



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104025356 A

(43) 申请公布日 2014. 09. 03

(21) 申请号 201280031148. 0

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2012. 05. 04

H01M 8/06 (2006. 01)

(30) 优先权数据

61/482, 495 2011. 05. 04 US

61/515, 900 2011. 08. 06 US

61/635, 176 2012. 04. 18 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2013. 12. 24

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2012/036640 2012. 05. 04

(87) PCT国际申请的公布数据

W02012/151545 EN 2012. 11. 08

(71) 申请人 兹特克公司

地址 美国马萨诸塞州

(72) 发明人 徐世薰

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 陈文平

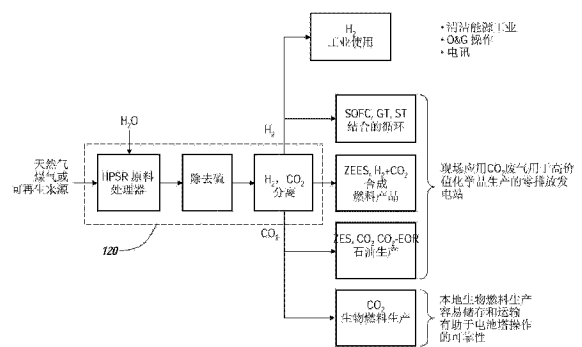
权利要求书2页 说明书9页 附图8页

(54) 发明名称

具有二氧化碳废气利用的零排放发电站

(57) 摘要

本发明涉及利用CO<sub>2</sub>废气的清洁能源系统、可再生能源系统或零排放能源系统(ZEES)。所述能源系统可以包括燃料处理器、能源催化反应器和发电机。所述燃料处理器可以将天然气、生物气或合成气中的CH<sub>4</sub>组分催化转化为包含H<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O物质的重整产品。所述能源反应器可以将气体形式的重整产品转化为液体燃料。所述发电机可以使用燃料处理器的输出和/或能源反应器的输出发电。



1. 清洁能源系统,其包括:

燃料处理器,其接收天然气、生物气或合成气并且将所述天然气、生物气或合成气中的甲烷组分催化转化为包含  $H_2$ 、 $CO$ 、 $CO_2$  和  $H_2O$  物质的重整产品,

能源反应器,其将气体形式的重整产品转化为液体燃料,

和发电机,其使用燃料处理器的输出或能源反应器的输出发电,

其中所述系统是零排放发电站,其具备在靠近能源、市场地点处安装的资格,并且具有用于异地消费的可运输产品。

2. 权利要求 1 所述的能源系统,其中所述燃料处理器包括部分氧化重整器、自热重整器或蒸汽甲烷重整器。

3. 权利要求 2 所述的能源系统,其中所述重整产品用水变换工艺进行处理,从而具有不同的在约 0% 至约 20% 之间变化的  $CO$  对  $CO_2$  百分率。

4. 权利要求 2 所述的能源系统,其中所述重整产品根据变压吸附工艺进行处理,以形成相对纯的氢气流和包含至少  $CO$  和  $CO_2$  的高度浓缩的碳流。

5. 权利要求 1 所述的能源系统,其中所述  $CO_2$  根据水变换工艺处理至约 20% 的最大量水平,并且通过变压吸附工艺处理以形成浓缩的  $CO_2$  流。

6. 权利要求 1 所述的能源系统,其进一步包括:

冷凝器,其安置在所述燃料处理器和所述能源反应器之间,用于从所述重整产品中提取水,和

第一热交换器,其安置在所述冷凝器和所述燃料处理器之间,用于和所述重整产品进行热交换。

7. 权利要求 6 所述的能源系统,其进一步包括:

第一压缩器,其安置在所述冷凝器和所述能源反应器之间,以压缩所述冷凝器的重整产品输出,

第二能源反应器,其安置在所述能源反应器和所述发电机之间,用于将重整产品进一步处理成液体燃料,

第二热交换器,其安置在所述能源反应器和所述第二能源反应器之间,用于控制重整产品的温度,

第二压缩器,其安置在所述第二热交换器和所述第二能源反应器之间,用于压缩所述第二热交换器的重整产品输出,

储存罐,其用于储存液体燃料,和

第三热交换器,其安置在所述第二能源反应器和所述储存罐之间。

8. 权利要求 1 所述的能源系统,其中所述燃料处理器包括:

多个导热板,和

多个催化剂板,

其中所述导热板与所述催化剂板交替堆叠在一起,以形成堆叠。

9. 权利要求 1 所述的能源系统,其中所述能源反应器包括:

外壳,其限定了具有入口和出口的腔室,和

束状元件,其安装在具有管道和流的腔室内,所述管道在入口和出口之间延伸,所述流限定安置管道周围的结构。

10. 权利要求 1 所述的能源系统,其进一步包括与所述燃料处理器的输入联接的可再生原料处理器。

11. 权利要求 1 所述的能源系统,其中  $H_2$ 、CO 和  $CO_2$  在所述能源反应器中利用甲醇合成催化剂被进一步处理成液体形式的甲醇 ( $CH_3OH$ ),并且所述甲醇在能源反应器中用合适的催化剂被进一步处理成液体形式的 DME ( $CH_3OCH_3$ )。

12. 权利要求 1 所述的能源系统,其中由于合成气中高浓度的 CO 和  $CO_2$ ,来源于可再生原料的  $H_2$ 、 $CO_2$  和 CO 的混合物被用于生产甲醇、乙醇、丙醇、航空燃料、丙烷、柴油或重质液体燃料。

13. 权利要求 1 所述的能源系统,其中所述反应器利用化学催化剂或生物催化剂。

14. 权利要求 1 所述的能源系统,其中所述反应器是构造为以下结构之一的化学催化剂床:固定床、结构化床、悬浮床或具有集成热交换器的微通道,其中所述微通道反应器呈圆柱形结构。

15. 权利要求 1 所述的能源系统,其中所述反应器采用单功能催化剂、双功能催化剂或多功能催化剂来实现性能改进。

16. 权利要求 1 所述的能源系统,其中所述重整器是包括得自 PV、风和潮汐波的电能输入的混合重整系统,以满足对重整器的吸热热输入和重整产品压缩工艺的能源需求。

17. 权利要求 1 所述的能源系统,其中所述系统是包括得自 PV、风和潮汐波的电能输入的混合系统,以支持对系统的能源需求,以及用所述产品的液体燃料形式的存储能力为这些能量来源的间歇期提供补救。

18. 权利要求 1 所述的能源系统,其中所述系统被应用于使用可再生原料,所述可再生原料包括具有原料处理器的城市固体废物、城市污水、农场动物废物、生物质和木质生物质。

19. 权利要求 1 所述的能源系统,其中在含碳流与匹配量的  $H_2$  被用于液体燃料生产并且  $H_2$  单独被用于发电时,所述系统是零排放能源系统。

20. 权利要求 19 所述的能源系统,其中在应用于使用可再生原料时,构成负性的二氧化碳足迹,从而获得双倍碳信用额。

21. 一种发电方法,其包括:

接收天然气、生物气或合成气并且将天然气、生物气或合成气中的  $CH_4$  组分催化转化为包含  $H_2$ 、CO、 $CO_2$  和  $H_2O$  物质的重整产品;

将气体形式的重整产品转化成液体燃料;

将液体燃料储存在储存器中;和

使用从重整产品或储存在储存器中的液体燃料中分离的氢气来发电。

22. 权利要求 21 所述的方法,其中从所述重整产品中分离的  $CO_2$  被注入到油井以提高采油 (EOR),同时实现零排放发电状态。

## 具有二氧化碳废气利用的零排放发电站

[0001] 相关申请

[0002] 本申请要求 2012 年 4 月 18 日提交的美国临时申请号 61/635, 176、2012 年 5 月 4 日提交的美国临时申请号 61/482, 495 和 2011 年 8 月 16 日提交的美国临时申请号 61/515, 900 的优先权, 其内容在此通过引用并入本文。

[0003] 发明背景

[0004] 本申请涉及清洁能源系统、可再生能源系统或零排放能源系统 (ZEES), 和更特别地涉及基于化学原理的具有二氧化碳废气利用的发电站 (CPPP)。

[0005] 现在, 遏制温室气体 (GHG) 排放的政府努力已经依靠各个地区和国家的法律持续了一段时间。通常, 大部分地区和国家认同到 2020 年将温室气体排放减少到低于 1990 年水平的 25% 的过渡目标, 和到 2050 年减少 80% 的总体目标。然而据报道, 由于差距较大, 该目标不太可能实现, 除非在不远的将来发展出革命性的技术。

