

第二章 锅炉燃料

燃料是指燃烧时能够发热的物质。

按其物态可分为：

- (1) 固体燃料；
- (2) 液体燃料；
- (3) 气体燃料。



油页岩：灰分高于50%的腐泥型固体可燃矿产，是一种含有碳氢化合物的可燃泥质岩，经过加工可以提炼出以液态碳氢化合物为主要成分的人造石油。



第二章 第一节 煤的成分及性质

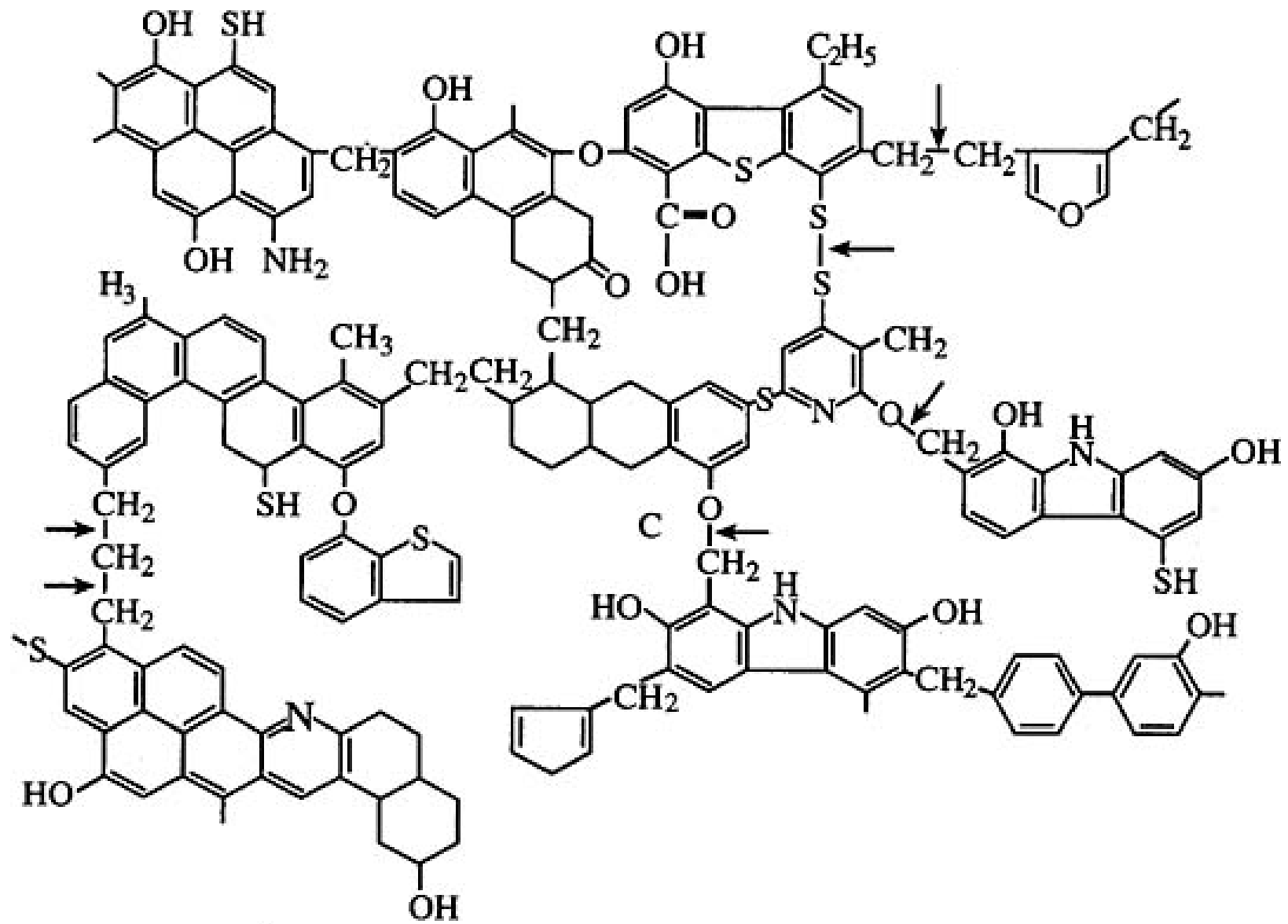
一、煤的元素分析成分及其性质

元素分析法测定煤的组成成分时包括七项：碳（C）、氢（H）、氧（O）、氮（N）、硫（S）五种元素和水分（M）、灰分（A）两种成分。

1. 碳 (C)

