



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 117902551 B

(45) 授权公告日 2024.05.14

(21) 申请号 202410311541.X

CN 110963464 A, 2020.04.07

(22) 申请日 2024.03.19

CN 113213423 A, 2021.08.06

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 115043376 A, 2022.09.13

申请公布号 CN 117902551 A

CN 115722497 A, 2023.03.03

(43) 申请公布日 2024.04.19

CN 116966840 A, 2023.10.31

(73) 专利权人 西南石油大学

EP 3894352 A1, 2021.10.20

地址 610500 四川省成都市新都区新都大道8号

JP 2002211909 A, 2002.07.31

US 2012034150 A1, 2012.02.09

US 2016031710 A1, 2016.02.04

US 5346779 A, 1994.09.13

(72) 发明人 蒲怡 杨可新 杜镜安 赵媛

黄泓婧 刘佳怡 黄立新 何婧怡

王语 蒋文静

李彬. 基于提高甲烷重整活性的镍基催化剂的修饰及性能研究.《中国博士学位论文全文数据库 工程科技I辑》.2022,全文.

(74) 专利代理机构 北京万新知识产权代理有限公司 16195

伍腾芳. 负载型钒基催化剂催化丙烷脱氢性能与反应机理研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 工程科技I辑》.2019,全文.

专利代理师 甘善甜

Daiyan, R et al.. Electroreduction of CO₂ to CO on a Mesoporous Carbon Catalyst with Progressively Removed Nitrogen Moieties.《ACS ENERGY LETTERS》.2018,全文.

(51) Int. Cl.

C01B 3/26 (2006.01)

审查员 仇乙交

(56) 对比文件

AU 2006308794 A1, 2007.05.10

CA 2545879 A1, 2005.06.16

权利要求书2页 说明书6页 附图1页

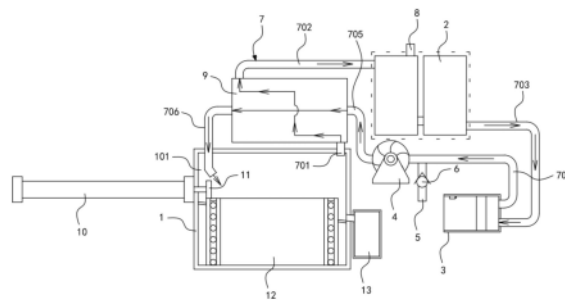
(54) 发明名称

一种甲烷无碳排放制氢的反应装置

以解决催化剂被固态碳覆盖的问题,提高甲烷气体的裂解率。

(57) 摘要

本发明涉及甲烷裂解制氢技术领域,尤其为一种甲烷无碳排放制氢的反应装置,包括反应器、循环管和固态碳清除组件;所述反应器的内部设置有反应腔,所述反应腔的内底部形成有用于放置催化剂的催化剂室;所述循环管的两端分别与所述反应器的进气口和出气口连通;沿着所述反应器的进气口到出气口方向,在所述循环管上依次设置有气体分离器、甲烷进气管和气体输送泵;所述甲烷进气管上设置有弹簧式单向阀,所述弹簧式单向阀的导通方向为允许所述甲烷进气管供应的甲烷气体进入到所述循环管中;所述气体分离器用于将所述反应器的出气口排出的混合气体中的氢气和甲烷气体分离。本发明可



1. 一种甲烷无碳排放制氢的反应装置,其特征在于,包括反应器、循环管和固态碳清除组件;

所述反应器的内部设置有反应腔,所述反应腔的内底部形成有用于放置催化剂的催化
剂室;

所述循环管的两端分别与所述反应器的进气口和出气口连通;

沿着所述反应器的进气口到出气口方向,在所述循环管上依次设置有气体分离器、甲
烷进气管和气体输送泵;

所述甲烷进气管上设置有弹簧式单向阀,所述弹簧式单向阀的导通方向为允许所述甲
烷进气管供应的甲烷气体进入到所述循环管中;

所述气体分离器用于将所述反应器的出气口排出的混合气体中的氢气和甲烷气体分
离,所述气体分离器分离出的氢气通过氢气排出管排出;

