

生物质气化炉设计要点

文/宋秋1 任永志1 孙波2

(1.辽宁省能源研究所, 营口115000; 2.辽宁省宽甸县林业勘测设计队, 宽甸118200)

摘要：介绍了下吸式生物质气化炉的工作原理、特点，以及主要结构尺寸的设计要点。

1前言

我国每年林业废弃物和农业生产剩余物质产量高达7亿t，如何有效利用这一巨大资源，已成为摆在科研工作者面前的重要课题。生物质气化技术改变了直接燃烧生物质的利用方式，提高了废弃生物质的能源品位，对节约常规能源、降低环境污染、保护生态环境具有重要意义。

下吸式固定床气化炉由于具有结构简单，易于操作，产出气焦油含量低等优点已经得到了广泛的应用。生物质气化过程是一个复杂的热化学反应过程，生物质气化炉各部位结构尺寸将极大地影响气化炉的热效率、产气成分和产气品质，故设计合理的生物质气化炉是有效利用生物质能的关键。

2下吸式生物质气化炉的工作原理

如图1所示，作为气化剂的空气从气化炉侧壁空气喷嘴吹入，其产出气的流动方向与物料下落的方向一致，故下吸式气化炉也称为顺流式气化炉。吹入的空气与物料混合燃烧，这一区域称为氧化区，温度约为900~1200℃，产生的热量用于支持热解区裂解反应和还原区还原反应的进行；氧化区的上部为热解区，温度约为300~700℃，在这一区域，生物质中的挥发分（裂解气、焦油以及水分）分离出来；热解区的上部为干燥区，物料在此区域被预热；在氧化区的下部为还原区，氧化区产生的CO₂

和碳、水蒸气在这

一区域进行还原反应，同时残余的焦

油在此区域发生裂解反应，产生以CO和H₂

为主的产出气，这一区域的温度约为700~900℃。由于来自热解区富含焦油的气体须经过高温氧化区和以炽热焦炭为主的还原区，气体中的焦油在高温下被裂解，从而使产出气中的焦油大为减少。

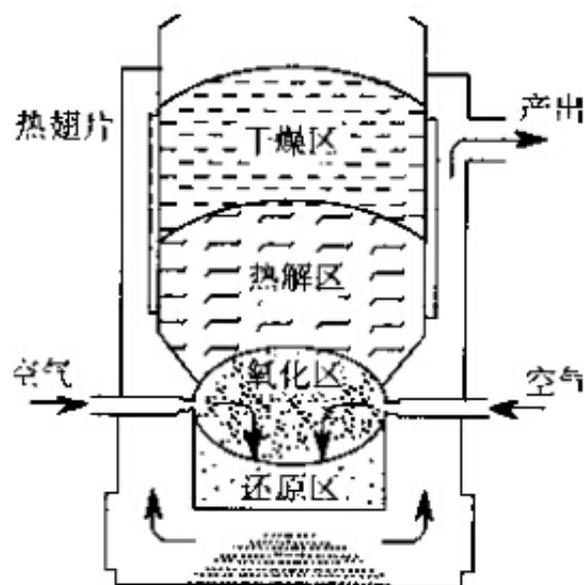


图1 下吸式气化炉结构简图

3下吸式生物质气化炉的特点

a.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，下吸式气化炉料斗下部的横截面尺寸变小，这个部位即所谓的“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。

b.为保证物料与空气的充分混合，在“喉部”布置多个空气喷嘴。一般有外喷（空气由喉部外向中心喷射）和内喷（空气由喉部中心供气管向外喷）两种布置形式，其中第一种形式应用较多。

c.在料斗外壁，多数下吸式气化炉为增大换热面积而焊有翅片，目的是用产出气的热量预热料斗中的物料，同时也降低了产出气的温度，提高气化炉的热效率。

d.由于还原区位于氧化区下部以及高温区裂解反应的存在，使下吸式气化炉内产生了火焰温度稳定效应。即当反应温度偏高时，作为吸热的还原反应相对加剧，从而降低了气体温度；当反应温度偏低时，还原反应相对减缓，放热的氧化反应占优势，又使气体温度升高，火焰温度的稳定在800~1200℃，这样产出气成分也相对稳定。

e.由于截面积较小的“喉部”的存在，使下吸式气化炉在负荷适应能力方面受到了一定的限制，同样外形尺寸条件下，其产气能力要低于其它结构形式的气化炉，尤其是上吸式气化炉。