[0006] 当能源系统使用石油燃料时, 由于有利的用于减排的系统硬件特性, 可以计算碳信用额度 (carbon credit) 并将其应用于项目融资。当采用可再生燃料时, 将计算由于燃料的特性的额外碳信用额度。因此, 出现了将与可再生燃料系统相关的碳信用额度进行组合的可能, 所述可再生燃料系统可以被看作是这种具有负性的 CO<sub>2</sub> 足迹的系统。

[0007] 清洁技术也可能收到由各个地区和国家的机构管理的可再生能源信用额度 (REC)。可以只根据所使用的燃料类型应用 REC。根据其工作原理判断, 燃料电池系统不具有可再生特性。

[0008] 发明概述

[0009] 本申请提供了清洁能源系统、可再生能源系统或具有二氧化碳废气利用的零排放能源系统 (ZEES)。本申请利用化学原理来同步发电和转化能源, 从而消除发电站排放的二氧化碳, 并引入用于输送的新液体燃料源。本申请提供的能源系统解决了当前能源行业中两个最严重的问题: 石油燃料短缺和由温室气体 (GHG) 排放导致的全球变暖。在一个实施方式中, 当含碳流与匹配量的 H<sub>2</sub> 被用于液体燃料生产并且 H<sub>2</sub> 单独用于发电时, 所述清洁能源系统是零排放能源系统。当采用可再生原料时, 所述能源系统构成负性的二氧化碳足迹, 因而潜在地获得双倍的碳信用额度。

[0010] 根据本发明的一个实施, 生成清洁能源, 并且由该系统产生的任何温室气体 (GHG) 被保留和被用于帮助生产高价值的燃料。本申请提供的能源系统可以被适当地定制, 以用于任何安装、以可负担的成本将可得的城市固体废物 (MSW) 或生物质转化为清洁能源并具有低碳足迹。所述能源系统可以同样应用于包括煤炭和其它固体碳氢燃料的原料。

[0011] 在一个实施方式中, 所述能源系统可以包括燃料处理器、能源催化反应器和发电机。该燃料处理器将天然气、生物气或合成气中的 CH<sub>4</sub> 组分催化转化为包含 H<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 物质的重整产品。该能源反应器可以将气体形式的重整产品转化为液体燃料。该发电机可以使用燃料处理器的输出和 / 或能源反应器的输出发电。

[0012] 在一个实施方式中, 该燃料处理器可以包括部分氧化、自热和蒸汽甲烷重整器。重整产品可以用水变换工艺处理, 以具有不同的在约 0% 至约 20% 之间变化的 CO 对 CO<sub>2</sub> 的百

分率。燃料处理器的重整产品可以用变压吸附工艺进行处理,以形成两种流动流:1)高纯度  $H_2$  流;2)高浓度的碳( $CO$ 、 $CO_2$ )内容物。 $CO_2$ 可以用水变换工艺处理至20%的最大量水平,并且通过变压吸附处理,以生成浓缩的  $CO_2$  流。浓缩的  $CO_2$  流可以在油井现场被用于三次采油(Enhanced Oil Recovery)( $CO_2$ -EOR)。

[0013] 在实施方式中,从燃料处理器产生的  $H_2$ 、 $CO$  和  $CO_2$  可以在能源反应器中用甲醇合成催化剂处理成液体形式的甲醇( $CH_3OH$ )。甲醇可以在能源反应器中用合适的催化剂进一步处理成液体形式的DME( $CH_3OCH_3$ )。DME在催化能源反应器中用另一种合适催化剂进一步处理成液体形式的汽油。由于合成气中  $CO_2$  和  $CO$  的高浓度,来源于可再生原料的  $H_2$ 、 $CO_2$  和  $CO$  碳的混合物可以用于生产航空燃料、丙烷、柴油或重质液体燃料。

[0014] 根据本发明的教导,可以操作清洁能源系统,以最大化将碳用于生产:a)液体生物燃料,包括甲醇、乙醇、丙醇和丁醇,以及b)液体合成燃料,包括DME、汽油、丙烷、丁烷、航空燃料和柴油。能源反应器利用化学催化剂或生物催化剂。能源反应器可以是化学催化剂床,比如固定床、结构化床、悬浮床或具有集成换热器的微通道。能源反应器可以采用单功能催化剂、双功能催化剂或多功能催化剂,以实现性能改善。能源反应器可以采用包括各种酵母、细菌和酶的生物催化剂。

[0015] 在实施方式中,重整产品可以以下面的燃料电池发电机中的一种应用于发电,包括固体氧化物燃料电池(SOFC)、熔融碳酸盐燃料电池(MCFC)、质子交换膜燃料电池(PEMFC)、磷酸燃料电池(PAFC)和碱性燃料电池(AFC)。SOFC应用于以下三种装置中的一种:固体氧化物燃料电池;由固体氧化物燃料电池和燃气轮机单元构成的混合系统;由固体氧化物燃料电池和蒸汽轮机单元构成的混合系统。重整产品可以应用于以下面的发电机的一种中来发电,包括内燃机、燃气轮机或蒸汽轮机。

[0016] 在实施方式中,重整器可以是包括得自光伏(PV)、风或潮汐波的电输入混合重整系统(Hybrid Reforming System),从而满足对重整器的吸热热输入和重整产品压缩过程的能源需求。清洁能源系统可以是包括得自PV、风和潮汐波电输入混合系统(Hybrid System),从而支持对系统能源需求,以及用液体燃料产品的存储能力为这些能量来源的间歇期提供补救。

[0017] 在实施方式中,清洁能源系统可以应用于使用可再生原料,所述可再生原料包括具有原料处理器的城市固体废物、城市污水、农场动物废物、生物质和木质生物质。城市污水和农场动物废物可以首先通过消化池进行处理以产生沼气,其包含  $CH_4$ 、 $CO_2$  和  $CO$ 。城市固体废物、农场生物质、木质生物质可以首先通过气化器进行处理以产生合成气,其所包含  $CH_4$ 、 $CO_2$  和  $CO$ 。

[0018] 在实施方式中,原料处理器可以是合成气产生器,其包括热驱动、等离子体或微波驱动的气化器。原料处理器可以是合成气产生器,其归类为被Tennessee的Hathaway Renewable Energy公司所称的挥发器(volatilizer)。所述挥发器提供热值超过500Btu/ft<sup>3</sup>的富  $CH_4$  合成气,而不是通常选择的提供典型热值为300Btu/ft<sup>3</sup>的富  $H_2$  合成气的气化器。生物质原料可以包括森林废物、社区(市区)废物、固相煤,其通过挥发器产生由  $CH_4$ 、 $H_2$ 、 $CO$ 、 $CO_2$  和其它次要物质组成的热值超过500Btu/ft<sup>3</sup>的合成气和作为固体残留的生物炭或木炭。生物炭作为用于商业用途的活性炭的具有商业价值;并且要求碳信用额度和可再生能源信用额度。

[0019] 在实施方式中,生物质原料可以包括液相或淤泥状废物,其通过挥发器产生热值超过 500Btu/ft<sup>3</sup> 的合成气,所述合成气由 CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub> 和其它次要的固体残留物质构成。挥发器可以在不经历燃烧,而是经历外源加热物理步骤下处理生物质。外部加热源可来源于合成气的再循环部分,其提供高于 1000°C 的清洁燃烧的高温热源。外部热源可来源于 SOFC 发电机的 800°C 至 1000°C 的高温废气流或混合发电机的 600°C 至 800°C 的高温废气流。挥发器在热源的上述范围内的温度下操作。

#### 附图说明

[0020] 本发明的前述和其它目的、特征和优点将从下面的描述中和所附附图中将是显而易见的,其中类似的参考字符在所有不同的视图中表示相同的部件。附图举例说明了本发明的原理。

[0021] 图 1 是说明包括本申请提供的实施方式的清洁技术应用的方框图。

[0022] 图 2 是在根据本发明教导的说明性实施方式中的具有 CO<sub>2</sub> 废气利用 r 示例性清洁能源系统或零排放能源系统 (ZEES) 的方框图。

[0023] 图 3 是根据本发明教导提供的零排放能源系统 (ZEES) 的概览图。

[0024] 图 4 显示了示例性重整器的结构,其可以用于图 3 描述的零排放能源系统 (ZEES) 中。

[0025] 图 5 显示了示例性能源反应器的结构,其可以应用于图 3 描述的零排放能源系统 (ZEES) 中。

[0026] 图 6 描述了根据本发明教导的示例性清洁能源系统的另一个实施方式,其支持图 7 的太阳能储存和图 8 的用于采油的 CO<sub>2</sub>-EOR。

