用的地质年代单位(表 2-1)的意义解释如下。

1. 代

代与地层的界相对应,代表形成一个界所经历的地质年代。代可划分为若干个次一级的地质年代单位——纪。

2. 纪

纪是国际通用的第二级地质年代单位。它与地层的系相对应,代表形成一个系所经历的

表 2-1

地质年代表^②

代	纪	世	距今年龄 (亿年)	开始繁殖时期	
				植物	动物
新生代	第四纪	全新世 更新世	0~0.018		古人类出现
	新近纪	上新世 中新世	~0.238	被子植物大量繁殖,为成煤提供原始物质	
	古近纪	渐新世 始新世 古新世	~0.65		哺乳动物
中生代	白垩纪	晚白垩世 早白垩世	~1.442	被子植物	
	侏罗纪	晚侏罗世 中侏罗世 早侏罗世	~2.03	裸子植物极盛,为成煤提供原始物质	
	三叠纪	晚三叠世 中三叠世 早三叠世	~2.51		爬行动物
古生代	晚古生代	二叠纪	晚二叠世 中二叠世 早二叠世	裸子植物	
		石炭纪	晚石炭世 早石炭世	孢子植物极盛,为成煤提供原始物质	两栖动物
		泥盆纪	晚泥盆世 中泥盆世 早泥盆世	~4.10	
	早古生代	志留纪	顶志留世 晚志留世 中志留世 早志留世	~4.40 裸蕨植物	鱼类
		奥陶纪	晚奥陶世 中奥陶世 早奥陶世	~4.95 海藻大量繁殖,为石煤的形成提供原始物质	无脊椎动物
		寒武纪	晚寒武世 中寒武世 早寒武世	~5.45	

续表 2-1

代	纪	世	距今年龄 (亿年)	开始繁殖时期			
				植物	动物		
新元古代	震旦纪	晚震旦世	~6.80	菌藻类			
		早震旦世					
	南华纪	晚南华世	~8.00				
早南华世							
中元古代	青白口纪	晚青白口世	10.00				
		早青白口世					
	蓟县纪	晚蓟县世	14.00				
早蓟县世							
长城纪	晚长城世	~18.00					
	早长城世						
古元古代	溱沱纪		~25.00				
新太古代			~28.00				
中太古代			~32.00				
古太古代			~36.00				
始太古代			~45.00				

地质年代。纪又可以再划分为若干个更低一级的地质年代单位——世。

3. 世

世是国际上通用的第三级地质年代单位。它与地层的统相对应,代表形成一个统所经历的地质年代。通常,一个纪可分为早、中、晚三个世,少数的纪仅分为早、晚两个世。

二、年代地层单位

国际上通用的年代地层单位,即为宇、界、系、统、阶、带六级。宇是最大的年代地层单位。现将常见的年代地层单位解释如下。

1. 界

它的划分主要是根据生物界演化史上大的阶段。不同界中生物界有较明显的差别,界可划分为若干次一级的地层单位——系。

2. 系

系指一个纪的时间内形成的地层。它是界的组成部分。每个系均有其特征的生物群。系又可再划分为若干个更次一级的地层单位——统。

3. 统

统相当于一个世的时间内形成的地层,它是系的组成部分。通常,一个系可分为若干个统。

地层单位及代号如表 2-2 所示。表 2-2 是根据全国和世界各地层发育情况综合得出的。对于某个煤矿区来说,当地的地层决不可能是完整无缺的,由于受地壳运动和风化、剥蚀等因素的影响,总会发生沉积间断和地层缺失。例如在华北的煤矿区普遍缺失上奥陶统、志留系、泥盆系和石炭系下部地层,在四川东南部的煤矿区缺失志留系上部、泥盆系和石炭系。