碳是煤中的主要可燃元素，其含量一般为50%~90%（指收到基含量，下同）。煤中的碳以两种状态存在。

- 其主体形成晶格，以晶格状态存在的碳被称为固定碳。
- 另一部分碳与氢、氮、硫、氧形成侧链。当在缺氧环境下受热时，键断裂，侧链成气态逸出，这就是挥发分。



煤的结构模型

2. 氢 (H)

氢是煤中可燃元素之一，其含量约为1%~6%，但发热量比碳高得多

3. 硫 (S)

煤中硫的含量一般不超过2%。

煤中的硫以三种形态存在：

- 有机硫；
 - 黄铁矿硫 (FeS_2) ；
 - 硫酸盐硫。
- } 可燃硫

前两种硫可以燃烧放热统称为可燃硫 (S_r) ，硫酸盐硫(S_{ly})不能燃烧而并入灰分中。

4. 氧 (O) 和氮 (N)

不可燃元素，不能燃烧。

5. 水分 (M) $\left\{ \begin{array}{l} \text{表面 (外在) 水分 } M_f \\ \text{内在水分 } M_{ad} \end{array} \right\}$ 全水分

水分是煤中主要不可燃成分，也是一种有害杂质。各种煤的水分含量差别很大，少的仅有2%左右，多的可达50%~60%。

6. 灰分 (A)

煤中的各种矿物杂质，在煤燃烧后形成灰分。

二、煤的工业分析成分

将煤加热到一定温度时，首先水分被蒸发出来；再加热，煤中的氢、氧、氮、硫及部分碳所组成的有机化合物便分解，变成气体挥发出来，这些气体称为挥发份；挥发份析出后，剩下的是焦炭，焦炭就是固定碳和灰分的组合。