[0027] 图 7 是说明性实施方式中的示例性能源系统的方框图,其支持光伏 (PV) 太阳能储存,用于本地电网使用。

[0028] 图 8 显示了示例性实施方式中提供的示例性的 CO<sub>2</sub>- 三次采油 (EOR) 系统。

[0029] 发明详述

[0030] 图 1 是说明包括本申请提供的实施方式的清洁技术应用的方框图。燃料处理器 120 可以接收天然气、煤气或可再生气体,并处理所述气体以产生 H<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> 和 / 或 H<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的混合物。可以除去硫磺组分,并且可以分离 H<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub>。

[0031] 产生的氢气可以用于固体氧化物燃料电池 (SOFC) 系统。燃料电池通过电化学过程而不是在传统燃烧系统中使用的热力学过程来产生不含有 SO<sub>x</sub> 或 NO<sub>x</sub> 的清洁尾气。SOFC 还具有的优点在于它的清洁尾气保持在高温,这适合于驱动传统的系统用于额外的发电。总的尾气保持清洁,同时电力输出或系统效率加倍。

[0032] SOFC 可与加热、通风和空气调节 (HVAC) 系统进行集成,从而利用来自 SOFC 的热尾气来执行使人舒适的功能。当能源成本上升时,SOFC-HVAC 系统可以用单一系统执行所有必要的发电功能,从而可用于服务家庭和社区。

[0033] 采用零排放系统 (ZES) 来使用来自 HECP 系统的 CO<sub>2</sub>, 在 HECP 系统中, H<sub>2</sub> 被充分利用,而 CO<sub>2</sub> 作为不想要的排放物而被排放到空气中。CO<sub>2</sub> 在 HECP 系统中以浓缩流产生供随后收集。在一个实施方式中,CO<sub>2</sub> 气体可以用于注入到油田或油井,以提高油的生产。CO<sub>2</sub> 气体可以进行压缩用于 CO<sub>2</sub>-EOR (三次采油)。在没有天然 CO<sub>2</sub> 供给(其通常只提供给大型油

田主)服务的地区,这可以给所有小型和中型油田主提供机会在他们井中获得 CO<sub>2</sub> 的益处。公知的水平钻孔技术与与 CO<sub>2</sub> 注入结合时,其可以提供更深和更宽地到达地下,以及在通过用于提油的生产的 CO<sub>2</sub> 的作用彻底清扫沙粒中的进一步的益处。

[0034] 本发明的实施方式提供了零排放能源系统 (ZEES),其用于消除来自传统发电站的 CO<sub>2</sub> 排放物,以及引入新液体燃料源以供运输。该实施方式将化学原理用同步发电和能源转化。燃料在发电之前首先进行处理以确保清洁排放。将无论是石油来源的还是生物来源的烃燃料均按照蒸汽甲烷重整反应处理成 H<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O,并且共同构成重整产品。重整产品可以被分离成两种气体流:1) H<sub>2</sub> 流;2) 含碳流。H<sub>2</sub> 流主要用于发电,其只排放 H<sub>2</sub>O (例如:水分子)。碳流在与来自 H<sub>2</sub> 流的合适量的氢气结合时,可以被催化反应形成液体燃料,例如甲醇(CH<sub>3</sub>OH)。利用合适的催化剂可以进一步衍生为其它液体燃料物质。该能源系统可以提供解决方案来同时解决当前能源工业中的问题:石油燃料短缺和由温室气体 (GHG) 排放导致的全球变暖。在该能源系统中,产生清洁能量,并且温室气体 CO<sub>2</sub> 被保留并被用于高价值燃料的生产。

[0035] ZEES 为能源工业提供了以下益处:ZEES 为 Solar Electric 项目提供了液体化学品形式的存储方案;ZEES 为发电的排放问题提供了彻底的解决方案;ZEES 促进了全球油的产量,从而缓解了国际政治困扰;ZEES 作为 GTL 有利于天然气转向方便的液体形式;ZEES 作为 BTL 有利于可再生生物原料转变成商业能源;ZEES 作为化学反应器可同等效力地处理石油燃料或生物燃料;ZEES 与可再生电力混合后用于存储能更好地为未来的 Smart Grid 服务;因而 ZEES 提供了向更好燃料选择的宽松过渡。

[0036] 图 2 是根据本发明教导的具有 CO<sub>2</sub> 废气利用的示例性清洁能源系统或零排放能源系统 (ZEES) 的示意性方框图。ZEES 是唯一有资格在靠近能源、市场地点处分配或安装并且具有用于异地消费的可运输产品。在本申请的说明书中,零排放能源系统是指这种种能源系统,其处理输入的原料(例如天然气或可再生气体)并产生电力,并基本上零排放 CO 和 CO<sub>2</sub> 气体到大气中。通过处理输入原料而产生的 CO 和 CO<sub>2</sub> 气体可以被用来生产液体燃料。通过处理输入的原料而产生的 CO 和 CO<sub>2</sub> 气体也可以被注入油井来提高采油。

[0037] 能源系统 100 可包括燃料处理器 120 (例如重整器)、能量催化反应器 130 和发电机 140。燃料处理器 120 可以是重整器,其将可再生原料(例如富甲烷气体)转化成包含 H<sub>2</sub>、CO 和 CO<sub>2</sub> 的重整产品,其进而可以被引入到燃料电池(例如固体氧化物燃料电池 SOFC)中。在重整器内部,任何存在于反应物中的硫可以被除去。反应物压力可以调节。水可以进行去电离处理,以防止对系统中的设备腐蚀并且预先处理用于清洁排放的反应物。燃料处理器 120 输出的重整产品可被处理成两种分离流:富 H<sub>2</sub> 流和含 CO 和 CO<sub>2</sub> 的碳流。

[0038] 能源催化反应器 130 根据已知技术将 H<sub>2</sub> 与 CO 和 CO<sub>2</sub> 在催化反应下转化成液体形式的化学品。甲醇已经被确认为衍生自合成气或生物气的基本的液体化学品,其利用了商业上可得的甲醇催化反应器。甲醇可被进一步处理成各种级别的醇(例如乙醇、戊醇、丁醇)和各种商业燃料(例如汽油、航空燃料和柴油)。气态燃料物质难以从生产工厂运输或分配至市场地点。因此,能够将其转化成液体形式用于存储以及向市场运送是令人期望的。它还具有被用作运输的燃料或车用燃料的优势。

[0039] 发电机 140 可使用来源于重整器 120 的富 H<sub>2</sub> 流来发电,其副产物为水。这是令人期望和有效的发电模式。传统的发电机(例如内燃机、燃气轮机或蒸汽轮机)也可以由 H<sub>2</sub> 流

产生动力。燃料电池是有关 H<sub>2</sub> 燃料的合适的发电机种类。能源系统 100 将各种输入气体(例如天然气、合成气或生物气)转换成富氢体,其可以通过燃料电池的电化学反应进行使用。混合 SOFC-GT 的燃气轮机(GT)部分能够重新使用 SOFC 的排气,从而将组合循环系统的总效率提高到约 70%。

[0040] 当可再生原料处理器 110 被添加到燃料处理器 120 之前时,零排放能源系统(ZEES)可被进一步地应用于可再生应用中。挥发涉及将有机物质转换成合成气和生物炭的新一代技术。挥发过程比上一代的“气化”技术更简单和更清洁。上一代的气化技术使用高温和有时使用高压以将物质重整成想要的组分。该过程非常复杂并且具有高的附加能源成本。挥发在缺氧环境中使用间接热以使生物质分解成甲烷(45%)、CO(15%)、H<sub>2</sub>(15%)和其它碳氢化合物。所得合成气是非常清洁的产品并具有大于 600Btu/scf 的 LHV,该数值是以前技术的能源密度的两倍多。该实施方式中利用的挥发单元是模块化的,并且可以以 2.5MW 的增量被堆叠以放大该处理。每一个挥发单元每天可处理 30 吨含有低于 20%水分的 MSW 或生物质。挥发器也可以安装在拖车上以生产用于可运输要求的合成气。该挥发器可同样地被应用于其它原料,包括煤和所有其它固体碳氢化合物燃料。

