

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B01D 53/047 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710137343.2

[43] 公开日 2008 年 3 月 19 日

[11] 公开号 CN 101143285A

[22] 申请日 2007.7.20

[21] 申请号 200710137343.2

[30] 优先权

[32] 2006.7.20 [33] US [31] 11/490003

[71] 申请人 气体产品与化学公司

地址 美国宾夕法尼亚州

[72] 发明人 S·K·李 J·D·布科梼斯基

C·T·泽尔森 M·E·勒维恩

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 段晓玲 韦欣华

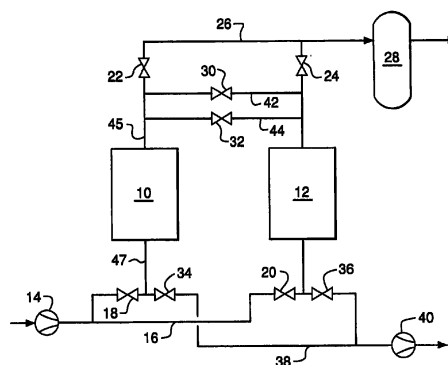
权利要求书 7 页 说明书 19 页 附图 3 页

[54] 发明名称

变压吸附方法及具有多容器床的系统

[57] 摘要

本发明提供了一种用于分离进料气体混合物的变压吸附方法，其包括(a)提供包括一个或多个复合床的变压吸附系统，每个复合床均包括设置在以平行流构造配置的两个或更多个容器中的吸附材料，每个容器均具有进料端和产物端；(b)进行包括下列的循环连续步骤：吸附/制造产物、从复合床中减压排出气体、净化复合床、以及将气体加压引入复合床；以及(c)对任何连续步骤，设定选自下列的一种或多种气体的流速：引入两个或更多个容器中任何的进料端中或从其中排出的气体、以及引入两个或更多个容器中任何一个或多个的产物端中或从其中排出的气体。



1. 一种用于分离含有两种或更多种组分的进料气体混合物的变压吸附方法，所述方法包括：

(a) 提供包括一个或多个复合床的变压吸附系统，每个复合床均包括安置在以平行流构造配置的两个或更多个容器中的吸附材料，每个容器均具有进料端和产物端；

(b) 进行循环连续步骤，其包括：

(b1) 将进料气体混合物引入到复合床的两个或更多个容器的进料端中，并将产物气体从复合床的两个或更多个容器的产物端排出，

(b2) 从复合床的两个或更多个容器的进料端减压排出气体，

(b3) 将净化气体引入复合床的两个或更多个容器的产物端，并将净化废气从复合床的两个或更多个容器的进料端排出，从而净化复合床，以及

(b4) 将气体加压引入复合床的两个或更多个容器的产物端和 / 或进料端；以及

(c) 对任何连续步骤，设定选自下列的一种或多种气体的流速：

(c1) 引入两个或更多个容器中任何一个或多个的进料端的气体，

(c2) 引入两个或更多个容器中任何一个或多个的产物端的气体，

(c3) 从两个或更多个容器中任何一个或多个的进料端排出的气体，

(c4) 从两个或更多个容器中任何一个或多个的产物端排出的气体。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其中所述流速设定为将所述两个或更多个容器的选定控制参数的值保持为使得

(a) 所述两个或更多个容器中任意两个的选定控制参数之间的绝对差值小于预定值，或

(b) 所述复合床的两个或更多个容器中每一个的选定控制参

数与所述复合床的两个或更多个容器中每一个的控制参数的平均值之间的绝对差值小于预定值,

其中各容器的控制参数选自:

- (1) 来自所述容器的产物气体中选定组分的时间平均浓度;
- (2) 来自所述容器的产物气体中选定组分的最小或最大浓度;
- (3) 来自所述容器的净化废气中选定组分的时间平均浓度;
- (4) 来自所述容器的净化废气中选定组分的最小或最大浓度;
- (5) 所述容器中选定点处吸附剂空隙空间中选定组分的最小或最大浓度;
- (6) 连续步骤中, 在选定时间时所述容器中两点之间的压力差;
- (7) 连续步骤中, 容器中选定点处的最低或最高温度; 以及
- (8) 连续步骤中, 容器中选定点处的最小或最大压力。

3. 根据权利要求1所述的方法, 其包括吸附材料的两个或更多个复合床。

4. 根据权利要求1所述的方法, 其中所述进料气体混合物是空气, 且所述产物气体含有多于85体积%的氧。

5. 根据权利要求1所述的方法, 其由吸附材料的两个复合床组成, 其中每个复合床由2到20个容器组成。

6. 根据权利要求4所述的方法, 其中所述各容器的控制参数是从所述容器的出口排出的产物气体中的氧的时间平均浓度。

7. 一种包括一个或多个复合床的变压吸附系统, 每个复合床均包括吸附材料并具有复合床进料端和复合床产物端, 所述一个或多个复合床具有复合床进料端歧管和复合床产物端歧管, 其中所述一个或多个复合床中的每一个均包括两个或更多个以平行流构造配置的容器, 该容器具有容器进料端歧管和容器产物端歧管, 每一个容器均含有部分吸附材料并具有容器进料端和容器产物端, 其中复合床的复合床进料端歧管用于放置该复合床的进料端, 该复合床的进料端经由容器进料端歧管与两个或更多个容器的进料端流体连通, 其中复合床产物端歧管用于放置该复合床的产物端, 该复合床的产物端经由各容器产物

端歧管与两个或更多个容器的产物端流体连通，且其中

(a) 任何容器进料端歧管包括一个或多个限流器件，每个器件均用于设定进入各容器进料端的气体流速和/或设定从各容器进料端排出的气体流速，和/或

(b) 任何容器产物端歧管包括一个或多个限流器件，每个器件均用于设定进入各容器产物端的气体流速和/或设定从各容器产物端排出的气体流速。

8. 根据权利要求7所述的系统，其中所述一个或多个限流器件中的任何一个或多个选自小孔、可调阀、直径变小的管段和可调限位单向阀。

9. 根据权利要求7所述的系统，其由吸附材料的2个复合床组成，其中每个复合床由2到20个容器组成。

10. 根据权利要求8所述的系统，其中所述一个或多个限流器件中的任何一个或多个是小孔。

11. 一种包括两个复合床的变压吸附系统，每个复合床均包括吸附材料并具有复合床进料端和复合床产物端，每个复合床均具有复合床进料端歧管和复合床产物端歧管，其中每个复合床包括2到20个以平行流构造配置的容器，该容器具有容器进料端歧管和容器产物端歧管，每个容器均包含部分吸附材料并具有容器进料端和容器产物端，其中复合床的复合床进料端歧管用于放置该复合床的进料端，该复合床的进料端经由各容器进料端歧管与两个或更多个容器的进料端流体连通，其中复合床产物端歧管用于放置该复合床的产物端，该复合床的产物端经由各容器产物端歧管与两个或更多个容器的产物端流体连通，且其中

(a) 各容器进料端歧管包括小孔，和/或

(b) 各容器产物端歧管包括小孔。

12. 一种变压吸附系统，其包括

(a) 一个或多个复合床，每个复合床均包括吸附材料并具有复合床进料端和复合床产物端；

(b) 复合床进料端歧管，该复合床进料端歧管用于将气体引入到各复合床的进料端和将气体从各复合床的进料端排出；

(c) 复合床产物端歧管，该复合床产物端歧管用于将气体引

入到各复合床的产物端和将气体从各复合床的产物端排出；
其中一个或多个复合床中的每一个均包括分别放置在以平行流构造配置的两个或更多个容器中的部分吸附材料，每个容器均具有进料端和产物端，其中两个或更多个容器包括

(d) 与复合床进料端歧管流体连通的容器进料端歧管，其用于将气流分隔到各复合床的进料端成为独立的气流并且将该独立气流分别引入到两个或更多个容器中、以及从两个或更多个容器中排出和合并独立气流以便提供来自复合床进料端的气流；以及

(e) 与复合床产物端歧管流体连通的容器产物端歧管，其用于将气流分隔到各复合床的产物端成为独立的气流并且将该独立气流分别引入到两个或更多个容器中、以及从两个或更多个容器中排出和合并独立的气流以便提供来自复合床产物端的气流；

