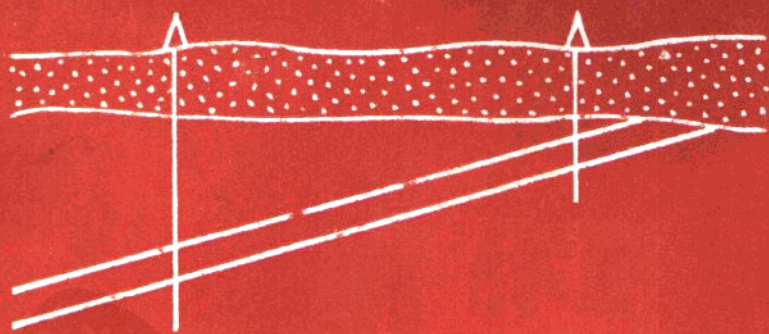




煤矿技工学校试用教材

# 煤田地质与勘探



煤炭工业出版社

P618.110.2  
S-619

煤矿技工学校试用教材

# 煤田地质与勘探

孙 平 编

煤炭工业出版社

829677

78

## 内 容 提 要

全书共分两篇、八章。第一篇煤田地质基础知识,包括一、二、三、四、五章,分别介绍成煤作用、煤的物质组成、含煤岩系、煤层厚度、中国煤炭资源分布概况;第二篇煤田地质勘探基本知识,包括六、七、八章,分别介绍煤田地质勘探手段、煤田地质勘探阶段与储量分级、煤田地质勘探设计和地质报告的编制简介。

全书内容浅显易懂,文图并茂,可作为煤矿技工学校非煤田地质专业教材,也可供煤田地质勘探部门非地质工作者阅读。

煤矿技工学校试用教材

### 煤田地质与勘探

孙 平 编

责任编辑:马淑敏

\*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

北京房山宏伟印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

\*

开本  $787 \times 1092 \text{mm}^{1/16}$  印张  $10^{5/8}$

字数 245 千字 印数 1—1,165

1996 年 10 月第 1 版 1996 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 7-5020-1308-3/TD15

书号 4076 C0155 定价 12.10 元

170002

# 前 言

为了适应煤矿技工学校教学改革的需要,加速技工人才的培养,促进煤炭工业现代化生产建设的发展和技术进步,全国煤矿技工教材编委会于1989年召开了第二次全体会议,确定以“七五”教材建设为基础,按照“补齐、配套、完善、提高”,突出基本理论、基本知识教学和基本技能训练的原则,编制了“八五”技工教材建设规划。这套教材包括:《采煤概论》、《综采工作面采煤机》、《煤矿开采方法》、《机械化掘进工艺》、《矿井地质》、《矿山测量》等共70余种,将陆续出版发行。

这套教材主要适用于煤矿技工学校教学和培训,也适合具有初中文化程度的工人自学和工程技术人员参考。

《煤田地质与勘探》是这套教材中的一种,是根据全国煤矿技工学校统一教学计划和大纲编写的,并经全国煤矿技工教材编审委员会组织审定,是全国煤矿技工学校和在职培训必备的统一教材。

该教材由徐州矿务局技工学校孙平同志编写,抚顺矿务局技工学校张小江同志主审。重庆、临沂等煤矿技工学校的有关教师和工程技术人员也参加了审定和修改工作。中国统配煤矿总公司教育局工人培训处的有关同志具体组织并参加了审定和修改工作。

