

绪 言

煤层地质是研究煤层的形成、形态、分布、变化以及预测的一门科学，是煤田地质学中的一个分支。

无论找煤、普查、详查、勘探以及煤矿开采，其目的层是煤层。找煤最终是为了找到具有工业价值的煤层。勘探的目的是对煤层进行详细评价，圈定煤层可采范围，并据以计算可供矿井设计、开采的煤炭储量。煤矿开采的对象是煤层，无论矿井设计、开拓布置以及回采工作面的施工方案都必须以煤层的可采性为根据进行部署。因此煤田地质工作者、矿井地质工作者，以及采矿工作者都必须研究煤层。

在勘探和开采过程中研究煤层，要查明煤层开采的地质条件，包括煤层厚度和变化，煤层及顶底板的物理机械性能，煤层的含瓦斯性，煤质及其工艺性能，以及风化氧化程度、煤层的充水程度等。

煤层研究要在煤层对比的基础上进行，为了对比清楚煤层，就必须详细研究含煤地层的结构，包括煤层层数、层序、旋回性、厚度和物质组成等，研究区域地质和矿区地质构造、查明煤层赋存的状态，研究煤层的组成和质量等。

对煤层进行研究，除了具有重要的成因理论意义外，还有重要的实用价值。

如果对煤层成因和赋存状况认识不足，会造成对煤炭储量估计失误。根据少数见煤钻孔，或者把储量估计过高，结果建井后长期达不到设计年产量，企业经济利益受损；或者把储量估计过低，使资源大量积压，不能充分发挥其作用，资源效益差。

煤层地质研究的基本任务是：

(1) 确定煤层形态：阐明煤层厚度、结构在三维空间范围内的分布，研究各种形态煤层的图文表达方法和定性、定量表达方式；

(2) 研究煤层的成因：阐明不同形态煤层的形成条件，从沼泽学、沉积学、地史学、构造地质学等方面，确定泥炭层到煤层的发育演化关系，确定含煤地层剖面上煤层发育的特点及其后期的形变，研究煤层在时间、空间上的发育不均一的原因；

(3) 进行煤层预测：确定合理的普查勘探方案，研究并探讨在一定勘探精度要求下的最优勘探网度和勘探布置形式，进而对煤层进行工业—技术评价，制订正确的开采煤层的矿井设计系统。

煤层地质的研究方法有以下几种：

(1) 煤岩学煤化学方法：目的是研究煤层的物质组成和煤层的成因，是煤层成因学的基础。

(2) 地史学方法：用历史对比方法，研究在地质历史过程中，植物界的发生发展、古地理景观的演化、气候的变迁等，这是煤层发生学研究的基础。

(3) 构造地质学方法：是研究煤层形变、煤层产状及不同地质构造环境中煤层形成和形变规律的主要方法，是区域煤层地质学研究的基本方法。

(4) 沉积学方法：沼泽是煤层形成的基本场所，沼泽的演化发育，影响到煤层的组成、结

构和形态。该方法研究在不同沉积环境（三角洲、泻湖、大陆等）条件下沼泽的发育和分布特点、各种沉积环境条件及煤层赋存的特点。

（5）统计学方法：研究定性、定量表达煤层形态的方法，统计含煤地层中含煤性与各种统计参数间的关系，研究煤层定量预测方法，探讨在一定精度前提下最优的勘探布置系统和网密度等。

各种研究的最终目的是为了应用，因此煤层定性、定量预测是本学科研究的最终结果，各种研究方法反映在最终成果上必然是综合的，而其中地质学方法应当是最基本的方法。

第一章 煤层的描述

煤层描述虽是对煤本身的描述，但又有其本身的特点。因为煤层是由不同宏观煤岩类型组成的煤分层和岩石夹层所组成的，因此除注重煤本身宏观描述外，要注意各分层之间的相互关系，还要注意软褐煤与硬褐煤及烟煤、无烟煤之间的某些差别。

第一节 软褐煤层的描述

软褐煤层大多数是属于第三纪的煤，通常厚度大，不少可作为露天矿开采对象。因此观察的视域较宽广，描述的内容比较丰富，包括以下几个方面：

- (1) 亮度分为光亮、半亮和暗淡三级；
 - (2) 含木质情况：软褐煤层中可以发现许多煤分层仍保持着原有的木本植物的残体，如树杆、树桩、小的木质断块等；
 - (3) 结构分为层状煤、结构煤、结构基质煤和基质煤；
 - (4) 断口分为阶梯状的、光滑的、贝壳状的及粗糙的等；
 - (5) 凝胶化现象分为结构凝胶、凝胶块和凝胶脉等；
 - (6) 其他标志，如含动物化石情况，含矿物质情况，以及丝质体和树脂体的性状。
- 根据以上描述内容，从宏观煤岩组成上，可以分出如表 1.1 所示的类别。

表 1.1 软褐煤层宏观煤岩组成类别

含木质情况	结 构	光亮度	表面特征
含木质煤	层状煤 结构煤 结构基质煤 基质煤	暗淡煤 半亮煤 光亮煤	粗糙 致密 不规则
不含木质煤	层状煤 结构煤 结构基质煤 基质煤	暗淡煤 半亮煤 光亮煤	粗糙 致密 不规则

对软褐煤层的描述，颜色不是主要的内容，光亮度总的来说比较低，因此大多数呈暗淡和半亮状态，而光亮煤很少。这样，煤的结构和含木质情况以及表面特征就成为主要的描述内容。

软褐煤层能够明显地区分出含木质情况，尤其是在经过风化的剥蚀面上，由于木质和一般褐煤层之间耐风化程度不同，很容易把含木质层剥离下来。这种木质层常由树杆、树枝、木质断块和树桩等组成，它们或者平行层面沿一定方向排列，或呈杂乱无章的堆积，有的单个出现，有的成层出现。树桩总的来说比较少见，但一经发现，它并不和树杆堆积在一起，而是独立地出现。这种现象说明，原始植物堆积时，有过一段距离的飘移。这种木质结构清楚的木质煤，往往表面上碳化程度很高，到内部和现代木头差不多，一经风化就碎裂成木片。