并且，其中 (i) 容器进料端歧管包括一个或多个限流器件，每个器件均用于设定进入各容器进料端的气体流速和用于设定从各容器产物端排出的气体流速，和/或 (ii) 容器产物端歧管包括一个或多个限流器件，每个器件均用于设定进入各容器产物端的选定气体的流速和用于设定从各容器产物端排出的气体流速。

13. 根据权利要求 12 所述的系统，其包括两个或更多个复合床。

14. 一种用于分离包含两种或更多种组分的气体混合物的变压吸附方法，该方法包括

(a) 提供包括一个或多个复合床的变压吸附系统，每个复合床均包括安置在以平行流构造配置的两个或更多个容器中的吸附材料，每个容器均具有进料端和产物端；

(b) 进行循环连续步骤，包括：

(b1) 将进料气体混合物引入到复合床的两个或更多个容器的进料端中，并将产物气体从复合床的两个或更多个容器的产物端排出；

(b2) 从复合床的两个或更多个容器的进料端减压排出气体；

(b3) 将净化气体引入复合床的两个或更多个容器的产物端并从复合床的两个或更多个容器的进料端排出净化废气，从而净化复合床，以及

(b4) 将气体加压引入复合床的两个或更多个容器的产物端和/或进料端;

(c) 选择控制参数; 和

(d) 对于任何连续步骤, 设定选自下列的一种或多种气体的流速:

(d1) 引入两个或更多个容器中任何一个或多个的进料端的气体,

(d2) 引入两个或更多个容器中任何一个或多个的产物端的气体,

(d3) 从两个或更多个容器中任何一个或多个的进料端排出的气体,

(d4) 从两个或更多个容器中任何一个或多个的产物端排出的气体,

其中流速设定为将所述两个或更多个容器中的选定容器的控制参数的值保持为, 使得选定容器中的任何两个之间的绝对差值小于预定值。

15. 根据权利要求 14 所述的方法, 其中所述控制参数选自

(1) 来自所述容器的产物气体中选定组分的时间平均浓度;

(2) 来自所述容器的产物气体中选定组分的最小或最大浓度;

(3) 来自所述容器的净化废气中选定组分的时间平均浓度;

(4) 来自所述容器的净化废气中选定组分的最小或最大浓度;

(5) 所述容器中选定点处吸附剂空隙空间中选定组分的最小或最大浓度;

(6) 连续步骤中, 在选定时间时所述容器中两点之间的压力差;

(7) 连续步骤中, 容器中选定点处的最低或最高温度; 以及

(8) 连续步骤中, 容器中选定点处的最小或最大压力。

16. 根据权利要求 15 所述的方法, 其中所述进料气体混合物是空气, 且所述产物气体含有多于 85 体积%的氧。

17. 根据权利要求 16 所述的方法, 其中所述控制参数是从所述容

器的出口排出的产物气体中的氧的时间平均浓度。

18. 一种用于分离包括两个或更多个组分的进料气体的变压吸附方法，所述方法包括

(a) 提供包括一个或多个复合床的变压吸附系统，每个复合床均包括安置在以平行流构造配置的两个或更多个容器中的吸附材料，每个容器均具有进料端和产物端；

(b) 进行循环连续步骤，包括：

(b1) 将进料气体引入到复合床的两个或更多个容器的进料端中，并将产物气体从复合床的两个或更多个容器的产物端排出；

(b2) 从复合床的两个或更多个容器的进料端减压排出气体；

(b3) 将净化气体引入复合床的两个或更多个容器的产物端并从复合床的两个或更多个容器的进料端排出净化废气，从而净化复合床，以及

(b4) 将气体加压引入复合床的两个或更多个容器的产物端和/或进料端；

(c) 选择控制参数、特定连续步骤以及在特定连续步骤中进入任何容器或离开任何容器的气流；

(d) 当在特定连续步骤中进入容器或离开容器的选定气流的流速增大时，确定控制参数是增大还是减小；

(e) 当进行循环连续步骤时，确定各容器的控制参数值和复合床的所有容器的控制参数平均值；以及

(f) 如果当在(d)中确定了在特定连续步骤中进入或离开容器的气流流速增大时控制参数增大，并且如果在特定连续步骤中选定容器的控制参数值大于复合床的所有容器的控制参数平均值，则降低进入或离开选定容器的气体流速；或者

(g) 如果当在(d)中确定了在特定连续步骤中进入或离开容器的气流流速增大时控制参数增大，并且如果在特定连续步骤中选定容器的控制参数值小于复合床的所有容器的控制参数平均值，则提高进入或离开选定容器的气体流速；或者

(h) 如果当在(d)中确定了在特定连续步骤中进入或离开容

器的气流流速增大时控制参数减小,并且如果在特定连续步骤中选定容器的控制参数值大于复合床的所有容器的控制参数平均值,则提高进入或离开选定容器的气体流速;或者

(i) 如果当在(d)中确定了在特定连续步骤中进入或离开容器的气流流速增大时控制参数减小,并且如果在特定连续步骤中选定容器的控制参数值小于复合床的所有容器的控制参数平均值,则降低进入或离开选定容器的气体流速。

19. 根据权利要求18所述的方法,其中所述控制参数选自

- (1) 来自所述容器的产物气体中选定组分的时间平均浓度;
- (2) 来自所述容器的产物气体中选定组分的最小或最大浓度;
- (3) 来自所述容器的净化废气中选定组分的时间平均浓度;
- (4) 来自所述容器的净化废气中选定组分的最小或最大浓度;
- (5) 所述容器中选定点处吸附剂空隙空间中选定组分的最小或最大浓度;
- (6) 连续步骤中,在选定时间时所述容器中两点之间的压力差;
- (7) 连续步骤中,容器中选定点处的最低或最高温度;以及
- (8) 连续步骤中,容器中选定点处的最小或最大压力。

变压吸附方法及具有多容器床的系统

背景技术

变压吸附 (PSA) 是用于分离大宗气体 (bulk gas) 混合物及用于净化含低浓度不良成分的气流的公知方法。该方法已经发展和用于大范围的进料气体、操作条件、产物净化和产物回收。许多变压吸附系统采用以循环次序工作的两个或更多个平行吸附床, 以保持恒定的产物流速, 同时所选择的床经历包括吸附/制备产物、减压、排气、净化、均压化、再加压及其它相关步骤的多个步骤。使用多个处理步骤的多吸附床需要实现贵重气体产物如氢、二氧化碳、合成气、轻质烃类等的高净化和/或回收。使用这些处理步骤的多床 PSA 系统也在各种工业用途及便携式医用氧浓缩器中用于从空气中回收氧。

吸附容器和吸附床的适当选择和设计对于尽量减少资本成本和尽量提高 PSA 系统工作效率来说是非常重要的因素。在本领域中已经采用了多种类型的设计以便在处理步骤中实现合适的气体-吸附剂接触, 其中大部分设计为安置在圆柱形压力容器中。粒状吸附剂被广泛使用, 其可以被安置在气体以轴向流动的圆柱床中或者气体以径向流动的环形床中。已经使用了多种方法来支撑轴向或径向流构造的粒状吸附剂床。

在吸附气体分离领域中, 一直需要这样的容器设计: 该设计尽量提高在车间内执行的建造工作的量, 并且尽量减少现场安装中需要的建造和装配工作的量。这需要吸附容器能够以几乎完整的形式安全运输, 优选其中该容器在车间内填满吸附剂。还需要这样的床设计: 该设计尽量减少吸附容器内部的空隙容积 (即, 未被吸附剂占据的空容积)。而且, 理想的是使用这样的吸附器设计和建造方法: 该方法确保在多床 PSA 系统的工作过程中各吸附床的性能基本相同。此外, 还需要改进下述大型 PSA 工厂的设计和操作方法, 该大型 PSA 工厂的气体产生速率大于使用具有最大可运输直径的吸附容器的单套系统的能力。

