



煤质学

白浚仁 编著

陈文敏 陈祚生 审订



地质出版社

8142
124

煤 质 学

白浚仁 编著

陈文敏 陈祢生 审订

8142/3

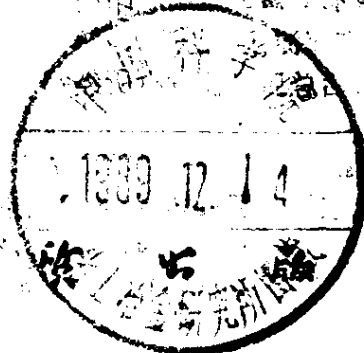
地质部
地质研究所
地质部地质研究所

地质部

地质研究所

地质部地质研究所

地质部地质研究所



地质部地质研究所

目 录

第一章 绪论	1
第一节 煤质学的内容和任务.....	1
第二节 煤的形成.....	2
第三节 煤的成因分类.....	11
第四节 聚煤条件和我国的主要聚煤时期.....	14
第二章 煤的工业分析和煤质的关系	20
第一节 煤的工业分析.....	20
第二节 煤中的水分对煤质的影响.....	22
第三节 煤中矿物质的赋存形态.....	28
第四节 煤的灰分及其对煤质的影响.....	33
第五节 煤的挥发分和煤化程度、煤岩组分的关 系.....	36
第六节 煤的固定碳、挥发分、燃料比和煤化程 度的关系.....	43
第三章 煤的元素组成	45
第一节 煤的元素组成及其相互关系.....	45
第二节 我国煤的煤岩组分中的元素组成.....	53
第三节 煤的元素组成和煤质的关系.....	54
第四章 煤中的硫	56
第一节 煤中硫的赋存形态.....	56
第二节 煤中硫在煤加工利用过程中的动态及其 对环境保护的影响.....	57
第三节 煤中硫的形成过程.....	60
第四节 我国不同时代煤中硫分分布规律.....	61
第五节 我国太原组和乐平组高硫煤中各种形态 硫的相互关系.....	68

第五章 煤中微量元素及有害元素	74
第一节 煤中微量元素的来源.....	74
第二节 煤中微量元素的赋存状况.....	76
第三节 煤中有害元素及其对环境保护的影响.....	79
第六章 煤的发热量	85
第一节 各种基准的发热量及其间的相互关系.....	85
第二节 煤的发热量和煤化程度的关系.....	93
第三节 利用工业分析结果计算煤的发热量.....	98
第四节 利用元素分析结果计算煤的发热量.....	105
第五节 我国主要动力煤矿区煤的发热量.....	107
第七章 煤的比重和煤的可选性	110
第一节 煤的比重与密度.....	110
第二节 煤的真比重和煤化程度、煤岩组分的关 系.....	112
第三节 煤的可选性及影响可选性的因素.....	120
第八章 煤的其它物理性质	124
第一节 煤的抗碎强度和硬度.....	124
第二节 煤的可磨性.....	128
第三节 煤的导热性质.....	130
第四节 煤的电性质.....	133
第五节 煤的磁性质.....	134
第六节 煤的光学性质.....	136
第九章 煤的工艺性能	143
第一节 煤的结渣性.....	143
第二节 煤对二氧化碳的反应性.....	144
第三节 煤的热稳定性.....	147
第四节 煤的着火点及煤自然.....	148
第五节 煤的结焦性和粘结性.....	152
第十章 低煤化程度煤的特性	166
第一节 煤的透光率.....	166
第二节 煤中的腐殖酸.....	173

第三节	褐煤中的蜡及其分布规律·····	179
第十一章	煤灰特性·····	182
第一节	煤灰的组成·····	182
第二节	煤灰的熔融性·····	185
第三节	利用煤灰成分计算煤灰的熔点·····	191
第四节	煤灰的粘度·····	192
第五节	煤灰特性对工业用煤的影响·····	198
第十二章	煤质研究和煤质资料汇编·····	199
第一节	煤质数据的积累和整理·····	199
第二节	地质勘探中的煤质工作·····	200
第三节	生产矿井的煤质工作·····	204
第四节	煤质资料的汇编方法·····	205
第十三章	煤的分类·····	218
第一节	我国煤分类的概况·····	218
第二节	我国新的煤炭分类国家标准·····	220
第三节	硬煤的国际分类·····	229
第四节	新的国际煤分类方案·····	232
第五节	波兰新的煤分类方案·····	237
第六节	苏联的煤分类·····	240
附录		
一、	煤质分析中常用符号及代表的意义·····	246
二、	一般煤质分析结果的各种基准的互换公式·····	249
三、	煤炭发热量(卡/克)不同基准的换算公式·····	250
四、	我国新的煤分类国家标准中各类煤的中英文 名称对照·····	250

