

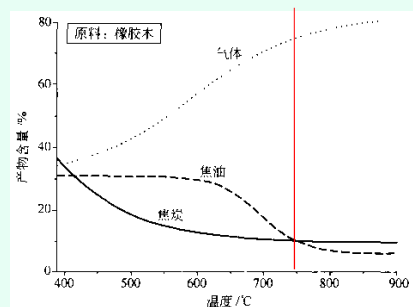
第四章 生物质气化及气化发电技术

本章主要内容：

- 生物质气化概述
- 生物质气化设备及工作原理
- 生物质气化发电技术流程与主要设备

第一节 生物质气化概述

生物质热化学转换是用加热的方法使生物质发生化学反应，改进生物质品质的过程。根据过程中的工艺参数，分成炭化(生产木炭)、气化(生产燃气)和液化(生产热解油)三种工艺。



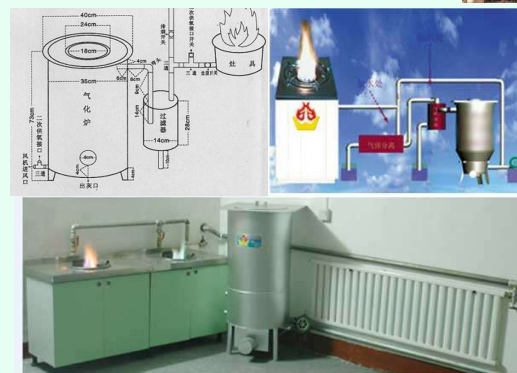
实际上，热化学转换的每种工艺都会同时得到这三种产物，各种工艺希望得到尽可能多的某种产品。

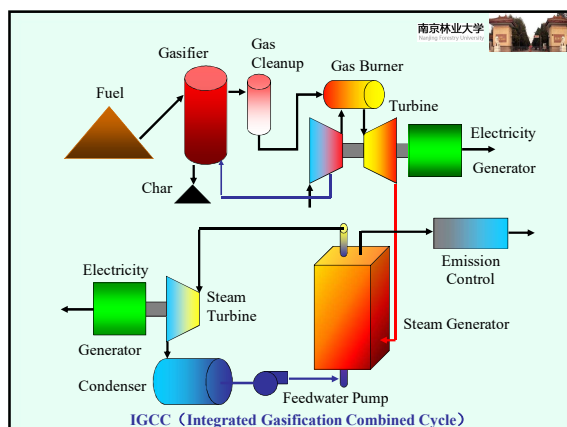
一、生物质气化的定义：

生物质气化是指在一定的热力学条件下，将生物质的碳氢化合物转化为气体燃料的热化学过程。在这个过程中，在气化装置里，游离氧或结合氧与燃料中的碳进行热化学反应，生成含一氧化碳和氢气等可燃气体。为了提供反应的热力学条件，通常气化过程需要供给空气或氧气，使原料发生部分燃烧。

气化过程和常见的燃烧过程的主要区别？

- 燃烧过程中供给足够的氧气，使原料充分燃烧，目的是直接获取热量，燃烧后的产物是二氧化碳和水蒸气等不可再燃的烟气；
- 气化过程中只供给热化学反应所需的部分氧气，而尽可能将能量保留在反应后得到的含氢、一氧化碳和低分子烃类的可燃气体中。





上世纪70年代以来，欧美等国家对生物质气化技术的研究已达到了较高水平。

- 德国100MW生物质气化联合循环发电 (BIGCC) 的示范工程，
- 美国Battelle生物质气化发电系统，
- 瑞典BIGCC系统。

目前欧美国家正在致力于生物质气化合成甲醇、制氢燃料的研究，其生物质气化装置多为流化床气化炉，使用氧或水蒸汽作气化剂，产生中热值煤气。

●固定床气化炉产生的燃气热值低，燃气中焦油含量高，易造成系统堵塞和腐蚀；

●生物质流化床气化炉，20世纪90年代初，中科院广州能源研究所研究开发了循环流化床气化炉，应用于发电；林科院林化所开发的内循环锥形流化床气化炉，应用于燃气生产。这两种流化床气化炉均为常压、采用空气作气化剂，产生低热值燃气，日前已在国内进行了推广。

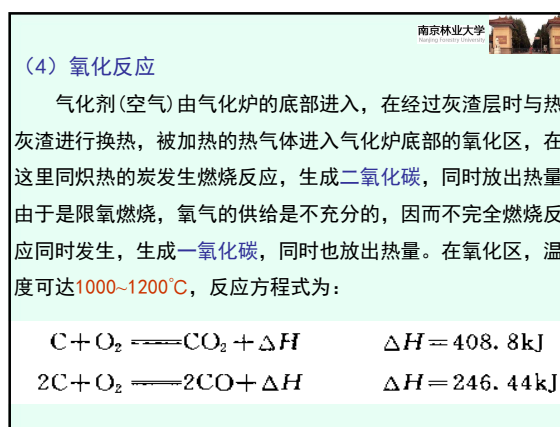
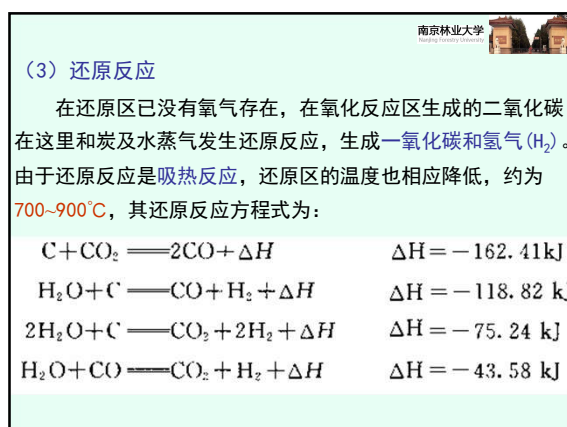
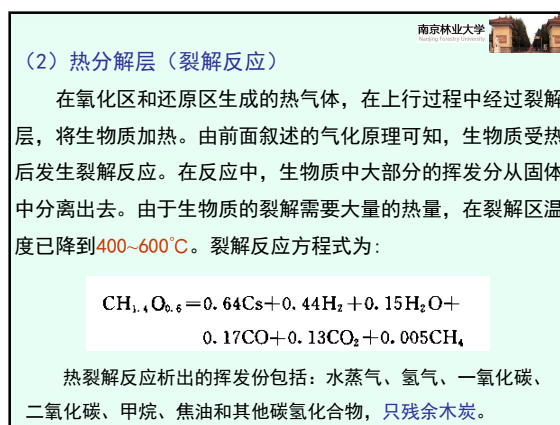
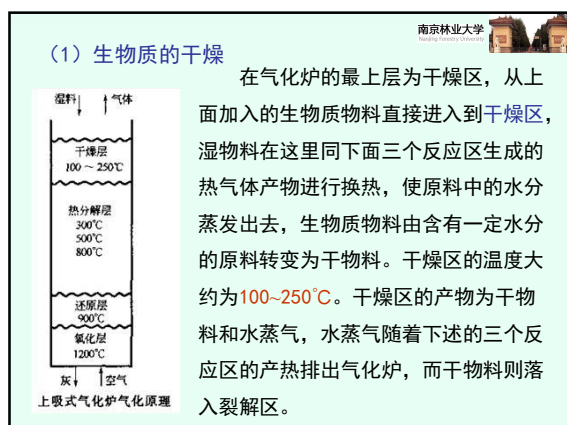
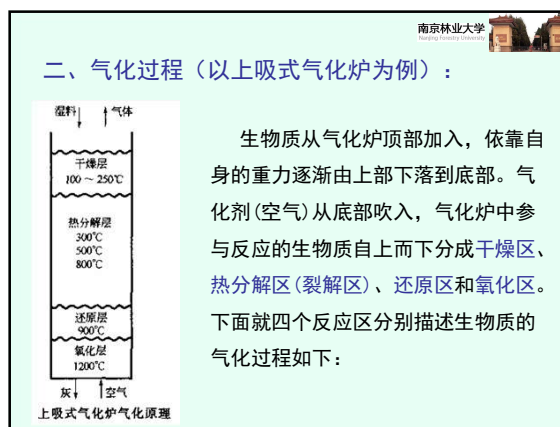
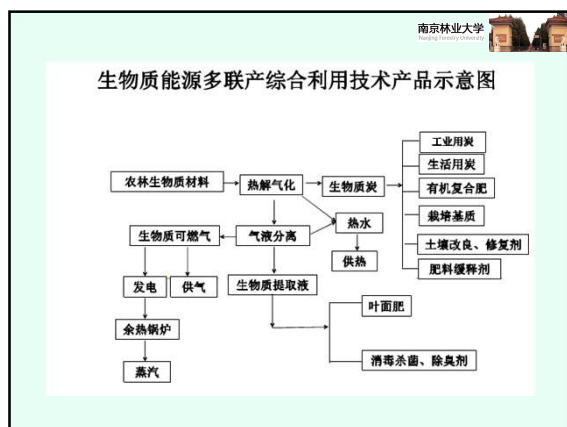
生物质气化发电技术（200~5000kW）在中国有独特的优势。由于中国电力供应紧张，而生物质废弃物浪费严重，价格低廉，所以生物质气化发电的成本，约为0.2~0.3元/KW·h，已接近或优于常规发电，其单位投资仅约3500~4000元/kW，为煤电的60%~70%，所以具备进入市场竞争的条件。