由于时间仓促,经验不足,教材中难免有不当之处,请用书单位和读者批评指正。

全国煤矿技工学校教材编审委员会

1992年3月28日

# 目 录

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 绪论 .....                 | 1  |
| 一、煤田地质与勘探的性质和任务 .....    | 1  |
| 二、煤田地质与勘探研究的内容和方法 .....  | 1  |
| 三、煤田地质与勘探的发展概况 .....     | 2  |
| 第一篇 煤田地质基础知识             |    |
| 第一章 成煤作用 .....           | 3  |
| 第一节 成煤原始物质 .....         | 3  |
| 一、植物演化与成煤作用的关系 .....     | 3  |
| 二、成煤原始物质 .....           | 4  |
| 第二节 成煤环境与煤的形成 .....      | 7  |
| 一、成煤植物的堆积环境 .....        | 7  |
| 二、煤的形成 .....             | 8  |
| 第三节 成煤条件 .....           | 11 |
| 一、植物条件 .....             | 11 |
| 二、气候条件 .....             | 12 |
| 三、地理条件 .....             | 12 |
| 四、地壳运动条件 .....           | 12 |
| 复习题 .....                | 12 |
| 第二章 煤的物质组成 .....         | 13 |
| 第一节 煤的岩石组成及煤的物理性质 .....  | 13 |
| 一、煤岩成分和煤岩类型 .....        | 13 |
| 二、煤的物理性质、结构和构造 .....     | 14 |
| 第二节 煤的元素组成和工艺性质 .....    | 19 |
| 一、煤的元素成分 .....           | 19 |
| 二、煤的工业分析 .....           | 21 |
| 三、煤的工艺性质 .....           | 23 |
| 第三节 煤的工业分类及煤质的综合评价 ..... | 26 |
| 一、煤的工业分类 .....           | 26 |
| 二、煤质的综合评价 .....          | 28 |
| 复习题 .....                | 32 |
| 第三章 含煤岩系 .....           | 33 |
| 第一节 煤系的特征 .....          | 33 |
| 一、岩性特征 .....             | 33 |
| 二、沉积相特征 .....            | 33 |
| 三、旋回结构 .....             | 37 |
| 第二节 煤系古地理类型 .....        | 40 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 一、近海型煤系 .....               | 40 |
| 二、内陆型煤系 .....               | 41 |
| 第三节 煤的变质作用类型 .....          | 44 |
| 一、深成变质作用 .....              | 44 |
| 二、接触变质作用 .....              | 48 |
| 三、动力变质作用 .....              | 49 |
| 第四节 煤系中的有益矿产 .....          | 49 |
| 复习题 .....                   | 54 |
| <b>第四章 煤层</b> .....         | 55 |
| 第一节 煤层及煤层厚度 .....           | 55 |
| 一、煤层 .....                  | 55 |
| 二、煤层厚度 .....                | 58 |
| 三、煤层厚度变化的原因 .....           | 59 |
| 第二节 煤层对比 .....              | 66 |
| 一、煤层对比的意义 .....             | 66 |
| 二、煤层对比的方法 .....             | 66 |
| 三、煤层对比图的编制简介 .....          | 69 |
| 复习题 .....                   | 70 |
| <b>第五章 中国煤炭资源分布概况</b> ..... | 71 |
| 第一节 中国主要聚煤期 .....           | 71 |
| 一、早石炭世聚煤期 .....             | 71 |
| 二、石炭二叠纪聚煤期 .....            | 72 |
| 三、晚三叠世聚煤期 .....             | 72 |
| 四、早中侏罗世聚煤期 .....            | 72 |
| 五、晚侏罗早白垩世聚煤期 .....          | 72 |
| 六、第三纪聚煤期 .....              | 73 |
| 第二节 中国主要聚煤区 .....           | 73 |
| 一、华北石炭二叠纪聚煤区 .....          | 73 |
| 二、华南二叠纪聚煤区 .....            | 79 |
| 三、东北侏罗纪聚煤区 .....            | 82 |
| 四、西北侏罗纪聚煤区 .....            | 83 |
| 五、西藏滇西中生代及第三纪聚煤区 .....      | 86 |
| 六、台湾第三纪聚煤区 .....            | 89 |
| 复习题 .....                   | 89 |

## 第二篇 煤田地质勘探基本知识

|                           |    |
|---------------------------|----|
| <b>第六章 煤田地质勘探手段</b> ..... | 90 |
| 第一节 遥感地质调查 .....          | 90 |
| 一、航空象片的地质解释 .....         | 91 |
| 二、基本工作程序 .....            | 91 |
| 第二节 地质填图 .....            | 92 |
| 一、建立标准地层柱状 .....          | 93 |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 二、草图测绘 .....                        | 94  |
| 三、测图 .....                          | 94  |
| 第三节 坑探工程 .....                      | 94  |
| 一、探槽 .....                          | 94  |
| 二、探井 .....                          | 95  |
| 三、探硐 .....                          | 96  |
| 四、生产小窑的调查与老窑的清理 .....               | 97  |
| 第四节 钻探工程 .....                      | 97  |
| 一、钻孔的种类 .....                       | 98  |
| 二、岩心钻进及地质编录 .....                   | 100 |
| 三、无岩心钻进 .....                       | 109 |
| 四、简易水文地质观测 .....                    | 109 |
| 五、钻孔地质资料整理与保存 .....                 | 110 |
| 第五节 地球物理勘探 .....                    | 116 |
| 一、重力勘探 .....                        | 116 |
| 二、磁法勘探 .....                        | 116 |
| 三、电法勘探 .....                        | 116 |
| 四、地震勘探 .....                        | 117 |
| 五、测井 .....                          | 118 |
| 复习题 .....                           | 121 |
| <b>第七章 煤田地质勘探阶段与煤炭储量分级</b> .....    | 123 |
| 第一节 勘探阶段划分及各阶段的任务 .....             | 123 |
| 一、勘探阶段的划分 .....                     | 124 |
| 二、勘探各阶段的任务 .....                    | 124 |
| 第二节 煤田勘探程度和储量分级 .....               | 124 |
| 一、勘探类型及其划分 .....                    | 124 |
| 二、勘探工程布置 .....                      | 129 |
| 三、勘探程度 .....                        | 144 |
| 四、储量分级 .....                        | 149 |
| 五、储量与煤矿建设的关系 .....                  | 150 |
| 复习题 .....                           | 153 |
| <b>第八章 煤田地质勘探设计和地质报告的编制简介</b> ..... | 155 |
| 第一节 煤田地质勘探设计的编制 .....               | 155 |
| 一、文字 .....                          | 155 |
| 二、附图 .....                          | 155 |
| 三、附表 .....                          | 156 |
| 第二节 煤田地质勘探报告的编制 .....               | 156 |
| 一、文字 .....                          | 156 |
| 二、附图 .....                          | 158 |
| 三、附表 .....                          | 159 |
| 复习题 .....                           | 160 |
| 参考文献 .....                          | 161 |

# 绪 论

## 一、煤田地质与勘探的性质和任务

煤田地质与勘探是以煤田地质理论为基础,以煤炭资源合理的开发利用为前提,寻找和查明煤炭资源的地质工作。其目的是研究我国的含煤岩系、煤层和煤质的特点与分布规律,摸索和总结一套适合我国特点的煤田地质勘探方法,寻找和查明我国煤炭资源。

煤田地质与勘探的任务是,在国民经济远景发展规划的指导下,根据地质规律,运用各种地质理论,选择一定的勘探技术手段,查明煤田勘探区内的地层、构造、煤层、煤质、煤炭储量、水文地质及其它开采技术条件等,对煤炭资源提出远景评价,对与含煤岩系伴生或共生的其它有益矿产进行勘探评价,并为矿区总体设计及矿井设计提供地质依据,结合当前我国技术经济政策的有关规定,对煤矿床作出正确的工业评价。