所述气体输送泵用于将所述甲烷进气管供应的甲烷气体以及气体分离器分离出的甲
烷气体输送到所述反应腔中;

所述固态碳清除组件包括线性膨胀器、伸缩部件、除碳部件和行程开关;

所述线性膨胀器设置在所述气体分离器和所述甲烷进气管之间,所述线性膨胀器的内
部设置有容积可变的膨胀腔,所述膨胀腔与所述循环管连通;

所述伸缩部件水平设置;

所述除碳部件固定于所述伸缩部件的伸缩杆自由端,所述除碳部件的底面与催化剂的
顶面平齐;

所述行程开关设置于所述线性膨胀器的膨胀路径上,当所述线性膨胀器膨胀至挤压并
打开行程开关时,所述伸缩部件完成一次伸缩动作。

2. 根据权利要求1所述的一种甲烷无碳排放制氢的反应装置,其特征在于,所述伸缩部
件为电缸或油缸或气缸。

3. 根据权利要求1所述的一种甲烷无碳排放制氢的反应装置,其特征在于,所述除碳部
件进一步包括耐高温板。

4. 根据权利要求1所述的一种甲烷无碳排放制氢的反应装置,其特征在于,所述伸缩部
件设置于所述反应器的外部,所述除碳部件设置于所述反应器的内部,所述伸缩部件的伸
缩杆与所述反应器的侧壁滑动密封连接。

5. 根据权利要求1所述的一种甲烷无碳排放制氢的反应装置,其特征在于,所述线性膨
胀器进一步包括密封壳和活塞;

所述密封壳的一端密封;

所述活塞滑动密封连接于所述密封壳的内部;

所述膨胀腔形成在所述活塞与所述密封壳的一端之间。

6. 根据权利要求5所述的一种甲烷无碳排放制氢的反应装置,其特征在于,所述行程开
关安装在所述密封壳的内表面上,且所述行程开关设置在所述活塞相对于所述膨胀腔的另
一侧。

7. 根据权利要求1所述的一种甲烷无碳排放制氢的反应装置,其特征在于,所述循环管
上还设置有换热器;

所述换热器设置于所述气体输送泵和所述反应器的进气口之间;

所述换热器用于利用所述反应器出气口排出的气体对通过所述反应器进气口的甲烷气体进行预热。

8. 根据权利要求7所述的一种甲烷无碳排放制氢的反应装置, 其特征在于, 所述循环管包括第一管道、第二管道、第三管道、第四管道、第五管道和第六管道;

所述第一管道的一端与所述反应器的出气口连通, 另一端与所述换热器的热媒进口连通;

所述第二管道的一端与所述换热器的热媒出口连通, 另一端与所述气体分离器的进口连通;

所述第三管道的一端与所述气体分离器的甲烷排出口连通; 另一端与所述膨胀腔的进口连通;

所述第四管道的一端与所述膨胀腔的出口连通, 另一端与所述气体输送泵的进口连通;

所述第五管道的一端与所述气体输送泵的出口连通, 另一端与所述换热器的冷媒进口连通;

所述第六管道的一端与所述换热器的冷媒出口连通; 另一端与所述反应器的进气口连通;

所述甲烷进气管与所述第四管道连通。

9. 根据权利要求1所述的一种甲烷无碳排放制氢的反应装置, 其特征在于, 所述反应器相对于所述伸缩部件的另一侧安装有碳收集桶。

一种甲烷无碳排放制氢的反应装置

技术领域

[0001] 本发明涉及甲烷裂解制氢技术领域,具体为一种甲烷无碳排放制氢的反应装置。

背景技术

[0002] 目前制氢技术主要利用化石燃料(如煤、天然气)制取氢气。具体方法包括煤气化制氢、甲烷重整(蒸汽重整和自热重整)制氢、石脑油重整制氢、工业副产气制氢等。这些方法制取的氢气被称为“灰氢”,其制备过程存在环境污染和二氧化碳排放问题。新型制氢技术主要包括可再生能源制氢、热化学制氢、核能制氢和生物制氢等。其中,可再生能源制氢是利用太阳能、风能等可再生能源通过电解水或光合作用等方式制取氢气,这种方法生产的氢气被称为“绿氢”,具有零碳排放的优点但所需能耗高,成本高。故现下急需一种二氧化碳排放低、成本低的制氢方法。

