

说明书

发明名称：一种微波等离子生物质气流床气化炉及工艺

技术领域

- [1] 本发明主要针对采用生物质燃料为原料的气化工艺领域，具体来说是一种微波等离子气流床工艺来达到高效利用生物质燃料制取高品质合成气的气化炉及气化工艺过程。

背景技术

- [2] 目前，在生物质能源利用工艺中，生物质气化技术因对生物质种类的适应性更宽，且产品扩展性更强，因而发展潜力巨大。生物质气化工艺大致存在固定床、流化床、气流床这三种工艺，生物质固定床工艺主要存在气化温度低，焦油含量大，合成气品质低等问题；流化床气化工艺中虽床温均匀，给料及排渣容易，但是由于需要确保稳定流化，炉内温度不易过高，导致焦油含量较高。合成气中含有焦油，则净化工艺需要花费较大代价来处理，且焦油不易去除，焦油富集能堵塞阀门、管道及设备，并对其产生腐蚀，因而危害性极大。而气流床中气化反应温度高，炉温均匀，气化效率高，焦油在炉内能完全裂解，后续工艺处理简单，且气流床具有较好的放大性，适合工业化规模利用，但是现行的气流床工艺对原料给料粒径要求较高，一般均要求小于 0.1mm，特别是燃煤气化工艺甚至要求更低，而生物质这类纤维素含量较多的原料无法破碎到气流床所需要的较小粒径，且破碎粒径越小，破碎机磨损越厉害，电耗也越高；而较大粒径则会导致气流床工艺中碳转化率降低，冷煤气效率降低，这样限制了常规气流床工艺在生物质燃料方面的利用与发展。

对发明的公开

技术问题

- [3] 本发明的目的是提出一种高效的微波等离子生物质气流床气化炉及工艺，解决上述生物质制取合成气中存在的一系列问题，为生物质燃料制取合成气，特别是CO和H₂的合成气提供一种经济、高效、可行的工业化设备及利用工艺。

问题的解决方案

技术解决方案

- [4] 本发明为解决上述技术问题，采取的技术方案如下：
- [5] 微波等离子生物质气流床气化炉，包括竖直设置的炉体、由烧嘴构成的设置在炉体下部的燃料进口、炉体顶部的合成气出口、炉体底部的排渣口，炉体外还设置燃料预处理系统，包括燃料破碎装置、位于燃料破碎装置下游的筛分装置、筛分装置下游并列设置的粒径合格燃料仓和粒径不合格燃料仓、以及粒径合格燃料仓下游设置的炉前仓，炉前仓的底部通过烧嘴与炉体相连；气化炉顶部合成气出口布置有合成气监测单元；烧嘴沿炉体径向布置，数量为2~4个；其特征在于，在炉体的气化反应区上下布置1~2层微波等离子发生器，每层微波等离子发生器布置2~4个工作气体接入口。
- [6] 微波等离子发生器采用水平/切向布置方式，以增加含碳生物质熔融颗粒在等离子体氛围内的行程及停留时间。
- [7] 微波等离子发生器采用电极间距大、等离子体活性强、体积范围广的等离子发生器。
- [8] 微波等离子发生器微波功率源主频2.45GHz,单台功率约200kW以内。
- [9] 采用上述气化炉进行生物质气流床气化的工艺主要包括如下步骤：
- [10] 1) 生物质燃料先经过燃料预处理系统破碎、筛分后得到粒径合格的生物质燃料粉粒，并送入炉前仓备用；
- [11] 2) 微波等离子工作气体从入口进入等离子发生器中，激励成高温、高电离度、高活性的等离子体而喷入气化炉中；
- [12] 3) 生物质燃料粉粒通过烧嘴喷入气化炉中，同时将氧化剂从氧气/蒸汽入口送入系统，与生物质燃料同时喷入气化炉内，生物质燃料粉粒在炉内高活性的等离子体氛围中进行高温快速热化学反应，生成含大量CO、H₂的合成气；
- [13] 4) 对合成气温度、成份进行监测来实时调整氧气流量、蒸汽流量及微波功率，维持气化工艺参数在控制范围内；合成气出口温度900℃~1200℃；最终高温合成气从顶部合成气出口引出，同时液态渣由排渣口排出。
- [14] 步骤1) 中，按设定粒径分离出满足设定粒径尺寸的燃料进入合格燃料仓，粒径过大燃料则进入粒径不合格燃料仓，而粒径不合格燃料仓中燃料将被返回送

