[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
C07C 11/24 (2006.01)
C10J 3/48 (2006.01)
C10J 3/46 (2006.01)

[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200910083705.3

[43] 公开日 2009 年 10 月 7 日

[11] 公开号 CN 101550056A

[22] 申请日 2009.5.8
[21] 申请号 200910083705.3
[71] 申请人 清华大学
地址 100084 北京市 100084 - 82 信箱
[72] 发明人 程 易 吴昌宁 金 涌 颜彬航 双 玥 章 莉
[74] 专利代理机构 北京众合诚成知识产权代理有限公司
代理人 童晓琳

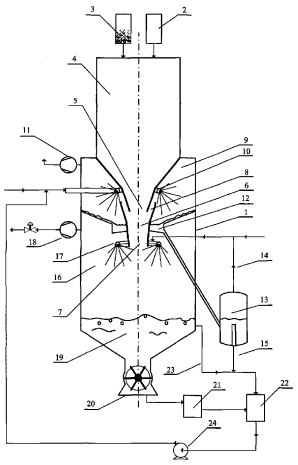
权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图 1 页

[54] 发明名称

一种热等离子体煤裂解 - 气化耦联工艺及反应装置

[57] 摘要

本发明公开了属于煤化工技术领域的一种热等离子体煤裂解 - 气化耦联工艺及反应装置。 本发明在等离子体煤裂解反应装置之后增设气固快速分离器和煤气化反应器，该装置可实现等离子体煤裂解和煤气化两过程的耦联工艺，综合利用气冷段的高位能量尤其是煤粉的高位能量，形成大量的气体副产品，提高了煤的总体转化率和过程的综合价值，本发明可充分利用等离子体煤裂解过程反应产物尤其是反应后煤粉所携带的高位能量，增长了煤粉的反应时间和历程，可提高煤粉的总体转化率，从增设的煤气化反应器可得到大量煤气化反应过程的气体副产品，如 CO 和 H_2，等离子体煤裂解过程的综合价值相比于传统技术将大幅度提高。



1、一种热等离子体煤裂解－气化耦联反应装置，其特征在于，煤裂解反应腔（4）上端设置等离子体发生器（2）和煤粉进料装置（3），煤裂解反应腔（4）下设置煤气化反应器（1），煤裂解反应腔（4）下端设置煤裂解反应腔出口（5），煤裂解反应腔出口（5）为缩颈，在煤裂解反应腔出口（5）缩径外壁周边处安置急冷水喷嘴（10）；煤裂解反应腔出口（5）下端设置气固快速分离器（6），煤裂解反应腔出口（5）与气固快速分离器（6）上端形成夹套结构（8），夹套结构（8）的夹缝为环隙状，夹套结构（8）处于急冷水喷嘴（10）之下，在气固快速分离器（6）四周设置急冷水收集槽（12），急冷水收集槽（12）将煤气化反应器（1）分为两部分，急冷水收集槽（12）上部为气冷腔（9），急冷水收集槽（12）下部为煤气化反应腔（16），气固快速分离器（6）下端为气固快速分离器煤粉出口（7），沿气固快速分离器煤粉出口（7）的外壁周边方向安置煤气化喷嘴（17），沿气冷腔（9）外壁周边安置裂解气产品出口（11），沿煤气化反应腔（16）外壁周边安置煤气化产品出口（18）；煤气化反应器（1）底部设置煤气化反应器底部液封（19），煤气化反应器底部液封（19）下部为煤渣口（20），煤渣口（20）经灰渣沉降器（21）与水净化器（22）相连，煤气化反应器（1）在煤气化反应器底部液封（19）上清液区域设置排液口（23），排液口（23）与水净化器（22）相连；急冷水收集槽（12）与汽水分离器（13）连接，汽水分离器（13）一端经循环蒸汽管（14）与煤气化喷嘴（17）连接，另一端经分离器出口（15）与水净化器（22）相连，水净化器（22）经循环水泵（24）与急冷水喷嘴（10）相连。

