

高等学校试用教材

煤化学

杨焕祥 廖玉技 等编

中国地质大学出版社

及

煤质评价



728388
1988

煤化学及煤质评价

杨焕祥 廖玉枝 编
胡益成 缪素青

中国地质大学出版社

728388

内 容 简 介

本书是编者在原北京地质学院、中国地质大学(武汉)所编写的《煤化学》内部教材的基础上,结合多年教学实践及国内外新进展改编而成的。全书共分十章,内容包括煤的物质成分、煤中无机质和赋存的有用元素、煤中的有机质、煤的物理化学性质和结构、煤的可选性研究和评价方法、煤的热解和粘结性、煤的风化和自燃、煤的工业分类、煤的综合利用和工业用煤的质量要求以及煤田地质勘探中的煤质研究和评价。书中收集和引用了国家标准局最新规范及科研单位、高等院校、生产单位的不少资料。全书贯穿了以煤质研究和评价为主线的原则,密切结合实际,专业性强,内容丰富,通俗易懂,既有较强的理论性,又有较强的实用性。

本书可作为地质、矿业高等院校煤田地质及勘探专业教材,也可用作采矿、选煤专业和煤质培训班的教学参考书,同时还可供地质勘探队和煤矿的煤质人员、选煤厂和炼焦厂的有关人员参考。

煤化学及煤质评价

杨焕祥 廖玉枝 编

责任编辑 段连秀

责任校对 杨 霖

*

中国地质大学出版社出版

(武汉市 喻家山 430074)

华中理工大学出版社印刷厂印刷 湖北省新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 9.375 字数 236 千字

1990 年 12 月第 1 版 1990 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—1000 册

ISBN 7-5625-0442-3 / P · 140

定价: 2.05 元

1
4
1
0

编 者 的 话

我国使用能源的政策是以煤为主。为了避免造成“无米之炊”的危机，煤炭资源勘探工作必须先行，因此需要培养出必要的煤田地质勘探人才。在煤炭资源勘探过程中，还应对煤质进行分析研究并作出准确的评价，这就要求地质勘探人员具备这方面的基本知识和技能。

本书是根据编者先后在原北京地质学院以及中国地质大学（武汉）从事教学工作时所写的《煤化学》教材改编而成。编者在多年的教学实践中，十分注意结合煤田地质勘探专业特点来探索《煤化学》课程的讲授和教材的编写。《煤化学及煤质评价》贯穿了以煤质研究和评价为主线的原则，密切结合实际，符合专业要求。本书由杨焕祥编写绪论和第四章，胡益成、廖玉枝编第一、二章，第三、五、六、八和第十章均由廖玉枝编写，第七章由胡益成编写，第九章由缪素青编写。最后，全书由杨焕祥进行了纂写。在编写过程中，得到了高级工程师苏玉春的支持和帮助。

本书可作为地质、矿业等高等院校煤田地质及勘探专业教材，也可用作采煤、选煤专业和煤质培训班的教学参考书，同时可供地质勘探队和煤矿的煤质人员、选煤厂和炼焦厂的有关人员参考。

本书成稿后经中国地质大学（北京）研究员、地质矿产部北方煤炭测试中心总工程师赵隆业，天津大学化工系副教授李淑芬分别审阅。他们提出了宝贵的修改意见。本书收集和引用了有关生产、科研单位和高等院校（特别是赵隆业和北京煤化所）的不少资料。全书图件由中国地质大学（武汉）制图教研室黄莉清绘。在此谨向他们一并表示衷心的感谢。由于编者的水平有限，错误之处希望读者批评指正。

编 者

1988年12月

绪 论

煤在国民经济中占有很重要的地位。它不但作为现代工业的“一次能源”来使用，而且还可以进一步转换成“二次能源”和作为有机化工原料加以综合利用。

远古以来，煤一直作为能源使用。第一次产业革命中被誉为“翻转世界”的蒸汽机是以煤作为能源的。煤在日常生活中也是必不可少的。但是煤作为“一次能源”直接利用，热的利用率较低，一般只有 50% 左右，浪费极大，同时还造成严重的环境污染。至本世纪中叶，随着科学技术的飞跃发展，核能、太阳能和潮汐能的利用以及石油、天然气的大量开采，曾使煤在能源构成中的地位有所下降。1973 年的中东战争引起油价飞涨，70 年代末海湾战争爆发使石油运输线受到威胁。加之，在世界石油资源日益枯竭、供应趋于紧张的情况下，现在人们不得不重新考虑煤的地位。事实上，由于煤具有独特的化学结构、储量丰富和新的转化技术的开发，将煤作为化工原料进行综合利用，其价值可提高数倍以至数十倍。例如，煤通过以炼焦为中心的综合利用，将比原来的价值提高 2.4 倍；化工部曾作过估算，一吨烟煤综合利用后的产值可达 600 多元。因此，今后煤的经济价值和产量丝毫也不会降低。

目前我国探明的煤炭储量已达 $8 \times 10^{11} \text{t}$ ，占世界储量的第三位。在我国煤炭总储量中，炼焦煤占 37%，华北地区炼焦煤储量最大，约占全国炼焦煤储量的 $2/3$ ，其中山西省就占一半以上。至 1987 年底，我国年产煤 $9.25 \times 10^8 \text{t}$ ，仅次于苏联和美国，成为世界上第三大产煤国，除满足国内需要外，还有一部分出口。随着国民经济的发展和地质勘探工作的开展，煤的产量和储量都将继续增加。

