

## 第一章 绪论

1.煤化工定义：是以煤为原料经过化学加工实现煤综合利用的工业，简称煤化工。

## 第二章 煤的低温干馏

1.煤干馏定义：煤在隔绝空气条件下，受热分解生成煤气、焦油、粗苯和焦炭的过程。

2.煤热解分类：煤干馏按加热终温的不同，可大致分为三种：500~600 为低温干馏；600~900 为中温干馏，900~1100 为高温干馏。

3.低温干馏产品及性质或组成：一般焦油产率为6%~25%；半焦产率为50%~70%；煤气产率为80~200m<sup>3</sup>/t（原料干煤）

4.干馏产品的影响因素：原料煤性质、加热条件、加热速度、加热终温以及压力。

5.干馏供热方式有哪些：

外热式（由炉墙外部传入热量）

内热式（借助热载体传热，载体和煤料直接接触）

6.简述陕北内热直立式煤干馏工艺（工艺过程及装置主要组成）及优缺点：

内热式炉借助热载体把热量传给煤料，气体热载体直接进入干馏室，穿过块粒状干流料层，把热量传给料层，气体热载体一般是燃料煤气燃烧的烟气，热载体也可以是固体的，例如用热半焦或其他无灰，与煤料在干流系统相混合，热载体把煤料加热，进行干馏

优点：热载体向煤料直接传热，热效率高，低温干馏耗热量低。

所有装入料在干馏不同阶段加热均匀，消除了部分料块过热现象。

内热式炉没有加热的燃烧室或火道，简化了干馏炉结构，没有复杂的加热调节设备。

缺点：装入煤料必须是块状的，并希望粒度范围窄。也可以使用块状型煤，但要增加工序和费用。由于气体热载体必须由下向上穿过料层，要求料层有足够的透气性，并使气流分布均匀，因此适合于内热式

7.简述固体热载体（大连理工大学）干馏工艺过程（存在的问题）

干褐煤与热载体半焦在混合器相混合，由于物料粒子小，混合快而均匀，煤与半焦之间传热迅速，加热速率很快，从而发生快速热解。煤焦混合物由混合器去干馏槽，在此完成干馏反应并析出挥发产物。半焦自干馏槽去提升管下

部，与空气部分燃烧或由热烟气加热并流化提升，热焦回到集合槽再去混合器，如此循环利用。干馏挥发产物自干馏槽导出后，经滤尘和冷却冷凝分出焦油和冷凝液。煤气经过干燥脱去水分，在  $-30$  冷冻回收煤气中的轻质油。

### 8.简述鲁奇三段炉的工作原理

在上段，循环热气流把煤干燥并预热到  $150$  左右。在中段，即干馏段，热气流把煤加热到  $500\sim 850$ 。在下段，焦炭被冷循环气流冷却到  $100\sim 150$ ，最后排出。排焦机构控制炉子生产能力。上部循环气流温度保持在  $280$ 。

## 第三章 炼焦

### 1.炼焦是什么

煤在焦炉内隔绝空气、加热到  $1000$  左右、可获得焦炭和化学产品和煤气的过程。

### 2.简述煤的成焦过程

$<350$ ：煤干燥预热阶段。 $350\sim 480$ ：胶质体形成阶段。 $480\sim 650$ ：半焦形成阶段。 $650\sim 950$ ：焦炭形成阶段。

### 3.黏结性概念

干馏时黏结本身与惰性物的能力，指炼焦时形成熔融焦炭的能力。

### 4.黏结性与结焦性关系是什么

黏结性好是结焦性的前提及必要条件，结焦性好的煤黏结性一定好。

### 5.提高黏结性的方法有哪些

提高膨胀压力，增大加热速度，提高堆密度。

### 6.炼焦气体析出途径有哪些？特点是什么？

#### (1) 里行气 (10%左右)

形成于两胶质体之间，不可能横穿过胶质体，只能上行进入炉顶空间

没有经历二次解热作用，含大量水蒸汽，含煤一次热解产物（主要  $\text{CH}_4$  及其同系物，还有  $\text{H}_2$ ， $\text{CO}_2$ ， $\text{CO}$  以及不饱和烃等）

