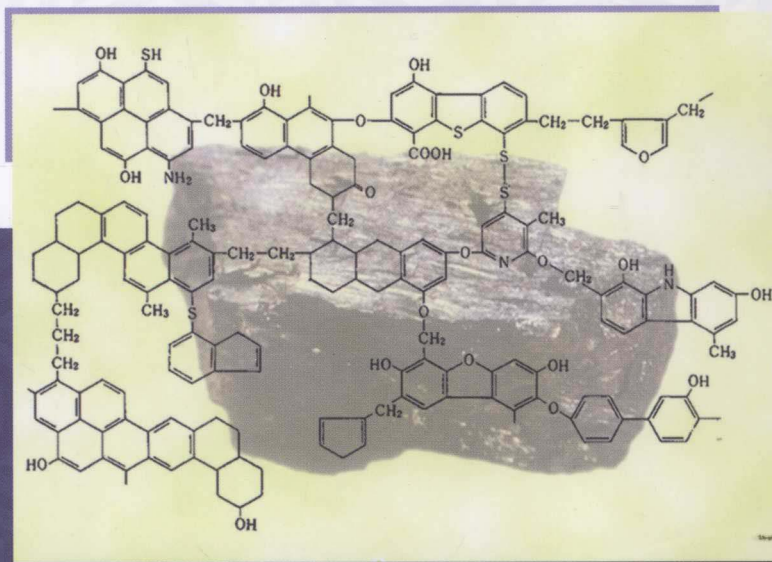


煤炭分选加工技术丛书

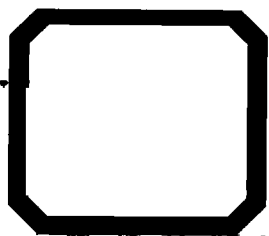
煤化学与煤质分析

MEIHUAXUE YU MEIZHI FENXI

解维伟 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



煤炭分选加工技术丛书

煤化学与煤质分析

解维伟 编著

北 京
冶金工业出版社
2012

内 容 简 介

本书系统地叙述了煤化学的基本内容,并结合煤炭分选加工现场实际情况介绍了煤质分析的基本原理等。全书分为煤的生成、基础煤岩学、煤的结构、煤样的采取与制备、工业分析与元素分析、煤的一般性质、煤的工艺性质、煤的分类和煤质评价 8 章。本书内容丰富,煤化学理论和选煤厂煤质分析实践并重,实用性强,内容深入浅出,详略得当,突出了煤化学与煤质分析的知识在煤炭加工过程中的整合。

本书可作为高等学校矿物加工工程专业的教学用书和选煤厂技术人员学习参考书,也可作为选煤厂管理及技术人员培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

煤化学与煤质分析/解维伟编著. —北京:冶金工业出版社,
2012. 8

(煤炭分选加工技术丛书)

ISBN 978-7-5024-5838-6

I. ①煤… II. ①解… III. ①煤—应用化学 ②煤质分析
IV. ①TQ53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 173004 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjpbs@cnmip.com.cn

责任编辑 李 雪 于昕蕾 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-5838-6

三河市双峰印刷装订有限公司印刷;冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销

2012 年 8 月第 1 版, 2012 年 8 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 15.25 印张; 362 千字; 227 页

42.00 元

冶金工业出版社投稿电话: (010)64027932 投稿邮箱: tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话: (010) 64044283 传真: (010) 64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100010) 电话: (010) 65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

《煤炭分选加工技术丛书》序

煤炭是我国的主体能源，在今后相当长时期内不会发生根本性的改变，洁净高效利用煤炭是保证我国国民经济快速发展的重要保障。煤炭分选加工是煤炭洁净利用的基础，这样不仅可以为社会提供高质量的煤炭产品，而且可以有效地减少燃煤造成的大气污染，减少铁路运输，实现节能减排。

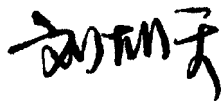
进入 21 世纪以来，我国煤炭分选加工在理论与技术诸方面取得了很大进展。选煤技术装备水平显著提高，以重介选煤技术为代表的一批拥有自主知识产权的选煤关键技术和装备得到广泛应用。选煤基础研究不断加强，设计和建设也已发生巨大变化。近年来，我国煤炭资源开发战略性西移态势明显，生产和消费两个中心的偏移使得运输矛盾突出，加大原煤入选率，减少无效运输是提高我国煤炭供应保障能力的重要途径。

