

用等离子体制取高温、富含活性粒子水蒸汽的方法及装置

技术领域

本发明涉及一种用等离子体制取高温、富含活性粒子水蒸汽的方法及装置，特别是用于煤、生物质及垃圾的气化转化过程使用的提高气化强度的高温高活性水蒸汽制备技术。

背景技术

水蒸汽热等离子体用于煤、生物质及垃圾的气化转化可大大提高气化强度，可以调节合成气中有效气体 H_2 的比例，使合成气可以满足不同使用要求。因此基于热等离子体的水蒸汽气化技术在世界范围内得到重视。传统的水蒸汽等离子体气化方法，使用水蒸汽作为等离子体的工作气，由于水蒸汽具有氧化性，这在一定程度上加快了电极的损耗，缩短电极的使用寿命；这一因素制约了等离子体气化技术的发展。

专利申请 01129931.2 公开了氢气、 CH_4 及水蒸汽作为工作气体的等离子体热解气化制取合成气的方法，由于水蒸汽具有氧化性，使得等离子发生器的电极损耗加快，使用寿命缩短。

发明内容

本发明的目的是提供一种用等离子体制取高温、富含活性粒子水蒸汽的方法及装置，采用非氧化性气体作为等离子发生器的工作气体，生成的高温等离子体再加热水蒸汽制取高温、富含高活性粒子水蒸汽，避免了水蒸汽与电极的接触，延长电极的使用寿命。

本发明的技术方案：本发明的用等离子体制取高温、富含活性粒子水蒸汽的方法，步骤包括：

1) 制备水蒸汽及通过等离子发生器将工作气体电离成高温等离子体工质，工作气体选用非氧化性气体中的一种或几种；

2) 将高温等离子体工质喷射入高温水蒸汽发生器形成高温电离环境，同时将水蒸汽通过旋转导向叶片高速送入高温水蒸汽发生器，与高温等离子体工质强烈混合，水蒸汽被加热、活化，形成具有活性粒子的水蒸汽。

所述的步骤 1) 工作气体通过等离子发生器被电离成高温等离子体的温度为 $3000K \sim 12000K$ 。

所述的工作气体优选氮气。

所述的步骤 2) 高温等离子体工质喷入高温水蒸汽发生器的速度为 $30\sim 100\text{m/s}$ ，水蒸汽喷入高温水蒸汽发生器的速度为 $5\sim 30\text{m/s}$ ；通过调节高温等离子体工质与水蒸汽进入高温水蒸汽发生器的质量流量比例，使高温水蒸汽发生器中加热后的水蒸汽达到出口处的温度为 $1000\text{K}\sim 4000\text{K}$ 。

所述的用等离子体制取高温、富含活性粒子水蒸汽的方法，在高温水蒸汽发生器的壳体上间隔设置 1~4 级水蒸汽进入的环形狭口，部分水蒸汽通过压力输送装置由环形狭口进入高温水蒸汽发生器，在高温水蒸汽发生器壁上形成保护高温水蒸汽发生器壁面的低温水膜。

所述的送入高温水蒸汽发生器的水蒸汽优选饱和水蒸汽。

本发明的用等离子体制取高温、富含活性粒子水蒸汽的装置包括等离子发生器和高温水蒸汽发生器，其高温水蒸汽发生器的一端中部设有高温等离子体进口与等离子发生器出口连通，等离子发生器有非氧化性气体进口，在高温等离子体进口的周围是环形水蒸汽进口，环形水蒸汽进口内安装旋转导向叶片。

所述的高温水蒸汽发生器的壳体是逐级变大的台阶状，分 1~4 级台阶，每级台阶处的相邻两段壳体间有水蒸汽进入的环形狭口，环形狭口与水蒸汽压力输送装置连接。

所述的高温水蒸汽发生器的壳体上逐级变大的台阶每级长度范围 $300\sim 800\text{mm}$ 。

所述的环形狭口的径向宽度为 $3\sim 15\text{mm}$ 。

本发明的优点：

本发明工作气体选用非氧化性气体，对等离子发生器电极无腐蚀作用，加上水蒸汽通过单独进口进入，不与等离子发生器的电极接触，使电极寿命长。

本发明水蒸汽通过环形水蒸汽进口导向叶片进口高速旋转喷入高温水蒸汽发生器中的等离子体高温区域，与高温等离子体强烈、迅速混合，水蒸汽被加热、活化，富含大量活性粒子。通过调节等离子体与水蒸汽的进口质量流量比例，使加热后的水蒸汽温度为 $1000\text{K}\sim 4000\text{K}$ ，满足气化需要。水蒸汽通过高温水蒸汽发生器壳体上的环形狭口进入，在高温水蒸汽发生器壁面处形成低温水膜，保护壁面。