#### (2) 外行气 (90%左右)

产生于胶质体外侧（由于胶质体固化和半焦热解产生大量气态产物），沿焦饼裂缝及炉墙与焦饼间隙进入炉顶空间

经过高温区，经二次热解作用，二次热解产物（主要  $\text{H}_2$ ，及少量  $\text{CH}_4$ ）

## 7.合理配煤的优势

提高焦炭质量，扩大炼焦煤源，合理利用煤炭资源

## 8.配煤的工业分析包括哪些

水分，灰分，挥发分，硫分

## 9.焦炭的用途

高炉炼铁，铸造用焦，气化用焦

## 10.焦炉主要部分构成（三大室）是什么

炭化室、蓄热室、燃烧室

## 11.焦炉附加机械（四大车）是什么

加煤车、推焦车、导焦车、熄焦车

## 12.焦炉的炉型

按火道结构形式不同：双联火道、二分式、过顶式

按加热煤气种类不同：单热式焦炉、复热式焦炉

按煤气入炉方式不同：下喷式焦炉、侧入式焦炉

## 13.捣鼓炼焦定义

将煤由煤塔装入推焦机的捣煤槽内，再用捣煤锤与 3min 内将煤捣实成饼，然后推入炭化室，并闭炉门。

## 14.干法熄焦原理

利用冷的惰性气体将赤热焦炭冷却，得到热惰性气体加热锅炉发生蒸汽，可通过汽轮机发电或满足生产工艺要求，降了温的惰性气体再循环循环用以冷却红焦。

## 15.焦炉的传热包括哪三种方式？分析焦炉传热过程

燃料煤气在焦炉火道中燃烧，放出热量。此热量以辐射和对流方式传给炉墙表面，热流再以传导方式经过炉墙传给炭化室中的煤料。因此焦炉传热方式包括传导、辐射和对流传热三种。

## 16.型焦是什么？型焦和型煤所用的粘结剂有哪些？

通过加压成型，制成具有一定形状、大小和强度的成型煤料，进一步制成型焦。

粘结剂分有机类，无机类，复合类。有机类为煤沥青、煤焦油等，无机类为土、水泥等，复合类为有机物与有机物复合，无机物与无机物复合，有机物与无机物复合。

#### 17.高温煤焦油与低温煤焦油的区别

低温煤焦油是煤或油页岩经低温干馏而得到的油状产物，主要成分是烷烃和环烷烃。高温煤焦油是煤经高温干馏而得到的油状副产物。主要成分是芳香烃，并含有氧、氮或硫等的有机化合物。