第一章 绪 论

第一节 煤质学的内容和任务

煤炭是工业的粮食。它不仅是现代社会生产建设中最主要的能源，也是我国国民经济中的重要化工原料。到目前为止，在矿物能源中还是煤炭资源最为丰富。就世界上各种能源分布来说，已探明煤炭的地质储量约10万多亿吨，石油储量约2900亿吨，天然气储量约2700亿吨油当量，油页岩和油砂岩约为13000余亿吨油当量。即使将来石油枯竭后，除了核能外，煤炭仍然是最主要的能源。煤炭在我国的燃料消费构成中始终占主要地位。如1977—1986年煤炭占全国能源消费量的70—76%左右，石油消费只占20—25%左右，天然气只占3%左右，水电占3.5—4.5%。从我国已探明的能源储量来看，如果折算为标准煤（7000kcal/kg^①或29.3MJ/kg），则煤炭储量约相当于石油储量的40余倍之多。显而易见，在今后一个相当长的时期内，煤炭仍是我国最主要的能源。

煤是一种组成、结构很不均一的生物岩。就宏观来说，用肉眼或借助放大镜可以看到煤中常常有宽度不等的光辉条带嵌布在光泽暗淡的煤块中。有时还可看到煤中有类似木炭状的丝炭。就微观而言，在显微镜下观察，可以看到煤中有镜煤、树脂、角质层、孢子、花粉、丝炭、各种基质等多种煤岩组分。这些组分的物理性质、化学性质、工艺性能和化学组成都不相同。即使煤岩组分相同（例如同是镜质组），但由于煤化程度不同，则一些性

① 1kcal = 4.1868kJ。

质和化学组成也不相同。

由于煤是一种混合物而不是均一组成的有机化合物，其性质又极复杂，所以直到现在还未能把煤的化学结构认识清楚。但是对各种不同煤化程度的煤或者同一煤化程度煤的表征各种性质的指标之间，仍有明显的、一定的规律可循。人们在利用煤之前必须研究它、了解它。这就是煤质学的任务。概括地讲，研究煤的性质以及影响煤的性质的各种因素就是煤质学的基本任务。

煤质学是一门新兴的边缘学科。它涉及煤化学、煤物理、煤化工、煤岩学、煤田地质学等学科，但又不等同于这些学科。贯穿煤质学的一条干线是煤的性质。总的说来，煤质学的内容有：

1. 煤的生成：聚煤条件和我国的主要聚煤时期；成煤过程的各种作用及其对煤性质的影响、煤质跃变等。

2. 煤的分类：煤的成因分类、科学分类和工艺（实用、技术）分类；我国的煤分类和国际煤分类等。

3. 煤的各种性质、组成以及它们之间的关系。煤的各种性质诸如物理性质、化学性质、物理化学性质、结焦性、粘结性、气化特性、燃烧特性、液化特性以及其它化学加工特性等。煤的组成是指煤的元素组成、煤的岩相组成、煤中各种形态硫、煤中的微量元素和有害元素的含量等。

学习煤质学的目的就在于了解和掌握煤的性质及其变化规律，从而能更充分地合理利用和综合利用我国的煤炭资源。

第二节 煤 的 形 成

我国是世界上最早发现和使用煤炭的国家。在一些古书记载中，常常把煤和“石”连在一起。例如《山海经》的《山经》上称煤为“石涅”（《山经》约成书于春秋战国时期。三国时期将“石涅”和“石墨”并称；汉、魏、晋时期称煤为“石墨”或“石炭”，明代李时珍的《本草纲目》中载有：“石炭即乌金石，上古以书字，谓之石墨，今俗呼为煤炭，煤、墨音相近也”。元代意大利人马