能源和交通是我国经济发展中的薄弱环节，能否保持国民经济稳定地增长，在很大程度上取决于能源、交通问题的解决。解决能源问题不但要开发，而且还要注意节约。我国工业生产的能耗大大超过先进国家，节能的潜力很大。当前要把节约能源放在重要地位上。我国煤炭资源远比石油丰富，煤是我国的主要能源，在能源构成中占 $2/3$ 以上，因此煤在能源开发上要优先进行，同时积极勘探和开发石油。不论是煤炭，还是石油，都应做到合理利用。

煤化学是随着煤的综合利用的兴起和发展而形成的新兴学科，直至上世纪末煤化学才逐渐发展成为一门独立的学科。当初，煤大都作为燃料直接使用，因此只要掌握一些煤外观特征和煤的发热量（热值）、工业分析、元素分析等资料，就可以解决生产问题。本世纪以来，煤化学加工和转化技术，特别是煤炼焦、气化和液化等工业的日益发展，使煤化学所研究的内容已不再停留在外观特征和某些性质上，重要的是研究煤化过程中的化学变化、煤的组成、结构和性质、煤岩成分以及煤化学加工过程的反应机理等一系列本质问题。

煤的组成和结构非常复杂而且很不均一。首先，它是由许多有机物和无机物构成的混合物，煤中有机质本身就是难以分离的混合物，这些物质还处在连续的地质变化过程中，所以各种煤的组成和结构很不相同。其次，由于成煤的原始物质、生物化学作用的不同，以及地质因素的差异，因此在显微镜下观察到的煤岩组分极其复杂；即使用肉眼观察煤岩成分也是

多种多样的。鉴于煤的这些特点，煤样的采集和制备一定要具有代表性；所用的分析仪器应该统一，分析操作必须严格按照规范进行。否则所得到的煤质分析数据就不准确，同时也失去了可比性。

必须指出，由于煤的组成、结构和性质非常复杂的原因，煤化学的研究水平还较低，至今导出的定律不多，煤的科学分类尚未得到解决，采用数学工具和电子计算机来研究有关煤的理论问题和解决实际问题，还只是刚刚开始。许多国家现正投入大量的人力、物力，应用现代科学仪器（如光谱、色谱、波谱、质谱和热谱仪、X射线衍射仪以及电子显微镜等）对煤进行系统研究。我国煤化学和煤化学工业的研究起步较晚，现有的水平与发达国家比较，大约落后一二十年，需要急起直追才能赶上去。

本书着重从评价工业用煤的角度来讨论煤的质量指标和煤的其它基本性质，例如煤中的水分、矿物质、硫分等有害杂质；煤中有机质的元素组成、挥发分、发热量、粘结性以及煤的可选性等。影响煤的性质的因素很多，当我们研究最重要的一类煤——腐植煤时，主要的两个影响因素是煤的煤化程度和煤岩成分，煤的结构和性质同它们有着规律性的联系，特别是煤化程度因素。因此研究煤的性质随煤化程度和煤岩成分变化的规律是本课程的一个重要内容。在评价煤的工业用途和实用价值时，除了需要熟悉煤的基本性质及其变化规律外，还要熟悉各种工业对煤的质量要求。因此，了解炼焦、气化等煤加工过程的工艺原理和它们对所用原料的要求，是本课程的另一重要内容。

煤田地质勘探的任务不仅是寻找煤炭资源、探明储量，而且还要对煤的工业用途和质量作出正确的评价。因此，对煤田地质工作者来说，了解煤质研究的基本途径和方法，能够正确运用煤质分析资料，以确定煤的工业牌号、用途和质量，这些都是我们必须掌握的知识。

目 录

绪 论	
第一章 煤的物质成分	(1)
第一节 煤的生成——形成和变化	(1)
第二节 煤的成分及其特征	(6)
第三节 煤中腐植酸及苯抽出物	(10)
第二章 煤中无机质和赋存的有用元素	(13)
第一节 煤中的水分	(13)
第二节 煤中矿物质和煤的灰分	(15)
第三节 煤中的硫、磷和其它有害元素	(19)
第四节 煤中稀有分散元素和放射性元素	(21)
第三章 煤中的有机质	(26)
第一节 煤的挥发分、焦渣和固定碳	(26)
第二节 煤中的有机质及其元素组成	(29)
第三节 煤的发热量	(32)
第四节 煤的工业分析和元素分析数据的运用	(38)
第四章 煤的物理、化学性质和结构	(41)
第一节 煤的化学性质	(41)
第二节 煤的物理性质	(48)
第三节 煤的分子结构及其研究方法	(59)
第五章 煤的分选和可选性研究	(65)
第一节 煤的密度	(65)
第二节 煤的分选	(66)
第三节 煤的可选性研究和评价方法	(68)
第六章 煤的热解和粘结性	(76)
第一节 煤的热解	(76)
第二节 煤的低温干馏和焦油产率测定	(78)
第三节 煤的粘结性和结焦性	(79)
第七章 煤的风化及自燃	(87)
第一节 煤的风化作用	(87)
第二节 风化煤的特征和性质	(88)
第三节 煤的自燃	(90)
第四节 煤的储存和自燃的预防	(92)
第五节 煤的氧化性及自燃倾向的测定	(92)