[0003] 甲烷裂解制氢技术是一种通过将甲烷气体在高温下分解为氢气和固体碳的过程。甲烷裂解制氢相对于传统的氢气生产方式具有许多优点。首先,它的产氢效率高达95%以上,远高于其他氢气生产方式。其次,甲烷裂解制氢能够避免二氧化碳等有害气体的排放,具有明显的环保优势,

[0004] 例如公告号为CN112938895A的中国发明专利申请公开了一种利用液态金属裂解天然气制氢的系统,包括液态金属熔融罐、液态金属裂解反应器、分离器。本发明还公开了一种利用液态金属裂解天然气制氢的方法,包括:(1)将液态金属、天然气在催化剂的作用下裂解,分离出氢气、裂解气;(2)将裂解气进行间壁换热、除尘后降温,进行气固分离得到炭黑,将分离出炭黑后的裂解气冷凝,再次分离出氢气、烃类气体。本发明利用液态金属裂解天然气制氢的系统、方法不仅能制得氢气,还能制得优质的炭黑,降低了生产成本。

[0005] 上述专利申请所提供的技术方案虽然可以实现无污染制氢,但在氢气制作过程中,裂解反应产生的固态碳会沉积在熔融技术催化剂的表面,形成固态碳沉积层,此固态碳沉积层会导致甲烷气体无法与熔融技术催化剂接触,导致催化效率降低,也即甲烷裂解的反应效率降低,氢气产量降低,而且,固态碳沉积层还有可能会直接导致熔融金属催化剂失活,催化剂不能保持长久有效的催化状态,更进一步的降低了甲烷气体的裂解率。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种甲烷无碳排放制氢的反应装置,以解决上述背景技术中提出的问题。

[0007] 为实现上述目的,本发明提供如下技术方案:一种甲烷无碳排放制氢的反应装置,包括反应器、循环管和固态碳清除组件;

[0008] 所述反应器的内部设置有反应腔,所述反应腔的内底部形成有用于放置催化剂的催化剂室;

[0009] 所述循环管的两端分别与所述反应器的进气口和出气口连通;