#### 18.炼焦过程中最有利于苯生成的温度

#### 19.简述桥管内氨水冷却过程

#### 20.M40 和 M10 代表什么

M40 是指焦炭的抗碎强度，M10 是指焦炭的耐磨强度。

#### 21.影响焦炭质量的因素有哪些

(1) 配合煤的成分和性质

(2) 炼焦的加热制度

(3) 碳化室内煤料的堆密度

(4) 反应时的温度压力

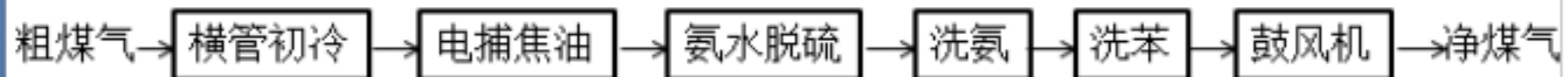
## 第四章 炼焦化学产品的回收与精制

### 1.粗煤气是什么

炼焦过程析出的挥发性产物。

### 2.回收与精致的工艺过程（负压及半负压 —— 框图）目的及意义

全负压：



目的及意义：回收氨和吡啶碱，既得到了有用产品，又防止了氨的危害。回收硫化氢和氰化氢变害为利。回收煤气中粗苯，获得有用产品。

### 3.电捕焦油器的工作原理

管子重心导线常取为负极，管壁则取为正极，焦油雾滴经过管中电场时变成带负电荷的质点，故沉积在管壁而被捕集，并汇流到下部导出。

#### 4.煤气净化流程中的氨水分类是什么

集气管喷洒用循环氨水、初冷器冷凝氨水。

#### 5.焦油和氨水分离的意义

分离后以免喷洒冷却的氨水中含有焦油和固体颗粒物，防止堵塞喷嘴使喷洒困难

除去焦油中的水分，以免增大耗热量和冷却水用量，防止增大设备容积和阻力。

除去焦油中的焦油渣，以免其在导管和设备中沉积而破坏正常操作。

#### 6.煤气除萘意义

除去沉积于管道和设备中的萘，以免妨碍生产。

#### 7.回收氨的原理并简述工艺过程（相应方程式）

饱和器法生产硫酸铵：将含有氨的焦炉煤气通入饱和器，与硫酸铵母液中的硫酸反应，当母液中的游离酸的浓度（质量分数）或酸度为 1%~2%时，主要生成硫酸铵。酸度增加时，生成硫酸氢铵的比例增大。但硫酸氢铵比硫酸铵更易溶于水和稀酸，因此，酸度不大时，从饱和器中析出的主要是硫酸铵结晶。

工艺过程 P88

#### 8.粗苯回收方法有哪些

洗油吸收法、吸附法、加压冷冻法

#### 9.粗苯吸收影响因素有哪些

吸收温度、洗油相对分子量及循环量、贫油含苯量、吸收面积、压力

#### 10.加氢精制目的是什么

获得苯、甲苯、二甲苯等纯产品。

#### 11.粗苯组成是什么

苯及其同系物、不饱和化合物、硫化物

#### 12.粗苯精制流程包括哪三部分？各是什么

初步精馏：使低沸点化合物和高沸点含硫化合物分开。

化学精制：把粗苯主要组分沸点范围内的含硫化合物和不饱和化合物脱除。

最终精馏：得到合乎标准的纯产品。

### 13.粗苯加氢精制莱托法（Litol 法）工艺流程

粗苯预蒸馏得轻苯：轻苯加热气化、轻苯预加氢

轻苯加氢（莱托加氢）

加氢油精制（苯精制）：稳定处理、白土吸附处理、苯精馏

制氢系统

### 14.煤焦油中粗酚（酸碱法）提取工艺过程

煤焦油富酚馏分的切取、馏分中酚类化合物的提取、粗酚盐的净化、粗酚盐分解制备粗酚、粗酚净化、粗酚的分离与精制。

### 15.简述区域熔融法生产萘的原理

当把一个熔融液体混合物冷却时，若在部分结晶温度区内，结晶出来的固体是固态溶液，则该固体溶液中各组分的百分比与原来液体混合物有所不同，在固体溶液中高熔点组分的含量将增大。若将所得到的固体溶液反复进行熔融—结晶—液固分离，则最终得到的固体溶液中高熔点组分的百分含量就会愈来愈高。区域熔融法生产精萘就是基于这种原理。

