



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103764255 A

(43) 申请公布日 2014. 04. 30

(21) 申请号 201280040861. 1

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100

(22) 申请日 2012. 08. 23

代理人 李丹丹

(30) 优先权数据

13/216, 679 2011. 08. 24 US

(51) Int. Cl.

B01D 53/06 (2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 02. 21

B01D 53/04 (2006. 01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2012/051967 2012. 08. 23

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/028815 EN 2013. 02. 28

(71) 申请人 康宁股份有限公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 A·霍尔德 S·B·奥古乌米

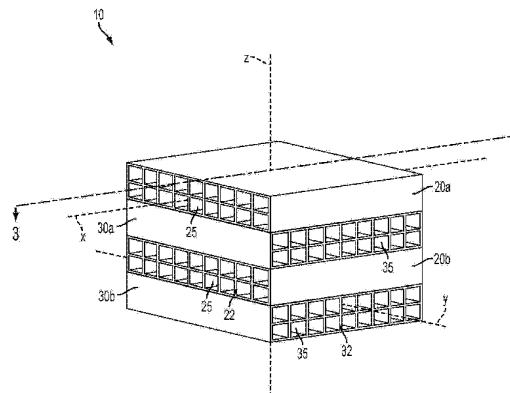
权利要求书3页 说明书14页 附图7页

(54) 发明名称

热集成的吸附 - 脱附系统和方法

(57) 摘要

用于从处理气流捕获目标气体的高容积效率热集成系统包括整体式本体 (10) 和分配系统。该整体式本体 (10) 包括第一组多个通道 (25) 和第二组多个通道 (35), 所述第一组多个通道和第二组多个通道各具有可逆地吸收目标气体的吸附表面。各通道热连通, 从而来自一组多个通道中的目标气体的放热吸附的热量被来自另一组多个通道的目标气体的吸热脱附使用。将目标气体从处理气流分离的方法包括在第一状态与第二状态直接切换高容积效率热集成系统。第一状态中, 第一组多个通道 (25) 经受脱附, 同时第二组多个通道 (35) 经受吸附。第二状态中, 第二组多个通道 (35) 经受脱附, 同时第一组多个通道 (25) 经受吸附。



1. 一种用于从处理气流捕获目标气体的高容积效率热集成系统,包括:
整体式本体和分配系统,其中:
所述整体式本体包括:
第一组多个分离通道,所述第一组多个分离通道穿过所述整体式本体并平行于所述整体式本体的第一流动轴线;以及
第二组多个分离通道,所述第二组多个分离通道穿过所述整体式本体并平行于所述整体式本体的第二流动轴线;
所述第一组多个分离通道和所述第二组多个分离通道布置成使得所述第一组多个分离通道的各个通道与所述第二组多个分离通道的各个通道热连通;
所述第一组多个分离通道不与所述第二组多个分离通道中任一个流体连通;
所述第一组多个分离通道的第一分隔壁和所述第二组多个分离通道的第二分隔壁包括吸附材料的吸附表面,所述吸附表面从处理气流可逆地吸收目标气体;以及
所述高容积效率热集成系统在第一状态与第二状态之间切换,在所述第一状态中,所述分配系统同时将处理气流供应至所述第二组多个分离通道和将吹扫流供应至所述第一组多个分离通道,在所述第二状态中,所述分配系统同时将处理气流供应至所述第二组多个分离通道并将吹扫流供应至所述第一组多个分离通道。
2. 如权利要求 1 所述的高容积效率热集成系统,其特征在于,所述第一流动轴线垂直于所述第二流动轴线。
3. 如权利要求 1 所述的高容积效率热集成系统,其特征在于,所述分配系统包括可切换阀,所述可切换阀将所述高容积效率热集成系统从第一状态切换到第二状态,或者从第二状态切换到第一状态,从而所述高容积效率热集成系统是静态系统。
4. 如权利要求 1 所述的高容积效率热集成系统,其特征在于,还包括:旋转机构,所述旋转机构围绕垂直于所述第一流动轴线和所述第二流动轴线的旋转轴线旋转所述整体式本体,从而所述高容积效率热集成系统是动态系统,以及通过围绕所述旋转轴线旋转所述整体式本体,将高容积效率系统从所述第一状态切换到所述第二状态或者从所述第二状态切换到所述第一状态。
5. 如权利要求 1 所述的高容积效率热集成系统,其特征在于,所述目标气体选自二氧化碳和硫化氢构成的组。
6. 如权利要求 1 所述的高容积效率热集成系统,其特征在于,
所述目标气体选自二氧化碳和硫化氢构成的组;以及
所述吸附材料选自沸石、沸石咪唑酯骨架、金属有机骨架、碳、介孔氧化铝、介孔二氧化硅、胺官能化的变体、氨基官能化的变体,以及它们的组合构成的组。
7. 一种使用具有整体式本体的高容积效率热集成系统从处理气流分离目标气体的方法,所述方法包括:
将所述处理气流流过第一组多个分离通道,从而致使所述目标气体被吸入所述第一组多个分离通道的吸附表面,所述第一分离通道形成在所述整体式本体中;以及
在第一循环时间内执行热集成第一阶段,所述热集成第一阶段同时包括:
将所述处理气流流过第二组多个分离通道,从而致使所述目标气体放热地被吸入所述第二组多个分离通道的吸附表面,所述第二分离通道形成在所述整体式本体中,其中所述

第二组多个分离通道和所述第一组多个分离通道布置成使得所述第二组多个分离通道的各个通道与所述第一组多个分离通道的各个通道热连通,且其中所述第二组多个分离通道不与所述第一组多个分离通道中任一个流体连通;以及

用流动吹扫流来吹扫所述第一组多个分离通道,从而使得所述目标气体从所述第一组多个分离通道的吸附表面吸热地脱附并进入所述流动吹扫流。

8. 如权利要求 7 所述的方法,其特征在于,每个分离第一通道平行于所述整体式本体的第一流动轴线,而每个分离第二通道平行于所述整体式本体的第二流动轴线。

9. 如权利要求 7 所述的方法,其特征在于,还包括:

在第二循环时间内执行热集成第二阶段,所述热集成第二阶段同时包括:

将所述处理气流流过所述第一组多个分离通道,从而致使所述目标气体放热地被吸入所述第一组多个分离通道的吸附表面;以及

用流动吹扫流来吹扫所述第二组多个分离通道,从而使得所述目标气体从所述第二组多个分离通道的吸附表面吸热地脱附并进入所述流动吹扫流。

10. 如权利要求 9 所述的方法,其特征在于:

所述热集成第一阶段还包括从所述第二组多个分离通道排放处理气体排气和从所述第一组多个分离通道排出吹扫排气;以及

所述热集成第二阶段还包括从所述第一组多个分离通道排放处理气体排气和从所述第二组多个分离通道排出吹扫排气。

11. 如权利要求 10 所述的方法,其特征在于,

热集成第一阶段中的排放与处理气流流过所述第二组多个分离通道以及用流动吹扫流吹扫所述第一组多个分离通道同时进行,

热集成第二阶段中的排放与处理气流流过所述第一组多个分离通道以及用流动吹扫流吹扫所述第二组多个分离通道同时进行。

12. 如权利要求 9 所述的方法,其特征在于,

所述高容积效率系统还包括:

将处理气体递送至所述整体式本体的处理气体源,在所述热集成第一阶段期间,所述处理气体源仅与所述第二组多个分离通道流体连通,且在所述热集成第二阶段期间,所述处理气体源仅与所述第一组多个分离通道流体连通;以及

将吹扫流递送至所述整体式本体的吹扫源,在所述热集成第一阶段期间,所述吹扫源仅与所述第一组多个分离通道流体连通,且在所述热集成第二阶段期间,所述吹扫源仅与所述第二组多个分离通道流体连通。

13. 如权利要求 12 所述的方法,其特征在于,还包括在所述热集成第一阶段和所述热集成第二阶段之间循环。

14. 如权利要求 13 所述的方法,其特征在于,在所述热集成第一阶段和所述热集成第二阶段之间循环顺次包括:

执行所述热集成第一阶段;

围绕垂直于所述第一流动轴线和所述第二流动轴线的旋转轴线旋转所述整体式本体,以将所述第一组多个分离通道置于与所述处理气体源流体连通并将所述第二组多个分离通道置于与所述吹扫源流体连通;

执行所述热集成第二阶段 ; 以及

围绕所述旋转轴线旋转所述整体式本体, 以将所述第二组多个分离通道置于与所述处理气体源流体连通并将所述第一组多个分离通道置于与所述吹扫源流体连通。

15. 如权利要求 14 所述的方法, 其特征在于, 所述第一流动轴线垂直于所述第二流动轴线。

16. 如权利要求 9 所述的方法, 其特征在于,

所述第一循环时间小于第一临界时间, 在所述第一临界时间, 所述第二组多个分离通道的吸附表面饱含所述目标气体 ; 以及

所述第二循环时间小于第二临界时间, 在所述第二临界时间, 所述第一组多个分离通道的吸附表面饱含所述目标气体。

17. 如权利要求 7 所述的方法, 其特征在于, 所述处理气流包括上至 50 摩尔%的目标气体的处理气体浓度, 且所述吹扫流包括小于 1 摩尔%的目标气体的吹扫浓度。

18. 如权利要求 7 所述的方法, 其特征在于, 所述处理气流选自由天然气、烟气、空气、沼气、来自氢气生产过程中的水气变换混合物、以及燃烧过程的废气构成的组。

19. 如权利要求 7 所述的方法, 其特征在于, 所述目标气体选自由二氧化碳和硫化氢构成的组。

20. 如权利要求 7 所述的方法, 其特征在于, 所述目标气体是二氧化碳。

热集成的吸附-脱附系统和方法

[0001] 本申请根据 35U. S. C. § 120 要求 2011 年 8 月 24 日提交的美国申请系列第 13/216679 号的优先权权益,且基于其内容并通过引用将其内容整体结合于此。

背景技术

[0002] 领域

[0003] 本发明总体涉及从处理气流捕获目标气体的方法和系统,更具体地涉及以热集成方式同时吸附和脱附目标气体的系统和方法。

[0004] 技术背景

[0005] 可以用多种方式来完成从除了目标气体还含有一种或多种气体的处理气流捕获目标气体。例如,目标气体的捕获可首先涉及将目标气体吸附到吸附材料上。当吸附材料饱和时,目标气体可从吸附材料脱附,由此再生吸附材料,用于进一步使用。吸附是放热(即,能量释放)过程,而脱附是吸热(即,能量吸收)过程。由此,当保持低温时,吸附过程反应良好,而脱附过程在升高的温度下反应良好。当在相同系统内同时发生吸附和脱附过程时,任何系统的热优化会是挑战性的。

[0006] 涉及目标气体的吸附和脱附的复杂系统可包括热交换器,该热交换器带走在放热吸附过程期间产生的热。然后,为了释放所吸附的目标气体,可通过提高吸附温度(温度摆动调节或 PSA)来形成化学势或通过降低周围环境中目标气体的分压力(压力摆动调节或 PSA)来形成化学势。在吸热脱附过程期间,诸如在 TSA 过程中,可通过热交换器将能量供应至吸附材料,或者,诸如在 PSA 过程中,如果没有外部热源,整个系统的温度可能降低。