[0010] 沿着所述反应器的进气口到出气口方向,在所述循环管上依次设置有气体分离

器、甲烷进气管和气体输送泵；

[0011] 所述甲烷进气管上设置有弹簧式单向阀,所述弹簧式单向阀的导通方向为允许所述甲烷进气管供应的甲烷气体进入到所述循环管中；

[0012] 所述气体分离器用于将所述反应器的出气口排出的混合气体中的氢气和甲烷气体分离,所述气体分离器分离出的氢气通过氢气排出管排出；

[0013] 所述气体输送泵用于将所述甲烷进气管供应的甲烷气体以及气体分离器分离出的甲烷气体输送到所述反应腔中；

[0014] 所述固态碳清除组件包括线性膨胀器、伸缩部件、除碳部件和行程开关；

[0015] 所述线性膨胀器设置在所述气体分离器和所述甲烷进气管之间,所述线性膨胀器的内部设置有容积可变的膨胀腔,所述膨胀腔与所述循环管连通；

[0016] 所述伸缩部件水平设置；

[0017] 所述除碳部件固定于所述伸缩部件的伸缩杆自由端,所述除碳部件的底面与催化剂的顶面平齐；

[0018] 所述行程开关设置于所述线性膨胀器的膨胀路径上,当所述线性膨胀器膨胀至挤压并打开行程开关时,所述伸缩部件完成一次伸缩动作。

[0019] 优选的,所述伸缩部件为电缸或油缸或气缸。

[0020] 优选的,所述除碳部件进一步包括耐高温板。

[0021] 优选的,所述伸缩部件设置于所述反应器的外部,所述除碳部件设置于所述反应器的内部,所述伸缩部件的伸缩杆与所述反应器的侧壁滑动密封连接。

[0022] 优选的,所述线性膨胀器进一步包括密封壳和活塞；

[0023] 所述密封壳的一端密封；

[0024] 所述活塞滑动密封连接于所述密封壳的内部；

[0025] 所述膨胀腔形成在所述活塞与所述密封壳的一端之间。

[0026] 优选的,所述行程开关安装在所述密封壳的内表面上,且所述行程开关设置在所述活塞相对于所述膨胀腔的另一侧。

[0027] 优选的,所述循环管上还设置有换热器；

[0028] 所述换热器设置于所述气体输送泵和所述反应器的进气口之间；

[0029] 所述换热器用于利用所述反应器出气口排出的气体对通过所述反应器进气口的甲烷气体进行预热。

[0030] 优选的,所述循环管包括第一管道、第二管道、第三管道、第四管道、第五管道和第六管道；

[0031] 所述第一管道的一端与所述反应器的出气口连通,另一端与所述换热器的热媒进口连通；

[0032] 所述第二管道的一端与所述换热器的热媒出口连通,另一端与所述气体分离器的进口连通；

[0033] 所述第三管道的一端与所述气体分离器的甲烷排出口连通；另一端与所述膨胀腔的进口连通；

[0034] 所述第四管道的一端与所述膨胀腔的出口连通,另一端与所述气体输送泵的进口连通；

[0035] 所述第五管道的一端与所述气体输送泵的出口连通,另一端与所述换热器的冷媒进口连通;

[0036] 所述第六管道的一端与所述换热器的冷媒出口连通;另一端与所述反应器的进气口连通;

[0037] 所述甲烷进气管与所述第四管道连通。

[0038] 优选的,所述反应器相对于所述伸缩部件的另一侧安装有碳收集桶。

[0039] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0040] 本发明通过设置的固态碳清除组件以及气体分离器,利用线性膨胀器对气体分离器排出的为裂解的甲烷气体的容量进行测量,一旦线性膨胀器膨胀至挤压并打开行程开关时,伸缩部件就会完成一次伸缩动作,从而带动除碳部件在催化剂的上表面刮扫两次,从而刮扫除去催化剂表面沉积的固态碳,恢复催化剂对甲烷气体的催化效果,如此,可以保持催化剂对裂解反应的长时间有效催化,提高甲烷的裂解率,且这一技术手段无需复杂的控制逻辑就可以完成,可以适配甲烷裂解过程中的高温环境,且在高温环境下的稳定性高。通过设置的换热器,一方面可以对甲烷气体进行预热,使甲烷气体在进入反应腔后可以快速的达到裂解温度,进一步提高甲烷的裂解率,同时,换热器还具有滤波的作用,使得第五管道内部的具有脉冲波动的甲烷气体经过换热器后可以恢复稳定的流动,继而使进入到反应腔内部的甲烷气体保持匀速稳定状态,也有利于提高甲烷的裂解率。

附图说明

[0041] 图1为本发明的整体结构示意图;

[0042] 图2为本发明的局部结构示意图。

[0043] 图中:

[0044] 1、反应器;101、反应腔;2、气体分离器;3、线性膨胀器;301、密封壳;302、活塞;303、膨胀腔;4、气体输送泵;5、甲烷进气管;6、弹簧式单向阀;7、循环管;701、第一管道;702、第二管道;703、第三管道;704、第四管道;705、第五管道;706、第六管道;8、氢气排出管;9、换热器;10、伸缩部件;11、除碳部件;12、催化剂室;13、碳收集桶;14、行程开关。

具体实施方式

[0045] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0046] 请参阅图1-图2,本发明提供一种技术方案:

[0047] 一种甲烷无碳排放制氢的反应装置,包括反应器1、循环管7和固态碳清除组件;其中,反应器1用于为甲烷的裂解反应提供反应空间,循环管7则用于实现未裂解甲烷气体的回收再利用,降低甲烷气体的浪费,固态碳清除组件用于清除催化剂表面沉积的固态碳。