软褐煤的另一特点是在煤层中可发现凝胶化脉或块，它充填在褐煤层的裂隙内，并常具有一定方向性。这种凝胶化脉或块遇空气失水收缩率很高，可达 40%~50%。凝胶化脉与煤的界线清楚，并经常仅见于煤层的底部，根据下莱茵褐煤田的观察，仅限于煤层底部 7m 左右的范围内，脉的宽度有 20~30cm，成上宽下窄的漏斗状。这种现象说明，在软褐煤成岩期间，裂隙已被充填，可能是腐殖酸的运移或凝胶溶液沿裂隙充填所致。

图 1.1 是下莱茵褐煤田一层厚 50m 的主煤层柱状图，可作为具体煤层描述的内容和图示方法的示例。

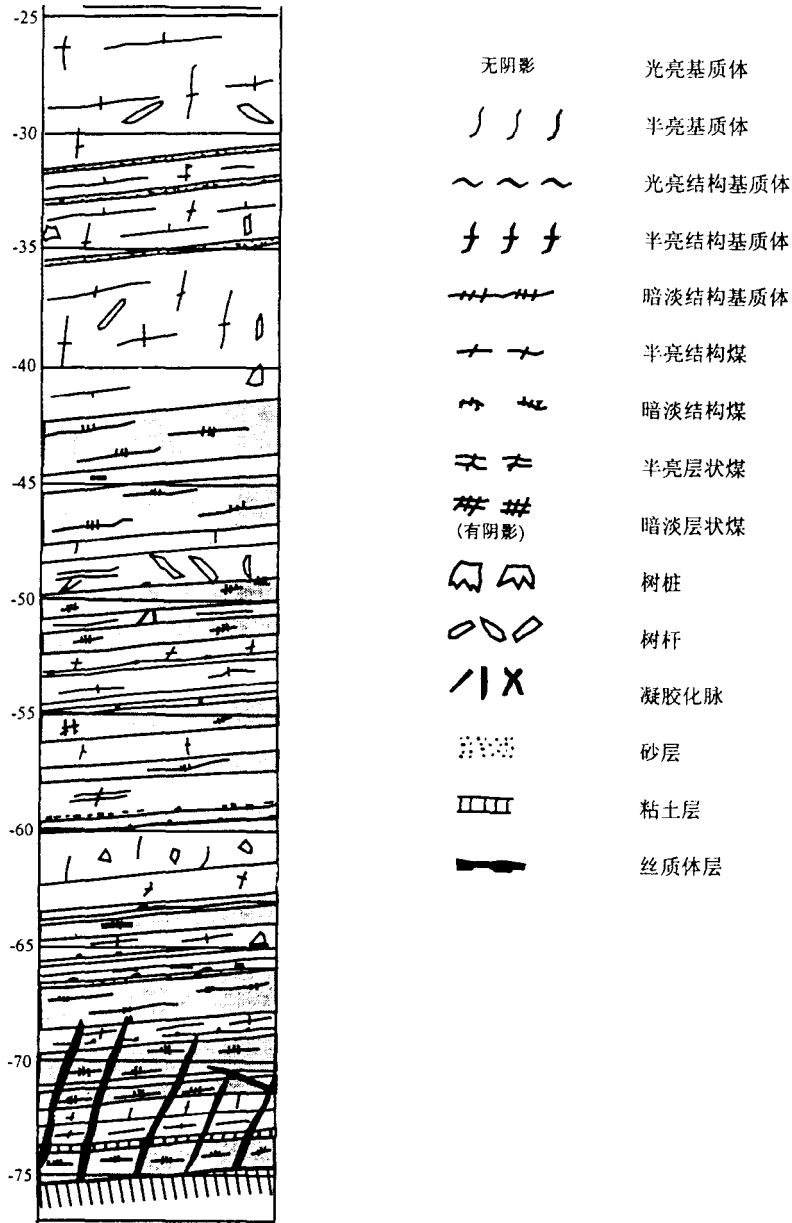


图 1.1 下莱茵褐煤田的主煤层柱状图 (引自赵隆业, 1986)

第二节 硬褐煤、烟煤和无烟煤层的描述

硬褐煤、烟煤和无烟煤层描述的首要对象是光泽，一般分为光亮的、半亮的、半暗的和暗淡的四种。煤的光亮程度和煤岩显微组分、矿物杂质含量和变质程度有关。在同一层煤内，因为变质程度相近，因此前两种是其影响的主要因素。

煤层描述时，颜色同样不具有重要意义，除硬褐煤带有黑褐色外，其余煤类均为黑色。

结构是煤层描述的重要参数，它与各种煤岩组分及矿物质的分布有关，可分为：

条带状结构：包括宽条带状、窄条带状、透镜条带状及分岔和斜交条带状；

线理状结构：厚度 $< 2\text{mm}$ 的条带称为线理；

均一结构。

这些结构的划分与煤的肉眼描述基本一致。

在煤层描述时要着重描述各种煤岩宏观类型之间的分层接触关系，即所谓的煤层理，它代表了煤层整体中各煤分层的聚积环境的变化。和沉积岩中研究层理的方法类似，可以将层理分为：

水平煤层理：包括连续水平煤层理和断续水平煤层理；

波状煤层理：包括水平波状煤层理和斜波状煤层理；

透镜状煤层理。

煤层理之间根据接触关系还可分为明显接触、渐变过渡接触等。

现已注意到，当煤变质程度增高后，各种煤岩类型之间的差别缩小，那么其间的接触关系也会变得不清楚，此时只有当其中存在薄的夹石层，或煤中矿物质有明显差别的情况下才可区分开来。

除此而外，还应当和描述煤一样，注意其中镜质组、惰性组、壳质组和矿物杂质含量的变化，以及各种包裹体和岩石夹层等的情况。现以鲁尔煤田石炭纪的 Midgard2 煤层、Ubk-3 煤层和 A 煤层三个煤层为例，说明煤层描述、分层和划分煤层类型的情况。

各个煤层在描述时，首先要对煤进行分层，并对各分煤层进行描述；还要对分煤层的镜质组、惰性组和壳质组以及矿物质进行定量统计。矿物质还应分出粘土质、砂质、碳酸盐和黄铁矿等，并分别描述各自的产状。然后根据以上描述的煤岩类型组合，对不同煤层进行成因分类，例如鲁尔煤田可分为三种类型：

类型一，主要为具有角质组的镜质组组成。粘土矿物条带和同生硫化铁矿物丰富，但是粗粒体、丝质体、大孢子体、环带孢子、厚壁孢子含量很低。

类型二，可分为上下两部分，下部较均质，为几十厘米厚的富镜质组煤；上部为镜质组或富惰性组条带的互层。富惰性组条带含有大量丝质体及丰富的粗粒体、角质体、大孢子体、环带孢子和厚壁孢子。上部分层缺少粘土矿物，同时同生硫化铁矿物含量很少。