[0007] 热交换器的制造提出多个制造挑战,且涉及热交换器的相关处理是能量密集型的。例如,在基于整体式的系统中,能使得选定的通道壁不透水,使得热交换器的流体与吸附剂层隔离。这种构造由于将某些通道仅专用于冷却剂而降低效率。此外,在吸附期间,需要外部能量来泵送冷却剂流体并提取热量,以及在脱附期间提供热量。

[0008] 因此,存在着从处理气流捕获目标气体的替代系统和方法的需求。

发明内容

[0009] 根据各实施例,提供了一种从处理气体捕获目标气体的高容积效率热集成系统。该高容积效率热集成系统可包括整体式本体和分配系统。该整体式本体可包括穿过该整体式本体的第一组多个分离通道和穿过该整体式本体的第二组多个分离通道。所述第一组多个分离通道和所述第二组多个分离通道布置成使得所述第一组多个分离通道的各个通道与所述第二组多个分离通道的各个通道热连通。所述第一组多个分离通道的第一分隔壁和所述第二组多个分离通道的第二分隔壁包括吸附材料的吸附表面,所述吸附表面从处理气流可逆地吸收目标气体。该分配系统为该整体式系统供应来自处理气体源的处理气流以及来自吹扫源的吹扫流。通过该分配系统的动作,该高容积效率热集成系统在第一状态与第二状态之间切换。第一状态中,该分配系统同时将处理气流供应至所述第二组多个分离通道和将吹扫流供应至所述第一组多个分离通道。第二状态中,该分配系统同时将处理气流

供应至所述第二组多个分离通道和将吹扫流供应至所述第一组多个分离通道。

[0010] 根据另一实施例,从处理气流分离目标气体的方法包括使用具有整体式本体的高容积效率热集成系统。该方法可包括引导步骤,其中,该处理气流被引入该整体式本体的该第一组多个分离通道,从而使得目标气体被吸入该第一组多个分离通道的吸附表面。接下来,可执行热集成第一阶段,包括三个同时进行的过程:(i)将处理气流流过整体式本体的所述第二组多个分离通道,从而致使所述目标气体放热地被吸入所述第二组多个分离通道的吸附表面,(ii)用流动吹扫流来吹扫所述第一组多个分离通道,从而使得所述目标气体从所述第一组多个分离通道的吸附表面吸热地脱附并进入所述流动吹扫流;以及(iii)从所述第二组多个分离通道排放处理气体排气和从所述第一组多个分离通道排放吹扫排气。

[0011] 在下面的详细描述中将阐述本文所述的实施例的其它特征和优点,它们对本领域的技术人员来说部分地可从该说明书中变得显而易见,或可通过如本文(包括下面的详细描述、权利要求书以及附图)所述那样来实践本发明认识到。

[0012] 应理解的是,上面的总体说明和下面的详细说明都描述了本发明的各实施例,并意在提供概况或框架以便理解如所要求保护的题目的性质和特征。包括附图以提供对各实施例的进一步理解,附图包括在说明书中并构成说明书的一部分。附图示出本发明的各实施例并与说明书一起用于解释本主题的原理和操作。

附图说明

[0013] 图 1 是根据本文所述的实施例的适合作为高容积效率热集成系统的部件的整体式主体的立体图;

[0014] 图 2 是根据本文所述的一个或多个实施例的用于高容积效率热集成系统的圆柱形整体式主体的俯视图;

[0015] 图 3 是图 1 的整体式主体的剖视图;

[0016] 图 4 示意性示出根据本文实施例的构造为静态系统的高容积效率热集成系统;

[0017] 图 5A 示意性示出根据本文所述的一个或多个实施例的构造为具有可旋转整体式主体的动态系统的高容积效率热集成系统;

[0018] 图 5B 示意性示出在从第一状态切换到第二状态期间,图 5A 的动态系统,在该期间,整体式主体旋转;

[0019] 图 6 以图形方式示出模拟一种热集成系统的连续周期的 CO₂ 吸附数据,该 CO₂ 吸附数据类似于根据本文描述的一个或多个实施例的高容积效率热集成系统的 CO₂ 吸附数据;

[0020] 图 7 以图形方式示出非本发明的非集成系统的模拟数据,作为与来自图 6 的数据相比较的基础;

[0021] 图 8 以图形方式示出模拟一种热集成系统的连续周期的热管理数据,该热管理数据类似于根据本文描述的一个或多个实施例的高容积效率热集成系统的热管理数据;以及

[0022] 图 9 以图形方式示出非本发明的非集成系统的模拟数据,作为与来自图 8 的数据相比较的基础。

具体实施方式

[0023] 现将详细参考用于捕获来自处理气体源的目标气体的高容积效率热集成系统和方法的实施例。在附图中示出各系统和方法。只要有可能,在所有附图中使用相同的附图标记来表示相同或类似的部分。图 1 示意性示出用于高容积效率热集成系统中的整体式主体的一个实施例,该系统用于从处理气流移除目标气体。该整体式本体总体包括第一组多个分离通道和第二组多个分离通道,该第一组多个分离通道穿过该整体式本体并平行于整体式本体的第一流动轴线,该第二组多个分离通道穿过该整体式本体并平行于整体式本体的第二流动轴线。通道的分隔壁包括从处理气流吸收目标气体的吸附表面。该整体式本体可以联接到分配系统,以形成高容积效率热集成系统,该高容积效率热集成系统在第一状态与第二状态之间切换,在第一状态中,分配系统同时将处理气流供应至第二组多个分离通道和将吹扫流供应至第一组多个分离通道,在第二状态中,分配系统同时将处理气流供应至第二组多个分离通道并将吹扫流供应至第一组多个分离通道。这里将具体参考附图进一步描述高容积效率热集成系统及使用其来从处理气流移除目标气体的方法。

[0024] 图 1 示出一个实施例的整体式本体 10。图 1 中的该整体式本体包括四个堆叠的整块材料 20a、20b、30a、30b。该四个堆叠的整块材料 20a、20b、30a、30b 包括两个第一整块材料 20a、20b 和两个第二整块材料 30a、30b。第一组多个分离通道 25 延伸穿过两个第一整块材料 20a、20b,且因此还穿过整体式本体 10,通道 25 具有在整体式本体 10 相反端上的开口。图 1 所示的整体式本体 10 中,第一组多个分离通道 25 的各个通道彼此平行并平行于整体式本体 10 的第一流动轴线 x 。第二组多个分离通道 35 延伸穿过两个第二整块材料 30a、30b,且因此还穿过整体式本体 10,通道 35 具有在整体式本体 10 的相反端上的开口。虽然所示出的整体式本体 10 具有四个堆叠的整块材料 20a、20b、30a、30b,但会理解,也可存在仅一个整块材料,或任何数量的堆叠的整块材料,诸如大于 2、大于 10、大于 50、大于 100 或大于 1000。

[0025] 图 1 所示的整体式本体 10 的实施例中,第二组多个分离通道 35 的各个通道彼此平行并平行于整体式本体 10 的第二流动轴线 y 。第一组多个分离通道 25 的各个通道中没有与第二组多个分离通道 35 的各个通道的任一个流体连通。应理解,第一流动轴线 x 和第二流动轴线 y 可对应于或不对应于或者平行于或不平行于整体式本体 10 的对应对称轴;而是,第一流动轴线 x 和第二流动轴线 y 表示穿过整体式本体 10 的参考线,各分离通道的流动路径平行于该参考线布置。

[0026] 如下面更详细描述,图 1 所示的整体式本体 10 可以被纳入各种高容积效率热集成系统并用于从处理气流捕获目标气体的方法。该高容积效率热集成系统可以例如构造为静态系统或动态系统。动态系统及其使用方法可涉及旋转整体式本体 10。如此,在一些系统构造中,可能要求该整体式本体 10 关于旋转轴线 z 旋转对称,从而当围绕旋转轴线 z 以增量 90° 或 180° 旋转该整体式本体时,例如,整体式本体 10 的各面或表面将与动态系统的其它部件对齐。虽然图 1 中的整体式本体围绕旋转轴线 z 以 90° 增量旋转对称,但应理解,整体式本体不一定具有相同的沿第一流动轴线 x 和第二流动轴线 y 的尺寸。

[0027] 图 2 示出替代实施例的整体式本体。该实施例中,整体式本体是圆柱形的。该圆柱形整体式本体 11 可包括单个圆柱形整块材料或多个圆柱形整块材料,所述多个圆柱形整块材料首尾相接地堆叠,使得多个圆柱形整块材料的通道对齐。第一组多个分离通道 25 由圆柱形整体式本体 11 中的内圈通道构成。第一组多个分离通道 25 延伸穿过圆柱形整

体式本体 11,其开口在圆柱形整体式本体 11 的相反端上。第一组多个分离通道 25 的各个通道通过第一分隔壁 22 彼此分离(图 2 中仅标示其中一个)。第二组多个分离通道 35 由圆柱形整体式本体中的外圈通道构成。第二组多个分离通道 35 延伸穿过圆柱形整体式本体 11,其开口在圆柱形整体式本体 11 的相反端上。第二组多个分离通道 35 的各个通道通过第二分隔壁 32 彼此分离(图 2 中仅标示其中一个)。第一组多个分离通道 25 的各个通道通过分离壁 40 (图 2 中仅标示其中一个)与第二组多个分离通道 35 的各个通道分离。由此,可通过分离壁 40 在第一组多个分离通道 25 与第二组多个分离通道 35 之间建立直接热连通。如本文所使用的,直接热连通意思是在第一组多个分离通道 25 的实心部分与第二组多个分离通道 35 的相对应实心部分之间直接发生热传递而不通过额外的介质的热通路,该额外的介质诸如为空气间隙、冷却通道或者介于第一本体与第二本体之间的冷却剂流体。

[0028] 图 2 所示的圆柱形整体式本体 11 中,第一组多个分离通道 25 的各个通道彼此平行并平行于整体式本体 11 的第一流动轴线 x 。第二组多个分离通道 35 的各个通道彼此平行并平行于圆柱形整体式本体 11 的第二流动轴线 y 。由此,圆柱形整体式本体 11 的第一流动轴线 x 和第二流动轴线 y 相同,且由此第一组多个分离通道和第二组多个分离通道的各个通道限定对应的流动路径,所述对应的流动路径彼此平行。但是,第一组多个分离通道 25 的各个通道中没有一个是与第二组多个分离通道 35 的各个通道的任一流体连通。当第一组多个分离通道的对应流动路径平行于第二组多个分离通道的对应流动路径时,在任何给定时间,根据需要,穿过各分离通道的气流可以是共流布置(即对于所有分离通道,沿相同方向)或者逆流布置(即,第一组多个分离通道中的流动与第二组多个分离通道中的流动方向相反)。

[0029] 类似图 1 的整体式本体 10,图 2 所示的圆柱形整体式本体 11 也可被纳入各种高容积效率热集成系统和从处理气流捕获目标气体的方法。需要注意,圆柱形整体式本体 11 关于该圆柱形整体式本体 11 围绕旋转轴线 z 的 180° 旋转是对称的。因此,圆柱形整体式本体 11 可适于同时用于下文更详细描述静态系统和动态系统中。