表 1 生物质发电（15 MW）燃料消耗量
Table 1 Fuel consumption mass flow of biomass power generation (15 MW)

发电方式	发电效率/ %	燃料消耗率/ (kg kWh ⁻¹)	年燃料消耗量/t
直燃	15	1.5766	153 715
直接混燃	38	0.6223	60 677
间接混燃	38×0.85	0.7390	72 053
气化（内燃机）	30	0.7883	76 857
燃气—蒸汽联合循环	35	0.6757	65 877

表 2 生物质发电（15 MW）燃料费用
Table 2 Fuel costs of biomass power generation (15 MW)
单位：万元

发电方式	年收购费用	年运输费用	燃料费用
直燃	2 613.15	39.24	2 652.39
直接混燃	1 031.51	9.72	1 041.23
间接混燃	1 224.92	12.59	1 237.51
气化（内燃机）	1 306.58	13.87	1 320.45
燃气—蒸汽联合循环	1 119.92	11.01	1 130.93





在上述反应过程中，只有氧化反应是放热反应，释放出热量，为生物质原料干燥、热解和还原阶段提供热量。通常把氧化区及还原区合起来称做**气化区**，气化反应主要在这里进行；而裂解区及干燥区则统称为**燃料准备区**或叫做**燃料预处理区**。

如上所述，在气化炉内截然分为几个区的情况实际上并不如此。事实上，一个区可以局部地渗入另一个区，由于这个缘故，所述过程有一部分是可以互相交错进行的。



气化过程实际上总是兼有燃料的干燥、裂解过程的。气体产物中总是掺杂有燃料的干馏裂解产物，如焦油、醋酸、低温干馏气体。所以在**气化炉出口**，**产出气体成分主要为一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO₂)、氢气(H₂)、甲烷(CH₄)、焦油及少量其他烃类(C_mH_n)**，还有水蒸气及少量灰分。



三、气化过程的基本参数

(1) 当量比

是指自供热气化系统中，单位生物质在气化过程所消耗的空气(氧气)量与完全燃烧所需要的理论空气(氧气)量之比，是气化过程的主要控制参数。当量比大，说明气化过程消耗的氧量多，反应温度升高，有利于气化反应的进行，但燃烧的生物质份额增加，产生的二氧化碳量增加，使气体质量下降，**理论最佳当量比为0.28**。



(2) 气体产率

是指单位质量的原料气化后所产生气体燃料在标准状态下的体积。

(3) 气体热值

是指单位体积气体燃料所包含的化学能气体：

$$Q_v = 126\text{CO} + 108\text{H}_2 + 359\text{CH}_4 + 665\text{C}_n\text{H}_m$$

式中 Q_v ——气体热值，kJ/m³；

C_nH_m ——不饱和碳氢化合物 C₂ 与 C₃ 的总和。



(4) 气化效率

是指生物质气化所得到的燃气在完全燃烧时放出的热量与气化使用的生物质发热量之比。它是**衡量气化过程的主要指标**。

$$\text{气化效率}(\%) = \frac{\text{冷气体热值}(\text{kJ}/\text{m}^3) \cdot \text{干冷气体率}(\text{m}^3/\text{kg})}{\text{原料热值}(\text{kJ}/\text{kg})}$$

(5) 热效率

热效率为生成物的总热量与总耗热量之比。其中，应考虑气化过程中气化剂所带入的热量。当气化过程中焦油被利用时，焦油也应作为可利用的热量。



(6) 碳转换率

是指生物质燃料中的碳转换为气体燃料中的碳的份额，即气体中含碳量与原料中含碳量之比。它是**衡量气化效果的指标之一**。

(7) 生产强度

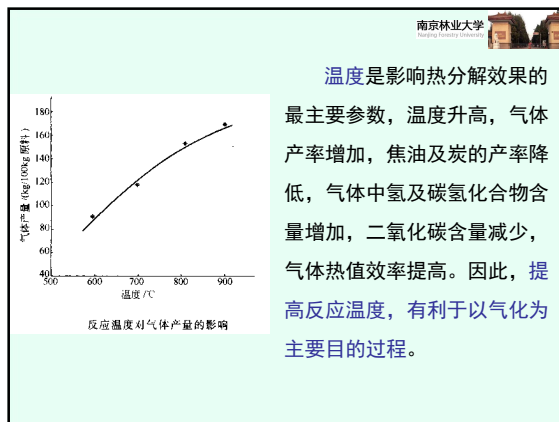
是指单位时间内每单位反应炉截面积处理原料的量。

四、气化过程的综合影响因素

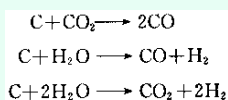
气化反应是一个非常复杂的热化学过程，这个过程受很因素的影响。例如：**反应温度**、**反应压力**、**物料特性**、**气化设备结构**等。

不同生物质气化后燃气的成分

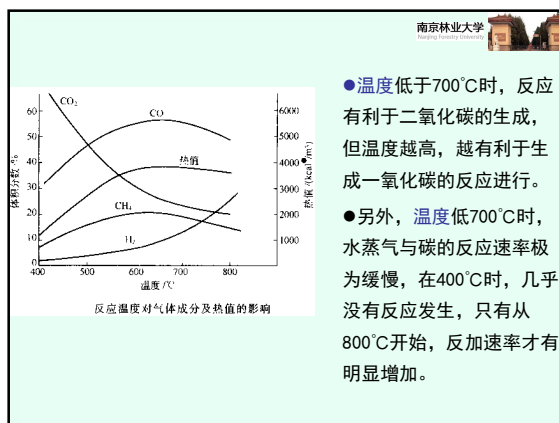
原料品种	燃气成分/%							低位热值(标准状况下)/(kJ/m ³)
	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	C _m H _n	N ₂	
玉米芯	12.5	1.4	22.5	12.3	2.32	0.2	48.78	5120.0
棉枯	11.6	1.5	22.7	11.5	1.92	0.2	50.58	4915.5
玉米粒	13.0	1.6	21.4	12.2	1.87	0.2	49.68	4808.8
稻草	13.5	1.7	15.0	12.0	2.1	0.1	55.60	4901.8
麦秸	14.0	1.7	17.6	8.5	1.36	0.1	56.74	3663.5



还原过程中的主要化学反应是指气化反应中二氧化碳与碳的还原反应。主要有下列反应式：

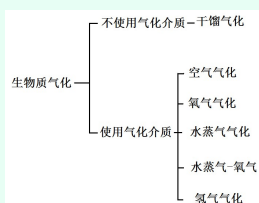


这些反应是可逆的，增加**温度**与减少**压力**有利于反应向右进行，增加温度有利于水蒸气还原反应的进行，但生成一氧化碳与二氧化碳的反应平衡常数是不同的。



五、气化技术分类

- 按**制取燃气热值**的不同分为：低热值、中热值和高热值燃气制取方法；
- 按**设备运行方式**的不同分为：固定床、流化床和携带床等；
- 按**气化介质**可分为：不使用气化介质和使用气化介质两种。



1、干馏气化

干馏气化属于热解的一种特例，指在**完全无氧或只提供极有限的氧**使气化不至于大量发生情况下进行的生物质热解，也可描述成生物质的**部分气化**。主要是生物质的挥发分在一定温度下进行挥发。
生成四种产物：固体炭、木焦油和木醋液(可凝挥发物)与可燃气(不可凝挥发物)。

热解温度：分为低温热解(600℃以下)。中温热解(600~900℃)和高温热解(900℃以上)。**气化气热值为15MJ/m³，为中热值气体。**

产物成分：焦油5~10%，木醋液30~35%，木炭28~30%，可燃气25~30%，可燃气主要成分：二氧化碳、一氧化碳、甲烷、乙烯、氢气等。由于干馏气化是吸热反应，应在工艺中提供外部热源以使反应进行。

南京林业大学
Nanjing Forestry University




木醋液：醋酸、酚类、水。
农业、饲料、工业中杀菌剂、添加剂。

焦油

南京林业大学
Nanjing Forestry University

2、空气气化

以空气为气化介质的气化过程。空气中的氧气与生物质中的可燃组分进行氧化反应，产生可燃气体，反应过程中放出的热量为热分解与还原过程提供热量，**整个气化过程是一个自供热系统。**

空气中含有79%的**氮气**，它不参加气化反应，但稀释了燃气中可燃组分的含量，其气化气中氮气含量高达50%左右，因而降低了燃气的热值气体，**热值在5MJ/m³左右，属低热值燃气。**由于空气可以任意取得，空气气化过程又不要外供热源，所以，空气气化是所有气化过程中最简单也最易实现的形式，因而**这种气化技术应用较普遍。**

