



# 煤炭工程与技术

## 专题2：煤的形成、分类与性质

2025年春季学期

吴微

(E-mail: [weiwu\\_ep@xmu.edu.cn](mailto:weiwu_ep@xmu.edu.cn))

厦门大学管理学院中国能源政策研究院



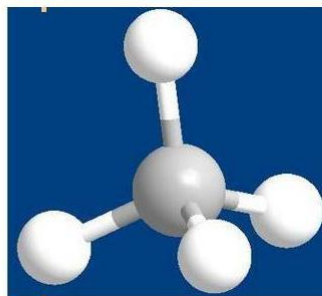
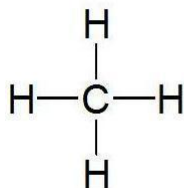
# 化学基础

## □ 电子层与化学式

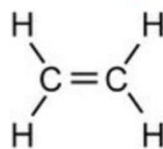
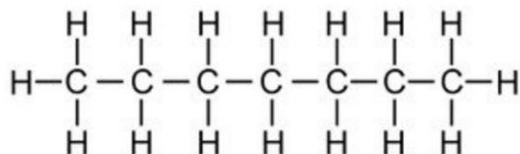
● = 电子  
● = 质子  
● = 中子

|          |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 第一<br>周期 | 1 H<br>$\begin{array}{c} \text{H} \\ (+1) \quad 1 \end{array}$                     |  |  |  |  |  |  | 2 He<br>$\begin{array}{c} \text{He} \\ (+2) \quad 2 \end{array}$                   |
| 第二<br>周期 | 3 Li<br>$\begin{array}{c} \text{Li} \\ (+3) \quad 2 \quad 1 \end{array}$           | 4 Be<br>$\begin{array}{c} \text{Be} \\ (+4) \quad 2 \quad 2 \end{array}$           | 5 B<br>$\begin{array}{c} \text{B} \\ (+5) \quad 2 \quad 3 \end{array}$             | 6 C<br>$\begin{array}{c} \text{C} \\ (+6) \quad 2 \quad 4 \end{array}$             | 7 N<br>$\begin{array}{c} \text{N} \\ (+7) \quad 2 \quad 5 \end{array}$           | 8 O<br>$\begin{array}{c} \text{O} \\ (+8) \quad 2 \quad 6 \end{array}$           | 9 F<br>$\begin{array}{c} \text{F} \\ (+9) \quad 2 \quad 7 \end{array}$             | 10 Ne<br>$\begin{array}{c} \text{Ne} \\ (+10) \quad 2 \quad 8 \end{array}$         |
| 第三<br>周期 | 11 Na<br>$\begin{array}{c} \text{Na} \\ (+11) \quad 2 \quad 8 \quad 1 \end{array}$ | 12 Mg<br>$\begin{array}{c} \text{Mg} \\ (+12) \quad 2 \quad 8 \quad 2 \end{array}$ | 13 Al<br>$\begin{array}{c} \text{Al} \\ (+13) \quad 2 \quad 8 \quad 3 \end{array}$ | 14 Si<br>$\begin{array}{c} \text{Si} \\ (+14) \quad 2 \quad 8 \quad 4 \end{array}$ | 15 P<br>$\begin{array}{c} \text{P} \\ (+15) \quad 2 \quad 8 \quad 5 \end{array}$ | 16 S<br>$\begin{array}{c} \text{S} \\ (+16) \quad 2 \quad 8 \quad 6 \end{array}$ | 17 Cl<br>$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ (+17) \quad 2 \quad 8 \quad 7 \end{array}$ | 18 Ar<br>$\begin{array}{c} \text{Ar} \\ (+18) \quad 2 \quad 8 \quad 8 \end{array}$ |

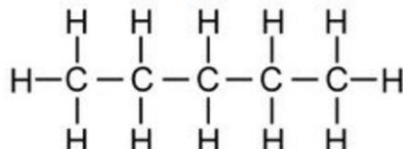
## □ 电子层与化学式



Long Hydrocarbon

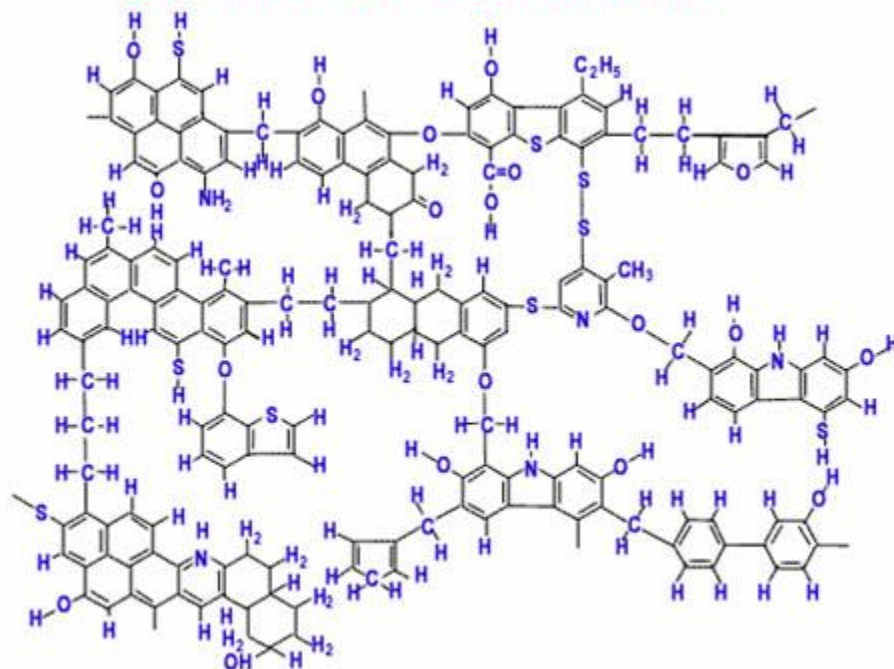


Ethene



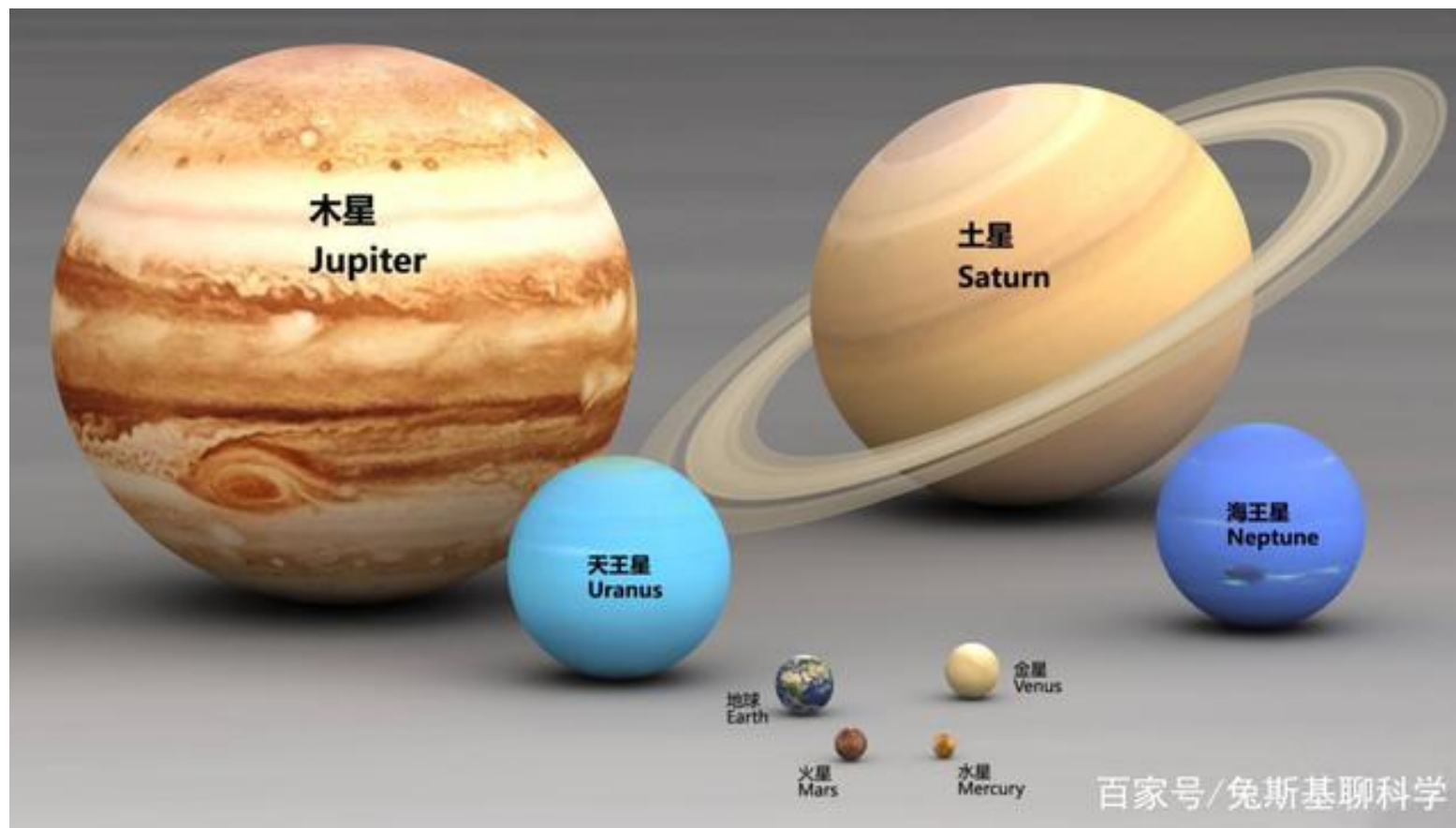
Alkane

Bituminous Coal Representation





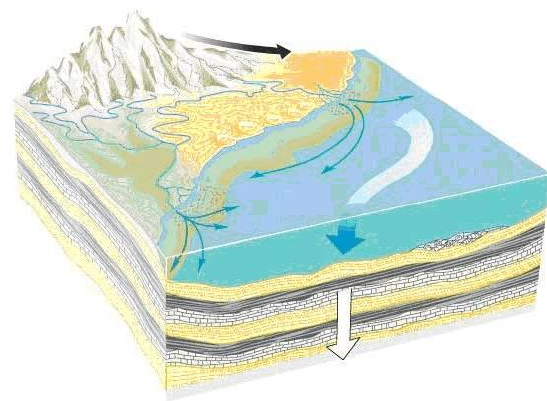
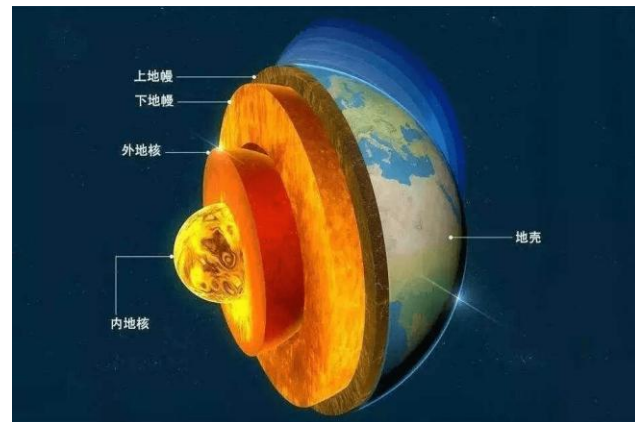
## □ 电子层与化学式