[0041] 图 3 是示例性实施方式中提供的零排放能源系统 300 的概览图。清洁能源系统 300 可包括燃料处理器 320、能源反应器 331 和 332 以及发电机 342。燃料处理器 320 可以是重整器系统,其将燃料来源(例如天然气、生物气或合成气)中的甲烷组分催化裂解成 H<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 物质并结合输出流,其全体被称为重整产品。发电分枝 322 把用来发电的燃料反应物进料给燃料电池或其它传统发电机或形成发电机 342 的引擎。能源反应器 331 和 332(例如气体到液体反应器)是由重整产品的液体化学品生产分枝 321 供料。

[0042] 燃料处理器 320 可以是部分氧化、自热或蒸汽甲烷重整器。如果蒸汽供应是无限制的,那么蒸汽甲烷重整器提供最佳性能的纯净氢气生产。重整器之后的水变换处理器可被处理器(未显示)控制,以具有不同的在约 0%至约 20%范围的 CO 与 CO<sub>2</sub> 百分率。

[0043] 上述反应被表示为:

[0044] 蒸汽甲烷重整  $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{H}_2 + \text{CO}$

[0045] 水气体变换反应  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$

[0046] 重整产品可在变压吸附过程中被进一步处理成两种流动流:1)高纯 H<sub>2</sub> 流;2)高浓度的碳(CO、CO<sub>2</sub>)内容物。

[0047] 当重整产品在水变换处理器中被处理到 20%的最大水平且具有低或痕量 CO 时,它可以被进一步通过变压吸附工艺处理,以产生浓缩的 CO<sub>2</sub> 流。浓缩的 CO<sub>2</sub> 流可在油井现场被用于三次采油(CO<sub>2</sub>-EOR),如图 6 和图 8 中所示。

[0048] 液体化学品分枝 321 携带 H<sub>2</sub>、CO 和 CO<sub>2</sub> 的混合物,其经由热交换器 322、冷凝器 323、压缩机 324 和热交换器 325 而被引入到具有甲醇合成催化剂的能源反应器 331 中用于生产液体甲醇。冷凝器 323 可从重整产品中提取水,并且压缩机 324 在重整产品进入热交换器 325 之前将其压缩。甲醇可以经由热交换器 333、压缩机 334 和热交换器 335 被进一步引入到具有合适催化剂的第二能源反应器 332 中,以生产液体形式的 DME(CH<sub>3</sub>OCH<sub>3</sub>)。产生的 DME 在具有合适催化剂的催化能源反应器中可被进一步地处理成液体形式的普通汽油。DME 或汽油可经由热交换器 336 被送到存储器 341。

[0049] 上述反应可被表示为:



[0050] 甲醇合成： $2\text{H}_2+\text{CO} \rightarrow \text{CH}_4\text{O}$

[0051] 二甲醚(DME)合成： $2\text{CH}_4\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3+\text{H}_2\text{O}$

[0052] 零排放能源系统 300 可以被操作以最大化使用碳生产：a) 液体生物燃料，包括甲醇、乙醇、丙醇和丁醇，以及 b) 液体合成燃料，包括 DME、汽油、丙烷、丁烷、航空燃料和柴油。

[0053] 能源反应器 331 或 332 分别利用化学催化剂或生物催化剂。能源反应器 331 或 332 采用各种可能结构之一的化学催化剂床，包括固定床、结构化床、悬浮床或集成热交换器的微通道。该微通道反应器呈圆柱形结构。能源反应器 331 或 332 可采用单功能催化剂、双功能催化剂或多功能催化剂以实现性能的改善。双功能或多功能催化剂是由单个催化剂的基本化合物充分混合形成的，导致了接近即时的连锁反应而没有不必要的时间延迟。这种创新有助于减小反应器的尺寸和数量，因而使得系统建造的成本降低。能源反应器 331 或 332 也可采用包括由各种酵母、细菌和酶组成的生物催化剂。

[0054]  $\text{H}_2$  流 322 可通过具有二氧化碳零排放的发电机 342 被用于发电，发电机 342 通过采用燃料电池或其它的传统发电机。燃料电池发电机可选自来自以下类型中的一种：固体氧化物燃料电池(SOFC)、熔融碳酸盐燃料电池(MCFC)、质子交换膜燃料电池(PEMFC)、磷酸燃料电池(PAFC)和碱性燃料电池(AFC)。高性能的 SOFC 具有三种构造：固体氧化物燃料电池；由固体氧化物燃料电池和燃气轮机单元构成的混合系统；由固体氧化物燃料电池和蒸汽轮机单元构成的混合系统。传统的发电机包括以下的发电机中的一种，其选自内燃机、燃气轮机或蒸汽轮机。

[0055] 可在整个系统中采用各种泵或阀门，以帮助调节或控制各种流体流量。这些部件可以通过控制器或处理器 350 控制。

[0056] 图 4 显示了示例性重整器或燃料处理器的结构，该重整器或燃料处理器适合在图 3 描述的零排放能源系统(ZEES)中使用。重整器 10 可包括穿插有催化剂板和提供有反应物的内部或外部集管的堆叠导热板。催化剂板与导热板紧密地热接触，使得它的温度密切跟踪导热板的温度，所述导热板可被设计为在板的面内达到接近等温的状态。在各种不同的任选实施方式中，可以使用一种或多种催化剂，其在所述导热板的面内沿流动方向分布。重整器可被作为蒸汽重整器或部分氧化重整器来操作。当作为蒸汽重整器操作时，用于(吸热)蒸汽重整反应的热能是通过辐射和/或传导外部提供给导热板。这产生了一氧化碳、氢、蒸汽和二氧化碳。当作为部分氧化重整器操作时，一部分天然气通过存在的燃烧催化剂和重整催化剂的辅助被氧化。这产生了一氧化碳、氢、蒸汽和二氧化碳。因为催化剂板和导热板之间的紧密热接触，堆叠组件内没有过热温度可产生。该板设计的细节可以进行改变以适应各种各样的集管的实施方式，这些实施方式提供了一个或多个用于引入、预热和排出反应物的入口或出口部。

[0057] 重整器 10 包括许多导热板 12 和重整板 14，它们交替堆叠在一起形成沿轴 28 延伸的堆叠的重整结构 13。重整器包括与板 12、14 的内部部分 12A、14A 流体连通的流体管道 16。重整器 10 优选安装在气密性外壳或壳体(housing) 20 的内部。示出的重整器可被用于执行蒸汽和氧化重整两者。用于重整过程所必需的热可以通过辐射、传导或对流内部提供(经由碳氢化合物燃料的部分氧化)或外部提供(经由远程热源，如波浪线 26 所示)给重整器 10。

[0058] 将要由重整器 10 进行重整的反应物通过轴向的流体集管 16 引入到设备中。反应

物优选包含碳氢化合物燃料和重整试剂(例如空气、氧气、水或  $\text{CO}_2$ ) 的混合物,其在引入支管 16 之前或者在重整器内部预混合。示出的重整器 10 包括至少一个递送燃料 / 重整试剂混合物到重整器的集管,而不是为每一种气体成分提供单独的输入集管。向重整器 10 引入预混合反应物提供了相对简单的设计。

[0059] 反应混合物 22 经由任何适当的手段(例如经由流体管道)被引入到集管 16。混合物 22 通过反应物通道 24 进入重整器内部,该反应物通道形成于相邻的导热板 12 和重整板 14 之间。该通道可包含通过压纹形成的任何表面凹陷或凸起,并且其构成了从集管 16 向堆叠的重整结构 13 的外围表面 13A 延伸的基本上连续的流体通道。所述通道也可通过利用导热板或重整板来形成,所述导热板或重整板由多孔材料制成或者具有涂覆其上或在其上形成的电力重整催化剂材料,从而允许反应物通过重整器。

[0060] 图 5 显示了图 3 描述的零排放能源系统 (ZEES) 中的示例性反应器的结构。反应器 510 可以是圆柱形催化反应器或者圆柱形微通道 (CMC) 反应器,所述圆柱形微通道反应器具有包含催化剂圆柱形微通道 (CMC) 结构,其将用作催化反应器。反应器 510 可包括限定了腔室 528 的外壳 512 (housing),其具有入口 522 和出口 524。所述外壳可具有任何选定的形状或尺寸,并且优选具有圆柱形形状。束状元件 514 安装在腔室 528 的内部。束状元件可包括导管和可缠绕于导管的多片层 526。多片层 526 可包括至少两个片,其限定了狭窄的流动体积。束状元件 514 也可构造为一系列的管。束状元件 514 可包括贯穿外壳 512 并在入口 518 和出口 520 之间延伸的导管 516。入口和出口没有与腔室 528 直接连通。