南京林业大学
Nanjing Forestry University

3、氧气气化

氧气气化是指向生物质燃料提供一定纯氧，使之进行氧化还原反应，产生可燃气体。

没有惰性气体，在与空气气化相同的当量比下，反应温度提高。反应速率加快，反应器容积减小，热效率提高，气化气热值提高一倍以上。氧气气化的气体产热值与城市煤气相当。氧气气化生成的可燃气体热值为15MJ/m³左右，为**中热值气体**。

在该反应中应控制氧气供给量，既保证生物质全部反应所需要的热量，又不能使生物质同过量的氧反应生成过多的二氧化碳。

南京林业大学
Nanjing Forestry University

4、水蒸气气化

水蒸气气化是指水蒸气同高温下的生物质发生反应，它不仅包括水蒸气-碳的还原反应，尚有CO与水蒸气的变换反应等各种甲烷化反应以及生物质在气化炉内的热分解反应等，其主要气化反应是吸热反应过程。

典型的水蒸气气化结果为：**H₂: 20%~26%；CO: 28%~42%；CO₂: 16%~23%；CH₄: 10%~20%；C₂H₂: 2%~4%；C₆H₆: 1%。**

生成的气化气中**氢气和甲烷的含量较高**，其热值也可以达到10920~18900 kJ/m³，为**中热值气体**。该技术较复杂，不宜控制和操作。

南京林业大学
Nanjing Forestry University

5、水蒸气—空气

水蒸气—空气混合气化是指水蒸气和空气同时作为气化剂的气化过程。

从理论上分析，水蒸气-空气气化是比单用空气或单用水蒸气都优越的气化方法。**一方面**，它是自供热系统，不需要复杂的外供热源；**另一方面**，气化所需要的一部分氧气可由水蒸气提供，减少了空气消耗量，并生成更多的H₂及碳氢化合物，提高了燃气的热值。特别是在有催化剂存在的条件下，CO变成CO₂反应的进行降低了气体中CO含量，使**气体燃料更适合于用作城市燃气**。燃气热值11.5MJ/m³。

南京林业大学
Nanjing Forestry University

6、氢气气化

氢气气化是指以氢气作为气化剂的气化过程。主要气化反应是氢气与碳和水生成大量甲烷的过程，反应条件苛刻，需在高温高压且具有氢源的条件下进行。

此反应可燃气的热值为22.3~26MJ/m³，属**高热值气化**。此类**气化不常应用**。

不同气化技术的气化特性				
气化装置类型	空气气化炉	氧气气化炉	水蒸气气化炉	氢气气化炉
气化剂	空气	氧气	水蒸气	氢气
热值 (KJ/m ³)	4200~7560	10920~18900		22260~26040
用途	锅炉、干燥、动力	区域管网、合成燃料、氨		工艺热源、管网

五、生物质气化生成的可燃气的特点

1、成分和热值

生物质燃气的主要成分及热值 (空气)							
原料品种	成分/%						低位热值/(kJ/m ³)
	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂	N ₂	O ₂	
木屑	13.98	20.2	3.95	9.15	52.02	1.2	5894
果树剪枝	12.5	19.89	3.96	9.56	53.33	1.78	5676
木屑废料	12.76	20.31	2.94	10.08	53.13	1.45	5371
玉米芯	12.3	22.5	2.32	12.5	48.98	1.4	5032.8
棉枯	11.5	22.7	1.92	11.6	50.78	1.5	5585.2
玉米秸	12.2	21.4	1.87	13.0	49.88	1.65	5327.7
麦秸	8.5	17.6	1.36	14.0	56.84	1.7	3663.5

普通煤气的基本成分及热值 ^[12,13]								
燃气种类	成分/%							热值/(kJ/m ³)
	H ₂	CO	CH ₄	C _m H _n	CO ₂	N ₂	O ₂	
空气煤气	0.9	33.4	0.5	0.0	0.6	64.6	0.0	1082
混合煤气	44.2	13.4	18.7	1.7	2.8	18.5	0.7	14270
焦炉煤气	47.3	10.8	21.3	4.2	4.6	10.6	1.2	17270
天然气	0.0	0.0	81.7	15.6	0.7	1.8	0.2	52820
石油液化气	0.0	0.0	1.3	96.9	0.8	1.0	0.0	122260

2、相对分子量

可燃气的相对分子质量等于组成这部分可燃气的各单质气体相对分子质量的加权平均值。

$$M = \frac{\sum x_i m_i}{100}$$

式中 x_i —— 燃气中各单质气体的体积百分数，%；

m_i —— 燃气中各组成气体的相对分子质量。

例：以玉米秸为原料气化后的生物质燃气的相对分子质量约为26.465。

3、密度

可燃气的密度和相对密度：单位体积可燃气的质量称为该燃气的密度。

$$\rho_k = \frac{\sum x_i \rho_i}{100}$$

式中 ρ_k —— 生物质燃气在标准状态下的密度，kg/m³；

x_i —— 燃气中各单质气体的体积百分数，%；

ρ_i —— 燃气中各组成气体在标准状态下的密度，kg/m³。

例：以玉米秸为原料气化后的生物质燃气的密度（标准状态下）为1.18kg/m³。

3、密度

标准状态下气体密度 ρ^0 /(kg/m ³)		
气体名称	分子式	密度
氢	H ₂	0.090
氮	N ₂	1.250
氧	O ₂	1.429
一氧化碳	CO	1.251
二氧化碳	CO ₂	1.977
甲烷	CH ₄	0.717
乙烷	C ₂ H ₆	1.261
水蒸气	空气	1.293

例：以玉米秸为原料气化后的生物质燃气的密度（标准状态下）为1.18kg/m³。

南京林业大学

相对密度

燃气的密度和干空气密度之比：

$$S = \frac{\rho_R^\circ}{1.293}$$

干空气密度

南京林业大学

4、华白指数

华白指数是一个热负荷指标，它从燃气性质的角度全面的反映了燃气向燃烧器提供热量的能力，是保证已有的燃烧器在燃气性质发生变化时仍能正常使用(燃气的互换性)的重要指标。

$$W_s = \frac{Q_{\text{net}}}{\sqrt{S}}$$

式中 W_s ——华白指数；
 Q_{net} ——燃气（在标准状态下）的干基高位发热值，
 kJ/m^3 ；
 S ——燃气的相对密度。

例：以玉米秸为原料气化后的生物质燃气的华白指数为5396

南京林业大学

5、理论空气量

每标准立方米燃气完全燃烧所需的最小空气量称为理论空气量。

气体名称	分子式	理论空气量(标准状态下)/(m^3/m^3)
氢	H_2	2.38
一氧化碳	CO	2.38
甲烷	CH_4	9.52
乙烷	C_2H_6	14.28

$$V_K = \frac{1}{21} \left[0.5\text{H}_2 + 0.5\text{CO} + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) \text{C}_m\text{H}_n - \text{O}_2 \right]$$

例：以玉米秸为原料气化后的生物质燃气的理论空气量(标准状态下)为0.955 m^3/m^3 。

南京林业大学

6、着火浓度极限（爆炸极限）

燃气的燃烧必须具备两个条件：①要与空气或氧混合；②要有点火源。燃气能够正常着火的最大和最小浓度称为**着火浓度极限**。当密闭空间内的可燃气体处于着火浓度极限范围内时，引入点火源，可燃混合物几乎是在瞬间完成燃烧而形成爆炸，因此着火浓度极限也称为**爆炸极限**。其最小浓度称为着火浓度下限(爆炸下限)，最大浓度称为着火浓度上限(爆炸上限)。

例：以玉米秸为原料气化后的生物质燃气的着火浓度下限为16.9%，上限为80.4%。

南京林业大学

第二节 生物质气化设备及工作原理

气化炉（按运行方式的不同）：

- 固定床气化炉
- 流化床气化炉
- 携带床气化炉

南京林业大学

生物质气化炉分类

```

graph LR
    A[生物质气化炉] --> B[固定床气化炉]
    A --> C[流化床气化炉]
    B --> B1[下吸式气化炉]
    B --> B2[上吸式气化炉]
    B --> B3[横吸式气化炉]
    B --> B4[开心式气化炉]
    C --> C1[单流化床气化炉]
    C --> C2[循环流化床气化炉]
    C --> C3[双流化床气化炉]
    C --> C4[携带床气化炉]
  