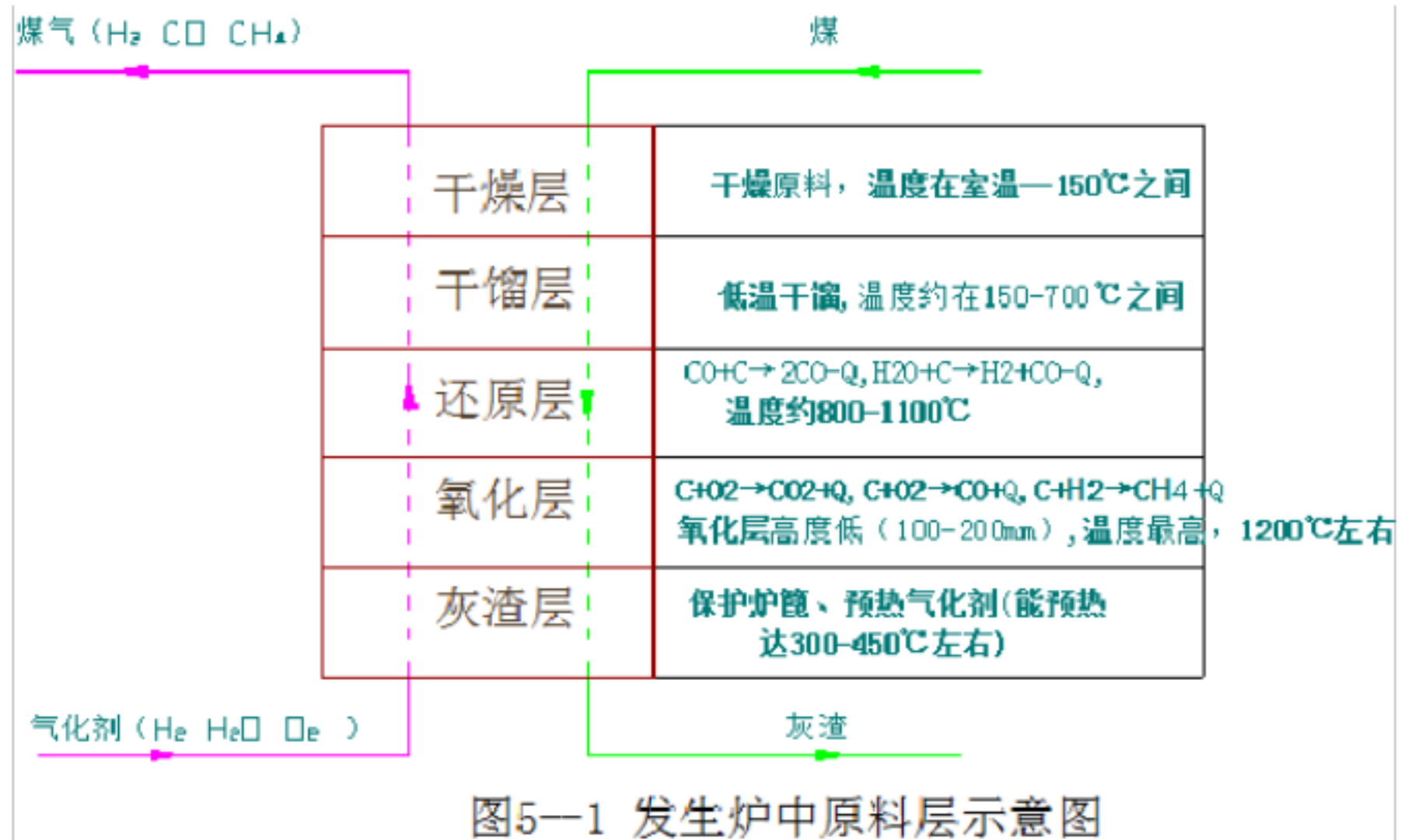
### 16.煤焦油蒸馏馏分有哪些

轻油馏分（170 之前）、酚油馏分（170~210 ）、萘油馏分（210~230 ）、洗油馏分（230~300 ）、一蒽油馏分（280~360 ）、二蒽油馏分（初馏 310 ，50%时 400 ）、沥青（蒸馏残液）