《煤炭分选加工技术丛书》系统地介绍了选煤基础理论、工艺与装备，特别将近年来我国在煤炭分选加工方面的最新科研成果纳入丛书。理论与实践结合紧密，实用性强，相信这套丛书的出版能够对我国煤炭分选加工业的技术发展起到积极的推动作用！

是为序！

中国工程院院士

中国矿业大学教授



2011 年 11 月

《煤炭分选加工技术丛书》前言

煤炭是我国的主要能源，占全国能源生产总量70%以上，并且在相当长一段时间内不会发生根本性的变化。

随着国民经济的快速发展，我国能源生产呈快速发展的态势。作为重要的基础产业，煤炭工业为我国国民经济和现代化建设做出了重要的贡献，但也带来了严重的环境问题。保持国民经济和社会持续、稳定、健康的发展，需要兼顾资源和环境因素，高效洁净地利用煤炭资源是必然选择。煤炭分选加工是煤炭洁净利用的源头，更是经济有效的清洁煤炭生产过程，可以脱除煤中60%以上的灰分和50%~70%的黄铁矿硫。因此，提高原煤入选率，控制原煤直接燃烧，是促进节能减排的有效措施。发展煤炭洗选加工，是转变煤炭经济发展方式的重要基础，是调整煤炭产品结构的有效途径，也是提高煤炭质量和经济效益的重要手段。

“十一五”期间，我国煤炭分选加工迅猛发展，全国选煤厂数量达到1800多座，出现了千万吨级的大型炼焦煤选煤厂，动力煤选煤厂年生产能力甚至达到3000万吨，原煤入选率从31.9%增长到50.9%。同时随着煤炭能源的开发，褐煤资源的利用提到议事日程，由于褐煤含水高，易风化，难以直接使用，因此，褐煤的提质加工利用技术成为褐煤洁净高效利用的关键。

“十二五”是我国煤炭工业充满机遇与挑战的五年，期间煤炭产业结构调整加快，煤炭的洁净利用将更加受到重视，煤炭的分选加工面临更大的发展机遇。正是在这种背景下，受冶金工业出版社委托，组织编写了《煤炭分选加工技术丛书》。丛书包括：《重力选煤技术》、《煤泥浮选技术》、《选煤厂固液分离技术》、《选煤机械》、《选煤厂测试与控制》、《煤化学与煤质分析》、《选煤厂生产技术管理》、《选煤厂工艺设计与建设》、《计算机在煤炭分选加工中的应用》、《矿物加工过程 Matlab 仿真与模拟》、《煤炭开采与洁净利用》、《褐煤提

质加工利用》、《煤基浆体燃料的制备与应用》，基本包含了煤炭分选加工过程涉及的基础理论、工艺设备、管理及产品检验等方面内容。

本套丛书由中国矿业大学（北京）化学与环境工程学院组织编写，徐志强负责丛书的整体工作，包括确定丛书名称、分册内容及落实作者。丛书的编写人员为中国矿业大学（北京）长期从事煤炭分选加工方面教学、科研的老师，书中理论与现场实践相结合，突出该领域的新工艺、新设备、新理念。

本丛书可以作为高等院校矿物加工工程专业或相近专业的教学用书或参考用书，也可作为选煤厂管理人员、技术人员培训用书。希望本丛书的出版能为我国煤炭洁净加工利用技术的发展和人才培养做出积极的贡献。

本套丛书内容丰富、系统，同时编写时间也很仓促，书中疏漏之处，欢迎读者批评指正，以便再版时修改补充。

中国矿业大学（北京）教授

徐志强

2011年11月

前 言

煤化学是研究煤炭分选加工技术、洁净煤技术的基础，而煤质分析是提高煤的合理利用的一项基础工作，因此煤化学与煤质分析的相关知识对于煤炭分选、煤炭成型、煤炭燃烧、煤炭转化都有着重要的意义。

本书着重将煤化学的基础知识与煤炭分选过程中的煤质分析知识进行整合，收集了大量煤化学领域最新的研究成果以及相关的最新国家标准资料，以煤分子结构理论为核心，介绍了煤的性质、煤的应用基础、选煤厂煤质分析等方面的内容。全书共分8章，其中第1章介绍成煤物质、成煤作用过程、主要成煤期和主要煤田；第2章介绍基础煤岩学及其在煤炭加工利用中的应用和发展；第3章介绍煤的结构、煤的结构模型以及煤结构的研究方法；第4章介绍了煤样的采取与制备，以选煤厂的生产检查、煤样的采取与制备为主；第5章介绍了煤质分析的重点——工业分析与元素分析；第6、7章介绍了煤的性质，包括煤的物理性质、化学性质、物理化学性质、工艺性质等；第8章介绍了煤的分类及煤质评价的方法流程。