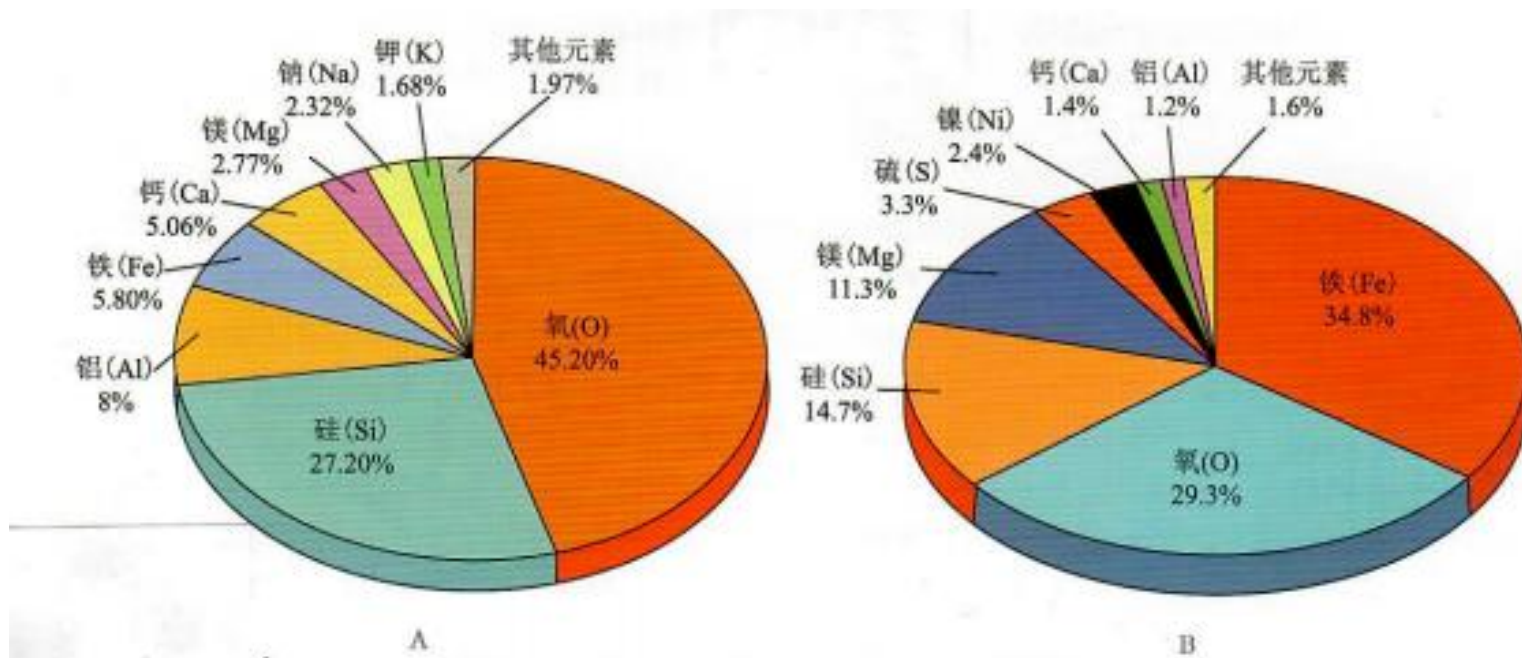


## □ 地球结构

- 地壳是指由岩石组成的固体外壳，地球固体圈层的最外层，岩石圈的重要组成部分
- 地壳的岩石主要包括沉积岩、火成岩和变质岩三类。
- 沉积岩是在地壳发展演化过程中，岩石遭受风化剥蚀作用的破坏产物，以及生物作用与火山作用的产物在原地或经过外力的搬运所形成的沉积层，又经成岩作用而成的岩石。
- 在地球地表，有70%的岩石是沉积岩，但如果从地球表面到16公里深的整个岩石圈算，沉积岩只占5%。
- 沉积岩中所含有的矿产，占全部世界矿产蕴藏量的80%。



## □ 地球结构





# 煤的种类和特征

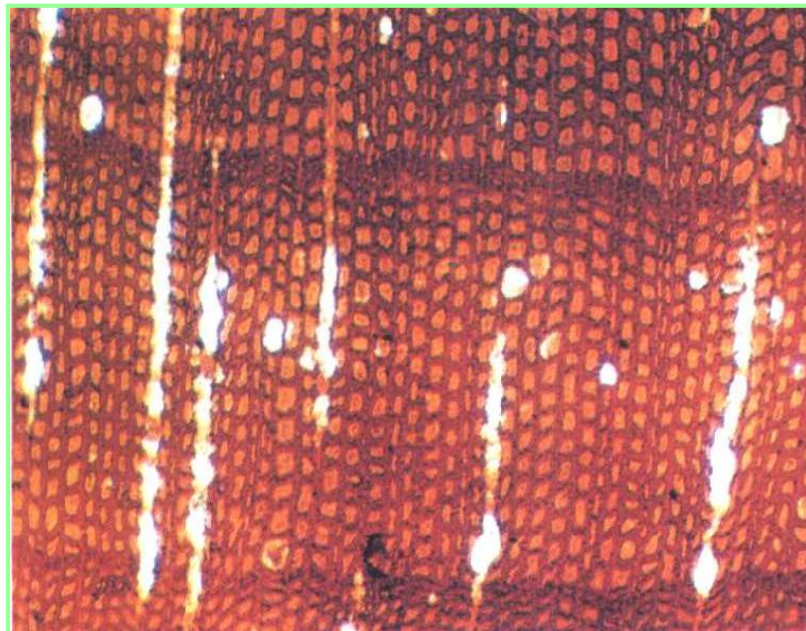




## □ 人类对煤形成的认识

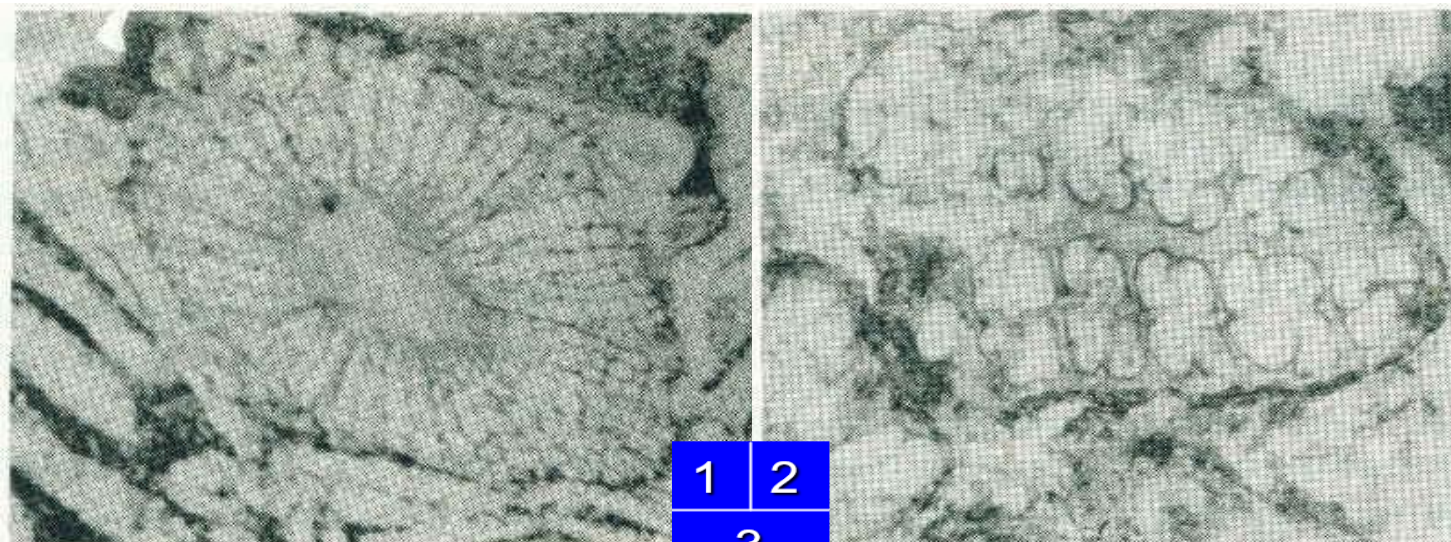
- 在十九世纪以前，人们还不能正确解释煤的形成过程。
  - 煤和地球上的其它岩石一样，一有地球，就存在了；
  - 煤是由岩石变化而来的；
  - 煤是由植物变化来的。
- 十九世纪以后，人们应用显微镜发现煤中还保留有一些植物的原来组成部分，从此揭开了成煤原始物质之谜，证实了煤是由植物变成的。例如将低煤级煤制成薄片，放在显微镜下观察，可以看到植物的原有构造(如植物的细胞结构)，有时还可以看到植物成长过程中的年轮。现在，在煤矿井下有时还可以看到煤层顶板上有树皮碎片、根、茎、叶等化石，在有些褐煤矿井中甚至可以看到折裂的树干变成的煤。所以，成煤的原始物质是植物是为无数事实所证明了的，并且已为人们所公认的结论。