## 第五章 煤的气化

### 1. 煤气化原理（以固定床为例描述）

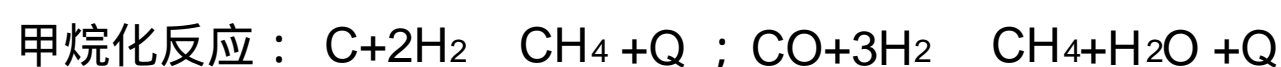
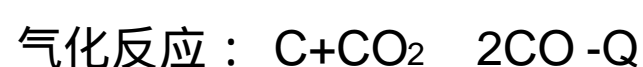
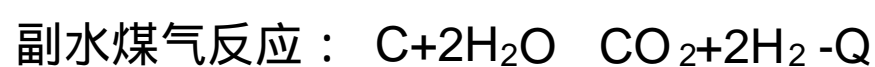
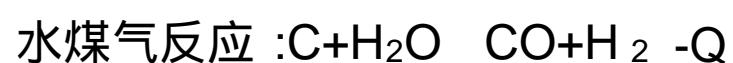
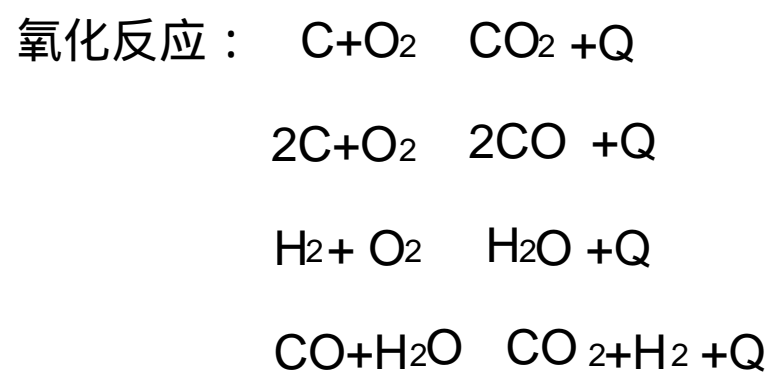
以煤或煤焦为原料，以氧气（空气、富氧或纯氧）、水蒸气或氢气等做气化剂，在高温条件下通过化学反应将煤或煤焦中的可燃部分转化为气体燃料的过程。



### 2. 煤气化类型

自热式煤的水蒸气气化、外热式煤的水蒸气气化、煤的加氢气化、煤的加氢气化与水蒸气气化相结合、煤的水蒸气气化和甲烷化相结合。

### 3. 气化的基本反应



#### 4.煤气化反应器类型

固定床：6-50mm块煤或者煤焦，只能以不粘块煤，煤气中含酚类、焦油等较多，采用一定块径范围的块煤（半焦、焦）或成型煤为原料，与气化剂逆流接触，用反应残渣（灰渣）和生成气的显热，分别预热入炉的气化剂和煤。

流化床：3-5mm 必须采用活性较高的煤种，以空气或氧气或富氧和蒸汽为气化剂，在适当的煤粒度和气速下，使床层中粉煤沸腾，气固两相充分混合接触，在部分燃烧产生的高温下进行煤的气化。