[0061] 在实施方式中,束状元件包括双层。形成于双层之间的空间被指定为 B 侧(线路 B)。形成于卷起的双层之间的空间被指定为 A 侧(线路 A)。A 侧允许沿着反应器的轴线的径直流动路径,并具有流入口 522 和流出口 524。B 侧在双层之间呈现出螺旋状的流动路径,并具有流入口 518 和流出口 520。圆形屏障或多孔板被放置和固定在圆柱体的一端(底部),其在竖直放置用于操作时,允许装载合适尺寸的催化剂以填充反应器的 A 侧。可移除圆形屏障或多孔板可被放置在另一端(顶部)。B 侧被用作热流体流动通过的路径,用于温度调节,加热或冷却。

[0062] “双层”之间的空间和“螺旋形卷起的双层”之间的空间可以在焊接和卷起之前被形成于片中的凹坑支撑。所述空间可被控制在毫米尺寸,以提供通过金属层从 A 侧上的介质到 B 侧介质之间的出色的热传递能力。卷起的结构呈现出很大的表面积,其被包装在小的圆柱形体积之内。

[0063] 图 6 描述了根据本发明教导的示例性清洁能源系统 600 的另一个实施方式,该清洁能源系统支持图 7 的太阳能储存和图 8 的用于采油的  $\text{CO}_2$ -EOR。零排放能源系统 600 可包括燃料处理器 620、能源反应器 631 和 632、储存器 641 和发电机 642,其基本上与上面关于图 3 描述的元件相同。

[0064] 零排放能源系统 600 可被应用于使用可再生原料,所述可再生原料包括具有原料处理器的城市固体废物、城市污水、农场动物废物、生物质和木质生物质。城市污水和农场动物废物可通过消化池首先进行处理,以产生生物气,生物气包括甲烷  $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$  和  $\text{CO}$ 。城市固体废物、农场生物质、木质生物质可以通过气化器 610 进行处理以产生合成气,所述合成气包含甲烷  $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$  和  $\text{CO}$ 。

[0065] 原料处理器可以是选自热驱动、等离子体或微波驱动的气化器的合成气发生器。

归类为挥发器 610 的理想合成气发生器提供热值超过 500Btu/ft<sup>3</sup> 的富 CH<sub>4</sub> 合成气,而不是普通选择的气化器提供的典型热值为 300Btu/ft<sup>3</sup> 的富 CH<sub>4</sub> 合成气。可再生原料包括森林废物、社区(市区)废物、固相煤和甚至液相废物或泥浆状废物,它们经过挥发器产生合成气和其它次级物质,包括作为固体残留物的可变量的生物炭或木炭。

[0066] 挥发器 610 可在物理步骤下处理生物质,不经历燃烧而是经历外部热源的加热。外部加热源可来自于合成气的再循环部分,其提供高于 1000°C 的清洁燃烧的高温热源。外部加热源也可来自于 SOFC 发电机的 800°C 至 1000°C 的高温废气流或混合发电机的 600°C 至 800°C 的高温废气流。

[0067] 留在挥发器 610 中的生物炭作为用于商业用途活性炭而具有商业价值,并且可要求碳信用额度和可再生能源信用额度。

[0068] 当含碳流与匹配量的 H<sub>2</sub> 被用于生产液体燃料并且 H<sub>2</sub> 单独用于发电时,清洁能源系统 600 是零排放能源系统。当应用于使用可再生原料时,该系统构成负性的 CO<sub>2</sub> 足迹从而获得双倍的碳信用额度。

[0069] 图 7 是说明性实施方式中的示例性能源系统的方框图,该能源系统支持用于本地电网使用的光伏 (PV) 太阳能储存。该能源系统被提供给商业智能电网建设,并且作为光伏能量间歇期的补充。对于低成本的氢生产,利用了包括得自 PV 太阳能发电机 743 的电能输入的混合重整系统 720,并结合使用了可再生生物质,所述可再生生物质通过可再生原料处理器 710 进行处理。电能储存机理经由吸热化学重整反应的能源消耗、蒸汽产生和重整产品压缩而发生,其构成了多至 50% 的用于该处理的能源输入。储存介质可以是生物甲醇(甲醇)或与之相当的液体燃料,其在能源反应器 730 中产生并储存在液体燃料储存器 741 中。发电机 740 可以按照需要来操作,而不是按照不稳定的太阳能供应。图 7 中表示的概念可在图 6 中的 ZEES 系统 600 中实施。

[0070] 图 8 显示了示例性实施方式提供的 CO<sub>2</sub>- 三次采油 (EOR) 系统。随着能源价格的快速上涨,对石油和天然气开采和生产的兴趣日益高涨,其依赖于先进的增产技术来提高采收率。如上面所讨论的,重整器系统 820 从输入的资源(例如天然气)生产重整产品。压缩机 821 压缩重整产品。氢 822 可用于发电机 842 中以发电。CO<sub>2</sub> 气体 823 可在油田现场被注入到油井 830 中,以增加油生产。

[0071] 由于重整器是现场安装,该系统可极大地提高运营收入。此外,固定 CO<sub>2</sub> 的信用额度(sequestration credit)可显著抵销燃料电池或重整器系统的资本成本,其提高了采用图 6 中的这种先进 ZEES 系统 600 来增加油和天然气生产的经济动力。

[0072] 如上所述,本申请的实施方式将化学原理用于同步地发电和转化能源。实施方式消除了来自发电站的 CO<sub>2</sub> 排放以及引入了传输的新液体燃料源。因此,本申请提供了同时解决当前能源行业中两个最严重问题的方案:石油燃料短缺和由温室气体排放导致的全球变暖。在该实施方式中,温室气体被保留并被用于生产高价值的燃料。本发明可同样适用于可再生原料和其它原料,包括煤和固体碳氢化合物燃料。

[0073] 因此,由前体说明进行清楚描述的那些可以看出,本发明有效地达到了上面提出的目标。由于可以在上述结构中作出某些改变,而不会偏离本发明的范围,因此旨在将包含在上文描述中或显示在附图中的所有内容解释为示例性的,并且不具有限制性含义。

[0074] 也可以理解,以下的权利要求是为了涵盖本文描述的发明的一般特征和特定特

征,以及因为语言的关系可以被认为落入其中的本发明范围的所有陈述。

[0075] 前面已经描述过本发明,其中所要求的内容是新的并且希望受到专利证书保护的是:

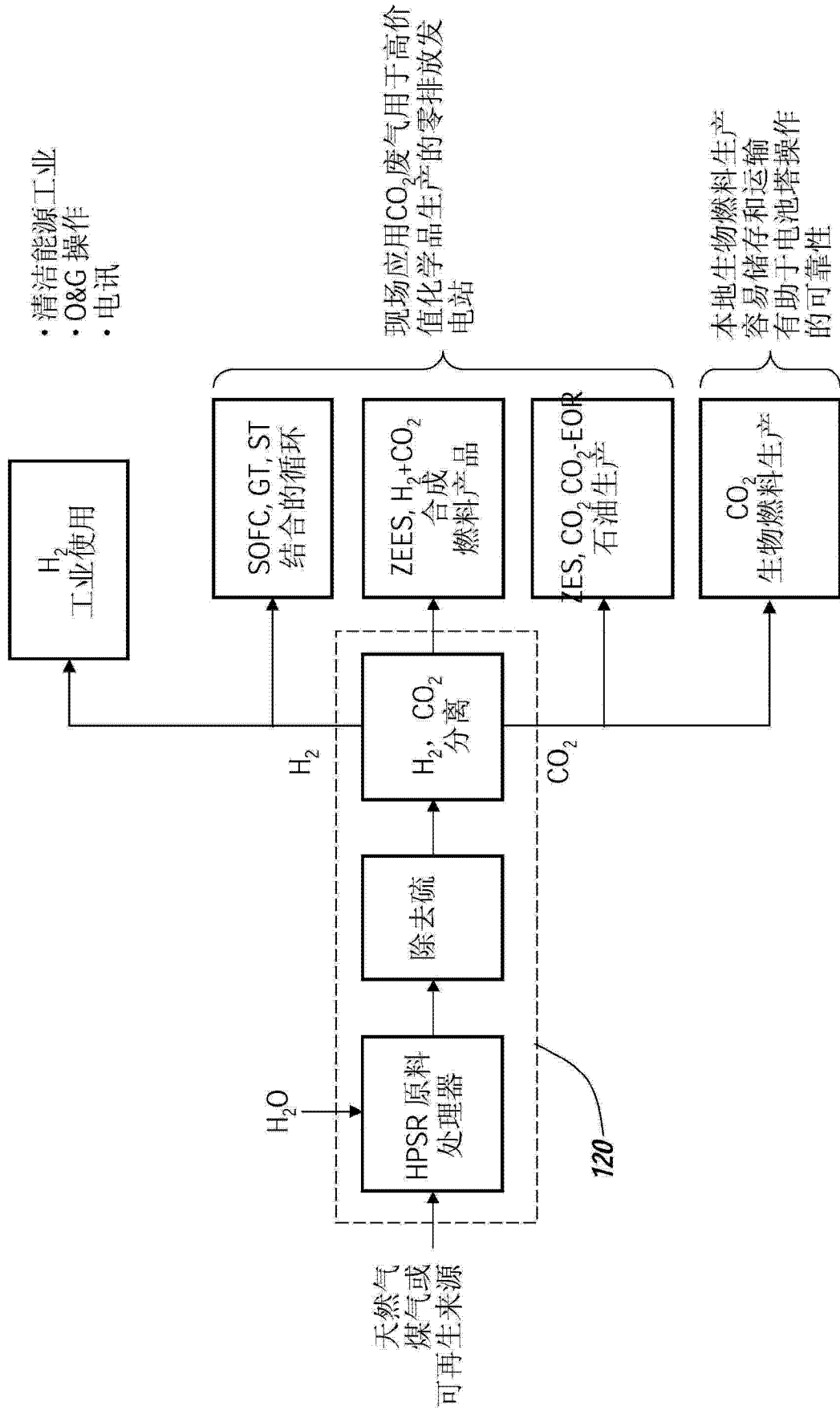


图 1

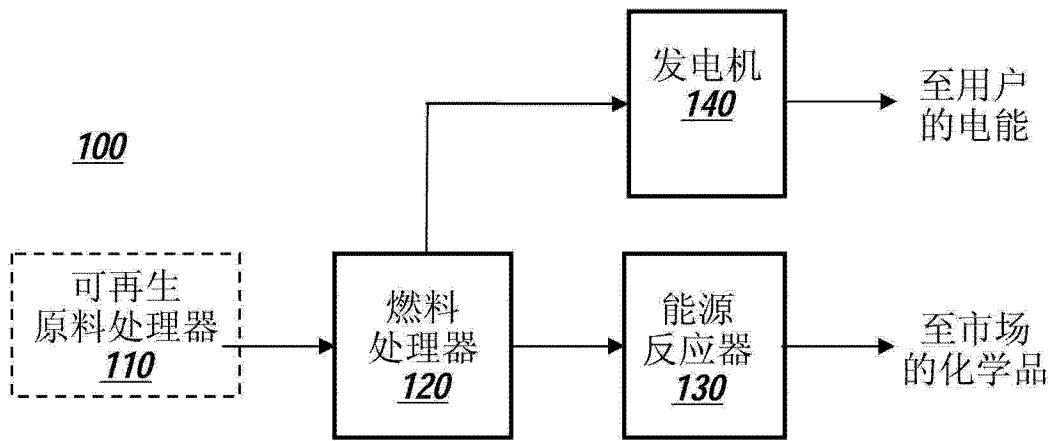


图 2

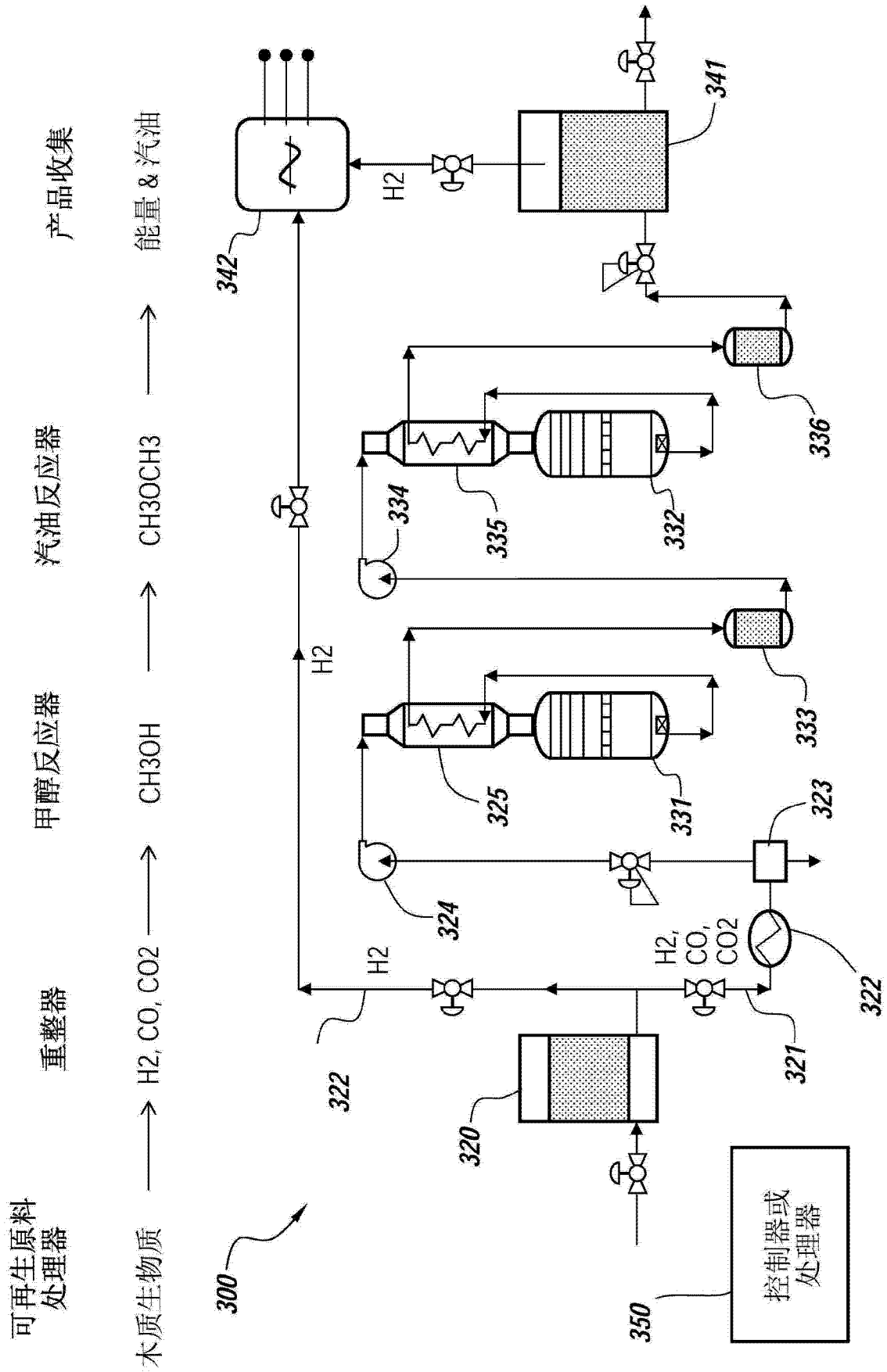