[0030] 虽然图 1 和 2 代表整体式本体的两个实施例,应理解可使用其它形状和大小的整块材料来构造整体式本体,该整体式本体具有第一组多个分离通道和与所述第一组多个分离通道直接热连通、但不流体连通的第二组多个分离通道。另外,整体式本体中各个通道的横截面形状不限于图 1 和 2 所示的那些。而是,整体式本体中各个通道可具有任何想要的横截面,包括但不限于,长方形、正方形、圆形、椭圆形、六边形、三角形、具有 3 到 20 边的任何规则或不规则的多边形,以及它们的组合。较佳地,各个通道的横截面被选择成最大化各个通道的横截面面积与整体式本体的沿垂直于各个通道的流动方向的方向切的横截面面积的比率。因此,应容易地理解多种空间填充选项是可能的,例如一种或多种类型的几何形状构造通道的分格。除了图 1 和 2 所示的构造外,作为另一示例,各通道的六边形分格构造是合适的。

[0031] 不考虑整体式本体的形状和整体式本体中各个通道的构造,该整体式本体作为整体可以由一个或多个整块材料构成,所述一个或多个整块材料由任何合适的材料制成,包括例如玻璃、陶瓷、非氧化物陶瓷(例如,碳化物、氮化物)、碳、金属、合金、金属、聚合物、复合材料、和它们的混合物。一般而言,材料可以是非多孔的或多孔的,条件是整体式本体或其各部分中任何空隙度大小不足以允许形成在整体式本体中的第一组多个分离通道的各

个通道与第二组多个分离通道的各个通道之间的流体连通。较佳地,该整体式本体或其各部分由高导热材料制成,这提高了一个或多个第一通道组之间的热连通效率,所述一个或多个第二通道组中,吸热反应与在一个或多个第二通道组中发生的放热反应同时发生。

[0032] 参考图 3,图 1 所示的整体式本体 10 的横截面用于示出高容积效率热集成系统以及从处理气流捕获目标气体的方法的其它细节。如图 1 和 3 所示,四个堆叠的整块材料 20a、30a、20b、30b 共同构成整体式本体 10。第一整块材料 20a 中分离通道 25a、25b 和第一整块材料 20b 中分离通道 25c、25d 全部限定沿第一流动轴线 x 的流动路径(参见图 1),如图 3 中水平定向所示。第二整块材料 30a 中的分离通道 35a、35b 和第二整块材料 30b 的分离通道 35c、35d 全部限定延伸入图 3 的平面(即,沿图 1 的第二流动轴线 y)的流动路径。第一分隔壁 22 分隔两个第一整块材料 20a、20b 中的各个分离通道 25a、25b、25c、25d。第二分隔壁 32 分隔两个第二整块材料 30a、30b 中的各个分离通道 35a、35b、35c、35d。虽然图 1 和 3 中整体式本体 10 的分离通道示出有特定定向并彼此垂直,应理解这些定向仅是说明性而非限制性。

[0033] 参考图 1 和 3,整体式本体 10 包括穿过该整体式本体 10 的第一组多个分离通道。第一组多个分离通道包括在第一整块材料 20a 中的分离通道 25a、25b 和在第一整块材料 20b 中的分离通道 25c、25d。整体式本体 10 还包括穿过该整体式本体 10 的第二组多个分离通道。第二组多个分离通道包括在第二整块材料 30a 中的分离通道 35a、35b 和在第二整块材料 30b 中的分离通道 35c、35d。第一组多个分离通道 25a、25b、25c、25d 的各个通道不与第二组多个分离通道 35a、35b、35c、35d 的各个通道中任一个流体连通。

[0034] 第一组多个分离通道 25a、25b、25c、25d 和第二组多个分离通道 35a、35b、35c、35d 可以布置成使得第一组多个分离通道 25a、25b、25c、25d 的各个通道与第二组多个分离通道 35a、35b、35c、35d 的各个通道直接热连通。图 3 中示出直接热连通的示例性实施例,通道 25b 与通道 35a 之间、通道 25c 与通道 35b 之间、通道 25d 与通道 35c 之间的双箭头指示通道之间的可能热流动方向。在热仅通过实心物体从属于第一组多个分离通道 25a、25b、25c、25d 的通道传递到属于第二组多个分离通道 35a、35b、35c、35d 的一个或多个通道的意义上说,这些通道之间的热连通可以是直接热连通。这种实施例中,热仅通过第一分隔壁 22 和第二分隔壁 32 传递,而不穿过诸如介于各通道之间的空气间隙、冷却通道或冷却剂流体的其它介质。当然,应理解,图 3 所示的直接热连通路程不是描述直接热连通的仅有的路径。而是,该直接热连通路程说明一机理,通过该机理协同使用通过一组多个分离通道中放热过程释放出来的热和由另一组多个分离通道中吸热过程吸收的热,以提高本文所描述的高容积效率热集成系统的效率。

[0035] 参考图 3,第一组多个分离通道 25a、25b、25c、25d 的第一分隔壁 22 和第二组多个分离通道 35a、35b、35c、35d 的第二分隔壁 32 包括吸附表面 50。吸附表面 50 可包括吸附材料,该吸附材料可逆地吸收目标气体,通常从含有目标气体以及其它气体的处理气流吸附目标气体。例如,吸附材料可以从处理气流可逆地吸收二氧化碳或硫化氢,或者一种或多种其它气体,如甲烷、氮气、或氢气。如本文所使用的,“从处理气流可逆地吸收目标气体”意思是吸附材料可以以第一组运行参数(例如,温度、总压力和/或目标气体的分压力)从处理气流吸收目标气体以及通过改变到第二组运行参数(例如,通过提高温度、降低总压力,和/或降低目标气体的分压力)来从吸附材料脱附所吸收的目标气体。非限制性的实施例中,处

理气流可以例如是天然气、烟气、空气、沼气、来自氢气生产过程中的水气变换混合物、燃烧过程的废气。其它非限制性实施例中,目标气体可以是存在于例如天然气或烟气的处理气流中的二氧化碳或硫化氢。

[0036] 一些实施例中,吸附表面 50 可以包括吸附材料,该吸附材料不同于制成整体式本体 10 的材料。这种实施例中,吸附材料可以施加到整体式本体 10,例如通过洗涂,从而吸附表面 50 是涂层。这种涂层可具有任何实际厚度,诸如 $10\ \mu\text{m}$ 至 $5000\ \mu\text{m}$ 、从 $100\ \mu\text{m}$ 至 $2000\ \mu\text{m}$,或者从 $200\ \mu\text{m}$ 至 $1000\ \mu\text{m}$,取决于分离通道的尺寸和整体式本体 10 对于目标气体所需要的吸附性能。或者,其它实施例中,整体式本体 10 本身可以完全由合适的吸附材料构成。该情形中,吸附表面 50 仅仅是分离通道内的分隔壁的暴露表面,因为分隔壁本身作为整体式本体 10 的一部分且由此包括构成整体式本体 10 的吸附材料。

[0037] 可被洗涂到整体式本体 10 的合适的吸附材料包括,作为非限制性实例,沸石、沸石咪唑酯骨架、金属有机骨架、碳、介孔氧化铝和包含 SBA-15 等的二氧化硅,和上述材料的任何组合,以及与胺或氨基基团官能化的任何上述材料。

[0038] 可构造整体式本体 10 的合适的吸附材料包括,作为非限制性实例,沸石、活性炭、沸石咪唑酯骨架、金属有机骨架、碳、介孔氧化铝和包含 SBA-15 等的二氧化硅,和上述材料的组合。如果目标气体例如是二氧化碳,特别合适的吸附材料包括,作为非限制性实例,沸石、沸石咪唑酯骨架、金属有机骨架、碳、介孔氧化铝和包含 SBA-15 等的二氧化硅,和上述材料的组合,以及与胺或氨基基团官能化的任何上述材料。

[0039] 如下面所描述的,整体式本体的任何合适构造可以被纳入各种构造的高容积效率热集成洗涂和用于从处理气流捕获目标气体的方法。将理解,图 1 的整体式本体 10 和图 2 的圆柱形整体式本体 11 仅仅是适于这种系统和方法的整体式本体类型的两种特定实施例,且在该系统和方法中可使用其它类型的整体式本体。但是,为了说明高容积效率热集成系统的工作原理以及包含呈特定实施例形式的整体式本体的方法,仅示出一种特定类型的整体式本体,具体地类似于图 1 和 3 中的整体式本体 10 的整体式本体。因此,应理解,本文描述的系统仅通过单种类型的整体式本体来说明,诸如直接热连通的各方面对于可用于本文描述的系统和方法的实施例中的任何类似的整体式本体是共通的。

[0040] 现将参考两个特定实施例来描述从处理气流移除目标气体的高容积效率热集成系统和方法。虽然可能存在很多替代实施例以及该特定实施例的变型,这两个特定实施例可包括如图 4 所示的静态系统 100 以及如图 5A 和 5B 所示的动态系统 101。

[0041] 首先参见图 4,高容积效率热集成系统的一个实施例示出为静态系统 100。该静态系统 100 包括整体式本体 10 和分配系统 150。该静态系统 100 中的整体式本体 10 包括关于图 1 和 3 描述的整体式本体 10 描述的所有结构元件。但是,图 4 中的整体式本体从顶部看,从而其中的所有分离通道都看不到。为了说明,图 4 中以虚线示出第一组多个分离通道 25。这里,整体式本体 10 中的第一组多个分离通道每个平行于第一流动轴线 x ,并建立第二入口歧管 130 与第二出口歧管 135 之间的流体连通。类似地,整体式本体 10 中的第二组多个分离通道每个平行于第二流动轴线 y ,并建立第一入口歧管 110 与第一出口歧管 115 之间的流体连通。

[0042] 第一入口歧管 110 和第二入口歧管 130 关于整体式本体 10 构造为任何合适的结构,该任何合适的结构将处理气流或吹扫流的流动引导和分配到整体式本体 10 的关于特

定流动轴线对齐的各分离通道中。同样,第一出口歧管 115 和第二出口歧管 135 关于整体式本体 10 构造为任何合适的结构,该任何合适的结构将从整体式本体 10 的分离通道离开

的处理气流或吹扫流的流动引导到合适的管道或其它排放装置中。第一出口歧管 115 与第一排放系统 120 流体连通,而第二出口歧管 135 与第二排放系统 140 流体连通。

[0043] 虽然图 4 中的整体式本体 10 的俯视图示出整体式本体的顶部横截面为方形,与图 1 相一致,但该方形形状意指说明性而非限制性。将理解,也考虑整体式本体 10 的其它几何形状,且所述的其它几何形状也可被纳入具有下文描述的相同结构特征的相似高容积效率热集成系统。例如,该整体式本体 10 可具有沿第一流动轴线 x 的宽度,该宽度不同于沿第二流动轴线 y 的长度。替代实施例中,图 4 所示的整体式本体 10 可以由圆柱形整体式本体 11 (参见图 2)替换,且歧管 110、115、130、135 可以被重新构造来适应该圆柱形整体式本体。

[0044] 静态系统 100 还包括分配系统 150。分配系统 150 为该整体式系统 10 供应来自处理气体源 160 的处理气流以及来自吹扫源 170 的吹扫流。作为非限制性示例,处理气体源 160 可包括诸如加压罐的容器、诸如泵的装置、连接到诸如天然气井的加压源的开口管道,或它们的任何组合。吹扫源 170 还可包括供应吹扫气体的吹扫流的任何合适的容器,包括例如加压罐。虽然所使用的处理气体源 160 的类型可能高度取决于静态系统 100 的所需应用,吹扫源 170 通常包括用于供应已知吹扫气体的容器。明显的是,可对图 4 所示的分配系统 150 进行多种变型和适应性改变,而不改变分配系统 150 的工作原理。