这些需要通过下文所述和后面的权利要求所定义的本发明的实施方式得到解决。

发明内容

本发明的一个实施方式涉及一种用于分离含有两种或更多种组分的进料气体混合物的变压吸附方法，该方法包括：

(a) 提供包括一个或多个复合床的变压吸附系统，每个复合床均包括安置在两个或更多个以平行流构造的容器中的吸附材料，每个容器均具有进料端和产物端；

(b) 进行包括下述步骤的循环连续步骤：

(b1) 将进料气体混合物引入到复合床的两个或更多个容器的进料端，并且从复合床的两个或更多个容器的产物端排出产物气体，

(b2) 从复合床的两个或更多个容器的进料端减压排出气体，

(b3) 从复合床的两个或更多个容器的产物端引入净化气体并从复合床的两个或更多个进料端排出净化废气，从而净化复合床，以及

(b4) 将气体加压引入复合床的两个或更多个容器的产物端和/或进料端；以及

(c) 对于任何连续步骤，设定选自下列的一种或多种气体的流速：

(c1) 引入到两个或更多个容器中任何一个或多个的进料端的气体，

(c2) 引入到两个或更多个容器中任何一个或多个的产物端的气体，

(c3) 从两个或更多个容器中任何一个或多个的进料端排出的气体，

(c4) 从两个或更多个容器中任何一个或多个的产物端排出的气体。

流速可以设定为将两个或更多个容器的选定控制参数的值保持为使得

(a) 两个或更多个容器中任意两个的选定控制参数之间的绝

对差值小于预定值，或

(b) 复合床的两个或更多个容器中每一个的选定控制参数与复合床的两个或更多个容器中每一个的控制参数的平均值之间的绝对差值小于预定值，

其中各容器的控制参数选自：

- (1) 来自容器的产物气体中选定组分的时间平均浓度；
- (2) 来自容器的产物气体中选定组分的最小或最大浓度；
- (3) 来自容器的净化废气中选定组分的时间平均浓度；
- (4) 来自容器的净化废气中选定组分的最小或最大浓度；
- (5) 容器中选定点处吸附剂空隙空间中选定组分的最小或最大浓度；
- (6) 连续步骤中，在选定时间时容器中两点之间的压力差；
- (7) 连续步骤中，容器中选定点处最低或最高温度；以及
- (8) 连续步骤中，容器中选定点处最小或最大压力。

本发明的另一个实施方式包括一种包含一个或多个复合床的变压吸附系统，其中每个复合床均含有吸附材料并具有复合床进料端和复合床产物端，该一个或多个复合床具有复合床进料端歧管和复合床产物端歧管，其中一个或多个复合床中的每一个均包括两个或更多个以平行流构造配置的容器，该容器具有容器进料端歧管和容器产物端歧管，每一个容器均含有部分吸附材料并具有容器进料端和容器产物端，其中复合床的复合床进料端歧管用于放置该复合床的进料端，该复合床的进料端经由容器进料端歧管与两个或更多个容器的进料端流体连通，其中复合床产物端歧管用于放置该复合床的产物端，该复合床的产物端经由各容器产物端歧管与两个或更多个容器的产物端流体连通，且其中

(a) 任何容器进料端歧管包括一个或多个限流器件，每个器件均用于设定进入各容器进料端的气体流速和/或设定从各容器进料端排出的气体流速，和/或

(b) 任何容器产物端歧管包括一个或多个限流器件，每个器件均用于设定进入各容器产物端的气体流速和/或设定从各容器产物端排出的气体流速。

一个或多个限流器件中的任何一个均可以选自小孔、可调阀、直径

变小的管段和可调限位单向阀。

本发明的一个相关实施方式是一种包括两个复合床的变压吸附系统，每个复合床均包括吸附材料并具有复合床进料端和复合床产物端，每个复合床均具有复合床进料端歧管和复合床产物端歧管，其中每个复合床包括 2-20 个以平行流构造配置的容器，该容器具有容器进料端歧管和容器产物端歧管，每个容器均包含部分吸附材料并具有容器进料端和容器产物端，其中复合床的复合床进料端歧管用于放置该复合床的进料端，该进料端经由各容器进料端歧管与两个或更多个容器的进料端流体连通，其中复合床产物端歧管用于放置该复合床的产物端，该产物端经由各容器产物端歧管与两个或更多个容器的产物端流体连通，且其中各容器进料端歧管包括小孔和/或各容器产物端歧管包括小孔。

另一个相关实施方式包括一种变压吸附系统，其包括

(a) 一个或多个复合床，每个复合床均包括吸附材料并具有复合床进料端和复合床产物端；

(b) 复合床进料端歧管，该复合床进料端歧管用于将气体引入到各复合床的进料端和将气体从各复合床的进料端排出；

(c) 复合床产物端歧管，该复合床产物端歧管用于将气体引入到各复合床的产物端和将气体从各复合床的产物端排出；

其中一个或多个复合床中的每一个均包括分别放置在以平行流构造配置的两个或更多个容器中的部分吸附材料，每个容器均具有进料端和产物端，其中所述两个或更多个容器包括

(d) 与复合床进料端歧管流体连通的容器进料端歧管，其用于将气流分隔到各复合床的进料端成为独立的气流并且将该独立气流分别引入到两个或更多个容器中、以及从两个或更多个容器中排出和合并独立气流以便提供来自复合床进料端的气流；以及

(e) 与复合床产物端歧管流体连通的容器产物端歧管，其用于将气流分隔到各复合床的产物端成为独立的气流并且将该独立气流分别引入到两个或更多个容器中、以及从两个或更多个容器中排出和合并气流以便提供来自复合床产物端的气流；

并且其中 (i) 容器进料端歧管包括一个或多个限流器件，每个器件均用于设定进入各容器进料端的气体流速和用于设定从各容器产物端排

出的气体流速，和/或(ii)容器产物端歧管包括一个或多个限流器件，每个器件均用于设定进入各容器产物端的选定气体流速和用于设定从各容器产物端排出的气体流速。

本发明的另一个实施方式涉及一种用于分离含有两种或更多种组分的变压吸附方法，该方法包括：

(a) 提供包括一个或多个复合床的变压吸附系统，每个复合床均包括安置在以平行流构造配置的两个或更多个容器中的吸附材料，每个容器均具有进料端和产物端；

(b) 进行包括下列的循环步骤：

(b1) 将进料气体混合物引入到复合床的两个或更多个容器的进料端中，并将产物气体从复合床的两个或更多个容器的产物端排出；

(b2) 从复合床的两个或更多个容器的进料端减压排出气体；

(b3) 将净化气体引入复合床的两个或更多个容器的产物端并从复合床的两个或更多个容器的进料端排出净化废气，从而净化复合床，以及

(b4) 将气体加压引入复合床的两个或更多个容器的产物端和/或进料端；

(c) 选择控制参数；和

(d) 对于任何连续步骤，设定选自下列的一种或多种气体的流速：

(d1) 引入两个或更多个容器中任何一个或多个的进料端的气体，

(d2) 引入两个或更多个容器中任何一个或多个的产物端的气体，

(d3) 从两个或多更个容器中任何一个或多个的进料端排出的气体，

(d4) 从两个或更多个容器中任何一个或多个的产物端排出的气体，

其中流速设定为将所述两个或更多个容器中的选定容器的控制参数的值保持为，使得选定容器中的任何两个之间的绝对差值小于预

定值。

在该实施方式中，控制参数可以选自

- (1) 来自容器的产物气体中选定组分的时间平均浓度；
- (2) 来自容器的产物气体中选定组分的最小或最大浓度；
- (3) 来自容器的净化废气中选定组分的时间平均浓度；
- (4) 来自容器的净化废气中选定组分的最小或最大浓度；
- (5) 容器中选定点处吸附剂空隙空间中选定组分的最小或最大浓度；
- (6) 连续步骤中，在选定时间时容器中两点之间的压力差；
- (7) 连续步骤中，容器中选定点处最低或最高温度；以及
- (8) 连续步骤中，容器中选定点处最小或最大压力。