## □ 人类对煤形成的认识



结构镜质体，胞腔充填角  
质镜质体，透射光80×，  
辽宁阜新J<sub>3</sub> - K<sub>1</sub>

## □ 煤中的显微组分

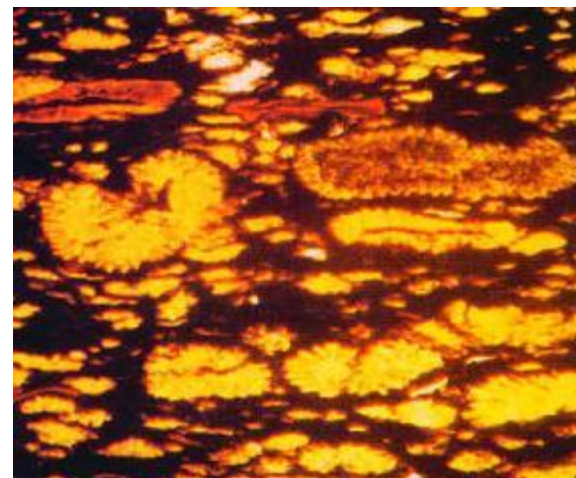
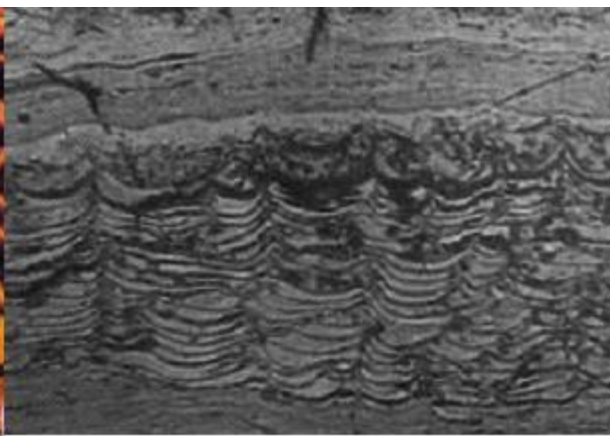
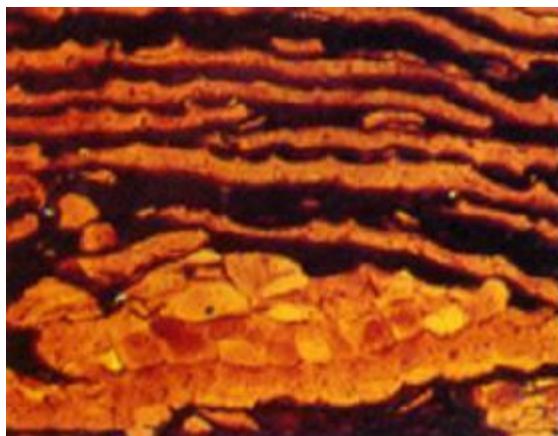
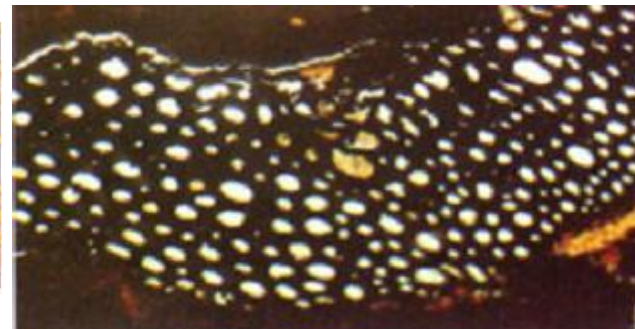
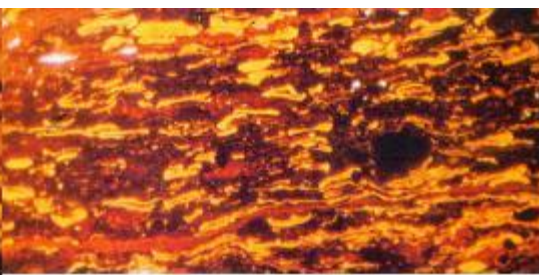
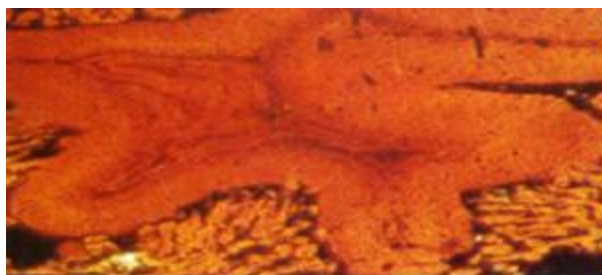


- 1—鳞木类细根
- 2—栉羊齿羽片上的原位聚合孢子囊
- 3—植物结构纵切片太原西山7号煤层





## □ 煤中的显微组分





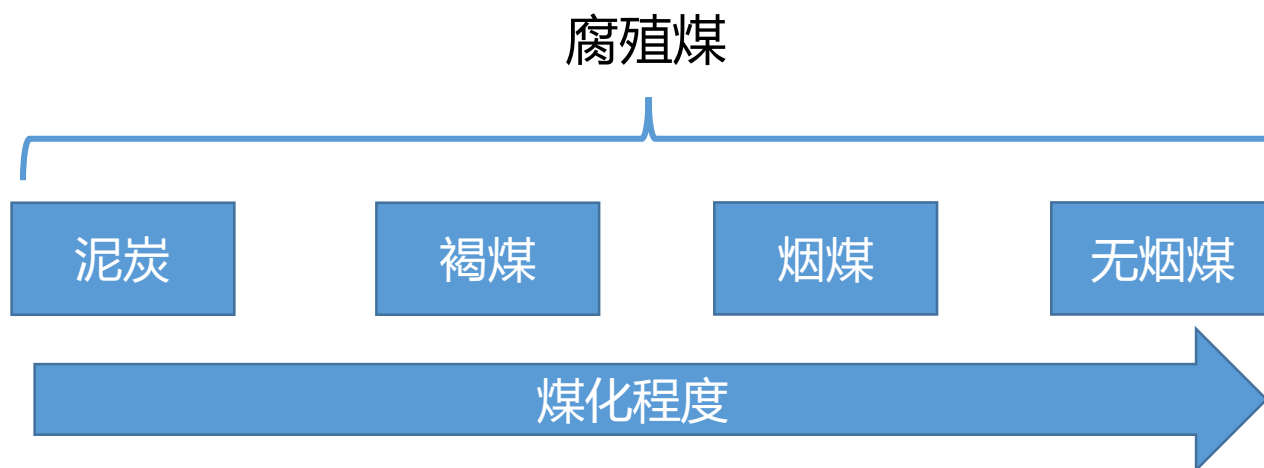
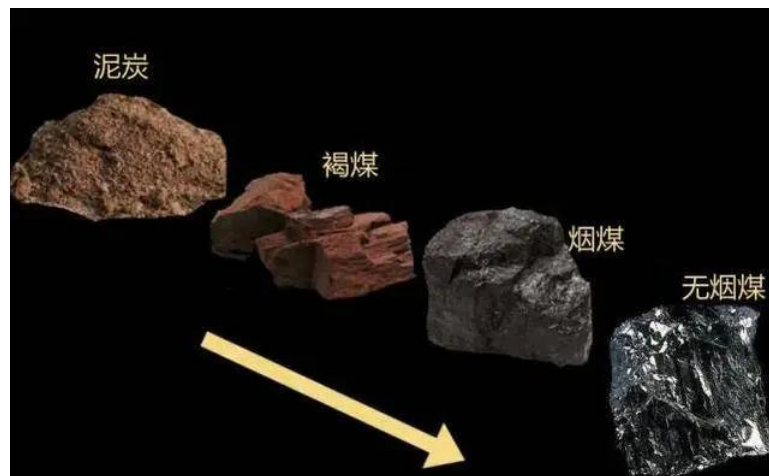
## □ 腐殖煤与腐泥煤

- 由高等植物形成的煤称为**腐殖煤**。腐殖煤是因为植物的部分木质纤维组织在成煤过程中，曾变成腐植酸这一中间产物而得名。它在自然界分布最广，储量最大。绝大多数腐殖煤都是由植物中的木质素和纤维素的主要成分形成的，亦有少量腐殖煤是由高等植物中经微生物分解后，残留的酯类化合物形成，成为残殖煤。单独成矿的残殖煤很少，多以薄层或透镜状夹在腐殖煤中。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。
- 由低等植物和少量浮游生物形成的煤称为**腐泥煤**。腐泥煤包括藻煤和胶泥煤等。藻煤主要由藻类生成，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。胶泥煤中矿物质含量大于40%即称为油页岩。
- 此外，还有腐殖煤和腐泥煤的混合体。主要有烛煤和煤精。
- 由于储量、用途和习惯上的原因，除非特别指明，人们通常所说的煤就是指由木质素、纤维素等形成的腐殖煤。



## □ 腐殖煤

- 腐殖煤是近代煤炭综合利用的主要物质基础。根据煤化度不同，腐殖煤可以分为泥炭、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。



## □ 泥炭

- 泥炭又称泥煤，外观呈不均匀的棕褐色或黑褐色。其含有大量未分解的植物组织，如根、茎、叶等残留物，有时肉眼就能看出。
- 泥炭含水量很高，一般可达85%-95%。开采出的泥炭经自然风干后，水分可降至25%-35%。干泥炭为棕黑色或黑褐色土状碎块。
- 我国泥炭储量约270亿吨，主要分布在大小兴安岭、长白山等地。
- 泥炭的用途主要有：经气化可制成气体燃料或工业原料气；经液化可制成人造液体洁净燃料。泥炭还可直接用作土壤改良剂和高质量的腐殖酸肥料。



## □ 褐煤

- 褐煤，又名柴煤（英文：Lignite (coal); brown coal ; wood coal），是煤化程度最低的矿产煤。一种介于泥炭与沥青煤之间的棕黑色、无光泽的低级煤。化学反应性强，在空气中容易风化，不易储存和运输，燃烧时对空气污染严重。
- 褐煤已成为我国主要使用的煤种之一，由于褐煤的煤化程度太低，造成燃烧时会有大量的黑灰飘在空中，如果不经过洗煤处理和提炼，大量使用劣质褐煤会导致我国雾霾问题日益严重。
- 我国褐煤资源量约为2118亿吨。主要集中在内蒙古、云南、吉林和黑龙江等地区
- 褐煤热值低，在3000大卡或以下。经过褐煤干燥，能够将其燃烧值提高到4800 甚至6000大卡。主要用作电厂发电燃料和化工原料



## □ 烟煤

- 烟煤是煤的一类。是煤进一步变质的产物，煤化程度中等。含碳量 80% ~ 90%，含氢量4% ~ 6%，含氧量10% ~ 15%。根据挥发分含量，胶质层的厚度或工艺性质，可分为 长焰煤、气煤、肥煤、炼焦煤、瘦煤和贫煤等。黑色，染手，致密而脆，条痕呈黑色，燃烧时冒浓烟，故称为烟煤。是重要的锅炉燃料和炼焦原料，也可用来干馏石油和制造煤气
- 煤煤双可分为12个种类。在烟煤中，气煤、肥煤、焦煤和瘦煤都具有不同程度的粘结性。它们被粉碎后高温干馏时，都能够“软化”和“熔融”成塑性体，再因化为块状的焦炭。这四种煤也被称为炼焦煤