表 2-2

地层单位名称及其代号简表

界(代号)	系(代号)	统(代号)
新生界(KZ)	第四系(Q)	全新统(Qh)
		更新统(Qp)
	新近系(N)	上新统(N2)
		中新统(N1)
	古近系(E)	渐新统(E3)
		始新统(E2)
		古新统(E1)
中生界(MZ)	白垩系(K)	上白垩统(K2)
		下白垩统(K1)
	侏罗系(J)	上侏罗统(J3)
		中侏罗统(J2)
		下侏罗统(J1)
	三叠系(T)	上三叠统(T3)
		中三叠统(T2)
		下三叠统(T1)
	二叠系(P)	上二叠统(P3)
		中二叠统(P2)
		下二叠统(P1)
古生界(PZ)	石炭系(P)	上石炭统(C2)
		下石炭统(C1)
	泥盆系(D)	上泥盆统(D3)
		中泥盆统(D2)
		下泥盆统(D1)
	志留系(S)	顶志留统(S4)
		上志留统(S3)
		中志留统(S2)
		下志留统(S1)
	奥陶系(O)	上奥陶统(O3)
		中奥陶统(O2)
		下奥陶统(O1)
	寒武系(Є)	上寒武统(Є3)
		中寒武统(Є2)
		下寒武统(Є1)
新元古界(Pt ₃)	震旦系(Z)	
	南华系(Nh)	
	青白口系(Qb)	
中元古界(Pt ₂)	蓟县系(Jx)	
	长城系(Ch)	
古元古界(Pt ₁)	溥沱系(Ht)	
新太古界(Ar ₃)		
中太古界(Ar ₂)		
古太古界(Ar ₁)		
始太古界(Ar ₀)		

三、岩石地层单位

岩石地层单位与上面的年代地层单位完全是并列的，在煤矿区的地层系统表中，经常见到的是一些岩石地层单位，如群、组、段、层等。

1. 群

群是最大的岩石地层单位，群与统是两套不同的地层单位，没有可比性。群有时也可大于统，甚至大于系。

2. 组

组是基本岩石地层单位。如华北二叠系下部的含煤地层称为山西组，华南二叠系上部的含煤地层称为龙潭组。

3. 段

段是小于组的地方性地层单位。根据岩性特征等标志的不同，可以把组划分为若干段。例如，四川华莹山南段矿区的龙潭组分为五段，主要可采煤层大多赋存于第一段中。

四、我国的主要聚煤期

自从地球上出现植物，便有了成煤的物质条件。但由于地史上大的地壳运动，常常使地形、气候和空气中 CO_2 的含量以及其他条件发生变化。这些变化不仅促使各阶段植物体本身的演化，而且使得各个时期植物的繁盛程度和堆积强度也不相同。加之当时受地表海陆分布、隆起与沉降状况、沉积作用等因素的影响，故使各时期聚煤作用的强弱有很大差异。几个较强的聚煤作用时期是：

新生代	新近纪—古近纪	
中生代	晚侏罗世—早白垩世	
	早、中侏罗世	
晚古生代	晚三叠世	
	晚二叠世	
	晚石炭世—早二叠世	
	早石炭世	
早古生代	早寒武世	

上述 8 个聚煤期中，除早寒武世属于菌藻植物时代，形成腐泥无烟煤外，其他 7 个聚煤期都是以腐植煤为主的聚煤期。若从聚煤作用的强度而言，这 7 个聚煤期也是不均衡的，其中以晚石炭世—早二叠世，晚二叠世，早、中侏罗世和晚侏罗世—早白垩世 4 个聚煤期的聚煤作用为最强。

第二节 成煤物质

一、植物的演化

植物在地史上，逐步由低级向高级发展演化，并经过多次飞跃。从低等的菌藻到高级的被子植物，其发展过程显示出 5 个阶段，由老到新是：菌藻植物时代、裸蕨植物时代、蕨类和种子植物时代、裸子植物时代和被子植物时代。这几个阶段与煤的形成和聚积有直接关系。植物由低级向高级演化，当某种高等植物占优势后，有些植物灭绝，但低等植物的一些门类仍继续存在。

最早出现的植物是低等植物，低等植物是由单细胞或多细胞构成的丝状和叶片状植物体，没有根、茎、叶等器官的分化，如细菌和藻类。低等植物大多生活在水中，细菌的生存环境十分广泛，它们是地球上最早出现的生物，藻类从太古代、元古代开始一直发展到现在，其种类达两万种以上。