入燃料破碎装置中继续破碎至较小粒径，直至合格；经破碎、筛分后满足设定粒径尺寸的生物质燃料颗粒由合格燃料仓输送至气化炉炉前仓备用；生物质燃料粉粒的粒径为0~5mm。

[15] 步骤2) 中，气化炉烧嘴投运前2~3秒即开启微波等离子发生器，部分氧化剂形式的微波等离子工作气体通过微波等离子工作气体入口进入微波等离子发生器，随后被激励成高温、高电离度、高活性的等离子气体喷入气化炉。

[16] 步骤3) 中，生物质燃料粉粒通过载气由气化炉喷嘴喷入气化炉内；氧化剂通过氧气/蒸汽入口进入系统，与生物质燃料同时喷入气化炉内，由于采用高温气化工工艺，燃料瞬间着火在炉内进行剧烈的部分氧化还原反应，生物质燃料在高温缺氧环境下，生成含大量CO、H₂和少部分CO₂、CH₄、H₂S、COS成分的合成气；

[17] 合成气上行至等离子体反应区也即气化反应区，与水平/切向喷入的高温、高电离度、高活性的等离子气体混合，并进行高效气相反应，高温热化学气化反应区温度为1200℃~1800℃，中心区温度为1800℃~2000℃，合成气在气化反应区的停留时间设定为1~10秒，同时控制微波等离子功率，促进反应充分进行。

[18] 步骤4) 中，合成气产物中有效成分CO和H₂体积含量高达85%以上，且合成气中无焦油、酚类物质；生物质液态渣由气化炉底部排渣口排出炉外，激冷后能够实现无公害处理，同时也是良好的保温建筑材料。

[19] 步骤2) 和3) 中，微波等离子工作气体和载气为空气和/或氧气和/或蒸汽；蒸汽来源于对自身高温合成气显热的回收。

[20] 在本工艺气化反应区布置有微波等离子发生器，微波等离子发生器是通过微波激发工作气体产生稳定开放的等离子体的设备，激发的富含氧化剂的微波等离子体具有温度高、电离度高、分散度大，活性强的特点，当在气流床氧化还原区中喷入适量微波等离子体工作气体时，在高温高活性的等离子体的作用下，一方面能提高反应区温度，促进化学反应；另一方面由于等离子活性高、反应强，能极大提高气相合成气与固相/液相生物质颗粒间的化学反应，加快了传热传质的速率，使得燃料化学反应时间缩短，在相同停留时间基础上，提高了燃料转化率，同时由于生物质燃料相对煤而言具有孔隙大、活性高、熔点低的特

点，因而在高温高电离度的等离子体反应气氛中，生物质燃料粒径能采用明显高于常规气流床所需燃料粒径，且最终能达到理想效果。

- [21] 再次，微波等离子发生器不仅能为反应提供一部分氧化剂，提高反应物供给的平衡性与均匀性，而且微波等离子也同时输入了一定量的热功率，提供了一部分外热源，增加了气化炉运行的一种调节手段。

发明的有益效果

有益效果

- [22] 本工艺的有益效果是：

- [23] 1. 采用微波等离子气流床高温工艺，结合生物质燃料自身具有的高活性的特点，在炉内实现生物质燃料化学能高效转化，碳转化率高达约99%，冷煤气效率85%以上，CO和H₂有效成分含量高。
- [24] 2. 采用微波等离子高温气流床工艺合成气中无焦油、无酚类物质，后续利用工艺简单。
- [25] 3. 对生物质燃料粒径适应范围广，无需过分破碎，经济性好；且通过微波等离子气流床能实现将生物质颗粒在气流床中气化，解决了常规气流床气化工工艺中需采用粒径小的生物质燃料带来的难度大、经济性差的难题。
- [26] 4. 给料、排渣容易，气化强度大，大型化容易。