三、煤的成分计算基准

1. 收到基（旧称应用基）。以收到状态的煤为基准计算煤中全部成分的组合称为收到基。收到基以下角标ar表示。

$$C_{ar} + H_{ar} + O_{ar} + N_{ar} + S_{ar} + A_{ar} + M_{ar} = 100\%$$

2. 空气干燥基（旧称分析基）。在与空气温度达到平衡状态的煤为基准空气干燥基以下角标ad表示。

$$C_{ad} + H_{ad} + O_{ad} + N_{ad} + S_{ad} + A_{ad} + M_{ad} = 100\%$$

3. 干燥基（旧称干燥基）。以假想无水状态的煤为基准，用下角标d表示。

$$C_d + H_d + O_d + N_d + S_d + A_d = 100\%$$

4. 干燥无灰基（旧称可燃基）。以假想无水、无灰状态的煤为基准，以下角标daf表示。

$$C_{daf} + H_{daf} + O_{daf} + N_{daf} + S_{daf} = 100\%$$

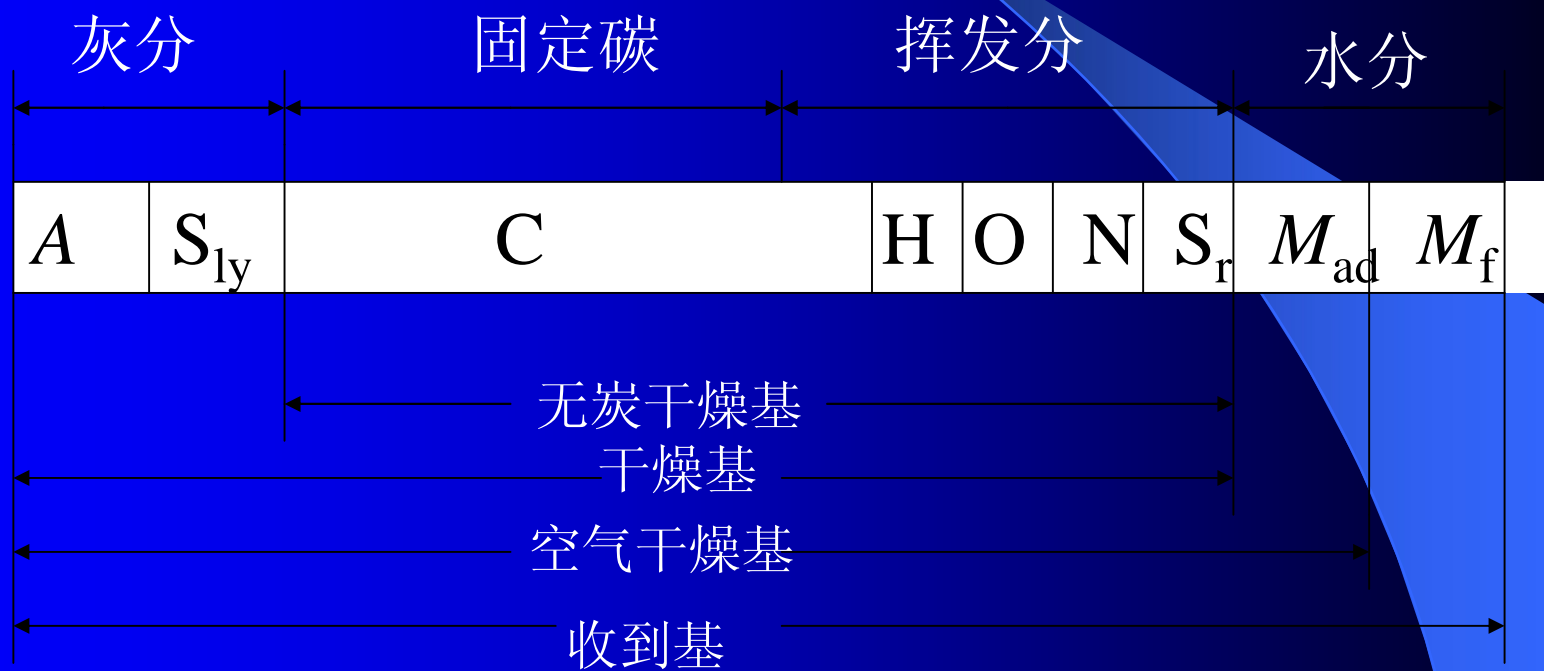


图2-1 煤的成分及成分基准的划分

注： M_f —外部水分； M_{ad} —内部水分； S_r —可燃硫或称全硫； S_{ly} —硫酸盐硫，已归入灰分

第二节 煤的特性

一、发热量

定义：单位质量的煤完全燃烧时所放出的热量。单位是kJ/kg。

煤的发热量常用三种规定值表示。

1. 弹筒发热量 Q_b 。单位质量的试样在充有过量氧气的氧弹内燃烧，其燃烧产物组成为氧气、氮气、二氧化碳、硝酸和硫酸、液态水以及固态灰时放出的热量称为**弹筒发热量**。

测定方法是：将约1g的煤样置于氧弹中，氧弹内充满压力为（2.8~3.0）MPa的氧气，点火燃烧，然后使燃烧产物冷却到煤的原始温度（约20~25℃），在此条件下单位质量的煤所放出的热量即为弹筒发热量。

2. 高位发热量 Q_{gr} 。煤在氧弹内燃烧产生的热量（即弹筒发热量）减去硫和氮生成酸的校正值得到的热量，称为高位发热量。高位发热量是煤在空气中完全燃烧时所放出的热量。