类型三，和类型二中富含惰性组部分一样，具有相类似的煤岩显微组分组合。这种类型通常很少见。

各类型所代表煤层的特征见表 1.2；

各煤层的分层中各种组分的变化由图 1.2~1.4 绘出。

各种类型煤所代表的成因意义可以归纳为：类型一是发育在洪积平原上，因此它受地下

表 1.2 鲁尔煤田成因分类特征

类型	一	二	三
煤层	Midgard 2	Ubk-3	A
有机质/%			
镜质组	75.2	64.1	29.6
惰性组	9.7	21.6	57.5
壳质组	15.1	14.4	12.9
矿物质/%	18.3	3.3	3.7
粘土矿物加石英	15.3	0.3	2.2
同生黄铁矿	1.0	0.3	0.1
后生黄铁矿	0.6	0.8	0.4
碳酸盐矿物	1.4	1.9	1.0

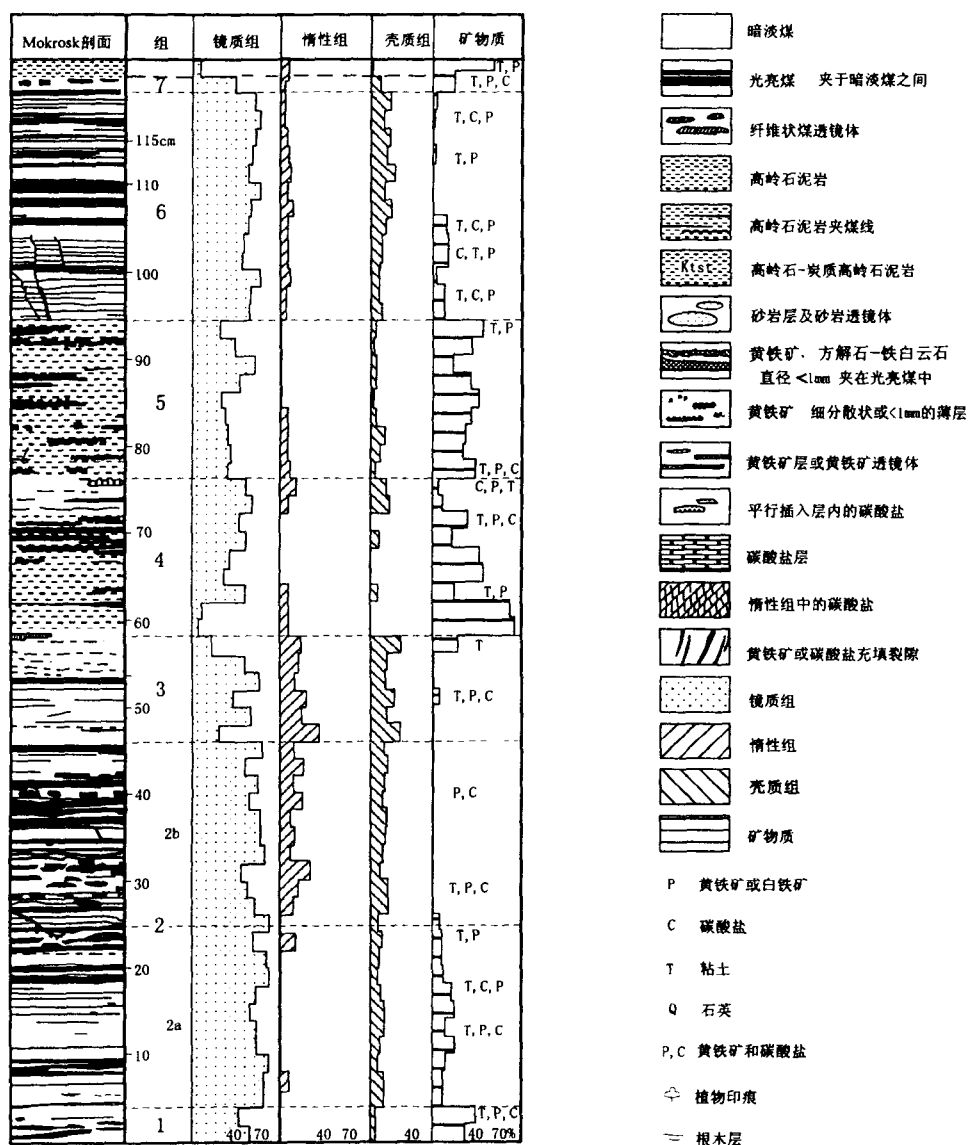


图 1.2 Midgard 2 煤层的镜质组、惰性组、壳质组和矿物质含量百分比及显微组分割面

第二章 煤层的组成

第一节 煤层的厚度

有关煤层厚度的一般术语如下：

(1) 煤层总厚度：煤层顶板到底板的垂直距离，包括所有煤分层和夹石层的厚度。

(2) 煤层最低可采厚度：在当前技术经济条件下，工业上可以利用的最低开采厚度，是储量计算的工业指标之一。

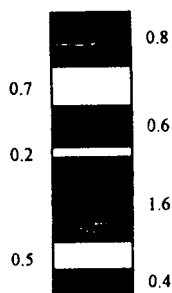


图 2.1 煤层结构及厚度示意图

(3) 煤层可采厚度：又称采用厚度，是按照储量计算规则计算的。总厚度不小于煤层最低可采厚度的煤分层（含厚度小于 0.05m 的夹矸）总和，用于储量计算和可采程度评价。

(4) 煤层有用厚度：又称有益厚度，是煤分层厚度的总和，一般用于地质研究。

例如，煤层最低可采厚度定为 0.7m，如图 2.1 所示：

$$\text{可采厚度} = 0.8 + 0.6 + 1.6 = 3.0 \text{ (m)}$$

$$\text{有用厚度} = 0.8 + 0.6 + 1.6 + 0.4 = 3.4 \text{ (m)}$$

$$\text{煤层总厚度} = 0.8 + 0.7 + 0.6 + 0.2 + 1.6 + 0.5 + 0.4 = 4.8 \text{ (m)}$$

一般来说，煤层厚度当顶底板界线清楚时很容易确定，但当煤层顶

底界线处于渐变状态时，则要用化学分析方法来确定。

为便于煤层厚度的定性描述，不少作者对厚度级别进行了研究，《煤炭资源地质勘探规范》对厚度级别的定义如表 2.1。

在地质研究时，常出现“煤线”一词，煤线与煤层的划分没有严格的厚度界线。一般来说，煤层是具有一定厚度并有一定延展方向和范围的煤和夹石的岩层，而厚度极薄且无法确定分布方向和范围的称为“煤线”。