第八章 煤的工业分类.....	(94)
第一节 中国煤的工业分类.....	(94)
第二节 煤的国际分类.....	(104)
第九章 煤的综合利用和工业用煤的质量要求.....	(110)
第一节 煤的综合利用.....	(110)
第二节 动力用煤及其质量要求.....	(112)
第三节 煤的干馏及其用煤的质量要求.....	(114)
第四节 煤的气化及其用煤的质量要求.....	(117)
第五节 煤的液化及其用煤的质量要求.....	(120)
第六节 其它用煤的质量要求及煤矸石、煤灰的综合利用.....	(121)
第十章 煤田地质勘探中的煤质研究和评价.....	(124)
第一节 煤质评价的任务和内容.....	(124)
第二节 煤质研究和评价的方法.....	(125)
第三节 代表性煤样和化验项目的合理选定.....	(126)
第四节 煤质资料的分析和整理.....	(131)
第五节 地质勘探报告中煤质部分的编写方法.....	(137)
第六节 煤质评价举例.....	(138)
主要参考文献.....	(141)

第一章 煤的物质成分

煤是一种可燃有机岩。它是由古代植物的遗体在沼泽里堆积后，经过长期的、复杂的生物化学、地球化学、物理化学等作用转化而成的。

由植物遗体转化成煤的过程叫成煤作用。成煤作用又分为两个阶段——泥炭化作用阶段和煤化作用阶段。煤化作用的早期是泥炭转变成褐煤，叫成岩作用，晚期是褐煤转变成烟煤、无烟煤，叫变质作用。

由于成煤的原始植物质料、聚煤环境和煤化作用阶段的不同，所以形成了各种不同性质的煤。按照原始植物质料和聚积环境的不同，可将煤分成腐植煤、腐泥煤和腐植腐泥煤三大类。

腐植煤类的前身是古代高等植物遗体在沼泽中形成的泥炭。这类煤根据其原始物质（主要指是高等植物的木质纤维组织，还是木栓、角质、孢子和花粉等稳定物质）而分成腐植煤和残植煤两个亚类。

腐泥煤的前身是古代低等植物和低等浮游生物遗体在湖泊等水体形成的腐泥。根据在煤中是否保存低等生物的原始结构，腐泥煤可进一步划分成藻煤和胶泥煤两个亚类。

腐植腐泥混合物类的原始物质兼有高等植物和低等植物，其聚煤环境介于沼泽和湖泊等水体的过渡环境。这类煤还可分为烛煤和半藻煤等亚类。

以上三种不同成因类型的煤在成煤作用第一阶段，即泥炭化作用阶段就已定型。但它们经过煤化作用转变成煤后还会进一步发生有规律的变化。如腐植煤类，在煤化作用过程中的变化系列是褐煤—烟煤—无烟煤。这三种类型的煤在自然界中都能独立存在，但其中以腐植煤类分布最广，储量最大，工业价值也最大，工业上的动力用煤、炼焦用煤和气化用煤等都是用腐植煤。因此，腐植煤类是本书的主要研究对象。

第一节 煤的生成——形成和变化

了解成煤的原始物质及其堆积环境和转化成煤的过程，是研究煤的形成和变化的主要途径。

一、成煤的原始物质及其堆积环境

在国内外许多煤层中，很早就发现了保存完好而碳化了的古代植物树干，这些碳化了的树干，在其横断面上年轮结构常常清晰可见。另外，在显微镜下观察由煤磨成的薄片或光片时，可以发现煤是由各种各样变化了的植物遗体组成的。如植物的木质纤维组织，虽然其成分已经发生变化，但细胞结构（细胞腔、细胞壁）还清楚可见；植物的表皮（木栓、角质层）、植物的繁殖器官（大孢子、小孢子）和植物的分泌物（树脂体）等也清楚可见。再者，在绝大多数煤层底板的粘土岩或粉砂质泥岩中都很容易找到植物根化石，说明煤层底板

就是当初植物生长的土壤。这些都直接和间接地说明了成煤的原始物质是由植物转化而来的。

有人根据压缩率曾经作出计算，植物遗体堆积到 10—20m 才能形成 1m 厚的煤层。我国云南小龙潭第三纪煤田中有一层煤，厚 223m，按此计算，植物遗体的堆积厚度就需要 2230—4460m。由此可见，大量的植物生长和繁殖，是聚煤的重要条件。在漫长的地史过程中，地球上植物的发展演化经历了菌类植物、裸蕨植物、蕨类和种子蕨植物、裸子植物和被子植物五个时代（图 1-1）。由低等植物逐渐演化成高等植物过程中，经历了多次飞跃，每