本发明的又一个实施方式包括一种用于分离含有两种或更多种组分的进料气体的变压吸附方法，该方法包括

(a) 提供包括一个或多个复合床的变压吸附系统，每个复合床均包括安置在以平行流构造配置的两个或更多个容器中的吸附材料，每个容器均具有进料端和产物端；

(b) 进行包括下列的循环步骤：

(b1) 将进料气体引入到复合床的两个或更多个容器的进料端中，并将产物气体从复合床的两个或更多个容器的产物端排出；

(b2) 从复合床的两个或更多个容器的进料端减压排出气体；

(b3) 将净化气体引入复合床的两个或更多个容器的产物端并从复合床的两个或更多个容器的进料端排出净化废气，从而净化复合床，以及

(b4) 将气体加压引入复合床的两个或更多个容器的产物端和/或进料端；

(c) 选择控制参数、特定连续步骤以及在特定连续步骤中进入任何容器或离开任何容器的气流；

(d) 当在特定连续步骤中进入容器或离开容器的选定气流的流速增大时，确定控制参数是增大还是减小；

(e) 当进行循环连续步骤时，确定各容器的控制参数值和复

合床的所有容器的控制参数平均值；以及

(f) 如果当在(d)中确定了在特定连续步骤中进入或离开容器的气流流速增大时控制参数增大,并且如果在特定连续步骤中选定容器的控制参数值大于复合床的所有容器的控制参数平均值,则降低进入或离开选定容器的气体流速；或者

(g) 如果当在(d)中确定了在特定连续步骤中进入或离开容器的气流流速增大时控制参数增大,并且如果在特定连续步骤中选定容器的控制参数值小于复合床的所有容器的控制参数平均值,则提高进入或离开选定容器的气体流速；或者

(h) 如果当在(d)中确定了在特定连续步骤中进入或离开容器的气流流速增大时控制参数减小,并且如果在特定连续步骤中选定容器的控制参数值大于复合床的所有容器的控制参数平均值,则提高进入或离开选定容器的气体流速；或者

(i) 如果当在(d)中确定了在特定连续步骤中进入或离开容器的气流流速增大时控制参数减小,并且如果在特定连续步骤中选定容器的控制参数值小于复合床的所有容器的控制参数平均值,则降低进入或离开选定容器的气体流速。

在本实施方式中,控制参数可以选自:

- (1) 来自容器的产物气体中选定组分的时间平均浓度;
- (2) 来自容器的产物气体中选定组分的最小或最大浓度;
- (3) 来自容器的净化废气中选定组分的时间平均浓度;
- (4) 来自容器的净化废气中选定组分的最小或最大浓度;
- (5) 容器中选定点处吸附剂空隙空间选定组分的最小或最大浓度;
- (6) 连续步骤中,在选定时间时容器中两点之间的压力差;
- (7) 连续步骤中,容器中选定点处最低或最高温度;以及
- (8) 连续步骤中,容器中选定点处最小或最大压力。

附图说明

图1是示例性变压吸附系统的流程示意图。

图2是可以使用图1的系统进行的方法的循环图表。

图 3 是在图 1 的系统中使用的多容器床的流程示意图。

图 4 是另一种在图 1 的系统中使用的多容器床的流程示意图。

图 5 是又一种在图 1 的系统中使用的可选的多容器床的流程示意图。

图 6 是在图 1 的系统中使用的一种可选的多容器床的流程示意图。

具体实施方式

本发明的实施方式包括一种包含一个或多个复合床的变压吸附系统，每个复合床均包括安置在以平行流构造配置的两个或更多个容器中的吸附材料，每个容器均具有进料端和产物端。使用该构造的变压吸附系统可以根据任何至少包括下述步骤的循环 PSA 方法工作：（1）将进料气体混合物引入复合床的两个或更多个容器的进料端并将产物气体从复合床的两个或更多个容器的产物端排出，（2）从复合床的两个或更多个容器的进料端减压排出气体，（3）将净化气体引入复合床的两个或更多个容器的产物端并将净化废气从复合床的两个或更多个容器的进料端排出，从而净化复合床，以及（4）将气体加压引入复合床的两个或更多个容器的产物端和/或进料端。

在本发明的公开内容中，术语“床”是指安装在单独容器中的吸附材料的集合，根据本领域的已知方法，在循环 PSA 方法的多个步骤中，气体被引入到其中并从其中排出。术语“复合床”在这里定义为由分别包含在两个或更多个平行容器中的两组或更多组吸附材料组成的吸附材料的总集合。复合床中吸附材料的总量是包含在两个或更多个平行容器中的吸附材料的量的总和。两个或更多个平行容器中的吸附性材料在 PSA 循环的步骤中共同经历复合床的总气体流入和流出，这样各容器中的吸附材料在给定时间段内经历相同持续时间的相同处理循环步骤。因此，平行容器在 PSA 循环的所有步骤中同步工作。

这里所使用的术语“容器”是一种中空结构，其封闭了包含吸附剂材料的内部容积并具有至少一个气体入口和至少一个气体出口。多个容器以平行流构造配置，其中入口气流通过入口歧管被分隔为多个部分，该入口歧管在 PSA 循环的步骤中将多个部分直接引到各容器中。来自每个平行容器的出口气流通过出口歧管被合并为单股出口气流。歧管通常被定义为在其中单个管路与两个或更多个管路流体连通的管

路装置。入口气流进入到由平行容器中的吸附材料共同形成的复合床中，且出口气流从由平行容器中的吸附材料共同形成的复合床中排出。

术语“流体连通”当应用于第一和第二部分时是指气体能够通过连接管路和/或中间部分从第一部分流到第二部分和从第二部分流到第一部分。

这里所使用的通用术语“变压吸附”(PSA)用于所有利用压力对吸附容量的作用而分离气体混合物的吸附分离系统。最大压力通常是超大气压的，且最小压力可以是超大气压的、大气压的、或者低于大气压的(sub-atmospheric)。当最小压力是低于大气压的、且最大压力是超大气压的时，系统通常被称为压力真空变压吸附(PVSA)(pressure vacuum swing adsorption)系统。当最大压力接近大气压且最小压力低于大气压时，系统通常被称为真空变压吸附(PSA)系统(vacuum swing adsorption)。

这里所使用的措辞“一种”和“一个”等，当应用于说明书和权利要求书所描述的本发明的实施方式中的任何特征时，指的是一个(种)或多个(种)。“一种”和“一个”的使用并未将含义限制为单个特征，除非特别说明了这样的限制。位于单个名词或多个名词短语之前的措辞“该”和/或“所述”等表示特别指定的特征或特别指定的多个特征，其可以根据所使用的上下文关系而具有单数或复数的含义。形容词“任何”表示任何数量中的无差别的一个、一些或全部。位于第一实体和第二实体之间的术语“和/或”是指下列之一：(1)第一实体；(2)第二实体；和(3)第一实体和第二实体。

在本发明的各实施方式中，传统PSA系统的单个容器中含有的吸附材料床可以被具有分别安置在多个容器中的吸附材料的两个或更多个较小部分的复合床所代替。与单个容器相比，复合床的多个容器中的每一个均可以具有较小的容积和/或较小的直径。多个容器可以具有基本相同的尺寸和形状，或者如果需要可以具有不同的尺寸和/或形状。多个容器可以含有基本相同量的吸附材料，或者可以含有不同量的吸附材料。复合床的多个容器平行工作，其中进入到复合床的气流被分隔和引入到多个容器中，且来自多个容器的气流被合并以提供来自复合床的总的气流。复合容器中的每一个均含有复合床中含有的

总吸附材料的一部分，其中复合容器中吸附剂的总量可以少于、等于或多于被复合床所代替的单容器床中吸附剂的总量。

使用含有多部分吸附剂的多个平行容器充当复合床有几点益处。与具有类似的吸附剂容积、吸附层厚度和容器头形状的单个大直径容器相比，几个较小直径的容积将会具有较少的总空隙容积。较小的容器能够在车间内大量生产，比大直径容器更容易运输，且在运输到安装部位之前能够在受控环境下装填吸附剂。

具有复合床的 PSA 系统的优势可能因潜在的操作问题而被抵消。例如，当每个复合床均包括配置在基本相同的多个容器中的吸附剂时，管路和机械配置可能导致流入和流出单个容器的气流之间的差异。因此，含有吸附材料复合床的一部分的任何单个容器的性能可能与其它容器的性能不同，以及复合床的总体性能可能相对于所有容器均具有相同性能的情况而有所下降。另一个潜在的问题是，容器建造、吸附剂质量和装填的吸附剂中的不希望的变化可能导致单独容器的吸附性能彼此不同，从而再次导致较差的总体性能。在另一个可能的操作情况中，复合床中多个容器的基本相同的吸附性能可能随时间改变，这样容器的性能将不再相同。