[0048] 如图1-图2所示,所述的反应器1的内部设置有反应腔101,反应腔101的内底部形成有用于放置催化剂的催化剂室12;在本实施例中,反应器1整体呈密封的方筒状结构,催化剂室12通过呈圆筒状的外壳限定形成,圆筒状外壳的底部与反应器1的内底面密封固定

连接,进一步的,本实施例中的反应器1和圆筒状外壳均可以采用高纯度氧化铝微晶纤维材料制成。

[0049] 如图1-图2所示,循环管7的两端分别与反应器1的进气口和出气口连通;进一步的,沿着反应器1的进气口到出气口方向,在循环管7上依次设置有气体分离器2、甲烷进气管5和气体输送泵4;其中,所述的气体分离器2可以采用普莱克斯旗下Arivale氢气提纯分离装置。

[0050] 如图1-图2所示,甲烷进气管5上设置有弹簧式单向阀6,弹簧式单向阀6的导通方向为允许甲烷进气管5供应的甲烷气体进入到循环管7中。

[0051] 如图1-图2所示,气体分离器2用于将反应器1的出气口排出的混合气体中的氢气和甲烷气体分离,气体分离器2分离出的氢气通过氢气排出管8排出。

[0052] 如图1-图2所示,气体输送泵4用于将甲烷进气管5供应的甲烷气体以及气体分离器2分离出的甲烷气体输送到反应腔101中。

[0053] 如图1-图2所示,固态碳清除组件包括线性膨胀器3、伸缩部件10、除碳部件11和行程开关14;进一步的,如图1-图2所示,线性膨胀器3设置在气体分离器2和甲烷进气管5之间,线性膨胀器3的内部设置有容积可变的膨胀腔303,膨胀腔303与循环管7连通。

[0054] 如图1-图2所示,伸缩部件10水平设置;除碳部件11固定于伸缩部件10的伸缩杆自由端,除碳部件11的底面与催化剂的顶面平齐。行程开关14设置于线性膨胀器3的膨胀路径上,当线性膨胀器3膨胀至挤压并打开行程开关14时,伸缩部件10完成一次伸缩动作。

[0055] 本实施例中,所述的伸缩部件10为电缸或油缸或气缸。伸缩部件10的伸缩行程可以根据实际反应腔101的大小进行适应性调整,以使伸缩部件10每完成一次伸缩动作时,除碳部件11均可以在催化剂的上表面刮扫两次(也即伸出过程中刮扫一次,缩回过程中再刮扫一次)。

[0056] 本实施例中,所述的除碳部件11进一步包括耐高温板。例如除碳部件11可以采用高纯度氧化铝微晶纤维材料制成。除碳部件11的长度应当大于催化剂室12的直径,以使每次刮扫时都可以将沉积在催化剂上表面的固态碳全面清除。

[0057] 如图1-图2所示,本实施例中,伸缩部件10设置于反应器1的外部,除碳部件11设置于反应器1的内部,伸缩部件10的伸缩杆与反应器1的侧壁滑动密封连接。由此,在伸缩部件10的伸缩杆进行伸缩动作时,不会出现反应器1漏气的情况发生,同时,将伸缩部件10设置于反应器1的外部,使得伸缩部件10无需抵抗反应器1内部的高温,也即整个固态碳清除组件可以在高温环境下进行稳定的运行。

[0058] 如图1-图2所示,线性膨胀器3进一步包括密封壳301和活塞302。具体的,密封壳301的一端密封;例如,密封壳301呈圆筒状,且密封壳301的一端一体成型设置有圆形密封板。活塞302滑动密封连接于密封壳301的内部。膨胀腔303形成在活塞302与密封壳301的一端之间。