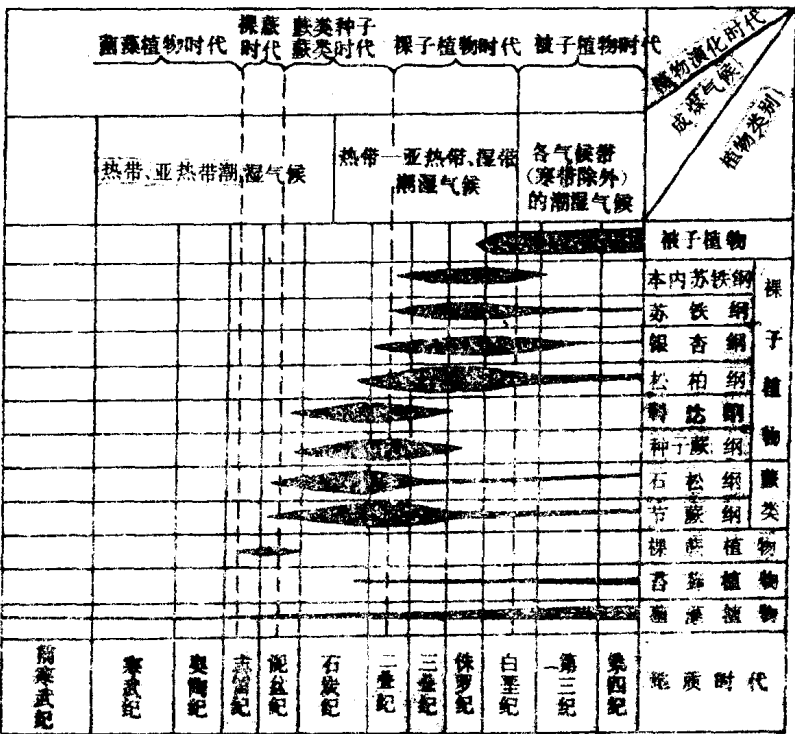


图 1-1 各聚煤期成煤古植物略图

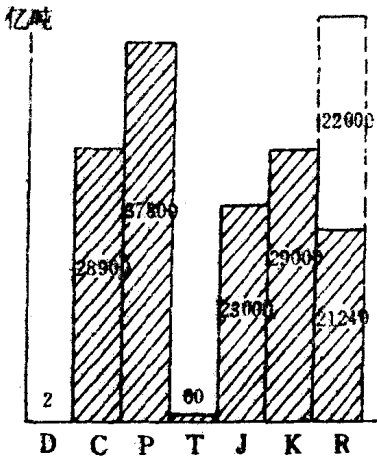


图 1-2 世界各时代煤的储量
(据热列兹诺娃和马特维耶夫, 1973)

一次飞跃都带来了一次强的聚煤作用。地史上植物最繁盛的时期是晚古生代的石炭纪 (C) 和二叠纪 (P)、中生代的侏罗纪 (J) 和白垩纪 (K)、新生代的第三纪 (R)。世界上各主要聚煤期也在这几个时期。根据国际上已发表的资料，这三个聚煤期的煤储量，占整个地壳中煤储量的 95% 以上（图 1-2）。中国基本上也是这种情况。

植物遗体并不是在任何有植物生长的地方都能够堆积并转变成泥炭。要形成泥炭必须具备两个基本条件：一是植物大量的持续的繁殖和生长；二是植物死亡后的遗体必须与空气隔绝，防止植物完全氧化、分解。符合这两个条件的场所是沼泽。沼泽是地表极为湿润常年积水的洼地。它有利于嗜湿植物的大量繁殖和生长，植物

死亡后，其遗体为沼泽水所覆盖，使之与空气呈半隔绝状态，植物遗体不致于完全氧化、分解，并在长期的堆积过程中经泥炭化作用而形成泥炭。沼泽环境持续的时间越长，植物遗体的堆积就越厚。因此，沼泽是植物遗体堆积并转化成泥炭的良好场所（图 1-3）。

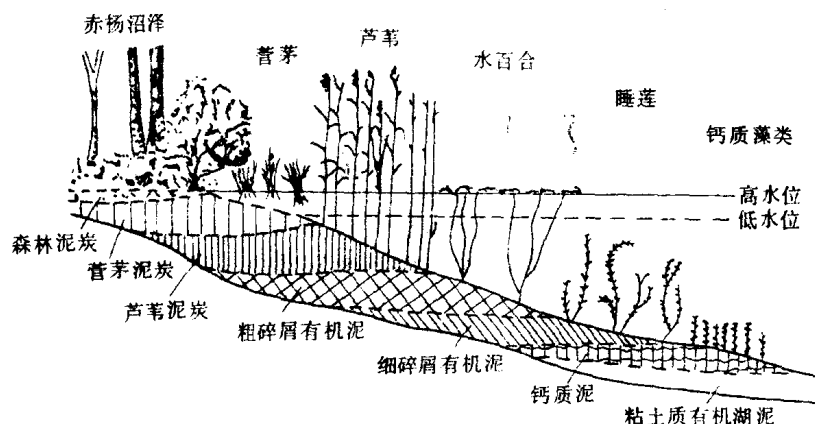


图 1-3 植物生长充填着的湖泊和由不同类型的有机质淤泥和泥炭形成的剖面

(据 Overbeck 1950, 转引自 E. Stach, 1975)

沼泽与多种地貌单元有关，如冲积扇前缘、湖滨、泛滥平原、三角洲平原和泻湖-海湾潮上带等都有利于形成沼泽。这些地貌单元，它们不可能脱离周围的环境而孤立存在。如三角洲平原，它总是三角洲的一部分，而三角洲又是河流和湖泊（或泻湖-海湾）这样一些总环境的组成部分。沼泽就是在这样一些比较持续存在的地理环境中形成的。