## □ 无烟煤

- 无烟煤，俗称白煤或红煤。是煤化程度最大的煤。无烟煤固定碳含量高，挥发分产率低，密度大，硬度大，燃点高，燃烧时不冒烟。黑色坚硬，有金属光泽。以指甲摩擦不致染污，断口成贝壳状，燃烧时火焰短而少烟。不结焦。
- 无烟煤一般含碳量在90%以上，挥发物在10%以下。无胶质层厚度。热值约6000-6500千卡/公斤。有时把挥发物含量特大的称做半无烟煤；特小的称做高无烟煤。
- 无烟煤主要用作发电燃料、制造合成氨原料、制造炭电极和活性炭等炭素材料的原料、煤制气原料等。







# 煤的分类方法



## □ 煤的工业分析成份

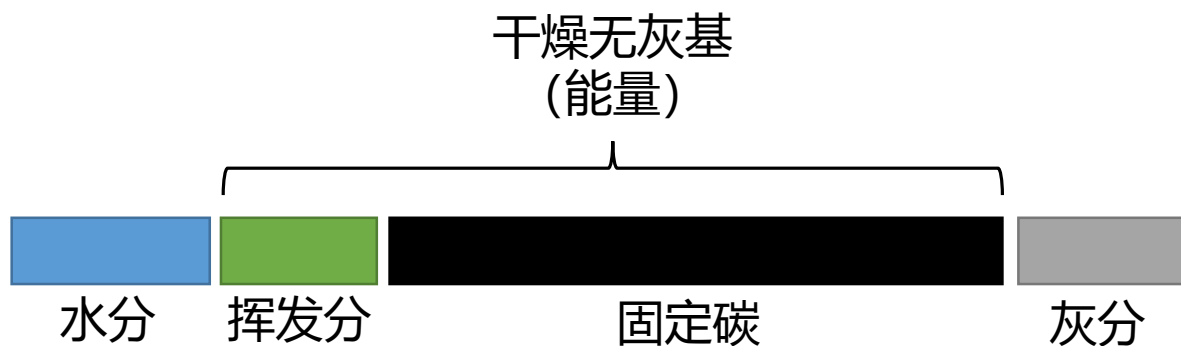
■ 煤的工业分析成份包含水分、灰分、挥发分和固定碳四项。

■ 主要指标定义：

- 煤中的水分：根据水分在煤中存在的状态，可分为外在水分、内在水分和化学水分三种。外在水分是指附着在煤炭表面以及大毛细孔中的水分，其在室温中旋转就会不断蒸发。内在水分是小毛细孔中的水位，需加热至105-110摄氏度才能蒸发。结合水是以化学方式与矿物质结合的水分，需要在高温下才能去除
- 煤的灰分：煤的灰分是指煤在燃烧后，其中矿物质在一定温度下经过一系列分解、倾倒等复杂反应后剩下的残渣。
- 干燥无灰基：干燥无灰基也叫可燃基，是煤中除去水分和灰分后，余下的成分，即为可以燃烧发热提供能量的部分。
- 挥发分：样品在规定条件下隔绝空气加热，样品中的有机物质受热分解出一部分分子量较小的液态（此时为蒸汽状态）和气态产物，这些产物称为挥发物。挥发物占煤样质量的分数称为挥发份产率或简称为挥发分。
- 固定碳：去除挥发分的焦渣中减去灰分后的残留物。



## □ 煤的工业分析成份





## □ 中国现行煤炭分类方案

- 目前，中国煤炭的分类主要采用《中国煤炭分类》（GB/T 5751-2009）。其主要分类指标有：
  - 反映煤化程度的指标：干燥无灰基挥发分（ $V_{daf}$ ），干燥无灰基氢含量（ $H_{daf}$ ）、恒湿无灰基高位发热量（ $Q_{gr,maf}$ ）、目视比色透光率（ $P_M$ ）；
  - 反映黏结性和结焦性的指标：黏结指数（ $G$ ）、胶质层最大厚度（ $Y$ ）、奥亚膨胀度（ $b$ ）。



## □ 煤的分类总表

| 类 别 | 符 号 | 数 码  | 分 类 指 标        |            |
|-----|-----|--|----------------|------------|
|     |     |  | $V_{daf} / \%$ | $P_M / \%$ |
| 无烟煤 | WY  | 01,02,03   | $\leq 10.0$    | —          |
| 烟 煤 | YM  | 11,12,13,14,15,16<br>21,22,23,24,25,26<br>31,32,33,34,35,36<br>41,42,43,44,45,46 | $> 10.0$       | —          |
| 褐 煤 | HM  | 51,52  | $> 37.0$       | $\leq 50$  |





## □ 无烟煤的分类

- 无烟煤的分类指标除了挥发份外，还有氢含量。氢含量直接影响了无烟煤的品质。

| 类 别   | 符 号 | 数 码 | 分 类 指 标        |                |
|-------|-----|-----|----------------|----------------|
|       |     |     | $V_{daf} / \%$ | $H_{daf} / \%$ |
| 无烟煤一号 | WY1 | 01  | 0~3.5          | 0~2.0          |
| 无烟煤二号 | WY2 | 02  | > 3.5~6.5      | > 2.0~3.0      |
| 无烟煤三号 | WY3 | 03  | > 6.5~10.0     | > 3.0          |



## □ 烟煤的分类

| 类 别     | 符 号   | 数 码 | 分 类 指 标            |                |             |              |
|---------|-------|-----|--------------------|----------------|-------------|--------------|
|         |       |     | $V_{daf} / \%$     | $G_{RI}$       | $Y / mm$    | $b / \%$     |
| 贫 煤     | PM    | 11  | $> 10.0 \sim 20.0$ | $\leq 5$       |             |              |
| 贫 瘦 煤   | PS    | 12  | $> 10.0 \sim 20.0$ | $> 5 \sim 20$  |             |              |
| 瘦 煤     | SM    | 13  | $> 10.0 \sim 20.0$ | $> 20 \sim 50$ |             |              |
|         |       | 14  | $> 10.0 \sim 20.0$ | $> 50 \sim 65$ |             |              |
| 焦 煤     | JM    | 15  | $> 10.0 \sim 20.0$ | $> 65$         | $\leq 25.0$ | $(\leq 150)$ |
|         |       | 24  | $> 20.0 \sim 28.0$ | $> 50 \sim 65$ | $\leq 25.0$ | $(\leq 150)$ |
|         |       | 25  | $> 20.0 \sim 28.0$ | $> 65$         |             |              |
| 肥 煤     | FM    | 16  | $> 10.0 \sim 20.0$ | $(> 85)$       | $> 25.0$    | $(> 150)$    |
|         |       | 26  | $> 20.0 \sim 28.0$ | $(> 85)$       | $> 25.0$    | $(> 150)$    |
|         |       | 36  | $> 28.0 \sim 37.0$ | $(> 85)$       | $> 25.0$    | $(> 220)$    |
| 1/3 焦 煤 | 1/3JM | 35  | $> 28.0 \sim 37.0$ | $> 65$         | $\leq 25.0$ | $(\leq 220)$ |
| 气 肥 煤   | QF    | 46  | $> 37.0$           | $(> 85)$       | $> 25.0$    | $(> 220)$    |



## □ 烟煤的分类

| 类 别    | 符 号   | 数 码 | 分 类 指 标            |                |             |              |
|--------|-------|-----|--------------------|----------------|-------------|--------------|
|        |       |     | $V_{daf} / \%$     | $G_{RI}$       | $Y / mm$    | $b / \%$     |
| 气 煤    | QM    | 34  | $> 28.0 \sim 37.0$ | $> 50 \sim 65$ | $\leq 25.0$ | $(\leq 220)$ |
|        |       | 43  | $> 37.0$           | $> 35 \sim 50$ |             |              |
|        |       | 44  | $> 37.0$           | $> 50 \sim 65$ |             |              |
|        |       | 45  | $> 37.0$           | $> 65^*$       |             |              |
| 1/2中黏煤 | 1/2ZN | 23  | $> 20.0 \sim 28.0$ | $> 30 \sim 50$ |             |              |
|        |       | 33  | $> 28.0 \sim 37.0$ | $> 30 \sim 50$ |             |              |
| 弱黏 煤   | RN    | 22  | $> 20.0 \sim 28.0$ | $> 5 \sim 30$  |             |              |
|        |       | 32  | $> 28.0 \sim 37.0$ | $> 5 \sim 30$  |             |              |
| 不黏煤    | BN    | 21  | $> 20.0 \sim 28.0$ | $\leq 5$       |             |              |
|        |       | 31  | $> 28.0 \sim 37.0$ | $\leq 5$       |             |              |
| 长焰煤    | CY    | 41  | $> 37.0$           | $\leq 5$       |             |              |
|        |       | 42  | $> 37.0$           | $> 5 \sim 35$  |             |              |



## □ 褐煤的分类

- 褐煤的分类指标除了镜质透光率外，还有高位发热量。

| 类 别  | 符 号 | 数 码 | 分 类 指 标    |                              |
|------|-----|-----|------------|------------------------------|
|      |     |     | $P_M / \%$ | $Q_{gr, maf} / \text{MJ/kg}$ |
| 褐煤一号 | HM1 | 51  | 0~30       | —                            |
| 褐煤二号 | HM2 | 52  | > 30~50    | $\leq 24$                    |