高等植物有根、茎、叶等器官的分化，包括苔藓植物、蕨类植物、裸子植物和被子植物，地史上这些类别的植物除苔藓外，常能形成高大的乔木，具有粗壮的根和茎，成为重要的成煤物质。图 2-1 表示了最主要的植物门类在地史上的分布。

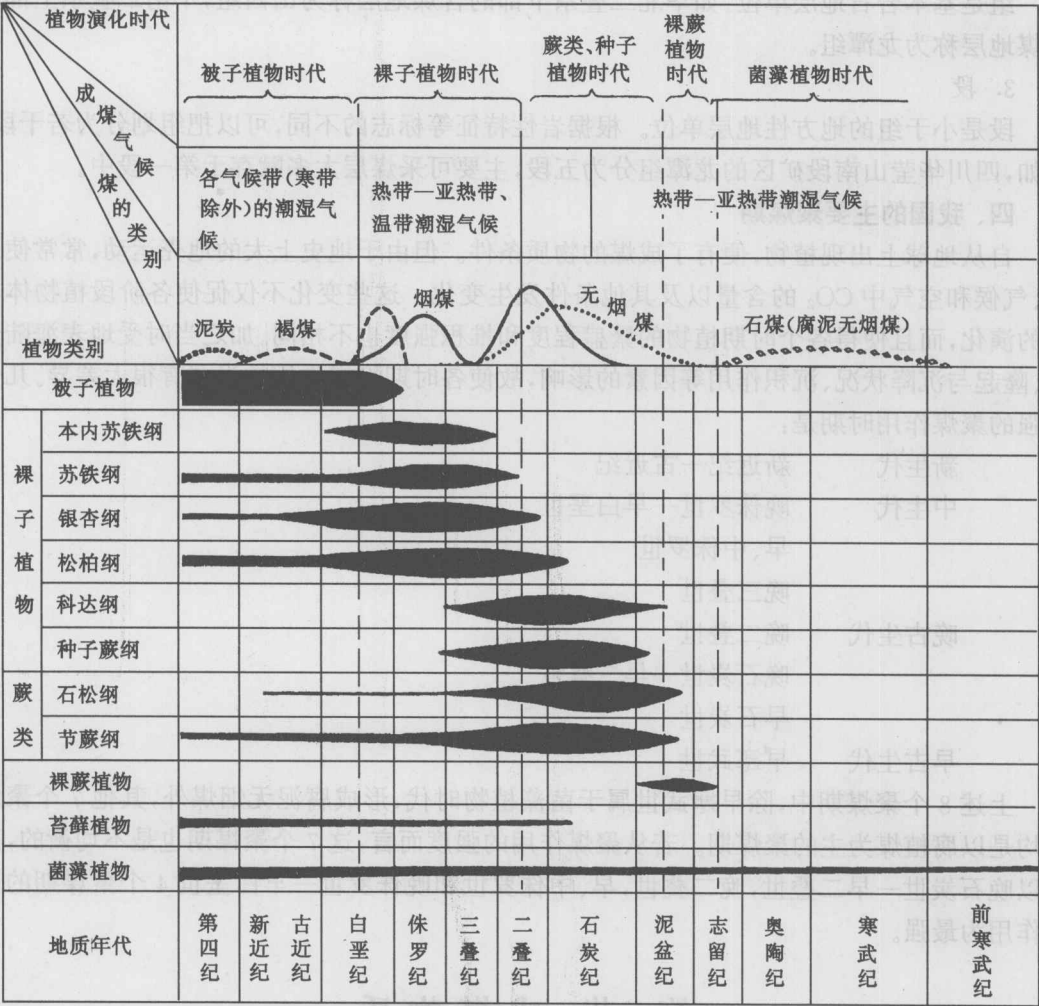


图 2-1 地史上主要植物群分布图

二、植物的有机组成

高等植物和低等植物的基本组成单元都是细胞。植物细胞是由细胞壁和细胞质构成的。细胞壁的主要成分是纤维素、半纤维素和木质素，细胞质的主要成分是蛋白质和脂肪。高等植物的细胞含细胞质较低等植物要少。茎是高等植物的主体，其外表面被角质层和木栓层的表皮所包裹，内部为形成层、木质部和髓心。高等植物除了根、茎、叶外，还有孢子和花粉等繁