2、根据权利要求 1 所述的一种热等离子体煤裂解－气化耦联反应装置，其特征在于，所述急冷水喷嘴（10）为 6～120 个。

3、根据权利要求 1 所述的一种热等离子体煤裂解－气化耦联反应装置，其

特征在于，所述气固快速分离煤粉出口（7）为柱型或锥形。

4、根据权利要求 1 所述的一种热等离子体煤裂解－气化耦联反应装置，其特征在于，所述煤气化喷嘴（17）为 6～60 个。

5、根据权利要求 1 所述的一种热等离子体煤裂解－气化耦联反应装置，其特征在于，所述裂解气产品出口（11）为 2～12 个。

6、根据权利要求 1 所述的一种热等离子体煤裂解－气化耦联反应装置，其特征在于，所述煤气化产品出口（18）为 2～12 个。

7、一种热等离子体煤裂解－气化耦联工艺，其特征在于，该工艺步骤为：

⑴ 等离子体经等离子体发生器（2）进入煤裂解反应腔（4），与经煤粉进料装置（3）进入煤裂解反应腔（4）的煤粉发生煤裂解反应，煤裂解反应腔（4）内的反应温度为 2000～4000K，反应产物经煤裂解反应段出口（5）排出，该反应产物为气固混合物，该气固混合物的温度为 1200～2000K，气固混合物进入气冷腔（9），气冷腔（9）内的温度为 350～800K；

⑵ 上述反应产物经气固快速分离器（6）实现气固两相的分离，固相产物和部分气相产物经气固快速分离器煤粉出口（7）进入煤气化反应腔（16），其余气相产物经煤裂解反应腔出口（5）与气固快速分离器（6）形成的夹套结构（8），被急冷水喷嘴（10）喷出的急冷剂急冷后，经裂解气产品出口（11）排出系统，急冷剂由急冷水收集槽（12）收集并进入汽水分离器（13）；由汽水分离器（13）分离而得的蒸汽经循环蒸汽管（14）送至煤气化喷嘴（17），由汽水分离器（13）分离而得的液体进入水净化器（22），之后经循环水泵（24）送至急冷水喷嘴（10）；

⑶ 上述经气固快速分离器煤粉出口（7）进入煤气化反应腔（16）的固相产物和部分气相产物，与经煤气化喷嘴（17）进入煤气化反应腔（16）的热蒸汽发生煤气化反应；煤气化反应腔（16）内反应温度为 800～2000K，反应后的气相

产物经煤气化产品出口（18）排出系统；反应后的固相产物在煤气化反应器（1）底部聚集，经煤气化反应器底部液封（19）的气液界面与气相产物分离，并由煤渣口（20）排出系统；煤气化反应器底部液封（19）的温度为320～370K，煤气化反应器底部液封（19）区域内的上清液经排液口（23）送至水净化器（22），煤渣口（20）排出的水经灰渣沉降器（21）收集送至水净化器（22），水净化器（22）中的水经循环水泵（24）送至急冷水喷嘴（10）。

8、根据权利要求 7 所述的一种热等离子体煤裂解－气化耦联工艺，其特征在于，所述煤粉为固体煤粉、煤与生物质的粉状混合物或煤与石油焦的粉状混合物中的一种。

9、根据权利要求 7 所述的一种热等离子体煤裂解－气化耦联工艺，其特征在于，所述等离子体发生器（2）工作气体为氢气、氮气、氧气和水蒸气中的至少一种。

10、根据权利要求 7 所述的一种热等离子体煤裂解－气化耦联工艺，其特征在于，所述等离子体为直流电弧等离子体、高频等离子体或微波等离子体中的一种。

一种热等离子体煤裂解－气化耦联工艺及反应装置

技术领域

本发明属于煤化工技术领域，特别涉及一种热等离子体煤裂解－气化耦联工艺及反应装置。

背景技术

乙炔是重要的基础有机化工原料。生产乙炔的工业方法主要有电石法、甲烷部分氧化法和甲烷电弧裂解法，其中电石法乙炔工艺成熟，工业生产中占绝对比例，但是污染和能耗均相对较高。

等离子体裂解煤制乙炔是一条新的、有前景的煤直接化工转化途径，相关研究始于20世纪60年代的英国Sheffield大学：在高温、高焓、高反应活性的电弧热等离子体射流中，煤的挥发分甚至固定碳可直接转化为乙炔。此后，大量的研究集中在英国、美国、德国、印度、前苏联等国家。我国学者及工程技术人员从90年代开始，在这一领域进行了大量的基础研究和工程研究。由于我国油气资源相对匮乏，而煤资源丰富，因此等离子体裂解煤制乙炔过程作为一种清洁且流程短的煤转化过程，在煤的化工利用方面具有重要的潜在工业前景。