```


一、气化炉

气化炉的定义：用来气化固体燃料的设备叫做气化炉。气化炉是生物质气化系统中的核心设备，生物质在气化炉内进行气化反应，生成可燃气。

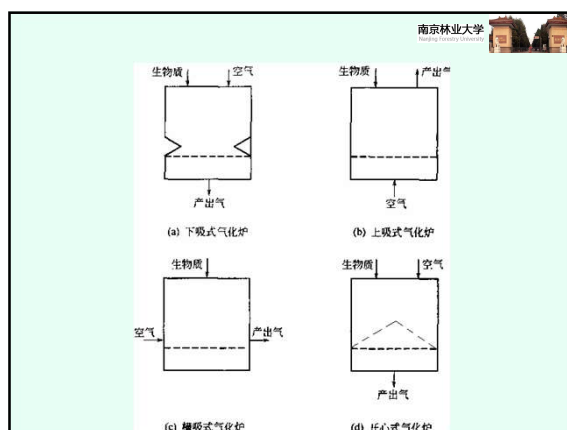
(一) 固定床气化炉

固定床气化炉，是指气流在通过物料层时，物料处于静止状态，因此称做固定床。

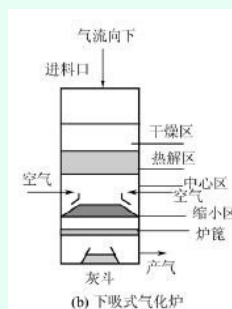
优点：①制造简便，有很少的运行部件；②较高的热效率。

缺点：①内部过程难于控制；②内部物质容易搭桥形成空腔；②处理量小。

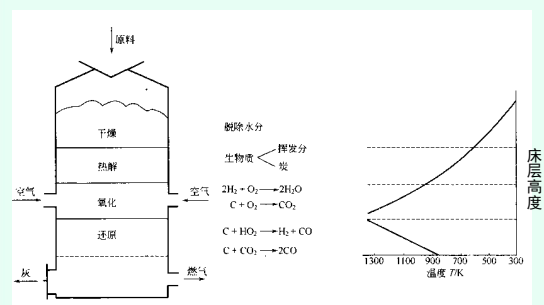
根据气化炉内气流运动的方向，固定床气化炉又可分为下吸式气化炉、上吸式气化炉、横吸式气化炉及开心式气化炉四种类型。



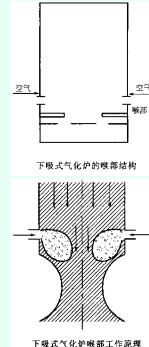
1、下吸式气化炉



下吸式气化炉的工作原理



下吸式气化炉的喉部



为了使氧化区各部位的温度均匀一致，不至于产生死区和过热区，从而保证焦油裂解反应最大限度地进行，下吸式气化炉下部的横截面尺寸变小，这个部位即“喉部”，“喉部”尺寸的大小决定了气化炉的产气能力和产气品质。

为保证物料与空气的充分混合，在“喉部”布置多个空气喷嘴。

南京林业大学

下吸式气化炉

- 优点：**结构比较简单，加料方便，产出气体中焦油含量少，由于是微负压运行，因此，操作方便，运行安全可靠。
- 缺点：**产出气体流动阻力大，消耗功率增多，产出气体中含灰分较多，温度较高。

一般情况下，下吸式气化炉设炉栅，但如果原料尺寸较小，可设炉栅。日前国内外都已用于商业化运行。

南京林业大学

下吸式应用：产气量一般小于600m³/h，最大可达1000m³/h，适合以农村为服务对象的气化站。国内现有的气化站大多属于此类炉型。

生产厂	原料	装机容量
Martens(法国)H&G(丹麦)	废木	135kWe
Chevel(法国)许多发达国家	废木、可壳、棉秆	20~120kWe 315kW·t
Wamaler(德国)	废木	600~1500kW·t
Bio-Heizstoffwerk(德国)	废木、废纸、棉秆、黑炭、生物质成型块	10~500kWe
HTV-Juch(瑞士)	废木	400~450kW·t
Schelde(荷兰)	污泥、泥渣	1MW·t
GASBI(西班牙)	废木	150~1500kW·t
Melma(瑞士)	废木	10kWe
MHB(德国)	废木	3.3kW·t
NHPS, Ennskillen	废木	100kW, 200kW·t
Fluidyne(荷兰), Tetra Bristol Adams Ltd(英国)	废木	30kWe

南京林业大学

2、上吸式气化炉

图 3-10 上吸式气化炉工作原理图

南京林业大学

上吸式气化炉

工作过程：上吸式气化炉的主要特点是产出气体经过裂解区和干燥区时直接同物料接触，可将其携带的热量直接传递给物料，使物料裂解干燥，同时降低了产出气体的温度，使气化炉的热效率有所提高，而且裂解区和干燥区有一定的过滤作用；

特点：

- **优点：**排出气化炉的产出气体中灰含量减少；上吸式气化炉可以使用较湿的物料(含水量可达50%)。并对原料尺寸要求不高；由于热气流向上流动，炉排会受到进风的冷却，温度较下吸式的低，工作比较可靠。

南京林业大学

上吸式气化炉

➤ **缺点：**裂解区生成的**焦油**没有通过气化区而直接混入可燃气排出，这样产出的气体中焦油含量高，不易净化。这对于燃气的使用是一个很大的问题，因为冷凝后的焦油会沉积在管道、阀门、仪表、燃气灶上，破坏系统的正常运行。**自有生物质气化技术以来，消除焦油的问题始终是一个技术难点。**上吸式气化炉一般用在粗燃气不需冷却和净化就可以直接使用的场合，**在必须使用清洁燃气的场合，只能用木炭作为原料。**

南京林业大学

上吸式应用：东南亚和欧洲的一些国家在**微型**设施中得到应用。

生产厂	运行数量	原料	装机容量
Bioneer(芬兰)	10 处	木材、泥炭	6MW·t
V&land(丹麦)	2 处	木材、秸秆	4MW·t, 1.2MW·t
Daneco(意大利)	3 处	RDF	3MW·t, 0.6MW·t, 6MW·t

南京林业大学

中国生物质气化技术应用现状

类型	气化炉 直径/mm	生产强度 /[kg/(m ² ·h)]	功率 /(MJ/h)	应用情况	研究单位
上吸式	1100	240	2.9	生产供热	广州能源所
	1000	180	1.6	锅炉供热	南京林化所
下吸式	400	200	0.3	发电(10kW)	中国农科院
	600	200	0.66	木材烘干	中国农科院
	900	200	1.49	锅炉供气	中国农科院
	600	200	0.66	生活用气	山东能源所
	500	510	0.92	生活用气	辽宁能源所
	300	637	0.9	发电(30kW)	辽宁能源所

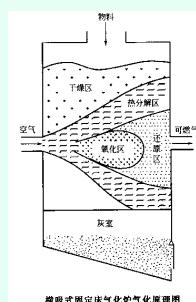
南京林业大学

表 1 文献记载的生物质下吸式固定床气化炉的商业化应用项目
Table 1 Recorded commercially available downdraft fixed bed gasifiers in the world

应用地 region	原料 raw material	产能/4W capacity	生产商(技术支持单位) producer
美国	木材	1 000	CLEW
美国	木片、玉米棒	40	Swalley Engr.
丹麦	木材加工剩余物	500	Holsten Engr.
新西兰	木材、木片	30	Phosho
法国	木材、农业剩余物	100~400	Martens
美国	木片、椰子壳	30	Newcastle Univ of Tech.
美国	农业加工剩余物	300	Shawco Engineering
瑞士	木材、农业生物质	50~2 300	DASAG
瑞士	木材	25~4 000	HTV Energy
印度	木片、稻壳	100 ²	Associated Engineering Works
印度	木材、玉米棒、稻壳	—	Ashok Scientific Energy Technology
南非	木块、木片	30~500	Sydeim Johannes gas producers
荷兰	稻壳	150	KARA Energy Systems
中国北京	锯末	200	Huaxiao Wood Equipment
中国山东	农作物秸秆	500 ²	Huaxiao Integrated Gas Supply System
中国湖南	农作物秸秆	500 ²	DTM Integrated Gas Supply System
中国江苏镇江	木片	200 ²	南京林业大学
中国福建晋江	木片	500 ²	南京林业大学
中国安徽滁州	木片	500 ²	南京林业大学
中国江苏常州	稻壳	2 000 ²	南京林业大学
中国广西南宁	木片	300 ²	南京林业大学(正在调试)
中国浙江衢州	木片	500 ²	南京林业大学(正在调试)
中国湖南	稻壳	500 ²	南京林业大学(正在调试)
中国山东威海	果树枝条	1 000 ²	南京林业大学(正在调试)

注: ① 产能单位为 kg/h; ② 燃气中甲烷的产能; ③ 燃气用于发电的产能

3、横吸式固定床气化炉



横吸式固定床气化炉的特点是空气由侧方向供给, 产出气体由侧向流出。气体流横向通过燃烧气化区。它主要用于木炭气化。

特点: 炉内反应温度高、气化强度大、燃气几乎不含焦油; 反应温度高, 容易使灰熔化, 需要灰含量低的物料, 如木炭和焦炭等。

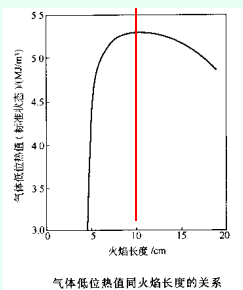
横吸式固定床气化炉

• 在南美洲应用广泛并投入商业运行。

运行影响因素:

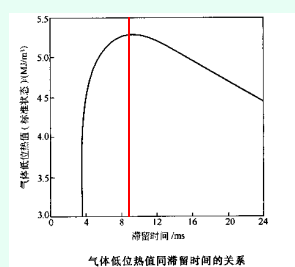
- (1) 火焰长度;
- (2) 滞留时间;
- (3) 喷嘴气流速度。

横吸式运行影响因素:



(1) 火焰长度10cm产出气热值最高

横吸式运行影响因素:



(2) 滞留时间0.009s产出气热值最高

横吸式运行影响因素:

进风速度对气体质量的影响						
喷嘴气流速度 (m/s)	高温区温度/℃	气体成分				碳转化率
		CO ₂	CO	H ₂	CH ₄	
22.6	980	17.7	8.5	1.3	0.9	0.325
44.8	1300	9.1	20.3	4.2	1.1	0.693
72.3	1420	6.0	24.9	4.2	1.1	0.807
90.0	1400	5.6	27.5	4.3	1.2	0.832
115.0	1420	4.2	28.4	5.6	1.3	0.877
218.6	1520	2.6	30.1	6.5	1.3	0.922

(3) 喷嘴气流速度高于30m/s, 速度增加可得到质量更好的气体

4、开心式固定床气化炉



图 3-16 开心式固定床气化炉原理图

开心式固定床化炉与下吸式相似, 气流同物料一起向下流动。但是由转动炉栅代替了喉管区。主要反应在炉栅上部的燃烧区进行。

结构简单而且运行可靠。它是由我国研制的, 主要用于稻壳气化, 并已投入商业运行多年。

5、固定床气化炉运行影响因素

(1) 反应温度——最大的影响因素

- 影响气体成分;
- 影响燃气产量;
- 影响气化时间。

温度高对气化影响是正面的, 但过高会增加CO₂, 造成的散热损失大, 对炉子材质要求高。

5、固定床气化炉运行影响因素

(2) 进风速度

适当增加速度可以提高反应温度, 但是速度过大会减少气体和燃料的接触时间, 恶化CO₂的还原, 固定床0.1~0.2m/s比较合适。

(3) 炉中物料高度: 干燥层: 0.1~3m; 热裂解层: 0.3~3m; 还原层与氧化层: 0.1~0.3m;

增加料层高度可以提高燃气质量, 并可降低燃气出炉时温度。

5、固定床气化炉运行影响因素

(4) 原料性质

- 含水率: ≤20%;
- 粉碎粒径: ≤3cm;
- 种类: 影响燃气的性质。

生物质燃气的主要成分及热值							
原料品种	成分/%						低位热值 (kJ/m ³)
	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂	N ₂	O ₂	
木屑	13.94	20.2	3.95	9.15	52.02	1.2	5894
果树枝	12.5	19.89	3.96	9.56	53.33	1.78	5676
水稻秸秆	12.76	20.31	2.94	10.08	53.13	1.45	5371
玉米芯	19.3	22.5	2.32	12.5	48.98	1.4	5032.8
棉枯	11.5	22.7	1.92	11.6	50.78	1.5	5585.2
玉米秸	12.2	21.4	1.87	13.9	49.88	1.65	5327.7
麦秸	8.5	17.6	1.36	14.0	55.84	1.7	3663.5

固定床气化炉对原料的要求

气化炉类型	下吸式	上吸式	横吸式	开心式
原料类型	废木	废木	木炭	稻壳
尺寸 (mm)	20~100	0.5~10	40~80	1~3
水分 (%)	<25	<60	<7	<12
灰分 (%)	<6	<25	<6	<20

下吸式产出气体
含灰量较高

上吸式干燥层
温度较高

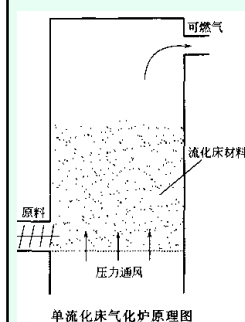
(二) 流化床气化炉

• **机理**：在流化床气化炉中，一般采用**惰性材料**（如石英砂）作为流化介质，由气化炉底部吹入的、向上流动的强气流使砂子和生物质物料的运行就像是液体沸腾一样漂浮起来，流化床有时也称做**沸腾床**。流化床气化炉具有气、固接触，混合均匀的优点，反应温度一般为700~900℃。

• **特点**：流化床气化炉适合**水分含量大、挥发份低、着火困难**的生物质原料，原料适应性广，可大规模、高效利用。



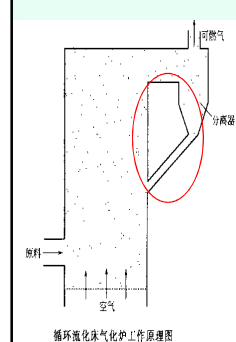
1、单流化床气化炉



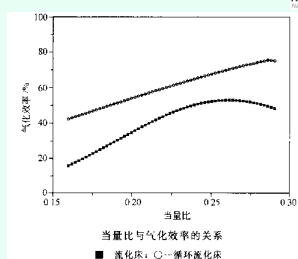
只有一个流化床反应器，气化剂从底部气体分布板吹入，生成的气直接由气化炉出口送入气化系统中。**单流化床气化炉流化速度较慢，比较适合于颗粒较大的生物质原料**，而且一般情况下必须增加流化介质。

问题：由于飞灰和夹带炭颗粒严重，运行费用较大，不适合于小型气化系统，**只适合于大中型气化系统**。

2、循环流化床气化炉



相比单流化床，循环流化床设有**旋风分离器或袋式分离器**，循环流化床流化速度较高，碳的转化率较高，它适用于较小的物质颗粒。



在相同的当量比下，**循环流化床炉内的反应温度比单流化床高得多**，这一方面是因为炭的循环回收了能量；另一方面，强化的传热传质过程及较大的气固接触表面也提高了燃烧速率。

表 3-9 流化特性

炉型	原料	平均直径/mm	临界流化速度 $u_{mf}/(m/s)$	运行速度 $u_r/(m/s)$	自由沉降速度 $u_{f0}/(m/s)$	u_r/u_{mf}	u_r/u_{f0}
循环流化床	木粉	0.329	0.12	1.4	0.4	11.7	3.5
单流化床	稻壳	0.47	0.37	0.74	0.85	2	0.87

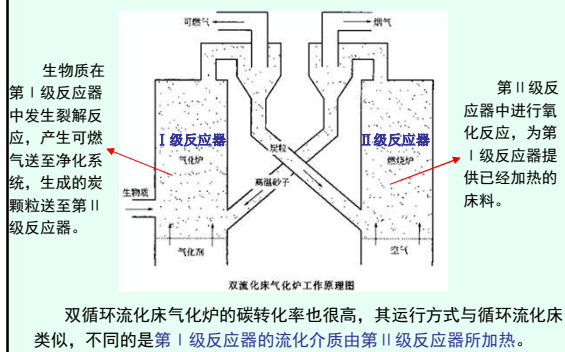
表 3-10 循环流化床空气气化炉的操作特性

颗粒直径/ μm	流化速度	加料量	当量比	反应温度/ $^{\circ}C$	颗粒平均停留时间/min	气体平均停留时间/s
150~360	3~5倍自由沉降速度	40~500	0.18~0.22	600~850	5~8	2~4

表 3-11 指标比较

炉型	尺寸(直径×高)/mm	生产强度 $/(kg/m^2)$	比较	气体热值 $/(kJ/m^3)$	比较	气化效率/%	比较
循环流化床	410×4000	1900	8	7100	1.42	75	1.12
鼓泡流化床	150×3050	920	4	5925	1.18	67	1
上膜式气化炉	1100×2300	240	1	5009	1	75	1.12

3、双循环流化床气化炉



4、携带床气化炉

- 携带床气化炉是流化床气化炉的一种特例，它不使用惰性材料，提供的气化剂直接吹动生物质原料，属于气流输送。
- 气化炉要求原料破碎成细小颗粒，运行温度高达成1100~1300℃，产出气体中焦油及冷凝物含量很低，碳转化率可达100%。
- 由于运行温度高，易烧结，故选材较难。

生物质流化床气化与固定床气化相比较，具有以下优点：

- 流化床气化可以使用粒度很小的原料，对灰分的要求也不高；流化床气化效率和气化强度都比较高，因此，其气化炉的断面要小；
- 流化床气化的产气能力可在较大范围内波动，且气化效率不会明显降低；
- 流化床使用的燃料颗粒很细，传热面积大，故传热效率高，而且气化反应温度不是很高且均衡，使结渣的可能性减弱。

生物质流化床气化与固定床气化相比较，具有不足之处：

- 产出气体的显热损失大，用于自身气化的显热热量很少；
- 由于流化速度较高，燃料颗粒又细，故产出气体中的带出物较多；
- 流化床要求床内燃料分布均匀、温度均匀、运行控制和检测手段较复杂。

第三节 生物质燃气的净化

从生物质气化炉中生成的可燃气，并不适合直接送给用户。这是因为生物质可燃气并不纯净而是含有杂质的，或者是因为可燃气体的温度太高。

一、生物质燃气中的杂质

选择性催化还原，在催化剂作用下，还原剂 NH_3 将 NO_x 还原成 N_2 。

燃气中的各种杂质特性

杂质种类	典型成分	可能引起问题	净化办法
颗粒	灰、焦炭、热质、颗粒	磨损、堵塞	气固筛过滤水洗
碱金属	钠、钾等化合物	高温腐蚀	冷凝、吸附、过滤
氮化物	主要是氨和 HCN	形成 NO_x	水洗 SCR 等
焦油	各种芳香烃等	堵塞、难以燃烧	裂解、除焦、水洗
硫氢	HCl 、 H_2S	腐蚀污染	水洗化学反应法