曾经有一种看法，认为热带气候条件最有利于形成大量的泥炭沼泽，而寒带是最不利于或者几乎不可能形成泥炭沼泽。这种看法，只强调了炎热潮湿气候环境较之寒带有利于植物的繁殖生长的一面，而忽视了植物遗体较之寒带更容易氧化分解而不易保存的一面。因此，后来不少人认为，形成泥炭沼泽以潮湿温暖气候最为有利，因为，在这种气候条件下，既有利于植物的繁殖生长，也有利于植物遗体的保存。但这种看法又忽视了在地史过程中植物不断向大陆内部发展并逐渐出现了许多耐寒的植物种属。根据泥炭的分布来看，大多数的泥炭田分布在寒带。据统计，世界泥炭储量的 66% 在苏联的西伯利亚；加拿大泥炭田的面积有 $1.3 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，占其国土面积的 12%；芬兰有 1/3 的地表被 2m 厚的泥炭层所覆盖。看来，较之温度和湿度，最主要的是湿度。只要有适当的湿度，不论是热带、温带地区，还是寒带；也不论是内陆地区，还是滨海地区，都有利于植物遗体在沼泽中的堆积和保存。

二、泥炭的形成

由植物遗体转化为泥炭是在微生物参与下发生的一个非常复杂的变化过程。这个过程通常可分为以生物化学分解为主的和腐植酸合成为主的两个阶段。

第一阶段，植物遗体暴露于空气中或在沼泽浅部多氧的条件下，由于微生物和氧的作用，遭受氧化和分解，植物组成中的一部分被彻底破坏，变成气态产物和水分；分解破坏不彻底的一部分受到沼泽水的保护并在弱氧化的条件下进行腐植酸合成而进入第二阶段；未遭

受分解的部分，特别是稳定的组分继续保留。在该阶段中，促使植物变化的最重要因素是氧化、真菌和细菌，细菌比真菌更有活力，能在温度、pH 值、氧化还原电位等条件极不相同的情况下起作用。

第二阶段，在沼泽水和上覆堆积物的覆盖下，使正在分解的植物遗体逐渐与空气隔绝而出现了弱氧化环境，加上植物遗体在转化过程中分解出来的气体、液体和细菌的新陈代谢产物促使沼泽水酸度增加，使处在泥炭层下部的喜氧细菌急剧减少，厌氧细菌增加，真菌向深部消失。这时，经过第一阶段保留下来的残留植物遗体和分解产物经过复杂的生物化学变化合成为胶体状的腐植酸和沥青质等新产物。

上述两个阶段的全过程都是在微生物的参与下进行的。在微生物和氧的作用下，植物的主要成分都被不同程度地分解。如纤维素首先被分解为羧酸，然后进一步被分解为二氧化碳和水；木质素转化为芳香族和脂肪族的酸类，如果木质素进一步分解，也将转变为水和二氧化碳。因此，如果氧化分解作用一直进行下去，植物遗体的绝大部分将遭受破坏而不能形成泥炭。但是，在沼泽环境中氧化分解常常是不充分的，经过第一阶段不完全的氧化分解之后，就常常进入第二阶段。正是由于这种原因，使原来暴露在空气中或沼泽表层遭受氧化分解的植物遗体迅速转入弱氧化环境，在厌氧细菌的作用下，使分解产物之间的合成作用和分解产物与残留下来的植物成分之间的相互作用开始占主导地位，并形成腐植酸和沥青质等。这就是泥炭的主要有机成分。

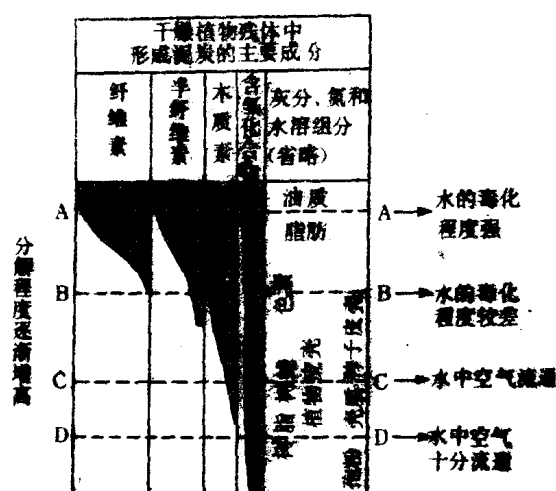


图 1-4 怀特图解
(据 D. 怀特)

由于水体的停滞，有机酸、硫化氢和酚在沼泽中就会越来越浓集。一些学者特别强调沼泽水的这种“毒化”在泥炭形成过程中所起的作用。如 1933 年美国学者 D. 怀特就用图解的方式表示出沼泽积水条件和水的毒化程度在泥炭形成过程中所起的作用 (图 1-4)。完全停滞的沼泽水，其毒化程度强，在这种情况下只能发生微弱的氧化分解，许多植物成分得以保存 (A—A 线)；在水的毒化程度较差的沼泽水中，纤维素等不稳定成分被破坏，富含氢的成分 (孢粉、树脂等) 和相当部分的木质素及少量的半纤维素保存下来 (B—B 线)；在空气流通较好的沼泽水中，纤维素和半纤维素消失，只有富含氢的成分和少量的木质素得以保存。

在不同沼泽或同一沼泽的不同部位，积水条件和水的毒化程度是不相同的。因此，植物遗体的上述各种变化都可能在同一沼泽的不同部位同时发生，这种复杂的情况决定了腐植煤岩组分的多样性和不同煤岩类型的煤在时间和空间上的频繁交替。