表 2.1 煤层厚度分级表

级 别	煤层厚度/m
薄煤层	≤ 1.3
中厚煤层	1.31~3.5
厚煤层	≥ 3.5
特厚煤层 ^①	

第二节 煤层的结构

煤层的结构是指煤层和其含夹石层的情况，通常分为简单结构、复杂结构和极复杂结构三类。

(1) 简单结构煤层：煤层中没有夹石层或仅有个别夹石层；

(2) 复杂结构煤层：煤层中有夹石层，且在煤层中有一定的层位分布，或在开采过程中

^① 作者在《特厚煤层的建造组合特征类型》一文中，将褐煤厚度在 40m 以上的煤层暂定为特厚煤层。有些作者将厚度大于 8m 的烟煤、无烟煤定为特厚煤层 --- 编者注

可以剔除掉或可分层开采，相邻钻孔之间可以对比；

(3) 极复杂结构煤层：煤层中央石层较多，并且无一定的层位，相邻钻孔之间难以对比，开采过程中经常要和煤层一起开采。

煤层中的夹石层，可以是砂岩、粘土岩、石灰岩、油页岩、凝灰岩，甚而包括岩浆岩、砾岩等。其中若是高岭石泥岩或凝灰质岩石，则这种岩层相当稳定，可作为对比的标志。

煤层结构与煤层厚度有一定关系，通常煤层厚度越大，其中夹石层越多。厚煤层通常都是复杂结构煤层。因此对厚煤层的研究，结构划分研究并不重要，而要注意煤层的分岔性。

煤层和夹石层的关系，反映了成煤过程中环境的变化，所以在研究煤层结构时应注意：

夹石层的岩性及其结构和构造；

夹石层的厚度及其延展性；

夹石层和煤层的接触关系；

夹石层中是否有根化石和化石的保存程度。

通常情况下，煤层和夹石层的界线清楚，但也常见一些炭质泥岩和煤层呈过渡的接触关系。界线清楚，反映沉积有间断，或沉积环境发生突变。甚至可出现砂岩和砾岩的夹石层，见有层间冲刷现象。也可以由于煤层受挤压发生流变，周围岩石挤入煤层，或煤层穿插到顶底岩石中。也可由岩浆岩侵入体组成的夹石层，这种情况下煤层有接触变质现象。煤的夹石层可由以下岩性组成。

1. 高岭石泥岩夹层

由高岭石组成。高岭石成蠕虫状、粒状、团块状，还可以有少量水云母、黑云母等，有时含有炭质、石英碎屑。一般认为高岭石泥岩是火山碎屑物质经蚀变作用而成，也有认为是邻区风化产物经搬运而来，或原地泥质岩的风化产物，但当时地形一定比较平坦。

高岭石泥岩通常厚度薄，但分布范围极广。周义平研究滇东晚二叠世煤田中的高岭石泥岩时，曾称其分布面积达 67000km^2 。甚而有人还用它来进行大区域间的对比，如英国和西欧之间的对比、前苏联和波兰之间的对比等。

高岭石泥岩夹层和煤层的接触面通常比较清楚，其中不含根化石。

2. 砂岩、砾岩夹层

这种岩性夹层通常具有较大的厚度，和煤层的接触界面清楚，但延展不远，有时成透镜状夹在煤层之中，岩性具有上细下粗的特点，在夹石层中还可见到煤线或煤屑。

3. 泥岩或炭质泥岩夹层

和煤层之间可以是逐渐过渡或呈明显的接触关系，有时含有根化石，层理不清或呈块状。

4. 泥岩或泥质粉砂岩夹层

厚度不大，但延展较远，接触关系清楚，有保存好的植物化石或淡水动物，一般无根化石。

5. 油页岩夹层

在第三纪煤田或低煤级的煤层中，常见有油页岩夹层，有时厚度大，油页岩中可以具有动植物化石，和煤层的接触关系可以是渐变的，也可以是明显的。

以上几种夹石层，其中高岭石泥岩夹层和砂岩、砾岩夹层与煤层成因无直接的成因联系，它可以是外来的，反映了沉积环境的急速变化。

其他几种夹石层和泥炭沼泽的发育演化有一定关系，与沼泽覆水深度变化、外来无机质

的混入有关，它可以是过渡或明显接触，反映沼泽环境的渐变或突变。

至于出于构造挤压，是夹石层进入煤层中还是煤层进入顶底板岩层中，在钻孔中很难判断，但如注意其中层理、倾角的变化以及接触关系，有时也可能加以区分。

从研究煤层成因角度，则夹石层不论厚度多么薄，都要把它分出来。从勘探和开采角度考虑，0.01~0.05m的夹石层要标出，但可以合到煤层中去，但合并后煤层的灰分不能超过标准。夹石层与煤层的取舍，《煤炭资源地质勘探规范》有明确规定。

第三节 煤层的顶底板

煤层的底板是古代直接生长植物的土壤，因此常有植物根，称根土岩。根土岩在中新生代煤田中常可见直立的根鬣和痕木（树桩）化石，但在古生代的煤层底板中，常是称 Stigmarite 的横伏的鳞木或封印木的支根。煤层底板也可以由没有根化石的碎屑岩组成，一种可能是异地或微异地形成的煤层，另一种可能是后期腐烂分解的结果。通常煤层和底板之间有一个明显的界面，煤层是层状的，而底板根土岩是块状的，其间看不到直立根和煤层的依存关系。但是在非煤层中，可能发现在砂岩中有直立的煤化树。

通常底板是不具层理、团块状的泥岩，古生代煤层的底板常为灰黑色，中、新生代煤层底板颜色较浅些，多数情况下可发现根化石。

煤层和底板的接触关系是反映煤层是原地还是异地、微异地的主要标志。

BoлkoB(1973)把煤层和底板的关系分为四型(图 2.2)：

- a. 底板无根化石；
- b. 底板有根化石，但根化石只分布在具有底板标志的岩石中；
- c. 底板有根化石，根化石可存于具底板标志的岩石中，也可存于煤层过渡带的岩石中；
- d. 底板有根化石，根化石存在于有底板标志的岩层及煤层过渡带，并也见于煤层中。