全书的编写力求深入浅出、简明扼要、理论与生产实践并重，较全面地反映煤化学的基础知识和煤炭分选加工中的煤质分析知识，既满足教学需要，又具有一定的实用性。本书可作为高等院校煤炭加工转化等专业的教学用书和选煤厂技术人员学习参考书，也可作为选煤厂管理及技术人员培训用书。

本书第1、3、5~7章由解维伟编写，第4、8章由王卫东编写，第2章由贺兰鸿编写，全书由解维伟统稿。

在本书的编写过程中，我们得到了中国矿业大学（北京）矿物加工工程系老师的大力支持，在此表示衷心感谢。同时向被引用资料的编著者表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限，书中不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

作 者

2012年1月

目 录

1 煤的生成	1
1.1 成煤物质	1
1.1.1 煤的种类和外表特征	1
1.1.2 成煤的原始物质	3
1.1.3 植物的有机族组成	4
1.2 成煤作用过程	7
1.2.1 泥炭化阶段	7
1.2.2 煤化阶段	10
1.3 主要成煤期与主要煤田	14
1.3.1 影响成煤期的主要因素	14
1.3.2 主要聚煤期和主要煤田	16
2 基础煤岩学	18
2.1 宏观煤岩组成	18
2.1.1 宏观煤岩成分	18
2.1.2 烟煤宏观煤岩类型	20
2.1.3 褐煤宏观煤岩类型	21
2.2 煤的显微组分	22
2.2.1 煤的有机显微组分	22
2.2.2 煤的无机显微组分	29
2.2.3 显微煤岩组分分类	30
2.3 煤岩学的研究方法	32
2.3.1 煤岩显微组分的分离和富集	33
2.3.2 煤岩分析样品的制备	33
2.3.3 煤岩显微组分的反射率	36
2.3.4 煤岩组分的定量方法	37
2.4 煤岩学在煤炭加工利用中的应用和发展	38
2.4.1 煤岩学在选煤中的应用	38
2.4.2 煤岩学在煤化工中的应用	39
2.4.3 煤岩学的发展	40
3 煤的结构	42
3.1 煤的大分子结构	42

3.1.1	煤大分子结构的基本概念	42
3.1.2	煤大分子基本结构单元的核	42
3.1.3	基本结构单元的官能团和烷基侧链	44
3.1.4	链接基本结构单元的桥键	46
3.1.5	煤中的低分子化合物	46
3.1.6	煤分子结构理论的基本观点	48
3.2	煤的结构模型	49
3.2.1	煤的化学结构模型	49
3.2.2	煤的物理结构模型	54
3.2.3	煤结构的综合模型	57
3.3	煤结构的研究方法	57
4	煤样的采取与制备	59
4.1	概述	59
4.1.1	有关术语	59
4.1.2	采样及其精密度	60
4.1.3	煤样的代表性	60
4.2	商品煤样的采取	61
4.2.1	采样基本原则	62
4.2.2	各种情况的采样	63
4.2.3	全水分煤样的采取	65
4.2.4	采样精密度核对	65
4.3	选煤厂生产检查煤样的采取	66
4.3.1	生产检查主要项目和采样一般原则	66
4.3.2	采样点及采样方法	67
4.3.3	自动采样机	67
4.4	矿井生产煤样的采取	69
4.5	煤层煤样的采取	70
4.6	煤样的制备	71
4.6.1	制样工序	71
4.6.2	煤样的制备方法	73
4.6.3	全水分煤样的制备	73
4.6.4	日常生产检查煤样的制备	74
4.6.5	煤样的减灰	75
4.6.6	存查煤样	76
5	工业分析与元素分析	77
5.1	工业分析	77