由植物遗体转变为泥炭，在化学组成上发生质的变化，这种变化可用表 1-1 来说明。

表 1-1 植物与泥炭的化学组成的比较

植物与泥炭		元素组成〔有机质%〕				有机组成（%）				
		C	H	N	O+S	纤维 素	半纤维 素	木质 素	蛋白 质	沥 青
植 物	莎 草	47.90	5.51	1.64	39.37	50	20—30	5—10	5—10	0
	木本植物	50.15	5.20	1.05	42.10	50—60	20—90	1—7	1—3	0
泥	桦 川 草本泥炭	55.87	6.35	2.90	34.97	19.69	0.75	0	3.56	43.58
炭	合 浦 木本泥炭	65.46	6.53	1.26	26.75	0.89	0.39	0	0	42.88

(据朱之培、高晋生《煤化学》，1983)

从表 1-1 可以看出，植物与泥炭的化学组成是不同的，它们之间最大的变化是植物中所含有的蛋白质在泥炭中已经全部消失，而泥炭中产生了原来植物中没有的大量腐植酸。泥炭中的木质素、纤维素等大量地减少。在元素组成方面，泥炭中的碳、氢含量比植物增高，氮含量略有增加，而氧含量则减少。这说明在泥炭化过程中植物的各种有机组分不仅发生了复杂的变化，而且还生成了新的有机产物。

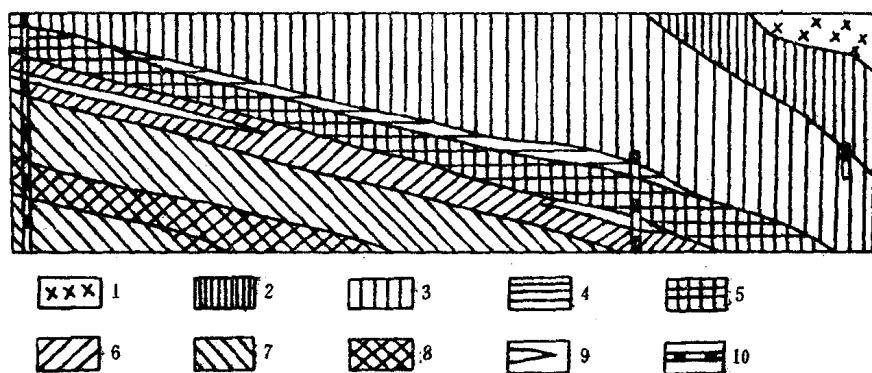
三、由泥炭转变成煤

在基底沉降过程中，当泥炭沼泽基底沉降的速度大于植物遗体堆积的速度时，由于植物遗体供应不足，泥炭层即被泥沙等沉积物所覆盖。被覆盖的泥炭层降到地下后，由于受到上覆地层的压力和地热的作用，泥炭层发生压实、脱水、增碳、孔隙度减少、游离纤维素消失、固结等一系列的变化，生物化学作用也因此而停止。与此同时，泥炭的化学组分也发生了缓慢的变化。而后，泥炭转变成较致密的褐煤。这个由泥炭转变成褐煤的过程称为煤的成岩作用。其实在泥炭化阶段，随着泥炭的不断堆积，由于泥炭层自身的压力，其底部就开始成岩作用，尤其当泥炭层比较厚时更是如此。

已经形成的褐煤如果继续沉降到地壳较深处时，由于受到不断增高的温度和压力的影响，引起煤的内部分子结构、物理性质和化学性质等方面的重大变化。如颜色加深、光泽增强、密度和硬度加大、腐植酸消失、出现粘结性等。其结果使褐煤转变为烟煤、无烟煤。一般认为由褐煤转变为烟煤时就开始进入煤的变质阶段。从褐煤转变为烟煤、无烟煤标志着煤化程度的增高。此时，煤的碳含量增高，氢含量、氧含量和挥发分减少，而煤的反射率增高，容重增大。在自然界中，从植物转变成泥炭—褐煤—烟煤—无烟煤的过程是一个从低级逐渐过渡到高级的发展过程，也是一个逐渐由量变到质变的过程。各种不同的煤种仅仅是成煤过程中某一阶段的产物，彼此之间并没有绝对的界限。每个阶段的产物如果具备相应的地质条件都可以进一步变化，但变化是不可逆的。

在不同的地质条件下，温度与压力的差异导致不同煤化程度的煤的产生。通常按煤化程度由低到高将烟煤划分为六个阶段，即长焰煤—气煤—肥煤—焦煤—瘦煤—贫煤。无烟煤阶段的煤其煤化程度更高（图 1-5）。当岩浆侵入、穿过或接近煤层、含煤地层时，由于岩浆

(据四川矿业学院等, 1974)



1. 辉绿岩 2. 二级天然焦 3. 一级天然焦 4. 无烟煤 5. 贫煤 6. 瘦煤 7. 焦煤 8. 焦肥煤 9. 夹矸
10. 采样位置

(据四川矿业学院等)

根据煤化程度的不同，腐植煤类可分为褐煤、烟煤和无烟煤三大类。煤的组成又是不均一的，根据外观特征上的差别，可以区分出镜煤、亮煤、暗煤、丝炭四种肉眼可见组分；用显微镜观察研究时，可将煤中的组分划分成镜质组、丝质组和稳定组（或称壳质组、类脂组，下同）三种显微组分。从化学组成来看，煤也可以分成有机质和无机质两大类。