气流床：粉煤（70%以上通过200目），气体中不含焦油、酚类采用粉煤为原料，同气化剂一起喷入气化炉内，反应温度很高，灰分呈熔融状排出。

#### 5.气化用煤特点（不同的气化炉分别描述）

固定床：优点：低温煤气易于净化，适于高灰熔点煤，技术成熟，全世界煤气化装置容量占90%。

缺点：不适于焦结性强的煤，单段炉不易大型化。

流化床：优点：操作简单，动力消耗少，对耐火炉衬要求低，适于高灰熔点的煤。

缺点：容量较小，飞灰中未燃尽碳多。

气化床：优点：碳转化率高，液态灰渣易排出放大容量，负荷跟踪好，煤种适应性广。

缺点：对耐火炉衬要求高，适于低灰熔点煤。

熔融床：优点：煤种适应性广，气化效率高。

缺点：适于低灰熔点煤

#### 6.气化效率

单位质量气化原料的化学热转化为所产生的煤气化学热的比例。

#### 7.发生炉制煤气特点

#### 8.温科勒气化特点及工艺流程

工艺流程：原料的预处理：破碎粒度（0~10mm，0.5mm以下筛去）；干燥（水分：8~12%）；破黏

气化

粗煤气的显热回收（废锅回收）

煤气的除尘和冷却。

特点：原料的加入：由螺旋加料器加入圆锥部分腰部。

排灰：矸石灰（30%左右）自床层底部排出；其余飞灰由气流从炉顶夹带而出。

优点：单炉生产能力大，气化炉结构简单，可气化细颗粒煤（0~10mm），出炉煤气基本上不含焦油，运行可靠，开停车容易。

缺点：气化温度低（防止结渣），气化炉设备庞大，热损失大（煤气出炉温度高），带出物损失较多（气流中夹带碳颗粒），粗煤气质量较差。

## 9.气流床气化特点

气化温度高、气化强度大。纯氧和水蒸气气化，温度达 2000 左右。

煤种适应性强；褐煤不适于制水煤浆加料。

煤气中不含焦油；反应温度高，床层温度均一。

需要设置庞大的磨粉、余热回收、除尘等辅助装置。粉煤 70~80%过 200 目筛分，出口煤气温度高，起气速高带走的飞灰多。

## 10.干粉气化和水煤浆气化各自特点（烧嘴、炉型、工艺等）

# 第六章 煤间接液化

## 1.什么是间接液化，主要产品有哪些？

煤经气化产生合成气，再以合成气为原料合成液体燃料或化学产品的过程。

## 2.什么是费托合成，基本反应是什么，反应器有哪些

费托合成是以合成气为原料，生产各种烃类以及含氧化合物。

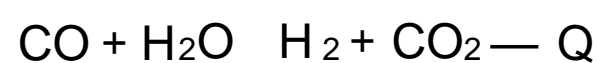
基本反应： 烷烃生成反应： $(2n+1)H_2 + nCO \rightarrow C_nH_{2n+2} + nH_2O + Q$



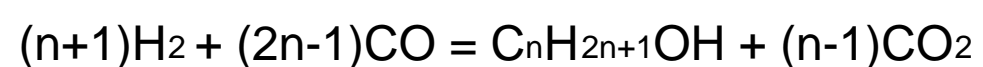
烯烃生成反应： $2nH_2 + nCO \rightarrow C_nH_{2n} + nH_2O + Q$



水煤气变换反应：反应 产物水汽很容易再发生反应：



醇类生成反应： $2nH_2 + nCO = C_nH_{2n+1}OH + (n-1)H_2O$



反应器：固定床反应器、循环流化床反应、固定流化床反应器、浆态床反应器。

### 3. 甲醇合成反应特点，反应器种类及特点，催化剂

反应： $\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH} + \text{Q}$ ， $\text{CO}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} + \text{Q}$

特点：可逆、强烈放热反应

生成甲醇的反应是一个体积缩小的反应

反应热要及时移走

高压低温下合成甲醇比较有利

需要高效的催化剂

反应器：冷激式绝热反应器：这种形式的甲醇塔虽然结构简单，生产能力较大，催化剂装卸方便，但是床层轴向温差大，出口浓度低，合成效率低。

管壳式等温反应器：优点：合成反应几乎是在等温条件下进行，副反应少，粗甲醇杂质少 催化剂床层温度易控制，床层的温差较小，操作平稳 出口甲醇浓度较 ICI 高，总循环气量比 ICI 几乎少一半。

缺点：材质与制造要比较高，结构复杂，制造困难，维护成本高 列管占用了反应器大量的空间，催化剂的装填量仅占反应器的 30% 因用副产蒸汽从催化剂床层移热，受蒸汽压力限制，在催化剂寿命后期难以提高反应温度 限于列管长度，扩大生产时，只能增加列管数量，扩大反应器的尺寸，生产操作弹性小。

浆态床反应器：浆态床反应器结构简单，溶剂热容较大，合成气与催化剂混合更充分 反应热容易移出，对强放热反应容易实现等温操作，催化剂活性稳定 与固定床相比浆态床的 CO 转化率较高，而合成气的  $\text{H}_2/\text{CO}$  比较低，有利于富含 CO 的煤基合成气作原料。 缺点是三相反应器压降较大，液相内的扩散系数比气相小的多。

### 4. 现有技术合成甲醇的缺点

由于受到反应温度下热力学平衡的限制，单程转化率低，在合成塔出口产物中甲醇浓度极少能超过 7%，因此需要多次循环，大大增加了合成气制造工序的投资和合成气成本。

ICI 等方法要求原料气中必须含有 5% 的  $\text{CO}_2$ ，从而产生了有害的杂质——水，为了使甲醇产品符合燃料及下游化工产品的要求，必须进行甲醇水分离，增加能耗。