(1) 探明煤炭储量 综合采用各种先进的技术手段和装备,按一定的工程布置系统,用适当的勘探密度进行勘探,在达到规定的勘探程度后,按查明的煤层厚度及其变化、地质构造形态变化和煤的视密度,计算煤炭储量。

(2) 查明煤炭质量 对采集的煤样,进行各种煤质分析,测定煤的工艺性质等,以确定煤类及评价煤的工业用途。

(3) 研究煤炭开采技术条件 结合地质、水文地质工作,研究煤层及其顶、底板岩石的物理力学性质以及瓦斯、煤尘、煤的自燃、地温等影响矿井设计和煤炭生产的开采技术条件。

## 二、煤田地质与勘探研究的内容和方法

煤田地质与勘探研究的内容包括:煤田地质及地质勘探理论,煤的物质组成和性质,煤的成因,煤层及含煤岩系,含煤岩系的赋存特征和煤田的分布规律,煤田地质勘探方法和勘探技术,勘探技术经济等。

(1) 煤的物质组成和性质 深入研究煤的物质组成和性质,是做到合理、充分利用煤炭资源的前提。常采用煤岩学和煤化学方法来进行专门研究。

(2) 煤的成因 要正确评价与预测煤质,就必须对成煤作用各阶段的条件及转化过程进行研究,应与植物学、沼泽学、有机地球化学等结合起来研究。

(3) 煤层及含煤岩系 研究煤层及含煤岩系的特征、形成条件,特别是聚煤期的古地理、古构造,是掌握煤层和含煤岩系的分布规律、预测含煤性好坏的重要理论基础。此外,还要研究煤层和含煤岩系的后期变化,以了解煤层和含煤岩系的构造形变及其赋存状态、煤的变质类型、煤的风(氧)化作用的程度及其对煤质的影响等。

(4) 含煤岩系的赋存特征和煤田的分布规律 为了指导找煤、勘探和煤田预测工作,研究应着眼于较大区域的聚煤带的分布。一般是通过对成煤期的古植物、古气候、古地理和古构造等因素的研究来了解煤聚积的规律,进而探讨海水进退规律对聚煤作用的影响,以及构造变动对含煤岩系的赋存及其分布的影响。

煤田地质勘探研究方法,有类比法、剖面法、地质推断法、综合评价法等。

(1) 类比法 将钻探资料和物探资料作对比,用钻探资料验证物探资料,或用测井资料检查钻孔质量是一种类比法。各种化验方法之间的对比,以及内外检查等,从广义上说也是一种类比法。总之,这是应用得相当广泛的一种科学的方法。

(2) 剖面法 地质勘探工作中,要正确反映煤矿床的形态,就要求编制各种方向的剖面图,如纵剖面图、横剖面图和水平切面图等。勘探施工中,为获得各个方向的剖面,就要求钻孔布置及物探工程等都沿剖面线分布,使剖面图作得更准确。剖面法是控制煤矿床形态质量的最好方法,剖面图也是开采工作中最必须的资料。

(3) 地质推断法 勘探工作中,钻孔、坑道、剖面都不可能无限制地加密。因此,在钻孔之间、坑道之间、剖面之间多少都存在一个地质推断的问题。这种推断,是勘探过程中出现误差甚至于错误的主要来源。现在采用的推断方法,多是几何学方法,即插入法。由于这种方法比较机械,往往不易符合客观地质情况,因而应当提倡根据本地区已有的开采资料,结合勘探资料,在地质理论指导下进行地质推断的方法。

(4) 综合评价法 煤田地质勘探过程,就是对煤矿床进行综合评价的过程。无论是普查勘探项目的选择,或是具体钻孔的施工布置,都要有综合评价的观点,即从地质、技术和经济方面看,是否符合国民经济发展的需要,是否有利于矿井生产能力的提高,是否有利于矿井开采,是否适合本矿区地质特征,以及是否符合经济的原则等,全面加以衡量。

### 三、煤田地质与勘探的发展概况

建国 40 多年来,我国的煤炭工业得到迅速发展,到 1994 年,全国原煤年产量达 122953 万 t,是 1949 年原煤产量 (3243 万 t) 的 37 倍,跃居世界第一位,对促进我国社会主义现代化建设起了重要作用。

在此期间,我国煤田地质研究工作取得了很大的成就,并且在煤质研究,含煤地层的划分和对比,沉积岩相及古地理,地质构造对含煤岩系的控制与改造,煤田预测等方面都进入了新的研究阶段。特别是近年来,遥感地质、数学地质、微机技术等新兴学科的引入,使煤田地质研究水平又有了进一步的提高。

在勘探方法和技术水平方面也得到相应的提高。目前,在野外工作中,普遍采用航测代替人工测量;在地层出露较好,标志层明显的地区推广使用航空照片填绘地形地质图;地球物理勘探已成为掩盖区普查与勘探的一种基本手段,利用卫星图片判读地质构造已在区域地质调查中取得了一定效果;数学地质方法,在处理煤田地质勘探资料和分析测试数据,定量研究含煤岩系和煤层,计算煤的储量以及分析构造等方面均取得了成效。近年来,微机在煤田地质勘探中的推广应用也有新的突破和提高,取得了较好的效果。