5.1.1	煤中的水分及其测定	77
5.1.2	煤中矿物质及灰分的测定	81
5.1.3	煤的挥发分及其测定	88
5.1.4	固定碳含量的计算	91
5.1.5	各种煤的工业分析指标范围	92
5.2	煤的灰成分分析	93
5.2.1	煤灰的组成	93
5.2.2	煤灰中各成分的测定方法	94
5.3	元素分析	98
5.3.1	煤的元素组成	98
5.3.2	煤中碳、氢含量的测定	100
5.3.3	煤中氮含量的测定	103
5.3.4	煤中硫的测定	104
5.3.5	煤中氧元素的计算	108
5.3.6	煤中微量元素	109
5.3.7	煤中有害元素	110
5.4	分析结果的表示方法与基准换算	112
5.4.1	煤质指标及基准的表示方法	112
5.4.2	煤质分析结果的基准换算	113
6	煤的一般性质	114
6.1	煤的物理性质	114
6.1.1	煤的密度	114
6.1.2	煤的力学性质	120
6.1.3	煤的磁性性质	126
6.1.4	煤的电性质	127
6.1.5	煤的光学性质	129
6.2	煤的化学性质	135
6.2.1	煤的氧化性质	135
6.2.2	煤的加氢	137
6.2.3	煤的磺化	145
6.2.4	煤的其他化学性质	146
6.3	煤的物理化学性质	150
6.3.1	煤的润湿性	150
6.3.2	煤的润湿热	151
6.3.3	煤的孔隙度和比表面积	152
7	煤的工艺性质	156
7.1	煤的发热量测定及其计算	156

7.1.1	发热量的表示方法	156
7.1.2	煤在大气中燃烧与在氧弹中燃烧的区别	158
7.1.3	煤的发热量与煤质的关系	159
7.1.4	煤发热量的估算	160
7.1.5	发热量各种基准间的换算	162
7.2	煤的热解和黏结成焦性质	162
7.2.1	煤的热性质	162
7.2.2	煤的热解	164
7.2.3	煤的黏结与成焦机理	169
7.3	煤的黏结性和结焦性及其评定方法	175
7.3.1	煤的黏结性和结焦性	175
7.3.2	煤的黏结性和结焦性的评定方法	175
7.3.3	煤的各种黏结性、结焦性指标间的关系	183
7.4	煤的气化与燃烧工艺性质	185
7.4.1	煤灰熔融性	185
7.4.2	煤灰黏度	187
7.4.3	煤的结渣性	188
7.4.4	气化反应性	189
7.4.5	煤的着火温度	191
7.5	煤的可选性	192
7.5.1	煤的可选性曲线	192
7.5.2	煤的可选性评定	194
7.5.3	影响煤可选性的因素	195
8	煤的分类和煤质评价	197
8.1	煤炭分类的意义和分类指标	197
8.1.1	煤炭分类的意义	197
8.1.2	煤炭分类的方法和原则	197
8.1.3	煤炭分类的指标	198
8.2	中国和国际煤炭分类	199
8.2.1	中国煤炭的分类	199
8.2.2	国际煤炭的分类	212
8.2.3	国际煤炭分类标准与中国标准的异同	213
8.3	煤质评价	215
8.3.1	煤质评价的阶段与任务	215
8.3.2	煤质评价的内容	216
8.3.3	煤质评价的方法	216

8.4 各种用煤对煤质的要求	217
8.4.1 炼焦用煤对煤质的要求	217
8.4.2 气化用煤对煤质的要求	218
8.4.3 液化用煤对煤质的要求	219
8.4.4 发电用煤对煤质的要求	220
8.4.5 高炉喷吹用煤对煤质的要求	221
8.4.6 其他用煤对煤质的要求	221
参考文献	224

1 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。自然界存在的各种煤类不仅外表有很大的差异，而且它们的性质也很不相同。煤的生成是一个极其漫长与极其复杂的过程。

煤的成因因素，即成煤植物的种类，植物遗体的堆积环境和堆积方式，泥炭化阶段经受的生物化学作用等影响泥炭形成并保存的诸因素，决定了煤在显微结构上具有多种形态的显微成分。煤的变质因素，即泥炭成岩后煤变质作用的类型、温度、压力、时间及其相互作用决定了煤的化学成熟程度，亦即煤化程度，又称煤化度。这些因素有的互相制约，有的互相促进。因此，了解煤的生成过程，可以帮助我们本质上更深刻地认识煤。

弄清原始物质转化成煤的特征及成煤条件对煤的组成和性质的影响，有助于进一步掌握煤的特性及其变化规律，从而指导煤的合理利用，所以深入了解煤的成因问题对合理开发和综合利用煤炭资源具有重大的理论意义和实际意义。