ICI 等传统方法的合成气净化成本很高。

## 5. 甲醇做燃料的缺点

甲醇的热值只有汽油的一半

纯甲醇在固定的沸点 64 (无沸腾范围) 沸腾

甲醇燃烧时火焰看不见，这是一个很大的安全问题

甲醇吸湿性强

甲醇和其氧化物(如蚁酸)会导致腐蚀现象发生

甲醇可以任何比例溶于水，会对地下水源产生危害

甲醇具有高毒性。

## 6. 甲醇转化为汽油的反应有哪些

甲醇转汽油总反应： $n\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow (\text{CH}_2)_n + n\text{H}_2\text{O} + \text{Q}$

过程反应：甲醇脱水生成二甲基醚  $2\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$

生成小于  $\text{C}_{10}$  的烃类

## 7. MTO, MTP

MTO：甲醇制烯烃

MTP：甲醇制丙烯

## 8. 地下气化意义

煤层埋藏很深，甲烷含量很高，或煤层较薄，灰分含量很高，顶板状况险恶，进行开采既不经济又不安全时，如能采用地下气化方法则可以解决这些问题。

## 9. IGCC 工艺的评价

燃料的适应性广 具有较高的效率，发电成本降低。 对环境污染小，  
废物回收利用的条件好 节水 可实现气化与发电、合成化学品等多种联合  
在同规模下，IGCC 装置占地比传统的燃煤蒸汽发电要少。 IGCC 工  
艺可由许多并行的气化系列和燃气、蒸汽透平系列组成，因而操作机动性好，  
调节快。

## 10. 减少煤加工利用对环境污染的政策

(1) 用先进和科学的技术政策指导煤炭加工利用

大力发展煤炭洗选加工 淘汰小土焦 大力发展城市煤气

大力推广型煤

(2) 改革工艺和设备

焦炉大型化      装煤出焦采用消烟除尘装置      干法熄焦代替湿法熄焦  
 粗苯精制用加氢法代替硫酸法      增加废水的三级处理      采用高温气  
 化工艺      改进煤气净化技术      发展沸腾燃烧技术      发展坑口发电      发  
 展型煤加工，发展烟气除尘、脱硫技术

## 第七章 煤炭直接加氢液化

### 1.煤直接液化定义

将煤在较高温度（400 以上）、和压力（10MPa以上），下与氢反应使其降解和加氢，从而转化为液体油类的工艺，故又称加氢液化。

### 2.煤直接液化反应中氢的来源

溶解于溶剂中的氢在催化剂作用下变为活性氢（氢气中的氢分子被催化剂活化）

溶剂油提供的或传递的氢（供氢溶剂碳氢键断裂产生的氢自由基）

煤本身可供应的氢（煤分子中碳氢键断裂产生的氢自由基）

化学反应生成的氢（如  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ ）

### 3.煤直接液化产品有哪些

固体残渣（不溶于吡啶或四氢呋喃的部分）、气体（杂原子的  $\text{H}_2\text{O}$ ， $\text{H}_2\text{S}$ ， $\text{NH}_3$ ， $\text{CO}_2$ 和  $\text{CO}$ 等，气态  $\text{C}_1\text{-C}_4$ ）、液体（前沥青烯、沥青烯、油）