3. 低位发热量 Q_{net} 。从高位发热量中减去煤样中水的汽化潜热后的发热量，称为低位发热量，用符号 Q_{net} 表示。我国锅炉技术中一般采用低位发热量作为计算依据。

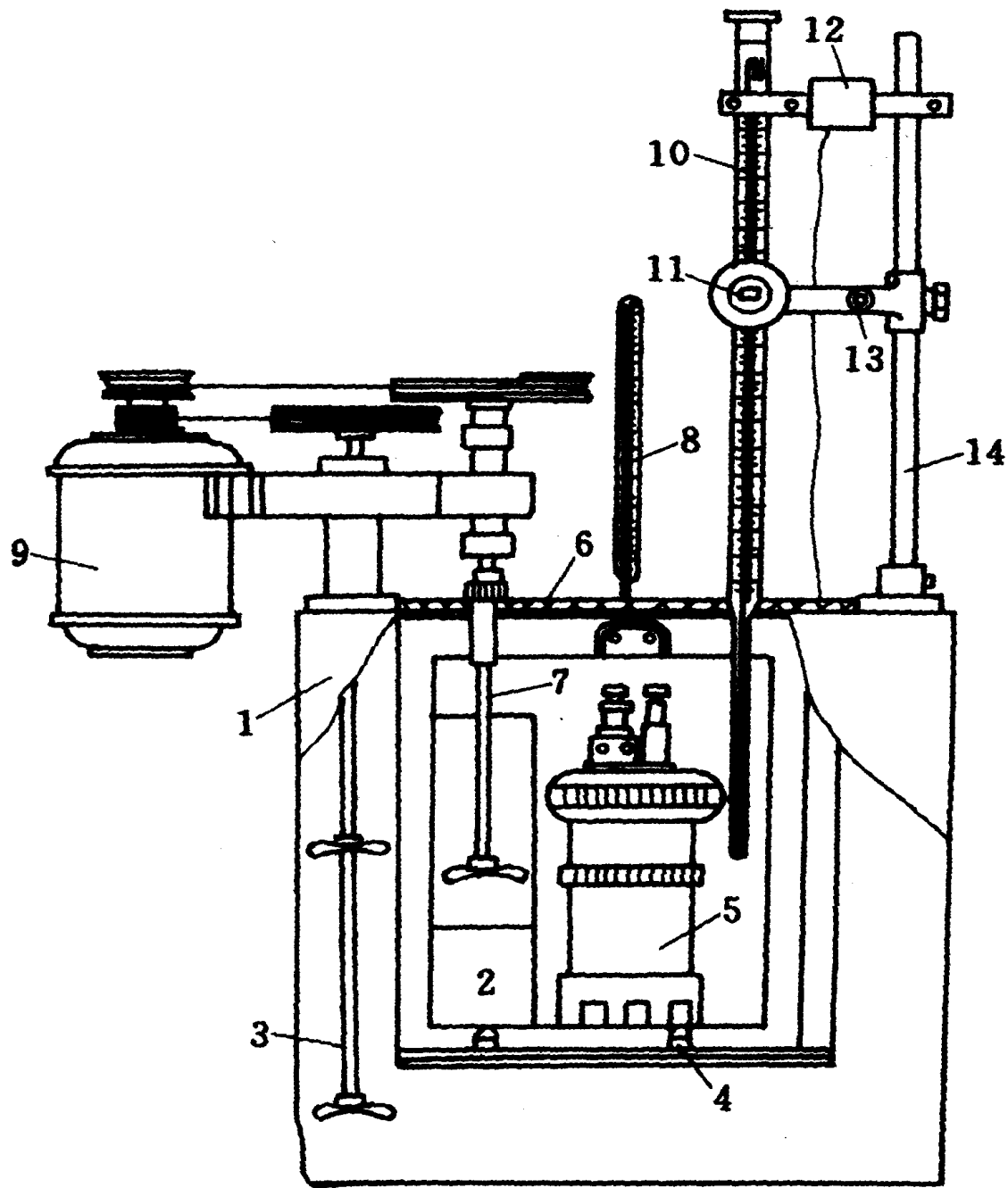


图2-2 氧弹式量热计

1—外筒； 2—内筒；

3—外筒搅拌器；

4—绝缘支柱；

5—氧弹； 6—盖子；

7—内筒搅拌器；

8—温度计；

9—电动机；

10—贝克曼温度计；

11—放大镜；

12—震动器；

13—计时指示灯；

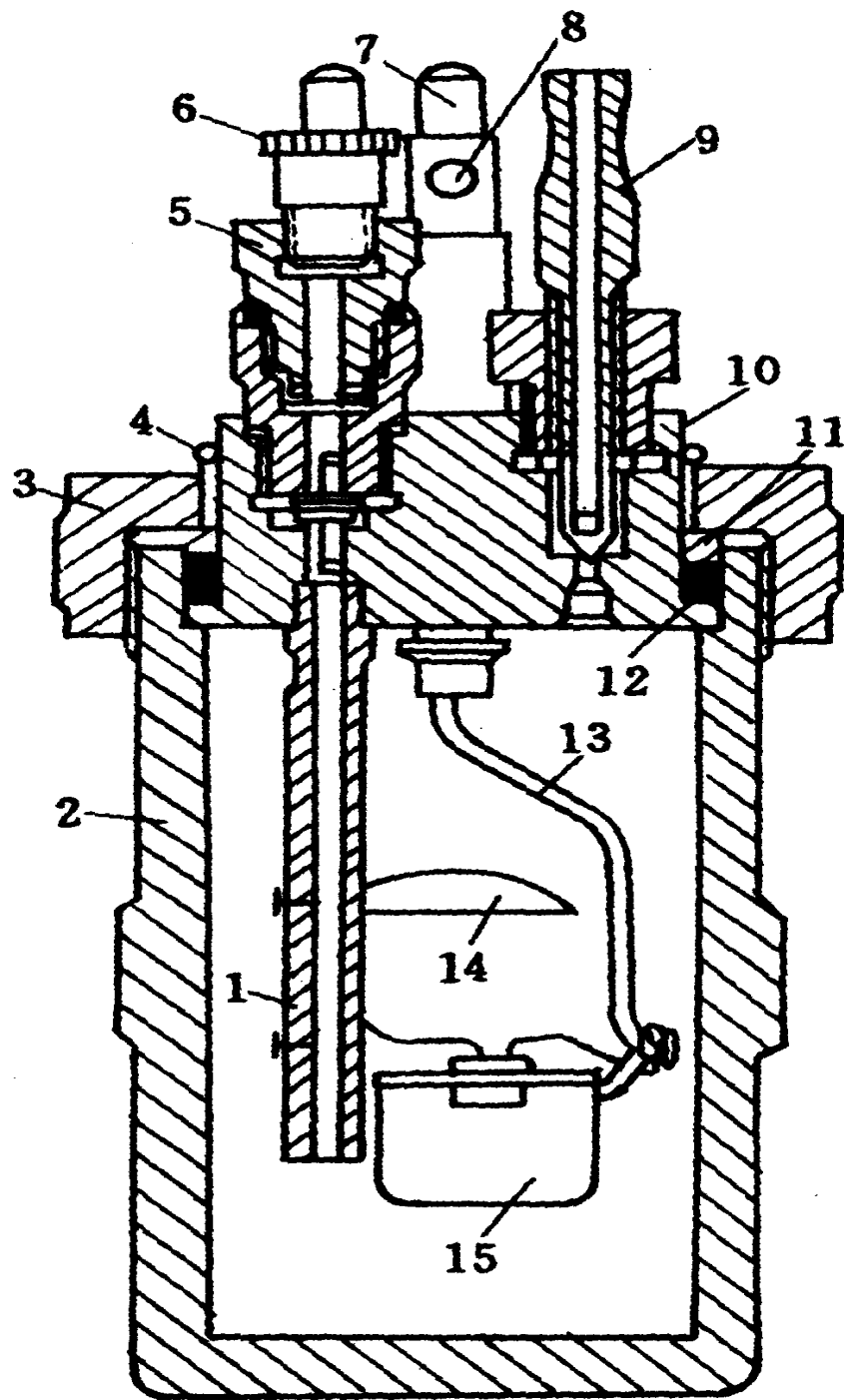


图2-3 氧弹

- 1—进气管;
- 2—弹筒;
- 3—盖圈;
- 4—弹簧环;
- 5—进气阀;
- 6—螺帽;
- 7—电极柱;
- 8—圆孔;
- 9—针形阀;
- 10—弹头;
- 11—金属垫圈;
- 12—橡胶垫圈;