1.1 成煤物质

1.1.1 煤的种类和外表特征

根据成煤植物种类的不同，煤主要分为腐殖煤和腐泥煤两大类。腐殖煤主要由高等植物形成，腐泥煤主要由低等植物和少量浮游生物形成。

1.1.1.1 腐殖煤

绝大多数腐殖煤都是由植物中的木质素和纤维素等主要组分形成的，在自然界分布最广，储量最大。亦有少量腐殖煤是由高等植物经微生物分解后残留的脂类化合物形成的，称为残殖煤。单独成矿的残殖煤很少，多以薄层或透镜状共生在腐殖煤中。我国江西乐平煤田和浙江长广煤田有典型的树皮和角质残殖煤，大同煤田发现有少量的孢子残殖煤。

依据变质程度的不同，腐殖煤可分为泥炭、褐煤、烟煤和无烟煤四大类。各类煤具有不同的外表特征和特性，其典型的品种，一般肉眼就能区分。

A 泥炭

泥炭是由植物变成煤的过程中的过渡产物，棕褐色或黑褐色，不均匀。它含有大量的未分解的植物组织，如根、茎、叶等的残留物，有时肉眼就能看出。另外，它的含水量很高，一般可高达 85% ~ 95%。开采出的泥炭经过自然干燥后，其水分可降至 25% ~ 35%。干泥炭为棕黑色或黑褐色的土状碎块，真密度为 $1.29 \sim 1.61 \text{ g/cm}^3$ 。泥炭的有机质主要包括腐殖酸（HA）、沥青质、植物壳质以及未分解或尚未完全分解的植物族。

B 褐煤

褐煤是泥炭沉积后经脱水、压实转变为有机生物岩的初期产物。大多数的褐煤外表呈褐色或暗褐色，因而得名。它无光泽，真密度为 $1.10 \sim 1.40\text{g/cm}^3$ 。褐煤含水较多，可达 $30\% \sim 60\%$ 。与泥炭相比，褐煤中腐殖酸的芳香核缩合程度有所增加，含氧官能团有所减少，侧链较短且数量也较少。在褐煤阶段，腐殖酸开始转变为中性腐殖质。在外观上，褐煤与泥炭的最大区别是褐煤不含未分解的植物组织残骸，且呈层状分布，不具有新开出的泥炭所特有的无定形态。从年轻的褐煤转变为年老的褐煤时，外观相应发生变化，颜色逐渐变深，从无光泽到逐渐有光泽，从土状到黑褐色密实的岩石状。

C 烟煤

烟煤是在自然界中最重要的和分布最广的煤种，也是储量最大和品种最多的煤种。变质程度低于无烟煤而高于褐煤，因燃烧时烟多而得名。烟煤中已经不含有游离腐殖酸，因为腐殖酸已经全部缩合成为更复杂的中性的腐殖质。由于不含腐殖酸，故烟煤不能使酸、碱溶液染色。其中含有少量呈偏中性的沥青。此外，其外表看来都是黑色。通常烟煤具有不同程度的光泽，绝大多数呈条带状，其中有亮的条带，也有暗的条带，相互交替。烟煤比较致密，硬度较大，真密度较高，通常在 $1.20 \sim 1.45\text{g/cm}^3$ 之间。

D 无烟煤

无烟煤是煤化程度最高的一种腐殖煤，呈灰黑色，带有金属光泽，无明显条带。燃烧时无烟，火焰较短，故俗称“白煤”。在各种煤中，无烟煤挥发分最低，硬度最高，燃点高达 $360 \sim 410^\circ\text{C}$ 以上，真密度最大，通常在 $1.35 \sim 1.90\text{g/cm}^3$ 之间。

四类腐殖煤的主要特征与区分标志如表 1-1 所示。

表 1-1 四类腐殖煤的主要特征与区分标志

特征与标志	泥 炭	褐 煤	烟 煤	无烟煤
颜色	棕褐色	褐色、黑褐色	黑色	灰黑色
光泽	无	大多无光泽	有一定光泽	金属光泽
外观	有原始植物残体，土状	无原始植物残体，无明显条带	呈条带状	无明显条带
在沸腾 KOH 中	棕红 ~ 棕黑	褐色	无色	无色
在稀 HNO_3 中	棕红	红色	无色	无色
自然水分	多	较多	较少	少
真密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$		$1.10 \sim 1.40$	$1.20 \sim 1.45$	$1.35 \sim 1.90$
硬度	很低	低	较高	高
燃烧现象	有烟	有烟	多烟	无烟