[0045] 静态系统 100 能够在第一状态与第二状态之间切换。第一状态下,分配系统 150 同时将来自处理气体源 160 的处理气流经由第一入口歧管 110 供应至第二组多个分离通道(平行于第二流动轴线 y)以及将来自吹扫源 170 的吹扫流经由第二入口歧管 130 供应至第一组多个分离通道(平行于第一流动轴线 x)。第二状态下,分配系统同时将来自处理气体源 160 的处理气流供应至第二组多个分离通道和将来自吹扫源 170 的吹扫流供应至第一组多个分离通道。

[0046] 可例如通过一个或多个切换阀,例如处理气体源切换阀 180a、第一入口歧管切换阀 180b、吹扫源切换阀 180c 以及第二入口歧管切换阀 180d,来完成在图 4 所示的静态系统 100 中,从第一状态切换到第二状态或从第二状态切换到第一状态。

[0047] 举例说明的切换阀 180a、180b、180c、180d 中的每个可以在两种状态下单独操作,可通过合适的控制装置(图未示)来控制。例如,处理气体源切换阀 180a 可以在第一状态下将处理气体源 160 置于与第一入口歧管切换阀 180b 流体连通,而在第二状态下将处理气体源 160 置于与第二入口歧管切换阀 180d 流体连通。吹扫源切换阀 180c 可以在第一状态下将吹扫源 170 置于与第二入口歧管切换阀 180d 流体连通,而在第二状态下将吹扫源 170 置于与第一入口歧管切换阀 180b 流体连通。第一入口歧管切换阀 180b 可以在第一状态下将第一入口歧管 110 置于与处理气体源切换阀 180a 流体连通,而在第二状态下将第一入口歧管 110 置于与吹扫源切换阀 180c 流体连通。第二入口歧管切换阀 180d 可以在第一状态下将第二入口歧管 130 置于与吹扫源切换阀 180c 流体连通,而在第二状态下将第二入口歧管 130 置于与处理气体源切换阀 180a 流体连通。

[0048] 以此方式,当所有的示例性切换阀 180a、180b、180c、180d 处于其对应的第一状态中时,静态系统 100 在其第一状态下运行,其中,处理气流经由第一入口歧管 110 被从处理

气体源 160 供应至第二组多个分离通道,同时吹扫流经由第二入口歧管 130 被从吹扫源 170 供应至第一组多个分离通道。同样,当所有的示例性切换阀 180a、180b、180c、180d 处于其对应的第二状态中时,静态系统 100 在其第二状态下运行,其中,吹扫流经由第一入口歧管 110 被从吹扫源 170 供应至第二组多个分离通道,同时处理流经由第二入口歧管 130 被从处理气体源 160 供应至第一组多个分离通道。

[0049] 当静态系统 100 处于其第一状态时,到达第一排放系统 120 的气流是处理气流,减去在整体式本体 100 中被吸收的目标气体量。而且,在静态系统 100 的第一状态中,到达第二排放系统 140 的气流是通过从整体式本体 10 脱附进入流动吹扫流的目标气体形成的目标气体集中流。但是,当静态系统 100 处于其第二状态时,处理气流到达第二排放系统 14 且浓缩的目标气体流到达第一排放系统 120。如此,第一排放系统 120 和第二排放系统 140 可包括额外的可切换机构(图未示),用于根据该静态系统 100 是处于第一状态或处于第二状态,将到达排放系统的气流收集、再循环或者排放至大气。

[0050] 在第一状态和第二状态之间的切换仅通过示例性切换阀 180a、180b、180c、180d 的切换来发生而无需整体式本体 10 的任何定向的意义上,图 4 中示出为静态系统 100 的高容积效率热集成系统是静态的。通过图 5A 和 5B 示出的高容积效率热集成系统示出图 4 的静态系统的变型,作为动态系统 101。动态系统 101 的所有结构元件具有与静态系统 100 (图 4)中相对应结构元件相同的功能,除了在动态系统 101 中,吹扫源 170 总是与第二入口歧管 130 流体连通,而处理气体源 160 总是与第一入口歧管 110 流体连通。另外,动态系统 101 中每个歧管 110、115、130、135 可包括防止流动气体在整体式本体 10 的角部周围泄漏的合适的结构,诸如挡板壁 190。

[0051] 可考虑通过选择具有关于旋转轴线 z 旋转对称形状的整体式本体 10 来便于和简化动态系统 101 的构造。例如,图 5A 和 5B 中的整体式本体 10 示出有方形顶部,从而该整体式本体 10 沿第一流动轴线 x 的宽度等于其沿第二流动轴线 y 的长度。但是,应理解,不需要是这种四折旋转对称的整体式本体,只要歧管 110、115、130、135 可以适应整体式本体 10 的实际几何形状即可。替代实施例中,例如,整体式本体可以具有 2 折旋转对称,以使得整体式本体能够在动态系统 101 中旋转 180°。例如,2 折旋转对称可存在于圆柱形整体式本体 11 (参见图 2)或者存在于立方形或矩形整体式本体中,其中第一和第二组多个分离通道的所有分离通道彼此平行。

[0052] 动态系统 101 的分配系统在图 5A 和 5B 中没有具体标记出。但是,动态系统 101 中的分配系统可包括处理气体源 160、吹扫源 170 以及旋转机构(图未示)。该旋转机构可包括适于围绕旋转轴线 z (示出为在第一流动轴线 x 和第二流动轴线 y 的相交点处垂直于图 5A 的平面)旋转该整体式本体 10 的任何合适的机械装置。旋转机构可以例如是旋转工作台或柱子,并可以粘结或结合至整体式本体 10 或者可以构造成通过表面摩擦旋转该整体式本体 10。由此,动态系统 101 与图 4 的静态系统的可区分之处在于整体式本体 10 是可旋转的。为了适应整体式本体的旋转,每个歧管 110、115、130、135 较佳地具有合适的轮廓,该合适的轮廓提供整体式本体 10 的边缘到整体式本体 10 的外间隙环 195 (以虚线示出)的间隙。图 5A 中,挡板壁 190 构造成与外间隙环 195 相交,从而当该整体式本体 10 的边缘接触挡板壁 190 时,防止围绕整体式本体 10 的角部的流动气体泄漏。

[0053] 图 5A 中,示出动态系统 101 的第一状态,其中,来自处理气体源 160 的处理气流经

由第一入口歧管 110 供应至第二组多个分离通道(平行于第二流动轴线 y),且来自吹扫源 170 的吹扫流经由第二入口歧管 130 供应至第一组多个分离通道(平行于第一流动轴线 x)。

[0054] 图 5B 中,示出在从第一状态到第二状态的切换操作期间的动态系统 101。在切换操作期间,该整体式本体 10 旋转直到第一组多个分离通道(与第一流动轴线 x 对齐)被置于与第一入口歧管 110 流体连通,而第二组多个分离通道(与第二流动轴线 y 对齐)被置于与第二入口歧管 130 流体连通。虽然未图示,动态系统的第二状态具有与图 5A 所示的第一状态相同的构造,除了第一流动轴线 x 和第二流动轴线 y 互换。应理解,虽然图 5B 示出顺时针旋转,逆时针旋转将产生同样的结果。此外,从第二状态进一步切换回到第一状态可以通过沿相同方向(如所示的顺时针)继续旋转整体式本体 10 来发生或者通过沿相反方向(即逆时针)旋转该整体式本体 10 来发生。

[0055] 不像该静态系统 100 (图 4),动态系统 101 的第一状态和第二状态中,到达第一排放系统 120 的气流都总是处理气流,减去在整体式本体 10 中被吸收的目标气体量。类似地,在动态系统 101 的第一状态和第二状态中,到达第二排放系统 140 的气流总是目标气体的浓缩流,该目标气体的浓缩流通过将目标气体从整体式本体 10 脱附入流动吹扫流来形成。由此,由于相对于静态系统 100,动态系统 101 需要包含旋转机构而带来的额外复杂性可以通过降低动态系统 101 中排气系统 120、140 的操作的复杂性来一定程度抵销。动态系统 101 的排气系统 120、140 还可包括用于将到达排气系统的气流收集、再循环或排放到大气的其它机构(图未示)。有利地,不像在静态系统 100 中,动态系统 101 中,这些额外的机构不需要是可切换的。

[0056] 根据一些实施例,从处理气流分离目标气体的方法可包括使用诸如静态系统 100 (图 4)或者动态系统 101 (图 5A 和 5B)的高容积效率热集成系统。因为高容积效率热集成系统包括整体式本体,如上更详细描述,它们可以有利地以模块化方式组装,使得如果需要,它们能够被容易地移除。例如,如果高容积效率热集成系统用于天然气井,而该井干涸,则该高容积效率热集成系统可以被容易地移动到不同的井。这种模块性对于其它类型系统是不实际的,如那些使用填充床的系统。

[0057] 现将描述使用上面图 3-5B 的整体式本体和系统来从处理气流移除目标气体的方法。除了另有其他指示,本文描述的方法的各实施例可同时应用于上面详细描述静态系统 100 (图 4)和动态系统 101 (图 5A 和 5B)。关于该方法的实施例,除非另有其他指示,使用图 1-4、5A 和 5B 任一中的结构部件附图标记。根据一些实施例的从处理气流移除目标气体的方法可包括首先使处理气流流动穿过形成于整体式本体 10 的第一组多个分离通道 25,从而使得目标气体被吸收入第一组多个分离通道 25 的吸附表面 50。该处理气流包含处理气体浓度的目标气体。实际的处理气体浓度可以变化,取决于使用高容积效率热集成系统的应用。例如,在源自诸如天然气井的处理气体源的处理气流中的二氧化碳的处理气体浓度范围可以从约 1 摩尔%至约 40 摩尔%,更通常地约 5 摩尔%至约 20 摩尔%,诸如 12 摩尔%。第一步骤有效地是引导步骤并在整体式本体 10 的分离通道没有一个已经暴露于目标气体的假设下实施,因此,不需要从整体式本体的任何部分吹扫目标气体。

[0058] 在目标气体初始吸收入第一组多个分离通道 25 的吸附表面 50 之后,在第一循环时间内执行热集成第一阶段。热集成第一阶段包括三个同时进行的动作,在所有的三个动作期间,静态系统 100 或动态系统 101 处于其第一状态,如上所述。

[0059] 第一同时进行动作中,使处理气流流过形成于该整体式本体 10 的第二组多个分离通道 35,从而使得目标气体放热吸附至第二组多个分离通道 35 的吸附表面 50 上。第二组多个分离通道 35 和第一组多个分离通道 25 布置成使得第二组多个分离通道 35 的各个通道 35a、35b、35c、35d 与第一组多个分离通道 25 的各个通道 25a、25b、25c、25d 热连通。第二组多个分离通道 35 不与第一组多个分离通道 25 中任一个流体连通。