一、腐植煤的组分

腐植煤是由丝炭、镜煤、暗煤和亮煤四种组分构成的。

1. 丝炭：外观上很象木炭——黑色、丝绢光泽、纤维状结构、性脆易碎、染手。丝炭的空腔中常被黄铁矿等矿物充填而成为致密、坚硬、密度较大的矿化丝炭。在显微镜下观察丝炭，仍为黑色，可看到清晰的细胞结构，有时还可见到年轮。根据丝炭化程度的不同，在镜下可进一步分为丝炭、木质镜煤丝炭和镜煤丝炭。丝炭的碳含量高而挥发分产率和氢含量低，没有粘结性。因此，煤中丝炭的存在，对煤的加工利用不但无益，而且是一种有害的组分。另外，丝炭还由于孔隙度大，吸氧性强，容易使煤层和煤堆发生氧化和自燃。煤层中的丝炭，常呈几毫米厚的扁平透镜体，其数量虽然有限，但分布很广，把它从煤层中分离出来是很困难的。

2. 镜煤：颜色深黑，沥青光泽—玻璃光泽—金刚光泽，是煤层中颜色最深、光泽最强的成分。镜煤的结构均匀，具贝壳状断口和垂直的内生裂隙，内生裂隙面上常呈眼球状。脆度仅次于丝炭。随着变质程度的增高，镜煤的颜色和光泽有规律的加深和增强，内生裂隙的数目也有规律的变化。在透光显微镜下观察，镜煤常呈橙黄色至桔红色，轮廓清楚，质地纯净。镜煤主要是由植物的木质素、纤维素经凝胶化作用转变而成的。根据凝胶化程度的不同，在镜下可进一步将镜煤划分成木煤、木质镜煤、结构镜煤和均一镜煤等组分。在煤层中，镜煤与丝炭、暗煤和亮煤比较，其挥发分产率和氢含量最高，粘结性也最强。中变质阶段的镜煤是炼焦的最好配料。镜煤在煤层中常呈透镜状或条带状，大多数只有几毫米到几厘米厚，很少呈较厚的层状。镜煤有时还呈线理状存在于暗煤中。

3. 暗煤：颜色灰黑，光泽暗淡，致密坚硬，密度大，韧性也较大，断口呈平坦状。有时可见线理结构，但一般情况下层理不清晰。有时为粒状结构，断口不规则且粗糙。在显微镜下观察，暗煤的组成相当复杂，由凝胶化组分、丝炭化组分和稳定组分构成。通常凝胶化组分较少，而稳定组分或丝炭化组分较多。另外，矿物质含量也较高。由于组成成分的复杂，暗煤可以进一步划分成若干亚类。各亚类在物理性质和化学工艺性质方面是不相同的，通常富含稳定组分的暗煤，挥发分和氢含量较高，粘结性较好，用途较广；富含丝炭化组分，或矿物质的暗煤，灰分高，粘结性不好，质量较差。在煤层中，暗煤常以较厚的分层出现，有时可以单独成层。

4. 亮煤：亮煤的光泽和内生裂隙仅次于镜煤。较脆、易碎，密度较小，有时也具贝壳状断口。显微镜下观察，亮煤的组成较复杂，与暗煤比较，亮煤中的凝胶化组分较多，稳定组分及丝炭化组分相对要少。亮煤的各种物理、化学——工艺性质大都介于镜煤和暗煤之间。亮煤与暗煤一样，在煤层中常以较厚的分层出现。

二、腐植煤的成因系列及特征

由泥炭转变成褐煤、烟煤和无烟煤，它是一个煤化程度逐渐增高的过程，也是具有成因联系的系列。

1. 泥炭：浅褐色至棕色，有时为棕黑色，疏松多孔，马粪状或土状，易碎，密度很小，一般只有 0.9—1.25，本身除含有可用碱抽提、用酸沉淀的新物质——腐植酸及可被某些有机溶剂所提取的酸性沥青外，还含有大量可见的分解不完全的植物根、茎、叶残体。沼泽中的泥炭，水分含量一般为 50—80%，有时可高达 85—95%，风干后的水分含量仍可达 25

—35%。干燥泥炭的发热量多在 10.45—14.64MJ/kg。泥炭的主要用途是制造农业腐植酸类肥料，在建筑上制造泥炭板用作绝缘材料，在医疗和净化污水方面也有广泛用途。可以看出，泥炭是一种非常宝贵的自然资源。

表 1-2 泥炭与褐煤的主要区分标志

区 分 标 志	泥 炭	褐 煤
颜色与结构	棕褐—棕黑，疏松多孔	褐—褐黑，块状
原始水分(%)	>75	<60 (或 75)
游离纤维素	存在	不存在
碳含量 (干燥无灰基) (%)	最大: <60	最小: >60
镜煤透镜体	不存在	开始出现，并具微弱的反射率

(据朱之培、高晋生《煤化学》，1983)

解的植物组织残体外，还不具有新开采出来的泥炭所特有的那种无定形状态。从化学性质上看，泥炭与褐煤也有明显的区别 (表 1-2)。褐煤除了可用作工业燃料外，还可以作为化肥和提取褐煤蜡的原料。含油率较高的褐煤，可用于低温干馏、制取焦油和其它化工产品。

3. 烟煤：因其燃烧时烟多而得名，燃烧时火焰长，烟煤全部为黑色，条痕棕色到黑色，硬度和真密度都较褐煤高。常具玻璃光泽，有时为沥青光泽或强玻璃光泽。呈条带状、透镜状、线理状结构，层状构造。烟煤与泥炭、褐煤的最主要的区别是不含原生腐植酸。这是由于烟煤经过温度和压力的进一步影响后，已缩合成为更复杂的中性腐植质，其中还含有少量偏中性的沥青。烟煤可用于炼焦、炼油、气化、液化、动力和化工等用途，是腐植煤中用途最广的煤种。