- 13—金属导杆;
- 14—防火罩;
- 15—燃烧皿

二、各种发热量之间的换算

由弹筒发热量换算成高位发热量的公式，即

$$Q_{ad,gr} = Q_{ad,b} - (94.1S_{ad,b} + \alpha Q_{ad,b}) \quad (2-15)$$

式中 $Q_{ad,gr}$ —空干基煤样的高位发热量，kJ/kg；

$Q_{ad,b}$ —空干基煤样的弹筒发热量，kJ/kg；

$S_{ad,b}$ —由弹筒洗液测得的含硫量，%；

α —硝酸生成热的比例系数。

由高位发热量换算为低位发热量公式，

$$Q_{ar,net} = Q_{ar,gr} - 206H_{ar} - 23M_{ar} \quad (2-16)$$

由空气干燥基高位发热量 $Q_{ad,gr}$ 换算为收到基高位发热量 $Q_{ar,gr}$ 的公式为

$$Q_{ar,gr} = Q_{ad,gr} \frac{100 - M_{ar}}{100 - M_{ad}} \quad (2-17)$$

三、标准煤和折算成分

1. 标准煤。标准煤为收到基低位发热量为 29270 kJ/kg (7000kcal/kg) 的煤。

2. 折算成分。规定把相对于每 4182 kJ/kg (即 1000kcal/kg) 收到基低位发热量的煤所含的收到基水分、灰分和硫分，分别称为折算水分、折算灰分和折算硫分。

四、高温下煤灰的熔融性

1. 煤灰的熔融性及其四个特征温度的测定

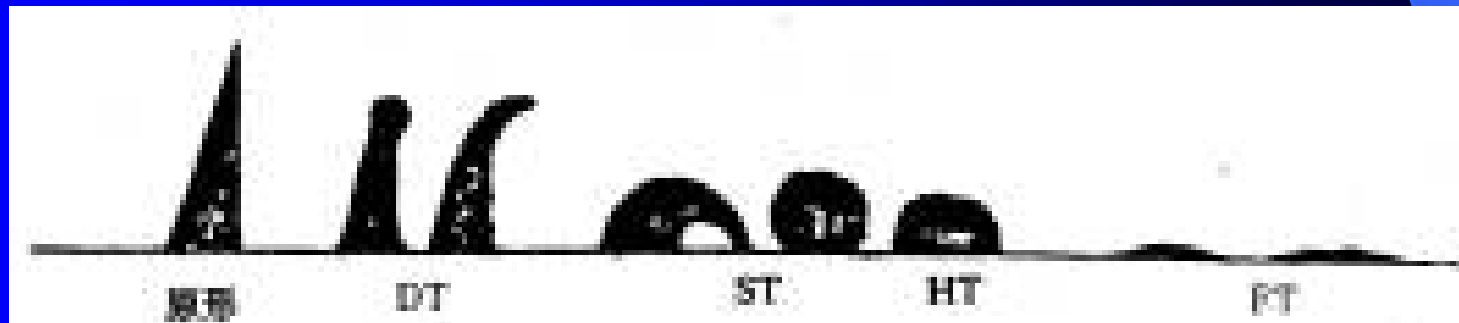
取粒度小于0.2mm的空气干燥煤样，按GB 212—91规定将其完全灰化，然后研细至0.1mm以下，制成正三角锥体，锥体高度为20mm，底面的边长为7mm，锥体的一侧面垂直于底面，置于温度可调节并充有适量还原性气体的电炉中逐渐加热，根据灰锥的状态变化记录以下几个温度数值，如图2-4所示：