图 3

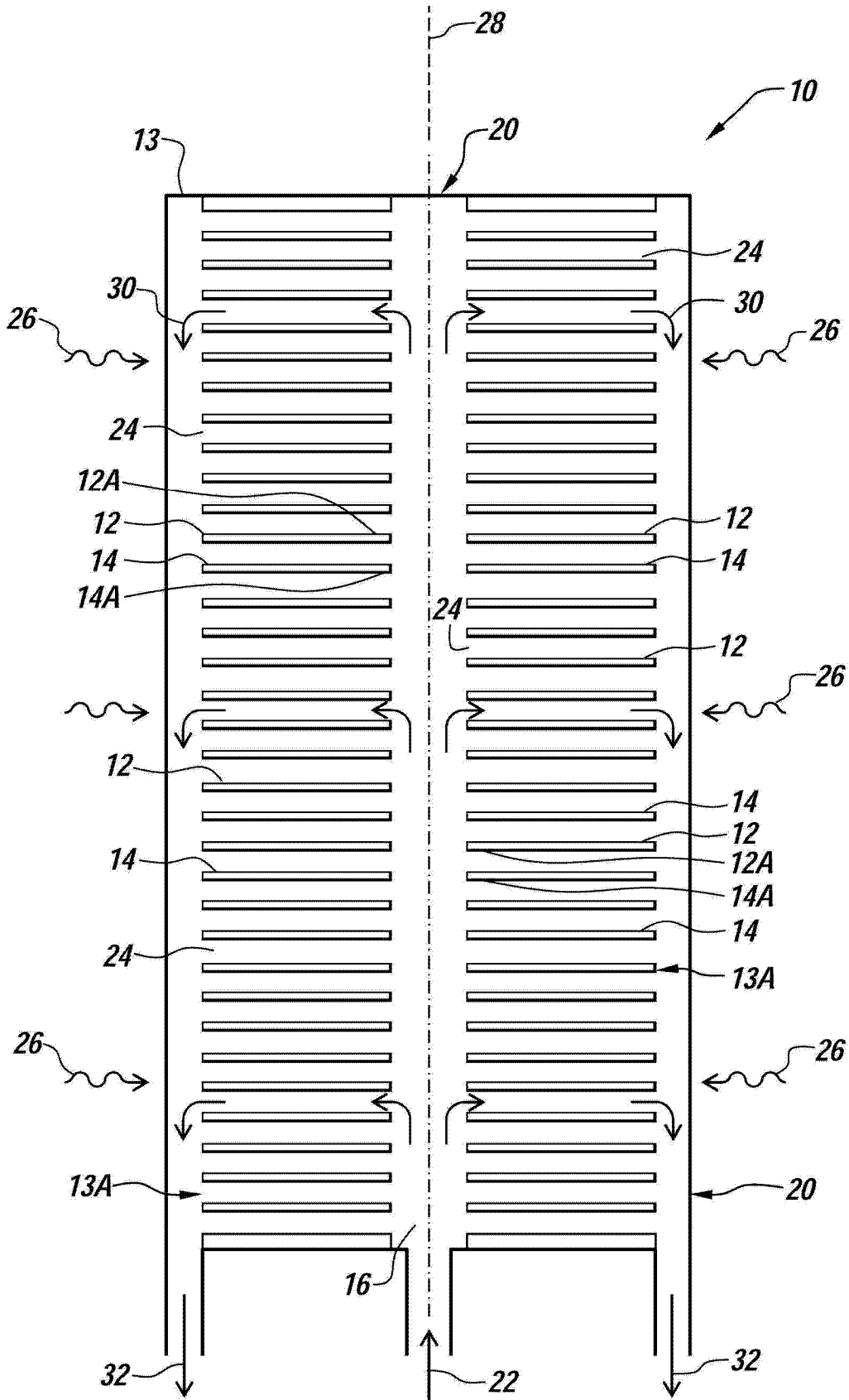


图 4



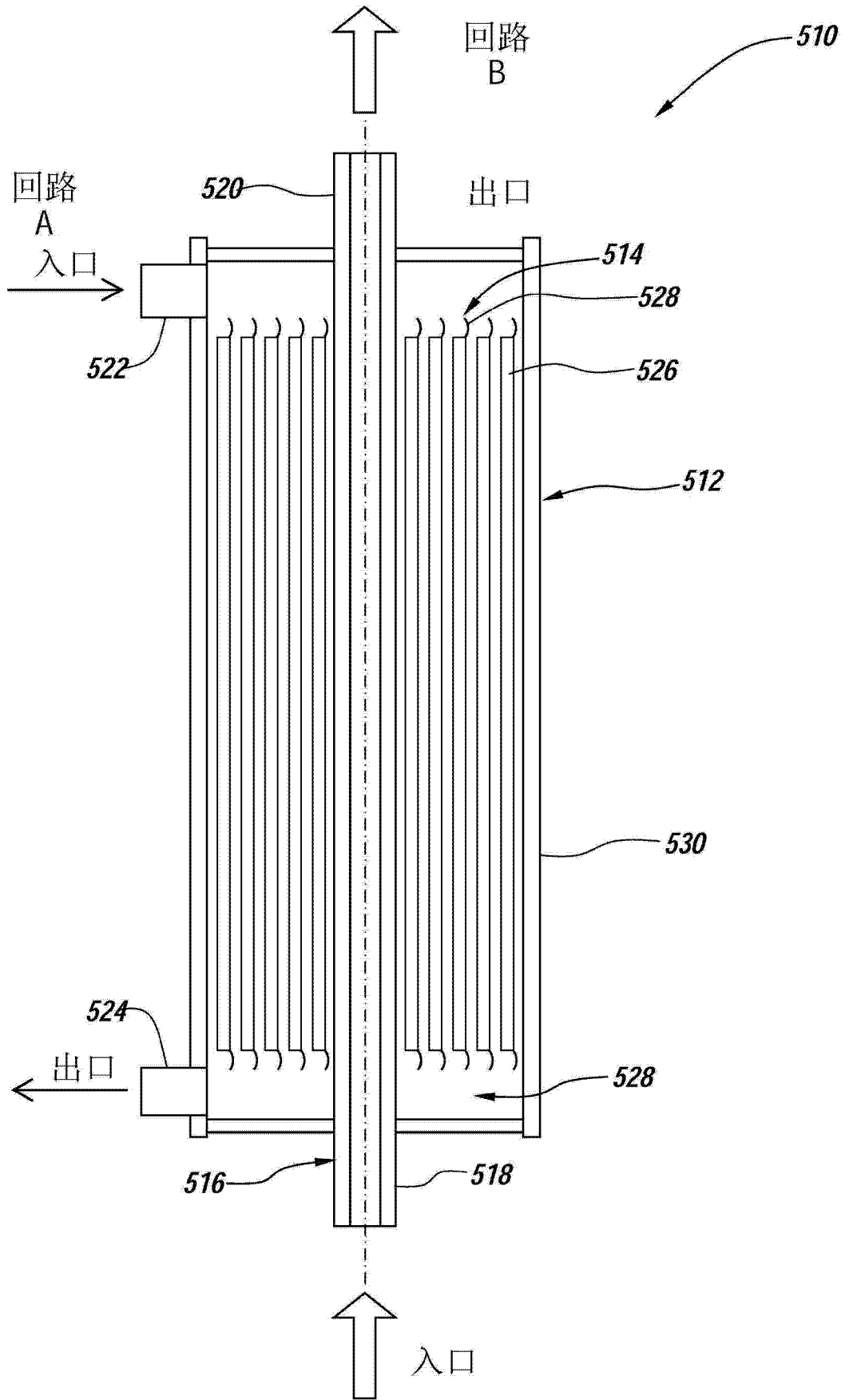


图 5