对附图的简要说明

附图说明

- [27] 下面结合附图和实施例来说明本发明。

- [28] 图1为本发明优选实施例的微波等离子生物质气流床气化炉及工艺流程示意图；

- [29] 图2为图1的A-A视图。

- [30] 其中：燃料破碎装置1；筛分装置2；粒径合格燃料仓3；粒径不合格燃料仓4；炉前仓5；烧嘴6；微波等离子发生器7；气化炉8，合成气出口9；排渣口10；微波等离子工作气体入口11；监测单元12；氧气/蒸汽入口13。

实施该发明的最佳实施例

本发明的最佳实施方式

- [31] 如图1和2所示的微波等离子生物质气流床气化炉8，包括竖直设置的圆柱状炉体、由烧嘴6构成的设置在炉体下部的燃料进口、炉体顶部的合成气出口9、炉体底部的排渣口10，炉体外还设置燃料预处理系统，包括燃料破碎装置1、位于燃料破碎装置1下游的筛分装置2、筛分装置2下游并列设置的粒径合格燃料仓3和粒径不合格燃料仓4、以及粒径合格燃料仓3下游设置的炉前仓5，炉前仓5的底部通烧嘴6与炉体相连；其特征在于，在炉体的气化反应区上下布置1~2层微波等离子发生器7，以增大等离子反应区范围，每层微波等离子发生器布置2~4个工作气体接入口11（如图2所示为3个）。气化炉炉体可以是圆柱状，也可以是圆锥和圆柱的组合形式。
- [32] 微波等离子布置点的位置及布置方式也对工艺存在较大影响，本发明中，微波等离子发生器7采用水平/切向两种布置方式，这样使得反应气流扰流充分，以增加含碳生物质熔融颗粒在等离子体氛围内的行程及停留时间。
- [33] 气化炉顶部合成气出口9布置有合成气监测单元12，可实现在线对合成气温度、成份的监测来实时调整氧气流量、蒸汽流量及微波功率，维持气化工艺参数在控制范围内。
- [34] 气化炉烧嘴6可采用常规沿炉体径向布置方式，布置数量可为2~4个，实际运行中可依据负荷情况，选择运行烧嘴数目。
- [35] 微波等离子发生器采用电极间距大、等离子体活性强、体积范围广的等离子发生器。
- [36] 微波等离子发生器微波功率源主频2.45GHz,单台功率约200kW以内。
- [37] 采用上述气化炉8进行生物质气流床气化的工艺主要包括如下步骤：
- [38] 1) 生物质燃料经过燃料破碎装置1、筛分装置2后得到粒径合格的生物质燃料粉粒；
- [39] 首先，生物质燃料先经过燃料预处理系统的燃料破碎装置1，被破碎至合适尺寸，破碎粒径大小是本工艺经济性的关键，破碎粒径过大，则气化工艺效率低，碳转化率低；破碎粒径过小，则破碎机磨损严重，电耗高，经济性差。破碎后燃料进入燃料筛分装置2，按设定粒径分离出满足设定粒径尺寸的燃料进入合

格燃料仓3，粒径过大燃料则进入粒径不合格燃料仓4，而粒径不合格燃料仓4中燃料将被返回送入燃料破碎装置1中继续破碎至较小粒径，直至合格。以稻壳为例，稻壳原样粒径为长约7~10mm，宽2mm，外形如船形，只需简单破碎至1~5mm粒径燃料即可利用。以树枝、秸秆类为例，树枝、秸秆原样粒径较大，可选盘式或鼓式破碎机至50~100mm左右，再采用锤式粉碎机按如上所述給料预处理方案破碎至1~5mm粒径燃料即可利用。

[40] 2) 微波等离子工作气体从入口11进入等离子发生器7中，激励成高温、高电离度、高活性的等离子体而喷入气化炉8中；

[41] 气化炉烧嘴6投运前2~3秒即开启微波等离子发生器7，部分氧化剂形式的微波等离子工作气体通过微波等离子工作气体入口11进入微波等离子发生器7，随后被激励成高温、高电离度、高活性的等离子气体喷入气化炉8。