在操作的 PSA 系统中，可能必须通过为一个或多个复合床建造额外的平行容器以提高现有系统的吸附容量。可能难以或者不可能使新的一个容器或多个容器的吸附性能与复合床现有容器的性能相匹配。

对于传统的多床 PSA 系统，其中每个吸附床均建造在单个容器中，多个床的性能之间的差别能够用本领域已知的方法补偿。这些方法通过下述方式补偿多个床之间存在的操作不对称：通过对每个床进行特定循环步骤的时间长度进行改变，通过操作控制阀以调节流入、流出或在多个床之间的气流，或者通过其它方式。

现有技术并未教导操作 PSA 系统来补偿复合床的多个平行容器之间性能差异的方法，其中每个平行容器均含有吸附材料且平行容器中的总吸附材料在循环 PSA 过程中作为复合床工作。

下文中所述的本发明的实施方式通过在 PSA 循环的一个或多个方法步骤中选择性地设定流入和 / 或流出每个容器的气体流速而解决这些问题。因此，复合床的每个容器的性能能够根据需要进行调节，以尽量提高 PSA 系统的性能。

如这里所述,使用复合床可以应用于用来分离任何气体混合物的根据任何 PSA 处理循环工作的任何 PSA 系统。本发明的实施方式可以通过,例如,下述内容进行说明:使用下文所述的图 2 的处理循环,用于从空气中回收氧气的图 1 的二-复合床 VSA 系统的操作。

在传统 PSA 系统中,吸附材料被包含在床 10 和 12 中,该床具有将进料气体引入各复合床的底部或进料端、并且将产物气体从各复合床的顶部或产物端排出的适当装置。床 10 和 12 中的每一个均通过本领域已知的方式包含在单个压力容器中。在本发明的实施方式的说明中,传统床 10 和 12 中的每一个均被安置在两个或更多个独立的平行容器中的单独量的吸附材料所代替,从而形成在下文中详细描述复合床。

在根据图 1 的本发明的实施方式的说明中,环境空气在进料气体鼓风机 14 中被压缩,并且被输送到进料歧管 16 中。在循环的第一步,即吸附/制造产物步骤中,阀 18 开放以便将压缩空气经由管线 47 导入复合床 10 中。空气进入到复合床 10 中,其中空气中的水分被第一干燥剂层如 13-X 分子筛层除去。然后干空气向上通过氮选择性吸附层如 LiLSX 分子筛层,经此从空气中吸附氮。产物气体现在富含氧,通过管线 45 和阀 22,进入产物歧管 26。产物流过缓冲槽 28,然后投入使用点。其它的装置(未显示)可以被包括在缓冲槽出口之后以进行流量控制、产物分析或其它用途。

在循环的第二步,即吸附/制造产物/提供净化步骤中,阀 30 也开放,以使部分产物气体从复合床 10 流入复合床 12 中。该气体充当复合床 12 的净化流,该复合床 12 在此时用真空鼓风机 40 通过阀 36 和歧管 38 排空。一段时间之后,复合床 10 中的吸附剂接近了其对氮的吸附容量,这样进一步进料空气将会导致氮穿透进入氧产物气流中。在循环的第三步,即提供净化步骤中,阀 18、22 和 30 均闭合且阀 32 开放以提供较高气流来净化复合床 12。此时,进料鼓风机 14 可以空转直到其需要为复合床之一提供进料气体。

在循环的第四步,即提供压力转移步骤(有时称为提供均压化步骤)中,阀 36 闭合且阀 34 开放以通过真空鼓风机使复合床 10 减压。通过阀 32 的气流继续为复合床 12 再加压。在循环的第五步,即第一排空步骤中,阀 32 闭合且复合床 10 排空以除去吸附的氮。在第六步,

即第二排空步骤中，复合床 10 的阀位置不改变。第六步与第五步分别标识，因为在复合床 12 的阀位置上有所改变。在第七步，即第一接受净化步骤中，阀 30 也开放以便从正在经历循环第二步的复合床 12 提供净化气体。在第八步，即第二接受净化步骤中，阀 30 闭合且阀 32 开放，从而为复合床 10 提供更高的净化气流。在循环的第九步，即接受压力转移步骤（有时称为提供均压化步骤）中，阀 34 闭合且来自复合床 12 的气体开始为复合床 10 再加压。在循环的第十和最后步骤，即进料加压步骤中，阀 32 闭合且阀 18 开放，以使用来自进料鼓风机 14 的进料气体为复合床 10 再加压。

复合床 12 的循环在总循环时间的一半包括与复合床 10 的循环异相进行的相同步骤。复合床 10 和 12 的步骤 1 - 10 之间的相对时间关系在图 2 的循环图中给出。总循环时间可以在 40 到 80 秒之间。循环各步中阀的位置在表 1 中给出。

表 1

复合床 10 步骤	进料阀		排空阀		产物阀		净化阀		复合床 12 步骤
	18	20	34	36	22	24	30	32	
1	O	C	C	O	O	C	C	C	6
2	O	C	C	O	O	C	O	C	7
3	C	C	C	O	C	C	C	O	8
4	C	C	O	C	C	C	C	O	9
5	C	O	O	C	C	C	C	C	10
6	C	O	O	C	C	O	C	C	1
7	C	O	O	C	C	O	O	C	2
8	C	C	O	C	C	C	C	O	3
9	C	C	C	O	C	C	C	O	4
10	O	C	C	O	C	C	C	C	5

O = 开放 C = 闭合

当传统 PSA 系统的尺寸按比例放大时，吸附容器的设计可能会因建造问题或其它限制因素而出现问题。在这种情况下，根据本发明的实施方式，该系统可以设计为至少一个具有几个较小容器的复合床，这些较小的容器平行安装且含有吸附剂材料以充当复合床。这些容器可以基本相同、或者可以因设计限制或建造问题而在尺寸或大小方面有所差别。

在最宽的范围中，本发明的实施方式涉及一种包括吸附材料的 N

个复合床的 PSA 系统, 在这里 N 为 1 或多个。PSA 系统中 N 个复合床中的每一个均包括安置在 n 个容器中的吸附剂, 在这里 n 大于 1。 n 个容器以平行流构造配置, 其中每个容器和其中的吸附剂接受进入到复合床中的总气流的一部分, 并且作用于流出复合床的总气流的一部分。除了 N 个复合床之外, PSA 系统还可以具有多个传统床, 其中吸附剂材料被包含在单个容器中; 在本实施方式中, PSA 系统是床和复合床的组合。

如上所述, 希望补偿具有一个或多个复合床的 PSA 系统中复合床的多个容器之间的性能差异。实现该目的的示例性方法如下所述。

在图 1 的 PSA 系统中, 复合床 10 可以包括 4 个如图 3 中举例说明的平行容器。容器 10a、10b、10c 和 10d 平行安装, 每个容器均含有复合床 10 中的部分吸附材料, 以使得在平行容器 10a、10b、10c 和 10d 中含有等量的复合床 10 的吸附剂。在该说明性实施方式中, 容器 10a、10b、10c 和 10d 在产物端通过产物歧管 301 相连, 该歧管在复合床 10 的产物端连接到产物管线 45。容器 10a、10b、10c 和 10d 在进料端通过进料歧管 303 相连, 该歧管在复合床 10 的进料端连接到进料管线 47。歧管 301 和 303 定位了 (place) 以平行流构造的容器 10a、10b、10c 和 10d。

平行容器中的任何一个均可以在进料端和 / 或产物端配有限流器件, 且可以使用多于一个的任何数目的平行容器。在图 3 的例子中, 使用了四个容器, 且每个容器均具有安装在进料端和产物端的限流器件。因此, 容器 10a 在产物端具有限流器件 305 且在进料端具有限流器件 307, 容器 10b 在产物端具有限流器件 309 且在进料端具有限流器件 311, 容器 10c 在产物端具有限流器件 313 且在进料端具有限流器件 315, 容器 10d 在产物端具有限流器件 317 且在进料端具有限流器件 319。在另一个实施方式中, 限流器件可以安装在容器的进料端和产物端之一上。