殖器官。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。

(一) 糖类及其衍生物

糖类及其衍生物包括纤维素、半纤维素和果胶质等成分。

纤维素是一种高分子的碳水化合物,属于多糖,其链式结构可用通式 $(C_6H_{10}O_5)_n$ 表示,纤维素的分子结构如图2-2所示。纤维素在生长着的植物体内很稳定,但植物死亡后,需氧细菌通过纤维素水解酶的催化作用可将纤维素水解为单糖,单糖可进一步氧化分解为 CO_2 和 H_2O ,即:

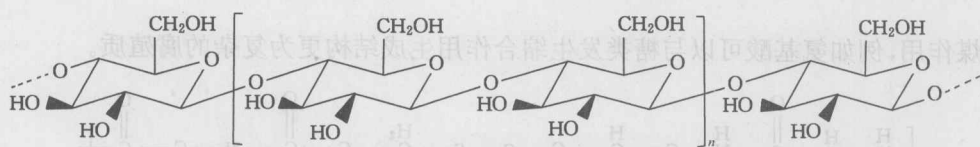
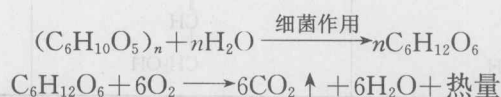


图2-2 纤维素的分子结构

当成煤环境逐渐转变为缺氧时,厌氧细菌使纤维素发酵生成 CH_4 、 CO_2 、 C_3H_7COOH 等中间产物,参与煤化作用。无论是水解产物还是发酵产物,它们都可能与植物的其他分解产物作用形成更复杂的物质参与成煤。

半纤维素也是多糖,其结构多种多样,例如多维戊糖 $(C_5H_8O_4)_n$ 就是其中的一种。它们也能在微生物作用下分解成单糖。

果胶质主要由半乳糖醛酸与半乳糖醛酸甲酯缩合而成,属糖的衍生物,呈果冻状存在于植物的果实和木质部中。果胶质分子中有半乳糖醛酸,故呈酸性。果胶质不太稳定,在泥炭形成的开始阶段,即可因生物化学作用水解成一系列的单糖和糠醛酸。此外,植物残体中还有糖苷类物质,由糖类通过其还原基团与其他含羟基物质,如醇类、酚类缩合而成。

(二) 木质素

木质素是成煤物质中最主要的有机组分,主要分布在高等植物的细胞壁中,包围着纤维素并填满其间隙,以增加茎部的坚固性。木质素的组成因植物种类不同而异,但已知它具有一个芳香核,带有侧链并含有一 OCH_3 、 $-OH$ 、 $-O-$ 等多种官能团。目前已查明有三种类型的单体如表2-3所示。木质素的单体以不同的连接方式连接成三维空间的大分子,因而比纤维素稳定,不易水解。但在多氧的情况下,经微生物的作用易氧化成芳香酸和脂肪酸。

(三) 蛋白质

蛋白质是构成植物细胞原生质的主要物质,是生命起源最重要的有机物质基础,是由许多不同的氨基酸分子按照一定的排列规律缩合而成的具有多级复杂结构的高分子化合物(见图2-3)。一个氨基酸分子中的一 $COOH$ 和另一个氨基酸分子中的一 NH_2 生成酰胺键,分子中的一 $CO-NH-$ 称为肽键。蛋白质是天然多肽,相对分子质量在10 000以上,一般含有羧基、氨基、羟基、二硫键等。煤中的氮和硫可能与植物的蛋白质有关。植物死后,蛋白质在氧化条件下可分解为气态产物;在泥炭沼泽中,它可水解生成氨基酸、吡啶等含氮化合物,参