美国AVCO公司在1980年完成了1 MW级工业装置的试验，等离子体发生器输入功率为 807kW，使用水做急冷介质，气体分离前单位生产能耗为 10.5 kWh/kg乙炔。德国Huels公司与Bergbau Forschung GmbH公司（德国采矿研究公司，现名DMT）在80年代合作，建成并试验了1.25 MW的中试装置，所取得的单位生产能耗为14～16kWh/kg乙炔。

我国新疆天业集团在2006～2009年间建立了2 MW和5 MW的等离子体裂

解煤制乙炔装置平台，开展了试验研究工作。

国内外不同研究机构所采用的试验装置在系统构成方面存在共性，装置主要包括 3 个共同的部分，即等离子体发生装置、反应器（包括混合和反应段）、急冷和分离装置。现有的国内外各研究机构开发的等离子体煤裂解过程在能量利用效率方面仍存在显著的共同局限，具体体现为：在煤粉与热等离子体发生毫秒级接触和裂解反应之后，通过喷射液态水、冷煤粉或低碳烷烃（如丙烷）等物质以达到反应产物的急冷效果，保证乙炔产品的收率；急冷前反应产物的温度通常在 1400～2000K 的范围之内，急冷后反应产物的温度降至 800K 以下，反应产物特别是反应后煤粉所携带的高位能量以急冷的方式被消耗掉，其量值为输入总电功率的 30～60%，直接制约了该过程所能取得的经济效益。

本发明的目标在于改进现有等离子体煤裂解装置，综合利用该过程反应产物的高位能量，提高煤的总体转化率和过程的综合价值。

发明内容

本发明的目的是提供一种热等离子体煤裂解－气化耦联工艺及反应装置。

一种热等离子体煤裂解－气化耦联反应装置，其特征在于，煤裂解反应腔 4 上端设置等离子体发生器 2 和煤粉进料装置 3，煤裂解反应腔 4 下设置煤气化反应器 1，煤裂解反应腔 4 下端设置煤裂解反应腔出口 5，煤裂解反应腔出口 5 为缩颈，在煤裂解反应腔出口 5 缩径外壁周边处安置急冷水喷嘴 10；煤裂解反应腔出口 5 下端设置气固快速分离器 6，煤裂解反应腔出口 5 与气固快速分离器 6 上端形成夹套结构 8，夹套结构 8 的夹缝为环隙状，夹套结构 8 处于急冷水喷嘴 10 之下，在气固快速分离器 6 四周设置急冷水收集槽 12，急冷水收集槽 12 将煤气化反应器 1 分为两部分，急冷水收集槽 12 上部为气冷腔 9，急冷水收集槽 12 下部为煤气化反应腔 16，气固快速分离器 6 下端为气固快速分离器煤粉出口 7，沿

气固快速分离器煤粉出口 7 的外壁周边方向安置煤气化喷嘴 17，沿气冷腔 9 外壁周边安置裂解气产品出口 11，沿煤气化反应腔 16 外壁周边安置煤气化产品出口 18；煤气化反应器 1 底部设置煤气化反应器底部液封 19，煤气化反应器底部液封 19 下部为煤渣口 20，煤渣口 20 经灰渣沉降器 21 与水净化器 22 相连，煤气化反应器 1 在煤气化反应器底部液封 19 上清液区域设置排液口 23，排液口 23 与水净化器 22 相连；急冷水收集槽 12 与汽水分离器 13 连接，汽水分离器 13 一端经循环蒸汽管 14 与煤气化喷嘴 17 连接，另一端经分离器出口 15 与水净化器 22 相连，水净化器 22 经循环水泵 24 与急冷水喷嘴 10 相连。

所述急冷水喷嘴 10 为 6～120 个。

所述气固快速分离煤粉出口 7 为柱型或锥形。

所述煤气化喷嘴 17 为 6～60 个。

所述裂解气产品出口 11 为 2～12 个。

所述煤气化产品出口 18 为 2～12 个。

一种热等离子体煤裂解－气化耦联工艺，其特征在于，该工艺步骤为：

⑴ 等离子体经等离子体发生器 2 进入煤裂解反应腔 4，与经煤粉进料装置 3 进入煤裂解反应腔 4 的煤粉发生煤裂解反应，煤裂解反应腔 4 内的反应温度为 2000～4000K，反应产物经煤裂解反应段出口 5 排出，该反应产物为气固混合物，该气固混合物的温度为 1200～2000K，气固混合物进入气冷腔 9，气冷腔 9 内的温度为 350～800K；