限流器件可以选自小孔、可调阀、直径变小的管段和可调限位单向阀。可调阀可以是适于通过手动调节或者通过远程操作的阀门定位器系统调节的阀。如果需要, 阀门定位器可以通过中央处理控制系统操作。可调限位单向阀是下述单向阀器件: 其中限位器防止内单向机构完全闭合。当系统操作时限位器可以调节。当气流在一个方向内通过

可调限位单向阀时，阀的内部机构对流动显示低限制，并且允许该方向上相对较高的气流。当气流在反向流过阀门时，可调限位器防止内部机构完全闭合，其允许气流通过但对流动有较大限制，从而在反向上允许相对低的流动。可调限位单向阀的例子是 Rexroth Floreg® Flow Control Valve。其它限流器件通常在 PSA 系统不工作时改变；或者，如果单个容器配有隔离阀，这些器件可以在 PSA 操作过程中不改变。

各器件的限流程度可以根据需要选择，以便允许在可适用的处理循环步骤中设定进入和离开容器进料端和产物端的合适流速。根据下面所述的规则，选择各器件中的限流程度，以获得相等或几乎相等的容器 10a、10b、10c 和 10d 的吸附性能。当系统根据图 2 和表 1 的循环操作时，例如，容器进料端的限流器件将会影响吸附 / 制造产物和进料加压步骤中进入该容器的气体流速以及排空和净化步骤中离开容器的气体流速。类似地，容器产物端的限流器件将会影响吸附 / 制造产物、吸附 / 制造产物 / 提供净化步骤、提供压力转移和接受压力转移步骤、以及提供净化和接受净化步骤中离开容器的气体流速。

另一个实施方式可以允许在不同选择的循环步骤中设定不同的气体流速。这些可选方案之一在图 4 的例子中解释，其中歧管配置为使得各容器的进料端可以配有两个平行的限流器件，每个器件均具有相邻的单向阀以使得仅能通过该器件单向流动。在本实施方式中，进料歧管 401 与管线 47 相连，而产物歧管 402 与管线 45 相连。容器 10a 配有限流器件 403 和单向阀 404，后者仅允许进入容器 10a 进料端的流动，该流动发生在吸附 / 制造产物和进料加压步骤中。容器 10a 还配有限流器件 405 和单向阀 407，后者仅允许离开容器 10a 进料端的流动，该流动发生在复合床的排空和净化步骤中。类似的限流器件 409、411、413、415、417 和 419 以及单向阀 421、423、425、427、429 和 431 如所示分别安装在容器 10b、10c 和 10d 的进料端处。尽管在图 4 的实施方式中在容器的产物端未显示限流器件，根据需要在其它实施方式中可以在容器的产物端使用这样的器件。

图 5 的例子中说明了另一个实施方式，其中在容器的进料端配置了两个单独的歧管，其中进料歧管 501 用于将进料气体引入容器中，而排空歧管 503 用于从容器中排出排空气体和净化气体。进料歧管 501 经由阀 18 与进料歧管 16 相连，且排空歧管 503 经由阀 34 与排空歧管

38 相连。产物歧管 504 与管线 45 相连，后者与阀 26、30 和 32 流体连通。进料歧管 501 上允许分别在容器 10a、10b、10c 和 10d 的进料端安装限流器件 505、507、509 和 511，其中这些器件影响吸附 / 制造产物和进料再加压步骤中进入各容器中的进料气体的流速。如所示，排空歧管 503 上允许分别在容器 10a、10b、10c 和 10d 的进料端安装限流器件 513、515、517 和 519，其中这些器件影响排空和净化步骤中离开容器的气体的流速。尽管在图 5 的实施方式中的容器产物端未显示限流器件，根据需要在其它实施方式中可以在容器的产物端使用这样的器件。

在图 6 的例子中说明了又一个实施方式，其中在容器的产物端配置了两个单独的歧管，其中歧管 601 用于将产物气体从容器中排出，而歧管 603 用于将接受净化气体和接受压力转移气体引入容器中并将提供净化气体和提供压力转移气体从容器中排出。歧管 601 经由阀 22 与产物歧管 26 相连，且歧管 603 与阀 30 和 32 相连。歧管 603 分别在容器 10a、10b、10c 和 10d 的产物端包括可调限位单向阀 605、607、609 和 611。图 6 的实施方式允许在吸附 / 制造产物步骤中气体从容器自由流出，且允许在提供压力转移和接受压力转移步骤以及提供净化和接受净化步骤中进入和离开容器的选择性流动限制。在这样构造的情况下，容器产物端的流动限制在提供净化步骤和提供压力转移步骤中可以对每个容器进行调节，而不会影响接受净化和接受压力转移步骤中产物端的流动限制，不会影响吸附 / 制造产物步骤中的流动。限流器件可以用于或不用于容器的进料端。另一种实施方式可以在歧管 601 上包括限流器件。

图 3、4、5 和 6 中的实施方式的任何一个中的限流器件可以用来设定用于选定处理步骤的气体流速，以便平衡各复合床的多个平行容器的吸附性能。在本发明的广泛的实施方式中可以使用其它构造的限流器件。

当来自复合床中的吸附容器的产物气流的产品纯度相似，即，当产物气流中选定组分的浓度变化低于最大可接受值时，就实现了复合床的多个容器的性能平衡。性能平衡的实现可以通过，例如，其中产物气体从各平行容器的产物端排出的任何一个或多个步骤中选定组分的时间平均浓度来表示。性能平衡的实现可以通过下面所讨论的其它控

制参数来表示。

可以对各种控制参数加以监控以确定多个容器在何时处于平衡操作或者任何容器与其它容器的操作不平衡程度。一个控制参数是来自各容器的产物气体中选定组分的浓度，其被选择以表示如上所述的产物纯度。其它控制参数可以包括，例如，在连续步骤中，来自任何容器的净化废气中选定组分的浓度、来自任何容器的净化废气中选定组分的最小或最大浓度、在容器中选定点处吸附剂空隙空间中选定组分的最大或最小浓度、以及在选定时间时容器中两点之间的压力差。其它可选控制参数可以用于监控容器操作。

当用作控制参数或用作平衡操作的判别条件时，通用术语“浓度”或“气体浓度”是指任何下述浓度：其（1）在选定 PSA 循环步骤中特定时间测定，和 / 或（2）是该步骤持续时间的时间平均，和 / 或（3）是该步骤中最大或最小值。

用于监控容器操作的控制参数应当与上述平衡操作的判别条件相关连，这样当选定的控制参数符合一组特定的操作条件时，复合床的平行容器符合用于平衡操作的选定产物气体组成判别条件。当控制参数是产物气体组成时，与平衡操作的判别条件的关连是内在的。对于给定的 PSA 系统和循环，产物气体组成与其它控制参数的关连可以实验地建立。一旦建立了关连，控制参数可以用于后续的操作监控。

平衡复合床平行容器吸附性能的第一步是选择控制参数、具体的连续步骤（例如，用于表 1 的示例性处理循环的上述步骤之一）、以及在具体连续步骤中进入或离开容器的气流。控制参数的选择取决于吸附剂的特性、要被分离的气体、以及用于分离的 PSA 处理循环。根据被分离的气体和所使用的 PSA 处理循环，可以使用多于一个控制参数的操作策略。理想的控制参数通常具有下述特性中的任何一个或多个：（a）对吸附容器性能平衡的变化显示合理的敏感性，（b）当根据上述限定，容器之间的性能平衡时，各容器之间的控制参数显示相等，（c）对容器性能的变化显示迅速的响应，和（d）易于测量或计算。

在选择控制参数并与上面所定义的平衡操作判别条件相关连之后，定义操作策略以确定实现复合床的一个或多个容器的平衡或基本平衡操作所需的实际工艺行为。操作策略确定了根据测量的参数对限

流器件所作出的变化，以实现容器之间理想的平衡程度。容器控制参数对该容器中限流器件变化的响应可以是两个方向之一。在一种操作情况中，当限流器件被作出更多限制时，即，当气体流速降低时，容器控制参数的值增大。在另一种操作情况中，当限流器件被作出更多限制时，即，当气体流速降低时，容器控制参数的值减小。

例如，如果选择循环过程中的最大压力作为控制参数，则在对该容器入口上的限流器件作出更多限制以降低入口气体的流速时，容器中该参数的值将会下降。这是因为在高压进料步骤中较少的进料气体进入容器。作为另一个例子，如果选择离开容器的产物纯度作为控制参数，则在对该容器出口上的限流器件作出更多限制以降低离开容器的气体流速时，容器中该参数的值会增大。这是因为在制造产物步骤中较少的产物气体离开容器。