# 煤的形成

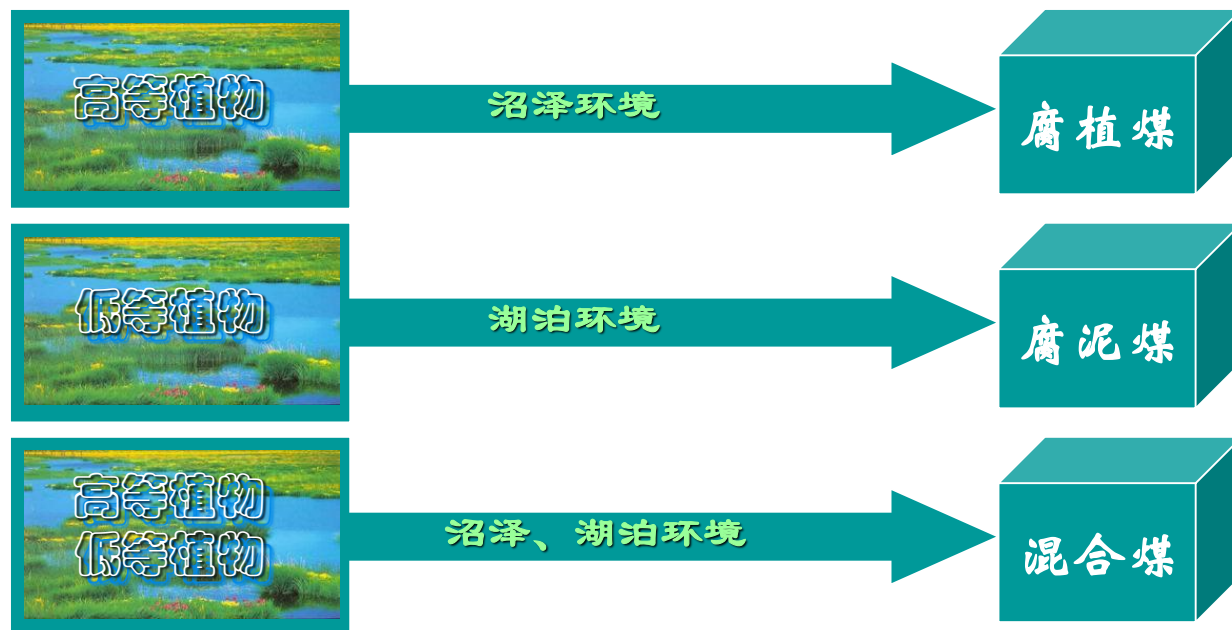


## □ 煤的形成

- 观看视频
- <https://haokan.baidu.com/v?vid=9704770340739852915>
- <https://haokan.baidu.com/v?vid=12864159607919399750>

## □ 煤的形成

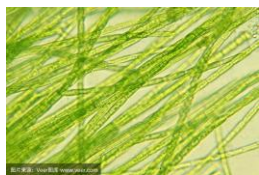
- 煤是由植物遗体经过复杂的生物化学、地球化学、物理化学作用转变而成的一种固体可燃有机岩，是由多种高分子化合物和矿物质所组成的复杂混合物，是一种极其重要的沉积矿产。
- 根据成煤植物的不同，煤主要可分为腐植煤和腐泥煤



## □ 成煤物质

### ■ 植物可以分为低等植物和高等植物两大类

#### ➤ 低等植物 — 主要是菌类和藻类

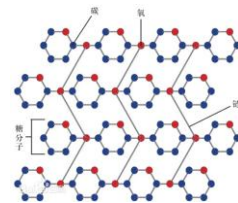
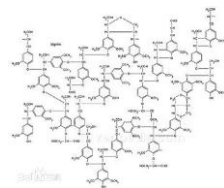


- 1) 由单细胞或多细胞构成，以蛋白质为其主要组成成分；
- 2) 基本呈丝状体和叶状体；
- 3) 构造简单，不具备各种植物器官的分化；
- 4) 多生活于水体中而呈浮游状态，故称也为浮游生物。
- 5) 在地史早期(元古代到早泥盆世)，它们构成了当时植物界的主体。

#### ➤ 高等植物—苔藓植物、蕨类植物、种子植物



- 1) 它们的结构复杂，根、茎、叶等器官分明；
- 2) 组成植物的基本结构单元是细胞。细胞由细胞壁和原生质组成。
- 3) 细胞壁的主要组分是：纤维素、半纤维素、木质素。
- 4) 原生质是细胞的内含物，它是由蛋白质、脂肪和果胶质等一些碳水化合物组成的。







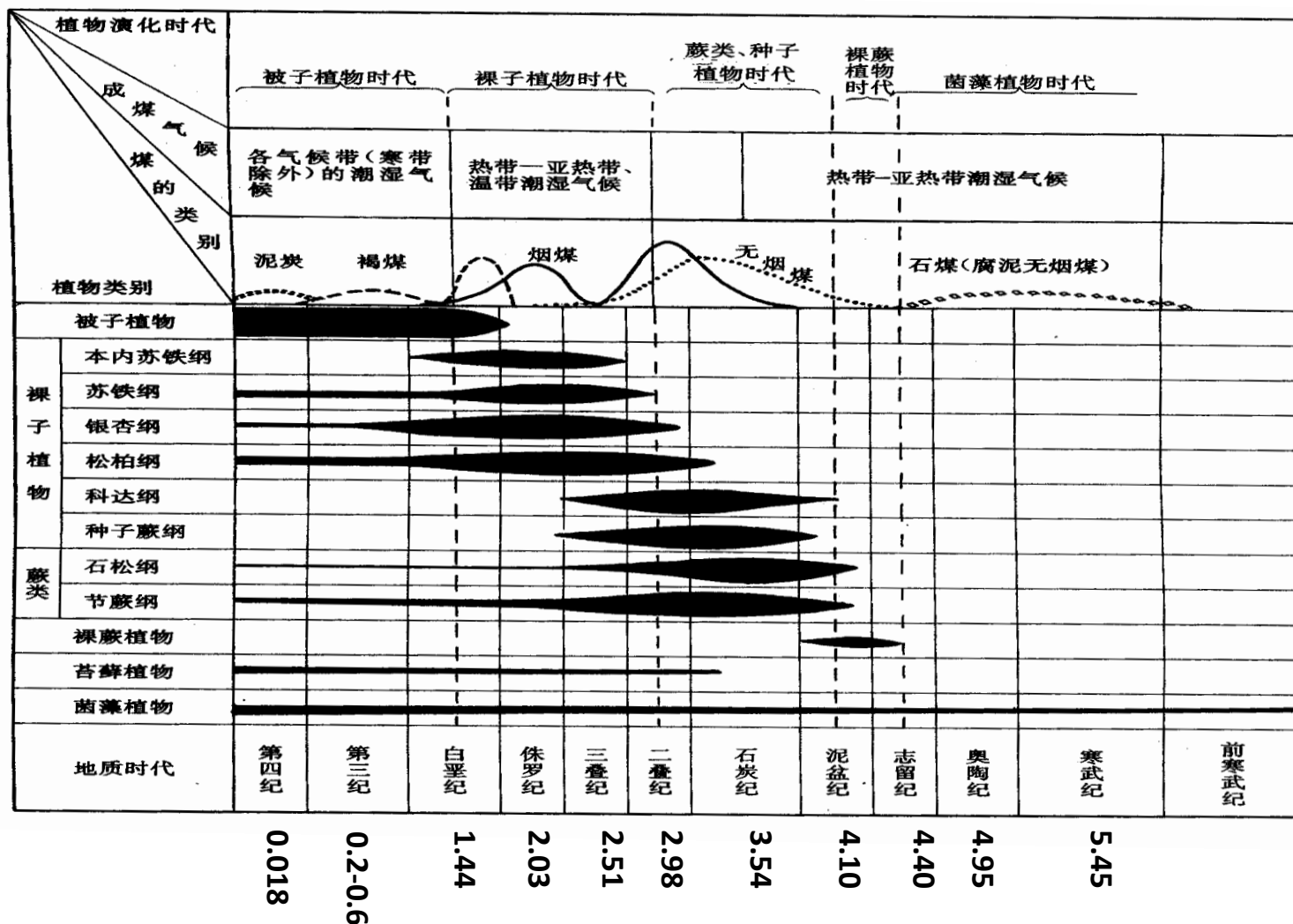
## □ 成煤物质

### ■ 植物的演化对煤的形成和聚积有很重要的影响：

- 煤的形成和大量聚积始于植物出现之后。只有植物大量的繁殖和发展，才会有聚煤作用的发生。
- 由于植物从水生到陆生、从低级向高级的发展和演化，聚煤作用在地质历史发展过程中也在发生变化，成煤环境从浅海到滨海直至扩大到内陆，聚煤作用不断增强。
- 新的聚煤时期的出现，都是以新门类植物群的出现为前提。