可波罗来中国，对煤的使用感到很新奇。在他的游记中写道“契丹（指中国）全境有一种黑石，采自山中，如同脉络，燃烧与薪无异，其火候较薪为优，……致使全境不燃他物”。由此可见，在相当长的历史时期，人们对煤是没有足够认识的，只认为煤是一种岩石。对煤的生成更是一无所知。随着地质学和生物地层学的发展，人们在煤层及其围岩中发现大量的、可以鉴定属种的植物化石；在地质年代较晚的煤层中发现碳化了的树干、树根、树叶以后，才认识到煤是由植物变化而来的。直到显微镜发明以后，才证实了煤主要是由高等植物转化而成的。人们用显微镜来研究、观察烟煤的薄片时，看到的不再是乌黑的煤炭，而常常是美丽的镶嵌着金黄色或橙黄色的大、小孢子、角质层、树脂及橙红色的树片或深红色的凝胶化基质；有时还可看到带有保存完好的或膨胀了的、具有木质细胞结构的木煤或木质镜煤；有时观察到的是橙色或红色的经强烈分解而细胞结构完全消失的均一镜煤；有时还可见到保存完整的或变形后细胞腔的黑色（不透明）的丝炭；观察藻煤时，可以见到藻类的形体。这些都雄辩地证实煤是由植物变化而成的。

现在已举世公认煤是由死亡后的植物残骸经过复杂的生物化学、地球化学、物理化学作用转变而成的。从植物死亡、堆积、埋藏到转变成煤经过了一系列的演变过程。这个过程称为成煤过程。在成煤过程中影响煤质的最主要的一些因素是：成煤的原始物质、沉积环境、积水情况及其化学介质和变质作用等。煤的许多性质（包括其化学性质、物理性质、煤岩特性、工艺性能等）的千差万别，常常可以这些因素来解释。因此，可以说这些因素是煤质学的理论基础。

一、成煤植物及其组成

成煤的原始物质是植物。植物可以分为低等植物和高等植物两大类。属于低等植物的有菌类和藻类。它们没有根、茎、叶等器官的分化，构造比较简单，多数生活在水中。属于高等植物的有苔藓、蕨类和种子植物。它们生长在陆地。在形体结构上、生

理特征上都较低等植物复杂。它们都有根、茎、叶、花器官，并用种子繁殖。不论高等植物或低等植物都可参与成煤作用而变成煤。

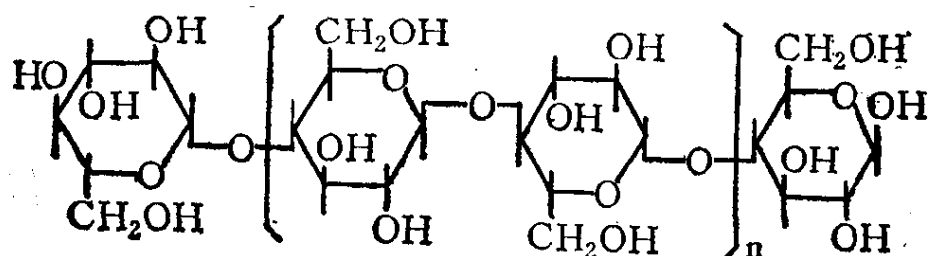
低等植物、高等植物都由以下四类有机物组成：碳水化合物、木质素、蛋白质以及脂类。各类植物的这四种有机组成颇为不同，即使同一类植物，其不同部分的组成也不一样（见表 1-1）。

表 1-1 植物的主要有机组分

植 物		碳水化合物 (%)	木 质 素 (%)	蛋 白 质 (%)	脂 类 (%)
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 同 植 物 部 分 的 不	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

1. 碳水化合物（多糖类）

碳水化合物包括纤维素、半纤维素和果胶质等。纤维素是纤维式糖的多聚体，其结构式如下：



纤维素是构成细胞壁的主要成分。在植物中纤维素对微生物

的作用很稳定，但当植物死亡后，并且在氧化条件下，纤维素易受喜氧细菌、霉菌等微生物的作用而分解为 CO_2 、 CH_4 和 H_2O 。在泥炭沼泽的酸性介质中，纤维素可以水解为式糖和葡萄糖。