[0060] 第二同时进行的动作中,第一组多个分离通道 25 通过吹扫气体的流动吹扫流吹扫,从而使得目标气体从第一组多个分离通道 25 的吸附表面 50 吸热地脱附并进入流动吹扫流。该吹扫流通常是惰性气体,诸如空气或氮气,并具有目标气体吹扫浓度。较佳地,该吹扫浓度初始时尽可能低,诸如小于 5 摩尔%、小于 1 摩尔%、小于 0.1 摩尔%、小于 0.01 摩尔%、或甚至 0 摩尔%。通常,该吹扫浓度必须低于处理气体浓度。

[0061] 第三同时进行的动作中,处理气体排气从第二组多个分离通道 35 排放,而吹扫排气从第一组多个分离通道 25 排放。当整体式本体 10 中的吸附表面 50 相对于处理气流中其它组分对目标气体最优地选择时,处理气体排气可包括除了目标气体之外的处理气流的所有组分。较佳地,处理气体排气含有小于 5 摩尔%、小于 1 摩尔%、小于 0.1 摩尔%、或甚至 0 摩尔%的目标气体。吹扫排气包含已经在第二同时进行的动作期间(即吹扫动作)从第一组多个分离通道 25 脱附的高浓度目标气体。例如,吹扫排气可包括大于 25 摩尔%、大于 50 摩尔%、或大于 75 摩尔%的与原始吹扫气体混合的目标气体。如此,如果需要,可有利地收集浓缩的目标气体。

[0062] 上面描述的三个同时进行的动作是热集成的,如第一组多个分离通道 25 和第二组多个分离通道 35 之间协同所证明的。即,因为直接热连通在第一组多个分离通道 25 与第二组多个分离通道 35 之间发生,从在第二组多个分离通道 35 中发生的放热吸附所释放的热被传导至第一组多个分离通道 25,且由此可提高在第一组多个分离通道 25 中同时发生的吸热脱附的效率。相反地,从第一组多个分离通道 25 吸走并进入第二组多个分离通道 35 的吸热脱附过程的热提高了在第一组多个分离通道 25 内发生的放热吸附过程的效率。如此,第一组多个分离通道 25 的温度不持续提高到其中脱附比吸附在热力学上更有利的状态,且第二组多个分离通道 35 的温度不持续降低到其中吸附比脱附在热力学上更有利的状态。

[0063] 在第一循环时间内执行热集成第一阶段。第一循环时间可以由经验确定来确定或由高容积效率热集成系统的模拟来确定,在本文描述的方法之前,可执行其中任一种。或者,一种或多种合适类型的控制装置可以被纳入该高容积效率热集成系统。作为非限制性示例,该合适的控制装置可以例如包括对目标气体敏感的一个或多个探测器。这种控制装置可以构造成并适配成监控与处理气体源流体连通的分离通道中出现的处理气流中的目标气体的浓度。该出现的处理气流中目标气体的浓度的急剧增加指示可应用的分离通道的吸附表面 50 饱含目标气体。由此,当在第一临界时间通过控制装置识别到急剧增加,第一周期时间届满。较佳地,当模式被标注为第一循环时间通常持续多久时,第一循环时间的持续时间固定为比第一临界时间稍短,从而避免目标气体的任何溢出进入否则只含有少量或甚至零浓度的目标气体的出现的处理气流。

[0064] 当第一循环时间届满时,静态系统 100 和动态系统 101 都可以从其第一状态切换到其第二状态,且本文描述的方法还可包括在第二循环时间内执行热集成第二阶段。热集

成第二阶段包括三个同时进行的动作,在所有的三个动作期间,静态系统 100 或动态系统 101 处于其第二状态,如上所述。

[0065] 热集成第二阶段的第一同时发生的动作包括使得处理气流流过第一组多个分离通道 25,从而使得目标气体放热地吸入到第一组多个分离通道 25 的吸附表面 50。第二同时进行的动作包括用流动吹扫流来吹扫第二组多个分离通道 35,从而使得目标气体从第二组多个分离通道 35 的吸附表面 50 吸热地脱附并进入流动吹扫流。第三同时发生的动作包括排出来自第一组多个分离通道 25 的处理气体排气和排出来自第二组多个分离通道 35 的吹扫排气。第二循环时间,相对于第二临界时间,可以如上所述的关于第一循环时间来选择和确定。

[0066] 从处理气流移除目标气体的方法还进一步包括在热集成第一阶段和热集成第二阶段之间循环,由此该循环可顺次包括:(1)在第一循环时间内执行热集成第一阶段,其中高容积效率热集成系统处于其第一状态;(2)将高容积效率热集成系统从其第一状态切换到其第二状态,诸如通过切换静态系统 100 的可切换阀或者通过围绕垂直于第一流动轴线 x 和第二流动轴线 y 的旋转轴线 z 旋转动态系统 101 的整体式本体 10,以使第一组多个分离通道 25 置于与处理气体源 160 流体连通并使第二组多个分离通道 35 置于与吹扫源 170 流体连通;(3)在第二循环时间内执行热集成第二阶段;(4)从第二状态切换到第一状态,诸如通过切换静态系统 100 的可切换阀或者通过围绕旋转轴线 z 旋转动态系统 101 的整体式本体 10,以使第二组多个分离通道 35 置于与处理气体源 160 流体连通并使第一组多个分离通道 25 置于与吹扫源 170 流体连通;以及(5)重复步骤(1)-(4)至少一次。

[0067] 上述的高容积效率热集成系统的模型推导数据在图 6 和 8 中提供,并分别与来自无热管理构造的非创新性的非集成的系统的图 7 和 9 中的类似数据比较。该模拟系统基于二氧化碳从吸附通道的吸附表面的吸附和脱附,该吸附通道经由代替整体式本体的分隔的玻璃隔离层与脱附通道热连通。模拟处理气体包含 12 摩尔% CO_2 ,而该模块化吹扫气体是空气,该空气具有可忽略的 CO_2 含量,通常约 390ppm (0.039 摩尔%)。吸附通道和脱附通道的模拟吸附表面基于沸石 13X,其具有 640kg/m^3 的密度、 0.12W/m/K 的热导率、 920J/kg/K 的比热容量以及 $380\ \mu\text{m}$ 厚度。该模拟玻璃隔离层基于具有 2800kg/m^3 的密度、 1.05W/m/K 的热导率、 840J/kg/K 的比热容量以及 $100\ \mu\text{m}$ 厚度的玻璃。

[0068] 图 6 中,图形示出上面描述的模拟系统的模拟数据。具体地,在模拟的热集成 CO_2 吸附和脱附过程中,在两个完整循环中,关于时间(以秒计算)绘制吸附剂中 CO_2 浓度。实线示出第一通道而虚线示出与该第一通道相邻的第二通道。每个吸附和脱附步骤代表连续的第一和第二循环时间的周期,每个周期 8 秒长。图 6 所示的过程中在 0 秒与 8 秒之间,第一通道经受吸附而第二通道经受脱附步骤。从 8 秒至 16 秒,各过程逆反,从而第一通道经受脱附而第二通道经受吸附。该循环从 16 秒至 32 秒重复。总体上,可以从代表 CO_2 浓度的峰值的等高图看到,第一通道和第二通道在吸附-脱附过程中平等地参与。

[0069] 相比较而言,图 7 示出来自具有诸如热交换器的非外部热管理的非集成系统(即无热连通的通道)的类似数据。示出在 CO_2 吸附和脱附中,一个完整周期中,吸附剂中的 CO_2 浓度。吸附和脱附步骤每个进行 8 秒。图 7 所示的过程中在 0 秒与 8 秒之间,通道经受吸附步骤,而从 8 秒到 16 秒,通道经受脱附。总体上,可看到,没有热交换器时,床可吸附的最大值是每公斤吸附剂 1.6 摩尔 CO_2 ,而不是根据本文描述的实施例的模拟热集成系统中的每

公斤吸附剂 2.75 摩尔 CO_2 , 其数据在图 6 中示出。

[0070] 关于热管理分布曲线, 图 8 中提供模拟热集成系统的数据。具体地, 图 8 图形示出 CO_2 吸附和脱附过程中, 在两个完整循环期间的温度分布曲线。图中的两条线代表在循环过程中, 第一通道中的温度和与该第一通道相邻的第二通道的温度。每个吸附和脱附步骤代表连续的第一和第二循环时间的周期, 每个周期 8 秒长。总体上, 可看到, 在每个吸附或脱附步骤期间, 第一通道和第二通道的温度都首先升高, 当在每个吸附或脱附步骤的末尾, 降低到接近 288K 的起始温度。这确保了在吸附步骤期间, 利用吸附剂的最大容量。温度的初始升高还提供了在解吸过程中的动量, 因为吸附剂保持所吸附的 CO_2 的能力随着温度升高而减少。

[0071] 相比较而言, 图 9 图形示出来自具有诸如热交换器的非外部热管理的非集成系统(即无热连通的通道)的类似数据。图 9 中, 示出 CO_2 吸附和脱附过程中, 一个完整循环的过程上的吸附剂温度。每个吸附和脱附步骤持续 8 秒。在 0 秒与 8 秒之间, 通道经受 CO_2 吸附, 而从 8 秒至 16 秒, 通道经受 CO_2 脱附。总体上, 可以看到, 系统中无任何热管理时, 吸附剂的温度从 288K 的初始温度上升到 320K。相信吸附剂温度的该尖锐升高直接导致吸附剂的 CO_2 容量从热集成系统(参见图 6)中的每公斤吸附剂 2.75 摩尔 CO_2 降低至非集成系统(参见图 7)中的每公斤吸附剂 1.6 摩尔 CO_2 。由此, 应理解, 根据本文描述的各实施例的高容积效率热集成系统提供了有效的热管理并确保了从处理气流捕获目标气体的效率水平。

[0072] 应理解, 各系统和方法的上述实施例均指的是用于从处理气流移除目标气体的系统和方法的高容积效率方面和热集成方面。本文描述的系统和方法的“高容积效率”方面可以例如如此实现, 即整体式本体的所有的各个分离通道用于进行吸附或脱附过程。反过来讲, 高容积效率方法涉及整体式本体的各个通道没有一个专用于进行吸附或脱附之外的目的。进行吸附或脱附之外的目的可包括例如使用一些分离通道作为冷却剂或加热通道, 由此整体式本体的热管理将通过被引导穿过冷却剂或加热通道的诸如液态或气态介质的外部源发生。

[0073] 高效率热集成系统的“热集成”方面可以如此实现, 即第一组多个分离通道 25 (例如参见图 1 和 3) 可以与第二组多个分离通道 35 (例如参见图 1 和 3) 直接热连通地布置。由此, 当在第一组多个分离通道 25 中与第二组多个分离通道 35 中的吸热脱附过程同时进行放热吸附过程时, 从放热吸附过程释放的热可以用于直接有益于吸热脱附过程而不需外部热源。

[0074] 此外, 现应理解, 通过上面各实施例描述的高容积效率热集成系统和方法可以用于从处理气流捕获目标气体。每个系统和方法中, 具有两个多个分离通道的整体式本体构造造成使得处理气流流过一组多个分离通道, 同时吹扫流流过另一组多个分离通道。随之而来放热吸附和吸热脱附过程为本文实施的系统的热管理提供了简单但有效的机构, 尤其当系统与本文所述方法结合时。