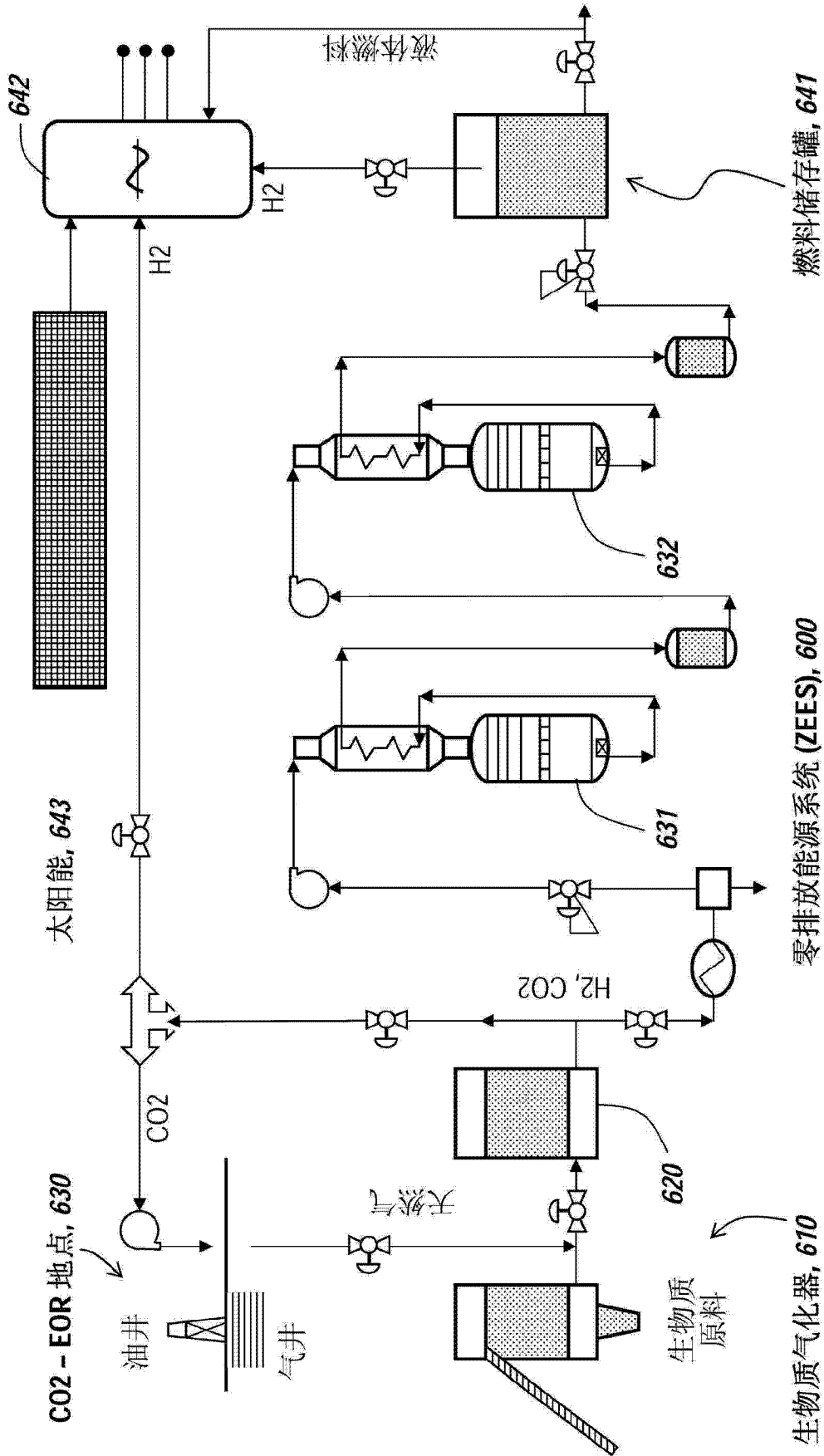


图 6

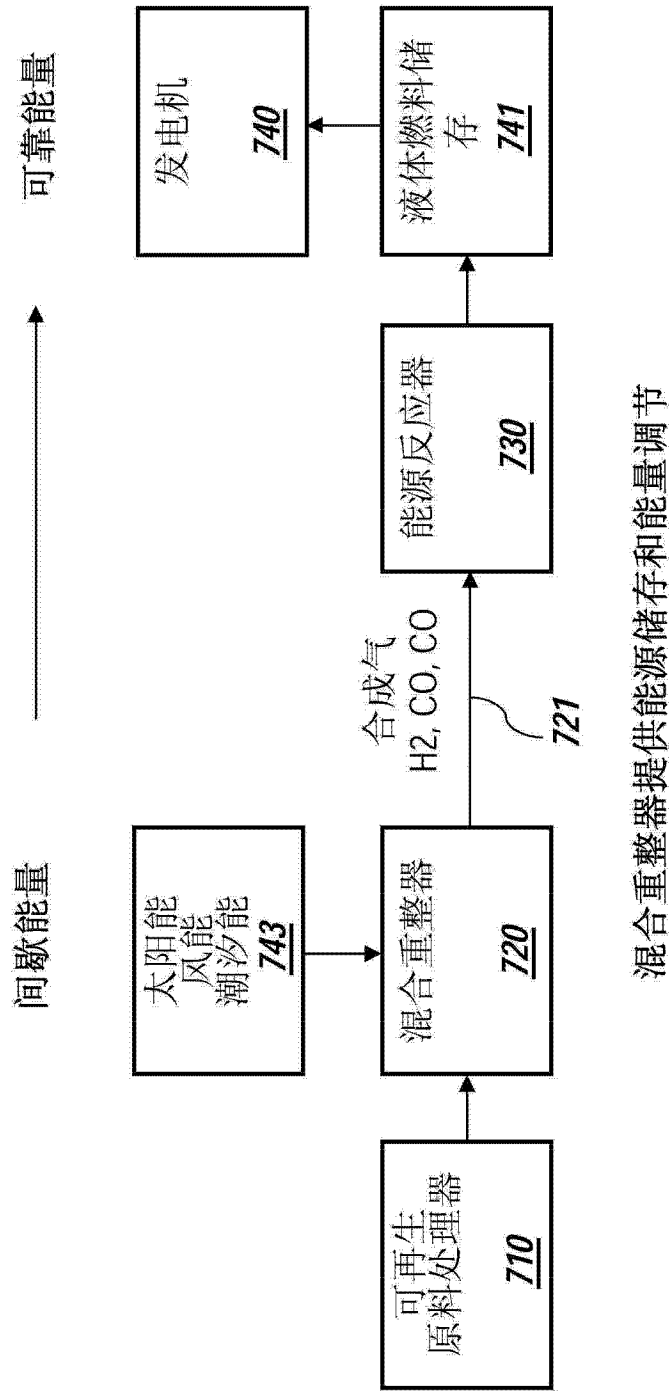


图 7

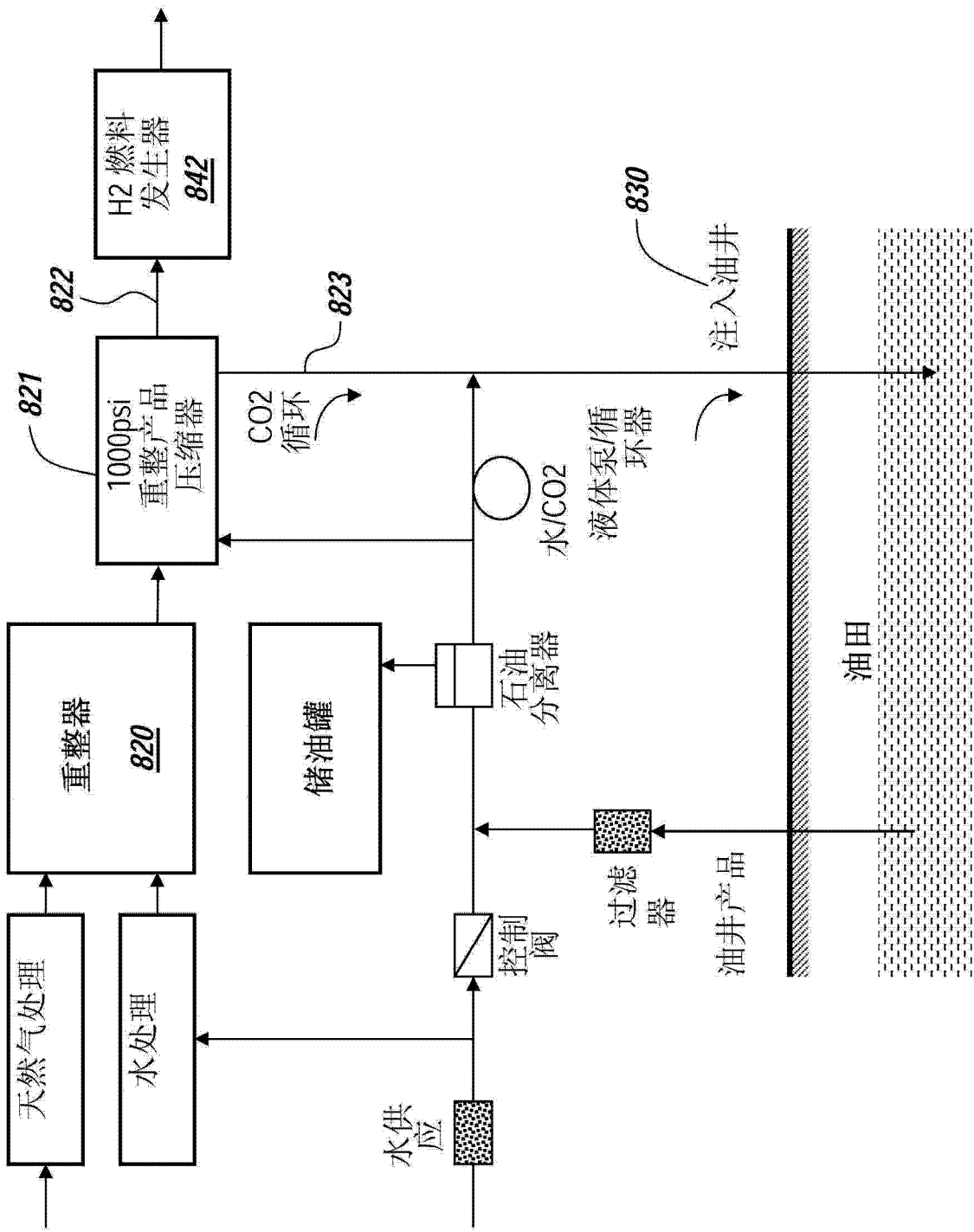


图 8