1.1.1.2 腐泥煤

根据植物遗体分解程度的不同，腐泥煤又分为藻煤和胶泥煤等。藻煤主要由藻类生成，山西浑源有不少藻煤，山东肥城也有发现；胶泥煤是无结构的腐泥煤，植物成分分解彻底，几乎完全由基质组成，胶泥煤数量很少，山西浑源有少量存在。

此外，还有腐殖煤和腐泥煤的混合物，有时单独分类，成为与腐殖煤和腐泥煤并列的

第三类煤，称为腐殖腐泥煤，主要有烛煤和煤精。烛煤与藻煤很相似，宏观上几乎难以区分，易燃，用火柴即可点燃，燃烧时火焰明亮，好像蜡烛一样；煤精盛产于我国抚顺，结构细腻，质轻而有韧性，因能雕琢工艺美术品而驰名。

基于储量、用途和习惯上的原因，除非特别指明，人们通常所讲的煤，就是指主要由木质素、纤维素等形成的腐殖煤。腐殖煤是近代煤炭综合利用的主要物质基础，也是煤化学的重点研究对象。腐殖煤与腐泥煤的主要特征如表 1-2 所示。

表 1-2 腐殖煤与腐泥煤的主要特征

特 征	腐 殖 煤	腐 泥 煤
颜色	褐色和黑色，多数为黑色	多数为褐色
光泽	光亮者居多	暗
用火柴点火	不燃烧	燃烧，有沥青气味
氢含量/%	一般小于 6	一般大于 6
低温干馏焦油产率/%	一般小于 20	一般大于 25

1.1.2 成煤的原始物质

19 世纪以前，人们对于成煤的原始物质没有正确的认识，对煤成因的认识并不一致，曾提出过很多假说，归纳起来主要有三种：一是认为煤和地壳中的其他岩石一样，一有地球就存在；二是认为煤是由岩石转变而成；三是认为煤是由植物残骸形成的。

随着煤炭的大规模开采，人们在煤层中常常发现保存完好的古植物化石和由树干变成的煤，在煤层底板岩层中发现了大量的根化石、痕木化石等植物化石，证明它曾经是植物生长的土壤。随着煤岩学的发展，人们利用显微镜在煤制成的薄片观察到许多原始植物的细胞结构和其他残骸；在实验室用树木进行的人工煤化试验，也可以得到外观和性质与煤类似的人造煤。因此，煤是由植物而且主要是由高等植物转化而来的观点已成为人们的共识。

由于植物是成煤的主要原始物质，因此植物界的发展、演化以及各类植物的兴盛、衰亡必然影响着地史时期成煤特征的演化。植物在地史上，逐步由低级向高级发展演化，并经历了多次飞跃演化的漫长过程。从低等的菌藻到高级的被子植物，其发展过程显示出五个阶段，由老到新分别是：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。

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（如藻类），在水中处于浮游状态，所以称为浮游生物。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。高等植物与低等植物的基本组成单元是植物细胞，植物细胞由细胞壁和细胞质构成。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。高等植物的组成以纤维素、半纤维素和木质素为主，低等植物则以蛋白质为主，并含碳水化合物和脂肪。

茎是高等植物的主体，其外表面被称之为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。

植物的演化对煤的形成有十分重要的影响，只有当植物分布广泛、繁茂生长时才可能有成煤作用发生，而新门类植物群的出现又是形成新成煤期的前提。

1.1.3 植物的有机族组成

成煤植物的有机组成及化学性质影响煤的类型和性质。植物的有机族组成可以分为碳水化合物、木质素、蛋白质和脂类化合物四类。

1.1.3.1 碳水化合物（糖类及其衍生物）

在植物的组织结构中，碳水化合物主要包括纤维素、半纤维素和果胶质。

A 纤维素

纤维素是自然界中分布最广、含量最多的一种多糖，其链式结构如图 1-1 所示。

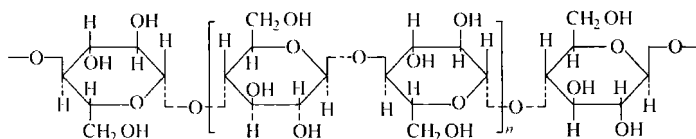
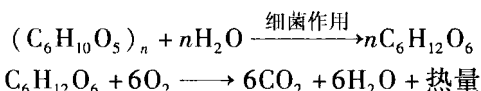