附图说明

图 1 为用等离子体制取高温、富含活性粒子水蒸汽的装置的结构示意图。

图2是图1的A-A剖视图。

图3是图1的B-B剖视图。

具体实施方式

如图1、图2、图3：本发明的用等离子体制取高温、富含活性粒子水蒸汽的装置包括等离子发生器1和高温水蒸汽发生器2，其高温水蒸汽发生器2的一端中部设有高温等离子体入口4与等离子发生器1出口1b连通，等离子发生器1有非氧化性气体进口1a，在高温等离子体入口4的周围是环形水蒸汽进口3d，环形水蒸汽进口3d内安装旋转导向叶片7。环形水蒸汽进口3d通过环腔和管口3d1与水蒸汽压力输送装置3连接。6是环形水蒸汽进口3d内的多孔板。5是高温水蒸汽发生器2的高温、富含活性粒子水蒸汽出口。

进一步地，所述的高温水蒸汽发生器2的壳体是逐级变大的台阶状，分1~4级台阶，以3级为例，高温水蒸汽发生器2的壳体包括2a、2b、2c，每级台阶处的相邻两段壳体间有水蒸汽进入的环形狭口3a、3b、3c，环形狭口3a、3b、3c通过各自的带环腔的管口3a1、3b1、3c1与水蒸汽压力输送装置3连接。

所述的高温水蒸汽发生器的壳体上逐级变大的台阶每节长度范围300~800mm。壳体为耐火材料。

所述的环形狭口的径向宽度为3-15mm。

本发明的用等离子体制取高温、富含活性粒子水蒸汽的方法，步骤包括：

1) 制备水蒸汽及通过等离子发生器将工作气体电离成高温等离子体工质，工作气体选用非氧化性气体中的一种或几种；

2) 将高温等离子体工质喷射入高温水蒸汽发生器形成高温电离环境，同时将水蒸汽通过旋转导向叶片高速送入高温水蒸汽发生器，与高温等离子体工质强烈混合，水蒸汽被加热、活化，形成具有活性粒子的水蒸汽。

所述的步骤1)工作气体通过等离子发生器被电离成高温等离子体的温度为3000K~12000K。

所述的水蒸汽包括不饱和水蒸汽、饱和水蒸汽及过热水蒸汽以及水蒸汽与空气或/和氧气混合物，优选饱和水蒸汽。

常用非氧化性气体有Ar，N₂，H₂，CO₂，CH₄等，优选氮气。

进一步地，步骤2) 高温等离子体工质喷入高温水蒸汽发生器的速度为 $30\sim 100\text{m/s}$ ，水蒸汽喷入高温水蒸汽发生器的速度为 $5\sim 30\text{m/s}$ ；通过调节高温等离子体工质与水蒸汽进入高温水蒸汽发生器的质量流量比例，使在高温水蒸汽发生器中加热后的水蒸汽达到出口处的温度为 $1000\text{K}\sim 4000\text{K}$ 。

进一步地，在高温水蒸汽发生器的壳体上间隔设置 $1\sim 4$ 级水蒸汽进入的环形狭口，部分水蒸汽通过压力输送装置由环形狭口进入高温水蒸汽发生器，在高温水蒸汽发生器壁上形成保护高温水蒸汽发生器壁面的低温水膜。

所述的高温水蒸汽发生器的壳体上逐级变大的台阶每节长度范围 $300\sim 800\text{mm}$ 。所述的环形狭口的径向宽度为 $3\sim 15\text{mm}$ 。

实施一：

工作气体 N_2 通过等离子发生器 1 被电离形成约 3000K 的高温等离子体，以 30m/s 的速度喷入高温水蒸汽发生器 2，形成 3000K 高温电离区域；饱和水蒸汽一部分通过具有导向叶片的环形水蒸汽进口 3d 形成 10m/s 的高速旋转气流喷入高温水蒸汽发生器 2，与高温等离子体强烈、迅速混合；另一部分水蒸汽通过环形狭口 3a、3b、3c 以 5m/s 的速度进入高温水蒸汽发生器 2，在高温水蒸汽发生器 2 的内壁形成低温水膜壁，起到保护壁面的作用。由于高温等离子体存在大量被电离的活性粒子，当饱和蒸汽与其接触并混合后，水蒸汽被加热电离成富含大量活性粒子（活性 H_2O 、活性 H 、活性 O 、 $\text{HO}^\cdot$ ， $\text{H}^\cdot$ ， O^{+2} ）的高温水蒸汽，反应后的水蒸汽在出口 5 处温度达到 1500K ，可以直接进入气化装置参与气化反应。

实施二：

工作气体 CO_2 通过等离子发生器 1 被电离形成约 5000K 的高温等离子体，以 70m/s 的速度喷入高温水蒸汽发生器 2，形成 5000K 高温电离区域；饱和水蒸汽一部分通过具有导向叶片的环形水蒸汽进口 3d 形成 15m/s 的高速旋转气流喷入高温水蒸汽发生器 2，与高温等离子体强烈、迅速混合；另一部分水蒸汽通过环形狭口 3a、3b、3c 以 7m/s 的速度进入高温水蒸汽发生器 2，在高温水蒸汽发生器 2 的内壁形成低温水膜壁，起到保护壁面的作用。由于高温等离子体存在大量被电离的活性粒子，当饱和蒸汽与其接触并混合后，水蒸汽被加热电离成富含大量活性粒子（活性 H_2O 、活性 H 、活性 O 、 $\text{HO}^\cdot$ ， $\text{H}^\cdot$ ， O^{+2} ）的高温水蒸汽，反应后的水蒸汽在出口 5 处温度达到 2400K ，可以直接进入气