## 不同地质年代的主要煤种

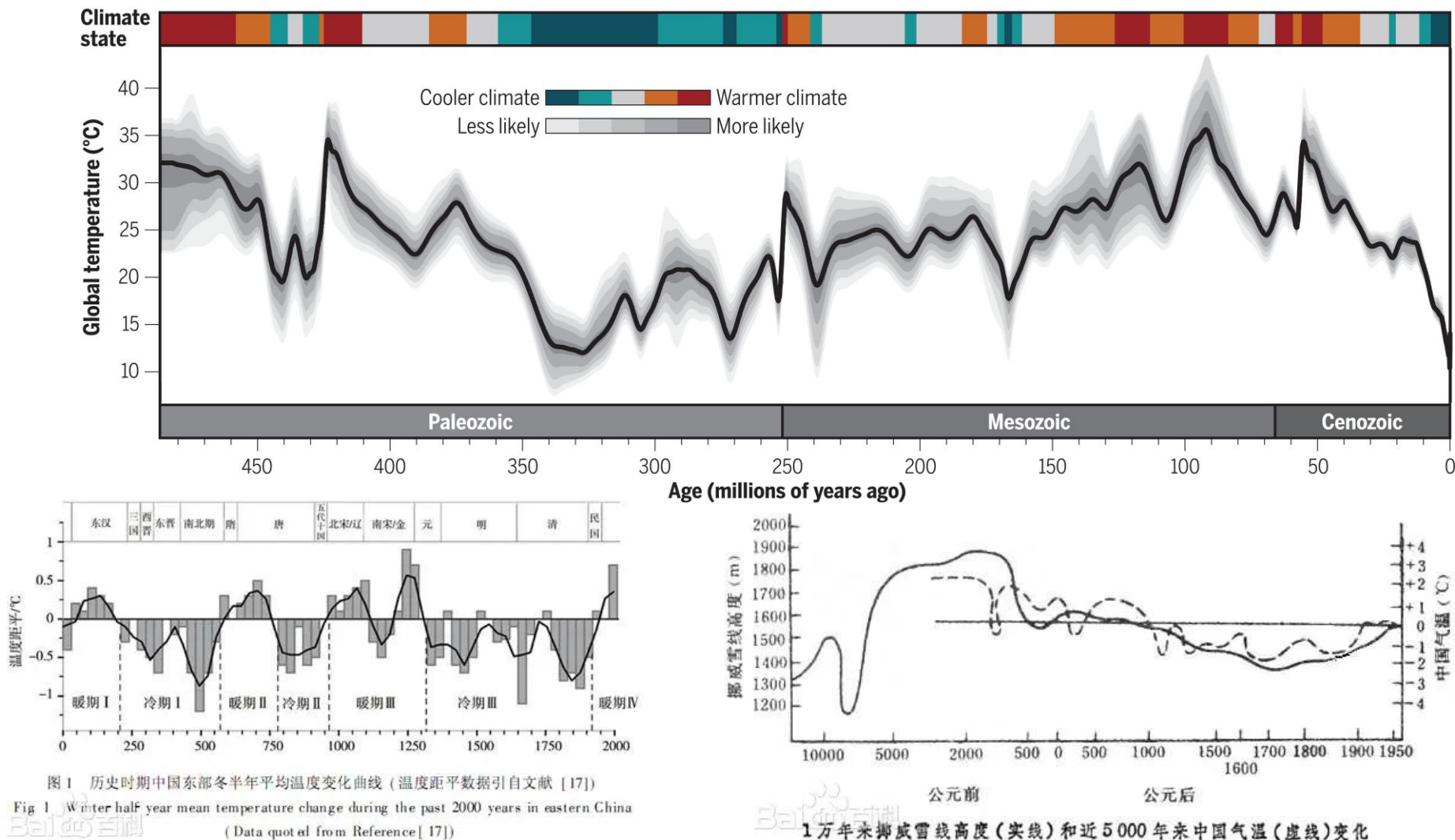




## 不同地质年代的主要煤种

| 代(界)   |      | 纪(系)    | 距今年代<br>(百万年) | 中国主要<br>成煤期▲ | 生 物 演 化 |       | 煤 种             |
|--------|------|---------|---------------|--------------|---------|-------|-----------------|
|        |      |         |               |              | 植 物     | 动 物   |                 |
| 新生代(界) |      | 第四纪(系)  | 1.6           | ▲            | 被子植物    | 出现古人类 | 泥炭              |
|        |      | 晚第三纪(系) | 23            |              |         | 哺乳动物  | 褐煤为主,<br>少量烟煤   |
|        |      | 早第三纪(系) | 65            |              |         |       |                 |
| 中生代(界) |      | 白垩纪(系)  | 135           | ▲            | 裸子植物    | 爬行动物  | 褐煤、烟煤,<br>少量无烟煤 |
|        |      | 侏罗纪(系)  | 205           |              |         |       |                 |
|        |      | 三叠纪(系)  | 250           |              |         |       |                 |
| 古生代(界) | 晚古生代 | 二叠纪(系)  | 290           | ▲            | 蕨类植物    | 两栖动物  | 烟煤<br>无烟煤       |
|        |      | 石炭纪(系)  | 355           |              | 裸蕨植物    |       |                 |
|        |      | 泥盆纪(系)  | 410           |              |         |       |                 |
|        | 早古生代 | 志留纪(系)  | 438           | 菌藻植物         | 鱼类      | 石煤    |                 |
|        |      | 奥陶纪(系)  | 510           |              | 无脊椎动物   |       |                 |
|        |      | 寒武纪(系)  | 570           |              |         |       |                 |
| 元古代(界) | 新元古代 | 震旦(系)   | 1000          |              |         |       |                 |
|        | 中元古代 |         | 1600          |              |         |       |                 |
|        | 古元古代 |         | 2500          |              |         |       |                 |
| 太古代(界) |      |         | 4000          |              |         |       |                 |

## 地球历史气温







## □ 植物残骸的堆积条件

### ■ 植物残骸的堆积条件

- 植物遗体不是在任何环境下都能够堆积起来而转化成泥炭和腐泥的，必须具备两个基本条件：
  - 1) 必须有大量植物的持续繁殖和发展，这是成煤的物质基础；
  - 2) 植物遗体堆积起来后应及时与空气隔绝，以使植物遗体不被分解，能保存下来并进一步转化成泥炭或腐泥。
- 自然界中，符合这两个条件的堆积环境中，最主要的是沼泽（或泥炭沼泽）。



## □ 植物残骸的堆积条件

### ■ 泥炭的形成与累积过程

- 堆积的增长量超过分解量才有可能形成泥炭层。
- 泥炭沼泽的垂直剖面可划分为：氧化环境的表层、过渡条件的中间层、还原环境的底层。
- 泥炭的形成与累积取决于：有机植物的增长量

### ■ 植物残体的分解速度

- 影响分解速度的因素：主要有微生物的种类、数量、水热条件、土壤的酸碱度、有机物的组成。
  - 生物的种类：喜氧的与厌氧的，喜氧的对泥炭的形成与积累不利。
  - 微生物数量：随土壤埋深增大而减少
  - 水分和热量：微生物在土温20-30度，湿度60%-80%时，活动能力最强
  - 酸碱度：pH=7-8对微生物活动有利
  - 有机质的组成：泥炭藓<针叶木本植物<阔叶木本植物<草本植物
  - 泥炭的积累速度：0.5-2.2 mm/a。



## □ 植物残骸的堆积方式

### ■ 植物残骸的堆积方式

#### ➤ 1. 原地生成说

植物残体没有经过搬运，在原地堆积并转变为泥炭

#### ➤ 2. 异地生成说

泥炭层形成的地方不是成煤植物生长的地方。证据：树根倒置的木化石等。



## □ 泥炭沼泽

### ■ 沼泽及其形成条件

- 沼泽是指有植物生长的常年积水的洼地。沼泽中植物死亡后其遗体能够被沼泽水所覆盖，使其与空气隔绝而不被完全氧化分解，并在逐渐堆积过程后经以生物化学作用为主的变化后可转变成泥炭的，称为泥炭沼泽
- 沼泽的形成和发育是地质、地貌、气候、水文、土壤、植被等多种自然因素综合作用的产物。

### ■ 泥炭沼泽的发育地带

- 泥炭沼泽重要发育地带 — 滨海平原：海洋与陆地相互作用的结果；
- 内陆有利发育泥炭沼泽的地区 — 河湖地带。

### ■ 沼泽的形成方式

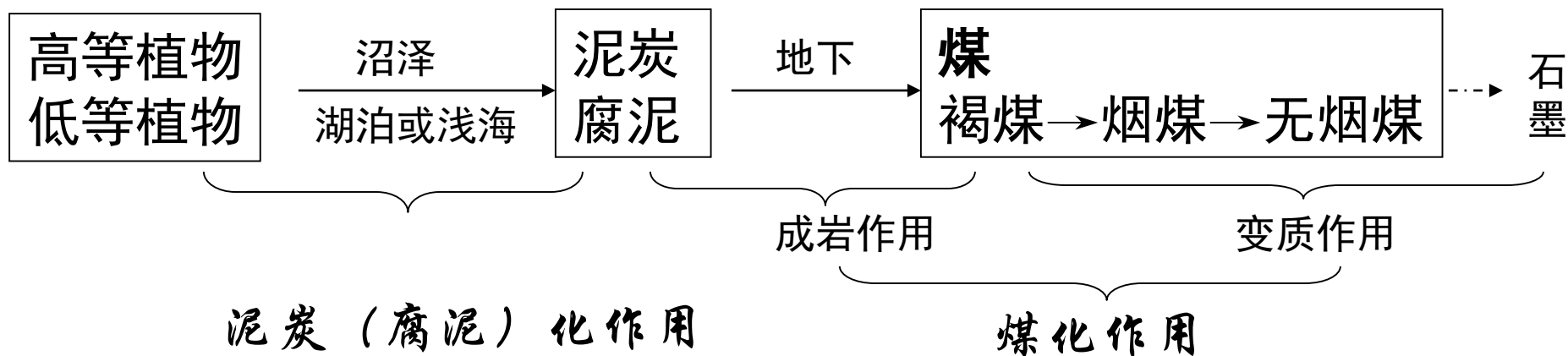
- 水流的停滞、地壳的下降和潜水面的上升，湖泊、泻湖、海湾等水体，由于水流携带或岸边冲刷的泥沙的堆积，水体变浅，高等植物茂盛，形成沼泽。