⑵ 上述反应产物经气固快速分离器 6 实现气固两相的分离，固相产物和部分气相产物经气固快速分离器煤粉出口 7 进入煤气化反应腔 16，其余气相产物经煤裂解反应腔出口 5 与气固快速分离器 6 形成的夹套结构 8，被急冷水喷嘴 10 喷出的急冷剂急冷后，经裂解气产品出口 11 排出系统，急冷剂由急冷水收集槽

12 收集并进入汽水分离器 13；由汽水分离器 13 分离而得的蒸汽经循环蒸汽管 14 送至煤气化喷嘴 17，由汽水分离器 13 分离而得的液体进入水净化器 22，之后经循环水泵 24 送至急冷水喷嘴 10；

(3) 上述经气固快速分离器煤粉出口 7 进入煤气化反应腔 16 的固相产物和部分气相产物，与经煤气化喷嘴 17 进入煤气化反应腔 16 的热蒸汽发生煤气化反应；煤气化反应腔 16 内反应温度为 800～2000K，反应后的气相产物经煤气化产品出口 18 排出系统；反应后的固相产物在煤气化反应器 1 底部聚集，经煤气化反应器底部液封 19 的气液界面与气相产物分离，并由煤渣口 20 排出系统；煤气化反应器底部液封 19 的温度为 320～370K，煤气化反应器底部液封 19 区域内的上清液经排液口 23 送至水净化器 22，煤渣口 20 排出的水经灰渣沉降器 21 收集送至水净化器 22，水净化器 22 中的水经循环水泵 24 送至急冷水喷嘴 10。

所述煤粉为固体煤粉、煤与生物质的粉状混合物或煤与石油焦的粉状混合物中的一种。

所述等离子体发生器 2 工作气体为氢气、氮气、氧气和水蒸气中的至少一种。

所述等离子体为直流电弧等离子体、高频等离子体或微波等离子体中的一种。

本发明的有益效果为：本发明通过在等离子体煤裂解反应装置之后增设气固快速分离器和煤气化反应器以形成一种可实现热等离子体煤裂解－气化耦联工艺的新型反应装置，在增设的煤气化反应器内喷射水蒸汽使煤粉继续发生煤气化反应，进而达到提高煤裂解装置的总体转化率和过程综合价值的目的，本发明可充分利用等离子体煤裂解过程反应产物尤其是反应后煤粉所携带的高位能量，增长了煤粉的反应时间和历程，可提高煤粉的总体转化率，从增设的煤气化反应器可得到大量煤气化反应过程的气体副产品，如 CO 和 H_2，等离子体煤裂解过程的

综合价值相比于传统技术将大幅度提高。

附图说明

图 1 是热等离子体煤裂解－气化耦联装置示意图；

图中标号： 1-煤气化反应器； 2-等离子体发生器； 3-煤粉进料装置； 4-煤裂解反应腔； 5-煤裂解反应腔出口； 6-气固快速分离器； 7-气固快速分离器煤粉出口； 8-夹套结构； 9-气冷腔； 10-急冷水喷嘴； 11-裂解气产品出口； 12-急冷水收集槽； 13-汽水分离器； 14-循环蒸汽管； 15-分离器出口； 16-煤气化反应腔； 17-煤气化喷嘴； 18-煤气化产品出口； 19-煤气化反应器底部液封； 20-煤渣口； 21-灰渣沉降器； 22-水净化器； 23-排液口；24-循环水泵。