化装置参与气化反应。

实施三：

工作气体 Ar 通过等离子发生器 1 被电离形成约 12000K 的高温等离子体，以 100m/s 的速度喷入高温水蒸汽发生器 2，形成 10000K 高温电离区域；饱和水蒸汽一部分通过具有导向叶片的环形水蒸汽进口 3d 形成 30m/s 的高速旋转气流喷入高温水蒸汽发生器 2，与高温等离子体强烈、迅速混合；另一部分水蒸汽通过环形间距 10mm 狭口 3a、3b、3c 以 10m/s 的速度进入高温水蒸汽发生器 2，在高温水蒸汽发生器 2 的内壁形成低温水膜壁，起到保护壁面的作用。由于高温等离子体存在大量被电离的活性粒子，当饱和蒸汽与其接触并混合后，水蒸汽被加热电离成富含大量活性粒子（活性 H_2O 、活性 H、活性 O、 $HO^{\cdot}$ ， $H^{\cdot}$ ， O^{+2} ）的高温水蒸汽，反应后的水蒸汽在出口 5 处温度达到 3000K，可以直接进入气化装置参与气化反应。

本发明的核心是水蒸汽通过单独进口进入高温水蒸汽发生器，不与等离子发生器的电极接触。因此，凡是采样非氧化性气体作为电离介质，水蒸汽通过单独进口进入高温水蒸汽发生器的，均属于本发明的保护范围。

权 利 要 求 书

1. 一种用等离子体制取高温、富含活性粒子水蒸汽的方法，步骤包括：

1) 制备水蒸汽及通过等离子发生器将工作气体电离成高温等离子体工质，工作气体选用非氧化性气体中的一种或几种；

2) 将高温等离子体工质喷射入高温水蒸汽发生器形成高温电离环境，同时将水蒸汽通过旋转导向叶片高速送入高温水蒸汽发生器，与高温等离子体工质强烈混合，水蒸汽被加热、活化，形成具有活性粒子的水蒸汽。

2. 根据权利要求1所述的用等离子体制取高温、富含活性粒子水蒸汽的方法，其特征在于：步骤1) 工作气体通过等离子发生器被电离成高温等离子体的温度为3000K~12000K。

3. 根据权利要求1或2所述的用等离子体制取高温、富含活性粒子水蒸汽的方法，其特征在于：工作气体选用氮气。

4. 根据权利要求1或2所述的用等离子体制取高温、富含活性粒子水蒸汽的方法，其特征在于：步骤2) 高温等离子体工质喷入高温水蒸汽发生器的速度为30~100m/s，水蒸汽喷入高温水蒸汽发生器的速度为5~30m/s；通过调节高温等离子体工质与水蒸汽进入高温水蒸汽发生器的质量流量比例，使高温水蒸汽发生器中加热后的水蒸汽达到出口处的温度为1000K~4000K。

5. 根据权利要求1或2所述的用等离子体制取高温、富含活性粒子水蒸汽的方法，其特征在于：在高温水蒸汽发生器的壳体上间隔设置1~4级水蒸汽进入的环形狭口，部分水蒸汽通过压力输送装置由环形狭口进入高温水蒸汽发生器，在高温水蒸汽发生器壁上形成保护高温水蒸汽发生器壁面的低温水膜。

6. 根据权利要求1或2所述的用等离子体制取高温、富含活性粒子水蒸汽的方法，

其特征在于：送入高温水蒸汽发生器的水蒸汽是饱和水蒸汽。

7.一种用等离子体制取高温、富含活性粒子水蒸汽的装置，包括等离子发生器（1）和高温水蒸汽发生器（2），其特征在于：高温水蒸汽发生器（2）的一端中部设有高温等离子体入口（4）与等离子发生器（1）的出口（1b）连通，等离子发生器（1）有电离介质气体进口（1a），在高温等离子体入口（4）的周围是环形水蒸汽进口（3d），环形水蒸汽进口（3d）内安装旋转导向叶片（7）。

8. 根据权利要求 7 所述的用等离子体制取高温、富含活性粒子水蒸汽的装置，其特征在于：高温水蒸汽发生器（2）的壳体是逐级变大的台阶状，分 1~4 级台阶，每级台阶处的相邻两段壳体间有水蒸汽进入的环形狭口，环形狭口与水蒸汽压力输送装置连接。

9.根据权利要求 8 所述的用等离子体制取高温、富含活性粒子水蒸汽的装置，其特征在于：所述的高温水蒸汽发生器的壳体上逐级变大的台阶每级长度范围 300~800mm.。

10.根据权利要求 8 所述的用等离子体制取高温、富含活性粒子水蒸汽的装置，其特征在于：所述的环形狭口的径向宽度为 3-15mm。