目前,我国的煤田地质与勘探方面虽然取得了一定成绩,但是与高速发展的煤炭工业相比,还不能满足形势的要求。为此,煤田地质与勘探必须在理论上和技术上向更高的水平发展。

# 第一篇 煤田地质基础知识

## 第一章 成煤作用

煤是植物遗体在一定条件下,经过复杂的生物化学、物理化学以及地球化学变化转变而成的。由植物死亡、堆积一直到转变成煤所经过的一系列的演变过程中,所经受的各种作用,总称为成煤作用。

成煤作用可划分为泥炭化作用和煤化作用两大阶段。

第一大阶段是在地表常温、常压下,植物遗体在泥炭沼泽、湖泊甚至浅海的滨岸地带中不断堆积,并在微生物参与下进行分解、化合、缩聚。在此过程中,起主导作用的是生物化学作用。其结果,低等植物形成腐泥,高等植物形成泥炭。因此,这一阶段又称泥炭化阶段(低等植物则称为腐泥化阶段)。

当已形成的泥炭(或腐泥)由于地壳沉降被其它沉积物覆盖掩埋,处于地下深处后,成煤作用就转入第二大阶段,即煤化作用阶段。此大阶段又可分为成岩作用和变质作用两个阶段。泥炭或腐泥在上覆沉积物重力作用下,发生压紧和脱水并转变为褐煤的作用过程,称为成岩作用;褐煤层随地壳继续下沉,温度和压力逐渐增高,经过物理化学作用转变为烟煤、无烟煤的过程,称为变质作用。

### 第一节 成煤原始物质

#### 一、植物演化与成煤作用的关系

煤既然是由植物遗体转变而来的,那么煤的形成与植物的出现、发展和演变,必然有着一定的关系。

在地质历史上,植物的发展演化大体可分为5个时期:菌藻类植物时期,裸蕨类植物时期,蕨类、种子蕨类植物时期,裸子植物时期和被子植物时期。

从元古代出现生物到早泥盆世以前,是菌藻植物时期,由藻类等低等生物遗体而形成的腐泥煤在我国俗称“石煤”。主要分布在南方各省,并以寒武纪的石煤为主。

志留纪末期到早、中泥盆世,植物以裸蕨为主。裸蕨类植物群是目前所知的最古老的陆生植物群,因此这一时期可称为裸蕨植物时期。裸蕨植物的组织器官还很原始,没有真正的根和叶的区分,植物个体也比较矮小(图1-1),但它毕竟是植物界经过漫长的发展,从水域向陆地进军的一次大飞跃,也是植物发展史上和聚煤史上的重大进展。由裸蕨植物形成的煤,始于早泥盆世。我国泥盆纪由裸蕨植物形成的煤层见于云南禄劝、广东台山和秦岭西段等地。

从晚泥盆世开始,经过石炭纪到晚二叠世早期,以孢子植物蕨类和裸子植物蕨类为主,植物界发生了重大变化,在植物演化史上称为蕨类和种子蕨时期。在这一时期,石松植物中的鳞木、封印木,节蕨植物中的芦木、种子蕨和科达树等(图1-2)达到全盛时期;许多树木十分高大,如鳞木、封印木等高达30余米,树干直径可达2m以上。它们都是当时

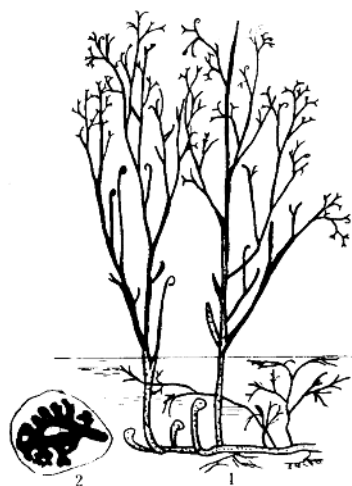


图 1-1 裸蕨植物星木属复原图  
1—植物全貌；2—茎的横断面  
(引自 A. H. 克里斯多弗维奇,  
《古生物学》, 1957)

大面积沼泽森林中的主要植物群。因此,石炭二叠纪时期在世界上广大区域内都有煤的形成,并成为地史上第一个重要的聚煤期。

晚二叠世晚期到中生代早期,由于海西运动和印支运动的影响,陆地面积增大,地形分化,气候条件也发生了相应的变化。干旱气候带的扩大,引起了石炭二叠纪植物群的衰退,同时出现了对于干旱环境适应能力更强的裸子植物,如苏铁纲、银杏纲以及特别繁盛的松柏纲植物等,使植物界进入裸子植物时期。这些植物是中生代煤形成和聚积的物质基础,并使侏罗纪和早白垩世成为地史上第二个重要的聚煤期。

从早白垩世晚期开始,被子植物迅速发展并代替了裸子植物群,进入被子植物时期。这些植物为第三纪煤的形成和聚积提供了物质基础,并使之成为地史上第三个重要聚煤期。

综合上述可以看出,植物的演化对煤的形成和聚积有十分重要的影响。只有植物大量的繁殖和发展,才会有聚煤作用的发生;而新聚煤期的出现,又总是以

新门类植物群的出现为前提。地史上主要植物群的演化与成煤作用的关系如图 1-3 所示。

## 二、成煤原始物质

### 1. 低等植物和高等植物

低等植物有菌类和藻类。它们是地球上最早出现的生物,多为单细胞或由多细胞构成的丝状、叶片状的单体或群体植物,没有根、茎、叶等器官的分化,全部由柔软的组织构成,构造比较简单,多数生活在水中。