具体实施方式

下面结合附图对本发明作进一步说明：

实施例 1

一种热等离子体煤裂解－气化耦联反应装置，如图 1 所示，煤裂解反应腔 4 上端设置等离子体发生器 2 和煤粉进料装置 3，煤裂解反应腔 4 下设置煤气化反应器 1，煤气化反应器 1 的内径为 300mm，煤裂解反应腔 4 下端设置煤裂解反应腔出口 5，煤裂解反应腔出口 5 为缩颈，在煤裂解反应腔出口 5 缩径外壁周边处安置急冷水喷嘴 10；煤裂解反应腔出口 5 下端设置气固快速分离器 6，煤裂解反应腔出口 5 与气固快速分离器 6 上端形成夹套结构 8，夹套结构 8 的夹缝为环隙状，环隙厚度为 10mm，环隙高度为 50mm，夹套结构 8 处于急冷水喷嘴 10 之下，在距离夹套结构 8 出口 20、40、60mm 的煤裂解反应腔出口 5 缩径外壁周边处安置三层急冷水喷嘴 10，每层 12 个，相邻层的喷嘴错开 10°，各喷嘴沿垂直于气相产物流速的方向安置，在气固快速分离器 6 四周设置急冷水收集槽 12，急冷水收集槽 12 将煤气化反应器 1 分为两部分，急冷水收集槽 12 上部为气冷腔 9，急

冷水收集槽 12 下部为煤气化反应腔 16，气固快速分离器 6 下端为气固快速分离器煤粉出口 7，气固快速分离器煤粉出口 7 为锥形，开口处内径为 120mm，与煤裂解反应腔出口 5 的距离为 250mm，沿气固快速分离器煤粉出口 7 的外壁周边方向安置煤气化喷嘴 17，煤气化喷嘴 17 安置在气固快速分离器煤粉出口 7 上方 10 mm 距离的位置，沿气固快速分离器煤粉出口 7 的外壁周边方向均匀安置 18 个，沿气冷腔 9 外壁周边安置 4 个裂解气产品出口 11，沿煤气化反应腔 16 外壁周边安置 4 个煤气化产品出口 18；煤气化反应器 1 底部设置煤气化反应器底部液封 19，气固快速分离器煤粉出口 7 和煤气化反应器底部液封 19 之间的距离为 800mm，煤气化反应器底部液封 19 下部为煤渣口 20，煤渣口 20 经灰渣沉降器 21 与水净化器 22 相连，煤气化反应器 1 在煤气化反应器底部液封 19 上清液区域设置排液口 23，排液口 23 与水净化器 22 相连；急冷水收集槽 12 与汽水分离器 13 连接，汽水分离器 13 一端经循环蒸汽管 14 与煤气化喷嘴 17 连接，另一端经分离器出口 15 与水净化器 22 相连，水净化器 22 经循环水泵 24 与急冷水喷嘴 10 相连。

一种热等离子体煤裂解－气化耦联工艺，采用上述装置，工艺步骤为：

⑴ 直流电弧氢等离子体经等离子体发生器 2 进入煤裂解反应腔 4，与经煤粉进料装置 3 进入煤裂解反应腔 4 的平均粒径为 60μm 的干煤粉颗粒发生煤裂解反应，煤裂解反应腔 4 内的反应温度为 2800～3500K，反应产物经煤裂解反应段出口 5 排出，该反应产物为气固混合物，该气固混合物的温度为 1600～1800K，气固混合物进入气冷腔 9，气冷腔 9 内的温度为 700～800K；

⑵ 上述反应产物经气固快速分离器 6 实现气固两相的分离，固相产物和部分气相产物经气固快速分离器煤粉出口 7 进入煤气化反应腔 16，其余气相产物经煤裂解反应腔出口 5 与气固快速分离器 6 形成的夹套结构 8，被急冷水喷嘴 10

喷出的急冷剂急冷后，经裂解气产品出口 11 排出系统，急冷剂由急冷水收集槽 12 收集并进入汽水分离器 13；由汽水分离器 13 分离而得的蒸汽经循环蒸汽管 14 送至煤气化喷嘴 17，由汽水分离器 13 分离而得的液体进入水净化器 22，之后经循环水泵 24 送至急冷水喷嘴 10；

⑶ 上述经气固快速分离器煤粉出口 7 进入煤气化反应腔 16 的固相产物和部分气相产物，与经煤气化喷嘴 17 进入煤气化反应腔 16 的热蒸汽发生煤气化反应；煤气化反应腔 16 内反应温度为 1000～1300K，反应后的气相产物经煤气化产品出口 18 排出系统；反应后的固相产物在煤气化反应器 1 底部聚集，经煤气化反应器底部液封 19 的气液界面与气相产物分离，并由煤渣口 20 排出系统；煤气化反应器底部液封 19 的温度为 350～370K，煤气化反应器底部液封 19 区域内的上清液经排液口 23 送至水净化器 22，煤渣口 20 排出的水经灰渣沉降器 21 收集送至水净化器 22，水净化器 22 中的水经循环水泵 24 送至急冷水喷嘴 10。