## □ 成煤作用

植物从死亡、堆积到转变为煤  
所经历的一系列演化过程

**成煤作用**



高等植物从死亡到变成泥炭过程  
低等植物从死亡到变成腐泥过程  
泥炭(腐泥)变成褐煤的过程  
褐煤 → 烟煤 → 无烟煤的过程

→ 泥炭化作用  
→ 腐泥化作用  
→ 成岩作用  
→ 变质作用

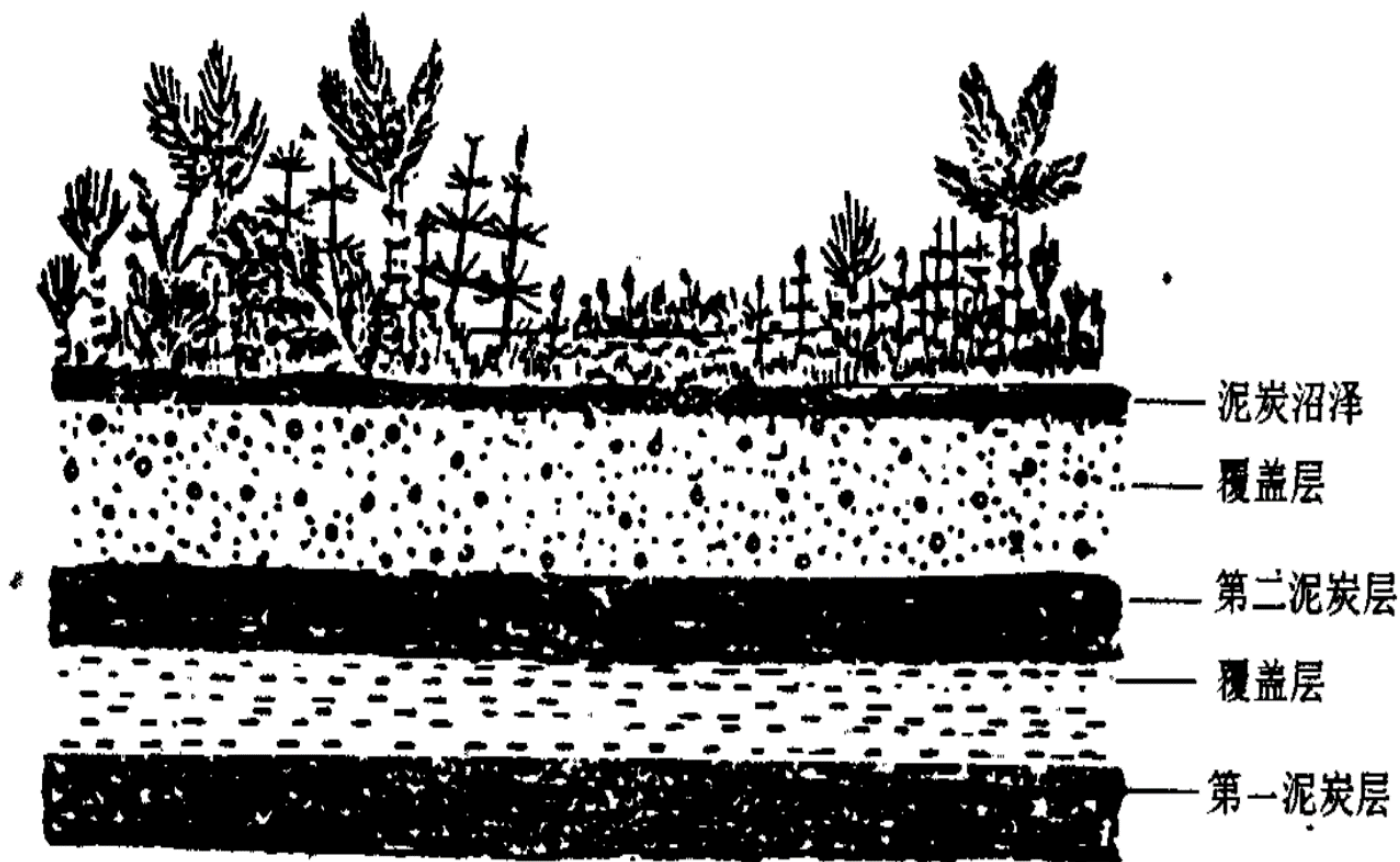


## □ 泥炭化作用

- 高等植物遗体在沼泽中堆积经生物化学变化转变成泥炭的过程。可分为两个阶段：生物化学分解作用与合成作用。
- 分解作用：植物首先在微生物作用下，分解和水解为分子量较小的性质活泼的化合物。
- 合成作用：小分子化合物之间相互作用，进一步合成新的较稳定的有机化合物，如腐植酸、沥青质等。



## □ 沼泽中泥炭的形成





## □ 泥炭





## □ 腐泥化作用

- 腐败作用（腐泥化作用）指低等生物遗体在沼泽中经生物化学变化转变成腐泥的过程。
- 生长在静水湖泊中的微生物(主要是浮游生物)死亡后，在没有空气存在下发生的分解过程。其结果生成一种含碳、氢较原来物质为多，含氧较原来物质少的新物质—腐泥。腐泥是一种富含水和沥青质的淤泥状物质。与泥炭特征有区别。





## □ 沉积有机质的聚集条件

### ■ 沉积有机质聚集条件：

- 1) 足够生物量的供给；
- 2) 存在生物聚合物向沉积聚合物转化的环境条件；
- 3) 保证沉积有机质不被无机沉积物过分“稀释”而相对集中。
- 4) 沉积有机质形成后能够得以妥善保存而在一定地质历史中不被再次破坏



## □ 成煤的必要条件

- 植物条件 — 物质基础，即要有大量的植物，提供成煤的物质来源；
- 气候条件 — 影响植物生长，同时影响植物的分解。即利于陆生植物的繁茂生长的温暖湿润气候；
- 自然地理条件 — 植物堆积场所，利于生物细菌的繁衍和活动的缺氧条件-泥炭沼泽环境；
- 地壳运动条件（主导条件） — 埋藏条件。持续下陷的盆地或低地，以便造成植物残骸和无机沉积物的大量堆集等。同时，沼泽水位的逐步抬升，以避免有机质的氧化分解。再次，在沼泽生存过程中，碎屑沉积物的注入必须是平缓的，以保证泥炭的质量。



## □ 煤的成岩作用

- 泥炭形成后,由于盆地的沉降,在上覆沉积物的覆盖下被埋藏在地下,经压实、脱水、增炭作用,游离纤维素消失,出现了凝胶化组分,逐渐固结并具有了微弱的反射力,经过这种物理化学变化转变成年轻褐煤,发生在地下200~400 m的浅层。发生复杂的化学和物理煤化作用。泥炭逐渐变成了较为致密的岩石状的褐煤。
  - 化学煤化作用: 侧链上的亲水官能团,以及环氧数目不断减少,形成挥发成分,炭增加,氧和水分减少。
  - 物理煤化作用: 成岩凝胶化作用。



## □ 煤的变质作用

- 当褐煤层继续沉降到地壳较深处时，上覆岩层压力不断增大，地温不断增高，褐煤中的物理化学作用速度加快，煤的分子结构和组成产生了较大的变化。碳含量明显增加，氧含量迅速减少，腐植酸也迅速减少并很快消失，褐煤逐渐转化成为烟煤。随着煤层沉降深度的加大，压力和温度提高，煤的分子结构继续变化，煤的性质也发生不断的变化，最终变成无烟煤。
- 根据变质条件和变质特征的不同，煤的变质作用可以分为深成变质作用、岩浆变质作用和动力变质作用三种类型。

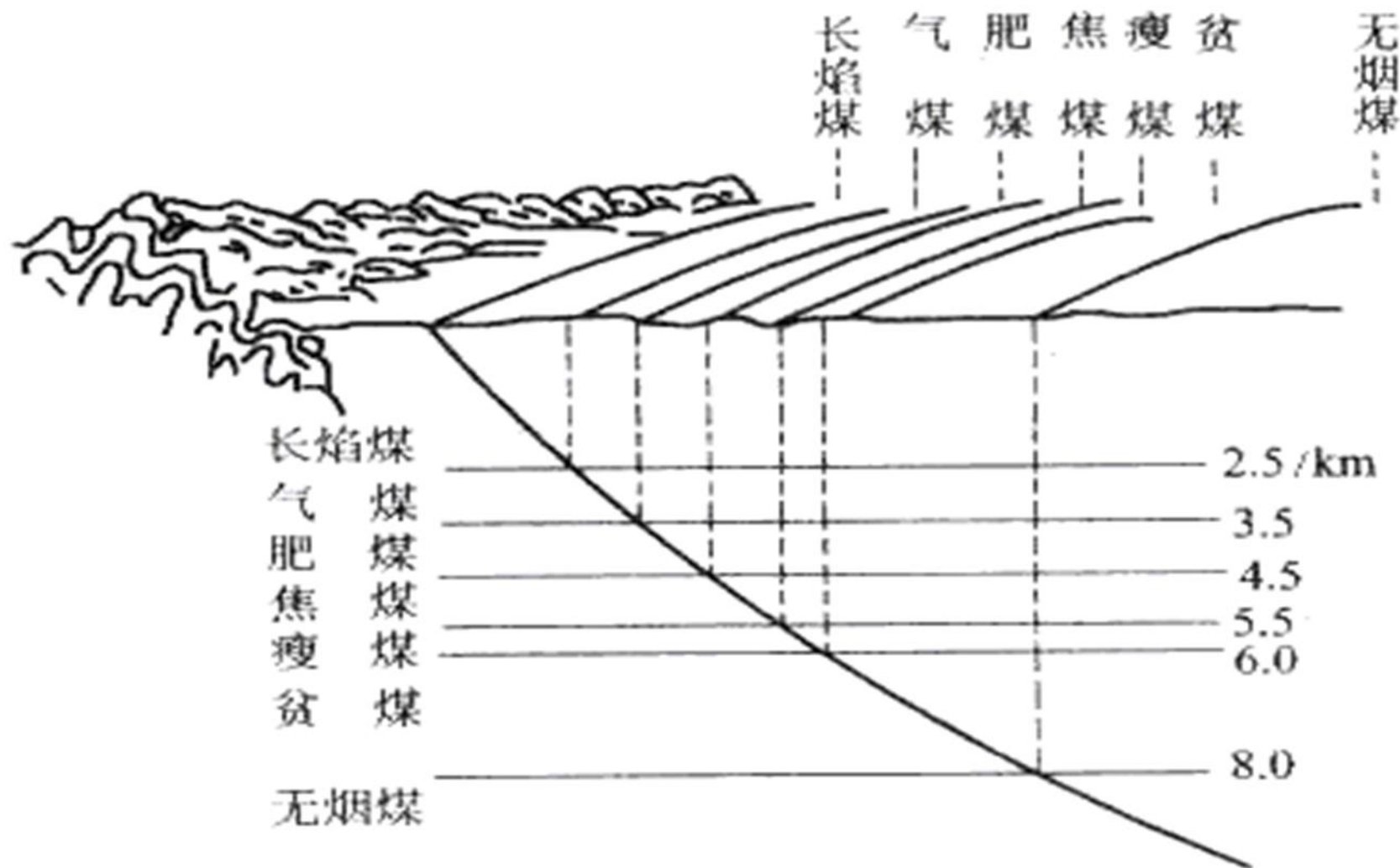


## □ 深成变质作用

- 深成变质作用是指在正常地温状态下，**煤的变质随煤层的沉降幅度的加大、地温的增高和受热时间的持续而增高**。这种变质作用与大规模的地壳升降活动直接相关，具有广泛的区域性，过去常被称为区域变质作用。
- 希尔特定律：它是煤变质程度的垂直分布规律，指在同一煤田大致相同的构造条件下，**随着煤层埋深的增加，煤的挥发分逐渐减少，变质程度逐渐增加**。
- 深成变质作用的另一个重要特点就是：**煤变质程度具有水平分带规律**。因为在同一煤田中，同一煤层或煤层组原始沉积时沉降幅度可能不同，成煤后下降的深度也可能不同。按照希尔特定律，这一煤层或煤层组在不同深度上变质程度也就不同，反映到平面上即为变质程度的水平分带规律。



## □ 煤的变质作用





## □ 岩浆变质作用

- 岩浆变质作用可分为区域岩浆热变质作用和接触变质作用两种类型。
- **区域岩浆热变质作用**是指聚煤拗陷内有岩浆活动，岩浆及其所携带气液体的热量可使地温场增高，形成地热异常带，从而引起煤的变质作用。其特点有：煤级分布常为环带状，越靠近岩体，煤的变质程度越高。煤变质梯度高，在煤的深成变质作用下，垂向上煤级增高一个级别往往需要增加近1000m的埋深。但受煤的区域岩浆热变质作用影响的区域，即使煤层的间距不足100m，仍然可引起煤级的差别。
- **接触变质作用**是指岩浆直接接触或侵入煤层，由于其所带来的高温、气体、液体和压力，促使煤发生变质的作用。接触变质具有下列特征：在岩浆侵入体和煤层接触带附近，往往有不规则的天然焦出现，它是接触变质的特征产物。煤的接触变质带由接触带向外，一般可分为焦岩混合带、天然焦带、焦煤混合带、无烟煤、高变质烟煤等热变煤，这些煤变质带一般不规则，宽度不大，从数厘米到数十米不等。