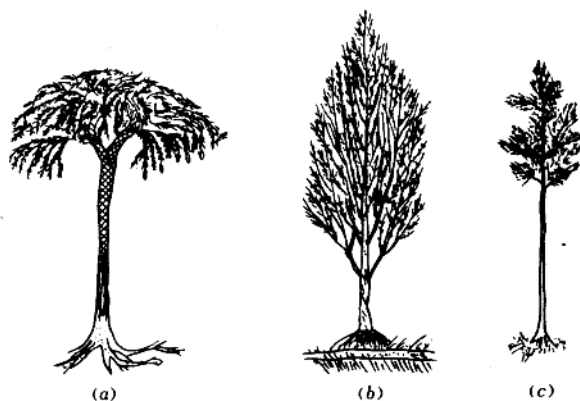


图 1-2 主要成煤植物复原图  
1—鳞木；2—芦木；3—科达树

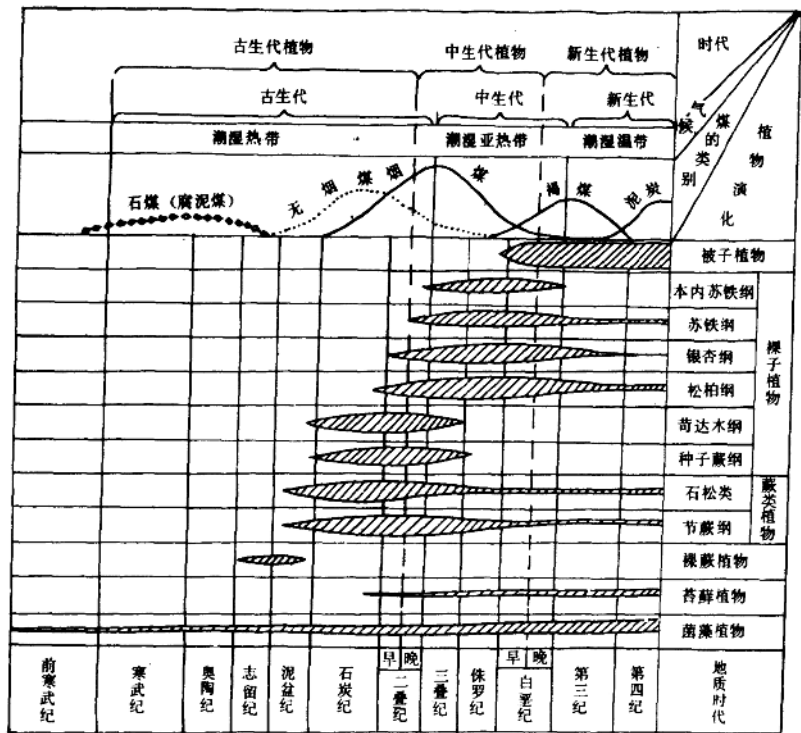


图 1-3 地史时期植物的演化与成煤作用的关系  
(据四川矿业学院,《煤田地质学》,1974)

高等植物有苔藓植物,裸蕨类植物,蕨类、种子蕨类植物,裸子植物和被子植物等。高等植物是由低等植物经过长期演化而来的,由于长期对陆地生活的适应,形成了根、茎、叶、花、果实等专门的器官。不论低等植物还是高等植物,都是形成煤的原始物质。

2. 植物的有机组成及其与成煤作用的关系

1) 植物的有机组成

不论低等植物还是高等植物,主要都是由碳水化合物(包括纤维素、半纤维素和果胶质等)、木质素、蛋白质、脂类化合物(包括脂肪、树脂、树蜡、角质、木栓质和孢粉质等)组成的。不同种类的植物其有机组成不一样。同一种植物的不同部分其有机组成也不一样(表 1-1)。

从表 1-1 中可以看出,低等植物主要由蛋白质和碳水化合物组成,脂肪含量比较高;高等植物的组成则以木质素、纤维素、半纤维素为主。木本植物中,植物体不同部分的有机组成也有很大差别。茎和叶以纤维素、木质素为主,而孢粉、木栓层及角质层等则含大量的脂类化合物。不同的有机组分及其性质,在成煤作用中有很大差别,并直接影响到植物有机体的分解和转化,以及煤的性质和用途。

表 1-1 植物主要有机组分的百分含量

单位: %

| 植 物                   |     | 碳水化合物 | 木质素   | 蛋白质   | 脂类化合物 |
|-----------------------|-----|-------|-------|-------|-------|
| 细 菌                   |     | 12~28 | 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  |
| 松柏及阔叶树                |     | 60~70 | 20~30 | 1~7   | 1~3   |
| 木本植<br>物的<br>不同<br>部分 | 木质部 | 60~75 | 20~30 | 1     | 2~3   |
|                       | 叶   | 65    | 20    | 8     | 5~8   |
|                       | 木栓质 | 65    | 10    | 2     | 25~30 |
|                       | 孢粉质 | 5     | 0     | 5     | 90    |
|                       | 原生质 | 20    | 0     | 70    | 10    |

## 2) 植物的有机组成及其与成煤作用的关系

(1) 碳水化合物 其中的纤维素是高分子碳氢化合物,是构成植物细胞壁的主要成分,其分子式为  $(C_6H_{10}O_5)_n$ 。纤维素易水解,在水溶液中呈胶体状态。纤维素在植物体内很稳定,但植物死亡后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为二氧化碳  $CO_2$ 、甲烷  $CH_4$  和水  $H_2O$ 。在泥炭沼泽的酸性水介质中,纤维素可水解为糖类化合物,参与成煤作用。