半纤维素也是一种多糖。性质和纤维素相近。它与纤维素一起存在于细胞壁中。果胶是糖的衍生物。它主要存在于树木的绿色部分和新生组织的液汁里。半纤维素和果胶质比纤维素更易水解为单糖。

2. 木质素

木质素也是植物细胞壁的主要成分。木质素在植物中主要起着增强植物组织机械强度的作用。木本植物的木质素含量高。针叶树木质部中的木质素含量比阔叶树要高。木质素是具有苯基丙烷结构的芳香族高分子物，含有酚羟基、甲氧基等官能团。单体间以不同的链交联成三度空间的网状结构，比纤维素的直链状结构稳定，表现在不易水解。植物死亡后，木质素也比纤维素难以分解，但木质素较易氧化成芳香酸和脂肪酸。在泥炭沼泽水中，在水和微生物的作用下，木质素发生分解，并和其它物质相互作用，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。

3. 蛋白质

蛋白质是组成植物细胞原生质的主要物质。它是由若干种氨基酸以 $-\text{CONH}$ 、 $-\text{S}-\text{S}-$ 等键结合成结构复杂的高分子化合物，其分子量在5000以上。低等植物中蛋白质含量高，如藻类、细菌等含蛋白质的量就很高；在高等植物中蛋白质含量不多。植物死亡后，蛋白质在供氧充分的条件下可以全部分解成 NH_3 、 H_2S 、……等气体产物。在泥炭沼泽水中，蛋白质可以分解为氨基酸、卟啉等含氮化合物。煤中的部分氮就与植物的蛋白质有关。

4. 脂类化合物

脂类通常不溶于水，可溶于醚、苯、氯仿等有机溶剂中的有机化合物。脂类包括多类化合物，如脂肪、蜡质，再如植物的树脂、角质，木栓质以及孢粉质等也都属于脂类。

脂肪在低等植物中含量多，如藻类中脂肪含量达20%。但在高等植物中一般仅含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，脂肪能被水解，生成脂肪酸和甘油。脂肪酸参加了成煤作用，从泥炭或褐煤中抽提出的沥青中能发现脂肪酸。蜡质在植物中呈薄层覆盖在茎、叶和果实外皮上。蜡质成分比较复杂，化学性质稳定。在泥炭和褐煤中常常可以看到蜡质。树脂是植物生长过程中的分泌物。当植物受伤时，就分泌出胶状树脂保护伤口。针叶植物含树脂较多，而低等植物不含。树脂的化学性质十分稳定，因此能很好地保存在煤中。我国抚顺第三纪煤中的“琥珀”就是植物分泌的树脂变成的。角质和木栓质存在于植物的叶、嫩枝、幼芽、果实中。果实的表皮上覆盖角质膜。角质膜也叫角质层。角质是组成角质膜的主要成分，其含量达50%以上。木栓质在木栓中含量为25—50%。角质和木栓质的化学性质稳定，所以在煤中常常保存着植物的角质膜和木栓层。孢粉质是构成孢子花粉外壁的主要有机组成。孢粉质的化学性质稳定。在古生代的煤，尤其是南方晚二叠世的煤中，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，都是成煤的原始物质。成煤的原始物质不同，必然导致煤在性质上的差异和具有不同的用途。这是研究煤质及其利用时不可忽视的因素。

二、成煤植物的菌解

当植物死亡以后，残骸堆积的环境，如水位、水系等有所差异，因而植物残骸在微生物的作用下，腐败分解也各不相同。残骸中的有机组分，视空气中氧的量多少，可以发生下列作用：