图 1-1 纤维素的分子结构

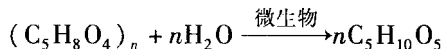
纤维素是一种复杂的多糖，在生长着的植物体内很稳定，但植物死亡后，需氧细菌通过纤维素水解酶的催化作用可将纤维素水解为单糖，单糖又可进一步氧化分解为 CO_2 和 H_2O ，即：



当环境缺氧时，厌氧细菌使纤维素发酵生成 CH_4 、 CO_2 、 $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$ 和 CH_3COOH 等。无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为复杂的物质参与成煤，或成为微生物的营养来源。

B 半纤维素

半纤维素也是多糖，其结构多种多样，例如，多维戊糖 $(\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_4)_n$ 就是其中的一种。它们也能在微生物的作用下分解成单糖：



C 果胶质

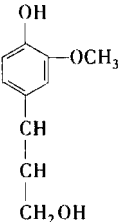
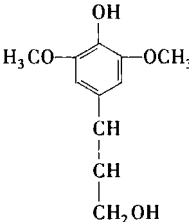
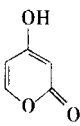
果胶质主要是由半乳糖醛与半乳糖醛甲酯缩合而成，属糖的衍生物，呈果冻状存在于植物的果实和木质部中。果胶质是植物毗邻细胞之间的胞间层组分，占植物体干重的 15% ~ 30%。果胶质不太稳定，在泥炭形成的开始阶段，即可因生物化学作用水解生成一系列的单糖和糖醛酸。

此外，植物残体中还有糖苷类物质，是由糖类通过其还原基团与其他羟基物质如醇类、酚类、甾醇类缩合而成的。

1.1.3.2 木质素

木质素是造煤植物中最重要的有机组分。从植物学的观点出发，木质素就是包围于管胞、导管及木纤维等纤维束细胞及厚壁细胞外的物质；从化学的观点来看，木质素是由高度取代的苯基丙烷单元随机聚合而成的高分子，其芳香核带有侧链并含有一 OCH_3 、 —OH 、 —O— 等多种官能团。树木类的木质素，一般含有三种类型的单体，即针叶树中的松柏醇、阔叶树的芥子醇和禾木中的 γ -香豆醇，其结构如表1-3所示。

表 1-3 木质素的三种不同类别的单体

植物种类	针叶树	阔叶树	禾 木
单体名称	松柏醇	芥子醇	γ -香豆醇
结构式			

木质素的单体以不同的链连接成三度空间的大分子，所以比纤维素稳定，不易水解；在植物死亡后也比纤维素难分解，但较易氧化成芳香酸和脂肪酸。在泥炭沼泽的水中，在水和微生物的作用下，木质素发生分解，并和其他化合物生成与腐殖酸相似的物质，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。

1.1.3.3 蛋白质

蛋白质是构成植物细胞原生质的主要物质，也是有机体生命起源最重要的物质基础。化学研究和分析表明，蛋白质是由若干个氨基酸按一定顺序键合而成的高分子化合物，含有一 COOH 、 —NH_2 、 —OH 、 —S—S— 等基团，所以煤中的氮和硫可能与植物中的蛋白质有关，其化学结构式如图1-2所示。

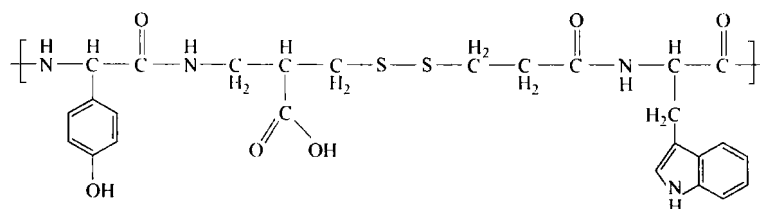


图 1-2 蛋白质片段化学结构示例

一般植物体内蛋白质含量不多，但低等植物中蛋白质含量较高，如藻类和菌类。由于蛋白质含有羧基和氨基，故兼具酸性和碱性，是一种有强烈亲水性的两性胶体。在泥炭沼泽和湖泊水体中，蛋白质可以分解或转变成氨基酸、吡啉等含氮化合物，参与成煤作用，例如氨基酸与糖类通过羟基与醛基起缩合作用而形成一种稳定的含氮化合物（腐殖物质），