控制参数对每个限流器件中变化的实际响应可以从先前的经验得知。如果其尚属未知，可以通过改变限流器件并监控控制参数对该变化的响应而在 PSA 系统中实验地确定。然后可以使用该信息进一步改变限流器件以实现复合床容器之间的操作平衡。

当对限流器件作更多或更少限制以改变进入或离开容器的气流、并且该容器的控制参数发生响应时，则复合床其它容器中参数的响应将会相反。这是因为复合床中的容器每一个均接收流入该复合床中的总气流中的一部分，流入或流出一个容器的气体流速的变化将导致流入或流出其它容器的流速变化，但是方向相反。各容器控制参数响应的量值可以不同。反过来参考下述例子：其中选择循环中最大复合床压力作为控制参数，当对容器入口上的限流器件作出更多限制以降低流入容器的气体流速时，容器控制参数的值降低，这时如果复合床中所有容器上的其它限流器件（如果有）未改变，则其它容器控制参数的值将会升高，因为更多的进料气体转向了它们。

一旦知道了控制变量对每个限流器件中变化的响应，就可以根据表 2 中所述的情况确定复合床中容器平衡的策略。

表 2
控制参数和操作情况

选定连续步骤中控制参数对选定气体流速的特性响应	多容器复合床的选定容器中的实际操作情况	对于复合床的选定容器，需要的操作变化
当流速增大时控制参数增大	选定容器的控制参数大于复合床所有容器控制参数的平均值	降低选定气体流速
	选定容器的控制参数小于复合床所有容器控制参数的平均值	增大选定气体流速
当流速增大时控制参数降低	选定容器的控制参数大于复合床所有容器控制参数的平均值	增大选定气体流速
	选定容器的控制参数小于复合床所有容器控制参数的平均值	降低选定气体流速

如上所述和如表 2 左栏所总结的，控制参数对通过选定限流器件的气体流速的变化有两种特性响应，即，（1）当流速增大时控制参数增大，和（2）当流速增大时控制参数降低。一旦在实际 PSA 操作期间确定了所有容器的控制参数的值，则对于这两种特性响应中的每一个可能发生两种实际操作情况，即，（a）选定容器的控制参数大于复合床所有容器控制参数的平均值，和（b）选定容器的控制参数小于复合床所有容器控制参数的平均值。如表 2 中间栏所示，对于选定容器的每种操作情况(1)(a)、(1)(b)、(2)(a)和(2)(b)，需要如表 2 的右栏所列出的具体操作变化。这些变化如下所述：对于操作情况(1)(a)，降低选定气体流速；对于操作情况(1)(b)，增大选定气体流速；对于操作情况(2)(a)，增大选定气体流速；而对于操作情况(2)(b)，降低选定气体流速。

如果容器上的限流器件在其最少限制的位置，即，允许最大流量，并且如果表 2 的逻辑显示该器件应当作出更少限制以增大流速，则复

合床的其它一个或多个容器上的限流器件应当被更多限制以减少那些一个或多个容器的相应流速。

通常,平衡容器性能的第一步应当指向显示控制参数与其它容器或所有容器的控制参数平均值的偏差最大(正的或者负的)的一个或多个容器。这是因为显示较差性能的容器被所吸附的材料穿透到产物流中的风险最大。少量穿透将会极大地降低产品质量,而防止或矫正穿透将会对生产显示巨大的益处。另一方面,对于许多 PSA 系统来说,显示出性能远好于复合床中多个容器平均值的容器对于制造高品质产物气体是不必要的,通过将来自该容器的产物气体的质量拉近到平均值,来自该容器的产物的流速将会提高,从而能够提高来自复合床的产物流速。

每个容器的限流器件的数目不限制为图 3 所示的在入口上有单一器件且在出口上有单一器件。例如,图 4 显示了四个容器的配置,其中在各容器的进料端安装限流器件以便当气体流入进料端时起作用,并且在容器的进料端安装单独的限流器件以便当气体从该容器的进料端流出时起作用。单向阀用于选择通过各限流器件的流动发生方向。其它变化参考图 5 和 6 在上文中讨论。