[0075] 第一方面中, 本公开提供了一种高容积效率热集成系统(100, 101), 用于从处理气流捕获目标气体, 该系统包括: 整体式本体(10, 11) 和分配系统(150), 其中: 所述整体式本体(10, 11) 包括: 第一组多个分离通道(25), 所述第一组多个分离通道(25) 穿过所述整体式本体(10, 11) 并平行于所述整体式本体(10, 11) 的第一流动轴线(x); 以及第二组多个分离通道(35), 所述第二组多个分离通道(35) 穿过所述整体式本体(10, 11) 并

平行于所述整体式本体 (10, 11) 的第二流动轴线 (y); 所述第一组多个分离通道 (25) 和所述第二组多个分离通道 (35) 布置成使得所述第一组多个分离通道 (25) 的各个通道 (25a, 25b, 25c, 25d) 与所述第二组多个分离通道 (35) 的各个通道 (35a, 35b, 35c, 35d) 热连通; 所述第一组多个分离通道 (25) 不与所述第二组多个分离通道 (35) 中任一个流体连通; 所述第一组多个分离通道 (25) 的第一分隔壁 (22) 和所述第二组多个分离通道 (35) 的第二分隔壁 (32) 包括吸附材料的吸附表面 (50), 所述吸附表面 (50) 从处理气流可逆地吸收目标气体; 以及所述高容积效率热集成系统 (100, 101) 在第一状态与第二状态之间切换, 在第一状态中, 所述分配系统 (150) 同时将处理气流供应至所述第二组多个分离通道 (35) 和将吹扫气流供应至所述第一组多个分离通道 (25), 在第二状态中, 所述分配系统 (150) 同时将处理气流供应至所述第二组多个分离通道 (35) 并将吹扫气流供应至所述第一组多个分离通道 (25)。

[0076] 第二方面中, 本公开提供了方面 1 的高容积效率热集成系统 (100, 101), 其中, 第一流动轴线 (x) 垂直于第二流动轴线 (y)。

[0077] 第三方面中, 本公开提供了方面 1 或方面 2 的高容积效率热集成系统 (100, 101), 其中, 所述分配系统 (150) 包括可切换阀 (180a, 180b, 180c, 180d), 所述可切换阀 (180a, 180b, 180c, 180d) 将所述高容积效率热集成系统 (100, 101) 从第一状态切换到第二状态, 或者从第二状态切换到第一状态, 使得所述高容积效率热集成系统 (100, 101) 是静态系统 (100)。

[0078] 第四方面中, 本公开提供了方面 1-3 任一方面的高容积效率热集成系统 (100, 101), 进一步包括: 旋转机构, 所述旋转机构围绕垂直于所述第一流动轴线 (x) 和所述第二流动轴线 (y) 的旋转轴线 (z) 旋转所述整体式本体 (10, 11), 使得所述高容积效率热集成系统是动态系统 (101), 以及通过围绕所述旋转轴线 (z) 旋转所述整体式本体 (10, 11), 将该动态系统 (101) 从第一状态切换到第二状态或者从第二状态切换到第一状态。

[0079] 第五方面中, 本公开提供了方面 1 的高容积效率热集成系统 (100, 101), 其中, 所述目标气体选自二氧化碳和硫化氢构成的组; 以及所述吸附材料选自沸石、沸石咪唑酯骨架、金属有机骨架、碳、介孔氧化铝、介孔二氧化硅、胺官能化的变体、氨基官能化的变体, 以及它们的组合构成的组。

[0080] 第六方面中, 本公开提供了一种使用具有整体式本体 (10, 11) 的高容积效率热集成系统 (100, 101) 从处理气流分离目标气体的方法, 所述方法包括: 将所述处理气流流过第一组多个分离通道 (25), 从而致使所述目标气体被吸入所述第一组多个分离通道 (25) 的吸附表面 (50), 所述第一分离通道形成在所述整体式本体 (10, 11) 中; 以及在第一循环时间内执行热集成第一阶段, 所述热集成第一阶段同时包括: 将所述处理气流流过第二组多个分离通道 (35), 从而致使所述目标气体放热被吸入所述第二组多个分离通道 (35) 的吸附表面 (50), 所述第二分离通道 (35) 形成在所述整体式本体 (10, 11) 中, 其中所述第二组多个分离通道 (35) 和所述第一组多个分离通道 (25) 布置成使得所述第一组多个分离通道 (25) 的各个通道 (25a, 25b, 25c, 25d) 与所述第二组多个分离通道 (35) 的各个通道 (35a, 35b, 35c, 35d) 热连通; 以及所述第二组多个分离通道 (35) 不与所述第一组多个分离通道 (25) 中任一个流体连通; 以及用流动吹扫流来吹扫所述第一组多个分离通道 (25), 从

而使得所述目标气体从所述第一组多个分离通道 (25) 的吸附表面 (50) 吸热地脱附并进入所述流动吹扫流。

[0081] 第七方面中,本公开提供了方面 6 的方法,其中每个分离第一通道 (25a, 25b, 25c, 25d) 平行于所述整体式本体 (10, 11) 的第一流动轴线 (x),而每个分离第二通道 (35a, 35b, 35c, 35d) 平行于所述整体式本体 (10, 11) 的第二流动轴线 (y)。

[0082] 第八方面中,本公开提供了方面 6 或 7 的方法,进一步包括:在第二循环时间内执行热集成第二阶段,所述热集成第二阶段同时包括:将所述处理气流流过所述第一组多个分离通道 (25),从而致使所述目标气体放热地被吸入所述第一组多个分离通道 (25) 的吸附表面 (50);用流动吹扫流来吹扫所述第二组多个分离通道 (35),从而使得所述目标气体从所述第二组多个分离通道 (35) 的吸附表面 (50) 吸热地脱附并进入所述流动吹扫流。

[0083] 第九方面中,本公开提供了方面 8 的方法,其中所述高容积效率系统 (100, 101) 还包括:将处理气体递送至所述整体式本体 (10, 11) 的处理气体源 (160),在所述热集成第一阶段期间,所述处理气体源 (160) 仅与所述第二组多个分离通道 (35) 流体连通,且在所述热集成第二阶段期间,所述处理气体源仅与所述第一组多个分离通道 (25) 流体连通;以及将吹扫流递送至所述整体式本体 (10, 11) 的吹扫源 (170),在所述热集成第一阶段期间,所述吹扫源仅与所述第一组多个分离通道 (25) 流体连通,且在所述热集成第二阶段期间,所述吹扫源仅与所述第二组多个分离通道 (35) 流体连通。

[0084] 第十方面中,本公开提供了方面 9 的方法,还包括在所述热集成第一阶段和所述热集成第二阶段之间循环。

[0085] 第十一方面中,本公开提供了方面 10 的方法,其中在所述热集成第一阶段和所述热集成第二阶段之间循环顺次包括:执行所述热集成第一阶段;围绕垂直于所述第一流动轴线 (x) 和所述第二流动轴线 (y) 的旋转轴线 (z) 旋转所述整体式本体 (10, 11),以将所述第一组多个分离通道 (25) 置于与所述处理气体源 (160) 流体连通并将所述第二组多个分离通道 (35) 置于与吹扫源 (170) 流体连通;执行所述热集成第二阶段;以及围绕所述旋转轴线 (z) 旋转所述整体式本体 (10, 11),以将所述第二组多个分离通道 (35) 置于与所述处理气体源 (160) 流体连通并将所述第一组多个分离通道 (25) 置于与所述吹扫源 (170) 流体连通。

[0086] 第十二方面中,本公开提供了方面 11 的方法,其中第一流动轴线 (x) 垂直于第二流动轴线 (y)。

[0087] 第十三方面中,本公开提供了方面 6 的方法,其中所述处理气流选自天然气、烟气、空气、沼气、来自氢气生产过程中的水气变换混合物、以及燃烧过程的废气构成的组。

[0088] 第十四方面中,本公开提供了方面 6 的方法,其中所述目标气体选自二氧化碳和硫化氢构成的组。

[0089] 第十五方面中,本公开提供了方面 6 的方法,其中所述目标气体是二氧化碳。

[0090] 对本领域技术人员显而易见的是,可对本文所描述的实施例做出各种修改和变型而不偏离所要求保护主题的精神和范围。由此,假如这种修改和变型落入所附权利要求书及其等同物的范围内,说明书旨在覆盖本文所描述各种实施例的修改和变型。