4下吸式生物质气化炉设计要点

4.1设计要求

首先要了解生物质物料的物理特性，以及物料的主要化学成分。

4.1.1生物质物料热值

为了保证生物质气化炉结构尺寸的合理性与经济性，计算气化炉入炉热量时，应采用生物质物料的应用基低位发热量。多数情况下，文献或资料中提供的物料热值为采用氧弹热量计测出的应用基高位发热量，此时应折算出其应用基低位发热量。

物料中的水分的蒸发所产生热损失使气化炉热效率降低，同时也降低了产出气的品质。当物料中的水分高于一定值时（约70%），燃烧反应不能进行，依靠燃烧反应提供热量的还原反应（产气反应）更无法进行。一般物料中水分控制在15%以内时可以保证下吸式气化炉经济、可靠地运行；物料过干时会使气化炉过热，可以采用湿空气作为气化剂。

4.1.2物料粒度

从化学动力学角度分析，较小的物料粒度能够增大物料的表面积，使之与气化剂混合充分，提高反应速度，也使反应更为完全，但较小的粒度增加了气体的流动阻力和风机的负荷，同时会使下吸式气化炉产出气出口温度降低；反之，较大的粒度使物料与气化剂接触面积变小，物料在炉内驻留时间变短，反应不够完全，同时较大尺寸物料的存在会产生“搭桥”现象，使物料不能均匀下落，造成炉内局部温度增高（最高达2000℃），尤其是对于灰分大、灰熔点较低的物料，易于结渣。推荐物料尺寸在80×80×80mm与40×40×40mm之间较为合适，物料中允许有的过大尺寸颗粒与过小尺寸颗粒成分应在10%以内。

4.1.3物料的堆比重

物料的堆比重系指物料在自然堆积状态的比重，堆比重的大小影响到气化炉内物料的驻留时间，物料下落速度以及产出气流量，同时也影响到气化炉各部位的几何尺寸。这里给出常见生物质物料的堆比重情况。

表1 生物质物料的堆比重 kg/m^3

物料名称	木块	木片	锯末 (松散)	玉米秸秆 50mm, 20%水分	玉米芯
堆比重	200	130	140	100	280

4.1.4挥发分含量

生物质物料中的挥发分含量约为63%~80%，如图1所示，在热解区，温度在300~700 条件下，物料中的挥发分以水蒸气、焦油、以及裂解气混合物的形式从物料中分离出来，通过合理的喉部设计，保证一定厚度的炽热焦炭层存在，可以使气体中的焦油在氧化区和炽热焦炭层中充分裂解，从而得到较为洁净的产出气。

4.1.5灰分含量

物料中存在较高的灰分且灰熔点较低时会造成气化炉氧化区结渣，产出气中焦油含量增大，严重时，气化炉不能运行。一般灰分含量在5%以内，气化炉能够可靠地运行。表2给出常见生物质物料的灰分含量情况。

表2 常见生物质物料的灰分含量

生物质物料	木材	玉米秸秆	玉米芯	麦秸	棉柴	稻壳
灰分(%)	0.1	3.0	1.5	7.4	17.2	16~23

4.1.6物料的主要化学成分

生物质物料属有机燃料，是复杂的高分子化合物。其主要成分是：碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)、硫(S)、灰分及水分，除灰分和水分外，其它元素多以化合物状态存在，通过元素分析可得知其化学成分。

4.2理论计算及主要结构尺寸的确定

4.2.1理论空气量的确定

生物质物料与空气在气化炉中发生复杂的热化学反应，从热动力学角度分析，空气量对于产出气的成分影响可以从图2中看出，图中横坐标值为所提供的空气中的氧与物料完全燃烧所需氧的当量比。

从图2中曲线可以看出，当量比为0时，没有氧气输入，直接加热物料的反应属于热解反应，虽然也可以产生 H_2 ， CO ， CH_4 等可燃成分，但产出气中焦油含量很高，并且约占物料质量的30%焦炭不能同时转变为可燃气体；当量比为1时，物料与氧气发生完全燃烧反应，不能产生可燃气体；只有在当量比为0.25~0.3，产出气成分较理想，即气化反应所需的氧仅为完全燃烧耗氧量的25%~30%，当生物质物料中水分较大或挥发分较小时应取上限，反之取下限。计算气化炉反应所需空气量时，应首先根据生物质物料的元素分析结果按下式计算出其完全燃烧理论空气量，然后按当量比0.25~0.3计算实际所需空气量 $V_{\text{气}}$ 。