同时根据其接触关系，还可分为四类：

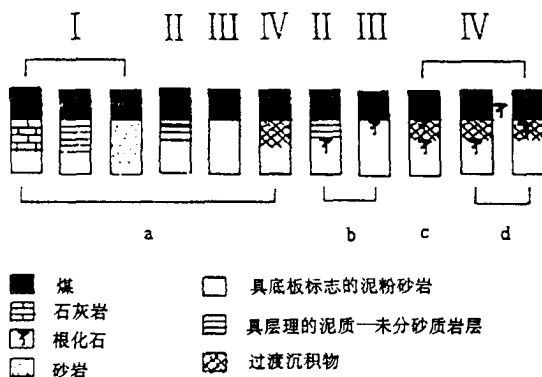


图 2.2 煤层与底板的关系

(据 BoлkoB, 1973)

I. 煤层和无底板标志岩石之间接触关系清楚；

II. 煤层和具底板标志岩石之间有过渡性沉积物，接触界面清楚；

III. 煤层和具底板标志岩石直接接触，其间无过渡性沉积物；

IV. 渐变接触。

综合以上两种标志的划分，可把煤层和底板的关系分为四组：

第一组，无根化石底板，和煤层清楚接触 (I_a、II_a、III_a、IV_a)，其中 I_a、II_a 为异地沉积，III_a、IV_a 为原地-异地沉积。

第二组，有根化石底板，和煤层清楚接触 (II_b、III_b)，其中 III_b 最为常见，根土岩和煤层之间有一明显接触面，大多数情况下表明是在原地沉积基础上叠加微异地作用，也可是煤层

和泥质沉积物压实率不同和受层间滑动影响所致。Ⅱ_b较少见，成因也较复杂，大多数情况是异地沉积的。

第三组，有根化石底板，和煤层逐渐过渡（Nc），属于原地沉积，在煤层中无树桩及根。

第四组，有根化石及树桩，和煤层逐渐过渡（Nd），属于原地沉积，在煤层中有树桩及根。

第三、四组大多数见于新生代煤田中。

对一个煤层来说，出于沉积时基底不平，煤层可以覆盖在几种岩性底板层之上，因此有几种底板接触类型存在。

在局部情况下，在煤层底板的砂岩、粉砂岩中有大的硅化木存在，这是明显的异地沉积的标志。

煤层的顶板，岩性通常是泥岩、粉砂岩、砂岩，也可以是石灰岩（泥灰岩）、油页岩、硅藻土等，煤层顶板和煤层的接触关系，可以呈明显的接触，也可以呈逐渐地过渡。煤层和顶板的关系，反映了沉积环境的变化，和聚煤作用的终止。在大多数情况下都是呈明显的接触关系，这是沉积环境突然变化的反映，例如石灰岩的顶板，顶板砂岩的冲刷等。

矿井开采过程中，很重视煤层顶板岩性及其机械强度，它会影响矿井支护和安全。因此还常区分为伪顶和老顶。伪顶即煤层之上有一薄层炭质泥岩或泥岩，再往上才是坚硬的石灰岩、砂岩、粉砂岩等老顶。这表明煤层和其顶板之间有一过渡层。

露天煤矿开采过程中发现煤层和泥灰岩、泥岩、粉砂岩等顶板岩石之间的界面是不平整的，可能是冲刷、挤压变形、岩相变化等等原因所引起。

新生代煤田的煤层中还经常见到大型脊椎动物化石，这些化石最常见分布在煤层顶板附近的煤层及岩石夹层中，并经常富集在某一固定地点。某些新生代煤田，具有巨厚的煤层，其上一岩性顶板厚度亦相当大，表明是在一种特定的聚积条件下形成的。

第四节 煤层中的结核和包裹体

煤层中常见到各种成分的结核和矿物质包裹体。它可以是自生的，也可以是后生的（成岩的）。自生的结核和矿物包裹体直接受煤形成时的环境的影响，最常见的有黄铁矿和菱铁矿。

黄铁矿结核或包裹体，可以分布在各种煤级的煤中，它和煤形成时还原程度的强弱有关，可以成为结核状、鲕状、细分散状或成为树木根或动、植物各部分的假象。黄铁矿是植物分解时产生的 H_2S 和水溶液中铁的化合物相互作用的产物，初期形成 $FeS \cdot nH_2O$ 以后在缺氧情况下转变成黄铁矿。后生作用形成的黄铁矿可充填在裂隙内、层间接触处，当在近地表情况下，黄铁矿发生氧化转化为氢氧化铁和硫酸，如与钙结合便形成石膏等。黄铁矿结核可在煤层各个部位中找到，但最常见的是在煤层接近底板及夹石层附近，并经常和丝炭共生，可能是因为在丝炭形成时，局部发生放热反应，促使泥炭沼泽中形成温度差，促进了物质的运动。与黄铁矿相伴生的还有黄铜矿、方铅矿、白铁矿等。

方解石，呈结核状的是自生的，但大多数方解石是后生的。方解石可呈细脉状充填在裂隙中或植物组织的细胞内，在煤层顶板为石灰岩的煤层中尤为发育。

菱铁矿是自生的矿物，形态多种多样，小呈鲕状，大到成菱铁矿化的树干。它代表一种还原性强的环境，经常赋存在光亮煤和半亮煤中，而在半暗煤和暗淡煤中则很少见。

粘土质结核，可以是高岭石、蒙脱石、伊利石等矿物所组成，在光亮及半亮煤中的粘土

质结核大多数是自生的，而在暗淡煤中，则可能是由陆源碎屑物质搬运而来的。

硅质结核有石英和玉髓，可沿植物残体分布或使整个树干硅化，接触变质煤中有石英充填在煤的孔隙或裂隙中。

此外，还有一些砂质岩石、砾石、火山质岩石的包裹体，大多是陆源碎屑冲刷搬运而来，或火山喷发时期的产物。还可见到岩浆岩的浑圆体，它是岩浆和煤接触时侵入到煤层中的。

煤层中还有动物化石，它常赋存在煤层顶板及夹石层附近，并有一定的层位产出。

根据对顿巴斯煤层的研究，在不同还原性的煤中，所含的矿物包裹体有差别，其中强还原性煤中有黄铁矿、重晶石、方解石；中等还原性煤中有含铁和镁的绿泥石；弱还原性煤中常见含钛的磁铁矿和铁白云石。含砂质-粉砂质的矿物包裹体在强还原性煤中比弱还原性煤中多2~3倍。