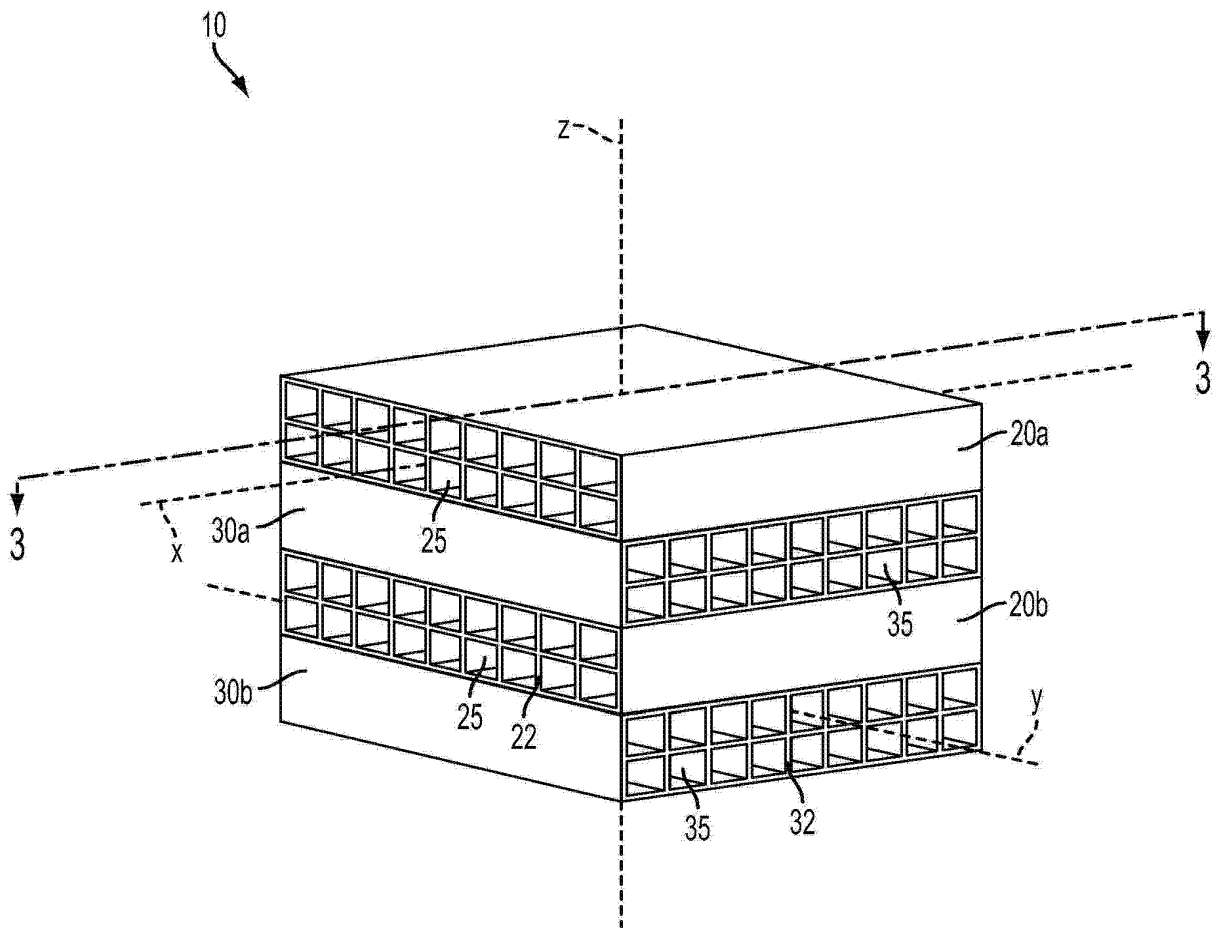


图 1

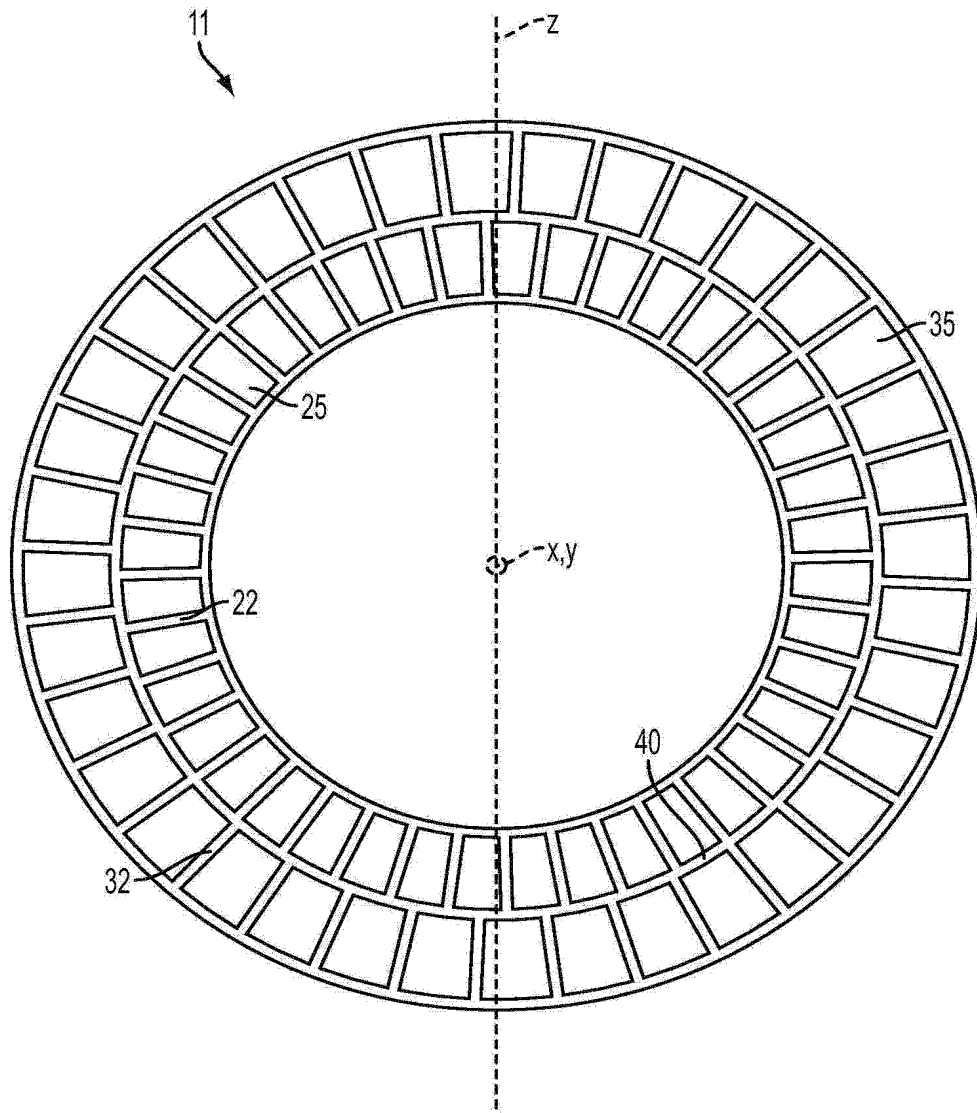


图 2

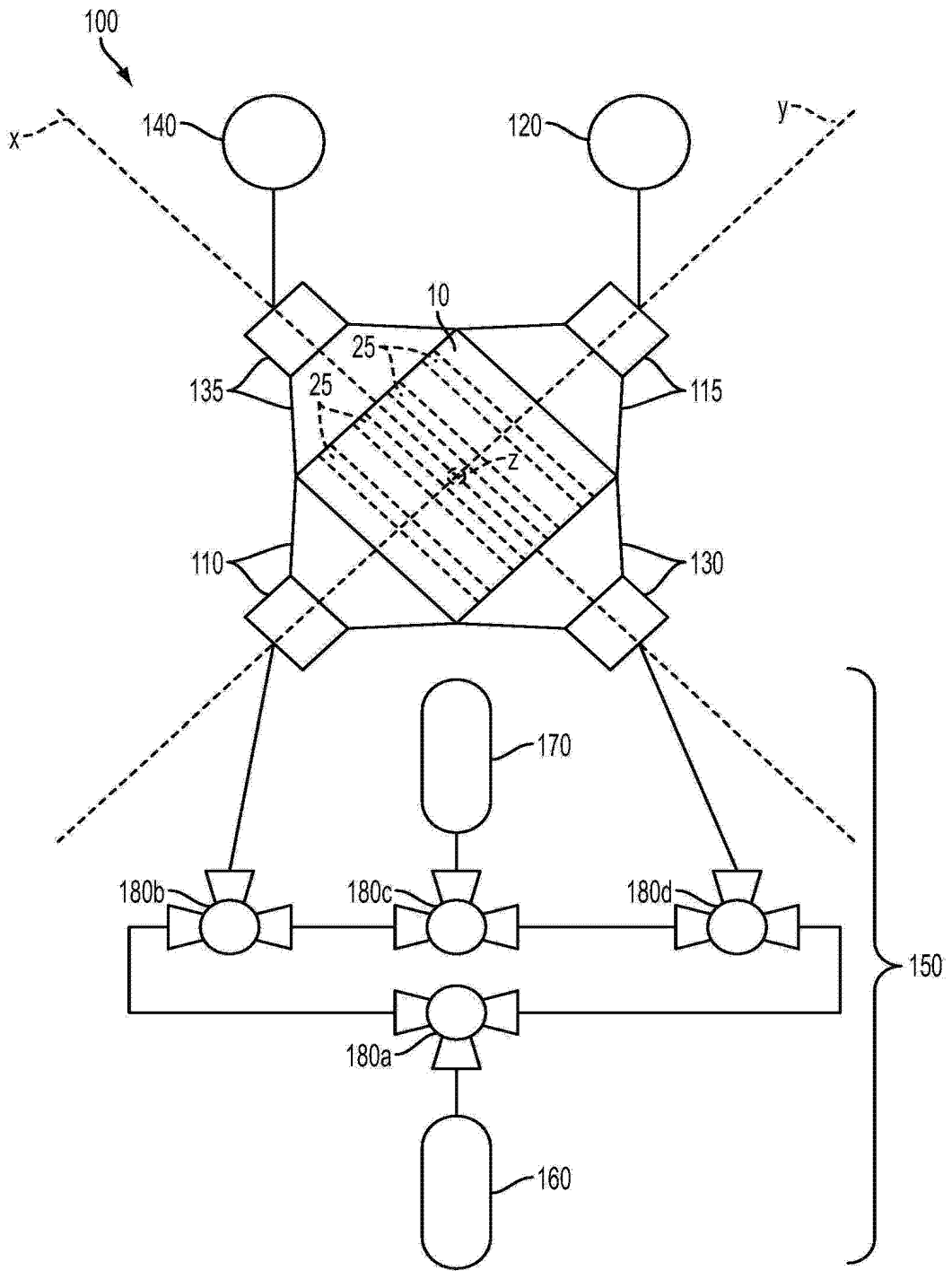


图 4

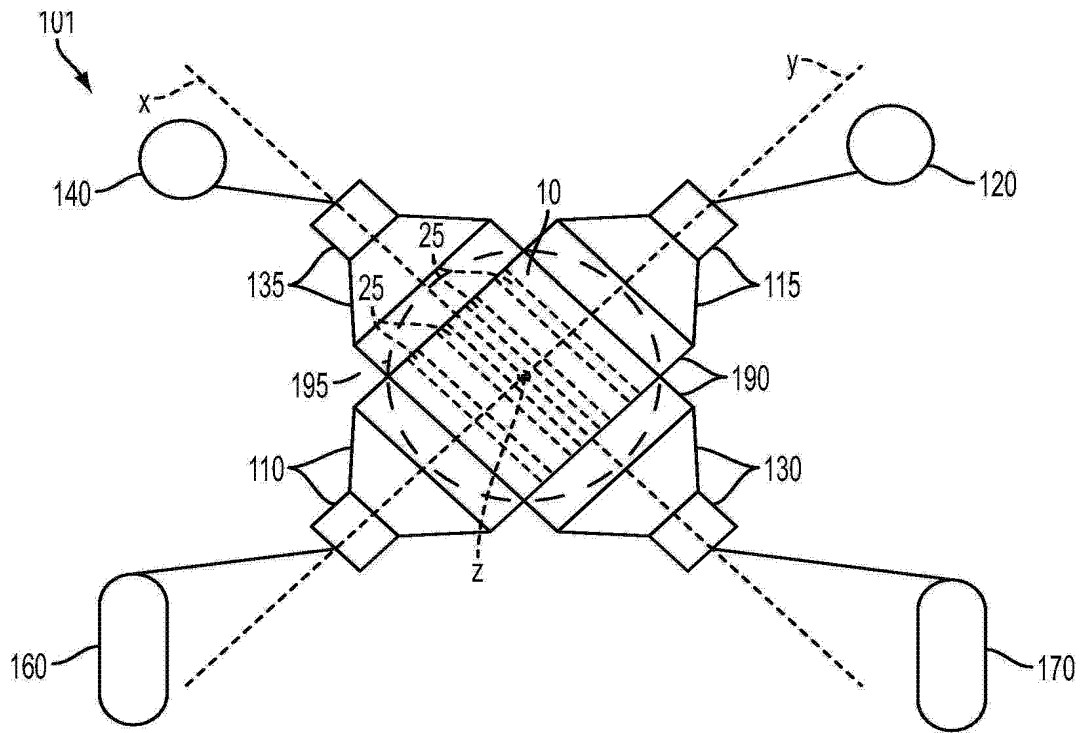


图 5A

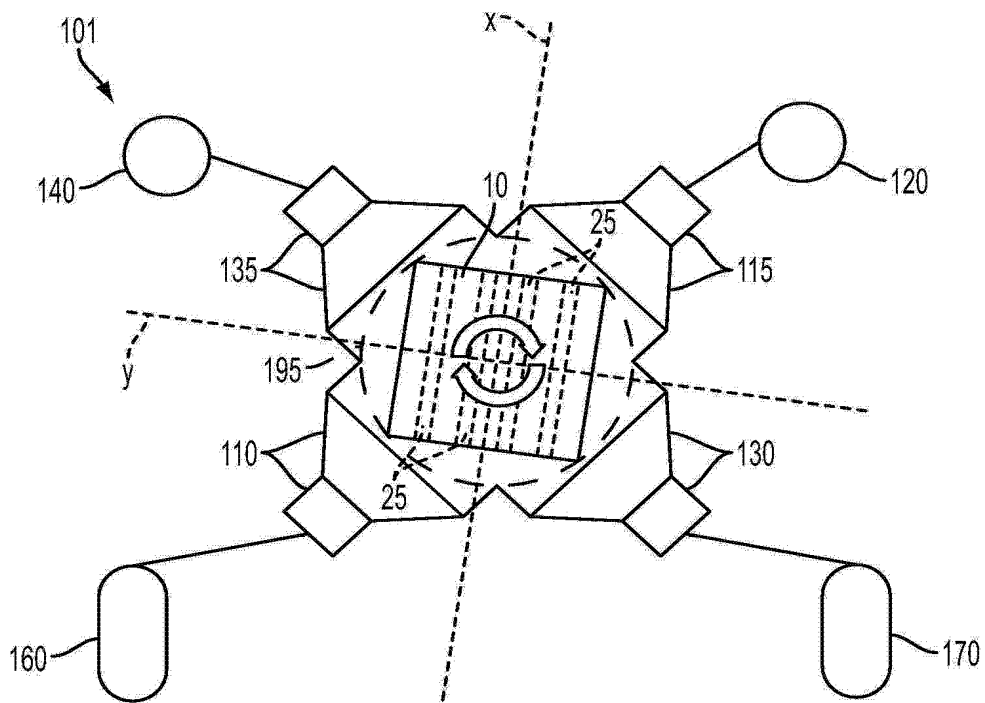