[0059] 如图1-图2所示,行程开关14安装在密封壳301的内表面上,且行程开关14设置在活塞302相对于膨胀腔303的另一侧。

[0060] 如图1-图2所示,循环管7上还设置有换热器9;换热器9设置于气体输送泵4和反应器1的进气口之间;换热器9用于利用反应器1出气口排出的气体对通过反应器1进气口的甲烷气体进行预热。而且,换热器9内部空间相较于循环管7变大,循环管7内部的甲烷气体进

入到换热器9内部后相当于减小了气压,从而使得循环管7内部的甲烷气体存在的脉冲波动得到了缓冲,换句话说,换热器9既可以实现换热的功能,又可以实现滤波的功能,使得进入到反应器1内部的甲烷气体可以保持匀速稳定的流速,如此也有利于提高甲烷气体的裂解率。

[0061] 进一步的,如图1-图2所示,循环管7包括第一管道701、第二管道702、第三管道703、第四管道704、第五管道705和第六管道706;第一管道701的一端与反应器1的出气口连通,另一端与换热器9的热媒进口连通;第二管道702的一端与换热器9的热媒出口连通,另一端与气体分离器2的进口连通;第三管道703的一端与气体分离器2的甲烷排出口连通;另一端与膨胀腔303的进口连通;第四管道704的一端与膨胀腔303的出口连通,另一端与气体输送泵4的进口连通;第五管道705的一端与气体输送泵4的出口连通,另一端与换热器9的冷媒进口连通;第六管道706的一端与换热器9的冷媒出口连通;另一端与反应器1的进气口连通;甲烷进气管5与第四管道704连通。

[0062] 如图1-图2所示,反应器1相对于伸缩部件10的另一侧安装有碳收集桶13。具体的,碳收集桶13用于收集被除碳部件11刮扫下的固态碳,碳收集桶13和反应器1内部的反应腔101之间采用密封连通的连接方式,且碳收集桶13应该与反应器1之间为可拆卸式的连接,具体的可拆卸方式在此不做具体限定,例如可以是可以通过螺栓方式固定,当需要拆卸碳收集桶13时,拧下螺栓即可。

[0063] 下面介绍本实施例的具体工作流程及工作原理:利用加热设备对催化剂室12内部的金属催化剂进行加热,使得金属催化剂达到指定温度,并处于熔融状态;之后启动气体输送泵4和气体分离器2,气体输送泵4可以在单位时间内向反应腔101内输送单位容量的甲烷气体;因此,气体输送泵4会从膨胀腔303和甲烷进气管5中抽取甲烷气体,但由于弹簧式单向阀6的存在,气体输送泵4会优先从膨胀腔303内抽取甲烷气体,当膨胀腔303内的甲烷气体不足以满足气体输送泵4的输送要求时,弹簧式单向阀6就会在气压的作用下自动打开,使得外部的甲烷气体通过甲烷进气管5进入到第四管道704中,并最终进入到反应腔101内;进入到反应腔101内的甲烷气体在催化剂的作用下开始进行裂解反应,产生氢气,产生的氢气与未裂解的甲烷气体混合后通过反应器1的出气口排出,也即通过第一管道701和换热器9的热媒进口进入到换热器9的内部,之后再通过换热器9的热媒出口和第二管道702进入到气体分离器2中,经过气体分离器2的作用后,氢气被提纯并通过氢气排出管8排出,而余下的为反应的甲烷气体就会通过第三管道703进入到膨胀腔303的内部,然后再通过第四管道704、第五管道705、换热器9和第六管道706进入到反应腔101内继续进行裂解反应,如此,实现了对甲烷气体的充分利用,避免造成甲烷气体的浪费;其中,氢气与未裂解的甲烷气体形成的混合气体在经过换热器9的过程中,混合气体内部的热量会传递到流经换热器9的温度较低的甲烷气体中,从而实现了对即将进入到反应腔101内部的甲烷气体的预热,一方面实现了对混合气体内部热量的二次利用,降低能耗,预热后的甲烷气体在进入到反应腔101后可以快速的达到裂解反应的温度调节,有利于提高甲烷气体的裂解率,另一方面也可以利用该温度较低的甲烷气体吸收混合气体中的热量,降低混合气体的温度,使得混合气体可以以合适的温度进入到气体分离器2中进行氢气的提纯,同时,换热器9还具有缓冲甲烷气体波动的作用,使得进入到反应器1内部的甲烷气体可以保持匀速稳定的流速,如此也有利于提高甲烷气体的裂解率(甲烷气体产生波动的原因在于:由于气体输送泵4抽取的甲烷气