至于后生的矿物包裹体，它可以是煤在变质过程中产生的。当煤变质程度增高，到无烟煤阶段时可出现新生矿物，如水白云母和绿泥石等。而低煤化阶段的片沸石、斜方束沸石、浊沸石则减少或消失。其中诸多不稳定矿物（绿帘石-黝帘石、黑云母、辉石、角闪石、石榴子石等）。

煤中结核也称作煤核，其中可保存良好的动植物化石，原因是结核内的化石碳化程度低，所以生物结构清楚。以往曾认为煤核是海相沉积的标志，这不一定确切，因为西欧早期研究石炭纪煤是在近海相煤层中找到煤核的，现在看来中生代煤（陆相）也不一定没有煤核。

第三章 煤层沉积相

众所周知，泥炭是在沼泽沉积环境中形成的。煤层代表沼泽的沉积环境，研究煤层沉积相就必然要研究沼泽的发生和发育。在这一方面，近代地理学、沼泽学和农业科学都有大量文献作过报道。但从地质学角度研究，就应当和各地质时期的成煤环境研究结合起来，采用历史对比的方法，因为近代沼泽显然和不同历史条件下的沼泽有所差别。

第一节 近代泥炭沼泽的类别

泥炭沼泽根据水分供应的方式和形态可分为三类，即低位泥炭沼、中位泥炭沼和高位泥炭沼。

1. 低位泥炭沼

沼泽中水分的供给主要依靠地下水、地表水以及大气降水。沼泽面的形态是平坦的，沼泽中央的水面比周围地下水面略低些，在这种环境下可以有各种类型木本及草本泥炭的堆积。

2. 高位泥炭沼

沼泽中水分的供给主要是大气降水，沼泽面的形态是中央比周围稍高些，因而沼泽中央的表面略高于地下水面，其中的植物类型主要是苔藓，堆积的泥炭常是泥炭藓或称藓泥炭。

3. 中位泥炭沼

介于上述两者之间的类型。

泥炭沼由于水分供给方式的不同，使沼泽水和植物类型有差别。一般大气降水的水中缺少营养质，而由地表水及地下水补给的水中富含营养质。因此随着沼泽中水分供给方式的不同，形成的泥炭就可以区分为富营养性、中营养性和贫营养性泥炭，它和泥炭沼的类型相对应。

由表 3.1 可见，富营养性泥炭与贫营养性泥炭相比，有机质含量低、灰分高、腐殖酸高、全氮高、pH 值高、持水量低、 P_2O_5 高、吸氮量低。

表 3.1 我国各种泥炭的一般理化分析

泥炭类型		有机质/	总灰分/	纯灰分/	腐殖酸/	全 N/	P_2O_5 /	pH	持水量/	吸氮量/
型	种	%	%	%	%	%	%		%	%
富营养泥炭	草本泥炭	50~70	30~50	7~15	20~40	1.5~2.5	0.2~0.4	5.5~7.0	400~800	0.5~1.0
	木本-草本泥炭	55~70	30~45	6~9	30~40	1.5~2.0	0.2~0.3	5.5~6.5	400~700	0.5~0.8
	木本泥炭	60~70	30~40	7~10	30~50	1.5±	0.2±	5.5~6.0	400~600	0.5~0.7
中营养泥炭	草本-藓类泥炭	70~75	25~30	5~7	30±	1.0~1.5	0.18~0.2	5.0~5.5	800~1100	1.3~1.5
	木本-草本-藓类泥炭	70~80	20~30	4~6	20~30	1.0~1.5	0.18~0.2	5.0±	800~1100	1.0~1.3
贫营养泥炭	草本-泥炭藓泥炭	80~85	15~20	4±	15±	1.0~1.2	0.15~0.18	4.0~5.0	1000~1300	1.5±
	木本-泥炭藓泥炭	80~85	15~20	4~5	15~20	1.0±	0.15±	4.0~5.0	1000~1200	1.5±
	泥炭藓泥炭	90±	10±	3~4	10~15	0.6~1.0	0.15±	3.5~4.5	>1300	>1.5

(据朗惠卿等, 1983)

沼泽① 根据形成的场所可分为：

(1) 平地沼泽：包括滨海沼泽、洪泛平原沼泽、牛轭湖沼泽、冲积扇前沼泽、平原凹地沼泽等。

(2) 山地沼泽：包括谷头堵流沼泽、山谷沼泽、坡面沼泽、分水岭沼泽、火山口沼泽等。

以上都是根据沼泽所处的地形环境来划分的，它们的形态、大小随地形而变化，因此不同沼泽之间的特征千姿百态。

沼泽还可以根据其发展和演化来区分，如：

(1) 蓄水盆地沼泽化：指原来是一个蓄水的盆地或河流水系，后来随着泥炭的生长和发育逐渐淤塞形成沼泽，这种类型的沼泽化所形成的泥炭较厚。它还可分为湖泊沼泽化和河流沼泽化两类。

湖泊沼泽化：根据植物生长发育情况，朗惠卿分为：

- 沼生植物带状侵入型；
- 沼生植物“浮毯”蔓延型，浮毯可以是一侧蔓延，也可以是从四周向中央蔓延；
- 复合型。

河流沼泽化：河床平浅、河曲发达、水流速度较慢的中小型河流，随着植物的生长发育，使河流阻塞，在地面上甚而看不到河流的样子，水只能在植物覆盖层下流动，或整个被淤塞。

(2) 陆地沼泽化：在陆地表面，由于水分供应充分而转化为沼泽，可分为：

草甸沼泽化：多发生在河漫滩、阶地、湖滨、沟谷台地及分水岭区，地势低洼，水分容易积蓄而转化为沼泽；

森林沼泽化：在地势低洼的森林地带，地表水容易汇集，加上土壤是粘土质，隔水性好，从而使地表面生长苔草、藓类植物等，森林逐渐退化而形成沼泽。

还有人根据泥炭沼泽中的主要组成植物划分为木本、草本、藓类泥炭沼泽等。对于泥炭甚而褐煤，根据其中组成的主要植物类别，可进一步细分为赤杨、桦树、松、芦苇、苔草、睡莲、水藻等。例如 M. Teichmüller 在中新世下莱茵褐煤田的研究中，把褐煤的形成环境分为红杉沼泽、杨梅科—西里拉科沼泽、水紫树—落羽杉沼泽、芦苇沼泽及开阔的水域。对石炭纪的煤田划分为鳞木、种子蕨森林沼泽、芦木沼泽等，都是根据成煤的主要植物种属来进行划分的，并用以恢复古景观。