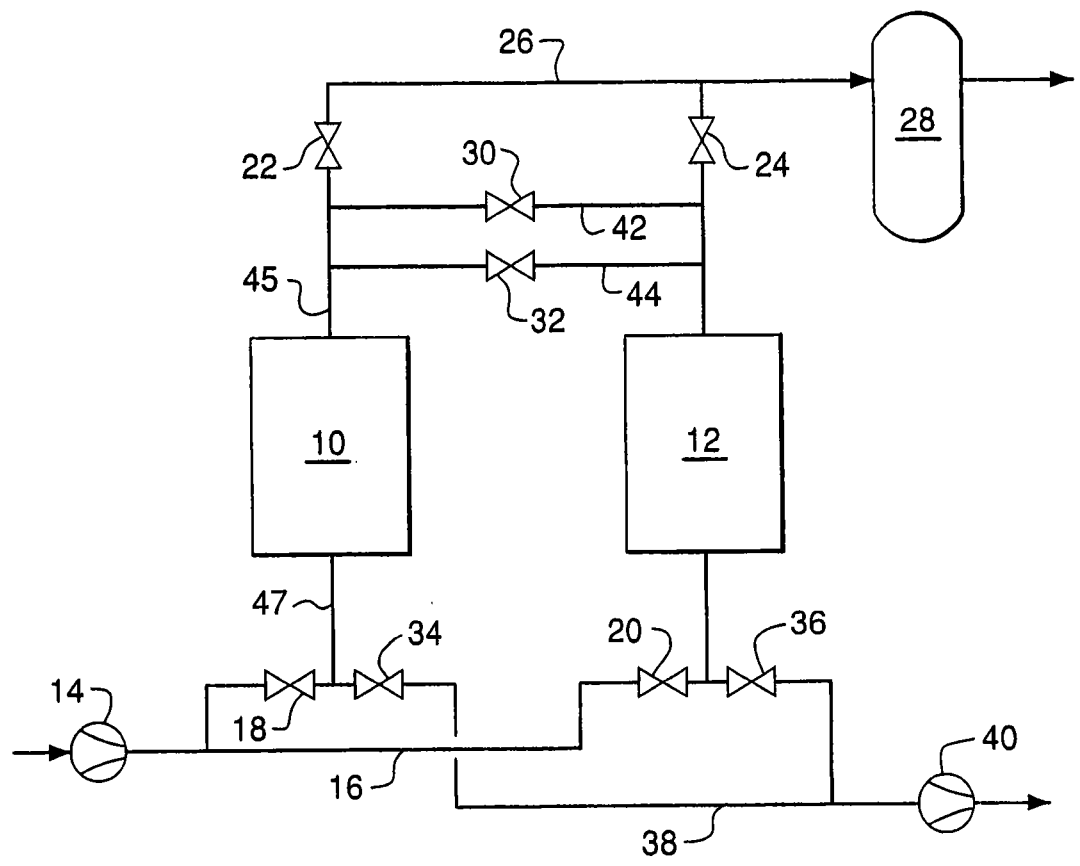


图 1

床	步骤编号									
10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5

时间 →

图 2

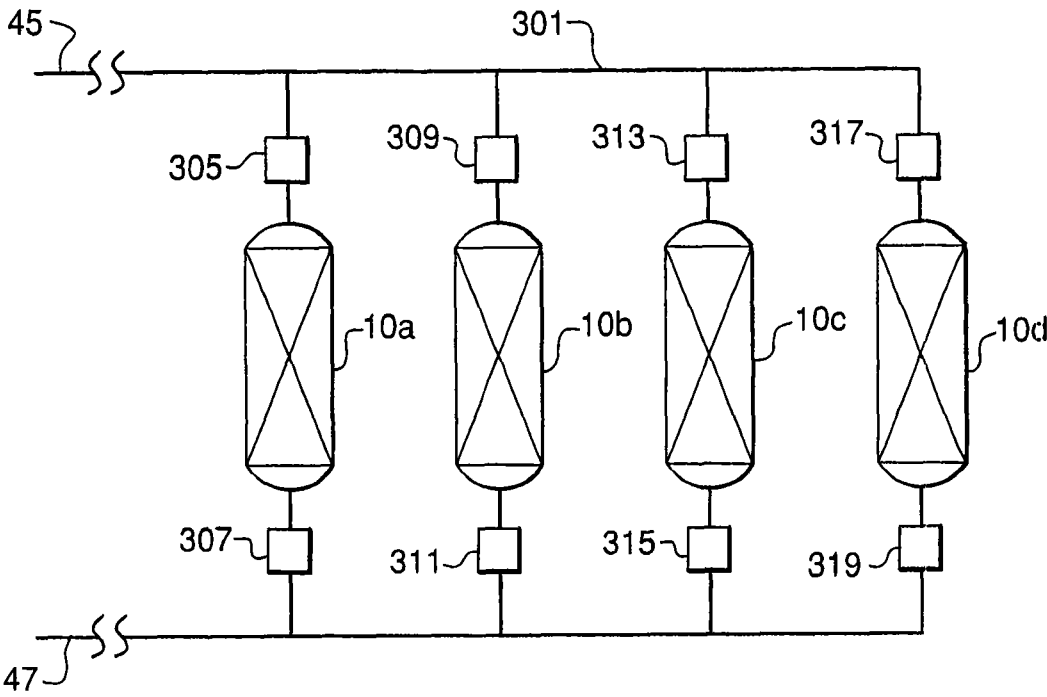


图 3

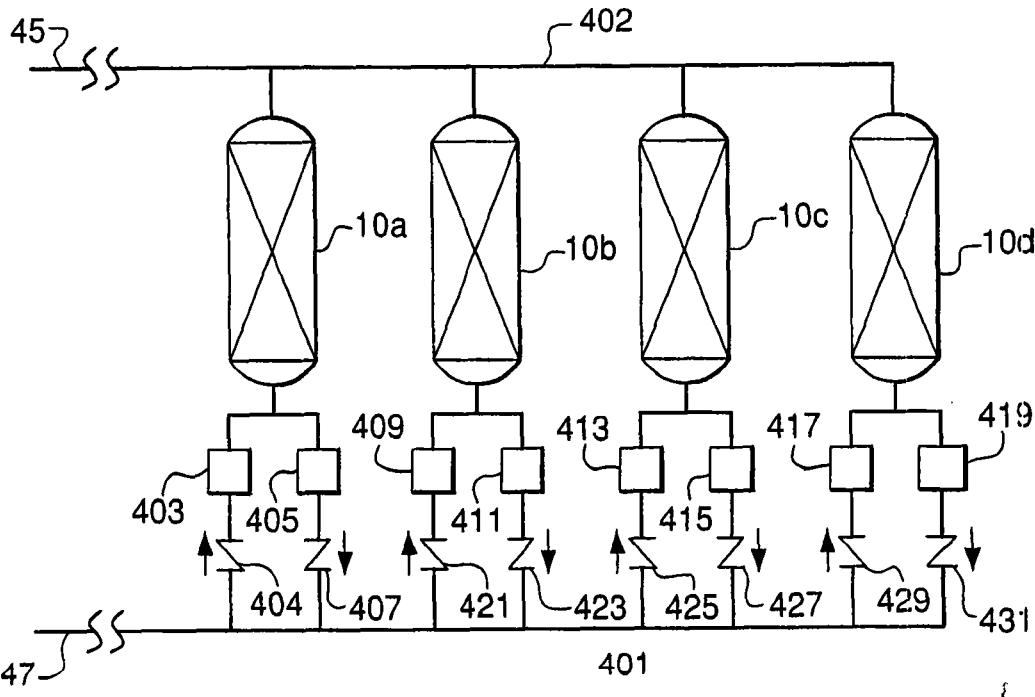


图 4

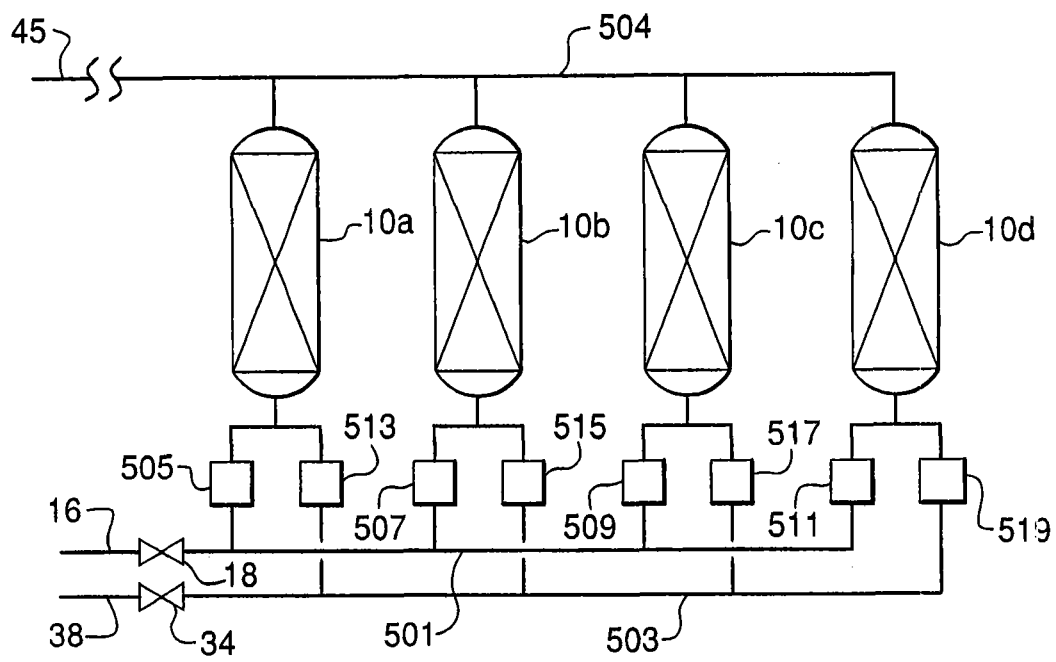


图 5

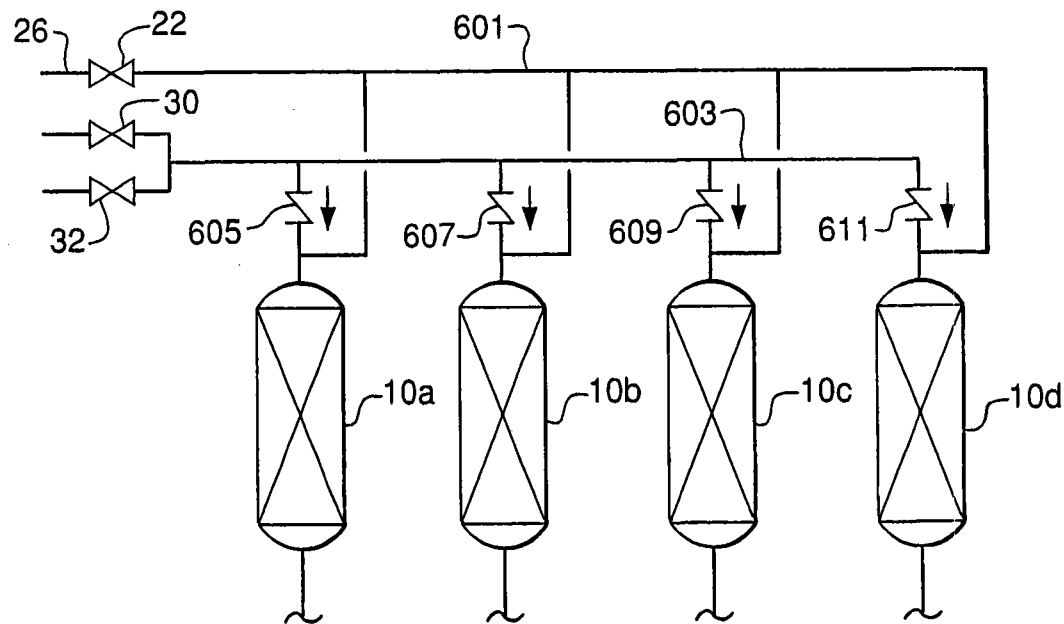


图 6