1、固体杂质

固体杂质是指灰分和微细的炭颗粒组成的混合物。根据所用原料的不同，灰粒的数量和大小各异。

- 当使用木炭或木材时，原料中含灰量很少，而且木炭的结构比较强，所以只在气化的最后阶段，才出现被燃气携带的细小炭粒，燃气中灰粒的量约为5~10g/m³。

1、固体杂质

➤ 秸秆灰含量较高，其他原料热解后的炭结构很弱也较轻，很容易被气流携带。因此秸秆气化后燃气中的固体杂质量较大而且颗粒的直径也大，燃气中灰含量可大于 $10\text{g}/\text{m}^3$ 。

2、焦油

- (1) 焦油占秸秆气总能量的5%左右，在低温下难以同秸秆气一道被燃烧利用，民用时大部分焦油被浪费掉；
- (2) 焦油在低温下凝结，容易和水、炭颗粒、灰分等杂质结合在一起，堵塞输气管道，卡死阀门、抽气机转子、腐蚀金属；
- (3) 焦油难以完全燃烧，并产生炭黑等颗粒，对燃气利用设备如内燃机、燃气轮机等损害相当严重；
- (4) 焦油及其燃烧后产生的气味对人体是有害的。

二、生物质燃气净化设备

燃气净化的一般流程是先在燃气温度显著下降前先脱除灰尘和炭等固体杂质，然后逐步脱除焦油和水，在脱除焦油和水的同时气体的温度也随之降到常温，这是因为脱除焦油和水时多半采用了冷却工艺。

(一) 除尘设备

机械式除尘器

分类	机械力分离		
	沉降除尘器	惯性除尘器	旋风除尘器
图例			
主要作用力	重力	惯性力	离心力
分离界面	流动死区	器壁	器壁
排料	流动死区	重力	重力
器内风速/(m/s)	1.5~2	15~20	20~30
压降	很小	中等	较大
经济除净粒径/ μm	≥ 100	≥ 40	$\geq 5\sim 10$
温度	不限,取决于器壁材料		

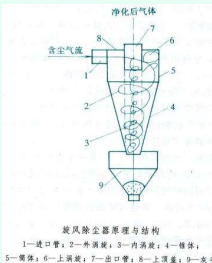
静电式、过滤式、洗涤式除尘器

分类	静电分离	过滤分离	洗涤分离
图例			
主要作用力	静电场力	惯性碰撞 拦截 扩散 静电力	惯性碰撞 拦截 扩散
分离界面	沉降电极	滤料层	液滴表面
排料	振打或人工	脉冲或反吹振打	液体排走
器内风速/(m/s)	0.8~1.5	0.01~0.3	0.5~100
压降	很小	中等	中等到较大
经济除净粒径/ μm	$\geq 0.01\sim 0.1$	≥ 0.11	$\geq 1\sim 0.1$
温度	对温度敏感	取决于滤料材质	常温

(一) 除尘设备

机械式除尘器—旋风除尘器

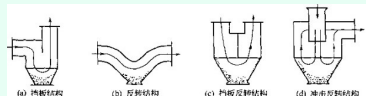
旋风分离器是最常用的除尘器，它是由一个下部为锥体的外旋风壳和一个内筒组成。进气管布置在旋风壳的切向上。燃气进入旋风除尘器后，产生了围绕内筒的强烈旋转运动，灰尘在离心力的作用下从气流中分离出来，贴旋风壳壁面旋转，由于摩擦消除了动量，顺壁沿锥体落下进入集灰斗，而脱除了灰尘的燃气折转进入内筒，由上部排成。



（一）除尘设备

机械式除尘器—惯性除尘器

当气流方向转变时，质量较大的颗粒受惯性力作用，沿与气流方向不同的轨迹运动，从气流中分离出来，基于这样的原理，惯性除尘器在工业中得到了广泛的应用。气流转向时灰粒受到的离心力与质量和速度的平方成正比，与旋转半径成反比。因此粉尘粒径越大，气流速度越高，惯性除尘器的效率越高。常见的惯性除尘器都是通过管路折转或设置某种障碍物使气流转向来分离粉尘。惯性除尘器效率不高，一般70%以下，且只对较大粒径颗粒有较好的效果。



（一）除尘设备

过滤式除尘器

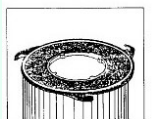
过滤分离一般用在气体净化系统的末级。过滤式除尘器主要有颗粒层式和袋式两种。其工作原理是：

1. **筛分作用**：将大于过滤器空隙的粉尘过滤下来；
2. **惯性作用**：气流在过滤层中曲折流动，尘粒靠惯性撞击颗粒层或滤布纤维而被捕集；
3. **黏附作用**：杂质被过滤层黏附；
4. **扩散作用**：极细小的颗粒在气流中做布朗运动，与过滤料接触而被捕集。

（一）除尘设备

过滤式除尘器—颗粒层除尘器

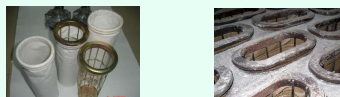
颗粒层过滤器结构简单，在一个筒体中装上颗粒滤料就构成过滤器，工业上常用石英砂、河砂、金属屑等作为滤料。影响颗粒层过滤器性能的主要因素是颗粒大小、过滤速度和颗粒层厚度。颗粒较小，过滤速度和过滤层厚度加大，除尘效率提高，但阻力也明显加大。一般设计的颗粒层过滤器的效率可达99%。经过一段时间运行后，阻力增加到一定值，就必须采用机械方法清除滤料中的杂质。



（一）除尘设备

过滤式除尘器—袋式除尘器

袋式除尘器是典型的过滤式净化设备，靠做成袋形的织物滤材捕集粉尘颗粒，袋式除尘器的效率很高，可以有效滤除 $0.1\mu\text{m}$ 以上的细小尘粒，效率可达99%，但滤袋表面积和容积有限，而且对燃气湿度比较敏感，如果燃气中含有液体，容易堵塞织物孔隙。生物质气化系统中，袋式除尘器常用在旋风除尘器之后和冷却器之前。这样的布置，一方面可以去除旋风除尘器无法清除的细粉尘，另一方面不致因温度过低使燃气中焦油和水分凝结。



（一）除尘设备

洗涤式除尘器

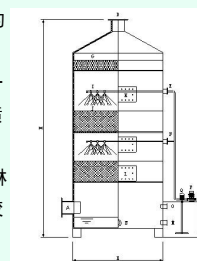
洗涤式除尘器是使含杂质燃气与水接触，利用粉尘颗粒和水滴的惯性碰撞及其他作用把杂质从气流中分离出来。洗涤式除尘器可以同时脱除粉尘和焦油，它可以有效地脱除 $1\mu\text{m}$ 以上固体尘粒和液体杂质，设备简单，运行效率高而可靠。洗涤式除尘器有一个重要缺点：当洗涤水和焦油混合以后会造成二次污染，现有废水处理技术复杂且昂贵。

常用的洗涤式除尘器有喷淋洗涤塔、文氏管洗涤器、喷射洗涤器、冲激洗涤器等。

（一）除尘设备

洗涤式除尘器—喷淋洗涤塔

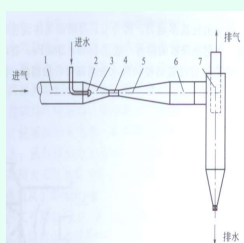
喷淋洗涤塔是最常用也是最简单的气体洗涤装置。洗涤塔可以是单层的，也可以是多层的。洗涤塔内气体流速一般在 1m/s 以下，停留时间约20-30s。喷淋洗涤塔可以有效地捕集 $1\mu\text{m}$ 以上直径的颗粒，脱除效率可达95-99%。但喷淋洗涤塔耗水量较大，排出的废水含有较高浓度的焦油，需加以处理。



（一）除尘设备

洗涤式除尘器—文氏管洗涤器

文氏管洗涤器是一种高能耗高效率的洗涤器。含尘气体高速通过喉口，同时喉口前喷嘴喷出水液，在喉口处气水接触，通过喉口后，在重力、离心力作用下，含尘水滴与气体分离。文氏管除尘器结构简单，对 $0.5\text{-}5\mu\text{m}$ 尘粒脱除效率可达99%。



（一）除尘设备

洗涤式除尘器—喷射洗涤器

喷射式洗涤器可以有效地脱除 $1\mu\text{m}$ 以上的杂质颗粒，设计合理时效率可达95-99%。缺点：压力损失较大，需要消耗较多动力才能获得良好的洗涤效果。

洗涤式除尘器—冲激洗涤器

冲激式洗涤器是利用气流在狭窄通道内运动的冲激力，强化粉尘在水洗涤时的湿润、凝聚和沉降作用。冲激式洗涤器的脱除效率为93-98%。突出优点：相比其他洗涤式除尘器耗水少，降低了污水处理的负担。