体是由膨胀腔303内部的甲烷气体和通过甲烷进气管5的甲烷气体产生的混合甲烷气体,一方面,通过甲烷进气管5的外部的甲烷气体可能会因外部气源的质量存在脉冲波动的情况,从而导致混合甲烷气体产生脉冲波动,另一方面,弹簧式单向阀6在打开和关闭的过程中也可能造成混合甲烷气体产生脉冲波动;换热器9对混合甲烷气体的波动进行过滤的原理在于:换热器9内部多个换热管的截面面积远大于循环管7的截面面积,当混合甲烷气体进入到换热器9内的多个换热管中后,混合甲烷气体的流动速度得到较大幅度的下降,从而就可以将原本存在波动的混合甲烷气体转化为没有波动的混合甲烷气体,该没有波动的混合甲烷气体通过第六管道706进入到反应腔101的内部,从而确保进入到反应腔101内部的混合甲烷气体具有均匀且稳定的流速);上述方案中,气体分离器2提纯氢气后余下的未裂解的甲烷气体进入到膨胀腔303内部后,若该部分未裂解的甲烷气体的进入速度大于气体输送泵4的抽取速度,就会导致膨胀腔303的体积逐渐增大膨胀,也即推动活塞302逐渐移向行程开关14,如此,也就表面反应器1出气口排出的混合气体中的甲烷比率变高,换句话说,就是甲烷气体的裂解率下降,而甲烷气体的裂解率与催化剂的催化效率有着直接关系,因此也就表明此时催化剂表面沉积的固态碳过多,导致甲烷气体与催化剂的接触面积变小,因此就需要对催化剂表面沉积的固态碳进行清理,也即,当活塞302挤压行程开关14并打开行程开关14后,伸缩部件10就会完成一次伸缩动作,从而带动除碳部件11在催化剂的上表面刮扫两次,从而刮扫除去催化剂表面沉积的固态碳,刮扫除去的固态碳会收集在碳收集桶13的内部;催化剂表面沉积的固态碳被清理后,其对甲烷气体的催化效果恢复到最开始的状态,此时甲烷气体的裂解率提升,反应器1出气口排出的混合气体中的甲烷占比降低,使得进入到膨胀腔303内部的未裂解的甲烷气体减少,膨胀腔303收缩,活塞302与行程开关14分离伸缩部件10完成一次伸缩动作后不再继续动作。

[0064] 尽管已经示出和描述了本发明的实施例,对于本领域的普通技术人员而言,可以理解在不脱离本发明的原理和精神的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型,本发明的范围由所附权利要求及其等同物限定。