[42] 3) 载气将生物质燃料通过烧嘴6喷入气化炉8中，同时将氧化剂从氧气/蒸汽入口13再通过喷嘴6送入系统，与生物质燃料同时喷入气化炉内，生物质燃料粉粒在炉内高活性的等离子体氛围中进行高温快速热化学反应，生成含大量CO、H₂和少部分CO₂、CH₄、H₂S、COS成分的合成气。

[43] 经破碎、筛分后满足设定粒径尺寸的生物质燃料颗粒由合格燃料仓3输送至气化炉炉前仓5，在炉前仓5下部通过气化剂气力输送至气化炉喷嘴6处，由喷嘴6处喷入气化炉内；氧化剂通过氧气/蒸汽入口13进入系统，与生物质燃料同时喷入气化炉内，由于采用高温气化工工艺，燃料瞬间着火在炉内进行剧烈的部分氧化还原反应，生物质燃料在高温缺氧环境下，生成含大量CO、H₂和少部分CO₂、CH₄、H₂S、COS成分的合成气；

[44] 合成气上行至等离子体反应区也即气化反应区，与水平/切向喷入的高温、高电离度、高活性的等离子气体混合，并进行高效气相反应，高温热化学气化反应区温度为1200°C~1800°C，中心区温度可高达1800°C~2000°C，工艺设计中保证该气化反应区的停留时间1~10秒，同时控制微波等离子功率，促进反应充分进行，最终合成气由气化炉顶部合成气出口9引出，合成气产物中有效成分CO和H₂体积含量高达85%以上，且合成气中无焦油、酚类物质。生物质液态渣由气化炉排渣口9排出炉外，激冷后可实现无公害处理，同时也是良好的保温建筑材

料。工艺中采用的蒸汽来源于对高温合成气的回收。

[45] 4) 对合成气温度、成份进行监测来实时调整氧气流量、蒸汽流量及微波功率，维持气化工艺参数在控制范围内；合成气出口温度900℃~1200℃；高温合成气从顶部合成气出口9引出，同时液态渣由底部排渣口10排出。

[46] 步骤1) 中，生物质燃料粉粒的粒径为0~5mm，较佳实例为2mm左右。

[47] 步骤2) 和3) 中，微波等离子工作气体和载气为空气和/或氧气和/或蒸汽；蒸汽来源于对自身高温合成气显热的回收。

[48] 为了使本工艺达到最佳工作效果，满足工艺整体性能要求，设计中关键是控制床层温度，调节好微波等离子功率及氧气、蒸汽的供给量。通过对合成气出口监测装置来达到对上述关键因素的控制，也能实现连锁控制，进行全自动化操作，提高运行稳定性。