煤气化反应器底部液封 19、煤气化产品出口 18 和分离器出口 15 的压力均可调。

本实施例中，等离子体发生器 2 处的压力为 140～150kPa，裂解气产品出口 11 处的压力为 100～105kPa，煤气化反应腔 16 内的压力为 135～140kPa。

该等离子体煤裂解－气化耦联反应装置与改进前的热等离子体煤裂解装置相比：煤粉的总体转化率由 38～43％提高到 73～78％，接近所用煤粉的极限转化率 81％；气相产物和煤粉的产品总生成热占输入总电功率的比例由 17～25％提高到 65～70％，其实质是将急冷水所带走的高位能量用于提供煤气化反应过程所需要的反应热，煤气化反应过程的反应产物中 CO 和 H_2 的总体积分数超过 80％；每转化单位质量煤粉的比能耗由 5.2～5.6kWh/kg 下降到 2.8～3.2kWh/kg。

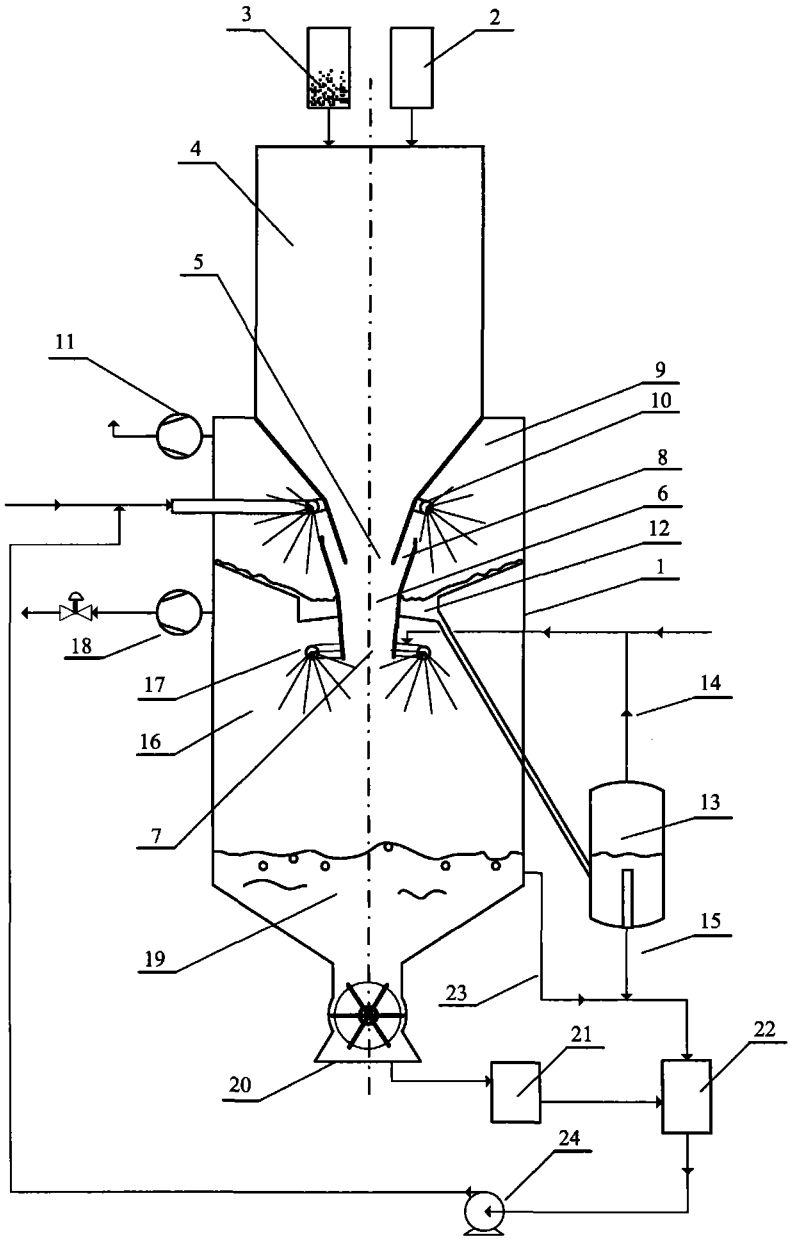


图 1