近代泥炭沼泽的研究对古代成煤环境的解释有一定的用处，尤其是中、新生代煤田。

泥炭沼泽随着其组成植物的不同，其物质成分也有差别，例如云南一些褐煤田，其中褐煤腊比较高，是由藓类植物形成的。

通常研究泥炭时，因为能区分出植物残体，因此可以用植物来划分泥炭的类别。到褐煤阶段，它还能分出木本和草本（再细分则要用孢粉分析），至于到烟煤和无烟煤阶段就不好区分了，它只能用煤的化学成分和煤岩及孢粉特征来估计。

① 关于泥炭及泥炭沼的术语和译名比较混乱，一般习惯用语和译名是 swamp 指森林沼泽（林沼）；marsh 指草沼泽（草沼）；bog 指由大气降水的贫营养高位沼泽；fen 指由地下水供给的营养性沼泽。bog peatland 和 fen peatland 泛指沼泽地；pond 是指泥炭地中的小湖沼，即小的蓄水池塘。俄文 болото、德文 moor 均相当于 peatland，泛指沼泽地。peat、torf（德文）、торф 俄文 均译为泥炭。

第二节 沼泽的发展和演化

沼泽的发展和演化比较复杂，这里主要从煤层结构的关系方面来加以探讨。

沼泽一般的演化是由低位沼泽转为高位沼泽的，因此在下部形成的泥炭是富营养质的，随着植物生长和堆积，转化为由大气降水供给而成为高位泥炭沼泽，相应种属也发生变化。从理论上讲，煤层下部矿物质多，向上逐渐转化成含矿物质少的层。

通常低位沼泽形成的厚度大，是泥炭资源中的主要部分，可厚达 10m，一般在 1m 左右。高位沼泽的特点是藓泥炭量增多，并夹有常绿的小灌木，形成贫营养性泥炭，因此灰分低。

一般正常泥炭沼的发育，有三种类型泥炭的结构存在。在剖面上如图 3.1 所示。

蓄水盆地沼泽化的发育系列是湖泊（或河流）苔草沼泽（富营养质）苔草泥炭藓沼泽（中营养质）泥炭藓沼泽（贫营养质）

陆地沼泽化的发育系列是松树林沼泽落叶松灌木丛及苔草沼泽 落叶松、藓类沼泽 → 泥炭藓沼泽。

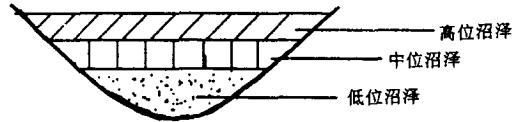


图 3.1 沼泽演化示意

但是沼泽的发育并不完全遵照上述程序进行，因此三层结构发育可能不完全。例如地下水连续不断地供应，或新构造运动持续地使地面下降，这样低位沼泽就可长期发育，缺少藓类植物的生长，因此不会发育到高位沼泽。

沼泽消亡及泥炭堆积终止可以受新构造运动的影响，如地面上的上升引起地形和水文条件的变化，也可以受河流改道、泉源干涸、气候变化、河流湖泊淤积等因素的影响，这样就使泥炭层之上为其他沉积物所覆盖。沼泽消亡的过程有渐变和突变两种，基本上和煤层与顶板接触关系相一致。



图 3.2 沼泽消亡与再生示意

沼泽消亡后还可能再生，因此泥炭层可以有多层，如同复杂结构煤层一样。同样，在沼泽演化过程中，一部分地段沼泽继续发育而边缘地段已经淤塞，使形成的泥炭层发生分岔。图 3.2 表示在沼泽中部泥炭持续生长，但在边缘，沼泽消亡后又可再生，因此在两层泥炭

层之间可以有其他沉积物。

煤层的这种分岔结构现象是很普遍的，以往习惯于用海进或海退来解释这种自然现象，实际上有不少是出于沼泽发育和消亡互相交替的结果，是水文和地形面变化引起的，它受气候和新构造运动的影响。

第三节 煤岩组分和煤层沉积相

煤层沉积相（简称煤相）是通过煤岩组分及其相互关系等方面来确定的。不同煤岩组分的形成除原始植物类别外，主要和水介质的氧化、还原条件有关。植物分解并堆积成为泥炭，以后转变为煤，必要的条件是有水分的供应。在缺少水分的条件下，植物物质氧化、分解成为腐殖质土壤，以后转变为黑色页岩。植物物质只有在水的覆盖下，在缺少氧气的条件下，才能转

变为各种煤岩组分。

细菌的活动也大大地影响着植物的分解。分解完全的植物所含的细菌数量高。研究表明，随着深度的增加，细菌的数量减少，因此它对植物分解的影响也降低。所以植物的分解作用大多是在地表近 1m 深的范围内进行的，向深部分解作用减少直至停止。

植物的分解度还与原始植物种属有关，水藓比较难分解，含水藓高的泥炭分解度低。含 C/N 比高的植物分解难。泥炭分解度还和泥炭层的通气性有关，矿物质含量高的泥炭分解度高，因此水面升降是影响泥炭分解强弱的主要因素。泥炭要聚积，则植物的堆积量必须超过分解量。热带植物生长速度最快，寒带最慢，分解度也是热带最高，寒带最低。从地质历史上看，生长速度并不是主要因素，而植物堆积后的保存条件很重要，分解度低的寒带对泥炭聚积最为有利。

植物转化成各种煤岩组分，主要是在近地表处进行，它和覆水、微地形差别等有关。

植物的各种组织，在不同覆水深度下可以发生凝胶化作用或丝炭化作用。凝胶化作用是在覆水较深、氧气供给不充分的条件下，经过还原作用使植物的各种组织分解成凝胶物质的过程，其中植物的细胞组织遇水逐渐膨胀，使胞腔缩小，根据分解完全的程度，形成木煤、木质镜煤和镜煤。如在水分供应不充分、植物组织暴露于空气中，则会缓慢地氧化并保存下来，这种作用称丝炭化作用。