[49] 以上所揭露的仅为本发明的较佳实施例而已，当然不能以此来限定本发明之权利范围，因此依本发明申请专利范围所作的等效变化，仍属本发明的保护范围

。

- [权利要求 1] 1、一种微波等离子生物质气流床气化炉，包括竖直设置的炉体、由烧嘴构成的设置在炉体下部的燃料进口、炉体顶部的合成气出口、炉体底部的排渣口，炉体外还设置燃料预处理系统，包括燃料破碎装置、位于燃料破碎装置下游的筛分装置、筛分装置下游并列设置的粒径合格燃料仓和粒径不合格燃料仓、以及粒径合格燃料仓下游设置的炉前仓，炉前仓的底部通过烧嘴与炉体相连；气化炉顶部合成气出口布置有合成气监测单元；烧嘴沿炉体径向布置，数量为2~4个；其特征在于，在炉体的气化反应区上下布置1~2层微波等离子发生器，每层微波等离子发生器布置2~4个工作气体接入口。
- [权利要求 2] 2、根据权利要求1所述的气化炉，其特征在于微波等离子发生器采用水平/切向布置方式。
- [权利要求 3] 3、根据权利要求1或2所述的气化炉，其特征在于微波等离子发生器采用电极间距大、等离子体活性强、体积范围广的等离子发生器。
- [权利要求 4] 4、根据权利要求3所述的气化炉，其特征在于微波等离子发生器微波功率源主频2.45GHz,单台功率约200kW以内。
- [权利要求 5] 5、采用上述权利要求之一所述气化炉进行生物质气流床气化的工艺，其特征在于主要包括如下步骤：
- 1) 生物质燃料先经过燃料预处理系统破碎、筛分后得到粒径合格的生物质燃料粉粒，并送入炉前仓备用；
 - 2) 微波等离子工作气体从入口进入等离子发生器中，激励成高温、高电离度、高活性的等离子体而喷入气化炉中；
 - 3) 生物质燃料粉粒通过烧嘴喷入气化炉中，同时将氧化剂从氧气/蒸汽入口送入系统，与生物质燃料同时喷入气化炉内，生物质燃料粉粒在炉内高活性的等离子体氛围中进行高温快速热化学反应，生成含大量CO、H₂的合成气；

4) 对合成气温度、成份进行监测来实时调整氧气流量、蒸汽流量及微波功率, 维持气化工艺参数在控制范围内; 合成气出口温度 $900^{\circ}\text{C}\sim 1200^{\circ}\text{C}$; 最终高温合成气从顶部合成气出口引出, 同时液态渣由排渣口排出。

[权利要求 6] 6、根据权利要求5所述的工艺, 其特征在于步骤1) 中, 按设定粒径分离出满足设定粒径尺寸的燃料进入合格燃料仓, 粒径过大燃料则进入粒径不合格燃料仓, 而粒径不合格燃料仓中燃料将被返回送入燃料破碎装置中继续破碎至较小粒径, 直至合格; 经破碎、筛分后满足设定粒径尺寸的生物质燃料颗粒由合格燃料仓输送至气化炉炉前仓备用; 生物质燃料粉粒的粒径为 $0\sim 5\text{mm}$ 。

[权利要求 7] 7、根据权利要求5或6所述的工艺, 其特征在于步骤2) 中, 气化炉烧嘴投运前 $2\sim 3$ 秒即开启微波等离子发生器, 部分氧化剂形式的微波等离子工作气体通过微波等离子工作气体入口进入微波等离子发生器, 随后被激励成高温、高电离度、高活性的等离子气体喷入气化炉。

[权利要求 8] 8、根据权利要求7所述的工艺, 其特征在于步骤3) 中, 生物质燃料粉粒通过载气由气化炉喷嘴喷入气化炉内; 氧化剂通过氧气/蒸汽入口进入系统, 与生物质燃料同时喷入气化炉内, 由于采用高温气化工艺, 燃料瞬间着火在炉内进行剧烈的部分氧化还原反应, 生物质燃料在高温缺氧环境下, 生成含大量 CO 、 H_2 和少部分 CO_2 、 CH_4 、 H_2S 、 COS 成分的合成气; 合成气上行至等离子体反应区也即气化反应区, 与水平/切向喷入的高温、高电离度、高活性的等离子气体混合, 并进行高效气相反应, 高温热化学气化反应区温度为 $1200^{\circ}\text{C}\sim 1800^{\circ}\text{C}$, 中心区温度为 $1800^{\circ}\text{C}\sim 2000^{\circ}\text{C}$, 合成气在气化反应区的停留时间设定为 $1\sim 10$ 秒, 同时控制微波等离子功率, 促进反应充分进行。

[权利要求 9] 9、根据权利要求5或6或8所述的工艺, 其特征在于步骤4) 中, 合成气产物中有效成分 CO 和 H_2 体积含量高达85%以上, 且合成气中

无焦油、酚类物质；生物质液态渣由气化炉底部排渣口排出炉外，激冷后能够实现无公害处理，同时也是良好的保温建筑材料。

[权利要求 10]

10、根据权利要求9所述的工艺，其特征在于步骤2)和3)中，微波等离子工作气体和载气为空气和/或氧气和/或蒸汽；蒸汽来源于对自身高温合成气显热的回收。