1. 全败作用

全败作用是在空气充足的条件下，植物残骸被完全氧化为 CO_2 和 H_2O 。这个过程不能成煤，而只能留下无机矿物质。

2. 半败作用

半败作用是在空气不充足的条件下，植物残骸发生不完全的氧化分解过程。例如在阔叶树林里堆积起来的潮湿树叶，由于空

气进入困难，发生了不完全的氧化，形成一层黑色的“腐殖土”。这层物质存在的时间不长，或者进一步转变成泥炭，或者氧化为 CO_2 和 H_2O 。

3. 泥炭化作用

这个过程只有在低地沼泽中才能发生。低地沼泽充满着水，植物死亡后的残骸逐渐堆积在水中。堆积在最上面的一层植物，因为与水面很接近，或者露出在水面之上，空气仍可以推入。在这样的条件下，喜氧细菌活跃，残骸发生半败作用而变成腐殖土。后来由于植物继续死亡和堆积，使它们完全与空气隔绝，氧气停止进入，厌氧细菌随之活跃。植物残骸利用其本身所含的氧发生脱羧基、脱水等作用。放出 CO_2 、 H_2O 和 CH_4 ，从而使碳含量相对增大，氧含量减少，形成了富氢的残留物——泥炭。这个过程叫做泥炭化作用。近代研究工作表明，植物所有的组分和泥炭沼泽地的微生物都参加了泥炭化作用。泥炭化作用主要是生物化学过程。有机组分在这个过程中的变化是十分复杂的。一般认为，泥炭化过程大致分为两个阶段：第一阶段，植物残骸的有机组成经过氧化分解、菌解作用转化为化学性质活泼的简单化合物；第二阶段，分解产物相互作用进一步合成新的、较稳定的有机物，如腐殖酸、沥青质等。这两个阶段不是截然分开的，最后就形成了泥炭。

4. 腐败作用（腐泥化作用）

腐败（腐泥化）作用是指生长在静水湖泊中的浮游生物死亡后的残骸在没有空气存在下发生分解的过程。这个过程的结果形成一种含碳、氢较原来的残骸为多、含氧较少的物质。该物质称为腐泥。

上述的植物残骸的分解过程归纳如表1-2所列。

三、腐殖煤的形成过程

由高等植物形成的煤叫作腐殖煤。腐殖煤的形成是植物残骸经历了一系列变化的结果。这些变化大致可划分为两个阶段：泥炭化阶段和煤化阶段。

表 1-2 植物残骸的分解过程

原始物质	过程名称	与氧的关系	与水的关系	作用的性质	产 物
陆生植物及沼泽植物（高等植物）	全败作用	氧气自由进入	有水存在	完全氧化	无固体为碳有机物残留
	半败作用	有少量氧气进入	有水存在	腐殖化	固体含碳化合物 腐殖土
	泥炭化作用	开始有氧进入，后来无氧	开始有水存在，后来沉没于水中	开始为腐殖化作用，后来为还原作用	固体含碳化合物 泥炭
水中有有机物（主要是低等植物）	腐败作用（腐泥化作用）	无氧气	在死水中	主要为还原作用	固体富氢化合物 腐泥

1. 泥炭化阶段

在适当的气候条件下，先是高等植物在浅海、湖泊和沼泽中迅速地繁殖。植物不断繁殖、死亡和堆积。在有适当的水、空气和细菌存在的情况下发生了泥炭化作用。植物经过一些变化后，改变了原来的形态和结构，变成了含水分很高的、含大量腐殖酸和一些醣类的可燃物，即泥炭。这种复杂的生物化学作用使植物残骸变为泥炭的过程称为泥炭化阶段。

2. 煤化阶段

由于地壳运动造成地壳下沉，泥炭被埋藏在地下。在漫长的地质年代里，泥炭受上覆岩层的压力，发生了压紧、失水、胶体老化、硬结等物理和物理化学变化。与此同时，泥炭的化学组成也逐渐发生了变化。最终泥炭变成为比重较大、结构较致密的黑褐色的固体即褐煤。这一变化过程叫做成岩作用阶段。

泥炭变为褐煤后，一般来说，不再含未分解的植物组织和醣

类。但褐煤含有大量的腐殖酸。腐殖酸溶于氢氧化钠溶液后能形成黑褐色的腐殖酸钠溶液；遇硝酸变棕红色。在褐煤元素组成上，相对于泥炭来说，发生了显著的变化。碳含量增加，氧含量减少。