### 4.煤加氢液化反应过程

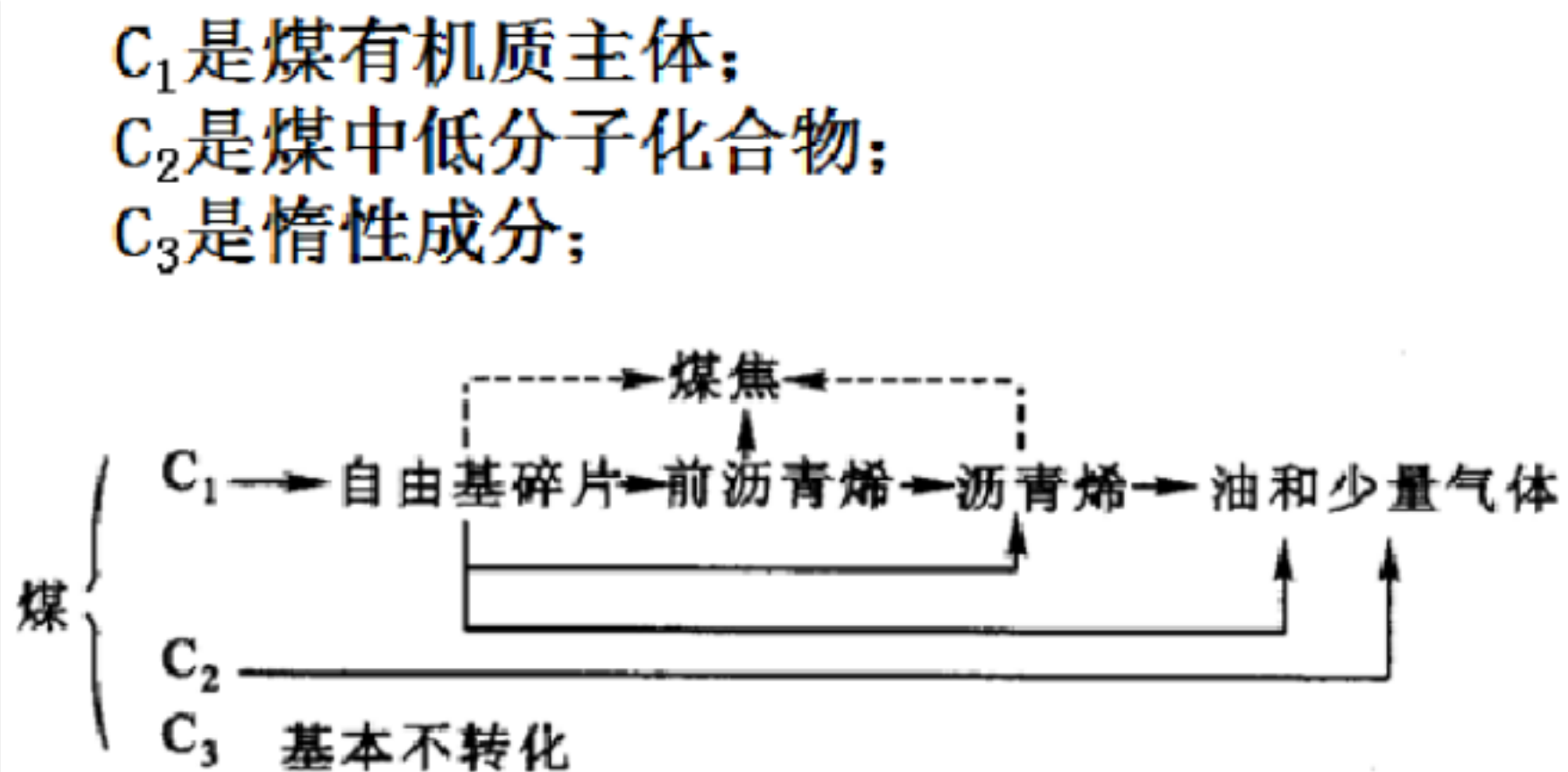


图 6-3-02 煤加氢液化反应历程图

#### 4.煤直接液化中加入循环溶剂油的作用

供氢与传递氢

溶剂提抽作用，例如煤焦油馏分和煤液化油对煤有较好的溶解能力

对氢的溶解作用，一般氢的溶解度随溶剂氢含量增加而提高，且随温度升高而增加。

#### 5.煤加氢液化影响因素

氢耗量的大小与煤的转化率和产品分布密切相关。氢耗量低时，煤的转化率低，产品主要是沥青，各种油的产率随氢耗量增加而增加，同时气体的产率也有所增加。

液固分离      循环油      催化剂      原料煤      反应温度和压力

#### 6.液固分离方式有哪些

过滤、真空闪蒸、反溶剂法、临界溶剂脱灰