## □ 动力变质作用

- **动力变质作用**是指由于褶皱及断裂运动所产生的动压力及伴随构造变化所产生的热量促使煤发生变质的作用。根据对构造挤压带煤的研究证明，动压力具有使煤的发热量降低、比重增大、挥发分降低等特点。煤田地质研究表明，地壳构造活动引起的煤的异常变质范围一般不大，一条具有几十米至百余米断距的压扭性断裂，引起煤结构发生变化的范围不过几十米。因此动力变质只是局部现象



## □ 变质作用的影响因素

- 促成煤变质作用的主要因素是**温度**。温度过低（ $<50 \sim 60^{\circ}\text{C}$ ），褐煤的变质就不明显了，如莫斯科煤田早石炭世煤至今已有3亿年以上，但仍处于褐煤阶段。通常认为，煤化程度是煤受热温度和持续时间的函数。温度越高，变质作用的速度越快。因为变质作用的实质是煤分子的化学变化，温度高促进了化学反应速度的提高。
- **时间**是影响煤变质的另一重要因素。时间因素的重要性表现在以下两个方面：第一，在温度、压力大致相同的条件下，受热时间越长，煤化程度越高。第二，煤受短时间较高温度的作用或受长时间较低温度（超过变质临界温度）作用，可以达到相同的变质程度。
- **压力**可以使煤压实，孔隙率降低，水分减少；并使煤岩组分沿垂直压力的方向作定向排列。静压力促使煤的芳香族稠环平行层面作有规则的排列。当静压力过大时，由于化学平衡移动的原因，压力反而会抑制煤结构单元中侧链或基团的分解析出，从而阻碍煤的变质。一般认为压力是煤变质的次要因素



## □ 成煤过程化学组成变化

表 1-8 成煤过程的化学组成变化

| 物 料 |        | C/% | O/% | 腐殖酸/%(daf) | 挥发分/%(daf) | 水分/%(ad) |
|-----|--------|-----|-----|------------|------------|----------|
| 植物  | 草本植物   | 48  | 39  |            |            |          |
|     | 木本植物   | 50  | 42  |            |            |          |
| 泥炭  | 草本泥炭   | 56  | 34  | 43         | 70         | >40      |
|     | 木本泥炭   | 66  | 26  | 53         | 70         | >40      |
| 褐煤  | 低煤化度褐煤 | 67  | 25  | 68         | 58         | 10~30    |
|     | 典型褐煤   | 71  | 23  | 22         | 50         |          |
|     | 高煤化度褐煤 | 73  | 17  | 3          | 45         |          |
| 烟煤  | 长焰煤    | 77  | 13  | 0          | 43         | 10       |
|     | 气 煤    | 82  | 10  | 0          | 41         | 3        |
|     | 肥 煤    | 85  | 5   | 0          | 33         | 1.5      |
|     | 焦 煤    | 88  | 4   | 0          | 25         | 0.9      |
|     | 瘦 煤    | 90  | 3.8 | 0          | 16         | 0.9      |
|     | 贫 煤    | 91  | 2.8 | 0          | 15         | 1.3      |
|     | 无烟煤    | 93  | 2.7 | 0          | <10        | 2.3      |





# 煤层气



## □ 煤层气

- 煤层气是赋存在煤层中以甲烷（ $\text{CH}_4$ ）为主要成分、以吸附在煤基质颗粒表面为主、部分游离于煤孔隙中或溶解于煤层水中的烃类气体，是煤层本身自生自储式非常规天然气。
- 煤层气空气浓度达到5%-16%时，遇明火就会爆炸，是煤矿瓦斯爆炸事故的根源，开发煤层气变“杀手”为资源。
- 煤层气直接排放到大气中，其温室效应为二氧化碳的21倍，对生态环境破坏性极强 开发煤层气，助宜“零”排放。



## □ 煤层气

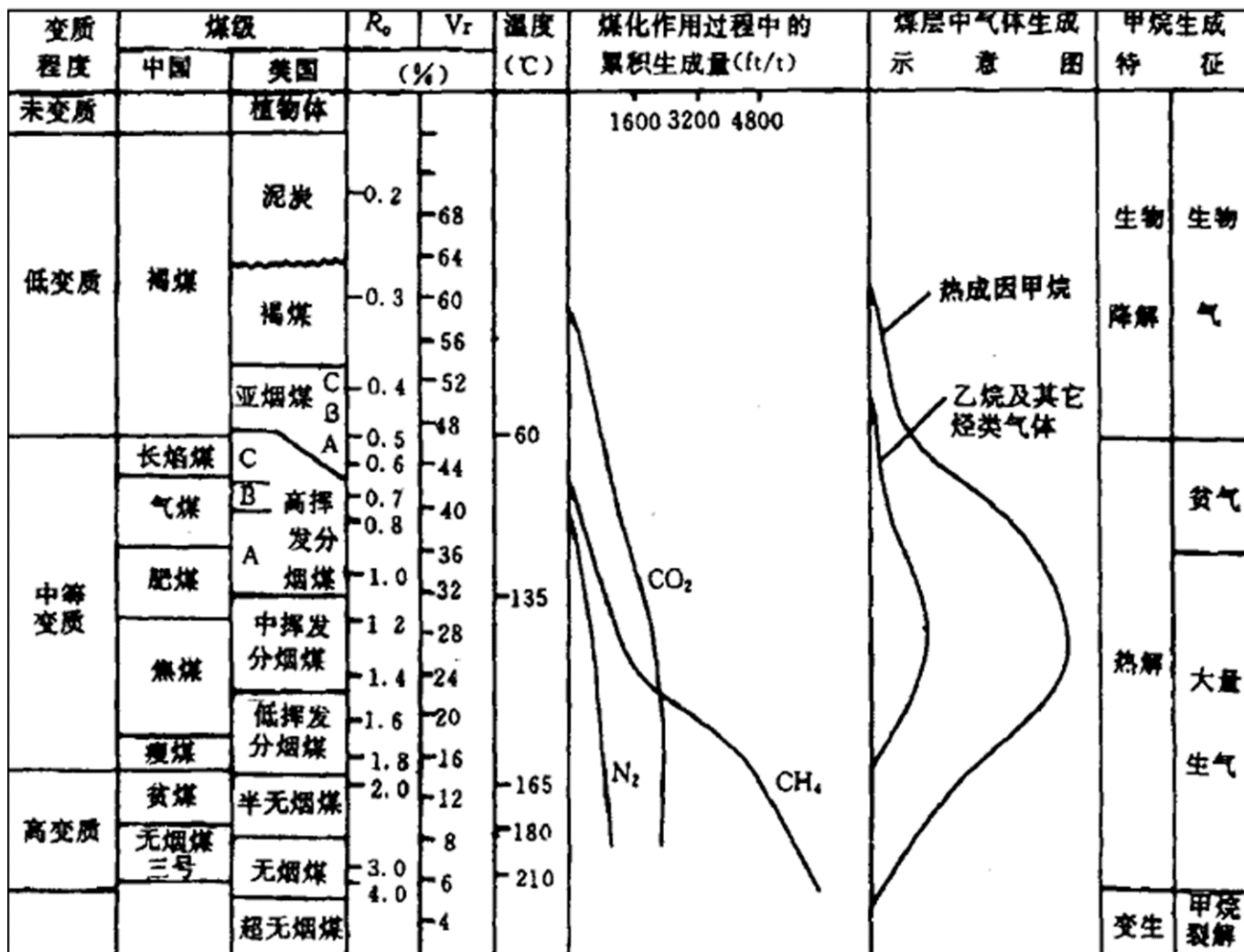
- 煤层气按成因可以分为生物成因气和热成因气，煤型气经过移动并聚集成为煤成气藏，仍然保存在煤层中的称为煤层气。
  - 生物气成因是指在相对低的温度条件下，有机质通过细菌的参与或作用，在煤层中生成的以甲烷为主并含有少量其它成分的气体。其形成温度不超过50℃，相当于泥炭 - 褐煤阶段。
  - 热成因气是在煤化作用过程中受热降解作用和热裂解作用而生成天然气的过程。
- 全球煤层气资源量超过260万亿立方米。截至2016年底，中国煤层气资源量为68.7万亿立方米



## □ 煤层气的物理性质

- 甲烷为无色、无味、无嗅、无毒的气体，但煤储层中往往含有少量其它芳香族碳氢气体，因此常常伴着一些苹果的香味，在大气压 0.101325 MPa，温度 0°C 的标准状态下，每立方米重 0.716 Kg 与空气比较，其比重约为 0.554 比空气轻。当空气中混有 5.3~16.0% 浓度的甲烷，遇火即可燃烧或爆炸。甲烷浓度达到 43%，人感到呼吸短促；甲烷浓度达到 57%，人处于昏迷状态，甲烷浓度达到 9.5%，遇明火爆炸最为猛烈。
- 二氧化碳为无色、无嗅、略具酸味气体，比空气重，突然喷出可使人窒息。

## □ 煤层气







## □ 煤层气

| 气样类型        | 气体组分变化范围/%      |                               |                 |                |    |
|-------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|----------------|----|
|             | CH <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | CO <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | 非烃 |
| 钻井排采气       | 98.16~<br>99.55 | 0.007~<br>0.029               | 0.02~<br>0.29   | 0.92~<br>1.63  | 微量 |
| 钻井煤芯解<br>吸气 | 83.47~<br>99.43 | ——                            | 0.12~<br>2.10   | 0~<br>15.88    | 微量 |
| 矿井煤岩解<br>吸气 | 66.35~<br>99.85 | 0.01~<br>0.47                 | 0.02~<br>0.38   | 4.63~<br>30.87 | 微量 |

## □ 煤层气

- 大部分煤层气吸附在煤的有机质表面上，只有少量的煤层气以游离态储存在裂缝和节理中，或者以溶解态存在于裂缝、节理及孔隙水中。煤储层可以是正常压力或异常压力。在一般的压力下，埋深<1200m的煤层中的吸附气大于一般砂岩孔隙中所含有的气体量。

| 煤类  | 产气量m <sup>3</sup> /t | 吸附能力m <sup>3</sup> /t |
|-----|----------------------|-----------------------|
| 褐煤  | 38~68                | <8                    |
| 长焰煤 | 138~168              | 8~9                   |
| 气煤  | 182~212              | 9~11                  |
| 肥煤  | 199~230              | 11~14                 |
| 焦煤  | 240~270              | 18~20                 |
| 瘦煤  | 257~287              | 14~18                 |
| 贫煤  | 295~330              | 20~24                 |
| 无烟煤 | 346~422              | 24~36                 |