自然界情况相当复杂，在原来形成泥炭的场所，如水面下降，可使原来已形成的组分再一次分解。如原来已进行过还原作用而形成的凝胶化组分，再度分解形成丝炭化基质，而原来经过丝炭化作用的植物残体，由于水面上升还可能在边缘或全部，再度进行凝胶化作用。

因此，煤层中各种显微组分的交替，反映了水位的升降变化，它可以是气候变化（干湿变化）、植物生长和堆积速度变化、大气降水差别、地表水流量变化以及海面升降等因素造成的。泥炭层的发育演化还影响到植物的生长量，一般泥炭层下部植物生长快，泥炭堆积速度也快，到泥炭层上部，由于植物生长缺少营养质，在泥炭层上不可能生长高大的树木，因而植物的堆积量减少，但如果其中有火山灰或粘土质的降下或混入，使泥炭沼的营养质增加，植物的生长量会再度增高，因此在原地生成的厚的泥炭层中，大部分中间有夹石层。

当覆水深度增大，富含蛋白质和脂肪的低等植物及浮游生物堆积、分解，在沼泽底部会形成腐泥，通常这种腐泥质层位于煤层的下部，呈透镜状夹层，灰分比较低。如果这种腐泥质层位于煤层顶部，则分布范围比较广，但灰分要高，或成为油页岩，所以油页岩一般位于煤层的上部或顶部。

Taylor 和 Warne(1960) 研究澳大利亚若干煤层的煤岩组分时，认为同一煤层的煤岩组分在相当大的范围内是比较稳定的，但也可以有某些变化，向盆地中心，镜煤和亮煤所占的比例会增加，这是因为盆地中央水体相对较深的缘故。

对煤相的划分，不同作者提出过许多方法。例如 M. Teichmüller 根据下莱茵褐煤田煤的研究，把孢粉分析和煤岩学研究结合起来，划分出芦苇沼泽、森林沼泽、苔藓沼泽和开阔水域水生腐泥沼泽等。这种划分大多适用于煤化作用低的煤层。50 年代，苏联的 Л. И. 涅菲捷耶娃根据煤岩宏观类型，如光亮煤、半亮煤、半暗煤、暗淡煤的不同组合，结合煤层在含煤岩系中的位置，分出大陆煤相组（包括植物滋蔓湖泊相、积水沼泽相、“干燥”沼泽相、流水河漫沼泽相）和滨海煤相组（泻湖相、滨海深积水沼泽相）。近来对煤层中的各种煤的成因进行了详细研究，对煤相的划分更为细微，但是其最基本的仍是研究各种煤岩组分和覆水深度的

关系，研究煤岩组分、结构和矿物质、孢粉等组合，并把煤层在含煤地层中发育的层位结合起来进行探讨。

第四节 煤层沉积相旋回

煤层沉积期间，盆地的升降、沼泽覆水的深浅、植物堆积速度的变化等都会影响煤层中各种煤岩类型和矿物杂质等的变化。研究煤层结构、煤岩组成可以帮助我们讨论煤层的沉积环境，并用来恢复沼泽发展演化历史。

Hacquabord (1967) 通过对加拿大煤田的研究，确定近海型煤田和湖相内陆煤田中的煤，其煤岩组分有差别，这种差别的原因是由于沉积环境差别所造成的。近海型煤田中的煤层，煤岩组分复杂，这是因为海面升降引起沼泽水面的变化，从而使煤岩组分多样化，但陆相盆地的煤层煤岩组合比较单一。

Shiboaka (1975) 研究澳大利亚二叠纪 Gllawarra 煤系的 Bulli 煤层，其底部镜质组含量较高，顶部则较低，如果详细研究煤层的结构，则发现其中有几个旋回存在，由下而上为底部泥质岩，向上为富含镜质组层，再上为镜质组含量少的层，最后又是泥质岩夹层 (图 3.3)。

Smith (1968) 对英国石炭纪煤层进行了研究，证实存在微植物群的层序，并把煤层岩相和孢粉相序结合起来 (表 3.2)，他用地下水位变化和植物生长的关系进行解释。他观察到镜质组含量高的煤向上变为富含惰性组的煤，认为是沼泽表面升高，泥炭增厚，使生长乔木变为生长灌木和草。以后水面再上升 (或盆地沉降速度略为加大) 又重新生长乔木，并再次聚积镜质组含量高的煤。如果水面上升过大，或盆地下降过快，则转变为泥质夹层。这种煤岩相组的出现是非随机性的。煤层剖面中镜质组出现有旋回性，但总的趋势是向煤层顶部镜质组含量减少。单个旋回的厚度在 0.1~2m 之间。如果沼泽沉积环境不稳定，则沉积旋回的交替就很频繁，或成为不完整的旋回。

表 3.2 英国石炭纪煤层微植物群的层序

孢子相组	煤岩相组
5. 石松孢子	镜煤+亮煤
4. 过渡	暗亮煤+亮暗煤
3. 环带孢子	暗煤
2. 过渡	暗亮煤+亮暗煤
1. 石松孢子	镜煤+亮煤

(据 Smith, 1968)

煤层相旋回，一般由富含镜质组向贫镜质组煤交替，但如果沉积环境不稳定，旋回不完

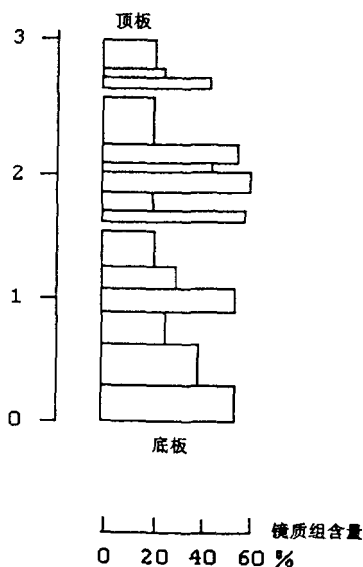


图 3.3 显微组分含量旋回示意
(据 Shiboaka, 1975)

Shibaoka (1972) 研究澳大利亚煤时发现，煤层中泥质夹层增加，则镜煤+亮煤含量增加，反之则镜煤+亮煤含量就减少。这表明沉降速度快和变化交替时，光亮煤类型的含量高。如果含量减少，则表明是在沉降相对缓慢而单一的环境中。同时认为，由富含镜质组的煤转变到贫镜质组的煤，是因为地表水逐渐退缩的结果。如重新回到富含镜质组的煤时，则是水面上升，或盆地沉降速度加大的结果。