4. 无烟煤：因其燃烧时无烟或少烟而得名。无烟煤是煤化程度最高的一种腐植煤。燃烧时火焰短，灰黑色或钢灰色，有时为古铜色，条痕为深黑色，具有金刚光泽或似金属光泽。有时可见条带状结构，但由于各种宏观组分的外貌趋向一致而不清晰。无内生裂隙，常呈贝壳状断口，硬度和真密度都较烟煤高。无烟煤发热量高，无粘结性。可用作制取合成氨的原料及民用燃料。低灰分的无烟煤可制造石墨、电石和碳化硅。

综上所述，各种腐植煤的主要特征，可用表 1-3 来概括。

三、煤的化学族组分分离

由泥炭—褐煤—烟煤—无烟煤，各个发展阶段之间是连续的。在整个成煤过程中既有原始物质的分解，又有新物质的合成。经一系列变化后，所形成的泥炭、褐煤和烟煤的组成是各不相同的。前已述及，泥炭中除含有一部分未分解的植物残骸外，还形成了大量的成煤中间产物——腐植酸和沥青；褐煤中已无植物残骸，它的有机质主要是由沥青和腐植酸组成。随着煤化程度的加深，腐植酸因转变成中性物质 (腐黑物) 而逐渐减少。到烟煤阶段已不再含有腐植酸，而主要由腐黑物构成。至于沥青，在泥炭和褐煤中都含有一定的数量，到烟煤阶段则已经很少发现。

2. 褐煤：是煤化程度最低的一种腐植煤，因其颜色多呈褐色或暗褐色而得名，条痕浅褐色到褐色，无光泽或具有很弱的沥青光泽，密度为 1.1—1.4，含有原生腐植酸，几乎没有粘结性。根据煤化程度，褐煤可进一步划分为年轻褐煤和老褐煤。老褐煤比起年轻褐煤颜色变深、变暗、密度增加、紧缩程度增加、水分减少，腐植酸开始增加然后减少。褐煤与泥炭的主要区别，除了外表上完全不含有未分解

表 1-3 各种腐植煤的主要特征

特征	类别	泥 炭	褐 煤	烟 煤	无 烟 煤
	颜 色	棕 褐	褐、黑褐	黑 色	灰黑—钢灰
物 理 特 征	光 泽	无	不具光泽或弱沥青光泽	沥青光泽 玻璃光泽 金刚光泽	似金属光泽
	条 痕	浅 褐	浅棕—黑色	黑色，很少为褐色	深黑色
	内生裂隙	无	<5条/5cm	5—60条/5cm	<10条/5cm
	结 构	有原始植物残体	不明显条带	条 带	无明显条带
	燃烧现象	有 烟	有 烟	多 烟	无 烟
	水 分	很 多	较 多	较 少	较 少
	密 度	1.0	1.1—1.4	1.2—1.5	1.4—1.8
	硬 度	很 低	1.7—2.5	2.5—3	接近4
化 学 特 性	在沸腾 KOH 溶液中的颜色	黑 褐	褐 色	无 色	无 色
	在稀 HNO ₃ 溶液中的颜色	棕 色	红 色	无 色	无 色
	腐植酸	有	有	无	无
	沥 青	酸性	酸性	偏中性	

(一) 泥炭的组成

泥炭含有植物残骸未分解的稳定组分和大量的单醣类、半纤维素和纤维素等碳水化合物。从化学的观点来看，泥炭是一种含水的胶体体系，它的有机质是由腐植酸及其盐类、植物各部分的分解产物和尚未分解的植物残骸组成的。

泥炭的化学组成目前仍未完全解决，因为至今尚未找到一个完美无缺的被大家所公认的分选方法。如果将泥炭按中国科学院山西煤化所拟订的程序进行分离（表 1-4），则可获得可溶物（沥青）、易水解物、腐植酸、纤维素和残余物等不同的有机组成。这些化学组成对泥炭的性质和泥炭的加工利用起着决定性影响。例如果胶和半纤维素是泥炭热加工时生成醣类和醇、醛的主要成分，果胶、半纤维素和腐植酸都有强烈的亲水性，尤其是腐植酸，因此，泥炭含有大量的水分。泥炭中的含氮化合物在泥炭用作肥料时，具有重要的意义。沥青则是工业上制取蒙旦腊的原料。

(二) 褐煤的组成

与泥炭相比，褐煤的植物残骸的分解程度较高，并富含较多的碳（褐煤的碳含量为 60—70%）。在褐煤中除某些例外，一般已不再含有大量的原来存在于植物残骸中的化合物，如碳水化合物（包括纤维素）、果胶物质、木质素等。同时亦很少遇到植物的未分解的稳定组分（木煤例外，其中很好地保存着植物组织的形态结构）。褐煤中的游离腐植酸的含量也比泥炭少，所以褐煤吸水能力亦不断降低。不过，褐煤仍具有较好的亲水性能，天然水分可达 30—60%。褐煤中水分的多少，在很大程度上与腐植酸含量有关。

褐煤的主要有机组成是腐植酸和沥青，比起泥炭其分离过程大为简化。按表 1-5 所示