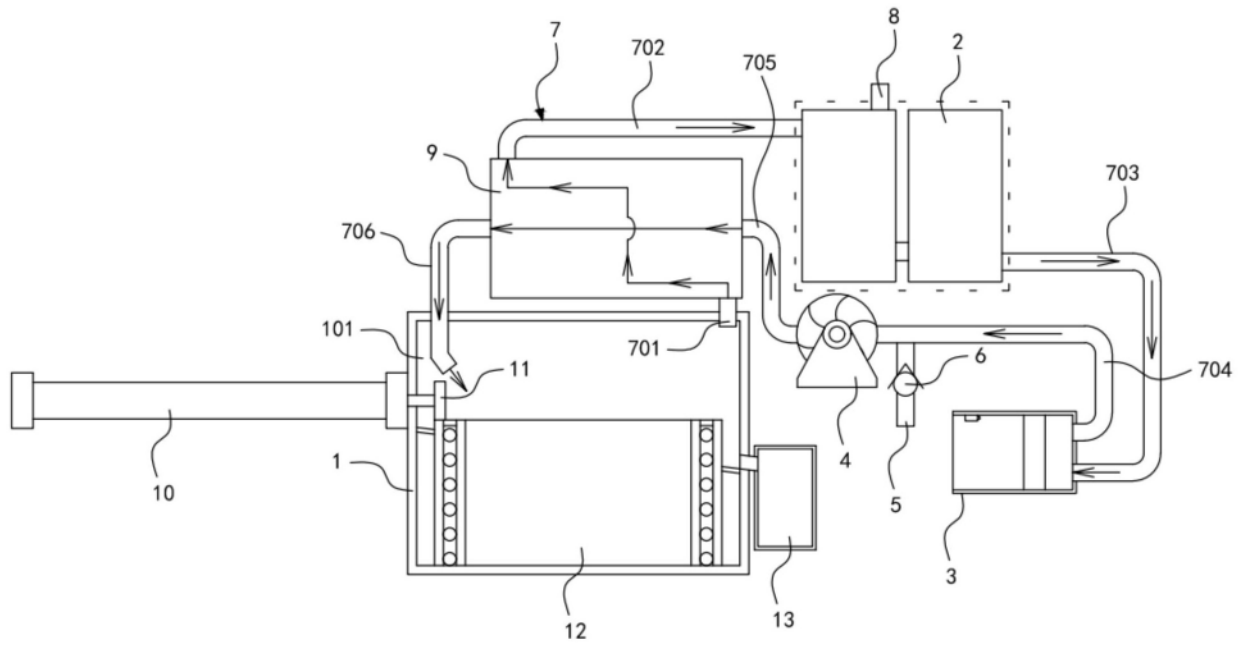


图1

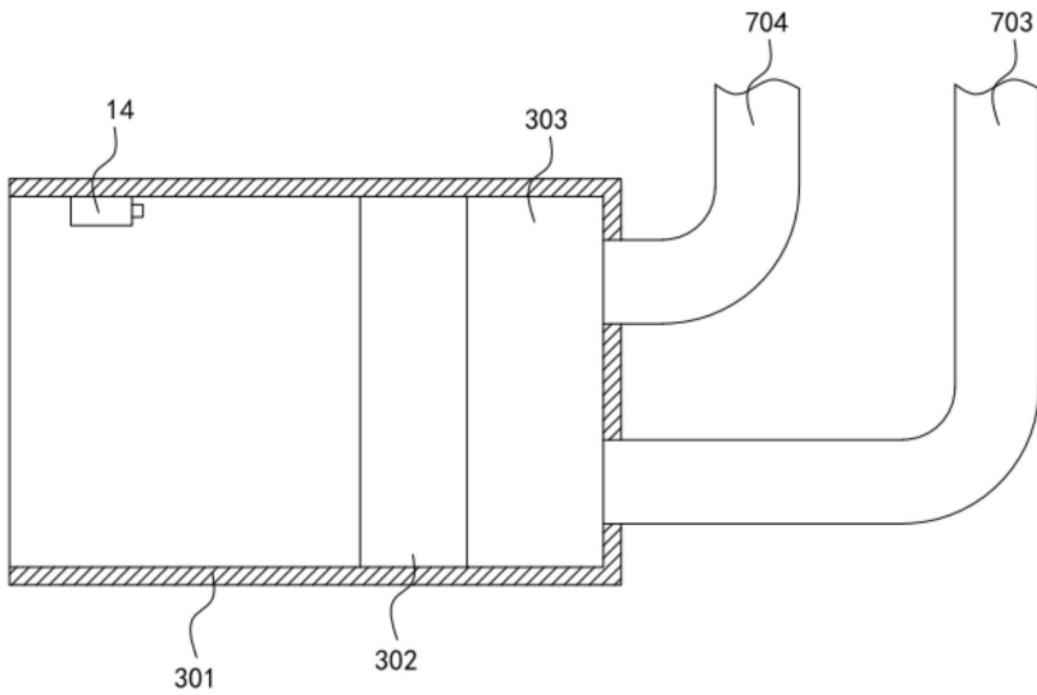


图2