半纤维素和果胶质的化学组成和性质与纤维素很近似,但比纤维素更易水解成糖类并进而参与成煤作用。

(2) 木质素 木质素是构成植物细胞壁的主要成分,多分布在植物茎部细胞中,包围着纤维素并填满其空隙,以增强细胞壁的坚固性。在木本植物中,木质素含量高,且比纤维素稳定,不易水解,植物死亡后也较难分解。在沼泽中,木质素在水和微生物的作用下分解,并进一步合成成为一种腐植酸物质,参与成煤作用。

(3) 蛋白质 蛋白质是组成植物细胞内原生质的重要物质,为无色透明的半流动状胶体。在低等植物体内,蛋白质含量一般较高,其成分和结构也十分复杂。植物死亡后,若氧化充分,蛋白质可全部分解为气体逸散。在沼泽或湖泊水中,蛋白质可分解或转变成氨基酸等含氮化合物,参与成煤作用。

(4) 脂类化合物 其中,脂肪含量在低等植物中较高(如在藻类中可达 20%),在高等植物中较低(一般仅为 1%~2%),且多数集中在植物的种子和孢子中。脂肪在酸性溶液中能发生水解,生成脂肪酸和甘油。其中,脂肪酸参与成煤作用,而甘油则被水带走。在自然条件下,脂肪酸具有一定的稳定性,能经历很长时间而聚积起来。

树脂只在针叶植物中较多,低等植物中没有。它在植物中呈分散状态。当植物外部受伤时,树脂分泌到伤口外呈胶状,起保护伤口的作用。树脂的化学性质十分稳定,不溶于有机酸,也不受微生物破坏。因此,它能在煤中很好地保存下来。如我国辽宁抚顺第三纪煤中的琥珀,就是由树脂变成的。

树蜡呈薄层状覆盖于植物的茎、叶和果实的外皮上，可以防止水分蒸发和避免微生物侵害。它的化学性质稳定，不易分解。角质和木栓质的化学组成都与树蜡接近，因此煤中也常常见到，而且其含量有时较高。

孢粉质是构成孢子、花粉外壁的主要物质，其化学性质稳定。古生代的煤中，经常有保存较好的孢子和花粉。

综上所述，高等植物和低等植物虽然都是成煤的原始物质，其所有组分都能参与成煤作用。但是，在成煤的不同阶段中，植物的各种组分所起的作用则不同，成煤的原始物质不同，所形成煤的物理化学和工艺性质及煤的用途也不同。一般，由高等植物形成的煤称为腐植煤，由低等植物形成的煤称为腐泥煤；由高等植物和低等植物共同形成的煤称为腐植腐泥煤或腐泥腐植煤。当成煤的原始物质主要是植物根、茎等器官的木质纤维组织时，所形成的煤氢含量就比较低；若主要是角质层、木栓层、树脂、孢子、花粉等组分时，所形成的煤氢含量就比较高（表1—2）；藻类形成的煤，则氢含量更高。这些煤在加工利用过程中表现出来的工艺性质也有很大的差别，可见成煤原始物质是影响煤质的重要因素之一。

表 1—2 成煤植物各种组分的元素组成

| 成煤植物的各种组成 | 元 素 组 成 (%) |         |            |           |         |
|-----------|-------------|---------|------------|-----------|---------|
|           | C           | H       | O          | N         | S       |
| 纤维素       | 44.4        | 6.2     | 49.4       |           |         |
| 木质素       | 63.1        | 5.9     | 31.0       |           |         |
| 蛋白质       | 50~55       | 6.5~7.2 | 20.0~23.70 | 15.2~19.2 | 0.3~2.4 |
| 脂 肪       | 76~79       | 11~13   | 10~12      |           |         |
| 树 蜡       | 80~82       | 13~14   | 4~6        |           |         |
| 树 脂       | 75~85       | 9~12    | 5~14       |           |         |

## 第二节 成煤环境与煤的形成

### 一、成煤植物的堆积环境

#### 1. 成煤植物的堆积条件

植物遗体不是在任何环境下都能够堆积并转化成泥炭或腐泥的，而必须具备两个基本条件。首先，必须要有大量植物的持续生长、繁殖，这是成煤的物质基础；其次，堆积的植物遗体，被沼泽水所覆盖，使植物遗体不致骤然氧化、分解，能够保存下来，经过生物化学作用，转化成泥炭或腐泥。

在自然界中，符合这两个条件的环境，最主要的是沼泽或泥炭沼泽。因其覆水较浅，养料较为丰富，既有利于高等植物生长繁殖，又有利于植物遗体的堆积和保存，所以，沼泽（或泥炭沼泽）是形成泥炭的最有利场所。而湖泊、潟湖、浅海等环境，由于覆水较深，不利于高等植物生长繁殖，是低等植物生长繁殖场所，因此，多是形成腐泥的环境。

#### 2. 泥炭沼泽的形成过程

沼泽的形成方式可概括为两种：一种是，低洼地带由于水流停滞或地壳下降，潜水面上升等原因，转变成具有积水及植物生长茂盛地带而形成的沼泽；另一种是，湖泊、潟湖、

海湾等水体,在其发展的过程中,由于入流水体所携带的物质和岸边被冲刷下来的泥沙堆积,结果使水体逐渐淤浅,高等植物开始繁衍而形成的沼泽。如果沼泽中形成并积累着泥炭,则称为泥炭沼泽。