（二）除焦油

生物质气化的目标是得到尽可能多的可燃气体产物，但在气化过程中，焦油是不可避免的副产物。

焦油在高温时呈气态，与可燃气体完全混合，而在低温时（一般低于 200°C ）凝结为液态，所以其分离和处理更为困难，特别是在燃气需要降温利用的情况（如用于家庭）下，问题更加突出。

1. 焦油的特点

在生物质热转换中，焦油的数量主要决定于转换温度和气相停留时间，与加热速率也密切相关。对一般生物质而言，在 500°C 左右时焦油产物最多，高于或低于这一温度焦油都相应减少。

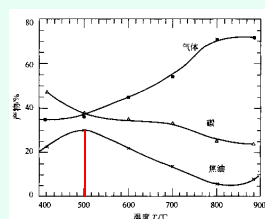


图 4-7 生物质热解时在不同温度下的焦油产量

焦油的成分非常复杂，可以分析到的成分有100多种，另外还有很多成分难以确定，而主要成分不少于20种，大部分是苯的衍生物及多环芳烃，其中含量大于5%的大约有7种苯、萘、甲苯、二甲苯、苯乙烯、酚和蒽。

应在气化过程中尽可能提高温度和气相停留时间，减少焦油的产量和种类，以达到在气化时控制焦油的产生，减少气体净化的难度。

2. 除焦油技术种类

除焦油方法有普通水洗法、过滤法和机械法，有较复杂的静电法和裂解法。

(1) 水洗法

水洗法是用水将生物质燃气中的焦油带走，如果在水中加入一定量的碱，除焦油效果有所提高。水洗法又分为喷淋法和吹泡法，水洗除焦是比较成熟的，中小型气化发电系统采用比较多。

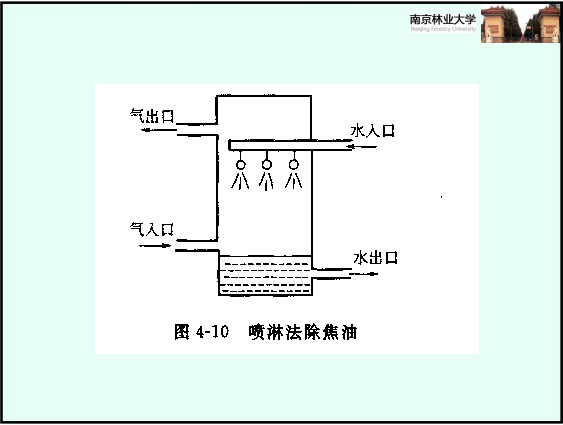


图 4-10 喷淋法除焦油

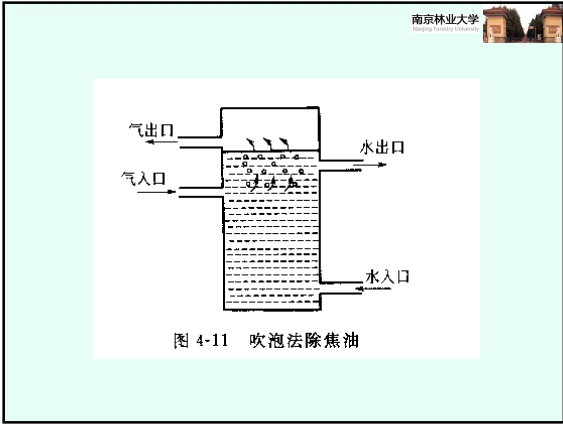


图 4-11 吹泡法除焦油

(2) 过滤法

过滤法除焦油是将吸附性强的材料(如活性炭或粉碎的玉米芯等)装在容器中,让可燃气穿过吸附材料,或者让可燃气穿过滤纸或陶瓷芯的过滤器,把可燃气中的焦油过滤出来。

(3) 机械法

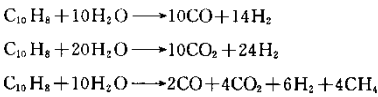
机械法除焦油是利用离心力的作用,使在气体中的焦油同洗涤液密切接触,同时被洗涤液吸附,并被抛向分离器的外壳达到除焦油目的。

(4) 静电法

静电法除焦油的原理和一般煤炭气化系统的电捕焦器的原理相同,即是先把气体在高压静电下电离,使焦油雾滴带有电荷,带电荷的雾滴将吸引不带电荷的微粒,与之结合成为较大的复合物,并由于重力的作用而从气流中下落,或者带电荷的雾滴向相反的电极移动,这样失去电荷的微粒就沉降在第二个电极上。同时,气体中的焦油便会被收集并从气体中去除。

(5) 催化裂解法

以目前的除焦技术看,水洗除焦法存在能量浪费和二次污染现象,净化效果只能勉强达到内燃机的要求;热裂解法在1100℃以上能得到较高的转换效率,但实际应用中实现较困难;催化裂解法(750~900℃)可将焦油转化为可燃气,既提高系统能源利用率,又彻底减少二次污染,是目前较有发展前途的技术。



萘催化裂解

1) 催化剂的选择

表 4-7 典型催化剂的有关参数				
名 称	反应度/℃	接触时间/s	转化效率/%	特 点
镍基催化剂	750	约 1.0	97	反应温度低,转换效果好;材料较贵,成本较高
木炭	800	约 0.5	91	木炭为气化自身产物,成本低,随着反应进行,木炭本身减少
	900	约 0.5	99.5	
白云石	800	约 0.5	95	转换效率高,材料分布广泛,成本低
	900	约 0.5	99.8	

注:白云石的主要成分为CaCO₃和MgCO₃,不同地方出产的白云石成分略有不同。

白云石作为焦油裂解催化剂的主要优点是催化效率高,成本低,所以具有很好的实用价值。

南京林业大学

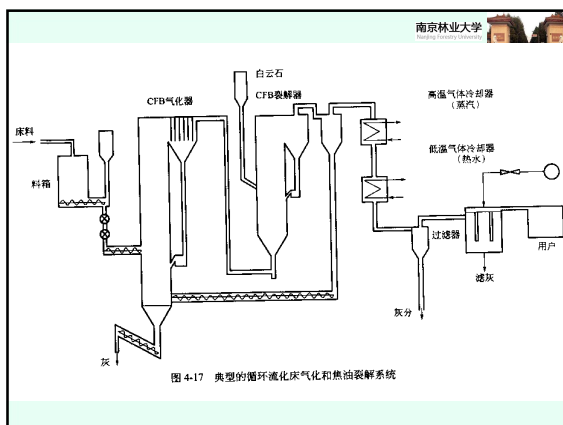
➤镍基催化剂的效果最好，在750℃时即有很高的裂解率，而其他材料在750℃裂解的效果还不理想，但由于**镍基催化剂较昂贵，成本较高**，一般生物质气化技术难以应用，所以只能在气体需要精制或合成汽油的工艺中使用。

➤木炭的催化作用实际上在下吸式气化炉中即有明显的效果，但由于木炭在裂解焦油的同时参与反应，所以**消耗很大**（在1000℃时达0.1kg/N·m³），对大型生物质气化来说木炭作催化剂不现实。

南京林业大学

➤虽然各地白云石的成分略有变化，但都有催化效果，一般当白云石中CaCO₃ / MgCO₃在1~1.5时效果较好。白云石作为焦油裂解催化剂的主要优点是**催化效率高，成本低**，所以具有很好的实用价值。

南京林业大学



南京林业大学

对中小型气化发电系统，由于设备要求简单可靠，焦油催化裂解能满足要求，但因为焦油催化裂解需增加独立的设备，对运行工况等条件要求较高，因此工艺过程使系统控制过于复杂。失去了中小型气化发电系统简单灵活的优势。

在这种情况下，**最好的办法**是充分利用焦油高温裂解技术，在气化炉形成独特的高温（温度需高于1000℃），使气化设备出口焦油含量尽量降低，这种要求显然使气化设备设计和控制难度增加，但仍可保证气化发电系统有较高的灵活性和较好的经济性。

南京林业大学

对**中型生物质气化发电系统**，可以考虑使用操作简单制造成本低的**固定床催化裂解工艺**，同时实现高温裂解和催化裂解的效果。但要充分照顾系统的运行成本和配套系统的成本，尽量保证气化发电系统的综合性和经济性。

南京林业大学

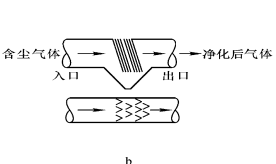
对于**大型气化发电系统**，可以考虑采用裂解效果最好，技术复杂的**流化床催化裂解工艺**，但在设计时需结合气化发电系统的特点，减少能耗、简化配套系统和操作条件，同时考虑到经济问题，必须尽可能选用价格较低或易于再生的**低成本催化剂**。目前国内外这方面的技术还未成熟，需要进行更多的研究。

南京林业大学

(三) 除水分

机械法

机械法除水分是使秸秆气通过一个有很多挡板或填料的一个容器，当气体与挡板接触后，不断改变气流运动速度和运动方向，这样水雾滴在撞击挡板后就停下，顺挡板流下，脱离气流，达到除水分目的。