在褐煤形成以后，随着地壳运动使褐煤沉降到地表下很深处。在高温（地热）、高压（地压）作用下，改变其原有性质和结构。褐煤层在这种情况下所受到的压力一般可达数百个兆帕^①甚至上千个兆帕；地热温度大致每下降100m，温度升高约3—5℃。在地压和地热下褐煤逐渐变为烟煤、无烟煤。褐煤变化成为烟煤，烟煤再变为无烟煤的过程叫做变质作用。

年轻的褐煤含有大量的腐殖酸。在变质作用下，腐殖酸逐渐缩聚成腐殖质，因此到烟煤时已不含腐殖酸。由褐煤变成烟煤，碳含量增高；氢含量在开始时有所增高，到气煤后逐渐降低；颜色变黑，光泽由暗淡变为沥青光泽、金属光泽。到无烟煤后，比重（纯煤）、硬度、导电性以及其它性质都急剧增大。

四、变质作用类型和影响煤变质作用的因素

煤的变质作用可以分为区域变质（深成变质）、接触变质和动力变质几种类型：

1. 区域变质

区域变质系指煤层受地区、地热影响所发生的变质。这种变质作用由于和大规模的地壳升降直接有关，常常在一个广泛的地区内发生。又因为它是由煤层下沉而引起，所以又叫深成变质。

在区域变质作用下，煤的变质情况或程度常常呈现一种有规律的变化。即在同一煤田内，随着深度的增加，煤的挥发分产率逐渐减少、变质程度逐渐加深。每下降100m所引起煤的挥发分产率的变化称为挥发分梯度。挥发分梯度显然主要是受温度（地热）梯度所决定。由于各地的温度梯度不同，所以挥发分梯度也因地而异。例如山西阳泉为2%，大同为3.3%；在辽宁抚顺为2%，

① 帕（帕斯卡Pa）是压强的单位。1帕=1牛顿·米⁻²；1兆帕=10⁶帕。

而本溪为1.95%。这一规律是1873年希尔特 (C. Hilt) 研究德国的鲁尔煤田、英国的威尔斯煤田和法国的比来煤田时发现的, 所以标为希尔特定律。但是也有许多煤田不符合或者违反希尔特定律。其原因是: 由于成煤的原始物质不同, 表现为煤岩组分迥异; 或由于沉积环境还原程度不同; 或地壳运动 (褶曲和断层) 强烈时, 使煤层层位反转或者上部煤层受到氧化等原因所致。

2. 接触变质

接触变质系指岩浆接触煤层时, 岩浆的高温、热液、挥发性气体和压力使煤发生的变质。地壳深处喷发的岩浆温度高达1000℃以上。这种岩浆与煤层接触后, 煤的性质发生了很大的变化。而煤层变化最剧烈处, 可能全部缺失或变为天然焦和石墨。因此以侵入岩为中心可形成不同变质程度的煤种带。例如, 距火成岩较近的煤层可能形成无烟煤, 稍远的为贫煤, 再依次为瘦煤、焦煤等。接触变质的区域范围虽较局限, 但变质情况却十分明显。

3. 动力变质

动力变质是指地壳褶皱及断裂运动所产生的压力及伴随构造变化所产生的热效应促使煤层发生变质的作用。

近10余年来, 动力变质学说遭到越来越多的人反对。有的认为, 含煤地层褶皱过程中, 温度只在很短的时间中起作用; 还有的指出, 通常的褶皱、断裂等地壳运动进行得很慢, 因此由于摩擦产生的热逐渐损失, 很难影响煤的变质。所以煤的动力变质作用还是一个有争议的问题。

煤的变质作用受三个因素的影响, 即温度、时间和压力。究竟何者为主? 研究表明: 地热梯度较大的西德上莱茵裂谷 (地热梯度为8℃/100m), 在2300m深处找到了第三纪烟煤; 而在地热梯度小的巴伐利亚, 在4000m深处仍是褐煤; 在西德的亚深煤田局部地区 (地热梯度为18℃/100m), 成煤虽只有500万年 (属晚第三世), 但煤的变质程度已达到挥发分产率小于5%的无烟煤。这些说明了温度是使煤变质的主要因素。当然高温持续的时间长短也是实现变质以及变质程度有差异的条件。卡瓦尔