从湖泊发展到泥炭沼泽的整个过程(图1—4)来看,湖泊发育的初期特征是,植物分带现象明显:岸边生长着高大的乔木,向湖心逐渐过渡为莎草、芦苇、蒲草、睡莲、眼子菜等草本植物,湖心则有藻类和浮游生物。这些植物死亡后,遗体堆积起来,在岸边形成泥炭,在湖心形成腐泥(图1—4a)。随着堆积作用的进行,湖水逐渐变浅,高等植物生长范围向湖心扩大(图1—4b);湖泊发育的后期,湖水进一步变浅,高等植物带进一步向湖心推移,使低等植物仅在湖心很小范围生长,高等植物遗体堆积形成的泥炭层开始与低等植物遗体堆积形成的腐泥层发生重叠(图1—4c);最后湖水变浅至高等植物占据整个湖面,湖泊内植物遗体的堆积即开始并形成泥炭层(图1—4d),湖泊也就演变成泥炭沼泽了。

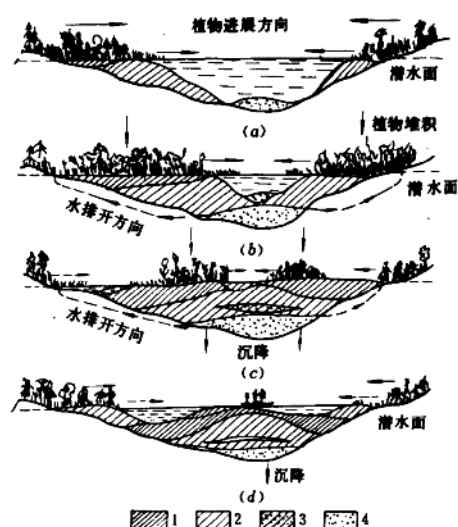


图1—4 湖泊至泥炭沼泽的演变

1—泥炭; 2—腐泥质泥炭; 3—腐植—腐泥; 4—腐泥

## 二、煤的形成

### 1. 成煤第一阶段

#### 1) 泥炭化作用

高等植物遗体堆积在泥炭沼泽中,被水淹埋,在厌氧细菌的作用下,经过一系列的生物化学变化而转变为泥炭的过程,称为泥炭化作用。

在泥炭化作用中,主要是生物化学作用,同时伴随有不同程度的凝胶化作用、丝炭化作用或残植化作用。经过这几种作用,植物遗体中的有机组分(碳水化合物、木质素、蛋白质和脂类化合物)经过一系列的变化后,一部分转变成泥炭中的有机组分(腐植酸、沥青质……)。另一部分被分解破坏,变成气体和水。其中,气体逸散,剩余物质与泥沙混合而形成泥炭。

泥炭在自然状态下呈棕黄色至黑色,一般含水量大于50%,风化干燥后相对密度(比重)小,一般在0.7~1.2左右,质地松软,

可以燃烧。分解程度较低的泥炭,多为棕色和浅褐色,富有弹性;分解程度较高的泥炭,多呈黑褐色和黑色,质地较为坚硬,具有可塑性。植物残体肉眼不易辨认。

泥炭是具有多方面用途的自然资源。在农业上,它可以制作各种腐植酸肥料、牲畜饲料等。腐植酸盐类既可以作植物生长素,也可以制造各种杀虫、除草剂。在工业上,泥炭可作为多种化工原料和包装充填材料,也可作纤维板等各种建筑材料及保温套管。在医药上,可以从泥炭中提取葡萄糖、维生素等营养物质。随着科学技术的发展,泥炭的综合利用将具有更加广阔的前景。

#### 2) 腐泥化作用

在湖泊、沼泽的深水地带及潟湖、浅海等水体中,富含蛋白质和脂肪的藻类及浮游生

物大量繁殖、死亡、堆积、有时也掺入一些高等植物的残体碎片和微小的泥沙颗粒，这些物质在缺氧的还原环境下，受到厌氧细菌的作用，经过生物化学作用形成富含水分的棉絮状胶体物质，这种物质经过脱水、压实，逐渐形成腐泥，并不断释放出甲烷、氨、硫化氢等气体。这个过程，称为腐泥化作用。因为在腐泥化过程中形成大量沥青质，所以腐泥化作用也称为沥青化作用。

腐泥是湖沼中一种常见的沉积物，通常呈黄色、暗褐色、黑灰色等。新鲜腐泥的含水量可达70%~90%，干燥后含水量一般为18%~20%。形成于大型湖泊中的腐泥，一般灰分含量较高，可达20%~60%；形成于森林湖泊中的腐泥，灰分一般很少。腐泥常堆积在湖泊积水较深的地方，因此在泥炭层的下部常发现透镜状的腐泥层。

## 2. 成煤第二阶段

已经形成的泥炭，由于地壳下沉而被其它沉积物覆盖、埋藏于地下深处，在温度、压力及时间等因素的作用下转变成褐煤、烟煤、无烟煤的整个过程，称为煤化作用。这个过程中所发生的变化主要是物理化学变化。它包括成岩作用和变质作用两个连续变化过程。

### 1) 成岩作用

已经形成的泥炭沉降到地下约200~300m深后，在其上覆沉积物的静压力和温度的影响下，经压紧、脱水，碳含量逐渐增加，氢、氧不断减少，腐植酸、腐植酸盐不断减少，游离纤维素消失而出现凝胶化组分，逐渐固结并形成具有微弱反射力软褐煤、年青褐煤的过程，通常称为煤的成岩作用阶段。这个阶段所进行的压紧、脱水、胶结等物理化学作用，称为成岩作用。

### 2) 变质作用

年青褐煤在地下较高的温度、压力及时间等因素的作用下，进一步发生物理化学变化，转变成老褐煤、烟煤、无烟煤的过程，称为煤的变质作用阶段。温度来自地球内部，压力来自煤层的上覆岩系。沉降越深，这种影响越大。这个阶段由于温度、压力的作用使褐煤进一步压紧、失水而造成的煤的内部分子结构以及物理性质及化学组成和工艺性质变化的物理化学作用，称为煤变质作用。由于煤在变质作用中碳含量进一步增加，氢、氧含量和挥发分减少，腐植酸消失，煤的粘结性、视密度和硬度加大，光泽增强，致使褐煤逐渐转变成烟煤、无烟煤，直至石墨。