含尘气体入口 → 净化后气体出口

b

南京林业大学

(四) 冷却

生物质燃气通常的冷却方法是空气冷却和水冷却，其中水冷却方法效率高，又比较经济，因而，多数采用水冷却方式冷却秸秆气。常用的设备是喷淋塔和冷却器。

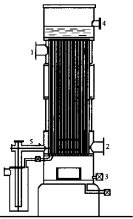


图 4-22 水管式冷却器

1—进水管；2—冷却水出口；3—冷却水进口；4—冷却水出口；5—冷却器

南京林业大学

第四节 生物质燃气的应用

生物质气化技术的基本应用方式主要有四个方面：

- 供热
- 发电
- 供气
- 化学品的合成

南京林业大学

一、生物质燃气供热系统

气化炉产生的可燃气可在下一级燃气锅炉等燃烧器中直接燃烧，因而通常不需要高质量的气体净化 and 冷却系统，系统相对简单，热利用率高。气化炉常以上吸式气化炉为主，燃料适应性较

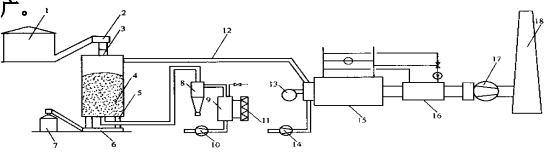
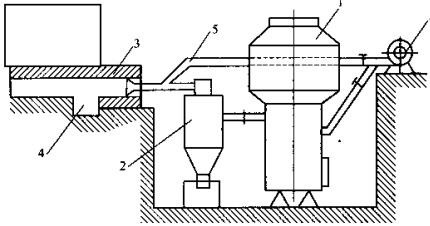


图 5-2 区域供热的工艺流程

1—原料仓；2—原料输送机；3—原料仓；4—气化炉；5—灰分分离器；6—灰分输送机；7—灰分分离器；8—灰分分离器；9—灰分分离器；10—气化炉；11—气化炉；12—气化炉；13—气化炉；14—气化炉；15—气化炉；16—气化炉；17—气化炉；18—气化炉

南京林业大学



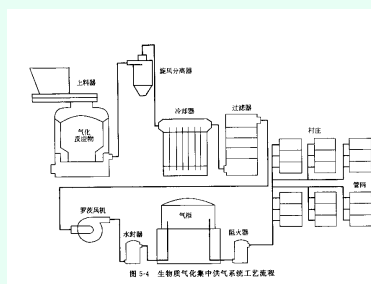
气化炉干燥木材及农副产品示意图

1—气化炉；2—分离器；3—燃烧室；4—膨胀沉降池；5—配风道；6—鼓风机

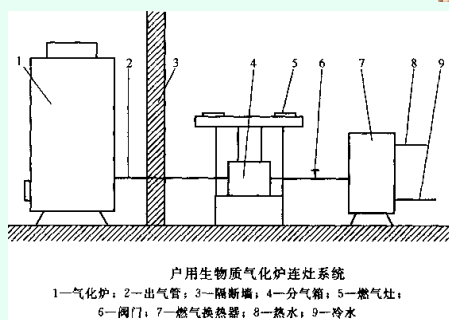
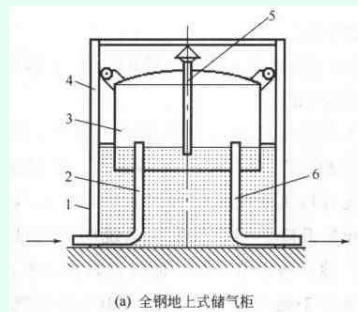
南京林业大学

几种木材烘干方法的效益对比				
项 目	火炕烘干	蒸汽烘干	电力烘干	气化炉烘干
周期能耗/烘干周期	6000~7000 kg 木材	6~7t 煤 60~100kW·h	3000~4000kW·h	木材加工废弃物
单位能耗/m³	30~40 kg 木材	300~500kg 煤 30~40kW·h	100~150kW·h	0.5kW·h
烘干成本/(元/m³)	20~40	80~100	80~100	10~20

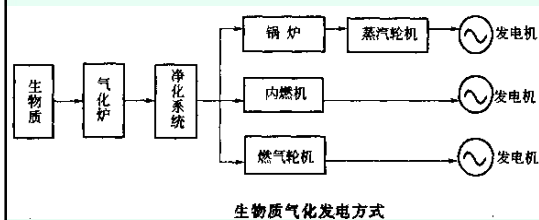
二、生物质气化供气技术



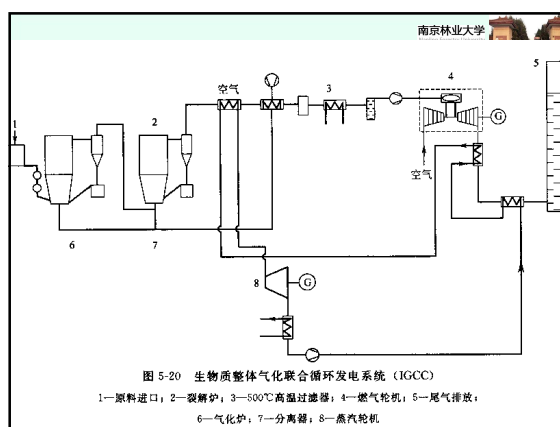
用于炊事，替代薪柴、煤或液化气，使农村居民用上管道煤气。



三 生物质气化发电



- 内燃机发电系统以简单的燃气内燃机组为主，可单独燃用低热值燃气，也可以燃气、油两用，它的特点是设备紧凑，系统简单、技术较成熟、可靠。
- 燃气轮机发电系统采用低热值燃气轮机，燃气需增压，否则发电效率较低，由于燃气轮机对燃气质量要求高，并且需有较高的自动化控制水平和燃气轮机改造技术，所以一般单独采用燃气轮机的生物质气化发电系统较少。



南京林业大学

传统的B/IGCC技术包括**生物质气化、气体净化、燃气轮机发电及蒸汽轮机发电**。由于生物质燃气热值低(约5000kJ/m³)，气化炉出口气体温度较高(800℃以上)，要使IGCC具有较高的效率，必须具备两个条件：

(1) 燃气必须是高压的；

(2) 燃气进入燃气轮机之前不能降温。

南京林业大学

这就要求系统必须采用**生物质高压气化和燃气高温净化**两种技术才能使**IGCC的总体效率**达到较高水平(>40%)，否则，如果采用一般的常压气化和燃气降温净化，由于气化效率和带压缩的燃气轮机效率都较低，气体的整体效率一般都低于35%。

南京林业大学

生物质气化发电技术的基本原理是把生物质转化为可燃气，再利用可燃气推动燃气发电设备进行发电。它既能解生物质难于燃用而又分布分散的缺点，又可以充分发挥燃气发电技术设备紧凑而污染少的优点，所以是生物质能最有效最洁净的利用方法之一。

南京林业大学

布鲁塞尔自由大学(VUB)的工程为例介绍HATC系统（500KW）。该项目总投资380万美元，目标是达到商业规模2~5MW。

这套示范装置安装在VUB校园内，气化过程包括**加料系统、常压流化床气化炉和旋风分离器**。从汽轮机压缩机出来的空气供给热交换器(此时加热到850℃)，**使用部分天然气燃烧**，以克服金属交换器的温度限制，达到汽轮机正常进口温度(1000℃)。空气加热器注入水，加强动力输出，并允许电 / 热比具有弹性。示范规模为500kW，满足校园供热、供电，达到了70%的总效率和24%的发电效率。

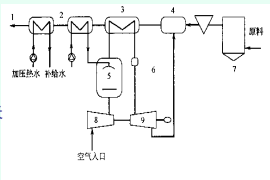


图 5-21 生物质热空气气轮机循环发电系统 (HATC)

1—喂料；2—低温热回收装置；3—高温热交换器；4—燃烧器；5—蒸汽发生器；6—附加燃烧器；7—空气流化床气化炉；8—压缩机；9—燃气轮机

南京林业大学

各种生物质气化发电技术的特点			
规模	气化过程	发电过程	主要用途
小型系统 功率<200KW	固定床气化	内燃机组	农村用电
	流化床气化	微型燃气轮机	中小企业用电
中型系统 500KW<功率 3000KW	常压流化床气化	内燃机	大中企业自备电站、小型上网电站
大型系统> 5000KW	常压流化床气化	内燃机+蒸汽轮机	上网电站、独立能源系统
	高压流化床气化 双流化床气化	燃气轮机+蒸汽轮机	

南京林业大学

结论：

(1) 生物质气化技术目前还有许多方面需要完善；

(2) 流化床生物质气化炉比固定床生物质气化具有更大的经济性，应该成为今后生物质气化研究的主要方向；

(3) 目前生物质气化还是以中小规模、固定床、低热值气化为为主，利用现有技术，研究开发经济上可行、效率较高的系统，是生物质气化发电技术的一个主要课题，也是能否有效利用生物质的关键。