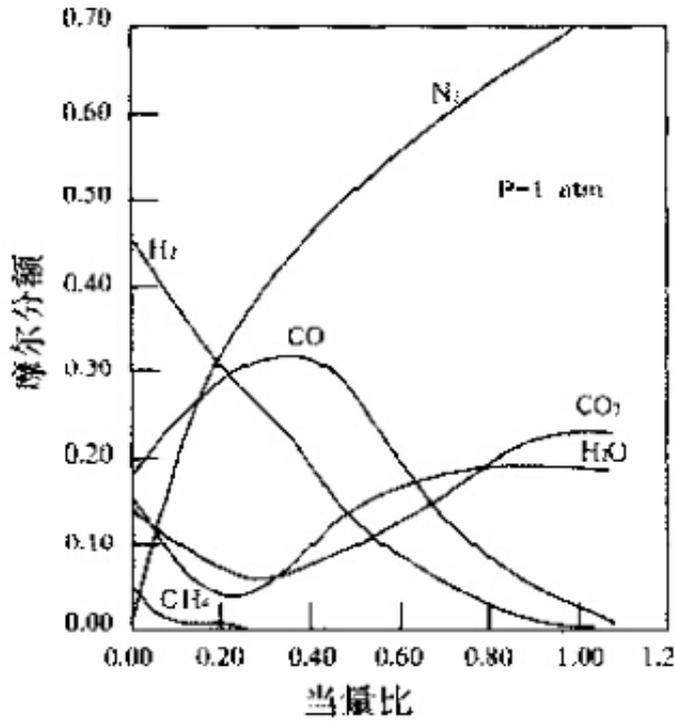


图2 空气量与产出气成分关系

$$V = \frac{1}{0.21} \left(1.866 \frac{C}{100} + 5.55 \frac{H}{100} + 0.7 \frac{S}{100} - 0.7 \frac{O}{100} \right) \quad (2)$$

式中: V ——物料完全燃烧所需的理论空气量, m^3/kg

C ——物料碳元素含量, %;

H ——物料氢元素含量, %;

S ——物料硫元素含量, %;

O ——物料氧元素含量, %。

4.2.2 喷嘴几何尺寸的计算

喷嘴几何尺寸按下式计算。

$$V = \frac{GV_{\text{气}}}{3600 n \pi r^2} \quad (3)$$

式中: G ——生物质耗量, kg/h ;

v ——喷嘴中空气流速, m/s ;

$V_{\text{气}}$ ——气化所需空气量, m^3/h ;

n ——嘴个数;

r ——喷嘴半径, m 。

喷嘴中空气流速推荐值为 $15 \sim 20 \text{m}/\text{s}$,根据计算出的理论空气量以及喉部的几何尺寸确定喷嘴的孔径和数量,在结构允许的条件下,较多的喷嘴有利于空气和物料的良好混合,但也增大了阻力,增加风机负荷。

4.2.3 “喉部”几何尺寸的计算

“喉部”的几何尺寸决定了气化炉的产气能力,应根据气化强度以及物料的物理特性进行计算。

$$\text{气化强度} = \frac{\text{每小时生物质耗量}}{\text{喉部截面积}} \quad \text{kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^2) \quad (4)$$

由于生物质物料的堆比重、粒度相差较大，这将明显影响物料在炉内的驻留时间，这就要求气化炉因物料不同而选用差别较大的气化强度。对于堆比重较小或粒度较小的物料，其炉内驻留时间短，气化强度应相应减小；反之，应增大气化强度。一般气化强度推荐值为 $500 \sim 2000 \text{kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ 。

尽管下吸式气化炉产出气中焦油含量很少，但根据产出气的不同应用场合，还应当配置不同的除焦油设备以及除尘、除湿设备以进一步提高产出气的品质。

4.3 注意事项

- a. 明确气化炉产出气参数，如产气量，产气成分等，对于下吸式气化炉，单台最大产气量一般不超过 $500 \text{m}^3/\text{小时}$ 。
- b. 应从结构上考虑气化炉各密封面的良好密封，防止漏风和产出气泄露。
- c. “喉部”空气喷嘴附近区域应敷设耐火材料，以防烧坏“喉部”，喷嘴应采用不锈钢材料。
- d. “喉部”尺寸较大或生物质物料粒度较小时应加设铸铁炉栅。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/88024.html>