(J. Karweil) 认为, 在50—60℃下即使经历很长时间的地质时间(两亿年以上), 也不能形成像在150℃下经历两千万年的变质程度中等(挥发分19%)的煤。另外有人认为, 只有当温度超过150℃后, 时间才起作用, 否则时间再长也不会对煤的变质发生显著的影响。例如莫斯科盆地的褐煤, 虽属古生代的早石炭世, 但因其埋藏不深而变质程度只达褐煤阶段。由此可见, 煤是在温度和时间的影响下进行变质作用的。变质过程主要是脱 H_2O 、脱 $-\text{COOH}$ 基、脱 CH_4 同时进行缩聚等。至于压力对煤变质的影响, 目前的看法尚不一致。大多数学者认为压力主要造成煤的物理结构的变化。对低变质程度的煤, 孔隙率和水分的减少以及比重的增大主要是压力起的作用; 此外, 地层的巨大压力, 特别是挤压力和剪切力促使无烟煤类晶格的形成以及向石墨晶格转化有相当大的作用。因此, 可以认为压力是煤的物理变化和结构变化的主要因素。总之, 在上述三种影响变质作用的因素下, 使煤结构中六碳环上的侧链以及官能团、挥发分逐渐减少而碳含量逐渐增高; 氢和氧的含量也减少而比重增大; 颜色变深而光泽及反射率增强; 其它的物理性质如导电性、硬度、磁性质、比热等都发生有规律的变化。应该指出, 成煤过程是由植物→泥炭→褐煤→烟煤→无烟煤变化的过程, 是有阶段的, 但又是连续的过程。

以上阐明了成煤过程的泥炭化作用、成岩作用、煤化作用、变质作用的涵义及其相互关系。特别是后两种作用是煤质学中经常要考虑的内容。煤化作用和变质作用的程度不同就使煤的性质明显不同, 因此借此可以进行分类。煤化作用的程度和变质作用的程度在本书中分别简称为煤化程度和变质程度。

第三节 煤的成因分类

根据成煤的原始物质、沉积环境、积水情况等成煤的综合因素, 可以将煤分为腐殖煤和腐泥煤两大类。这样的分类就是煤的成因分类。不同成因类型的煤, 其煤岩显微特征不同。

一、潞殖煤类

腐殖煤类又分为陆殖煤和残殖煤。陆殖煤主要是由高等植物的纤维素、木质素等不很稳定的组分形成的煤。残殖煤则由植物中的最稳定部分（即在成煤过程中不易腐败的部分）富集而形成。这些稳定的植物组分有树脂、孢囊子、花粉、角质层和木栓化组织。残殖煤常呈薄层或透镜体夹在腐殖煤中，但也有单独构成具有工业价值的煤层。残殖煤的光泽比较暗淡，甚至无光泽，韧性较大，具有粒状结构、块状结构；挥发分和氢含量以及焦油产率、发热量等都高于相同煤化程度的陆殖煤。根据残殖煤主要组成成分的不同，可以分为下列几种：

1. 角质残殖煤

云南禄劝泥盆纪地层中有典型的角质残殖煤。角质层呈粗大的或细小的长条带，颜色以黄色为主，也有呈黄绿色或橙红色的。

2. 树皮残殖煤

在江西乐平煤田、浙江长广煤田的晚二叠世煤层中，有典型的树皮残殖煤。其显微组成以木栓组织和木栓内层为主，在垂直切面上常呈叠瓦状排列。

3. 孢子残殖煤

显微组成以孢子外壁为主。常呈粒状结构，致密暗淡，韧性较大。世界上孢子残殖煤多发育于晚古生代的二叠纪地层中。我国大同煤田偶尔也见有少量孢子残殖煤夹层。

4. 树脂残殖煤

树脂残殖煤在我国的煤中很少见。

二、腐泥煤类

腐泥煤主要由湖泊、泻湖中的低等植物（藻类）和浮游生物经过部分腐解而形成的。腐泥煤大多呈透镜体或薄层夹在腐殖煤中，有时也能形成单独的可采煤层，如山东鲁西的某些石炭世煤系就有达可采厚度的腐泥煤层。腐泥煤又分为以下几种：

1. 藻煤