图 5B

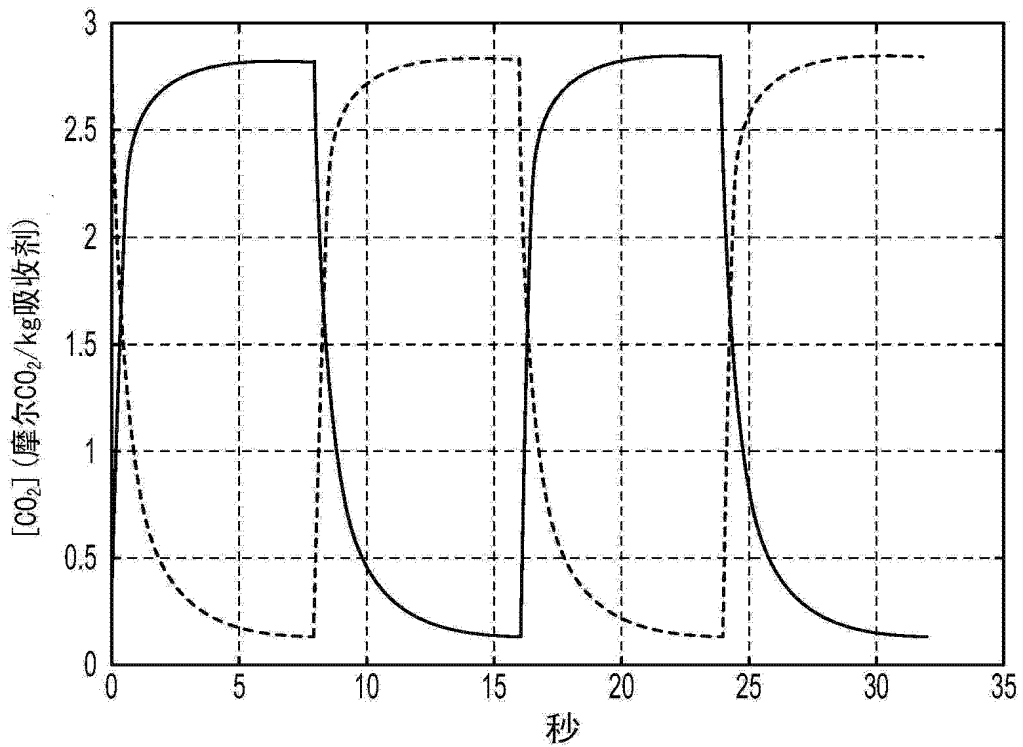


图 6

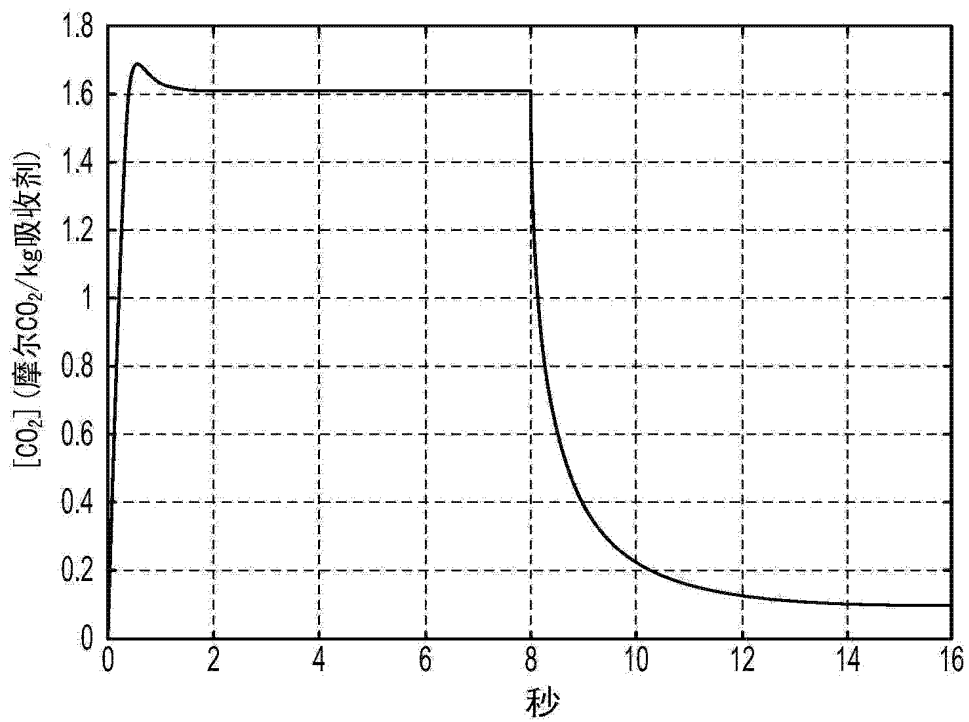


图 7

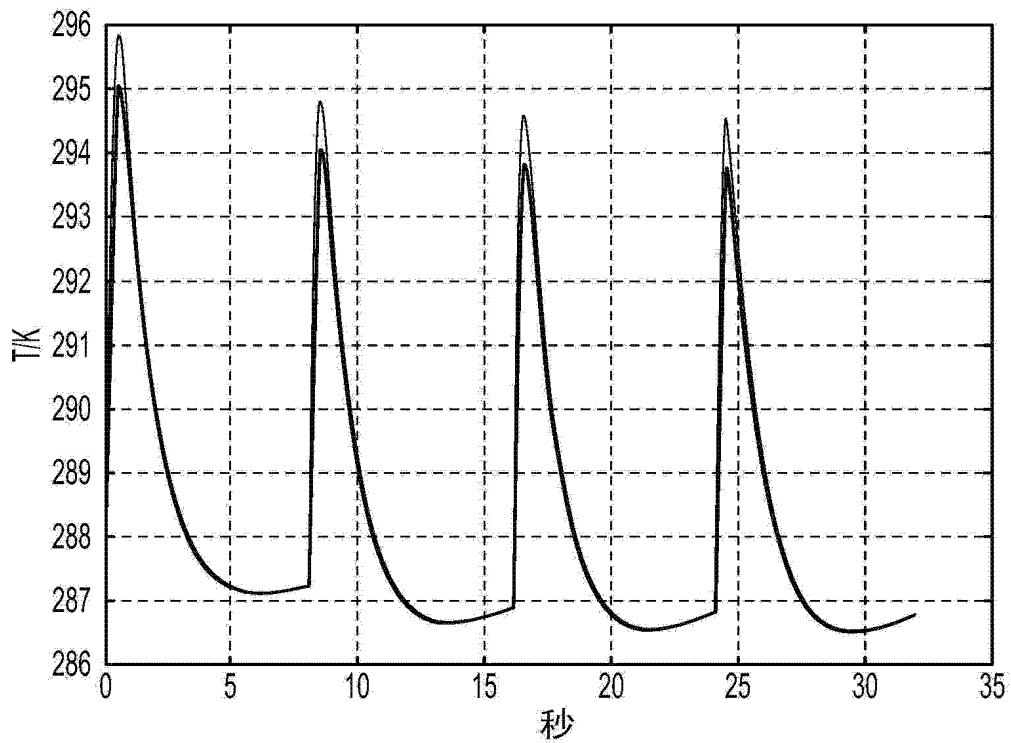


图 8

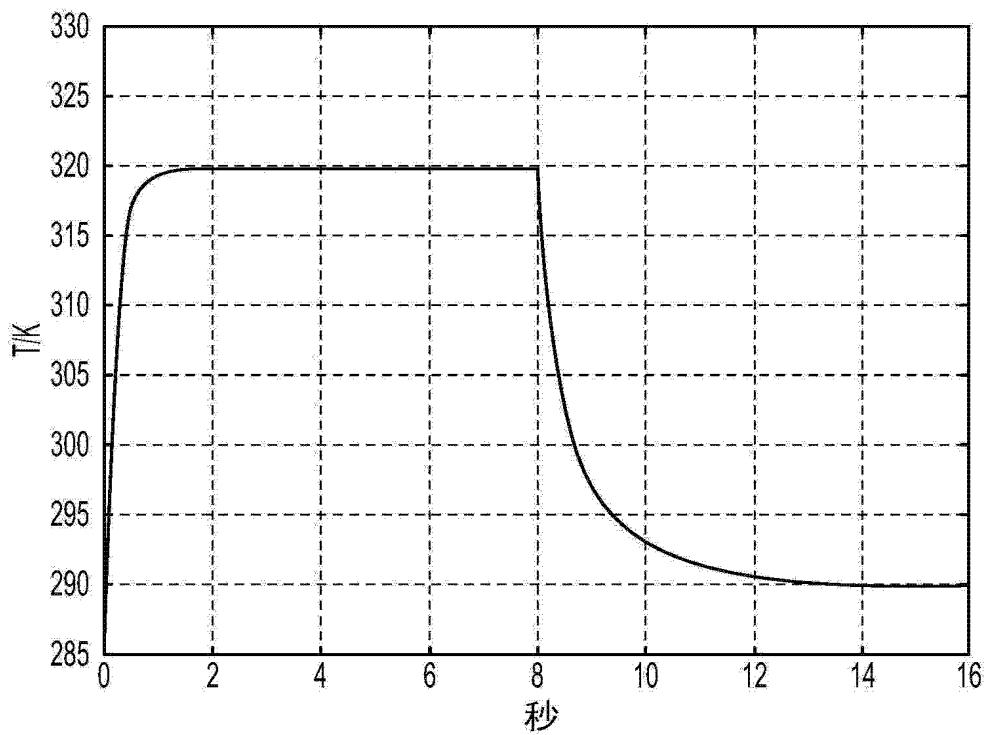


图 9