### 3) 煤化作用的影响因素

温度、压力及温度、压力作用的时间，是引起煤化作用的主要因素。但在成煤的不同阶段中，各因素所起的作用是不同的。在煤的成岩作用阶段，压力起主导作用；在煤的变质作用阶段，则以温度最为重要；而温度和压力作用的时间，也影响着煤化作用发生的程度。

(1) 温度 在煤化作用过程中，温度是影响煤变质程度的主要因素。例如，靠近火成岩体的煤，由于岩浆高温的影响，其变质程度要比远离岩体的煤高。又如，地下深处的煤比浅处的煤变质程度高，这除与压力有关外，主要是与地温的逐步升高有关。人工试验也证明了这一点。1930年，W. 格罗普和H. 鲍德曾将泥炭或年青褐煤置于密闭的高压容器内加热，在 $1.01325 \times 10^8 \text{ Pa}$ 的条件下，加热到200℃时，试样在相当长时间内并无变化，但当温度升高到超过200℃时，试样开始变化，最终转变为褐煤。两年后，他们改进了设备再度做试验，结果在 $1.82385 \times 10^8 \text{ Pa}$ 条件下，当温度低于320℃时，虽试验持续了很久，也

未使褐煤进一步转化。而当温度升高到 320℃ 时,褐煤就开始变化,形成一种具有长焰煤性质的产物。在同样压力条件下,把温度继续升高到 340℃ 时,就形成了具有典型烟煤性质的产物。当温度再升高到 500℃ 时,就形成了具有无烟煤性质的产物,试验结果见表 1—3。

表 1—3 温度影响煤质变化试验结果\*

| 项 目                 | 泥炭或年青<br>褐 煤 | 1. 82385×10 <sup>8</sup> Pa |            |         |      |      |      |      |      |
|---------------------|--------------|-----------------------------|------------|---------|------|------|------|------|------|
|                     |              | <320℃                       | 320℃       | 345℃    | 370℃ | 400℃ | 425℃ | 450℃ | 500℃ |
| 颜 色                 | 褐            | 褐                           | 黑褐         | 黑       | 黑    | 黑    | 黑    | 黑    |      |
| KOH 溶液              | 深褐           | 深褐                          | 黄褐         | 黄褐      | 无色   | 无色   | 无色   | 无色   |      |
| M <sub>ad</sub> (%) | 5.34         | 5.34                        | 1.65       | 1.0     | 1.15 | 0.95 | 1.05 | 0.82 |      |
| V <sub>ad</sub> (%) | 55.7         | 55.7                        | 35.7       | 30.1    | 28.5 | 19.5 | 18.5 | 13.9 |      |
| C (%)               | 63           | 63                          | 78.3       | 82.2    | 82.5 | 87.6 | 87.8 | 89.2 |      |
| O (%)               | 38.25        | 38.25                       | 10.5       | 10.5    | 10.0 | 5.3  | 7.5  | 3.9  |      |
| 焦 渣                 | —            | —                           | 均 为 粉 末 状  |         |      |      |      |      |      |
| 产物性质                | —            | 褐煤                          | 具长焰<br>煤性质 | 具典型烟煤性质 |      |      |      |      |      |

\* 据 W. 格罗普、H. 鲍德。

以上试验表明了温度和压力是促使煤化作用发生的重要因素。更证明了温度和压力这两个因素中,温度是引起煤变质作用的主要因素。以后的这类试验,如在隔绝空气的条件下,对长焰煤进行加热,也得到了类似的结论。

(2) 压力 压力是煤化作用不可缺少的因素,但同温度相比,则是次要因素。根据性质不同,压力可以分为静压力和动压力,它们对煤化作用的影响是不一样的。

① 静压力是指由上覆岩层的重量所产生的压力。静压力可导致岩石和煤的压缩。在压缩过程中,由于内摩擦产生热量,因而含提高地温,间接地促进煤化作用,但这已属于温度因素的影响。静压力可促使煤的物理结构发生变化,使煤压实、体积缩小、相对密度和视密度增大。

② 动压力(构造压力)是指由于地壳运动产生的构造挤压力和剪切应力,又称构造压力。动压力对煤化程度的影响往往出现在某些构造运动速度很快的褶皱、断裂带内。由于摩擦热较集中,因而,在褶皱、断裂带内煤的变质程度一般较高,但影响范围有限。构造压力对煤的物理结构的变化影响较强烈,如强烈的水平挤压力可使煤中水分含量降低;强烈的剪切应力可使煤结构发生很大变化(如无烟煤在强烈剪切应力作用下,可转化成石墨)。

(3) 时间 是煤化作用的第三因素,是指在煤化过程中温度和压力持续作用于煤的时间长短。在受热条件相同的情况下,煤化程度取决于受热时间的长短,受热时间短,煤的变质程度比较低;受热时间长,煤的变质程度就高(表 1—4)。

#### 4) 煤的成因分类

不同类型的煤是不同成煤植物在聚积阶段各种因素综合作用的产物。因此,煤的成因分类的依据应该是,

(1) 成煤植物种类——高等植物还是低等植物。

(2) 植物遗体的堆积环境和转化条件——沼泽覆水深、浅,水体的活动性,氧的供给和微生物活动情况等。