变形温度DT：锥体尖端或棱开始变圆或弯曲时的温度；

软化温度ST：灰锥弯曲至锥尖触及托板或灰锥变成球状时的温度；

半球温度HT：灰锥形变至近似半球形，即高约等于底长的一半时的温度；

流动温度FT：灰锥熔化展开成高度在1.5mm以下的薄层时的温度。



2.影响煤灰熔融性的因素分析

(1) 煤灰的化学组成——内因

(2) 灰所处环境介质（气氛）的性质——外因

第三节 煤中某些成分对锅炉工作的影响

一、挥发分的影响

挥发分越多的煤，愈容易着火，燃烧也容易完全。

二、水分的影响

水分多，燃料燃烧时放出的有效热量便减少；同时会增加着火热，使着火推迟降低炉内温度，着火困难。降低锅炉热效率；同时使风机电耗增大；也为低温受热面的积灰、腐蚀创造了条件；

三、灰分的影响

灰分含量增加，煤中可燃成分便减少，降低了发热量。

四、灰渣熔融性的影响

灰渣在高温下的熔融性是造成炉膛结渣和高温对流受热面沾污和结渣的主要根源。

五、硫分的影响

燃煤含硫的最大影响，对低温受热面形成低温腐蚀。

第四节 煤的分类

一、我国煤的分类

我国以煤的干燥无灰基挥发分 V_{daf} 作为分类指标，将煤分为三大类：

- $V_{daf} \leq 10\%$ 的煤为无烟煤；
- V_{daf} 在（10~37）%之间的煤为烟煤；
- $V_{daf} > 37\%$ 的煤为褐煤；

1. 无烟煤

无烟煤为碳化程度最深的煤，碳的质量分数最多，一般大于50%，最高可达95%；灰分不多， $A_{ar}=6\% \sim 25\%$ ；水分较少， $M_{ar}=1\% \sim 5\%$ ；发热量很高，可达25000~32500kJ/kg；挥发分少，而且挥发分析出温度较高；其焦炭没有粘结性，着火和燃尽比较困难。无烟煤燃烧时无烟，火焰呈青蓝色。

2. 烟煤

烟煤的碳化程度低于无烟煤，碳的质量分数一般为 $C_{ar}=40\% \sim 60\%$ ，个别可达75%；灰分不多， $A_{ar}=7\% \sim 30\%$ ；水分也较少， $M_{ar}=3\% \sim 18\%$ ；其发热量一般为20000~30000kJ/kg。除贫煤挥发分较少外，其余烟煤挥发分较高，着火、燃烧均较容易。

3. 褐煤

褐煤碳的质量分数为 $C_{ar}=40\% \sim 50\%$ ，水分和灰分含量较高， $M_{ar}=20\% \sim 50\%$ ， $A_{ar}=6\% \sim 50\%$ ，因而发热量较低， $Q_{ar,net} = 10000 \sim 21000 \text{kJ/kg}$ 。因它含有较高的挥发分， $V_{daf}=40\% \sim 50\%$ ，所以容易着火燃烧。褐煤外表面多呈褐色或黑褐色，力学强度低，化学反应性（也称为活性）强，在空气中容易风化，所以不易储存和远运。

第五节 液体及气体燃料

一、液体燃烧

- 重油：由裂化重油、减压重油、常压重油
蜡油按不同比例调制而成
- 渣油：原油经减压蒸馏所得的残余油

重油的特性指标：黏度、凝固点、闪点及燃点、
含硫量、灰分

二、气体燃烧

天然气体燃料

气田煤气

油田伴生煤气

人工气体燃料

高炉煤气

焦炉煤气

发生炉煤气

液化石油气